



**KANALİZASYON BORU HATTI İNŞAAT MALİYETLERİNİN ÖN
TAHMİNİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ**

Murat SÜERİ

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MART 2022

ETİK BEYAN

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

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

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

Murat SUERİ

11/03/2022

KANALİZASYON BORU HATTI İNŞAAT MALİYETLERİNİN ÖN TAHMİNİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

(Doktora Tezi)

Murat SUERİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2022

ÖZET

Bu çalışmada kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin sistematik ve gerçeğe daha yakın olarak tahmin edilebilmesi için bir yöntem önerisinde bulunulmuştur. Bu amaçla, kanalizasyon boru hattı inşaat maliyetlerinin ön tahmini için 202 adet kanalizasyon boru hattı projesi ele alınmıştır. Ele alınan projelerin rapor, çizim, metraj ve keşif verileri temin edilmiştir. Elde edilen projeler üzerinden kanalizasyon boru hattı inşaat maliyeti çıktı değişkenini etkileyebilecek; boru çapı, hat uzunluğu, kazı derinliği, baca miktarı, kazı miktarı, dolgu miktarı ve kazı klası parametreleri seçilmiştir. Girdi bağımsız değişkenleri ile çıktı bağımlı değişkeni arasındaki korelasyonlar hesaplanmış ve korelasyon sonuçlarına göre bazı girdi değişkenleri elenmiştir. Eleme sonucunda kanalizasyon boru hattı projeleri üzerinden nispeten kolay ve hızlı bir şekilde belirlenebilen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve gerçek maliyet parametreleri analizlerde kullanılmıştır. Oluşturulan modellerde 182 adet kanalizasyon boru hattı projesi eğitim verisi, 20 adet kanalizasyon boru hattı projesi ise test verisi olarak kullanılmıştır. Analizler “SPSS Statistics 25” yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Belirlenen bu parametreler kullanılarak Regresyon Analizleri (RA) yapılmış ve kanalizasyon boru hattı maliyetlerini tahmin etmek için formüller geliştirilmiştir. Geliştirilen formüllerden tüm parametrelerin kullanıldığı model $R^2=0,911$ katsayısı ile en yüksek ilişki derecesine sahip model olmuştur. Tahmin sonuçları ile gerçek sonuçlar arasındaki tutarlılığı kontrol etmek amacıyla performans değerlendirme ölçütü olarak Durbin-Watson kriteri kullanılmıştır. Daha sonra aynı parametreler kullanılarak Yapay Sinir Ağları (YSA) analizleri yapılmış ve bu analizler neticesinde de kanalizasyon boru hatlarının maliyetlerini tahmin etmek için kullanılabilecek formüller geliştirilmiştir. Yapay sinir ağlarının, regresyon analizlerine göre en büyük dezavantajı olan bir formül ortaya koyamaması sorununa çözüm olabilecek bir yöntem ortaya konulmuştur. Bunun için tercih edilen aktivasyon fonksiyonlarına ait formüllerde YSA analizleri neticesinde ortaya çıkan ağırlıklar kullanılmıştır. Kurulan YSA modeli neticesinde geliştirilen formül kullanılarak tahmin edilen kanalizasyon hattı maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasındaki ilişki derecesi $R^2=0,943$ olarak belirlenmiştir. Analizler neticesinde bulunan kanalizasyon boru hattı maliyeti tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre YSA ile geliştirilen formüllerle yapılan kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin tahminleri, RA ile geliştirilen formüllerle yapılan kanalizasyon boru hattı maliyet tahminlerine göre gerçeğe daha yakın sonuçlar vermiştir.

Bilim Kodu : 91129

Anahtar Kelimeler : Kanalizasyon Boru Hattı, Maliyet, Maliyet Tahmini, Yapay Zeka, Yapay Sinir Ağları (YSA), Regresyon Analizi (RA)

Sayfa Adedi : 141

Danışman : Prof. Dr. Mürsel ERDAL

A MODEL PROPOSAL FOR EARLY ESTIMATION OF SEWER PIPELINE CONSTRUCTION COSTS

(Ph. D. Thesis)

Murat SUERİ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2022

ABSTRACT

In this study, a method has been proposed for estimating sewer pipeline costs closer to reality. For this purpose, 202 sewer pipeline projects were considered for the preliminary estimation of sewer pipeline construction costs. Reports, drawings, quantities and exploratory data of the projects discussed were obtained. Variables which may affect the sewer pipeline construction cost; pipe diameter, line length, excavation depth, amount of chimney, amount of excavation, amount of filling and excavation class parameters, were selected. Correlations between the input independent variables and the output dependent variable were calculated and some input variables were eliminated according to the correlation results. As a result of the screening, excavation depth, pipe diameter, line length, excavation class coefficient and actual cost parameters, which can be determined relatively easily and quickly through sewer pipeline projects, were used in the analysis. In the models created, 182 sewer pipeline projects were used as training data, and 20 sewer pipeline projects were used as test data. Analyzes were carried out with "SPSS Statistics 25" software. Regression Analyzes (RA) were made using these determined parameters and formulas were developed to estimate sewer pipeline costs. Among the developed formulas, the model in which all parameters were used became the model with the highest degree of correlation with the coefficient $R^2=0.911$. Durbin-Watson criterion was used as a performance evaluation criterion in order to check the consistency between the estimation results and the actual results. Then, Artificial Neural Networks (ANN) analyzes were made using the same parameters, and as a result of these analyzes, formulas that could be used to estimate the costs of sewer pipelines were developed. A method that can be a solution to the problem that artificial neural networks cannot produce a formula, which is the biggest disadvantage compared to regression analysis, has been put forward. For this purpose, the weights obtained as a result of ANN analyzes were used in the formulas of the preferred activation functions. Using the formula developed as a result of the established ANN model, the correlation degree between the estimated sewer line cost values and the actual cost values was determined as $R^2=0.943$. The sewer pipeline cost estimation results obtained from the analyzes were compared. According to the findings, the sewer pipeline cost estimations made with the formulas developed with ANN gave more realistic results than the sewer pipeline cost estimates made with the formulas developed with RA.

Science Code : 91129

Key Words : Sewer Pipelines, Cost, Cost Estimate, Artificial Intelligence, Artificial Neural Networks (ANN), Regression Analysis (RA)

Page Number : 141

Supervisor : Prof. Dr. Mürsel ERDAL

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesi sürecinde bana yol gösteren, eleştiri ve önerileri ile daha doğruya ulaşmama yardımcı olan, İnşaat Yönetimi alanındaki çalışmamda beni teşvik eden ve önüme büyük ufuklar açan çok kıymetli hocam Prof. Dr. Mürsel ERDAL'a teşekkür ederim. Değerli görüş ve önerileri ile tez yazım sürecinde sağladıkları katkılardan dolayı tez izleme komite üyesi hocalarım Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU ve Doç. Dr. Latif Onur UĞUR'a teşekkür ederim. Ayrıca ömrüm boyunca beni öğrenmeye, kendimi geliştirmeye, mücadele etmeye ve başarmaya teşvik eden, her zaman her yerde yol gösteren, destek olan ve güvenen annem Deniz Sueri'ye ve babam Dr. Abbas Sueri'ye teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Değerli kardeşlerim Serhat ve Nazlı Sueri'ye teşekkür ederim. Okumaya, öğrenmeye, çalışmaya ve araştırmaya yönelik bir yaşamı paylaşmanın zorluklarına göğüs geren ve desteklerini esirgemeyen hayat arkadaşım Pınar Sueri'ye, canım oğlum Çınar Sueri'ye ve canım kızım Nehir Sueri'ye de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	5
3. KANALİZASYON HATLARI.....	15
3.1. Kanalizasyon Toplama Sistemleri Hakkında Mevzuat	15
3.1.1. Yönetmelikler.....	15
3.1.2. Şartnameler	16
3.2. Kanalizasyon Hattı Yapım İşleri (Kazı, döşeme, dolgu vb.)	16
3.3. Cazibeli Kanalizasyon Sistemlerinde Kullanılan Borular.....	19
3.3.1. Beton-betonarme borular	19
3.3.2. Yüksek yoğunluklu polietilen malzeme esaslı (HDPE) koruge borular ...	21
3.3.3. Cam takviyeli plastik borular	23
3.4. Basınçlı Kanalizasyon Sistemlerinde Kullanılan Borular.....	24
3.4.1. Dökme demir borular	25
3.4.2. Sfero döküm (Düktil) demir borular	25
3.4.3. Çelik borular.....	25
3.4.4. Yüksek yoğunluklu polietilen malzeme esaslı (HDPE) borular	26
3.5. Kanalizasyon Sistemlerinde Kullanılan Bacalar	27

	Sayfa
3.5.1. Muayene bacaları	28
3.5.2. Şütlü bacalar.....	29
3.5.3. Yıkama bacaları	29
3.6. Parsel Bacaları ve Hatları.....	30
3.7. Diğer Mühendislik Yapıları	31
3.7.1. Terfi merkezleri.....	31
3.7.2. Dolu savaklar	32
3.7.3. Kuşaklama kanalları.....	33
3.7.4. Sifonlar ve ters sifonlar	33
3.7.5. Karayolu, demiryolu, akarsu, kanal ve köprü geçişleri.....	34
3.7.6. Fosseptikler	36
3.7.7. Tahliye yapıları	37
3.7.8. Vantuz yapıları	38
3.7.9. Himaye çiti	39
3.8. Yapılan Diğer İşlemler	40
3.8.1. Sayısal işletme planı.....	40
3.8.2. Cazibeli hatların görüntülenmesi ve sızdırmazlık testi	40
3.8.3. Basınçlı hatların testi.....	42
3.8.4. Karayolu yüzeylerinin eski haline getirilmesi.....	43
3.8.5. Elektrik ve mekanik işleri	43
4. REGRESYON ANALİZİ (RA)	45
4.1. Basit Doğrusal Regresyon Analizi	46
4.2. Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi	49
4.3. Lojistik Regresyon Analizi	51
5. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA).....	53
5.1. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi	54

	Sayfa
5.2. Yapay Sinir Hücresi ve Çalışma Prensipleri	55
5.2.1. Girdiler	55
5.2.2. Ağırlıklar	56
5.2.3. Birleştirme (toplama) fonksiyonu	56
5.2.4. Transfer (aktivasyon) fonksiyonu	57
5.3. Yapay Sinir Ağlarının Tasarımı	59
5.3.1. YSA ağ yapısının seçimi	60
5.3.2. Öğrenme algoritmasının seçimi	61
5.3.3. Ara katman sayısını belirleme	62
5.3.4. Nöron sayısını belirleme	63
5.3.5. Normalizasyon	63
5.3.6. Performans fonksiyonunun seçimi	64
5.4. YSA'nın Avantajları	65
5.4.1. Doğrusal olmama	65
5.4.2. Öğrenme	66
5.4.3. Genelleştirme	66
5.4.4. Uyarlanabilirlik	66
5.4.5. Hata toleransı	66
5.4.6. Eksik bilgi ile çalışabilme	67
5.4.7. Analiz ve tasarım kolaylığı	67
5.5. YSA'nın Dezavantajları	67
5.6. İnşaat Mühendisliğinde YSA Uygulamaları	68
6. MATERYAL VE METOT	69
6.1. Verilerin Toplanması	69
6.2. Analizlerin Yapılması	72
6.2.1. Hat uzunluğu ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin RA ile belirlenmesi	72

	Sayfa
6.2.2. Hat uzunluğu ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin YSA analizi ile belirlenmesi.....	75
6.3. Regresyon Analizi ile Geliştirilen Tahmin Modelleri.....	83
6.3.1. Tek değişkenli doğrusal regresyon analizleri.....	83
6.3.2. İki değişkenli doğrusal regresyon analizleri	92
6.3.3. Üç değişkenli doğrusal regresyon analizleri	104
6.3.4. Dört değişkenli doğrusal regresyon analizi.....	112
6.3.5. En başarılı RA denklemi ile örnek maliyet tahmini hesaplanması	117
6.4. YSA ile Kurulan Tahmin Modelleri	118
6.4.1. En başarılı YSA denklemi ile örnek maliyet tahmini hesaplanması.....	129
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	131
KAYNAKLAR	135
ÖZGEÇMİŞ	141

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Basıncılı ve vakumlu hatların avantaj ve dezavantajları	24
Çizelge 3.2. Maksimum baca aralıkları	28
Çizelge 5.1. Birleştirme fonksiyonları	57
Çizelge 5.2. Aktivasyon fonksiyonları.....	58
Çizelge 5.3. Ağ türleri ve başarılı oldukları alanlar	60
Çizelge 5.4. Öğrenme algoritmaları ve uygulandıkları alanlar.....	62
Çizelge 5.5. Normalizasyon işlemi fonksiyonları.....	64
Çizelge 5.6. Performans kriterleri	64
Çizelge 6.1. Parametreler ve değişim aralıkları	69
Çizelge 6.2. Kazı klas değişkenleri ve örnek test değerleri	70
Çizelge 6.3. Değişkenler arası korelasyonlar.....	71
Çizelge 6.4. RA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı ağırlıkları.....	73
Çizelge 6.5. Seçilen projenin test değişkenleri ve değerleri	74
Çizelge 6.6. Hat uzunluğu parametresine ait standart sapma ve ortalama değerleri	78
Çizelge 6.7. YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı ağırlıkları	79
Çizelge 6.8. Değişkenler ve değişim aralıkları	81
Çizelge 6.9. Test değişkenleri ve değerleri.....	82
Çizelge 6.10. RA toplu denklemler, Durbin-Watson ve R^2 değerleri.....	116
Çizelge 6.11. Değişkenler ve test değerleri	117
Çizelge 6.12. YSA ağ bilgisi.....	119
Çizelge 6.13. YSA’da kullanılan parametrelere ait standart sapma ve ortalama değerler	122
Çizelge 6.14. YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı ağırlıkları	123
Çizelge 6.15. Değişkenler ve değişim aralıkları	125
Çizelge 6.16. Değişkenler ve test değerleri	129

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Regresyon grafiği.....	46
Şekil 5.1. Yapay sinir ağı örneği.....	55
Şekil 5.2. Yapay sinir ağı katmanları.....	56
Şekil 5.3. Bir biyolojik nöronun basitleştirilmiş gösterimi.....	60
Şekil 6.1. Hat uzunluğu ile gerçek maliyet regresyon grafiği.....	73
Şekil 6.2. Hat uzunluğu ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	74
Şekil 6.3. YSA genel ağ yapısı	75
Şekil 6.4. YSA analize özel ağ yapısı	76
Şekil 6.5. YSA analize özel detaylı ağ yapısı	77
Şekil 6.6. Hat uzunluğu ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	82
Şekil 6.7. Boru çapı ile gerçek maliyet regresyon grafiği.....	84
Şekil 6.8. Boru çapı ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı	84
Şekil 6.9. Boru çapı ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması	85
Şekil 6.10. Kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği	86
Şekil 6.11. Kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....	86
Şekil 6.12. Kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	87
Şekil 6.13. Hat uzunluğu ile gerçek maliyet regresyon grafiği.....	88
Şekil 6.14. Hat uzunluğu ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı	89
Şekil 6.15. Hat uzunluğu ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	89
Şekil 6.16. Kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon grafiği	90
Şekil 6.17. Kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....	91
Şekil 6.18. Kazı klas katsayısı ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	91

Şekil	Sayfa
Şekil 6.19. Boru çapı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği.....	92
Şekil 6.20. Boru çapı, kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı..	93
Şekil 6.21. Boru çapı, kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	93
Şekil 6.22. Boru çapı, hat uzunluğu ile gerçek maliyet regresyon grafiği.....	94
Şekil 6.23. Boru çapı, hat uzunluğu ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı ..	95
Şekil 6.24. Boru çapı, hat uzunluğu ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	95
Şekil 6.25. Boru çapı ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon grafiği.....	96
Şekil 6.26. Boru çapı ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....	97
Şekil 6.27. Boru çapı ve kazı klas katsayısı ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması	97
Şekil 6.28. Hat uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği.....	98
Şekil 6.29. Hat uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....	99
Şekil 6.30. Hat uzunluğu ve kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması	99
Şekil 6.31. Hat uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon grafiği....	100
Şekil 6.32. Hat uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....	101
Şekil 6.33. Hat uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması	101
Şekil 6.34. Kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği ...	102
Şekil 6.35. Kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....	103
Şekil 6.36. Kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması	103
Şekil 6.37. Boru çapı, hat uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği	104
Şekil 6.38. Boru çapı, hat uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....	105

Şekil	Sayfa
Şekil 6.39. Boru çapı, hat uzunluğu ve kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	105
Şekil 6.40. Boru çapı, hat uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon grafiği	106
Şekil 6.41. Boru çapı, hat uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....	107
Şekil 6.42. Boru çapı, hat uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	108
Şekil 6.43. Boru çapı, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği	109
Şekil 6.44. Boru çapı, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....	109
Şekil 6.45. Boru çapı, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	110
Şekil 6.46. Hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği	111
Şekil 6.47. Hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....	111
Şekil 6.48. Hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması.....	112
Şekil 6.49. Boru çapı, hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği.....	113
Şekil 6.50. Boru çapı, hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı	114
Şekil 6.51. Boru çapı, hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması	114
Şekil 6.52. YSA'da ağ şeması.....	119
Şekil 6.53. Detaylı YSA analizi ağ yapısı.....	120
Şekil 6.54. YSA analizinde kullanılan değişkenlerin önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri	127
Şekil 6.55. YSA R^2 grafiği.....	127
Şekil 6.56. YSA ile tahmin edilen maliyet-gerçek maliyet kıyaslaması.....	128

Şekil**Sayfa**

Şekil 6.57. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet - artık grafiği	129
---	-----



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. İksalı kazı ile beton boru döşenmesi.....	17
Resim 3.2. Polietilen boru yataklama-gömlekleme	18
Resim 3.3. Betonarme boru üretimi.....	20
Resim 3.4. Kanalizasyon inşaatında betonarme boru uygulaması.....	21
Resim 3.5. Koruge boru üretimi	22
Resim 3.6. Kanalizasyon inşaatında koruge boru uygulaması	22
Resim 3.7. CTP boru üretimi	23
Resim 3.8. Kanalizasyon inşaatında CTP boru uygulaması	23
Resim 3.9. Kanalizasyon inşaatında çelik boru uygulaması.....	26
Resim 3.10. Muayene bacası uygulaması	29
Resim 3.11. Parsel bacası ve hattı uygulaması	31
Resim 3.12. Terfi merkezi	32
Resim 3.13. Sifon geçiş sistemi	33
Resim 3.14. Yönlendirmeli yatay sondaj.....	35
Resim 3.15. Köprüye asarak geçiş	36
Resim 3.16. Fosseptik.....	37
Resim 3.17. Tahliye yapısı.....	38
Resim 3.18. Vantuz yapısı	39
Resim 3.19. Himaye çiti örnekleri	40
Resim 3.20. CCTV görüntüleme işlemi.....	41
Resim 3.21. Basınç testi.....	43

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

\$	Dolar
Ø	Çap
%	Yüzde
cm	Santimetre
kg	Kilogram
kN	Kilo Newton
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
MPa	Mega pascal
sn	Saniye

Kısaltmalar

Açıklamalar

AD	Adet
AKT	Ağırlıklı Kareler Toplamı
ART	Adaptif Rezonans Teori
ASKİ	Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi
A.Ş.	Anonim Şirketi
BFY	Birim Fiyat Yöntemi
CCTV	Kapalı Devre Kamera Sistemi
CTP	Cam Takviyeli Plastik
ÇKA	Çok Katmanlı Algılayıcı
ÇŞİDB	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
EKK	En Küçük Kareler
F	Fonksiyon

Kısaltmalar**Açıklamalar**

GKT	Ortalama Etrafındaki Kareler Toplamı
GRNN	Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HKOK	Hata Kareleri Ortalaması Karekökü
İLBANK	İller Bankası
LVQ	Vektör Parçalama Yöntemi
MAKS	Maksimum
MİN	Minimum
M.Ö.	Milattan Önce
M.S.	Milattan Sonra
OMHY	Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi
PNN	Olasılıksal Sinir Ağı
PVC	Polivinil Klorür
RA	Regresyon Analizi
RBF	Radyal Temel Fonksiyonu
RKT	Regresyon Kareler Toplamı
SGN	Signum
TM	Tahmin Edilen Maliyet
TOKİ	Toplu Konut İdaresi Başkanlığı
vb	Ve benzeri
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

İnsan yaşamının vazgeçilmez bir unsuru olan su, beraberinde suyu temin etmek ve kullanmak için gerekli faaliyetleri de ifade etmektedir. Bu nedenledir ki en eski çağlardan günümüze dek su ve su temini, suyun kullanımı yaşamımızın bir parçası olmuştur. Ancak atıksu sisteminin gerekliliği; yeni kurulan yerleşim yerlerinde atıksuların yaşam alanlarını kirletmesi, çok ciddi kokulara, salgın hastalıklara sebebiyet vermesi ve içme ve kullanma sularının kullanılamaz hale gelmesi ile anlaşılmıştır.

İlk su yapılarına ait inşaatların yapımı milattan önce 4500 yıllarına dayanmaktadır. Eski Hindistan'da Mohenco Daro şehrinde M.Ö. 4500 yıllarında hela, hamam ve kanalizasyon gibi yapıların olduğuna dair belgeler bulunmaktadır. Şehrin sokaklarında üzerleri kiremit ile örülmüş kanalizasyon sistemleri bulunduğu belgelerde yer almaktadır. Yine aynı çağlarda Sümerler tarafından inşa edilen Nippur şehrinde kemerli bir kanalizasyon sistemi, kuyu ve sarnıçlar ile kurulu bir içmesuyu sistemi ve geniş bir alanı kapsayan drenaj sistemi bulunmaktaydı [1].

İlk kanalizasyon sistemi Girit Adası'nda yer alan Knossos Sarayı'nın altına M.Ö. 3000 ila 2000 yılları arasında inşa edilmiştir. Bugünkü Roma'da 2500 yıl önce inşa edilmiş kanalizasyon sistemleri halen aktif olarak çalışmaktadır. Aynı yıllarda Almanya'da inşa edilen kanalizasyon sistemleri günümüzde kullanılmamaktadır, fakat içerlerinde yürünebilmektedir [2].

Atıksuların arıtılmasına ait ilk bilgiler ise Sanskrit tıp kitaplarında (M.Ö. 2000) ve Mısır hiyerogliflerinde (duvar kabartmalarında) yer almaktadır [1]. İçmesuyu ve atıksu hakkında teknik çalışmalar Roma İmparatorluğu ile başlamıştır. M.Ö. 25 yıllarında Roma hükümeti adına çalışan Vitruvius su kaynakları yönetimi hakkında yazılar yazmıştır [3]. Su temini ve arıtımı ile ilgili bilgiler veren ilk rapor ise M.S. 97 yılında, Eski Roma'nın su işlerinden sorumlu yüksek bir memuru olan Sextus Julius Frantinus tarafından yazılmıştır. Frantinus'un Roma'ya su getirme tesisleri hakkında iki eseri mevcuttur [1].

1531 yılı itibari ile Silezya'da yer alan Bunzlau şehrinde toplanan atıksular, tarlalara sızdırılmak suretiyle bertaraf ediliyordu. Bu sistemin tarlalardaki verimi arttırdığı tespit edilmesi ile uzun yıllar uygulanmaya devam edilmiştir [4].

Söz konusu yıllardan 19. yüzyılın sonlarına kadar kanalizasyon sistemlerinde teknik olarak büyük bir değişim yaşanmamıştır. Toplanan atıksular akarsulara, göllere ve denizlere deşarj edilmiştir. Gelişen şehirleşme ve endüstrileşme ile verimli atıksu toplama ve uzaklaştırma zorunlu hale gelmiştir. Toplanan atıksular arıtma tesislerinde arıtılmalarının ardından alıcı ortamlara (göl, akarsu, kıyı ve deniz suları) deşarj edilmeye başlanmıştır [2].

Kanalizasyon altyapısı mevcut olan nüfus, içmesuyu altyapısına sahip olan nüfusun oldukça altındadır. Bunun başlıca sebebi, kanalizasyon sisteminin çalışabilmesi için gerekli olan doluluk oranıdır. Eğer hatta yeterince atıksu toplanmaz ise akış sağlanamaz. Yeterli atıksuyun oluşabilmesi için öncelikle yeterli içmesuyu altyapısının sağlanması gerekmektedir.

Makineleşme yaygınlaşana yani 1980'lere kadar Türkiye'de kanalizasyon sistemlerinde beton harcı künk kullanılmıştır. Makineleşme ile beraber beton büzler üretilmeye ve kanalizasyon sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Büzler künklere kıyasla daha kaliteli, uzun ömürlü ve uygulama kolaylığı olan bir ürün olarak avantaj sağlamıştır. Fakat büzler sızdırmazlık ve mukavemet yönünden büyük bir avantaj sağlamamıştır. Sanayileşmenin yaygınlaşması ile halen günümüzde de tercih edilen beton boruların üretimine geçilmiştir. Beton boruların kanalizasyon sistemlerinde kullanılması ile uzun ömürlü, ekonomik, uygulama kolaylığı olan, yüksek mukavemetli ve sızdırmaz elemanlar olduklarını göstermişlerdir [5].

Şehirleşmelerin her geçen yıl artması ile kanalizasyon sistemleri giderek karmaşık bir hal almıştır. Büyük şehirlerde mevcut kanalizasyon sistemlerine sürekli ilave hatlar yapılmakta ve bu hatlar neticesinde toplayıcı ana hatlar yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple mevcut hatlar daha büyük çaplı hatlarla yenilenmektedir. Diğer yandan ise ülkemizde halen altyapı sistemlerine sahip olmayan birçok Belediye vardır. Söz konusu Belediyelere kanalizasyon sistemi kurulmasında gerekli bilgi ve tecrübeye sahip teknik eleman ya çok azdır ya da yoktur. Teknik elemanı yeterli olsa dahi finansman yönünden yeterli Belediye sayısı çok azdır. Bu Belediyelerin teknik ve finansman gücü olan ve altyapı konularında uzman kuruluş olan İller Bankası önderliğinde etütler yapılmakta, projeler hazırlanmakta, kredi veya hibe şeklinde finansman sağlanarak kanalizasyon hattı eksiklikleri giderilmeye çalışılmaktadır. İller Bankası sadece etüt, proje, maliyet tahmini sürecinde değil, aynı zamanda sözleşme

yapılmasından, işin kesin kabulüne kadar olan tüm süreçlerde de her türlü teknik desteği sağlamaktadır.

Bir atıksu sistemi maliyetinin büyük bir kısmını kanalizasyon maliyeti oluşturur. Atıksu sisteminin tasarımında, kanalizasyon hattı, tasarım sürecinde tekrarlanan temel birimdir. Bu birimin tasarımı sırasında meydana gelen tasarruflar atıksu sisteminin toplam maliyetini ciddi oranda etkilemektedir [6].

Tüm bu çalışmalar esnasında kanalizasyon sisteminin kurulmasına ait maliyet tahmini en önemli rolü oynamaktadır. Kamu kaynaklarının verimli şekilde kullanılabilmesi için yaklaşık maliyet tahmini, etüt, projelendirme ve ihale süreçlerinde büyük bir öneme sahiptir. Kanalizasyon sistemlerinin planlanmasında yaklaşık maliyet tahmininin önemi çok daha yüksektir. Maliyet tahmini neticesinde Belediyenin gücü doğrultusunda finansman temin edilecek ve temin edilen finansmanın projeye yeterli olup olmadığı değerlendirilerek, eğer yeterli değil ise proje kapsamından çıkarılabilecek hatlar finansmanın yeterli olacağı şekilde oluşturularak yenilenecektir.

İnşaat sektöründe rekabet ortamının gerilmesine bağlı olarak kar marjları ciddi oranda düşmüştür. Bu nedenle işveren için de yüklenici için de maliyet tahmininin önemi artmıştır. Planlama ve ön tasarım aşamasında maliyet tahmininin önemi daha da fazla ortaya çıkmaktadır. Kanalizasyon hattı ve diğer tüm altyapı işlerinde bu önem daha da yüksektir. Söz konusu durumlara bir çözüm olabileceği düşünülerek daha önceden yapımı tamamlanmış, benzer riskleri karşılayarak maliyeti ortaya çıkmış projelerden veriler kullanılarak yapılacak maliyet tahminlerinin gerçek maliyetlere daha yakın sonuçlar verebileceği düşünülerek bu çalışma yapılmıştır.

Birçok sektörde özellikle de inşaat sektöründe yapıların maliyetlerini tahmin etmeye yönelik yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmanın amacı, kanalizasyon hattı maliyetine etki eden faktörler ve etki ağırlıklarının incelenmesi; bu ağırlıkların ve veri girdilerinin hem Regresyon Analizi (RA) hem de Yapay Sinir Ağları (YSA) ile belirlenen modeller aracılığı ile kamu kaynaklarının kullanım verimini arttırabilecek şekilde başarılı maliyet çıktılarının oluşturulmasını sağlamaktır.

Bu amaçla, kanalizasyon boru hattı inşaat maliyetlerinin ön tahmini için 202 adet kanalizasyon boru hattı projesi ele alınmıştır. Ele alınan projelerin rapor, çizim, metraj ve keşif verileri temin edilmiştir. Elde edilen projeler üzerinden kanalizasyon boru hattı inşaat maliyeti çıktı değişkenini etkileyebilecek; boru çapı, hat uzunluğu, kazı derinliği, baca miktarı, kazı miktarı, dolgu miktarı ve kazı klası parametreleri seçilmiştir. Girdi bağımsız değişkenleri ile çıktı bağımlı değişkeni arasındaki korelasyonlar hesaplanmış ve korelasyon sonuçlarına göre bazı girdi değişkenleri elenmiştir. Eleme sonucunda kanalizasyon boru hattı projeleri üzerinden nispeten kolay ve hızlı bir şekilde belirlenebilen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve gerçek maliyet parametreleri analizlerde kullanılmıştır. Oluşturulan modellerde 182 adet kanalizasyon boru hattı projesi eğitim verisi, 20 adet kanalizasyon boru hattı projesi ise test verisi olarak kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Yapay zekâ, insan düşüncesinin yapısını anlamaya ve benzerlikleri ortaya çıkarmaya çalışan bilgisayar süreçleri olarak tanımlanmaktadır. Bu, programlanmış bir bilgisayarın düşünmeye yönelik girişimidir. Daha geniş bir tanıma göre ise yapay zekâ; bilgi edinme, algılama, görme, düşünme ve karar verme gibi insana özgü kapasitelerle donatılmış bilgisayardır.

Yapay zekânın bir alt türü olan YSA, genellikle bir beynin bir işlev gerçekleştirme biçimini modellemek üzere tasarlanmış bir sistem olarak tanımlanabilir. YSA, birbirlerine çeşitli şekillerde bağlanan yapay sinir hücrelerinden oluşur ve genellikle tabakalar halinde düzenlenir. Elektronik devrelerde donanım olarak veya bilgisayarlarda yazılım olarak uygulanabilir. YSA, öğrenme sürecinden sonra; bilgi toplama, hücreler arası bağlantı ağırlıklarını depolama, bilgileri depolama ve genelleştirme yeteneğine sahip paralel dağıtılmış bir işlemcidir. Öğrenme süreci, istenen hedefe ulaşmak için YSA ağırlıklarının yenilenmesini sağlayan algoritmaları öğrenmeyi içerir.

YSA birçok önemli mühendislik probleminin çözümünde kullanılmıştır. İnşaat Mühendisliği alanında YSA; normal basınç dayanımlı beton karışımlarının hesaplanmasında [7], beton basınç dayanımının belirlenmesinde [8], şehirlerarası yük taşımacılığı türünün belirlenmesinde [9], kiriş benzeri yapılarda oluşacak hasarların miktarı ve yerinin tespiti için küresel ve yerel titreşim analizi verileri kullanılarak yapılan deneysel çalışmada [10], kirişsiz döşemeli betonarme bir binada oluşan yatay deplasmanın hesaplanmasında [11], öngerilmeli beton sandık kesitli köprülerin analizinde [12], elyaf takviyeli plastik için kısa çekme küp tasarımında [13], izostatik kafes sistem analizinde [14], tuğla duvardaki ve tesisattaki ısı kaybının belirlenmesinde [15], beton basınç dayanımlarının tahmininde [16], kirişsiz döşemeli betonarme yapıların yatay kuvvetler altında rijitlik değerlerinin analizinde [17], günlük buharlaşmanın hesaplanmasında [18], killerin sınıflandırılmasında [19], mevcut yapıların deprem riski açısından durum tespitinde [20] kullanılarak başarılı sonuçlara ulaşılmıştır.

Kamu kaynaklarının kullanım verimini arttırabilmek için RA ve YSA ile maliyet tahminine yönelik çalışmalar da mevcuttur. Ancak, bu çalışmaların hiçbirisi kanalizasyon hatlarının maliyet tahminlerini detaylı bir şekilde incelememiştir. Kanalizasyon hattı maliyetlerinin

tahmini dışında RA ve YSA ile maliyet tahminine ilişkin yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Çiçek (1994) çalışmasında su iletim sistemlerinin özellikleri ile hidrolik ve tasarım özelliklerini incelemiştir. Bu incelemelerin amacı bir denklem oluşturmak, hidrolik ve tasarım özelliklerinde en başarılı seçimleri yapmaktır. Ayrıca çalışmada denklem takımlarının, doğrusal denklemlere dönüştürülerek ardışık yaklaşımlarla çözülmesi esasına dayanan lineer analiz yaklaşımına da değinilmiştir [21].

Koç (1995) çalışmasında su iletim sistemlerini bilgisayar destekli incelemiştir. “Denizli’nin bir bölgesi” konulu çalışmasında, Denizli’nin bir bölgesine karşılık gelen su iletim sistemi detaylı olarak incelenmiştir. Genel tasarım prensipleri ve kararlı rejimde değişik hesap yöntemleri verilmiştir. Ölü noktalar yöntemiyle projelendirilmiş sayısal örnek Hardy-Cross yöntemi kullanılarak tekrar çözülmüştür. Sayısal örneğin genel güzergâhı, kararlı rejim parametreleri ve indekslenmesi yapılmıştır. Bazı kesitlerde, boruların müsaade edilebilir basınçlarından daha büyük basınçlar elde edilmiş olduğundan basınç düşürücü vana, hava giriş vanası gibi koruyucu ekipmanların kullanılmasının gerekli olduğu tespit edilmiştir [22].

Elazouni, Nosair, Mohiaddin ve Mohamed (1997) geri yayılım algoritmasına sahip YSA modelini kullanarak, henüz tasarım aşamasında olan farklı silo inşaatlarında, gerekli yapı kaynaklarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada inşaat projelerinde gerekli kaynakları üç ana başlıkta; tasarım, yapım ve yönetim faktörleri olmak üzere incelemiştir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonunun kullanıldığı çalışmada; 28 adet proje ağı eğitilmesi, 10 adet proje ise test edilmesi aşamalarında kullanılmış ve elde edilen sonuçlar, yapılan RA sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda yapı tahmin problemlerinde YSA yönteminin geleneksel yöntemlere kıyasla daha verimli ve başarılı sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir [23].

Shtub ve Versano (1998) çalışmalarında, maliyet ve maliyete dayalı rekabet, tasarım kararları ile bunun sonucunda ortaya çıkan imalat, destek ve işletme ürünleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Tasarım sürecinin başlarında ürünlerin değerini (maliyet/fayda oranı olarak ölçülür) optimize etme çabaları, çeşitli maliyet tahmin araçlarının geliştirilmesini motive etmiştir. Modern maliyet tahmin sistemleri, bir model tabanı ve veri tabanı kombinasyonuna dayanmaktadır. Ürünlerin gerçek maliyetiyle ilgili verileri toplayan

kullanıcılar genellikle veritabanını günceller. Teknoloji değiştiğinde, yeni süreçler ve malzemeler kullanıma sunulduğunda veya yeni tahmin modelleri geliştirildiğinde model tabanı güncellenmelidir. Maliyet tahmin modeline girdi olarak kullanılan parametreler objektiftir ve kolayca bulunabilir. Önerilen sistem, yeni bir teknoloji geliştirildiğinde maliyet tahminlerinin nasıl değiştirileceğini öğrenen bir YSA'na dayanmaktadır. Karşılaştırmalı bir çalışma, önerilen sistemin maliyet tahmini için kullanılan geleneksel RA modellerinden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır [24].

Hegazy ve Ayed (1998) Kanada'da gerçekleştirilmiş olan 18 adet karayolu projesinden yararlanarak YSA bazlı bir tahmin modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen YSA tahmin modelinde, ağ ağırlıklarının bulunmasında geri yayımlı öğrenme algoritması, simpleks optimizasyon yöntemi ve genetik algoritma yöntemlerini kullanmışlardır. Çözümlerde, toplanan 18 projeye ait verinin 14 tanesi eğitim, 4 tanesi ise test verisi olarak kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda tahminler, test verilerine kıyasla hata oranını ortalama % 1,25 olarak hesaplamıştır. Bu hata oranıyla, simpleks optimizasyon yönteminin klasik yöntemlere kıyasla maliyet hesaplamalarında daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [25].

Bayraktar (1998) kanal altyapı projelerinin bilgisayar ortamında hazırlanması ve maliyet hesabı konulu çalışmasında, kanal altyapı tesislerinin planlama aşamasında bir takım araştırma ve etütler yapılarak, değişik alternatifler öne sürülmüş ve bu alternatiflerin değerlendirilmesi sonucu maliyet hesabı yapılmıştır. Autocad altında çalışan lisp programı (autolisp) hakkında bilgi verilerek güzergâh işlenmesi için yapılan program gösterilmiştir. Bu çalışmada 4 ayrı zemin profili tespit edilerek bu tür güzergâhlarda 30, 40, 50, 60, 80, 100 ve 120 cm çaplı 1 metretül atıksu borusu için ayrı ayrı metraj ve keşif yapılarak maliyet hesaplanmıştır. Ayrıca, aynı zemin profilinde kullanılan kalemler için de değişik alternatifler düşünülerek 1 metretül kanal maliyeti hesaplanmış ve kullanılan tüm borular için ayrı ayrı baca metraj ve keşif özetleri de verilmiştir. Bu çalışmada son olarak çeşitli arazi şartlarına göre değişik alternatifler öne sürülerek en ekonomik olanının belirlenmesi yoluna gidilmiş ve bu alternatifler maliyet açısından yorumlanmıştır [26].

Saraç (2004) çalışmasında mevcut kavramsal maliyet tahmini yöntemlerinin avantaj ve dezavantajlarını incelemiş ve bina projelerinin kavramsal maliyet tahmini için RA ve YSA tahmin tekniklerini kullanmıştır. Tarihsel maliyet verileri, RA ve YSA modellerini geliştirmek için derlenmiştir. Proje maliyetini etkileyen önemli değişkenleri belirlemek için

üç doğrusal regresyon modeli dikkate alınmıştır. RA modelinde doğrusal olmayan veya etkileşim terimlerinin olası ihtiyacını incelemek için iki YSA modeli geliştirilmiştir. Tahminler için belirsizlik seviyesini ölçmek üzere RA modeli için tahmin aralıkları oluşturulmuştur. Kavramsal maliyet tahmini için RA ile YSA'nın eşzamanlı kullanımının avantajları incelenmiştir. Modeller uyum yakınlığı ve tahmin performansı açısından karşılaştırılmıştır. Her iki modelleme tekniği de makul doğrulukta maliyet tahminleri sağlamıştır [27].

Kim, An ve Kang (2004) Kore'de 1997-2000 yılları arasında yapımı tamamlanan 530 adet konut tipi yapının maliyet verilerini kullanarak RA, YSA ve Vaka Tabanlı Sebeplendirme yöntemlerinin tahmin performanslarını karşılaştırmışlardır. Üç yöntemden en iyi sonucu geri yayılım algoritmasını kullanan YSA yöntemi vermiştir. Çalışmada ayrıca, çalışma veri tabanına yeni olaylar eklendiğinde YSA'nın yeniden eğitime tabi tutulması gerektiğinden ve bunun diğer yöntemlerden daha fazla zaman tüketeceğinden söz edilerek, bu durum YSA'nın dezavantajı olarak sunulmuştur [28].

Sodikov (2005) geliştirmekte olan ülkeler olarak seçtiği Polonya ve Tayland'da altyapı projelerinde YSA ve RA yöntemleri ile maliyet tahmini üzerine çalışmıştır. Otoyol projelerinin maliyet analizlerinin doğru hesaplanmasının projenin gelişimi, planlaması ve fizibilite çalışmaları açısından çok önemli olduğunu belirterek, doğru maliyet analizinin yalnızca gelişmiş ülkeler için değil, özellikle geliştirmekte olan ülkeler için de bir problem olduğunu söylemiştir. Polonya'dan 38, Tayland'dan 42 adet olmak üzere çalışmada 80 adet karayolu projesi veri olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak RA tekniğinin, YSA tekniğine göre hata payının Polonya'da % 12, Tayland'da ise % 4 daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Projeye ait verinin kısıtlı olduğu ve değişkenler arasında ilişki bulunmasının zorlaştığı durumlarda da YSA tekniğinin daha avantajlı bir yöntem olduğu sonucuna varmıştır [29].

Baykan (2007) çalışmasında, öğrenme aşamasında 62 adet konut projesi kullanarak, konut tipi yapılar için kaynak tahminine yönelik bir sistem oluşturmaya çalışmış ve tasarım aşamasındaki projeler için gereken kaynak tahminini gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda çoklu RA ile gerçekleştirdiği tahminlerle YSA yöntemiyle gerçekleştirdiği tahminleri karşılaştırmış ve YSA yöntemiyle başarılı tahminler yapılabildiğini tespit etmiştir. Aynı zamanda iki yöntemi birden fazla çıktı tahmini olan durumlar için, analizde harcanan zamanı da göz önüne alarak değerlendirmiş ve çoklu doğrusal RA ile her bir çıktı parametresinin

girdi seti ile ilişkisinin ayrı ayrı belirlenmesi gerektiğini belirterek, YSA'ya göre çok daha kısa sürede sonuç verdiğini tespit etmiştir [30].

Uğur (2007), TOKİ ve Türkiye Konut Yapı Kooperatifleri Birliği'nden (TÜRK KONUT) 58'i eğitim, 5'i test verisi olmak üzere sağlanan 63 adet betonarme taşıyıcı sistemli ve bitişik olmayan çok katlı toplu konut projesinden hesaplanan parametreleri kullanmıştır. Kullanılan parametreler; son kat tavan yüksekliği, bir kattaki daire sayısı, toplam daire sayısı, tip kat alanı, cephe alanı, cephe boşluk alanı, kat yüksekliği, kat sayısı ve ortalama daire alanı değerleridir. Belirlenen parametreler çok katmanlı, geri beslemeli, danışmanlı öğrenme özelliklerinde yapılandırılarak YSA'ya girdi vektörü olarak girilmiştir. Her projenin inşaat maliyeti ise çıktı vektörü olarak tanıtılmıştır. Farklı özelliklerde yapılandırılmış 7 değişik YSA % 1 hata payı ile öğrenme yapması doğrultusunda çıkış değerleri de verilerek danışmanlı öğretme işlemi yaptırılmıştır. Transfer fonksiyonu olarak "Sigmoid Fonksiyonu" ve hesaplamalarda CPC-X Neural Power programı kullanılmıştır. Veri setine (0,1) aralığında normalizasyon işlemi uygulanarak iterasyon sayısı ve öğrenme süresi boyutlarında önemli azalmalar sağlanmıştır. Esas alınacak YSA konfigürasyonu için değerlendirilen 7 farklı ağ yapısının karakteristikleri belirlenerek en uygun YSA konfigürasyonu belirlenmiştir. Bu konfigürasyonlar kullanılarak 5 adet kontrol verisine ait verilerle maliyet tahminleri yapılmış ve bu tahminler Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2005 yılı birim fiyatlarına göre hesaplanan maliyetlerle karşılaştırılmıştır. En düşük ortalama hata değeri % 4,79 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca her parametrenin değişimi ile yapı maliyetinin aldığı değerler incelenmiş ve bulunan sonuçlar yorumlanmıştır. Söz konusu çalışmada ayrıca, inşaat projelerinin erken tasarım aşamasında, projenin ihtiyaç duyacağı maliyet tahmini için YSA yaklaşımının hızlı ve verimli bir yöntem olarak kullanılabileceğinden, ancak bunun kullanılabilmesi için geçmiş proje bilgilerine ihtiyaç duyulduğundan, bilgilerin doğru ve sağlıklı olarak arşivlenmesi sorununun ortaya çıkabileceğinden bahsedilmiştir [31].

Demirel (2007) çalışmasında, TÜRK KONUT tarafından yaptırılan konutların maliyetlerinin YSA ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla betonarme taşıyıcı sisteme haiz ve benzer nitelikteki çok katlı toplu konut projelerinin inşaat maliyetleri hesaplanmış ve mevcut verilerden yararlanılarak oluşturulan çok katmanlı, geri beslemeli, danışmanlı öğrenme özelliklerinde yapılandırılan YSA'ya veri olarak girilmiştir. Bu yapıların projelerinden hesaplanan; tip kat alanları, yapı yükseklikleri ve toplam dış cephe alanları, ağ mimarisinde ana değerlendirme kriterleri olarak alınmıştır. Ağa hesaplatılan maliyet tahminleri, Birim

Fiyat Yöntemi (BFY) ve Regresyon Analizi ile yapılan maliyet hesaplamaları ile karşılaştırılmıştır ve uygulanan YSA yönteminin sağladığı performans değerlendirilmiştir. Oluşturulan YSA'dan sağlanan veriler, Regresyon Analizi verilerine göre BFY ile bulunan maliyetlere daha yakın ve uygulanabilir sonuçlar sağlamıştır. Bu alandaki çalışmalarda hibrit yöntemlerin kullanılmasının daha verimli tahminler için avantaj sağlayacağı ve farklı yapı tipleri için benzer araştırmaların yapılmasının olumlu gelişmeler yaratacağı sonucuna varılmıştır [32].

Öztürk (2009) çalışmasında, çok değişkenli RA ve YSA kullanarak Türkiye'de ön proje aşamasında bulunan hafif raylı ve metro projelerinin hat işleri için ön fiyat tahmin modelini geliştirmiştir. Her iki yaklaşım, tamamlanmış 16 projeye ait ön tasarım aşamasında mevcut bulunan 17 parametreyi içeren veri setine uygulanmış ve her bir metodun sonuçlarına göre, YSA test örneklerinin ortalama hata yüzdesi sonucu (5,76), RA test örneklerinin ortalama hata yüzdesi sonucuna (2,32) göre bir miktar yüksek çıkmıştır. Çalışma neticesinde başarılı iki adet fiyat tahmin modeli geliştirilmiştir [33].

Smith ve Mason'un (2010) çalışmaları, maliyet tahmininde, "maliyet faktörleri" ile ilgili, işçilik, malzeme, kamu hizmetleri veya diğer maliyetlerin zaman içindeki tahminini içermektedir. Bu çalışmada genellikle regresyon formundaki istatistiksel modeller kullanılmıştır. YSA'nın parametrik olmayan istatistiksel tahmin metodu olduğu ve bu nedenle maliyet tahmin modellemesinde kullanım potansiyeline sahip olduğu kanaatine varılmıştır. Bu araştırma, maliyet tahmin ilişkileri geliştirmek için YSA karşı RA kullanarak maliyet tahmin modellemesinin performansını, kararlılığını ve kolaylığını incelemiştir. YSA'ların genel olarak seçilen düşük dereceli polinom formlarına uymayan veriler veya regresyon modellemesi için seçilecek uygun maliyet tahmin ilişkisi hakkında önceden bilgi sahibi olan verilerle çalışırken avantajlara sahip olduğu sonucuna varılmıştır [34].

Tulpar (2010) çalışmasında, kanalizasyon şebekelerinde kullanılan boruları hidrolik ve maliyet açısından incelemiştir. Siirt Üniversitesi yeni yerleşke alanının kanalizasyon şebekesi borularının hidrolik hesapları AutoCAD R14 altında çalışan paket bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Kanalizasyon inşaatlarında en çok kullanılan beton, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) esaslı koruge ile cam takviyeli plastik (CTP) borular için ayrı ayrı hidrolik hesaplamalar yapılmış, boru pürüzlülük katsayılarının farklı olması münasebetiyle atıksu hızında, koruge ve CTP boruların beton boruya oranla kollektör

hatlarında % 20–30 arasında, şebeke hatlarında ise %50–80 arasında bir artışın olduğu görülmüştür. Hidrolik hesaplamalarda daha küçük çapta hesaplanan CTP ve koruge borular kazı – dolgu metrajlarında beton boruya göre % 30 daha az maliyet çıkarmıştır. Ancak CTP boru bedelinin hem koruge hem de beton boruya göre daha pahalı olmasından dolayı, en ekonomik çözümün koruge boru olduğu tespit edilmiştir [35].

Gülçiçek (2011) çalışmasında, 7 ve 15 katlı aynı tip projeleri incelemiş ve 4 farklı deprem bölgesi (1, 2, 3 ve 4 derece), 4 farklı zemin sınıfı (Z1, Z2, Z3, Z4) ile 4 farklı bina önem katsayısına (1-1,2-1,4-1,5) göre statik ve betonarme analizi yapmıştır. Yapılan analizler neticesinde elde edilen kalıp, donatı ve beton metraj değerleri YSA ile programlanarak yaklaşık kaba inşaat maliyeti tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar ÇŞİDB 2010 yılı birim fiyatlarıyla elde edilen kaba inşaat maliyetleri ile karşılaştırılmış ve % 98 doğruluk oranı ile tahmin edilebildiği sonucuna varılmıştır [36].

Uğur, Baykan ve Korkmaz (2011), yığma konutların maliyet tahmininde YSA kullanılarak daha az hesaplama ve daha kısa süre içinde gerçek değerlere en yakın maliyet tahminleri yapılabilmesi üzerine çalışmışlardır. Bu amaca yönelik olarak farklı en, boy ve yükseklikte 21 adet konut projesi tasarlanmış, ÇŞİDB birim fiyat, tarif ve analizleri esas alınarak her yapı projesi için metraj ve keşif çıkarılmıştır. Metraj değerleri YSA'ya öğretildikten sonra öğrenme grubundan farklı yığma konut projesi değerleri modele veri olarak girildiğinde % 5,87'lik bir hata payı ile maliyet tahmini elde edilmiştir. Veri miktarı arttıkça modellemenin niteliğinin de aynı oranda artabileceği ve farklı taşıyıcı sistem ile ebatlara sahip yapıların maliyet tahmininde de YSA tekniğinden faydalanılabileceği sonucuna varılmıştır [37].

Bahadır (2013) çalışmasında, 2011 yılına ait 80'i eğitim verisi, 20'si test verisi olmak üzere 100 adet projeyi veri olarak kullanmıştır. Projelerden 11 adet girdi verisi ve 1 adet çıktı verisi, farklı yapılardaki tek ve çok katmanlı YSA'dan en iyi sonucu veren 11 adet nörona sahip tek ara katman ve çıktıdan oluşan, sigmoid aktivasyon fonksiyonunun kullanıldığı model oluşturulmuştur. 20 adet test verisine ait en iyi modelde, Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (OMHY) 4,10; Hata Kareleri Ortalaması Karekökü (HKOK) değeri 43.728 olarak hesaplanmıştır. YSA yöntemiyle tahmin edilen teklif fiyatı RA yöntemiyle de belirlenmeye çalışılmış ve OMHY değeri % 38,87 olarak bulunmuştur. YSA ve RA yöntemleri kıyaslandığında YSA modellemesiyle, belirsizliklerin fazla olduğu teklif oluşturma aşamasında daha başarılı sonuçlar elde edilebileceği belirtilmiştir [38].

Kasaplı (2014) çalışmasında, 2007-2013 yılları aralığına ait 73 adet İller Bankası tasdikli içme suyu projesi verilerini kullanmıştır. Çalışma kapsamında belirlenen 10 adet girdi değişkeni ile çıktı değişkeni arasındaki istatistiksel ilişkileri bulmak amacıyla korelasyonlar hesaplanmış ve bunun neticesinde 2 adet girdi değişkeni zayıf oldukları için veri setlerinden çıkarılmıştır. Araştırmada öncelikli amaç inşaat maliyetini tahmin etmek olduğundan, çıktı verileri (inşaat maliyeti) küçükten büyüğe sıralanmış, ardından 13 adet test verisi örüntü oluşturularak tespit edilmiştir. Geriye kalan 60 adet veri de eğitim verisi olarak kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modellerinin geliştirilmesi ve test edilmesinde MATLAB 7.6.0 (R2008a) yazılımı ve MS Excel Çözücü kullanılmıştır. Test verileriyle eğitilen YSA modellemelerinden elde edilen tahmin sonuçları ile gerçek sonuçlar arasındaki tutarlılığı kontrol etmek amacıyla performans değerlendirme ölçütü olarak, daha kolay yorumlanabilir olması nedeniyle OMHY kriteri kullanılmıştır. Çalışma neticesinde, yatırım maliyeti tahmin otomasyonunun olmadığı bir ortamda, belirlenen bağımsız girdi değişkenleri ile içme suyu şebekesi inşaat maliyetinin tahmin edilmesi amacıyla oluşturulan YSA modellemelerinden elde edilen tahmin sonuçlarının, RA tahmin sonuçlarına göre daha tutarlı ve uygulanabilir sonuçlar verdiği görülmüştür. İçme suyu şebekesi inşaat maliyetini öngörmeye YSA modellemesinin elverişli bir araç olduğu tespiti yapılmıştır. Böylece içme suyu şebeke inşaatlarına ait finansman temini ve ihale aşamalarında önemli girdi olan inşaat maliyeti tahmininde YSA modellerinin kullanımıyla, özellikle kamu yatırımlarında ciddi faydalar sağlanabileceği söylenmiştir [39].

Yılmaz ve arkadaşları (2016) çalışmalarında, kısıtlı bakım onarım ödeneklerinin etkin kullanımını sağlamak maksadıyla, teklif vermeyi etkileyen yaklaşık maliyet bedeli, işin yapıldığı il, idare, onarımın tipi, ihale tarihi, işin süresi ve geçerli teklif sayısı gibi parametreler etkisinde ihale bedellerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu kapsamda bir kamu kurumunun 2015 yılında gerçekleştirdiği muhtelif bakım onarım faaliyetlerine ait 211 ihale verisi YSA ile test edilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışma sonuçlarının, kamu binalarının bakım onarımı için planlanan ödeneklerin daha etkin ve verimli kullanılabilmesinde, ilgili kamu görevlilerine yol gösterebileceği değerlendirilmiştir [40].

Sueri (2016) çalışmasında, kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin erken tahmini için 67 adet kanalizasyon boru hattı projesi kullanılmıştır. Kanalizasyon boru hattı projeleri üzerinden belirlenen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı ve gerçek maliyet parametreleri analizlerde kullanılmıştır. Belirlenen bu parametreler kullanılarak Regresyon

Analizleri (RA) yapılmış ve kanalizasyon boru hatlarının maliyetlerini tahmin etmek için kullanılabilecek formüller geliştirilmiştir. Daha sonra aynı parametreler kullanılarak Yapay Sinir Ağları (YSA) analizleri yapılmış ve bulunan kanalizasyon boru hattı maliyeti tahmin sonuçları RA ile yapılan tahminlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre YSA ile yapılan kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin tahminleri, RA ile geliştirilen formüllerle yapılan maliyet tahminlerine göre gerçeğe daha yakın sonuçlar vermiştir [5].

Çakar (2017) çalışmasında, günümüz endüstrisinde rekabetin ana unsuru olan yüksek ürün kalitesi, imalat esnekliği ve düşük üretim maliyeti incelenmiştir. Reel maliyete yakın tahmin yapılabilmesine önem verilmiştir. Bu doğrultuda klasik maliyet tahminlerinin yerini bilgisayar destekli maliyet tahmin metotları almaya başlamıştır. Bu değişimin verimliliği hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Ancak bilgisayar destekli maliyet tahminlerinin ileri seviyesi olan Yapay Sinir Ağları (YSA), geçmişte gerçekleşmiş olan maliyet verilerini alarak öğrenmekte ve daha sonra farklı hesaplamalarda gerçeğe daha yakın maliyet tahminlerinde bulunmaktadır. Bu çalışmada daha önce gerçekleşen maliyet değerleriyle YSA'lar eğitilmiş ve gerçek değerlerle test edilerek başarısı ispatlanmıştır. Maliyet tahmini yapmayı öğrenmiş olan dört farklı YSA kullanılarak dört farklı parçanın maliyet tahmini yapılmıştır [41].

Bu bölümde YSA ile ilgili farklı anabilim dallarında, İnşaat Mühendisliği'nde ve özellikle maliyet tahmini üzerine daha önce yapılan çalışmalar incelenmiştir.



3. KANALİZASYON HATLARI

Aboneler tarafından temiz sular kullanıldıktan sonra atıksular kanalizasyon sistemleri ile toplanarak çevreye ve insanlığa zararsız hale getirilecekleri atıksu arıtma tesislerine iletilirler. Kanalizasyon sistemini oluşturan ana elemanlar borular ve muayene bacalarıdır. Bunlara ilaveten sistemde kullanılan diğer mühendislik yapıları ile işlemleri ise şöyledir; terfi merkezleri, dolu savaklar, kuşaklama kanalları, sifonlar ve ters sifonlar, karayolu, demiryolu, akarsu, kanal ve köprü geçişleri, fosseptikler, tahliye ve vantuz yapıları, himaye çiti, sayısal işletme planı, cazibeli hatların CCTV ile görüntülenmesi, basınçlı hatların testi, karayolu/patika yüzeyin eski haline getirilmesi ve elektrik işleridir. Söz konusu elemanlar ile işlemler detaylı şekilde aşağıda açıklanmıştır.

3.1. Kanalizasyon Toplama Sistemleri Hakkında Mevzuat

Kanalizasyon toplama ve deşarj sistemlerinin plan, proje ve inşaat aşamalarında uyulması gereken hususlara ait yönetmelikler ve şartnameler aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Yönetmelikler

Kanalizasyon toplama sistemleri ile ilgili ÇŞİDB’ye ait “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”, “Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik” ve “Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği” bulunmaktadır. Bunun yanında, Su ve Kanalizasyon İdarelerinin kendilerine ait “Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliği” de mevcuttur.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nin amacı, ülkenin yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin korunması ve en iyi bir biçimde kullanımının sağlanması için, su kirlenmesinin önlenmesini sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere gerekli olan hukuki ve teknik esasları belirlemektir [42].

Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmeliğin amacı; atıksu toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin planlanması, tasarımı ve projelendirilmesi, yapımı ve işletilmesine ilişkin usul ve esasları düzenlemektir [43].

Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'nin amacı, kentsel atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjı ile belirli endüstriyel sektörlerden kaynaklanan atıksu deşarjının olumsuz etkilerine karşı çevreyi korumaktır [44].

Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliği, atıksuların kanalizasyon şebekesine bağlanmalarına, vidanjör veya benzeri bir araç ile taşınarak kanalizasyon şebekelerine boşaltılmalarına, kanalizasyon şebekesi bulunmayan yerlerde çevre kirlenmesine yol açmayacak bir düzeyde arıtılarak uzaklaştırılması ve uygun alıcı ortama verilmeleri ile kanalizasyon şebekesinin kullanım ve korunmasına ilişkin esas, yöntem ve kısıtlamaları belirlemektedir [45].

3.1.2. Şartnameler

Kanalizasyon hatları ile ilgili İller Bankası A.Ş.'ye ait "Kanalizasyon İşlerinin Planlanması ve Projelerinin Hazırlanmasına ait Talimatname" [46], "Kanalizasyon İnşaatlarına ait Özel ve Teknik Şartname" [47] ve "İnşaat ve Tesisat İşleri Kabul Özel Şartnamesi" bulunmaktadır [48].

Planlama, proje ve inşaat işleri bu şartnameler doğrultusunda yapıldığı için ülke genelinde bütün sistemler daha verimli çalışmaktadır ve birbirine entegre olabilmektedir.

3.2. Kanalizasyon Hattı Yapım İşleri (Kazı, döşeme, dolgu vb.)

Kanalizasyon inşaatı sırasında boruların döşenecekleri hendek genişliği ve muayene bacalarının yerleştirileceği temel genişlikler olabildiğince dar tutulmalıdır. Ancak genişlik, boru birleşimi, yataklama, gömlekleme ve dolgu işlerinin uygun biçimde yapılabilmesi için yeterli olmalıdır. Bitümlü veya beton yollarda, patikalarda ve sert yüzeylerde hendek kenarları, hendek konumunun üzerindeki yüzeyden kırılmadan önce beton testere veya diğer eşdeğer mekanik araçlar kullanılarak kesilmelidir. Bu yöntem, her durumda, kalan sert yüzeye verilen hasarı azaltmak ve fazla kırılmasını engellemek için yapılmalıdır [49].

Kazılar projede yer alan kazı kesitlerine uygun olarak yapılmalıdır. Boru çapı 400 mm olan hendekler şevli yapılıyor ise taban genişliği en az "Boru Çapı + 2 x 20 (cm)", iksalı yapılıyor ise taban genişliği en az "Boru Çapı + 2 x 20 + 2 x 5 (cm)"dir. Boru çapı 400 mm ile 700

mm arası olan hendekler 60°'den yatık şevli yapılıyor ise taban genişliği en az “Boru Çapı + 2 x 20 (cm)”, 60°'den dik şevli yapılıyor ise taban genişliği en az “Boru Çapı + 2 x 35 (cm)”, iksalı yapılıyor ise taban genişliği en az “Boru Çapı + 2 x 35 + 2 x 5 (cm)”dir. Boru çapı 700 mm'den büyük olan hendekler 60°'den yatık şevli yapılıyor ise taban genişliği en az “Boru Çapı + 2 x 45 (cm)”, 60°'den dik şevli yapılıyor ise taban genişliği en az “Boru Çapı + 2 x 60 (cm)”, iksalı yapılıyor ise taban genişliği en az “Boru Çapı + 2 x 60 + 2 x 5 (cm)”dir. Yerinde dökme mecralarda ve sanat yapılarında çalışma yeri genişliği en fazla 60'ar cm'dir [47].

Hendek ve temel kazıları, projelerindeki kotlara uygun olacak şekilde açılmaktadır. Kazı malzemesinin kazı çukuru yanlarında depo edilmesi durumunda kazı çukuru kenarı ile depo alanı arasında 60 cm'lik çalışma alanı bırakılması gerekmektedir. Hendek ve temel kazılarında, 1,50 m'den sığ kazılar dik yapılmaktadır. İş ve işçi güvenliği sağlanabilmesi için kazı derinliği 1,50 m'den derin olan durumlarda kazı yan yüzeyleri iksa edilerek desteklenmekte veya şevli kazı yapılmaktadır [47]. Resim 3.1'de iksalı kazı ile beton boru döşenmesi görülmektedir.



Resim 3.1. İksalı kazı ile beton boru döşenmesi [50]

Hendek tabanında taş, kaya çıkıntıları, ağaç kökleri ve benzeri sert nesneler bulunmamalıdır. Hendek kesiti kaya içerisinden geçiyorsa malzeme kazılmalı ve dolgu yapılmalıdır [49].

Hendeklerin tabanı lüzumundan fazla kazılarak gevşetilmemelidir. Hatların oynamasını ve kırılmasını önlemek amacıyla boruların ya dış çevresinin 1/4'ü kadar gömülecek şekilde ya da düz olarak açılmış hendek tabanında homojen olacak biçimde boru altlarının ince taneli malzeme ile doldurularak sıkıştırılması ile yataklama yapılması gereklidir [47].

Boru döşeme ekibinin işlerinin engellenmemesi için, kazı sırasında her türlü emniyet tedbirleri alınmalı ve diğer hükümler göz önünde tutularak hendek tabanı, yeterince geniş açılmalıdır. Boru boyları özel hallerde kısaltılabilir. Bu durumda boru boyu kesilmeyip istenilen boyda kısa boru imal edilmelidir. Borunun ucu, döşenmiş boruların dibine sıkıca dayanacak biçimde sokulmalıdır. Boru yerleştirildikten sonra 0,30 m yukarısına kadar granülometrik malzeme ile boru üstü ve yanlarına dolgu yapılmalıdır. Yanlarından sıkıştırılırken boru altında topuklar meydana gelmemesine ve boru bağlantılarının sarsılarak gevşememesine dikkat edilmelidir. Hendeğin diğer kısımlarına toprağın cinsine göre en çok 0,20 m'lik tabakalar halinde dolgu yapılmalı ve bu topraklar en az 8 kg ağırlığındaki demir el tokmaklarıyla veya kompaktör ile toprak cinsine göre gereken miktarda su ile sulanarak tokmaklanmalıdır. Dolgu toprağı hiçbir zaman taşıtlardan doğrudan doğruya hendeğe dökülmemelidir [47]. Resim 3.2'de polietilen boru döşenmesi esnasında yapılan boru altı yataklama ve boru etrafı gömlekleme işleri görülmektedir.



Resim 3.2. Polietilen boru yataklama-gömlekleme [50]

3.3. Cazibeli Kanalizasyon Sistemlerinde Kullanılan Borular

Etüt ve proje aşamasında kanalizasyon sisteminde kullanılacak boru çapı ve tipi, her işe özel değerlendirilerek avantaj ve dezavantajları belirlenmeli ve kullanılacak boru tipine buna göre karar verilmelidir.

Kanalizasyon borusunun boyutu borunun iç çapı olarak tanımlanır. Kanalizasyon şebekeleri yerleşim alanlarında boru çapı en az Ø200, ticari, endüstriyel ve yüksek binaların olduğu yerleşim alanlarında ise en az Ø300 olmalıdır [51].

Tasarım esnasında kanalizasyon borularına etki edecek trafik yükleri, ölü yükler, dolgu yükleri ve boruların tasarım ömürleri boyunca maruz kalabileceği diğer yükler açısından dikkat edilmelidir. 100 yıllık taşkın bölgesinde veya yeraltı suyu seviyesinin altında bulunan borular hidrostatik yükselme açısından gözden geçirilmelidir [51].

Aşındırıcı ortamlardan kaynaklanan olası sorunları ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için çeşitli seçenekler mevcuttur. Belirli bir hizmet için uygun malzemelerin seçilmesi en önemli husustur. Bazı durumlarda, malzemelerin maruz kalacağı ortamı değiştirmek de mümkündür. Kaplamaların kullanımı, aşındırıcı ortamlara maruz kalan malzemelerin korozyonunu kontrol etmede de etkili olabilir [51].

3.3.1. Beton-betonarme borular

Beton boru kullanımı el ile dökülen ve tokmaklanarak sıkıştırılan künkler ile başlamış ve 80'lere kadar yaygın olarak devam etmiştir. Makineleşmeye geçilmesi ile birlikte künkler yerini büz adıyla üretilen beton borulara bırakmışlardır. Büzler, künklere kıyasla daha kaliteli ve uygulama kolaylığı açısından avantajlı olsa da mukavemet ve sızdırmazlık yönünden yeterli olmamış ve 90'larda gelişen sanayi teknolojileri ile yerini beton borulara bırakmıştır. Beton borular çevresel yönden uzun ömürlü ve kalıcı olmasının yanı sıra ekonomik ve uygulama kolaylıkları gibi pek çok avantaj da sağlamıştır. Ülkemizde TS 821 EN 1916 uyarınca Ø 150-600 arası borular beton, Ø 700-2400 arası borular ise betonarme olarak üretilmektedir [35].

Altyapı elemanları, hizmet sürelerini toprak altında geçirmektedir. Bu sebepten dolayı üretim aşamasında dikkatli olunması gerekmektedir, aksi takdirde arıza olduğunda tespiti zordur. Arıza tespitini müteakip tamir işlemleri de zor ve maliyetlidir. Tüm bunların yanı sıra hizmetlerde aksama da olmaktadır. Üretim ve montaj esnasında her türlü önlem alınarak yapıldığında beton borular çok uzun süre sıkıntısız bir şekilde hizmet verebilmektedir.

Beton boruların dayanımlı ve dayanıklı olabilmeleri için, üretim esnasında; üretim malzemesi iyi seçilmeli, istenilen boru niteliklerine uygun beton karışımı sağlanmalı, beton yerleştirme ve sıkıştırma yeterli şekilde yapılmalıdır. Beton kürünün borularda gerekli nitelikleri sağlayacak şartlarda yapılması, nakliye ve depolamanın borunun özelliklerine zarar vermeyecek şekilde yapılması, malzeme ve üretim kalitesinin denetlenmesi gibi şartlar da beton boru kalitesini ciddi ölçüde etkilemektedir [52].

Uluslararası mevzuatlarda beton ve betonarme boruların içeriden yani atıksudan gelebilecek kimyasal etkilere karşı korunması için içten PVC kaplanması önerilmektedir [51]. Ülkemizde içeriden ziyade dışarıdan oluşabilecek etkilere karşı önlemler alındığı görülmektedir. Yer altı suyunda sülfat ve benzeri aşındırıcı kimyasallar olduğu bölgelerde borunun dışına katran badana yapılmaktadır. Atıksudan kaynaklanabilecek iç etkiler dikkate alınmamaktadır. Resim 3.3'te betonarme boru üretimi, Resim 3.4'te ise kanalizasyon inşaatında betonarme boru uygulaması görülmektedir.



Resim 3.3. Betonarme boru üretimi [35]



Resim 3.4. Kanalizasyon inşaatında betonarme boru uygulaması [50]

3.3.2. Yüksek yoğunluklu polietilen malzeme esaslı (HDPE) koruge borular

Yüksek yoğunluklu polietilen malzeme esaslı koruge borular, poliolefin grubundaki polipropilen ve polietilen hammaddelerinden üretilmektedir. Ø 450 çapa kadar üretilen ekstrüde koruge borular polipropilen ve polietilen hammaddeden, sarmal koruge borular ise sadece polietilenden üretilmektedir. Aynı et kalınlığına sahip polipropilen borularda halka mukavemet değerleri daha yüksek çıktığı için tercih edilmektedir. Ekstrüde koruge borular manşonla birleştirilebilirken sarmal koruge borular muflu ve spigot uçlu olduğu için manşona gerek duymamaktadır [35].

Ülkemizde yüksek yoğunluklu polietilen malzeme esaslı (HDPE) koruge borular çember rijitliği değeri SN 4 ($4 \text{ kN} / \text{m}^2$) ve SN 8 ($8 \text{ kN} / \text{m}^2$) olan kendiliğinden muflu ve manşonlu olarak üretilmektedir [5]. Resim 3.5'te koruge boru üretimi, Resim 3.6'da ise kanalizasyon inşaatında koruge boru uygulaması verilmektedir.



Resim 3.5. Koruge boru üretimi [50]



Resim 3.6. Kanalizasyon inşaatında koruge boru uygulaması [50]

3.3.3. Cam takviyeli plastik borular

Cam elyafı ile taşıyıcı bir reçinenin birleşimi sonucu elde edilen kompozit malzemeye cam takviyeli plastik (CTP) adı verilmektedir. CTP üretiminde cam elyafı; kum, alumina, kireç taşı, kolemanit, kaolen gibi hammaddeler kullanılmaktadır. CTP'nin malzeme kalitesi cam elyafı ile reçine arasındaki bağ kuvveti ile doğru orantılıdır [35]. Resim 3.7'de CTP boru üretimi ve Resim 3.8'de kanalizasyon inşaatında CTP boru uygulaması verilmiştir.



Resim 3.7. CTP boru üretimi [50]



Resim 3.8. Kanalizasyon inşaatında CTP boru uygulaması [50]

3.4. Basınçlı Kanalizasyon Sistemlerinde Kullanılan Borular

Basınçlı hatlar, mevcut bir kollektöre veya arıtma tesisine atıksuyu iletmek amacıyla birden fazla kaynaktan atıksu toplamak içindir ve yer çekimine bağlı olmadığından topografya önemli bir zorluk teşkil etmemektedir. Sistem çevredeki yapılardan gelen atıksuyun terfi merkezinde toplanıp, pompa ile kollektöre basılması şeklinde çalışmaktadır. Temel avantajları, engebeli arazi, kayalık zemin koşulları ve yüksek yeraltı suyu olan alanları kanalizasyon etme yeteneğine sahip olmasıdır. Çünkü basınçlı hatlar daha sık döşenebilir ve sızma yapamayacak kadar iyi sabitlenebilir. Bu durumda sızma hızlı bir şekilde tespit edilebilir ve daha kolay onarılabılır [53].

Vakumlu hatlar, atıksuları birden fazla kaynaktan toplar ve mevcut bir kollektöre veya arıtma tesisine iletir. Adından da anlaşılacağı gibi, toplama sisteminde bir vakum korunur ve atmosferik basınçlı hatta atıksu geldiğinde, atıksu ve hava sisteme çekilir, böylece hava, hatta bir "tıkaç" oluşturur ve hava basıncı, vakum istasyonuna doğru atıksuyu çeker. Bu basınç farkı ile vakum etkisi merkezi bir vakum istasyonundan sağlanır. Bu kanalizasyonlar, arazideki mevcut eğimden yararlanabilir, ancak su yokuş yukarı çekmek için sınırlı bir kapasiteye sahip olabilmektedir [53]. Ülkemizde bu sistem kullanılmamaktadır. Dağınık yerleşime sahip ve topoğrafyanın cazibeli sisteme imkân vermediği yerlerde, sık terfi merkezi kullanmaya daha verimli bir alternatif olarak değerlendirilmesinde fayda olacaktır. Çizelge 3.1’de basınçlı ve vakumlu hatların avantaj ve dezavantajları özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Basınçlı ve vakumlu hatların avantaj ve dezavantajları [51]

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
- Ortalama kazı derinliklerini minimuma indirerek kazı ve dolgu miktarının azalmasını sağlar. - Topoğrafyadan bağımsızdır. - Cazibeli sistemlere göre inşaat maliyetleri düşüktür. - Sistem boyunca bacaya gerek yoktur. - Sızıntı ve koku olmadan daha uzun hatlar döşenebilir. - Atıksuyu taşımak için az miktarda su yeterlidir.	- Uzman tasarımcı tarafından projelendirilmelidir. - Pompalar için kalıcı bir enerji kaynağına ihtiyaç vardır. - Cazibeli sistemlere göre işletme maliyeti yüksektir. - Tahliye ve vantuz yapılarına ihtiyaç olabilir. - Nitelikli mühendis ve operatörler gerekmektedir.

3.4.1. Dökme demir borular

Bu borular 80 mm'den 1050 mm'ye kadar çaplarda mevcuttur ve koruyucu kaplamalarla kaplıdır. Borular 3,5 m ve 5,5 m uzunluklarda üretilir ve soket, ağızlık ile flanşlı bağlantılar dâhil olmak üzere çeşitli bağlantılar mevcuttur.

Dökme demir boruların avantajı, sıkı bağlantılara sahip uzun döşeme uzunlukları, nispeten yüksek iç basınca ve dış yüklere dayanacak şekilde tasarlandığında ve çoğu doğal toprakta korozyon direncidir. Bununla birlikte, asitler veya yüksek oranda septik kanalizasyon ve asidik topraklar tarafından korozyona maruz kalırlar [53].

3.4.2. Sfero döküm (Düktil) demir borular

Sfero demir, düşük kükürt içeriğine sahip erimiş demire magnezyum eklenmesini içeren metalürjik bir işlemle yapılır. Magnezyum, demirdeki grafitin sıradan dökme demirde bulunan pullar yerine mikroskopik küreler şeklinde çökmesine neden olur. Demirdeki sferoidal grafit, sfero demirin özelliklerini geliştirir. Sfero döküm demir borular normalde santrifüj döküm işlemi kullanılarak hazırlanır. Sfero döküm demir borular genellikle uzunluğu boyunca düzgün bir kalınlık sağlamak için fabrikada santrifüj işlemiyle çimento harcı astarı ile sağlanır. Çimento harcı astarı, pürüzsüz bir yüzey sağladığından ve boru duvarında yüksek bir pH oluşturarak, sonuç olarak suya fiziksel ve kimyasal bir bariyer sağlayarak kimyasal aşınmalara karşı önlediğinden bitümlü astardan üstündür. Bu borular 80-1000 mm çapında, 5,5-6 m uzunluklarında üretilmektedir. Sfero döküm demir borular, mükemmel işlenebilirlik, darbe direnci, yüksek aşınma ve yırtılma direnci, yüksek gerilme mukavemeti, süneklik ve korozyon direnci özelliklerine sahiptir. Bu borular güçlüdürler, hem iç hem de dış yüzeyler pürüzsüzdür. Topaklar, çatlaklar, kabarcıklar ve yara izleri içermezler. Sfero demir borular servis yönetmeliklerinin gerektirdiği şekilde hidrolik basınç testlerine dayanır. Bu borular geleneksel dökme demir borulardan yaklaşık % 30 daha hafiftir [53].

3.4.3. Çelik borular

Basınçlı kanalizasyon şebekeleri, su altı nehir geçişleri, köprü geçişleri, pompa istasyonları için gerekli bağlantılar, kendinden destekli açıklıklar ve demiryolu geçişi çelik boruların

tercih edildiği durumlardan bazılarıdır. elik borular i basına, darbe yüküne ve titreşimlere, döküm demir borulardan çok daha iyi dayanırlar. Daha snektirler ve su darbesine daha iyi dayanırlar. Gömülü kanalizasyonlar için spiral kaynaklı borular, yatay kaynaklı kanalizasyonlardan nispeten daha güçlüdür. elik borunun dezavantajı, yüksek dış yüke dayanamamasıdır. Ayrıca, ana negatif basına maruz kaldığında çökecektir. elik borular çeşitli korozyon tiplerine karşı hassastır. elik boruların önerildiği hat boyunca kapsamlı bir toprak etüdü gereklidir [53]. Resim 3.9’da kanalizasyon inşaatında elik boru uygulaması verilmiştir.



Resim 3.9. Kanalizasyon inşaatında elik boru uygulaması [50]

3.4.4. Yüksek yoğunluklu polietilen malzeme esaslı (HDPE) borular

Pürüzsüz i yüzeyler ve korozyona karşı nispeten yüksek direnç sunan bu boruların avantajları mevcuttur. Engebesiz arazilere dşendiğinde daha uzun yaşam döngüsü

sunabilirler. Eklem yöntemleri genellikle düz geçişlere veya bağlantı parçalarına bağlı olarak füzyon kaynaklı veya flanş eklemidir [53].

3.5. Kanalizasyon Sistemlerinde Kullanılan Bacalar

Derece değişikliği, boru çapında değişiklik, dikey eğrilerin başlangıç noktasında ve bitiş noktasında, şebekenin kesişim noktasında, çıkmaz kanalizasyonların sonlarında, boru malzemesi değişikliğinde, akış yönü değişikliğinde, özel bir pompa istasyonu ana kuvvetinin deşarjında ve maksimum baca aralığı şartlarını aşmayacak şekilde baca kullanılması gereklidir [51].

Erişilemeyen alanlarda, fırtına olayı sırasında su baskınına maruz kalan alanlarda, kaldırımlarda, yaya geçitlerinde veya yaya rampalarında, otoyol rampalarında veya şeritlerinde, demiryolu rayları arasında, yeraltı veya havai yapılar da dâhil olmak üzere herhangi bir yapının 5 metre yakınında baca yapılmaması gerekmektedir [51].

Baca, bir insanın muayene, temizlik ve diğer bakım için kanalizasyona girebileceği bir açıklıktır ve kanalizasyonlardaki trafik yüklerine dayanmak için çıkarılabilir bir kapakla donatılmıştır. Kanalizasyondan önce inşa edilen menholler, bunları birbirine bağlayarak döşenir [53].

Bacaların değişen yükseklikleri, alt halkayı orada ihtiyaç duyulan yükseklikten daha derin seçerek ve halkayı kanalizasyonun ters seviyesi elde edilecek şekilde yerleştirdikten sonra alt zemini doldurarak elde edilir. Bu halkanın, kanalizasyon borularını yerleştirmek ve çimento esaslı su yalıtım katkıları ile çimento betonu kullanarak halka şeklindeki boşluğu doldurmak için dökümde dikey olarak ters çevrilmiş bir U'ya sahip olması gerekir. Dikey ters çevrilmiş U kesiklerinin pozisyonu normalde planda 180° aralıklı olacaktır. Ancak dönüş bacaları ve şütlü bacalar söz konusu olduğunda farklı açılarda olabilir, uygun şekilde prekast olması gerekir ve sahada kesilmemelidir [53].

Baca tipleri; hattın şekline, derinliğine, imal edileceği yere, kullanım amacına ve ebadına göre seçilmelidir. Muayene bacaları, şütlü bacalar ve yıkama bacaları en sık kullanılan baca tipleridir.

3.5.1. Muayene bacaları

Sokak ve caddelerdeki kavşak noktaları ile hatların yön veya eğim değiştirdiği noktalarda muayene bacası kullanılır [46]. Muayene bacalarının yapım amacı akışın kontrolü, hatların temizliği, bakımı ve havalandırılması gibi işletmeye esas işlerdir. Çizelge 3.2’de verilen ve boru çapına bağlı değişen maksimum baca aralıklarına ulaşıldığı takdirde de muayene bacası kullanılması gerekmektedir [5]. Muayene bacasını oluşturan elemanlar; boru giriş ve çıkışlarının olduğu taban elemanı, yüksekliği ayarlamaya yarayan gövde elemanları, gövde elemanlarından boyun elemanlarına geçişte çap değişimini sağlayan konik eleman, yol veya arazi kotuna göre yükseklik ayarlamaya yarayan boyun bileziği, kapağın yerleştirileceği çerçeve montaj elemanı ve sfero döküm kapaktır. Resim 3.10’da muayene bacası uygulaması verilmiştir.

Çizelge 3.2. Maksimum baca aralıkları [46]

Ø (mm)	MAKSİMUM BACA ARALIĞI (m)
200-300	60
400-600	70
800	80
1000	100
1200	125
1400-3000	150



Resim 3.10. Muayene bacası uygulaması [50]

3.5.2. Şütlü bacalar

Kanalizasyon sistemlerinde bazen eğim zorunlu sebeplerden dolayı sınırı aşmakta ve buna bağlı olarak da hatta akış hızı yükselmektedir. Bu problemi ortadan kaldırmak için şütlü baca yapılarak eğim istenilen değerlere çekilebilir. Bu baca muayene bacası olarak da kullanılır. Maksimum hız sınırı 3 m/sn, maksimum düşü yüksekliği 2 m ve özel durumlarda maksimum düşü yüksekliği 4 m'dir. Gerekli önlemler alınarak suyun eğimden kaynaklı kazanacağı kinetik enerjinin tahribat oluşturması da önlenir [46].

3.5.3. Yıkama bacaları

Hatların temizlenmesi amacıyla uç noktalarda ve gerekli görülen diğer noktalarda inşa edilirler. Uçlarda büyük boyutlu yapılmasındansa gerekli yerlerde küçük boyutlu inşa edilmesi tercih edilmektedir. Geri tepmeyi önlemek için dolu savak ile birlikte yapılması daha uygundur. Yıkama suyu temininin zor olduğu noktalarda atıksu şişirilerek de yıkama yoluna gidilebilir [46].

Özellikle çok az akış alan kanalizasyonlarının üst uçlarında hattın düzlüğü nedeniyle kendi kendini temizleme hızlarının elde edilmesi mümkün olmadığında, sisteme bir tür yıkama cihazının dâhil edilmesi önemlidir. Yükseltilmiş bir tank yani dolu savak inşa edilir ve kanalizasyona su akıtmak için borular ve yıkama hidrantları yoluyla bağlantıların yapıldığı arıtılmış atıksu ile doldurulur. Yıkama, bir yangın musluğu veya tanker ve hortum kullanılarak çok uygun bir şekilde gerçekleştirilebilir. Çöken katıların yıkanması için kanalizasyona yeterli hız verilmelidir. Yıkama genellikle belirli bir mesafeye kadar etkilidir, bundan sonra verilen hız sistem içerisinde dağıtılmaktadır [53].

3.6. Parsel Bacaları ve Hatları

Her ayrı konut yapısına, ticari binaya veya endüstriyel binaya ayrı bir kanalizasyon bağlantısı sağlanması gerekmektedir. Bu bağlantılar beton, HDPE koruge, PVC plastik veya sfero döküm boru ile yapılabilir. Hendek kazısı, boru döşeme, birleşimler ve dolgu işlerinde ana hatta uyulması gereken tüm hususlar geçerlidir [54].

Parsel bacaları, binaların atıksularını toplayan bacalardır. Parsel hatları ise parsel bacalarında toplanan atıksuları kanalizasyon hattına ileten bağlantı hatlarıdır. Parsel hatlarına ait eğim en az 1/100, en fazla ise 1/15 olmalıdır. Resim 3.11’de parsel bacası ve hattı uygulaması verilmiştir.



Resim 3.11. Parsel bacası ve hattı uygulaması [50]

3.7. Diğer Mühendislik Yapıları

Kanalizasyon hatları planlanırken ve projelendirilirken sistemin çalışabilmesi ve güvenliği için gerekli yardımcı mühendislik yapıları bulunmaktadır. Bu yapılar aşağıdaki maddelerde anlatılmaktadır.

3.7.1. Terfi merkezleri

Kanalizasyon hatları planlanırken ve projelendirilirken öncelikli olarak hatların akarı, eğim ile sağlanmaya çalışılır. Fakat ekonomik açıdan veya herhangi başka bir zorunluluk olması durumunda atıksu akarı terfi merkezleri yardımı ile sağlanmak zorunda kalınabilir [46]. Terfi edilecek atıksu miktarını en aza indirmek ve mümkün olan en kısa kuvvet ana hattını tasarlamak için kanalizasyon sisteminin planlama alanı analiz edilmelidir [51].

Terfi merkezi tasarımında gürültü kontrolü, koku kontrolü ve çevre düzenlemesi dikkate alınmalıdır. Her terfi merkezinde beklenen maksimum akışı idare edebilecek en az iki dalgıç pompa bulunmalıdır. Pompalar, normal çalışma koşulları altında pozitif bir emme başlığı altında çalışmaktadır. Otomatik pompa sisteminde, kuyu seviyesi yükselip düştükçe

pompalar açılacak ve kapanacak şekilde sağlanmaktadır. Kuyudaki su yükselmeye devam ederse, sistem yedek pompayı etkinleştirmektedir. Kullanılan pompaları otomatik olarak değiştirmek için önlemler alınmalıdır. Her pompa istasyonu için yüksek su kuyusu seviyeleri, pompa arızaları ve elektrik kesintisi için bir alarm sistemi sağlanmaktadır. Tüm terfi merkezi sahaları için yeterli aydınlatma sağlanmaktadır. Kontrol veya bakım gerektiren ekipmanlara uygun ve güvenli erişim araçları gerekmektedir. Kontrol paneli, ıslak alana monte edilmemeli, ancak ıslak alana yakın olmalı ve hava ile nemden uygun şekilde korunmalıdır. Islak kuyu içerisindeki tüm aksesuar ve donanımlar paslanmaz çelik veya diğer korozyona dayanıklı malzemelerden yapılmalıdır [55].

Terfi merkezlerinde kullanılacak pompa seçimlerinde; gelecek atıksuyun özellikleri ve basılacağı yükseklik önemlidir. Bunun yanı sıra tesisin sürekli işletme durumu ve maliyeti de göz önünde bulundurulmalıdır [46]. Resim 3.12 solda baca tipi terfi merkezi, Resim 3.12 sağda ise bina tipi terfi merkezi görülmektedir.



Resim 3.12. Terfi merkezi [50]

3.7.2. Dolu savaklar

Şehir içerisinde akarsu varsa ve yağmur suyu sistemi bulunmuyorsa kanalizasyon hattının yükünü hafifletmek amacı ile dolu savaklar inşa edilebilir. Akarsular ile atıksuların

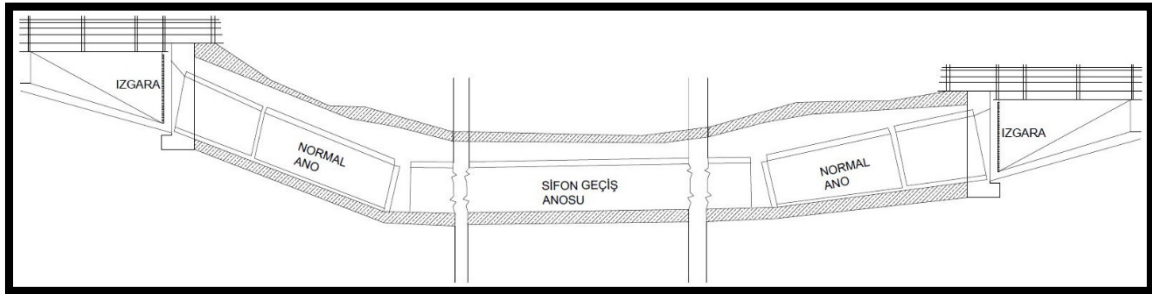
karakterlerine ve atıksuların taşıdığı askıdaki katı maddelerin miktarı ile karakterlerine bağlı olarak yapılan incelemeler neticesinde bir problem oluşmayacağı sonucuna ulaşılır ise 1/5 ila 1/10 arası yani 4 yağmur 1 atıksu ila 9 yağmur 1 atıksu şeklinde atıksu ile yağmursuyu karıştırılır ve seyreltme sağlanır. Bu seyreltilmiş atıksular akarsuya deşarj edilebilir [46].

3.7.3. Kuşaklama kanalları

Şehir kanalizasyon hattına, şehir dışı atıksuların verilmesi istenilmez. Bu atıksuların toplanması amacıyla kuşaklama kanalları yapılır [46].

3.7.4. Sifonlar ve ters sifonlar

Kanalizasyon sistemi yapılırken akarın sağlanması hiçbir alternatif ile çözülemeyen durumlarda sifon yapılmaktadır. Sifon uygulanacak durumlarda atıksu öncelikle ızgara ve kum tutucudan geçirilmelidir. Sifon içinde minimum hız 1 m/sn olmalıdır. Sifon içerisinde çökelmeyi engelleyecek ve gerekmesi durumunda temizliği sağlayacak bir sistem yapılmalıdır [46]. Resim 3.13'te sifon geçiş sistemi verilmiştir.



Resim 3.13. Sifon geçiş sistemi [50]

Bir kanalizasyon hattının, hidrolik sınıf hattının altına düşmesi durumuna ters sifon denir. Amaç, atıksuyun tıkanıklığın altına taşınması ve tıkanıklık geçtikten sonra mümkün olduğunca yüksekliğin geri kazanılmasıdır. Sifonların bakımında büyük dikkat gerektiğinden dolayı sadece alternatif çözüm bulunamadığı durumlarda sifonlara başvurulmalıdır. Sifonlar hidrolik sınıf hattının altına düştüğü için, tüm akışlarda kendi kendini temizleme hızının korunması çok önemli olmaktadır. Bir sifonun profilini etkileyen iki ana husus hidrolik kayıplar ve temizleme kolaylığıdır. Tasarım için minimum ve maksimum akışları tespit etmek gerekmektedir [53].

3.7.5. Karayolu, demiryolu, akarsu, kanal ve köprü geçişleri

Beton gömlek ile geçişler

Genellikle akarsu yataklarından geçen hatların dış etkenlerden korunması amacıyla en yüksek su seviyesi dikkate alınarak akarsu yatağı ve akarsu yatağının sağında ve solunda minimum 1 m olacak uzunlukta, hendek genişliği (D + 0,40), hendek yüksekliği (D + 0,50) ve boru üst kotundan minimum 1 m derinlikte olacak şekilde kanalizasyon hattı borusu 250 doz beton gömlek içerisine alınarak yapılır [39].

Yönlendirmeli yatay sondaj ile geçişler

Bu yöntem yönlendirmeli yatay sondaj makinesi ile üç aşamada uygulanmaktadır. İlk olarak pilot delgi yapılmakta, ardından genişletme ve son olarak da boru çekme işlemi yapılarak süreç tamamlanmaktadır. Bu yöntemde kullanılacak borunun çekmeye karşı mukavemetinin ve sürekliliğinin olması gerekmektedir. Bu sebeple çelik boru, polietilen boru ve bu özellikleri taşıyan özel üretim borular kullanılabilir. En sert kullanılabileceği zemin sınıfı 175 MPa olan kaya zeminlerdir. Yeterli teknolojik takip sistemi olan makineler ile 450 m'ye kadar olan mesafelerde başarıyla uygulama yapılmaktadır [5]. Resim 3.14'te yönlendirmeli yatay sondaj işlemi görülmektedir.



Resim 3.14. Yönlendirmeli yatay sondaj [50]

Köprüye asarak geçişler

Hattın geçtiği güzergahta akarsu veya vadi ile mevcutta karayolu köprüsü var ise boru direk köprüye asılarak veya daha büyük çapta koruma borusu içerisinde asılarak köprü geçilebilir [39]. Resim 3.15'te köprüye asarak geçiş işlemi görülmektedir.



Resim 3.15. Köprüye asarak geçiş [50]

3.7.6. Fosseptikler

Kanalizasyon sisteminin olmadığı veya teknik olarak sisteme bağlantı yapılmasının mümkün olmadığı durumlarda atıksu; etrafı beton, tuğla veya taş ile çevrilmiş kapalı ve sızdırmaz çukurlar olan fosseptiklere deşarj edilir. Fosseptikler ihtiyaca göre boyutlandırılırlar [45].

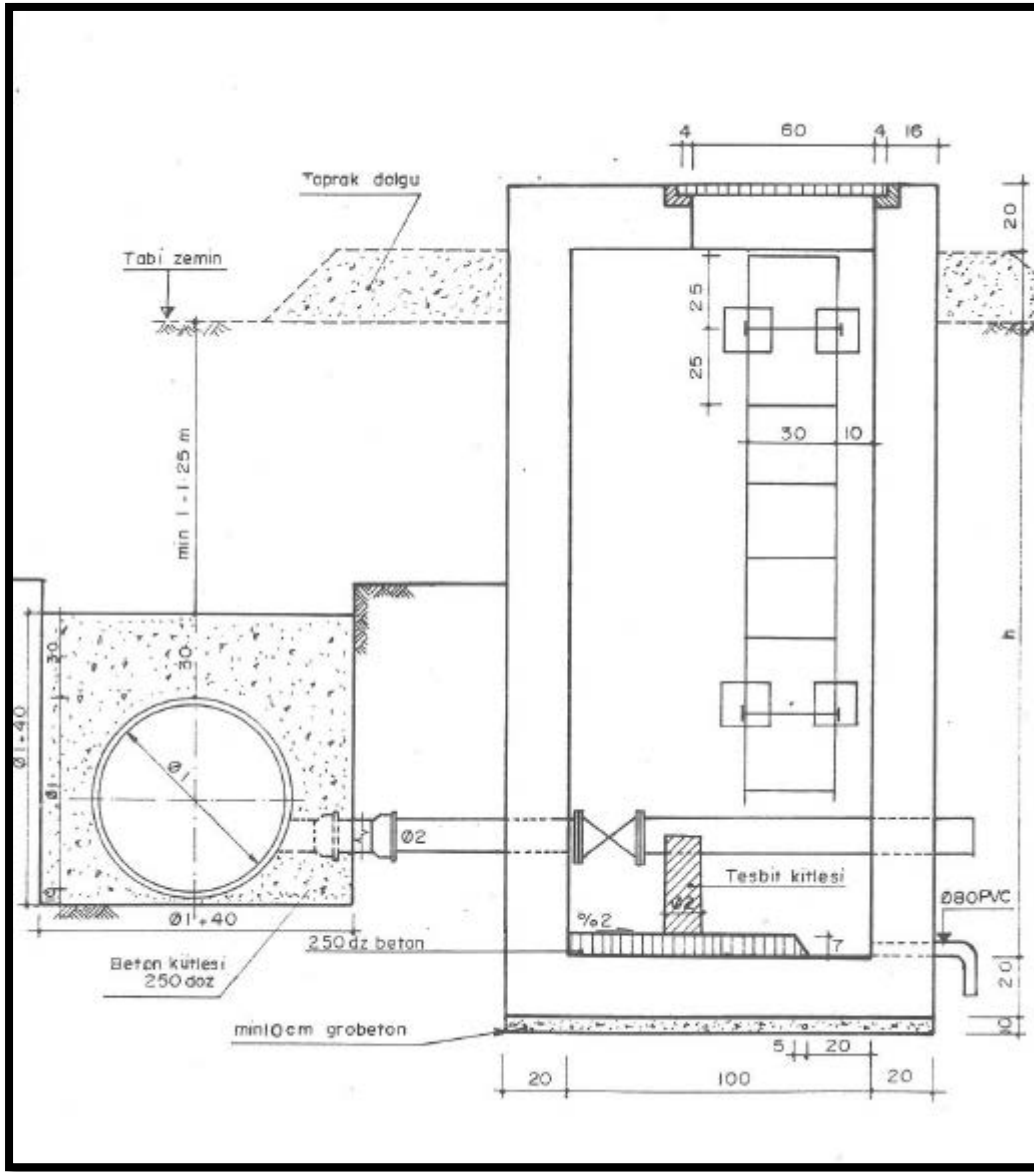
Fosseptik yapımı zorunlu kalınmadıkça tercih edilmez. Genellikle kanalizasyon sistemi bulunmayan ya da sistemden çok uzakta olan yerlerde tercih edilir. Fosseptikler genellikle vidanjör ile çekilerek boşaltılır. Bu sebeple yola yakın yerlere inşa edilmeleri uygun olacaktır [46]. Resim 3.16 'da fosseptik yapısı verilmiştir.



Resim 3.16. Fosseptik [50]

3.7.7. Tahliye yapıları

Basınçlı hattın en alt kotlarında çökelen atıksuyu boşaltabilmek için tahliye vanaları yerleştirilir [39]. İhtiyaç durumunda tahliye vanası odası ile beraber inşa edilir. Tahliye odaları bakım ve onarım durumları düşünülerek kapaklı yapılmalıdır. Tahliye vanasından çıkan atıksular için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. İlbank A.Ş. tarafından kullanılacak tahliyeler tip proje haline getirilmiştir [56]. Resim 3.17’de tahliye yapısına ait tip proje verilmiştir.



Resim 3.17. Tahliye yapısı [50]

3.7.8. Vantuz yapıları

Basınçlı hatlarda profilin tepe noktalarında hava birikmesini engellemek amacıyla vantuz kullanılmaktadır [39]. Hatta oluşabilecek vakumu önlemek amacıyla da vantuz kullanılabilir [56]. Havanın tahliyesi veya emişi sırasında boru hattında herhangi bir zarar meydana gelmemesi için 400 mm ve üzeri çaplarda yerleştirilen izolasyon vanalarının, profildeki konumuna göre öncesinde ve/veya sonrasında vantuz kullanılabilir [39]. Vantuzların bağlandıkları hattın ayrılabilmesi için vana sistemi gerekmektedir. Vantuzlar özel oda içine alınır. Yeterli havanın girmesi ve odanın drenajının sağlanması için gerekli



Resim 3.19. Himaye çiti örnekleri [50]

3.8. Yapılan Diğer İşlemler

3.8.1. Sayısal işletme planı

İmar adaları ve diğer elemanların (kanalizasyon hatları vb.) nokta ve çizgiler yardımı ile raster halinden vektör haline getirilmesi işlemine sayısallaştırma denilmektedir. Bu sayısallaştırma işlemi kanalizasyon, içmesuyu, doğalgaz, elektrik ve internet gibi her çeşit şebeke ve yollar için yapılmaktadır. Tüm bu işlemler neticesinde sayısal haritalar elde edilmektedir [57].

Kanalizasyon hattı özelinde incelediğimizde, sayısal haritalar üzerinden boruların cinsi, çapı, derinlikleri, baca noktaları, terfi merkezleri gibi bütün önemli bilgileri görebilme imkânı vardır. Sayısal işletme planları bütün altyapı işlerinde büyük öneme sahiptir. Çünkü yeni bir inşaat başlanması veya tamirat yapılması durumunda nerede neyin olduğunu görebilmemize yardımcı olur.

3.8.2. Cazibeli hatların görüntülenmesi ve sızdırmazlık testi

Cazibeli kanalizasyon hattı inşaatının tamamlanmasının ardından, kapalı devre kamera sistemi anlamına gelen CCTV sistemi ile görüntüleme işlemi yapılmaktadır. Görüntülemenin amacı hat boyunca imalat hatası veya imalattan sonra oluşan bir hasar olup olmadığının incelenmesidir. CCTV kayıtlar, kanalizasyon hattındaki kameranın konumunu, tarihi, yönü, boru cinsini ve çapını, baca aralıklarını, bağlantı detaylarını, durumu ve monitör ekranında otomatik olarak görüntülenen verilerin sürekli bir kaydını göstermektedir. Belli aralıklarla genel durumu, servis bağlantıları, hatalı bağlantıları, çatlakları, kırıkları ve

deformasyonları gösteren fotoğraflar da alınması mümkün olabilmektedir [49]. Resim 3.20’de CCTV ile görüntüleme işlemi görülmektedir.



Resim 3.20. CCTV görüntüleme işlemi [50]

Görüntülemenin ardından iki baca arasında su doldurmak suretiyle sızdırmazlık testi de yapılmaktadır. Test esnasında, su basıncı baca yüksekliğine kadar (en çok 5 m) içinde hava kalmayacak şekilde doldurularak ve bu durumda 15 dakika beklenerek mecra ve ek yerleri incelenerek arızalar tespit edilebilir. Sızdırmazlık deneyi sırasında eksilen su hacmi hesaplanmalıdır. Sızdırmazlık deneyine tabi tutulan iki baca arasındaki mecraanın iç yüzey alanı hesaplanarak 1 (bir) m² yüzey alanına isabet eden kaçak miktarı tespit edilebilir. Bu kaçak miktarı idaresine göre değişen standart uyarınca belirlenen tolerans miktar değerlerinden fazla olmamalıdır. Sızdırma miktarının, tolerans miktarını aşması durumunda, deneye son verilmeli ve kusurlu kısımlar tamir edilerek test tekrarlanmalıdır [47].

3.8.3. Basınçlı hatların testi

Basınç hattı inşaatı tamamlandıktan sonra basınç testine tabi tutulmalıdır. Test sırasında borunun yukarı kalkmaması ve burkulma hareketine direnmesi için boru üzerinde yeterli dolgu yapılmış olmalıdır. Test uygun şekilde desteklenen boş uç parçalar arasında yapılmalıdır. Testten önce, vanalar kontrol edilmeli ve sızdırmaz hale getirilmelidir. Yükselen hat su ile doldurulmalı ve hava tahliye edilmelidir. Test için kullanılan su mevcut su temin sisteminden elde edilmelidir. Hava sıkışmalarını önlemek için boru hattında uygun hava vanaları bulunmalıdır. Doldurma işlemi yavaşça, tercihen alt taraftan yapılmalıdır. Testlerin izlenmesi için kullanılan tüm basınç göstergeleri, ölçülen basınca uygun aralığa sahip kalibrasyon kayıtları ile uygun şekilde kalibre edilmiş, herhangi bir kayıpların uygun şekilde izlenebilmesini sağlamak için plaka boyutlu basınç göstergeleri veya dijital kaydediciler olmalıdır. Odalar da dâhil olmak üzere boru hattının açıkta kalan tüm parçaları görsel olarak kontrol edilmeli ve varsa sızıntı veya nemli yerler düzeltilmelidir. Test için kullanılan sular güvenli ve çevreye uygun bir şekilde boşaltılmalıdır [49]. Resim 3.21’de basınç testi işlemi görülmektedir.



Resim 3.21. Basınç testi [50]

3.8.4. Karayolu yüzeylerinin eski haline getirilmesi

Hendeklerin ve temellerin oturmalarına karşı yeterli fazlalıkta dolgusundan sonra, oturmaların sona ermesini müteakip sökülen yolun cinsine göre yol inşaatı ya işi yapan yüklenici tarafından ya da idaresi tarafından yapılmaktadır [47].

3.8.5. Elektrik ve mekanik işleri

Mekanik ekipman gerektiren terfi merkezleri ve benzeri tüm yapılarda elektrik işleri de bulunmaktadır. Tüm bu işler atıksu tesisleri mekanik ve elektrik teknik şartnamelerine göre yapılmaktadır. Ayrıca işletme ve bakım dönemi için mekanik ekipmanların önemi büyüktür. Merkezi takip ve kontrol sistemleri vasıtası ile sistem hakkında sürekli güncel bilgiye sahip

olunmaktadır. Arıza gibi durumlarda erken uyarı sistemleri aracılığıyla zarar ve mağduriyetler en aza indirilebilmektedir [47].



4. REGRESYON ANALİZİ (RA)

Regresyon analizi bir bağımlı değişken ile bir veya birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkilerin bir matematiksel eşitlik ile açıklanması süreci olarak tanımlanmaktadır [58].

Diğer bir ifadeyle regresyon analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan bir analiz yöntemidir. Analiz tek bir değişken kullanılarak yapılırsa tek değişkenli, birden fazla değişken kullanılarak yapılırsa çok değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılır. Regresyon analizi ile değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı ve gücü hakkında bilgi edinilir [40].

Regresyon Analizi ilk olarak 1950'li yıllarda Sir Francis Galton tarafından ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmada, ailelerin boy uzunluklarına bağlı olarak çocuklarının boy uzunlukları tahmin edilmiştir [59].

Günümüzde ise regresyon analizi; değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkileri açıklamak için kullanılmaktadır. Regresyon, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ortalama ilişkinin matematiksel bir fonksiyon ile ifadesidir [5]. RA'da amaç, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi en iyi temsil edecek doğru denklemine bularak, bu ilişkiyi belirlemektir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi göstermek için yapılandırılan matematiksel fonksiyon, ilişkinin fonksiyonel şeklini göstermekle kalmayıp, ayrıca ön tahmin yapma olanağı da sağlamaktadır.

RA, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler yapabilmek amacıyla da kullanılmaktadır. Doğada birçok olayda sebep-sonuç ilişkisine rastlamak mümkündür.

Regresyonda değişkenlerin bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler olarak iki gruba ayrılması gerekmektedir. Bağımlı değişken, bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaya çalışılan değişkendir. Regresyonda genellikle bağımlı değişken Y ile, bağımsız değişkenler ise X ile gösterilir. Basit doğrusal ve çoklu doğrusal RA modelleri vardır. RA mühendislik, tıp, biyoloji, ziraat, ekonomi, işletme, finans, davranış bilimleri ve benzeri birçok farklı bilim dalında sıkça kullanılmaktadır.

4.1. Basit Doğrusal Regresyon Analizi

Basit doğrusal RA, bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişkinin ve bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde kullanılır. Basit doğrusal RA, değişkenler arasındaki ilişkinin yapısı ve derecesi ile ilgilenmektedir. Basit doğrusal RA'da bir bağımsız değişken bulunur ve Eş. 4.1'deki gibi kurulur. Şekil 4.1'de bu eşitliğe ait grafik verilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (4.1)$$

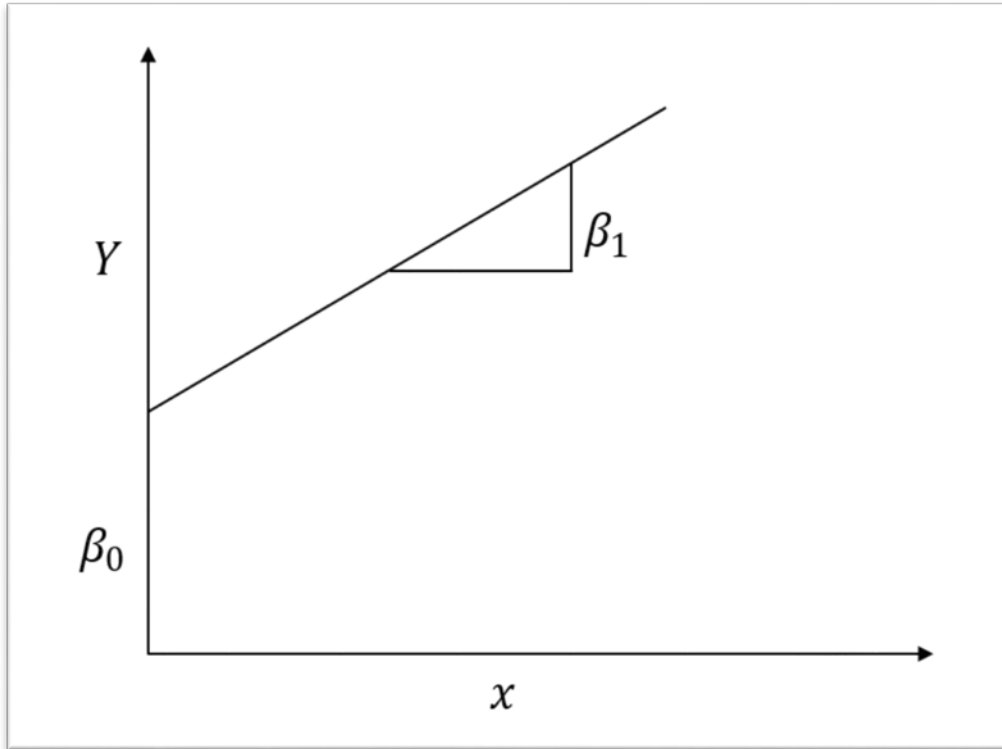
Modelde yer alan simgelerin anlamları aşağıdaki gibidir;

Y : Bağımlı (sonuç) değişken olup belli bir hataya sahip olduğu varsayılır.

X : Bağımsız (sebebi) değişken olup hatasız ölçüldüğü varsayılır.

β_0 : Sabit olup $X=0$ olduğunda Y 'nin aldığı değerdir. Doğrunun y-eksenini kestiği noktadır.

β_1 : Doğrunun eğimi veya regresyon katsayısıdır. X 'in kendi birimi cinsinden 1 birim değişmesine karşılık Y 'de kendi birimi cinsinden meydana gelecek değişme miktarını ifade eder.



Şekil 4.1. Regresyon grafiği

$\mathcal{E}$: Şansa bağlı hata değeridir. $\mathcal{E}$ tesadüfi hata terimi olup, ortalaması sıfır varyansı bilinmeyen σ^2 'ye sahip olan normal dağılış gösterdiği varsayılır. Bu durum bir hata değerinin diğer bir hata değerinden etkilenmediği anlamına gelmektedir. Bu varsayım parametre tahminleri için değil katsayıların önem kontrolleri için gereklidir. $\mathcal{E}$ 'un hata terimi olarak ifade edilmesinin nedeni, X ve Y arasında bulunduğu varsayılan tam doğrusal ilişkiyi bozduğu düşüncesidir. Hata terimi pozitif ya da negatif değerler alabilen ve değerleri kesin olarak bilinmeyen rassal bir değişkendir. Hata terimi, Y bağımlı değişkenini etkileyen başka değişkenlerin modele alınmaması, insanların rassal davranışları, modelin yanlış seçilmesi, homojen olmayan bireylerden bilgi edinmek ve ölçme yanlışlarından dolayı ortaya çıkmaktadır [60].

Eş. 4.1'deki β_0 , β_1 ve $\mathcal{E}$ bilinmeyenlerdir. Burada $\mathcal{E}$ her bir Y değeri için değişmektedir. Ancak β_0 ve β_1 sabit kalır. Bu bilinmeyenleri gözlemlerin tamamını bilmeksizin ortaya çıkarmak mümkün olmasa da, gözlemleri kullanarak $\widehat{\beta}_0$ ve $\widehat{\beta}_1$ tahmin edilebilir (Eş. 4.2).

$$\hat{Y} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 X \quad (4.2)$$

Eş. 4.2'de $\hat{Y}$ verilen X değerine karşılık Y bağımlı değişkeninin alabileceği ortalama değeri tahmin eder. Y bağımlı değişkeni bir rastgele değişkendir, X bağımsız değişkeni ise bir rastgele değişken değildir. Deney tekrar edildiğinde X bağımsız değişkenine ait değerler sabit tutulabilir. Bağımsız değişkenlere ait gözlemlerin araştırmacı tarafından kontrol edilebildiği veya ihmal edilebilir en küçük bir hata ile ölçüldüğü varsayılır. Dolayısıyla X açıklayıcı değişkeninin her bir değeri için Y 'nin bir olasılık dağılımı mevcuttur. Bu dağılımın ortalaması sıfır ve varyansı σ^2 'dir. Y 'nin varyansı X 'e bağlı olmamasına karşılık ortalaması X 'in bir doğrusal fonksiyonudur. Hata terimi $\mathcal{E}$ 'un birbirinden bağımsız olduğu varsayımı yapıldığı için bağımlı değişken Y için de bu özellik geçerli olacaktır. Yani Y 'ye ait gözlemler arasında da ilişki yoktur.

β_0 ve β_1 parametrelerine regresyon katsayıları denir. β_1 eğim parametresi X değişkeninde bir birimlik değişime karşılık Y değişkenine ait dağılımın ortalamasında meydana getireceği değişimdir. β_0 kesişim parametresidir. β_0 ve β_1 parametreleri en küçük kareler metodu ile Eş. 4.3'teki gibi tahmin edilebilirler.

$$\widehat{\beta}_0 = \bar{Y} - \widehat{\beta}_1 \bar{X}, \quad \widehat{\beta}_1 = \frac{\sum(Y_i - \bar{Y})(X_i - \bar{X})}{\sum(X_i - \bar{X})^2} \quad (4.3)$$

Y bağımlı değişkenin aldığı değerler hata terimine bağlı olduğundan Y 'nin dağılım biçimi $\mathcal{E}$ 'nin dağılım biçimiyle aynıdır ve bu dağılım normaldir. X bağımsız değişkeninin değerleri bir değişmezler kümesi olduklarından Y değişkeninin dağılım biçimini etkilemezler. Basit doğrusal regresyon modelinin ve hata terimlerinin varsayımları aşağıdaki gibidir [5].

Basit doğrusal regresyon modelinin varsayımları:

- i. Bağımsız değişkenin değerleri sabit kabul edilir. Bağımlı değişkenin değerleri ise rastgeledir.
- ii. Değişkenler hatasız ölçülmüştür.
- iii. Her X_i değeri için;
 Y_i değerleri birbirinden bağımsızdır,
 Y_i gözlemlerinin dağılımı normaldir.
- iv. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki doğrusaldır.
- v. Gözlem sayısı değişken sayısından çok olmalıdır.

Hata terimi ($\mathcal{E}_i$) varsayımları:

- i. Hataların beklenen değeri sıfırdır ($E(\mathcal{E}) = 0$).
- ii. $\mathcal{E}$ 'ların olasılık dağılımının varyansı sabittir ($V(\mathcal{E}_i) = \sigma^2$).
- iii. Hata değerleri birbirinden bağımsızdır.
- iv. Hataların dağılımı normaldir.
- v. Hatalar ile bağımlı değişken arasında ilişki yoktur ($\text{Cov}(\mathcal{E}, Y_i) = 0$).
- vi. Hatalar ile bağımsız değişken birbirinden bağımsızdır ($\text{Cov}(\mathcal{E}, X_i) = 0$).

Bağımsız değişken X 'in regresyon modeli ile bağımlı değişken Y 'yi ne kadar açıklayabildiğini görmek için R^2 (belirtme katsayısı, determinasyon katsayısı) kullanılır. R^2 , örneğin açıklanabilen değişkenliğin toplam değişkenlik içindeki oranı olarak tanımlanır. R^2 değeri verilerdeki değişkenliğin açıklanmasında regresyon denkleminin başarısının bir ölçüsü olarak kullanılır. Regresyon modelinin performansını ifade eden R^2 , karar katsayısı ile ölçülür. R^2 'ye ait denklem Eş. 4.4'te görülmektedir.

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{RKT}{GKT} \quad (4.4)$$

R^2 , [0,1] arasında bir değer alır. R^2 1'e ne kadar yakınsa, regresyon o kadar anlamlı ve belirleyicidir. Bu konuda bilimsel bir karar verebilmek için hipotez testi yapılır [60].

4.2. Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi

Basit doğrusal regresyon analizi birçok durumda uygulanabilmektedir. Fakat gerçek hayatta birçok modelin açıklaması için iki veya daha fazla bağımsız değişkene ihtiyaç duyulmaktadır. Birden çok bağımsız değişkenden oluşan modeller çoklu regresyon modeli olarak tanımlanmaktadır [59].

Çoklu doğrusal regresyon analizi ile bağımlı değişken üzerinde, bağımsız değişkenlerin etki kuvvetleri incelenmektedir. Çoklu doğrusal regresyon analizi modeli Eş. 4.5'teki gibi ifade edilmektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon \quad (4.5)$$

Burada Y bağımlı değişken ve X'ler ise bağımsız değişkenleri göstermektedir. Değişken sayısı p ve parametre değerleri β_j ($j=1,2,\dots,p$) olarak gösterilmektedir. Çoklu doğrusal regresyon modeli Eş. 4.6'da matris gösterimi olarak da verilmiştir.

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}_{nx1}, \quad X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & \dots & X_{p1} \\ 1 & X_{12} & X_{22} & \dots & X_{p2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} & \dots & X_{pn} \end{bmatrix}_{nx(p+1)}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_n \end{bmatrix}_{(p+1)x1}, \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \\ \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}_{nx1}$$

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (4.6)$$

Eş. 4.6'da ε ; (nx1) boyutlu bir hata vektörüdür. Modelin parametreleri olan β 'nın tahminini bulmak için en küçük kareler (EKK) metodu kullanılmaktadır. Bu modelin amacı artık kareler toplamını minimum yapan β vektör değerini belirlemektir (Eş. 4.7) [61].

$$S = \sum \varepsilon_i^2 = \varepsilon' \varepsilon = [\varepsilon_1 \varepsilon_2 \cdots \varepsilon_n] \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}, X'X\hat{\beta} = X'Y \Rightarrow \hat{\beta} = X'X^{-1} X'Y \quad (4.7)$$

Çoklu doğrusal regresyon analizi modeline ait varsayımlar aşağıda verilmiştir.

- Bağımlı değişken rastgele bir değişkendir ve normal dağılım göstermektedir.
- Tahmin hataları rastgeledir ve birbiri ile ilişki göstermemektedir.
- Bağımsız değişkenler, rastgele değişkenler değildir. Yani bağımsız değişkenlerin aldıkları değerler sabit, önceden belirlenmiş veya isteğe bağlı olarak seçilmiş değerler olduğu kabul edilmektedir.
- Hatalar birbirinden bağımsızdır.
- Her bağımsız değişkenin değerlerine ait olan bağımlı değişken değerlerinin alt gruplarına ait varyansları birbirine eşittir.
- Bağımsız değişkenler arasında basit doğrusal ilişkilerin olmaması gerekmektedir. Bağımsız değişkenler arasındaki basit doğrusal korelasyon katsayılarının 0 veya 0'a çok yakın olması şartı "Çoklu Doğrusal Bağlantı" problemi olup olmadığını kontrol etmek için incelenmektedir.
- Bağımsız değişkenler ile hata terimi arasında herhangi bir ilişki yoktur ($\text{Cov}(\varepsilon, X_{ij}) = 0$, $j = 1, 2, \dots, p$ ve $i = 1, 2, \dots, n$).
- Hipotez testlerinin yapılabilmesi ve güven aralıklarının oluşturabilmesi için hataların normal dağılıma sahip olduğu kabul edilmektedir. Çoklu doğrusal regresyon analizinde bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından ne oranda tahmin edilebildiğini belirten katsayı R^2 ile belirlenir. Bütün tahminler regresyon doğrusu üzerinde yer almaktaysa $R^2=1$, eğer bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında hiç doğrusal ilişki yoksa $R^2=0$ olarak bulunmaktadır. R^2 , analizin uyumluluğunu yansıtmakta olup $R^2=0$ olması değişkenler arasında herhangi ilişki yoktur anlamına gelmemektedir. Ayrıca, değişkenler arasında doğrusal ilişki olmadığını göstermektedir (Eş. 4.8) [62].

$$R^2 = \frac{RKT}{AKT} = \frac{\hat{\beta}' X' Y - n \bar{Y}^2}{Y' Y - \hat{\beta}' X' Y} \quad (4.8)$$

Regresyon denkleminde yer alan ilgisiz bağımsız değişkenler için çoklu belirleme katsayısı düzeltilmelidir. Düzeltilmiş R^2 kullanıldığı takdirde uyumluluk artmaktadır (Eş. 4.9).

$$R^2_{düz} = 1 - \frac{\hat{\sigma}^2}{s_Y^2} \text{ veya } R^2_{düz} = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-k} \quad (4.9)$$

(Burada; k: tahmin edilecek parametre sayısı, n: gözlem sayısı'dır)

Regresyonda bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler ile tahmin değerleri arasında ne derecede bir ilişki olduğunu gösteren Pearson korelasyon katsayısına çoklu korelasyon katsayısı denir (Eş.4.10). Çoklu korelasyon katsayısının karesi, belirtme katsayısını verir [61].

$$R_{Y\hat{Y}} = \frac{\sum(Y_i - \bar{Y})(\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}})}{\sqrt{\sum(Y_i - \bar{Y})^2 \sum(\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}})^2}} \quad (4.10)$$

4.3. Lojistik Regresyon Analizi

Lojistik Regresyon, bağımlı değişkenin çeşitli gruplarda denendiği durumlarda bağımsız değişkenlerle neden-sonuç ilişkisini kurmak için kullanılmakta olan bir tekniktir. Bağımsız değişkenlere bağlı olarak sonuç değişkeninin beklenti olasılığının bulunduğu bir regresyon analiz yöntemidir [63].

Lojistik regresyon ve lineer regresyon modellerinin her ikisi de bağımsız değişkenin ya da değişkenlerin bağımlı değişken üzerine etkilerini analiz etmektedir. Lojistik regresyon bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerine etkilerini hesaplarken diğer yandan da bağımlı değişkenin kategorilerinden birinin diğerine karşı olma olasılığını da hesaplar. Lojistik regresyon analizine başlamadan önce bazı varsayımların sağlanması gerekmektedir. Model verileri yeterince ifade edebilmelidir. Rastgele hata (ε) bağımsız olmalıdır ve ortalaması 0 varyansı δ^2 olan normal dağılıma sahip bir rastgele değişken olmalıdır.

Model tasarım esnasında doğru yapılmadığı takdirde hatalı sonuçlar vermektedir. Hata, modele eklenen parametreler ve bağımsız değişkenler eklendikçe daha sık oluşmaktadır. Ek parametrelerin bir fonksiyonu olarak katsayılar ve değişkenler yanlı tahmin edilmektedir [64].

Lineer regresyonda, bağımlı değişken sürekli ve normal dağılıma sahip olmalıdır. Bağımsız değişkenler, normal olarak dağıtılmış bir kitleden alınmalıdır. Hata terimleri 0 ortalama ve sabit (δ^2) varyansla normal dağılım göstermelidir. Hata terimleri arasında bir ilişki yoktur. Hata terimleri birbirinden bağımsızdır. Lojistik regresyonda, bağımlı değişkenin sürekli olması gerekmez. Bağımlı değişken ayrık değerler alabilir veya sürekli bir değişken ayrık olabilir. Bağımlı değişkenin normal dağılım göstermesi gerekmez. Bağımlı değişkenin

binom dağılımı gösterdiği durumlarda lojistik regresyon analizi kullanılabilir. Bağımlı değişkenin iki sonucu olduğu durumlarda, doğrusal regresyon modelinde sabit varyans ve normallik gibi varsayımlar bozulur ve hata terimleri normal dağılımda değil binom dağılımında dağıtıldığı için gözlem varyansları eşit değildir. Bu gibi durumlarda, lineer regresyon analizi yerine lojistik regresyon analizi kullanılabilir [64].



5. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

YSA, insan beyni özelliklerinden olan öğrenme tekniği ile yeni veri üretme ve analiz etme işlemlerini kendi kendine yapabilme fonksiyonuna sahip bilgisayar sistemleridir [65].

Günümüzde birçok sektörde YSA modelleme analizleri kullanılmaktadır. En anlaşılır şekilde tarif edildiğinde insan beyninin çalışmasını taklit eden bir metot olan YSA'lar yapay zekâ uygulamaları arasında öne çıkmaktadır. “Evrensel Fonksiyon Yakınsayıcı Yöntem” olarak tanımlanan YSA metodu veriden öğrenme, genelleme yapabilme, çok sayıda değişken ile çalışabilme gibi birçok önemli özelliğe sahiptir. Bu özellikleri sayesinde oldukça önemli avantajlar sağlamaktadır [59].

YSA; sinir hücrelerinden oluşan insan beyninin katmanlı ve paralel yapısının dijital dünyadaki tüm fonksiyonları ile modellenmesidir. YSA, tahmin, sınıflandırma, kümeleme gibi birçok karmaşık sorunun çözümünde kullanılan oldukça etkili bir yöntem olarak bilinmektedir. YSA'nın en önemli özelliği, karmaşık sistemlerin arka plan bilgilerine dayalı olarak örneklem üzerinden öğrenerek sorunu çözebilmesidir. YSA, paralel bağlanmış biyolojik sinir sistemine benzer basit unsurlardan oluşmaktadır. Bu elemanlar arasındaki büyük ölçekli bağlantılar, ağın işlevini oluşturur. Elemanların birbirine bağlı olduğu ağırlık değerlerini ayarlayarak, ağ belirli bir işlevi yerine getirmek üzere eğitilmektedir. Böylece, belirli bir girdi için ağ bir çıktı üretmektedir. YSA yardımı ile birçok soruna çözüm bulunabilmektedir. Her sorunun çözümü için farklı ağ yapıları kullanılmaktadır [40].

En sık kullanılan YSA metodu geri beslemeli öğrenmeye bağlı çalışan Çok Katmanlı Algılayıcı'dır. Bu metot verileri dışarıdan yani girdi katmanından almakta ve çıktıları dışarıya yani çıktı katmanına vermektedir. Bu iki katman arasında bir veya birden çok gizli katman yer alabilmektedir [66].

YSA modeli geliştirirken, ilk olarak girdi ve çıktı değişkenleri tanımlanır. Ardından, veri tabanı eğitim ve test amaçlı kullanılacak şekilde bölünür, ağ yapısına karar verilir, ilişki ağırlıkları optimize edilir ve optimizasyon durdurma şartlarına göre sonlandırılır. Son olarak ise YSA doğrulanarak sonuçlandırılır [67].

5.1. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi

1900'lerin sonlarında YSA ile ilgili ilk çalışmalar Hermann von Helmholtz, Ernst Mach ve Ivan Pavlov gibi bilim adamları tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma fizik, psikoloji ve nöropsikoloji disiplinleri arası bir çalışmadır. Bu çalışmanın genel teorisi; öğrenme, sezme ve şartlanmadır. 1940'larda yapay sinir hücreleri üzerine ilk çalışmalar başlamıştır. McCulloh ve Pitts (1943), yapay bir sinir hücresinin aritmetik veya mantıksal bir işlevi hesaplamak için kullanılabileceğini göstermiştir. Bu ilk model, sonraki çalışmaların çoğuna ışık tutmuştur.

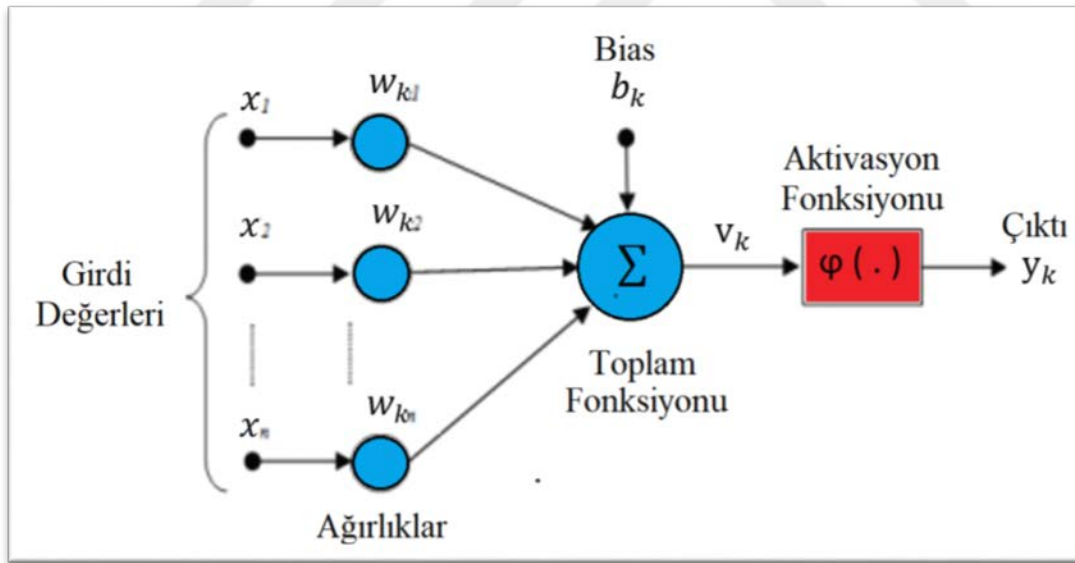
1949'da, insan beyninin öğrenme süreci Hebb tarafından bilgisayarla yapılabilecek şekilde geliştirilmiştir. 1954'te dik iniş algoritmasını kullanan öğrenme filtresi, Gabor tarafından gözlemlenen sinyaller ile geçmiş verilerden üretilen sinyaller arasındaki ortalama hata karelerini azaltacak değişkenleri seçmek için bulunmuştur. Sensörler 1958'de nöron modeli için geliştirilen bir öğrenme yöntemiyle Rosenblatt, McCulloh ve Pitts tarafından icat edilmiştir. Çok katmanlı ağırları eğitmek için geri yayılma eylem şeması 1962'de Rosenblatt tarafından önerilmiş ancak türevlenemeyen fonksiyonlar tercih edildiği için başarısız olmuştur. 1967'de Amari, kredi atama problemlerinin çözümünde çok katmanlı ağlarda ağırlıkların öğrenme kuralını belirlemede matematiksel bir sonuç elde etmiştir. 1969'da yazdıkları kitapta Minsky ve Papert, basit algılayıcı modelinin sınırlarını belirlemişlerdir. 1970'lerden itibaren daha küçük devrelerin üretilmesiyle mikroişlemciler geliştirilmeye başlanmış ve günümüz bilgisayarlarının temeli atılmıştır [38].

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak bilgisayar destekli YSA teknolojisinin gelişimi de 1970'lerden itibaren hızlanmıştır. Bu gelişmeler, 1969-1972 yılları arasında doğrusal ilişkilendiricilerin geliştirilmesiyle başlamıştır. Korelasyon matris belleği 1972'de geliştirilmiştir. 1974'te geri yayılım modelinin temelleri atılmıştır. İlerleyen yıllarda öğreticisiz öğrenme gelişmiştir. Bunlardan ilki, ART modelinin 1978'de geliştirilmesi, ikincisi ise Kohonen öğrenmesi ve Som modelinin geliştirilmesidir. Hopfield ağırları ve çok katmanlı algılayıcı 1982'de, Boltzman katsayısı 1984'te, çok katmanlı algılayıcılar 1985'te, Delta öğrenme kuralı 1988'de, RBF ve PNN modelleri ve GRNN modeli 1991'de geliştirilmiştir. 1991'den bu yana birçok yeni çalışma ve uygulama mevcuttur [65].

5.2. Yapay Sinir Hücresi ve Çalışma Prensipleri

YSA, insan beyninin işleyişini taklit edip bilgisayar ortamına aktaran, insan beynini modelleyerek oluşturulan sistemler olarak tanımlanabilir. Beyin işlevlerini taklit etmek için çeşitli YSA modelleri geliştirilmiştir. YSA'lar öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme, optimizasyon gibi farklı sorunların çözümünde kullanılabilir [68].

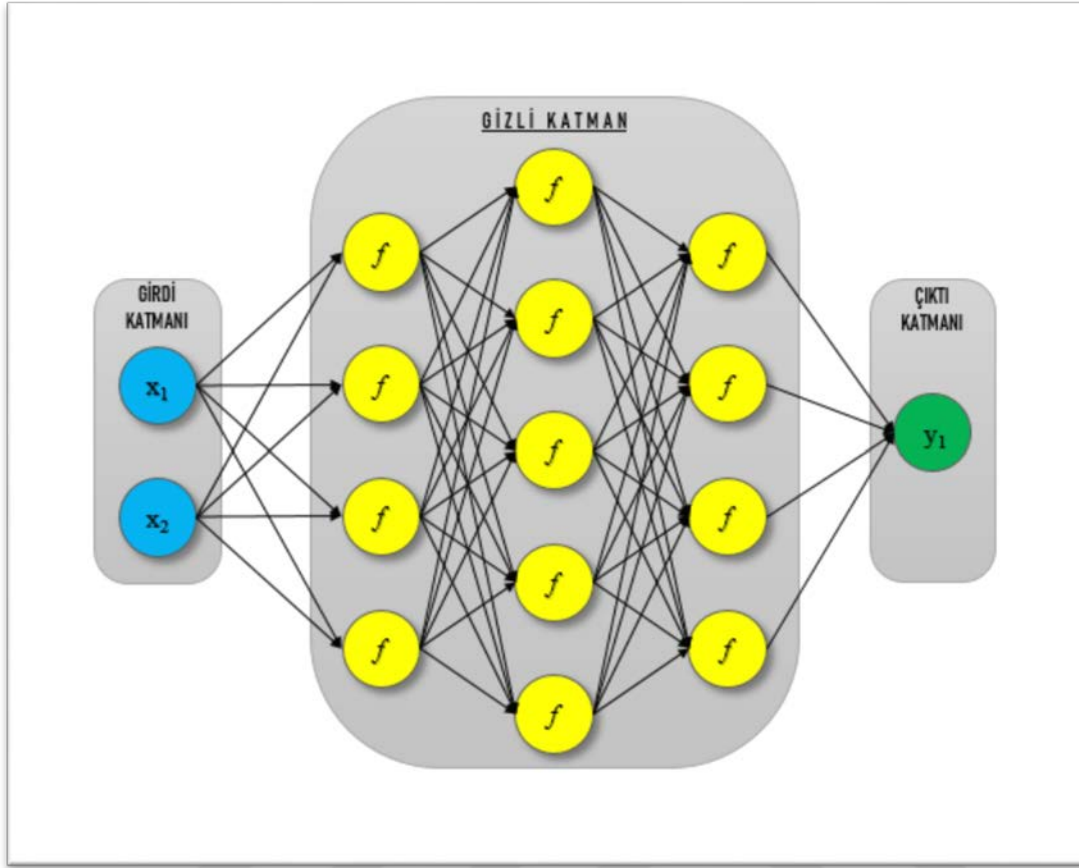
YSA'nın temel ögesi, biyolojik sinir ağlarında olduğu gibi yapay sinir hücresidir. Yapay sinir hücreleri YSA'nın en küçük ve temel bilgi işlem birimidir. YSA'daki tüm nöronlara bir veya daha fazla girdi gelir, ancak yalnızca bir çıktı oluşur. Bu çıktı, diğer nöronlara bir girdi olarak kullanılabilir veya doğrudan YSA'nın dışına çıkarılabilir. Geliştirilen hücre modeline göre değişiklik gösterse de genel özellikleri ile yapay bir hücre modelini oluşturan beş unsur vardır. Bunlar; girdiler, ağırlıklar, birleştirme işlevi, etkinleştirme işlevi ve çıktıdır (Şekil 5.1) [65].



Şekil 5.1. Yapay sinir ağı örneği [65]

5.2.1. Girdiler

Dış dünyadan veya diğer hücrelerden yapay sinir hücresine gelen bilgilerdir. Bunlar, ağdan öğrenmesi istenen örneklerle belirlenir [69]. Şekil 5.2'de yapay sinir ağı katmanları verilmiştir.



Şekil 5.2. Yapay sinir ağı katmanları

5.2.2. Ağırlıklar

Girdilerin, hücreyi nasıl etkilediği ağırlığa bağlıdır. Ağırlıklar, bir nörona girilecek matematiksel değer katsayısını temsil eder. YSA'daki tüm giriş bağlantılarının farklı ağırlık değerleri belirlenir. Sonuç olarak, ağırlıkların her bir işleme elemanının her girdisi üzerinde etkisi vardır [65].

Ağırlıklar, yapay bir sinir hücresine gelen bilginin hücre üzerindeki etkilerini gösterir [70].

5.2.3. Birleştirme (toplama) fonksiyonu

Birleştirme fonksiyonunun görevi, bir işleme elemanından gelen girdileri birleştirmektir, yani bir nörona net girdiyi hesaplamaktır. En sık tercih edilen fonksiyon türleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Bu işlevler arasında en çok tercih edilen; gelen girdilerin ürünlerini ve bağlantıların ağırlıklarını toplayarak net girdiyi veren toplama fonksiyonudur. Ancak, en uygun birleştirme işlevi deneme yanılma yoluyla belirlenir [39].

Çizelge 5.1. Birleştirme fonksiyonları [39]

Fonksiyonun Adı	Fonksiyon
Toplam	$Net\ Girdi = \sum_i G_i W_i$
Çarpım	$Net\ Girdi = \prod_i G_i W_i$
Maksimum	$Net\ Girdi = maks(G_i W_i), i = 1 \dots N$
Minimum	$Net\ Girdi = min(G_i W_i), i = 1 \dots N$
Çoğunluk (Signum)	$Net\ Girdi = \sum_i sgn(G_i W_i)$
Kümülatif Toplam	$Net\ Girdi = Net_{eski} + \sum_i G_i W_i$

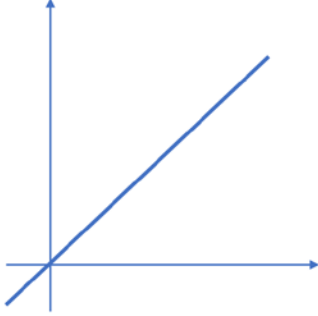
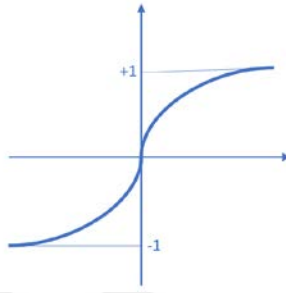
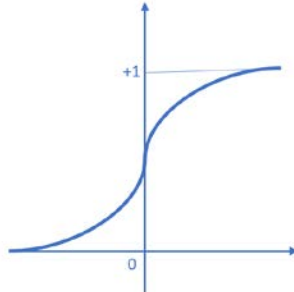
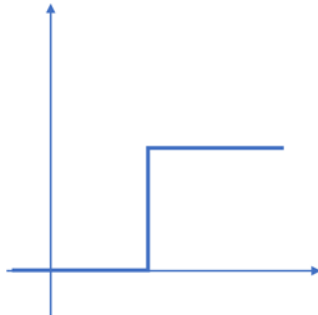
5.2.4. Transfer (aktivasyon) fonksiyonu

Bu işlev, hücrenin net girdisini işleyerek hücrenin bu girdi için üreteceği çıktıyı belirler. Aktivasyon fonksiyonları olarak kullanılan farklı fonksiyon türleri vardır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan Çok Katmanlı Algılayıcı modelinde aktivasyon işlevi genellikle sigmoid işlevidir [70].

Transfer fonksiyonu, nörona net girdiyi işleyerek üretilecek çıktıyı belirler. Toplam işlevinde olduğu gibi, çıktıyı etkinleştirme işleviyle hesaplamak için farklı formüller kullanılır. Çok katmanlı algılayıcılar gibi bazı modeller, bu işlevin türetilebilir olmasını gerektirir. Yine denemeler sonucunda en uygun fonksiyon bulunur. Ancak, en uygun fonksiyonu gösteren formül henüz bulunamamıştır [5].

Kaynaklarda, transfer işlevi aynı zamanda sıkıştırma veya eşik işlevi olarak da adlandırılır. Bunun nedeni çıkış sinyallerinin $[0,1]$ veya $[-1,1]$ aralığında sınırlı olmasıdır. Transfer işlevi, dikkate alınan olaya ve ağ yapısına bağlı olarak farklılık gösterir. Uygulama esnasında en çok karşılaşılan aktivasyon fonksiyonları Çizelge 5.2’de gösterilmiştir [38].

Çizelge 5.2. Aktivasyon fonksiyonları [38]

Fonksiyon	Türü	Grafığı
$F(NE\text{ }T) = NE\text{ }T$	Lineer (Doğrusal)	
$F(NE\text{ }T) = \frac{e^{NE\text{ }T} + e^{-NE\text{ }T}}{e^{NE\text{ }T} - e^{-NE\text{ }T}}$	Hiperbolik Tanjant	
$F(NE\text{ }T) = \frac{1}{1 + e^{-NE\text{ }T}}$	Sigmoid	
$F(NE\text{ }T) = \begin{cases} 1, & NE\text{ }T > t \\ 0, & NE\text{ }T \leq t \end{cases}$	Eşik (Basamak)	

Transfer fonksiyonlarına ait genel özellikler aşağıda açıklanmıştır:

- Doğrusal aktivasyon fonksiyonunda, gelen girdiler doğrudan hücrenin çıktısı olarak kabul edilir.

- Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonunda, hücre çıktısı, gelen NET giriş değerini teğet fonksiyonundan geçirerek elde eder ve $[-1,1]$ aralığında çıktı değeri üretir.
- Sigmoid aktivasyon fonksiyonu, geri yayılma tekniği ile eğitilmiş ağlarda başarılı sonuçlar verir ve $[0,1]$ aralığında çıkış değeri üretir.
- Eşik, yani aşamalı aktivasyon işlevi, genellikle tek katmanlı ağlarda tercih edilir ve $[0,1]$ aralığında çıkış değeri üretir [38].

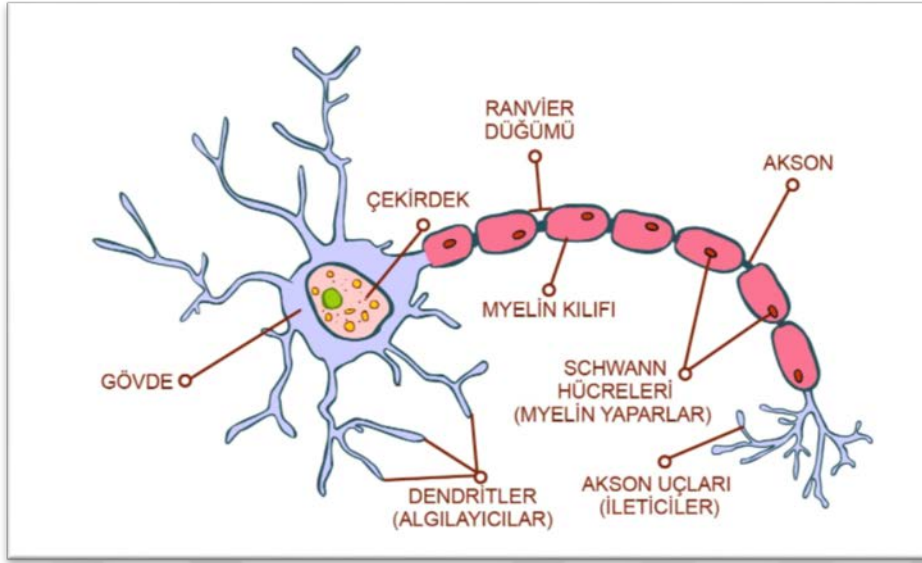
5.3. Yapay Sinir Ağlarının Tasarımı

YSA uygulamasının başarısı, uygulanacak yaklaşım ve deneyimlere yani uygun yöntemin belirlenmesine bağlıdır. YSA'nın geliştirilmesi sırasında ağın yapısı ve işleyişi ile ilgili alınacak önemli kararlar aşağıdaki gibidir;

- Ağ mimarisinin seçilmesi ve yapısal özelliklerinin belirlenmesi (katman sayısı, katmandaki nöron sayısı vb.),
- Nörondaki fonksiyonların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi,
- Öğrenme algoritmasının seçilmesi ve parametrelerin belirlenmesi,
- Eğitim ve test verilerinin oluşturulması [27].

YSA, uygun parametreler kullanılarak hazırlanırsa, sürekli olarak kararlı çıktılar üretir. Ek olarak, sistemin kısa tepki süresi, sistemin olabildiğince küçük olmasına bağlıdır. İhtiyaç duyulan toplam hesaplama bu şekilde elde edilir [27].

Tıpkı bir nöronun başka bir nörona sinyal gönderebilmesi ve biyolojik sinir ağlarında başka bir nörondan sinyal alabilmesi gibi, YSA'larda da durum benzerdir ve YSA'lar yapay olarak biyolojik sinir hücrelerini taklit ederler [71]. Şekil 5.3'te bir biyolojik nöronun basitleştirilmiş gösterimi verilmiştir.



Şekil 5.3. Bir biyolojik nöronun basitleştirilmiş gösterimi

5.3.1. YSA ağ yapısının seçimi

YSA tasarımı sürecinde ağ yapısı probleme bağlı olarak seçilmektedir. Hangi problemin çözümünde hangi ağın başarılı olacağı bilinmelidir. Çizelge 5.3'te ağ türlerinin kullanım amaçları ve başarılı oldukları alanlar gösterilmiştir [39].

Çizelge 5.3. Ağ türleri ve başarılı oldukları alanlar [39]

Kullanım Amacı	Ağ Türü	Ağın Kullanımı
Tahmin	Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA)	Ağın girdilerinden bir çıktı değerinin tahmin edilmesi
Sınıflandırma	Vektör Parçalama Yöntemi (LVQ)	Girdilerin hangi sınıfa ait olduklarının belirlenmesi
	Adaptif Rezonans Teori (ART)	
	Karşı Yayılma	
	Olasılıklı Sinir Ağları	
Veri İlişkilendirme	Hopfield	Girdilerin içindeki hatalı bilgilerin bulunması ve eksik bilgilerin tamamlanması
	Boztman Makinesi	
	İki Yönlü Birlik Belleği	

Ağda kullanılması amaçlanan öğrenme algoritmasına bağlı olarak uygun YSA seçimi yapılır. Ağda kullanılacak öğrenme algoritması seçildiğinde bu algoritmanın gerektirdiği mimari otomatik olarak seçilecektir. Örnek olarak, geri yayılma algoritması, ileri beslemeli bir ağ mimarisi gerektirir [39].

Bir YSA'nın karmaşıklığını en aza indirmenin en önemli aracı YSA ağ yapısını değiştirmektir. Yeterli sayıda işlemci elemanına sahip ağ yapılarında, daha düşük bir genelleme yeteneği ortaya çıkar [39].

5.3.2. Öğrenme algoritmasının seçimi

Yapay sinir ağlarında öğrenmeyi açıklamak için önce öğrenme kavramının açıklanması gerekir. Öğrenme için en uygun tanımlardan biri, Simon tarafından önerilen geniş çapta kabul gören tanımdır. Bu tanıma göre öğrenme, "zaman içinde yeni bilgilerin keşfedilmesi yoluyla davranışı geliştirme sürecidir". Bilgisayarlar, kendileri ile ilgili sorunlar hakkında çözümleri öğrenebilirler. Böylece, insanlar gibi bilgisayarlar da zamanla deneyim kazanabilir [72].

Rehberli eğitimde hem girdi hem de çıktı verileri kullanılır. İlk olarak ağ, rastgele belirlenen başlangıç ağırlıklarını kullanarak girdileri işler ve çıktıyı istenen çıktıyla karşılaştırır. Elde edilen hatalar sisteme geri gönderilir ve bu hatalar kullanılarak ağı kontrol eden bağlantı ağırlıkları güncellenir. Bu işlem defalarca tekrarlanır ve bağlantı ağırlıkları sürekli olarak ayarlanır. Eğitim sırasında kullanılan veri setine eğitim veri seti denir. Bir ağın eğitimi sırasında, bağlantı ağırlıkları belirlenene kadar aynı veri seti defalarca işlenir [31].

YSA yapısının seçilmesinden sonra öğrenme algoritmasının seçimi, uygulamanın başarısını belirleyen bir diğer faktördür. Genel olarak ağ yapısı öğrenme algoritmasının seçiminde belirleyicidir. Bu nedenle seçilen ağ yapısı üzerinde kullanılacak öğrenme algoritmasının seçimi ağ yapısına bağlıdır. YSA'nın geliştirilmesinde birçok öğrenme algoritması kullanılabilir. Bu uygulamalar sınıflandırılacak olursa, gruplar ve içerisinde yer alacak öğrenme algoritmaları Çizelge 5.4'te gösterildiği şekilde özetlenebilir [27].

Çizelge 5.4. Öğrenme algoritmaları ve uygulandıkları alanlar [27]

Uygulama Tipi	YSA
Öngörü Tanıma	Geri Yayılım
	Delta Bar Delta
	Geliştirilmiş Delta Bar Delta
	Yönlendirilmiş Rastsal Tarama
	Geri Yayılım İçinde Kendi Kendine Planlamalı Harita
	Yüksek Mertebeli Sinir Ağları
Sınıflandırma	Vektör Nicelemeli Öğrenme
	Karşı Yayılma
	Olasılıklı YSA
Veri İlişkilendirme	Hopfield
	Boztman Makinesi
	İki Yönlü Birlik Belleği
	Mekansal – Zamansal Desen Tanıması
Veri Kavramlaştırma	Uyarlamalı Rezonans Ağı
	Kendi Kendine Planlama

5.3.3. Ara katman sayısını belirleme

YSA’da tasarım sürecinde verilecek bir diğer karar, ağıdaki katman sayısıdır. Birçok sorunu çözmek için 2 veya 3 katmanlı bir ağ yeterlidir. Katmanlar, nöronların aynı yönde bir araya gelmesiyle oluşur. Katmanların farklı şekillerde kombinasyonu, farklı ağ yapıları oluşturur. Girdi ve çıktı katmanlarının sayısı sorunun niteliğine göre değişir. Birkaç denemeden sonra en uygun yapıya karar vermek, katman sayısını belirlemenin en iyi yoludur [39].

5.3.4. Nöron sayısını belirleme

Ağın yapısal özelliklerinden biri de katmanlardaki nöron sayısıdır. Bu sayıların belirlenmesinde deneme yanılma yöntemi tercih edilmektedir. Bu yollardan biri, istenen performansa ulaşılan kadar ilk nöron sayısını artırmak veya tam tersi, istenen performansın altına düşmeden azaltmaktır. Bir katmanda ne kadar az nöron kullanılırsa o kadar iyidir. Düşük nöron sayısı YSA'nın "genelleme" kabiliyetini artırırken, aşırı miktar "ezberleme" kabiliyetini ortaya çıkarmaktadır. Bununla birlikte, gerekenden daha az nöron varsa, verilerdeki model ağ tarafından öğrenilemeyebilir [27].

YSA tasarımı bir diğer önemli karar, nörondaki fonksiyonların karakteristik özellikleridir. Nöronun geçiş fonksiyonunun seçimi, büyük ölçüde YSA'nın verilerine ve ağdan ne öğrenmesi istendiğine bağlıdır. Sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonlar, en çok geçiş fonksiyonlarında kullanılır. Sigmoid fonksiyonunun çıkış aralığı $[0,1]$ arasında iken hiperbolik tanjant fonksiyonunun çıkış aralığı $[-1,1]$ arasındadır. Ağdan, bir modelin ortalama davranışını öğrenmesi istendiğinde sigmoid işlevi tercih edilir. Ağın bir modelin ortalamasından sapmasının öğrenilmesi istendiğinde ise hiperbolik tanjant işlevi tercih edilir [27].

5.3.5. Normalizasyon

YSA'ların en belirgin özelliği olan doğrusal olmamayı anlamlı kılan yaklaşım, verilerin normalleştirilmesidir. Verilerin normalleştirilmesi için seçilen yöntem YSA performansını doğrudan etkileyecektir. Bunun nedeni, normalizasyonun, giriş verileri aktarılırken işlevin etkin bölgesinden aktarılmasını sağlamasıdır. Veri normalleştirilmesinin amacı, işlemci unsurlarını verilerin birikmiş toplamalarının olumsuzluğundan korumaktır. Veri normalleştirme, işlemci öğelerini verileri kümülatif toplamalarla koruma eğiliminden ve aşırı değerli kümülatif toplamaların dezavantajlarından korumak için zorunludur. Genel olarak, verilen $[0,1]$ veya $[-1,1]$ aralıklarından herhangi birinde ölçeklenmesi gerekir. Ölçeklendirme, mevcut eksen sistemindeki verilerin sıkıştırılması olduğundan, aşırı salınım içeren problemlerle ilgili YSA modellerinin veri kalitesi olumsuz etkilenebilir. Meydana gelecek bu olumsuzluk neticesinde öğrenme fonksiyonu da başarısız olacaktır. Çizelge 5.5'te normalizasyon işlemi fonksiyonları verilmiştir [39]. Çizelgede geçen x_i : normalize edilecek hücreyi; x_i' : x_i hücresinin normalize edilmiş halini; $\min_{(x_i)}$: normalize edilecek veri

kümesindeki minimum değerini ve $\max_{(x_i)}$: normalize edilecek veri kümesindeki maksimum değerini temsil eder.

Çizelge 5.5. Normalizasyon işlemi fonksiyonları [39]

Aktivasyon Fonksiyonu	Normalizasyon	Fonksiyon
Hiperbolik Tanjant	$[-1,1]$	$x_i' = \frac{2(x_i - \min_{(x_i)})}{(\max_{(x_i)} - \min_{(x_i)})} - 1$
Sigmoid	$[0,1]$	$x_i' = \frac{x_i - \min_{(x_i)}}{\max_{(x_i)} - \min_{(x_i)}}$

5.3.6. Performans fonksiyonunun seçimi

Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra test başlar. Test aşamasında ağa, öğrenme aşamasında karşılaşmadıkları veriler girdi olarak verilir ve çıktılarına göre ağın performansı incelenir. Ağın performansı değerlendirirken en başarılı sonucu veren YSA mimarisini belirlemek için bazı performans kriterleri kullanılmaktadır. En fazla tercih edilen performans kriterleri Çizelge 5.6'da verilmiştir [38]. Çizelgede geçen G_i : Gerçek maliyeti; T_i : Tahmin edilen maliyeti ve N : Veri kümesinin büyüklüğünü temsil eder.

Çizelge 5.6. Performans kriterleri [38]

Performans Kriteri	Denklemleri
Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (OMHY)	$\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N \left \frac{G_i - T_i}{GT_i} \right (100)$
Ortalama Mutlak Hata (OMH)	$\sum_{i=1}^N \left \frac{G_i - T_i}{N} \right $
Hata Kareleri Ortalaması (HKO)	$\sum_{i=1}^N \frac{(G_i - T_i)^2}{N}$
Ortalama Hata Kareleri Kökü (OHKK)	$\sqrt{HKO}$
Hata Kareleri Toplamı (HKT)	$\sum_{i=1}^N (G_i - T_i)^2$

5.4. YSA'nın Avantajları

Teknolojik bir gelişme olarak da görülmesi gereken YSA metodolojisi, özellikleri ve kabiliyetleri sayesinde önemli avantajlar sunmaktadır. YSA'ların farklılıkları ve avantajları şu şekilde özetlenebilir. Doğrusal olmayan yapı, YSA'nın en önemli avantajlarından biridir. Gerçek hayatta olası doğrusal olmayan yapıları da hesaba katabilir. YSA'nın bir diğer önemli avantajı, verileri kullanarak öğrenme yeteneğidir. Bu özelliği sayesinde geleneksel teknikler için oldukça karmaşık olan sorunlara çözüm üretilebilir. YSA'ların öğrenme yetenekleri sayesinde, bilinen örnekleri kullanarak daha önce karşılaşılmamış durumlar için genellemeler yapabilirler. Yani hatalı veya kayıp verilere çözüm üretilebilir. YSA'lar iyi eğilim tanımlayıcıları ve sağlam sınıflandırıcılarıdır. Çünkü tanımlanmamış girdi verileri hakkında karar verirken genelleme yapabilirler. İşlem öğeleri arasındaki ağırlıklı bağlantılar sayesinde YSA'ların bilgiyi dağıtılmış bellekte depolayabildiği söylenebilir. YSA modelleri sınırsız sayıda değişken ve parametre ile çalışabilir. Bu şekilde, mükemmel tahmin doğruluğu ile genel çözümler sağlanabilir. YSA'lar, karmaşık veya sorunlu verileri bile anlamlandırma konusundaki olağanüstü yetenekleriyle, insanlar veya bilgisayarlar tarafından anlaşılması zor olan eğilimleri belirlemek veya yapıları çıkarmak için kullanılabilir. Tam eğitilmiş bir YSA modeli, analiz ettiği bilgi seti (veritabanı) için bir uzman olarak düşünülebilir. Bu uzmanlık, farklı durumlar ve "ne olursa ... ne olur?" simülasyon problemlerine projeksiyon sağlamak için de kullanılabilir [73].

YSA'nın en önemli avantajları arasında; doğrusal olmayan yapıları modelleyebilmesi, paralel ağ yapısı, öğrenme ve genelleme yapma yeteneği, farklı problemler için uyarlanabilmesi, hata toleransına sahip olması, eksik bilgilerle çalışabilmesi, analiz ve tasarım kullanımı sayılabilir. YSA bu özelliklerinden dolayı işletme, finans, tıp ve mühendislik olmak üzere birçok alanda tercih edilmektedir [74].

5.4.1. Doğrusal olmama

YSA'nın doğrusal veya doğrusal olmayan modelleme gerçekleştirme yeteneği YSA'yı oluşturan yapay sinir hücreleri için tercih edilen aktivasyon işlevi ile sağlanır. YSA'nın bu özelliği, günlük hayatta karşılaştığımız sorunları incelediğimizde ve doğrusal olmayan ilişkiler içerdiğini gördüğümüzde çok önemli hale gelmektedir [38].

5.4.2. Öğrenme

YSA'nın istenilen davranışı gösterebilmesi için amacına göre ayarlanması ve herhangi bir sorunun çözümüne yönelik bir algoritma geliştirilmesi gerekmektedir. YSA'nın karmaşık yapısı nedeniyle, bağlantılar ve ağırlıklar önceden ayarlanamaz veya tasarlanamaz. Bu nedenle YSA ilgilendiği problemten aldığı eğitim örneklerini kullanarak istediği davranışı gösterecek şekilde problemi öğrenmelidir. Böylelikle olayları öğrenerek, benzer olaylar karşısında benzer kararlar almaya çalışır. Kendisine gösterilen örneklerden genellemeler yaparak daha önce görmediği örnekler hakkında bilgi üretebilir [75].

5.4.3. Genelleştirme

YSA'nın öğrenme sürecinde tanıdığı veriler dışında yeni veriler için anlamlı sonuçlar üretebilmesine genelleme denir. Sonuç olarak, genelleme yeteneği olmayan YSA'ların anlamlı olmayacağı açıktır. Öngörü, örüntü tanıma, sinyal işleme vb. birçok alanda YSA'nın genelleme yeteneği sayesinde başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir [38].

5.4.4. Uyarlanabilirlik

YSA, karşılaştığı problemdeki değişikliklere göre ağırlıklarını ayarlar. Yani belirli bir problemi çözmek için eğitilen YSA, problemdeki değişikliklere göre yeniden eğitilebilir ve değişiklikler sürekli ise eğitime gerçek zamanlı olarak devam edilebilir. Bu özelliği ile YSA, uyarlamalı örnek tanıma, sinyal işleme, sistem teşhisi ve kontrolü gibi alanlarda etkin bir şekilde kullanılmaktadır [75].

5.4.5. Hata toleransı

YSA, yapay sinir hücrelerinin paralel dağılımda birbirine bağlanması sonucu oluşan bir bütündür. YSA'nın öğrenmesi, bu bağlantı aralıklarını belirleme sürecidir. Bazen ağırlık eğitimi sırasında veri setinde gürültü etkisi olarak adlandırılan istenmeyen yanlışlıklar ile karşılaşmaktadır. Gürültü etkisi ağırdaki tüm ağırlıklara dağıtıldığında, sonuç üzerindeki etkisi de en aza indirilecektir. Bu nedenle YSA'ların hata toleransı klasik yöntemlere göre daha yüksektir [38].

5.4.6. Eksik bilgi ile çalışabilme

YSA eğitildikten sonra, eksik bilgilerle çalışabilir ve eksik bilgi olsa bile yeni gelen örneklerde sonuç üretebilirler. YSA, eksik bilgilerle çalışmaya devam ederken, klasik sistemler eksik bilgilerle çalışamaz. Eksik bilgi olması YSA'nın performansının düşeceği anlamına gelmez. Eksik bilgi önemli bir bilgi ise, YSA'nın performansını düşürebilir. Hangi bilgi önemlidir ya da değildir, ağ bunu eğitim sırasında öğrenir. Kullanıcıların bu konuda hiçbir fikri yoktur. Kullanıcı, eksik bilgilerin ağ performansının düşmesi nedeniyle önemli olduğunu anlayabilir. Ağın performansı düşmediyse, eksik bilgi önemli değildir [74].

5.4.7. Analiz ve tasarım kolaylığı

YSA'nın temel işleyici unsuru olan hücrenin yapısı ve modeli hemen hemen tüm YSA yapılarında aynıdır. Yani bu standart hücreler tüm dallarda YSA uygulaması sırasında kullanılmaktadır. Bu nedenle YSA, benzeri öğrenme algoritmalarını ve farklı branşlarda kullanılan teorileri paylaşabilir. Bu özellik, YSA ile sorunların çözümünde büyük kolaylık sağlar [38].

5.5. YSA'nın Dezavantajları

YSA, avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajlara da sahiptir. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir:

- ❖ YSA oluşturmada, bir model seçmede, ağın topolojisini belirlemede net kurallar yoktur. Karar, kullanıcının deneyimine bağlıdır.
- ❖ YSA ile problem çözmede örnek tasarlamak için net kurallar yoktur. Örnekleri kullanıcı deneyimine göre tasarlar. Aynı problem farklı şekillerde gösterilebilir ve her bir sunumun performansı kendisine göre değişebilir. Doğru temsili bulmak deneyime bağlıdır.
- ❖ Ağın davranışını açıklamak imkânsızdır. Bu durum ağa olan güveni azaltır.
- ❖ Eğitimin gerçekleştirilmesi için uzun zaman harcanabilir.
- ❖ Üretilen sonuçların optimum olduğunu iddia etmek yanlıştır. Sadece sonucun en iyilerden biri olacağı söylenebilir [76].
- ❖ YSA'ların uygun ağ yapısını belirlemek için geliştirilmiş bir kural yoktur. Uygun ağ yapısı, kullanıcının deneyimi ve deneme yanılma yoluyla belirlenir.

- ❖ Ağın parametre değerlerini belirlemek için belirli bir kural yoktur. YSA’larda öğrenme katsayısı, hücre sayısı ve katman sayısı gibi parametreleri belirlemede kullanılabilecek kurallar bulunmamaktadır. Her problem için farklılık gösterse de kullanıcının deneyimi bu parametrelerin seçiminde bir faktördür.
- ❖ Öğrenilecek sorunun ağda başarılı şekilde temsil edilmesi önemlidir. YSA’lar sayısal bilgiler ile çalıştığı için öğretilecek ve ağa aktarılacak bilgilerin sayısal olarak verilmesi veya sayısal forma dönüştürülmesi gerekmektedir.
- ❖ Ağda, eğitimin ne zaman tamamlanacağına dair belirli bir yöntem yoktur. Ağın numuneler üzerindeki hatası belli bir değere düşürülürse, eğitim tamamlanmış demektir. Bu hata değerini belirlemek kullanıcıya kalmıştır.
- ❖ Ağın davranışı açıklanamaz. Bu sorun YSA’ların en önemli sorunudur. YSA bir soruna çözüm sağladığında, bunun neden ve nasıl olduğu konusunda bir ipucu vermez [77].

5.6. İnşaat Mühendisliğinde YSA Uygulamaları

YSA pek çok alanda ve pek çok amaçla kullanılmaktadır. Bu alanlardan biri İnşaat Mühendisliğidir. Deprem performansı, beton basınç dayanımı, betonarme elemanların modellenmesi, hidrolik problemlerin çözümü, öngerilmeli beton prefabrike köprülerin analizi, geoteknik ve yapısal maliyet analizi gibi birçok sorunun çözümünde kullanılır. Bunlara ek olarak detaylandırılması halinde; inşaat projelerinde kaynak seviyelerinin belirlenmesi, rezervuar çıkış kontrolü, biyolojik bilgiler yardımıyla nehir suyu kalitesinin sınıflandırılması, nehir akışının tahmini, sonlu eleman bazlı yapısal analiz sürecinin modellenmesi, yapı malzemelerinin içyapılarındaki çatlakların belirlenmesi, depreme maruz kalan betonarme çerçevelerde güvenli yatay kiriş tahmini de yapılabilir [78].

Son yıllarda YSA sıklıkla hidrolik analizler, deprem analizleri ve yapı maliyet analizleri için tercih edilmektedir. Yapı maliyet tahminindeki önemi yapay zekâ teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak hızla artmaktadır.

6. MATERYAL VE METOT

6.1. Verilerin Toplanması

Çalışma kapsamında, kanalizasyon boru hattı inşaat maliyetlerinin ön tahmini için 202 adet kanalizasyon boru hattı projesi ele alınmıştır. Ele alınan projelerin rapor, çizim, metraj ve keşif verileri temin edilmiştir. Elde edilen projeler üzerinden kanalizasyon boru hattı inşaat maliyeti çıktı değişkenini etkileyebilecek; boru çapı, hat uzunluğu, kazı derinliği, baca miktarı, kazı miktarı, dolgu miktarı ve kazı klası parametreleri seçilmiştir. Seçilen parametreler ve değişim aralıkları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Parametreler ve değişim aralıkları

Değişken	En Büyük Değer	En Küçük Değer
Gerçek Maliyet (\$)	6262797,08	4994,98
Boru Çapı (mm)	1200	200
Hat Uzunluğu (m)	68530	7
Baca Miktarı (ad)	1948	1
Kazı Derinliği (m)	9,63	1,44
Kazı Miktarı (m ³)	141443	66
Dolgu Miktarı (m ³)	134541	41
Kazı Klası	-	-

Çizelge 6.1’de yer alan tüm sayısal değişkenler YSA ve RA analizlerinde kullanılabilmektedir. Sözel değişkenlerin de maliyet üzerindeki etkisini görmek amacıyla kazı klası sözel parametresi, sayısal bir parametreye dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm için toprak, küskülük, yumuşak kaya, sert kaya ve çok sert kaya kazılarına ait birim fiyatlardan faydalanılmıştır. Her projeye ait 1 m³ kazının maliyeti, birim fiyatı en düşük olan toprak kazısı yapılmasına ait birim fiyata bölünerek kazı klas katsayısı (KKK) belirlenmiştir (Eş. 6.1)

$$KKK = K_T + (1,83 * K_K) + (3,06 * K_{YK}) + (6,26 * K_{SK}) + (8,41 * K_{ÇSK}) \quad (6.1)$$

Burada;

KKK : Kazı Klas Katsayısını

K_T : Kazıdaki toprak yüzdesini

K_K : Kazıdaki küskülük yüzdesini

K_{YK} : Kazıdaki yumuşak kaya yüzdesini

K_{SK} : Kazıdaki sert kaya yüzdesini

$K_{ÇSK}$: Kazıdaki çok sert kaya yüzdesini temsil etmektedir.

Örnek kazı klas katsayısının hesaplanmasında kullanılmak üzere rastgele bir proje seçilmiştir. Seçilen bu projeye ait değişkenler denklemde karşılık gelen parametreler ve test değerleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Kazı klas değişkenleri ve örnek test değerleri

Değişken	Parametre	Test Değeri
Kazıdaki Toprak Yüzdesi	K_T	% 20
Kazıdaki Küskülük Yüzdesi	K_K	% 50
Kazıdaki Yumuşak Kaya Yüzdesi	K_{YK}	% 20
Kazıdaki Sert Kaya Yüzdesi	K_{SK}	% 10
Kazıdaki Çok Sert Kaya Yüzdesi	$K_{ÇSK}$	-

$$KKK = K_T + (1,83 * K_K) + (3,06 * K_{YK}) + (6,26 * K_{SK}) + (8,41 * K_{ÇSK}) \quad (6.1)$$

$$KKK = 0,20 + (1,83 * 0,50) + (3,06 * 0,20) + (6,26 * 0,10) + (8,41 * 0) = 2,35$$

Yukarıda Eş. 6.1’deki denklem ile Çizelge 6.2’deki değişkenler kullanılarak örnek kazı klas katsayısı (KKK) hesabı yapılmış ve sonuç 2,35 olarak bulunmuştur.

Ele alınan projelerin rapor, çizim, keşif ve metraj verilerinden elde edilen değişkenler ve kazı klas katsayısı kullanılarak korelasyonlar yapılmış ve sonuçlar Çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Değişkenler arası korelasyonlar

		Boru Çapı (mm)	Hat Uzunluğu (m)	Baca Miktarı (ad)	Kazı Derinliği (m)	Kazı Miktarı (m³)	Dolgu Miktarı (m³)	Kazı Klas Katsayısı	Güncel Maliyet (\$)
Boru Çapı (mm)	Pearson	1,000	-0,311	-0,307	0,340	-0,244	-0,241	0,108	-0,222
	Kendall	1,000	-0,366	-0,383	0,409	-0,238	-0,252	0,082	-0,242
	Spearman	1,000	-0,485	-0,501	0,526	-0,327	-0,344	0,107	-0,331
Hat Uzunluğu (m)	Pearson	-0,311	1,000	0,991	-0,263	0,951	0,918	0,018	0,948
	Kendall	-0,366	1,000	0,913	-0,304	0,800	0,773	-0,010	0,731
	Spearman	-0,485	1,000	0,981	-0,411	0,939	0,925	-0,016	0,890
Baca Miktarı (ad)	Pearson	-0,307	0,991	1,000	-0,261	0,950	0,921	0,021	0,932
	Kendall	-0,383	0,913	1,000	-0,314	0,761	0,732	-0,005	0,713
	Spearman	-0,501	0,981	1,000	-0,415	0,914	0,898	-0,008	0,875
Kazı Derinliği (m)	Pearson	0,340	-0,263	-0,261	1,000	-0,203	-0,187	-0,215	-0,164
	Kendall	0,409	-0,304	-0,314	1,000	-0,167	-0,149	-0,102	-0,098
	Spearman	0,526	-0,411	-0,415	1,000	-0,226	-0,199	-0,141	-0,136
Kazı Miktarı (m³)	Pearson	-0,244	0,951	0,950	-0,203	1,000	0,986	0,028	0,910
	Kendall	-0,238	0,800	0,761	-0,167	1,000	0,926	-0,001	0,779
	Spearman	-0,327	0,939	0,914	-0,226	1,000	0,991	-0,004	0,924
Dolgu Miktarı (m³)	Pearson	-0,241	0,918	0,921	-0,187	0,986	1,000	0,004	0,876
	Kendall	-0,252	0,773	0,732	-0,149	0,926	1,000	-0,016	0,766
	Spearman	-0,344	0,925	0,898	-0,199	0,991	1,000	-0,027	0,922
Kazı Klas Katsayısı	Pearson	0,108	0,018	0,021	-0,215	0,028	0,004	1,000	0,043
	Kendall	0,082	-0,010	-0,005	-0,102	-0,001	-0,016	1,000	-0,011
	Spearman	0,107	-0,016	-0,008	-0,141	-0,004	-0,027	1,000	-0,017
Güncel Maliyet (\$)	Pearson	-0,222	0,948	0,932	-0,164	0,910	0,876	0,043	1,000
	Kendall	-0,242	0,731	0,713	-0,098	0,779	0,766	-0,011	1,000
	Spearman	-0,331	0,890	0,875	-0,136	0,924	0,922	-0,017	1,000

Girdi bağımsız değişkenleri ile çıktı bağımlı değişkeni arasındaki korelasyonlar incelenmiş ve bazı girdi değişkenleri elenmiştir. Bu elemelerde ilk olarak değişkenin güncel maliyet ile

yüksek korelasyona sahip olmasına, ikinci olarak ise değişkenin diğer değişkenler ile çok yüksek korelasyona sahip olmamasına dikkat edilmiştir. Kanalizasyon hattı projesi üzerinden ilk bakışta, nispeten hızlı bir şekilde belirlenebilen veriler olan boru çapı, hat uzunluğu, kazı derinliği ve Eş. 6.1'deki denklem kullanılarak hesaplanan kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet verileri analizlerde kullanılmak üzere seçilmiştir. Oluşturulan modellerde 182 adet kanalizasyon boru hattı projesi eğitim verisi, 20 adet kanalizasyon boru hattı projesi ise test verisi olarak kullanılmıştır.

6.2. Analizlerin Yapılması

Çalışmada, belirlenen girdi bağımsız değişkenleri ile çıktı bağımlı değişkeni kullanılarak RA ve YSA yöntemleri ile farklı modeller geliştirilmiş ve kanalizasyon boru hattı maliyetlerini belirlemek için tahminler yapılmıştır. Yapılan bu tahminler, kanalizasyon boru hattının gerçek maliyetleri ile karşılaştırılmış ve etkileşim ilişkileri incelenmiştir. RA ve YSA yöntemleri ile yapılan en iyi tahminler birbirleri ile kıyaslanmış ve değerlendirilmelerde bulunulmuştur.

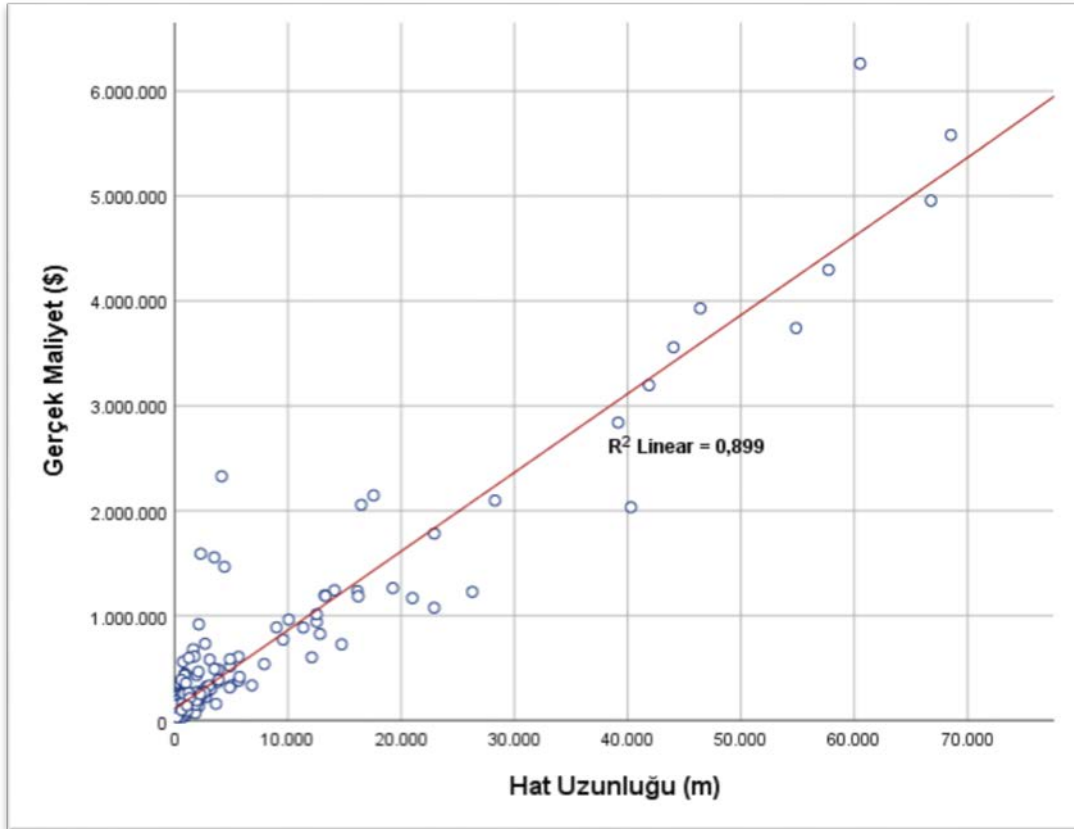
Korelasyon ağırlığı en yüksek olan değişken kanalizasyon boru hattı uzunluğudur. Sadece bu değişken kullanılarak SPSS programı ile RA ve YSA analizleri yapılmış ve değerlendirmelerde bulunulmuştur. Bu noktada kanalizasyon boru hattı uzunluğu parametresinin seçilmesinin sebebi, YSA analizleri sonucu ortaya çıkarılacak formüllerin daha kolay bir şekilde anlatılmasını sağlamaktır.

6.2.1. Hat uzunluğu ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin RA ile belirlenmesi

Kanalizasyon boru hattı uzunluğu ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla SPSS programı kullanılarak RA yapılmış ve sonucunda $R^2=0,899$ olarak belirlenmiştir. RA sonucunda ortaya çıkan parametre ağırlıkları Çizelge 6.4'te verilmiştir. Bu ağırlıklar kullanılarak elde edilen tahmini maliyet denklemi ise Eş.6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. RA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı ağırlıkları

Model	Standartlanmamış Katsayılar
Katsayı	112327,811
Hat Uzunluğu	75,060



Şekil 6.1. Hat uzunluğu ile gerçek maliyet regresyon grafiği

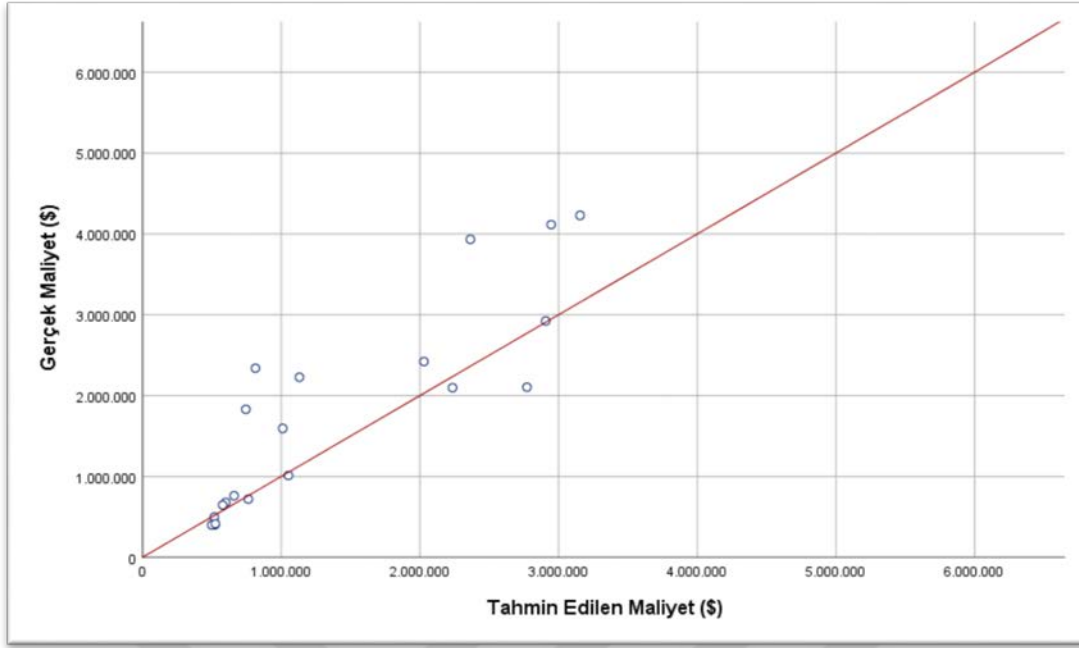
$$TM = 112327,811 + (75,060 \times L) \quad (6.2)$$

Burada;

L : Hat uzunluğu (m)

TM : Tahmin edilen maliyet (\$) temsil etmektedir.

Kanalizasyon hattı projesine ait 20 adet test verisi, bulunan denklemde yerine konulmuş ve maliyet tahminleri yapılmıştır. Hesaplanan maliyet tahminleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Gerçek maliyetleri, tahmin edilen maliyetler %76,82 doğrulukla belirlemiştir.



Şekil 6.2. Hat uzunluğu ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

RA sonucunda ortaya konulan denklem kullanılarak test verilerinden rastgele seçilen bir proje için maliyet tahmini yapılmıştır. Seçilen projenin maliyet tahmini için kullanılacak hat uzunluğu, denklemde karşılık gelen parametreler ve test değerleri Çizelge 6.5’te verilmiştir.

Çizelge 6.5. Seçilen projenin test değişkenleri ve değerleri

Değişken	Parametre	Test Değeri
Hat Uzunluğu (m)	L	35430
Gerçek Maliyet (\$)	GM	2104132,58

$$TM = 112327,811 + (75,060 \times L) \quad (6.2)$$

$$TM = 112327,811 + (75,060 \times 35430) = 2771703,61$$

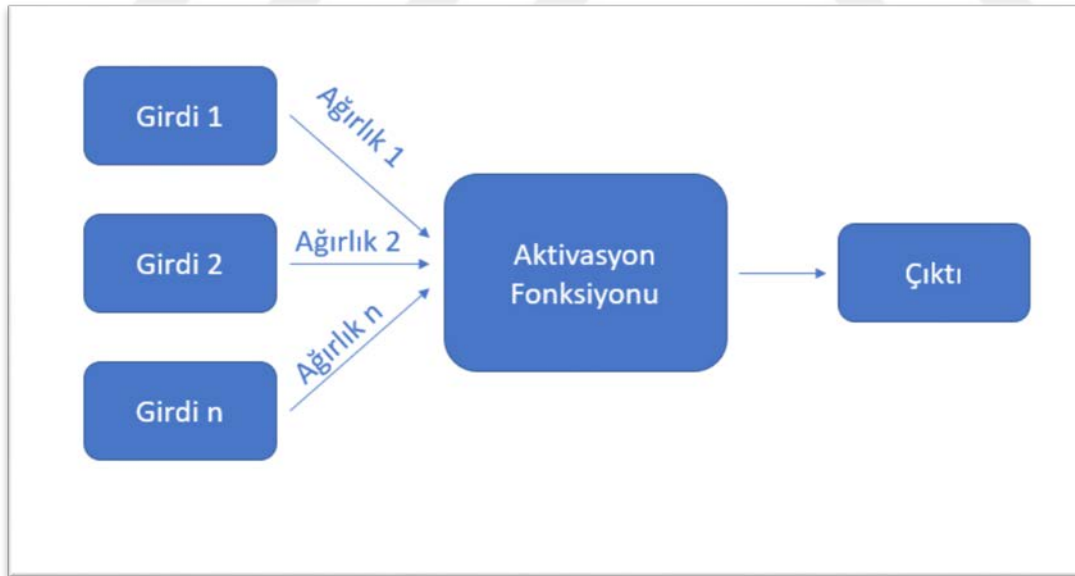
Yukarıda Eş.6.2’deki denklem ile Çizelge 6.5’teki değişkenler kullanılarak kanalizasyon hattı maliyet tahmini yapılmıştır. Tahmin edilen maliyet 2771703,61 \$ iken gerçek maliyet 2104132,58 \$’dır. Sonuç olarak kanalizasyon boru hattı uzunluğu parametresi kullanılarak yapılan tahmin gerçek maliyeti % 75,91 doğrulukta belirlemiştir.

6.2.2. Hat uzunluğu ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin YSA analizi ile belirlenmesi

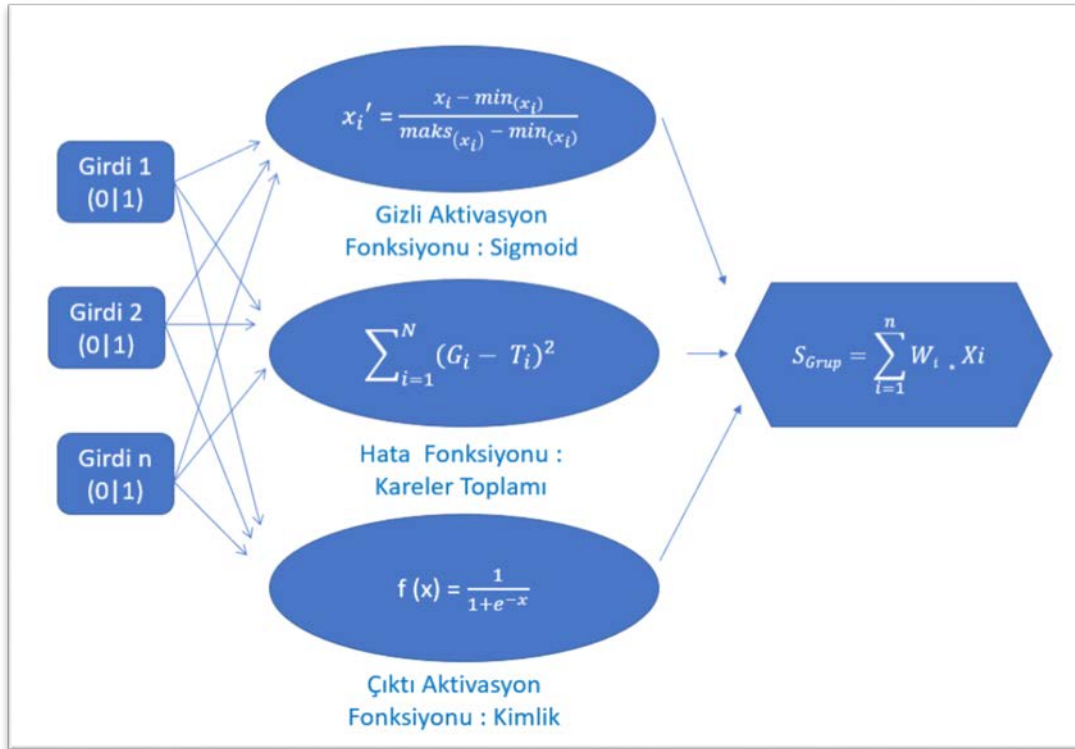
Kanalizasyon boru hattı uzunluğu ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla SPSS programı kullanılarak YSA analizleri yapılmış ve sonucunda $R^2=0,496$ olarak belirlenmiştir.

Yapay sinir ağlarının, regresyon analizlerine göre en büyük dezavantajı olan bir formül ortaya koyamaması sorununa çözüm olabilecek bir yöntem geliştirmek için tek değişkenli YSA modeli tercih edilmiştir. Bunun sebebi YSA analizi sonuçları kullanılarak ortaya çıkarılacak formülün daha kolay bir şekilde anlaşılabilmesini sağlamaktır. Tezin 6.4. bölümünde tüm parametrelerin kullanıldığı YSA modeli oluşturularak regresyon katsayısı $R^2=0,943$ olan denklem de oluşturulmuş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

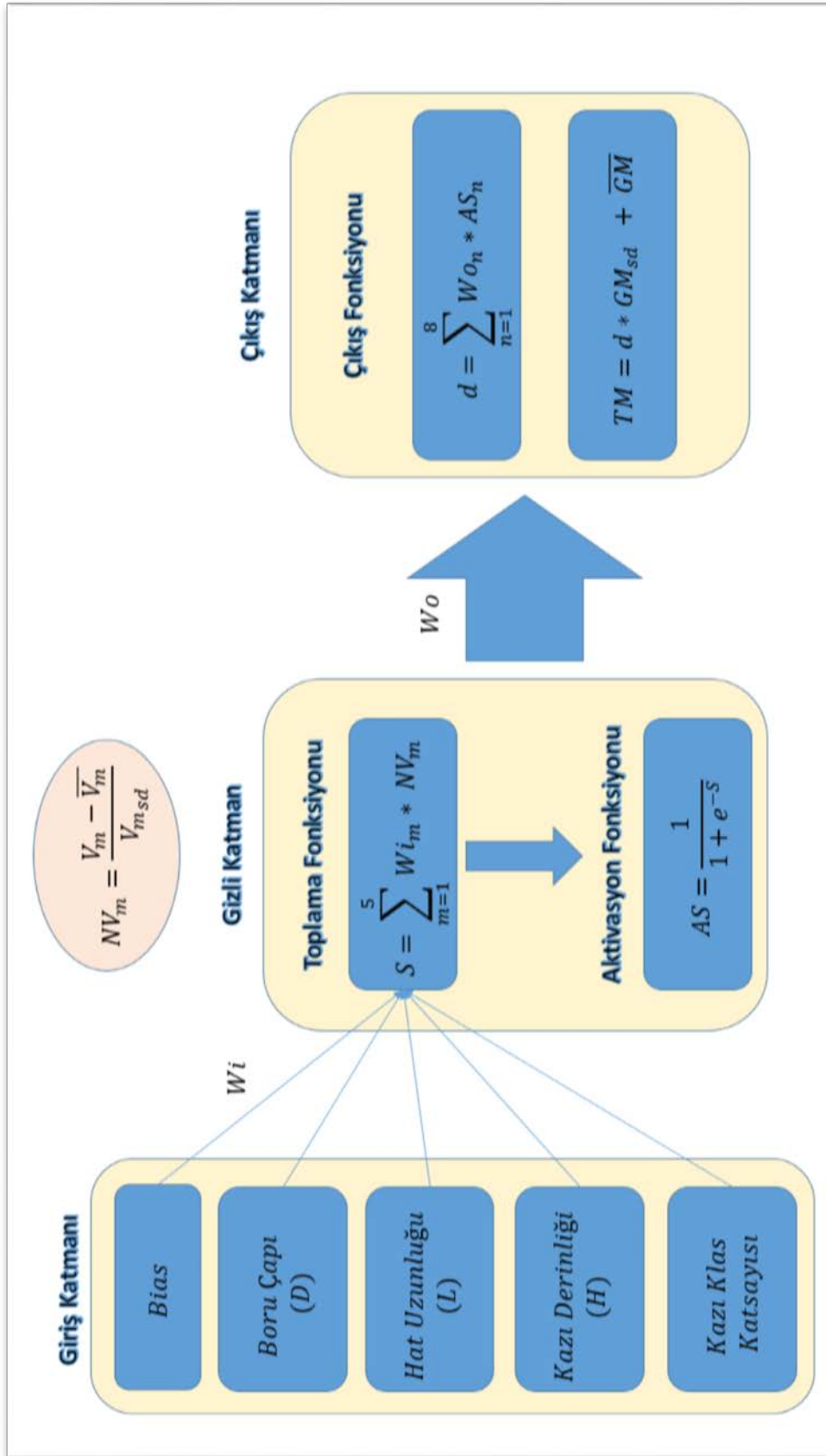
YSA genel ağ yapısı Şekil 6.3'te, gizli aktivasyon fonksiyonu (sigmoid), çıktı aktivasyon fonksiyonu (kimlik) ve hata fonksiyonu (kareler toplamı) olarak çözülen YSA'ya ait ağ yapısı ve denklemleri Şekil 6.4'te ve detaylı ağ yapısı da Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.3. YSA genel ağ yapısı [79]



Şekil 6.4. YSA analize özel ağ yapısı



Şekil 6.5. YSA analize özel detaylı ağ yapısı

YSA modeli ile ortaya konulacak formül için öncelikle parametrelere ait normalize değerlerinin hesaplanması gerekir. Parametrelerin normalize değerlerini hesaplamak için kullanılacak denklem Eş. 6.3'te gösterilmiştir.

$$L_{nd} = \frac{L - \bar{L}}{L_{sd}} \quad (6.3)$$

Burada;

L : Hat uzunluğu (m)

$\bar{L}$: Ortalama hat uzunluğu

L_{sd} : Hat uzunluklarına ait standart sapma

L_{nd} : Hat uzunluklarına ait normalize değerleri temsil etmektedir.

Hat uzunluğu parametresine ait veriler kullanılarak standart sapma ve ortalama değerleri hesaplanmış ve Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Hat uzunluğu parametresine ait standart sapma ve ortalama değerleri

Değişken	Parametre	Eğitim Verileri Ortalama Değerleri
Ortalama Hat Uzunluğu (m)	$\bar{L}$	5916,472527
Standart Sapma Hat Uzunluğu	L_{sd}	12585,593651

Yukarıda, Çizelge 6.6'da verilen hat uzunluğuna ait standart sapma ve ortalama değerleri Eş. 6.3'teki denklemde yerine konulmuş ve hat uzunluğuna ait normalize değer denklemi elde edilmiştir.

$$L_{nd} = \frac{L - \bar{L}}{L_{sd}} \quad (6.3)$$

$$L_{nd} = \frac{L - 5916,472527}{12585,593651}$$

Daha sonra toplama fonksiyonu denklemi içerisinde, bulmuş olduğumuz normalize denkleminin yerine konulması gerekir. Toplama fonksiyon denklemi Eş. 6.4'te verilmiştir.

$$S = \sum_{m=1}^5 (W_{i_m} * NV_m) \quad (6.4)$$

Burada;

NV_m : Normalize edilmiş değişkene ait değer

W_i : Girdi ağırlıkları

S : Toplama fonksiyonunu temsil etmektedir.

Toplama fonksiyonu denkleminde kullanılması gereken ve YSA analizi sonucunda SPSS yazılımı tarafından belirlenen parametre bağlantı ağırlıkları da Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı ağırlıkları

Tahminci		Tahmin Edilen	
		Gizli Katman 1	Çıktı Katmanı
		H(1:1)	Gerçek Maliyet (\$)
Girdi Katmanı	Bias	-1,355240	
	Hat Uzunluğu (m)	0,572074	
Gizli Katman 1	Bias		-1,669793
	H(1:1)		7,768116

Çizelge 6.7’deki girdi katmanında yer alan ağırlıklar ile normalize denklemi değerleri Eş. 6.4’te yerine konulmuştur.

$$S = \sum_{m=1}^5 (W_{i_m} * NV_m) \quad (6.4)$$

$$S = -1,355240 + (0,572074 * \frac{L-5916,472527}{12585,593651}) = \frac{0,572074*L-22972,972467}{12585,593651}$$

Daha sonra aktivasyon fonksiyonunun hesaplanması gerekir. Aktivasyon fonksiyonunu temsil eden formül Eş. 6.5’te verilmiştir.

$$AS = \frac{1}{1+e^{-s}} \quad (6.5)$$

Burada;

S : Toplama fonksiyonu

AS : Aktivasyon fonksiyonunu temsil etmektedir.

Bundan sonra aktivasyon fonksiyonu eşitliği içerisinde daha önce hesaplamış olduğumuz toplama fonksiyonu denklemi yerine konmuştur.

$$AS = \frac{1}{1+e^{-S}} \quad (6.5)$$

$$AS = \frac{1}{1+e^{-\left(\frac{0,572074 \cdot L - 22972,972467}{12585,593651}\right)}}$$

Aktivasyon fonksiyonu hesabından sonra çıktı fonksiyonu hesaplanması gerekmektedir. Çıktı fonksiyonunu gösteren denklem Eş. 6.6'da verilmiştir.

$$d = \sum_{n=1}^8 (W_o_n * AS_n) \quad (6.6)$$

Burada;

W_o : Çıktı ağırlıkları

AS : Aktivasyon fonksiyonu

d : Çıktı denklemini temsil etmektedir.

Çıktı fonksiyonu hesaplamak için Çizelge 6.7'de verilen çıktı katmanı parametre bağlantı ağırlıkları kullanılmıştır.

$$d = \sum_{n=1}^8 (W_o_n * AS_n) \quad (6.6)$$

$$d = \frac{7,768116}{1+e^{-\left(\frac{0,572074 \cdot L - 22972,972467}{12585,593651}\right)}} - 1,669793$$

Çıktı fonksiyonunun hesaplanmasından sonra tahmini maliyet denklemi hesabına geçilmektedir. Tahmini maliyet hesabını yapabilmek için ihtiyaç duyulan standart sapma gerçek maliyet ve ortalama gerçek maliyet değerleri Çizelge 6.8’de sunulmuştur.

Çizelge 6.8. Değişkenler ve değişim aralıkları

Değişken	Parametre	Eğitim Verileri Ortalama Değerleri
Ortalama Gerçek Maliyet (\$)	$\overline{GM}$	996351,33
Standart Sapma Gerçek Maliyet	GM_{sd}	556418,34

Nihai denklem olan tahmini maliyet denklemi Eş.6.7’de verilmiştir.

$$TM = (d * GM_{sd}) + \overline{GM} \quad (6.7)$$

Burada;

TM : Tahmin edilen maliyet (\$)

d : Çıktı denklemi

$\overline{GM}$: Ortalama gerçek maliyet (\$)

GM_{sd} : Standart sapma gerçek maliyeti temsil etmektedir.

Eş. 6.7’de çıktı fonksiyonu denklemi, ortalama gerçek maliyet ve standart sapma gerçek maliyet değerleri yerine konularak tahmini maliyet denklemi oluşturulmuştur.

$$TM = (d * GM_{sd}) + \overline{GM} \quad (6.7)$$

$$TM = \left(\frac{7,768116}{1 + e^{-\left(\frac{0,572074 * L - 22972,972467}{12585,593651} \right)}} - 1,669793 \right) * 996351,33 + 556418,34$$

Yukarıdaki eşitlikte işlemler ve sadeleştirmeler yapıldıktan sonra nihai tahmini maliyet denklemi belirlenmiş ve Eş. 6.8’de sunulmuştur.

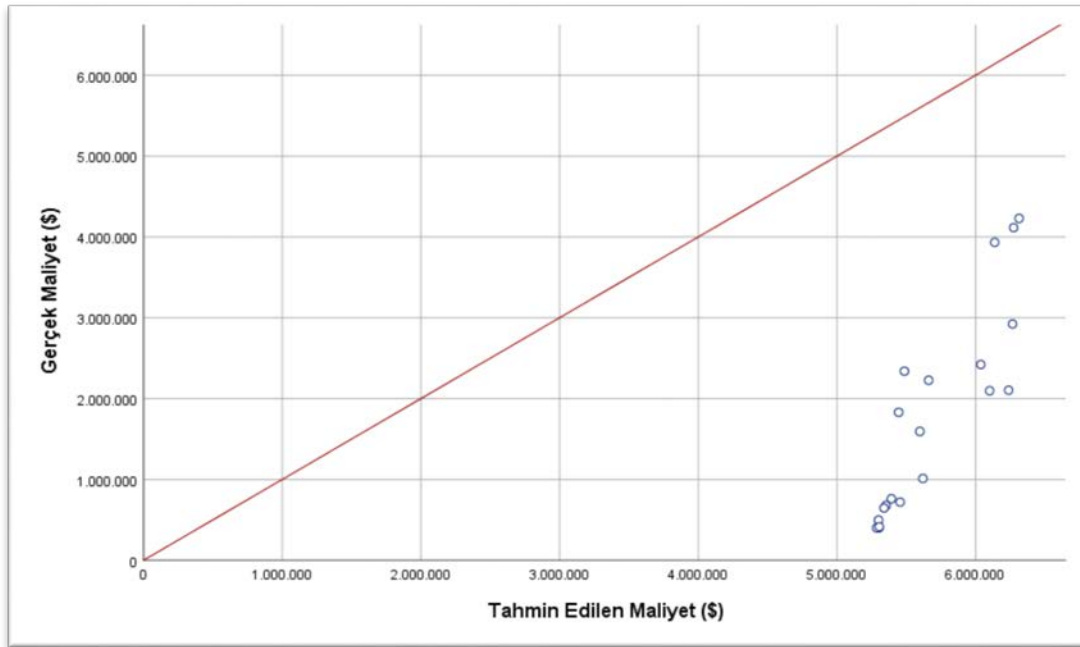
$$TM = -1107282,13 + \frac{7739772,71}{1 + e^{-(1,32467 + 0,00004545 * L)}} \quad (6.8)$$

Burada;

TM : Tahmin edilen maliyet (\$)

L : Hat uzunluğunu (m) temsil etmektedir.

Nihai maliyet denklemini test etmek için 20 adet kanalizasyon hattı projesine ait hat uzunluğu verileri kullanılmıştır. Denklemler ile belirlenen tahmin maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.6'da verilmiştir. Kanalizasyon boru hattı gerçek maliyetlerini, nihai tahmini maliyet denklemi ile belirlenen maliyetler %33,41 doğrulukla belirlemiştir.



Şekil 6.6. Hat uzunluğu ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Nihai maliyet denklemini test etmek için test verilerinden rastgele seçilen bir projenin parametreleri alınmış ve denklemde yerine konularak maliyet tahmini yapılmıştır. Test için kullanılan parametreler ve değerleri Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Test değişkenleri ve değerleri

Değişken	Parametre	Test Değeri
Hat Uzunluğu (m)	L	35430
Gerçek Maliyet (\$)	GM	2104132,58

$$TM = -1107282,13 + \frac{7739772,71}{1 + e^{-(1,32467 + 0,00004545 * L)}} \quad (6.8)$$

$$TM = -1107282,13 + \frac{7739772,71}{1 + e^{-(1,32467 + 0,00004545 * 35430)}} = 6242003,50$$

Yukarıda, Eş.6.8'deki denklem ile Çizelge 6.9'daki değişkenler kullanılarak maliyet tahmini yapılmıştır. Tahmin edilen maliyet 6242003,50 \$ iken gerçek maliyet 2104132,58 \$'dır. Sonuç olarak kanalizasyon boru hattı uzunluğu parametresi kullanılarak yapılan tahmin gerçek maliyeti % 33,71 doğrulukta belirlemiştir.

6.3. Regresyon Analizi ile Geliştirilen Tahmin Modelleri

Kanalizasyon boru hattı projesi üzerinden ilk bakışta, nispeten hızlı bir şekilde belirlenebilen veriler olan boru çapı (mm), hat uzunluğu (m), kazı derinliği (m) ve Eş. 6.1'deki denklem kullanılarak hesaplanan kazı klas katsayısı değişkenleri kullanılarak kanalizasyon hattı maliyeti ön tahmini için tek değişkenli ve çok değişkenli doğrusal RA yapılarak modeller geliştirilmiştir.

6.3.1. Tek değişkenli doğrusal regresyon analizleri

Boru Çapı – Maliyet İlişkisi

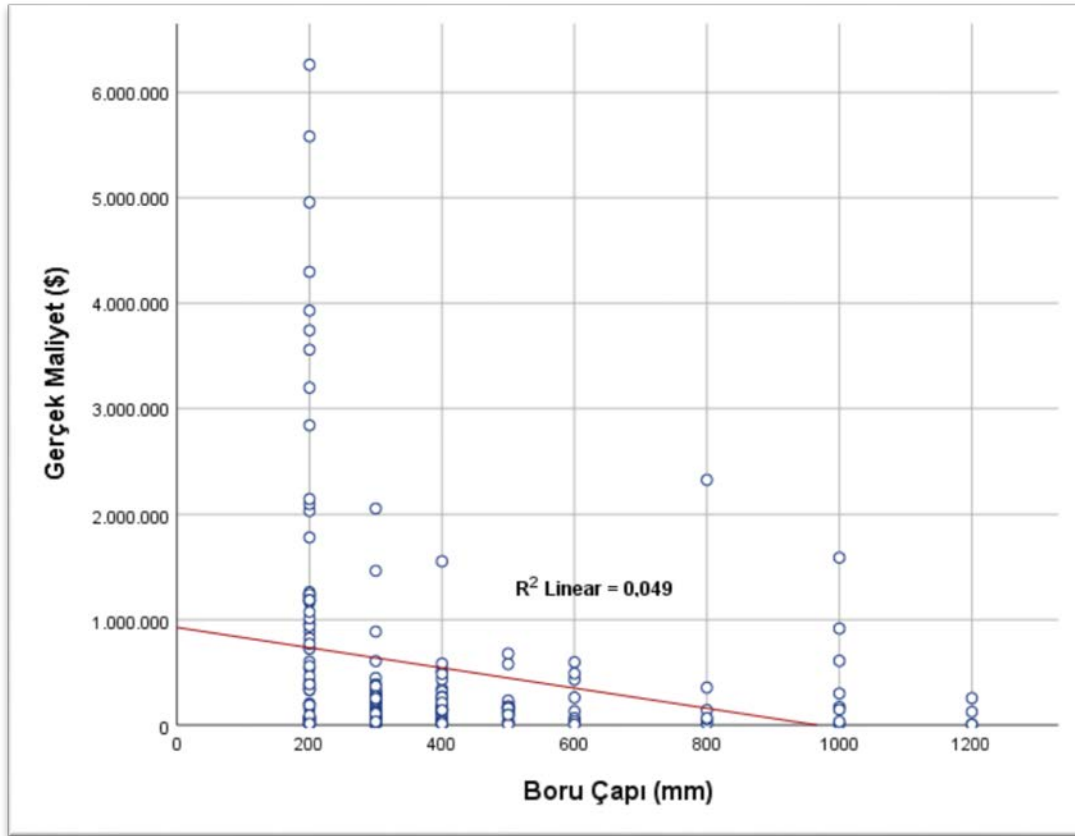
Kanalizasyon hattı içine yerleştirilen boruların çapı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla doğrusal RA yapılmış ve grafiği Şekil 6.7'de verilmiştir. RA sonucunda $R^2=0,049$ olarak bulunmuş ve regresyon denklemi Eş. 6.9'da gösterilmiştir.

$$TM = 926032,656 - (958,259 \times D) \quad (6.9)$$

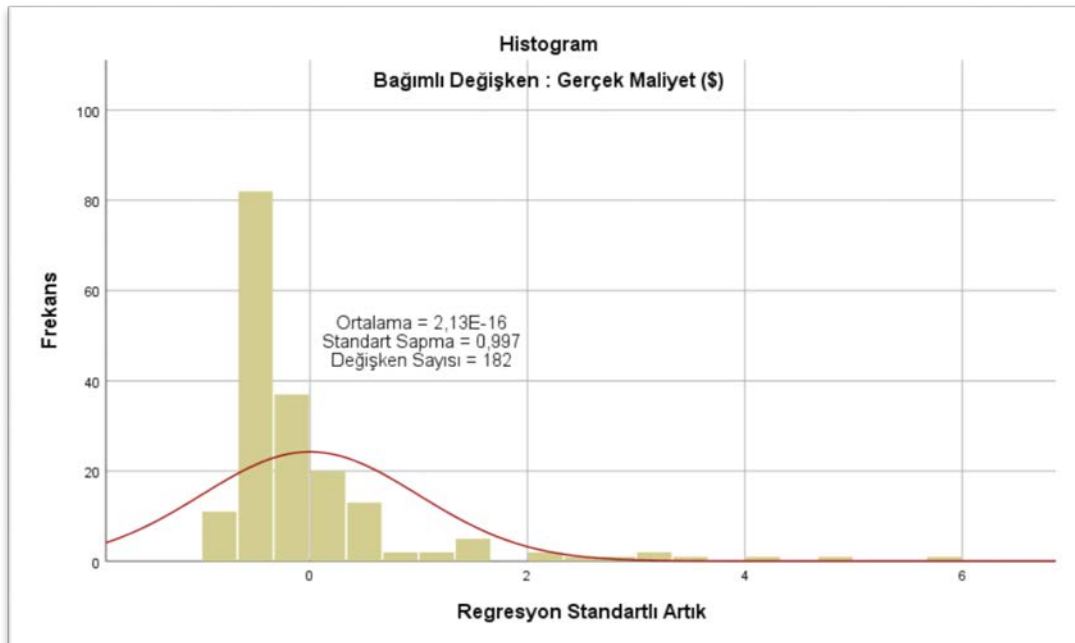
Burada;

D : Boru çapı (mm)

TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



Şekil 6.7. Boru çapı ile gerçek maliyet regresyon grafiği

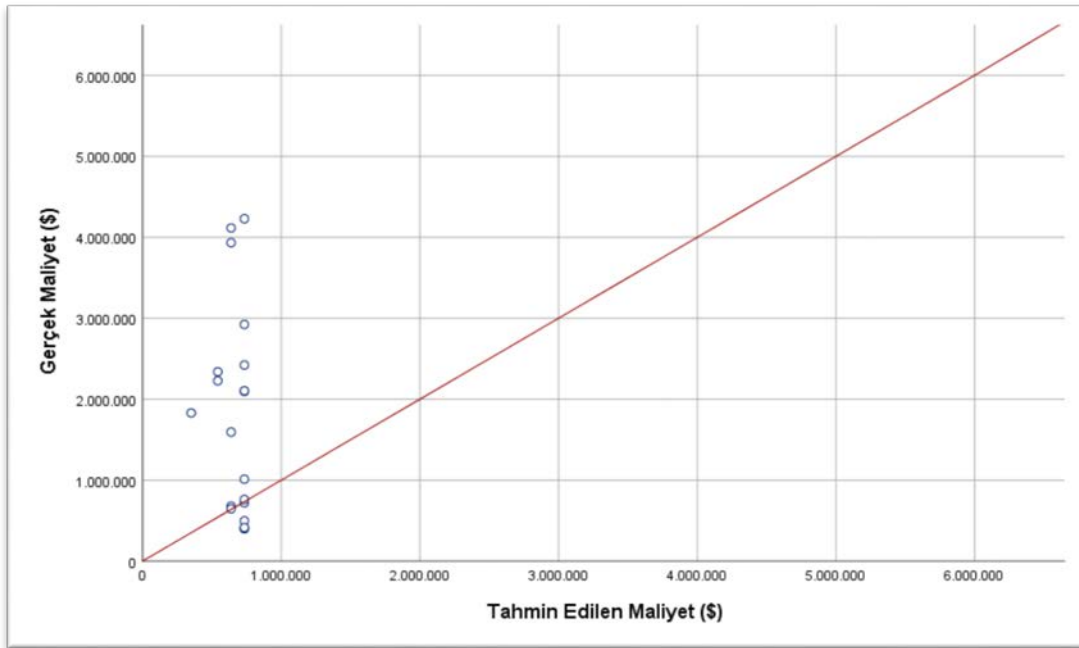


Şekil 6.8. Boru çapı ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.8’de gösterilmiştir. Şekil 6.8’den de anlaşılacağı üzere hatalar normal

dağılıma uygun olarak dağılmamıştır. Dolayısıyla boru çapı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça zayıftır.

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.9’da verilmiştir. Şekil 6.9 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplanmadığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça düşük bir oranda tahmin ettiği görülmüştür.



Şekil 6.9. Boru çapı ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Kazı Derinliği – Maliyet İlişkisi

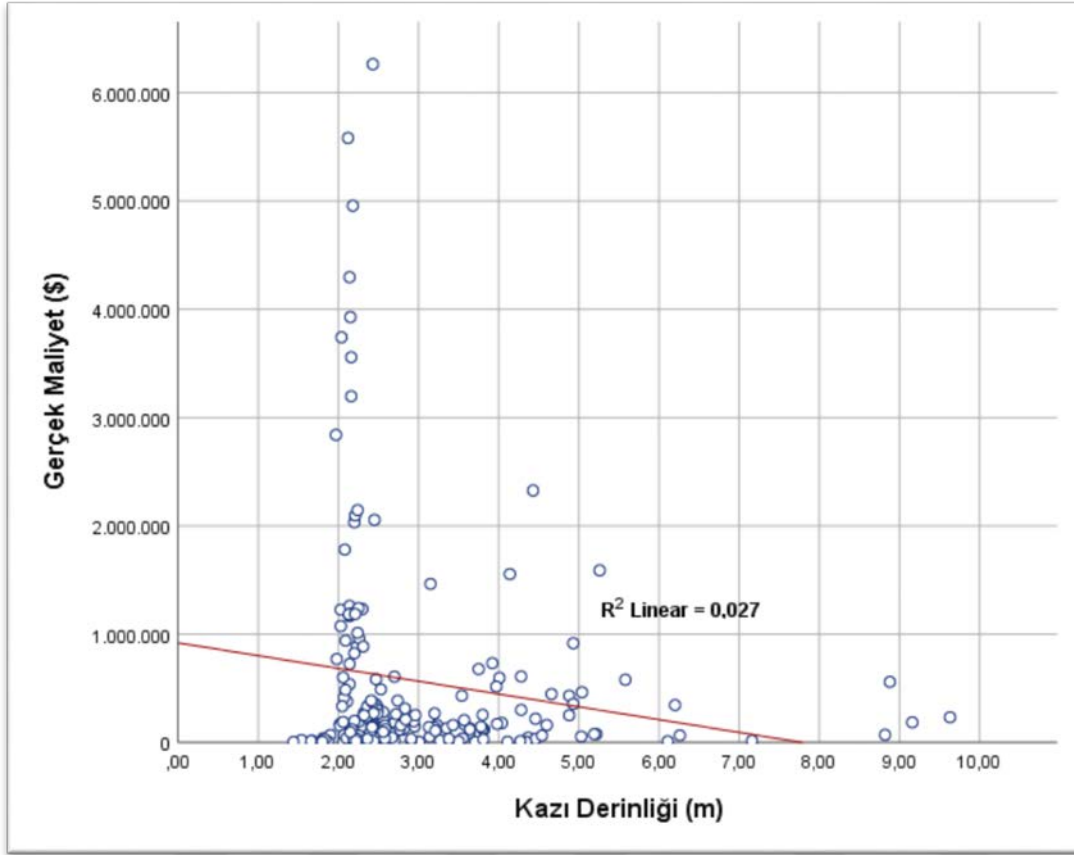
Kanalizasyon hattı borularının yerine yerleştirilmesi için yapılan kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve regresyon grafiği Şekil 6.10’da verilmiştir. RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 6.10’daki şekilde oluşmuş ve $R^2=0,027$ olarak tespit edilmiştir.

$$TM = 919932,394 - (118080,917 \times H) \quad (6.10)$$

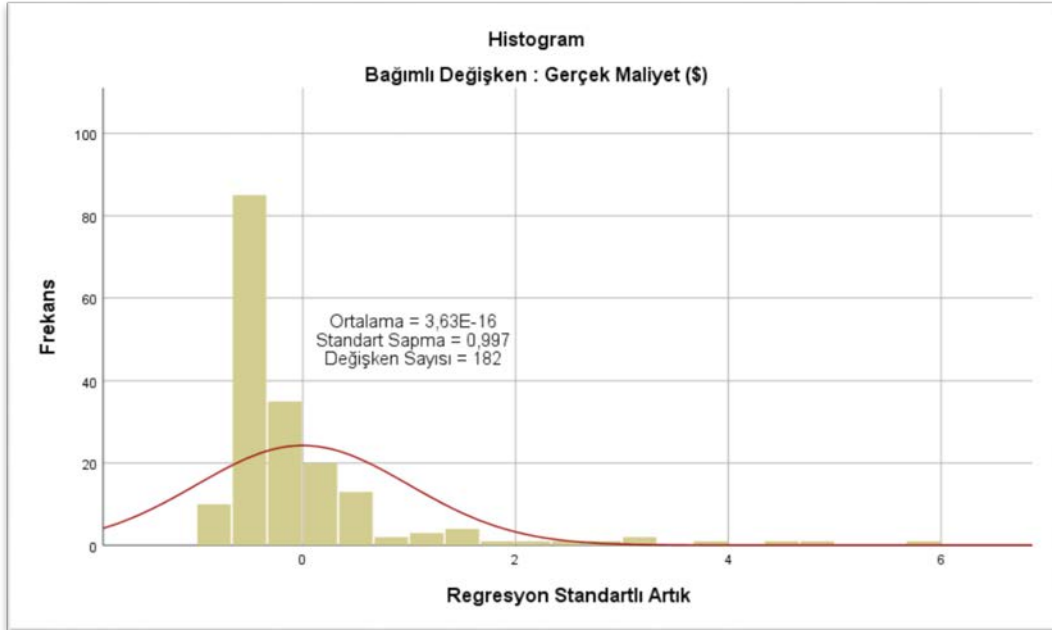
Burada;

H : Kazı derinliği (m)

TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



Şekil 6.10. Kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği

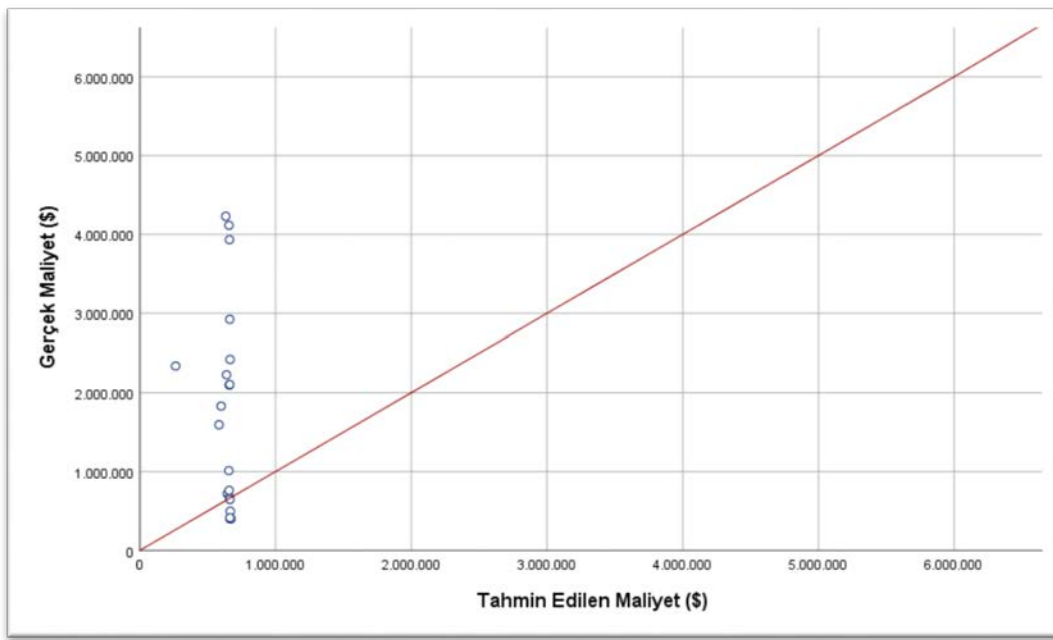


Şekil 6.11. Kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.11’de gösterilmiştir. Şekil 6.11’den de anlaşılacağı üzere hatalar

normal dağılıma uygun değildir. Dolayısıyla kazı derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça zayıftır.

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.12’de verilmiştir. Şekil 6.12 incelendiğinde kanalizasyon hattı maliyeti tahmin değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplanmadığı ve tahmin edilen maliyet değerlerinin gerçek maliyet değerlerinden oldukça düşük bir oranda tahmin edildiği görülmüştür.



Şekil 6.12. Kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Hat Uzunluğu – Maliyet İlişkisi

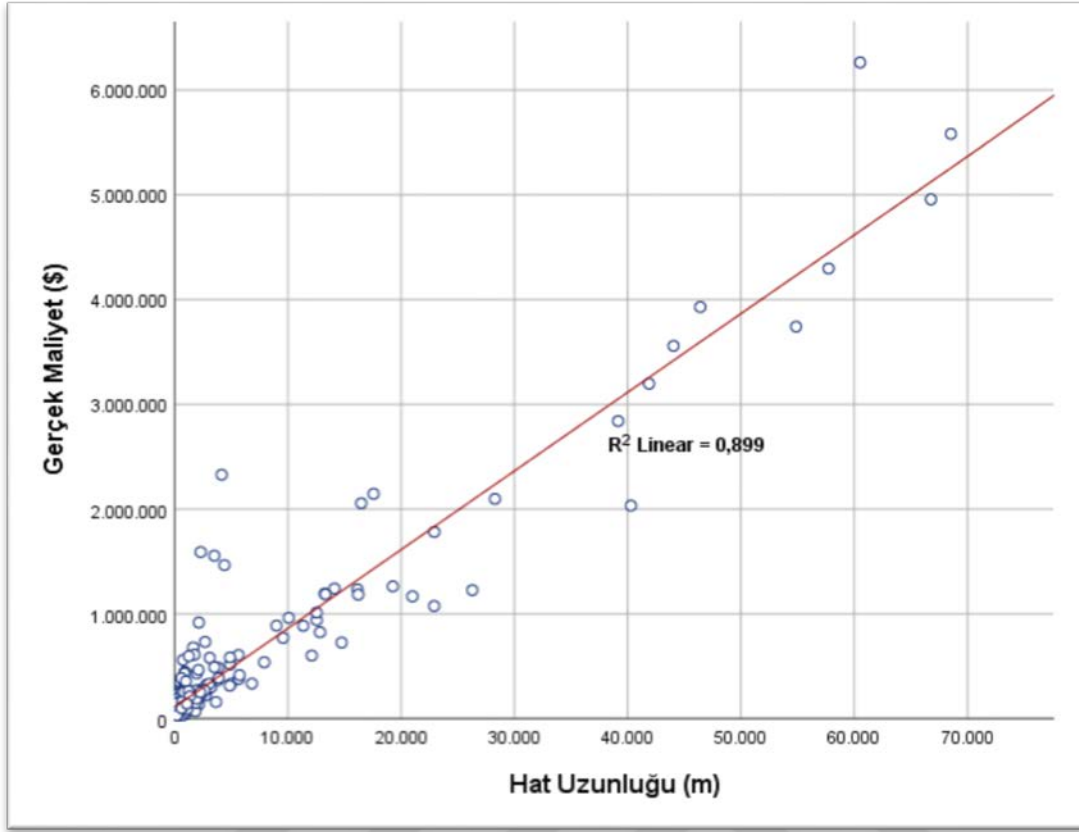
Kanalizasyon boru hattı uzunluğu ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve regresyon grafiği Şekil 6.13’te verilmiştir. RA sonucunda ortaya çıkan regresyon denklemi Eş. 6.11’de ortaya konulmuş ve $R^2=0,899$ olarak tespit edilmiştir.

$$TM = 112327,811 + (75,060 \times L) \quad (6.11)$$

Burada;

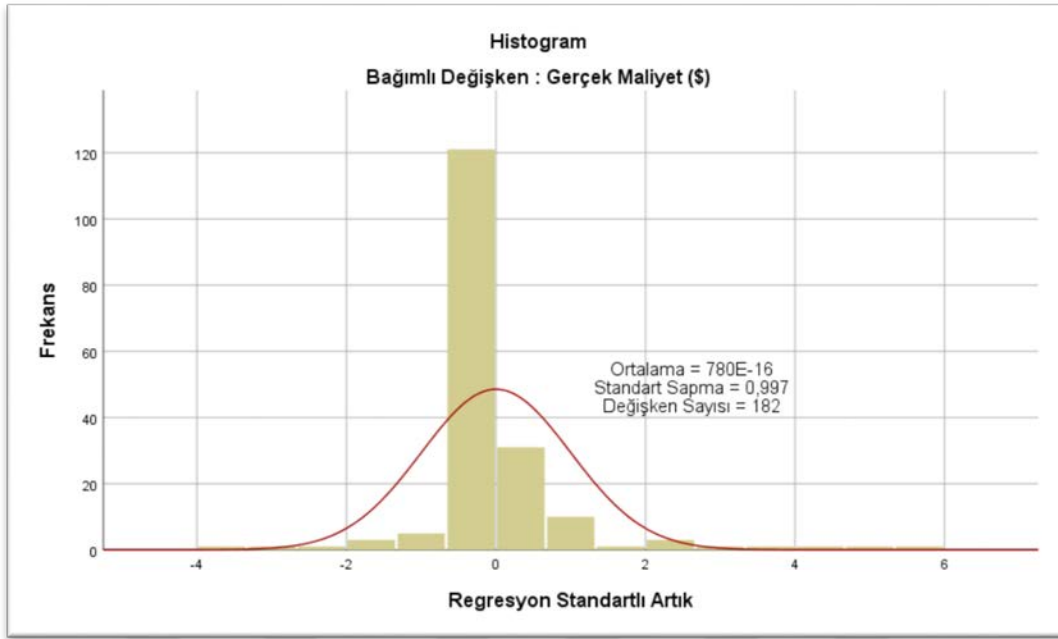
L : Hat uzunluğu (m)

TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



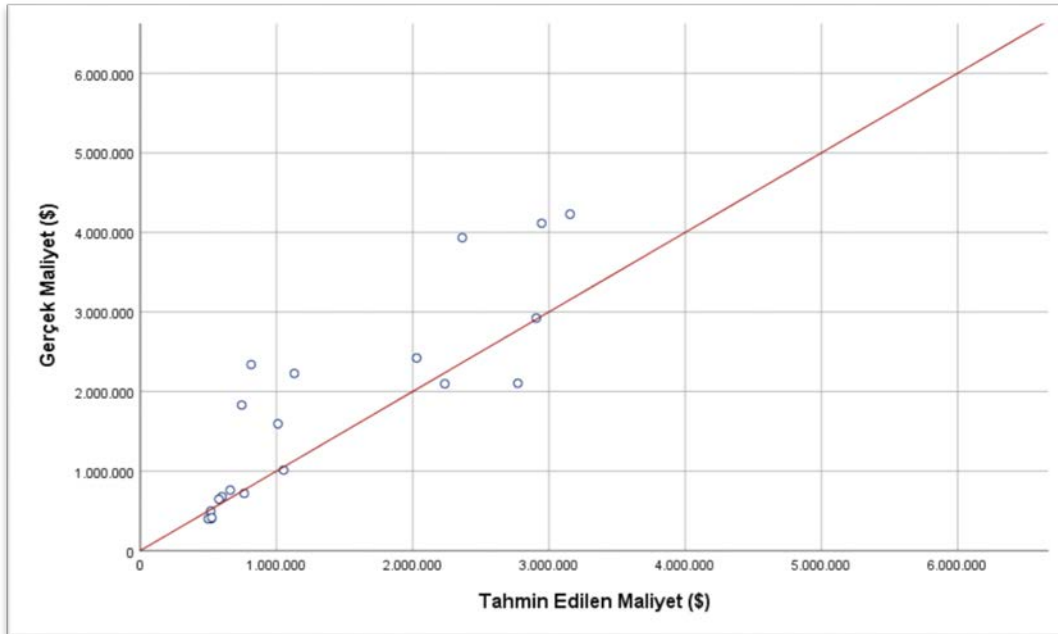
Şekil 6.13. Hat uzunluğu ile gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.14'te gösterilmiştir. Şekil 6.14 incelendiğinde hataların normal dağılıma uygun olarak dağıldığı görülmektedir. Dolayısıyla kanalizasyon boru hattı uzunluğu ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü iyi denilebilecek bir seviyededir. Yapılan tek değişkenli doğrusal RA'lar içinde en yüksek regresyon katsayısını veren, gerçek maliyeti en iyi tahmin eden analiz, kanalizasyon boru hattı uzunluğu ile gerçek maliyet arasında yapılan analizde ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.14. Hat uzunluğu ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.15'te verilmiştir. Şekil 6.15 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini nispeten yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmüştür.



Şekil 6.15. Hat uzunluğu ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Kazı Klas Katsayısı – Maliyet İlişkisi

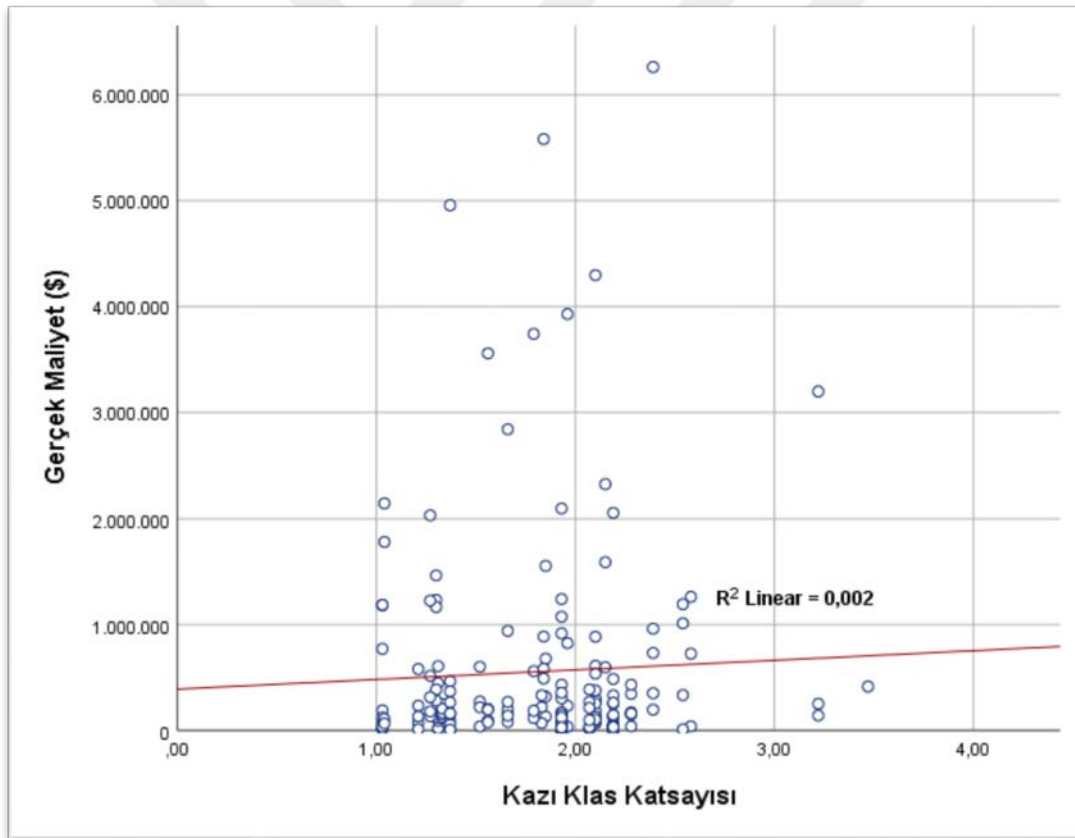
Kanalizasyon hattı boyunca yapılacak kazıya ait kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 6.16’da verilmiştir. Analiz sonucunda regresyon denklemi Eş. 6.12’deki gibi oluşmuş ve $R^2=0,002$ olarak tespit edilmiştir.

$$TM = 390974,829 + (90684,014 \times KKK) \quad (6.12)$$

Burada;

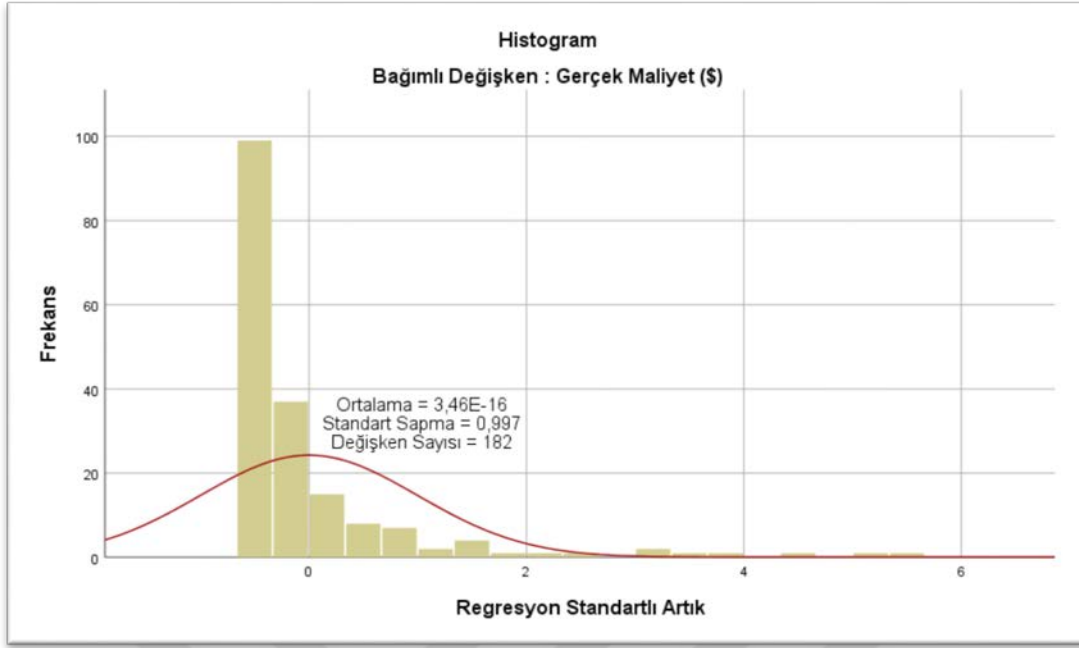
KKK: Kazı klas katsayısı

TM: Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



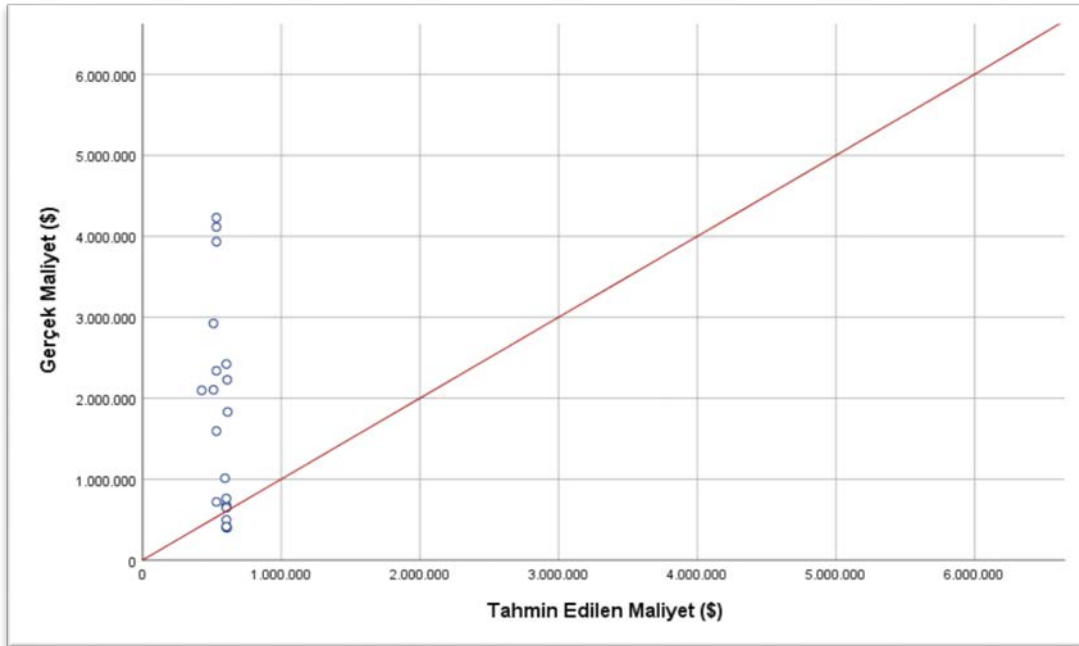
Şekil 6.16. Kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.17’de gösterilmiştir. Şekil 6.17’den de anlaşılabacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun değildir. Dolayısıyla kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça zayıftır.



Şekil 6.17. Kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.18’de verilmiştir. Şekil 6.18 incelendiğinde kanalizasyon hattı maliyeti tahmin değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplanmadığı ve tahmin edilen maliyet değerlerinin gerçek maliyet değerlerinden oldukça düşük bir oranda tahmin edildiği görülmüştür.



Şekil 6.18. Kazı klas katsayısı ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

6.3.2. İki değişkenli doğrusal regresyon analizleri

Boru Çapı ve Kazı derinliği – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon hattına döşenecek borunun çapı ve yapılacak kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve regresyon grafiği Şekil 6.19’da verilmiştir. RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 6.13’te gösterildiği şekilde oluşmuş ve $R^2=0,058$ olarak belirlenmiştir.

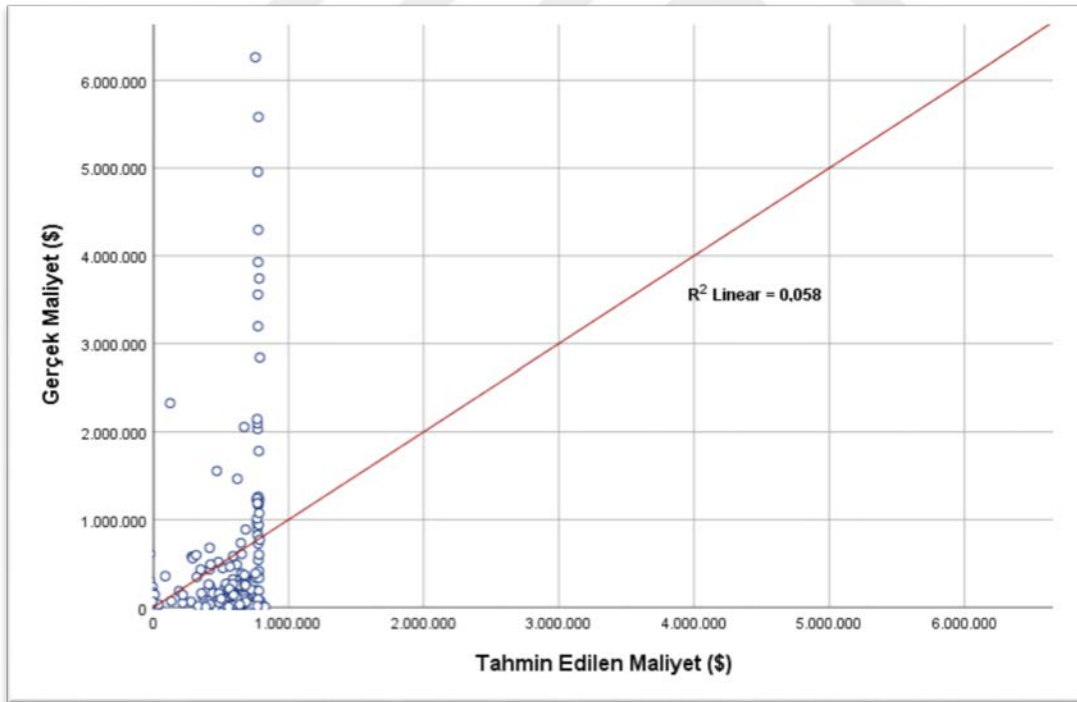
$$TM = 1091256,032 - (811,389 \times D) - (72071,573 \times H) \quad (6.13)$$

Burada;

D : Boru çapı (mm)

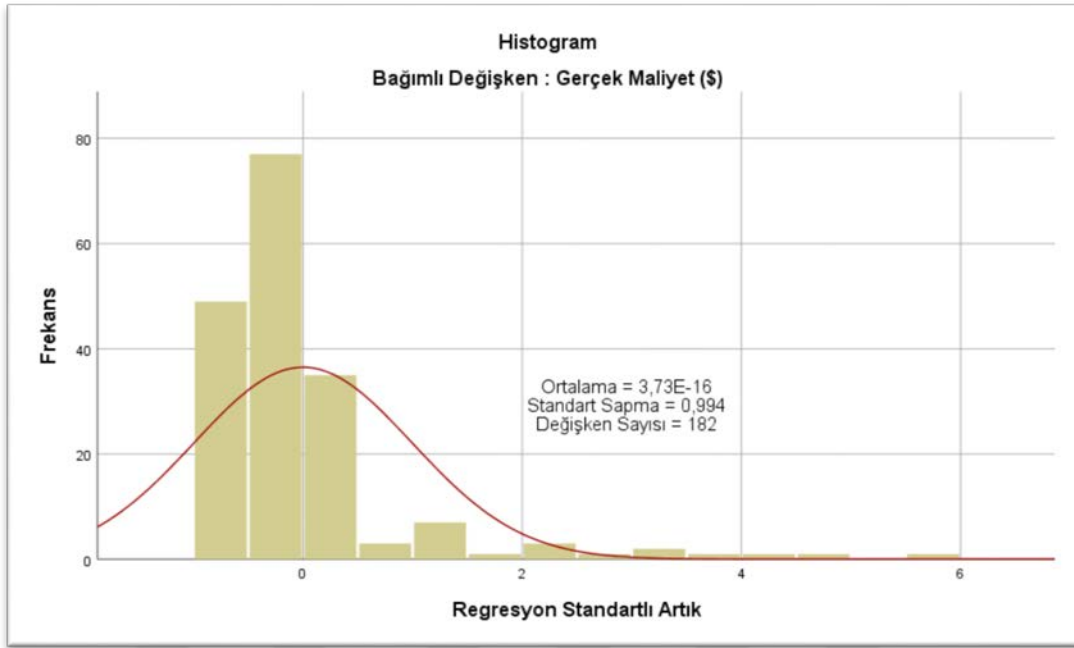
H : Kazı derinliği (m)

TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



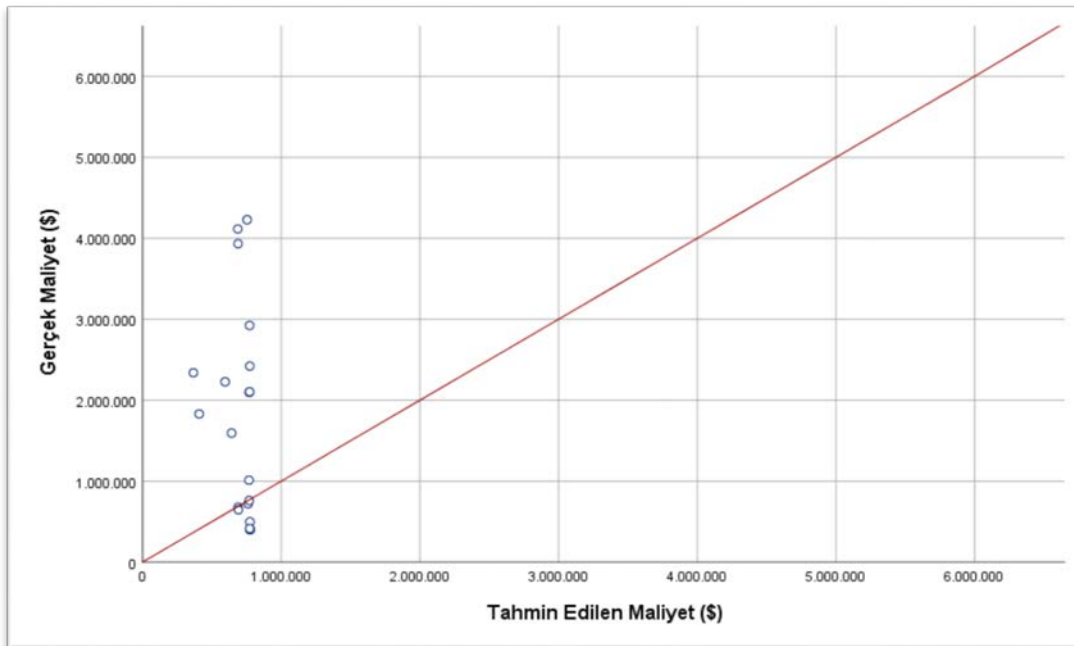
Şekil 6.19. Boru çapı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.20’de gösterilmiştir. Şekil 6.20’den de anlaşılacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun olarak dağılmamıştır. Dolayısıyla boru çapı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça zayıftır.



Şekil 6.20. Boru çapı, kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.21’de verilmiştir. Şekil 6.21 incelendiğinde tahmin değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplanmadığı ve tahmin edilen maliyet değerlerinin gerçek maliyet değerlerinden oldukça düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 6.21. Boru çapı, kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Boru Çapı ve Hat Uzunluğu – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon hattında kullanılan borunun çapı ve boru hattının uzunluğu ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 6.22). Regresyon analizi sonucunda regresyon denklemi Eş. 6.14'te gösterildiği gibi oluşmuş ve $R^2=0,905$ olarak tespit edilmiştir.

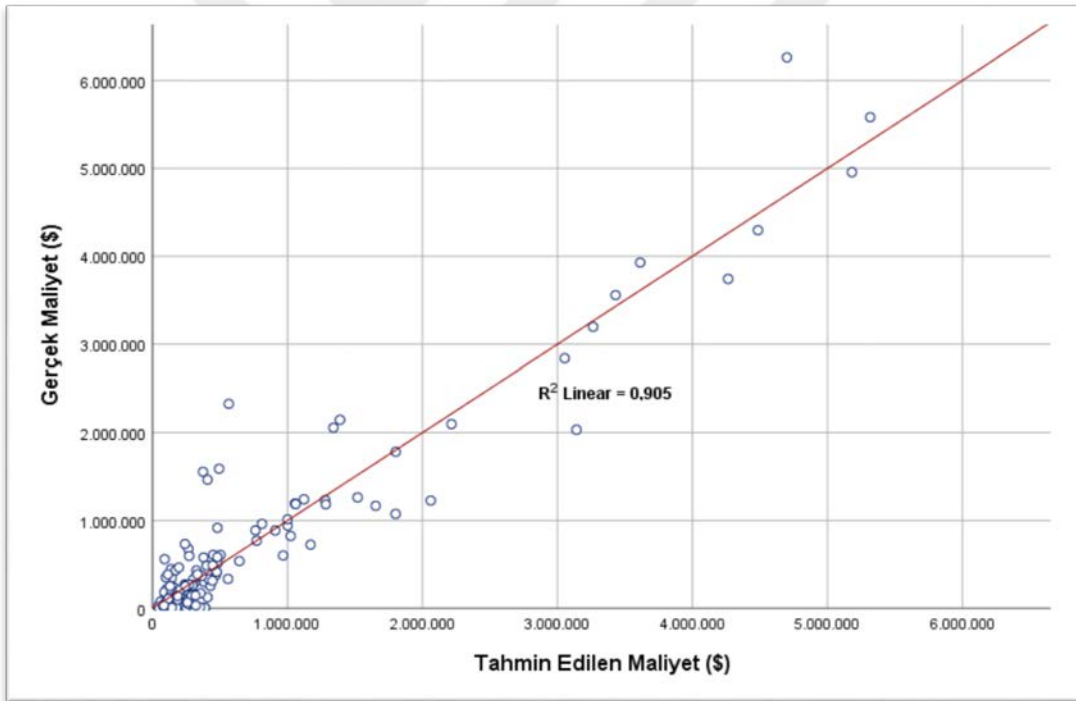
$$TM = - 35781,660 + (353,119 \times D) + (77,072 \times L) \quad (6.14)$$

Burada;

D : Boru çapı (mm)

L : Hat uzunluğu (m)

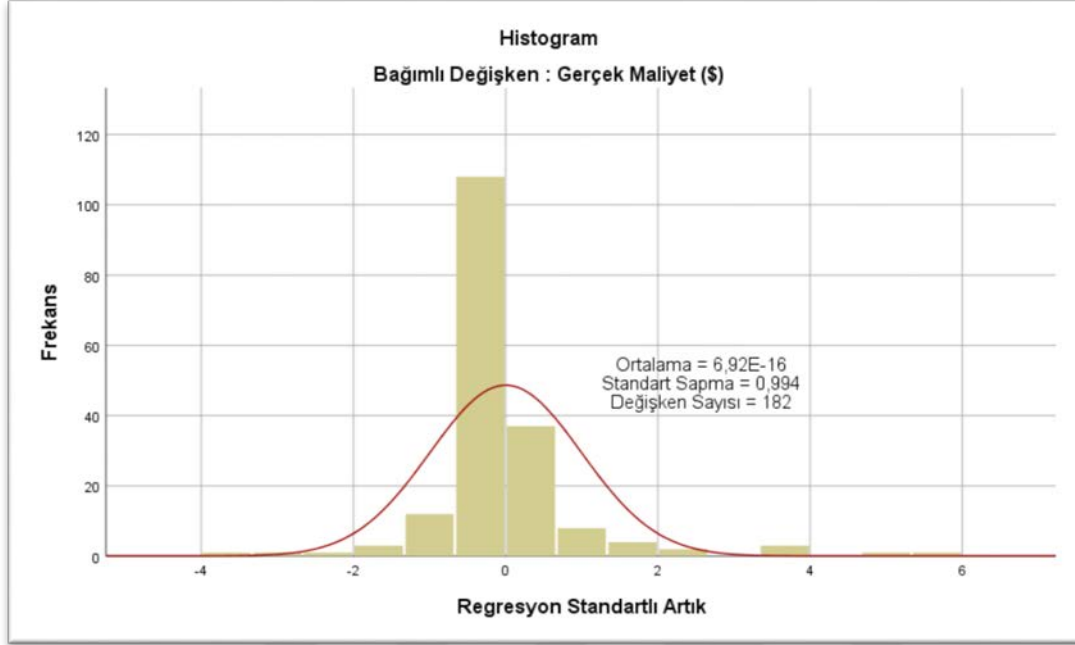
TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



Şekil 6.22. Boru çapı, hat uzunluğu ile gerçek maliyet regresyon grafiği

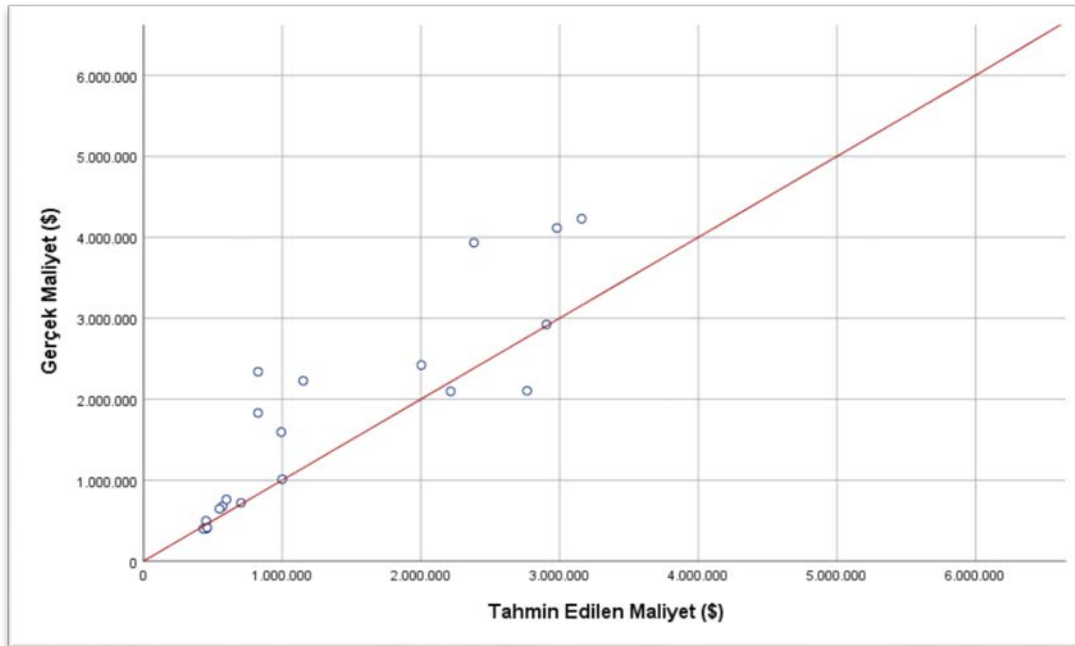
Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.23'te gösterilmiştir. Şekil 6.23'ten de anlaşılacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun olarak dağılmıştır. Dolayısıyla boru çapı ve hat uzunluğu ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça kuvvetlidir. Yapılan iki değişkenli doğrusal RA'lar içerisinde en yüksek regresyon katsayısını veren, gerçek maliyeti en iyi tahmin eden analiz

boru çapı ve hat uzunluğu ile gerçek maliyet arasında yapılan analiz sonucunda ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.23. Boru çapı, hat uzunluğu ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.24'te verilmiştir.



Şekil 6.24. Boru çapı, hat uzunluğu ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.24 incelendiğinde maliyet tahmin değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerine oldukça yakın tahmin edildiği görülmüştür.

Boru Çapı ve Kazı Klas Katsayısı – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon hattında kullanılan borunun çapı ve hat boyunca yapılacak kazıya ait kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 6.25). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 6.15'teki gibi oluşmuş ve $R^2=0,054$ olarak tespit edilmiştir.

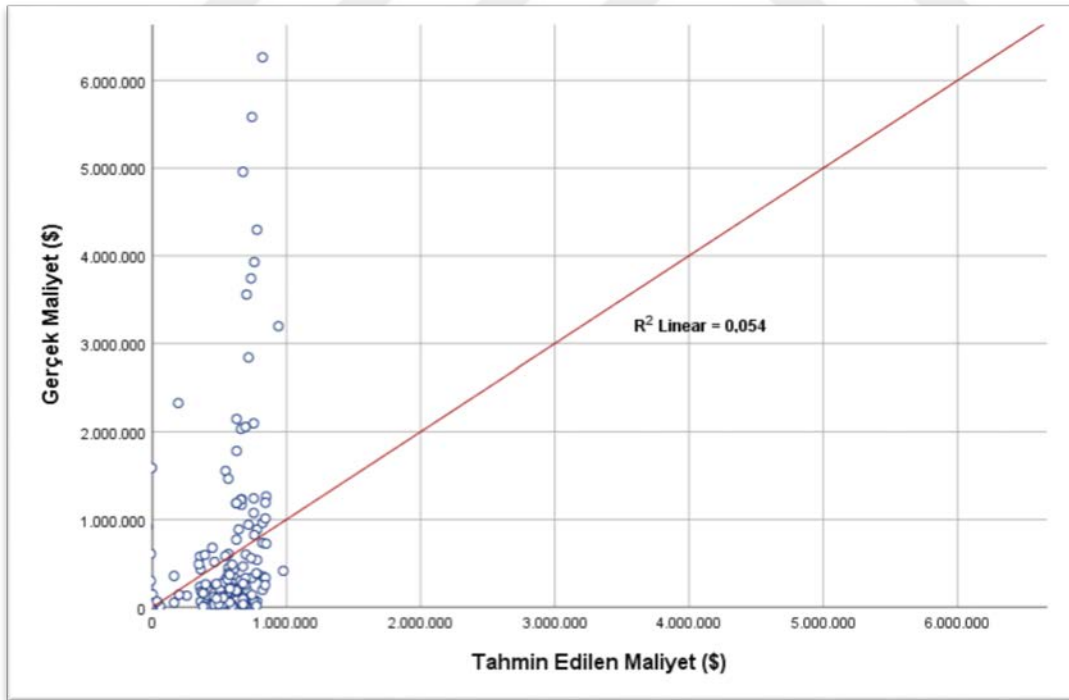
$$TM = 677001,918 - (989,595 \times D) + (143125,377 \times KKK) \quad (6.15)$$

Burada;

D : Boru çapı (mm)

KKK : Kazı klas katsayısı

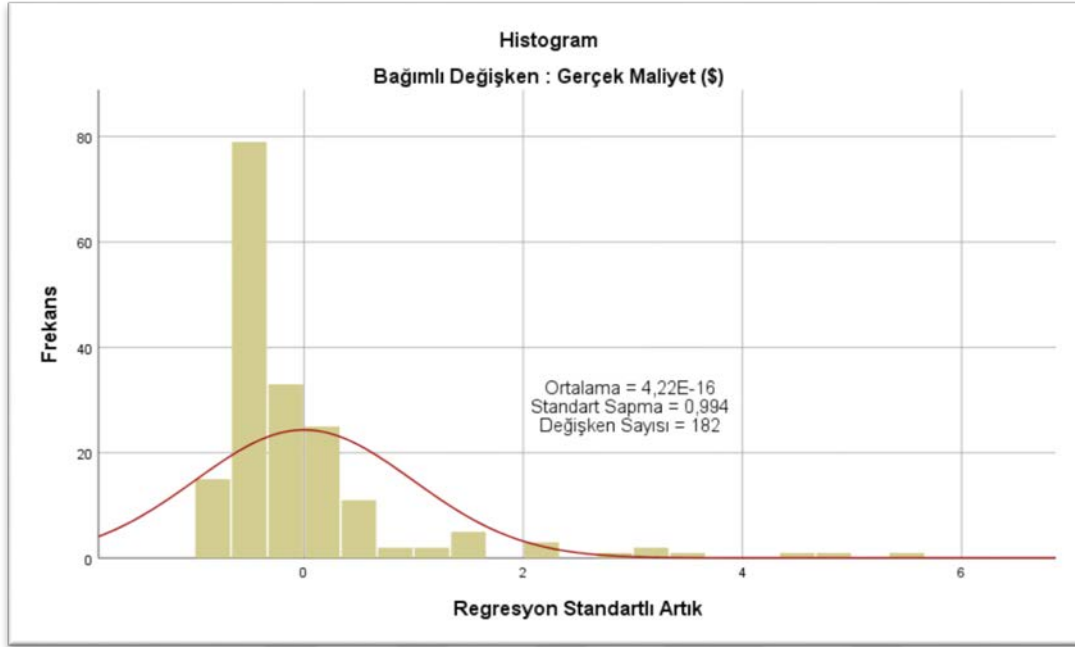
TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



Şekil 6.25. Boru çapı ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon grafiği

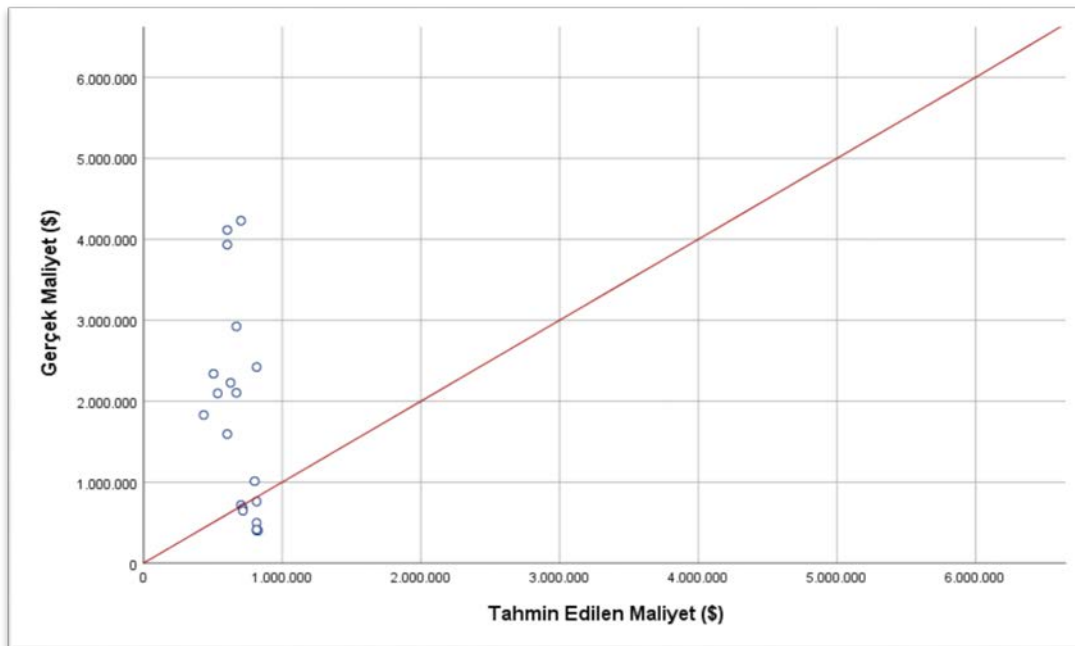
Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.26'da gösterilmiştir. Şekil 6.26'dan da anlaşılacağı üzere hatalar

normal dağılıma uygun olarak dağılmamıştır. Dolayısıyla boru çapı ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça zayıftır.



Şekil 6.26. Boru çapı ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.27’de verilmiştir.



Şekil 6.27. Boru çapı ve kazı klas katsayısı ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.27 incelendiğinde tahmin değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplanmadığı ve tahmin edilen maliyet değerlerinin gerçek maliyet değerlerinden oldukça düşük olduğu görülmüştür.

Hat Uzunluğu ve Kazı Derinliği – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon boru hattı uzunluğu ve yapılan kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve regresyon grafiği Şekil 6.28’de verilmiştir. RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 6.16’daki gibi oluşmuş ve $R^2=0,907$ olarak tespit edilmiştir.

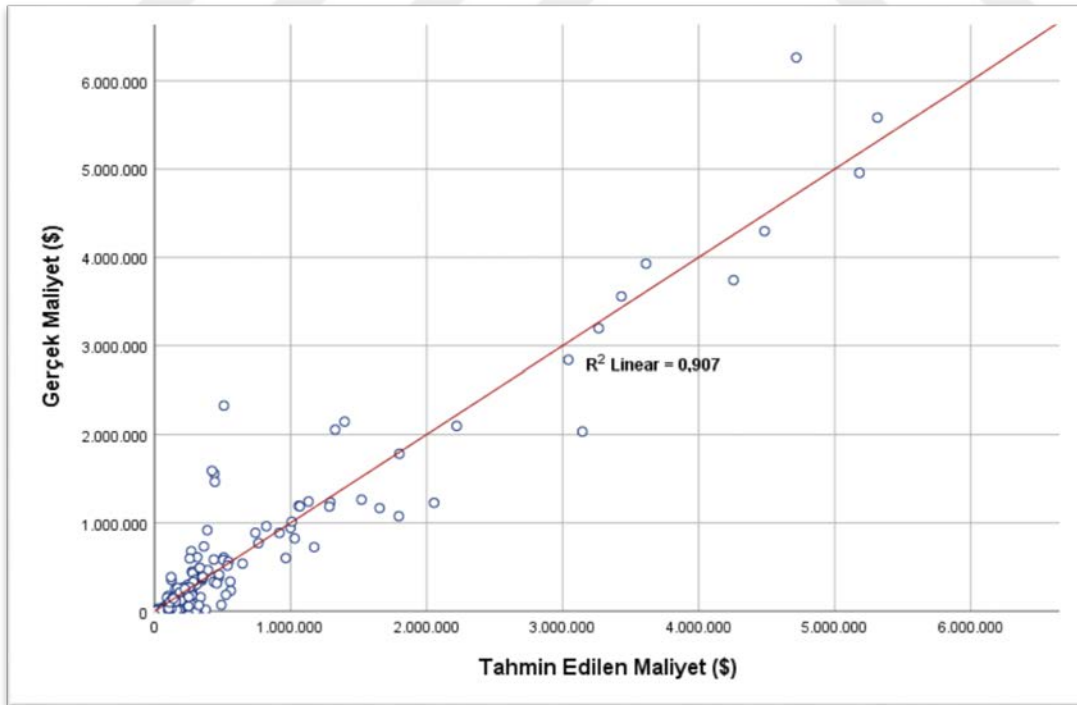
$$TM = - 104831,137 + (76,992 \times L) + (66827,221 \times H) \quad (6.16)$$

Burada;

L : Hat uzunluğu (m)

H : Kazı derinliği (m)

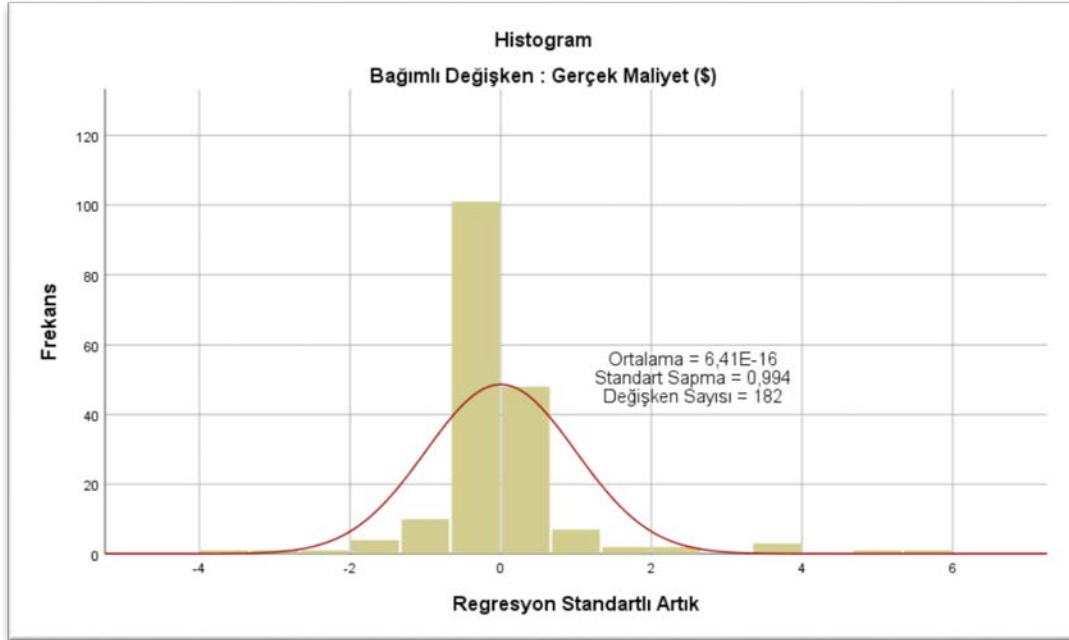
TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



Şekil 6.28. Hat uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği

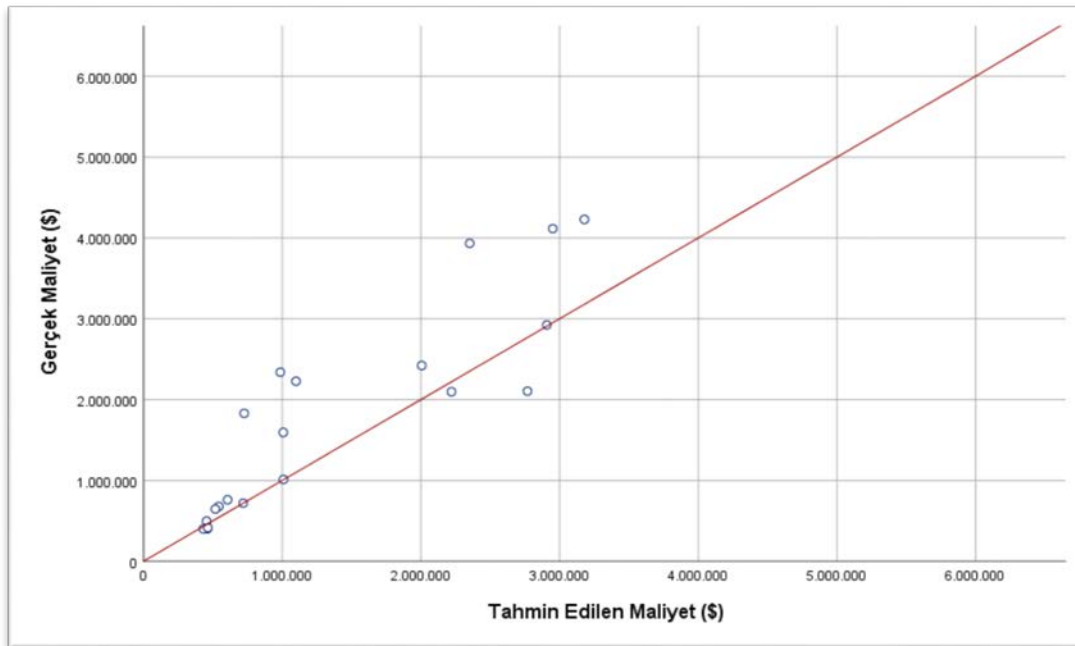
Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.29’da gösterilmiştir. Şekil 6.29’dan da anlaşılacağı üzere hatalar

normal dağılıma uygun olarak dağılmıştır. Dolayısıyla hat uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça kuvvetlidir.



Şekil 6.29. Hat uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.30’da verilmiştir.



Şekil 6.30. Hat uzunluğu ve kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.30 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerine oldukça yakın tahmin edildiği görülmüştür.

Hat Uzunluğu ve Kazı Klas Katsayısı – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon boru hattı uzunluğu ve hat boyunca yapılacak kazıya ait kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 6.31). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 6.17’de gösterildiği gibi oluşmuş ve $R^2=0,900$ olarak tespit edilmiştir.

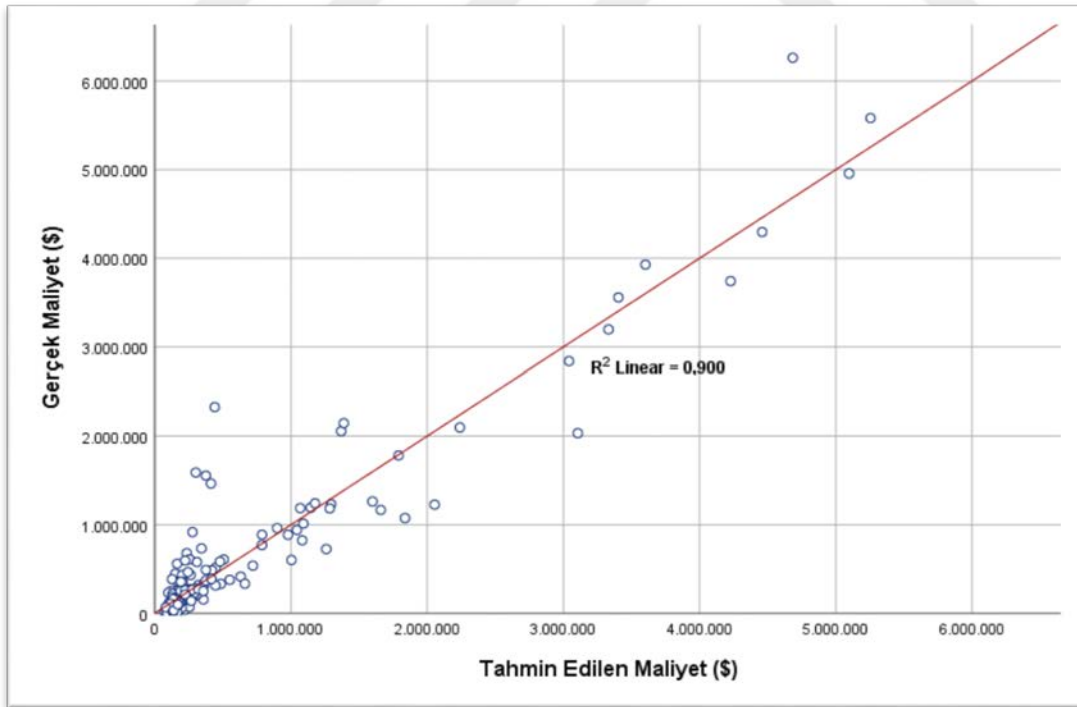
$$TM = 13461,877 + (75,024 \times L) + (54309,229 \times KKK) \quad (6.17)$$

Burada;

L : Hat uzunluğu (m)

KKK : Kazı klas katsayısı

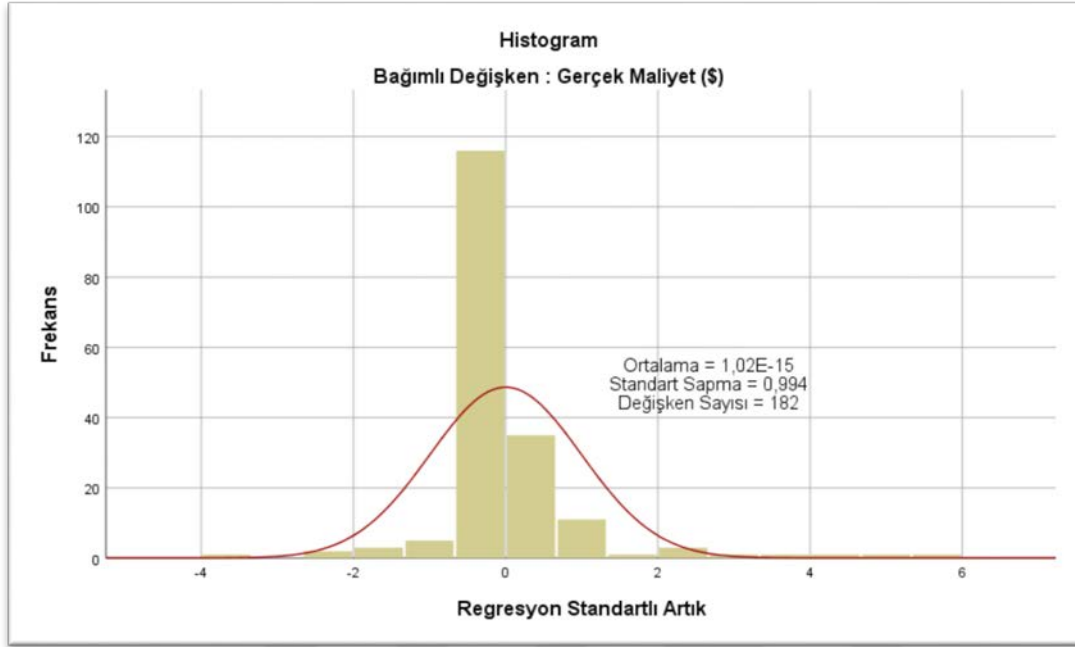
TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



Şekil 6.31. Hat uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon grafiği

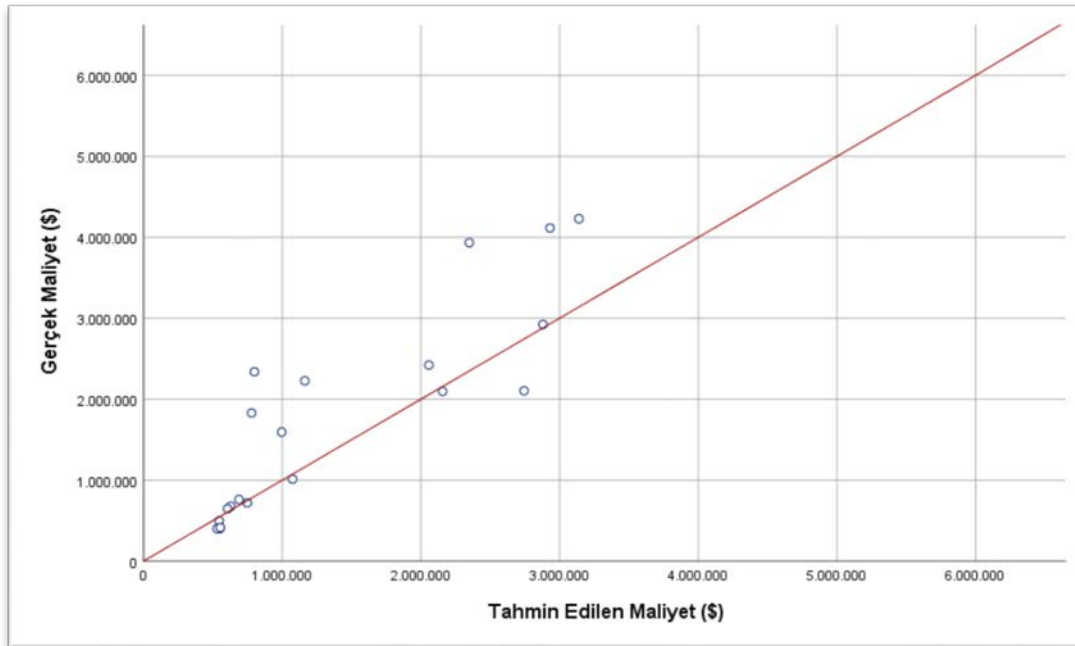
Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.32’de gösterilmiştir. Şekil 6.32 incelendiğinde hataların normal dağılıma uygun olarak dağıldığı görülmektedir. Dolayısıyla kanalizasyon boru hattı

uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça kuvvetlidir.



Şekil 6.32. Hat uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.33'te verilmiştir.



Şekil 6.33. Hat uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.33 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın tahmin ettiği görülmüştür.

Kazı Klas Katsayısı ve Kazı Derinliği – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon hattı boyunca yapılacak kazıya ait kazı klas katsayısı ve borunun yerleştirilmesi için yapılan kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 6.34). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 6.18’de gösterildiği gibi belirlenmiş ve $R^2=0,027$ olarak bulunmuştur.

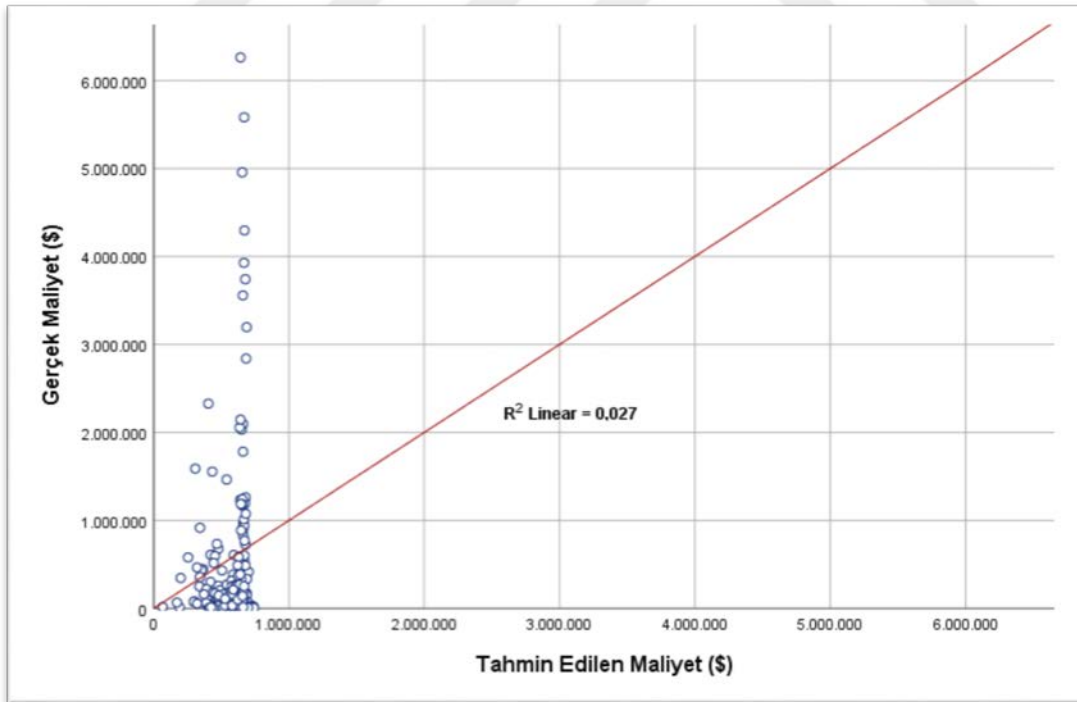
$$TM = 885618,168 - (116862,527 \times H) + (16752,613 \times KKK) \quad (6.18)$$

Burada;

KKK: Kazı klas katsayısı

H: Kazı derinliği (m)

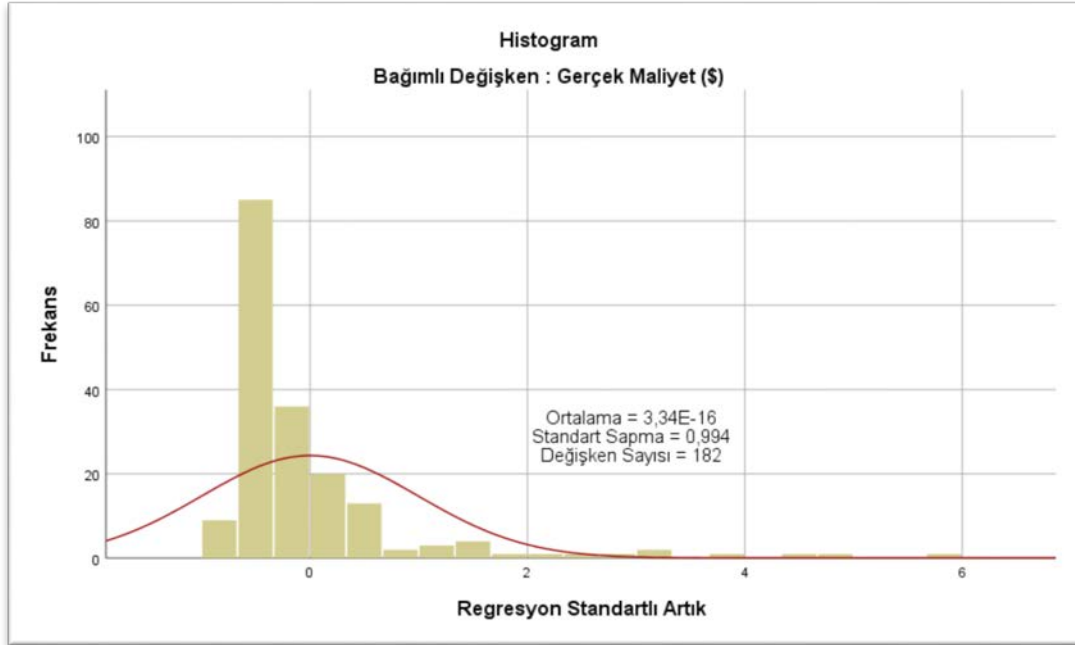
TM: Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



Şekil 6.34. Kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği

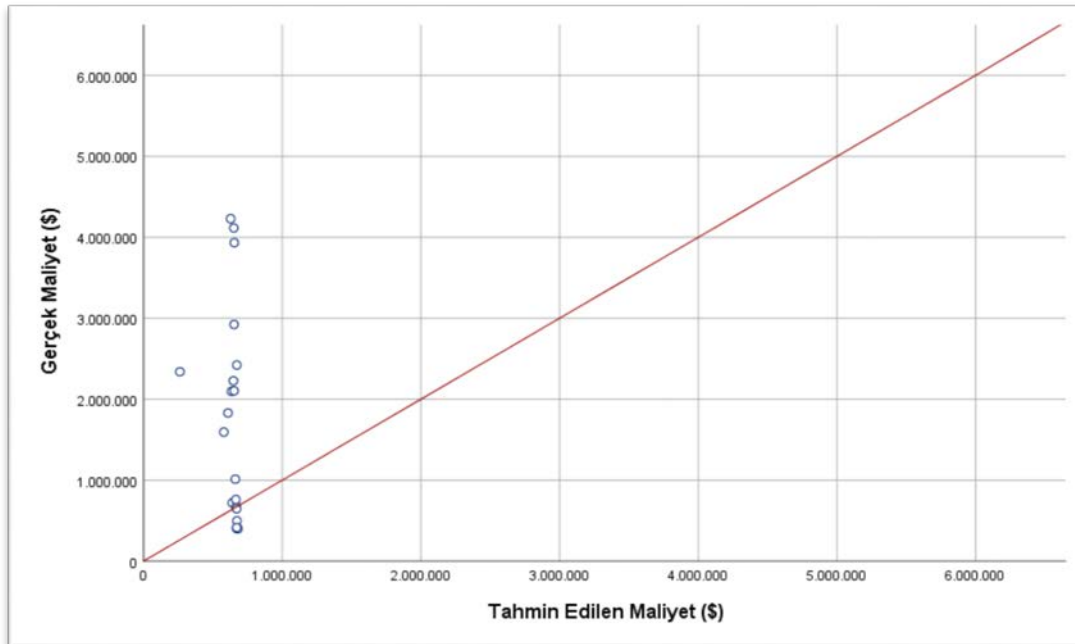
Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.35’te gösterilmiştir. Şekil 6.35’ten de anlaşılacağı üzere hatalar

normal dağılıma uygun olarak dağılmamıştır. Dolayısıyla kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça zayıftır.



Şekil 6.35. Kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.36’da verilmiştir.



Şekil 6.36. Kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.36 incelendiğinde tahmin değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplanmadığı ve tahmin edilen maliyet değerlerinin gerçek maliyet değerlerinden oldukça düşük olduğu görülmüştür.

6.3.3. Üç değişkenli doğrusal regresyon analizleri

Boru Çapı, Hat Uzunluğu ve Kazı Derinliği – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon hattına döşenecek borunun çapı, hattın uzunluğu ve kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 6.37). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 6.19'daki gibi oluşmuş ve $R^2=0,910$ olarak tespit edilmiştir.

$$TM = - 174619,382 + (259,228 \times D) + (78,123 \times L) + (54843,940 \times H) \quad (6.19)$$

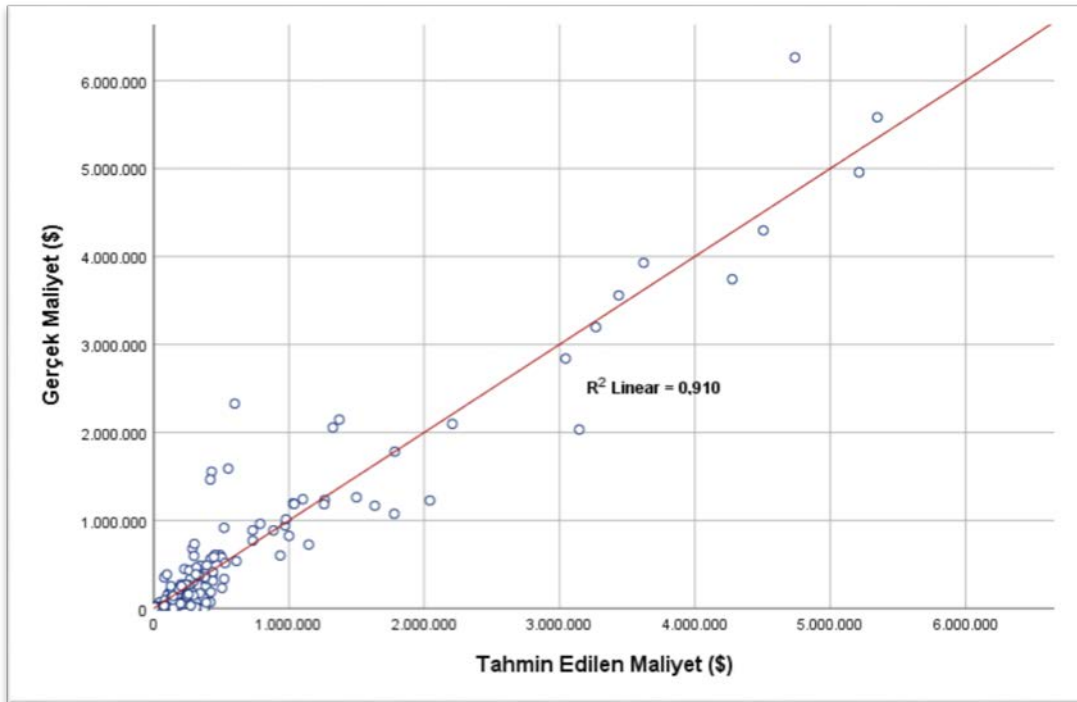
Burada;

D : Boru çapı (mm)

L : Hat uzunluğu (m)

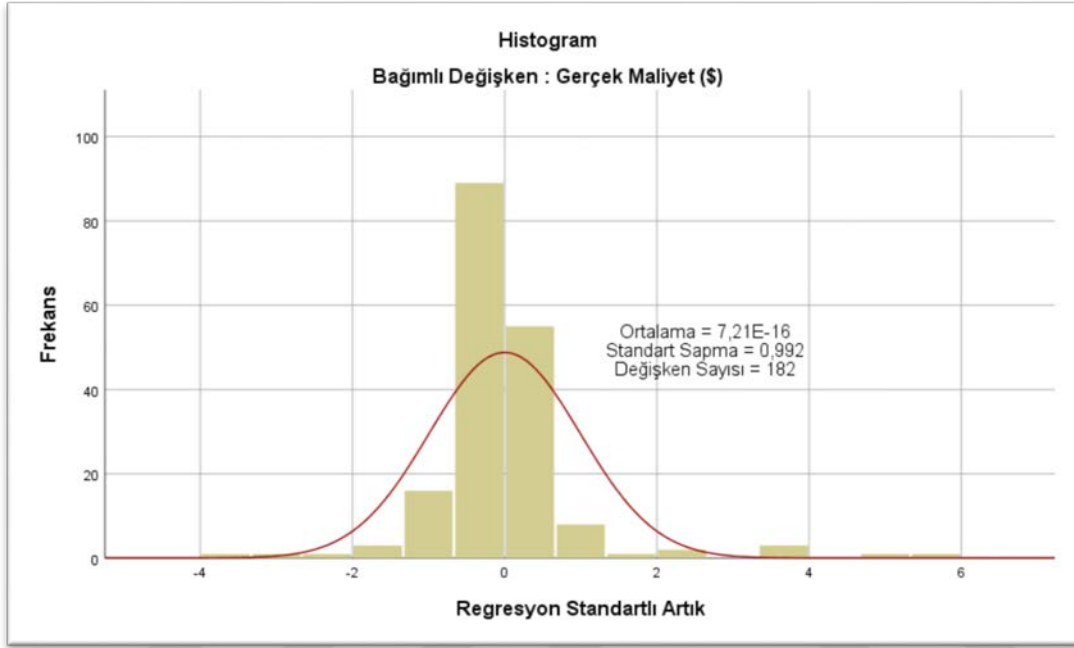
H : Kazı derinliği (m)

TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

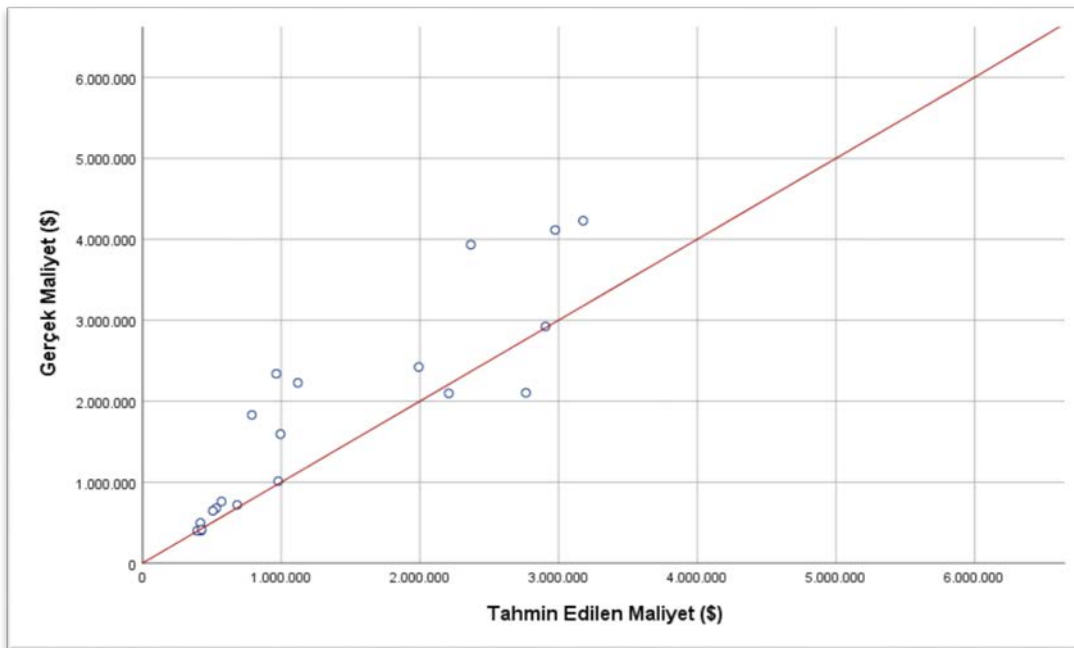


Şekil 6.37. Boru çapı, hat uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.38’de gösterilmiştir. Şekil 6.38 incelendiğinde hataların normal dağılıma uygun olarak dağıldığı görülmektedir. Dolayısıyla boru çapı, hat uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça kuvvetlidir.



Şekil 6.38. Boru çapı, hat uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı



Şekil 6.39. Boru çapı, hat uzunluğu ve kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.39’da verilmiştir. Şekil 6.39 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın tahmin ettiği görülmüştür.

Boru Çapı, Hat Uzunluğu ve Kazı Klas Katsayısı – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon hattı içerisine yerleştirilen borunun çapı, hattın uzunluğu ve hat boyunca yapılacak kazıya ait kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 6.40). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 6.20’de gösterildiği gibi oluşmuş ve $R^2=0,905$ olarak tespit edilmiştir.

$$TM = - 95947,065 + (344,161 \times D) + (76,998 \times L) + (35113,948 \times KKK) \quad (6.20)$$

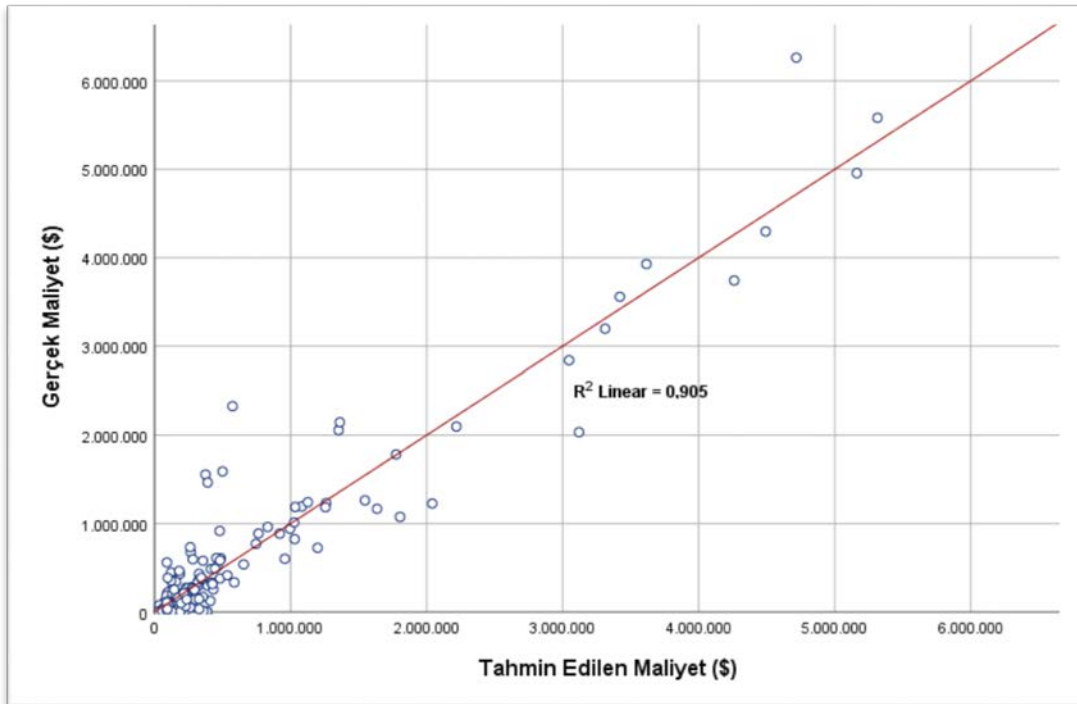
Burada;

D : Boru çapı (mm)

L : Hat uzunluğu (m)

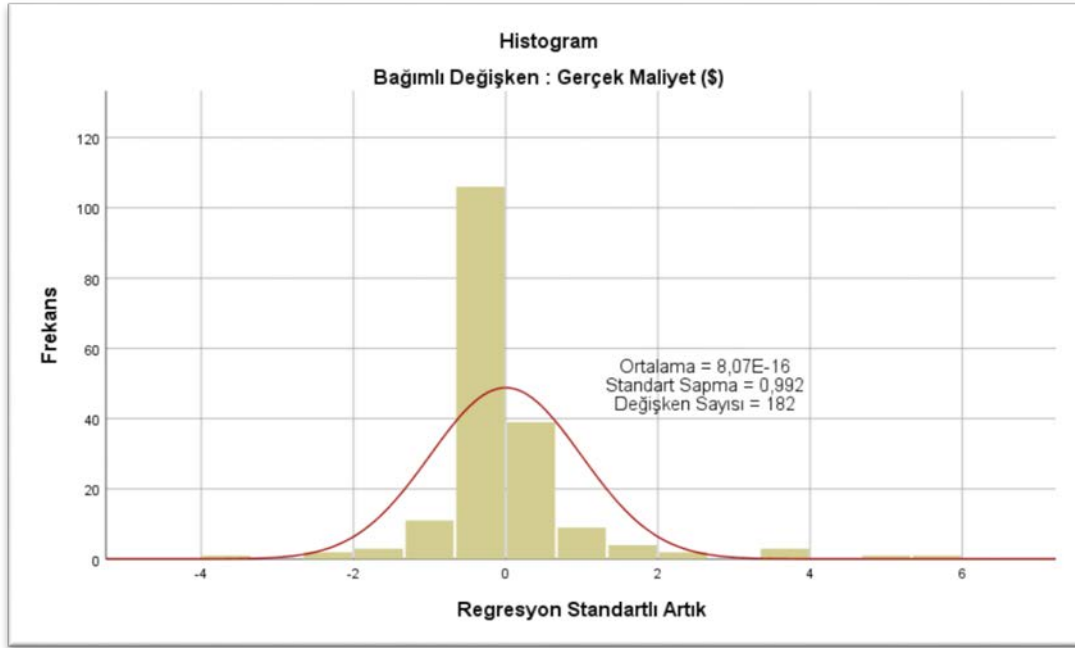
KKK : Kazı klas katsayısı

TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



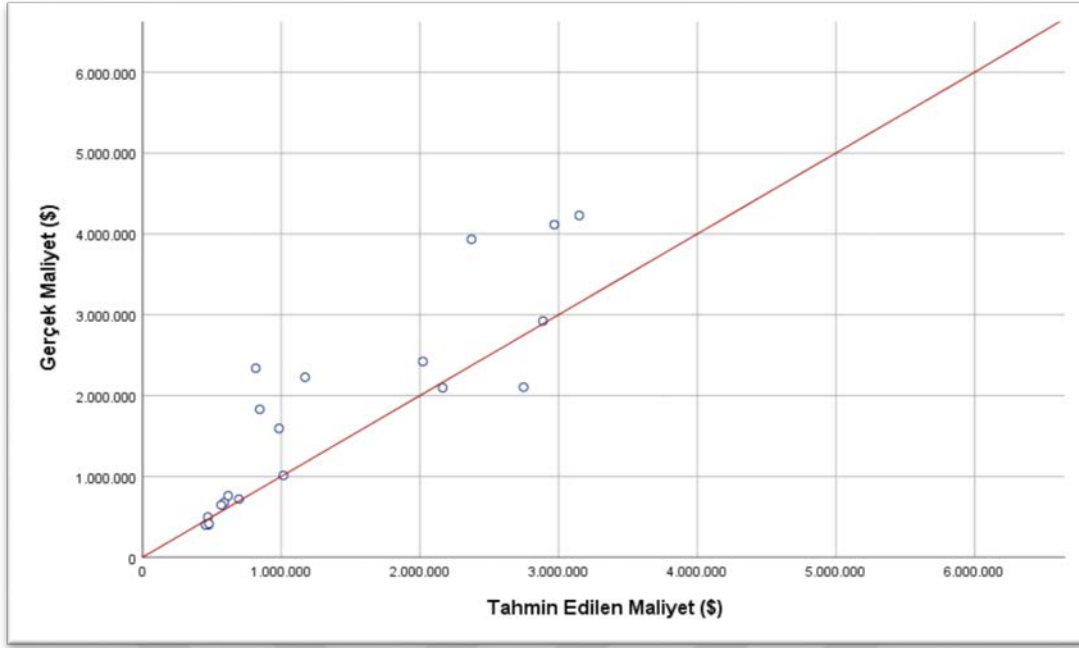
Şekil 6.40. Boru çapı, hat uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.41’de gösterilmiştir. Şekil 6.41’den de anlaşılacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun olarak dağılmıştır. Dolayısıyla kanalizasyon hattı içine yerleştirilen borunun çapı, hattın uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça kuvvetlidir.



Şekil 6.41. Boru çapı, hat uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.42’de verilmiştir. Şekil 6.42 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerine oldukça yakın tahmin edildiği görülmüştür.



Şekil 6.42. Boru çapı, hat uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Boru Çapı, Kazı Klas Katsayısı ve Kazı Derinliği – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon hattı boyunca yerleştirilen borunun çapı, hat boyunca yapılacak kazıya ait kazı klas katsayısı ve yapılan kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 6.43). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 6.21'deki şekilde oluşmuş ve $R^2=0,060$ olarak tespit edilmiştir.

$$TM = 902938,168 - (62825,182 \times H) + (96049,185 \times KKK) - (851,260 \times D) \quad (6.21)$$

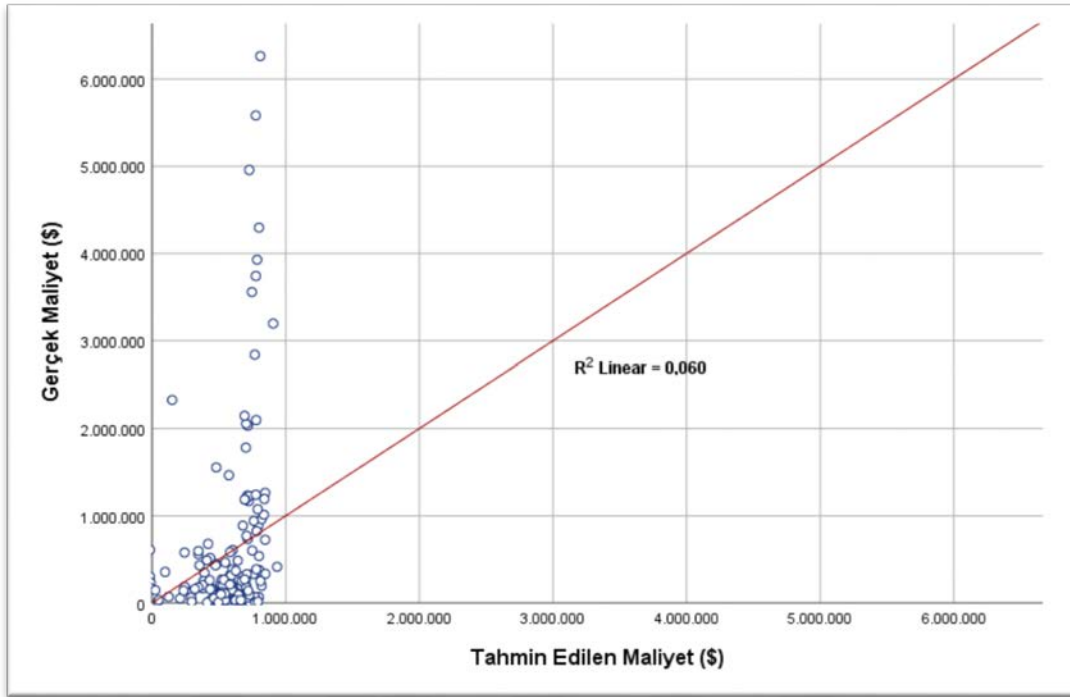
Burada;

D : Boru çapı (mm)

KKK : Kazı klas katsayısı

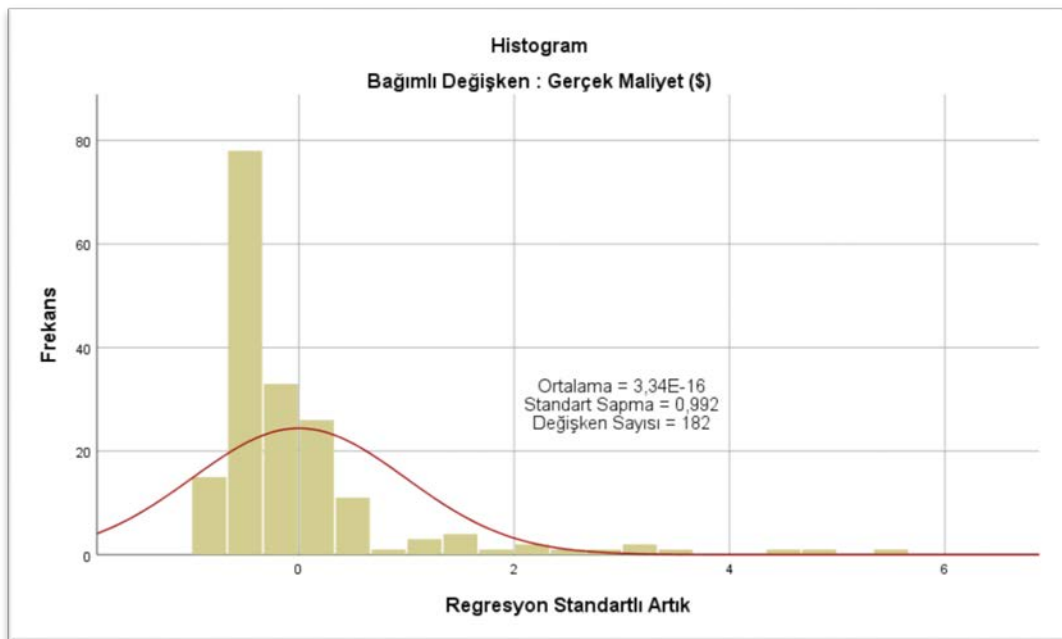
H : Kazı derinliği (m)

TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



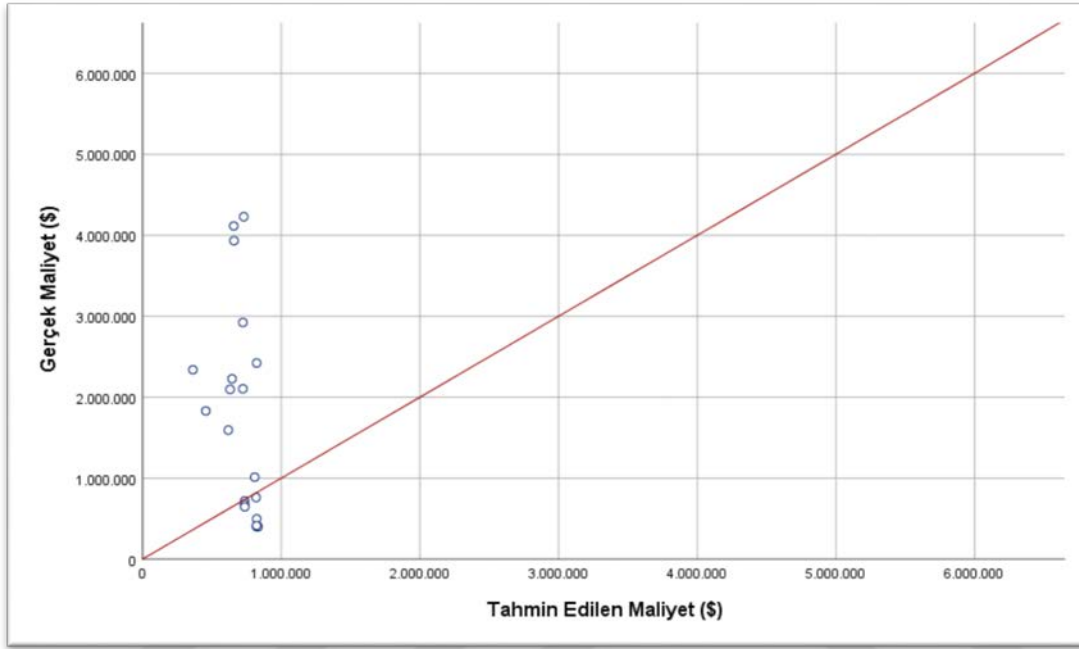
Şekil 6.43. Boru çapı, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.44'te gösterilmiştir. Şekil 6.44'ten de anlaşılabacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun olarak dağılmamıştır. Dolayısıyla boru çapı, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça zayıftır.



Şekil 6.44. Boru çapı, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.45'te verilmiştir. Şekil 6.45 incelendiğinde tahmin değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplanmadığı ve tahmin edilen maliyet değerlerinin gerçek maliyet değerlerinden oldukça düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 6.45. Boru çapı, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

Hat Uzunluğu, Kazı Klas Katsayısı ve Kazı Derinliği – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon boru hattının uzunluğu, hat boyunca yapılacak kazıya ait kazı klas katsayısı ve yapılan kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 6.46). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 6.22'de verildiği gibi oluşmuş ve $R^2=0,909$ olarak tespit edilmiştir.

$$TM = -312560,143 + (77,146 \times L) + (74501,013 \times H) + (100411,974 \times KKK) \quad (6.22)$$

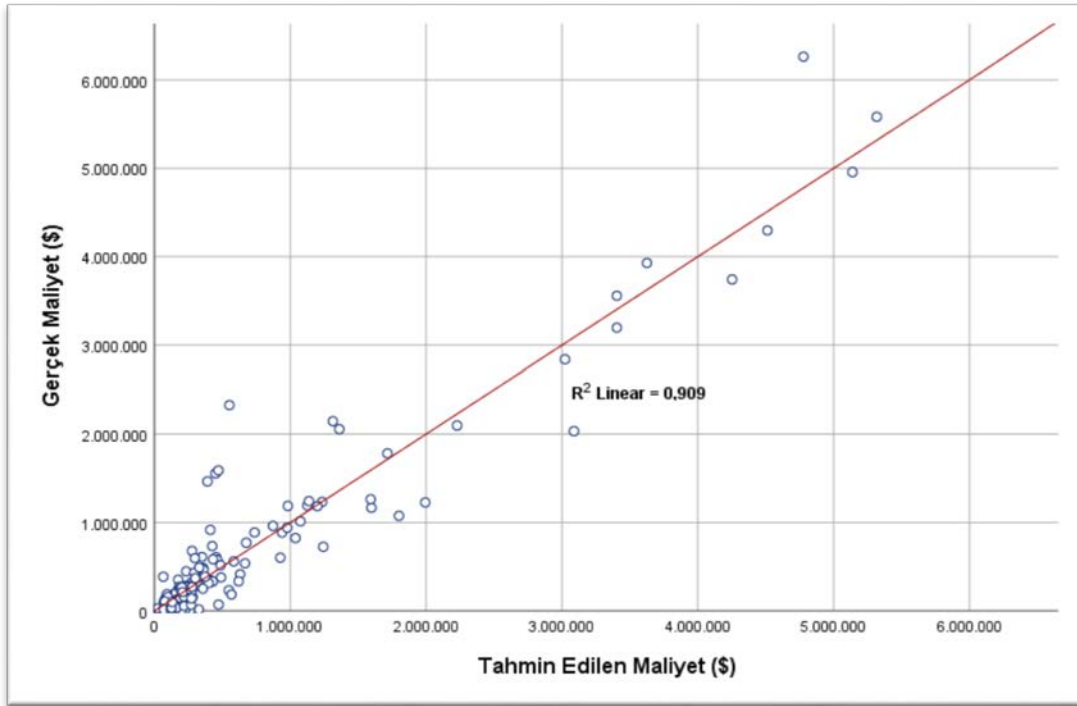
Burada;

L : Hat uzunluğu (m)

KKK : Kazı klas katsayısı

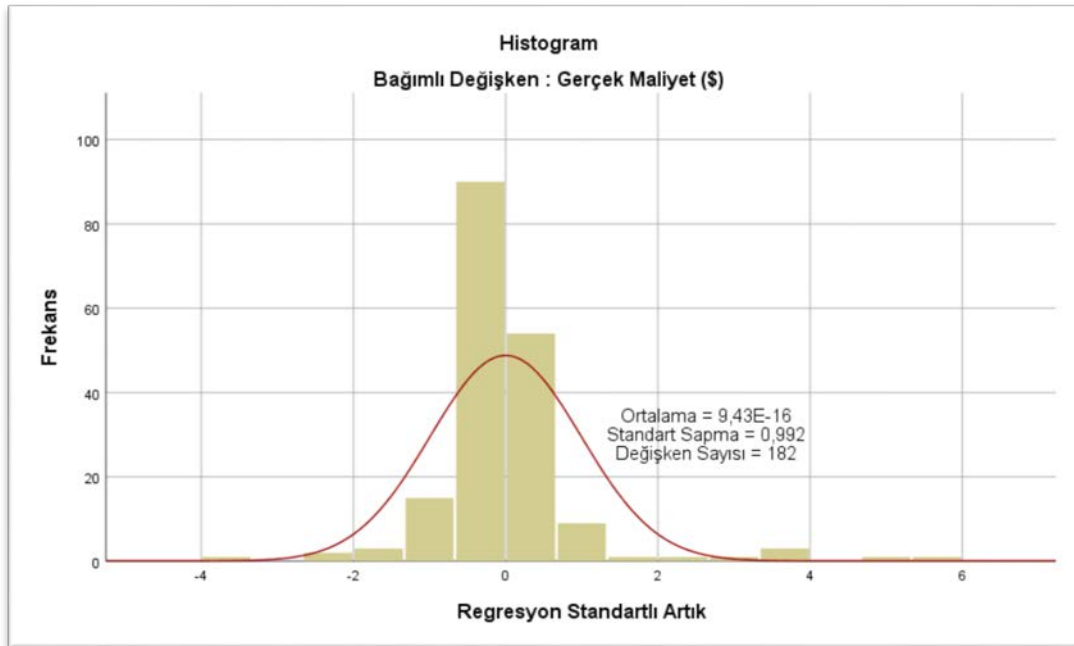
H : Kazı derinliği (m)

TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



Şekil 6.46. Hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği

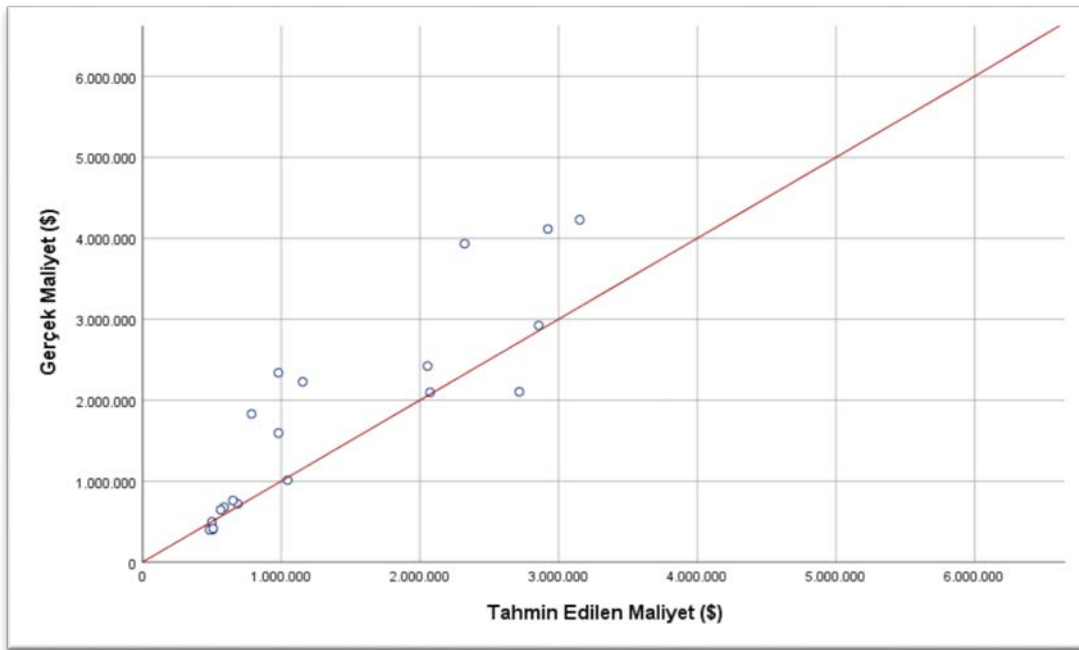
Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.47’de gösterilmiştir.



Şekil 6.47. Hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 6.47’den de anlaşılacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun olarak dağılmıştır. Dolayısıyla kanalizasyon hattı uzunluğu, hat boyunca yapılacak kazıya ait kazı klas katsayısı ve yapılan kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça kuvvetlidir.

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.48’de verilmiştir. Şekil 6.48 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın tahmin ettiği görülmüştür.



Şekil 6.48. Hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

6.3.4. Dört değişkenli doğrusal regresyon analizi

Kanalizasyon hattına döşenen borunun çapı, hattın uzunluğu, hat boyunca yapılacak kazıya ait kazı klas katsayısı ve kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 6.49). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 6.23’teki gibi oluşmuş ve $R^2=0,911$ olarak tespit edilmiştir.

$$TM = - 331951,832 + (225,517 \times D) + (78,100 \times L) + (80438,203 \times KKK) + (62549,617 \times H) \quad (6.23)$$

Burada;

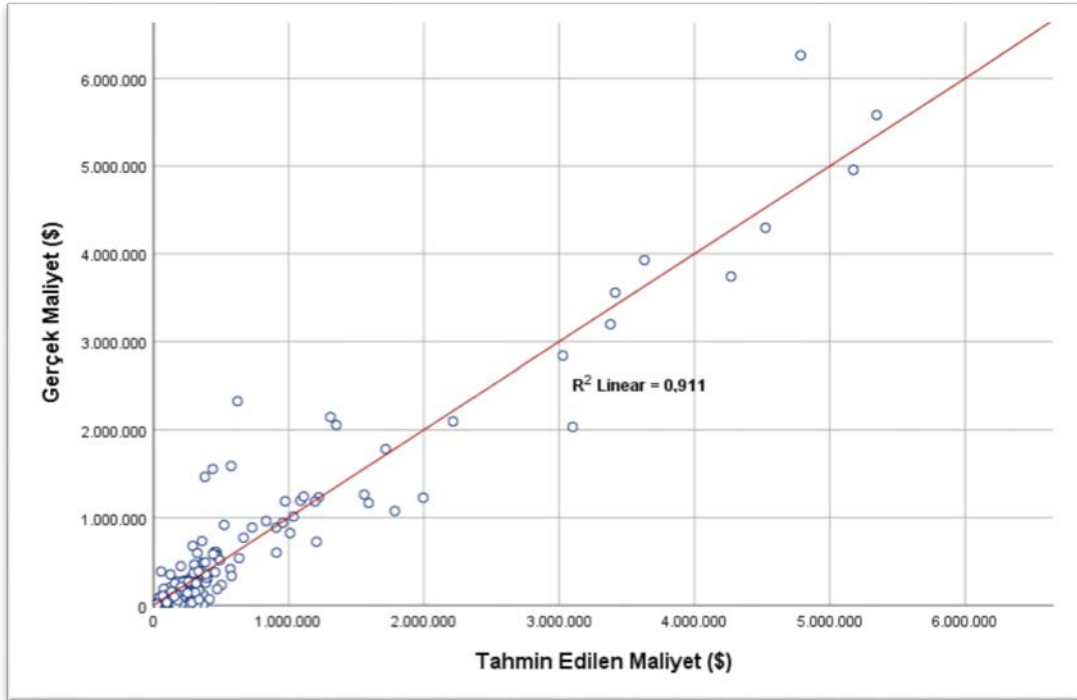
D : Boru çapı (mm)

L : Hat uzunluğu (m)

KKK : Kazı klas katsayısı

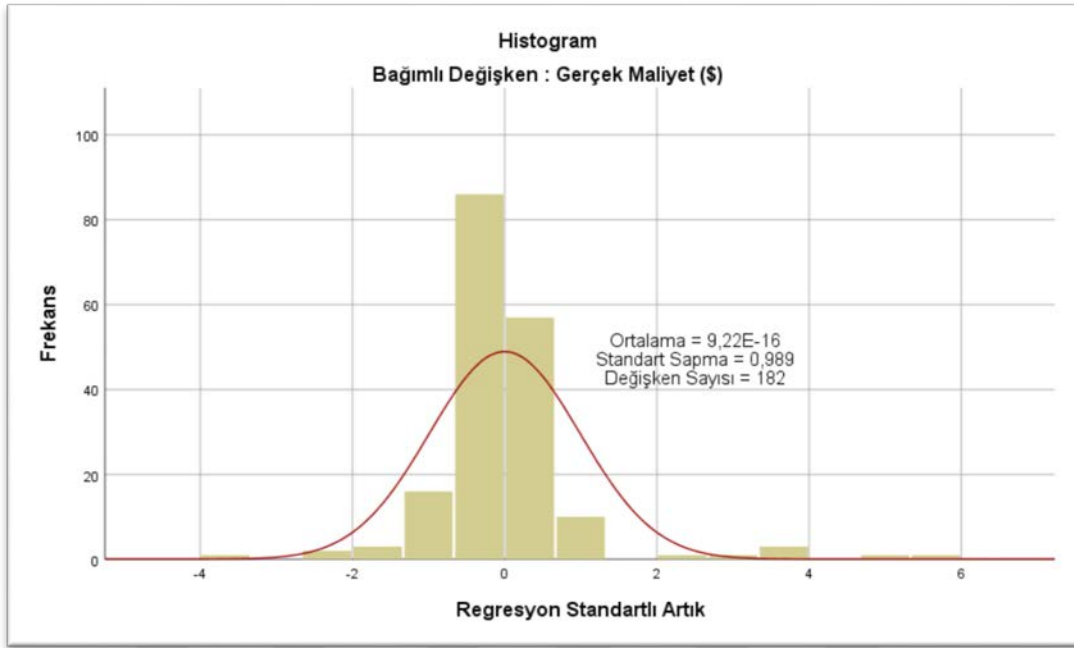
H : Kazı derinliği (m)

TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.



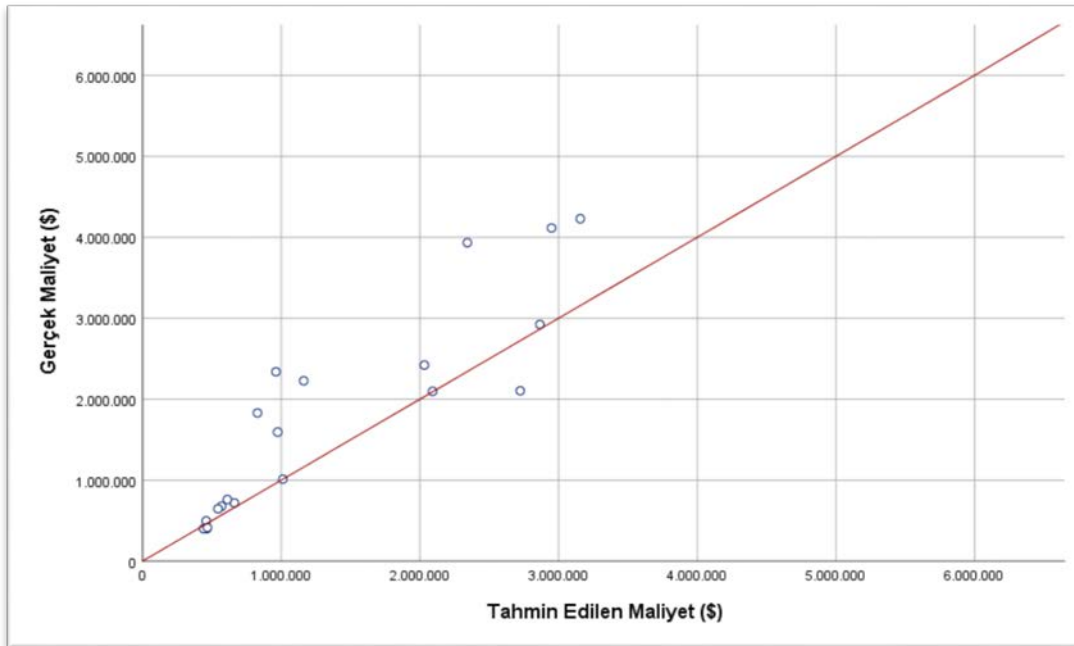
Şekil 6.49. Boru çapı, hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 6.50’de gösterilmiştir. Şekil 6.50 incelendiğinde hataların normal dağılıma uygun olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla kanalizasyon hattı boyunca döşenen borunun çapı, hattın uzunluğu, hat boyunca yapılacak kazıya ait kazı klas katsayısı ve kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça kuvvetlidir. Yapılan RA’lar içinde en yüksek regresyon katsayısını veren, gerçek maliyeti en iyi tahmin eden analiz bütün parametrelerin kullanıldığı 4 değişkenli RA sonucunda ortaya çıkmıştır.



Şekil 6.50. Boru çapı, hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.51’de verilmiştir. Şekil 6.51 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın tahmin ettiği görülmüştür.



Şekil 6.51. Boru çapı, hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve kazı derinliği ile tahmin edilen maliyet değerleri - gerçek maliyet değerlerinin karşılaştırılması

20 adet kanalizasyon hattı projesine ait test verileri ile tüm RA denklemleri kullanılarak maliyet tahminleri hesaplanmış ve gerçek maliyet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Söz konusu karşılaştırmalara ait ilişkileri gösteren şekiller kendi bölümlerinde verilmiştir. Tahmin edilen maliyetler ile gerçek maliyetler arasındaki en yüksek doğruluk oranı %77,60 ile dört değişkenli denklem neticesinde ortaya çıkmaktadır.

Regresyon modeli ile tahmin yapıldıktan sonra hataların birbirinden bağımsız olup olmadığını test etmek için Durbin-Watson analizi yapılmıştır. Durbin-Watson değerlerinin 1,5-2,5 arasında olması değişkenler arasında yüksek bir bağıntının olmadığını göstermektedir. Yapılan RA sonucunda ortaya çıkan regresyon denklemleri, Durbin-Watson değerleri ile R^2 değerleri toplu halde Çizelge 6.10'da verilmiştir. Çizelge 6.10 incelendiğinde bulunan regresyon denklemleri ile yapılan tahminler sonucu ortaya çıkan hataların Durbin-Watson değerleri 1,5-2 civarındadır. Dolayısıyla değişkenler arasında yüksek bir ilişkinin olmadığı ve analizlerde rahatlıkla kullanılabileceği söylenebilir.

Çizelge 6.10. RA toplu denklemler, Durbin-Watson ve R² değerleri

Sıra No	Denklem	Açıklama	Durbin-Watson	R ²
Tek Değişkenli Denklemler				
1	$TM = 926032,656 - 958,259 \times D$	D[mm]	1,951	0,049
2	$TM = 919932,394 - 118080,917 \times H$	H[m]	1,907	0,027
3	$TM = 112327,811 + 75,060 \times L$	L[m]	1,537	0,899
4	$TM = 390974,829 + 90684,014 \times KKK$	KKK	1,927	0,002
İki Değişkenli Denklemler				
5	$TM = 1091256,032 - 811,389 \times D - 72071,573 \times H$	D[mm], H[m]	1,930	0,058
6	$TM = -35781,660 + 353,119 \times D + 77,072 \times L$	D[mm], L[m]	1,565	0,905
7	$TM = 677001,918 - 989,595 \times D + 143125,377 \times KKK$	D[mm], KKK	1,953	0,054
8	$TM = -104831,137 + 76,992 \times L + 66827,221 \times H$	L[m], H[m]	1,570	0,907
9	$TM = 13461,877 + 75,024 \times L + 54309,229 \times KKK$	L[m], KKK	1,542	0,900
10	$TM = 885618,168 - 116862,527 \times H + 16752,613 \times KKK$	H[m], KKK	1,907	0,027
Üç Değişkenli Denklemler				
11	$TM = -174619,382 + 259,228 \times D + 78,123 \times L + 54843,940 \times H$	D[mm], L[m], H[m]	1,557	0,910
12	$TM = -95947,065 + 344,161 \times D + 76,998 \times L + 35113,948 \times KKK$	D[mm], L[m], KKK	1,564	0,905
13	$TM = 902938,168 - 62825,182 \times H + 96049,185 \times KKK - 851,260 \times D$	H[m], D[mm], KKK	1,933	0,060
14	$TM = -312560,143 + 77,146 \times L + 74501,013 \times H + 100411,974 \times KKK$	L[m], H[m], KKK	1,595	0,909
Dört Değişkenli Denklem				
15	$TM = -331951,832 + 225,517 \times D + 78,100 \times L + 80438,203 \times KKK + 62549,617 \times H$	D[mm], L[m], H[m], KKK	1,589	0,911
$TM =$ Tahmin Edilen Maliyet (\$), $D =$ Boru Çapı (milimetre), $L =$ Hat Uzunluğu (metre), $H =$ Kazı Derinliği (metre), $KKK =$ Kazı Klas Katsayısı				

6.3.5. En başarılı RA denklemi ile örnek maliyet tahmini hesaplanması

Kanalizasyon hattına döşenen borunun çapı, hattın uzunluğu, hat boyunca yapılacak kazıya ait kazı klas katsayısı ve kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla yapılan RA sonucunda en başarılı regresyon denklemi Eş. 6.23'teki gibi oluşmuştur.

$$TM = - 331951,832 + (225,517 \times D) + (78,100 \times L) + (80438,203 \times KKK) + (62549,617 \times H) \quad (6.23)$$

Burada;

D : Boru çapı (mm)

L : Hat uzunluğu (m)

KKK : Kazı klas katsayısı

H : Kazı derinliği (m)

TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

Test verileri içerisinde rastgele seçilen örnek bir kanalizasyon boru hattı projesinin tahmini maliyet hesaplaması için kullanılacak parametreler ve değerleri Çizelge 6.11'de verilmiştir.

Çizelge 6.11. Değişkenler ve test değerleri

Değişken	Parametre	Test Değeri
Gerçek Maliyet (\$)	-	401760,67
Boru Çapı (mm)	D	200
Hat Uzunluğu (m)	L	5450
Kazı Derinliği (m)	H	2,17
Kazı Klas Katsayısı	KKK	2,35

$$TM = - 331951,832 + (225,517 \times D) + (78,100 \times L) + (80438,203 \times KKK) + (62549,617 \times H) \quad (6.23)$$

$$TM = - 331951,832 + (225,517 \times 200) + (78,100 \times 5450) + (80438,203 \times 2,35) + (62549,617 \times 2,17) = 463559,01$$

Yukarıda, Eş.6.23'teki denklem ile Çizelge 6.11'deki değişkenler kullanılarak kanalizasyon boru hattı maliyet tahmini yapılmıştır. Tahmin edilen maliyet 463559,01 \$ iken gerçek maliyet 401760,67 \$'dır. Sonuç olarak kanalizasyon boru hattı uzunluğu parametresi kullanılarak yapılan tahmin gerçek maliyeti % 84,62 doğrulukta belirlemiştir.

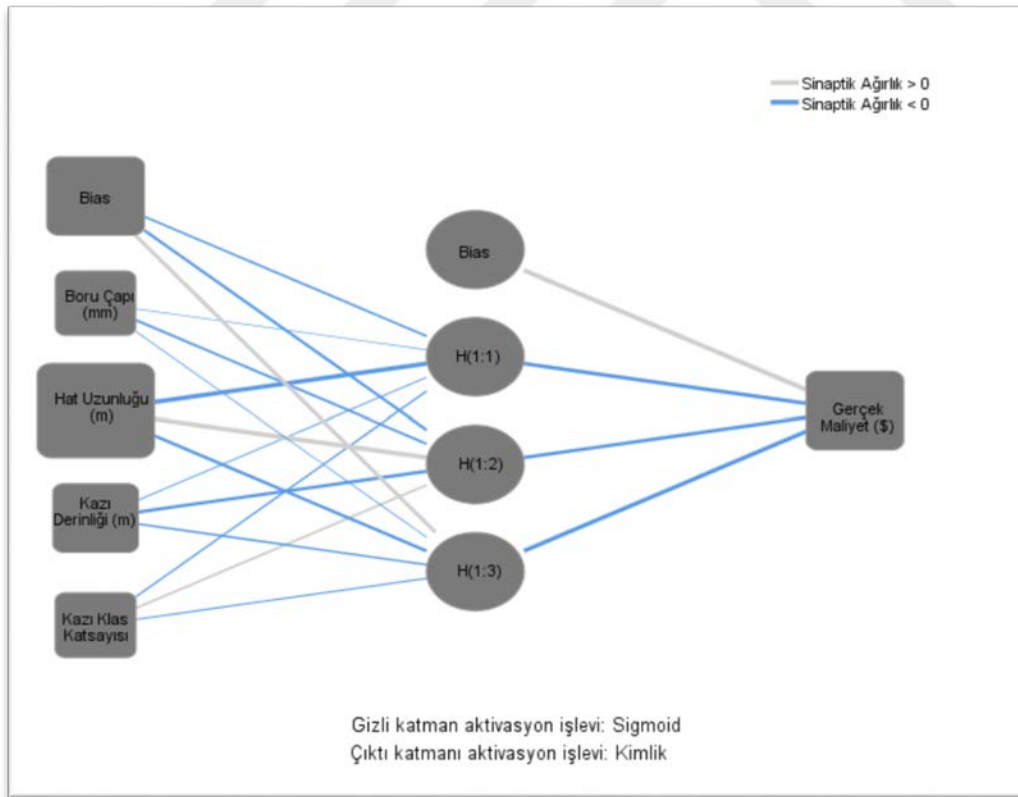
6.4. YSA ile Kurulan Tahmin Modelleri

Kanalizasyon boru hattı proje maliyetlerinin tahmini için YSA ile modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde 182 adet kanalizasyon boru hattı projesi eğitim verisi, 20 adet kanalizasyon boru hattı projesi ise test verisi olarak kullanılmıştır. Kanalizasyon boru hattı proje maliyetlerinin YSA ile tahmin için, RA sonucunda en başarılı sonucu veren denklemde yer alan parametreler olan boru çapı, hat uzunluğu, kazı derinliği, kazı klas katsayısı ve gerçek maliyet değişkenleri kullanılmıştır. YSA analiz modelleri geliştirilirken yazılım tarafından otomatik olarak seçilen mimariler ile kullanıcı tarafından seçilen gizli katman sayısının 1 veya 2 olduğu durumlar için ayrı ayrı aktivasyon fonksiyonunun sigmoid veya hiperbolik tanjant olduğu kombinasyonlar denenmiş ve en başarılı ağ mimarisi ve aktivasyon fonksiyonuna sahip modeller belirlenmiştir.

YSA ile oluşturulan bir modelin ortalama davranışı öğrenmesi isteniyorsa aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu, ortalamadan sapmanın öğrenilmesi isteniyorsa aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanılması önerilmektedir. Tahmin yapmaya yönelik problemlerin çözümünde aktivasyon fonksiyonu olarak hem sigmoid hem de hiperbolik tanjant fonksiyonları kullanılabilir. Bu çalışmada her iki fonksiyon da kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmiştir. Sigmoid fonksiyonu ile oluşturulan modellerin hiperbolik tanjant fonksiyonu ile oluşturulan modellerle birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. En nihayetinde en başarılı sonuçlar gizli katman sayısının 1 ve aktivasyon fonksiyonunun sigmoid olduğu mimari seçimlerinde ortaya çıkmıştır. En başarılı sonucu veren gizli katman sayısı 1 ve aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan YSA ağ bilgisi Çizelge 6.12'de, YSA modeli Şekil 6.52'de ve detaylı ağ yapısı da Şekil 6.53 verilmiştir.

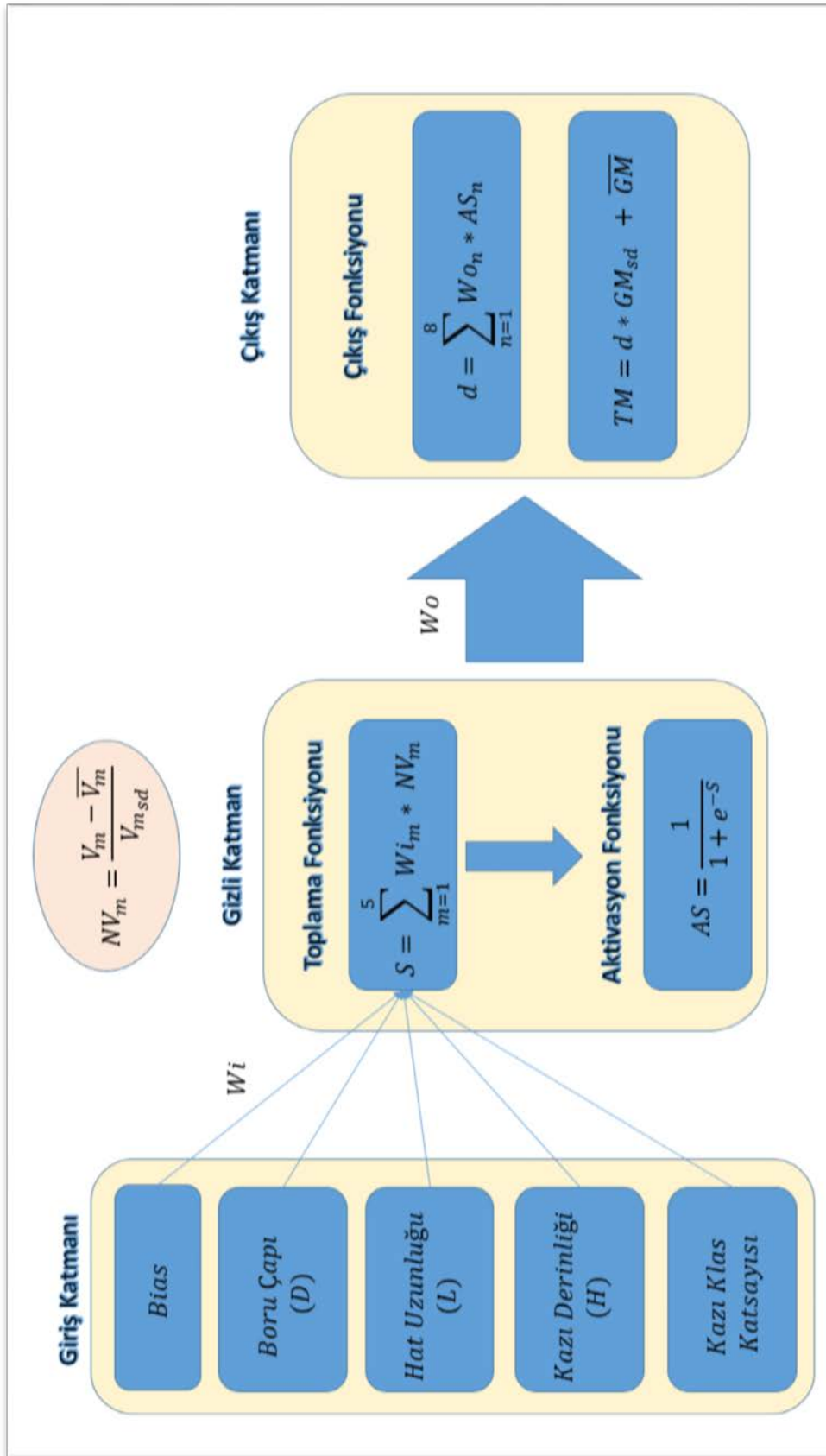
Çizelge 6.12. YSA ağ bilgisi

Girdi Katmanı	Değişkenler	1	Boru Çapı (mm)
		2	Hat Uzunluğu (m)
		3	Kazı Derinliği (m)
		4	Kazı Klas Katsayısı
	Birimlerin Adedi		4
	Değişkenler İçin Yeniden Ölçeklendirme Yöntemi		Standartlaştırılmış
Gizli Katman	Gizli Katmanların Adedi		1
	Gizli Katman 1'deki Birimlerin Adedi ¹		3
	Aktivasyon İşlevi		Sigmoid
Çıktı Katmanı	Bağımlı Değişken 1		Gerçek Maliyet (\$)
	Birimlerin Adedi		1
	Ölçek Bağımlılıkları İçin Yeniden Ölçeklendirme Metodu		Standartlaştırılmış
	Aktivasyon İşlevi		Kimlik
	Hata İşlevi		Kareler Toplamı



Şekil 6.52. YSA'da ağ şeması

¹ Bias birimleri hariç



Şekil 6.53. Detaylı YSA analizi ağ yapısı

Daha sonra, YSA'nın, RA'ya göre en büyük dezavantajı olan bir formül ortaya koyamaması sorununa çözüm olabilecek bir formül geliştirilmiştir. YSA modeli ile ortaya konulacak formül için öncelikle parametrelere ait normalize değerlerin hesaplanması gerekir. Parametrelerin normalize değerlerini hesaplamak için kullanılacak denklemler Eş. 6.24-27'de gösterilmiştir.

$$D_{nd} = \frac{D - \bar{D}}{D_{sd}} \quad (6.24)$$

$$L_{nd} = \frac{L - \bar{L}}{L_{sd}} \quad (6.25)$$

$$H_{nd} = \frac{H - \bar{H}}{H_{sd}} \quad (6.26)$$

$$KKK_{nd} = \frac{KKK - \overline{KKK}}{KKK_{sd}} \quad (6.27)$$

Burada;

D : Boru çapı (mm)

$\bar{D}$: Ortalama boru çapı

D_{sd} : Boru çaplarına ait standart sapma

D_{nd} : Boru çaplarına ait normalize değer

L : Hat uzunluğu (m)

$\bar{L}$: Ortalama hat uzunluğu

L_{sd} : Hat uzunluklarına ait standart sapma

L_{nd} : Hat uzunluklarına ait normalize değer

H : Kazı derinliği (m)

$\bar{H}$: Ortalama kazı derinliği

H_{sd} : Kazı derinliğine ait standart sapma

H_{nd} : Kazı derinliğine ait normalize değer

KKK : Kazı Klas Katsayısı

$\overline{KKK}$: Ortalama Kazı Klas Katsayısı

KKK_{sd} : Kazı Klas Katsayısına ait standart sapma

KKK_{nd} : Kazı Klas Katsayısına ait normalize değeri temsil etmektedir.

Parametrelerin normalize değerlerinin hesaplanmasından sonra aynı parametrelerin standart sapma ve aritmetik ortalama değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamalar yapılmış ve Çizelge 6.13'te verilmiştir.

Çizelge 6.13. YSA’da kullanılan parametrelere ait standart sapma ve ortalama değerler

Değişken	Parametre	Eğitim Verileri Ortalama Değerleri
Ortalama Boru Çapı (mm)	$\bar{D}$	385,714286
Standart Sapma Boru Çapı	D_{sd}	230,335536
Ortalama Hat Uzunluğu (m)	$\bar{L}$	5916,472527
Standart Sapma Hat Uzunluğu	L_{sd}	12585,593652
Ortalama Kazı Derinliği (m)	$\bar{H}$	3,078516
Standart Sapma Kazı Derinliği	H_{sd}	1,380823
Ortalama Kazı Klas Katsayısı	$\overline{KKK}$	1,824396
Standart Sapma Kazı Klas Katsayısı	KKK_{sd}	0,468180

Yukarıda, Çizelge 6.13’te verilen parametrelere ait standart sapma ve ortalama değerleri Eş. 6.24-27’deki denklemlerde yerine konulmuş ve parametrelere ait normalize değer denklemi elde edilmiştir.

$$D_{nd} = \frac{D - \bar{D}}{D_{sd}} \quad (6.24)$$

$$D_{nd} = \frac{D - 385,714286}{230,335536}$$

$$L_{nd} = \frac{L - \bar{L}}{L_{sd}} \quad (6.25)$$

$$L_{nd} = \frac{L - 5916,472527}{12585,593651}$$

$$H_{nd} = \frac{H - \bar{H}}{H_{sd}} \quad (6.26)$$

$$H_{nd} = \frac{H - 3,078516}{1,380823}$$

$$KKK_{nd} = \frac{KKK - \overline{KKK}}{KKK_{sd}} \quad (6.27)$$

$$KKK_{nd} = \frac{KKK - 1,824396}{0,468180}$$

Daha sonra elde edilen normalize denklemi, toplama fonksiyonu denklemi içerisinde yerine konulmuştur. (Eş. 6.4)

$$S = \sum_{m=1}^5 (W_i_m * NV_m) \quad (6.4)$$

Burada;

NV_m : Normalize edilmiş değişkene ait değer

W_i : Girdi ağırlıkları

S : Toplama fonksiyonunu temsil etmektedir.

Toplama fonksiyonu denkleminde kullanılması gereken ve YSA analizi sonucunda SPSS yazılımı tarafından belirlenen parametre bağlantı ağırlıkları Çizelge 6.14'te verilmiştir.

Çizelge 6.14. YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı ağırlıkları

Tahminci		Tahmin Edilen			
		Gizli Katman 1			Çıktı Katmanı
		H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	Gerçek Maliyet (\$)
Girdi Katmanı	Bias	-0,289879	-0,924269	3,656249	
	Boru Çapı (mm)	-0,063323	-0,416951	-0,077909	
	Hat Uzunluğu (m)	-5,086216	6,394129	-1,186647	
	Kazı Derinliği (m)	-0,111547	-1,216757	-0,256108	
	Kazı Klas Katsayısı	-0,232937	0,477635	-0,144338	
Gizli Katman 1	Bias				7,448974
	H(1:1)				-3,321646
	H(1:2)				-1,947422
	H(1:3)				-5,035087

Çizelge 6.14'teki girdi katmanında yer alan ağırlıklar ile normalize denklemi değerleri Eş. 6.4'te yerine konulmuştur.

$$S = \sum_{m=1}^5 (W_i_m * NV_m) \quad (6.4)$$

$$S_{H(1:1)} = -0,289879 - (0,063323 * \frac{D-\bar{D}}{D_{sd}}) - (5,086216 * \frac{L-\bar{L}}{L_{sd}}) - (0,111547 * \frac{H-\bar{H}}{H_{sd}}) - (0,232937 * \frac{KKK-\bar{KKK}}{KKK_{sd}})$$

$$S_{H(1:2)} = -0,924269 - (0,416951 * \frac{D-\bar{D}}{D_{sd}}) + (6,394129 * \frac{L-\bar{L}}{L_{sd}}) - (1,216757 * \frac{H-\bar{H}}{H_{sd}}) + (0,477635 * \frac{KKK-\bar{KKK}}{KKK_{sd}})$$

$$S_{H(1:3)} = 3,656249 - (0,077909 * \frac{D-\bar{D}}{D_{sd}}) - (1,186647 * \frac{L-\bar{L}}{L_{sd}}) - (0,256108 * \frac{H-\bar{H}}{H_{sd}}) - (0,144338 * \frac{KKK-\bar{KKK}}{KKK_{sd}})$$

Daha sonra aktivasyon fonksiyonunun hesaplanması gerekir. Aktivasyon fonksiyonunu temsil eden formül Eş. 6.5'te verilmiştir.

$$AS = \frac{1}{1+e^{-S}} \quad (6.5)$$

Burada;

S : Toplama fonksiyonu

AS : Aktivasyon fonksiyonunu temsil etmektedir.

Bundan sonra aktivasyon fonksiyonu eşitliği içerisine daha önce hesaplamış olduğumuz toplama fonksiyonu denklemi yerine konmuştur.

$$AS = \frac{1}{1+e^{-S}} \quad (6.5)$$

$$AS_{H(1:1)} = \frac{1}{1+e^{-\left(-0,289879-0,063323*\frac{D-\bar{D}}{D_{sd}}-5,086216*\frac{L-\bar{L}}{L_{sd}}-0,111547*\frac{H-\bar{H}}{H_{sd}}-0,232937*\frac{KKK-\bar{KKK}}{KKK_{sd}}\right)}}$$

$$AS_{H(1:2)} = \frac{1}{1+e^{-\left(-0,924269-0,416951*\frac{D-\bar{D}}{D_{sd}}+6,394129*\frac{L-\bar{L}}{L_{sd}}-1,216757*\frac{H-\bar{H}}{H_{sd}}+0,477635*\frac{KKK-\bar{KKK}}{KKK_{sd}}\right)}}$$

$$AS_{H(1:3)} = \frac{1}{1+e^{-\left(3,656249-0,077909*\frac{D-\bar{D}}{D_{sd}}-1,186647*\frac{L-\bar{L}}{L_{sd}}-0,256108*\frac{H-\bar{H}}{H_{sd}}-0,144338*\frac{KKK-\bar{KKK}}{KKK_{sd}}\right)}}$$

Aktivasyon fonksiyonu hesabından sonra çıktı fonksiyonu hesaplanmasına geçilmiştir. Çıktı fonksiyonunu gösteren denklem Eş. 6.6'da verilmiştir.

$$d = \sum_{n=1}^8 (W_o_n * AS_n) \quad (6.6)$$

Burada;

W_o : Çıktı ağırlıkları

AS : Aktivasyon fonksiyonu

d : Çıktı denklemini temsil etmektedir.

Çıktı fonksiyonu hesaplamak için Çizelge 6.14'te verilen çıktı katmanı parametre bağlantı ağırlıkları kullanılmıştır.

$$d = \sum_{n=1}^8 (Wo_n * AS_n) \quad (6.6)$$

$$d = 1 * (7,448974) + \frac{1 * (-3,321646)}{1 + e^{-\left(-0,289879 - 0,063323 * \frac{D-\bar{D}}{D_{sd}} - 5,086216 * \frac{L-\bar{L}}{L_{sd}} - 0,111547 * \frac{H-\bar{H}}{H_{sd}} - 0,232937 * \frac{KKK-\bar{KKK}}{KKK_{sd}}\right)}} +$$

$$\frac{1 * (-1,947422)}{1 + e^{-\left(-0,924269 - 0,416951 * \frac{D-\bar{D}}{D_{sd}} + 6,394129 * \frac{L-\bar{L}}{L_{sd}} - 1,216757 * \frac{H-\bar{H}}{H_{sd}} + 0,477635 * \frac{KKK-\bar{KKK}}{KKK_{sd}}\right)}} +$$

$$\frac{1 * (-5,035087)}{1 + e^{-\left(3,656249 - 0,077909 * \frac{D-\bar{D}}{D_{sd}} - 1,186647 * \frac{L-\bar{L}}{L_{sd}} - 0,256108 * \frac{H-\bar{H}}{H_{sd}} - 0,144338 * \frac{KKK-\bar{KKK}}{KKK_{sd}}\right)}}$$

Çıktı fonksiyonunun hesaplanmasından sonra tahmini maliyet denklemi hesabına geçilmektedir. Tahmini maliyet hesabını yapabilmek için ihtiyaç duyulan standart sapma gerçek maliyet ve ortalama gerçek maliyet değerleri Çizelge 6.15'te sunulmuştur.

Çizelge 6.15. Değişkenler ve değişim aralıkları

Değişken	Parametre	Eğitim Verileri Ortalama Değerleri
Ortalama Gerçek Maliyet (\$)	$\overline{GM}$	996351,33
Standart Sapma Gerçek Maliyet	GM_{sd}	556418,34

Nihai denklem olan tahmini maliyet denklemi Eş.6.7'de verilmiştir.

$$TM = (d * GM_{sd}) + \overline{GM} \quad (6.7)$$

Burada;

TM : Tahmin edilen maliyet (\$)

d : Çıktı denklemi

$\overline{GM}$: Ortalama gerçek maliyet (\$)

GM_{sd} : Standart sapma gerçek maliyeti temsil etmektedir.

Eş. 6.7'de çıktı fonksiyonu denklemi, ortalama gerçek maliyet ve standart sapma gerçek maliyet değerleri yerine konularak tahmini maliyet denklemi ortaya konulmuştur.

$$TM = (d * GM_{sd}) + \overline{GM} \quad (6.7)$$

TM

$$= 7978213,46$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{3309526,41}{1 + e^{-\left(-0,289879 - 0,063323 * \frac{D-385,714285}{230,335536} - 5,086216 * \frac{L-5916,472527}{12585,593651} - 0,111547 * \frac{H-3,078516}{1,380823} - 0,232937 * \frac{KKK-1,824395}{0,468180}\right)}} \\
& - \frac{1940316,50}{1 + e^{-\left(-0,924269 - 0,416951 * \frac{D-385,714285}{230,335536} + 6,394129 * \frac{L-5916,472527}{12585,593651} - 1,216757 * \frac{H-3,078516}{1,380823} + 0,477635 * \frac{KKK-1,824395}{0,468180}\right)}} \\
& - \frac{5016715,63}{1 + e^{-\left(3,656249 - 0,077909 * \frac{D-385,714285}{230,335536} - 1,186647 * \frac{L-5916,472527}{12585,593651} - 0,256108 * \frac{H-3,078516}{1,380823} - 0,144338 * \frac{KKK-1,824395}{0,468180}\right)}}
\end{aligned}$$

Yukarıdaki eşitlikte işlemler ve sadeleştirmeler yapıldıktan sonra nihai tahmini maliyet denklemi belirlenmiş ve Eş. 6.28'de sunulmuştur.

$$\begin{aligned}
TM = 7978213,46 & - \frac{3309526,41}{1 + e^{-(3,363581 - 0,000275 * D - 0,000404 * L - 0,080783 * H - 0,497537 * KKK)}} \\
& - \frac{1940316,50}{1 + e^{-(-2,380430 - 0,001810 * D + 0,000508 * L - 0,881182 * H + 1,020195 * KKK)}} \\
& - \frac{5016715,63}{1 + e^{-(5,477996 - 0,000338 * D - 0,000094 * L - 0,185475 * H - 0,308296 * KKK)}}
\end{aligned} \tag{6.28}$$

Burada;

D : Boru çapı (mm)

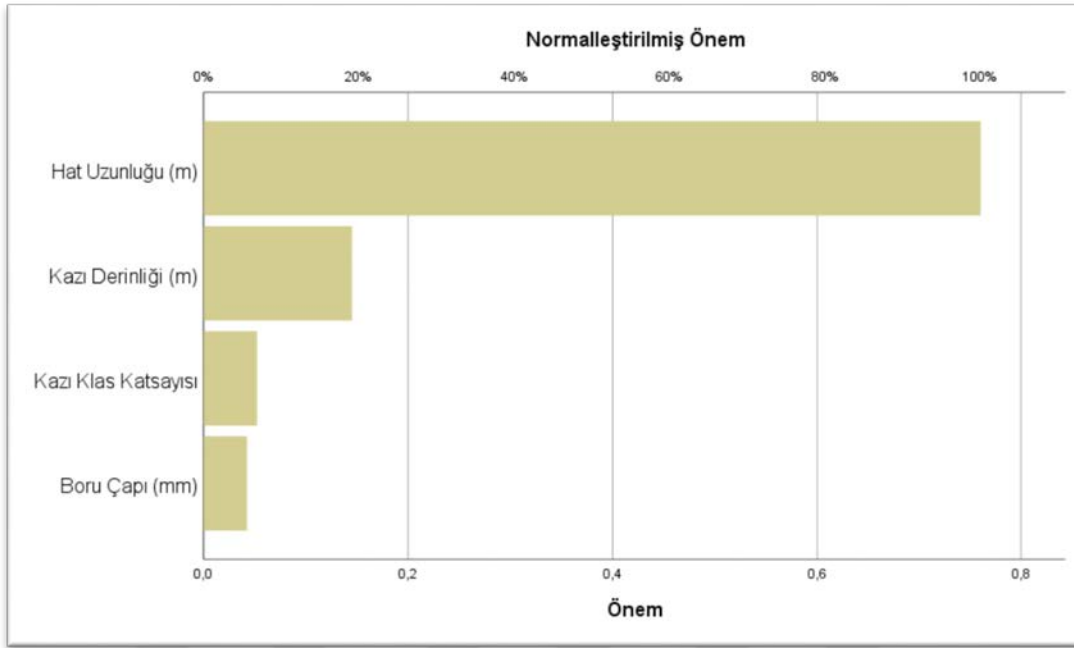
L : Hat uzunluğu (m)

KKK : Kazı klas katsayısı

H : Kazı derinliği (m)

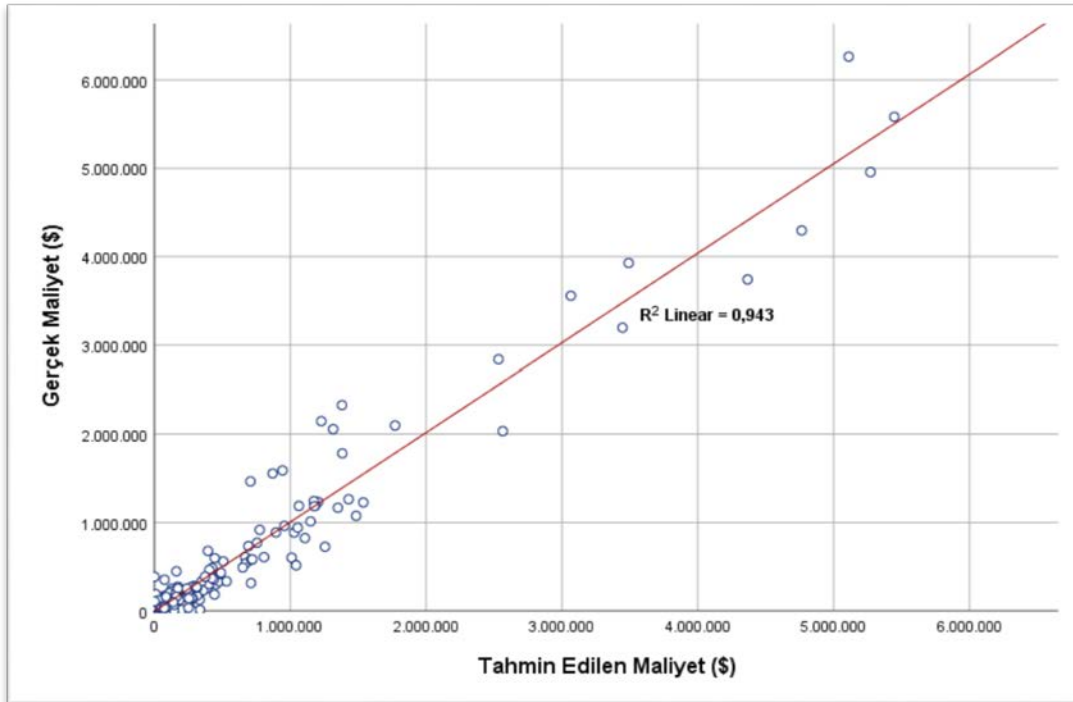
TM : Tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

Şekil 6.54'te gösterilen normalleştirilmiş önem analizi sonuçlarına göre gerçek maliyet üzerinde en yüksek öneme sahip olan parametre hat uzunluğu parametresidir. Maliyeti etkileyen diğer değişkenlerin önem derecesi ise sırasıyla kazı derinliği, kazı klas katsayısı ve boru çapı parametreleridir.



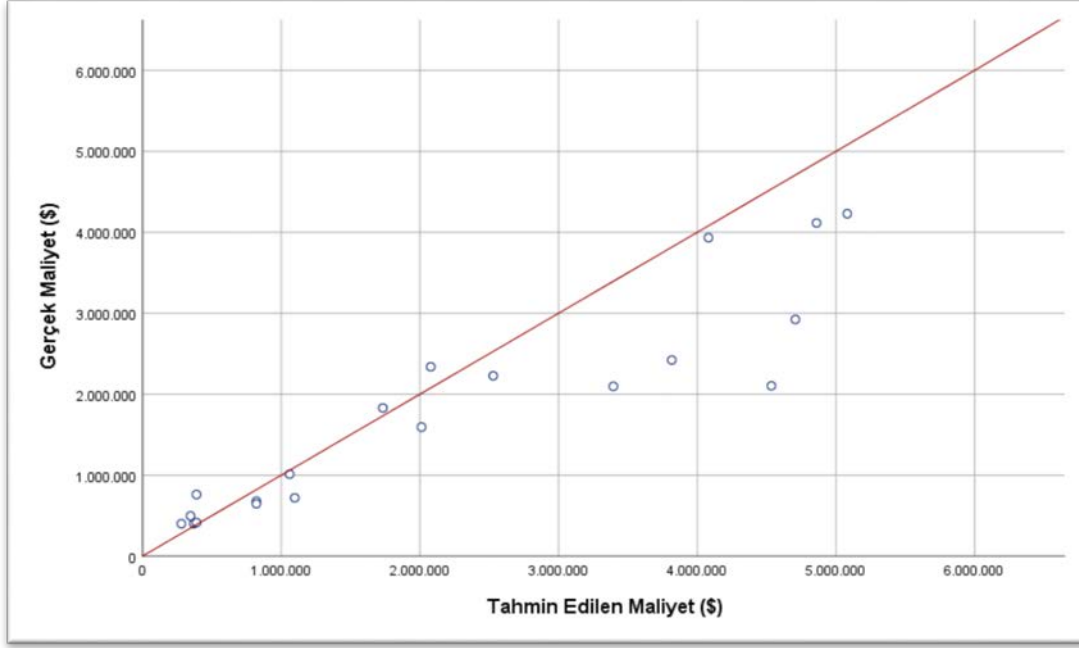
Şekil 6.54. YSA analizinde kullanılan değişkenlerin önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri

Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA modeli ile tahmin edilen kanalizasyon hattı maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında RA yapılmış ve $R^2=0,943$ olarak belirlenmiştir (Şekil 6.55).



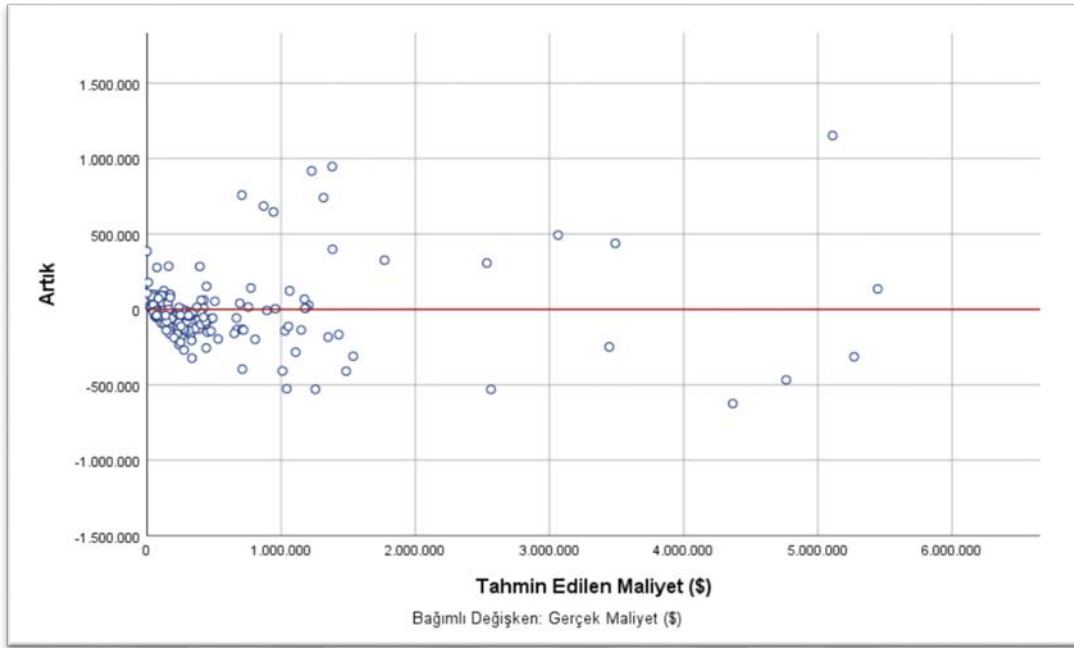
Şekil 6.55. YSA R^2 grafiği

Nihai maliyet denklemini test etmek için 20 adet kanalizasyon hattı projesine ait hat uzunluğu verileri kullanılmıştır. Denklemler ile belirlenen tahmini maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 6.56'da verilmiştir. Kanalizasyon boru hattı gerçek maliyetlerini, nihai tahmini maliyet denklemi ile belirlenen maliyetler %78,54 doğrulukla belirlemiştir.



Şekil 6.56. YSA ile tahmin edilen maliyet-gerçek maliyet kıyaslaması

Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA analizinde tahmin edilen maliyetin artık grafiği Şekil 6.57'de verilmiştir. Şekil 6.57 incelendiğinde tahmin edilen kanalizasyon boru hattı maliyet değerlerinin eksen çizgisi etrafında başarılı bir dağılım gösterdiği söylenebilir.



Şekil 6.57. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet - artık grafiği

6.4.1. En başarılı YSA denklemi ile örnek maliyet tahmini hesaplanması

Boru çapı, hat uzunluğu, kazı derinliği, kazı klas katsayısı ve gerçek maliyet parametreleri kullanılarak YSA ile oluşturulmuş nihai maliyet denklemini test etmek için test verilerinden rastgele seçilen bir projenin parametreleri alınmış ve denklemden yerine konularak maliyet tahmini yapılmıştır. Test için kullanılan örnek projeye ait parametreler ve değerleri Çizelge 6.16’da verilmiştir.

Çizelge 6.16. Değişkenler ve test değerleri

Değişken	Parametre	Test Değeri
Gerçek Maliyet (\$)	-	401760,67
Boru Çapı (mm)	D	200
Hat Uzunluğu (m)	L	5450
Kazı Derinliği (m)	H	2,17
Kazı Klas Katsayısı	KKK	2,35

Daha sonra, Çizelge 6.16’daki parametre değerleri Eş. 6.28’de yerine konularak kanalizasyon boru hattı maliyet tahmini yapılmıştır.

$$\begin{aligned}
 TM &= 7978213,46 - \frac{3309526,41}{1 + e^{-(3,363581-0,000275*D-0,000404*L-0,080783*H-0,497537*KKK)}} \\
 &\quad - \frac{1940316,50}{1 + e^{-(2,380430-0,001810*D+0,000508*L-0,881182*H+1,020195*KKK)}} \\
 &\quad - \frac{5016715,63}{1 + e^{-(5,477996-0,000338*D-0,000094*L-0,185475*H-0,308296*KKK)}}
 \end{aligned}
 \tag{6.28}$$

$$\begin{aligned}
 TM &= 7978213,46 \\
 &\quad - \frac{3309526,41}{1 + e^{-(3,363581-0,000275*200-0,000404*5450-0,080783*2,17-0,497537*2,35)}} \\
 &\quad - \frac{1940316,50}{1 + e^{-(2,380430-0,001810*200+0,000508*5450-0,881182*2,17+1,020195*2,35)}} \\
 &\quad - \frac{5016715,63}{1 + e^{-(5,477996-0,000338*200-0,000094*5450-0,185475*2,17-0,308296*2,35)}} \\
 &= 369610,76
 \end{aligned}$$

Hesaplamalar sonucunda gerçek maliyet değeri 401760,67 \$ olan projenin, tahmin edilen maliyet değeri 369610,76 \$ olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak YSA ile geliştirilen formül kullanılarak yapılan tahmin, gerçek maliyeti % 92,00 doğrulukta tespit edebilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin sistematik ve gerçeğe daha yakın olarak tahmin edilebilmesi için bir yöntem önerisinde bulunulmuştur. Bu amaçla, kanalizasyon boru hattı inşaat maliyetlerinin ön tahmini için 202 adet kanalizasyon boru hattı projesi ele alınmıştır. Ele alınan projelerin rapor, çizim, metraj ve keşif verileri temin edilmiştir. Elde edilen projeler üzerinden kanalizasyon boru hattı inşaat maliyeti çıktı değişkenini etkileyebilecek; boru çapı, hat uzunluğu, kazı derinliği, baca miktarı, kazı miktarı, dolgu miktarı ve kazı klası parametreleri seçilmiştir. Girdi bağımsız değişkenleri ile çıktı bağımlı değişkeni arasındaki korelasyonlar hesaplanmış ve korelasyon sonuçlarına göre bazı girdi değişkenleri elenmiştir. Eleme sonucunda kanalizasyon boru hattı projeleri üzerinden nispeten kolay ve hızlı bir şekilde belirlenebilen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve gerçek maliyet parametreleri analizlerde kullanılmıştır. Oluşturulan modellerde 182 adet kanalizasyon boru hattı projesi eğitim verisi, 20 adet kanalizasyon boru hattı projesi ise test verisi olarak kullanılmıştır. Bu elemelerde ilk olarak değişkenin güncel maliyet ile yüksek korelasyona sahip olmasına, ikinci olarak ise değişkenin diğer değişkenler ile çok yüksek korelasyona sahip olmamasına dikkat edilmiştir. Seçilen parametreler kullanılarak “SPSS Statistics 25” yazılımı ile RA ve YSA analizleri yapılmıştır.

Yapılan tek değişkenli RA içerisinde $R^2=0,899$ katsayısı ile en yüksek ilişki düzeyine sahip analiz kanalizasyon boru hattı uzunluğu ile gerçek maliyet arasında yapılan RA sonucunda bulunmuştur. Diğer değişkenler ile gerçek maliyet değerleri arasında yapılan RA sonuçlarında ise R^2 değerleri çok düşük çıkmıştır.

Yapılan iki değişkenli RA içerisinde $R^2=0,907$ katsayısı ile en yüksek ilişki düzeyine sahip analiz kanalizasyon boru hattı uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet değerleri arasında yapılan RA sonucunda bulunmuştur. İkinci en iyi sonuç $R^2=0,905$ katsayısı ile kanalizasyon boru hattı uzunluğu ve boru çapı ile gerçek maliyet değerleri arasında, üçüncü en yüksek ilişki $R^2=0,900$ değeri ile kanalizasyon boru hattı uzunluğu ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet değerleri arasında yapılan RA sonucunda tespit edilmiştir. Diğer değişkenler ile gerçek maliyet arasında yapılan RA sonuçlarında ise R^2 değerleri oldukça düşük çıkmıştır.

Yapılan üç değişkenli RA içerisinde $R^2=0,910$ katsayısı ile en yüksek ilişki düzeyine sahip

analiz kanalizasyon boru hattı uzunluğu, kazı derinliği ve boru çapı ile gerçek maliyet değerleri arasında yapılan RA sonucunda bulunmuştur. İkinci en iyi sonuç $R^2=0,909$ katsayısı ile kanalizasyon boru hattı uzunluğu, kazı derinliği ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet değerleri arasında, üçüncü en iyi sonuç $R^2=0,905$ katsayısı ile kanalizasyon boru hattı uzunluğu, boru çapı ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet değerleri arasında belirlenmiştir. Üç değişkenli RA içerisinde en düşük ilişki düzeyi $R^2=0,060$ değeri ile kazı derinliği, boru çapı ve kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet değerleri arasında yapılan RA sonucunda bulunmuştur.

Tüm değişkenlerin kullanıldığı RA sonucunda $R^2=0,911$ oranı ile en yüksek ilişki derecesine ulaşılmıştır. İlişki derecesinin en yüksek olduğu RA ait denklem Eş. 6.23'te verilmiştir. Bu denklem ile daha önceden belirlenmiş olan 20 adet kanalizasyon hattı projesine ait test verisi kullanılarak maliyet tahminleri yapılmış ve gerçek maliyet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Tahmin edilen kanalizasyon boru hattı maliyetleri ile gerçek maliyetler arasındaki en yüksek doğruluk oranı %77,60 ile dört değişkenli denklem neticesinde ortaya çıkmıştır.

RA'da $R^2=0,911$ ile en yüksek ilişki derecesine sahip denklemin ortaya çıkarılması için kullanılan parametreler olan boru çapı, hat uzunluğu, kazı derinliği, kazı klas katsayısı ile gerçek maliyet değerleri YSA analizlerinde de kullanılmıştır.

YSA analiz modelleri geliştirilirken yazılım tarafından otomatik olarak seçilen mimariler ile kullanıcı tarafından seçilen gizli katman sayısının 1 veya 2 olduğu durumlar için ayrı ayrı aktivasyon fonksiyonunun sigmoid veya hiperbolik tanjant olduğu kombinasyonlar denenmiş ve en başarılı ağ mimarisi ve aktivasyon fonksiyonuna sahip model belirlenmiştir.

Yapılan denemeler sonucunda en iyi tahmin gücüne sahip YSA modeli gizli katman sayısı 1 ve aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan YSA modeli olmuştur. Oluşturulan bu modelde 182 adet kanalizasyon boru hattı projesi eğitim verisi, 20 adet kanalizasyon boru hattı projesi ise test verisi olarak kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan girdi parametrelerinin normalleştirilmiş önem analizi sonuçlarına göre; gerçek maliyet üzerinde en yüksek öneme sahip olan parametre hat uzunluğu parametresidir. Maliyeti etkileyen diğer değişkenlerin önem derecesi ise sırasıyla kazı derinliği, kazı klas katsayısı ve boru çapıdır.

Tüm değişkenlerin kullanıldığı YSA sonucunda $R^2=0,943$ oranı ile en yüksek ilişki derecesine ulaşılmıştır. İlişki derecesinin en yüksek olduğu YSA modeline ait denklem Eş.

6.28’de verilmiştir. Denklemin oluşturulması için YSA analizleri sırasında toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu, çıktı fonksiyonu ve parametre ağırlıkları kullanılmıştır. Bu denklem ile daha önceden belirlenmiş olan 20 adet kanalizasyon hattı projesine ait test verisi kullanılarak maliyet tahminleri yapılmış ve gerçek maliyet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Tahmin edilen kanalizasyon boru hattı maliyetleri ile gerçek maliyetler arasındaki en yüksek doğruluk oranı %78,54 olarak tespit edilmiştir.

Sonuçta, YSA ile oluşturulan denklem kullanılarak tahmin edilen kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin, RA ile ortaya konulan denklem ile tahmin edilen kanalizasyon boru hattı maliyetlerine göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. YSA ile oluşturulan denklemin kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin tahmininde güvenli bir şekilde kullanılabileceği değerlendirilmiştir.



KAYNAKLAR

1. Yıldız, S., Namal, O. Ö., & Çekim, M. (2013). Atık Su Arıtma Teknolojilerindeki Tarihsel Gelişimler. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 55-67.
2. İnternet: İsbet Beton Boru. Kanalizasyon Sisteminin Tarihçesi URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.isbet.com.tr%2Fs.72.kanalizasyon-sistem-in-tarihcesi-.html&date=2016-12-02>, Son Erişim Tarihi: 02.12.2016.
3. Işık, M. K. (2007). *Atık Su ve İçme Suyu Şebeke Hizmetlerinde Özelleştirme*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
4. Muslu, Y. (1996). *Atıksuların Arıtılması* (Cilt 1). İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 1-13.
5. Sueri, M. (2016). *Kanalizasyon Hattı Maliyetlerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
6. Swamee, P. K. (2001). Design of Sewer Line. *Journal of Environmental Engineering*, 127(9), 1-6.
7. Bildik, A. (1998). *Normal Basınç Dayanımlı Beton Karışımlarının Yapay Sinir Ağları ile Hesaplanması*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
8. Lee, S. (2003). Prediction of Concrete Strength Using Artificial Neural Networks. *Engineering Structures*, 25(7), 849-857.
9. Tortum, A. (2003). *Yapay Sinir Ağları ve Birleştirilmiş Sinirsel Bulanık Sistemler ile Şehirlerarası Yük Taşınması Tür Seçiminin Modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
10. Şahin, M., & Sheno, R. A. (2003). Quantification and Localisation of Damage in Beam-Like Structures by Using Artificial Neural Networks with Experimental Validation. *Engineering Structures*, 25(14), 1597-1610.
11. Özsoy, İ., & Fırat, M. (2004). Kirişsiz Döşemeli Betonarme Bir Binada Oluşan Yatay Deplasmanın Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 51-63.
12. Gülhan, İ. (2005). *Öngerilmeli Betondan Sandık Kesitli Köprülerin Yapay Sinir Ağları ile Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

13. Sarıbiyık, M., Çağlar, N., & Fırat, S. (2005). Design Of A Short Tensile Coupon for Fibre Reinforced Plastic Using Artificial Neural Networks. *Science and Engineering of Composite Materials*, 4(12), 261-271.
14. Çamcı, F. (2006). *Yapay Sinir Ağları Kullanılarak İzostatik Kafes Sistem Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
15. Keleşoğlu, Ö., & Fırat, A. (2006). Tuğla Duvardaki ve Tesisattaki Isı Kaybının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(1), 133-141.
16. Acır, Ş. (2007). *Beton Basınç Dayanımlarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
17. Özbayrak, A. (2008). *Kirişsiz Döşemeli Betonarme Yapıların Yatay Kuvvetler Altında Rijitlik Değerlerinin Yapay Sinir Ağları ile Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
18. Doğan, E., Işık, S., & Sandalcı, M. (2007). Günlük Buharlaşmanın Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tahmin Edilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 4119-4131.
19. Göktepe, F., Arman, H., Doğan, E., & Sandalcı, M. (2009). *Yapay Sinir Ağları ile Adapazarı Killerinin Sınıflandırılmasında İstatistiksel Analiz*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu. Karabük. 2236-2241.
20. Garip, Z. Ş. (2011). *Yapay Sinir Ağları ile Mevcut Yapıların Deprem Riski Açısından Durum Tespiti*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
21. Çiçek, E. (1994). *İçme Suyu Şebekelerinin Bilgisayarlarla Çözümü*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
22. Koç, A. C. (1995). *Su Dağıtım Şebekelerinin Bilgisayar Kullanılarak İncelenmesi. Örnek Problem: Denizli'nin Bir Bölgesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
23. Elazouni, A. M., Ibrahim A. Nosair, Y. A., & Mohamed, A. G. (1997). Estimating Resource Requirements at Conceptual Design Stage Using Neural Networks. *Journal Of Computing In Civil Engineering*(11), 217-223.
24. Shtub, A., & Versano, R. (1998). Estimating the Cost of Steel Pipe Bending, A Comparison Between Neural Networks and Regression Analysis. *International Journal of Production Economics*(62), 201-207.
25. Hegazy, T., & Ayed, A. (1998). Neural Network Model for Parametric Cost Estimation of Highway Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124, 210-218.

26. Bayraktar, M. (1998). *Kanal Altyapı Projelerinin Bilgisayar Ortamında Hazırlanması ve Maliyet Hesabı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
27. Saraç, T. (2004). *Yapay Sinir Ağları*. Seminer Projesi, Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara.
28. Kim, G. H., An, S. H., & Kang, K. I. (2004). Comparison of Construction Cost Estimating Models Based on Regression Analysis, Neural Networks, and Case-Based Reasoning. *Building and Environment*, 39 (10), 1235-1242.
29. Sodikov, J. (2005). Cost Estimation of Highway Projects in Developing Countries: Artificial Neural Network Approach. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 1036-1047.
30. Baykan, U. N. (2007). *İnşaat Projelerinde Kaynak İhtiyacının Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Tahmini*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
31. Uğur, L. O. (2007). *Yapı Maliyetinin Yapay Sinir Ağı ile Analizi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
32. Demirel, Y. (2007). Toplu Konut İnşaat Maliyetlerinin Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4), 53-60.
33. Öztürk, E. (2009). *Cost Estimation Of Trackworks Of Light Rail And Metro Projects*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
34. Smith, A. E., & Mason, A. K. (2010). Cost Estimation Predictive Modeling: Regression Versus Neural Network. *The Engineering Economist*, 42(2), 137-161.
35. Tulpar, H. (2010). *Kanalizasyon Şebekelerinde Kullanılan Boruların Hidrolik ve Maliyet Açısından Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
36. Ü Gülçiçek, Ü. (2011). *Yapı Parametrelerinin Değişimi ile Yaklaşık Kaba İnşaat Maliyet Tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
37. Uğur, L. O., Baykan, U. N., & Korkmaz, S. (2011, 25-27 Kasım). *Yığma Konutların Maliyet Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının (YSA) Kullanılması*. 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, Bursa, 65-85.
38. Bahadır, Y. (2013). *Cam Elyaf Katkılı Cephe Kaplama Elemanlarına Yönelik Teklif Fiyatı Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının (YSA) Kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

39. Kasaplı, K. (2014). *İçmesuyu Şebekelerinde Maliyet Tahmini Amacıyla Yapay Sinir Ağları Kullanımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
40. Yılmaz, M., Kanıt, R., Erdal, M., Yıldız, S., & Bakış, A. (2016). Bina Bakım Onarım Ödeneklerinin Etkin Kullanımı Maksadıyla İhale Bedelini Etkileyen Faktörlerin Yapay Sinir Ağları ve Lineer Regresyon Yöntemleri ile Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 19(4), 461-470.
41. Çakar, T. (2017). Otomotiv Endüstrisinde Yapay Sinir Ağı Kullanarak Maliyet Tahmin Modeli Geliştirme. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 237-249.
42. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. *ÇŞİDB*. Ankara, 1-33.
43. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2017). Atıksu Toplama ve Uzaklaştırma Sistemleri Hakkında Yönetmelik. *ÇŞİDB*. Ankara, 1-27.
44. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2006). Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği. *ÇŞİDB*. Ankara, 1-13.
45. Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi. (2011). Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliği. *ASKİ*. Ankara, 1-68.
46. İller Bankası A.Ş. (2002). Kanalizasyon İşlerinin Planlaması ve Projelerinin Hazırlanmasına ait Talimatname. *İLBANK*. Ankara, 1-22.
47. İller Bankası A.Ş. (2008 (a)). Kanalizasyon İnşaatlarına ait Özel ve Teknik Şartname. *İLBANK*. Ankara, 1-23.
48. İller Bankası A.Ş. (2008 (b)). Kanalizasyon İşlerine ait İnşaat ve Tesisat İşleri Kabul Özel Şartnamesi. *İLBANK*. Ankara, 1-16.
49. UISCE, W. (2017). *Code of Practice for Wastewater Infrastructure*. Irish.
50. İller Bankası A.Ş. (2019). İlbank A.Ş. Fotoğraf Arşivleri. *İLBANK*. Ankara.
51. City of San Diego Public Utilities Department. (2013). *Sewer Design Guide*. City of San Diego.
52. İzgi, D. (2006). *Atıksu Toplama Sistemlerinde Kullanılan Boruların Verimlilik Açısından Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
53. Ministry of Housing and Urban Affairs, G. o. (2013). *Manual on Sewerage and Sewage Treatment Systems Chapter 3: Design And Construction of Sewers*. India: Central Public Health & Environmental Engineering Organisation (CPHEEO).

54. Owensboro Metropolitan Public Improvement Specification. (2011). *Owensboro Metropolitan Subdivision Regulations – Appendix A – Public Improvement Specifications Chapter 5 Sanitary Sewers*. Owensboro.
55. Tennessee Department of Public Works Engineering Division. (2003). *Sanitary Sewer System Design and Construction Manual*. City of Chattanooga.
56. İller Bankası A.Ş. (2013). İçmesuyu Tesisleri Etüt, Fizibilite ve Projelerinin Hazırlanmasına ait Teknik Şartname. *İLBANK*. Ankara, 1-15.
57. Yılmaz, A. G. (2005). *İçmesuyu ve Kanalizasyon Bilgi Sistemi (İKANBİS)*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
58. Subaşı, S., & Beycioğlu, A. (2008). Farklı Tahmin Yöntemleri Kullanılarak Kırmataş Kalker Agregalı Betonların Basınç Dayanımının Belirlenmesi. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 3(4), 580-589.
59. Neter, J., Kunter, M., Nachtsheim, W., & Wasserman, C. (1996). *Applied Linear Regression Models*. Chicago: The Mc Graw-Hill Companies, Inc.
60. Hamzaoglu, S. (2013). *Çoklu Regresyon Yöntemlerinde Güç Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
61. Draper, N., & Smith, H. (1998). *Applied Regression Analysis*. New York: John Wiley&Sons, Inc.
62. Gujarati, D. (2005). *Temel Ekonometri*. İstanbul: Literatür Yayıncılık, 7-22.
63. Özdamar, K. (1999). *Paket Programları ile İstatistiksel Veri Analizi 1: Minitab*. Eskişehir: SPSS, 1-76.
64. Tanış, C. (2016). *Akademik Başarıyı Etkileyen Faktörlerin Lojistik Regresyon Analizi ile İncelenmesi: Selçuk Üniversitesi Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
65. Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları (Üçüncü Baskı)*. İstanbul: Papatya Yayıncılık, 1-37.
66. Toraman, C. (2008). Demir-Çelik Sektöründe Yapay Sinir Ağları ile Hisse Senedi Fiyat Tahmini: Erdemir A.Ş. ve Kardemir A.Ş. Üzerine Bir Tahmin Uygulaması. *Muhasebe ve Finansman Dergisi* (39), 44 - 57.
67. Erdal, M. (2009). Prediction of the Compressive Strength of Vacuum Processed Concretes Using Artificial Neural Network And Regression Techniques. *Scientific Research and Essay*, 4(10), 1057-1065.

68. Demirel, E. (2009). *Öngerilmeli Betondan Prefabrik Kirişli Demiryolu Köprülerinin Yapay Sinir Ağları ile Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
69. Köseokur, H. (2007). *İnşaat Sektöründe Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Alt Yüklenici Seçimi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
70. Y. Bölükbaş, Y. (2011). *Cam Elyaf Katkılı Beton Numunelerin Mekanik Davranışlarının İncelenmesi ve Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
71. Karataş, E. K. (2011). *Yapay Sinir Ağları ile Yazılım Projesi Maliyet Tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
72. Battal, Ö. (2012). *Beton Yollarda Yüzeydeki Sürtünme Katsayısı Kaybının Yapay Sinir Ağlarıyla Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
73. Gökdemir, A. (2010). *İklim Parametreleri Kullanılarak Yapay Sinir Ağları ile Dış Düz Siva Performansının Tahmini*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
74. Hamzaçebi, C. (2011). *Yapay Sinir Ağları: Tahmin Amaçlı Kullanımı Matlab ve Neurosolutions Uygulamalı*. Bursa: Ekin Yayınevi, 13-24.
75. Doğan, G. (2010). *Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Türkiye'deki Özel Bir Sigorta Şirketinde Portföy Değerlendirmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
76. Elbistanlı, G. (2007). *HVAC Sisteminin MLP Tipi Yapay Sinir Ağları (YSA) Kullanarak Denetlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
77. Ayvaz, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları ve Paralel Akışlı Isı Eşanjörlerinde Uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
78. Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., & M., E. (2003). *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I: Yapay Sinir Ağları*. Kayseri: Ufuk Kitap Kırtasiye Yayıncılık, 25-65.
79. Türker, M., & Kanit, R. (2020). Yapı Üretim Sürecindeki İş Kazaları Şiddetinin Ön Bilgilendirilmiş Yapay Öğrenme Metodu ile Tahmini. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(4), 943-956.



GAZİ GELECEKTİR...