



**KANALİZASYON HATTI MALİYETLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI  
İLE TAHMİNİ**

**Murat SÜERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2016**

Murat SÜERİ tarafından hazırlanan “KANALİZASYON HATTI MALİYETLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Mürsel ERDAL

.....

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

**Başkan:** Prof. Dr. Seyhan FIRAT

.....

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

**Üye:** Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN

.....

Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 21/12/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## 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

21/12/2016

# KANALİZASYON HATTI MALİYETLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Murat SUERİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2016

## ÖZET

Bu çalışmada, kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin erken tahmini için bir yöntem önerisinde bulunulmuştur. Bu amaç için İller Bankası AŞ'den temin edilen 67 adet kanalizasyon boru hattı projesi kullanılmıştır. Kanalizasyon boru hattı projeleri üzerinden nispeten kolay ve hızlı bir şekilde belirlenebilen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı ve gerçek maliyet parametreleri analizlerde kullanılmıştır. Analizler “SPSS Statistics 20” yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. 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.

Bilim Kodu : 91129

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

Sayfa Adedi : 103

Danışman : Doç. Dr. Mürsel ERDAL

## ESTIMATING SEWER LINE COSTS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

(M. Sc. Thesis)

Murat SÜERİ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2016

## ABSTRACT

In this study, a method for early estimation of sewer pipeline costs was proposed. For this purpose, 67 sewer pipeline projects obtained from İller Bankası Inc. were used. Depth of excavation, pipe diameter, line length, number of manholes and real cost parameters have been used for analysis which can be determined relatively easily and quickly through sewer pipeline projects. Analyses were performed with "SPSS Statistics 20" software. Regressions Analysis (RA) has been developed using these parameters and formulas have been developed that can be used to estimate the costs of sewer pipelines. Artificial Neural Networks (ANN) analyzes were then performed using the same parameters and the estimated sewer pipeline costs were compared with estimates made with RA. According to the findings obtained, the estimations of sewer pipeline costs made with ANN gave more accurate results than the cost estimations made with developed formulas by RA.

Science Code : 91129

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

Page Number : 103

Supervisor : Assoc. 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 Doç. Dr. Mürsel ERDAL'a, verilerin temininde yardımcı olan İller Bankası AŞ'ye ve teknik konularda destek olan İller Bankası AŞ'de görev yapan Teknik Uzman Emre AYTAÇ'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. Beraber her işin üstesinden gelebildiğim kardeşim Serhat Sueri'ye teşekkür ederim. Okumaya, öğrenmeye, çalışmaya ve araştırmaya yönelik bir yaşamı paylaşmanın zorluklarına göğüs geren ve desteklerini esirgemeyen hayat arkadaşım Pınar Sueri'ye ve canım oğlum Çınar Sueri'ye de teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                         | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖZET .....                                                              | iv           |
| ABSTRACT.....                                                           | v            |
| TEŞEKKÜR.....                                                           | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....                                                       | vii          |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                               | x            |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....                                                | xii          |
| RESİMLERİN LİSTESİ .....                                                | xvi          |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                            | xvii         |
| 1. GİRİŞ.....                                                           | 1            |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI.....                                              | 5            |
| 3. KANALİZASYON HATLARI.....                                            | 11           |
| 3.1. Kanalizasyon Sistemlerinde Kullanılan Borular .....                | 11           |
| 3.1.1. Beton - betonarme borular .....                                  | 11           |
| 3.1.2. Yüksek yoğunluklu polietilen malzeme esaslı korige borular ..... | 12           |
| 3.1.3. Cam takviyeli plastik borular .....                              | 14           |
| 3.2. Kanalizasyon Sistemlerinde Kullanılan Bacalar .....                | 15           |
| 3.2.1. Muayene bacaları .....                                           | 15           |
| 3.2.2. Şütlü bacalar.....                                               | 16           |
| 3.2.3. Yıkama bacaları .....                                            | 16           |
| 3.3. Parsel Bacaları ve Hatları.....                                    | 17           |
| 3.4. Diğer Mühendislik Yapıları .....                                   | 17           |
| 3.4.1. Terfi merkezleri.....                                            | 17           |
| 3.4.2. Dolu savaklar .....                                              | 18           |
| 3.4.3. Kuşaklama kanalları.....                                         | 18           |
| 3.4.4. Sifonlar ve ters sifonlar .....                                  | 18           |



|                                                                   | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------|--------------|
| 3.4.5. Karayolu, demiryolu, akarsu, kanal ve köprü geçişleri..... | 18           |
| 3.4.6. Fosseptikler .....                                         | 19           |
| 3.4.7. Himaye çiti .....                                          | 19           |
| 3.4.8. Sayısal işletme planı.....                                 | 19           |
| <b>4. MALİYET TAHMİNİNDE KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ.....</b>    | <b>21</b>    |
| 4.1. Regresyon Analizi (RA).....                                  | 21           |
| 4.1.1. Basit doğrusal regresyon analizi .....                     | 22           |
| 4.2. Yapay Sinir Ağları (YSA).....                                | 24           |
| 4.2.1. Yapay sinir ağlarının tarihçesi .....                      | 25           |
| 4.2.2. Yapay sinir hücresi ve çalışma prensipleri.....            | 26           |
| 4.2.3. Girdiler .....                                             | 26           |
| 4.2.4. Ağırlıklar .....                                           | 26           |
| 4.2.5. Birleştirme (toplama) fonksiyonu .....                     | 26           |
| 4.2.6. Transfer (aktivasyon) fonksiyonu .....                     | 27           |
| 4.2.7. Yapay sinir ağlarının tasarımı .....                       | 29           |
| 4.2.8. YSA ağ yapısının seçimi.....                               | 29           |
| 4.2.9. Öğrenme algoritmasının seçimi .....                        | 30           |
| 4.2.10. Ara katman sayısını belirleme.....                        | 31           |
| 4.2.11. Nöron sayısını belirleme .....                            | 31           |
| 4.2.12. Normalizasyon .....                                       | 31           |
| 4.2.13. Performans fonksiyonunun seçimi.....                      | 32           |
| 4.2.14. YSA'nın avantajları .....                                 | 33           |
| 4.2.15. YSA'nın dezavantajları.....                               | 35           |
| 4.2.16. İnşaat mühendisliğinde YSA uygulamaları .....             | 35           |
| <b>5. VERİLERİN TOPLANMASI VE ANALİZLERİN YAPILMASI.....</b>      | <b>37</b>    |

|                                                                                                         | <b>Sayfa</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 5.1. Verilerin Toplanması .....                                                                         | 37           |
| 5.2. Çalışmada İzlenen Yol .....                                                                        | 38           |
| 5.3. Regresyon Analizi İle Geliştirilen Tahmin Modelleri.....                                           | 38           |
| 5.3.1. Tek değişkenli doğrusal regresyon analizleri.....                                                | 38           |
| 5.3.2. İki değişkenli lineer regresyon analizleri .....                                                 | 47           |
| 5.3.3. Üç değişkenli lineer regresyon analizleri.....                                                   | 59           |
| 5.3.4. Dört değişkenli lineer regresyon analizi .....                                                   | 69           |
| 5.4. YSA İle Kurulan Tahmin Modelleri .....                                                             | 73           |
| 5.4.1. Otomatik mimari seçimli YSA .....                                                                | 74           |
| 5.4.2. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan<br>mimari seçimli YSA ..... | 78           |
| 5.4.3. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan<br>mimari seçimli YSA ..... | 83           |
| 5.4.4. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari<br>seçimli YSA.....             | 87           |
| 5.4.5. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari<br>seçimli YSA.....             | 92           |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                                              | 97           |
| KAYNAKLAR .....                                                                                         | 99           |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                                          | 103          |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                                                                                                               | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 3.1. Maksimum baca aralıkları .....                                                                                                                           | 15    |
| Çizelge 4.1. RA'da sebep-sonuç durumu .....                                                                                                                           | 21    |
| Çizelge 4.2. Birleştirme fonksiyonları .....                                                                                                                          | 27    |
| Çizelge 4.3. Aktivasyon fonksiyonları.....                                                                                                                            | 28    |
| Çizelge 4.4. Ağ türleri ve başarılı oldukları alanlar .....                                                                                                           | 29    |
| Çizelge 4.5. Öğrenme algoritmaları ve uygulandıkları alanlar.....                                                                                                     | 30    |
| Çizelge 4.6. Normalizasyon işlemi fonksiyonları.....                                                                                                                  | 32    |
| Çizelge 4.7. Performans kriterleri.....                                                                                                                               | 33    |
| Çizelge 5.1. Değişkenler ve değişim aralıkları .....                                                                                                                  | 37    |
| Çizelge 5.2. Analizler için seçilen değişkenler ve değişim aralıkları .....                                                                                           | 37    |
| Çizelge 5.3. RA toplu denklemler, Durbin-Watson ve $R^2$ değerleri.....                                                                                               | 72    |
| Çizelge 5.4. Otomatik mimari seçimli YSA ağ bilgisi .....                                                                                                             | 74    |
| Çizelge 5.5. Otomatik mimari seçimli YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı<br>ağırlıkları .....                                                                | 75    |
| Çizelge 5.6. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan<br>mimari seçimli YSA ağ bilgisi .....                                              | 79    |
| Çizelge 5.7. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan<br>mimari seçimli YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı<br>ağırlıkları ..... | 80    |
| Çizelge 5.8. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan<br>mimari seçimli YSA ağ bilgisi .....                                              | 83    |
| Çizelge 5.9. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan<br>mimari seçimli YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı<br>ağırlıkları ..... | 84    |
| Çizelge 5.10. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari<br>seçimli YSA ağ bilgisi .....                                                        | 88    |
| Çizelge 5.11. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari<br>seçimli YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı ağırlıkları.....               | 89    |

| <b>Çizelge</b>                                                                                                                                       | <b>Sayfa</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 5.12. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA ağ bilgisi .....                                          | 92           |
| Çizelge 5.13. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı ağırlıkları..... | 93           |



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                            | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 5.1. Boru çapı - gerçek maliyet regresyon grafiği .....                                    | 39    |
| Şekil 5.2. Boru çapı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....                         | 39    |
| Şekil 5.3. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                          | 40    |
| Şekil 5.4. Kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği.....                                | 41    |
| Şekil 5.5. Kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı .....                   | 41    |
| Şekil 5.6. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                          | 42    |
| Şekil 5.7. Hat uzunluğu - gerçek maliyet regresyon grafiği .....                                 | 43    |
| Şekil 5.8. Hat uzunluğu - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....                      | 43    |
| Şekil 5.9. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                          | 44    |
| Şekil 5.10. Baca miktarı - gerçek maliyet regresyon grafiği .....                                | 45    |
| Şekil 5.11. Baca miktarı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....                     | 46    |
| Şekil 5.12. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                         | 46    |
| Şekil 5.13. Boru çapı ve kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği .....                 | 47    |
| Şekil 5.14. Boru çapı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....        | 48    |
| Şekil 5.15. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                         | 49    |
| Şekil 5.16. Boru çapı, Hat uzunluğu - gerçek maliyet regresyon grafiği.....                      | 50    |
| Şekil 5.17. Boru çapı, hat uzunluğu - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı .....         | 50    |
| Şekil 5.18. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                         | 51    |
| Şekil 5.19. Boru çapı, baca miktarı - gerçek maliyet regresyon grafiği .....                     | 52    |
| Şekil 5.20. Boru çapı, baca miktarı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı.....          | 52    |
| Şekil 5.21. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                         | 53    |
| Şekil 5.22. Hat uzunluğu, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği .....                | 54    |
| Şekil 5.23. Hat uzunluğu, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları<br>histogramı ..... | 54    |
| Şekil 5.24. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                         | 55    |

| <b>Şekil</b>                                                                                                           | <b>Sayfa</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 5.25. Hat uzunluğu, baca miktarı - gerçek maliyet regresyon grafiği .....                                        | 56           |
| Şekil 5.26. Hat uzunluğu, baca miktarı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı .....                            | 56           |
| Şekil 5.27. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                                               | 57           |
| Şekil 5.28. Baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği .....                                      | 58           |
| Şekil 5.29. Baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı .....                          | 58           |
| Şekil 5.30. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                                               | 59           |
| Şekil 5.31. Boru çapı, hat uzunluğu, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği .                               | 60           |
| Şekil 5.32. Boru çapı, hat uzunluğu, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı .....               | 61           |
| Şekil 5.33. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                                               | 61           |
| Şekil 5.34. Boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı - gerçek maliyet regresyon grafiği...                                | 62           |
| Şekil 5.35. Boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı .....                 | 63           |
| Şekil 5.36. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                                               | 64           |
| Şekil 5.37. Boru çapı, baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği ..                              | 65           |
| Şekil 5.38. Boru çapı, baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı .....               | 65           |
| Şekil 5.39. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                                               | 66           |
| Şekil 5.40. Hat uzunluğu, baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği .....                        | 67           |
| Şekil 5.41. Hat uzunluğu, baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı .....            | 68           |
| Şekil 5.42. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                                               | 68           |
| Şekil 5.43. Boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği.....              | 69           |
| Şekil 5.44. Boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı ..... | 70           |
| Şekil 5.45. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması.....                                               | 71           |

| <b>Şekil</b>                                                                                                                                                                                     | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 5.46. Otomatik mimari seçimli YSA'da ağ şeması .....                                                                                                                                       | 75           |
| Şekil 5.47. Otomatik mimari seçimli YSA analizinde kullanılan değişkenlerin önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri.....                                                             | 76           |
| Şekil 5.48. Otomatik mimari seçimli YSA R <sup>2</sup> grafiği.....                                                                                                                              | 77           |
| Şekil 5.49. Otomatik mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet-gerçek maliyet kıyaslaması .....                                                                                               | 77           |
| Şekil 5.50. Otomatik mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet - artık grafiği.....                                                                                                           | 78           |
| Şekil 5.51. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA'da ağ şeması .....                                                                           | 79           |
| Şekil 5.52. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA analizinde kullanılan değişkenlerin önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri..... | 80           |
| Şekil 5.53. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA R <sup>2</sup> grafiği .....                                                                 | 81           |
| Şekil 5.54. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet-gerçek maliyet kıyaslaması .....                                   | 82           |
| Şekil 5.55. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet - artık grafiği.....                                               | 82           |
| Şekil 5.56. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA'da ağ şeması .....                                                                           | 84           |
| Şekil 5.57. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA analizinde kullanılan değişkenlerin önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri..... | 85           |
| Şekil 5.58. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA R <sup>2</sup> grafiği .....                                                                 | 86           |
| Şekil 5.59. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet-gerçek maliyet kıyaslaması .....                                   | 86           |
| Şekil 5.60. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet - artık grafiği.....                                               | 87           |
| Şekil 5.61. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA'da ağ şeması.....                                                                                       | 88           |

| Şekil                                                                                                                                                                                  | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 5.62. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA analizinde kullanılan değişkenlerin önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri ..... | 89    |
| Şekil 5.63. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA $R^2$ grafiği .....                                                                           | 90    |
| Şekil 5.64. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet-gerçek maliyet kıyaslaması.....                                     | 91    |
| Şekil 5.65. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet - artık grafiği .....                                               | 91    |
| Şekil 5.66. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA'da ağ şeması.....                                                                             | 93    |
| Şekil 5.67. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA analizinde kullanılan değişkenlerin önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri ..... | 94    |
| Şekil 5.68. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA $R^2$ grafiği .....                                                                           | 95    |
| Şekil 5.69. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet-gerçek maliyet kıyaslaması.....                                     | 95    |
| Şekil 5.70. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet-artık grafiği .....                                                 | 96    |



**RESİMLERİN LİSTESİ**

| <b>Resim</b>                                                      | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------|--------------|
| Resim 3.1. Betonarme boru üretimi.....                            | 12           |
| Resim 3.2. Kanalizasyon inşaatında betonarme boru uygulaması..... | 12           |
| Resim 3.3. Koruge boru üretimi .....                              | 13           |
| Resim 3.4. Kanalizasyon inşaatında koruge boru uygulaması .....   | 13           |
| Resim 3.5. CTP boru üretimi .....                                 | 14           |
| Resim 3.6. Kanalizasyon inşaatında CTP boru uygulaması .....      | 14           |
| Resim 3.7. Muayene bacası uygulaması .....                        | 16           |
| Resim 3.8. Terfi merkezi .....                                    | 17           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

### Simgeler

### Açıklamalar

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| <b>D</b>             | Çap         |
| <b>\$</b>            | Dolar       |
| <b>Ø</b>             | Çap         |
| <b>kN</b>            | Kilo newton |
| <b>m</b>             | Metre       |
| <b>m<sup>2</sup></b> | Metrekare   |
| <b>m<sup>3</sup></b> | Metreküp    |
| <b>mm</b>            | Milimetre   |
| <b>MPa</b>           | Mega pascal |
| <b>sn</b>            | Saniye      |
| <b>%</b>             | Yüzde       |

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

|             |                                   |
|-------------|-----------------------------------|
| <b>AD</b>   | Adet                              |
| <b>ART</b>  | Adaptif Rezonans Teori            |
| <b>A.Ş.</b> | Anonim Şirketi                    |
| <b>CTP</b>  | Cam Takviyeli Plastik             |
| <b>ÇKA</b>  | Çok Katmanlı Algılayıcı           |
| <b>F</b>    | Fonksiyon                         |
| <b>HDPE</b> | Yüksek Yoğunluklu Polietilen      |
| <b>HKOK</b> | Hata Kareleri Ortalaması Karekökü |
| <b>LVQ</b>  | Vektör Parçalama Yöntemi          |
| <b>MAKS</b> | Maksimum                          |
| <b>MİN</b>  | Minimum                           |
| <b>OMHY</b> | Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi      |

**Kısaltmalar****Açıklamalar****RA**

Regresyon Analizi

**SGN**

Signum

**TOKİ**

Toplu Konut İdaresi

**YSA**

Yapay Sinir Ağları



## 1. GİRİŞ

Su temini her zaman insan yaşamı için en temel gereksinim olsa da, atıksu uzaklaştırma ancak uzunca bir süre sonra -çoğunlukla da gecikmiş olarak- zorunlu hale gelmiştir. Her nerede yerleşim yerleri, şehirler ve kasabalar kurulduysa rezervuar atıkları, pis su ve atıksular caddeleri, yolları ve diğer açık alanları kirletmiş, korkunç kokuların yanı sıra hastalıklara ve salgınlara neden olmuştur. Su kirliliği oluşmuş ve yeraltı suları içilemez hale gelmiştir. Bu problemlerin çözülmesi amacıyla ilk kanalizasyon sistemi M.Ö. 3000 ve 2000 yılları arasında Girit adasında bulunan Knossos Sarayı'nın altında kurulmuştur. Tuğla kaplama kanalları ve terrakotta (kil ve toprak karışımı) boruları yağmur suyu, kullanım suları ve atıksularının uzaklaştırılmasında kullanılmıştır. Romalıların yaptıkları, kullanılan suyun şehir dışına aktarılmasını sağlayan ve Cloaca Maxima olarak adlandırılan kanalizasyon sistemi, inşaatından 2500 yıl sonra, bugünkü Roma'da halen kullanılmaktadır. Almanya'nın Köln şehrinde Romalılar zamanında yapılmış kanalizasyon sistemleri mevcuttur ve bu yeraltı kanallarının içinde hala yürünebilmektedir. Bunu takip eden binlerce yılda daha ileri bir düzeyde teknik gelişme olmadığından, 19. yüzyılın sonlarına kadar sular arıtılmamış, pis sular, nehirlere, göllere ve denizlere akıtılmıştır. Endüstrileşme ve şehirlerin gelişmesiyle verimli atıksu uzaklaştırma bir zorunluluk haline gelmiştir (İsabet Beton Boru, 2016).

Ülkemizde 1980'lere gelene dek (makineleşme henüz başlamamışken) el ile tokmakla sıkıştırılan beton harcı künk adıyla üretilerek pis suların uzaklaştırılmasında kullanılmıştır. İlk makineleşmeyle beraber büz adıyla üretilen beton borular nispeten daha kaliteli ve ek parçalarıyla uygulama kolaylığı getirirse de, mukavemet ve sızdırmazlık gibi önemli hususlar için yeterli gelmemiştir. Sanayileşen sektörün 1990'larda beton boru üretimine başlamasıyla çevrenin korunmasında çevreci altyapı elemanları kullanılmış ve kalıcı, ekonomik, uzun ömürlü, uygulama kolaylığı gibi temel konular için performans artırıcı çözümler üretilmiştir (İsabet Beton Boru, 2016).

Zamanla artan kentleşme ile atıksuların toplanması gerekliliği ortaya çıkmış ve bu sebeple kanalizasyon sistemleri giderek daha karmaşık bir hal almıştır. Teknolojide böyle gelişmeler yaşanmış olmasına rağmen halen ülkemizde içme suyu ve kanalizasyon hatları bulunmayan belediyeler mevcuttur. Bu belediyeler için kanalizasyon hattı yapılması konularında uzman kuruluş olan İller Bankası AŞ önderliğinde etütler yapılmakta, projeler hazırlanmakta, kredi veya hibe şeklinde finansman sağlanarak kanalizasyon hattı eksiklikleri giderilmeye

çalışılmaktadır. İller Bankası AŞ sadece etüt, proje, maliyet tahmini sürecinde değil, aynı zamanda sözleşme yapılmasından, işin kesin kabulüne kadar olan tüm süreçlerde de her türlü teknik desteği sağlamaktadır.

Söz konusu çalışmalar yürütülürken en önemli parametre yapılacak kanalizasyon hattı maliyetinin tahmini olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaklaşık maliyet tahmini; kamu yatırımlarında etüt, projelendirme ve ihale sürecinde gerekli olup, kamu kaynaklarının en verimli ve etkin bir şekilde kullanılabilmesi için çok önemlidir. Kanalizasyon hattı inşaatlarında ise yaklaşık maliyet tahmininin önemi daha da artmaktadır. Çünkü belirlenen maliyet tahmini ile finansman temin edilecek ve temin edilen finansman projenin tamamı için yetersiz kalırsa bu doğrultuda hatlar öncelik bakımından sınıflandırılacaktır.

İnşaat sektöründe artan rekabet ortamı, projelerde kar paylarının düşmesine yol açmakta, buna bağlı olarak ta hem işveren hem de yüklenici açısından yapım maliyeti tahmini çalışmalarının önemini artırmaktadır. Yapı ekonomisi açısından en kritik maliyet tahmininin ön karar (ön tasarım) evresinde ortaya çıktığı kabul edilmektedir. Özellikle kanalizasyon hattı gibi alt yapı yatırımlarının projelerinde daha önceden kestirilemeyen birçok faktör maliyetleri etkilemektedir. Bu bağlamda daha önceden yapımı tamamlanmış, benzer riskleri karşılayarak maliyeti ortaya çıkmış projelerden veriler kullanılarak yapılacak maliyet tahminlerinin gerçek maliyetlere daha yakın sonuçlar verebileceği öngörülerek bu çalışma şekillendirilmiştir.

Birçok sektörde özellikle de inşaat sektöründe yapıların maliyetlerini tahmin etmeye yönelik yapılan çalışmalar mevcuttur. Ancak yapılan araştırmalarda kanalizasyon hatlarının maliyet tahminleri üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. 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 çalışmada; İller Bankası AŞ'den temin edilen 67 adet tamamlanmış kanalizasyon hattı projesinden yararlanılmıştır. Kanalizasyon hatlarına ait projeler incelenerek boru çapı (mm), hat uzunluğu (m), kazı derinliği (m) ve baca miktarı (ad) değişkenleri ile projelerin gerçek maliyetleri (\$) tespit edilmiştir. Kanalizasyon hattı maliyetlerinin tahminini yaparken bu

değişkenlerin kullanılmasının sebebi projeler üzerinden nispeten hızlı ve kolay bir şekilde belirlenebiliyor olmasıdır. Belirlenen bu değişkenler kullanılarak kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin erken tahmini için RA ve YSA ile modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller ile kanalizasyon boru hattı maliyeti tahminleri yapılmış ve gerçek maliyetler ile karşılaştırılarak değerlendirmelerde bulunulmuştur.





## 2. LİTERATÜR TARAMASI

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

Yapay zekanın 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 (Bildik, 1998), beton basınç dayanımının belirlenmesinde (Lee, 2003), şehirlerarası yük taşımacılığı türünün belirlenmesinde (Tortum, 2003), kiriş benzeri yapılarda oluşacak hasarların miktarı ve yerinin tespiti için küresel ve yerel titreşim analizi verileri kullanılarak yapılan deneysel çalışmada (Sahin ve Sheno, 2003), kirişsiz döşemeli betonarme bir binada oluşan yatay deplasmanın hesaplanmasında (Özsoy ve Fırat, 2004), öngerilmeli beton sandık kesitli köprülerin analizinde (Gülhan, 2005), elyaf takviyeli plastik için kısa çekme küp tasarımında (Sarıbiyık, Çağlar ve Fırat, 2005), izostatik kafes sistem analizinde (Çamcı, 2006), tuğla duvardaki ve tesisattaki ısı kaybının belirlenmesinde (Keleşoğlu ve Fırat, 2006), beton basınç dayanımlarının tahmininde (Acır, 2007; Erdal, 2011), kirişsiz döşemeli betonarme yapıların yatay kuvvetler altında rijitlik değerlerinin analizinde (Özbayrak, 2008), günlük buharlaşmanın hesaplanmasında (Doğan, Işık ve Sandalcı, 2007), killerin sınıflandırılmasında (Göktepe, Arman, Doğan ve Sandalcı, 2009), mevcut yapıların deprem riski açısından durum tespitinde (Garip, 2011) 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.

Elazouni, Nosair, Mohieldin 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 incelemişlerdir. 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.

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.

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.

Sodikov (2005) gelişmekte 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 gelişmekte 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.

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 yönteminin 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.

Uğur (2007), TOKİ ve TÜRK KONUT'tan 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 öğretim 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 ve Şehircilik 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.

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.

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 Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2010 yılı birim fiyatlarıyla elde edilen kaba inşaat maliyetleri ile karşılaştırılmış ve % 98 doğruluk oranı ile tahmin edilebildiği sonucuna varılmıştır.

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, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 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.

Bahadır (2011) 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 yapılarıdaki 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 43728 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.

Kasaplı (2014) çalışmasında, 2007-2013 yılları aralığına ait 73 adet İller Bankası AŞ 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.

Yılmaz, Kanıt, Erdal, Yıldız ve Bakış (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.

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

### 3. KANALİZASYON HATLARI

İçme ve kullanma suyunun aboneler tarafından kullanıldıktan sonra modern yöntemlerle toplanması ve çevreye zararsız hale getirilmesi gerekir. Kullanılan içme ve kullanma sularına atıksu denir. Atıksuları toplayıp yerleşim yerlerinden uzaklaştıran sistemlere kanalizasyon hatları denir. Kanalizasyon hatlarını meydana getirmek için kullanılan elemanlar aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.1. Kanalizasyon Sistemlerinde Kullanılan Borular

Kanalizasyon sistemini çözerken, proje kapsamında kullanılacak borunun avantaj ve dezavantajlarına dikkat edilmelidir. Ülkemizde, kanalizasyon inşaatlarında sıklıkla beton-betonarme borular ve yüksek yoğunluklu polietilen malzeme (HDPE) esaslı koruge borular; nadiren de cam takviyeli plastik (CTP) borular kullanılmaktadır (Tulpar, 2010).

##### 3.1.1. Beton - betonarme borular

Seksenlere kadar el ile tokmaklanarak sıkıştırılan, beton harcı ile üretilen ve kanalizasyon inşaatlarında kullanılan künkler, ilk makineleşme ile yerini büz adıyla üretilen beton borulara bırakmıştır. Fakat büzler nispeten daha kaliteli ve uygulama kolaylığı açısından avantaj sağlasa da mukavemet ve sızdırmazlık yönünden yeterli gelmemiş ve doksanlarda gelişen sanayi üretimleri ile beton boru üretimine başlanmıştır. Beton boru çevreci, uzun ömürlü, kalıcı, ekonomik ve uygulamada kolaylıkları olması gibi pek çok avantaj sağlamıştır. Ülkemizde TS 821 uyarınca Ø 150 - Ø 600 arası borular beton, Ø 700 - Ø 2400 arası borular ise betonarme üretilmektedir (Tulpar, 2010). Resim 3.1’de betonarme boru üretimi, Resim 3.2’de ise kanalizasyon inşaatında betonarme boru uygulaması görülmektedir.



Resim 3.1. Betonarme boru üretimi (Tulpar, 2010)



Resim 3.2. Kanalizasyon inşaatında betonarme boru uygulaması (İller Bankası AŞ fotoğraf arşivleri)

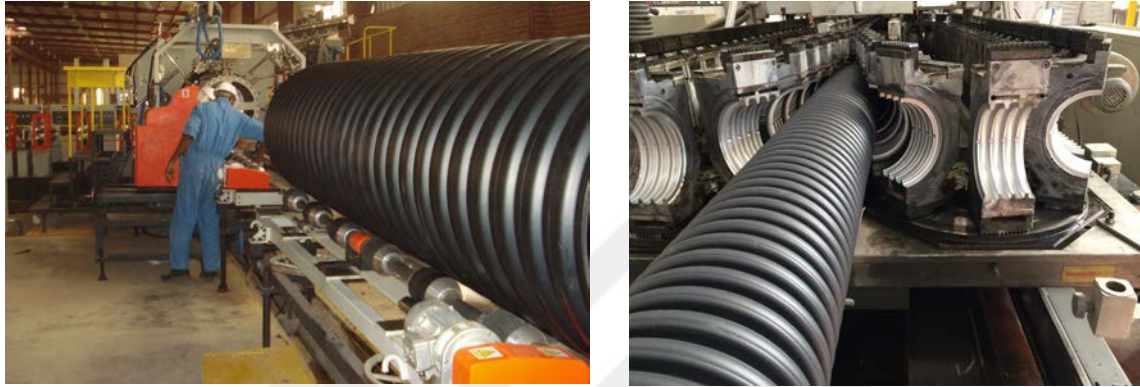
### 3.1.2. Yüksek yoğunluklu polietilen malzeme esaslı koruge borular

Koruge borular, poliolefin grubundaki polipropilen ve polietilen hammaddelerinden üretilirler. Ø 450 çapa kadar üretilen ekstrüde koruge borular polipropilen ve polietilen hammaddeden üretilebilir iken sarmal koruge borular sadece polietilenden üretilebilmektedir. Halka mukavemet değerleri, et kalınlıkları aynı kaldığı takdirde polipropilende daha yüksek çıktığı için tercih edilme sebebidir. Ekstrüde koruge borular manşonla birleştirilebilirken sarmal koruge borular muflu ve spigot uçlu olduğu için



manşona gerek duyulmaz (Tulpar, 2010).

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 (Tulpar, 2010). Resim 3.3’de koruge boru üretimi Resim 3.4’te ise kanalizasyon inşaatında koruge boru uygulaması verilmektedir.



Resim 3.3. Koruge boru üretimi (İller Bankası AŞ fotoğraf arşivleri)



Resim 3.4. Kanalizasyon inşaatında koruge boru uygulaması (İller Bankası AŞ fotoğraf arşivleri)



### 3.1.3. Cam takviyeli plastik borular

Cam takviyeli plastik (CTP), cam elyafı ile taşıyıcı bir reçinenin birleşimi sonucu elde edilen kompozit bir malzemedir. CTP üretiminde yer alan cam elyafı; kum, alumina, kireç taşı, kolemanit, kaolen gibi hammaddeler kullanılarak üretilmektedir. CTP'nin malzeme kalitesi cam elyafı ile reçine arasındaki bağ kuvveti ile paraleldir (Tulpar, 2010). Resim 3.5'de CTP boru üretimi ve Resim 3.6'da kanalizasyon inşaatında CTP boru uygulaması verilmektedir.



Resim 3.5. CTP boru üretimi (İller Bankası AŞ fotoğraf arşivleri)



Resim 3.6. Kanalizasyon inşaatında CTP boru uygulaması (İller Bankası AŞ fotoğraf arşivleri)

### 3.2. Kanalizasyon Sistemlerinde Kullanılan Bacalar

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

#### 3.2.1. Muayene bacaları

Sokakların kavşak yerleri ile hatların gerek yön gerekse eğim değiştirdiği her yerde muayene bacası kullanılır (İller Bankası AŞ, 2002). Muayene bacaları; akımın kontrol edilmesi, kanalların temizlenmesi, bakımı ve havalandırılması için inşa edilirler. Çizelge 3.1’de verilen ve boru çapına bağlı değişen maksimum baca aralıklarına ulaşıldığı takdirde de muayene bacası kullanılır. Muayene bacası; 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 kapaktan oluşur. Resim 3.7’de muayene bacası uygulaması verilmektedir.

Çizelge 3.1. Maksimum baca aralıkları (İller Bankası AŞ, 2002)

| Ø ÇAP<br>(mm) | MAKSİMUM<br>BACA<br>ARALIĞI (m.) |
|---------------|----------------------------------|
| 200           | 60                               |
| 300           | 60                               |
| 400           | 70                               |
| 500           | 70                               |
| 600           | 70                               |
| 800           | 80                               |
| 1000          | 100                              |
| 1200          | 125                              |
| 1400          | 150                              |
| 1600          | 150                              |
| 2000          | 150                              |
| 3000          | 150                              |



Resim 3.7. Muayene bacası uygulaması (İller Bankası AŞ fotoğraf arşivleri)

### 3.2.2. Şütlü bacalar

Hat eğiminin kabul edilebilen eğimin üzerine çıkması ve bu sebepten kaynaklı hız oluşması durumunda şütlü baca imal edilerek eğim istenilen değerlere çekilir ve bu baca muayene bacası olarak da kullanılır. Maksimum hız sınırı 3 m/sn, maksimum düşü yüksekliği 2 m ve istisnai durumlarda maksimum düşü yüksekliği 4 m'dir. Gerekli önlemler alınarak suyun eğimden kaynaklı kazanacağı kinetik enerjinin tahribat oluşturması da engellenir (İller Bankası AŞ, 2002).

### 3.2.3. Yıkama bacaları

Hatların temizlenmesi amacıyla uç noktalarda ve gerekli görülen diğer noktalarda inşa edilir. Uçlarda büyük boyutlu yapılmasındansa gerekli yerlerde küçük boyutlu inşa edilmesi tercih edilir. Geri tepmeyi önlemek için dolu savak ile birlikte yapılması daha uygundur. Yıkama suyu temininin zor olduğu noktalarda atıksu şişirilerek de yıkama yoluna gidilebilir (İller Bankası AŞ, 2002).

### 3.3. Parsel Bacaları ve Hatları

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.

### 3.4. Diğer Mühendislik Yapıları

#### 3.4.1. 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 (İller Bankası AŞ, 2002).

Terfi merkezlerinde kullanılacak pompa seçimlerinde; gelecek atıksuyun özellikleri ve atıksuyun basılacağı yükseklik önemlidir. Bunun yanı sıra tesisin sürekli işletme durumu ve maliyeti de göz önünde bulundurulmalıdır (İller Bankası AŞ, 2002). Terfi merkezlerinin yeri seçilirken şehir merkezinde olmamasına özen gösterilir. Resim 3.8’de bir terfi merkezinin dıştan görünüşü ve pompaları sunulmaktadır.



Resim 3.8. Terfi merkezi (İller Bankası AŞ fotoğraf arşivleri)

### 3.4.2. Dolu savaklar

Şehir içerisinde çay ve dereler var ve yağmur suyu kanalları bulunmuyor ise kanalizasyon hattının yükünü azaltmak için dolu savaklardan faydalanılır. Çay veya derenin karakterine, atıksuların taşıdığı askıdaki katı madde miktarına ve zararlı olup olmadıklarına göre 1/5 ila 1/10 arası karıştırılarak yani 4 yağmur 1 atıksu ila 9 yağmur 1 atıksu şeklinde sulandırılmış atıksular deşarj edilir (İller Bankası AŞ, 2002).

### 3.4.3. Kuşaklama kanalları

Şehir kanalizasyon hattına, şehir dışı atıksuların verilmesi imkan dahilinde ise istenilmez. Bu atıksuların toplanması amacıyla kuşaklama kanalları yapılır (İller Bankası AŞ, 2002).

### 3.4.4. Sifonlar ve ters sifonlar

Kanalizasyon hatlarında başka hiçbir şekilde çözölemeyen durumlarda sifon yapılır. Sifon uygulanacak durumlarda atıksu öncelikle ızgara ve kum tutucudan geçirilmelidir. Sifon içinde minimum hız 1 m/sn olmalıdır. Sifon içerisinde çökmeyi engelleyecek ve gerekmesi durumunda temizliği sağlayacak bir sistem olmalıdır (İller Bankası AŞ, 2002).

### 3.4.5. Karayolu, demiryolu, akarsu, kanal ve köprü geçişleri

#### Beton gömlek ile geçişler

Genellikle akarsu yataklarından geçen hatların dış etkenlerden korunması amacıyla derenin en yüksek su seviyesi dikkate alınarak dere yatağı ve dere 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 (Kasaplı, 2014).

#### Yönlendirmeli yatay sondaj ile geçişler

Bu yöntem pilot delgi, genişletme ve boru çekme işlemi olmak üzere üç aşamadan oluşur. 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.

450 m'ye kadar olan mesafelerde yeterli teknolojik takip sistemi varsa başarıya ulaşmaktadır (Kasaplı, 2014).

#### 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 (Kasaplı, 2014).

#### **3.4.6. Fosseptikler**

Fosseptikler zorunlu haller dışında tercih edilecek bir imalat değildir. Genellikle kanalizasyon şebeke hattı bulunmayan ya da hattan çok uzakta olan yerlerde tercih edilir. Fosseptikler genellikle vidanjör ile çekilerek boşaltılır. Bu sebeple yola yakın inşa edilmeleri gerekmektedir (İller Bankası AŞ, 2002).

#### **3.4.7. Himaye çiti**

Terfi merkezleri, fosseptikler ve benzeri önemli yapıların etrafını çevirmek için kullanılır. Amaç hem yapıları dış etkenlerden korumak, hem de insanları yapıdan gelebilecek tehlikelere karşı korumaktır.

#### **3.4.8. Sayısal işletme planı**

Kanalizasyon hattı döşendikten sonra, hali hazır projeler üzerinde boruların cinsi, çapı, derinlikleri, baca noktaları, terfi merkezleri gibi bütün önemli bilgileri gösteren planlara sayısal işletme planı denilmektedir. Sayısal işletme planları bütün altyapı işlerinde büyük öneme sahiptir. Çünkü yeni bir inşaata başlanması veya tamirat yapılması durumunda nerede neyin olduğunu görebilmemizi sağlar.

Bu bölümde kanalizasyon boru hatlarını meydana getirmek için kullanılan ve kanalizasyon hattının maliyetini tahmin etmek için kullandığımız parametreler tanıtılmıştır.





## 4. MALİYET TAHMİNİNDE KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ

### 4.1. Regresyon Analizi (RA)

RA ilk olarak 19. y.y. ikinci yarısında Sir Francis Galton tarafından geliştirilmiştir. Galton bu çalışmasında, aileler ile çocuklarının boy uzunlukları arasındaki ilişkiyi araştırmış ve bu çalışmanın sonucu olarak, boyları çok uzun veya çok kısa olan ailelerin çocuklarının boy uzunluklarının grup ortalamasına doğru eğilim gösterdiğini ortaya koymuştur ve buna regresyon adını vermiştir (Neter, Kunter, Nachtsheim ve Wasserman, 1996: 35-51; Serper, 2004: 483).

Günümüzde ise regresyon terimi, değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkileri açıklamak için kullanılmaktadır. Regresyon, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ortalama ilişkinin matematiksel bir fonksiyon ile ifadesidir (Akkaya ve Pazarlıoğlu, 2000: 575). RA’da amaç, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi en iyi temsil edecek doğru denklemi bularak, bu ilişkiyi belirlemektir. Değişkenler arasındaki ilişkiyi göstermek için yapılandırılan matematiksel fonksiyon, ilişkinin fonksiyonel şeklini göstermekle kalmayıp ön tahmin yapma olanağı da sağlar.

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 kullanılır. Çizelge 4.1’de RA’da sebep-sonuç durumu örneği görülmektedir. Doğada birçok olayda sebep-sonuç ilişkisine rastlamak mümkündür.

Çizelge 4.1. RA’da sebep-sonuç durumu

| Sebep          | Sonuç       |
|----------------|-------------|
| Gelir          | Harcama     |
| Yaş            | Boy         |
| Gübre          | Verim       |
| Yem Miktarı    | Süt Miktarı |
| Çalışma Süresi | Alınan Not  |

Regresyonda değişkenlerin bağımlı değişken (dependent variable: modellenen, tahmin edilen) ve bağımsız değişkenler (independent variable: kontrol edilmiş, belirleyici,



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

#### 4.1.1. Basit doğrusal regresyon analizi

Basit doğrusal RA, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin ve bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde kullanılır. Basit doğrusal RA değişkenler arasındaki ilişkinin yapısı ve derecesi ile ilgilenmektedir. Basit doğrusal RA bir bağımsız değişken bulunur ve Eş. 4.1'deki gibi kurulur.

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

Eş. 4.1'e basit doğrusal regresyon modeli adı verilir. Modelde yer alan simgelerin anlamları aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

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

$X$ : Bağımsız (sebebe) değişkeni olup hatasız ölçüldüğü varsayılır.

$\beta_0$ : Sabit olup  $X=0$  olduğunda  $Y$ 'nin aldığı değerdir. Doğrunun  $y$ -eksenini kestiği noktadır.

$\beta_1$ : 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.

$\varepsilon$ : Sansa bağlı hata değeridir.  $\varepsilon$  tesadüfi hata terimi olup ortalaması sıfır varyansı bilinmeyen  $\sigma^2$ 'ye sahip olan normal dağılışı 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.  $\varepsilon$ '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 (Anderson, Sweeney ve Williams, 1981; Gujarati, 2005: 601). 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 (Gujarati, 2005: 850; Johnson ve Wichern, 1998: 816; Kılıçbay, 1980: 677).

Eş. 4.1'deki  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  ve  $\mathcal{E}$  bilinmeyenlerdir. Burada  $\mathcal{E}$  her bir  $Y$  değeri için değişmektedir. Ancak  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  sabit kalır. Bu bilinmeyenleri gözlemlerin tamamını bilmeksizin ortaya çıkarmak mümkün olmasa da, gözlemleri kullanarak  $\widehat{\beta}_0$  ve  $\widehat{\beta}_1$  tahmin edilebilir.

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

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  $\sigma^2$  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.

$\beta_0$  ve  $\beta_1$  parametrelerine regresyon katsayıları denilir.  $\beta_1$  eğim parametresi  $X$  değişkeninde bir birimlik değişime karşılık  $Y$  değişkenine ait dağılımın ortalamasında meydana getireceği değişimdir.  $\beta_0$  kesişim parametresidir.  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  parametreleri en küçük kareler metodu ile Eş. 4.3'deki 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 (Gujarati, 2005; Koutsoyiannis, 1992: 688; Kılıçbay, 1980: 677; Çömlekçi, 1998).

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.  $\mathcal{E}$ 'lerin 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 değişkenler 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'de 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 değerler alır.  $R^2$  1'e ne kadar yakınsa, regresyon o kadar anlamlı ve belirleyicidir. Bu konuda bilimsel bir karar verebilmek için hipotez testi yapılır.

#### 4.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA, insan beyni özelliklerinden biri olan öğrenme yoluyla yeni veriler üretebilme ve türetebilme, keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir destek kullanmadan otomatik bir biçimde sonuçlandırmak amacı ile yazılmış bilgisayar sistemleridir. Klasik programlama metotları ile bu tip işlemler yapmak imkânsız gibidir. YSA, programlanması zor olan bu tip

problemleri çözümlmek için geliştirilmiş bağdaştırıcı bilgi işleme ile ilgilenen bir bilim dalıdır (Öztemel, 2012: 25-31).

#### 4.2.1. Yapay sinir ağlarının tarihçesi

YSA hakkında ilk çalışmalar 19. yüzyılın sonlarından itibaren başlamıştır. İlk çalışma Hermann von Helmholtz, Ernst Mach ve Ivan Pavlov gibi bilim adamları tarafından gerçekleştirilen fizik, psikoloji ve nöropsikolojiye ait disiplinler arası bir çalışmadır. Bu çalışmanın genel teorisi; öğrenme, sezme ve şartlanmadır (Hagan, Demuth ve Beale, 1996: 32-36). 1940'larda yapay sinir hücresinde ilk çalışmalar yapılmaya başlamıştır. McCulloch ve Pitts (1943) aritmetik ya da mantıksal bir fonksiyon hesaplama yapmak için yapay sinir hücresinin kullanılabileceğini göstermişlerdir. Bu ilk model sonraki çalışmaların çoğuna ışık tutmuştur.

1949 yılında insan beyninin öğrenme süreci Hebb tarafından bilgisayar ile gerçekleştirilebilecek şekilde geliştirmiştir. 1954 yılında gözlenen sinyaller ile geçmiş verilerden üretilen sinyaller arasındaki hataların kareleri ortalamalarını azaltacak değişkenlerin seçilmesinde dik iniş algoritmasını kullanan öğrenme süzgeci Gabor tarafından bulunmuştur. 1958 yılında nöron modeli için geliştirilen bir öğrenme metodu ile Rosenblatt, McCulloch ve Pitts tarafından algılayıcılar icat edilmiştir. 1962 yılında çok katmanlı ağları eğitmek için geri yayımlı hareket planı Rosenblatt tarafından önerilmiştir, fakat türevlenemeyen fonksiyonlar tercih edildiği için başarısızlıkla sonuçlanmıştır. 1967 yılında kredi tayin sorunlarının çözülmesinde çok katmanlı ağlarda ağırlıklar için öğrenme kuralı belirlenmesinde Amari matematiksel bir sonuç elde etmiştir. 1969 yılında Minsky ve Papert yazdıkları kitapta basit algılayıcı modelin sınırlarını belirlemiştir (Hamzaçebi, 2011: 14-20) (Şen, 2004: 12). 1970'li yıllar itibariyle daha küçük boyutta devrelerin üretilmesi ile mikro işlemciler geliştirilmeye başlanmış ve günümüz bilgisayarlarının temeli atılmıştır (Bahadır, 2013).

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak yani 1970'lerden itibaren bilgisayar destekli YSA teknolojisinin gelişmesi de hızlanmıştır. Bu gelişmeler, 1969-1972 yılları arasında doğrusal ilişkilendiricilerin geliştirilmesi ile başlamıştır. 1972 yılında korelasyon matriks belleği geliştirilmiştir. 1974 yılında geriye yayılım modelinin temelleri atılmıştır. Bunu takip eden yıllarda öğretmensiz öğrenim geliştirilmiştir. Bunların ilki 1978 yılında ART modelinin

geliştirilmesi, ikincisi ise Kohonen öğrenmesi ve Som modelinin geliştirilmesidir. 1982 yılında Hopfield ağırları ve çok katmanlı algılayıcı, 1984 yılında Boltzman katsayısı, 1985 yılında çok katmanlı algılayıcılar, Delta öğrenme kuralı, 1988 yılında RBF ve PNN modelleri ve 1991 yılında ise GRNN modeli geliştirilmiştir. 1991 yılından bu yana teknolojiye gelişmenin hızına bağlı olarak birçok yeni çalışma yapılmış ve uygulamalar geliştirilmiştir (Öztemel, 2012: 31-37).

#### **4.2.2. Yapay sinir hücresi ve çalışma prensipleri**

YSA'nın temel unsuru biyolojik sinir ağlarında olduğu gibi yapay sinir hücresidir. Yapay sinir hücreleri, YSA'nın en küçük ve temel bilgi işleme birimidir. YSA içerisindeki bütün nöronlara bir veya daha fazla girdi gelir, fakat sadece bir çıktı oluşur. Bu çıktı ya diğer nöronlara girdi olarak kullanılır ya da direk olarak YSA dışına verilen çıktı olabilir. Geliştirilen hücre modeline göre değişiklikler gösterebilmekle birlikte genel özellikleri ile bir yapay hücre modelin meydana getiren beş unsur bulunmaktadır. Bunlar; girdiler, ağırlıklar, birleştirme fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktıdır (Öztemel, 2012: 37-51).

#### **4.2.3. Girdiler**

Dış ortamdan veya diğer hücrelerden, hücreye giren bilgiler için girdiler denilir (Öztemel, 2012: 51-55).

#### **4.2.4. Ağırlıklar**

Girdilerin hücreye nasıl etki edeceği ağırlıklara bağlıdır. Ağırlıklar bir nörona girdi olacak değerlerin matematiksel katsayısını gösterir. YSA'daki bütün girdi bağlantılarının farklı ağırlık değerleri belirlenir. Sonuç olarak her işlem elemanının her girdisi üzerinde ağırlıkların etkisi vardır (Öztemel, 2012: 55-61).

#### **4.2.5. Birleştirme (toplama) fonksiyonu**

Birleştirme fonksiyonunun görevi bir işlem elemanından gelen girdileri birleştirmek yani bir nörona gelen net girdiyi hesaplamaktır. En sık tercih edilen fonksiyon türleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu fonksiyonlar arasında en çok tercih edilen; gelen girdiler ile bağlantıların ağırlıkları çarpımlarının toplanması yoluyla net girdiyi ortaya çıkaran toplam

fonksiyonudur. Yine de en uygun birleşme fonksiyonu deneme yanılma ile bulunmaktadır (Kasaplı, 2014).

Çizelge 4.2. Birleştirme fonksiyonları (Kasaplı, 2014)

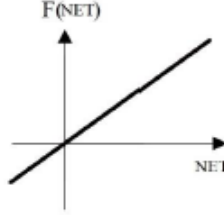
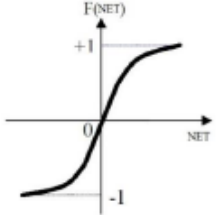
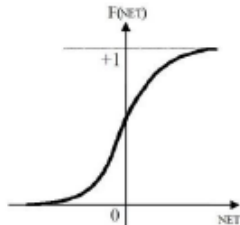
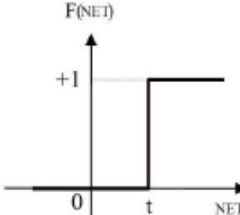
| Fonksiyonun Adı   | Fonksiyon                                   |
|-------------------|---------------------------------------------|
| Toplam            | $Net\ Girdi = \sum_i G_i W_i$               |
| Çarpım            | $Net\ Girdi = \prod_i G_i W_i$              |
| Maksimum          | $Net\ Girdi = maks(G_i W_i), i = 1 \dots N$ |
| 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  | $Net\ Girdi = Net_{eski} + \sum_i G_i W_i$  |

#### 4.2.6. Transfer (aktivasyon) fonksiyonu

Transfer fonksiyonu, nörona gelen net girdiyi işleyerek üretilecek çıktıyı belirler. Toplam fonksiyonunda da olduğu gibi aktivasyon fonksiyonu ile çıktıyı hesaplamak amacıyla farklı formüller kullanılır. Çok katmanlı algılayıcılar gibi bazı modeller bu fonksiyonun türetilabilir olmasını zorunlu hale getirmektedir. Yine en uygun fonksiyon denemeler sonucu bulunur ve en uygun fonksiyonu gösteren formül henüz bulunamamıştır (Bahadır, 2013).

Kaynaklarda, transfer fonksiyonu sıkıştırma veya eşik fonksiyonu olarak da anılmaktadır. Bu, çıktı sinyallerinin [0,1] veya [-1,1] aralığında sınırlı kalmasından kaynaklanmaktadır. Değerlendirmeye alınan olay ve ağ yapısına bağlı olarak transfer fonksiyonu farklılık göstermektedir. Uygulama esnasında en çok karşılaşılan aktivasyon fonksiyonları Çizelge 4.3’de detaylandırılmıştır (Bahadır, 2013).

Çizelge 4.3. Aktivasyon fonksiyonları (Bahadır, 2013)

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

Çizelge 4.3’de yer alan transfer fonksiyonuna ait genel özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

- Lineer yani doğrusal aktivasyon fonksiyonunda, gelen girdiler direk olarak hücrenin çıktısı olarak kabul edilmektedir.
- Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonunda, hücre çıktısı gelen NET girdi değerinin tanjant fonksiyonundan geçirilmesi sonucu elde edilir.  $[-1,1]$  aralığında çıktı değeri üretir.
- Sigmoid aktivasyon fonksiyonu geri yayılım tekniği ile eğitilen ağlarda başarılı sonuçlar verir.  $[0,1]$  aralığında çıktı değeri üretir.
- Eşik yani basamak aktivasyon fonksiyonu genelde tek katmanlı ağlarda tercih edilir.  $[0,1]$  aralığında çıktı değeri üretir (Bahadır, 2013).

#### 4.2.7. Yapay sinir ağlarının tasarımı

YSA uygulamasının başarılı olabilmesi, özellikle uygulanacak yaklaşımlara ve deneyimlere yani uygun yöntem belirlemeye bağlıdır. YSA'nın geliştirilmesi sürecinde ağın yapısı ve işleyişine ilişkin verilmesi gereken önemli kararlar şunlardır;

- 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 verisinin oluşturulması (Saraç, 2004).

Uygun parametreler kullanılarak hazırlanılması halinde YSA, sürekli olarak kararlı ve istikrarlı çıktılar üretir. Bunun yanı sıra sistemin tepki süresinin kısa olabilmesi sistemin mümkün olduğunca küçük olmasına bağlıdır. İhtiyaç duyulan toplam hesaplama da bu şekilde ulaşılır (Saraç, 2004).

#### 4.2.8. YSA ağ yapısının seçimi

YSA tasarımı sürecinde ağ yapısının seçimi uygulama problemine bağlıdır. Hangi problem için hangi ağın tercih edilmesi gerektiği bilinmelidir. Çizelge 4.4'de ağ türlerinin kullanım amaçları ve başarılı oldukları alanlar gösterilmiştir (Kasaplı, 2014).

Çizelge 4.4. Ağ türleri ve başarılı oldukları alanlar (Kasaplı, 2014)

| 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 düşünülen öğrenme algoritmasına bağlı olarak uygun YSA seçimi yapılır. Ağda kullanılacak öğrenme algoritması seçildiği vakit bu algoritmanın gerektirdiği mimari de otomatikman seçilmiş olacaktır. Örnek olarak geri yayılım algoritması ileri beslemeli ağ mimari gerektirir (Kasaplı, 2014).

Bir YSA'nın karmaşıklığının minimize edilmesinde en önemli araç, YSA ağ yapısını değiştirmektir. Gereğinden fazla işlemci eleman bulunduran ağ yapılarında, daha düşük genelleme kabiliyeti oluşur (Kasaplı, 2014).

#### 4.2.9. Öğrenme algoritmasının seçimi

YSA yapısının seçiminin ardından öğrenme algoritmasının seçimi uygulama başarısını belirleyen bir diğer faktördür. Genelde öğrenme algoritması seçiminde ağ yapısı belirleyicidir. Bu sebepten dolayı seçilen ağ yapısı üzerinde kullanılabilecek öğrenme algoritmasının seçimi ağ yapısına bağlıdır. YSA'nın geliştirilmesinde çok sayıda öğrenme algoritması kullanılabilir. Bu uygulamalar sınıflandırılacak olursa, gruplar ve içerisinde yer alacak öğrenme algoritmaları Çizelge 4.5'de gösterildiği şekilde özetlenebilir (Saraç, 2004).

Çizelge 4.5. Öğrenme algoritmaları ve uygulandıkları alanlar (Saraç, 2004)

| Uygulama Tipi       | YSA                                                 |
|---------------------|-----------------------------------------------------|
| Öngörü Tanıma       | Geri yayılım                                        |
|                     | Delta Bar Delta                                     |
|                     | Geliştirilmiş Delta Bar Delta                       |
|                     | Yönlendirilmiş Rastsal Tarama                       |
|                     | Geri yayılım içinde Kendi Kendine Planlamalı Harita |
|                     | Yüksek Mertebeli Sinir Ağları                       |
| Sınıflandırma       | Vektör Nicelermeli 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                              |

#### 4.2.10. Ara katman sayısını belirleme

YSA'nın tasarım sürecinde verilmesi gereken diğer bir karar da ağdaki katman sayısıdır. Birçok problemin çözümünde 2 veya 3 katmanlı ağ yeterli olmaktadır. Katmanlar, nöronların aynı doğrultu üzerinde bir araya gelmeleri ile oluşur. Katmanların farklı şekillerde bir araya gelmeleri farklı ağ yapıları oluşturur. Problemin yapısına göre girdi ve çıktı katmanlarının sayısı değişiklik gösterir. Birkaç denemenin ardından en uygun yapıya karar vermek katman sayısı belirlemenin en iyi yoludur (Kasaplı, 2014).

#### 4.2.11. Nöron sayısını belirleme

Ağın yapısal özelliklerinden birisi de katmanlardaki nöron sayılarıdır. Bu sayıların tespitinde deneme-yanılma metodu tercih edilir. Bu metod için, başlangıçtaki nöron sayısını istenilen performansa ulaşıncaya dek arttırmak veya tersini yani istenilen performansın altına inmeden azaltmak yollarından birisi izlenir. Bir katmanda kullanılacak nöron sayısı ne kadar az ise o kadar iyi olur. Nöron sayısının az olması YSA'nın "genelleme" yeteneğini arttırırken, gereğinden fazla olması ise "ezberleme" yeteneğini ortaya çıkarır. Ancak gereğinden az nöron olması halinde verilerdeki örüntü, ağ tarafından öğrenilemeyebilir (Saraç, 2004).

YSA'nın tasarımındaki önemli kararlardan bir diğeri de nörondaki fonksiyonların karakteristik özellikleridir. Nöronun geçiş fonksiyonun seçimi YSA'nın verilerine ve ağın neyi öğrenmesi istenildiğine büyük ölçüde bağlılık gösterir. Geçiş fonksiyonlarında en sık sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonları kullanılmaktadır. Sigmoid fonksiyonuna ait çıktı aralığı  $[0, 1]$  arası iken hiperbolik tanjant fonksiyonuna ait çıktı aralığı  $[-1, 1]$  arasındadır. Sigmoid fonksiyonu, ağın, bir modelin ortalama davranışını öğrenmesi istenildiğinde tercih edilir. Hiperbolik tanjant fonksiyonu ise, ağın, bir modelin ortalamadan sapmasının öğrenilmesi istenildiğinde tercih edilir (Saraç, 2004).

#### 4.2.12. Normalizasyon

YSA'ların en çok öne çıkan özelliği olan doğrusal olmamayı anlamlı hale getiren yaklaşım, verilerin bir normalizasyona tabi tutulmasıdır. Verilerin normalizasyonu için seçilecek yöntem YSA performansını direk olarak etkileyecektir. Bunun sebebi, normalizasyonun giriş verilerinin transfer edilirken fonksiyonun aktif olan bölgesinden aktarılmasını

sağlamasıdır. Veri normalizasyonunun amacı işlemci elemanlarını, verilerin kümülatif toplamalarının oluşturacağı olumsuzluklardan korumaktır. İşlemci elemanlarını, verileri kümülatif toplamalarla koruma eğilimlerinden ve aşırı değerlendirilmiş kümülatif toplamaların oluşturacağı olumsuzluklardan korumak için veri normalizasyonu zorunludur. Genelde verilen  $[0,1]$  veya  $[-1,1]$  aralıklarından herhangi birinde ölçeklendirilmesi istenmektedir. Ölçekleme, verilerin geçerli eksen sisteminde sıkıştırılması olduğundan dolayı veri kalitesi aşırı salınım içeren problemlere ait YSA modelleri olumsuz yönde etkilenebilir. Oluşacak bu olumsuzluk öğrenme fonksiyonunu da başarısızlıkla sonuçlandırabilir. Çizelge 4.6'da normalizasyon işlemi fonksiyonları verilmiştir (Kasaplı, 2014). 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 4.6. Normalizasyon işlemi fonksiyonları (Kasaplı, 2014)

| 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               | $[0,1]$       | $x_i' = \frac{x_i - \min_{(x_i)}}{\max_{(x_i)} - \min_{(x_i)}}$          |

#### 4.2.13. Performans fonksiyonunun seçimi

Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra teste başlanır. Ağ; test aşamasında, öğrenme aşamasında karşılaşmadığı veriler girdi olarak verilir ve ağın çıktılarına göre performansı incelenir. Ağ performansı değerlendirilirken en başarılı sonucu veren YSA mimarisinin belirlenmesinde bazı performans kriterleri kullanılmaktadır. Sıklıkla karşılaşılan performans kriterleri Çizelge 4.7'de verilmiştir (Bahadır, 2013). Çizelgede geçen  $G_i$ : gerçek maliyeti;  $T_i$ : tahmin edilen maliyeti ve  $N$ : veri kümesinin büyüklüğünü temsil eder.

Çizelge 4.7. Performans kriterleri (Bahadır, 2013)

| Performans Kriteri                  | Denklemi                                                                            |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 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)         | $\sum_{i=1}^N (G_i - T_i)^2$                                                        |

#### 4.2.14. YSA'nın avantajları

YSA'nın en önemli avantajları; doğrusal olmayan yapıları modelleyebilmesi, paralel dağılmış yapısı, öğrenme ve genelleme yapma yeteneği, farklı problemler için uyarlanabilmesi, hata toleransına sahip olması, eksik bilgilerle çalışabilmesi, analiz ve tasarım kolaylığıdır. YSA bu özelliklerinden dolayı başta işletme, finans, tıp ve mühendislik olmak üzere birçok alanda tercih edilmektedir (Hamzaçebi, 2011: 20-25).

#### Doğrusal olmama

YSA'nın doğrusal ya da doğrusal olmayan modelleme gerçekleştirebilmesi YSA'yı meydana getiren yapay sinir hücreleri için tercih edilen aktivasyon fonksiyonu aracılığıyla sağlanır. Günlük hayatta karşı karşıya geldiğimiz problemleri irdelediğimiz ve doğrusal olmayan ilişkiler içerdiğini gördüğümüz vakit YSA'nın bu özelliği büyük önem kazanmaktadır (Bahadır, 2013).

#### Öğrenme

YSA'lar insan sinir sisteminin çalışmasını taklit ederek ve eldeki probleme dair verileri kullanarak veri yapısındaki gizli ilişkileri ortaya çıkarmaya çalışır. Bu işleme, ağı

öğrenmesi adı verilir. Aslında öğrenme işlemi, YSA'yı meydana getiren yapay sinir hücrelerinin aralarındaki bağlantıların ağırlıklarının belirlenmesidir (Hamzaçebi, 2011: 25-34).

### Genelleştirme

YSA'nın öğrenme işlemi esnasında tanıdığı veriler dışında yeni veriler için de anlamlı sonuçlar üretebilme yeteneğine genelleştirme adı verilmektedir. Bunun sonucu olarak genelleştirme yeteneği olmayan YSA'ların anlamlı olmayacağı açıktır. Tahmin, örüntü tanıma, sinyal işleme ve benzeri birçok alanda, YSA'nın genelleştirme yeteneğinin sonucu olarak başarılar elde edilmektedir (Bahadır, 2013).

### Uyarlanabilirlik

YSA'lar belirli bir problem için üretilseler dahi problem değişikliği durumunda yeni probleme göre uyarlanabilirler ve eğitilebilirler (Hamzaçebi, 2011: 34-42).

### Hata toleransı

YSA paralel dağılmış haldeki yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile bağlanması sonucu oluşan bir bütündür. YSA'nın öğrenmesi de bu bağlantı aralıklarının belirlenmesi işlemidir. Ağı eğitimi esnasında bazen, veri kümesinde gürültü etkisi olarak anılan istenmeyen yanlışlıklarla karşılaşılır. Gürültü etkisi ağıdaki bütün ağırlıklara dağıtıldığı vakit sonuç üzerindeki etkileri minimize olacaktır. Bundan dolayı YSA'ların hata toleransı klasik yöntemlere kıyasla daha fazladır (Bahadır, 2013).

### Eksik bilgi ile çalışabilme

YSA eğitildikten sonra eksik bilgi ile çalışabilirler ve yeni gelen örneklerde eksik bilgi olmasına rağmen sonuç üretebilirler. Eksik bilgilerle de çalışmalarını sürdürürler, buna karşın klasik sistemler bilgi eksik olduğunda çalışmazlar. Burada eksik bilgi olduğunda çalışması yanlış anlaşılmamalıdır. Bu durumda YSA'nın performansı düşecek demek değildir. Eğer eksik olan bilgi önemli bir bilgi ise performansı düşürebilir. Hangi bilgi önemli hangisi değil bunu ağ eğitim sırasında öğrenmektedir. Kullanıcıların bu konuda bir

fikri yoktur. Eksik bilginin önemli olduğunu, kullanıcı ağın performansındaki düşüşten anlayabilir. Eğer ağın performansı düşmediyse eksik bilgi önemsizdir (Hamzaçebi, 2011: 42-45).

#### Analiz ve tasarım kolaylığı

YSA'nın temel işlem elemanı olan hücrenin yapısı ve modeli, tüm YSA yapılarında hemen hemen aynıdır. Yani YSA'ların tüm branşlarda uygulanması esnasında standart yapıdaki bu hücreler kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı farklı branşlarda kullanılan YSA benzer öğrenme algoritmalarını ve teorilerini paylaşabilirler. Bu özellik ile problemlerin YSA aracılığıyla çözümünde büyük kolaylık sağlanmaktadır (Bahadır, 2013).

#### **4.2.15. YSA'nın dezavantajları**

YSA'nın avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da vardır. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

- YSA'nın oluşturulmasında, model seçilmesinde, ağın topolojisinin belirlenmesinde net kurallar yoktur. Kullanıcının tecrübesine bağlı olarak karar verilmektedir.
- Problemlerin YSA ile çözülmesi aşamasında örneklerin tasarlanması için net kurallar yoktur. Kullanıcı tecrübesine bağlı olarak örnekleri dizayn etmektedir. Aynı problem farklı şekillerde gösterilebilmekte ve her gösterimin kendisine göre performansı da değişebilmektedir. Doğru gösterimi bulmak tecrübelerle bağlıdır.
- Ağın davranışlarının açıklanması imkânsızdır. Bu durum, ağa olan güveni azaltmaktadır.
- Eğitimin gerçekleştirilmesi için uzun vakitler harcanabilmektedir.
- Üretilen sonuçların optimum olduğunu iddia etmek yanlıştır. Sadece sonucun iyi sonuçlardan biri olacağı söylenebilir (Elbistanlı, 2007).

#### **4.2.16. İnşaat mühendisliğinde YSA uygulamaları**

YSA birçok alanda ve birçok amaçla kullanılmaktadır. Bu alanlardan birisi olan İnşaat Mühendisliği'nde; deprem performansları, beton basınç dayanımları, betonarme elemanların modellenmesi, hidrolik problemlerin çözümü, öngerilmeli betondan prefabrik köprülerin analizi, geoteknik ve yapılara ait maliyet analizleri gibi birçok konuda problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra detaylandırılırsa; konstrüksiyon projelerinde kaynak seviyelerini belirleme, rezervuar çıkış kontrolü, biyolojik bilgiler

yardımıyla nehir suyu kalitesinin sınıflandırılması, nehir akışını tahmin edilmesi, sonlu-eleman-temelli yapısal analiz işleminin modellenmesi, yapı malzemelerinin iç yapılarındaki çatlakların tespit edilmesi, depreme maruz betonarme çerçevelerde emniyetli yatay taşıyıcı tahmininde kullanılmıştır (Sağıroğlu, Beşdok ve Erler, 2003: 74-83).

Bu bölümde kanalizasyon boru hattı maliyetlerini tahmin etmek amacıyla kullandığımız analiz yöntemleri olan RA ve YSA hakkında bilgiler verilmiştir. RA, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ortalama ilişkinin matematiksel bir fonksiyonu olarak ifade edilirken, YSA programlanması zor olan problemleri çözmek için geliştirilmiş bağdaştırıcı bilgi işleme ile ilgilenen bir analiz yöntemidir.



## 5. VERİLERİN TOPLANMASI VE ANALİZLERİN YAPILMASI

### 5.1. Verilerin Toplanması

Modellerin geliştirilmesinde, İller Bankası AŞ'den temin edilen 67 adet kanalizasyon hattına ait veriler kullanılmıştır. Kanalizasyon hattı projelerinden; boru çapı (mm), hat uzunluğu (m), kazı derinliği (m), baca miktarı (ad), kazı miktarı (m<sup>3</sup>), dolgu miktarı (m<sup>3</sup>) ve gerçek maliyet (\$) verileri belirlenmiştir (Çizelge 5.1). Belirlenen bu verilerin hem, RA hem de YSA analizleri SPSS Statistics 20 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.1. Değişkenler ve değişim aralıkları

| Değişken                        | En Büyük Değer | En Küçük Değer |
|---------------------------------|----------------|----------------|
| Gerçek Maliyet (\$)             | 8 555 748,19   | 16 491,72      |
| Boru Çapı (mm)                  | 1 200          | 200            |
| Hat Uzunluğu (m)                | 60 523         | 26             |
| Baca Miktarı (ad)               | 1 548          | 2              |
| Kazı Derinliği (m)              | 9,63           | 1,97           |
| Kazı Miktarı (m <sup>3</sup> )  | 140 500,64     | 384,93         |
| Dolgu Miktarı (m <sup>3</sup> ) | 134 540,91     | 342,19         |

RA ve YSA analizinde Çizelge 5.1'de verilen değişkenlerin tamamı kullanılmamıştır. Kanalizasyon hattı projesi üzerinden ilk bakışta, nispeten hızlı bir şekilde belirlenebilen veriler olan boru çapı (mm), hat uzunluğu (m), baca miktarı (ad), kazı derinliği (m) ve gerçek maliyet (\$) verilerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Seçilen bu değişkenler ve değişim aralıkları Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Analizler için seçilen değişkenler ve değişim aralıkları

| Değişken            | En Büyük Değer | En Küçük Değer |
|---------------------|----------------|----------------|
| Gerçek Maliyet (\$) | 8 555 748,19   | 16 491,72      |
| Boru Çapı (mm)      | 1 200          | 200            |
| Hat Uzunluğu (m)    | 60 523         | 26             |
| Baca Miktarı (ad)   | 1 548          | 2              |
| Kazı Derinliği (m)  | 9,63           | 1,97           |



## 5.2. Çalışmada İzlenen Yol

Çalışmada, seçilen değişkenler ve gerçek maliyet değerleri kullanılarak RA ve YSA yöntemleri ile belirlenen 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.

## 5.3. Regresyon Analizi İle Geliştirilen Tahmin Modelleri

Kanalizasyon hattı projeleri üzerinden hızlı bir şekilde belirlenebilen boru çapı (mm), hat uzunluğu (m), baca miktarı (ad) ve kazı derinliği (m) değişkenleri kullanılarak kanalizasyon hattı maliyeti erken tahmini için tek değişkenli ve çok değişkenli RA yapılarak modeller geliştirilmiştir.

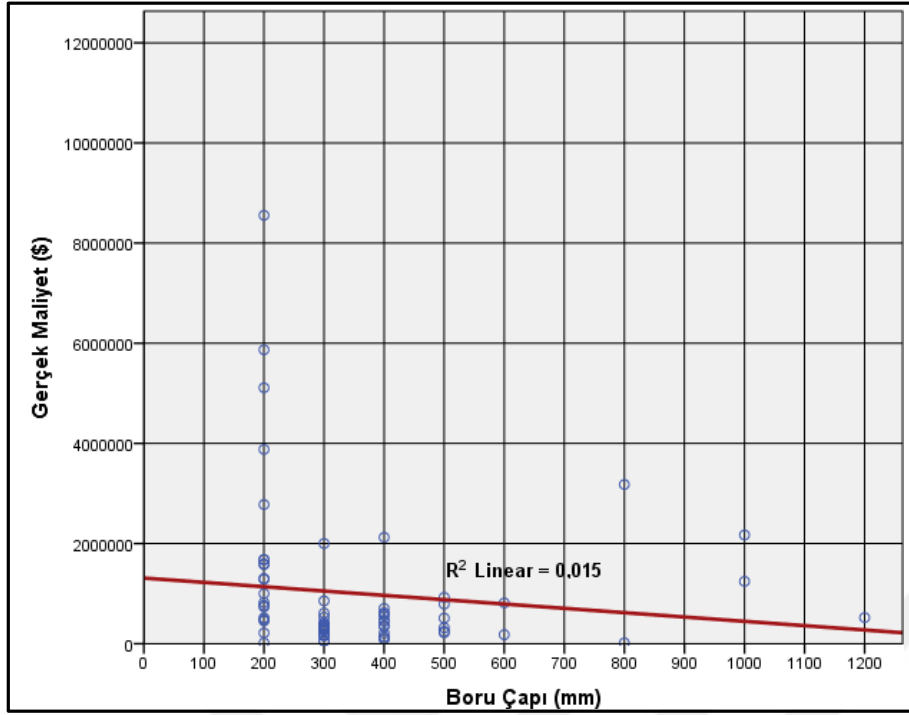
### 5.3.1. Tek değişkenli doğrusal regresyon analizleri

#### Boru Çapı – Maliyet İlişkisi

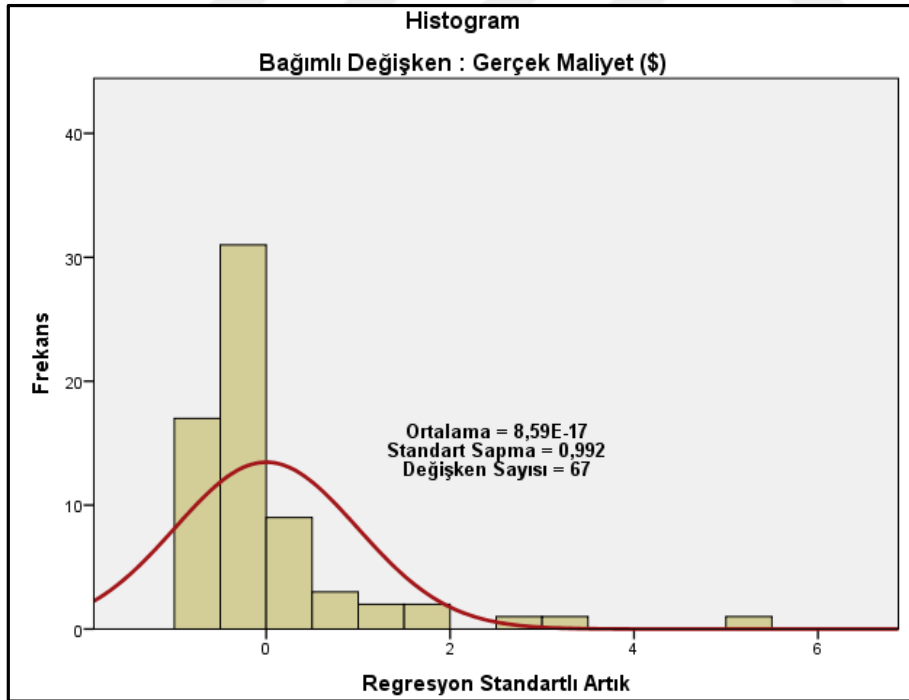
Kanalizasyon hattı içine yerleştirilen boruların çapı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.1’de gösterilmiştir. RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.1’de verilmiş ve  $R^2=0,015$  olarak tespit edilmiştir. Eş. 5.1’de, “D” parametresi boru çapını (mm), “TM” ise tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

$$TM = 1\,311\,526,820 - 864,305 \times D \quad (5.1)$$

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Şekil 5.2’den de anlaşılabacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun olarak dağılmamaktadır. Dolayısıyla boru çapı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça zayıftır.



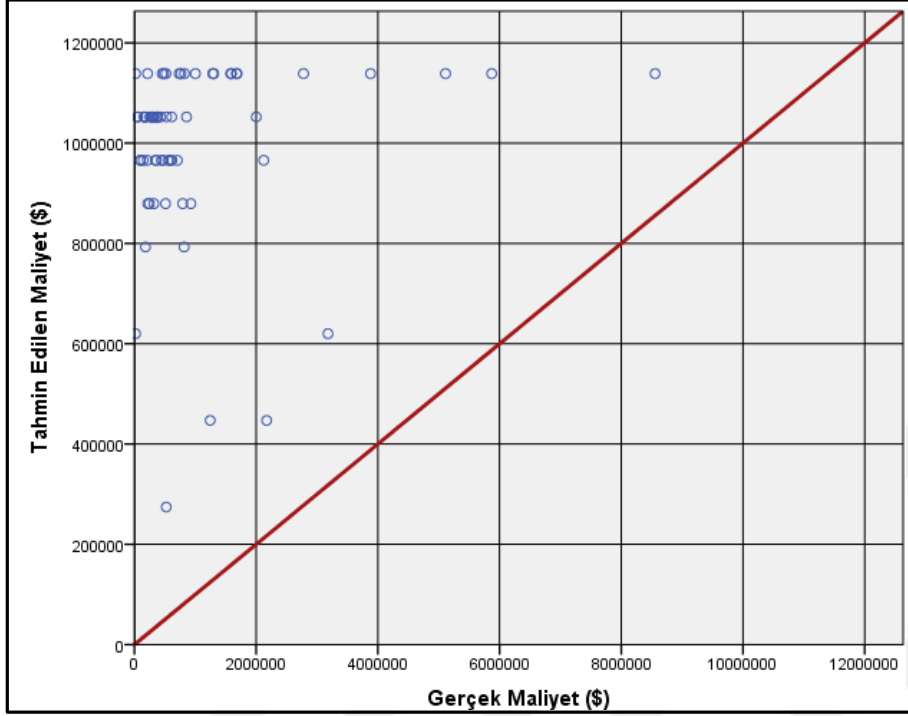
Şekil 5.1. Boru çapı - gerçek maliyet regresyon grafiği



Şekil 5.2. Boru çapı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet ile gerçek maliyet arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Şekil 5.3 incelendiğinde

tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplanmadığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yüksek tahmin ettiği görülmektedir.



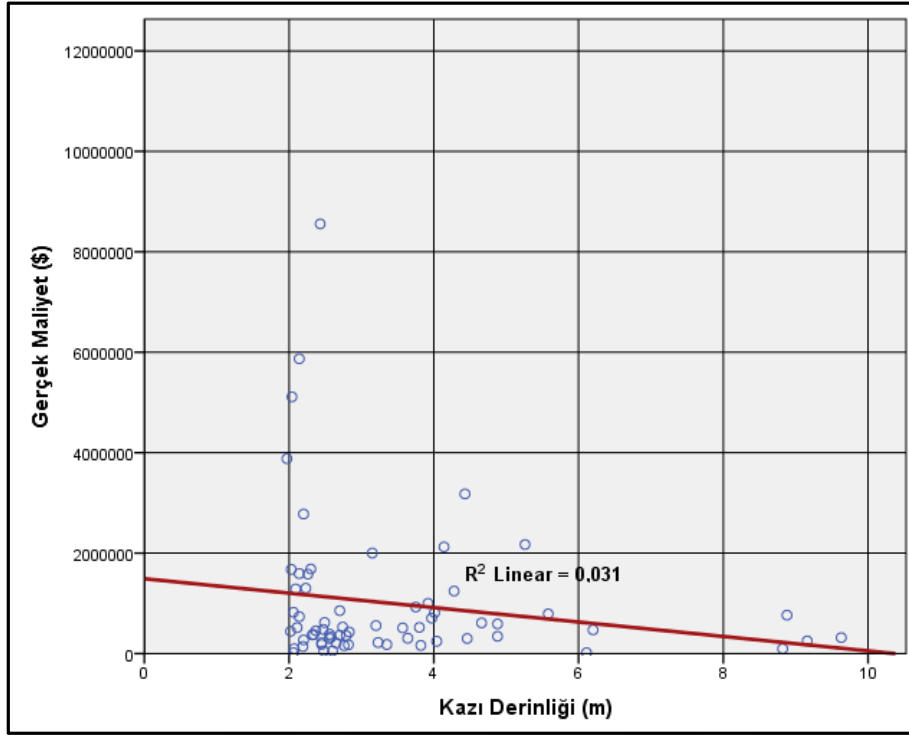
Şekil 5.3. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

#### Kazı Derinliği – Maliyet İlişkisi

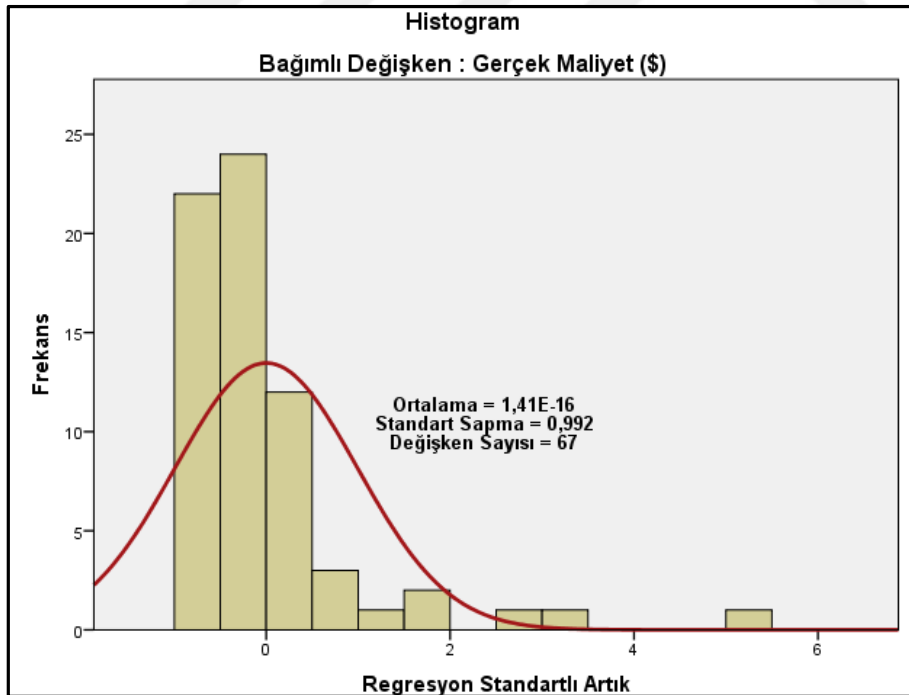
Kanalizasyon hattı borularının yerine yerleştirilmesi için yapılan kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve regresyon grafiği Şekil 5.4’te gösterilmiştir. RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.2’deki şekilde oluşmuş ve  $R^2=0,031$  olarak tespit edilmiştir. Eş. 5.2’de H parametresi kazı derinliğini (m), TM ise tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

$$TM = 1\,491\,337,853 - 143\,722,136 \times H \quad (5.2)$$

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.5’de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun değildir. Dolayısıyla kazı derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça zayıftır.



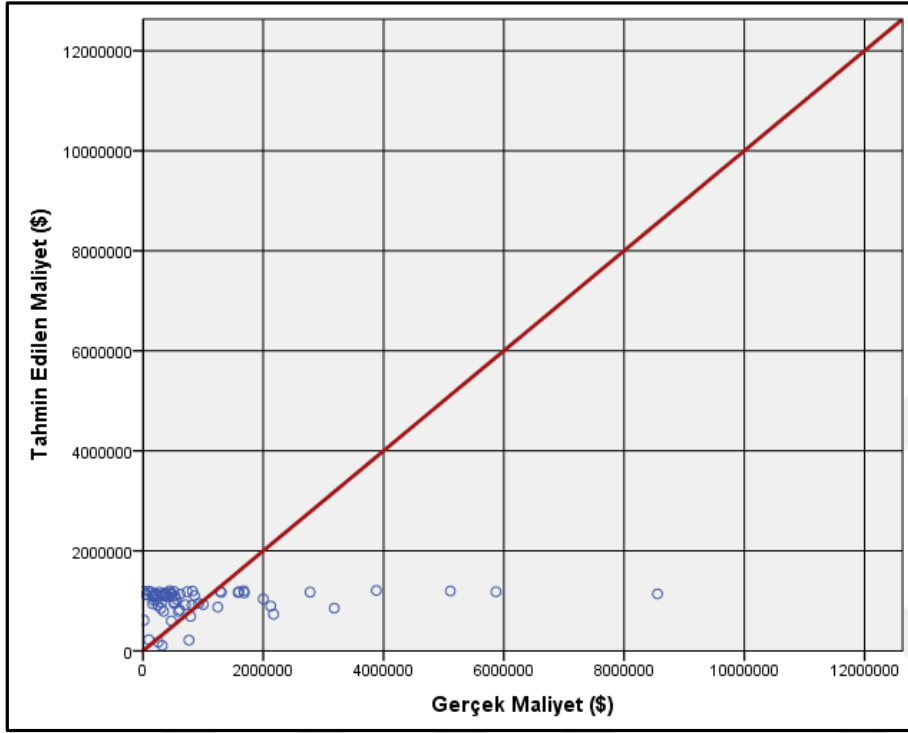
Şekil 5.4. Kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği



Şekil 5.5. Kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet ile gerçek maliyet arasındaki ilişkiyi tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Şekil 5.6 incelendiğinde

kanalizasyon hattı maliyeti tahmin değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplanmadığı ve tahmin edilen maliyet değerlerinin gerçek maliyet değerlerinden oldukça düşük tahmin edildiği görülmektedir.



Şekil 5.6. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

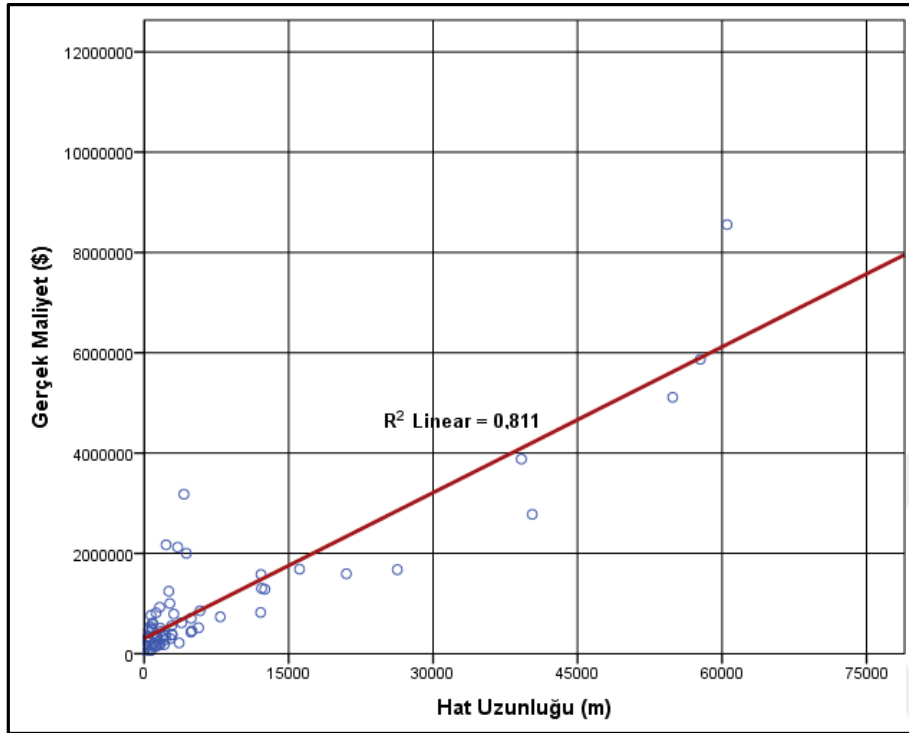
#### Hat Uzunluğu – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon boru hattı uzunluğu ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.7’de gösterilmiştir. RA sonucunda ortaya çıkan regresyon denklemi Eş. 5.3’de ortaya konulmuş ve  $R^2=0,811$  olarak tespit edilmiştir. Eş. 5.3’de L parametresi hat uzunluğunu (m), TM ise tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

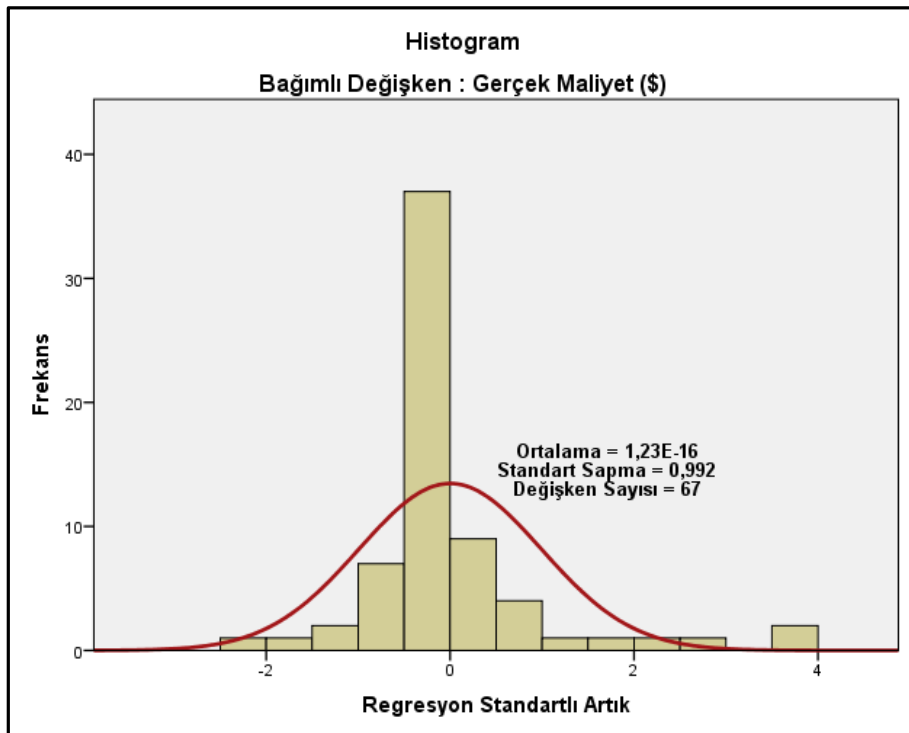
$$TM = 303\,845,346 + 96,927 \times L \quad (5.3)$$

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Şekil 5.8 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.

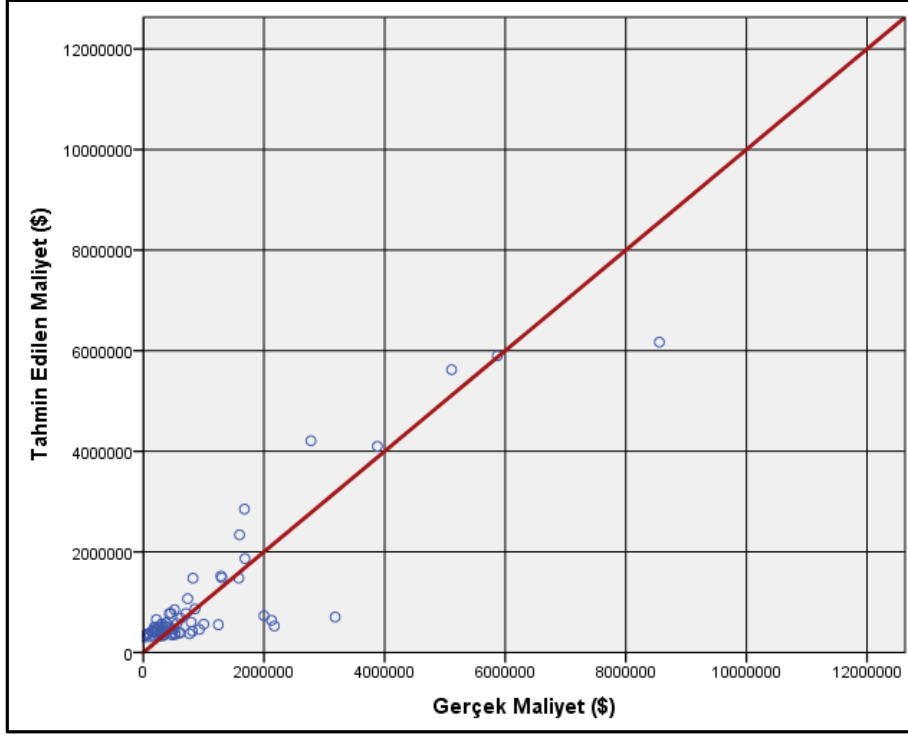


Şekil 5.7. Hat uzunluğu - gerçek maliyet regresyon grafiği



Şekil 5.8. Hat uzunluğu - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet ile gerçek maliyet arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Şekil 5.9 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini nispeten yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir.

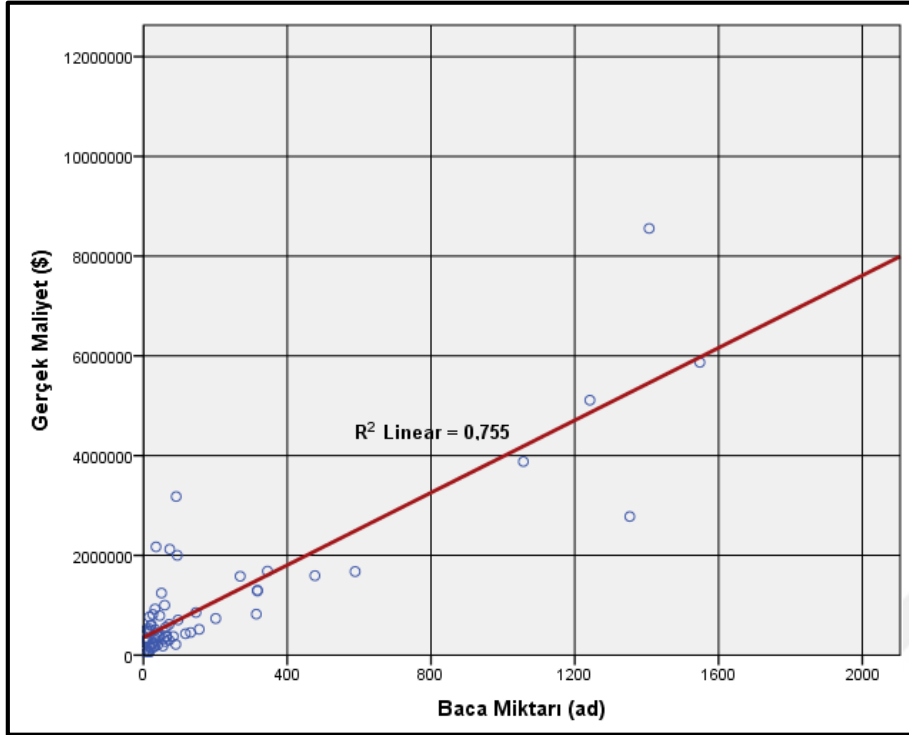


Şekil 5.9. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

#### Baca Miktarı – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon hattı boyunca belli aralıklarla yerleştirilen baca miktarı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Analiz sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.4'deki gibi oluşmuş ve  $R^2=0,755$  olarak tespit edilmiştir. Eş. 5.4'de M parametresi baca miktarını (ad), TM ise tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

$$TM = 354\,177,451 + 3\,629,577 \times M \quad (5.4)$$

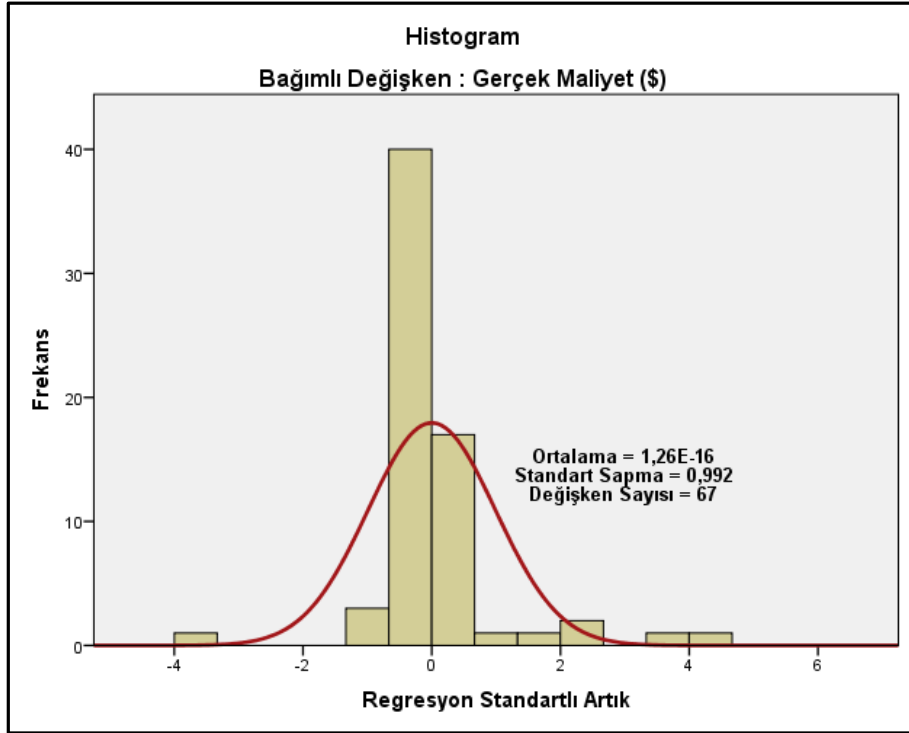


Şekil 5.10. Baca miktarı - gerçek maliyet regresyon grafiği

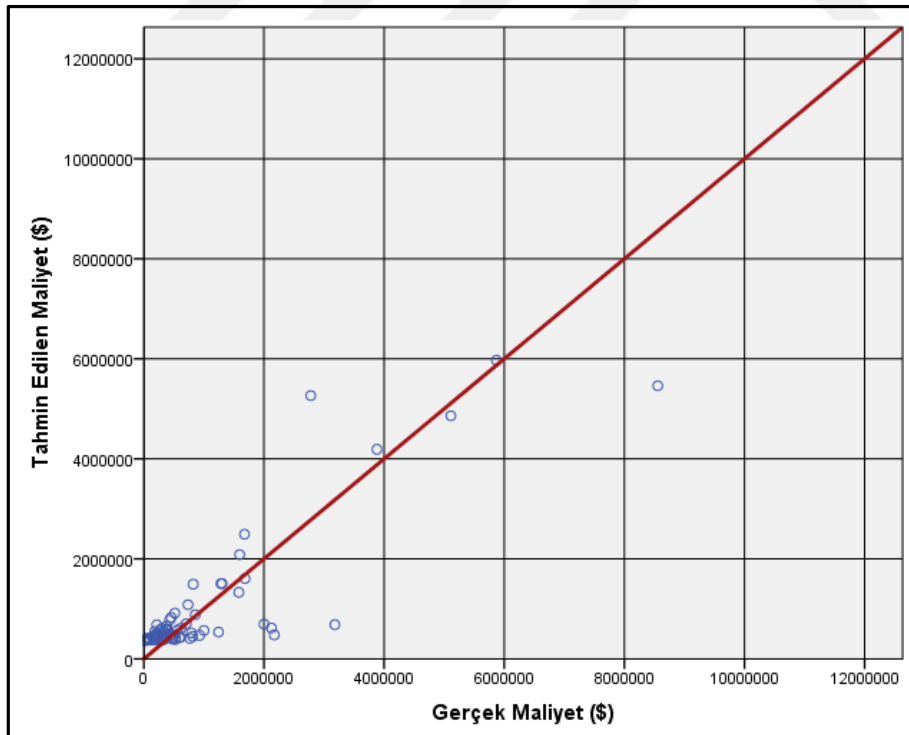
Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Şekil 5.11 incelendiğinde hataların normal dağılıma uygun olarak dağıldığı görülmektedir. Dolayısıyla baca miktarı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü nispeten kuvvetlidir. Tek değişkenli RA’lar içerisinde ikinci en iyi sonucu veren analiz kanalizasyon hattında yer alan baca miktarı ile gerçek maliyet arasında yapılan analizde ortaya çıkmıştır.

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Şekil 5.12 incelendiğinde tahmin değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve tahmin edilen maliyet değerlerinin, gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın tahmin ettiği görülmektedir.





Şekil 5.11. Baca miktarı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı



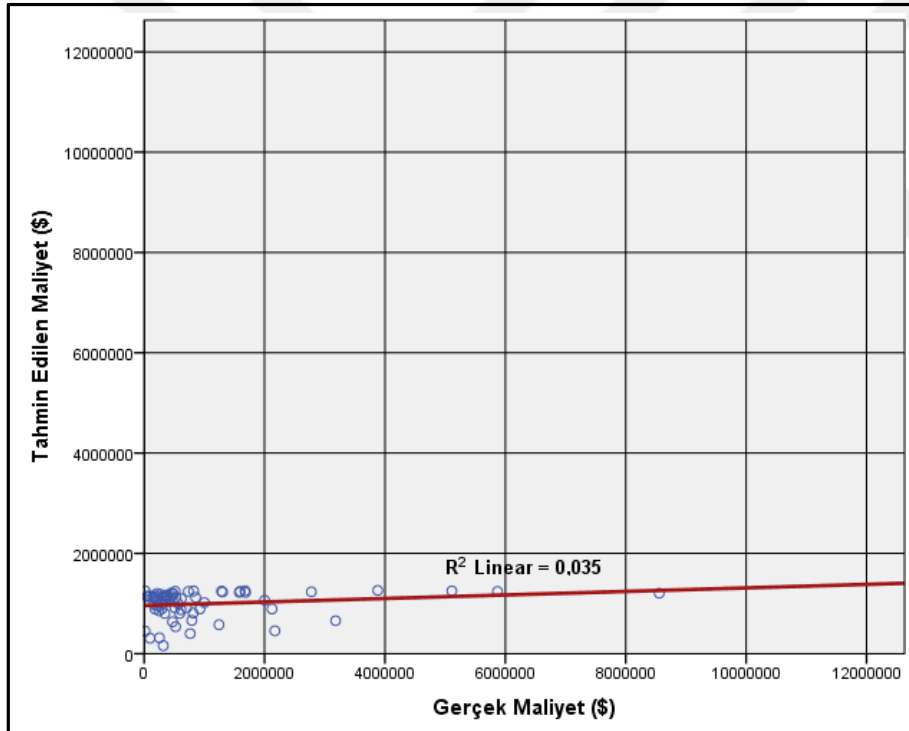
Şekil 5.12. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

### 5.3.2. İki değişkenli lineer regresyon analizleri

#### Boru Çapı ve Kazı derinliği – Maliyet İlişkisi

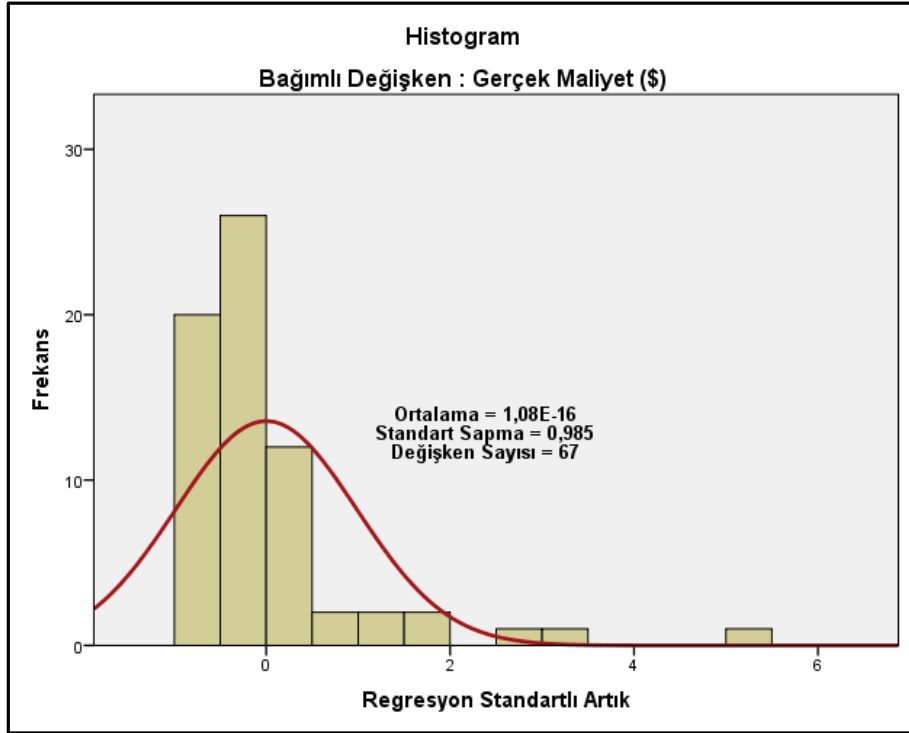
Kanalizasyon hattına dönecek borunun çapı ve yapılacak kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.13'te gösterilmiştir. RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.5'de gösterildiği şekilde oluşmuş ve  $R^2=0,035$  olarak belirlenmiştir. Eş. 5.5'de D parametresi boru çapını (mm), H parametresi kazı derinliğini (m), TM ise tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

$$TM = 1\,606\,147,881 - 495,117 \times D - 124\,522,855 \times H \quad (5.5)$$



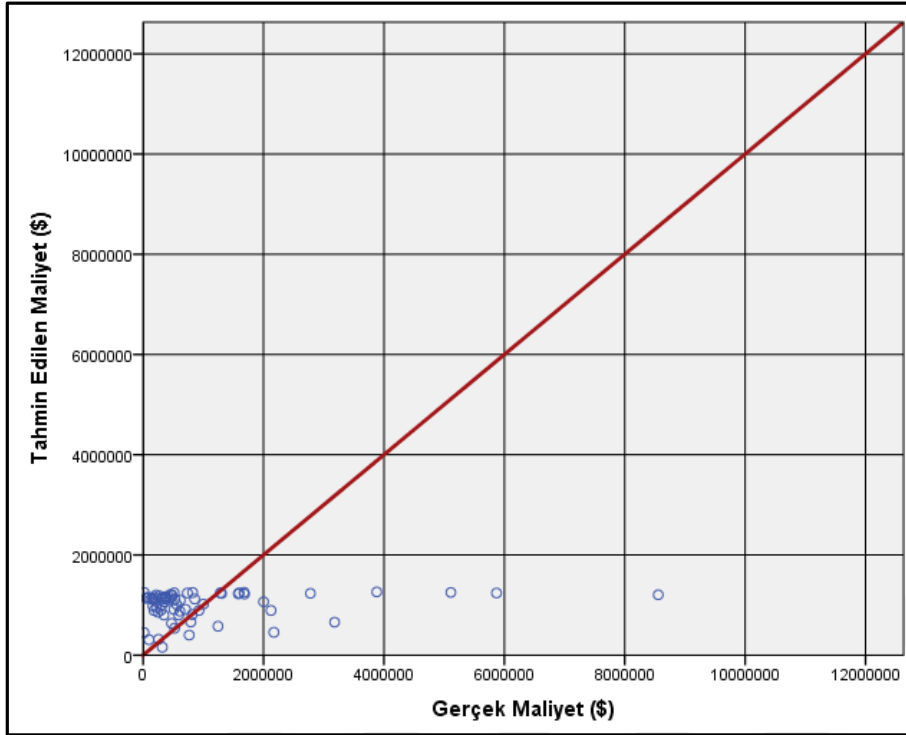
Şekil 5.13. Boru çapı ve kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.14'de gösterilmiştir. Şekil 5.14'den de anlaşılabacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun olarak dağılmamaktadır. Dolayısıyla boru çapı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça zayıftır.



Şekil 5.14. Boru çapı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet ile gerçek maliyet arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.15'te gösterilmiştir. Şekil 5.15 incelendiğinde tahmin değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplanmadığı ve tahmin edilen maliyet değerlerinin gerçek maliyet değerlerinden oldukça düşük olduğu görülmektedir.



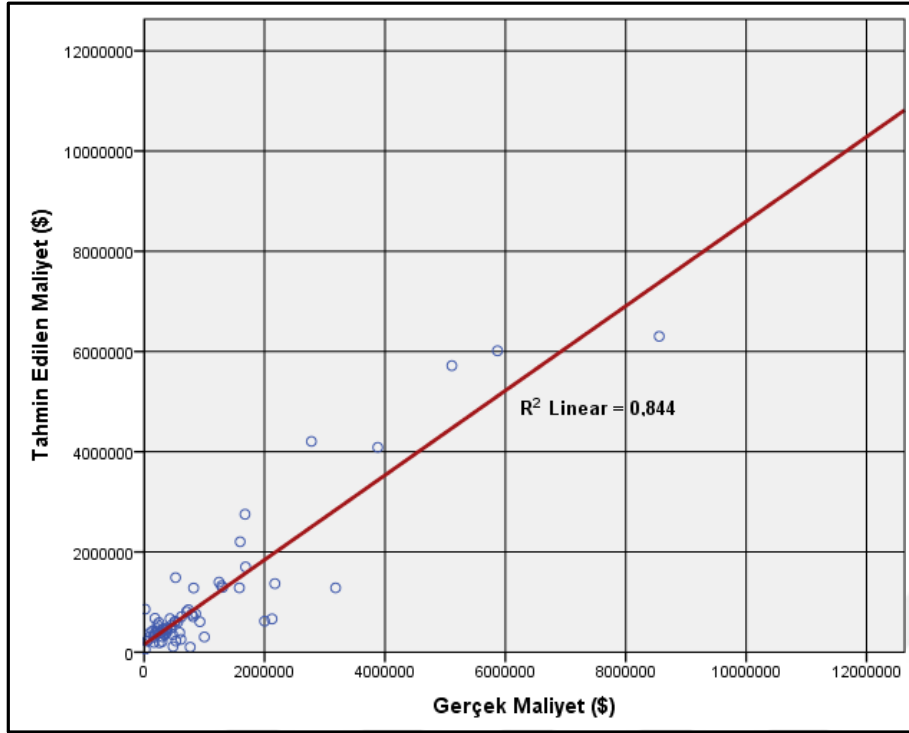
Şekil 5.15. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

#### Boru Çapı ve Hat Uzunluğu – Maliyet İlişkisi

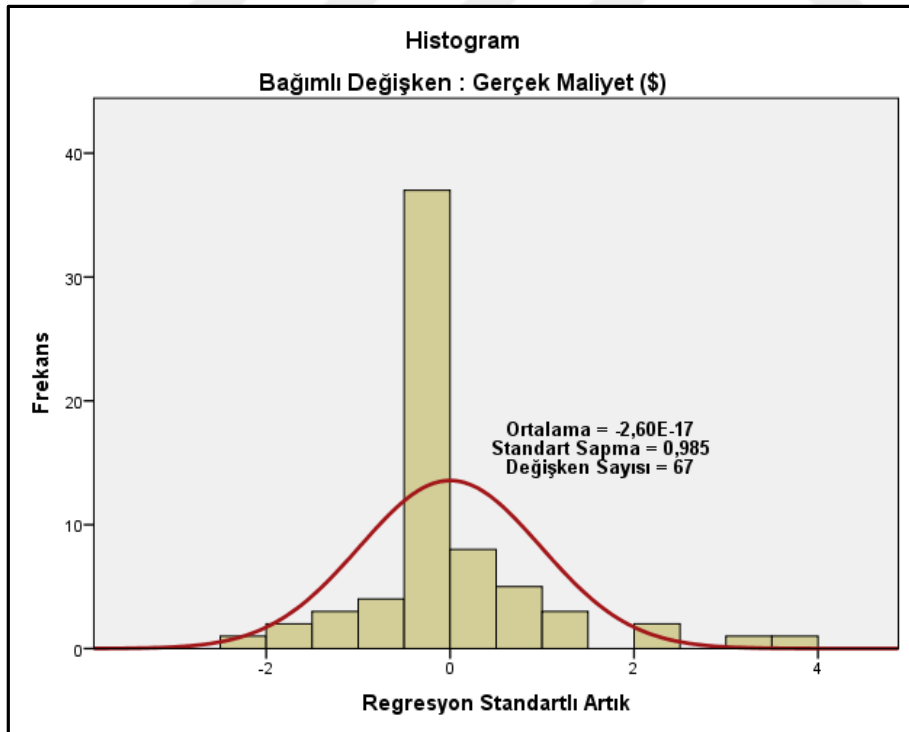
Kanalizasyon hattında kullanılan borunun çapı ve boru hattının uzunluğu ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 5.16). Regresyon analizi sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.6'da gösterildiği gibi oluşmuş ve  $R^2=0,844$  olarak tespit edilmiştir. Eş. 5.6'da D parametresi boru çapını (mm), L parametresi hat uzunluğunu (m) ve TM ise tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

$$TM = - 249\,643,858 + 1\,381,316 \times D + 103,707 \times L \quad (5.6)$$

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.17'de gösterilmiştir. Şekil 5.17'den 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.



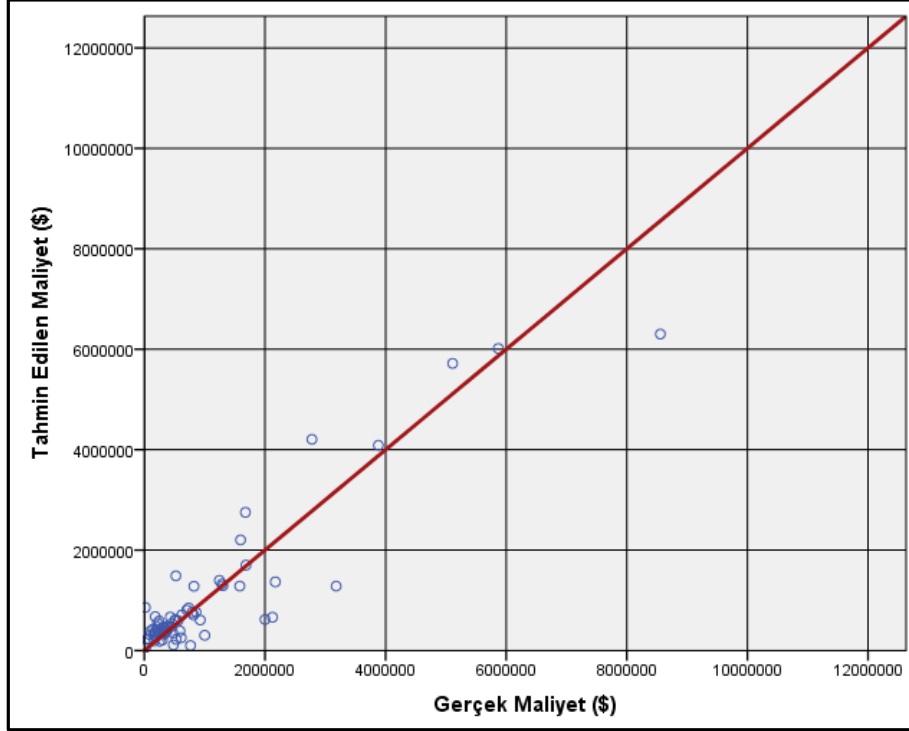
Şekil 5.16. Boru çapı, Hat uzunluğu - gerçek maliyet regresyon grafiği



Şekil 5.17. Boru çapı, hat uzunluğu - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü görebilmek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.18’de gösterilmiştir. Şekil

5.18 incelendiğinde maliyet tahmin değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerine oldukça yakın tahmin edildiği görülmektedir.



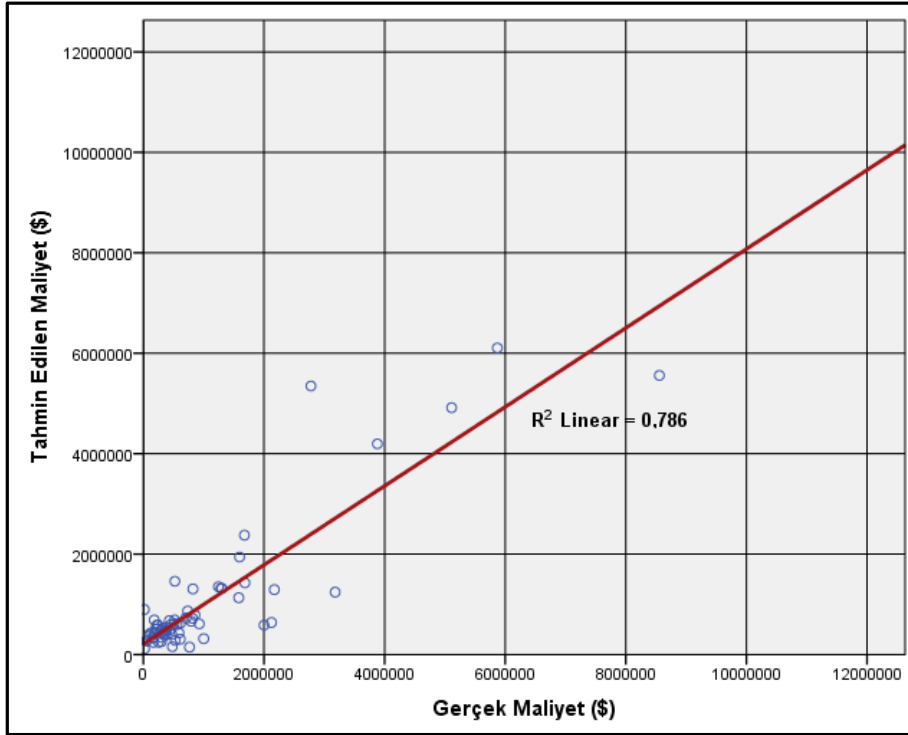
Şekil 5.18. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

#### Boru Çapı ve Baca Miktarı – Maliyet İlişkisi

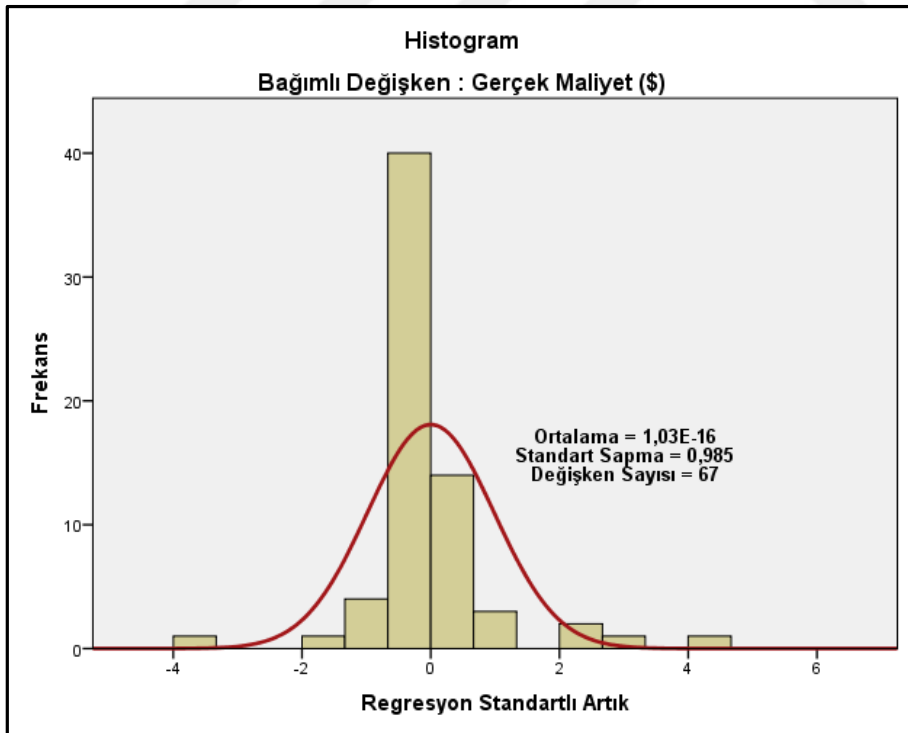
Kanalizasyon hattında kullanılan borunun çapı ve hat boyunca konulacak bacanın miktarı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 5.19). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.7'deki gibi oluşmuş ve  $R^2=0,786$  olarak tespit edilmiştir. Eş. 5.7'de D parametresi boru çapını (mm), M parametresi baca miktarını (ad) ve TM'de tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

$$TM = -180\,941,837 + 1\,338,365 \times D + 3\,888,324 \times M \quad (5.7)$$

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Şekil 5.20'den de anlaşılabacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun olarak görülmektedir. Dolayısıyla kanalizasyon hattı projesinde kullanılan borunun çapı ve bacanın miktarı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü nispeten kuvvetlidir.



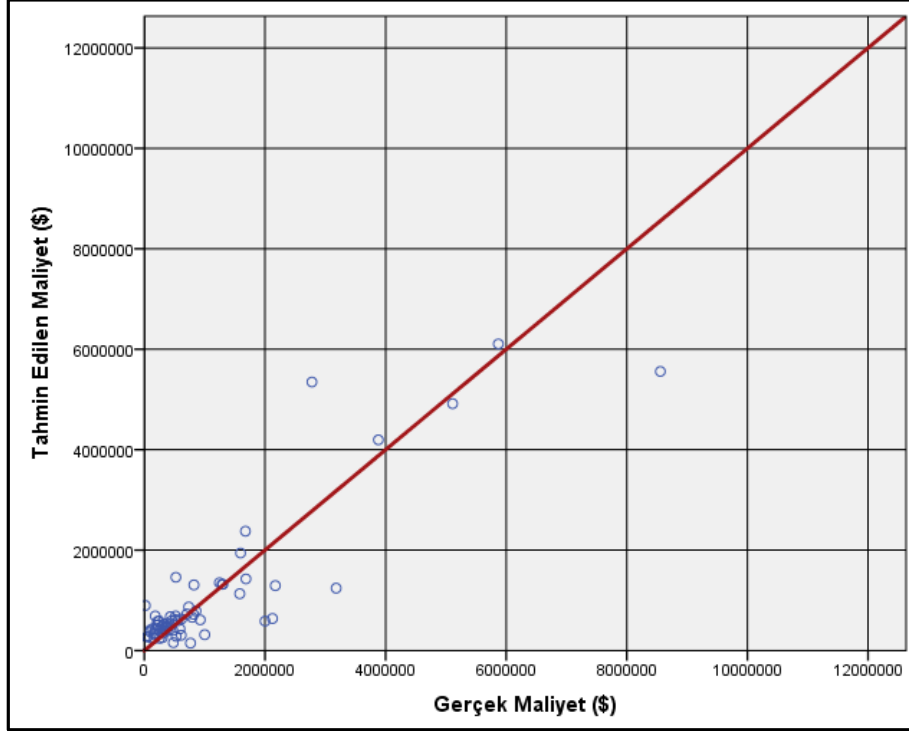
Şekil 5.19. Boru çapı, baca miktarı - gerçek maliyet regresyon grafiği



Şekil 5.20. Boru çapı, baca miktarı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin derecesini tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.21’de gösterilmiştir. Şekil

5.21 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 5.21. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

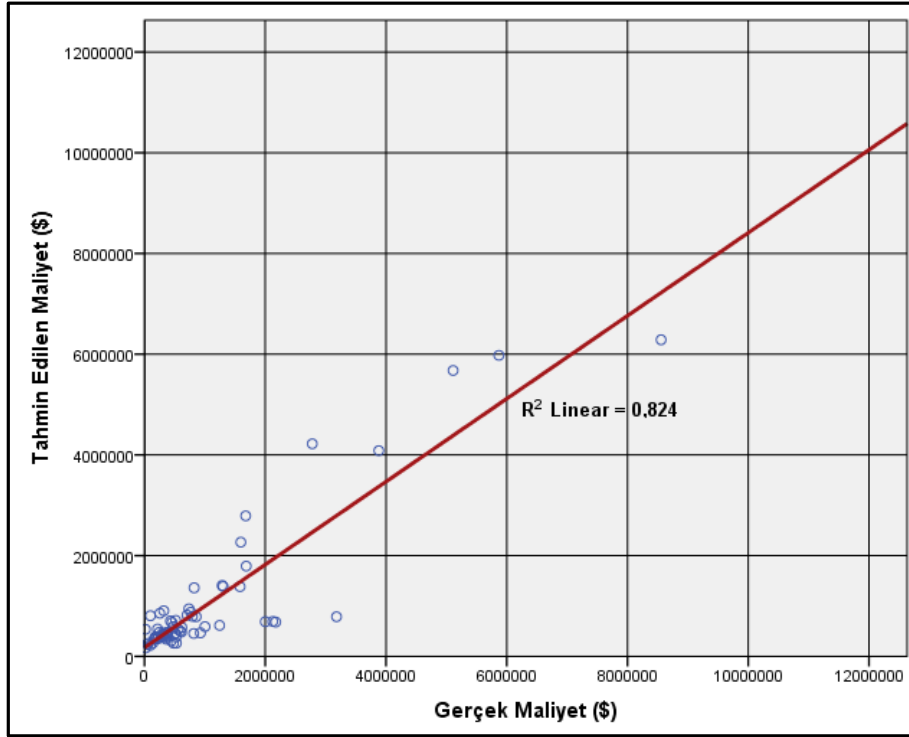
#### Hat uzunluğu ve Kazı derinliği – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon boru hattı uzunluğu ve yapılan kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.22’de gösterilmiştir. RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.8’deki gibi oluşmuş ve  $R^2=0,824$  olarak tespit edilmiştir. Eş. 5.8’de L parametresi hat uzunluğunu (m), H parametresi kazı derinliğini (m) ve TM’de tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

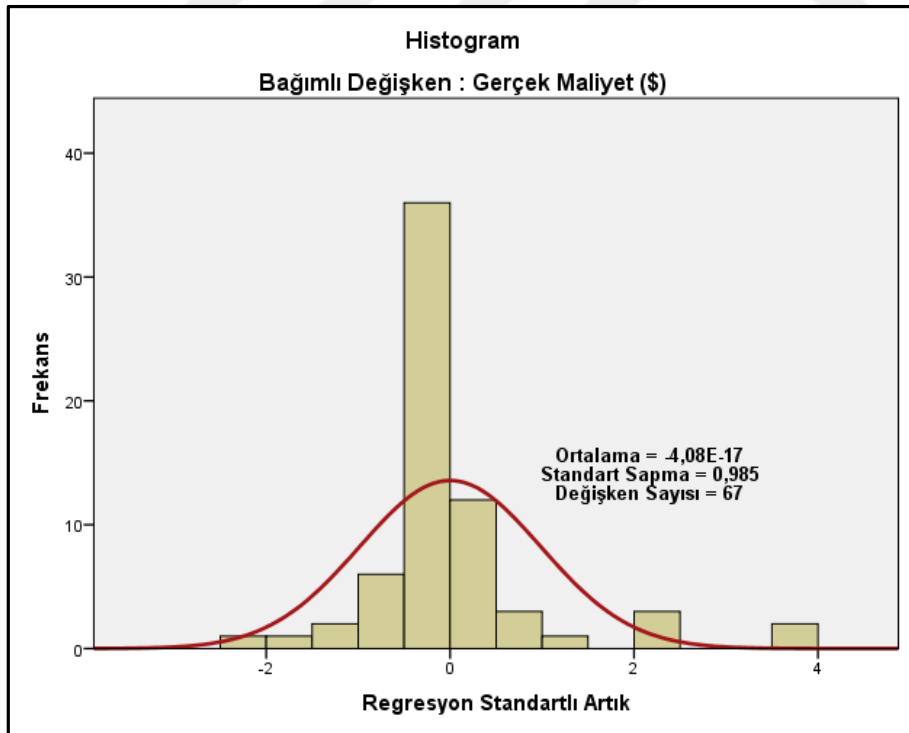
$$TM = - 61\,430,730 + 100,966 \times L + 97\,520,124 \times H \quad (5.8)$$

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.23’de gösterilmiştir. Şekil 5.23’ten de anlaşılabacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun olarak dağılmıştır. Dolayısıyla hat uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça kuvvetlidir.





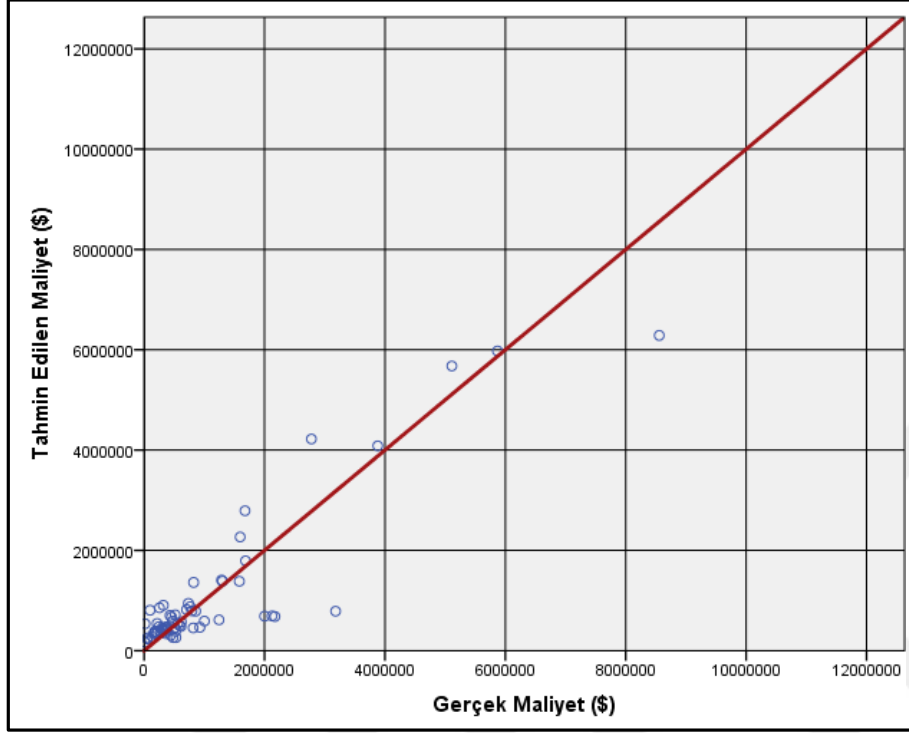
Şekil 5.22. Hat uzunluğu, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği



Şekil 5.23. Hat uzunluğu, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında RA yapılmış ve Şekil 5.24'te gösterilmiştir. Şekil 5.24 incelendiğinde tahmin edilen

maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerine oldukça yakın tahmin edildiği görülmektedir.



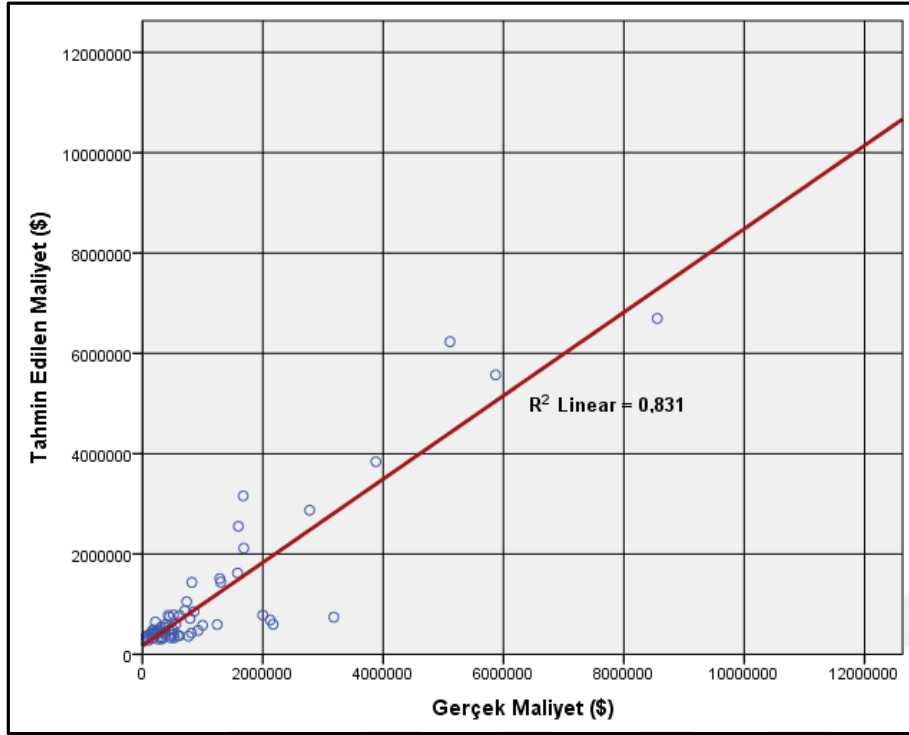
Şekil 5.24. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

#### Hat Uzunluğu ve Baca Miktarı – Maliyet İlişkisi

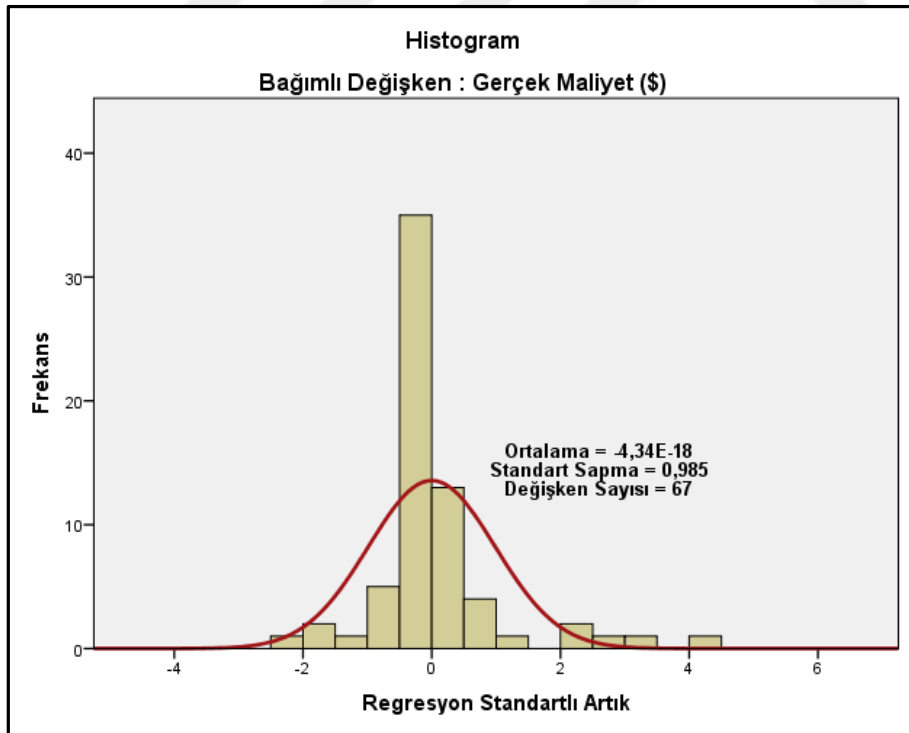
Kanalizasyon boru hattı uzunluğu ve hat üzerine yerleştirilen baca miktarı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 5.25). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.9’da gösterildiği gibi oluşmuş, ve  $R^2=0,831$  olarak tespit edilmiştir. Eş. 5.9’da L parametresi hat uzunluğunu (m), M parametresi baca miktarını (ad) ve TM’de tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

$$TM = 282\,994,376 + 199,777 \times L - 4\,035,642 \times M \quad (5.9)$$

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.26’da gösterilmiştir. Şekil 5.26 incelendiğinde hataların normal dağılıma uygun olarak dağıldığı görülmektedir. Dolayısıyla kanalizasyon boru hattı uzunluğu ve baca miktarı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça kuvvetlidir.



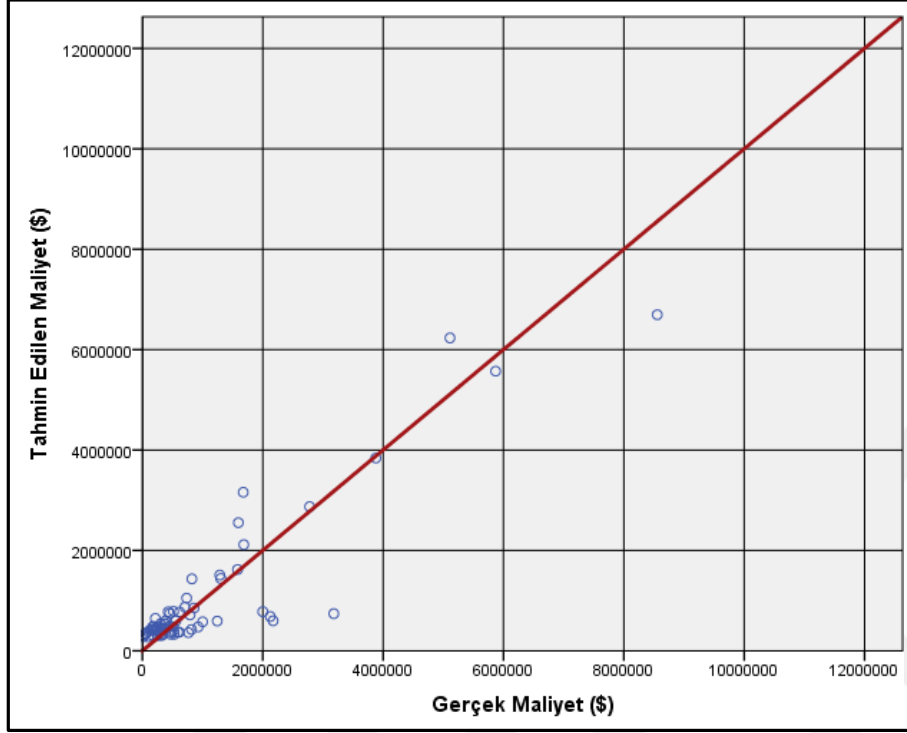
Şekil 5.25. Hat uzunluğu, baca miktarı - gerçek maliyet regresyon grafiği



Şekil 5.26. Hat uzunluğu, baca miktarı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.27’de gösterilmiştir. Şekil

5.27 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın tahmin ettiği görülmektedir.



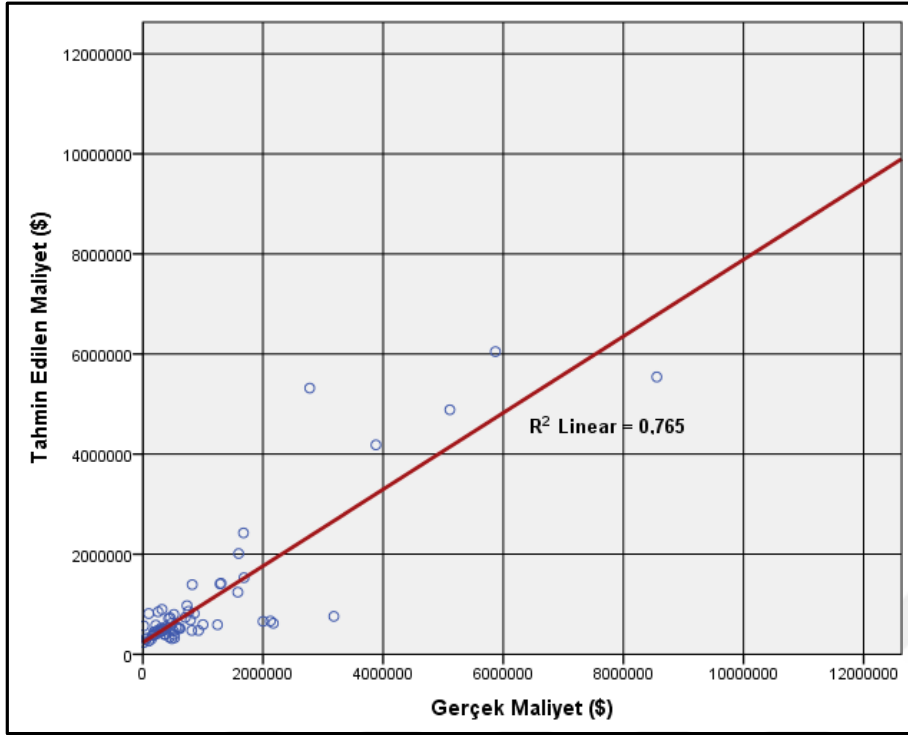
Şekil 5.27. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

#### Baca Miktarı ve Kazı Derinliği – Maliyet İlişkisi

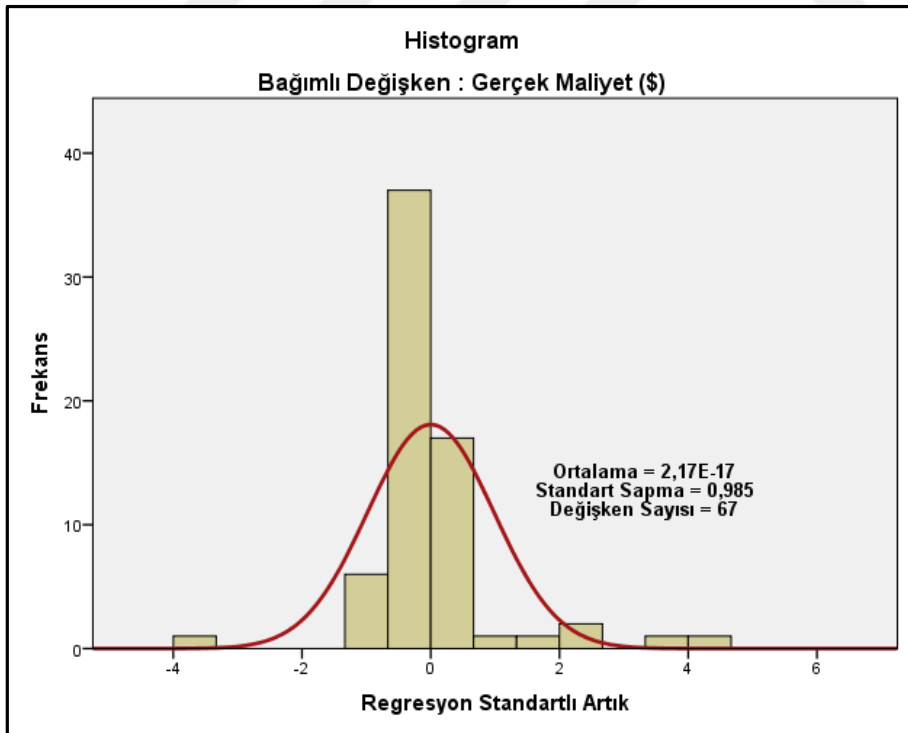
Kanalizasyon hattı boyunca yerleştirilen baca miktarı ve borunun yerleştirilmesi için yapılan kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 5.28). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.10’da gösterildiği gibi belirlenmiş ve  $R^2=0,765$  olarak bulunmuştur. Eş. 5.10’da M parametresi baca miktarını (ad), H parametresi kazı derinliğini (m) ve TM ise tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

$$TM = 31\,139,849 + 3\,767,630 \times M + 86\,560,197 \times H \quad (5.10)$$

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.29’da gösterilmiştir. Şekil 5.29’dan da anlaşılabacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun olarak ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla kanalizasyon hattı boyunca yerleştirilen baca miktarı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü nispeten kuvvetlidir.



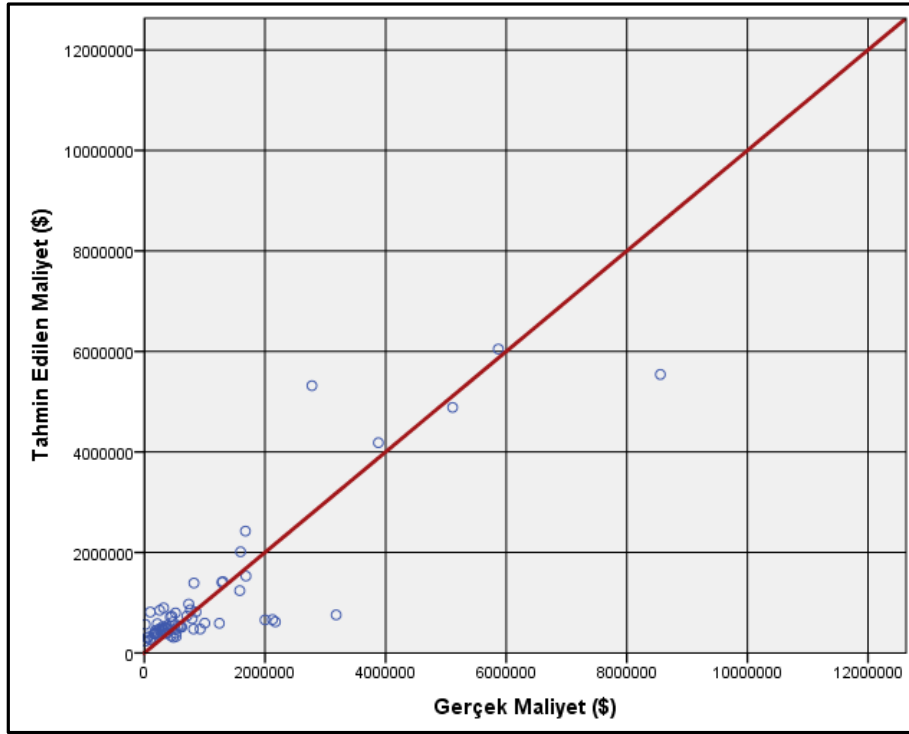
Şekil 5.28. Baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği



Şekil 5.29. Baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasındaki ilişkinin gücünü görebilmek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.30'da

gösterilmiştir. Şekil 5.30 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerine oldukça yakın olarak tahmin edildiği görülmektedir.



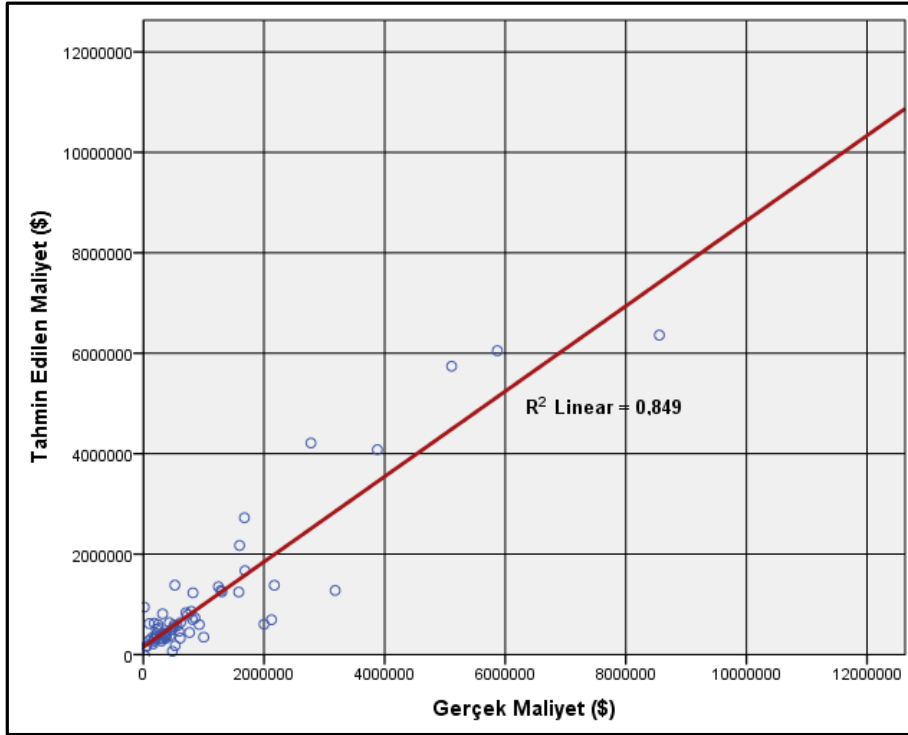
Şekil 5.30. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

### 5.3.3. Üç değişkenli lineer regresyon analizleri

#### Boru çapı, Hat uzunluğu ve Kazı derinliği – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon hattına dönecek borunun çapı, hattın uzunluğu ve kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 5.31). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.11'deki gibi oluşmuş ve  $R^2=0,849$  olarak tespit edilmiştir. Eş. 5.11'de D parametresi boru çapını (mm), L parametresi hat uzunluğunu (m), H parametresi kazı derinliğini (m) ve TM'de tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

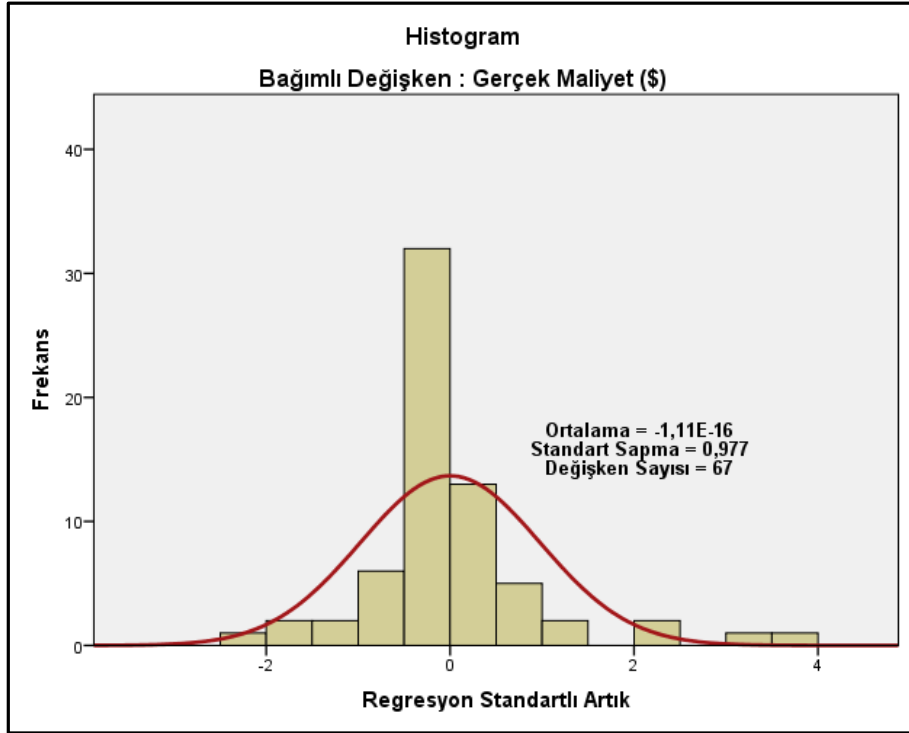
$$TM = - 419\,420,807 + 1\,241,921 \times D + 105,518 \times L + 60\,238,489 \times H \quad (5.11)$$



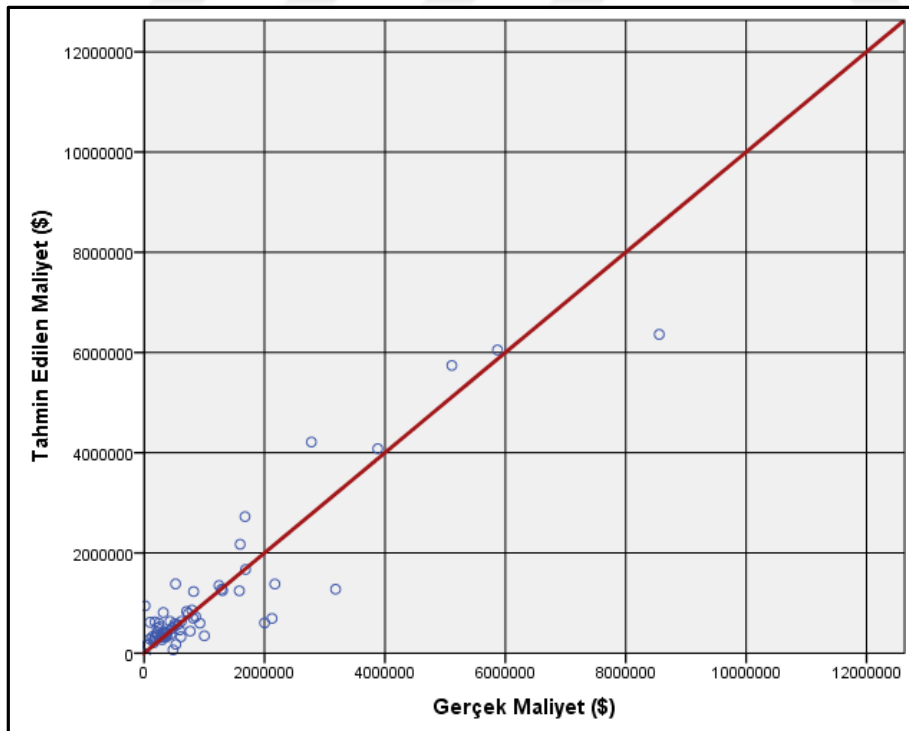
Şekil 5.31. Boru çapı, hat uzunluğu, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.32’de gösterilmiştir. Şekil 5.32 incelendiğinde hataların normal dağılıma uygun olarak dağıldığı görülmektedir. Dolayısıyla boru çapı, hat uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça kuvvetlidir.

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.33’de gösterilmiştir. Şekil 5.33 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın tahmin ettiği görülmektedir.



Şekil 5.32. Boru çapı, hat uzunluğu, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı



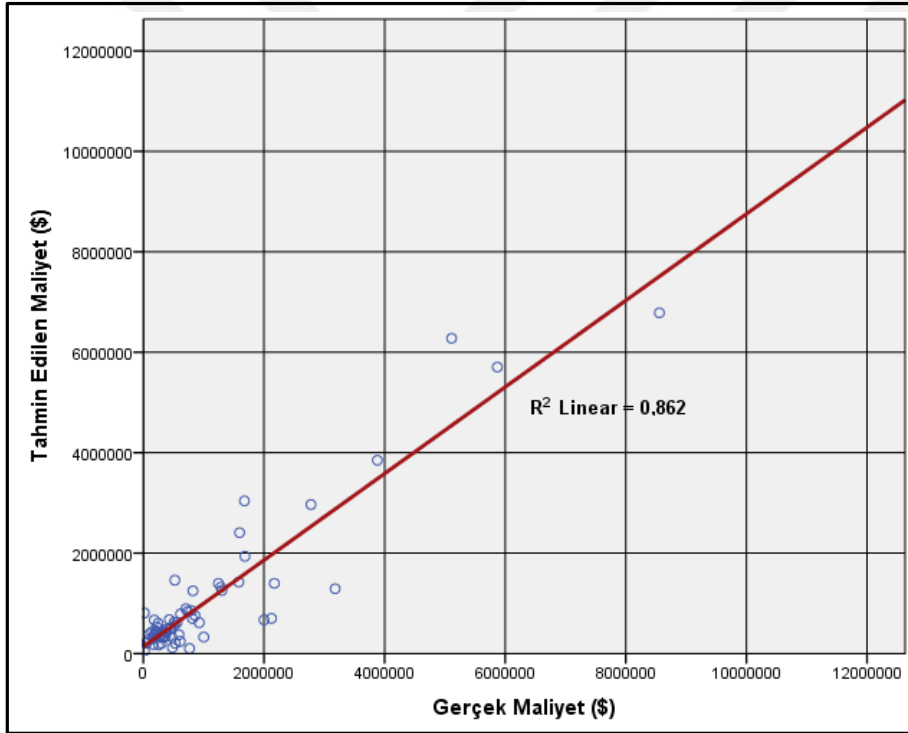
Şekil 5.33. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması



### Boru Çapı, Hat Uzunluğu ve Baca Miktarı – Maliyet İlişkisi

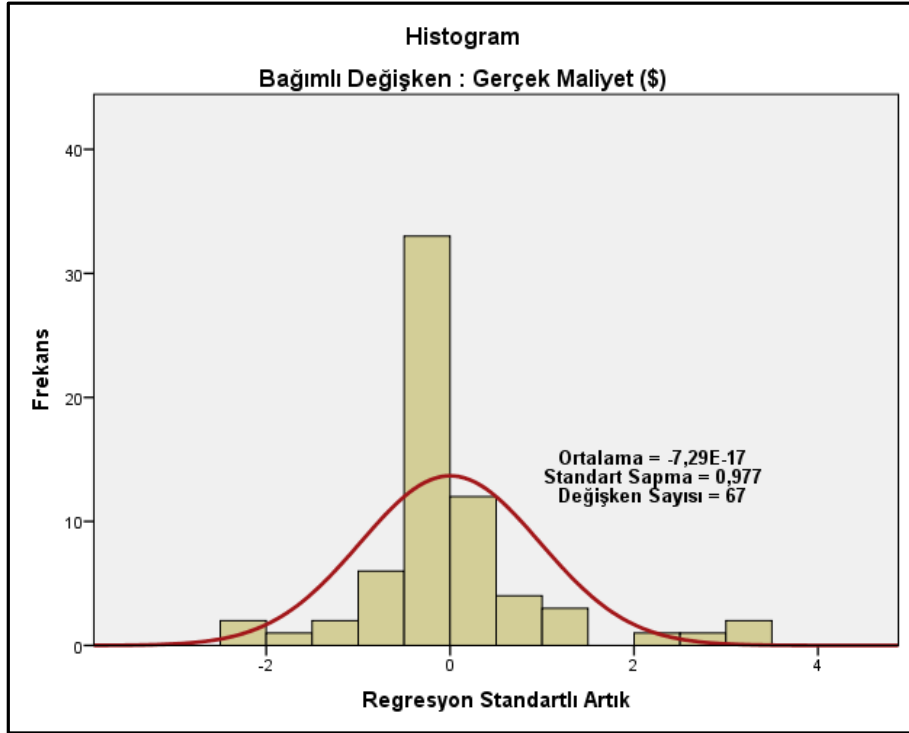
Kanalizasyon hattı içerisine yerleştirilen borunun çapı, hattın uzunluğu ve hat boyunca konulan bacanın miktarı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 5.34). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.12’de gösterildiği gibi oluşmuş ve  $R^2=0,862$  olarak tespit edilmiştir. Eş. 5.12’de D parametresi boru çapını (mm), L parametresi hat uzunluğunu (m), M parametresi baca miktarını (ad) ve TM’de tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

$$TM = - 244\,429,492 + 1\,320,104 \times D + 198,672 \times L - 3\,738,003 \times M \quad (5.12)$$



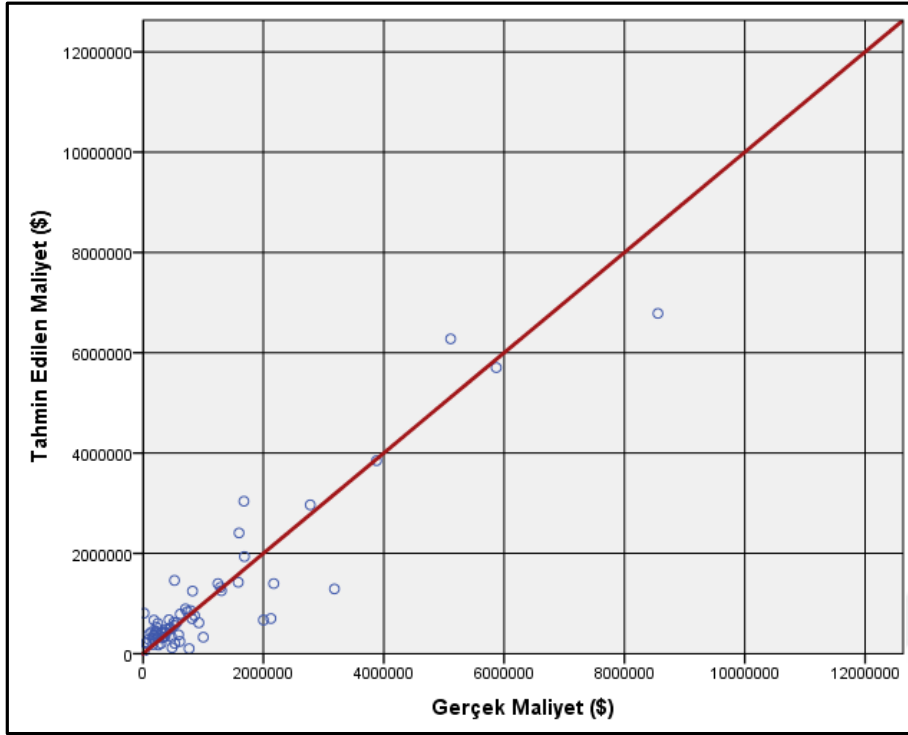
Şekil 5.34. Boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı - gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.35’de gösterilmiştir. Şekil 5.35’den de anlaşılabacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun olarak dağılmıştır. Dolayısıyla kanalizasyon hattı içine yerleştirilen borunun çapı, hattın uzunluğu ve bacanın miktarı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça kuvvetlidir. Yapılan üç değişkenli doğrusal RA’lar içinde en yüksek regresyon katsayısını veren, gerçek maliyeti en iyi tahmin eden analiz boru çapı, hat uzunluğu ve baca miktarı ile gerçek maliyet arasında yapılan RA sonucunda ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.35. Boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.36'da gösterilmiştir. Şekil 5.36 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerine oldukça yakın tahmin edildiği görülmektedir.



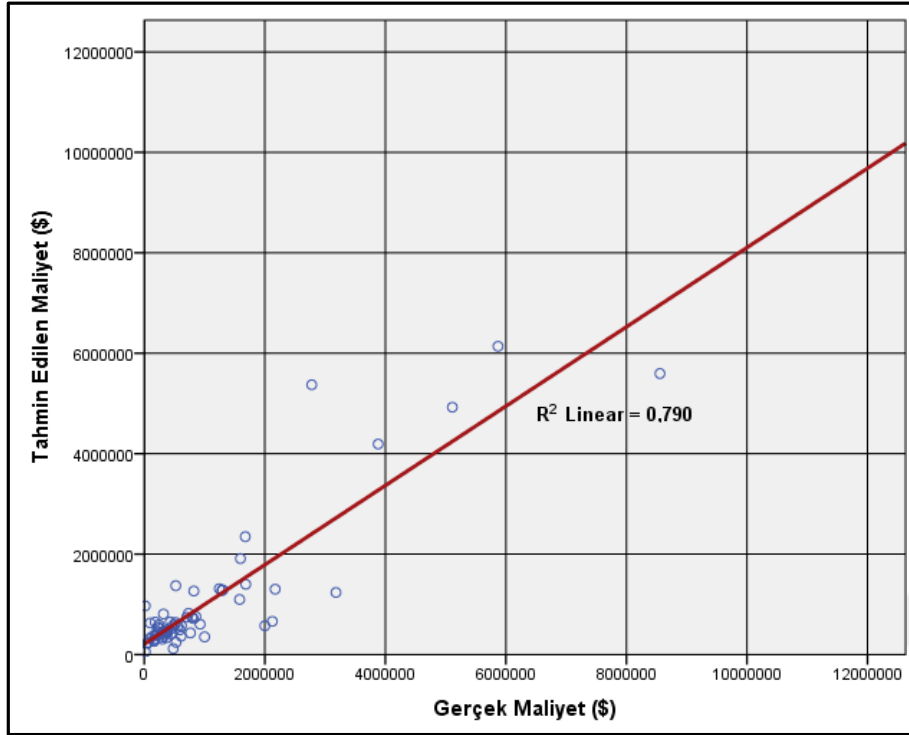
Şekil 5.36. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

#### Boru Çapı, Baca Miktarı ve Kazı Derinliği – Maliyet İlişkisi

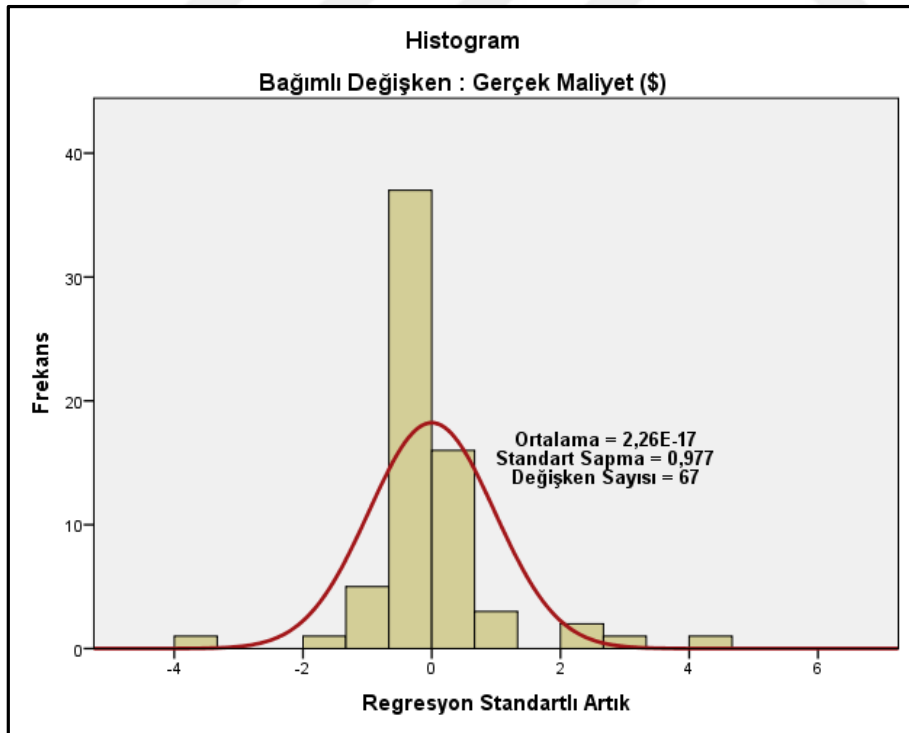
Kanalizasyon hattı boyunca yerleştirilen borunun çapı, bacanın miktarı ve yapılan kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 5.37). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.13'deki şekilde oluşmuş ve  $R^2=0,790$  olarak tespit edilmiştir. Eş. 5.13'de D parametresi boru çapını (mm), M parametresi baca miktarını (ad), H parametresi kazı derinliğini (m) ve TM'de tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

$$TM = - 321\,373,419 + 1\,222,529 \times D + 3\,945,736 \times M + 50\,040,001 \times H \quad (5.13)$$

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.38'de gösterilmiştir. Şekil 5.38 incelendiğinde hataların normal dağılıma uygun olarak dağıldığı görülmektedir. Dolayısıyla kanalizasyon hattı boyunca yerleştirilen borunun çapı, bacanın miktarı ve yapılan kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü nispeten kuvvetlidir.

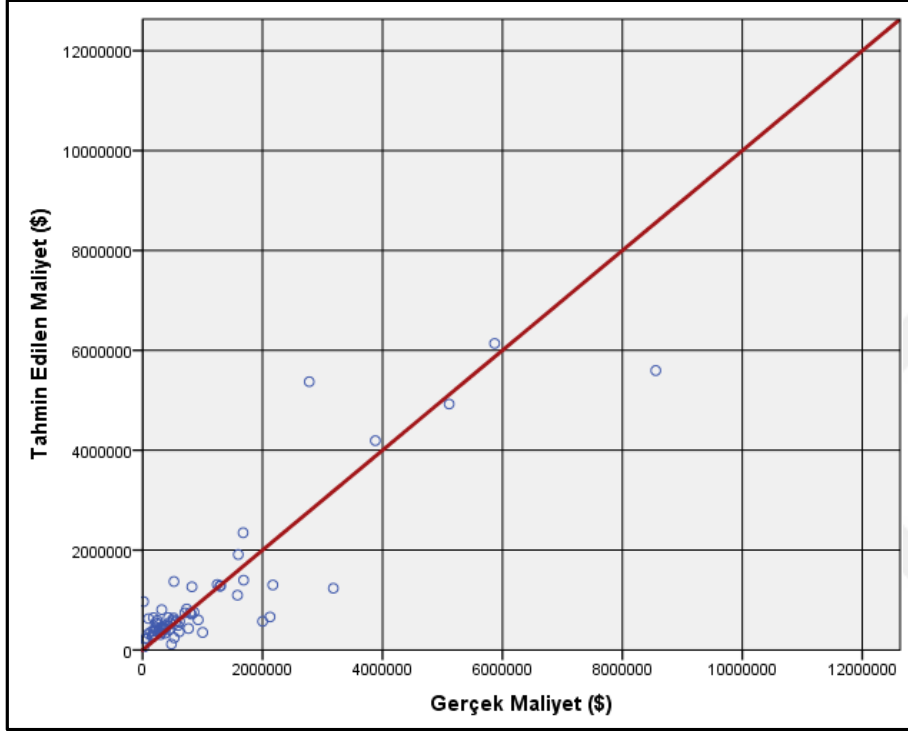


Şekil 5.37. Boru çapı, baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği



Şekil 5.38. Boru çapı, baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.39’da gösterilmiştir. Şekil 5.39 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerinin oldukça yakın tahmin edildiği görülmektedir.

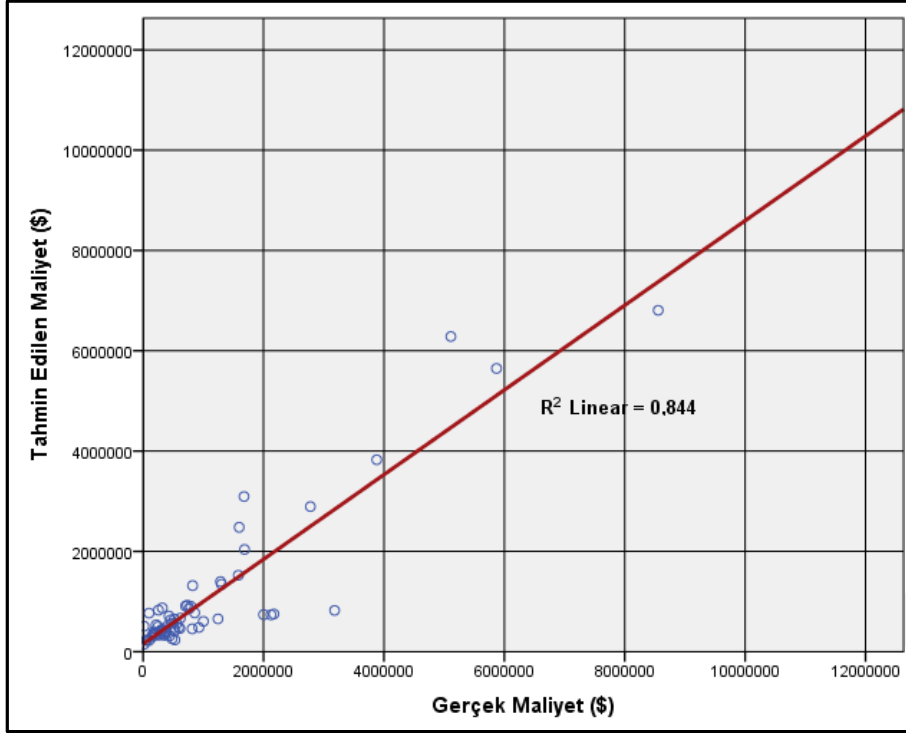


Şekil 5.39. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

#### Hat Uzunluğu, Baca Miktarı ve Kazı Derinliği – Maliyet İlişkisi

Kanalizasyon boru hattının uzunluğu, hat boyunca yerleştirilen baca miktarı ve yapılan kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 5.40). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.14’de verildiği gibi oluşmuş ve  $R^2=0,844$  olarak tespit edilmiştir. Eş. 5.14’de L parametresi hat uzunluğunu (m), M parametresi baca miktarını (ad), H parametresi kazı derinliğini (m) ve TM’de tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

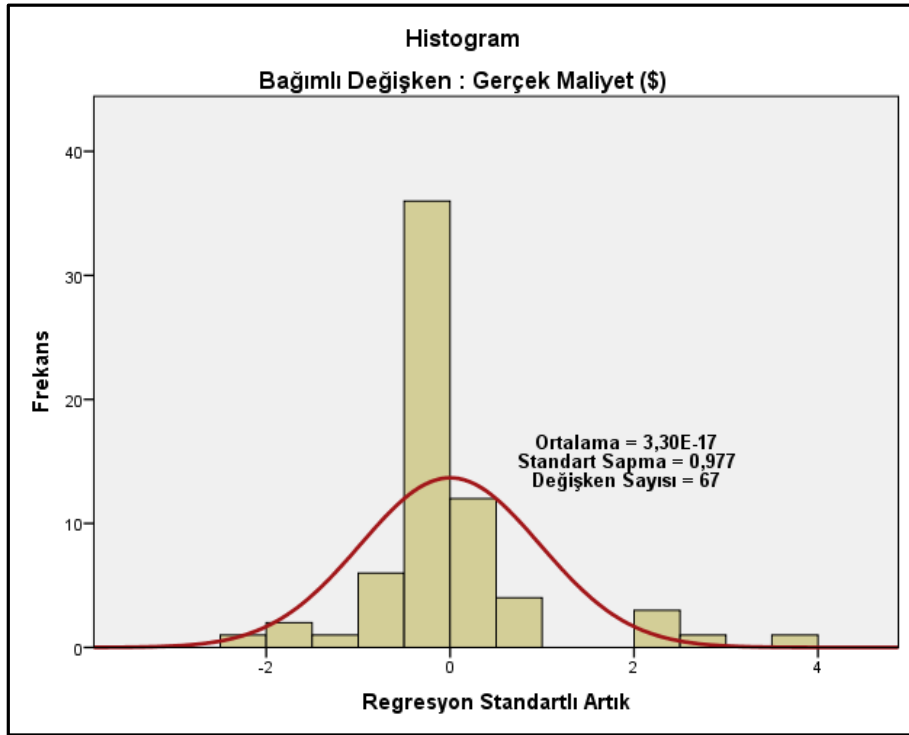
$$TM = - 78\,355,305 + 203,115 \times L - 4\,009,776 \times M + 96\,507,548 \times H \quad (5.14)$$



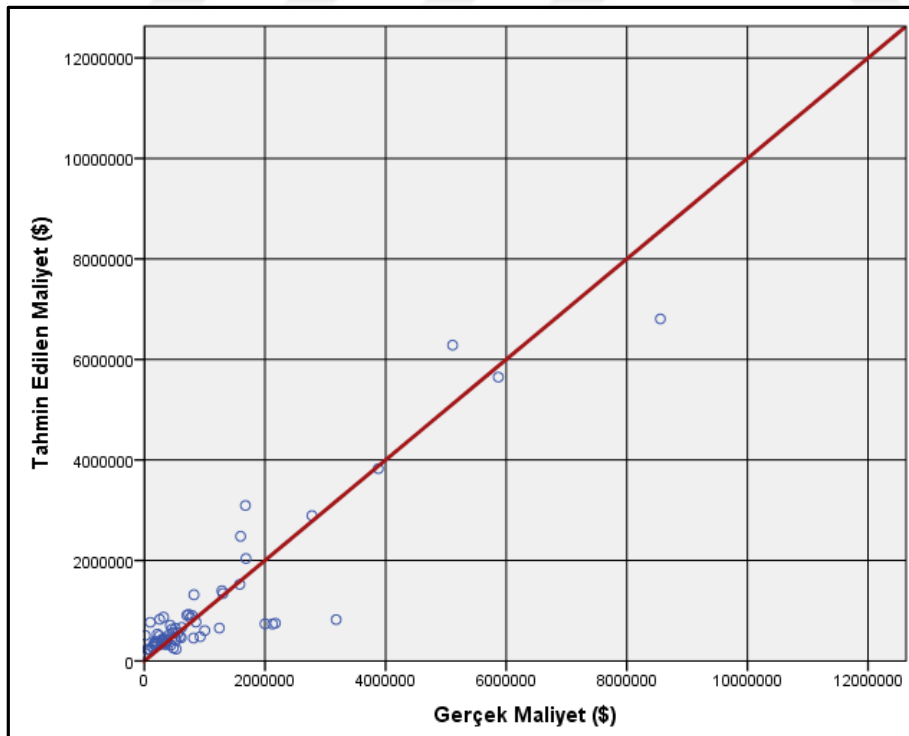
Şekil 5.40. Hat uzunluğu, baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.41’de gösterilmiştir. Şekil 5.41’den de anlaşılabacağı üzere hatalar normal dağılıma uygun olarak dağılmıştır. Dolayısıyla kanalizasyon hattı uzunluğu, hat boyunca konulan baca miktarı ve yapılan kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücü oldukça kuvvetlidir.

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak için RA yapılmış ve grafiği Şekil 5.42’de gösterilmiştir. Şekil 5.42 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın tahmin ettiği görülmektedir.



Şekil 5.41. Hat uzunluğu, baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

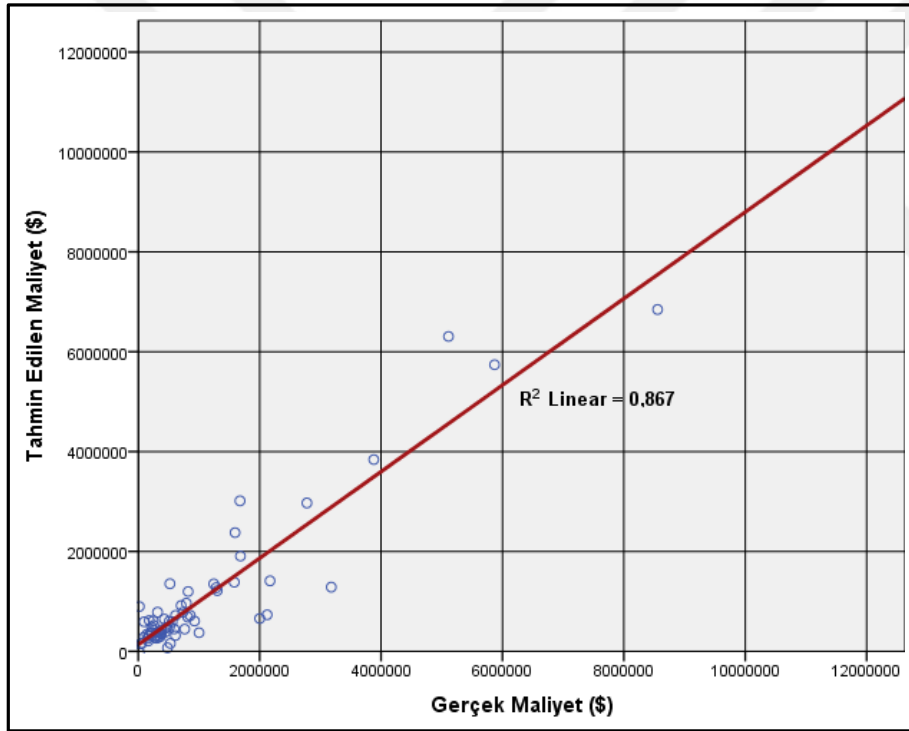


Şekil 5.42. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

#### 5.3.4. Dört değişkenli lineer regresyon analizi

Kanalizasyon hattına döşenen borunun çapı, hattın uzunluğu, hat boyunca yerleştirilen baca miktarı ve kazının derinliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmıştır (Şekil 5.43). RA sonucunda regresyon denklemi Eş. 5.15'deki gibi oluşmuş ve  $R^2=0,867$  olarak tespit edilmiştir. Eş. 5.15'de D parametresi boru çapını (mm), L parametresi hat uzunluğunu (m), M parametresi baca miktarını (ad), H parametresi kazı derinliğini (m) ve TM'de tahmin edilen maliyeti (\$) temsil etmektedir.

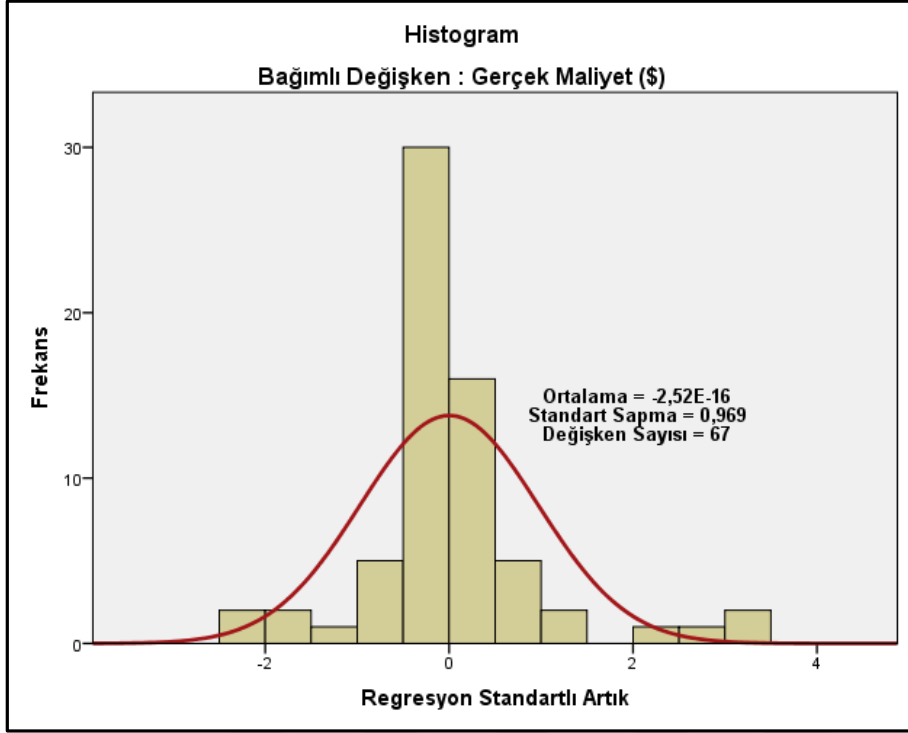
$$TM = - 416\,902,537 + 1\,178,222 \times D + 200,907 \times L - 3\,753,589 \times M + 61\,202,804 \times H \quad (5.15)$$



Şekil 5.43. Boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon grafiği

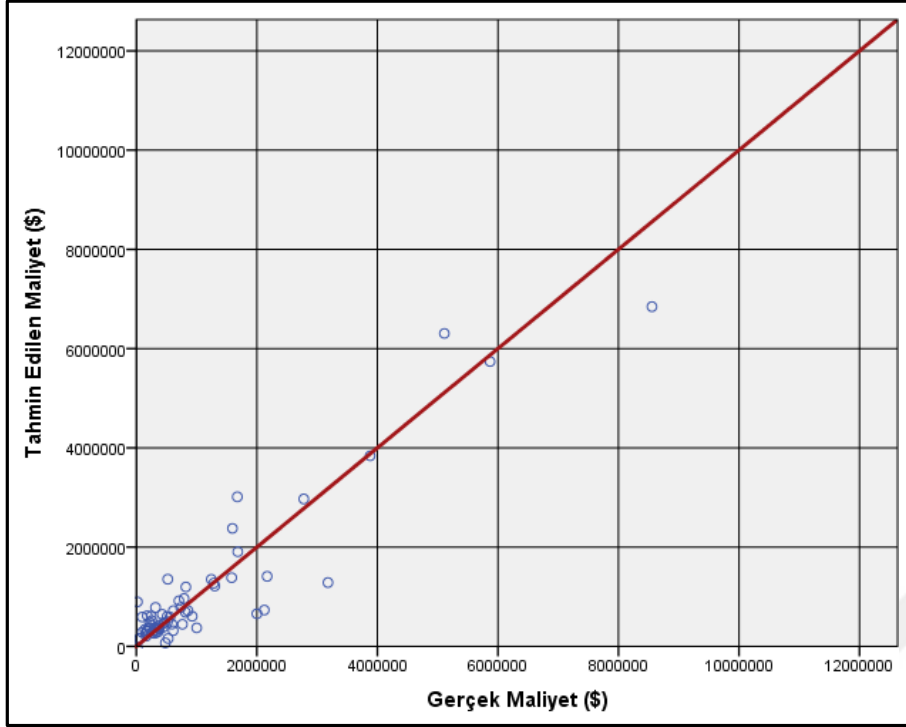
Regresyon çözümü sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 5.44'de gösterilmiştir. Şekil 5.44 incelendiğinde hataların normal dağılıma uygun olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla kanalizasyon hattı boyunca döşenen borunun çapı, hattın uzunluğu, hat boyunca konulan baca miktarı 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 5.44. Boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı, kazı derinliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Regresyon denklemi neticesinde tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak amacıyla RA yapılmış ve Şekil 5.45’de gösterilmiştir. Şekil 5.45 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın tahmin ettiği görülmektedir.



Şekil 5.45. Gerçek maliyet ile tahmin edilen maliyetin kıyaslanması

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 5.3'te verilmiştir. Çizelge 5.3 incelendiğinde bulunan regresyon denklemleri ile yapılan tahminler sonucu ortaya çıkan hataların Durbin-Watson değerleri 2 civarındadır. Dolayısıyla değişkenler arasında yüksek bir ilişkinin olmadığı ve analizlerde rahatlıkla kullanılabileceği söylenebilir.

Çizelge 5.3. RA toplu denklemler, Durbin-Watson ve R<sup>2</sup> değerleri

| Sıra No                                                                                                                | Denklem                                                                                                    | Açıklama                 | Durbin-Watson | R <sup>2</sup> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------|----------------|
| <b>Tek Değişkenli Denklemler</b>                                                                                       |                                                                                                            |                          |               |                |
| 1                                                                                                                      | $TM = 1\,311\,526,820 - 864,305 \times D$                                                                  | D[mm]                    | 1,884         | 0,015          |
| 2                                                                                                                      | $TM = 1\,491\,337,853 - 143\,722,136 \times H$                                                             | H[m]                     | 1,863         | 0,031          |
| 3                                                                                                                      | $TM = 303\,845,346 + 96,927 \times L$                                                                      | L[m]                     | 1,487         | 0,811          |
| 4                                                                                                                      | $TM = 354\,177,451 + 3\,629,577 \times M$                                                                  | M[ad]                    | 1,490         | 0,755          |
| <b>İki Değişkenli Denklemler</b>                                                                                       |                                                                                                            |                          |               |                |
| 5                                                                                                                      | $TM = 1\,606\,147,881 - 495,117 \times D - 124\,522,855 \times H$                                          | D[mm], H[m]              | 1,862         | 0,035          |
| 6                                                                                                                      | $TM = -249\,643,858 + 1\,381,316 \times D + 103,707 \times L$                                              | D[mm], L[m]              | 1,550         | 0,844          |
| 7                                                                                                                      | $TM = -180\,941,837 + 1\,338,365 \times D + 3\,888,324 \times M$                                           | D[mm], M[ad]             | 1,543         | 0,786          |
| 8                                                                                                                      | $TM = -61\,430,730 + 100,966 \times L + 97\,520,124 \times H$                                              | L[m], H[m]               | 1,451         | 0,824          |
| 9                                                                                                                      | $TM = 282\,994,376 + 199,777 \times L - 4\,035,642 \times M$                                               | L[m], M[ad]              | 1,675         | 0,831          |
| 10                                                                                                                     | $TM = 31\,139,849 + 3\,767,630 \times M + 86\,560,197 \times H$                                            | M[ad], H[m]              | 1,508         | 0,765          |
| <b>Üç Değişkenli Denklemler</b>                                                                                        |                                                                                                            |                          |               |                |
| 11                                                                                                                     | $TM = -419\,420,807 + 1\,241,921 \times D + 105,518 \times L + 60\,238,489 \times H$                       | D[mm], L[m], H[m]        | 1,498         | 0,849          |
| 12                                                                                                                     | $TM = -244\,429,492 + 1\,320,104 \times D + 198,672 \times L - 3\,738,003 \times M$                        | D[mm], L[m], M[ad]       | 1,738         | 0,862          |
| 13                                                                                                                     | $TM = -321\,373,419 + 1\,222,529 \times D + 3\,945,736 \times M + 50\,040,001 \times H$                    | D[mm], M[ad], H[m]       | 1,539         | 0,790          |
| 14                                                                                                                     | $TM = -78\,355,305 + 203,115 \times L - 4\,009,776 \times M + 96\,507,548 \times H$                        | L[m], M[ad], H[m]        | 1,577         | 0,844          |
| <b>Dört Değişkenli Denklem</b>                                                                                         |                                                                                                            |                          |               |                |
| 15                                                                                                                     | $TM = -416\,902,537 + 1\,178,222 \times D + 200,907 \times L - 3\,753,589 \times M + 61\,202,804 \times H$ | D[mm], L[m], M[ad], H[m] | 1,640         | 0,867          |
| TM = Tahmin Edilen Maliyet (\$), D = Boru Çapı (mm), L = Hat Uzunluğu (m), M = Baca Adedi (ad), H = Kazı Derinliği (m) |                                                                                                            |                          |               |                |

#### 5.4. YSA İle Kurulan Tahmin Modelleri

Kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin YSA ile tahmin edilmesi amacıyla Türkiye genelinde hazırlanan ve İller Bankası AŞ'den temin edilen 67 adet kanalizasyon boru hattı projesinden yararlanılmıştır. Kanalizasyon boru hattı projeleri üzerinden nispeten kolay ve hızlı bir şekilde belirlenebilen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı bağımsız değişkenleri girdi verileri olarak, gerçek maliyet ise çıktı verisi olarak YSA analizlerinde kullanılmıştır (Bkz. Çizelge 5.2). Girdi değişkenleri ile çıktı değişkeni arasındaki korelasyonlar incelenmiş, kazı derinliği ve boru çapı değişkenlerinin çıktı değişkeni ile aralarındaki ilişki çok düşük olmasına rağmen, tezin amacı doğrultusunda sadece kolay ve hızlı bir şekilde tespit edilebildiği için analizlerde kullanılmıştır. Nitekim RA'da bahsi geçen parametrelerin hepsinin kullanılması ile geliştirilen eşitlik ile (Bkz. Eş. 5.15) yapılan kanalizasyon hattı maliyet tahmini gerçek maliyete en yakın tahmini yapmıştır.

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 modellerde hiperbolik tanjant fonksiyonu ile oluşturulan modellerin birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

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 belirlenmeye çalışılmıştır.

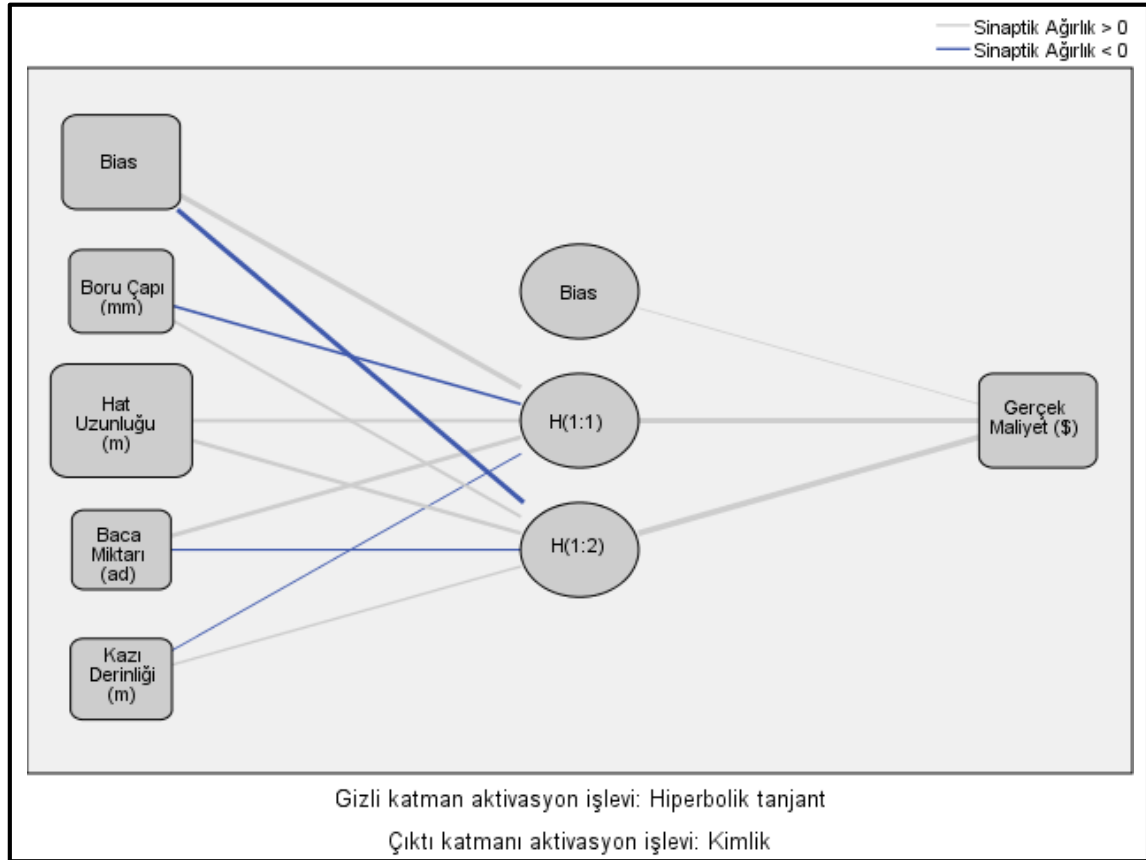
### 5.4.1. Otomatik mimari seçimli YSA

Kanalizasyon boru hattı projeleri üzerinden belirlenen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu ve baca miktarı bağımsız değişkenleri girdi verileri olarak, gerçek maliyet ise çıktı verisi olarak tanımlanan otomatik mimari seçimli aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan YSA ağ bilgisi Çizelge 5.4'te, YSA modeli ise Şekil 5.46'da verilmiştir. YSA analizinde toplam 67 adet proje verisinden, ağı eğitmek için 51 adedi (%76,1), ağı testini yapmak için ise 16 adedi (%23,9) kullanılmıştır.

Çizelge 5.4. Otomatik mimari seçimli YSA ağ bilgisi

| Girdi Katmanı | Değişkenler                                         | 1 | Boru Çapı (mm)      |
|---------------|-----------------------------------------------------|---|---------------------|
|               |                                                     | 2 | Hat Uzunluğu (m)    |
|               |                                                     | 3 | Baca Miktarı (ad)   |
|               |                                                     | 4 | Kazı Derinliği (m)  |
|               | Birimlerin Adedi                                    |   | 4                   |
| Gizli Katman  | Değişkenler İçin Yeniden Ölçeklendirme Yöntemi      |   | Standartlaştırılmış |
|               | Gizli Katmanların Adedi                             |   | 1                   |
|               | Gizli Katman 1'deki Birimlerin Adedi <sup>1</sup>   |   | 2                   |
|               | Aktivasyon İşlevi                                   |   | Hiperbolik Tanjant  |
| Çıktı Katmanı | Bağımlı Değişken 1                                  |   | Gerçek Maliyet (\$) |
|               | Birimlerin Adedi                                    |   | 1                   |
|               | Ölçek Bağımlıları İçin Yeniden Ölçeklendirme Metodu |   | Standartlaştırılmış |
|               | Aktivasyon İşlevi                                   |   | Kimlik              |
|               | Hata İşlevi                                         |   | Kareler Toplamı     |

<sup>1</sup> Bias birimleri hariç



Şekil 5.46. Otomatik mimari seçimli YSA'da ağ şeması

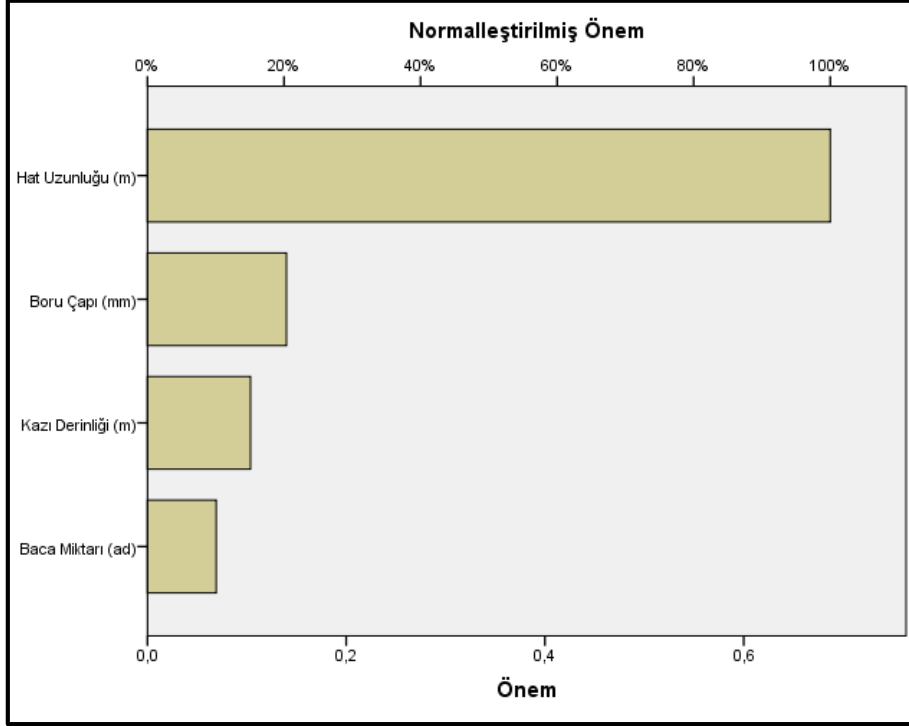
YSA analizi sonucunda ortaya çıkan parametrelerin bağlantı ağırlıkları Çizelge 5.5'te, önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri ise Şekil 5.47'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Otomatik mimari seçimli YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı ağırlıkları

| Tahminci       |                    | Tahmin Edilen  |        |                     |
|----------------|--------------------|----------------|--------|---------------------|
|                |                    | Gizli Katman 1 |        | Çıktı Katmanı       |
|                |                    | H(1:1)         | H(1:2) | Gerçek Maliyet (\$) |
| Girdi Katmanı  | Bias               | 1,606          | -0,864 |                     |
|                | Boru Çapı (mm)     | -0,376         | 0,384  |                     |
|                | Hat Uzunluğu (m)   | 0,711          | 0,737  |                     |
|                | Baca Miktarı (ad)  | 0,807          | -0,249 |                     |
|                | Kazı Derinliği (m) | -0,221         | 0,250  |                     |
| Gizli Katman 1 | Bias               |                |        | 0,055               |
|                | H(1:1)             |                |        | 2,384               |
|                | H(1:2)             |                |        | 2,837               |

Şekil 5.47'de gösterilen normalleştirilmiş önem analizi sonuçlarına göre gerçek maliyet üzerinde en yüksek öneme sahip olan parametre hat uzunluğu parametresidir. Maliyeti

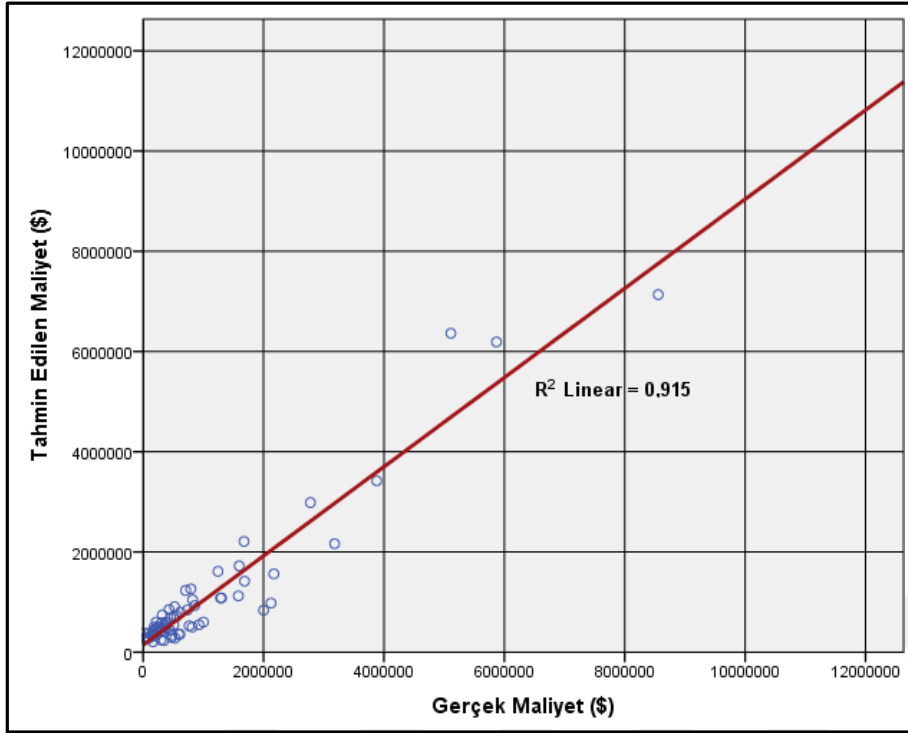
etkileyen diğer değişkenlerin önem derecesi ise sırasıyla boru çapı, kazı derinliği ve baca miktarı parametreleri olmuştur.



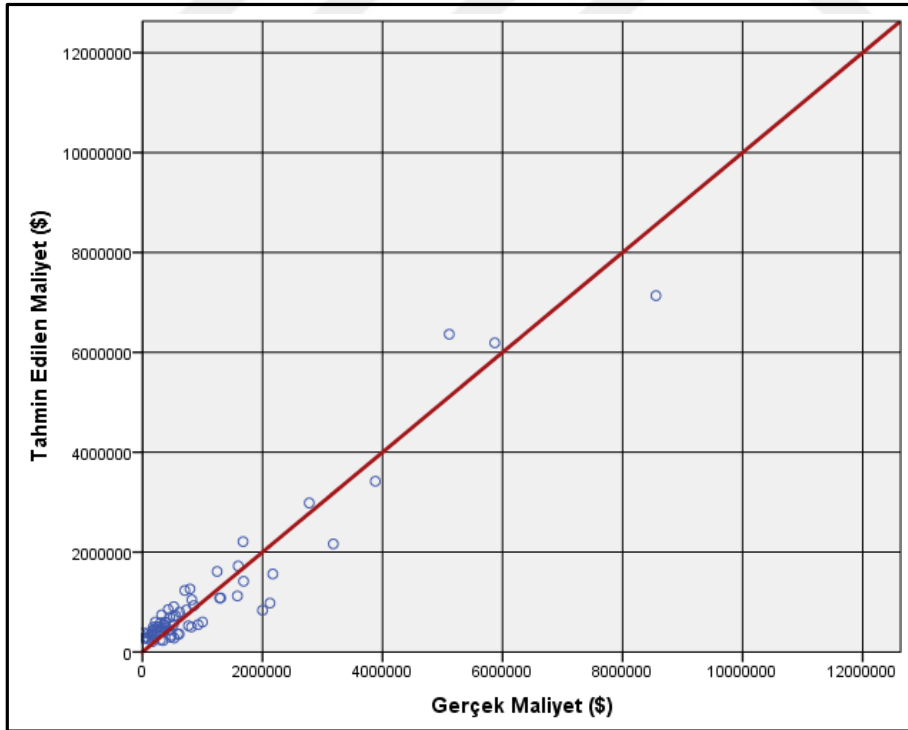
Şekil 5.47. Otomatik mimari seçimli YSA analizinde kullanılan değişkenlerin önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri

Otomatik mimari seçimli aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan YSA modeli ile tahmin edilen kanalizasyon hattı maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında RA yapılmış ve  $R^2=0,915$  olarak belirlenmiştir (Şekil 5.48). Yapılan YSA modelleri içinde en iyi  $R^2$  katsayısına sahip model otomatik mimari seçimli aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan YSA modeli olmuştur.

Kanalizasyon hattı maliyeti tahmin değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak amacıyla da RA yapılmış ve Şekil 5.49’da gösterilmiştir. Şekil 5.49 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın tahmin ettiği görülmektedir.



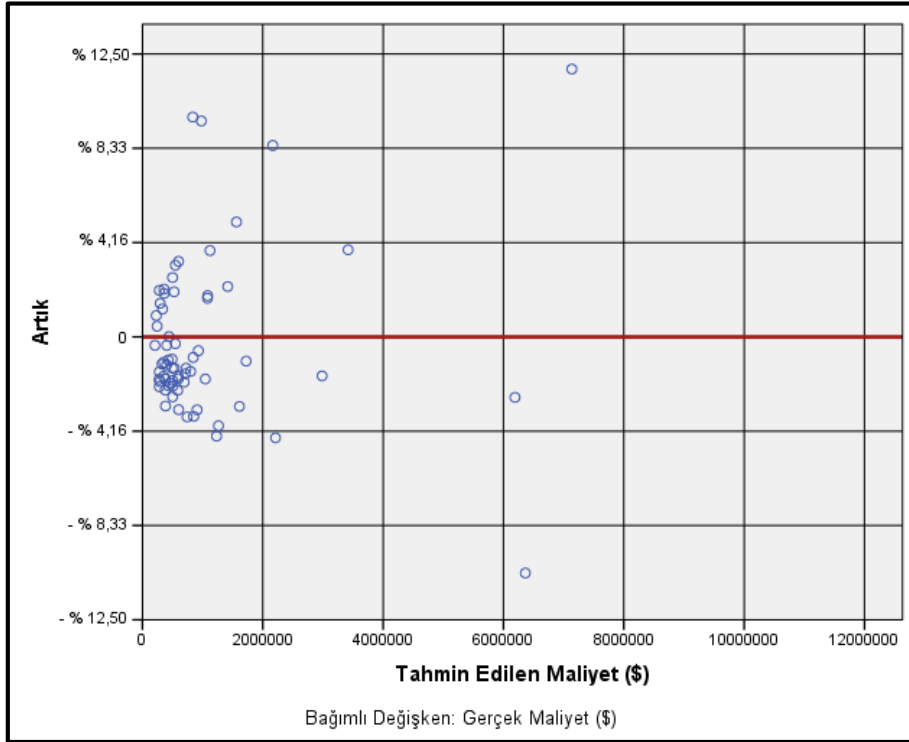
Şekil 5.48. Otomatik mimari seçimli YSA R<sup>2</sup> grafiği



Şekil 5.49. Otomatik mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet-gerçek maliyet kıyaslaması



Otomatik mimari seçimli YSA analizinde tahmin edilen maliyetin artık grafiği Şekil 5.50’de verilmiştir. Şekil 5.50’den de anlaşılacağı üzere tahmin edilen kanalizasyon boru hattı maliyet değerlerinin eksen çizgisi etrafında nispeten eşit dağıldığı görülmektedir.



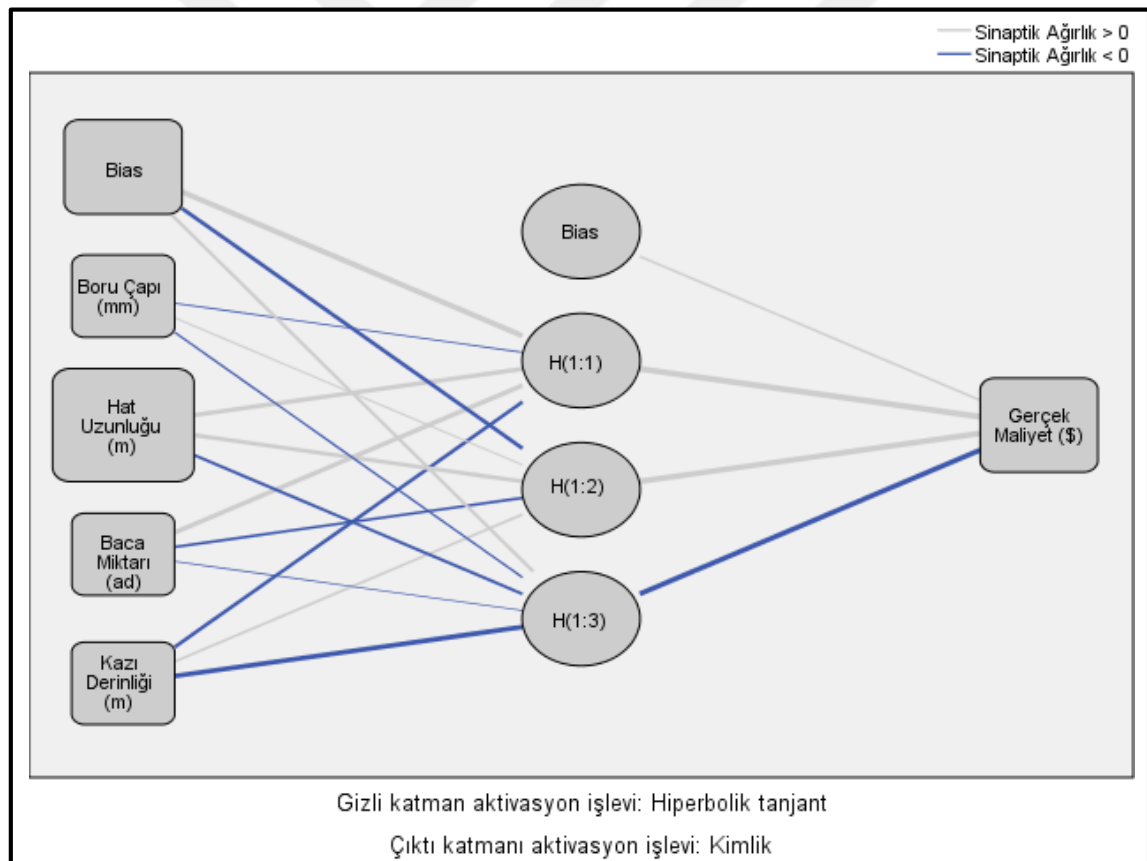
Şekil 5.50. Otomatik mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet - artık grafiği

#### 5.4.2. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA

Kanalizasyon boru hattı projeleri üzerinden belirlenen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu ve baca miktarı bağımsız değişkenleri girdi verileri olarak, gerçek maliyet ise çıktı verisi olarak tanımlanan gizli katman sayısı 1 ve aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan YSA ağ bilgisi Çizelge 5.6’da, YSA modeli ise Şekil 5.51’de verilmiştir. YSA analizinde toplam 67 adet proje verisinden, ağı eğitmek için 47 adedi (%70,1), ağı testini yapmak için ise 20 adedi (%29,9) kullanılmıştır.

Çizelge 5.6. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA ağ bilgisi

|               |                                                     |   |                     |
|---------------|-----------------------------------------------------|---|---------------------|
| Girdi Katmanı | Değişkenler                                         | 1 | Boru Çapı (mm)      |
|               |                                                     | 2 | Hat Uzunluğu (m)    |
|               |                                                     | 3 | Baca Miktarı (ad)   |
|               |                                                     | 4 | Kazı Derinliği (m)  |
|               | Birimlerin Adedi                                    | 4 |                     |
| Gizli Katman  | Değişkenler İçin Yeniden Ölçeklendirme Yöntemi      |   | Standartlaştırılmış |
|               | Gizli Katmanların Adedi                             |   | 1                   |
|               | Gizli Katman 1'deki Birimlerin Adedi <sup>1</sup>   |   | 3                   |
|               | Aktivasyon İşlevi                                   |   | Hiperbolik Tanjant  |
| Çıktı Katmanı | Bağımlı Değişken 1                                  |   | Gerçek Maliyet (\$) |
|               | Birimlerin Adedi                                    |   | 1                   |
|               | Ölçek Bağımlıları İçin Yeniden Ölçeklendirme Metodu |   | Standartlaştırılmış |
|               | Aktivasyon İşlevi                                   |   | Kimlik              |
|               | Hata İşlevi                                         |   | Kareler Toplamı     |



Şekil 5.51. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA'da ağ şeması

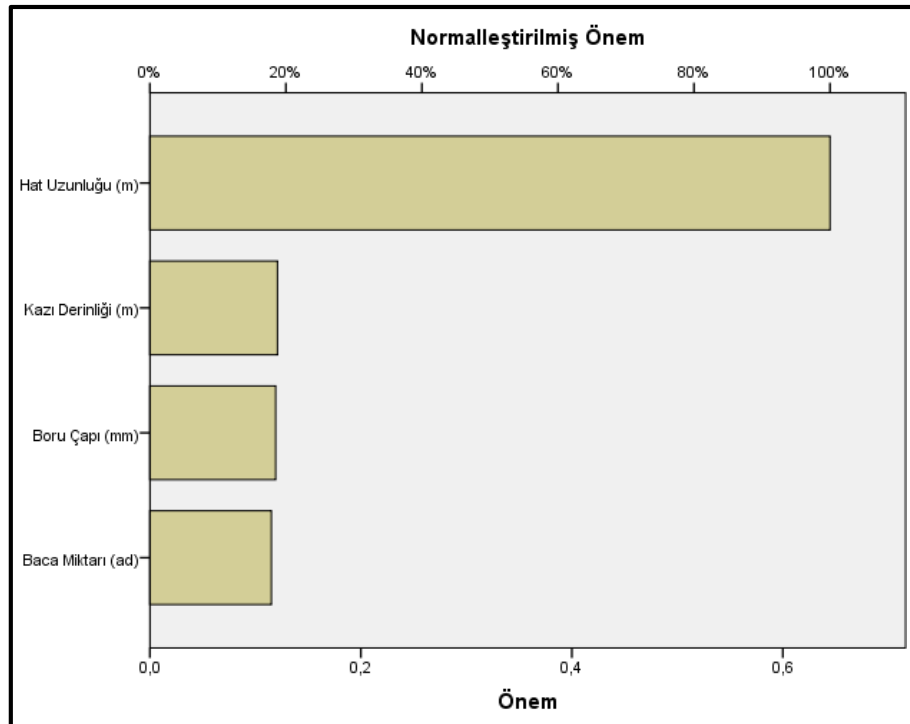
<sup>1</sup> Bias birimleri hariç

YSA analizi sonucunda ortaya çıkan parametrelerin bağlantı ağırlıkları Çizelge 5.7’de, önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri ise Şekil 5.52’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı ağırlıkları

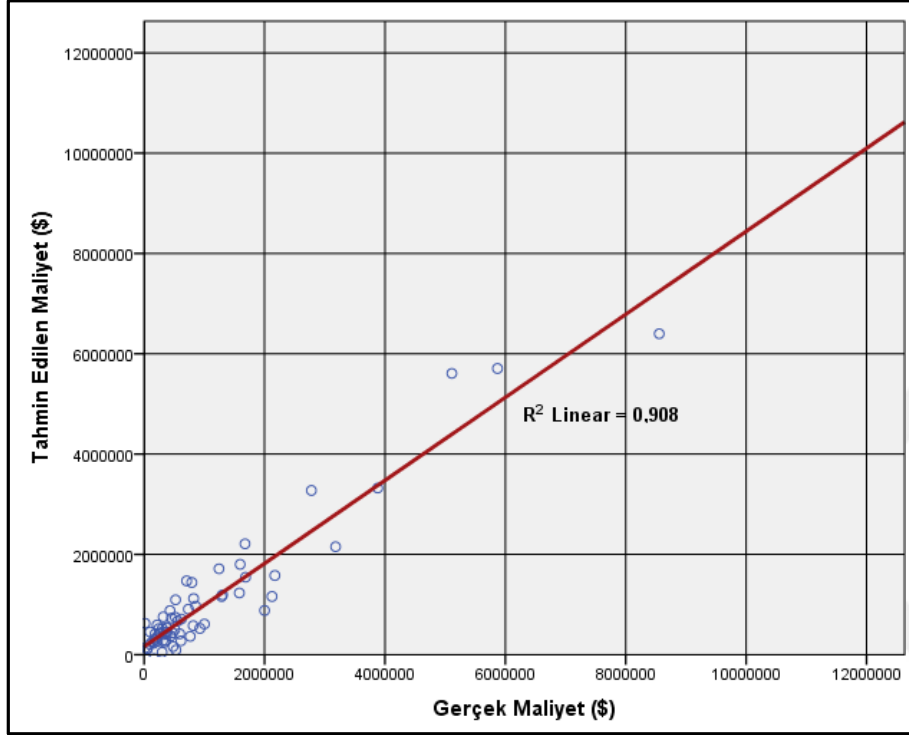
| Tahminci       |                    | Tahmin Edilen  |        |        |                     |
|----------------|--------------------|----------------|--------|--------|---------------------|
|                |                    | Gizli Katman 1 |        |        | Çıktı Katmanı       |
|                |                    | H(1:1)         | H(1:2) | H(1:3) | Gerçek Maliyet (\$) |
| Girdi Katmanı  | Bias               | 1,447          | -0,780 | 0,484  |                     |
|                | Boru Çapı (mm)     | -0,110         | 0,153  | -0,232 |                     |
|                | Hat Uzunluğu (m)   | 0,899          | 0,856  | -0,453 |                     |
|                | Baca Miktarı (ad)  | 0,919          | -0,386 | -0,065 |                     |
|                | Kazı Derinliği (m) | -0,543         | 0,303  | -0,945 |                     |
| Gizli Katman 1 | Bias               |                |        |        | 0,247               |
|                | H(1:1)             |                |        |        | 2,068               |
|                | H(1:2)             |                |        |        | 1,541               |
|                | H(1:3)             |                |        |        | -1,226              |

Şekil 5.52’de 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, boru çapı ve baca miktarı parametreleridir.



Şekil 5.52. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA analizinde kullanılan değişkenlerin önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri

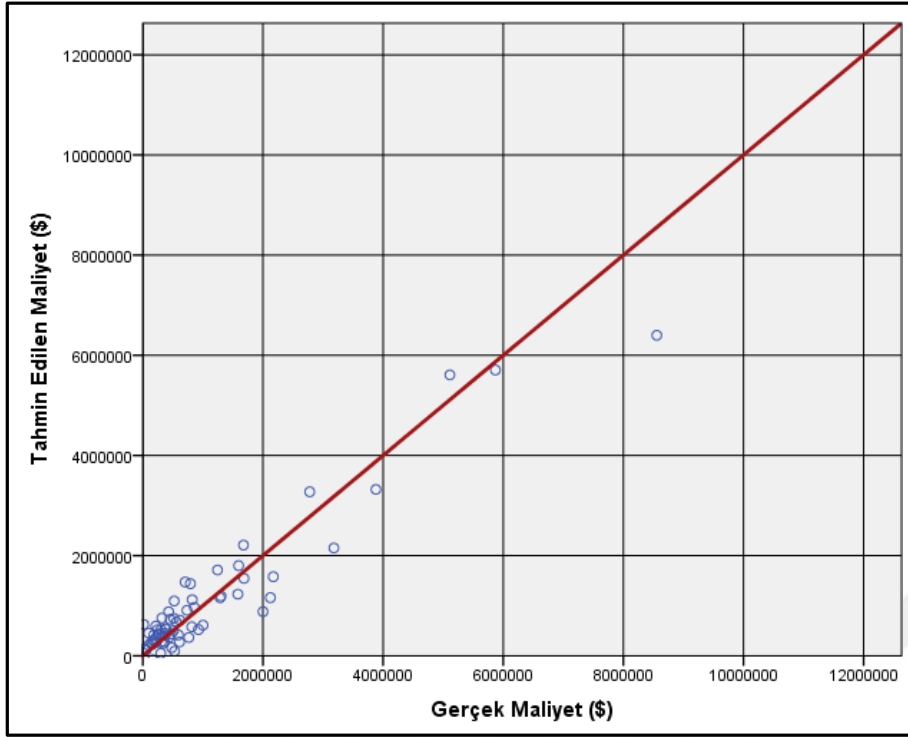
Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA modeli ile tahmin edilen kanalizasyon hattı maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında RA yapılmış ve  $R^2=0,908$  olarak belirlenmiştir (Şekil 5.53).



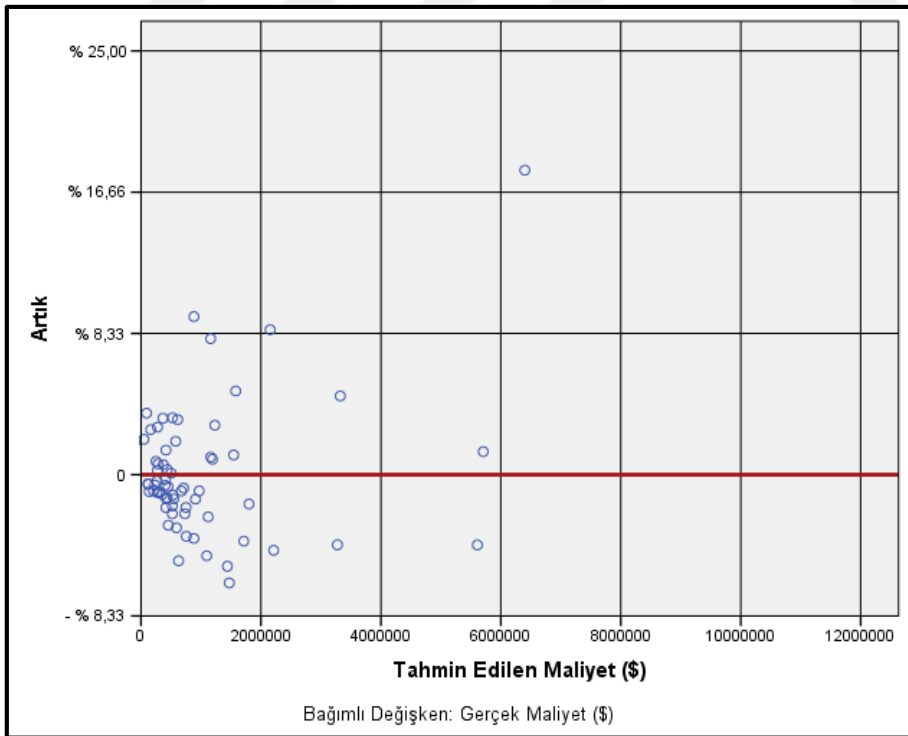
Şekil 5.53. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA  $R^2$  grafiği

Yukarıda yapılan RA, kanalizasyon hattı maliyeti tahmin değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak amacıyla da kullanılmış ve Şekil 5.54'te gösterilmiştir. Şekil 5.54 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın tahmin ettiği görülmektedir.

Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA analizinde tahmin edilen maliyetin artık grafiği Şekil 5.55'de verilmiştir. Şekil 5.55 incelendiğinde tahmin edilen kanalizasyon boru hattı maliyet değerlerinin eksen çizgisi etrafında nispeten eşit dağıldığı görülmektedir.



Şekil 5.54. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet-gerçek maliyet kıyaslaması



Şekil 5.55. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet - artık grafiği

#### 5.4.3. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA

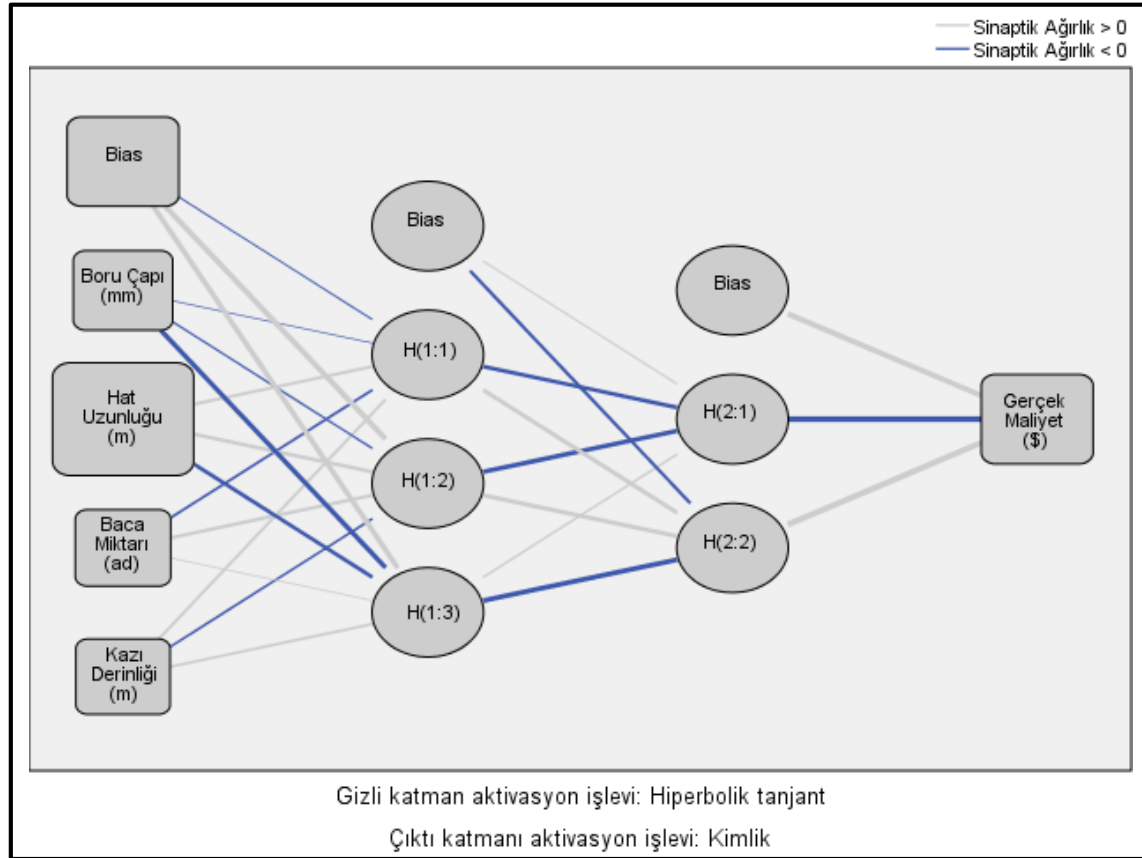
Kanalizasyon boru hattı projeleri üzerinden belirlenen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu ve baca miktarı bağımsız değişkenleri girdi verileri olarak, gerçek maliyet ise çıktı verisi olarak tanımlanan gizli katman sayısı 2 ve aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan YSA ağ bilgisi Çizelge 5.8’de, YSA modeli ise Şekil 5.56’da verilmiştir. YSA analizinde toplam 67 adet proje verisinden, ağı eğitmek için 51 adedi (%76,1), ağı testini yapmak için ise 16 adedi (%23,9) kullanılmıştır.

Çizelge 5.8. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA ağ bilgisi

|               |                                                     |   |                     |
|---------------|-----------------------------------------------------|---|---------------------|
| Girdi Katmanı | Değişkenler                                         | 1 | Boru Çapı (mm)      |
|               |                                                     | 2 | Hat Uzunluğu (m)    |
|               |                                                     | 3 | Baca Miktarı (ad)   |
|               |                                                     | 4 | Kazı Derinliği (m)  |
|               | Birimlerin Adedi                                    |   | 4                   |
| Gizli Katman  | Değişkenler İçin Yeniden Ölçeklendirme Yöntemi      |   | Standartlaştırılmış |
|               | Gizli Katmanların Adedi                             |   | 2                   |
|               | Gizli Katman 1’deki Birimlerin Adedi <sup>1</sup>   |   | 3                   |
|               | Gizli Katman 2’deki Birimlerin Adedi <sup>2</sup>   |   | 2                   |
|               | Aktivasyon İşlevi                                   |   | Hiperbolik Tanjant  |
| Çıktı Katmanı | Bağımlı Değişken 1                                  |   | Gerçek Maliyet (\$) |
|               | Birimlerin Adedi                                    |   | 1                   |
|               | Ölçek Bağımlıları İçin Yeniden Ölçeklendirme Metodu |   | Standartlaştırılmış |
|               | Aktivasyon İşlevi                                   |   | Kimlik              |
|               | Hata İşlevi                                         |   | Kareler Toplamı     |

<sup>1</sup> Bias birimleri hariç

<sup>2</sup> Bias birimleri hariç



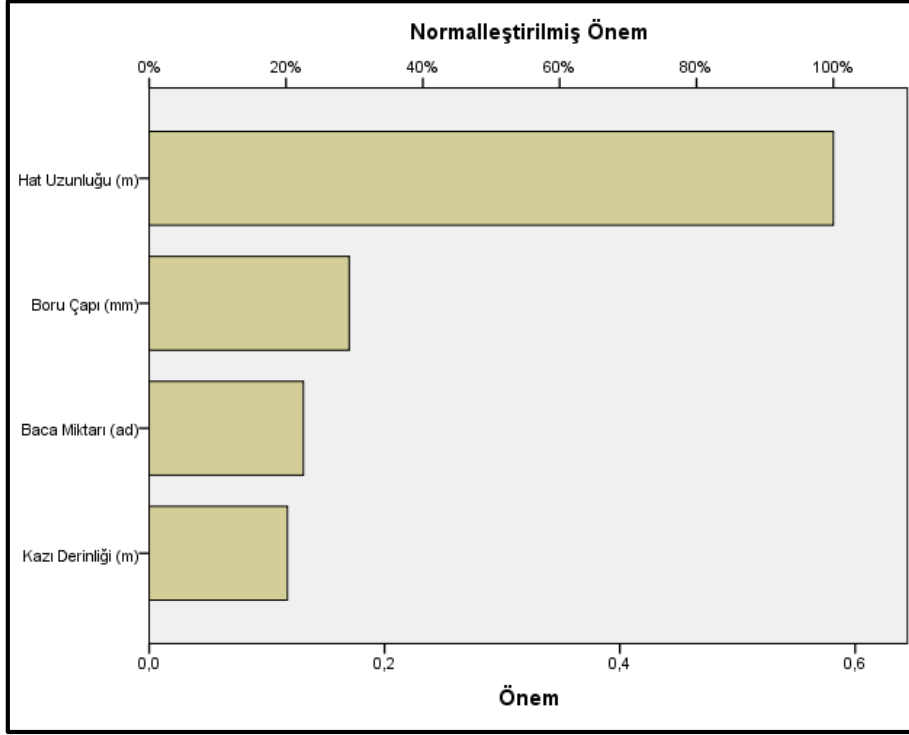
Şekil 5.56. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA'da ağ şeması

YSA analizi sonucunda ortaya çıkan parametrelerin bağlantı ağırlıkları Çizelge 5.9'da, önem değerleri ile normleştirilmiş önem yüzdeleri ise Şekil 5.57'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.9. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı ağırlıkları

| Tahminci       |                    | Tahmin Edilen  |        |        |                |        |                     |
|----------------|--------------------|----------------|--------|--------|----------------|--------|---------------------|
|                |                    | Gizli Katman 1 |        |        | Gizli Katman 2 |        | Çıktı Katmanı       |
|                |                    | H(1:1)         | H(1:2) | H(1:3) | H(2:1)         | H(2:2) | Gerçek Maliyet (\$) |
| Girdi Katmanı  | Bias               | -0,144         | 1,474  | 1,142  |                |        |                     |
|                | Boru Çapı (mm)     | -0,066         | -0,277 | -0,974 |                |        |                     |
|                | Hat Uzunluğu (m)   | 0,550          | 0,797  | -0,815 |                |        |                     |
|                | Baca Miktarı (ad)  | 0,441          | 0,795  | 0,100  |                |        |                     |
|                | Kazı Derinliği (m) | 0,530          | -0,416 | 0,448  |                |        |                     |
| Gizli Katman 1 | Bias               |                |        |        | 0,182          | -0,783 |                     |
|                | H(1:1)             |                |        |        | -0,879         | 0,918  |                     |
|                | H(1:2)             |                |        |        | -0,941         | 0,935  |                     |
|                | H(1:3)             |                |        |        | 0,305          | -1,094 |                     |
| Gizli Katman 2 | Bias               |                |        |        |                |        | 1,210               |
|                | H(2:1)             |                |        |        |                |        | -1,708              |
|                | H(2:2)             |                |        |        |                |        | 1,836               |

Şekil 5.57’de 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 boru çapı, baca miktarı ve kazı derinliği parametreleridir.

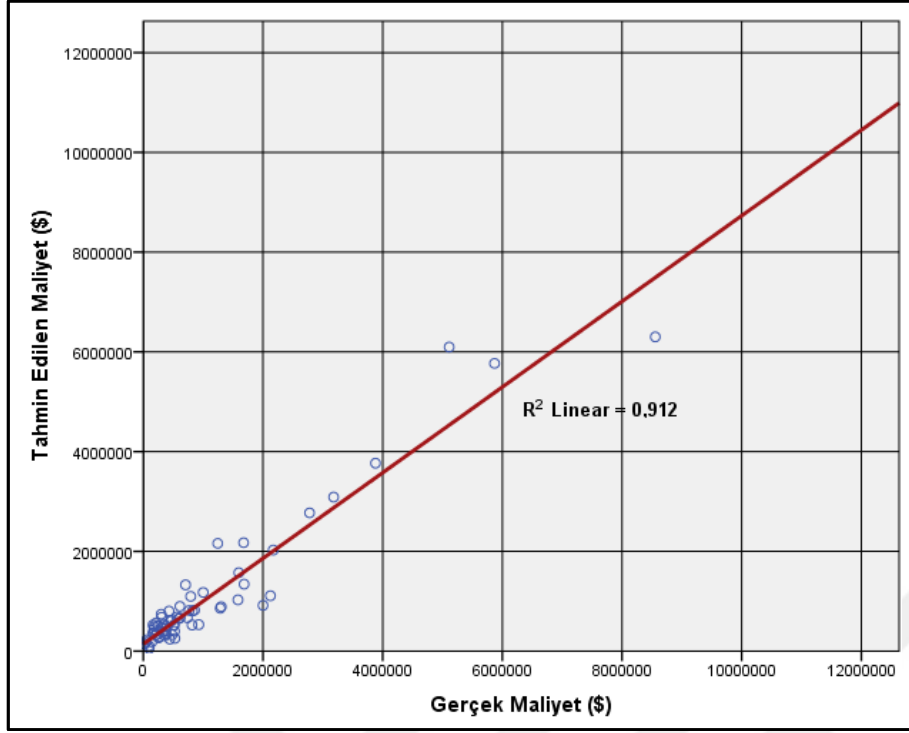


Şekil 5.57. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA analizinde kullanılan değişkenlerin önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri

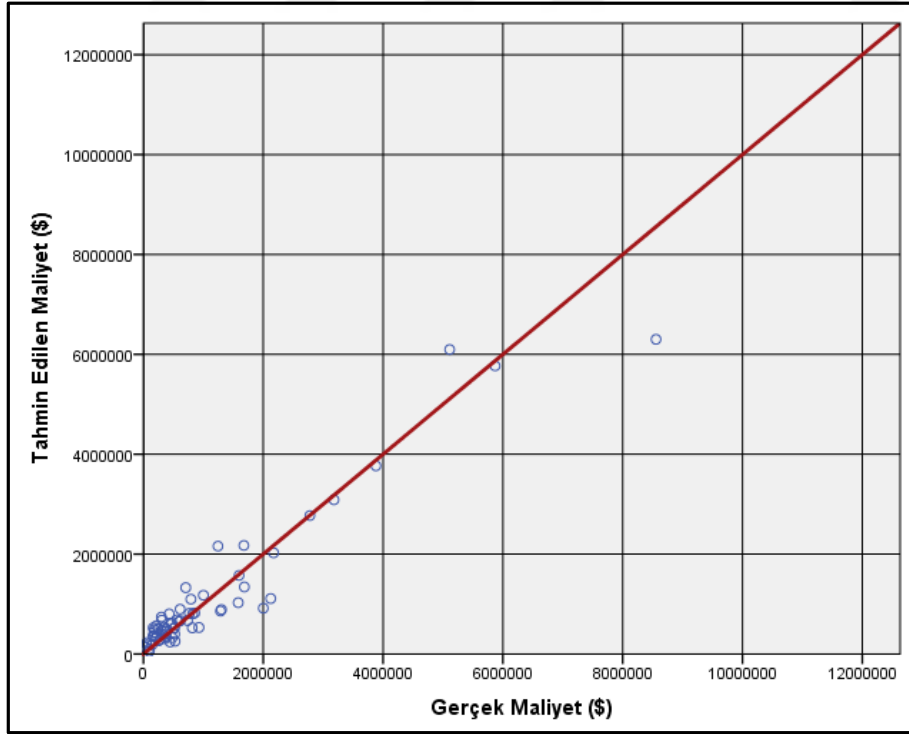
Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA modeli ile tahmin edilen kanalizasyon hattı maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında RA yapılmış ve  $R^2=0,912$  olarak belirlenmiştir (Şekil 5.58).

Yapılan RA, kanalizasyon hattı maliyeti tahmin değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak amacıyla da kullanılmış ve Şekil 5.59’da gösterilmiştir. Şekil 5.59 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini tatminkâr derecede yakın tahmin ettiği görülmektedir.



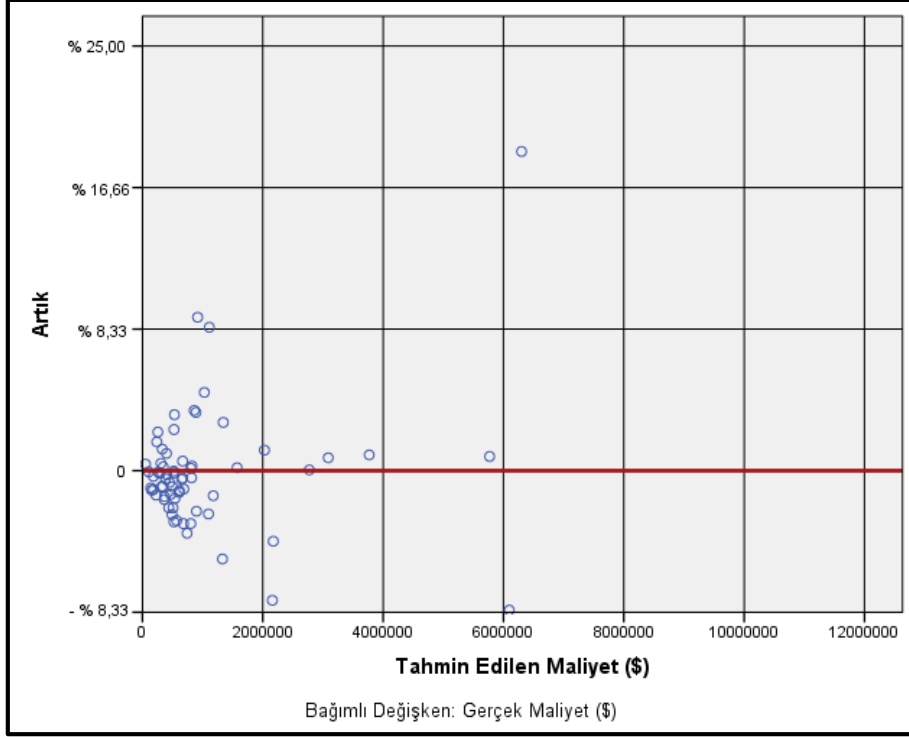


Şekil 5.58. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA  $R^2$  grafiği



Şekil 5.59. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet-gerçek maliyet kıyaslaması

Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA analizinde tahmin edilen maliyetin artık grafiği Şekil 5.60'da verilmiştir. Şekil 5.60 incelendiğinde tahmin edilen kanalizasyon boru hattı maliyet değerlerinin eksen çizgisi etrafında nispeten eşit dağıldığı görülmektedir.



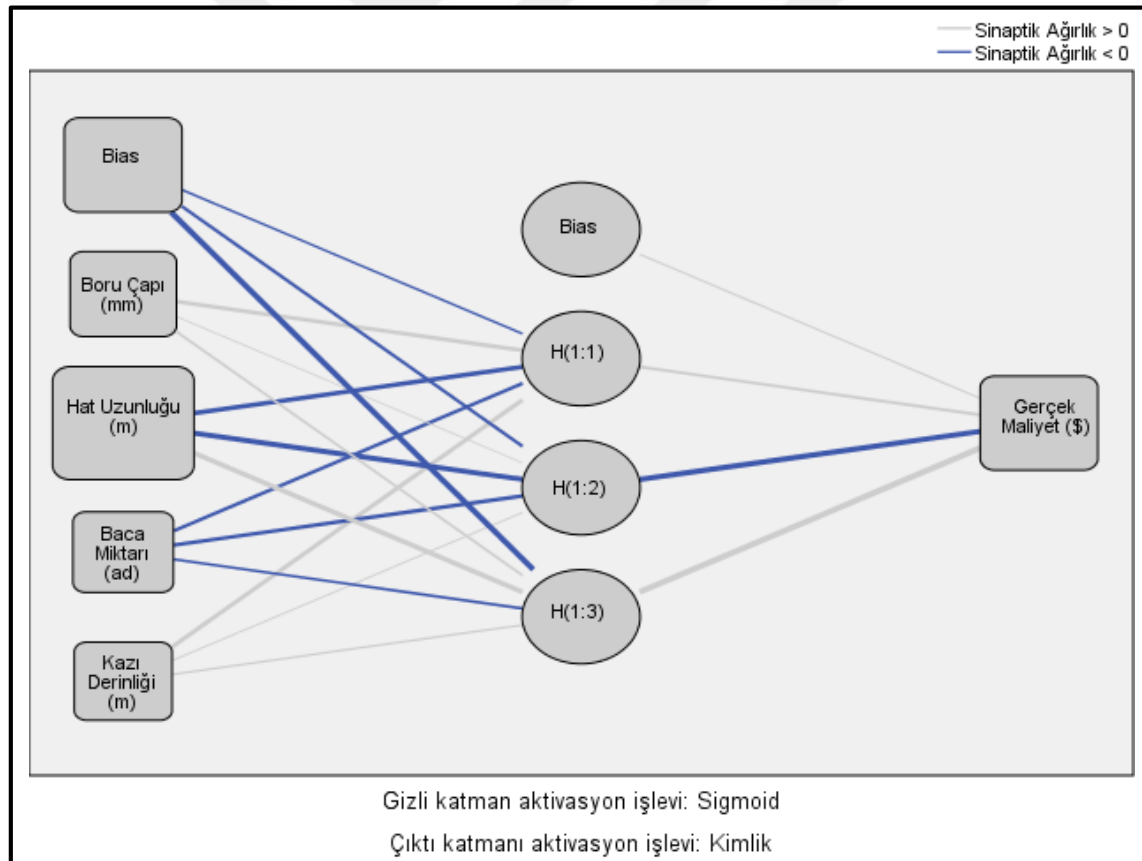
Şekil 5.60. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet - artık grafiği

#### 5.4.4. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA

Kanalizasyon boru hattı projeleri üzerinden belirlenen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu ve baca miktarı bağımsız değişkenleri girdi verileri olarak, gerçek maliyet ise çıktı verisi olarak tanımlanan gizli katman sayısı 1 ve aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan YSA ağ bilgisi Çizelge 5.10'da, YSA modeli ise Şekil 5.61'de verilmiştir. YSA analizinde toplam 67 adet proje verisinden, ağı eğitmek için 47 adedi (%70,1), ağı testini yapmak için ise 20 adedi (%29,9) kullanılmıştır.

Çizelge 5.10. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA ağ bilgisi

|               |                                                     |                     |                    |
|---------------|-----------------------------------------------------|---------------------|--------------------|
| Girdi Katmanı | Değişkenler                                         | 1                   | Boru Çapı (mm)     |
|               |                                                     | 2                   | Hat Uzunluğu (m)   |
|               |                                                     | 3                   | Baca Miktarı (ad)  |
|               |                                                     | 4                   | Kazı Derinliği (m) |
|               | Birimlerin Adedi                                    | 4                   |                    |
| Gizli Katman  | Değişkenler İçin Yeniden Ölçeklendirme Yöntemi      | Standartlaştırılmış |                    |
|               | Gizli Katmanların Adedi                             | 1                   |                    |
|               | Gizli Katman 1'deki Birimlerin Adedi <sup>1</sup>   | 3                   |                    |
|               | Aktivasyon İşlevi                                   | Sigmoid             |                    |
| Çıktı Katmanı | Bağımlı Değişken 1                                  | Gerçek Maliyet (\$) |                    |
|               | Birimlerin Adedi                                    | 1                   |                    |
|               | Ölçek Bağımlıları İçin Yeniden Ölçeklendirme Metodu | Standartlaştırılmış |                    |
|               | Aktivasyon İşlevi                                   | Kimlik              |                    |
|               | Hata İşlevi                                         | Kareler Toplamı     |                    |



Şekil 5.61. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA'da ağ şeması

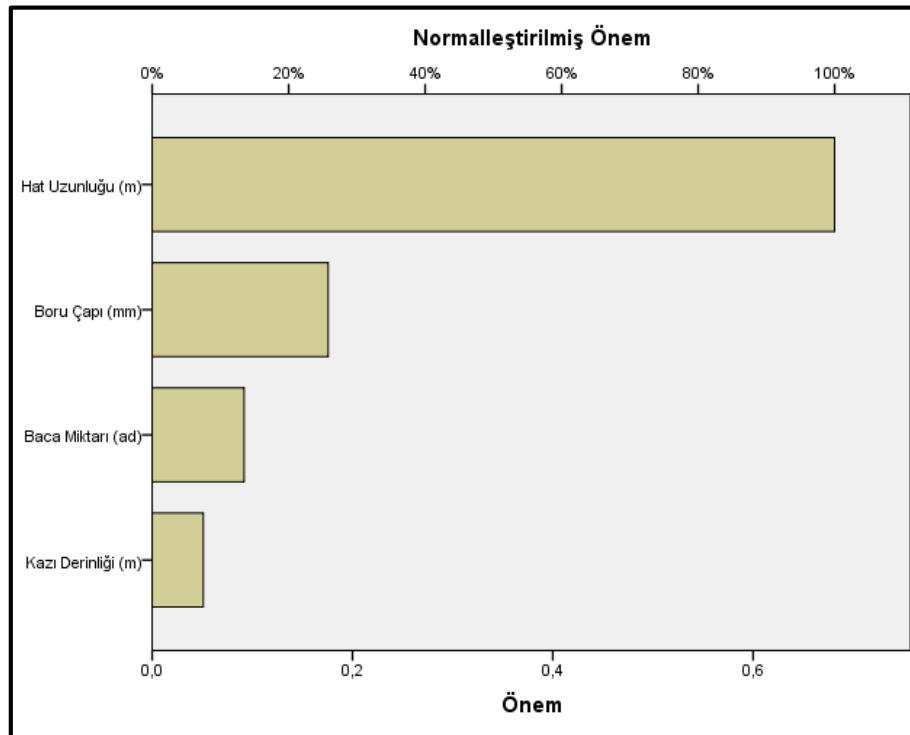
<sup>1</sup> Bias birimleri hariç

YSA analizi sonucunda ortaya çıkan parametrelerin bağlantı ağırlıkları Çizelge 5.11’de, önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri ise Şekil 5.62’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı ağırlıkları

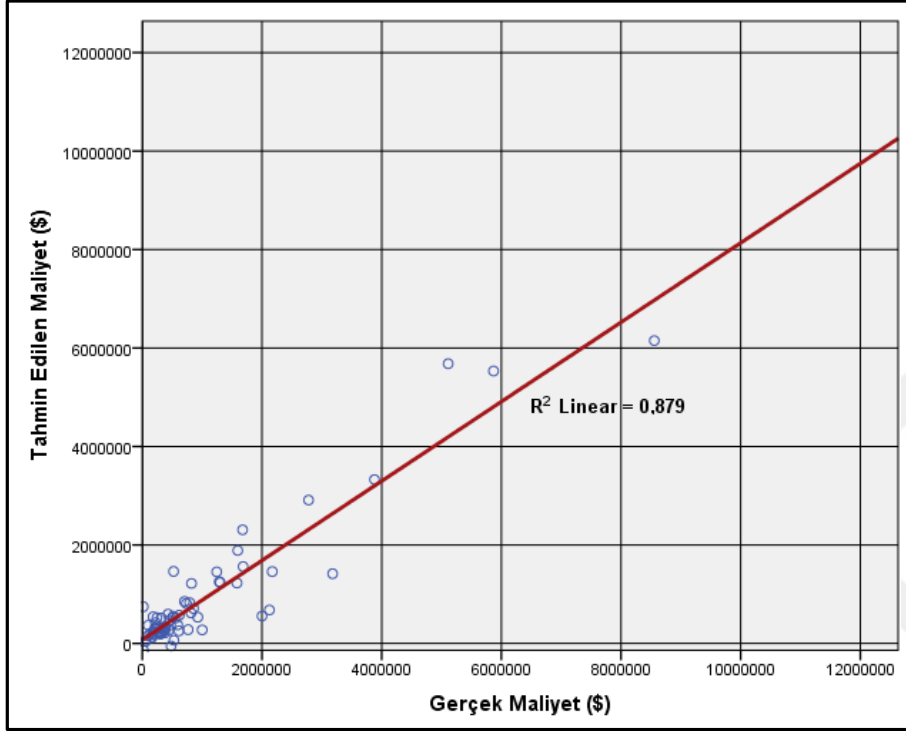
| Tahminci       |                    | Tahmin Edilen  |        |        |                     |
|----------------|--------------------|----------------|--------|--------|---------------------|
|                |                    | Gizli Katman 1 |        |        | Çıktı Katmanı       |
|                |                    | H(1:1)         | H(1:2) | H(1:3) | Gerçek Maliyet (\$) |
| Girdi Katmanı  | Bias               | -0,262         | -0,823 | -2,567 |                     |
|                | Boru Çapı (mm)     | 0,982          | 0,046  | 0,478  |                     |
|                | Hat Uzunluğu (m)   | -1,074         | -1,835 | 1,771  |                     |
|                | Baca Miktarı (ad)  | -0,844         | -0,903 | -0,615 |                     |
|                | Kazı Derinliği (m) | 1,031          | 0,183  | 0,240  |                     |
| Gizli Katman 1 | Bias               |                |        |        | 0,199               |
|                | H(1:1)             |                |        |        | 0,718               |
|                | H(1:2)             |                |        |        | -2,215              |
|                | H(1:3)             |                |        |        | 4,648               |

Şekil 5.62’de 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 boru çapı, baca miktarı ve kazı derinliği parametreleridir.



Şekil 5.62. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA analizinde kullanılan değişkenlerin önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri

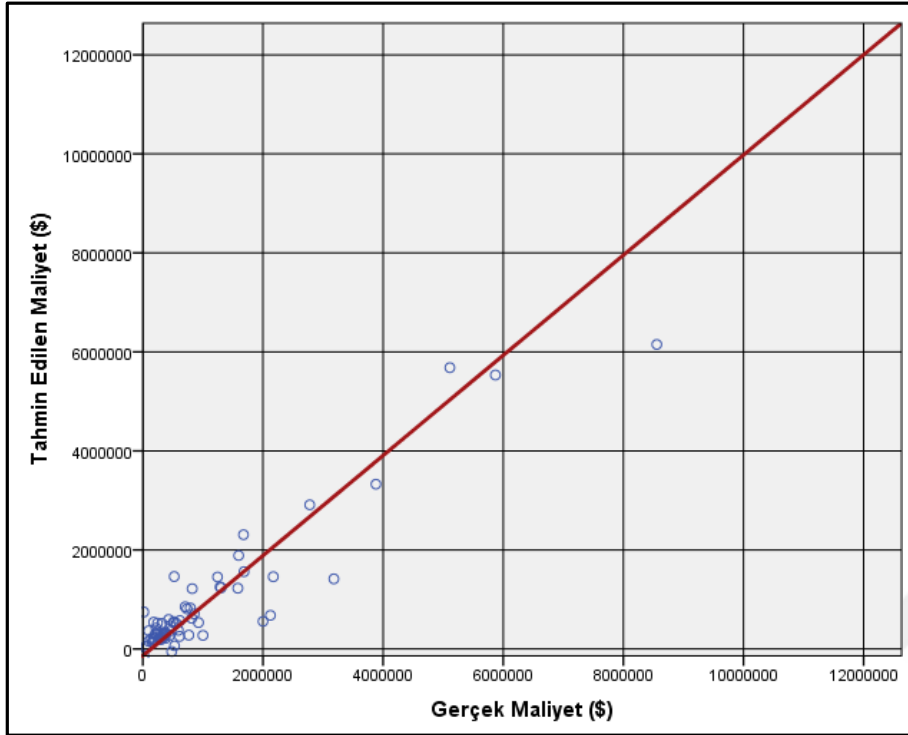
Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA modeli ile tahmin edilen kanalizasyon hattı maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında RA yapılmış ve  $R^2=0,879$  olarak belirlenmiştir (Şekil 5.63).



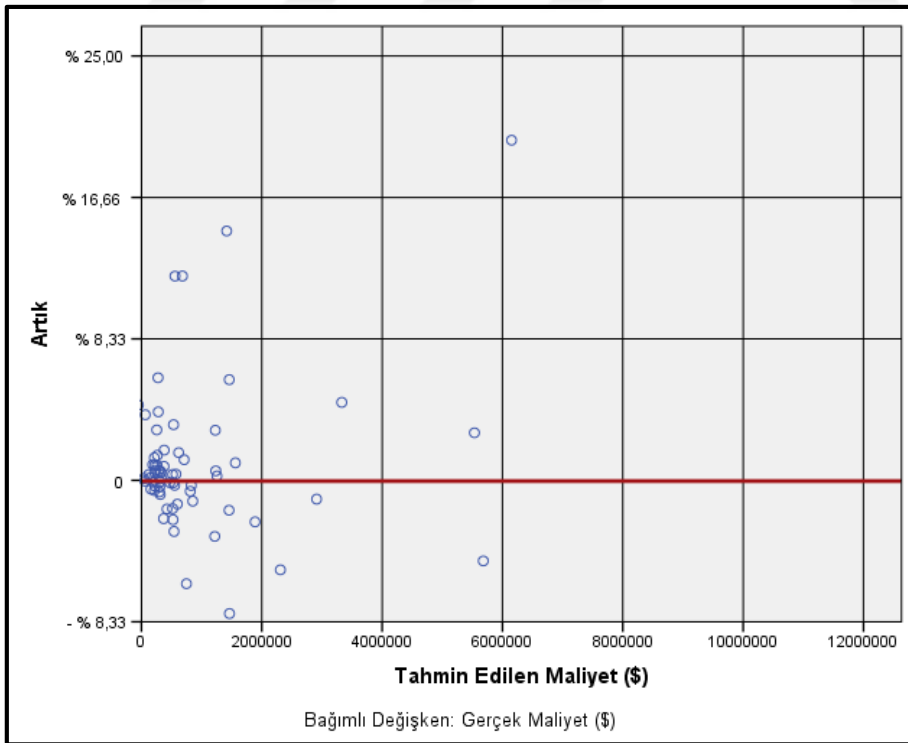
Şekil 5.63. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA  $R^2$  grafiği

Yapılan RA, kanalizasyon hattı maliyeti tahmin değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak amacıyla da kullanılmış ve Şekil 5.64'te gösterilmiştir. Şekil 5.64 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini iyi derecede yakın tahmin ettiği görülmektedir.

Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA analizinde tahmin edilen maliyetin artık grafiği Şekil 5.65'te verilmiştir. Şekil 5.65 incelendiğinde tahmin edilen kanalizasyon boru hattı maliyet değerlerinin yapılan önceki analizlere göre nispeten eksen çizgisi etrafında daha kötü bir dağılım gösterdiği görülmektedir.



Şekil 5.64. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet-gerçek maliyet kıyaslaması



Şekil 5.65. Gizli katman sayısı 1, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet - artık grafiği

#### 5.4.5. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA

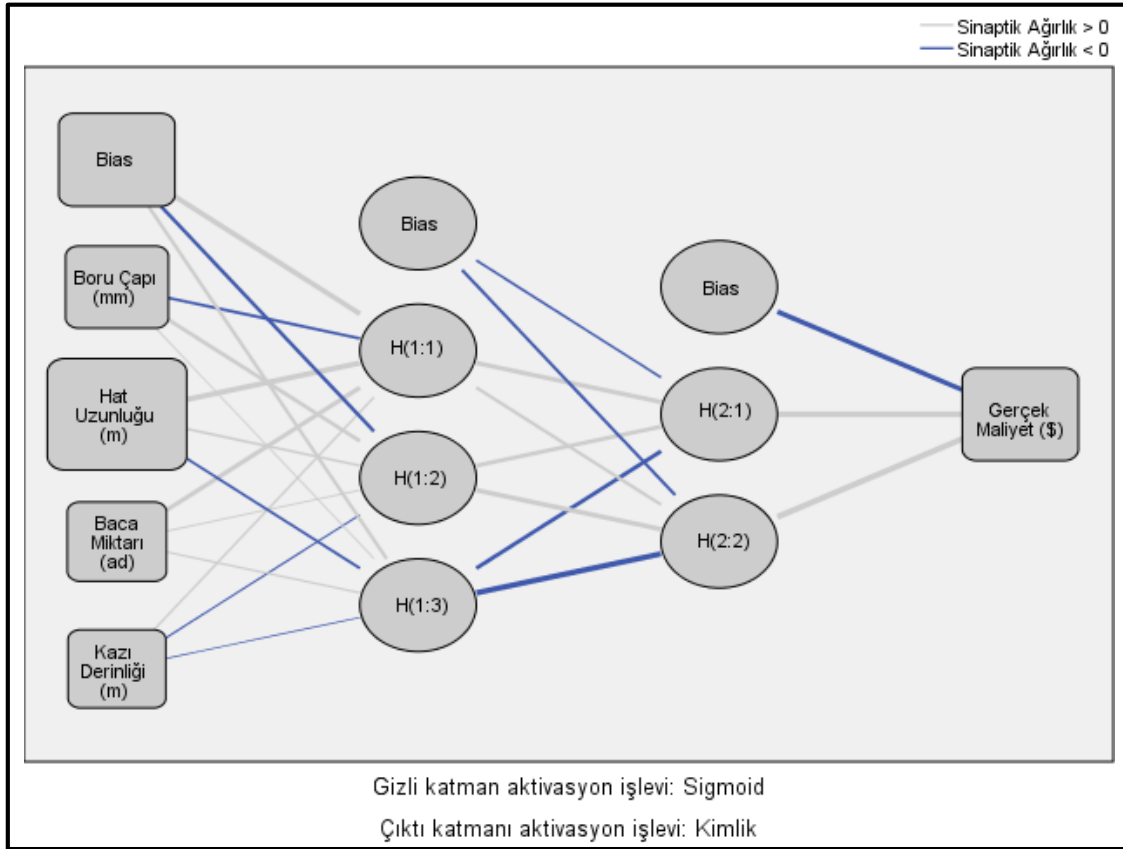
Kanalizasyon boru hattı projeleri üzerinden belirlenen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu ve baca miktarı bağımsız değişkenleri girdi verileri olarak, gerçek maliyet ise çıktı verisi olarak tanımlanan gizli katman sayısı 2 ve aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan YSA ağ bilgisi Çizelge 5.12’de, YSA modeli ise Şekil 5.66’da verilmiştir. YSA analizinde toplam 67 adet proje verisinden, ağı eğitmek için 40 adedi (% 59,7), ağı testini yapmak için ise 27 adedi (% 40,3) kullanılmıştır.

Çizelge 5.12. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA ağ bilgisi

|               |                                                     |   |                     |
|---------------|-----------------------------------------------------|---|---------------------|
| Girdi Katmanı | Değişkenler                                         | 1 | Boru Çapı (mm)      |
|               |                                                     | 2 | Hat Uzunluğu (m)    |
|               |                                                     | 3 | Baca Miktarı (ad)   |
|               |                                                     | 4 | Kazı Derinliği (m)  |
|               | Birimlerin Adedi                                    |   | 4                   |
| Gizli Katman  | Değişkenler İçin Yeniden Ölçeklendirme Yöntemi      |   | Standartlaştırılmış |
|               | Gizli Katmanların Adedi                             |   | 2                   |
|               | Gizli Katman 1’deki Birimlerin Adedi <sup>1</sup>   |   | 3                   |
|               | Gizli Katman 2’deki Birimlerin Adedi <sup>2</sup>   |   | 2                   |
|               | Aktivasyon İşlevi                                   |   | Sigmoid             |
| Çıktı Katmanı | Bağımlı Değişken 1                                  |   | Gerçek Maliyet (\$) |
|               | Birimlerin Adedi                                    |   | 1                   |
|               | Ölçek Bağımlıları İçin Yeniden Ölçeklendirme Metodu |   | Standartlaştırılmış |
|               | Aktivasyon İşlevi                                   |   | Kimlik              |
|               | Hata İşlevi                                         |   | Kareler Toplamı     |

<sup>1</sup> Bias birimleri hariç

<sup>2</sup> Bias birimleri hariç



Şekil 5.66. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA’da ağ şeması

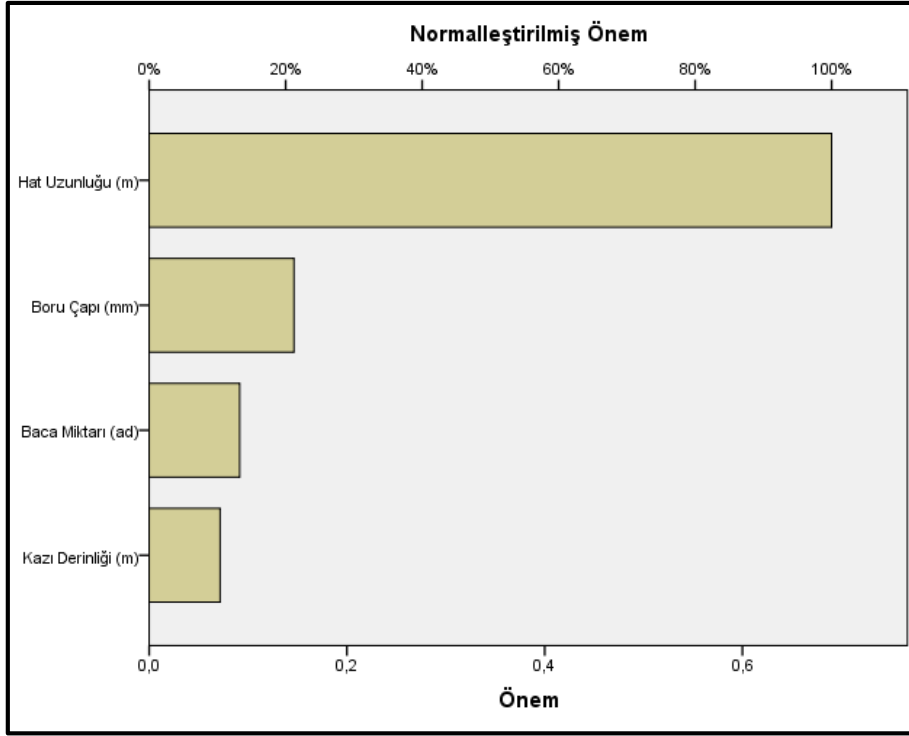
YSA analizi sonucunda ortaya çıkan parametrelerin bağlantı ağırlıkları Çizelge 5.13’de, önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri ise Şekil 5.67’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.13. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA analizi sonucu oluşan parametre bağlantı ağırlıkları

| Tahminci       |                    | Tahmin Edilen  |        |        |                |        |                     |
|----------------|--------------------|----------------|--------|--------|----------------|--------|---------------------|
|                |                    | Gizli Katman 1 |        |        | Gizli Katman 2 |        | Çıktı Katmanı       |
|                |                    | H(1:1)         | H(1:2) | H(1:3) | H(2:1)         | H(2:2) | Gerçek Maliyet (\$) |
| Girdi Katmanı  | Bias               | 2,459          | -1,545 | 1,431  |                |        |                     |
|                | Boru Çapı (mm)     | -0,824         | 1,624  | 0,160  |                |        |                     |
|                | Hat Uzunluğu (m)   | 2,542          | 0,671  | -0,788 |                |        |                     |
|                | Baca Miktarı (ad)  | 1,794          | 0,176  | 0,397  |                |        |                     |
|                | Kazı Derinliği (m) | 0,498          | -0,227 | -0,095 |                |        |                     |
| Gizli Katman 1 | Bias               |                |        |        | -0,552         | -1,118 |                     |
|                | H(1:1)             |                |        |        | 1,940          | 1,285  |                     |
|                | H(1:2)             |                |        |        | 1,726          | 2,235  |                     |
|                | H(1:3)             |                |        |        | -1,695         | -2,670 |                     |
| Gizli Katman 2 | Bias               |                |        |        |                |        | -2,369              |
|                | H(2:1)             |                |        |        |                |        | 3,341               |
|                | H(2:2)             |                |        |        |                |        | 5,031               |



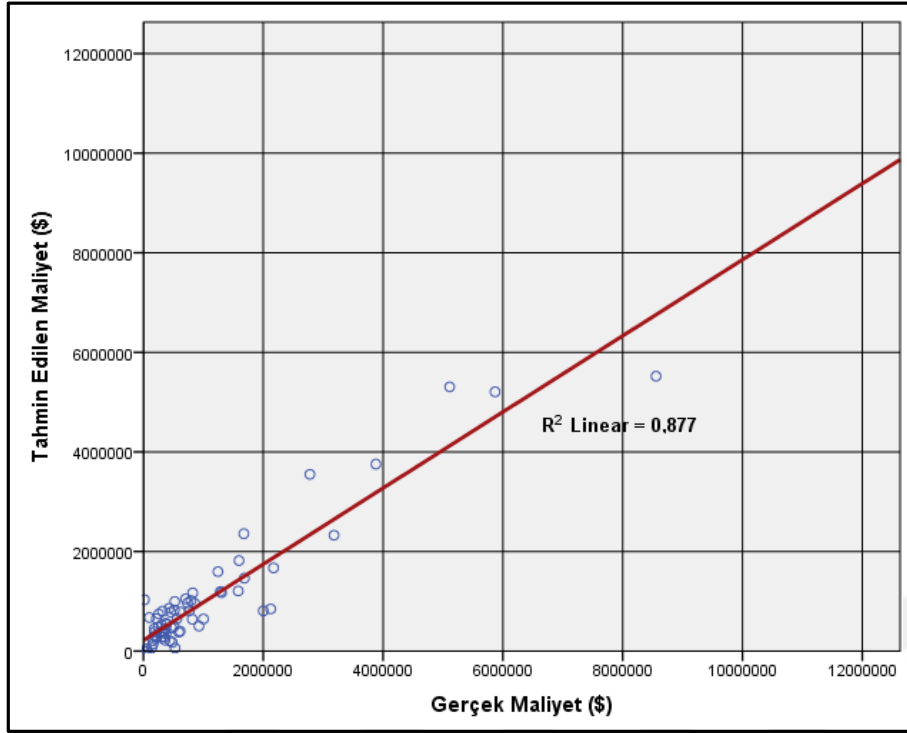
Şekil 5.67’de gösterilen normalleştirilmiş önem analizi sonuçlarına göre gerçek maliyet üzerinde en yüksek öneme sahip olan parametre hat uzunluğu parametresidir. Maliyeti etkileyen diğer değişkenlerin önem derecesi ise sırasıyla boru çapı, baca miktarı ve kazı derinliği parametreleridir



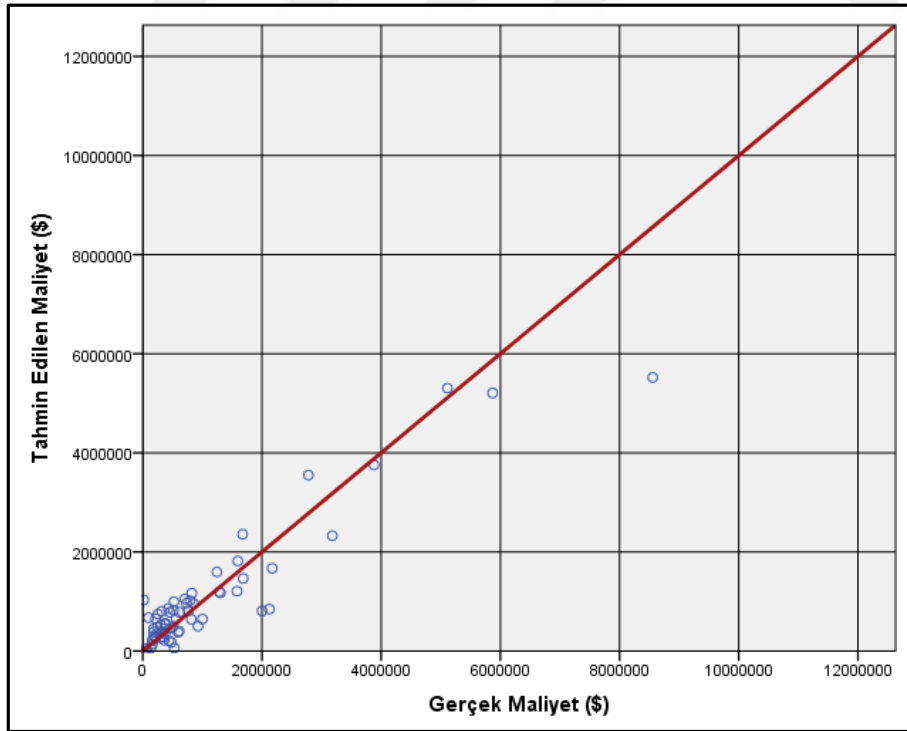
Şekil 5.67. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA analizinde kullanılan değişkenlerin önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri

Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA modeli ile tahmin edilen kanalizasyon hattı maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında RA yapılmış ve  $R^2=0,877$  olarak belirlenmiştir (Şekil 5.68).

Yapılan RA, kanalizasyon hattı maliyeti tahmin değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak amacıyla da kullanılmış ve Şekil 5.69’da gösterilmiştir. Şekil 5.69 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini iyi derecede yakın tahmin ettiği görülmektedir.

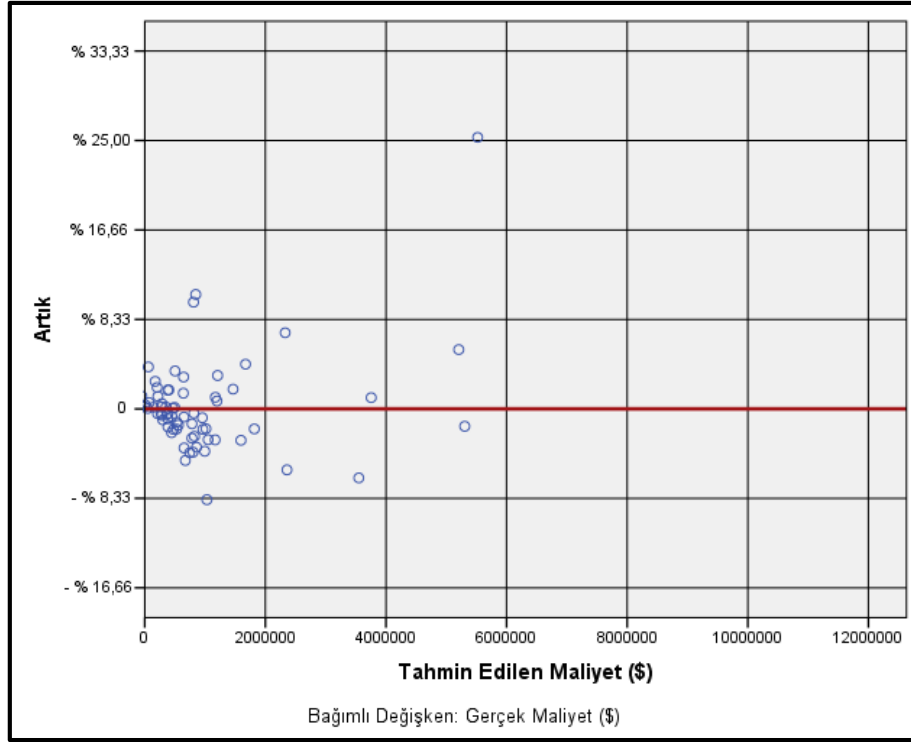


Şekil 5.68. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA  $R^2$  grafiği



Şekil 5.69. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet-gerçek maliyet kıyaslaması

Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA analizinde tahmin edilen maliyetin artık grafiği Şekil 5.70’te verilmiştir. Şekil 5.70 incelendiğinde tahmin edilen kanalizasyon boru hattı maliyet değerlerinin yapılan önceki analizlere göre nispeten eksen çizgisi etrafında daha kötü bir dağılım gösterdiği görülmektedir.



Şekil 5.70. Gizli katman sayısı 2, aktivasyon fonksiyonu sigmoid olan mimari seçimli YSA ile tahmin edilen maliyet-artık grafiği

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin erken tahmini için bir yöntem önerisinde bulunulmuştur. Bu amaç için İlbank AŞ'den temin edilen 67 adet kanalizasyon boru hattı projesi üzerinden nispeten kolay ve hızlı bir şekilde belirlenebilen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı ve gerçek maliyet parametreleri kullanılarak "SPSS Statistics 20" yazılımı ile RA ve YSA analizleri yapılmıştır. Değişkenler arasındaki korelasyonlar incelenmiş, kazı derinliği ve boru çapı değişkenlerinin, gerçek maliyet değişkeni ile aralarındaki ilişki çok düşük olmasına rağmen, tezin amacı doğrultusunda sadece kolay ve hızlı bir şekilde tespit edilebildiği için analizlerde kullanılmıştır.

Yapılan tek değişkenli RA içerisinde  $R^2=0,811$  katsayısı ile en yüksek ilişki düzeyine sahip analiz kanalizasyon boru hattı uzunluğu ile gerçek maliyet arasında yapılan RA sonucunda bulunmuştur. İkinci en iyi sonuç  $R^2=0,755$  katsayısı ile kanalizasyon boru hattı boyunca yerleştirilen baca miktarı ile gerçek maliyet arasında ortaya çıkmıştır. Kazı derinliği ve boru çapı değişkenleri ile gerçek maliyet arasında yapılan RA sonuçlarında ise  $R^2$  değerleri çok düşük çıkmış ve ilişki düzeyi oldukça düşük kalmıştır.

Yapılan iki değişkenli RA içerisinde  $R^2=0,844$  katsayısı ile en yüksek ilişki düzeyine sahip analiz kanalizasyon boru hattı uzunluğu ve boru çapı ile gerçek maliyet arasında yapılan RA sonucunda bulunmuştur. İkinci en iyi sonuç  $R^2=0,831$  katsayısı ile kanalizasyon boru hattı boyunca yerleştirilen baca miktarı ve hat uzunluğu ile gerçek maliyet arasında, üçüncü en yüksek ilişki  $R^2=0,824$  değeri ile kanalizasyon boru hattı uzunluğu ve kazı derinliği ile gerçek maliyet arasında yapılan RA sonucunda tespit edilmiştir. Kazı derinliği ve boru çapı ile gerçek maliyet arasında yapılan RA sonucuna göre  $R^2=0,035$  olarak bulunmuş ve ilişki düzeyi oldukça düşük kalmıştır.

Yapılan üç değişkenli RA içerisinde  $R^2=0,862$  katsayısı ile en yüksek ilişki düzeyine sahip analiz kanalizasyon boru hattı uzunluğu, baca miktarı ve boru çapı ile gerçek maliyet arasında yapılan RA sonucunda bulunmuştur. İkinci en iyi sonuç  $R^2=0,849$  katsayısı ile kanalizasyon boru hattı boyunca yerleştirilen borunun çapı, kazı derinliği ve hat uzunluğu ile gerçek maliyet arasında belirlenmiştir. Üç değişkenli RA içerisinde en düşük ilişki  $R^2=0,790$  değeri ile kanalizasyon boru hattı boyunca yerleştirilen borunun çapı, baca miktarı ve kazı derinliği ile gerçek maliyet arasında yapılan RA sonucunda tespit edilmiştir.

En yüksek ilişki derecesine  $R^2=0,867$  katsayısı ile tüm değişkenlerin kullanıldığı RA sonucunda varılmıştır (Bkz. Eş. 5.15).

RA ile geliştirilen denklemler ile gerçekleştirilen kanalizasyon boru hattı maliyeti tahminlerinden daha iyi tahmin yapabileceği varsayımıyla YSA ile de analizler yapılmıştır. RA'da olduğu gibi kanalizasyon boru hattı projeleri üzerinden nispeten kolay ve hızlı bir şekilde belirlenebilen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı bağımsız değişkenleri girdi verileri olarak, gerçek maliyet ise çıktı verisi olarak YSA analizlerinde 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 belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan denemeler sonucunda en iyi tahmin gücüne sahip YSA modeli otomatik mimari seçimli aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan YSA modeli olmuştur. Bu modelde toplam 67 adet proje verisinden, ağı eğitmek için 51 adedi (%76,1), ağın testini yapmak için ise 16 adedi (%23,9) kullanılmıştır. Normalleştirilmiş önem analizi sonuçlarına göre gerçek maliyet üzerinde en yüksek öneme sahip olan parametre hat uzunluğu, gerçek maliyeti etkileyen diğer değişkenlerin önem derecesi ise sırasıyla boru çapı, kazı derinliği ve baca miktarıdır.

Otomatik mimari seçimli aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan YSA modeli ile tahmin edilen kanalizasyon hattı maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında RA yapılmış ve  $R^2=0,915$  olarak belirlenmiştir. Yapılan YSA modelleri için en iyi  $R^2$  katsayısına sahip model otomatik mimari seçimli aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan YSA modeli olmuştur.

Sonuçta, YSA ile tahmin edilen kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin, RA ile tahmin edilen maliyet tahminlerine göre bir miktar daha başarılı sonuçlar verdiği ve kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin tahmininde güvenli bir şekilde kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Acır, Ş. (2007). *Beton Basınç Dayanımlarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 48-60.
- Akkaya S., Pazarlıoğlu M.V. (2000). *Ekonometri 1*, İzmir: Anadolu Matbaacılık, 575.
- Anderson D.R., Sweeney D.J. and Williams T.A. (1981). *Introduction to Statistical to: an applications approach*, New York: Publishing Company, 601.
- 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, 9-52.
- Baykan, U. N. (2007). *İnşaat Projelerinde Kaynak İhtiyacının Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Tahmini*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 27-55.
- Bildik, A.T. (1998). *Normal Basınç Dayanımlı Beton Karışımlarının Yapay Sinir Ağları ile Hesaplanması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 41-50.
- Çamcı, F. (2006). *Yapay Sinir Ağları Kullanılarak İzostatik Kafes Sistem Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 87-89.
- Çömlekçi N. (1998). *Temel İstatistik İlke ve Teknikleri*, Eskişehir: Bilim Teknik Yayınevi, 500.
- Doğan, E., Işık, S. ve Sandalcı, M. (2007). Günlük buharlaşmanın yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilmesi, *İMO Teknik Dergi*, 4119-4131.
- Elazouni, A. M., Nosair, I. A., Mohieldin, Y. A. and Mohamed, A. G. (1997). Estimating resource requirements at conceptual design stage using neural networks, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 11(4), 217-223.
- Elbistanlı, G. (2007). *HVAC Sisteminin MLP Tipi Yapay Sinir Ağları (YSA) Kullanarak Denetlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 21-34.
- Erdal, M. (2009). Prediction of the compressive strength of vacuum processed concretes using artificial beural network and regression technique, *Scientific Research and Essay*, 4(10), 1057-1065.
- Göktepe, F., Arman, H., Doğan, E. ve Sandalcı, M. (2009, 13-15 Mayıs). *Yapay sinir ağları ile adapazarı killerinin sınıflandırılmasında istatistiksel analiz*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumunda sunuldu, Karabük, 2236-2241.
- Garip, Z. Ş. (2011). *Yapay Sinir Ağları ile Mevcut Yapıların Deprem Riski Açısından Durum Tespiti*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 185-188.
- Gujarati D.N. (2005). *Temel ekonometri*, İstanbul: LiteratürYayıncılık, 850.

- Gülçiçek, Ü. (2011). *Yapı Parametrelerinin Değişimi ile Yaklaşık Kaba İnşaat Maliyet Tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Sakarya.
- Gülhan, İ.E. (2005). *Öngerilmeli Betondan Sandık Kesitli Köprülerin Yapay Sinir Ağları ile Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 72-76.
- Hagan, M. T., Demuth, H. B. and Beale, M. (1996). *Neural Network Design*, Boston: PWS, 32-36.
- Hamzaçebi, C. (2011). *Yapay Sinir Ağları: Tahmin Amaçlı Kullanımı Matlab ve Neurosolutions Uygulamalı*, Bursa: Ekin Yayınevi, 14-45.
- Hegazy, T., Ayed, A. (1998). Neural network model for parametric cost estimation of highway projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, 124, 210-218.
- İller Bankası A.Ş. Fotoğraf Arşivleri
- İller Bankası A.Ş. (2002). Kanalizasyon işlerinin planlanması ve projelerinin hazırlanmasına ait talimatname, 11-15.
- 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
- Johnson R.A., Wichern D.W. (1998). *Applied multivariate statistical analyses*, New Jersey: Prentice Hall, 816.
- Kasaplı, K. (2014). *İçmesuyu Şebekelerinde Maliyet Tahmini Amacıyla Yapay Sinir Ağları Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 27-75.
- Keleşoğlu, Ö., Fırat A. (2006). Tuğla duvardaki ve tesisattaki ısı kaybının yapay sinir ağları ile belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18(1), 133-141
- Kılıçbay A. (1980). *Ekonometrinin temelleri*, İstanbul: Has Kurtulmuş Matbaası, 677.
- Kim, G. H., An, S. H. and 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.
- Koutsoyiannis A. (1992). *Ekonometri kuramı*, İstanbul: Teknik Üniversite matbaası, 688.
- Lee, S.C.(2003). Prediction of concrete strength using artificial neural networks. *Engineering Structures*, 25(7), 849-857.
- McCulloh, W.S., Pitts, W. (1943). A logical calculus of ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115-133.

- Neter J., Kunter M.H., Nachtsheim C.J and Wasserman W. (1996). *Applied Linear Regression Models*, Chicago: The Mc Graw-Hill Companies, Inc., 35-51.
- 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, 122-123.
- 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.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları* (Üçüncü Baskı), İstanbul: Papatya Yayıncılık, 25-61.
- Öztürk, E. (2009). *Cost Estimation of Trackworks of Light Rail and Metro Projects*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler M. (2003). *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I: Yapay Sinir Ağları*, Kayseri: Ufuk Kitap Kırtasiye Yayıncılık, 74-83.
- Sahin, M., Shenoi, 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.
- Saraç, T. (2004). *Yapay Sinir Ağları, Seminer Projesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-36.
- Sarıbıyık, M., Çağlar, N. and 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.
- Serper Ö. (2004). *Uygulamalı İstatistik 2*, Bursa: Ezgi Kitabevi, 483.
- 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.
- Şen, Z. (2004). *Yapay Sinir Ağları İlkeleri*, İstanbul: Su Vakfı Yayınları, 12.
- Tortum, A. (2003). *Yapay Sinir Ağları ve Birleştirilmiş Sinirsel Bulanık Sistemler ile Şehirlerarası Yük Taşımada Tür Seçiminin Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 35-81.
- Tulpar, H. (2010). *Kanalizasyon Şebekelerinde Kullanılan Boruların Hidrolik ve Maliyet Açısından Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 10-23.
- Uğur, L. O. (2007). *Yapı Maliyetinin Yapay Sinir Ağı ile Analizi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 45-92.



- Uğur, L. O., Baykan, U. N. ve Korkmaz, S. (2011, 25-27 Kasım). *Yığma konutların maliyet tahmininde yapay sinir ağlarının (YSA) kullanılması*, 6. İnşaat Yönetimi Kongresinde sunuldu, Bursa.
- Yılmaz, M., Kanıt, R., Erdal, M., Yıldız, S. ve Bakış, A. (2016). Bina bakım onarım ödeneklerinin etkin kullanımı maksadıyla ihale bedelini etkileyen faktörlerin yapay sinir ağları ve lineer regresyon yöntemleri ile belirlenmesi, *Politeknik Dergisi*, 19(4), 461-470.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SUERİ, Murat  
 Uyruğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 03.12.1984, Ankara  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (312) 508 78 57  
 Faks : 0 (312) 508 77 99  
 e-mail : msueri@ilbank.gov.tr



### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                                      | Mezuniyet tarihi |
|---------------|----------------------------------------------------|------------------|
| Yüksek lisans | Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği            | -                |
| Lisans        | Anadolu Üniversitesi / Uluslararası İlişkiler      | 2016             |
| Lisans        | İstanbul Teknik Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği | 2007             |
| Lise          | Ankara Gazi Anadolu Lisesi                         | 2002             |

### İş Deneyimi

| Yıl       | Yer                | Görev                     |
|-----------|--------------------|---------------------------|
| 2011-     | İller Bankası A.Ş. | Teknik Uzman              |
| 2008-2011 | Akpınar Grup       | Sözleşme Müdür Yardımcısı |
| 2007-2008 | Özkar Grup         | Teknik Ofis Mühendisi     |

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Futbol, Basketbol, Bowling



*GAZİ GELECEKTİR..*