



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİYLE ÜSTYAPI
PERFORMANS TAHMİNİ**

Merve SİPER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Temmuz-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Merve SİPER tarafından hazırlanan “Yapay Zeka Yöntemleriyle Üstyapı Performans Tahmini” adlı tez çalışması 14/07/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Sabri KOÇER

.....

Danışman

Doç. Dr. Abdullah Erdal TÜMER

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Vahit TONGUR

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Merve SİPER

Tarih: 01/07/2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİYLE ÜSTYAPI PERFORMANS TAHMİNİ

Merve SİPER

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Abdullah Erdal TÜMER

2021, 64 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Abdullah Erdal TÜMER

Prof. Dr. Sabri KOÇER

Dr. Öğr. Üyesi Vahit TONGUR

Karayolları ağları, ülkemizde aktif olarak kullanılan en çok tercih edilen temel ulaşım yöntemlerinden biridir. Bu yüzden yol ağlarının güvenliği ve konforu sağlaması zorunludur. Güvenliği ve sürüş konforunu sağlayan temel unsur karayolu üstyapısıdır. Artan araç sayısına bağlı olarak karayolu ihtiyacının planlanması, mevcut karayollarının hizmet kabiliyetini koruyabilmesi ve bakım onarımının yapılabilmesi için üstyapı yönetim sistemi kullanılması zorunlu hale gelmektedir. Karayolu Üstyapı Yönetim Sisteminden tam anlamıyla yararlanabilmek için, karayolları ağının geleceği hakkında güvenilir ve doğru tahminler yapması beklenmektedir. Üstyapı Yönetim Sisteminin kurulmasında en önemli ve bir o kadar da zor olan kısım, mevcut üstyapı performansının belirlenmesidir. Üstyapı performansını, yüzey bozulmaları, deformasyonlar ve düzgünlük gibi özellikler belirlemektedir. Bu özelliklerin doğru tahmini kısıtlı kaynakların optimize edilmesini ve mevcut bütçeyle yapılacak yatırımların belirlenmesi noktasında büyük önem arz etmektedir. Herhangi istenmeyen bir durumla karşılaşmadan zamanında müdahale edilmesi mümkündür. Teknoloji çağıyla birlikte yapay zeka uygulama alanları her alanda gelişme gösterdiği gibi karayolu üstyapı konusunda da yapılan çalışmalar vardır ve devam etmektedir. Genellikle tahmin ve sınıflandırma yapan birçok makine öğrenimine dayalı uygulamalar bulunmaktadır. Bu uygulamalarda veri ön işleme, regresyon, sınıflandırma, gruplandırma, özellik seçimi gibi işlemler yapılabilmektedir. İşlemler için gerekli kütüphanelere açık kaynak olarak kolaylıkla erişilebilmektedir. Üstyapı performans değerlemelerini bu uygulamalar ve ilgili kütüphanelerle yapmak/geliştirmek mümkündür.

Bu çalışma ile üstyapı yönetim sistemi için makine öğrenim teknikleri kullanılmıştır. Üstyapı performans modelleri geliştirilmiştir. Modellere girdi olarak, üzerinde araştırma yapılan yollardaki bozulmalara sebep olan etkenler seçilmiştir. Bu etkenler, trafik ve iklim verileri, üstyapı kalınlığı gibi parametrelerdir. Üstyapı performansına etki eden bu verilerin korelasyon matrisi ile birbirleri ile olan ilişkisi araştırılmıştır.

Üstyapı düzgünlük değeri tüm dünyada standart haline getirilmesi için adı “Uluslararası Düzgünlük İndeksi (IRI- International Roughness Index)” olarak tanımlanmaktadır. Performans göstergesi olan IRI değişkeninin bozulmaya etki eden değişkenlerden hangisiyle daha yakından ilişkili olduğu korelasyon katsayısına bakılarak ortaya çıkarılmıştır. Bunun için uluslararası düzgünlük indeksinin (IRI) verilerinden yararlanılmıştır. Weka ve MATLAB programları kullanılarak veriler analiz edilmiştir. Düzgünlük değeri olan IRI değerinin tahmini için regresyon analizi, yapay sinir ağları ve sınıflandırma yöntemlerinden olan karar ağaçları kullanılarak üstyapı performans tahmin modelleri geliştirilmiştir. Oluşturulan modellerin çıktı değeri olan IRI değeri gerçek değerlerle kıyaslanıp yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: IRI, makine öğrenmesi, üstyapı yönetim sistemi, yapay zeka

ABSTRACT

MS THESIS

**PAVEMENT PERFORMANCE ESTIMATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
METHOD**

Merve SİPER

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Abdullah Erdal TÜMER

2021, 64 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Abdullah Erdal TÜMER

Prof. Dr. Sabri KOÇER

Asst. Prof. Dr. Vahit TONGUR

Especially in recent years, to determine the variables that can make the performance of the General Directorate of Highways in road networks more efficient and to determine the effect of artificial intelligence models to be created by using these variables on the performance estimation.

In the study, the factors causing the deterioration of the researched roads were examined. Based on artificial intelligence models, the main causes of deterioration are investigated and the relationship between IRI data and climate data, which is one of the components that affect performance, with deterioration. In this way, it will be possible to find out which variables that are indicators of performance are more closely related to the variables affecting the deterioration. At the same time, showing the effect of deterioration estimation on the budget with the help of the models to be created is another aim of the research.

In this study, the data of the international roughness index (IRI), which is used as a performance indicator, were collected and evaluated, and prediction models were developed using these data. It is aimed to help the models to be created by making use of artificial intelligence methods to help determine when the deteriorations will occur, and how the maintenance and repair works should be done.

Keywords: Artificial Intelligence, IRI, Machine Learning, Pavement Management Systems

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bilgi ve görüşlerini paylaşıp her daim destekleyen ve yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Abdullah Erdal TÜMER'e teşekkür ediyor ve saygılarımı sunuyorum. Bu tez çalışması esnasında bilgilerini benimle paylaşan yüksek inşaat mühendisi sayın Dr. Ahmet Taner HERGÜNER hocama çok teşekkür ediyorum. Her durumda sevgi ve desteklerini benden asla esirgemeyen aileme ve özellikle canım oğluma sonsuz teşekkür ediyorum.

Merve SİPER
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Üstyapı Yönetim Sistemi	13
3.2. Üstyapı Yönetim Sisteminin Uygulanması	16
3.2.1. Ağ Düzeyinde	17
3.2.2. Proje Düzeyinde.....	22
3.2.3. Dünyada kullanılan Üstyapı Yönetim Sistemleri	26
3.3. Yapay Zeka ve Yöntemleri.....	27
3.3.1. Bulanık Mantık	28
3.3.2. Yapay Sinir Ağları.....	30
3.4. Makine Öğrenmesi	33
3.4.1. Regresyon	34
3.4.2. Sınıflandırma	35
3.4.2.1. Karar ağacı Algoritmaları	35
3.4.2.2 Destek Vektör Algoritmaları.....	36
3.5. Üstyapı Performans Tahmin Modellerinin Geliştirilmesi	36
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	39
4.1. Weka Analizleri	41
4.2. Matlab Analizleri	47
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	50
5.1 Sonuçlar	50
5.2 Öneriler.....	51
6. KAYNAKLAR	52
EKLER	59

1. GİRİŞ

İnsan yaşamının zorunlu ihtiyaçlarından biri de ulaşımdır. Günümüz teknolojisi ile birlikte ülkelerin gelişmişlik düzeyinin belirlenmesinde ulaşım oldukça etkilidir. Bu nedenle yapılan yatırımlar çoğunlukla ulaşımı kapsamaktadır. İnsanlar gerek şehir içi gerekse şehirlerarası ulaşım yollarını tercih ederler. Bu tercihlerinde yer, konfor, güvenlik ve hız gibi konular göz önüne alınmaktadır. Bilinen en temel ulaşım türlerinden biri karayolu ulaşımıdır. Bu nedenle ulaşımı sağlamada aktif olarak tercih edilen karayolu ağlarının güvenliğinin ve konforunun sağlanması zorunludur.

Otomotiv teknolojisinin de gelişmesiyle birlikte artan taşıt sayısına bağlı olarak karayollarına daha çok ihtiyaç duyulmuştur. Geçen her sene mevcut yollara eklenen yeni yollarla toplam yol uzunluğu artmıştır. Artan yol uzunluğundan dolayı karayolları ağının bakım onarımı için daha fazla bütçeye ihtiyaç duyulduğu/duyulacağı aşikârdır. Bu durum, karayolu gereksinimini karşılamak ve bozulmaya maruz kalan yapıların zamanında bakım onarımı yapmak için Üst Yapı Yönetim Sisteminin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir (2003). Üstyapı Yönetim Sistemi yol ağlarının mevcut durumunu gösterir. Ayrıca ileriye dönük yapılacak olan yatırımları, yapılacak yollar için önerileri ve yapımları, rutin kontrolleri ve tüm bunların performans değerlendirmeleri gibi geniş bir alanı kapsamaktadır (Officials, 1993).

Karayolları Genel Müdürlüğünün görevi, sürücülerin isteklerini karşılayan, güvenilir, rahat, güncel ihtiyaçlara cevap verebilen il ve devlet yollarını yapmaktır. Yapılan bu yolların her durumda kullanılabilir olduğundan emin olup bakımını ve onarımını yapmak amacıyla ülkenin kalkınmasına yardımcı olmaktır. Karayolları Genel Müdürlüğü, kendisine ayrılan bütçe ile karayolu yatırımlarını en verimli şekilde kullanması gerekmektedir. Bu sebeple fonksiyonel Üstyapı Yönetim Sistemlerine ihtiyaç duymaktadır.

Karayolları ağının geleceği hakkında zamanla güvenilir ve doğru tahminler yapabilen değerlendirmelere ihtiyaç duyulmuştur. Öyle ki bir karayolu ağı kullanıma açıldığı zaman mevcut durumu istenilen seviyededir. Fakat iklim ve trafik gibi nedenlerle karayolunun bozulmaya dayanma performansı zamanla azalmaktadır. Eğer ki bu bozulmalar belli bir seviyeye gelmeden bakım çalışmasına başlanırsa, düşük maliyetle üstyapı performansını uzatmak mümkün olmaktadır. Aksi takdirde kısa süre içerisinde yol ömrü bitmiş olacaktır. Bu amaçla performans tahmin modelleri geliştirilmiştir. Böylelikle gelecek yıllar için detaylı planlama ve kaynak ihtiyacı belirlenebilecektir.

Bir üstyapı sisteminin başarısı kullanıcılara en azami kaynakla en iyi yararı sağlayıp sağlayamaması ile ölçülür. Bunu gerçekleştirirken yeni kaynaklardan ve teknolojilerden

faydalanmak gerekmektedir. Elde edilen üstyapı sistemi her aşamada uygulanabilir ve kararlı olmalıdır. Bu amaçla ilgili yollar; yüzey bozuklukları, kayma direnci, seyir konforu gibi değerler, ekonomik olarak doğru ve hassas şekilde etüt edilmelidir. Ayrıca elde edilen veriler yolun mevcut durumunu da belirlemek amacıyla analiz edilmelidir. Bu analizler sadece kötü durumda olan yollar için değil aynı zamanda orta ve iyi durumda olan yolların düzgünlüğünü göstermek amacıyla da yapılmalıdır. Böylece yolların zamanla değişimindeki performansının tahmin edilebilme imkanı oluşacaktır. İyileştirme yapılması zorunlu olan yollarla beraber, gelecek yıllarda hangi yollarda çalışma yapılması gerektiği de belirlenebilecektir. Analizleri yapılan yollar için en uygun iş programının belirlenmesi için iyileştirme stratejilerinin seçimi olmazsa olmaz bir zorunluluktur. Bu amaçla yapılması gereken yollara uygun yöntemi bulmak ve ne zaman müdahale edilmesi gerektiğini ortaya koyan iyileştirme programı elde edilmelidir.

Üst Yapı Yönetim Sisteminin ilk olarak yaptığı durum değerlemeleri performans tahmin faktörü içermiyordu. İlerleyen zamanlarda sadece üst yapının yaşı gibi bir etkene bağlı en basit düzeyde üstyapı performans tahmin modeli geliştirildi. Şu an uygulanan modellerde iklim durumu, trafik yükü gibi değişkenlere ait veriler kullanılarak farklı performans tahmini yapılmaktadır. Ayrıca mekanik prensiplerle çalışan modellerde mevcuttur. Yapay zekâ yöntemleriyle uygulanacak olan modeller ise geleceğin beklentilerindedir. Başarılı bir şekilde çalışacak olan Üst Yapı Yönetim Sistemleri için yalnız inşaat mühendisleri değil sistem mühendisleri, bilgisayar mühendisleri, finans uzmanları, ekonomistler gibi farklı birçok alandan işin uzmanlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Kulkarni & Miller, 2003).

Yapay zeka ile doğadaki canlıların akıllıca olan davranışları insan zekası taklit edilerek yapay olarak canlandırılmaktadır (Akt. Nabiyev 2012). İnsan beynini model olarak çalışan bu sistemler topladıkları verilerle sonuç üretip aldıkları sonuçlara göre kendilerini iyileştirebilmektedir. Özet olarak yapay zeka insan zekasının modellenerek makinelere aktarılması olarak tanımlanabilir. Bu kapsamda makine öğrenimi yapay zekanın bir evresidir. Başlıca yapay zeka teknolojileri uzman sistemler, bulanık mantık, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları ve makine öğrenmesi gibi tekniklerdir (Öztürk & Şahin, 2018). Günlük hayatta farklı alanlarda kullanıldığı gibi tahmin, sınıflandırma, kümeleme yapmak amacıyla da yapay zeka teknikleri kullanılmaktadır.

Makine öğrenmesi ile veri yığınlarından tahmin etmeye ve karar vermeye yardımcı olmak için kendi kendine öğrenen algoritmalar ve matematiksel modeller oluşturulmaktadır (Taburoğlu, 2019). Genellikle tahmin ve sınıflandırma yapan birçok makine öğrenmesine dayalı algoritmalar bulunmaktadır. Makine öğrenmesi alanında bu algoritmalar için sıklıkla tercih edilen uygulamalarda veri ön işleme, regresyon, sınıflandırma, gruplandırma, özellik

seçimi gibi kütüphanelere rahatlıkla erişilebilmektedir. Bu amaçla tahmine dayalı üstyapı performans değerlendirmelerini bu platformlarda geliştirmek mümkündür.

Makine öğreniminin uygulanması kapsamında birçok ticari ve açık kaynak kodlu programlar mevcuttur. Bu çalışmada Weka ve Matlab uygulamaları tercih edilmiştir. Makine öğrenmesi ve istatistik ile ilgili pek çok kütüphane hazır olarak gelmektedir. Veri ön işleme, regresyon, sınıflandırma, gruplandırma özellik seçimi gibi kütüphanelere erişilebilmektedir.

Literatürde birçok üstyapı yönetim sistemi geliştirilmiştir. Üstyapıların performans göstergesi olarak kullanılan farklı değerlerle üstyapı bozulma tahmin modelleri geliştirilmiştir. Veriler elde edilirken gerçek veriler kullanıldığı gibi sentetik verilerin kullanıldığı modellerde bulunmaktadır. Gerçek veriler Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yaptığı ölçümlerdir. Sentetik veriler ise Federal Karayolları İdaresinin Uzun Dönem Kaplama Performans Programı (Long Term Pavement Performance) LTPP kapsamında ABD ve Kanada'daki hizmet testi bölümlerinden toplanılan verilerdir.

Bu tez çalışması ile üstyapı yönetim sistemi için üstyapı performans modelleri geliştirilmiştir. Modellerin girdisi olarak üzerinde araştırma yapılan yollardaki bozulmalara sebep olan etkenlerden trafik ve iklim verileri, üstyapı kalınlığı gibi veriler incelenmiştir. Üstyapı performansına etki eden bu verilerin korelasyon matrisi ile birbirleri ile olan ilişkisi araştırılmıştır. Bu sayede, performans göstergesi olan IRI değişkeninin bozulmaya etki eden değişkenlerden hangisiyle daha yakından ilişkili olduğu korelasyon katsayısına bakılarak ortaya çıkarılmıştır. Üstyapıların performans göstergesi olarak kullanılan değerlerden uluslararası düzgünsüzlük indeksinin (IRI) verileri toplanarak değerlendirilmiştir. Performans tahmin modellemesinde iki farklı veri setlerinden faydalanılmıştır. İlk veri seti olarak Hergüner (2009)'dan elde edilen gerçek otoyol ölçümleridir. İkinci veri seti olarak ise sentetik veriler olan LTPP verileridir. Bu veriler Weka ve MATLAB programları kullanılarak analiz edilmiştir. Düzgünsüzlük değeri olan IRI değerinin tahmini için Regresyon analizi, yapay sinir ağları ve sınıflandırma yöntemlerinden olan karar ağaçlarından faydalanılarak üstyapı performans tahmin modelleri geliştirilmiştir. Oluşturulan modellerin çıktı değeri olan IRI değeri gerçek değerlerle kıyaslanıp yakın sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen modellerin performansları R, RMSE, MAE değerleriyle gösterilmiştir.

Bu tez çalışması, ülke kalkınmasında Karayolları Genel Müdürlüğüne sağlayacağı tahminler açısından önemlidir. Bu tahmin modellerinin düzgün ölçülmüş gerçek verilerle hassas şekilde yapılması, üstyapı bozulmalarının doğru tahmin edilmesine ve bakım onarım için ayrılan bütçenin en optimum bir biçimde belirlenmesine/kullanılmasına katkı sağlayacaktır. Böylece yatırımların daha anlamlı yapılmasını sağlaması yadsınamaz bir

gerçektir. Araştırma bulgularının sektördeki bilgi birikimine katkı sağlayacağı ve birimlere faydalı bilgiler sunacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın geri kalan kısmı aşağıdaki şekilde organize edilmiştir:

İkinci bölümünde bu çalışmasıyla alakalı olabilecek kaynakların araştırılması sonucu elde edilen bilgilere yer verilmiştir. Üstyapı performansları ve kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümünde materyal ve yöntemler açıklanmıştır. Materyal olarak üstyapı ve özelliklerinden bahsedilmiş olup yöntem olarak ise yapay zekâ ve makine öğrenmesi yöntemlerinin detaylarına yer verilmiştir. Kullanılan yöntemler ise bulanık mantık, yapay sinir ağları, regresyon yöntemlerinden basit ve doğrusal regresyon modelleri, sınıflandırma modellerinden ise karar ağaçları ve karar destek algoritmaları kullanılmıştır.

Dördüncü bölümde ise bahsedilen yöntemlerin Weka analizi sonucu araştırma bulguları gösterilmiştir. Performans tahmin modellerinden bahsedilerek çıkan sonuçlar ve hata oranlarına detaylıca yer verilmiştir. Tüm performans modellerinin karşılaştırması yapılmış olup en iyi modele karar verilmeye çalışılmıştır.

Tezin son bölümünde sonuçlar ve bundan sonra yapılabilecek çalışmalar/öneriler yer almıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kullanılabilir bir üstyapı yönetim sistemi için performans tahmin yeteneği yüksek olan bir üstyapı performans modeli olmalıdır. Yüksek performans ve doğrulukta çalışabilen bir model için uygun modelleme tekniği, yeterli değişken sayısı, veriler elde edilirken kullanılan ölçüm aletlerinin doğruluğu oldukça önemlidir. Yetkili mercilerin karar mekanizmasında yalnızca doğru tahmin yapabilen üstyapı performans modelleri etkilidir. Bu düşünce ile geliştirilen geçmişten günümüze literatürde birçok üstyapı yönetim sistemi yer almaktadır. Çalışmalarda kullanılan teknikler, verilerin özellikleri ve performans kriterlerinin değişkenlik gösterdiği gözlemlenmektedir.

(Lytton, 1987) yaptığı çalışmada üstyapı performans tahmini ve modelleme kavramlarından detaylıca bahsetmiştir. Performans tahmin modellerini sınıflandırarak modellerde kullanılan yöntemlerin özelliklerini açıklamıştır.

(Ramaswamy & Ben-Akiva, 1990) yaptıkları çalışmalarında üstyapının bozulmasını tahmini için geleneksel yöntemleri kullanarak üstyapı verilerinden faydalanmışlardır. Bu geleneksel yöntemleri özetleyerek karşılaştırmalarını yapmışlardır.

(Otto & Ariaratnam, 1999) çalışmada performans ölçüm sistemlerinin özelliklerinden bahsederek karayolu bakımı için bu özelliklerin uygulandığı örneklerden bahsetmişlerdir.

Araştırmacılar mevcut üstyapı performansını gösteren üstyapı durum indeksi(Pavement Condition Index) PCI, uluslararası düzgünlük indeksi (IRI), üstyapı servis indeksi (Pavement Serviceability Index) PSI gibi değerlerin ilerleyen zaman içerisindeki kötüleşmesini tahmin edebilecek modeller geliştirmeye çalışmışlardır. Yapılan çalışmalarda çoğunlukla üstyapıların mevcut değerlendirilmesinde uluslararası düzgünlük indeksi (International Roughness Index) kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bahse konu olan bu indeksler yapılan araştırmalarda da görüldüğü üzere birinin diğerinden daha etkili olması gibi bir ibare ile karşılaşılmamaktadır. Hatta araştırmacıların birden çok indeksi birlikte kullandığı çalışmalara da rastlanılmıştır.

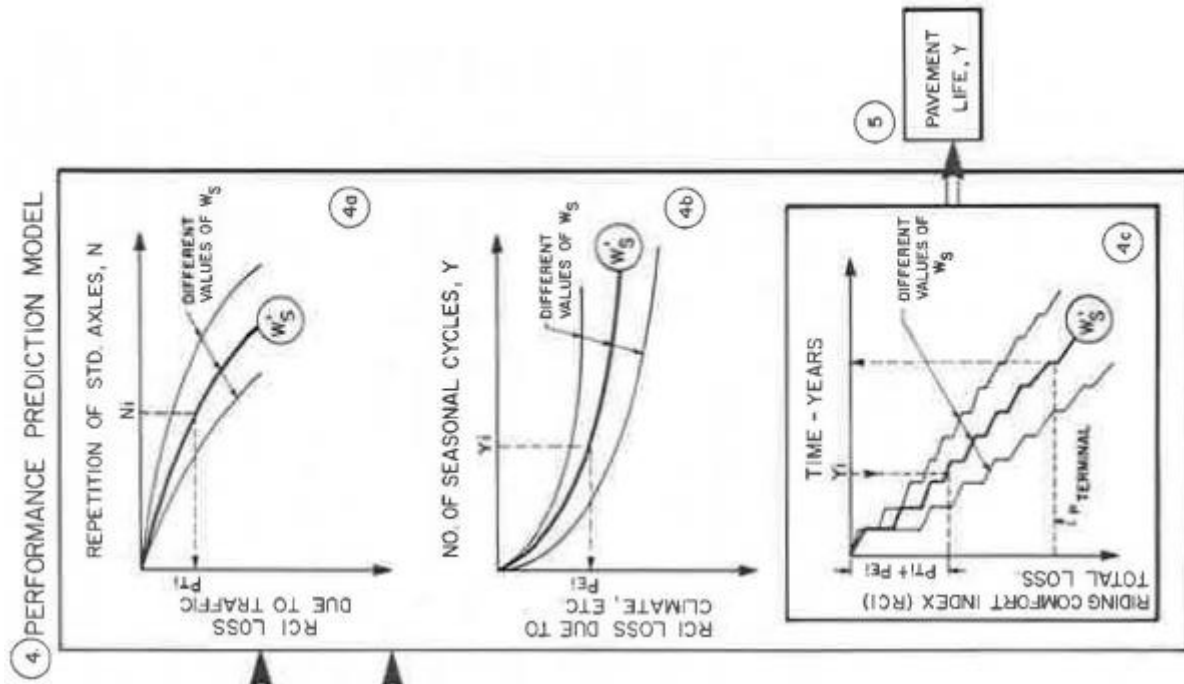
(Shahin et al., 1984) ise üstyapı performans tahmini için Üstyapı Durum İndeksi (PCI) adıyla geliştirdikleri modeli Amerika'daki bir havaalanından elde ettiği verilerle oluşturmuşlardır. Diğer ilgili modellerle kıyaslayarak en iyi sonuca ulaştığını göstermişlerdir.

(İyınam, 1997) yaptığı çalışma ile üstyapı yönetim sistemini tanımlayarak bu sistemin teknolojik sürecine değinmiştir. Türkiye'deki mevcut üstyapı yönetim sisteminin planlanması ve yürütülmesi hakkında bilgi vermiştir. Uluslararası Düzgünlük ölçüm (IRI) değeri yapılan

18 bölgeyi trafik ve sıcaklık değerleriyle birlikte ele alarak üstyapı performans modellemesi önermiştir.

Yine literatür taramasında araştırmacıların bahsedilen PCI, PSI, IRI gibi indekslerin zamanla değişiminin tahmini için birden fazla değişkenleri modellerinde girdi olarak kullanmışlardır. Araştırmalarda bahsedilen bu değişkenlerden bazıları çevresel faktörler, üstyapının tabaka kalınlığı, üstyapının yaşı, üstyapı çatlakları, yamaları ve deformasyonları, tekerlek izi derinliği, trafik yükleri gibi parametrelerdir. Fakat bazı çalışmalarda kurulan modellerde bağımsız değişkenlerin sayısı çoğaldıkça veri güvenilirliğinin azaldığı görülmektedir. (Haas & Hudson, 2015) Parametrelerden en önemli olanların ise üstyapının yaşı, trafik yükü, çevresel faktörlerden olan sıcaklık ve yağışı gösteren değerlerin etkili olduğu bilinmektedir.

(Jung et al., 1976) çalışmalarında üstyapının bozulmasında iki önemli etkenin trafik yükü ve çevre koşulları olduğunu kabul ederek bu değerlerin etkisini sürüş konforu indeksi (Riding Comfort Index) RCI ile tanımlamak için trafiğe ve iklime bağlı ayrı iki model geliştirmişlerdir. Bu modelleri sonradan üstyapının ömrünü yıllara göre tahmin yapan farklı bir model ile birleştirmişlerdir.



Şekil 2.1: Performans Tahmin Modeli

(Moavebzadeh, 1976) yaptığı model çalışmasında hizmet yeteneği tahmini için bozulmaya sebep olan deformasyon ve çatlakları kullanmıştır. Sonuç olarak bir hasar formülasyonu elde edip üstyapının bakımına ışık tutmaya çalışmıştır.

Sonuç olarak anlatılan bu parametrelerin üstyapı değerlendirme indeksleriyle aralarındaki ilişkiyi belirlemenin modelin kullanılabilirliği açısından ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda üstyapı verileriyle üstyapı modelleri oluşturulurken farklı teknikler kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmiştir. Çalışmalarda da bahsedildiği gibi birden fazla değişkenin bulunması ve bu değişkenlerden bazılarının sayısal bir karşılığı olmaması nedeniyle araştırmacılar sıklıkla yapay zeka tekniklerine başvurmuşlardır. Verilere karşılık sağlaması amacıyla sözel verileri sayısallaştırmaya yardımcı olan bulanık mantık, yapay sinir ağları ve ikisini de kapsayarak çalışan ANFIS'ı kullanmayı tercih etmişlerdir. Literatürde kullanılan tekniklerden bazıları aşağıdaki şekilde sınıflandırılmış olup örneklerine yer verilmiştir.

- S şekilli eğriler
- Markov Zinciri
- Naive Bayes
- Genetik Algoritmalar
- Regresyon
- Bulanık Mantık
- Yapay Sinir Ağları

S şekilli eğriler

(Riggins et al., 1985) yaptıkları çalışmada bozulma tiplerinden olan tekerlek izi, enine ve boyuna çatlaklar, timsah sırtı çatlağı verileri ile üstyapı hizmet yeteneği indeksini kullanarak geliştirdikleri modelde S şekilli eğrilerden faydalanmışlardır.

(Pan et al., 1999) Çin'de kullanmak üzere geliştirdikleri ağ düzeyinde üstyapı yönetim sisteminde üstyapı durum indeksi (PCI), üstyapı kalite indeksi olan (PQI) ve sürüş konforu indeksi (RCI) değerlerinden yararlanarak üstyapı performans tahmini için S şekilli eğrileri kullanmışlardır.

Markov Zinciri

(Lethanh & Adey, 2013) çalışmalarında üstyapı yüzey derinliği ve düzgünsüzlük indeksi değerlerini kullanmış olup markov yönteminden faydalanarak 4 farklı senaryo ile modellerinden bahsetmişlerdir.

Naive Bayes

(Park et al., 2008) üstyapı bozuklarından olan boyuna çatlakları tahmin etmek amaçlı yapılan bu çalışmada az sayıda gözlemlerin olması ve boyuna çatlakların büyük değişkenlik göstermesi sebebiyle bayes yaklaşımından faydalanmışlardır.

Genetik Algoritmalar

(Chootinan et al., 2006) üstyapı kaplama bozuklukları için çok yıllık üstyapı bakım onarım planlaması yapmışlardır. Bu planlamayı yaparlarken simülasyon tabanlı genetik algoritma kullanmışlardır.

Regresyon

(Colucci-Rios & Sinha, 1985) çalışmalarında, gelecekteki düzgünsüzlük seviyelerini tahmin etmek düzgünsüzlük ölçümlerine dayalı regresyon denklemleri geliştirmişlerdir. Ayrıca farklı bütçe senaryolarının etkisini analiz etme kabiliyetine sahiptir. Önümüzdeki 5 yıllık dönemde Indiana'da optimal bir yüzey yenileme programı gerçekleştirmek için düzgünsüzlük ölçümleri ve trafik değerlerinden faydalanıp her eyaletler arası yol ve kaplama tipi kombinasyonu için düzgünsüzlük ölçümlerine dayalı regresyon modelleri geliştirmişlerdir. İklim ve yüzey koşullarının etkisini içeren daha karmaşık bir model ise başka model ile açıklamışlardır.

(Gulen et al., 2001) düzgünsüzlük değerinin tahmini için Indiana eyaletinin üstyapı yaşı ve yıllık ortalama günlük trafik değerlerine bağlı olarak bir regresyon modeli geliştirmişlerdir. Oluşturdukları modelin regresyon katsayısı 0.50 civarındadır.

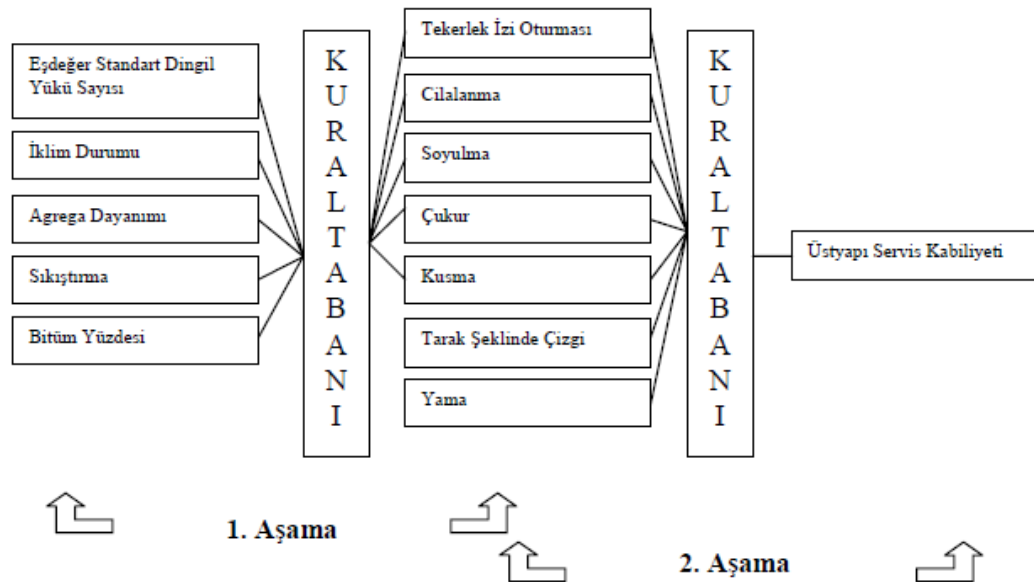
(Prozzi & Madanat, 2003) üstyapı performansına etki eden trafik değerleri, üstyapı özellikleri ve çevre şartlarına bağlı bir nonlinear regresyon modeli geliştirip mevcut linear regresyon modellere göre yarı yarıya olduğunu açıklamışlardır.

(Salem et al., 2003) üstyapı bozulma modelleri geliştirmek için yalnızca IRI değerlerini kullanarak nonlinear regresyon modelleri olan sigmoid bir model geliştirmişlerdir. Model gözlemlenen verilerin % 85'i kullanılarak geliştirilmiştir. Verilerin geri kalanı model doğrulamalarında kullanılmıştır. Her model için regresyon katsayısı ve ortalama mutlak hata hesaplanıp uygun değerlere ulaşmışlardır.

(Chen & Zhang, 2011) New Mexico verilerinin kullanılarak yapıldığı farklı modellerin karşılaştırmalarını yaparak regresyon teknikleriyle daha etkili bir model geliştirmişlerdir.

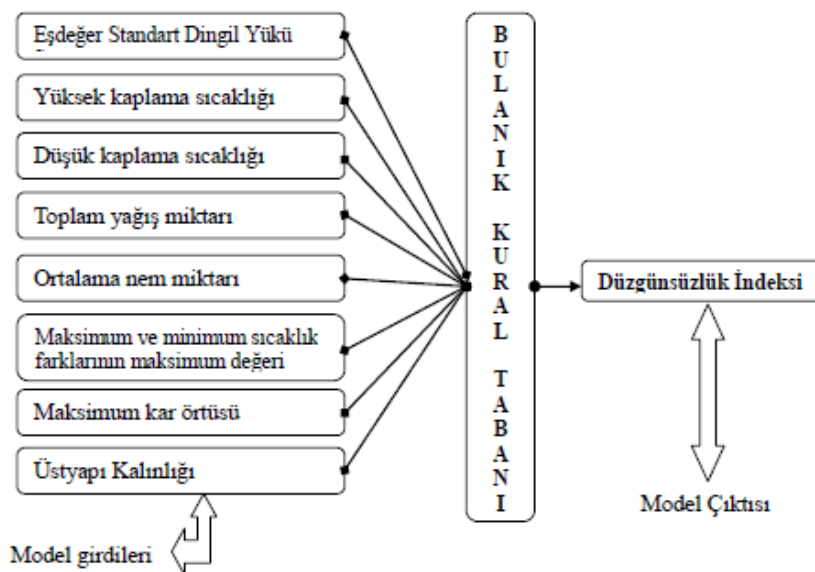
Bulanık Mantık

(Terzi, 2004) üstyapı performansına etki eden yüzey bozukluklarına bağlı bir bulanık mantık modeli geliştirilip olup modelin genel yapısı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Modelin çıktı değeri olarak üstyapı servis kabiliyetini belirlemiştir.



Şekil 2.2: Bulanık Mantık Modeli

(Hergüner, 2009) üstyapı performansına etki eden trafik değerleri, üstyapı özellikleri ve çevre şartlarına bağlı bir bulanık mantık modeli geliştirmiştir. Modelin çıktı değeri IRI değeridir.



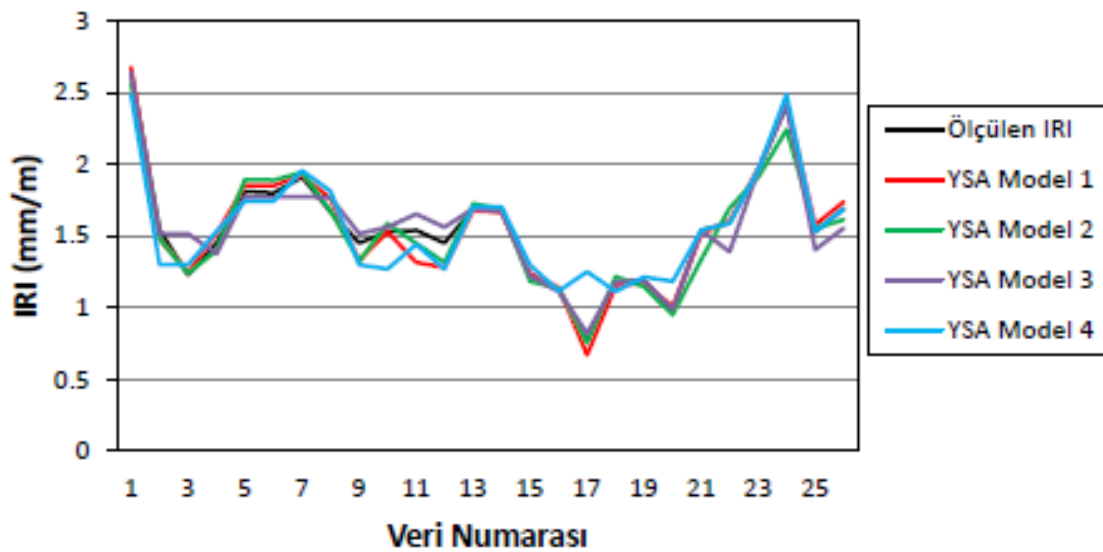
Şekil 2.3: Bulanık Mantık Modeli

Yapay Sinir Ağları

(MOROVA et al., 2013) üstyapı performansına etki eden trafik değerleri, üstyapı özellikleri ve çevre şartlarına bağlı bir farklı yapay sinir ağı modelleri geliştirmiştir. Modele ait R^2 , SSE, RMSE değerleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Regresyon modellerinin R, MAE, RMSE değerleri

İstatistik				
	R^2	SSE	Düzeltilmiş R^2	RMSE
Eğitim Seti	0.976	0.1257	0.9712	0.07237
Test Seti	0.951	0.02316	0.947	0.06806
Eğitim Seti	0.962	0.1545	0.9603	0.08023
Test Seti	0.955	0.02226	0.949	0.06672
Eğitim Seti	0.9443	0.2257	0.942	0.09697
Test Seti	0.9614	0.03068	0.9536	0.07834
Eğitim Seti	0.8652	0.5457	0.8596	0.1508
Test Seti	0.954	0.0365	0.9448	0.08544



Şekil 2.4: Gerçek IRI-YSA sonucu IRI karşılaştırması

Çizelge 2.2: Literatür Özeti

Kaynak	Teknik	Amaç	Veri seti	Performans
(Riggins et al., 1985)	S şekilli eğriler	PSI	Tekerlek izi, enine boyuna çatlaklar, timsah sırtı çatlağı	-
(Pan et al., 1999)	S şekilli eğriler	-	Üstyapı durum indeksi PCI, Üstyapı Kalite İndeksi PQI, Sürüş Konforu İndeksi RCI	-
(Lethanh & Adey, 2013)	Markov Zinciri	-	Üstyapı Yüzey Derinliği Düzgünsüzlük İndeksi (IRI)	-
(Park et al., 2008)	Naive Bayes	Boyuna Çatlakları Tahmin etme	Üstyapı Bozuklukları	-
(Chootinan et al., 2006)	Genetik Algoritmalar	Bakım Onarım	Üstyapı kaplama bozuklukları	
(Colucci-Rios & Sinha, 1985)	Regresyon	IRI	Trafik verileri	-
(Jahren et al., 1998)	Regresyon	Performans	Sürüş Puanı, Üstyapı Durum indeksi	
(Gulen et al., 2001)	Regresyon	IRI	Indiana eyaletine ait üstyapı yaşı ve ortalama günlük trafik değeri	R

Kaynak	Teknik	Amaç	Veri Seti	Performans Kriteri
(Salem et al., 2003)	Nonlineer Regresyon	IRI	IRI	R, MAE
(Chen & Zhang, 2011)	Regresyon	IRI, PSI	New Mexico üstyapı yaşı ve trafik değerleri	R^2
(Terzi, 2004)	Bulanık Mantık	PSI	Yüzey çatlakları	
(Hergüner, 2009)	Bulanık Mantık	IRI	Üstyapı durumu, trafik ve iklim verileri	RMSE
(Moazami et al., 2011)	Bulanık Mantık	Bakım Onarım	Bütçe, Trafik, PCI	-
(Pan et al., 2011)	Bulanık Mantık	Performans	PSI	
(Karaşahin & Terzi, 2014)	Bulanık Mantık	FPSI	PSI, yüzey çatlakları ve deformasyonlar	R, R^2 , MAE, MSE,
(Attoh-Okine, 1999)	Yapay Sinir Ağları	Performans	Üstyapı durumu, trafik verileri	R, R^2 , SE
(Parvini, 2002)	Yapay Sinir Ağları	IRI	Üstyapı yaşı, trafik verileri	-
(Yang et al., 2003)	Yapay Sinir Ağları	PCR	Üstyapı yaşı ve yıllara göre yüzey çatlağı	R^2 , AAE, RMSE,
(MOROVA et al., 2013)	Yapay Sinir Ağları	IRI	Üstyapı durumu, trafik ve iklim verileri	R^2 , SSE, RMSE

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Üstyapı Yönetim Sistemi

Üstyapı yönetim sistemi 1960'lı yıllarda mühendislik kuralları çerçevesinde ilk olarak AASHO Road Test ile başlamıştır. 1914 yılında kurulan AASHO (American Association of State Highway Officers) Amerikan Devlet Karayolları Görevlileri Birliği 1973 yılında AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officers) olarak adını değiştirmiştir. Tüm ulaşım türlerini kapsaması açısından isim değişikliğine gidilse de halen sadece karayollarına özgü faaliyetler geliştirmektedir. AASHTO 1958-1960 yıllarında Aashto yol testinden faydalanarak Üstyapı yönetim sistemi için yönergeler (Guidelines for Pavement Management Systems) isimli rehberi yayınlamıştır.

Asshto yol testi uygulanırken üstyapıların mevcut hizmet yeteneği esas alınmaktadır. Fakat o yıllarda mevcut hizmet yeteneğini ölçmek ve sürüş konforunu tahmin etmek önemli bir sorundu. Bu soruna çözüm olarak yolu kullanan bir grup sürücüler yolun sürüş kalitesini kendi gözlemlerine göre belirlemişlerdir. Bu yöntemle göre sürücüler değerlendirmeleri 0-5 arasında (çok kötü, kötü, orta, iyi, çok iyi) bir değer ile ifade etmişlerdir. Bu mevcut hizmet yeteneği indeksi (PSI) formu aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Terzi, 2004).

Kabul edilebilir?			5		Çok İyi
Evet			4		İyi
Hayır			3		Orta
Kararsız			2		Kötü
			1		Çok Kötü
			0		
Bölüm Tamını.....Oranda					
Puanlayıcı.....Tarih.....Zaman.....Araç.....					

Şekil 3.1: Üstyapı Hizmet Yeteneği İndeksi Formu

Çalışmaların devamında ise mevcut hizmet değerlendirilmesi yapılan bu yolların fiziksel ölçümleri yapılmıştır. Bu fiziksel ölçümler; üstyapı düzgünlüğü, çatlaklar, oyuklar ve tekerlek izi gibi bozulmalar olarak sıralanmaktadır. Çalışmaların sonucunda yapılan fiziksel ölçümlerle mevcut hizmet değerlendirmesi arasındaki ilişkiye bakılarak yüzey profili ve düzgünlük bilgisinden üstyapı hizmet yeteneği hakkında %95 civarında bir doğrulukla bilgi vereceği gözlemlenmiştir. Diğer etkenlerden olan çatlak, tekerlek izi değerlendirmeler istatistiksel olarak önem arz etse de tahminlere olan etkisinin oldukça az olduğu görülmüştür (Cary, 1960).

En çok kullanılan üstyapı tasarım metotlarından biri Aashto metodudur. 1972-1986-1993 yıllarında rehberlerde yapılan revizeler ile tasarım metotları tekrar düzenlenmiştir. Ülkemizde ise 1986 yılında yayımlanan dizayn metodu kullanılmaktadır.

1980li yıllara gelince Üstyapı yönetim sistemini geliştirmek amaçlı birçok çalışmalar yapılmıştır. 1980 yılında Arizona’da ilk ulusal üstyapı yönetim sistemi çalışması yapılmıştır (Finn, 1998). 2022 yılında Uluslararası 11.“International Conferences on Pavement Management” adlı konferans gerçekleştirilecektir. Başlarda sadece Arizona, California, Idaho, Utah, Washington olmak üzere 5 bölgede üstyapı yönetim sistemi kullanılmaktayken şimdilerde Türkiye dahil 50’yi aşkın bölgede üstyapı yönetim sistemi çalışmaları yapılmaktadır.

Yol ağı ülkeler arasında gelişmişlik düzeyinin göstergesi olarak bilinmektedir. Ülkemizde genellikle ulaşım karayolu ağı ile sağlanmaktadır. Bir yol ağının projesi, planlamadan başlayıp yolun tasarımı, inşa edilmesi ve yolun hizmet ömrü boyunca gereken bakım onarım uygulamalarının tamamını kapsamaktadır. Üstyapı yönetim sistemi en geniş anlamda bu süreçleri gerçekleştiren sistematik bir yaklaşımdır. Hizmete açılan karayollarının performansı ilk zamanlarda oldukça yüksektir. Fakat trafik, iklim koşulları gibi etmenler sebebiyle yolun performansı azalmaktadır. Bozulan bu yollar ülkelerin ekonomisini dolaylı veya direkt olarak etkilemektedir. Şöyle ki üstyapı performansı belirli bir seviyeye gelmeden bakım onarıma gidilirse düşük maliyetle üstyapı performansı istenilen seviyeye getirilebilmektedir. Fakat hiçbir bakım onarım çalışması yapılmaz ise yolun ömrü kısa bir sürede bitecektir. Ülkemizde yolların bakım onarımı için ayrılan bütçe oldukça kısıtlıdır. Bu yüzden var olan bütçe ile öncelik sırası belirlenerek zamanında bakım çalışması yapılmalıdır. Bakım onarım çalışmalarının planlanması ve programlanması için Üstyapı yönetim sistemi kullanılmaktadır.

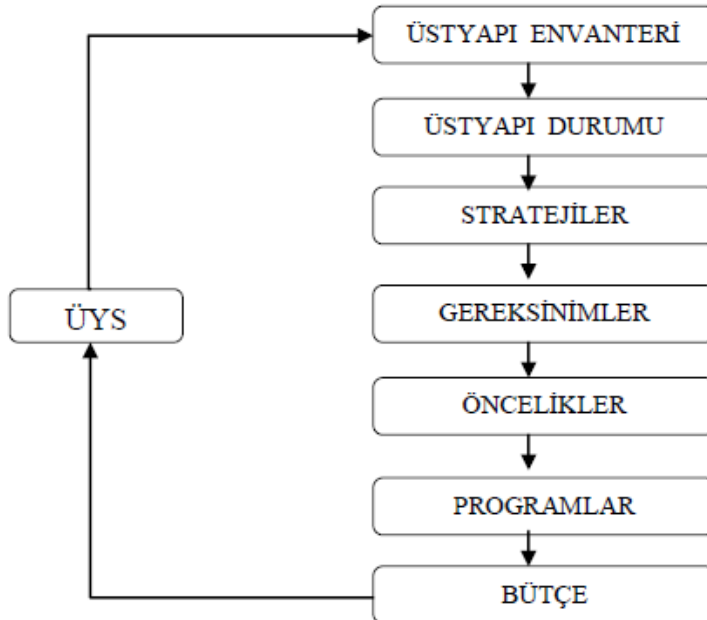
Üstyapı yönetim sistemleri ile bir yol ağının durum değerlendirilmesi yapıp mevcut durumuna göre bakım onarım için yapılması gerekenler belirlenmektedir. Üstyapı yönetim sistemi sayesinde kısıtlı bütçe ile en iyi bakım onarım programları düzenli ve zamanında oluşturulmaktadır. Bu bakım onarım planlamasının tasarımı, yapımı ve periyodik olarak performans ölçümleri gibi oldukça geniş uygulamalarda üstyapı yönetim sistemini kapsamaktadır.

Bir üstyapı sisteminin başarısı kullanıcılara en azami kaynakla en iyi yararı sağlayıp sağlayamaması ile ölçülür. Bunu gerçekleştirirken yeni kaynaklardan ve teknolojilerden faydalanmak gerekmektedir. Elde edilen üstyapı sistemi her aşamada uygulanabilir ve kararlı olmalıdır (Haas & Hudson, 2015).

Bir üstyapı yönetim sistemi aşamalar halinde gerçekleşmektedir. Öncelik olarak karayolu ağlarının düzgün bir şekilde değerlendirilmesiyle üstyapı yönetim sistemi başlamaktadır. Bu amaçla ilgili yollar; yüzey bozuklukları, kayma direnci, seyir konforu gibi değerler, ekonomik olarak doğru ve hassas şekilde etüt edilmelidir. Ayrıca elde edilen verilerin yolun mevcut durumunu da belirlemek amacıyla analiz edilmelidir. Bu analizler sadece kötü durumda olan yollar için değil aynı zamanda orta veya iyi durumda olanları da göstermek amacıyla da yapılmaktadır.

Yolların mevcut durumlarının periyodik olarak ölçülmesiyle yolların zamanla değişimindeki performansının tahmin edilebilme imkânı oluşacaktır. İyileştirme yapılması zorunlu olan yollarla beraber, gelecek yıllarda hangi yollarda çalışma yapılması gerektiği de belirlenebilecektir. Böylelikle üstyapı performansı olabildiğince istenilen seviyede tutulmuş olacaktır.

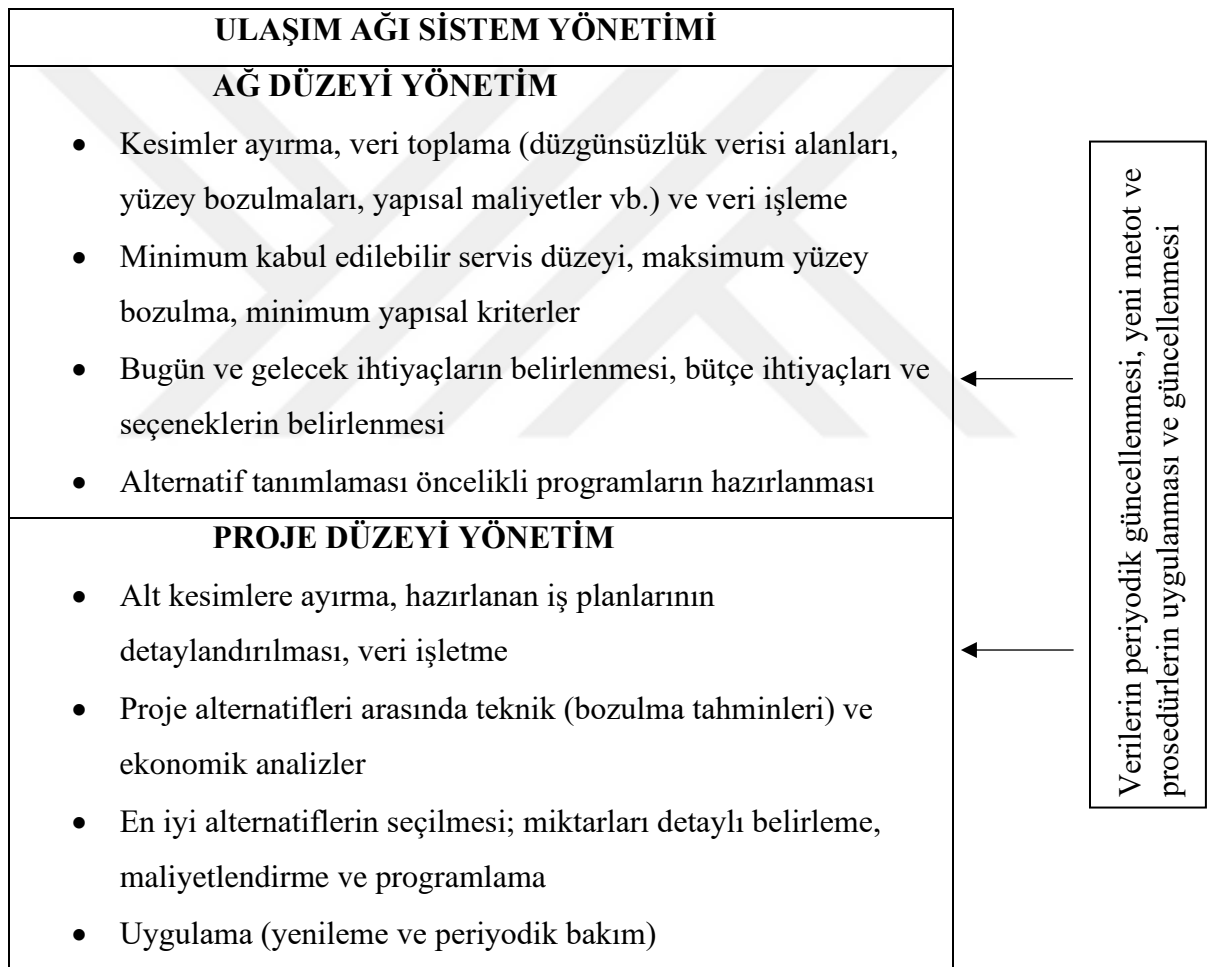
Üstyapı yönetim sistemi son aşama olarak artık iş programını oluşturup en uygun stratejiyi seçmelidir. Bu seçimi yaparken bakım onarıma ihtiyaç duyan yolları bulup en uygun yöntemle ne zaman müdahale edilmesi gerektiği ortaya koymalıdır. Analizleri yapılan yollar için en uygun iş programının belirlenmesi için iyileştirme stratejilerinin seçimi olmaz olmaz bir zorunluluktur. Bu amaçla yapılması gereken yollara uygun yöntemi bulmak ve ne zaman müdahale edilmesi gerektiğini ortaya koyan iyileştirme programı elde edilmelidir.



Şekil 3.2: Üstyapı Yönetim Sisteminin Temel Yapısı(Amekudzi & Attoh-Okine, 1996)

3.2. Üstyapı Yönetim Sisteminin Uygulanması

Üstyapı yönetimi ağ düzeyinde ve proje düzeyinde olmak üzere iki aşama da uygulanmaktadır. Üstyapı Yönetim Sistemi için bir nevi veri tabanı oluşturan ağ düzeyinde analiz mevcut durum değerlemesi yapıp planlama amaçlı kullanılır. Yapılması gereken yolların ayrıntılı projelendirilme yapılması içinse proje düzeyinde analiz yapılmaktadır. Şekilde ağ ve proje düzeyindeki adımlardan kısaca bahsedilmiştir (Kırbaş, 2007).



Şekil 3.3: Üstyapı Yönetim Sisteminin Temel Bileşenleri (Kırbaş, 2007)

3.2.1. Ağ Düzeyinde

Ağ düzeyinde üstyapı yönetim sistemi aşağıdaki aşamalar halinde gerçekleştirerek karar verici ve bütçe yöneticilerine ışık tutar. Bu yüzden üstyapı yönetim sisteminin en güçlü kısmıdır.

- Üstyapı envanteri ve mevcut durum
- Performans tahmini
- Bütçe tahmini
- Bakım ve onarım programı ve İş planlaması

Üstyapı envanteri ve mevcut durum

Üstyapı envanteri ve mevcut durumun belirlenmesinde öncelikle yol ağı belirlenip kesimlere ayrılır. Bu kesimlerde gerekli olan yol yüzey düzgünlüğü ve kayma direnci gibi değerler ağ düzeyinde analiz için oldukça önemlidir. Yine gerek olan defleksiyon ölçümleri, tabakalarda kullanılan malzemeler vb. değerler ikinci sırada yer almaktadır. Böylece kullanılan üstyapının basit haliyle yaşı, sınıfı, tipi, bölgesi gibi etkenleri içeren bir veri tabanı oluşmuş olur. Kullanıcılar bu sayede gerekli sorgulamaları yapabilir istatistiksel değerlendirme ve sonuçları rapor halinde alabilmektedir. Aktif kullanılan ve yoğun trafiğe maruz kalan yollar için bu verilere erişebilmek oldukça güç ve uzun zaman almaktadır. Bu sebeple bu verilerin dikkatli ve özeli bir şekilde toplanıp saklanması önemlidir. Üstyapı verilerinin ana başlıkları ve bileşenleri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Haas et al., 1994; Kırbaş, 2007).

Kesin Tanımlama	O+B		
Performansla ilgili veriler		Geometri ile ilgili veriler	
- Düzgünlük	O	- Kesim Boyutlandırılmaları	O
- Yüzey Bozulmaları	O+B	- Eğrilik	O
- Defleksiyonlar	O	- Enine eğim	O
- Sürtünme	O+B	- Boyuna eğim	O
- Tabaka Malzeme özellikleri	O	- Banket / Kurb	O+B
Önceki yıllara ait veriler		Çevre ile ilgili veriler	
- Bakım tarihi	O+B	- Drenaj	O+B
- Yenileme tarihi	O+B	- İklim	O
- Trafik	O+B		
- Kazalar	O+B		
İşletme politikası ile ilgili veriler		Harcamalar ile ilgili veriler	
- Bütçe	O+B	- Yenileme harcamaları	O
- Mevcut alternatifler (Onarım&Bakım)	O+B	- Bakım harcamaları	O+B
		- iyileştirme harcamaları	O
		- Kullanıcı harcamaları	O

O:Onarım için gerekli veriler

B:Bakım için gerekli veriler

Şekil 3.4: Üstyapı verilerinin temel sınıfları ve bileşenleri (Haas et al., 1994; Kırbaş, 2007)

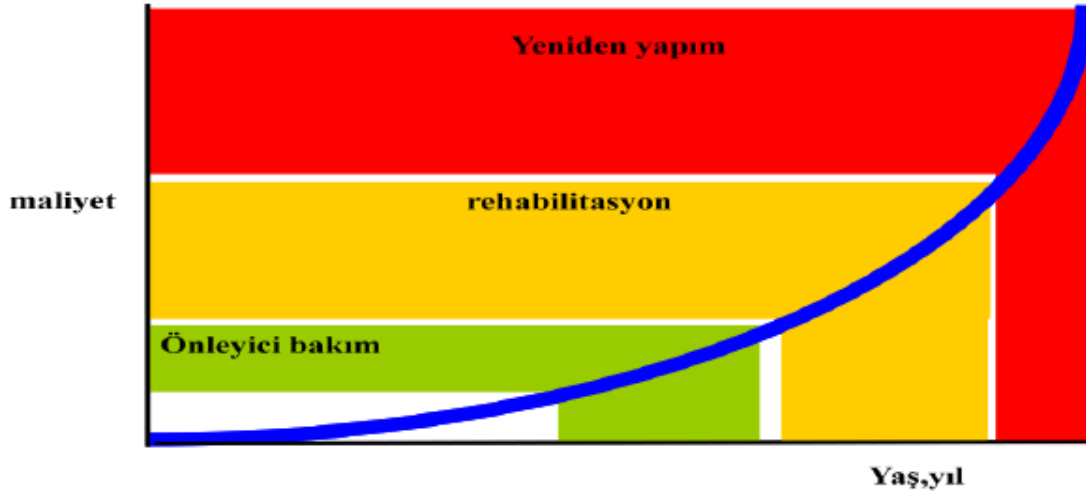
Çizelgede veriler sınıflandırılarak bakım ve onarım için kullandığı alanlar verilmektedir. İşletme politikası ve harcamalar ile alakalı veriler dışındaki veriler, üstyapı performansı ve analizi için sıklıkla kullanılan gerekli verilerdir. Tüm bu veriler ilgili merkezde titizlikle aynı formatta toplanıp saklanmalı ve kolay bir şekilde erişime açık olmalıdır. Özellikle geçmiş yıllara ait verilerin günümüz verileri ile birlikte değerlendirilmesiyle etkili tahminler yapılabilmektedir. Verilerin ağ düzeyinde ve proje düzeyinde kullanım amaçları değişmektedir (Haas et al., 1994). Çizelge sadece bu çalışmada kullanılan veriler yer almaktadır.

Çizelge 3.1:Üstyapı verilerinin kullanım amaçları (Haas et al., 1994; Kırbas, 2007)

Veri Cinsi	Ağ Düzeyi	Proje düzeyi
1.Performansla İlgili veriler		
Düzensizlik	<ul style="list-style-type: none"> • Mevcut durumu tanımları • Gelecek durumu tahmin etmede kullanılır. • Analiz ve programlama öncelikleri için temeller oluşturur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kalite garantisidir (imalatın kalitesini gösterir). • Bozulma eğrilerinin yaratılmasına yardımcı olur. Kaplama niteliğinin belirlenmesini sağlar.
2.Önceki yıllara ait veriler		
Trafik	<ul style="list-style-type: none"> • Programlama önceliğini belirlemede kullanılır. • Genel performans/ bozulma eğiliminin tahminine girdi teşkil eder. 	<ul style="list-style-type: none"> • Üstyapı tasarım için girdi olarak kabul edilir. • Trafik tahmin yöntemlerini tanımlamada kullanılır. • Kalan servis ömrünün tahminine yardımcı olur.
3. Çevre ile ilgili veriler		
İklim	<ul style="list-style-type: none"> • Ağın genel performans değerlendirilmesini sağlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kesimin genel performans değerlendirilmesinin yapılmasını sağlar

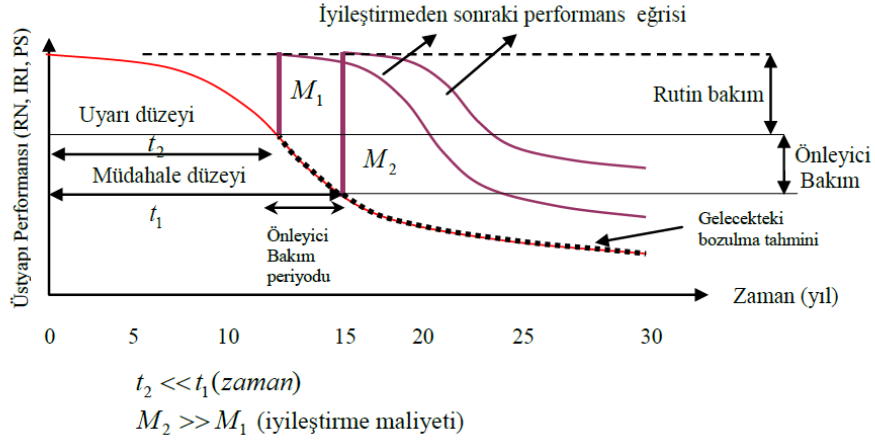
Performans tahmini

Performans modellemesi üstyapı yönetim sisteminin ömrünü, tasarımını ve finansal etkisini önemli derecede yönlendirir. Bu bakımdan ağ düzeyinde analizde olduğu kadar ve proje düzeyinde analizin de yapı taşlarıdır. Yolların performansını koruyabilmek için üstyapının performans ve bozulma tahminini en hatasız oranda bulabilmek gerekmektedir. Böylece aşamalı bozulmalar zamanla iyileştirme yapılmaz ise çok daha pahalıya mal olabilmektedir. Sınırlı bütçeye olan kazancı oldukça ciddidir.



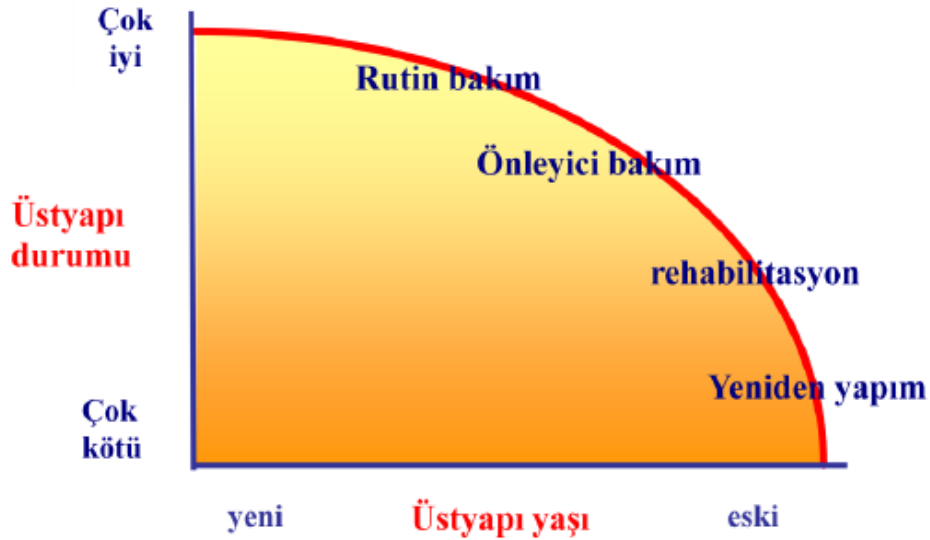
Şekil 3.5: Üstyapının zamana bağlı maliyet ve iyileştirme ilişkisi(Hergüner, 2009)

Herhangi bir yol kesiminin üstyapısının gelecekteki durumu aynı zamanda incelenemeyeceği için tahmin edilebilir olmalıdır. Performans eğrileri kullanılarak belirli bir zaman için bu tahmin yapılabilmektedir. Klasik bir performans eğrisi yolun gelecekteki bozulmasına göre bakım onarım zamanını göstermektedir. Bu eğri ile rehabilitasyon seçeneklerinin de etkisi görülmektedir.



Şekil 3.6: Üstyapı Performans Eğrisi (Hergüner, 2009)

Üstyapı yönetim sisteminin temel amacı en uygun bakım onarımı belirlemektir. Üstyapının ömrünü de etkileyen bu bakım stratejileri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Üstyapının zamana bağlı bozulma ve bakım ilişkisi (Hergüner, 2009)

Performans tahminini gerçek ölçümlerle kıyaslayabilmek için bazı kıyaslar belirlenmelidir. Bu ölçütler için şartnameler esas alınır. Böylece kalite garanti altına alınır. Örneğin IRI için minimum olması gereken değer 1,5 olarak kabul edilirse herhangi bir kesimde bu değer altında olduğunda bir bozulma olduğunu ve bakım onarım yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Şekilden de anlaşılacağı üzere uyarı zamanında yani t_2 de gerekli onarım yapıldığında çıkan maliyet m_1 artık müdahale edilmesi gereken zamanında yani t_1 de çıkan maliyetten m_2 den çok daha azdır.

Bir tahmin modeli oluşturmak için ihtiyaç olan bilgileri şu şekilde sıralayabiliriz (Haas et al., 1994).

- Veri tabanı (yapım tarihi, IRI değeri, PSI, RN, YOGT vb.)
- Bozulmada etkili olan parametreler
- Gerçek yol koşullarına uygun model seçilmesi
- Kıstasların belirlenmesi (PSI değeri 2,5 olduğunda onarım programına dahil etmek gibi)

Özetle veri tabanına sahip (yapım tarihi, IRI değeri, PSI, RN, YOGT vb.), bozulmayı etkileyen değişkenleri ve ölçütleri olan bir üstyapı mevcutsa bir tahmin modellemesi yapılabilmektedir. Regresyon modelleri, Lineer azalan tahmin modeli, En küçük kareler yöntemiyle polinom modeli, Markov modeli, Yapay zeka modelleri günümüze kadar kullanılan üstyapı performans tahmin modellerindedir.

Bütçe tahmini ve Bakım onarım programı

Gerekli yol ağlarına bakım onarım seçeneklerinin uygulanabilmesi için bütçe belirlenip gerekli yıllık ödenek talep edilmektedir. Bütçe tahminine göre farklı bakım onarım senaryoları üretilir. En geç yıl sonuna kadar gerekli ödenekler uygulanacak senaryolara göre belirlenmektedir. Bakım onarıma ihtiyaç duyan tüm yol ağlarına sınırlı bütçe nedeniyle ödenek ayrılmayabilir. Yeterli ödeneğin olmaması durumunda ise güçlü firmalarla kademeli yapım söz konusu olup birkaç yıla yayarak planlama yapılmaktadır. Bakım onarım programları kurum politikalarına göre dizayn edilmelidir. Farklı koşullara uygun birden fazla bakım onarım programları geliştirilmektedir.

3.2.2. Proje Düzeyinde

Bakım onarım için planlama yapılmadan önce proje düzeyinde analiz yapılmaktadır. Üstyapının mevcut durumunu gösterebilmek için ağ düzeyinde olduğu gibi düzgünlük ölçümleri ve kayma direnci ölçümlerinin yanında bunlardan farklı tahribatlı ve tahribatsız deneyler yapılmaktadır. Geçmiş veriler ile bu ölçümler değerlendirilmektedir. Duruma göre bu ölçümlerin hepsinin yapılıp yapılmayacağı değişmektedir. Daha çok teknik personelleri ilgilendiren bu aşama ile en iyi bakım onarım seçeneği belirlenmektedir. Proje düzeyinde analiz sonucu çıkan sonuçlar yol ağının RN ve IRI değerleri, bozulma tipi ve miktarına göre belirlenip yollara ayrılacak olan ödenekler belirlenmektedir.

Proje düzeyinde üstyapı yönetim sistemi aşağıdaki aşamalar halinde gerçekleştirilmektedir.

- Envanter veri tabanı
- Proje hazırlanması
- Bozulma tahmin modellemesi
- Maliyet analizi ve Bakım onarım

Üstyapı ağının performans yönünden sürekli izlenmesiyle üstyapı anlam kazanmış olmaktadır. Üstyapının özelliklerini izleyerek veya ölçerek üstyapının yapısal kapasitesi de belirlenmektedir. Bunu belirlemek için genellikle defleksiyon ölçümleri yapılmaktadır. Örneğin bu ölçümler ile tabaka kalınlığı verisi tekrar hesap işlemi kullanarak malzeme özelliğini belirlemek için kullanılmaktadır.

Tahribatsız Defleksiyon Testi üstyapının yapısal durumunu tespit etmede en çok kullanılan yöntemdir. Böylece yol üstyapı tabakasının değişken parametreleri belirlenmiş olmaktadır. Bu parametreler ile defleksiyon ölçüm sonuçları arasındaki bağlantıyı kurabilmek amacıyla geri hesaplama (back calculation) işlemi yapılmaktadır. Böylece üstyapı tabaka özellikleri belirlenmektedir. Birçok defleksiyon testi yapılabilir fakat tek başına veri toplamak ilişki kurulmadığı sürece yetersiz kalmaktadır. Üstyapı tabakasının özelliklerinin belirlenmesinin yanında üstyapının mevcut durumunu gösteren mevcut en güvenilir yöntem Tahribatsız Defleksiyon Testidir. Tahribatlı deneylerde üstyapı çıkarılarak ölçüm yapılıp üstyapıya zarar verdiğinden dolayı tercih edilmemektedir. Ayrıca tahribatlı deneylerdeki gibi trafiği durdurarak ölçüm yapılmamaktadır. Bu sebeplerden en güvenilir yöntem olarak tercih edilmektedir. Tahribatsız Defleksiyon Testinde kullanılan itmeli defleksiyon aleti “Düşen

Ağırlıklı Deflektrometre (Falling Weight Deflectometer)” basit ve hızlı olmasından dolayı esnek ve rijit üstyapılarda kullanılmaktadır.

Tahribatlı Deneyler ise Tahribatsız Defleksiyon Testi yapılmadan gerekli bilgilere ulaşmak veya Tahribatsız Defleksiyon Testinin sonuçlarına ek bilgi vererek üstyapı çözümlemesine yardımcı olmak amacıyla yapılmaktadır.

- Arazi Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Testi
- Dinamik Konik Penetrasyon Ölçer (DCP)
- Alttemel Reaksiyon Modülü (K)

Tahribatlı deney yöntemlerindedir.

Düzensüzlük bir üstyapının bozulmasında kullanılan en önemli değerdir. Kabaca düzensüzlük kavramı yolu kullananların sürüş kalitesi ve konforu tarafından memnun kalıp kalınmaması olarak tanımlanmaktadır. Bu memnuniyet sürücünün ya da yolcunun tahammülü, aracın özellikleri ve hıza bağlı olarak değişebilmektedir. Yapılan araştırmalar sonucu yüzey düzensüzlüğü yolların hizmet kabiliyetini büyük ölçüde etkilemektedir (Haas et al., 1994). Üç ayrı yüzey özelliği olarak enine, boyuna ve yatay düzensüzlük mevcuttur. Çeşitli sebeplerden dolayı bu düzensüzlükler şekillenmektedir. Örneğin trafik yükleri, iklim etkisi gibi nedenler boyuna düzensüzlüğe sebep olmaktadır. Bu yüzey bozulmaları aracın hem yanal hem düşey ivme oluşturmaya neden olmaktadır. Düşey ivme ile araç konfor kaybederken yanal ivme ile aracın yoldan sapması ve yalpalaması söz konusu olmaktadır.

Üstyapı düzensüzlüğüne aracın verdiği tepkiyi ölçebilmek için farklı deney aygıtları kullanılmaktadır. Fakat bu farklı deney aygıtlarının sonuçlarını ortak bir payda da toplayıp tek bir değere bağlanması kaçınılmaz olmuştur. 1970’lerden sonra bu deneyler dünyanın pek çok bölgesinde yapılırsa dahi farklı deneyler ve aletlerle ölçüm yapıldığı için ölçümler ortak bir unsur altında değerlendirelememiştir.

1982 yılında ise Dünya Bankası ortak bir ölçek ve bağlantı geliştirebilmek amacıyla Brezilyada deneysel bir çalışma başlatmıştır. Böylelikle tüm ölçümler tek bir indekse bağlı olarak değerlendirilebilecekti. Çalışmalar sonucu Uluslararası Düzensüzlük İndeksi (IRI-International Roughness Index) geliştirildi.

Türkiye’de asfalt kaplamalı yollar için kabul edilen yüzey düzensüzlük şartnamesi aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir (Sayers et al., 1986)

Çizelge 3.2: Asfalt kaplamalı yollarda düzgünsüzlük şartnamesi (Sayers et al., 1986)

DÜZGÜNSÜZLÜK DEĞERİ (IRI- m/ km)	DÜZGÜNSÜZLÜK SINIFLAMASI	SINIF	IRI DEĞERLERİNE GÖRE YAPILMASI GEREKENLER
0	Mutlak Mükemmel		Yeni veya yeni sayılabilen kaplama, bir süre için iyileştirmeye ihtiyaç duymaz.
0 - 0,71	Çok İyi	6	
0.72 - 1.11	İyi	5	İyi durumdaki kaplama yakın gelecekte iyileştirmeye ihtiyaç duymaz.
1.12 - 1.58	Orta - İyi	4	Trafiğe bağlı olarak yakın gelecekte iyileştirmeye ihtiyaç duyacaktır.
1.59 - 1.80	Orta	3	Kullanılabilirliğini sürdürebilmek için yakında onarım gerekir.
1.81 - 2.13	Kötü	2	Eski hizmet kabiliyetini kazanabilmesi için hemen iyileştirme gerekir.
> 2.13	Çok Kötü	1	Kaplamanın yenilenmesi gerekebilir.

Çeyrek taşıt sistemini kullanarak profil ölçümüne uygulanan IRI değerinin matematiksel olarak hesaplama prosedürü aşağıda açıklanmıştır (Morrow, 2006).

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^{L/S} |Z_s - Z_u| dt$$

IRI Düzgünsüzlük değeri m/km,

L profilin uzunluğu km,

S modellenen hızdır 80 km/h,

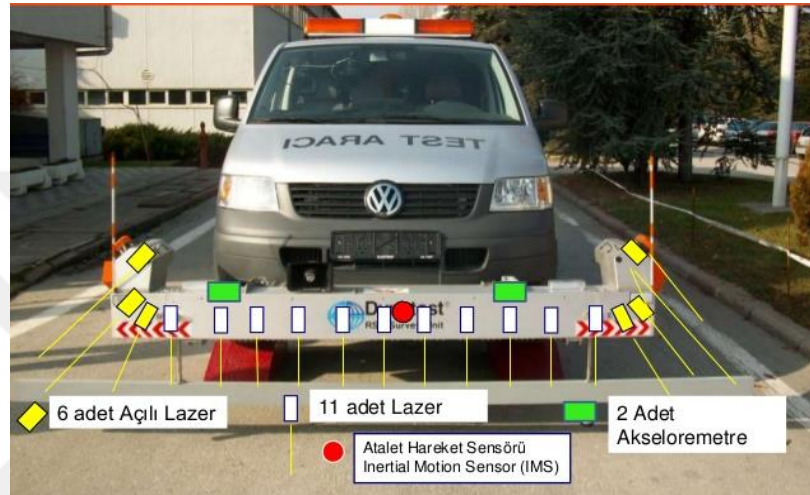
Z_s hareketli kütlenin yüksekliğinin zaman türevidir,

Z_u hareketsiz kütlenin yüksekliğinin zaman türevidir.

Üstyapı hizmet kabiliyetinin tahmini için yapılan düzgünsüzlük ölçümleri AASHO Yol deneyindeki Mevcut Hizmet Kabiliyeti İndeksi (PSI) değerinin geliştirilmesidir. Performans

parametresi olarak PSI kullanılırsa her bozulma tipi, farklı üstyapı durumu, trafik ve çevre koşulları altında değişebileceği için tercih edilmeye problem çıkarabilmektedir.

Kullanılan farklı deney aletleri zamanla yerini yüksek hızlı profil ölçme tekniklerine bırakmıştır. Mevcut kullanılan profil ölçüm aygıtları; Face Dipstick Yüzey okumalı yol profilometresi, TRRL Beam Static Profilometre, TRRL Lazer Profilometresi vb. Karayolları gibi ilgili kurumlar ve şirketler için daha uygun olan bu ölçümlerle ortaya profil özelliklerinin sürüş kabiliyetiyle bağlantısı araştırılmaya başlanmıştır.



Şekil 3.8: Profilometre aracı

Kayma Direnci ile üstyapının güvenlik açısından değerlendirilmesi yapılmaktadır. Araçların kontrolü, uçakların iniş aşamasındaki güvenliğini büyük oranda etkilemektedir. Üstyapı kuru olduğu zamanlarda lastikler ile arasında sürtünme oldukça fazladır. Fakat yağış olduğu zamanlarda kayma direnci düşük olup aracın patinaj veya durma mesafesi bir hayli zor olabilmektedir. Dolayısıyla sürücünün hakimiyeti bozulup üstyapının güvenliği tehdit edilmektedir. Uluslararası çalışmalar ile ortalama 1 km/saatlik hız artışı yaralanmalı kazalarda %3 lük bir artışa sebep olduğunu göstermektedir (Hergüner, 2009).

Kazaları azaltabilmek için kayma direnci verilerini toplamak oldukça önemlidir. Bu veriler ile aşırı kaygan yerleri belirleyerek üstyapıda az veya çok bozulma görülen alanların tespiti, bu alanların bakım ve onarımı değerlendirilirken kullanılmaktadır. Taşıt hızı, trafik, mevsim koşulları, üstyapı özellikleri, lastiğin özellikleri gibi parametreler kayma direncini etkileyen faktörlerdendir. Kayma direncini ölçebilmek için kilitli tekerlek modu, kayma modu, yalpa modu ve laboratuvar gibi yöntemler kullanılmaktadır.

3.2.3. Dünyada kullanılan Üstyapı Yönetim Sistemleri

Üstyapı Yönetim Sistemi kullanan Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development) OECD'ye üye ülkeler ve dikkate almış oldukları ölçütler aşağıda gösterilmektedir (Iyınam et al., 2010).

- Her ülke kendi koşullarına göre üstyapı yönetim sisteminin esaslarını belirlemiştir.
- Performans belirlemede tek bir değerlendirme indeksi kullanılmıştır.
- Üstyapının durumunu gösteren parametreler için en güncel teknolojilerden faydalanılmıştır.
- Üstyapı değerlemeleri için kullanılan parametreler; düzgünsüzlük, kayma direnci, yüzey bozulmaları, çatlama ve defleksiyon, tekerlek izi, trafik gibi değerlerdir.
- Müdahale düzeyleri belirlenirken tahmin modellerinden faydalanılmıştır.

OECD'ye üye ülkelerin üstyapı yönetim sistemleri hakkında özet bir çizelge aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.3: OECD'ye üye ülkelerin üstyapı değerlendirme parametreleri

	Düzgünsüzlük	Yüzey bozulmaları	Kayma direnci	Tekerlek izi	Taşıma kapasitesi	Çatlak
<i>İtalya</i>			✓	✓		
<i>Japonya</i>			✓	✓	✓	✓
<i>Hollanda</i>	✓		✓	✓	✓	✓
<i>İsveç</i>	✓		✓	✓		✓
<i>İsviçre</i>	✓		✓	✓	✓	
<i>Avusturya</i>	✓		✓	✓		
<i>Belçika</i>	✓		✓		✓	
<i>Kanada</i>	✓	✓			✓	
<i>Danimarka</i>	✓	✓	✓			
<i>Finlandiya</i>			✓	✓		✓
<i>Fransa</i>		✓			✓	
<i>ABD</i>	✓		✓	✓	✓	
<i>Kore</i>	✓		✓	✓	✓	

3.3. Yapay Zeka ve Yöntemleri

Yapay zeka alanında ilk olarak 1943 yılında McCulloch & Pitts beynin Boolean devresi ile modellenmesi gerçekleştirmişlerdir. Bilinen ünlü testi Alan Turing 1950 yılında "Computing Machinery and Intelligence" adlı makalesinde bahsetmiştir. Lisp dili, Samuel in dama programı ilk yapay Zeka programları olarak bu yıllarda geliştirilmiştir. Yapay Zeka 1980li yıllarda bir endüstri haline gelip 1988 yıllarda Yapay artık bir bilim dalı olmuştur.

Marvin Minsky yapay zekayı insanın zekasını kullanarak her şeyi yapabilen makineler olarak tanımlanmıştır. Günümüz dünyasında var olan pek çok problem ve bu problemi çözebilmek için farklı teknikler en basit seviyeden en kompleks seviyeye kadar çözüme ulaştırılmaya çalışılmaktadır. Yapay zeka ile de herhangi bir problemin modellenip uygun algoritmalar kullanılarak çözüme yoluna gidilmektedir. Burada bahsedilen modelin geliştirilmesinde sezgisel ve gerçekçi olmak üzere iki yaklaşım bulunmaktadır. İnsanlar gibi düşünebilmesi ve hareket edebilmesiyle sezgisel yaklaşım, rasyonel düşünüp hareket edebilmesiyle gerçekçi yaklaşım söz konusu olmaktadır. Ancak oluşturulan modeller gerçek dünyaya uyarlanabilirse çalışan bir model elde edilmiş olmaktadır.

İnsan gibi düşünüp davranan sistemler geliştirmek yapay zekanın en genel amacıdır. Bunu yaparken bilgisayar modellerini kullanarak insanın düşünme süreçlerini analiz edip anlamaya çalışmaktadır.

Rasyonel düşünüp hareket eden sistemler ise mantık temellerine dayanmaktadır. Çözmesi gerek problemleri mantıksal ifade edip çıkarım kurallarını kullanarak çözüme kavuşturmaktadır.

Yapay zekanın temelleri matematik, bilgisayar bilimi, psikoloji, felsefe gibi farklı birçok alana dayanmaktadır. Oyun programları, uzman sistemler, arama, kavrama, öğrenme gibi çok geniş bir çalışma alanı vardır.

Lotfi Zadeh yapay zeka yöntemlerini klasik yöntem ve esnek yöntem olarak iki ayrı grupta incelemiştir. Esnek yöntem olarak bulanık mantık, kaotik modelleme, yapay sinir ağları, evrimsel hesaplama, genetik algoritma gibi yaklaşımları kabul etmiştir. Esnek yöntemler kesinliğin olmadığı belirsizliğin hakim olduğu durumlarda klasik yöntemlere göre daha çok tercih edilmektedir.

Yapay zeka ile doğadaki canlıların akıllıca olan davranışları insan zekası taklit edilerek yapay olarak canlandırılmaktadır (Akt. Nabiyev 2012). İnsan beynini model alarak çalışan bu sistemler topladıkları verilerle sonuç üretip aldıkları sonuçlara göre kendilerini iyileştirebilmektedir. Özet olarak yapay zeka insan zekasının modellenerek makinelere aktarılması olarak tanımlanabilir. Bu kapsamda makine öğrenimi yapay zekanın bir evresidir.

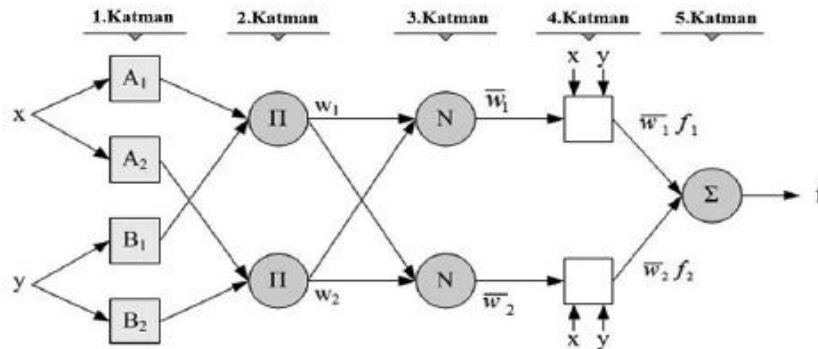
Başlıca yapay zeka teknolojileri uzman sistemler, bulanık mantık, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları ve makine öğrenmesi gibi tekniklerdir (Öztürk & Şahin, 2018). Günlük hayatta farklı alanlarda kullanıldığı gibi tahmin, sınıflandırma, kümeleme yapmak amacıyla da yapay zeka teknikleri kullanılmaktadır.

3.3.1. Bulanık Mantık

ANFIS

Ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sisteminde (ANFIS) sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), Takagi Sugeno bulanık modeli dikkate alınarak geliştirilmiş bir yapay sistemdir. Sinir ağlarının geriye yayımlı öğrenme yeteneği ile bulanık mantığın sonuç çıkarma özellikleri ANFIS yapısında birleştirilmiştir. Üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırdığı giriş verilerini bulanık kurallar ile ağ üzerinde dağıtarak çıkış hesaplamaktadır. Bu süreç ANFIS modeline çıkarım yeteneği sağladığı için tahmin problemlerinde başarımı oldukça yüksektir.

ANFIS başlangıç ve sonuç parametreleri olmak üzere iki tür parametreye sahiptir. Bu iki parametre türü bulanık kuralları birbirine bağlar. Modelin eğitimi ise bu parametrelerin optimizasyonu ile sağlanır. ANFIS temel olarak beş katmandan oluşmaktadır. Şekilde iki giriş ve bir çıkıştan oluşan temel bir ANFIS yapısı verilmiştir.



Şekil 3.9: Temel ANFIS yapısı

1. Katman

Bulanıklaştırma katmanı olarak adlandırılan bu katmandaki her düğümden alınan sinyal diğer katmana aktarılır. Her düğümden alınan sinyal giriş değerlerine ve kullanılan üyelik fonksiyonunun türüne bağlı olarak oluşmaktadır.

2.Katman

Kural katmanı olarak adlandırılan bu katmanda bir önceki katmandan gelen üyelik dereceleri kullanılarak her kuralın ateşleme seviyesi hesaplanmaktadır.

3.Katman

Normalizasyon katmanı olarak adlandırılmaktadır. Bu katmanda her kuralın normalleştirilmiş ateşleme seviyesi hesaplanmaktadır.

4.Katman

Durulaştırma katmanı olarak adlandırılan bu katmanda her bir kural için çıkış değeri hesaplanmaktadır.

Kuralların çıkışı, bir önceki katmandan gelen normalize edilmiş ateşleme seviyesi değerinin, birinci dereceden polinom ile çarpılmasıyla elde edilmektedir.

5.Katman

Çıkış katmanıdır. Durulaştırma katmanında elde edilen her kurala ait çıkış değerleri toplanarak ANFIS'in çıkışı elde edilir.

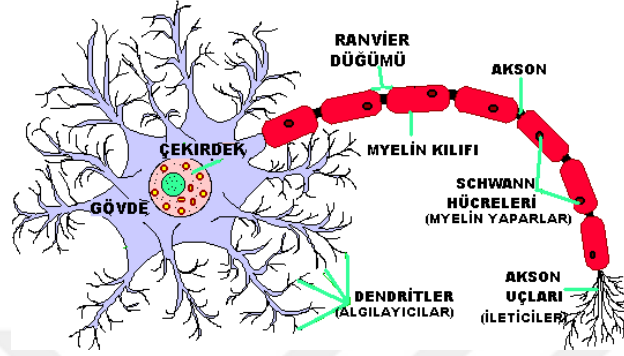
Bulanık sistemlerin, öğrenme ve adaptasyon sürecini kolaylaştırması, sinirsel ağların ise kontrol parametrelerini ağ üzerinde dağıtarak doğrusal olmayan problemlerde başarılı olması, sinirsel bulanık bir ağ modeli olan ANFIS mimarisine büyük üstünlük kazandırmaktadır.

ANFIS modelinin eğitilmesindeki amaç giriş ve çıkış değerlerine bağlı olarak ağırlık değerleri için optimal değerlerin üretilmesidir. ANFIS'in ağırlık parametrelerinin eğitiminde türeve dayalı algoritmalar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ancak türev tabanlı algoritmalarda eğim hesaplaması gibi zorluklar bulunmasının yanında yerel minimuma takılma gibi problemlere sebep olmaktadır. Bu sebeptendir ki türev tabanlı algoritmalar ile ANFIS in eğitilmesi ve parametrelerin güncellenmesi temel sorunlardan biridir.

3.3.2. Yapay Sinir Ağları

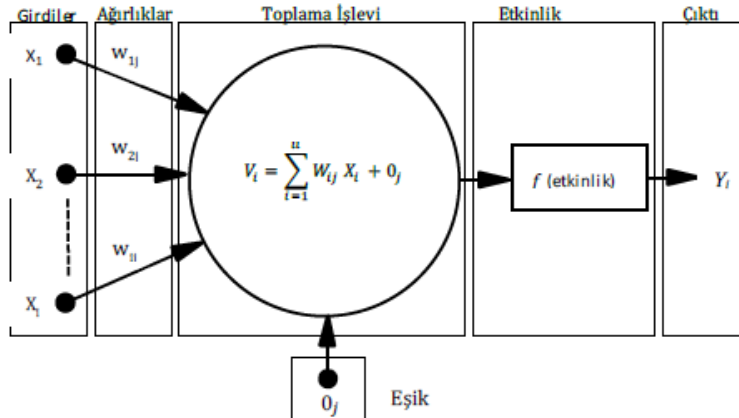
Yapay sinir ağları insan beyninin belirli bir öğrenme görevini yerine getirme şeklinden esinlenen bir makine öğrenme yaklaşımıdır. Sinir hücreleri merkezi sistemin temelidir. Yapay sinir ağlarının yapısı da bir sinir hücresinin simüle edilmesiyle gerçekleşmiştir.



Şekil 2

Şekil 3.10: Sinir Hücresi Yapısı

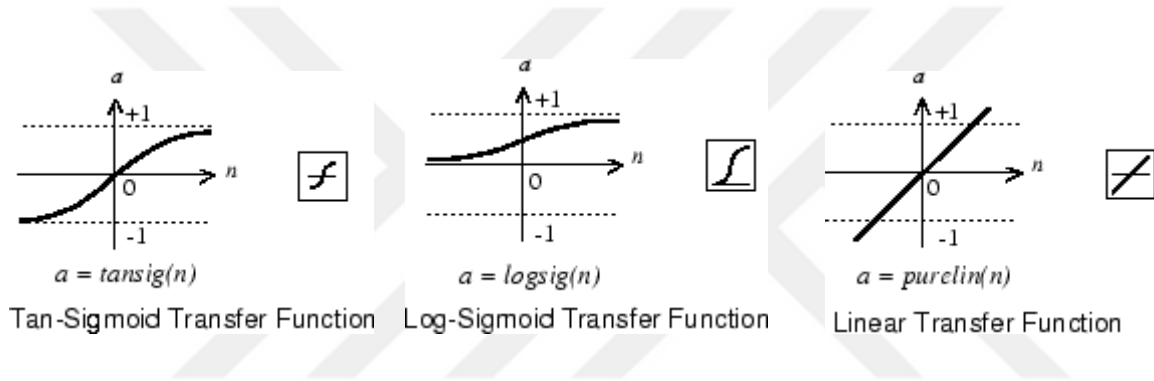
Bir sinir hücresinin çalışma mantığı; dendritlere gelen sinyaller çekirdeğe iletilir ve çekirdek sinyalleri toplayıp aksona iletir. Akson tarafından bu sinyaller işlenerek sinapslara gönderir ve burada üretilen yeni sinyaller diğer sinir hücrelerine iletilmektedir. Bu mantıkla çalışan yapay sinir hücresi de dış ortamdan yani eğitim örneklerinden gelen girdileri ağırlıklar yardımıyla hücreye bağlayıp toplama fonksiyonu yardımıyla toplam girdiyi hesaplar toplam girdi aktivasyon fonksiyonundan geçerek çıktı hesaplanmış olmaktadır.



Şekil 3.11: Yapay sinir ağı mimarisini

Öğrenme sürecinde, ağırlıklar, eğitim örneklerindeki belirli öğrenme görevini doğru bir şekilde modellemek üzere değiştirmektedirler. Doğru çıktıları üretebilmek doğru ağırlıklarla gerçekleşmektedir. Bu işleme ağı eğitilmesi denmektedir. Ağırlıklar ilk rastgele belirlenirler. Eğitim esnasında ağı öğrenme şekline göre ağırlıklar değiştirilerek en doğru ağırlıklar bulunmaya çalışılır. Doğru çıktılar üretinceye kadar eğitim setindeki örneklerin tamamı için bu işlemler tekrarlanır. Son olarak test setindeki örneklerle ağı verdiği sonuçlarla kıyaslanıp doğru sonuçlar verirse ağı eğitilmiş sayılmaktadır. Uygun ağırlıklarının bulunabilmesi için her bir iterasyondan sonra hata bilgileri toplanıp ağırlıklar değiştirilir ya da her bir veriden sonra değiştirilmektedir.

Ağı çalışma esnasında kullanılan farklı aktivasyon fonksiyonları aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.12: Aktivasyon Fonksiyonları

Yapay sinir hücrelerinin bir araya gelmesi ile de yapay sinir ağları oluşmaktadır. Bu birliktelik rastgele gerçekleşmemektedir.

Bir yapay sinir ağının modelini ağda kullanılan toplama ve aktivasyon fonksiyonu, ağı topolojisi, öğrenme stratejisi ve öğrenme kuralı belirler.

Danışmanlı öğrenme de yapay sinir ağı kullanılmadan önce eğitilirken hem girdi değerleri hem de o girdinin çıkış değerleri de sisteme verilmektedir. Sisteme verilen çıktı değerleri ile ağı ürettiği çıktı karşılaştırılarak hata hesaplanıp en yakın çıktı sonucuna bulunana kadar ağırlıklar güncellenmektedir. Bu tür öğrenme metodunu kullanan çok katmanlı algılayıcı ağlar ise en bilinen örnektir.

Danışmansız öğrenmede ise sadece girdiler verilir çıktıları verilmemektedir. Parametreler arasındaki ilişkiyi sistemin kendi kendine öğrenmesi beklenmektedir. Örneğin ART ağları gibi.

Takviyeli öğrenmede giriş verileri verildikten sonra sonucun danışman tarafından değerlendirilmesi beklenir. Danışman ödüllendirerek veya cezalandırarak ağın en doğru ağırlıklara ulaşmasını sağlamaktadır. Örneğin LVQ ağı

Karma öğrenme metodu da adından da anlaşılacağı üzere ağırlıkların belirlenmesinde danışmanlı ve danışmansız öğrenmeyi birlikte kullanarak belirlemektedir. Olasılık ve radyal tabanlı yapay sinir ağı da karma öğrenme metoduna örnektir.

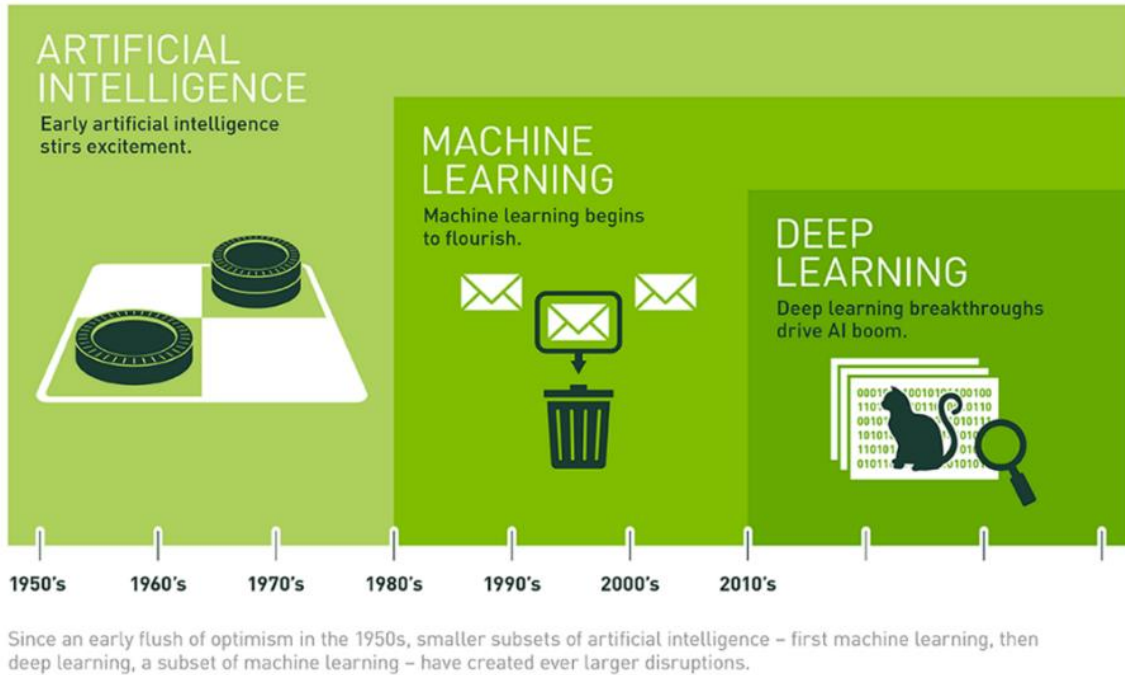
İleri beslemeli ağlara gelen bilgiler girişten direk çıkışa ilerleyerek işlenip geçip sonuç verirler. Geri beslemeli ağlarda ise bu sonuç sadece kendinden sonraki katmana verilmeyip kendine veya bir önceki katmana girdi olarak verilmektedir. Geri-yayıma algoritması, el yazısı, ses ve yüz tanıma gibi pratik uygulamalarda oldukça başarılı olmuştur.



3.4. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, veri yığınlarından tahmin etmeye ve karar vermeye yardımcı olmak için kendi kendine öğrenen algoritmalar ve matematiksel modellerdir (Taburoğlu, 2019). Genellikle tahmin ve sınıflandırma yapan birçok makine öğrenmesine dayalı algoritmalar bulunmaktadır. Makine öğrenmesi çalışmaları sayesinde ileriye dönük tahminler mümkün olmaktadır. Bu açıdan karar verme sürecine ihtiyaç duyan sağlık, pazarlama, bankacılık gibi farklı birçok dalda ilgili kurumların karar destek sistemleri için oldukça önemli olduğu söylenmektedir. Makine öğrenmesi alanında sıklıkla tercih edilen uygulamalarda veri ön işleme, regresyon, sınıflandırma, gruplandırma, özellik seçimi gibi kütüphanelere rahatlıkla erişilebilmektedir. Bu amaçla tahmine dayalı üstyapı performans değerlemelerini bu platformlarda geliştirmek mümkündür.

Makine öğreniminin uygulanması kapsamında birçok ticari ve açık kaynak kodlu programlar mevcuttur. Makine öğrenmesi ve istatistik ile ilgili pek çok kütüphane hazır olarak gelmektedir. Veri ön işleme, regresyon, sınıflandırma, gruplandırma özellik seçimi gibi kütüphanelere erişilebilmektedir.



Şekil 3.13: Yapay zeka tarihi

Bir amacı olan problemin tanımlanmasıyla başlayan bu süreç verilerin hazırlanması ile devam etmektedir. Oldukça geniş alan kapsayan bu verilerin bazı sorunlara yol açacağı kaçınılmaz olmaktadır. Boş, eksik, belirsiz, gürültülü veriler yanlış çalışmalara sebebiyet vereceği için öncelikler bu sorunların çözülmesi gerekmektedir. Makine öğrenmesinde kullanılan algoritmalar ne kadar başarılı olursa olsunlar kullanılan veriler anlamsız ve özellikleri bilinmeyen veriler olursa fayda sağlaması mümkün olmamaktadır. Bu yüzden veriler sürece girilmeden önce detaylıca analiz edilmesi gerekmektedir. Toplama, değer belirleme, birleştirme ve temizleme, örneklem seçilmesi ve dönüştürülme aşamalarından geçen veriler model için hazır hale gelmektedir. Çözölmeye çalışılacak olan problem için en iyi model bulunması kadar farklı modeller denenmektedir. Sonuç olarak en iyi model kullanılıp sürekli olarak izlenmeye ve yeniden düzenlenmeye devam edecektir.

İşlevleri açısından Sınıflandırma, Regresyon, Kümeleme, İlişki Kurma gibi teknik yöntemler makine öğrenmesi kapsamında çalışmaktadır. Sınıflandırma ve regresyon metotları tahmin etmeye yardımcı olurken kümeleme ve ilişki kurma metotları ise tanımlama yapmaktadır.

Yapılan bilimsel çalışmalarda sınıflandırma ve regresyon modelleri sıkça kullanılmaktadır. Tahmin etmede yaygın olarak kullanılan regresyon ve sınıflandırmanın birbirinden farkı eldeki verileri kullanarak tahmin edilecek bağımlı değişkenin süreklilik göstermesi veya kategorik olmasına göre değişmektedir. Kategorik değerlerin tahmin edilmesinde sınıflandırma kullanırken süreklilik gösteren değerlerin tahmininde ise regresyon kullanılmaktadır. Fakat lojistik regresyon gibi teknikler iki modeli de kapsadığından dolayı her iki model de aynı tekniklerden yararlanmaktadır.

3.4.1. Regresyon

Regresyon işleminin amacı bir veya daha fazla parametrenin başka parametreler yardımı ile tahmin edilmesini sağlayan ilişkileri arayıp bulmaktır.

Öncelikle kullanılacak olan bağımlı değişkeni bağımsız değişkenler yardımı ile belirlenmektedir. Burada dikkat edilecek husus bağımlı değişkenin doğru olması ve bağımsız değişkenlerin de seçiminde ise ilgili değişkenlerin seçilmesi oldukça önemlidir. Seçilen değişkenler ile bağımlı değişkenin arasındaki ilişki korelasyon katsayısı R ile gösterilmektedir. Modelin veriye uyumu ise çoklu belirtme katsayısı R^2 ile gösterilmektedir.

3.4.2. Sınıflandırma

Sınıflandırma işleminin amacı bir parametrenin özelliklerini inceleyerek bu parametreyi önceden belirlenmiş bir sınıfa dahil etmektedir. Her bir sınıfın özelliklerinin net bir şekilde belli olmasıyla doğru bir sınıflandırma işlemi gerçekleşmektedir.

Modele verilen öğrenme kümesi (training set) kullanılarak bir model oluşturulur ve bu model çıktısı ile öğrenme kümesinde olmayan verilerin çıkış değerleri (testing set) ile karşılaştırılarak modelin başarısı ölçülmüş olmaktadır.

3.4.2.1. Karar ağacı Algoritmaları

Basit bir ağaç yapısı gibi düşünerek bir ağacın yaprakları ile parametrelerin sınıflarını gösterip bu yapraklara giden kollar ise parametrelerin özellikleri üzerindeki işlemleri ifade eden bir algoritma şeklindedir. Böylelikle karışık veri setlerinde dahi basit bir ağacın yapısı ile bağımlı değişkeni etkileyen değişkenleri ve bu değişkenlerin modeldeki önemi gösterilmektedir.

Karar ağacı algoritmasının temel avantajları, sınıflandırmada yüksek oranda doğruluk vermektedir. Dezavantajı ise uydurma eğiliminde olması, karar ağacının örneklerden kolayca etkilenmesi ve alt ağacın karar ağacında birçok kez tekrarlanabilmesidir. Aşırı uydurma sorununu budama ve k-kat çapraz doğrulama ile çözülebilmektedir. Bazı ilgisiz özellikleri kaldırmak için veri ön işleme aşamasında bir ön filtreleme adımına başvurulabilir. Böylelikle karar ağacının boyutunu küçültebilir ve hatalı karar ağaçları sorununu ortadan kaldırmaktadır (Zhou et al., 2021).

Decision Stump

Decision Stump Algoritması, tek seviyeli bir Karar Ağacı oluşturur. Oluşturulan tek seviyeli bu ağaçta kök düğüm, yaprak düğümlere direkt olarak bağlıdır. Decision Stump Algoritması, sınıflandırma işlemini direkt olarak tek girdi düğüme göre gerçekleştirir (Witten et al., 2005).

Rastgele orman (RandF)

Eğitim verilerinin önyüklemeli örneklerinden öğrenilen bir regresyon ağaçlarının topluluğudur. Ek olarak, rastgele orman yöntemi, feature bagging rastgele bir özellik alt kümesi seçerek özgün regresyon ağaçlarını kullanmaktadır. Nihai regresyon sonucu, topluluktaki regresyon ağaçlarının ortalama tahminidir.

Rastgele ağaç (RandT)

Her düğümde rastgele seçilen sabit sayıda öznelik dikkate alınarak oluşturulmuş bir regresyon ağacına dayanmaktadır. Bilgi kazanç ölçüsü, budanmamış regresyon ağaçları yetiştirmek için kullanılır.

REPTree (REPT)

Hızlı bir regresyon ağacına örnektir. Bu algoritma, regresyon ağacını büyütürken eğitim veri kümesi bölme kriteri olarak bilgi kazancını veya bilgi varyansını kullanır. Algoritmanın WEKA uygulaması, ek olarak daha az hata içeren budama ve yeniden yerleştirmeyi destekler.

M5P

M5 algoritması tarafından oluşturulan model ağaçlarına dayalıdır. Bir örnek ağaç, yaprakları doğrusal regresyon modelleri olan bir karar ağacıdır. Bu, regresyon sonucunun karar ağacı tarafından seçilen doğrusal modelin sonucu olduğu anlamına gelir.

3.4.2.2 Destek Vektör Algoritmaları

İki veya daha fazla sınıflı verileri birbirinden ayıran en uygun karar fonksiyonunun belirlenmesi ile çalışmaktadır. Bu karar fonksiyonu her sınıfın verilerine en uzak olan yer olması gerekmektedir.

Destek Vektör algoritması parametrelerin özellik çıkarımını yaparak çıkan özelliklerine göre sınıflandırmaktadır. Fakat uygulamada zor olan karar fonksiyonun belirlemek ve parametrelerin özelliklerini belirlemek veri sınıflandırmasının kalitesini büyük oranda etkilemektedir (Demidova & Sokolova, 2021).

SMOreg (SMO)

Destek vektör algoritmalarına dayalı regresyonun ana fikri mutlak tahmin hatalarını en aza indiren bir işlev bulmak için eşik değeri tanımlayıp tanımlanan eşik değerini geçemeyen veriler dışarı atılarak karar fonksiyonu maksimize edilmiş olmaktadır.

3.5. Üstyapı Performans Tahmin Modellerinin Geliştirilmesi

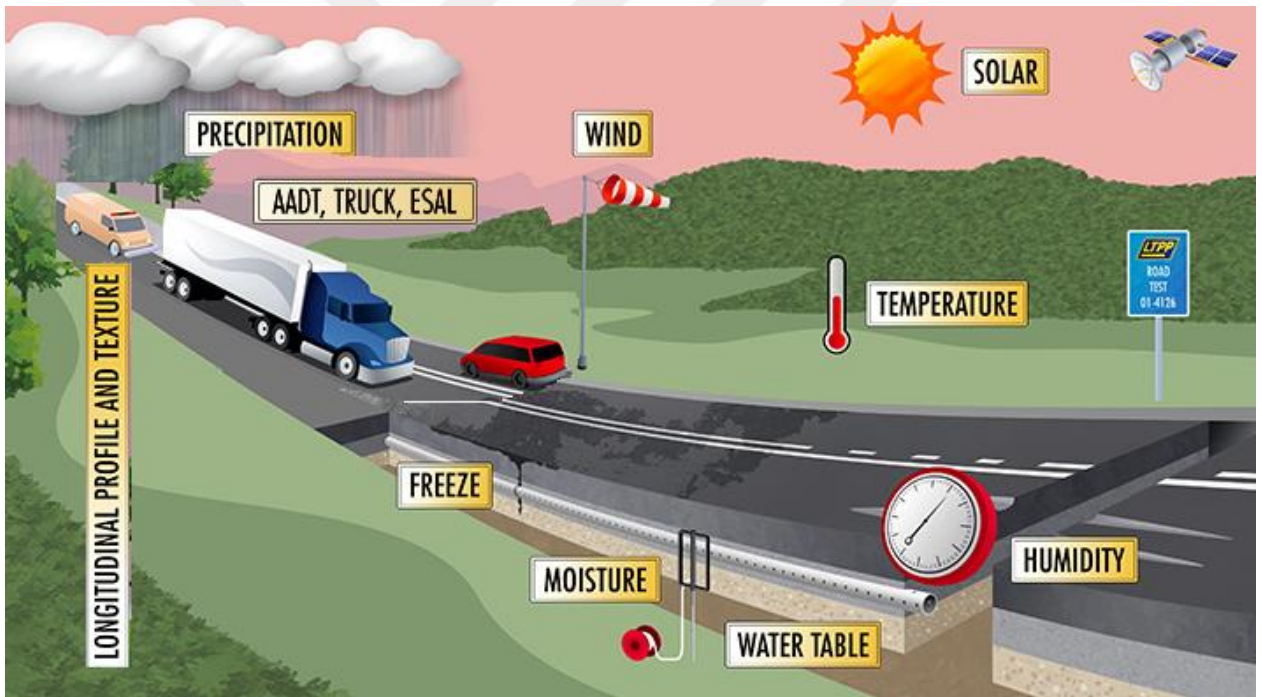
Üstyapı performans göstergesi olan parametrelerden Uluslararası Düzensizlik İndeksi (IRI) değerinin tahmini için bulanık mantık, yapay sinir ağları, regresyon analizi ve sınıflandırma yöntemlerinden olan karar ağaçları kullanılarak üstyapı performans tahmin modelleri geliştirilmiştir.

Modellerde kullanılan veri seti (Hergüner, 2009) 'dan elde edilmiştir. Ayrıca üst yapı performans tahmini için Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği ve Federal Karayolu İdaresi tarafından düzenlenen LTPP verilerin analizlerinde kullanılması için sunduğu platformdan da farklı veri setleri oluşturularak modeller test edilmiştir.

LTPP veritabanı ABD ve Kanada'ya ait 2500'den fazla yol kesimlerinin verilerini içermektedir. 1991 yılında Federal Karayolları idaresi FHWA ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Derneği ASCE öncülüğü tarafından başlatılmıştır. Dünya çapında tüm veri bilimcileri,

danışmanları ve akademisyenleri üstyapıların ve yolların davranışı hakkında bilgi üretebilmek için LTPP veritabanını kullanmaya teşvik etmektedirler.

Modellere girdi olarak, üzerinde araştırma yapılan yollardaki bozulmalara sebep olan etkenler seçilmiştir. Bu etkenler, trafik ve iklim verileri, üstyapı kalınlığı gibi parametrelerdir. Girdi değerleri; trafik değerlerinden eşdeğer standart dingil yükü, iklim parametrelerinden toplam yağış miktarı, ortalama nem miktarı, maksimum ve minimum sıcaklık farklarının maksimum değeri, maksimum kar örtüsü, yüksek ve düşük kaplama sıcaklıkları ve üstyapı kalınlığı gibi parametrelerdir. Modellerde kullanılan girdi verilerinden eşdeğer standart dingil yükü hesaplanması için söz konusu yolların hafif ve ağır taşıt trafiğine ait yıllık ortalama günlük trafik değişim değerleri kullanılmıştır. Yolun trafiğe açıldığı yıldan düzgünsüzlük ölçümlerinin yapıldığı yıllara kadar şartname dahilindeki esaslarla hesaplanmıştır. İlgili yollarda bakım tarihi belirtilmişse bakım tarihi başlangıç olarak kullanılmıştır



Şekil 3.14: Üstyapıyı etkileyen parametreler

Üstyapıların hizmet ömründe etkili olan diğer iklimle alakalı verilere ise Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan veriler dahilinde oluşturulmuştur. Trafik parametrelerinde olduğu gibi yolun trafiğe açıldığı tarihten itibaren yığılımlı olarak düzgünsüzlük ölçümlerinin yapıldığı yıla kadar kullanılmıştır.

Üstyapı performansına etki eden bu verilerin korelasyon matrisi ile birbirleri ile olan ilişkisi araştırılmıştır. İki farklı değişkenin aralarındaki ilişki hakkında bilgi sahip olmak için

korelasyon analizden faydalanılmaktadır. Çok değişkene sahip veri setlerinde değişkenleri tanımlamak için korelasyon katsayısı yardımcı olmaktadır. Böylelikle kurulacak olan modelde değişkenler arasındaki kuvvetli bağlantılar kolayca görülebilmektedir.

Üstyapı performans tahmini için kurulan modelde performans göstergesi olan IRI değişkeninin bozulmaya etki eden değişkenlerden hangisiyle daha yakından ilişkili olduğu korelasyon katsayısına bakılarak ortaya çıkarılmıştır.

Weka ve MATLAB programları kullanılarak veriler analiz edilmiştir. WEKA programı Yeni Zelanda'da bir proje olarak başlayıp Waikato Environment for Knowledge Analysis kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Weka üzerinde makine öğrenmesi ve istatistik ile ilgili pek çok kütüphane hazır olarak gelmektedir. Veri ön işleme, Regresyon, sınıflandırma, Gruplandırma özellik seçimi gibi yöntemlere erişilebilmektedir. Weka programı kolay bir arayüze sahip olup veri modellemesi yapılırken kullanılan algoritmalar hızlı sonuç vermektedir. Java programlama dili kullanılarak yazılan bu program açık kaynak kodludur. Java ile yazılan bir çok projenin programa kolayca entegre olması açısından kullanıcılarına büyük kolaylık sağlamaktadır.

Mathworks tarafından geliştirilmiş Matlab programı ile matematiksel, istatistiksel, simülasyon gibi işlemler yapılabilmektedir. Java, Python, C, C++, Fortran gibi programlama dillere uyumludur. Bu nedenle geniş bir alanı kapsamaktadır. Mühendislik, ekonomi ve endüstriyel alanlardan kullanıcılara sahiptir.

Bu platformlar kullanılarak yapılan analizler sonuçları araştırma bulguları kısmında verilmiştir. Makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak yapılan tahminlerin sonuçlarını değerlendirmek için farklı metriklerden yararlanılmıştır.

Belirleme katsayısı (coefficient of correlation) R olarak adlandırılmaktadır.

Ortalama mutlak hata (mean absolute error) MAE tahmin sonucunun gerçek sonuca ne kadar yakın olduğunu göstermektedir. Düşük puan beklenmektedir.

Kök ortalama kare hatası (root mean squared error) RMSE modelin hatasını hesaplayan değerdir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_{t(\text{ölçülen})} - Y_{t(\text{model})})^2}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_t |Y_{t(\text{ölçülen})} - Y_{t(\text{model})}|$$

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

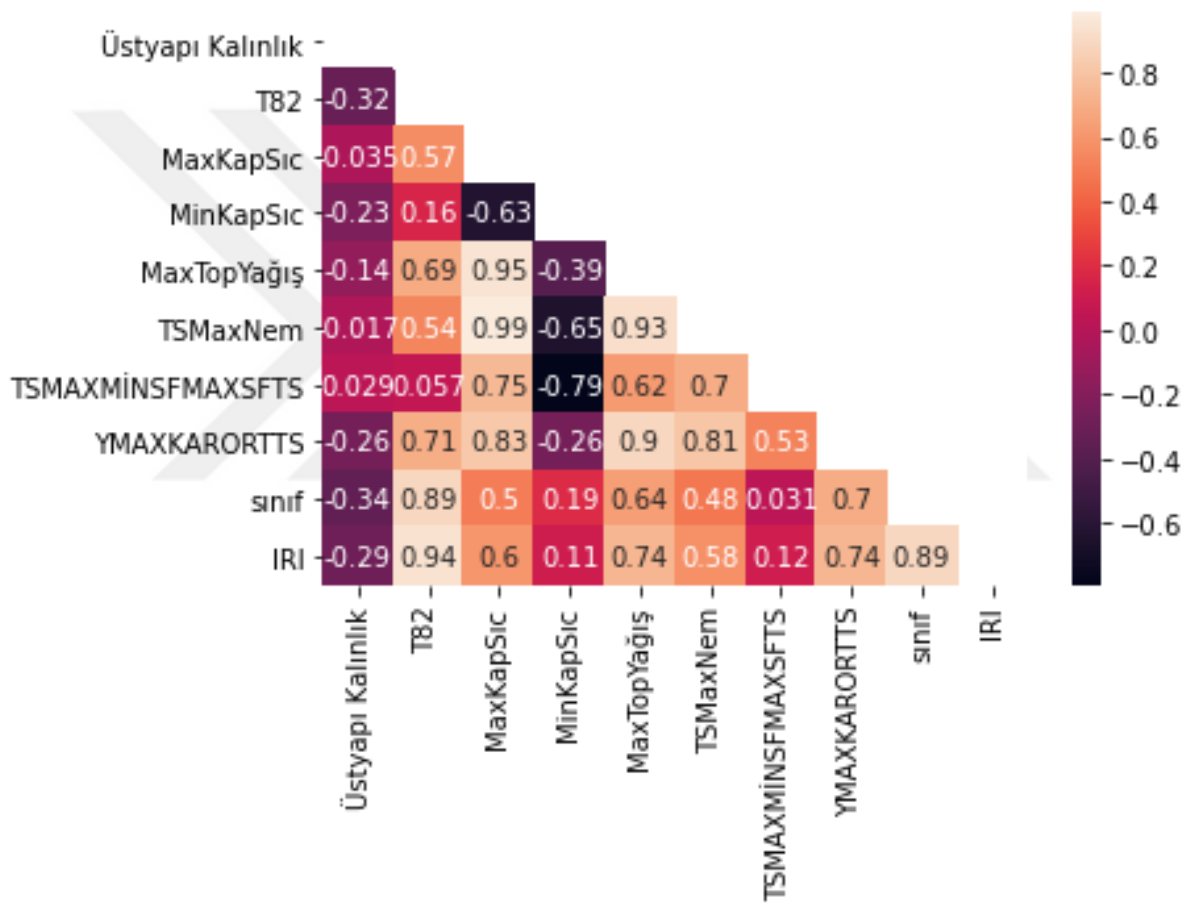
Bu bölümde Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağları, Regresyon ve Sınıflandırma modelleri kullanılarak performans göstergesi olarak seçilen IRI değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Veri setleri oluşturulurken performansa etki edeceği bilinen parametreler seçilmiştir. Trafik verileri, iklim bilgisi, üstyapı kalınlığı gibi üstyapının bozulmasında etkisi düşünülen parametreler modelin girdisi olarak kabul edilmiştir. Modelin çıktısı ise belirtildiği üzere IRI değeri olacaktır. Aşağıdaki çizelgede bu veri setleri ve özelliklerine yer verilmiştir.

Çizelge 4.1: Veri setlerinin özellikleri

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
T_{8.2}	1109990.73	95272825	33030126.979	27323146.469
üstyapı kalınlığı	54	75	69.242	9.48
Max Kaplama Yüzeyi Sıcaklığı	5636.73	120170.5	47096.956	39332.901
Min Kaplama Yüzeyi Sıcaklığı	-11762.52	-484.7	-2464.647	2888.302
Max Top Yağış TS	11226	375576	131568	114160.32
Max Nem TS	83829	1469211	589063.818	482643.228
Ymax min sf max sfts	936	101922	22902.091	26845.526
Ymax Kar Ortalama	0	13440	4257.273	3669.22
IRI	0.77	2.64	1.534	0.392

Üstyapı performansına etki eden bu verilerin korelasyon matrisi ile birbirleri ile olan ilişkisi araştırılmıştır. Üstyapı performans tahmini için kurulan modelde performans göstergesi olan IRI değişkeninin bozulmaya etki eden değişkenlerden hangisiyle daha yakından ilişkili olduğu korelasyon katsayısına bakılarak ortaya çıkarılmıştır. Korelasyon matrisi oluştururken Python dilinden faydalanılmıştır. Python kütüphanesinde bulunan pandas kullanılarak csv dosyası tanıtılmıştır. Numby ve Seaborn kütüphanelerinden faydalanılarak korelasyon işlemi yapılmıştır. Matplotlib çizim kütüphanesi kullanılarak korelasyon sonucu daha iyi görüntülenmiştir.



Şekil 4.1: Korelasyon matrisi sonucunun katsayıları

4.1. Weka Analizleri

Modelin bağımlı değişkeni ölçümü yapılan yolun o yıla ait IRI değerleri bağımsız değişkenleri ise $T_{8,2}$ trafik değeri, iklim verileri ve kalınlık parametreleridir.

Verilen veri setinin %70 eğitim kümesinde %30 test kümesinde olacak şekilde yapılan regresyon modelleri sonucu verilmiştir. Regresyon modellerinden Weka da Doğrusal Regresyon kullanılmıştır.

Çizelge 4.2: Regresyon modellerinin R, MAE, RMSE değerleri

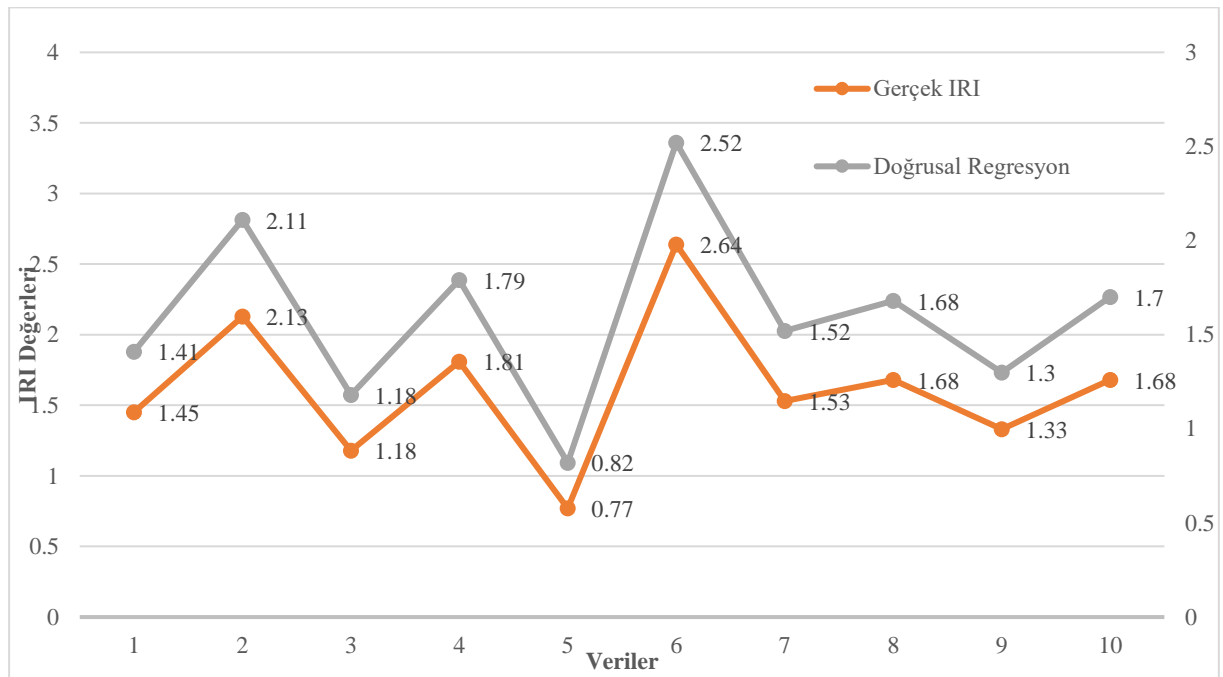
	R	MAE	RMSE
Doğrusal			
Regresyon	0.9482	0.1484	0.1904

Model sonucu çıkan performans eşitliği doğrusal regresyon için;

$$IRI = 1.0401x \text{Dingil} + (-0.3668)x \text{Maxsıcaklık} + 0.6439x \text{Yağış} + 1.1012$$

Basit Doğrusal Regresyon için ise $IRI = 1.28x\text{Dingil} + 1.1$

Bu analiz tekniği sonucu basit regresyon ve doğrusal regresyon arasındaki ilişki açıklamak için matematiksel bir model çıkarılmıştır. Denklemlerden de anlaşılacağı üzere basit regresyon yapılırken diğer parametreler ihmal edilmiş olup hata oranı daha düşük sonuçlar elde edilmiş olmaktadır.

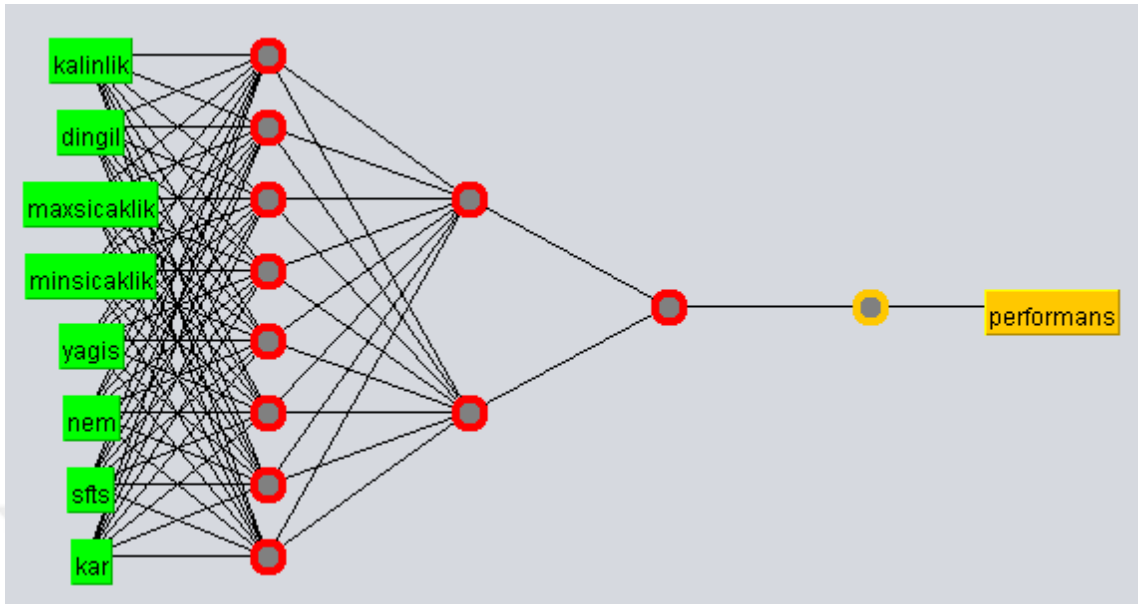


Şekil 4.2: Gerçek IRI- Doğrusal Regresyon sonucu IRI karşılaştırması

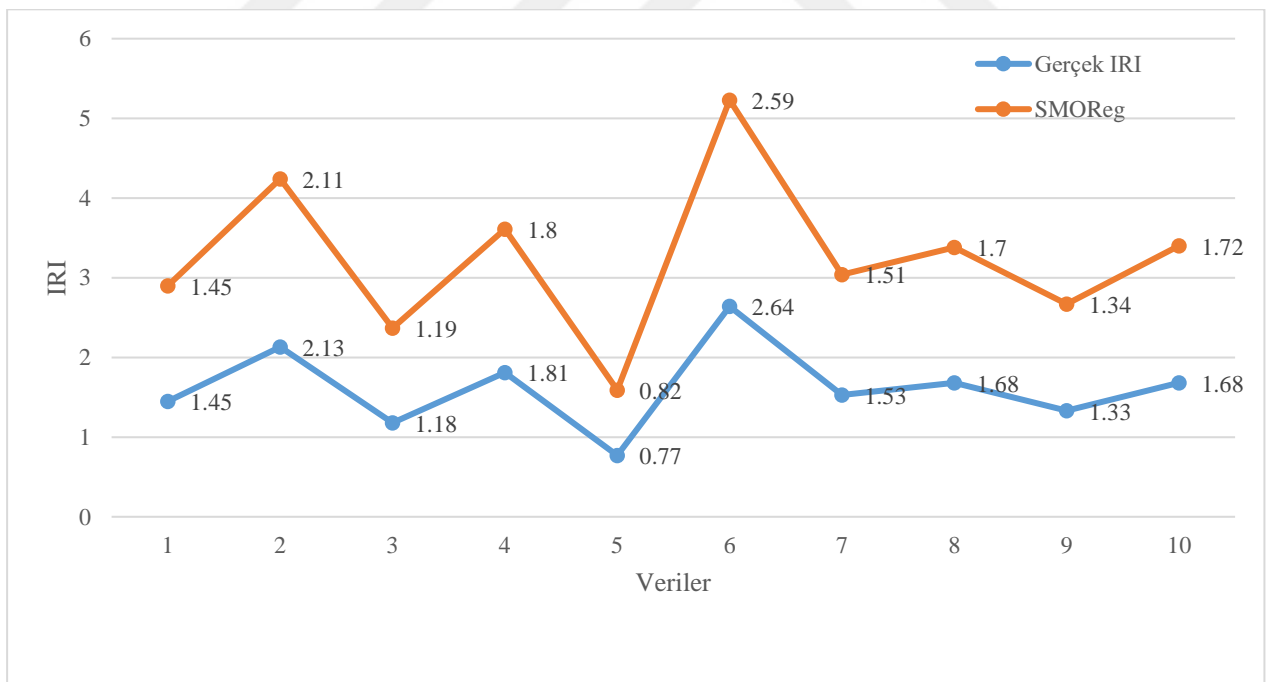
Verilen veri setinin %70 eğitim kümesinde %30 test kümesinde olacak şekilde yapılan yapay sinir ağları modelleri ve Destek Vektör Algoritmaları kullanılarak elde edilen sonuçlar verilmiştir. Yapay Sinir ağları modellerinden Weka da MultilayerPerceptron nöron sayısı ve aktivasyon fonksiyonu tanjant sigmoid ve logaritmik sigmoid değiştirilerek kullanılmış olup en iyi sonucu 8.2.1 logaritmik fonksiyon ile alınmıştır. Destek Vektör Algoritmalarından ise SMOReg fonksiyonu kullanılmıştır.

Çizelge 4.3: YSA ve SMO modellerinin R, MAE, RMSE değerleri

	R	MAE	RMSE
8.2.1 log	0.9331	0.39	0.5223
SMOReg	0.924	0.1469	0.2043



Şekil 4.3: WEKA Yapay sinir ağı mimarisi

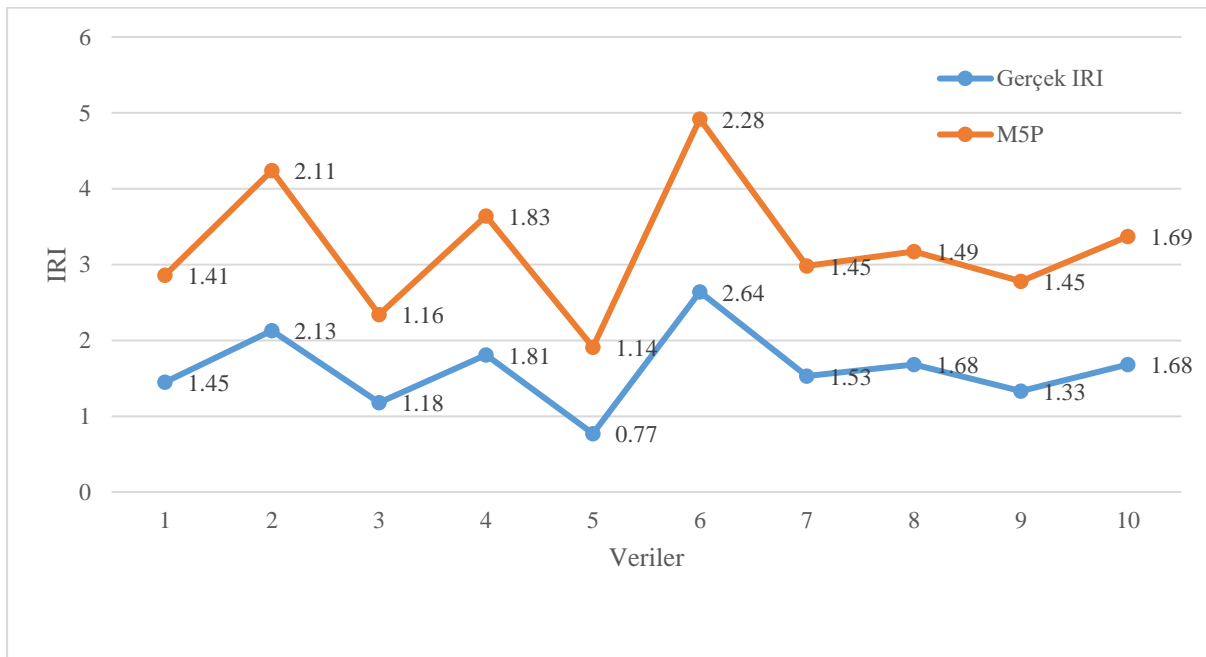


Şekil 4.4: Gerçek IRI- SMOReg sonucu IRI karşılaştırması

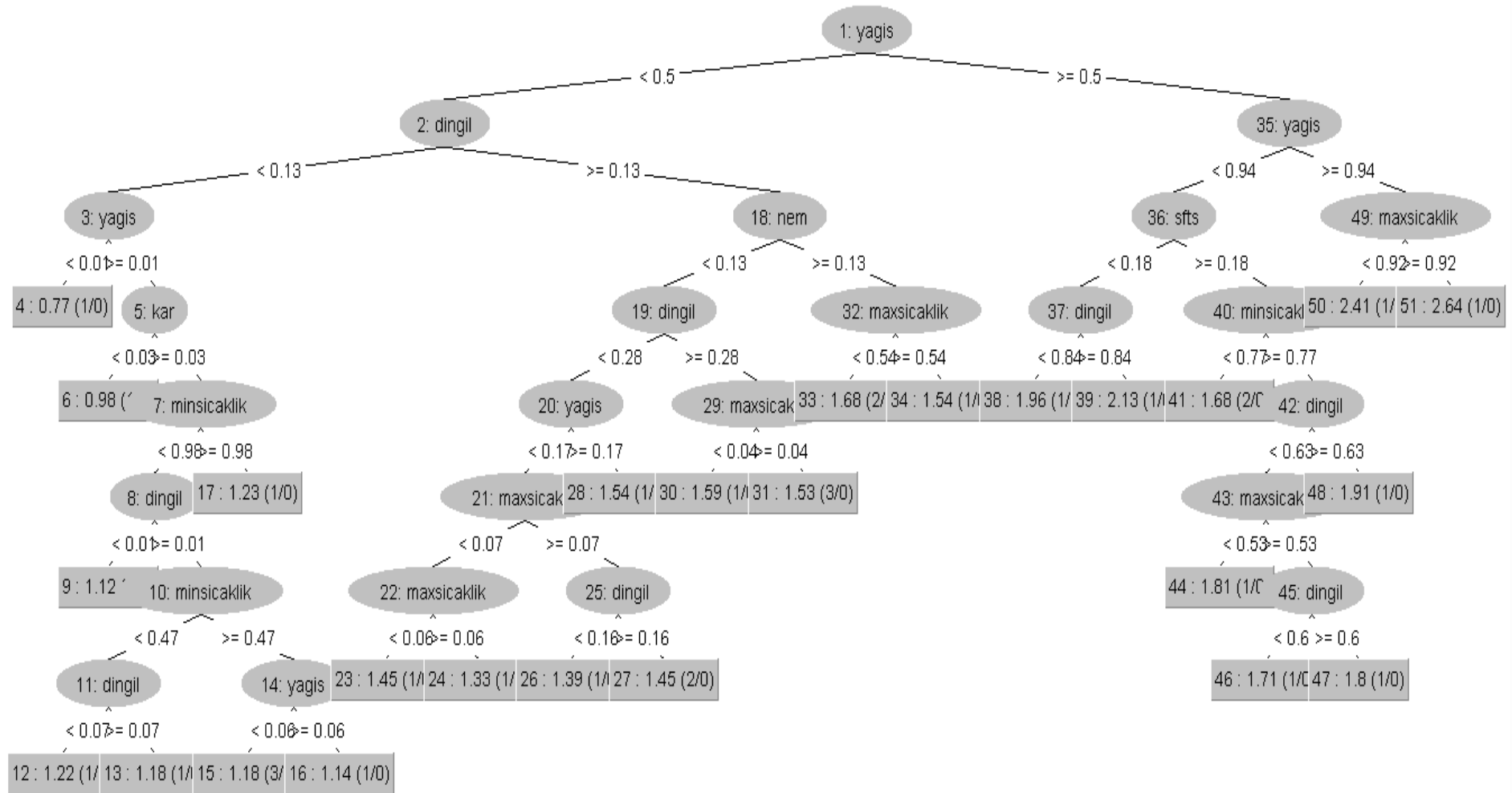
Karar Ağaçları Sınıflandırılması kullanılarak elde edilen modeller sonucu aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.4: Karar ağaçları modellerinin R, MAE, RMSE değerleri

	R	MAE	RMSE
Decision Stump	0.658	0.2888	0.3849
M5P	0.9569	0.1207	0.1778
RandomForest	0.9391	0.1652	0.2119
RandomTree	0.876	0.205	0.2411
REPTree	0.8809	0.2028	0.2758



Şekil 4.5: Gerçek IRI- M5P sonucu IRI karşılaştırması



Şekil 4.6: Weka randomtree sonucu oluşan kök ve düğümler

Çizelge 4.5: Tüm modellerinin Gerçek IRI- TahminIRI karşılaştırması

Gerçek IRI	Doğrusal	SMOReg	8.2.1 log	RepTree	Random Tree	Random Forest	M5P	Decision stump
1.45	1.41	1.45	1.45	1.50	1.18	1.5	1.41	1.74
2.13	2.11	2.11	2.12	2.02	1.96	2.04	2.11	1.74
1.18	1.18	1.19	1.19	1.15	1.18	1.14	1.16	1.22
1.81	1.79	1.80	1.81	2.02	1.80	1.78	1.83	1.74
0.77	0.82	0.82	0.77	1.15	1.13	1.11	1.14	1.22
2.64	2.52	2.59	2.63	2.02	2.41	2.22	2.28	1.74
1.53	1.52	1.51	1.53	1.50	1.59	1.53	1.45	1.74
1.68	1.68	1.70	1.67	1.69	1.71	1.89	1.49	1.74
1.33	1.30	1.34	1.33	1.50	1.45	1.44	1.45	1.74
1.68	1.70	1.72	1.69	1.69	1.71	1.94	1.69	1.74

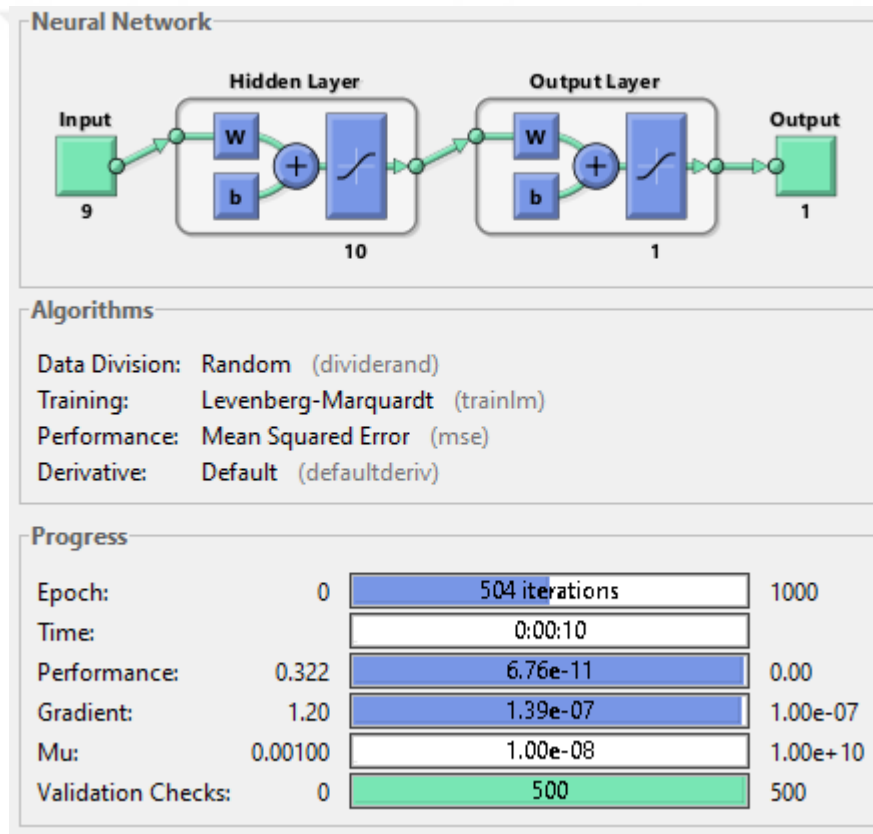
Çizelge 4.6: Tüm modellerinin R, MAE, RMSE değerleri

	R	MAE	RMSE
Doğrusal Regresyon	0.9482	0.1484	0.1904
8.2.1 log	0.9331	0.39	0.5223
SMOReg	0.924	0.1469	0.2043
Decision Stump	0.658	0.2888	0.3849
M5P	<i>0.9569</i>	<i>0.1207</i>	<i>0.1778</i>
RandomForest	0.9391	0.1652	0.2119
RandomTree	0.876	0.205	0.2411
REPTree	0.8809	0.2028	0.2758

4.2. Matlab Analizleri

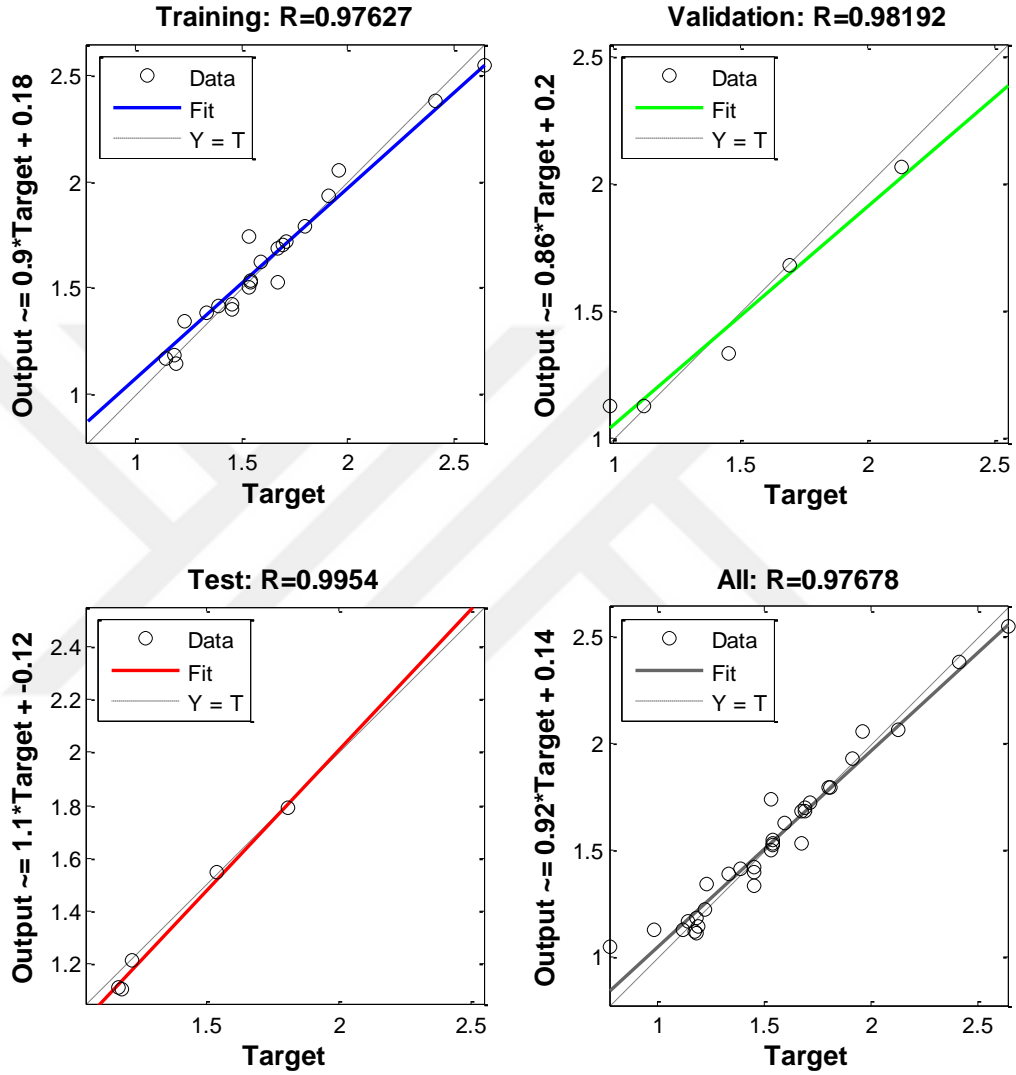
Yapay sinir ağı ile tahmin işlemi yapmak için Matlab programının nntool aracından yararlanılmıştır. En optimum sonuç alıp başarıyı sağlamak için ağ yapısının farklı alternatifleri üzerinde çalışılmıştır. Performans kriteri olarak MSE değeri kullanılmıştır.

Algoritmaların performansı kontrol parametrelerine fazlaca bağlıdır ve genellikle kontrol parametreleri için hangi değerlerin kullanılması gerektiğine yönelik kesin kural ve yöntemler bulunamamaktadır. Bu amaçla çok sayıda deneme yapılarak optimal parametre değerlerinin belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.7: Matlab yapay sinir ağı

Model performansını gösterebilmek için gerçek IRI değeri ile çıkış değeri olan tahmini IRI değerinin karşılaştırılmıştır. Modele ait eğitim, test, doğrulama ve tüm verilere ait regresyon eğrileri Şekilde verilmiştir. Modellerin R değerleri sonucu istenilen seviyededir.



Şekil 4.8: Yapay sinir ağı sonucu veri setlerinin R değerleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Karayollarında yapılan çalışmaların daha az bütçeyle yapılmasının yolları aranmakta olup bu bağlamda mevcut yapıların tekrar yapılmaktansa yenilenmesi onarılması gibi çalışmalara daha çok önem verilmiştir. Bunu sağlamak amacıyla yol ağının büyük çoğunluğunda Üst Yapı Yönetim Sisteminin (ÜYS) uygulanması mecbur kılınmıştır.

Bu tezde amaçlanan hedefe ulaşmak için, ÜYS bir yol ağının geleceği ile ilgili doğru ve güvenilir performans ön tahmini yapmalıdır. Bu nedenle, periyodik olarak ölçülen üstyapı mevcut performansları değerlendirilerek Üstyapı Performans Tahmin Modelleri geliştirilmiştir.

Üstyapı Yönetim Sisteminde yol performans ölçümleri profilometre ve sürtünme ölçüm cihazı ile ölçülmektedir. Öncelikle ölçülen değerler ile üstyapının boyuna profili ve sürüş rahatlığını gösteren IRI gibi düzgünlük değerleri bulunmuştur. Üstyapıların performans göstergesi olarak kullanılan uluslararası düzgünlük indeksinin (IRI) verileri toplanarak değerlendirilmiş olup bu veriler kullanılarak üstyapı performans tahmin modelleri geliştirilmiştir.

Yolların performansının değerlendirilmesi sırasında IRI sonuçları, yol boyu yapılan bozulma etütleri, kısım kısım yapılan iyileştirmeler dikkate alınmıştır. Regresyon analizi, yapay sinir ağları ve sınıflandırma modelleri kullanılarak oluşturulan bozulma tahmini modelinden çıkan sonuçlar ile gerçek düzgünlük ölçümleri kıyaslanmıştır. İncelenen bozulma tahmin modellerinde giriş verisi olarak trafik verisi olarak üstyapıdaki bozulmaların sebebi olan eşdeğer standart dingil yükü $T_{8.2}$ iklim verileri, üstyapı kalınlığı ve zeminin durumu gibi tüm etkenler modelin girdisi olarak dikkate alınmıştır. Modelin çıktı verisi düzgünlük değeridir.

Ölçümleri yapılan yolların öncelikle trafiğe açıldığı yıldan ölçüm yapılan yıla kadar hafif ve ağır taşıt trafiğine ait karayollarının sitesinde bulunan trafik verileri dosyasından ortalama günlük trafik bilgileri bulunarak şartlar dahilinde her sene için $T_{8.2}$ bulunmuştur. Eğer bahsedilen yollarda bakım yapıldıysa bakım yapıldığı yıl değilse trafiğe açıldığı baz alınmıştır. Performans ve üstyapının bozulmasını etkileyen başka bir değişken ise iklim verileridir. Meteorolojinin verileri yapılan yollardaki değerleri iklim verileri olarak kullanılmıştır.

Bulanık mantık, yapay sinir ağları, regresyon yöntemlerinden basit ve doğrusal regresyon modelleri, sınıflandırma modellerinden ise karar ağaçları ve karar destek algoritmaları kullanılmıştır. Bahsedilen yöntemlerin Weka ve Matlab analizi sonucu araştırma bulguları gösterilmiştir. Performans tahmin modellerinden bahsedilerek çıkan sonuçlar ve hata oranlarına detaylıca yer verilmiştir. Tüm performans modellerinin kıyası yapılmış olup en iyi

modele karar verilmeye çalışılmıştır. Böylece, sürüşe en çok etkisi olan parametreler ve acil onarılması gereken yolların kesimleri bulunmuştur.

Weka analizi sonucu araştırma bulguları gösterilmiştir. Performans tahmin modellerinden bahsedilerek çıkan sonuçlar ve hata oranlarına detaylıca yer verilmiştir. Tüm performans modellerinin kıyası yapılmış olup en iyi modele karar verilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak elde edilen verilerin neticesinde modelin yeterliliğini gösteren R değerine göre en uygun modelin karar ağaçlarından M5P modeli olduğu gözlemlenmiştir.

5.2 Öneriler

Ülkemizde karayollarına uygun geliştirilmesi gereken üstyapı performans tahmin modelleri için farklı parametrelere sahip karayolları kesimlerinde düzenli ölçümler yapılarak performans modelleri geliştirilmelidir.

Yoğun bir şekilde devam eden bölünmüş yol çalışmaları ve sathi kaplamayla yapılan yolların bitümlü sıcak karışıma dönüşmesi için devam eden çalışmalar sebebiyle bilgilerin sürekli güncellenip en yeni teknolojilerin sürekli takip edilmesi gerekmektedir.

Yollar yapılmaktayken trafiğe açılmadan gerekli kontroller muhakkak yapıp şartnameye uymayan yolların müteahhide tekrar yaptırılması konusunda hassas davranılmalıdır.

Üstyapı performans modelleri sonucu tahmin edilen IRI değerlerinin her model sonunda gerekli uzmanlar tarafından değerlendirilmesi gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Amekudzi, A. A., & Attah-Okine, N. (1996). Institutional issues in implementation of pavement management systems by local agencies. *Transportation research record*, 1524(1), 10-15.
- Attah-Okine, N. O. (1999). "Analysis of learning rate and momentum term in backpropagation neural network algorithm trained to predict pavement performance." *Advances in Engineering Software* 30(4): 291-302.
- Chen, C. and J. Zhang (2011). Comparisons of IRI-Based pavement deterioration prediction models using new mexico pavement data. *Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering*: 4594-4603.
- Chootinan, P., A. Chen, M. R. Horrocks and D. Bolling (2006). "A multi-year pavement maintenance program using a stochastic simulation-based genetic algorithm approach." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 40(9): 725-743.
- Colucci-Rios, B. and K. C. Sinha (1985). Optimal pavement management approach using roughness measurements.
- Cary, W. (1960). The pavement serviceability-performance concept. *HRB Bulletin*, 250.
- Demidova, L., & Sokolova, Y. S. (2021). Approbation of the data classification method based on the SVM algorithm and the k nearest neighbors algorithm. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,
- Finn, F. (1998). Pavement management systems--Past, present, and future. *Public Roads*, 62(1).
- Haas, R., & Hudson, W. R. (2015). *Pavement asset management*. John Wiley & Sons.
- Haas, R., Hudson, W. R., & Zaniewski, J. P. (1994). *Modern pavement management*.
- Hergüner, A. T. (2009). *Türkiye Otoyol Ağı İçin Üstyapı Yönetim Sistemi İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ*]. <http://hdl.handle.net/11527/4837>
- Iyınam, S., Ergun, M., & Iyınam, A. F. (2010). Modeling of state highway pavement maintenance work. *Scientific Research and Essays*, 5(21), 3201-3205.
- Kırbaş, U. (2007). Üstyapı yönetim sistemi ve Beşiktaş ilçesi örneğinde uygulama olanaklarının araştırılması.
- Morrow, G. (2006). Comparison of roughness measuring instruments. *University of Auckland*.
- Öztürk, K., & Şahin, M. E. (2018). Yapay sinir ağları ve yapay zekâ'ya genel bir bakış. *Takvim-i Vekayi*, 6(2), 25-36.

- Sayers, M., Gillespie, T., & Queiroz, C. (1986). The international road roughness experiment: A basis for establishing a standard scale for road roughness measurements. *Transportation research record*, 1084, 76-85.
- Terzi, S. (2004). Coğrafi Bilgi Sistemi Yardimiyla Karayolu Üstyapi Bakim Yönetim Modeli Gelistirilmesi.
- Witten, I., Frank, E., & Hall, M. A. (2005). Data Mining Morgan Kaufmann. In.
- Zhou, H., Zhang, J., Zhou, Y., Guo, X., & Ma, Y. (2021). A feature selection algorithm of decision tree based on feature weight. *Expert Systems with Applications*, 164, 113842.
- Gulen, S., K. Zhu, J. Weaver, J. Shan and W. Flora (2001). "Development of improved pavement performance prediction models for the Indiana pavement management system." Joint Transportation Research Program: 69.
- Haas, R. and W. R. Hudson (2015). Pavement asset management, John Wiley & Sons.
- İyınam, Ş. (1997). Karayollarında üstyapi bakım çalışmalarını planlama metodolojisi, Doktora Tezi.
- Jahren, C. T., B. Cawley, B. Ellsworth and K. L. Bergeson (1998). "Review of cold in-place asphalt recycling in Iowa." Proceedings of the Transportation Research Board.
- Jung, F., R. Kher and W. Phang (1976). "Subsystem for predicting flexible pavement performance." Transportation Research Record(572).
- Karaşahin, M. and S. Terzi (2014). "Performance model for asphalt concrete pavement based on the fuzzy logic approach." Transport **29**: 18-27.
- Lethanh, N. and B. T. Adey (2013). "Use of exponential hidden Markov models for modelling pavement deterioration." International Journal of Pavement Engineering **14**(7): 645-654.
- Lytton, R. L. (1987). Concepts of pavement performance prediction and modeling. Proc., 2nd North American Conference on Managing Pavements.
- Moavebzadeh, F. (1976). "Stochastic model for prediction of pavement performance." Transportation Research Record **575**: 56-72.
- Moazami, D., H. Behbahani and R. Muniandy (2011). "Pavement rehabilitation and maintenance prioritization of urban roads using fuzzy logic." Expert Systems with Applications **38**(10): 12869-12879.
- Officials, T. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993, Aashto.
- Otto, S. and S. T. Ariaratnam (1999). "Guidelines for developing performance measures in highway maintenance operations." Journal of transportation engineering **125**(1): 46-54.

Pan, N.-F., C.-H. Ko, M.-D. Yang and K.-C. Hsu (2011). "Pavement performance prediction through fuzzy regression." Expert Systems with Applications **38**(8): 10010-10017.

Pan, Y., H. Kerali and M. Snaith (1999). A NETWORK LEVEL PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM FOR CHINA. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport, Thomas Telford-ICE Virtual Library.

Park, E. S., R. E. Smith, T. J. Freeman and C. H. Spiegelman (2008). "A Bayesian approach for improved pavement performance prediction." Journal of Applied Statistics **35**(11): 1219-1238.

Parvini, M. (2002). "The application of Artificial Neural Networks (ANN) in pavement performance modeling data." Road Materials and Pavement Design **3**(4): 373-384.

Prozzi, J. A. and S. M. Madanat (2003). "Incremental nonlinear model for predicting pavement serviceability." Journal of transportation Engineering **129**(6): 635-641.

Ramaswamy, R. and M. Ben-Akiva (1990). "Estimation of highway pavement deterioration from in-service pavement data." Transportation Research Record **1272**: 96-106.

Riggins, M., R. L. Lytton and A. Garcia-Diaz (1985). "Developing stochastic flexible pavement distress and serviceability equations." Transportation Research Record **1048**: 1-7.

Salem, O., A. El-Assaly and S. Abou-Rizk (2003). Performance prediction models of pavement highway network in Alberta. Transportation Research Board 2003 Annual Meeting CD-ROM.

Shahin, M., G. Nelson, J. Becker and S. Kohn (1984). Development of a Pavement Maintenance Management System. Volume 9. Development of Airfield Pavement Performance Prediction Models, CONSTRUCTION ENGINEERING RESEARCH LAB (ARMY) CHAMPAIGN IL.

Terzi, S. (2007). "Modeling the pavement serviceability ratio of flexible highway pavements by artificial neural networks." Construction and Building Materials - CONSTR BUILD MATER **21**: 590-593.

Terzi, S. (2013). "The term "present serviceability" ." Advances in engineering software **57**: 59-64.

Yang, J., J. Lu, M. Gunaratne and Q. Xiang (2003). Overall pavement condition forecasting using neural networks-an application to Florida Highway Network. 82nd annual meeting of the transportation research board.

Ziari, H., J. Sobhani, J. Ayoubinejad and T. Hartmann (2016). "Prediction of IRI in short and long terms for flexible pavements: ANN and GMDH methods." International journal of pavement engineering **17**(9): 776-788.

- Hergüner, A.T., 2009. Türkiye Otoyol Ağı İçin Üstyapı Yönetim Sistemi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 239s. İstanbul
- Amekudzi, A. A., & Attoh-Okine, N. (1996). Institutional issues in implementation of pavement management systems by local agencies. *Transportation research record*, 1524(1), 10-15.
- Attoh-Okine, N. O. (1999). Analysis of learning rate and momentum term in backpropagation neural network algorithm trained to predict pavement performance. *Advances in Engineering Software*, 30(4), 291-302. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0965-9978\(98\)00071-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0965-9978(98)00071-4)
- Cary, W. (1960). The pavement serviceability-performance concept. *HRB Bulletin*, 250.
- Chen, C., & Zhang, J. (2011). Comparisons of IRI-Based pavement deterioration prediction models using new mexico pavement data. In *Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering* (pp. 4594-4603).
- Chootinan, P., Chen, A., Horrocks, M. R., & Bolling, D. (2006). A multi-year pavement maintenance program using a stochastic simulation-based genetic algorithm approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(9), 725-743.
- Colucci-Rios, B., & Sinha, K. C. (1985). *Optimal pavement management approach using roughness measurements*.
- Demidova, L., & Sokolova, Y. S. (2021). Approbation of the data classification method based on the SVM algorithm and the k nearest neighbors algorithm. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,
- Finn, F. (1998). Pavement management systems--Past, present, and future. *Public Roads*, 62(1).
- Gulen, S., Zhu, K., Weaver, J., Shan, J., & Flora, W. (2001). Development of improved pavement performance prediction models for the Indiana pavement management system. *Joint Transportation Research Program*, 69.
- Haas, R., & Hudson, W. R. (2015). *Pavement asset management*. John Wiley & Sons.
- Haas, R., Hudson, W. R., & Zaniewski, J. P. (1994). *Modern pavement management*.
- Hergüner, A. T. (2009). *Türkiye Otoyol Ağı İçin Üstyapı Yönetim Sistemi İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ*. <http://hdl.handle.net/11527/4837>
- Iyınam, S., Ergun, M., & Iyınam, A. F. (2010). Modeling of state highway pavement maintenance work. *Scientific Research and Essays*, 5(21), 3201-3205.

- İyınam, Ş. (1997). *Karayollarında üstyapı bakım çalışmalarını planlama metodolojisi* [Doktora Tezi].
- Jahren, C. T., Cawley, B., Ellsworth, B., & Bergeson, K. L. (1998). Review of cold in-place asphalt recycling in Iowa. *Proceedings of the Transportation Research Board*.
- Jung, F., Kher, R., & Phang, W. (1976). Subsystem for predicting flexible pavement performance. *Transportation Research Record*(572).
- Karavaşın, M., & Terzi, S. (2014). Performance model for asphalt concrete pavement based on the fuzzy logic approach. *Transport*, 29, 18-27.
<https://doi.org/10.3846/16484142.2014.893926>
- Kırbaş, U. (2007). Üstyapı yönetim sistemi ve Beşiktaş ilçesi örneğinde uygulama olanaklarının araştırılması.
- Kulkarni, R. B., & Miller, R. W. (2003). Pavement management systems: Past, present, and future. *Transportation Research Record*, 1853(1), 65-71.
- Lethanh, N., & Adey, B. T. (2013). Use of exponential hidden Markov models for modelling pavement deterioration. *International journal of pavement engineering*, 14(7), 645-654.
- Lytton, R. L. (1987). Concepts of pavement performance prediction and modeling. Proc., 2nd North American Conference on Managing Pavements,
- Moavebzadeh, F. (1976). Stochastic model for prediction of pavement performance. *Transportation Research Record*, 575, 56-72.
- Moazami, D., Behbahani, H., & Muniandy, R. (2011). Pavement rehabilitation and maintenance prioritization of urban roads using fuzzy logic. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12869-12879.
- MOROVA, N., SERİN, S., TERZİ, S., & SALTAN, M. (2013). Prediction of the pavement serviceability ratio of rigid highway pavements by artificial neural networks. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2(1), 12-25.
- Morrow, G. (2006). Comparison of roughness measuring instruments. *University of Auckland*.
- Officials, T. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993* (Vol. 1). Aashto.
- Otto, S., & Ariaratnam, S. T. (1999). Guidelines for developing performance measures in highway maintenance operations. *Journal of transportation engineering*, 125(1), 46-54.
- Öztürk, K., & Şahin, M. E. (2018). Yapay sinir ağları ve yapay zekâ'ya genel bir bakış. *Takvim-i Vekayi*, 6(2), 25-36.

- Pan, N.-F., Ko, C.-H., Yang, M.-D., & Hsu, K.-C. (2011). Pavement performance prediction through fuzzy regression. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 10010-10017.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.007>
- Pan, Y., Kerali, H., & Snaith, M. (1999). A NETWORK LEVEL PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM FOR CHINA. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport,
- Park, E. S., Smith, R. E., Freeman, T. J., & Spiegelman, C. H. (2008). A Bayesian approach for improved pavement performance prediction. *Journal of Applied Statistics*, 35(11), 1219-1238.
- Parvini, M. (2002). *Road Materials and Pavement Design*, 3(4), 373-384.
<https://doi.org/10.1080/14680629.2002.9689931>
- Prozzi, J. A., & Madanat, S. M. (2003). Incremental nonlinear model for predicting pavement serviceability. *Journal of transportation engineering*, 129(6), 635-641.
- Ramaswamy, R., & Ben-Akiva, M. (1990). Estimation of highway pavement deterioration from in-service pavement data. *Transportation Research Record*, 1272, 96-106.
- Riggins, M., Lytton, R. L., & Garcia-Diaz, A. (1985). Developing stochastic flexible pavement distress and serviceability equations. *Transportation Research Record*, 1048, 1-7.
- Salem, O., El-Assaly, A., & Abou-Rizk, S. (2003). Performance prediction models of pavement highway network in Alberta. Transportation Research Board 2003 Annual Meeting CD-ROM,
- Sayers, M., Gillespie, T., & Queiroz, C. (1986). The international road roughness experiment: A basis for establishing a standard scale for road roughness measurements. *Transportation research record*, 1084, 76-85.
- Shahin, M., Nelson, G., Becker, J., & Kohn, S. (1984). *Development of a Pavement Maintenance Management System. Volume 9. Development of Airfield Pavement Performance Prediction Models.*
- Taburoğlu, S. (2019). A Hybrid and Reliable Method Integrating Depth and Technical Analysis with Machine Learning Techniques for Predicting Stock Prices.
- Terzi, S. (2004). Coğrafi Bilgi Sistemi Yardimiyla Karayolu Üstyapi Bakim Yönetim Modeli Geliştirilmesi.
- Witten, I., Frank, E., & Hall, M. A. (2005). Data Mining Morgan Kaufmann. In.

Yang, J., Lu, J., Gunaratne, M., & Xiang, Q. (2003). Overall pavement condition forecasting using neural networks-an application to Florida Highway Network. 82nd annual meeting of the transportation research board,

Zhou, H., Zhang, J., Zhou, Y., Guo, X., & Ma, Y. (2021). A feature selection algorithm of decision tree based on feature weight. *Expert Systems with Applications*, 164, 113842.



EKLER**EK-1 Weka analiz sonucu**

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.trees.RandomTree -K 0 -M 1.0 -V 0.001 -S 1
 Relation: performans
 Instances: 133
 Attributes: 9
 kalinlik
 dingil
 maxsicaklik
 minsicaklik
 yagis
 nem
 sfts
 kar
 performans
 Test mode: split 70.0% train, remainder test

=== Classifier model (full training set) ===

RandomTree

```

=====
dingil < 45566600.3
| kar < 1200
| | yagis < 13498.5 : 0.77 (1/0)
| | yagis >= 13498.5
| | | sfts < 1411.5 : 0.98 (1/0)
| | | sfts >= 1411.5 : 1.18 (4/0)
| | kar >= 1200
| | | minsicaklik < -7497.59
| | | | dingil < 4148294.25 : 1.12 (1/0)
| | | | dingil >= 4148294.25 : 1.22 (1/0)
| | | minsicaklik >= -7497.59
| | | | dingil < 13503229.12
| | | | | yagis < 43369.5 : 1.14 (1/0)
| | | | | yagis >= 43369.5 : 1.23 (1/0)
| | | | | dingil >= 13503229.12
| | | | | minsicaklik < -546.05
| | | | | nem < 1268223
| | | | | | yagis < 25081.5 : 1.59 (1/0)
| | | | | | yagis >= 25081.5
| | | | | | | dingil < 21575761.04 : 1.54 (2/0)
| | | | | | | dingil >= 21575761.04
| | | | | | | | kalinlik < 64.5 : 1.45 (1/0)

```

```

| | | | | | | | kalinlik >= 64.5 : 1.53 (1/0)
| | | | | | | | nem >= 1268223 : 1.67 (1/0)
| | | | | | | | minsicaklik >= -546.05
| | | | | | | | dingil < 28158439.73
| | | | | | | | dingil < 22386513.85
| | | | | | | | minsicaklik < -504.05
| | | | | | | | dingil < 16552468.25 : 1.39 (1/0)
| | | | | | | | dingil >= 16552468.25 : 1.45 (1/0)
| | | | | | | | minsicaklik >= -504.05 : 1.45 (1/0)
| | | | | | | | dingil >= 22386513.85 : 1.33 (1/0)
| | | | | | | | dingil >= 28158439.73 : 1.53 (2/0)
dingil >= 45566600.3
| dingil < 80605712.56
| | dingil < 57831772
| | | kalinlik < 64 : 1.71 (1/0)
| | | kalinlik >= 64 : 1.68 (3/0)
| | | dingil >= 57831772
| | | | dingil < 60059360.25 : 1.81 (2/0)
| | | | dingil >= 60059360.25
| | | | | kalinlik < 64.5 : 1.91 (1/0)
| | | | | kalinlik >= 64.5 : 1.96 (1/0)
| | | | | dingil >= 80605712.56
| | | | | | dingil < 82681042.2 : 2.13 (1/0)
| | | | | | dingil >= 82681042.2
| | | | | | | kalinlik < 64.5 : 2.64 (1/0)
| | | | | | | kalinlik >= 64.5 : 2.41 (1/0)

```

Size of the tree : 49

Time taken to build model: 0 seconds

=== Evaluation on test split ===

Time taken to test model on test split: 0 seconds

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.876
Mean absolute error	0.205
Root mean squared error	0.2411
Relative absolute error	82.1285 %
Root relative squared error	82.9724 %
Total Number of Instances	133

EK-2: Trakya ve Anadolu otoyoluna ait veri çizelgesi

KESİM NO	YOLUN ADI	TRAFİĞE AÇILDIĞI YIL	BAKIM YILI	MEVCUT ÜSTYAPI KALINLIĞI	IRI	T8.2	MAKSİMUM KAPLAMA YÜZEYİ SICAKLIĞI	MİNİMUM KAPLAMA YÜZEYİ SICAKLIĞI	MAX.TOP. YAĞIŞ TS	MAX NEM TS	Y MAX MİN SF MAX SFTS	YMAX KAR ÖRT. TS
				cm	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006
1	Anadolu Otoyolu-Samandıra	1990	2004	54	2,64	95.272.825,00	120170,5	-3347,7	364356	1469211	53325	13440
2	Anadolu Otoyolu-Samandıra	1990	2004	54	1,54	29.368.988,66	13658,5	-484,7	52230	170589	5016	1410
3	Kurtköy-Kocaeli İl Sınırı	1990	2005	54	1,23	10.946.693,61	13658,5	-484,7	52230	170589	5016	1410
4	Kocaeli İl Sınırı - Şekerpınar Kavşağı	1990	2005	54	1,33	26.947.890,81	13658,5	-484,7	52230	170589	5016	1410
5	Şekerpınar kavşağı-Gebze Kavşağı	1990	2004	54	1,45	23.553.241,37	11921,1	-805,7	70926	256212	8526	4080
6	Gebze Kavşağı-Dilovası Kavşağı	1984	1998	54	1,81	58.224.485,00	65889,2	-1695,2	196866	772866	28617	7350
7	Dilovası Kavşağı-Batı Hereke Kavşağı	1984	1998	54	1,80	57.887.167,45	65889,3	-1695,4	196866	772866	28617	7350
8	Batı Hereke Kavşağı-Doğu Hereke Kavşağı	1984	1998	54	1,91	61.894.235,51	72316,2	-2006,1	227907	860013	31977	8280
9	Doğu Hereke Kavşağı-Körfez Kavşağı	1984	1998	54	1,71	57.776.376,55	65889,3	-1695,4	196866	772866	28617	7350
10	Körfez Kavşağı-İzmit Batı	1984	1999	74	1,67	52.066.765,20	59081,5	-1572,9	175194	685434	25545	7350
11	Kandıra Kavşağı-İzmit Doğu	1992	2005	75	1,45	17.825.136,90	13658,6	-484,7	52230	170589	5016	1410
12	İzmit Doğu Kavşağı-Sakarya İl Sınırı	1992	2004	75	1,53	37.127.845,96	15909,4	-523,4	48477	171840	9609	1320
13	İzmit Doğu Kavşağı-Sakarya İl Sınırı	1992	2005	75	1,54	19.598.280,71	24475,4	-906,2	72666	257142	14718	3570
14	Sapanca Kavşağı-Adapazarı Kavşağı	1992	2005	75	1,45	17.045.171,88	15909,4	-523,4	48477	171840	9609	1320
15	Adapazarı Kavşağı-Akyazı Kavşağı	1992	2005	75	1,39	16.059.764,63	15909,4	-523,4	48477	171840	9609	1320
16	Hendek Kavşağı-Düzce il Sınırı	1992	BY	75	1,69	46.629.520,08	115856,7	-4185,5	346677	1302900	80766	9720
17	Düzce İl Sınırı-17.Bölge Sınırı	1992	BY	75	1,67	30.103.590,51	107544,6	-4185,5	346677	1302900	80766	9720
18	Edirne Batı Kavşağı - Lalapaşa Kavşağı	1994	BY	75	1,22	6.260.969,29	86517,62	-10301,36	174846	1102083	73662	10350
19	Edirne Doğu Kavşağı-Havsa kavşağı	1994	2006	75	1,17	8.220.145,14	6681,87	-990,45	15771	85797	5481	900
20	Havsa Kavşağı-Kırklareli İl Sınırı	1994	0	75	1,12	2.035.619,22	78480,25	-9693,19	137748	1098744	50754	1620
21	Kırklareli İl Sınırı-Babaeski Kavşağı	1994	2006	75	0,77	1.109.990,73	5636,73	-1062,60	11226	83829	3396	1080
22	Babaeski Kavşağı-Lüleburgaz Kavşağı	1993	0	75	1,18	9.105.210,78	102526,24	-11762,52	176640	1160790	101922	1080
23	Lüleburgaz Kavşağı-Tekirdağlı sınıırı	1992	2005	75	1,19	3.006.238,11	14835,70	-1584,03	28728	171240	13992	1080
24	Lüleburgaz Kavşağı-Tekirdağlı sınıırı	1992	2004	75	1,14	4.112.291,36	23579,39	-2618,29	34509	253152	21528	1440
25	Tekirdağ İl Sınırı-Saray Kavşağı	1992	2004	75	0,98	4.112.288,06	8072,15	-1140,79	20988	178980	936	0
26	Saray Kavşağı-Çorlu Kavşağı	1992	2004	75	1,18	5.075.123,18	13021,71	-1793,65	32343	267498	1887	900
27	Çorlu Kavşağı-İstanbul İl Sınırı	1992	0	75	1,54	18.692.591,28	74753,96	-5301,98	192579	1233546	8817	5370
28	Çatalca Kavşağı-Hadımköy Kavşağı	1990	2005	75	1,59	44.503.680,53	10517,72	-579,00	23919	172395	1884	1680
29	Hadımköy Kavşağı-Avcılar Kavşağı	1990	0	75	1,96	80.193.334,05	93918,84	-2712,10	246615	1212045	9198	6960
30	Avcılar Kavşağı-Mahmutbey Batı Kavşağı	1990	0	75	2,13	81.018.091,07	93918,90	-2712,10	246615	1212045	9198	6960
31	Mahmutbey Doğu-Metris Kavşağı	1989	0	75	2,41	84.343.993,33	101238,90	-2036,92	375576	1211868	17886	8640
32	Kavacık kavşağı-Ümraniye Kavşağı	1989	2006	75	1,53	27.106.955,36	10849,92	-568,69	26244	85575	978	1500
33	Ümraniye kavşağı-Anadolu Otoyolu Kvs	1989	2004	75	1,69	52.769.689,00	18253,56	-871,08	48045	259233	3885	3120