GAZİ ÜNİVERSİTESİ

Gazi

1926

EĞİTİM YAPILARININ MALİYETLERİNİN ÖN TAHMİNİ İÇİN BİR YÖNTEM ÖNERİSİ

Reza ŞİRZAD

DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞUSTOS 2023

ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmasında 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.

Reza ŞİRZAD
03/08/2023

EĞİTİM YAPILARININ MALİYETLERİNİN ÖN TAHMİNİ İÇİN BİR YÖNTEM ÖNERİSİ

(Doktora Tezi)

Reza ŞİRZAD

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2023

ÖZET

Bu çalışmada, eğitim yapısı maliyetlerinin ön tahmini için bir yöntem önerisinde bulunulmuştur. Bu amaçla, Milli Eğitim Bakanlığı tarafından Şanlıurfa ilinde yaptırılan 50 adet eğitim yapısına ait projeler ele alınmış ve projelerin çizim, rapor, metraj ve keşif verileri temin edilmiştir. Projeler üzerinden eğitim yapısının inşaat maliyeti çıktı değişkenini etkileyebilecek; yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri belirlenmiş ve analizlerde kullanılmıştır. Analizler "SPSS Statistics 24" yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler kullanılarak Regresyon Analizleri (RA) yapılmış ve eğitim yapılarının maliyetlerini tahmin etmek için formüller geliştirilmiştir. Geliştirilen formüllerden tüm parametrelerin kullanıldığı model R^2=0.950 katsayısı ile en iyi ilişki düzeyine sahip model olmuştur. Tahmin edilen sonuçlar ile gerçek sonuçlar arasındaki tutarlılığı kontrol etmek amacıyla Durbin-Watson kriteri kullanılmıştır. Ardından aynı parametreler kullanılarak Yapay Sinir Ağları (YSA) analizleri yapılmış ve elde edilen tahmin sonuçları, RA ile gerçekleştirilen tahminlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre YSA kullanılarak yapılan eğitim yapısı maliyet tahminlerinin, RA ile belirlenmiş formüllerle yapılan tahminlere göre daha gerçekçi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Bilim Kodu	:	91129
Anahtar Kelimeler	:	Eğitim Yapıları, Maliyet, Maliyet Tahmini, Yapay Sinir Ağları (YSA), Regresyon Analizi (RA)
Sayfa Adedi	:	145
Danışman	:	Prof. Dr. Mürsel ERDAL

A METHOD PROPOSED FOR EARLY COST PREDICTION OF EDUCATIONAL BUILDINGS

(Ph.D Thesis)

Reza ŞİRZAD

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2023

ABSTRACT

In this study, proposed method is presented for the preliminary estimation of educational building costs. To achieve this, projects related to 50 educational buildings commissioned by the Ministry of National Education in the Şanlıurfa province were considered, and the drawing, report, measurement, and estimation data of these projects were obtained. Parameters that could influence the construction cost output variable of educational buildings, such as building height, number of classrooms, basement height, number of elevators, and number of main staircases inside the school, were determined and utilized in the analyses. The analyses were conducted using the "SPSS Statistics 24" software. Regression Analyses (RA) were performed using these parameters, and formulas were developed to estimate the costs of educational buildings. The model that employed all the parameters in the developed formulas yielded the best relationship level with an R^2=0.950 coefficient. The Durbin-Watson criterion was employed to assess the consistency between the predicted and actual results. Subsequently, Artificial Neural Networks (ANN) analyses were conducted using the same parameters, and the resulting prediction outcomes were compared with the predictions made using RA. The findings revealed that the cost estimates of educational buildings generated using ANN, based on ANN, provided more realistic results compared to the estimates derived from the formulas determined by RA.

Science Code	:	91129
Key Words	:	Educational Buildings, Cost, Cost Estimate, Artificial Neural Networks (ANN), Regression Analysis (RA)
Page Number	:	145
Supervisor	:	Prof. Dr. Mürsel ERDAL

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada pek çok kişinin katkısı olmakla birlikte, çalışmamda görüşlerini esirgemeyen kişilere, özellikle çalışmam boyunca bana destek veren ve beni bu konuda yalnız bırakmayan değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mürsel ERDAL'a, doktora tezin gerçekleştirilmesi sürecinde bana yol gösteren değerli hocalarım ve TİK jüri üyeleri Sayın Prof. Dr. Recep KANIT'a ve Sayın Prof. Dr. Serkan SUBAŞI'na, verilerin statik metrajlarında teknik konularda destek olan İnş. Müh. Sayın C. Faruk EMEKSİZ'e, çalışmamda analizlerin yapılmasında yardımcı olan Sayın Dr. Murat SUERİ'ye, ayrıca eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi olarak daima yanımda olan sevgili babam Mohammad Bagher SHIRZAD'a, en zor günlerimde hep yanımda olan, sevgisiyle bana yaşama ve başarma azmi veren sevgili eşim Sayın Dr. Öğretim Üyesi Nefise ŞİRZAD'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

SİMGELER VE KISALTMALAR xix

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR TARAMASI 5

3. MALİYET TAHMİNİ İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ 13

3.1. Regresyon Analizi (RA) 13

3.1.1. Basit doğrusal regresyon analizi 14

3.1.2. Çoklu doğrusal regresyon analizi 16

3.1.3. İnşaat mühendisliğinde regresyon analizinin kullanımı 17

3.2. Yapay Sinir Ağları (YSA) 18

3.2.1. Yapay sinir ağlarının tarihçesi 18

3.2.2. Yapay sinir hücresi ve çalışma prensipleri 19

3.2.3. Girdiler 19

3.2.4. Ağırlıklar 20

3.2.5. Birleştirme (toplama) fonksiyonu 20

3.2.6. Transfer (aktivasyon) fonksiyonu 20

3.2.7. Yapay sinir ağlarının tasarımı 22

3.2.8. YSA ağ yapısının seçimi 22

3.2.9. Öğrenme algoritmasının seçimi 23

Sayfa

3.2.10. Ara katman sayısını belirleme 23

3.2.11. Nöron sayısını belirleme 24

3.2.12. Normalizasyon 24

3.2.13. Performans fonksiyonunun seçimi 25

3.2.14. Yapay sinir ağlarının avantajları 26

3.2.15. Yapay sinir ağlarının dezavantajları 27

4. VERİLERİN TOPLANMASI VE ANALİZLERİN YAPILMASI 29

4.1. Verilerin Toplanması 29

4.2. Araştırma Yöntemi 29

4.3. Regresyon Analizi ile Oluşturulan Tahmin Modelleri 30

4.3.1. Tek değişkenli doğrusal regresyon analizleri 30

4.3.2. İki değişkenli doğrusal regresyon analizleri 42

4.3.3. Üç değişkenli doğrusal regresyon analizleri 66

4.3.4. Dört değişkenli doğrusal regresyon analizleri 93

4.3.5. Beş değişkenli doğrusal regresyon analizi 104

4.4. Yapay Sinir Ağı (YSA) ile Oluşturulan Tahmin Modelleri 109

4.4.1. Otomatik mimari seçim ile oluşturulan YSA modeli 109

4.4.2. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA 114

4.4.3. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA 118

4.4.4. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA 123

4.4.5. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA 128

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 133

KAYNAKLAR 137

EKLER 143

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ 145

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Birleştirme fonksiyonları 20

Çizelge 3.2. Aktivasyon fonksiyonları 21

Çizelge 3.3. Ağ çeşitleri ve etkili oldukları alanlar 23

Çizelge 3.4. Normalizasyon işlemi fonksiyonları 25

Çizelge 3.5. Performans kriterleri 25

Çizelge 4.1. Analizlerde kullanılan değişkenler ve değişim aralıkları 29

Çizelge 4.2. RA ile elde edilen denklemler, Durbin-Watson ve R^2 değerleri 108

Çizelge 4.3. Otomatik mimari seçimle oluşturulan YSA modelinin ağ bilgisi 110

Çizelge 4.4. Otomatik mimari seçimle elde edilen YSA modelindeki parametrelerin bağlantı ağırlıkları 111

Çizelge 4.5. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA ağ bilgisi 114

Çizelge 4.6. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modelindeki parametrelerin bağlantı ağırlıkları 115

Çizelge 4.7. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA ağ bilgisi 119

Çizelge 4.8. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modelindeki parametrelerin bağlantı ağırlıkları 120

Çizelge 4.9. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA ağ bilgisi 124

Çizelge 4.10. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modelindeki parametrelerin bağlantı ağırlıkları 125

Çizelge 4.11. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA ağ bilgisi 128

Çizelge 4.12. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modelindeki parametrelerin bağlantı ağırlıkları 129

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.1. Yapı yüksekliği – gerçek maliyet regresyon grafiği 30

Şekil 4.2. Yapı yüksekliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 31

Şekil 4.3. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği parametresi yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 32

Şekil 4.4. Derslik sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 33

Şekil 4.5. Derslik sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 33

Şekil 4.6. Gerçek maliyet ile derslik sayısı parametresi yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 34

Şekil 4.7. Bodrum kat yüksekliği – gerçek maliyet regresyon grafiği 35

Şekil 4.8. Bodrum kat yüksekliği – gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 36

Şekil 4.9. Gerçek maliyet ile bodrum kat yüksekliği parametresi yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 36

Şekil 4.10. Asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 37

Şekil 4.11. Asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 38

Şekil 4.12. Gerçek maliyet ile asansör sayısı parametresi yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 39

Şekil 4.13. Okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 40

Şekil 4.14. Okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 40

Şekil 4.15. Gerçek maliyet ile okul iç ana merdiven sayısı parametresi yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 41

Şekil 4.16. Yapı yüksekliği ve derslik sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 42

Şekil 4.17. Yapı yüksekliği, derslik sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 43

Şekil 4.18. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği ve derslik sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 44

Şekil 4.19. Yapı yüksekliği ve bodrum kat yüksekliği – gerçek maliyet regresyon grafiği 45

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.20. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 45

Şekil 4.21. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği ve bodrum kat yüksekliği parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 46

Şekil 4.22. Yapı yüksekliği ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 47

Şekil 4.23. Yapı yüksekliği, asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 48

Şekil 4.24. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 48

Şekil 4.25. Yapı yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 49

Şekil 4.26. Yapı yüksekliği, okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 50

Şekil 4.27. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 51

Şekil 4.28. Derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği – gerçek maliyet regresyon grafiği 52

Şekil 4.29. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 53

Şekil 4.30. Gerçek maliyet ile derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 53

Şekil 4.31. Derslik sayısı ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 54

Şekil 4.32. Derslik sayısı, asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 55

Şekil 4.33. Gerçek maliyet ile derslik sayısı ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 56

Şekil 4.34. Derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 57

Şekil 4.35. Derslik sayısı, okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 57

Şekil 4.36. Gerçek maliyet ile derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 58

Şekil 4.37. Bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 59

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.38. Bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 60

Şekil 4.39. Gerçek maliyet ile bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 61

Şekil 4.40. Bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 62

Şekil 4.41. Bodrum kat yüksekliği, okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 63

Şekil 4.42. Gerçek maliyet ile bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 63

Şekil 4.43. Asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 64

Şekil 4.44. Asansör sayısı, okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 65

Şekil 4.45. Gerçek maliyet ile asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 66

Şekil 4.46. Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği – gerçek maliyet regresyon grafiği 67

Şekil 4.47. Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 68

Şekil 4.48. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 69

Şekil 4.49. Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 70

Şekil 4.50. Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 71

Şekil 4.51. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 72

Şekil 4.52. Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 73

Şekil 4.53. Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı- gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 74

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.54. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 75

Şekil 4.55. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 76

Şekil 4.56. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 76

Şekil 4.57. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması . 77

Şekil 4.58. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 78

Şekil 4.59. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven Sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 79

Şekil 4.60. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 80

Şekil 4.61. Yapı yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 81

Şekil 4.62. Yapı yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı- gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 81

Şekil 4.63. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 82

Şekil 4.64. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 83

Şekil 4.65. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 84

Şekil 4.66. Gerçek maliyet ile derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması . 85

Şekil 4.67. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 86

Şekil 4.68. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 86

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.69. Gerçek maliyet ile derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 87

Şekil 4.70. Derslik sayısı, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 88

Şekil 4.71. Derslik sayısı, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 89

Şekil 4.72. Gerçek maliyet ile derslik sayısı, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması . 90

Şekil 4.73. Bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 91

Şekil 4.74. Bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 92

Şekil 4.75. Gerçek maliyet ile bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 93

Şekil 4.76. Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 94

Şekil 4.77. Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 95

Şekil 4.78. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 95

Şekil 4.79. Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 96

Şekil 4.80. Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 97

Şekil 4.81. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 98

Şekil 4.82. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 99

Şekil 4.83. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı 100

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.84. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 101

Şekil 4.85. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği 102

Şekil 4.86. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı..... 103

Şekil 4.87. Gerçek maliyet ile derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 103

Şekil 4.88. Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği..... 104

Şekil 4.89. Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı..... 105

Şekil 4.90. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması 106

Şekil 4.91. Otomatik mimari seçimle oluşturulan YSA modelinin ağ şeması..... 110

Şekil 4.92. Otomatik mimari seçimle oluşturulan YSA modelinde kullanılan değişkenlerin önem dereceleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri..... 111

Şekil 4.93. Otomatik mimari seçimle oluşturulan YSA modeli regresyon grafiği 112

Şekil 4.94. Gerçek maliyet ile otomatik mimari seçimli YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırması 113

Şekil 4.95. Otomatik mimari seçimli YSA modeli ile tahmin edilen maliyetin artık grafiği 113

Şekil 4.96. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modelinin ağ şeması..... 115

Şekil 4.97. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modelinde kullanılan değişkenlerin önem dereceleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri 116

Şekil 4.98. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli regresyon grafiği 117

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.99. Gerçek maliyet ile hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırması 117

Şekil 4.100. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli ile tahmin edilen maliyetin artık grafiği..... 118

Şekil 4.101. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modelinin ağ şeması..... 119

Şekil 4.102. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modelinde kullanılan değişkenlerin önem dereceleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri 120

Şekil 4.103. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli regresyon grafiği 121

Şekil 4.104. Gerçek maliyet ile hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırması 122

Şekil 4.105. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli ile tahmin edilen maliyetin artık grafiği..... 123

Şekil 4.106. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modelinin ağ şeması..... 124

Şekil 4.107. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modelinde kullanılan değişkenlerin önem dereceleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri 125

Şekil 4.108. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli regresyon grafiği 126

Şekil 4.109. Gerçek maliyet ile sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırması 127

Şekil 4.110. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli ile tahmin edilen maliyetin artık grafiği..... 127

Şekil 4.111. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modelinin ağ şeması..... 129

Şekil 4.112. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modelinde kullanılan değişkenlerin önem dereceleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri 130

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.113. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli regresyon grafiği 131

Şekil 4.114. Gerçek maliyet ile sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırması 131

Şekil 4.115. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli ile tahmin edilen maliyetin artık grafiği..... 132

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
$	Dolar
m	Metre
%	Yüzde

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AS	Asansör Sayısı
AMS	Okul İç Ana Merdiven Sayısı
BKY	Bodrum Kat Yüksekliği
DS	Derslik Sayısı
GM	Gerçek Maliyet
H	Yapı Yüksekliği
RA	Regresyon Analizi
TM	Tahmin Edilen Maliyet
TOKİ	Toplu Konut İdaresi
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

İnşaat sektörü, rekabetin yoğun olduğu, gelişen teknolojiyle birlikte daha kapsamlı ve karmaşık projelerin geliştirildiği, buna bağlı olarak risklerin arttığı ve farklı uzmanlık alanlarını içeren bir sektördür. Büyük riskler içeren ve rekabet koşullarının yoğun olduğu bu sektörde, projelerin daha kısa sürede tamamlanması ve kaynakların etkin bir biçimde kullanılması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Ekonomilerin itici gücü durumundaki inşaat sektöründe, basit bir üretimi bile gerçekleştirebilmek için farklı özellikte ve çok sayıda kaynağa ihtiyaç duyulmaktadır. Üretimde kullanılan kaynak çeşidinin ve miktarının fazlalığı yürütülen projelerin hedeflenen biçimde tamamlanmasını zora sokmaktadır. Bu nedenle, diğer sektörlerden farklı olarak, inşaat sektöründe programlama, planlama, maliyet tahmini ve analizi ile risklerin yönetimi gibi hususlarda etkin uygulamaların yapılması gerekmektedir (Çelik, 2006).

Sektörün içinde bulunduğu yoğun rekabet ortamı yanında, müşterilerin bilinç düzeyi ve beklentilerinin de oldukça artmış olması sebebiyle, henüz tasarım aşamasında bulunan bir projenin, süre, maliyet ve kalite açısından analizinin ve optimizasyonunun yapılması gerekmektedir. Bu analizler ve optimizasyon için kimi zaman daha önce kazanılmış tecrübeler kullanılırken, kimi zaman da projenin özelliklerinden dolayı uzun süren değerlendirmeler yapılmaktadır. Her iki durumda da ortaya konulan çaba, proje hedefine ulaşmak için kaynak kullanılan faaliyetleri planlama, organize etme, yürütme ve denetleme çabasıdır (Bostancıoğlu, 2006; Yılmaz vd., 2016).

Günümüzde kaynakların yetersizliği, zamanın ise paha biçilemez olması sebebiyle proje yönetiminin önemi gün geçtikçe artırmaktadır. Proje yönetiminin en büyük hedefi, projenin başından sonuna kadar planlanan doğrultuda devam etmesi ve bu sürecin kontrol altına alınmasıdır. Proje yönetiminde zaman, maliyet ve kısıtlı kaynakların en etkin bir şekilde değerlendirilebilmesi için matematiksel ve sezgisel yaklaşımlar ön plana çıkmaktadır. Bu yaklaşımların amacı; zaman, maliyet ve kısıtlı kaynakların bir bütün halinde ele alınarak projenin planlanan zamanda ve öngörülen maliyette tamamlanmasıdır. İnşaat projelerinde maliyetlerin doğru bir şekilde tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır. Doğru yapılan maliyet tahminleri, projelerin bütçesinin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlayarak işin başarı oranını artırır. Bu nedenle, inşaat maliyetlerinin tahmin edilmesi konusu büyük bir

ilgi alanı haline gelmiş, birçok araştırmacıya ve araştırmaya da konu olmuştur (Topçu, 1989; Uğur, 2007).

Son yıllarda, projelerin kaynak kullanımı, maliyet ve süre açısından analiz edilebilmesi için çok sayıda yöntem kullanılmaktadır. İnsan davranışlarının modellenmesi fikri üzerine kurulu olan yapay zeka bilimi, bilgisayar programlarına olaylar hakkında bilgi toplama, olaylar arasındaki ilişkileri öğrenebilme ve karar verebilme yeteneği kazandırmıştır. Çözümü aranan problemlerin matematik modeli olmasa dahi, bilgisayar programları tarafından sezgisel yaklaşımlar kullanılarak bu problemlere çözüm getirilebilmektedir. Yatırım kaynaklarının kısıtlı ve teorik olarak insan ihtiyaçlarının da sonsuz olduğu göz önüne alındığında, inşaat maliyetlerinin çok titiz çalışmalarla belirlenmesi, programlanması ve kontrol edilmesi gerekmektedir. İnşaat sektöründe daha fikir aşamasındayken finansal modelin doğru bir şekilde kurulması; nakit akışından kaynaklanan sorunların giderilmesi ve milli servet kayıplarının önlenmesi büyük önem taşınmaktadır. Bu ise maliyet tahmininin doğru bir şekilde yapılmasıyla mümkün olabilmektedir. İnşaat sektörünün içinde bulunduğu yoğun rekabet ortamı düşünüldüğünde, planlama ve maliyet kontrolü işiyle uğraşan teknik elemanların çözüm için kullanabileceği hızlı ve verimli farklı yöntemlere ihtiyaç duyulduğu açıktır (Erdem, 1996)

İnşaat sektöründe, yapı maliyetlerini tahmin etmeye yönelik yapılan birçok çalışma mevcuttur. Ancak yapılan araştırmalarda sadece eğitim yapılarının maliyet tahminleri üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmanın amacı, eğitim yapılarının maliyetine etki edebilecek parametrelerin belirlenmesi ve belirlenen bu parametreler ile doğruya yakın tahmin yapabilecek hem Regresyon Analizi (RA) hem de Yapay Sinir Ağları (YSA) ile modeller geliştirilmesidir.

Bu çalışmada Milli Eğitim Bakanlığı'nın Şanlıurfa ilinde gerçekleştirilen 50 adet eğitim yapısı projesine ait veriler, modellerin geliştirilmesi için kullanılmıştır. Eğitim yapılarının çizim, metraj, rapor ve keşif verileri temin edilmiştir. Elde edilen projeler üzerinden eğitim yapısı maliyeti çıktı değişkenini etkileyebilecek; yapı yüksekliği (m), derslik sayısı (ad), bodrum kat yüksekliği (m), asansör sayısı (ad), okul iç ana merdiven sayısı (ad), deprem bölgesi, zemin sınıfı, zemin emniyet gerilmesi (kg/cm^2), okul oturum alanı (m^2), tip kat alanı (m^2), laboratuvar ve atölye sayısı (ad), okul toplam inşaat alanı (m^2), dış cephe alanı (m^2), dış cephe boşluk alanı (m^2), bodrum kat sayısı (ad), tip kat sayısı (ad), blok sayısı (ad) ve

yangın merdiveni sayısı (ad) değişkenleri belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler ile maliyet arasındaki korelasyona bakılmış ve ilişki düzeyi yüksek olan yapı yüksekliği (m), derslik sayısı (ad), bodrum kat yüksekliği (m), asansör sayısı (ad) ve okul iç ana merdiven sayısı (ad) parametreleri analizlerde girdi parametresi, gerçek maliyet ise çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Yapılan RA ve YSA analizleri neticesinde modeller geliştirilmiştir. Her iki yöntemle geliştirilen modellerle eğitim yapısı binalarının ön maliyet tahminleri yapılmış ve gerçek maliyet değerleriyle karşılaştırılarak değerlendirmelerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

İnşaat projelerinin farklı aşamalarında yapılan bütçe çalışmalarında, zorluklar nedeniyle maliyet tahminleri gerçekçi bir şekilde hesaplanamamaktadır. Bu zorluklar, projenin özgün özelliklerinden kaynaklanırken, aynı zamanda kontrol dışı bilgi eksikliği, bilgilerin sübjektif yorumlanması, maliyet analizinde doğrudan ve dolaylı maliyet ayrımı hataları ve projenin risklerinin tam olarak öngörülememesi gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Maliyet tahmin ve sınıflandırmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu yöntemler belirtilen zorlukların üstesinden gelmede yeterli olmayabilir. Bu çalışma, bütçe çalışmalarında projenin özgün özelliklerinden kaynaklanan belirsizliklerin nasıl aşılacağını incelemek ve yapay zekâ yöntemlerinin kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla gerçekleştirilecektir.

Yapay zekâ, bilgisayar sistemlerinin insan düşüncesinin yapısını anlama ve benzerliklerini ortaya çıkarma amacıyla tanımlanan bir kavramdır. Yapay zekâ, programlanmış bir bilgisayarın düşünme yeteneği kazanma hedefine yönelik bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle, yapay zekâ, insana özgü yeteneklere sahip bilgisayar sistemlerini ifade eder. Bu sistemler, insanlara özgü yetenekler olan bilgi edinme, algılama, gözlemleme, düşünme ve karar verme gibi yetenekleri sergileyebilme kapasitesine sahiptir.

Yapay sinir ağları (YSA), genellikle beyin fonksiyonlarını modellemek amacıyla oluşturulan, yapay zekanın bir alt türüdür. YSA, biyolojik sinir sistemlerinden esinlenerek tasarlanan matematiksel ve istatistiksel modellerdir. YSA, öğrenme süreciyle bilgiyi kazanır ve bu bilgiyi kullanarak verileri analiz eder, desenleri tanır, sınıflandırma yapar veya tahminlerde bulunur. Bu süreçte, hatalar geriye doğru yayılır ve ağırlıklar güncellenir. Paralel ve dağıtılmış yapıları sayesinde büyük miktarda veri üzerinde etkin bir şekilde çalışabilirler. YSA, derin öğrenme gibi daha karmaşık yapılarla birleştirildiğinde çeşitli alanlarda başarılı sonuçlar elde etmek için kullanılabilirler. Mühendislik alanın da YSA teknolojisinin etkin bir biçimde uygulandığı görülmektedir.

Kamu kaynaklarının kullanım verimini artırmak amacıyla maliyet tahmini için RA ve YSA ile yapılan çalışmalar mevcuttur. Ancak, şimdiye kadar yapılan çalışmalar arasında eğitim yapılarının maliyet tahminlerini detaylı bir şekilde inceleyen herhangi bir çalışmaya

rastlanmamıştır. Eğitim yapıları maliyetlerinin tahmin edilmesi dışında, RA ve YSA ile maliyet tahmini konusunda yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Baykan (2007) çalışmasında, konut tipi yapılar için kaynak tahmini yapabilen bir sistem geliştirmiştir. Bu amaçla 62 adet konut projesi kullanmış ve tasarım aşamasındaki projeler için kaynak tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, çoklu RA yöntemiyle yapılan tahminlerle, YSA yöntemiyle yapılan tahminler karşılaştırılmış ve YSA yönteminin başarılı tahminler yapmada etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, birden fazla çıktı tahmini gerektiren durumlarda analiz süresini de dikkate alarak değerlendirme yapılmış ve çok değişkenli doğrusal RA yöntemiyle her bir çıktı faktörünün ayrı ayrı girdi setiyle ilişkilendirilmesi gerektiğini, bununla birlikte YSA yönteminin, çok daha kısa bir sürede sonuçlar elde ettiğini tespit etmiştir.

Uğur (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Toplu Konut İdaresi ve TÜRKKONUT tarafından sağlanan 58, eğitim ve 5'i de test verisi olmak üzere toplamda 63 adet betonarme taşıyıcı sistemli ve bitişik olmayan çok katlı toplu konut projesinden elde edilen parametreler kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan parametreler arasında, bir kattaki daire sayısı, son katın tavan yüksekliği, toplam daire sayısı, cephe alanı, tip kat alanı, cephe boşluk alanı, kat sayısı, kat yüksekliği ve ortalama daire alanı değerleri yer almaktadır. Bu parametreler, çok katmanlı, geri beslemeli ve danışmanlı öğrenme özelliklerine sahip bir yapay sinir ağına girdi parametresi olarak tanımlanmıştır. Her proje için inşaat maliyeti, çıktı parametresi olarak kabul edilmiştir. Farklı özelliklerle yapılandırılmış 7 farklı yapay sinir ağı, %1 hata payıyla öğrenme yapması için çıkış değerleri ile birlikte danışmanlı öğretme sürecine tabi tutulmuştur. "Sigmoid Fonksiyonu" kullanılarak transfer fonksiyonu belirlenmiş ve CPC-X Neural Power programı, hesaplamalar için kullanılan bir yazılım olarak tercih edilmiştir. Veri seti, (0,1) aralığında normalizasyon işlemine tabi tutularak elde edilen sonuçlar, iterasyon sayısı ve öğrenme süresi boyutlarında önemli ölçüde azalmalar göstermiştir. En uygun YSA konfigürasyonunu belirlemek için 7 farklı ağ yapısının karakteristikleri dikkate alınmıştır. Bu konfigürasyonlar kullanılarak, 5 kontrol verisi için yapılan maliyet tahminleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2005 yılı birim fiyatlarıyla hesaplanan maliyetlerle kıyaslanmıştır. Ortalama hata değeri en düşük seviyede %4,79 olarak belirlenmiştir. Ek olarak, yapı maliyetinin her bir parametrenin değişimiyle nasıl değiştiği analiz edilmiş ve bulguların yorumlanması yapılmıştır. Sonuç olarak inşaat projelerinin tasarım aşamasında maliyet tahmini için YSA yaklaşımının hızlı ve etkili bir yöntem olarak uygulanabileceği, ancak bu

yöntemin kullanılabilmesi için geçmiş proje verilerine ihtiyaç duyulduğu ve bu verilerin doğru ve güvenilir bir şekilde arşivlenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Demirel (2007) araştırmasında, Türkiye Konut Yapı Kooperatifleri Birliği (TÜRKKONUT) tarafından yaptırılan konutların maliyetlerini tahmin etmek için Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmıştır. Çalışmada, benzer yapısal özelliklere sahip çok katlı toplu konut projelerinin inşaat maliyetleri hesaplanmış ve bu verilerle çok katmanlı, geri beslemeli ve danışmanlı öğrenme özelliklerine sahip bir YSA modeli oluşturulmuştur. Projeden elde edilen tip kat alanları, yapı yükseklikleri ve toplam dış cephe alanları, ağ mimarisinde temel değerlendirme kriterleri olarak kullanılmıştır. Çalışmada, YSA tarafından yapılan maliyet tahminleri, Birim Fiyat Yöntemi (BFY) ve RA ile yapılan maliyet tahminleriyle karşılaştırılmış ve YSA'nın performansı detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Oluşturulan YSA modeli, RA verilerine kıyasla BFY ile hesaplanan maliyetlere daha yakın ve uygulanabilir sonuçlar vermiştir. Bu alanda hibrit yöntemlerin kullanılmasının daha etkili tahminler için avantaj sağladığı ve farklı yapı tipleri için benzer çalışmaların yapılmasının olumlu gelişmelere yol açabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Altın (2008) çalışmasında, eğitim yapılarında güçlendirme maliyeti analizleri için temel veri sağlamak amacıyla, betonarme taşıyıcı sistemli tip projelerde yer alan 11 adet eğitim yapısı için güçlendirme projeleri üzerinde incelemelerde bulunmuştur. Elde edilen verilere dayanarak, betonarme perde eklemesi ve kolon mantolama gibi yöntemlerle güçlendirme projeleri oluşturulmuştur. Veri gruplarının farklı seviyelerinde oluşturulan parametrelere bağlı olarak, okul binalarının nihai maliyetleri ile güçlendirme maliyetleri arasındaki ilişki, okul binalarının özellikleri ile güçlendirme maliyetleri arasındaki ilişki ve güçlendirme hesapları için temel veriler ile güçlendirme maliyetleri arasındaki ilişki araştırılmış ve gerekli istatistiksel analizler yapılmıştır. Yapılan analizlere göre, birinci veri grubuyla yapılan analizlerde güçlendirme maliyetinin %-0,4466 doğrulukla tahmin edilebileceği, ikinci veri grubuyla yapılan analizlerde ise % -4,062599 doğrulukla tahmin edilebileceği görülmüştür.

Uğur'un (2011) çalışmasında, tek katlı yığma konut yapılarının inşaat maliyetlerini tahmin etmek amacıyla YSA kullanılmıştır. Bu amaçla, bir yığma konut projesi tasarlanmıştır. Ardından, benzer mimari özelliklere sahip farklı boyutlarda 21 proje tasarlanmış, her bir projenin metrajları yapılmış ve inşaat maliyetleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Birim Fiyat

Rayiçleri kullanılarak belirlenmiştir. Bu verilere dayanarak bir YSA modeli oluşturulmuştur. Modelleme sürecinde, yapı dış boyutları, yapı alanı ve temel yapı karakteristikleri girdi vektörleri olarak kullanılmış, yapı maliyet bedeli ise çıktı vektörü olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, tek katlı yığma konutların maliyetlerinin YSA modeli ile %5 hata oranı dahilinde kabul edilebilir maliyet değerleri elde edilmiştir.

Kim vd., (2013) çalışmalarında eğitim yapılarının maliyetlerini tahmin etmek için üç tahmin yönteminin (regresyon analizi, sinir ağı ve destek vektör makinesi) doğruluğunu karşılaştırmışlardır. Sinir ağı modeli (SA), regresyon analizi (RA) ve destek vektör makinesi (DVM) modellerine göre daha doğru tahmin sonuçları göstermiştir ve sinir ağı modelinin eğitim yapısı projelerinin maliyetini tahmin etmek için en uygun teknik olarak belirlenmiştir. Çalışma, her üç modelin de (SA, RA ve DVM) tahmin edilen maliyetler ile gerçek maliyetler arasında yüksek bir korelasyon ürettiğini bulmuştur. Ancak SA modeli, RA ve DVM modellerine göre en doğru tahmin sonuçlarını vermiştir.

El-Sawalhi ve Shehatto (2014) çalışmalarında, YSA yöntemini kullanarak konut projelerinin erken tasarım aşamasında inşaat maliyetini tahmin etmek için bir model geliştirmiştir. İnşaat firmaları arasında dağıtılan 80 adet anket, konut projelerinin maliyetleri için önemli parametreleri belirlemek üzere kullanılmıştır. Gazze Şehrindeki inşaat projelerinden 169 konut projesi örneği YSA modeli oluşturmak için toplanmış ve konut projesi maliyeti üzerinde etkili olabilecek 11 adet önemli parametre bağımsız girdi değişkenleri olarak ele alınmıştır. YSA modeli, daha ayrıntılı çizimlere ihtiyaç duymadan konut projelerinin maliyetini tahmin etmede makul bir başarı elde etmiştir. Gerçekleştirilmiş model için test edilen veri kümesinin ortalama yüzde hatası büyük ölçüde kabul edilebilir düzeyde (yüzde 6'dan az) bulunmuştur. Duyarlılık analizinin, tip kat alanı ve kat sayısının yapı maliyetinde en etkili parametreler olduğu görülmüştür.

Bir diğer çalışmada Yılmaz vd. (2016), bir kamu kuruluşunun 2015 yılında yürüttüğü çeşitli bakım onarım çalışmaları ile ilgili 211 ihale verisini YSA yöntemiyle analiz ederek test yapmış ve elde edilen sonuçlar diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçları, ilgili kamu görevlilerine kamu binalarının bakım onarımı için ayrılan ödeneklerin daha etkili ve faydalı bir şekilde kullanılması konusunda rehberlik edebileceği şeklinde değerlendirilmiştir.

Sueri (2016) çalışmasında, tasarım aşamasında kanalizasyon boru hattı maliyetlerini tahmin etmek için bir yöntem önermiştir. Bu bağlamda, çalışmada analiz için 67 adet kanalizasyon boru hattı projesi verisi İller Bankası AŞ'den temin edilmiştir. Analizlerde, kanalizasyon boru hattı projelerinde kolaylıkla ve hızlı bir şekilde belirlenebilen faktörler olarak kabul edilen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı ve gerçek maliyet gibi parametrelerden yararlanılmıştır. Analizlerde, kanalizasyon boru hattı maliyetlerini tahmin etmek için "SPSS Statistics 20" yazılımı kullanılmıştır. Bu çalışmada, kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu, baca miktarı ve gerçek maliyet gibi parametreler temel alınarak RA gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, kanalizasyon boru hatlarının maliyetini tahmin etmek için kullanılabilecek formüller ortaya konulmuştur. Bu bilgiler, kanalizasyon boru hatlarının planlanması, bütçelenmesi ve proje yönetimi süreçlerinde değerli bir rehberlik sağlamaktadır. Ardından, aynı parametreler temel alınarak YSA analizleri gerçekleştirilmiştir. YSA yöntemi kullanılarak kanalizasyon boru hattı maliyeti tahminleri yapılmış ve bu tahmin sonuçları, RA ile elde edilen tahminlerle karşılaştırılmıştır. Böylece, YSA'nın kanalizasyon boru hattı maliyet tahmini performansı RA yöntemiyle yapılan tahminlerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, YSA yöntemiyle yapılan kanalizasyon boru hattı maliyet tahminlerinin, RA ile geliştirilen formüllerle yapılan tahminlere kıyasla daha gerçekçi sonuçlar vermiştir.

Uğur, vd. (2019) çalışmalarında, çok katmanlı algılayıcı ve sınıflandırma ile regresyon ağaçlarının tahmin doğruluğunu iyileştirerek iki makine öğrenme meta-algoritmasının performansını gerçek bir ortamda karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında, topluluk modellerinin tahmin doğruluğunun temel öğrenenler tarafından oluşturulan modellerden daha iyi olduğunu ve topluluk modellerinin bireysel makine öğrenimi modellerini geliştirebileceğini göstermiştir.

Özmaden ve Erdal (2020) çalışmalarında, konut yapılarının maliyet tahmininde kullanılan gelişmiş tahmin yöntemlerinden altı farklı regresyon modeli, dört farklı makine öğrenmesi modeli ve bulanık uzman sistem tasarımı olmak üzere toplamda on bir adet tahmin modeli oluşturmuşlardır. Oluşturulan modeller, üç farklı performans kriteri (Ortalama hata kareleri, ortalama mutlak yüzde hatası ve determinasyon katsayısı) kullanılarak analiz edilmiş ve en iyi tahmini yapan yaklaşım ortaya konulmuştur.

Sarıkoç'un (2022) çalışmasında, huzurevi ve çocuk evlerinin bakım-onarım maliyetlerini ön tahmini için modeller geliştirilmiştir. Çalışma için 50 adet uzun yıllardır kullanılan huzurevi ve çocuk evine ait veriler kullanılmıştır. Bu veriler, bina projeleri ve bina bilgi kartlarından elde edilmiş olup, bina oturum alanı, kat sayısı, kullanım süresi, binayı kullanan yıllık ortalama kişi sayısı ve gerçek maliyet gibi parametreleri içermektedir. RA kullanılarak bu parametreler üzerinde analizler gerçekleştirilmiş, huzurevi ve çocuk evlerinin bakım-onarım maliyetlerini tahmin etmek için formüller ortaya konulmuştur. Aynı parametreler kullanılarak YSA analizleri yapılmış ve elde edilen bakım-onarım maliyet tahmin sonuçları, RA ile yapılan tahminlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, YSA ile yapılan tahminlerin, RA ile geliştirilen formüllerle yapılan tahminlere göre daha gerçekçi sonuçlar sunduğunu göstermiştir.

Sueri'nin (2022) çalışmasında, kanalizasyon boru hattı maliyetlerinin daha sistematik ve gerçeğe daha yakın bir şekilde tahmin edilmesi için bir yöntem önermiştir. Bu amaçla, 202 adet kanalizasyon boru hattı projesi incelenmiştir ve bu projelerden rapor, çizim, metraj ve keşif verileri elde edilmiştir. Proje verileri üzerinden kanalizasyon boru hattı inşaat maliyetlerini etkileyebilecek parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler boru çapı, hat uzunluğu, kazı derinliği, baca miktarı, kazı miktarı, dolgu miktarı ve kazı klasıdır. Girdi bağımsız değişkenleri ile çıktı bağımlı değişkeni arasındaki korelasyonlar hesaplanmış ve bu korelasyon sonuçlarına göre bazı girdi değişkenleri belirlenmiştir. Bu süreçte, kanalizasyon boru hattı projeleri üzerinden nispeten kolay ve hızlı bir şekilde belirlenebilen kazı derinliği, boru çapı, hat uzunluğu, kazı klas katsayısı ve gerçek maliyet parametreleri analizlerde kullanılmıştır. Oluşturulan modellerde 182 adet kanalizasyon boru hattı projesi eğitim verisi olarak kullanılmış ve 20 adet kanalizasyon boru hattı projesi ise test verisi olarak kullanılmıştır. Analizler "SPSS Statistics 25" yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada belirlenen parametreler temel alınarak RA yapılmış ve kanalizasyon boru hattı maliyetlerini tahmin etmek için formüller geliştirilmiştir. Elde edilen formüller arasında tüm parametrelerin kullanıldığı model, R^2=0,911 katsayısıyla en yüksek ilişki derecesine sahip model olarak belirlenmiştir. Tahmin sonuçlarının gerçek sonuçlarla tutarlılığını kontrol etmek için Durbin-Watson kriteri kullanılmıştır. Aynı parametreler kullanılarak YSA analizleri yapılmış ve bu analizler sonucunda kanalizasyon boru hattı maliyetlerini tahmin etmek için kullanılabilecek formüller geliştirilmiştir. Yapay sinir ağlarının regresyon analizlerine kıyasla en büyük dezavantajı olan bir formül ortaya koyma sorununa yönelik bir yöntem sunulmuştur. Bu bağlamda, YSA analizleriyle elde edilen

ağırlıklar kullanılarak tercih edilen aktivasyon fonksiyonlarına ait formüller geliştirilmiştir. Kurulan YSA modeliyle tahmin edilen kanalizasyon hattı maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasındaki ilişki derecesi R^2=0,943 olarak belirlenmiştir. Analizler sonucunda, YSA ile geliştirilen formüllerle yapılan kanalizasyon boru hattı maliyet tahminleri, RA ile geliştirilen formüllerle yapılan tahminlere kıyasla daha gerçekçi sonuçlar vermiştir.

Wang vd., (2022) çalışmalarında kısıtlı kaynağın bulunduğu yeni projeler için geliştirilmiş bir maliyet tahmin modeli önermiştir. Bu model, RA ve YSA yöntemlerini birleştirerek kullanıp yeni bir hibrit maliyet tahmin modeli olarak ortaya koymuştur. Araştırmacılar ilk olarak, bina projelerinin maliyetini etkileyen ana parametreleri, literatür araştırmasıyla belirlemiş ve ardından temel bileşen analizi (PCA) ile eleme yapmıştır. İkinci olarak, en uygun RA modeli çoklu model karşılaştırmasıyla belirlenmiş ve öncelikli tahminlerde kullanılmıştır. Son olarak, YSA hata düzeltme modeli oluşturmak için uygulanmıştır. Hibrit RA ve YSA modeli, Çin'de tamamlanmış 128 inşaat projesinin maliyet verileriyle eğitilip, test edilmiştir. Sonuçlar, hibrit maliyet tahmin modelinin hem RA hem de YSA'nın avantajlarını taşıdığını ve tahmin doğruluğunun yalnızca toplam kat alanı, yükseklik ve kat sayısı gibi bilgilerle sınırlı olan RA ve YSA'dan daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Ujong vd.,(2022) karmaşık girdi-çıktı ilişkilerini modellemek için YSA kullanarak bina detaylarının inşaat projesi maliyeti ve süresi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmada, faaliyet sayısı, inşaat alanı, temel türü, kat sayısı, müşteri ve yüklenici sınıfı, süre ve maliyet dahil olmak üzere altı girdi faktörü ve iki çıktı parametresinden oluşan bir sistem veri tabanı olarak oluşturulmuştur. Sonuçlar, tek başına faaliyet yürüten yüklenicilere ve alt yüklenicilere verilen projelerin, yetersiz teknik ilerleme ve çekirdek personel kadrosu nedeniyle daha yüksek maliyet ve süre farklılıklarına sahip olduğunu göstermiştir. Yüklenici tipinin seçiminin, ihale maliyeti ve müzakere ücretlerinden etkilendiğini tespit etmişlerdir. Geliştirilen YSA modeli, çoklu doğrusal regresyon yönteminden daha iyi performans göstererek gerçek sonuçlarla iyi bir korelasyon göstermiştir. Modelin performansı, ortalama mutlak hata ve kök ortalama kare hata parametreleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

3. MALİYET TAHMİNİ İÇİN KULLANILAN ANALİZ YÖNTEMLERİ

Maliyet tahmininin amacı, sınırlı kaynakları en etkin şekilde kullanarak, istenilen seviyede hizmet veya ürünün sağlanabilmesine imkan veren maliyetin tanımlanmasıdır. Maliyet tahmini yapmak için birçok yöntem ve analiz mevcuttur. Bu çalışma kapsamında maliyet tahmini için kullanılan RA ve YSA yöntemleri ile ilgili açıklayıcı bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

3.1. Regresyon Analizi (RA)

RA, bir bağımlı değişkenin bir veya daha fazla bağımsız değişkenle ilişkisini inceleyen ve bu ilişkiyi matematiksel bir modelle açıklayan istatistiksel bir yöntemdir (Montgomery, Peck ve Vining, 2012). Bu analiz yöntemi, ekonometri, mühendislik, sosyal bilimler, sağlık bilimleri ve daha pek çok alanda kullanılmaktadır. RA, bağımlı değişkenin değerinin tahmini için veya bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini anlamak için kullanılır (Hair Jr vd., 2019).

En küçük kareler yöntemi, regresyon analizinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, regresyon denklemindeki parametreleri tahmin etmek için gözlemlenen verilerle tahmin edilen değerler arasındaki hataları en aza indirir (Draper ve Smith, 2014). Bu şekilde, en uygun regresyon modeli elde edilir. RA, bağımlı değişkenin tahmin edilmesi için kullanılan regresyon denklemiyle birlikte, parametrelerin anlamlılığını değerlendirmek için istatistiksel testler de içerir (Field, 2013). Bu testler, parametrelerin anlamlı olup olmadığını ve bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişken üzerindeki etkisini belirlemek için kullanılır. RA, aynı zamanda değişkenler arasındaki ilişkinin doğasını anlamak için kullanılan grafiksel yöntemlerle birlikte de kullanılabilir (Kutner vd., 2004).

RA, modelin uyumunu değerlendirmek için istatistiksel ölçütler kullanır. Bunlar arasında R^2, düzeltilmiş R^2, AIC (Akaike Bilgi Kriteri) ve BIC (Bayes Bilgi Kriteri) gibi ölçütler bulunabilir (Montgomery vd., 2012). Bu ölçütler, regresyon modelinin verilere ne kadar iyi uyduğunu değerlendirmek için kullanılır. RA, regresyon katsayıları aracılığıyla değişkenlerin etkisini ölçmek için de kullanılır (Field, 2013). Bu katsayılar, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisini nicel olarak ifade eder.

3.1.1. Basit doğrusal regresyon analizi

Basit doğrusal regresyon analizi, veriler arasındaki ilişkileri anlamada ve tahminlerde bulunmada güçlü bir araçtır. Hem teorik hem de pratik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir istatistiksel yöntemdir (Cohen vd., 2013). Bu yöntem bir bağımlı değişkenin bir bağımsız değişkenle olan ilişkisini modellemek için kullanılan temel bir yöntemdir. Bu analizde, regresyon denklemi Eş. 3.1'deki gibi ifade edilir:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \tag{3.1}$$

Eş. 3.1 basit doğrusal regresyon modeli olarak tanımlanır. Modelde yer alan simgeler matematiksel denklemdeki temel bileşenleri temsil eder ve bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi tanımlar. Bu simgeler aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Y: Bağımlı değişkeni temsil eder. Bu, analizde tahmin veya kestirilen değişkendir. Örneğin, bir ürünün satış miktarı veya bir öğrencinin notu gibi bir değer olabilir.
- β_0: Kesme terimini veya başlangıç değerini temsil eder. Bu, bağımsız değişken (x) değeri sıfır olduğunda bağımlı değişkenin ortalama değerini ifade eder. Yani, doğrusal regresyon çizgisinin Y eksenini kestiği noktadır.
- β_1: Bağımsız değişkenin katsayısını temsil eder. Bu, bağımlı değişkenin x değişkenindeki bir birimlik artışa olan duyarlılığını ifade eder. Yani, x değişkenindeki her bir birimlik artışla bağımlı değişkenin ne kadar artacağını gösterir.
- x: Bağımsız değişkeni temsil eder. Bu, analizde bağımlı değişkeni tahmin etmek veya açıklamak için kullanılan değişkendir. Örneğin, reklam harcamaları veya çalışma saati gibi bir faktör olabilir.
- ε: hata terimini ifade eder. Bu terim, regresyon modelinin tam olarak açıklayamadığı veya öngöremediği faktörleri temsil eder. Gerçek verilerle tahmin edilen değerler arasındaki farkı ifade eder. Hata terimi, modelin kesin tahminler yapamadığı gerçeğini yansıtır.

Regresyon katsayılarının tahmin edilmesi genellikle en küçük kareler yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir. Bu yöntem, gözlenen verilerin gerçekleşme hatalarının karelerinin toplamını minimize ederek regresyon katsayılarını tahmin eder (Gujarati ve Porter, 2009).

Basit doğrusal regresyon analizinde, regresyon katsayıları tahmin edildikten sonra, bağımsız değişkenin belirli bir değeri için bağımlı değişkenin tahmini değeri hesaplanabilir. Bu, analizin pratik uygulamalarında genellikle kullanılan bir yöntemdir (Draper ve Smith, 1981).

Analizin başarısını ölçmek için kullanılan bir ölçüt, determinasyon katsayısıdır (R^2). Bu katsayı, bağımlı değişkendeki değişimin, bağımsız değişkenin değişimle açıklanan yüzdesini ifade eder (Field, 2018).

Basit doğrusal regresyon modelinin varsayımları aşağıdaki gibidir;

a) Bağımsız değişkenler sabit kabul edilir. Bağımlı değişken rastgele değişir.
b) Değişkenler hatasız olarak ölçülmüştür. Ölçüm hataları göz ardı edilir.
c) Her xi değeri için:
   - Y değerleri birbirinden bağımsızdır.
   - Y gözlemleri normal dağılıma sahiptir.
d) Bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki ilişki doğrusaldır. Yani, bağımlı değişkenin değeri, bağımsız değişkenin değerine doğrusal olarak bağlıdır.
e) Gözlem sayısı değişken sayısından çok olmalıdır. Genel olarak, gözlem sayısı, bağımsız değişken sayısından en az 10 kat daha fazla olmalıdır.

Bu varsayımlar, basit doğrusal regresyon modelinin geçerliliğini ve doğruluğunu sağlamak için önemlidir. Bu varsayımların sağlanmadığı durumlarda, regresyon analizi sonuçları yanıltıcı olabilir ve alternatif analiz yöntemleri veya dönüşümler kullanılabilir.

Hata terimi (εi) varsayımları ise şu şekilde açıklanabilir;

a) Hataların beklenen değeri sıfırdır. $E(\varepsilon) = 0$ Yani, hata terimlerinin toplamı 0'a eşittir.
b) Hataların olasılık dağılımının varyansı sabittir. $V(\varepsilon i) = \sigma^2$ Yani, hata terimlerinin varyansı tüm gözlemler için aynıdır.
c) Hata değerleri birbirinden bağımsızdır. Yani, bir gözlemdeki hata terimi diğer gözlemlerdeki hata terimlerinden etkilenmez.
d) Hataların dağılımı normaldir. Hata terimlerinin dağılımı, normal dağılıma uygun olarak şekillenir.

e) Hatalar ile bağımlı değişken arasında ilişki bulunmamaktadır. $Cov(\varepsilon, Yi) = 0$. Yani, hata terimi ve bağımlı değişken arasındaki kovaryans (ilişki) sıfırdır.
f) Hatalar ile bağımsız değişkenler birbirinden bağımsızdır. $Cov(\varepsilon, xi) = 0$. Yani, hata terimi ve bağımsız değişkenler arasındaki kovaryans (ilişki) sıfırdır.

Bu varsayımlar, hata terimlerinin regresyon modelinde uygun şekilde davrandığını ve regresyon analizinin doğruluğunu sağlamak için önemlidir. Varsayımların sağlanmadığı durumlarda, modelin sonuçları yanıltıcı olabilir ve analizin güvenilirliği etkilenebilir.

Regresyon analizinde, bağımsız değişken *X*'in bağımlı değişken *Y*'yi açıklama değerini ölçmek için R^2 (belirtme katsayısı, determinasyon katsayısı) kullanılır. Açıklanabilen değişkenliğin toplam değişkenlik içindeki oranını ifade etmek için R^2 kullanılır. Bu katsayı, regresyon denkleminin başarısını ölçmek için kullanılır ve genellikle regresyon modelinin performansını ifade eder. R^2'ye ait denklem Eş. 3.2'de görülmektedir.

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{RKT}{GKT} \tag{3.2}$$

R^2 değeri, [0,1] arasında bir değer alır. R^2, 1'e yaklaştıkça regresyon daha anlamlı ve belirleyici olur. Bu şekilde, R^2 değeri regresyon analizinde modelin ne kadar iyi uyum sağladığını ve bağımlı değişkenin ne kadarının bağımsız değişken tarafından açıklandığını gösteren bir ölçüt olarak kullanılır.

3.1.2. Çoklu doğrusal regresyon analizi

Çoklu doğrusal regresyon analizi iki ve daha fazla bağımsız değişken ve bir bağımlı değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi inceleyen istatistiksel bir yöntemdir. Bu analiz, bağımlı değişkenin davranışını anlamak, kontrol etmek veya tahmin etmek amacıyla kullanılır. Çoklu doğrusal regresyon analizi, birçok bağımsız değişkenin eş zamanlı olarak etkilerini değerlendirerek daha karmaşık ilişkileri modellemeye imkân tanır.

Çoklu doğrusal regresyon analizinde temel prensipler, regresyon denkleminin oluşturulması ve modelin parametrelerinin tahmin edilmesi üzerine kurulmuştur. Bu denklem, bağımlı

değişkeni bağımsız değişkenlere bağlayan matematiksel ifadedir. Bu matematiksel ifade Eş. 3.3'te verilmiştir (Smith ve Jones, 2015).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_p x_p + \varepsilon \tag{3.3}$$

Denklemde gösterilen simgeler aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Y: Bağımlı değişken,
- $x_1, x_2, \ldots, x_p$: Bağımsız değişkenler,
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_p$: Regresyon katsayıları
- ε ise hata terimini ifade eder.

Çoklu doğrusal regresyon analizinin uygulama alanları oldukça geniştir. Özellikle mühendislik alanında Chen ve Wang (2020), bu yöntemi karmaşık sistemlerin modellenmesi ve performans tahmini için etkili bir araç olarak kullanmıştır.

3.1.3. İnşaat mühendisliğinde regresyon analizinin kullanımı

RA, inşaat mühendisliği alanında sıklıkla kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Genellikle yapıların mukavemet, dayanıklılık, taşıma kapasitesi gibi önemli özelliklerinin tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Özçelik vd., 2015). Yapı malzemelerinin özellikleri ve dayanımıyla ilgili çalışmalarda, RA kullanılarak malzeme özellikleri arasındaki ilişkiler belirlenmekte ve yeni malzemelerin performans tahminleri yapabilmektedir (Dwivedi vd., 2018).

İnşaat projelerinde maliyet tahmini yapılması ve bütçe yönetimi için RA sıklıkla kullanılmaktadır. Bu analizler, geçmiş projelerden elde edilen verileri kullanarak gelecekteki projelerin maliyetini tahmin etmede yardımcı olabilir (Aibinu vd., 2012).

RA, ayrıca yapısal analizlerde de kullanılmaktadır. Yapıların deformasyon, yer değiştirme veya gerilmelerinin tahmin edilmesi için regresyon modelleri oluşturulabilir (Bani ve Hani vd., 2010).

İklim değişikliği etkilerini anlamak ve yapıların dayanıklılığını artırmak için RA kullanılabilir. İklim verileriyle yapı davranışı arasındaki ilişkileri belirlemek, tasarım ve bakım süreçlerinde önemli bir rol oynayabilir (Jain vd., 2013).

RA, inşaat projelerinde risk analizi ve risk tahmini için de kullanılabilir. Örneğin, belirli bir projenin tamamlanma süresinin tahmin edilmesi ve olası gecikmelerin değerlendirilmesi için regresyon modelleri oluşturulabilir (Kartam vd., 2002).

Jeoteknik mühendisliği alanında, RA zemin özellikleriyle ilgili çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır. Zemin mukavemeti, zemin parametreleri ve yapı davranışı arasındaki ilişkileri anlamak için regresyon modelleri geliştirilebilir (Aldama vd., 2009).

Yapısal sağlamlık ve güvenlik değerlendirmelerinde, RA yapıların hasar potansiyelini tahmin etmek için kullanılabilir. Örneğin, yapıların deprem etkilerine karşı dayanıklılığını tahmin etmek amacıyla regresyon modelleri oluşturulabilir (Lee vd., 2006).

3.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA, insan beyninin öğrenme, yeni veriler üretebilme, keşfetme gibi yeteneklerini taklit etmek amacıyla geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu sistemler, herhangi bir dış yardım veya destek olmaksızın otomatik olarak sonuç üretme ve türetme yeteneğine sahiptir. Klasik programlama yöntemleriyle bu tür işlemleri gerçekleştirmek neredeyse imkansızdır. YSA'nın temel amacı, bilgisayar sistemlerini insan beyninin özelliklerine benzer bir şekilde öğrenme yetenekleriyle donatmaktır. Bu sayede, YSA sistemleri ve karmaşık veri setlerini analiz edebilir, desenleri keşfedebilir, yeni verileri tahmin etme gibi görevleri otomatik olarak gerçekleştirebilir. (Öztemel, 2012).

3.2.1. Yapay sinir ağlarının tarihçesi

YSA, insan beyninin çalışma prensiplerinden ilham alınarak geliştirilen bir makine öğrenimi ve yapay zeka yöntemidir. McCulloch ve Pitts (1943), sinir ağlarının matematiksel modellerinin temellerini 1940'larda atmıştır. Rosenblatt (1958)'ın geliştirdiği perceptron modeli, sinir ağlarının gerçek verileri sınıflandırma yeteneğini göstermiştir. 1980'lerde, Hopfield ağı ve geri yayılım algoritması gibi önemli sinir ağı modelleri ve öğrenme

algoritmaları geliştirilmiştir (Hopfield, 1982; Rumelhart vd., 1986). 1990'lar ve 2000'lerde, derin öğrenme alanında yapılan çalışmalar ile sinir ağları daha karmaşık ve çok katmanlı yapılarla genişletilmiştir (Bengio vd., 2007; Hinton ve Salakhutdinov, 2006).

2010'lu yıllarda, derin öğrenme yöntemlerinin popülerliği artmış ve görüntü tanıma, doğal dil işleme ve ses tanıma gibi alanlarda büyük ilerlemeler kaydedilmiştir (LeCun vd., 2015; Goodfellow vd., 2016). YSA'ya odaklanan birçok kitap ve makale yayınlanmıştır. "Deep Learning" (Goodfellow vd., 2016), "Pattern Recognition and Machine Learning" (Bishop, 2006) ve "Neural Networks and Learning Machines" (Haykin, 2009) gibi kaynaklar bunlara örnek olarak verilebilir. YSA konusunda önemli araştırmacılar arasında Geoff Hinton, Yann LeCun, Yoshua Bengio, Andrew Ng gibi isimler de yer almaktadır. Bu araştırmacılar, derin öğrenme ve yapay sinir ağları alanında öncü çalışmalar yapmışlardır (Haykin, 2009).

Bilimsel dergilerde yayınlanan birçok makale YSA alanındaki güncel araştırmaları kapsamaktadır. Örneğin, IEEE Transactions on Neural Networks, Neural Networks, Journal of Machine Learning Research gibi dergilerde yayınlanan makaleler önemli kaynaklar arasında yer almaktadır.

3.2.2. Yapay sinir hücresi ve çalışma prensipleri

Yapay sinir hücreleri, YSA'nın temel yapı taşlarından biridir ve biyolojik sinir ağlarındaki sinir hücrelerine benzer bir şekilde çalışır. Yapay sinir hücreleri, bir veya daha fazla girdi alır ve bu girdiler üzerinde işlemler gerçekleştirerek bir çıktı üretir. Çıktı, ya diğer sinir hücrelerine girdi olarak iletilir ya da doğrudan yapay sinir ağının dışına verilen çıktı olabilir. Yapay sinir hücresinin temel öğeleri, girdiler, ağırlıklar, birleştirme fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktıdır.

3.2.3. Girdiler

Yapay sinir hücresine gelen sinyalleri temsil eder ve bilginin hücreye aktarılmasını sağlar. Bu girdiler, diğer sinir hücrelerinden veya dış kaynaklardan elde edilebilir.

3.2.4. Ağırlıklar

Girdilerin önem derecesini belirlemek için kullanılan değerlerdir. Her girdiye ait bir ağırlık bulunur ve bu ağırlıklar, sinir hücresinin çıktısını etkileyen faktörlerdir. Ağırlıklar, girdilerin katkılarını belirlemek ve bilgiyi işlemek için kullanılır.

3.2.5. Birleştirme (toplama) fonksiyonu

Birleştirme fonksiyonu, bir nörona gelen girdileri birleştirerek net girdiyi hesaplamak için kullanılır. En yaygın olan fonksiyon biçimleri, Çizelge 3.1'de verilmiştir. Bu fonksiyonlardan en çok tercih edileni, girdilerin ve bağlantıların ağırlıklarının çarpımlarının toplanmasıyla net girdiyi elde etmeyi sağlayan toplam fonksiyonudur. Ancak, en uygun birleştirme fonksiyonu genellikle deneme yanılma yoluyla belirlenir (Kasaplı, 2014).

Çizelge 3.1. Birleştirme fonksiyonları

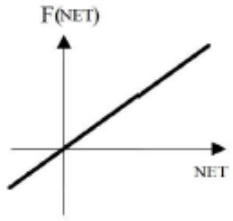
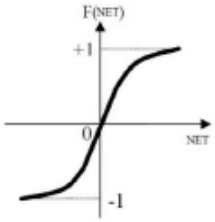
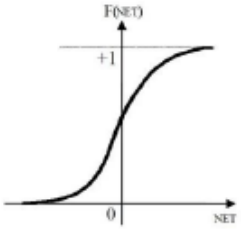
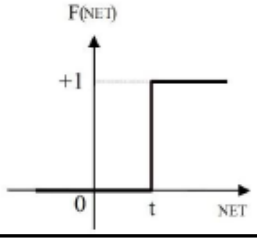
Fonksiyonun Adı	Fonksiyon
Toplam	$Net\ Girdi\ = \sum_i G_i W_i$
Çarpım	$Net\ Girdi\ = \prod_i G_i\, W_i$
Maksimum	$Net\ Girdi = maks(G_i W_i), i = 1 \dots N$
Minimum	$Net\ Girdi = min(G_i W_i), i = 1 \dots N$
Çoğunluk (Signum)	$Net\ Girdi\ = \sum_i sgn(G_i W_i)$
Kümülatif Toplam	$Net\ Girdi\ = Net_{eski}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

3.2.6. Transfer (aktivasyon) fonksiyonu

Transfer fonksiyonu, nöronun net girişini alıp işleyerek çıktıyı belirleyen bir matematiksel işlemdir. Aktivasyon fonksiyonu, toplam fonksiyonunda olduğu gibi çıktıyı hesaplamak için farklı formüller kullanır. Bazı modeller, özellikle çok katmanlı algılayıcılar, aktivasyon fonksiyonunun türevlenebilir olmasını zorunlu kılar. En uygun fonksiyon genellikle deneme yanılma yoluyla belirlenir ve henüz en uygun formül bulunamamıştır.

Kaynaklarda, transfer fonksiyonu, sıkıştırma veya eşik fonksiyonu olarak da adlandırılır. Çünkü çıktı sinyalleri genellikle [0,1] veya [-1,1] aralığında sınırlıdır. Transfer fonksiyonu, incelenen olay ve ağ yapısına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları Çizelge 3.2'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır (Bahadır, 2013).

Çizelge 3.2. Aktivasyon fonksiyonları

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

Aşağıda, Çizelge 3.2'de yer alan transfer fonksiyonuna ilişkin genel özellikler açıklanmıştır:

- Doğrusal aktivasyon fonksiyonunda, gelen girdiler doğrudan hücrenin çıktısı olarak kabul edilir.
- Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu, nöronun çıktısını hesaplamak için net giriş değerini tanjant fonksiyonuyla işleyerek [-1,1] aralığında bir çıktı üretir.

- Sigmoid aktivasyon fonksiyonu, geri yayılım tekniğiyle eğitilen ağlarda etkili sonuçlar verir ve [0,1] aralığında bir çıktı üretir. Bu fonksiyon genellikle derin ağlarda kullanılırken, basamak aktivasyon fonksiyonu daha çok tek katmanlı ağlarda tercih edilir ve [0,1] aralığında bir çıktı sağlar (Bahadır, 2013).

3.2.7. Yapay sinir ağlarının tasarımı

YSA'nın etkili uygulanabilmesi, özellikle doğru yaklaşımların ve deneyimlerin belirlenmesine dayanmaktadır. YSA'nın kullanımında aşağıdaki adımlar önemlidir:

- Ağ yapısının belirlenmesi ve yapısal özelliklerin seçilmesi, (Örneğin katman sayısı, her katmandaki nöron sayısı gibi).
- Nöronlardaki aktivasyon fonksiyonlarının seçilmesi ve bu fonksiyonların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi.
- Öğrenme algoritmasının seçilmesi ve algoritmanın parametrelerinin ayarlanması, (Örneğin öğrenme hızı, momentum katsayısı gibi).
- Eğitim ve test verilerinin oluşturulması, genellikle veri seti örneklerinin bir kısmı eğitim için kullanılırken diğer bir kısmı ise ağın performansını değerlendirmek için test verisi olarak ayrılır.

YSA, uygun parametreler kullanılarak hazırlandığında sürekli ve istikrarlı çıktılar üretebilir. Ayrıca, sistem tepki süresinin kısa olabilmesi için sistem mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Bu şekilde toplam hesaplama ihtiyacına da daha iyi ulaşılabilir (Saraç, 2004).

3.2.8. YSA ağ yapısının seçimi

Yapay sinir ağı tasarım sürecinde, ağ yapısının seçimi uygulanacak problemle bağlantılıdır. Hangi probleme hangi ağ yapısının uygun olduğu bilinmelidir. Ağ çeşitlerinin kullanım hedefleri ve etkili oldukları alanlar, Çizelge 3.3'te gösterilmiştir (Kasaplı, 2014).

Çizelge 3.3. Ağ çeşitleri ve etkili oldukları alanlar

Kullanım Hedefi	Ağ Çeşiti	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	

Uygun bir yapay sinir ağı seçimi, ağda kullanılacak öğrenme algoritmasına bağlıdır. Öğrenme algoritması belirlendiğinde, bu algoritmanın gerektirdiği mimari otomatik olarak seçilir. Örneğin, geri yayılım algoritması ileri beslemeli bir ağ yapısı gerektirir. Yapay sinir ağının karmaşıklığını azaltmak için en başarılı yöntem, ağ yapısını değiştirmektir. Fazla sayıda işlemci elemanına sahip ağ yapılarında, genelleme yeteneği az olabilir (Kasaplı, 2014).

3.2.9. Öğrenme algoritmasının seçimi

YSA'da öğrenme algoritması seçimi, ağın başarısını etkileyen kritik bir faktördür. YSA'da öğrenme algoritmasının seçimi, veri setinin karmaşıklığına, ağın yapısına ve performans hedeflerine bağlı olarak kritik bir karardır (Bengio vd., 2015). Araştırmalar, farklı öğrenme algoritmalarının farklı veri setleri ve problemler için değişken performanslar sergilediğini göstermektedir (LeCun vd., 2015). Bu nedenle, uygun bir öğrenme algoritmasının dikkatli bir şekilde seçilmesi ve deneylerle doğrulanması, YSA'nın başarısını artırmak için önemlidir (Rumelhart vd., 1986).

3.2.10. Ara katman sayısını belirleme

YSA'nın tasarım sürecinde, ağdaki katman sayısını belirleme konusu önemli olup çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Araştırmalar, ağdaki katman sayısının performans üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (He vd., 2016). YSA'da kullanılan derin öğrenme modelleri genellikle daha fazla katman içerir. Ancak, ağdaki katman sayısının artması, aşırı öğrenme (overfitting) riskini ve hesaplama maliyetini artırabilir (Goodfellow

vd., 2016). Katman sayısının belirlenmesi, ağın mimarisinin performansını optimize etmek için dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.

3.2.11. Nöron sayısını belirleme

Katmanlardaki nöron sayıları, ağın yapısal özelliklerinden biridir. Bu sayıların belirlenmesi için deneme-yanılma yöntemi tercih edilir. Bu yöntemde, istenilen performansa ulaşıncaya kadar başlangıçtaki nöron sayısı artırılır veya performansın altına düşmeden azaltılır. Bir katmandaki nöron sayısının az olması daha olumlu sonuçlar ortaya çıkarır. Nöron sayısının az olması, YSA'nın "genelleme" olanağını artırırken, olması gerekenden fazla olması "ezberleme" yeteneğinin ortaya çıkmasına neden olur. Ancak, nöron sayısı gereğinden az olduğunda ağın verilerdeki örüntüleri öğrenme yeteneği sınırlanabilir (Saraç, 2004).

YSA'nın tasarımında önemli bir diğer kararda, nöronlardaki işlevlerin karakteristik özellikleridir. Nöronun aktivasyon fonksiyonu seçimi, YSA'nın verilerine ve ağın neyi öğrenmesi gerektiğine büyük ölçüde bağlıdır. Sıklıkla sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonları kullanılmaktadır. Sigmoid fonksiyonunun çıktı aralığı [0, 1] iken, hiperbolik tanjant fonksiyonunun çıktı aralığı [-1, 1] arasındadır. Sigmoid fonksiyonu ağın, bir modelin ortalama davranışını öğrenme sürecinde tercih edilen bir aktivasyon fonksiyonudur. Öte yandan, hiperbolik tanjant fonksiyonu ise ağın, bir modelin ortalamadan sapmasını öğrenme sürecinde tercih edilen bir aktivasyon fonksiyonudur (Saraç, 2004).

3.2.12. Normalizasyon

Doğrusal olmayı anlamlı hale getiren bir yaklaşım olan YSA'nın belirgin bir özelliği, verilerin normalizasyona tabi tutulmasıdır. Verilerin normalizasyon yöntemi, YSA'nın performansını doğrudan etkilemektedir. Bunun nedeni, normalizasyonun giriş verilerinin aktif bölgesinden transfer edilmesini sağlamasıdır. Veri normalizasyonunun temel amacı, işlemci elemanlarını kümülatif toplamların olumsuz etkilerinden korumaktır. Veri normalizasyonu aynı zamanda aşırı değerlenmiş kümülatif toplamların olumsuz etkilerinden kaçınmak içinde kullanılan bir yöntemdir. Genellikle, verilerin [0,1] veya [-1,1] aralığında ölçeklendirilmesi istenir. Verilerin bu ölçeklendirmesi, veri kalitesi aşırı salınım içeren problemlere ait YSA modellerini olumsuz yönde etkileyebilir. Çünkü ölçekleme, verileri mevcut eksen sisteminde sıkıştırır. Bu olumsuz etki, öğrenme fonksiyonunun başarısızlıkla

sonuçlanmasına yol açabilir. Normalizasyon işlemleri fonksiyonları Çizelge 3.4'te verilmiştir (Kasaplı, 2014).

Çizelgede yer alan terimlerin açıklamaları şu şekildedir: x_i , normalize edilecek hücreyi temsil ederken; $x_i{}'$, x_i hücresinin normalize edilmiş halini temsil etmektedir. $min_{(x_i)}$, normalize edilecek veri kümesindeki minimum değeri temsil ederken, $maks_{(x_i)}$, normalize edilecek veri kümesindeki maksimum değeri göstermektedir.

Çizelge 3.4. Normalizasyon işlemi fonksiyonları

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

3.2.13. Performans fonksiyonunun seçimi

Ağın eğitimini bitirdikten sonra test aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada, öğrenme aşamasında karşılaşılmamış veriler ağa girdi olarak verilir ve ağın çıktılarına dayanarak performansı incelemeye alınır. Ağın performansını değerlendirirken, en iyi sonuçları ortaya koyan YSA mimarisini belirlemek için bazı performans kriterleri kullanılır. Sıkça karşılaşılan performans kriterleri Çizelge 3.5'te listelenmiştir (Bahadır, 2013).

Çizelge 3.5. Performans kriterleri

Performans Kriteri	Denklemi
Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (OMHY)	$\left(\frac{1}{N}\right)\sum_{i=1}^{N}\left\lvert\frac{G_i - T_i}{GT_i}\right\rvert (100)$
Ortalama Mutlak Hata (OMH)	$\sum_{i=1}^{N}\left\lvert\frac{G_i - T_i}{N}\right\rvert$
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)	$\sum_{i=1}^{N}(G_i - T_i)^2$

Çizelgede geçen terimlerin açıklamaları ise şu şekildedir;

G_i: Gerçek maliyet,

T_i: Tahmin edilen maliyeti,

N: Veri kümesinin büyüklüğünü temsil etmektedir.

3.2.14. Yapay sinir ağlarının avantajları

YSA, birçok avantaja sahip olan güçlü bir makine öğrenme yöntemidir. Büyük miktardaki veriden, örüntüleri ve ilişkileri öğrenebilme (Rumelhart, Hinton ve Williams, 1986), hesaplama sürelerini hızlandırabilme (Bishop ,1995), farklı veri türlerini ve problemleri işleyip, adaptasyon yeteneği gösterebilme (LeCun, Bengio, ve Hinton, 2015), hatalı veya eksik verilere tolerans gösterebilme (Bishop, 1995), dağınık bilgi depolama yeteneğine sahip olma (Hinton ve Sejnowski, 1986) ve büyük karmaşık problemleri parçalara ayırabilme yeteneğine sahip olma (Bishop, 1995) YSA'nın en önemli avantajları arasında yer almaktadır.

Öğrenme yeteneği

YSA, verilerden örüntüleri ve ilişkileri otomatik olarak öğrenebilme yeteneğine sahiptir (Rumelhart, Hinton, ve Williams, 1986). Büyük miktardaki veriyi analiz ederek karmaşık problemleri çözebilirler ve genelleme yapabilirler.

Paralel işleme

YSA, paralel işlem yeteneğine sahiptir. Bu, hesaplama sürelerini hızlandırır ve aynı anda birden çok fazla işlemi gerçekleştirebilir (Rumelhart, Hinton, ve Williams, 1986; Bishop, 1995).

Esneklik

YSA, çeşitli veri türlerini ve problemleri işleyebilir. Görüntü tanıma, metin sınıflandırma, ses işleme gibi farklı alanlarda başarılı sonuçlar elde edebilirler (Bishop, 1995; LeCun, Bengio, ve Hinton, 2015).

Hata toleransı

YSA, hatalı veya eksik veri ile işlem yapabilme yeteneğine sahiptir. Eğer bazı verilerde hata veya gürültü varsa, ağ yine de doğru sonuçlar üretebilir (Bishop, 1995).

Adaptasyon yeteneği

YSA, değişen koşullara uyum sağlayabilme yeteneğine sahiptir. Öğrenme süreciyle birlikte ağ, yeni verilere ve durumlara uyum sağlayabilir (Bishop, 1995; LeCun, Bengio, ve Hinton, 2015).

Dağınık bilgi depolama

YSA, bilgiyi ağın ağırlıklarında dağınık olarak depolar. Bu, bellek kapasitesinin verimli bir şekilde kullanılmasına olanak sağlar (Hinton ve Sejnowski, 1986).

Parçacık olarak işleme

YSA, girdi verilerinin parçalarını işleyebilme yeteneğine sahiptir. Bu da ağın büyük ve karmaşık problemleri daha küçük ve daha yönetilebilir parçalara bölebilmesini sağlar (Bishop, 1995).

3.2.15. Yapay sinir ağlarının dezavantajları

YSA, pek çok avantaja sahip olsa da bazı dezavantajları da vardır. Bishop (1995), YSA'nın eğitim sürecinin zaman alıcı ve hesaplama açısından yoğun olduğunu belirtmektedir. Ayrıca, bu ağlar genellikle büyük veri setlerini gerektirir ve eğitim için yeterli miktarda veri olmadığında performansları düşebilir. Bunun yanı sıra, ağın karmaşıklığı arttıkça, aşırı öğrenme (overfitting) probleminin ortaya çıkması da mümkündür (LeCun, Bengio, ve Hinton, 2015).

Diğer bir dezavantajı ise ağın anlaşılabilirlik ve yorumlanabilirlik açısından zorluklar yaşatabilmesidir. Hinton ve Sejnowski (1986), YSA'nın içerisindeki katman ve nöronların karmaşıklığından dolayı, ağın nasıl kararlar verdiğinin açık bir şekilde anlaşılmasının zor

olduğunu belirtmişlerdir. Bu durum, ağın kararları hakkında güvenilir bir açıklama yapmayı zorlaştırabilir. Ayrıca, ağın parametrelerinin ayarlanması ve optimize edilmesi de bir zorluk oluşturabilir (Rumelhart, Hinton, ve Williams, 1986).

Bu bölümde, maliyet tahminlerinde kullanılan analiz yöntemleri olan RA ve YSA hakkında bilgiler sunulmuştur. RA, bir bağımlı değişkenin bir veya daha fazla bağımsız değişkene bağlı olarak tahmin edilmesi amacıyla istatistiksel yöntemlerin kullanıldığı bir analiz tekniğidir. YSA, bilgisayarlar tarafından oluşturulan yapay bir modeldir ve insan beyninin işleyişini taklit etmeyi hedefler. YSA, verileri analiz etmek, desenleri tanımak, sınıflandırma yapmak ve tahminlerde bulunmak için kullanılan güçlü bir yapay zeka yöntemidir.

4. VERİLERİN TOPLANMASI VE ANALİZLERİN YAPILMASI

4.1. Verilerin Toplanması

Bu çalışmada Milli Eğitim Bakanlığı'nın Şanlıurfa ilinde gerçekleştirilen 50 adet eğitim yapısı projelerine ait veriler, modellerin geliştirilmesi için kullanılmıştır. Eğitim yapılarının çizim, metraj, rapor ve keşif verileri temin edilmiştir. Elde edilen projeler üzerinden eğitim yapısı maliyeti çıktı değişkenini etkileyebilecek; yapı yüksekliği (m), derslik sayısı (ad), bodrum kat yüksekliği (m), asansör sayısı (ad), okul iç ana merdiven sayısı (ad), deprem bölgesi, zemin sınıfı, zemin emniyet gerilmesi (kg/cm²), okul oturum alanı (m²), tip kat alanı (m²), laboratuvar ve atölye sayısı (ad), okul toplam inşaat alanı (m²), dış cephe alanı (m²), dış cephe boşluk alanı (m²), bodrum kat sayısı (ad), tip kat sayısı (ad), blok sayısı (ad) ve yangın merdiveni sayısı (ad) değişkeleri belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler ile maliyet arasındaki korelasyon belirlenmiştir (EK-1).

Korelasyon sonucunda ilişki düzeyi yüksek olan yapı yüksekliği (m), derslik sayısı (ad), bodrum kat yüksekliği (m), asansör sayısı (ad) ve okul iç ana merdiven sayısı (ad) parametreleri analizlerde girdi parametresi, gerçek maliyet ise çıktı parametresi olarak kullanılmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Analizlerde kullanılan değişkenler ve değişim aralıkları

Değişken	Parametre	En Yüksek Değer	En Düşük Değer
Gerçek Maliyet ($)	GM	1325470,49	223434,37
Yapı Yüksekliği (m)	H	15,60	3,30
Derslik Sayısı (ad)	DS	40	4
Bodrum Kat Yüksekliği (m)	BKY	4,05	0,00
Asansör Sayısı (ad)	AS	1	0
Okul İç Ana Merdiven Sayısı (ad)	AMS	3	0

4.2. Araştırma Yöntemi

Bu çalışmada, eğitim yapılarının inşaat maliyetlerini belirlemek için gerçek maliyet değerleri ve belirlenen parametrelerden yararlanılarak RA ve YSA yöntemleri ile modeller geliştirilmiş ve tahminler yapılmıştır. Modellerin geliştirilmesinde “SPSS Statistics 24” yazılımı kullanılmıştır. Geliştirilen modellerle yapılan tahmin değerleri ile eğitim yapılarının

gerçek inşaat maliyet değerleri karşılaştırılmış ve etkileşim ilişkileri değerlendirilmiştir. RA ve YSA yöntemleri ile yapılan en iyi tahminler birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

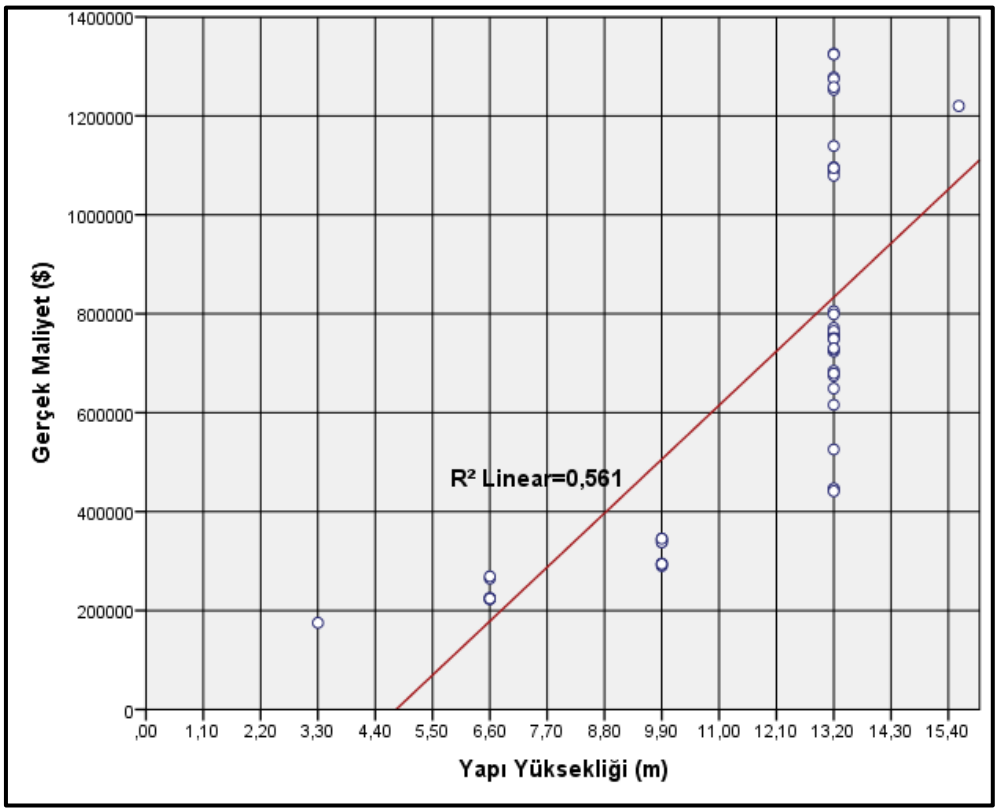
4.3. Regresyon Analizi ile Oluşturulan Tahmin Modelleri

Korelasyon matrisi ile belirlenen yapı yüksekliği (m), derslik sayısı (ad), bodrum kat yüksekliği (m), asansör sayısı (ad) ve okul iç ana merdiven sayısı (ad) değişkenleri kullanılarak eğitim yapısı inşaat maliyeti ön tahmini için tek değişkenli ve çok değişkenli RA yapılarak modeller geliştirilmiştir.

4.3.1. Tek değişkenli doğrusal regresyon analizleri

Yapı yüksekliği ve maliyet ilişkisi

Eğitim yapılarında yapı yüksekliği ve gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü ortaya koymak için RA yapılmış ve elde edilen regresyon grafiği Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

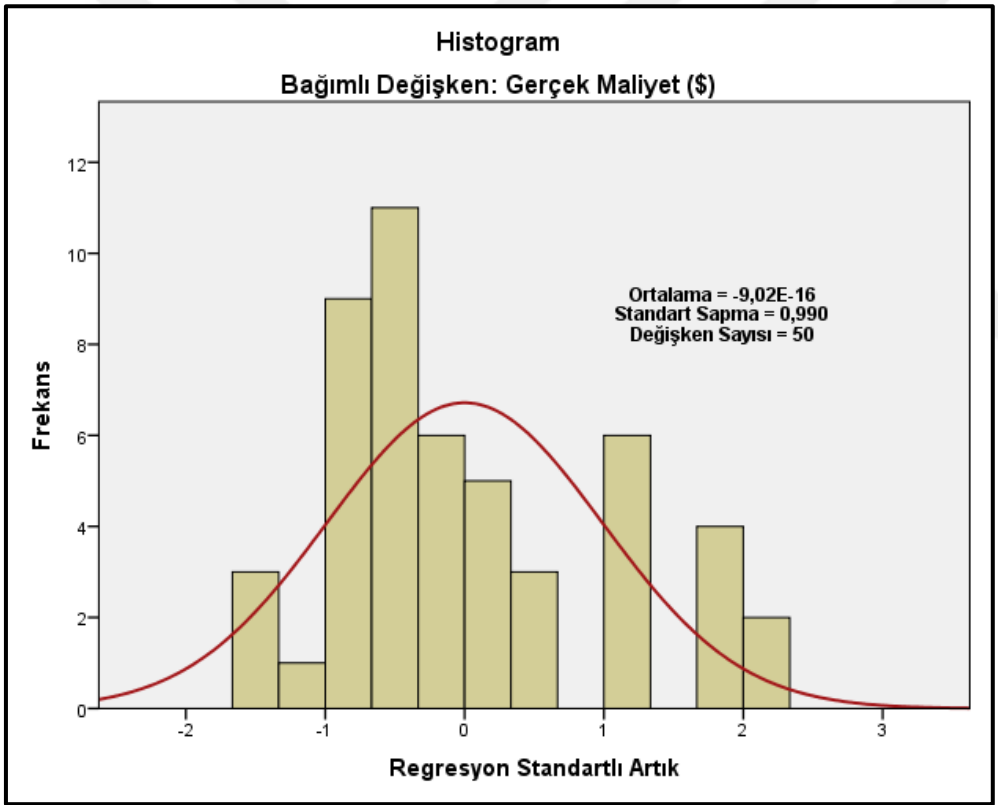


Şekil 4.1. Yapı yüksekliği – gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon analizi sonucunda R^2=0,561 olarak bulunmuş ve oluşturulan regresyon denklemi Eş. 4.1'de verilmiştir. Eş. 4.1'de "H" parametresi yapı yüksekliğini (m) ve "TM" tahmin edilen maliyeti ($) göstermektedir.

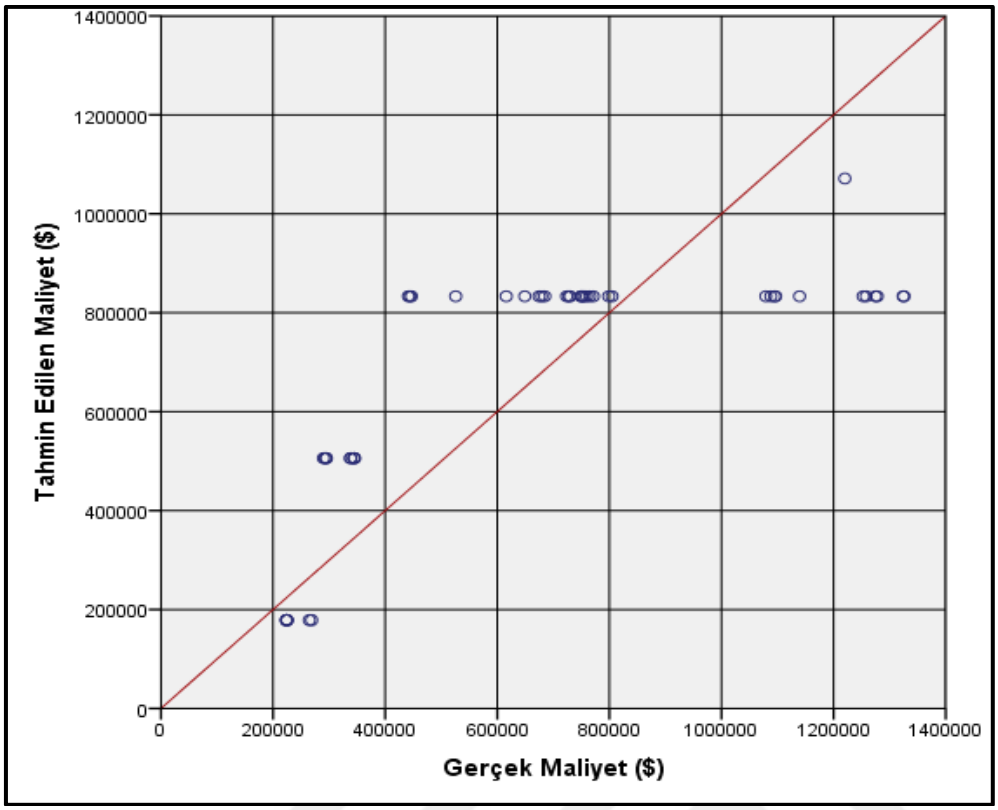
$$TM = -475958.556 + 99182.611 \times H \tag{4.1}$$

Regresyon analizi sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Şekil 4.2'de incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağılmadığı net bir şekilde görülmektedir. Bu durum, yapı yüksekliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünün oldukça zayıf olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.2. Yapı yüksekliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Yapı yüksekliği parametresi kullanarak tahmin edilen maliyetler ile gerçek maliyetler karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.3 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında düzensiz bir şekilde dağıldığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça düşük tahmin ettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği parametresi yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

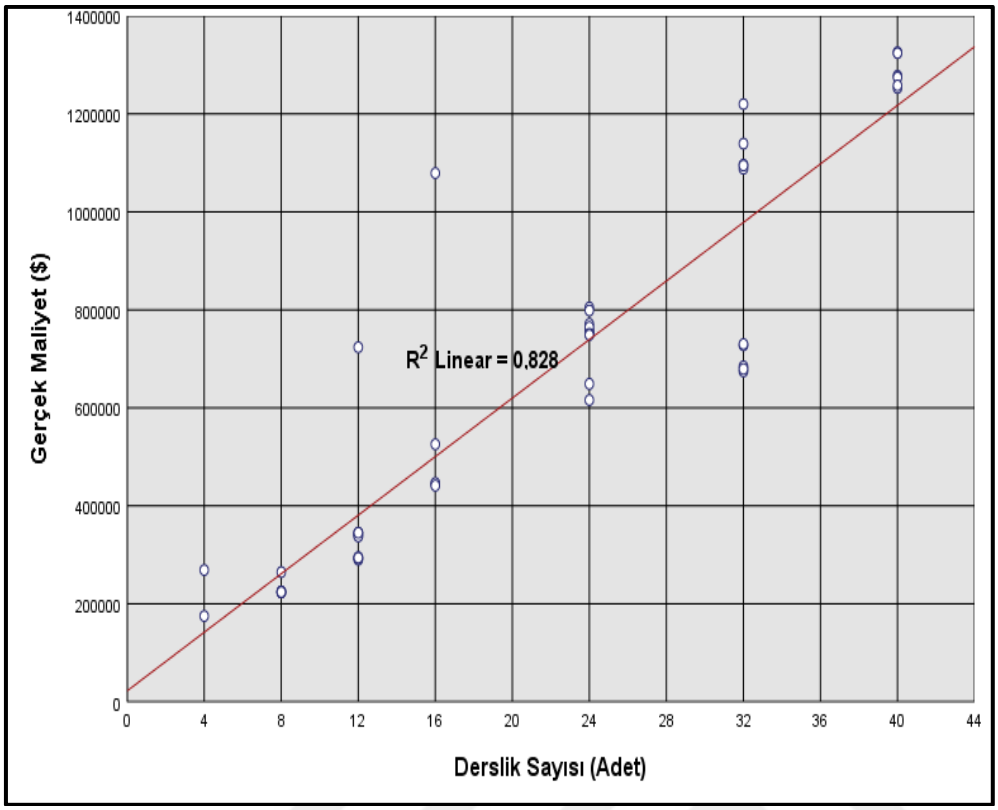
<u>Derslik sayısı ve maliyet ilişkisi</u>

Derslik sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek için RA yapılmış ve regresyon grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir.

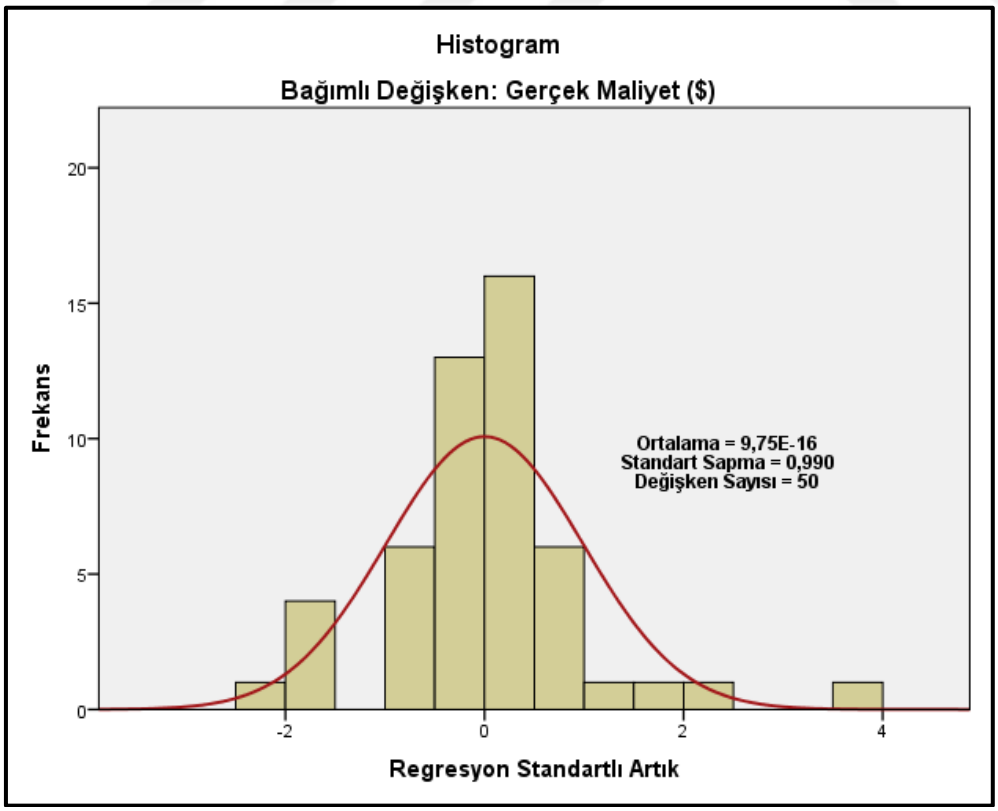
RA analizinden elde edilen regresyon denklemi Eş. 4.2'de sunulmuş ve R^2=0,828 olarak bulunmuştur. Eş. 4.2'de, "DS" parametresi derslik sayısını (ad) temsil ederken, "TM" tahmin edilen maliyeti ($) ifade etmektedir.

$$TM = 22413{,}378 + 29879{,}720 \times DS \tag{4.2}$$

Regresyon analizi sonucunda elde edilen hataların dağılımını görselleştirmek amacıyla Şekil 4.5'te histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi sunulmuştur.



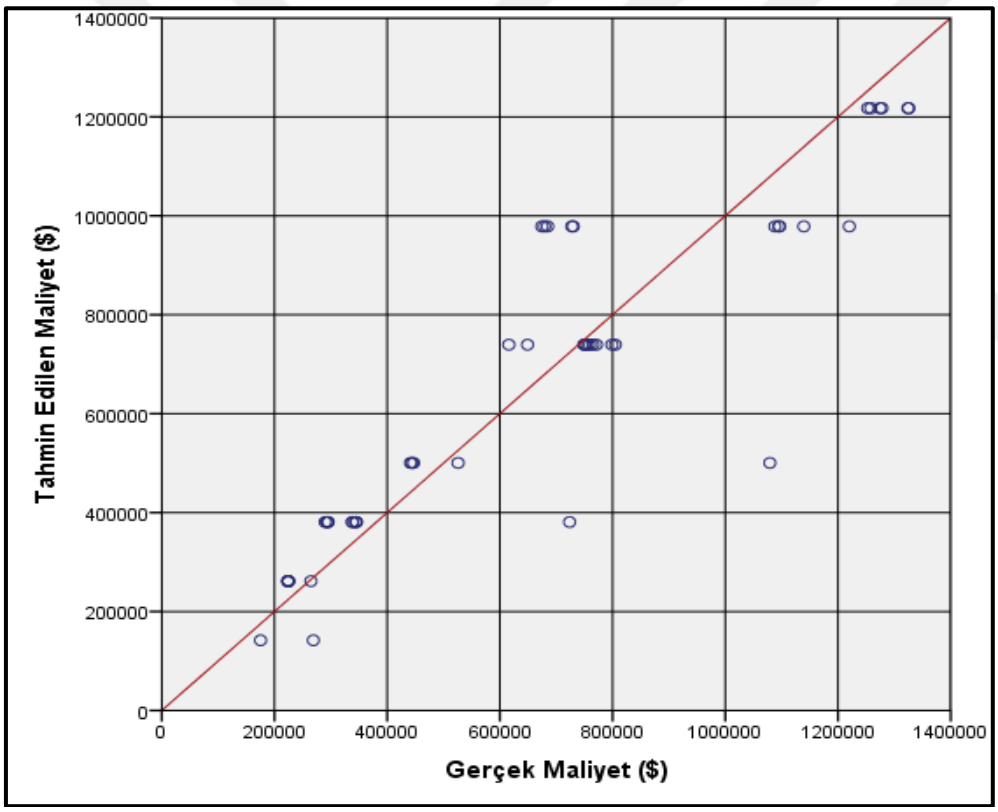
Şekil 4.4. Derslik sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği



Şekil 4.5. Derslik sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.5 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, derslik sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünün tatmin edici bir seviyede olduğunu göstermektedir. Derslik sayısı ile gerçek maliyet arasında yapılan RA ile elde edilen sonuçlar, tek değişkenli doğrusal regresyon analizleri içerisinde en yüksek regresyon katsayısını (R^2=0,828) veren analiz olmuştur.

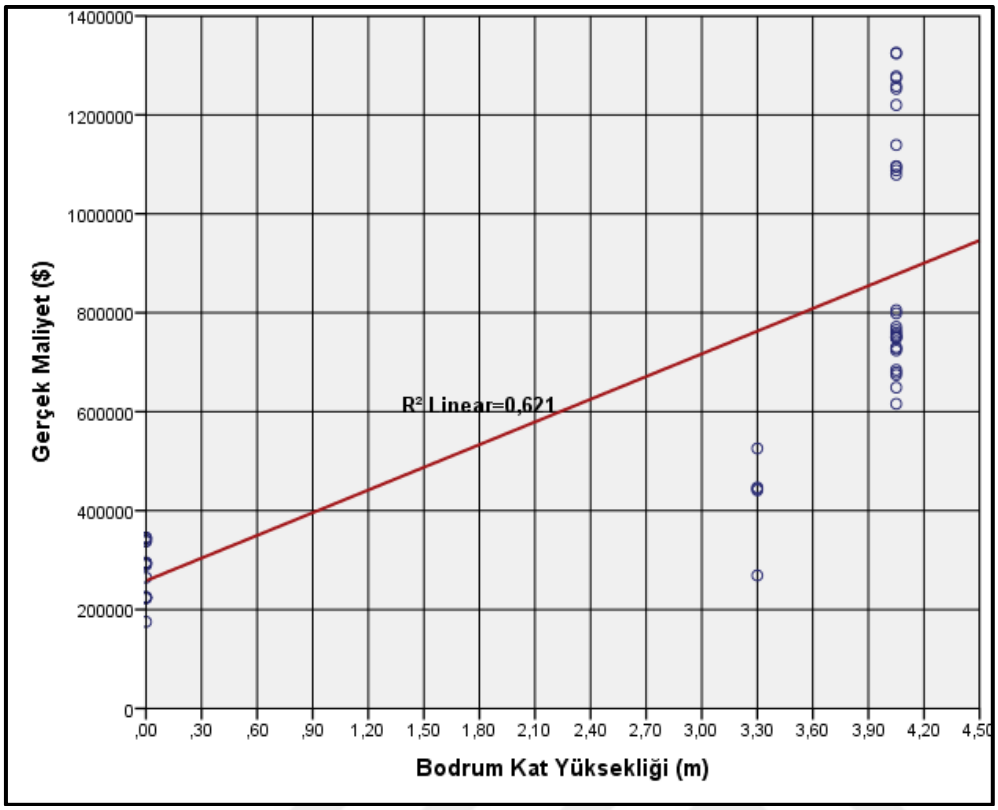
Derslik sayısı parametresi kullanarak tahmin edilen maliyetler ile gerçek maliyetler karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini nispeten doğruya yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir.



Şekil 4.6. Gerçek maliyet ile derslik sayısı parametresi yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

<u>Bodrum kat yüksekliği ve maliyet ilişkisi</u>

Bodrum kat yüksekliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek için RA yapılmış ve regresyon grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Bodrum kat yüksekliği – gerçek maliyet regresyon grafiği

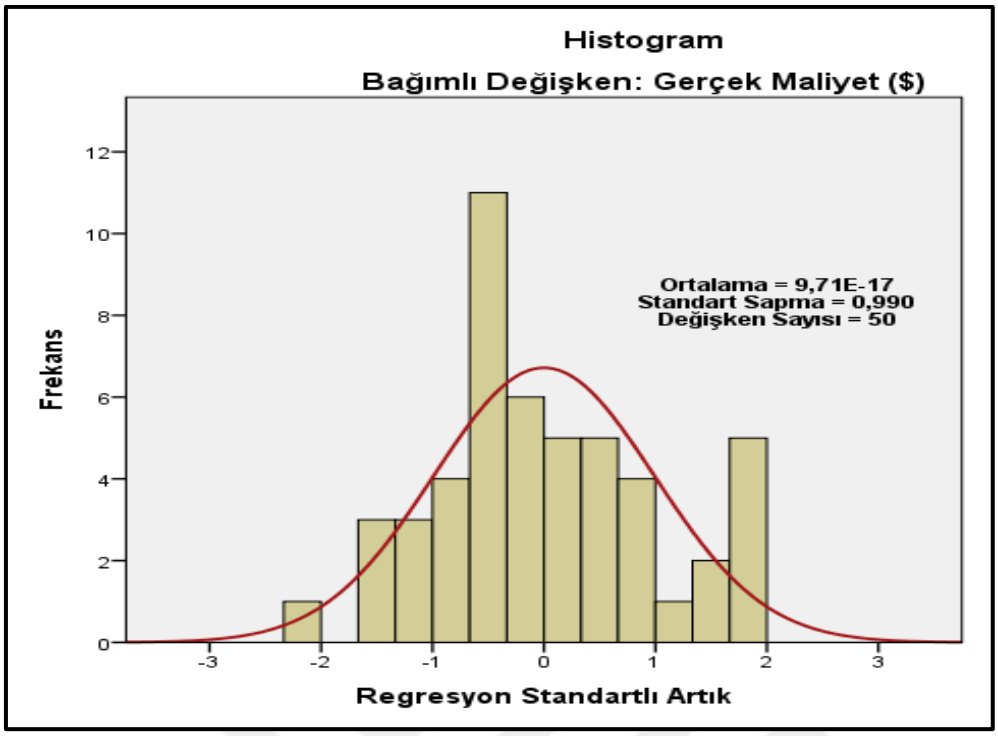
RA analizi sonucunda ortaya çıkan regresyon denklemi Eş. 4.3'te verilmiş ve R^2=0,621 olarak belirlenmiştir. Eş. 4.3'te yer alan "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m) temsil ederken, "TM" tahmin edilen maliyeti ($) ifade etmektedir.

$$TM = 258166{,}889 + 152910{,}948 \times BKY \tag{4.3}$$

Regresyon analizi sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

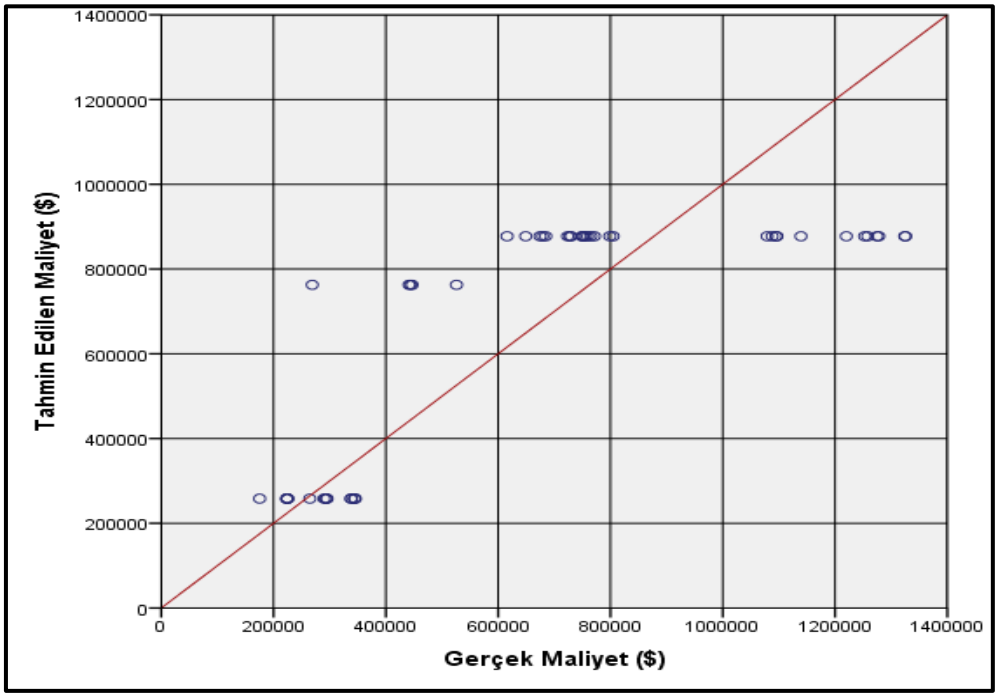
Şekil 4.8 incelendiğinde, hataların normal dağılıma nispeten uygun bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, bodrum kat yüksekliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin orta derecede güçlü olduğunu göstermektedir.

Bodrum kat yüksekliği parametresiyle gerçek maliyet arasında yapılan RA ile elde edilen sonuçlar, tek değişkenli doğrusal regresyon analizleri içerisinde en iyi üçüncü regresyon katsayısını (R^2=0,621) veren parametre olmuştur.



Şekil 4.8. Bodrum kat yüksekliği – gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Bodrum kat yüksekliği parametresi kullanılarak tahmin edilen maliyetler ile gerçek maliyetler karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.9'da verilmiştir.

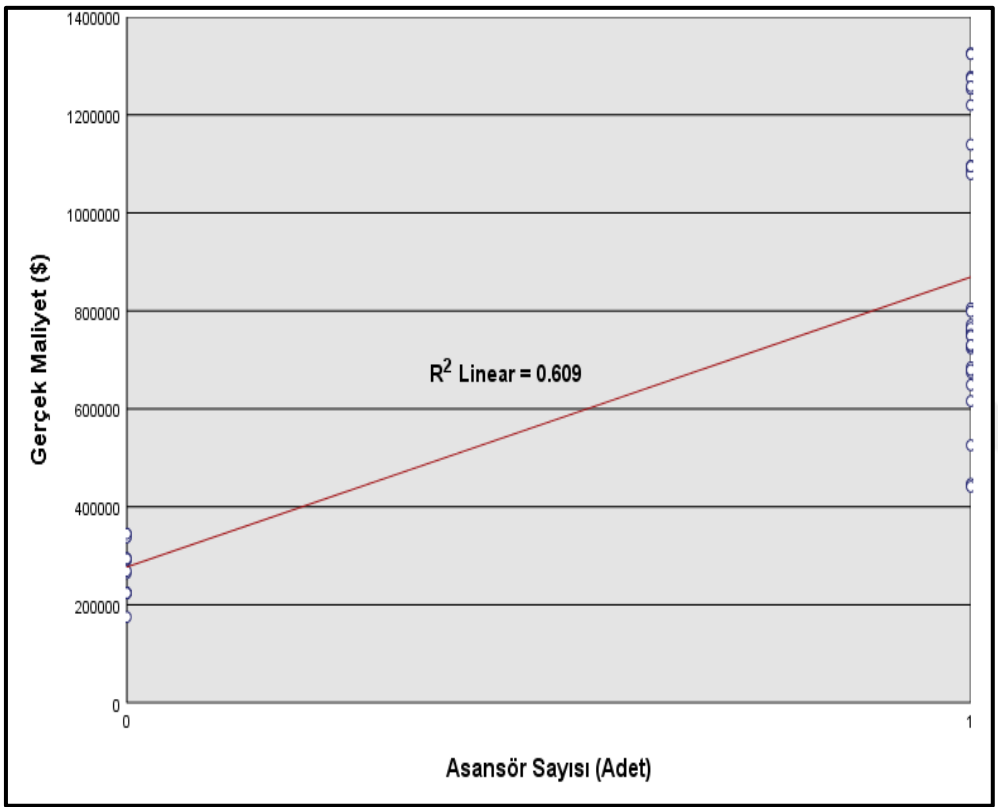


Şekil 4.9. Gerçek maliyet ile bodrum kat yüksekliği parametresi yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.9 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini nispeten doğruya yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir.

Asansör sayısı ve maliyet ilişkisi

Asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek için RA yapılmış ve regresyon grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir.

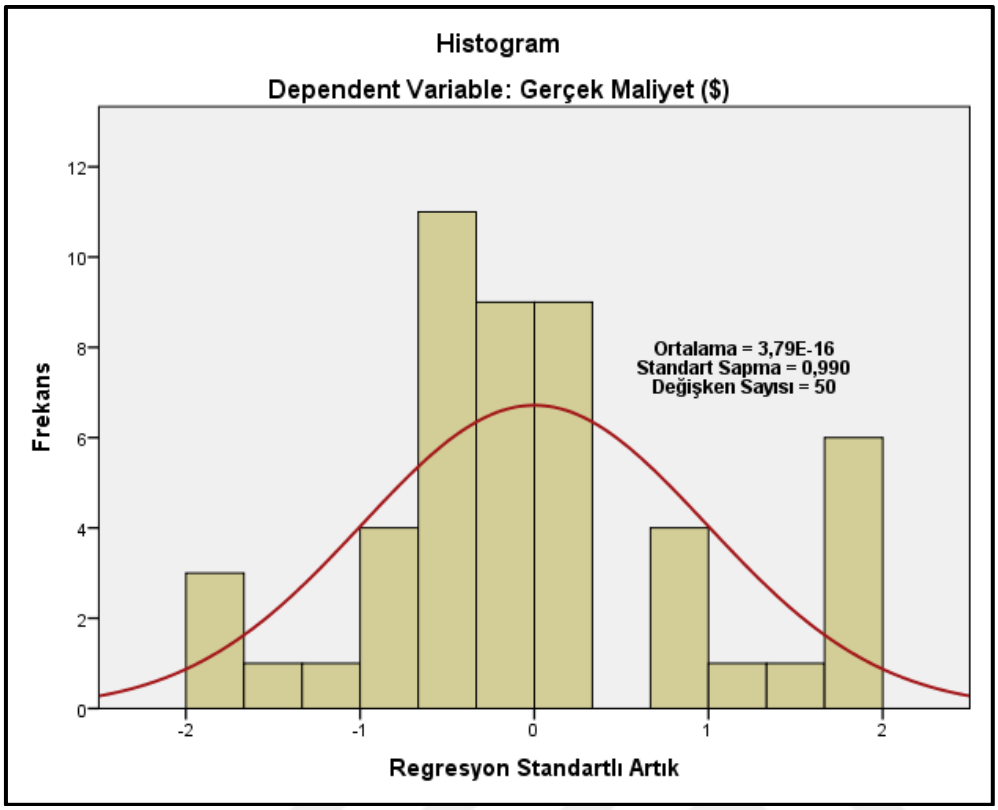


Şekil 4.10. Asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon analizi sonucunda elde edilen denklem, Eş. 4.4'te sunulmuş ve R^2=0,609 olarak belirlenmiştir. Eş. 4.4'teki "AS" parametresi asansör sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) ifade etmektedir.

$$TM = 277180{,}946 + 591870{,}263 \times AS \tag{4.4}$$

Regresyon analizi sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

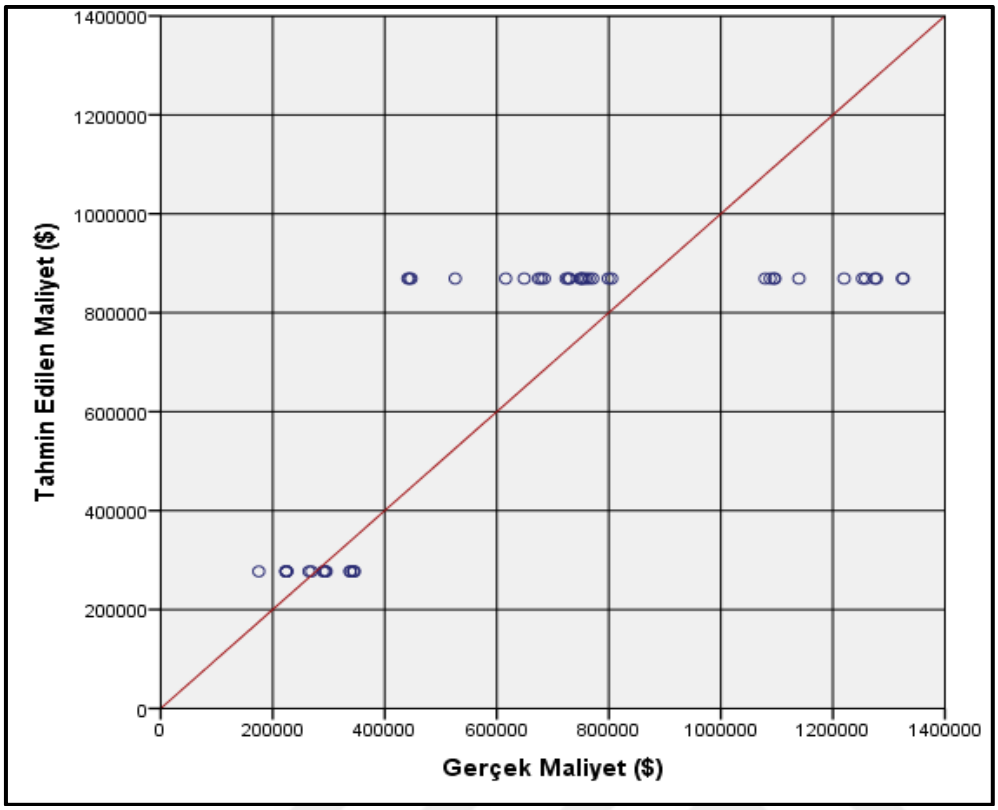


Şekil 4.11. Asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.11 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin nispeten iyi olduğunu göstermektedir.

Asansör sayısı parametresi kullanılarak tahmin edilen maliyetler ile gerçek maliyetler karşılaştırılmış ve ortaya çıkan grafik Şekil 4.12'de verilmiştir.

Şekil 4.12 incelendiğinde, tahmin değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı görülmüş ve tahmin edilen maliyet değerlerinin, gerçek maliyet değerlerini nispeten yakın bir şeklide belirleyebileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 4.12. Gerçek maliyet ile asansör sayısı parametresi yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

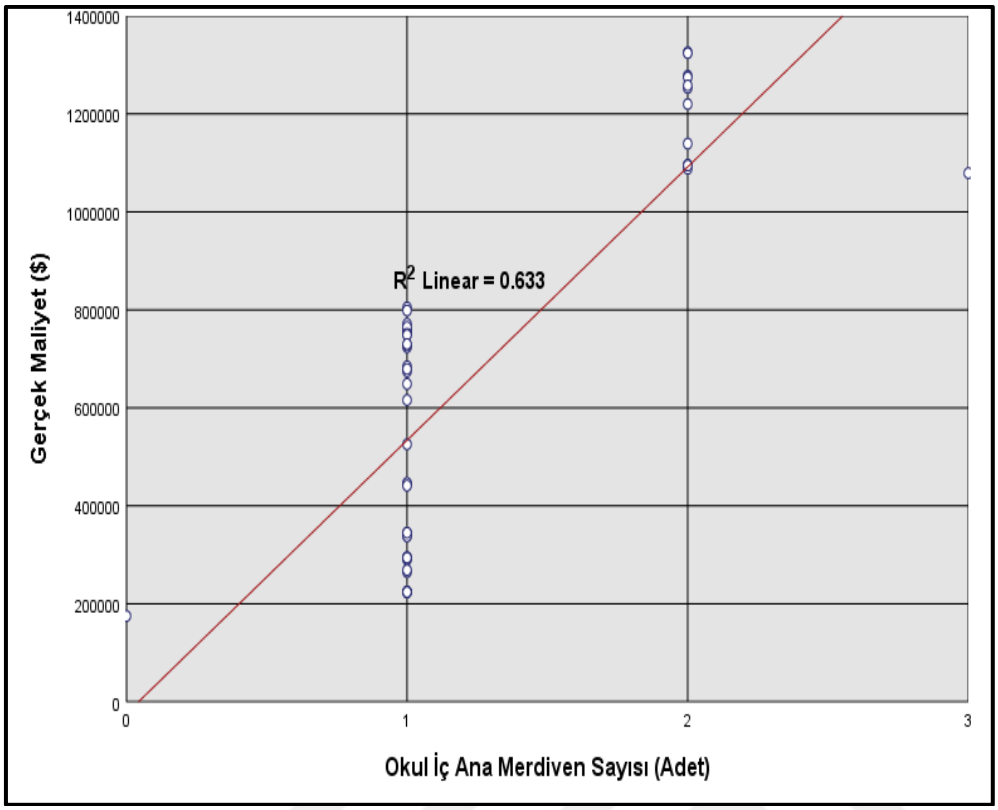
<u>Okul iç ana merdiven sayısı ve maliyet ilişkisi</u>

Eğitim yapılarında okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA gerçekleştirilmiş ve elde edilen regresyon grafiği Şekil 4.13'te verilmiştir.

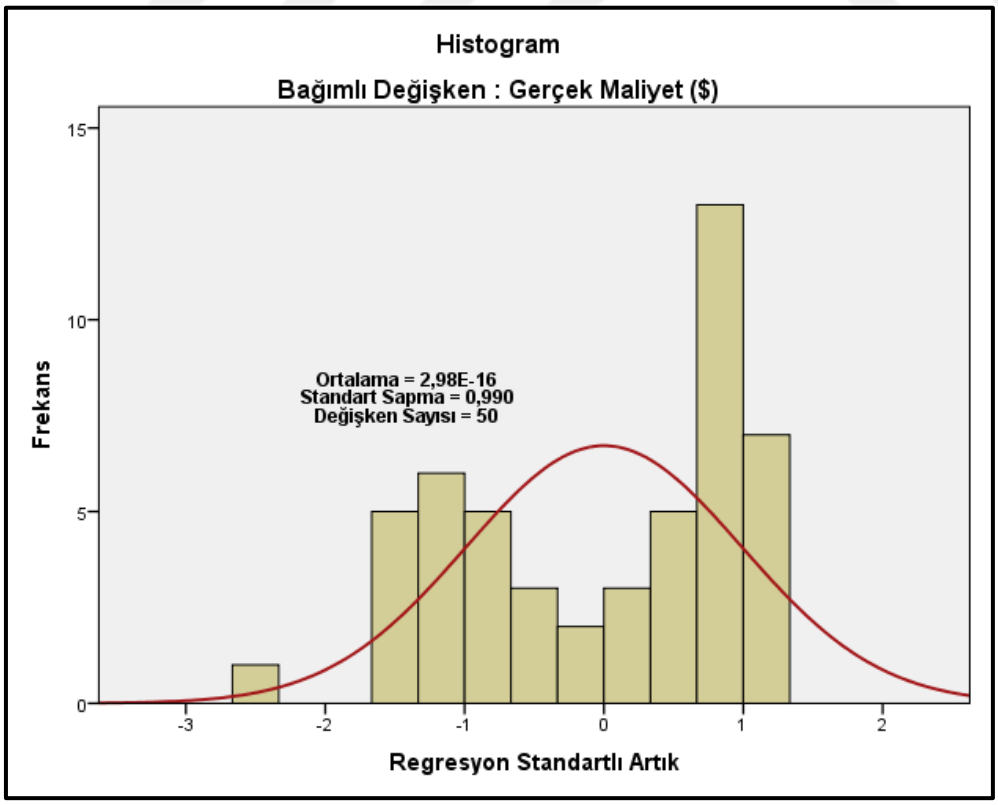
Analiz sonucunda regresyon denklemi Eş. 4.5'te belirtilen şekilde oluşmuş ve R^2=0,633 olarak hesaplanmıştır. Eş. 4.5'te, "AMS" parametresi okul iç ana merdiven sayısını (ad), "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) göstermektedir.

$$TM = -24042{,}616 + 557949{,}948 \times AMS \tag{4.5}$$

Regresyon analizi sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi, Şekil 4.14'te görselleştirilmiştir.



Şekil 4.13. Okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

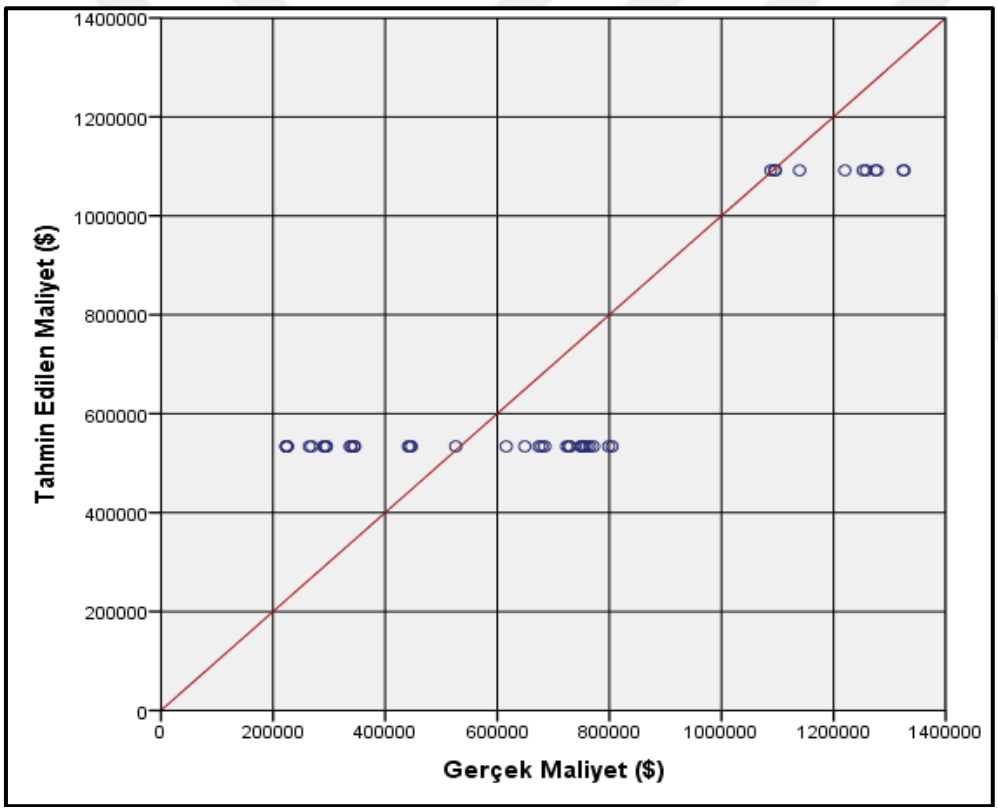


Şekil 4.14. Okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.14 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin nispeten güçlü olduğunu göstermektedir.

Tek değişkenli regresyon analizleri arasında ikinci en yakın sonucu veren analiz, eğitim yapılarının projelerinde bulunan okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur.

Eş. 4.5'te verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



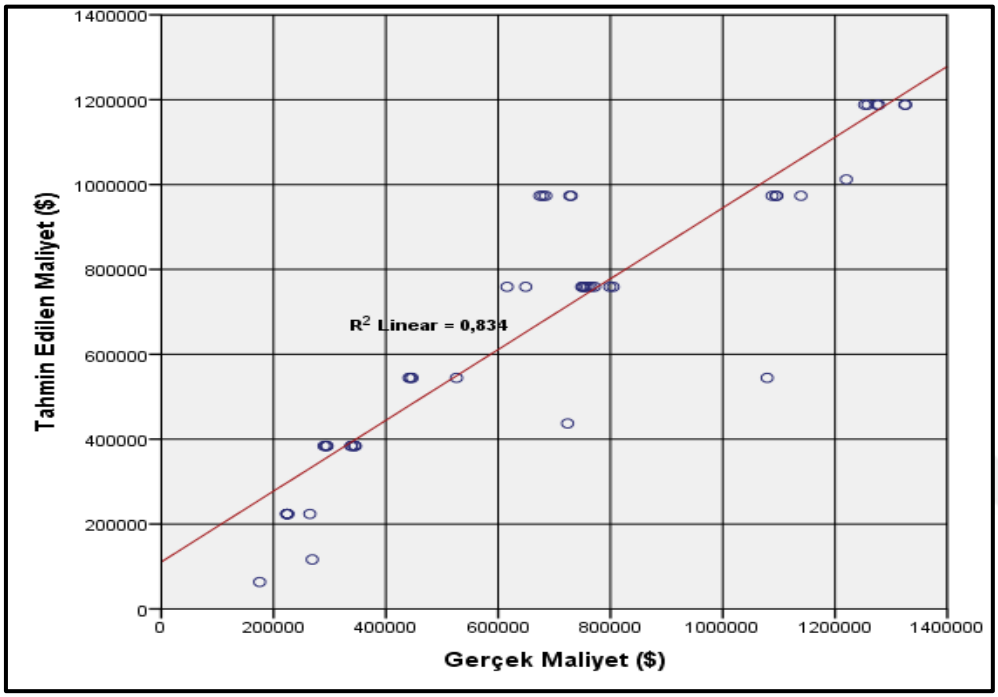
Şekil 4.15. Gerçek maliyet ile okul iç ana merdiven sayısı parametresi yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.15 incelendiğinde, tahmin değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve tahmin edilen maliyet değerlerinin gerçek maliyet değerlerine nispeten yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, regresyon denklemi ile elde edilen tahminlerin gerçek maliyetleri nispeten başarılı bir şekilde tahmin edebileceğini göstermektedir.

4.3.2. İki değişkenli doğrusal regresyon analizleri

Yapı yüksekliği ve derslik sayısı – maliyet ilişkisi

Eğitim yapılarında bölge imar durumuna göre yapı yüksekliği ve ihtiyaç programına bağlı olarak derslik sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü değerlendirmek için RA analizi gerçekleştirilmiş ve regresyon grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir.



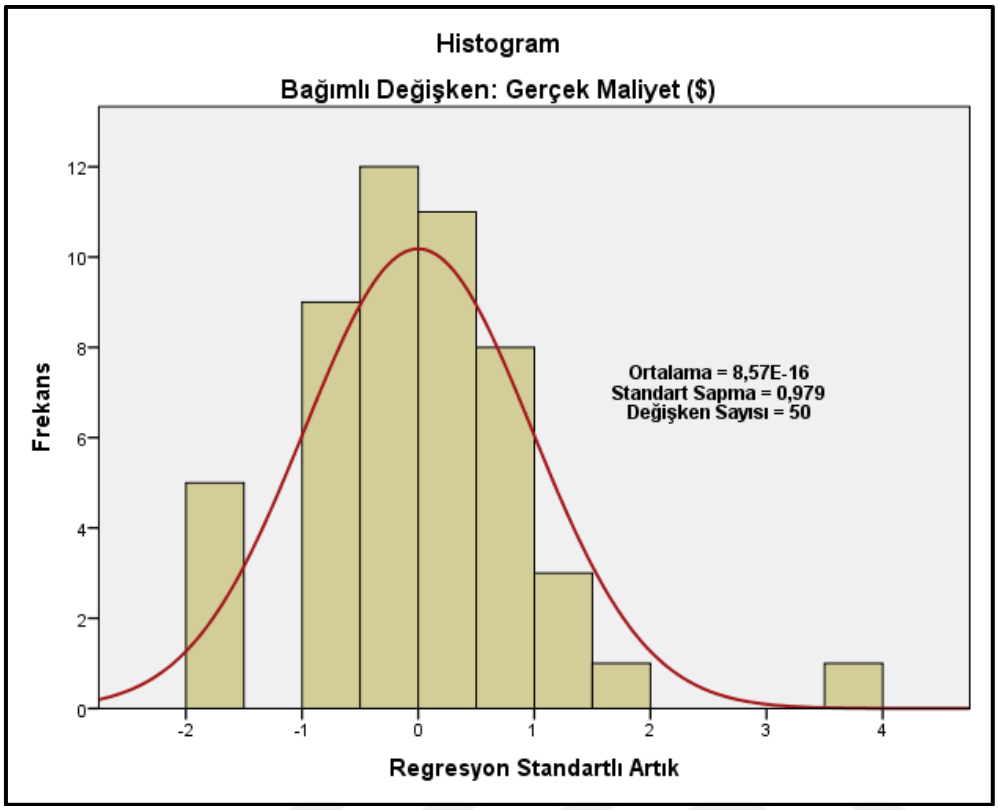
Şekil 4.16. Yapı yüksekliği ve derslik sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

Analiz sonuçlarına göre, regresyon denklemi Eş. 4.6'da belirtildiği şekilde oluşmuş ve R^2=0,834 olarak belirlenmiştir.

$$TM = -96896{,}073 + 16078{,}375 \times H + 26819{,}240 \times DS \quad (4.6)$$

Eş. 4.6'da yer alan "H" parametresi yapı yüksekliğini (m), "DS" parametresi derslik sayısını (ad) ve "TM" ise tahmini maliyeti ($) temsil etmektedir.

Analizler sonucunda ortaya çıkan, hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



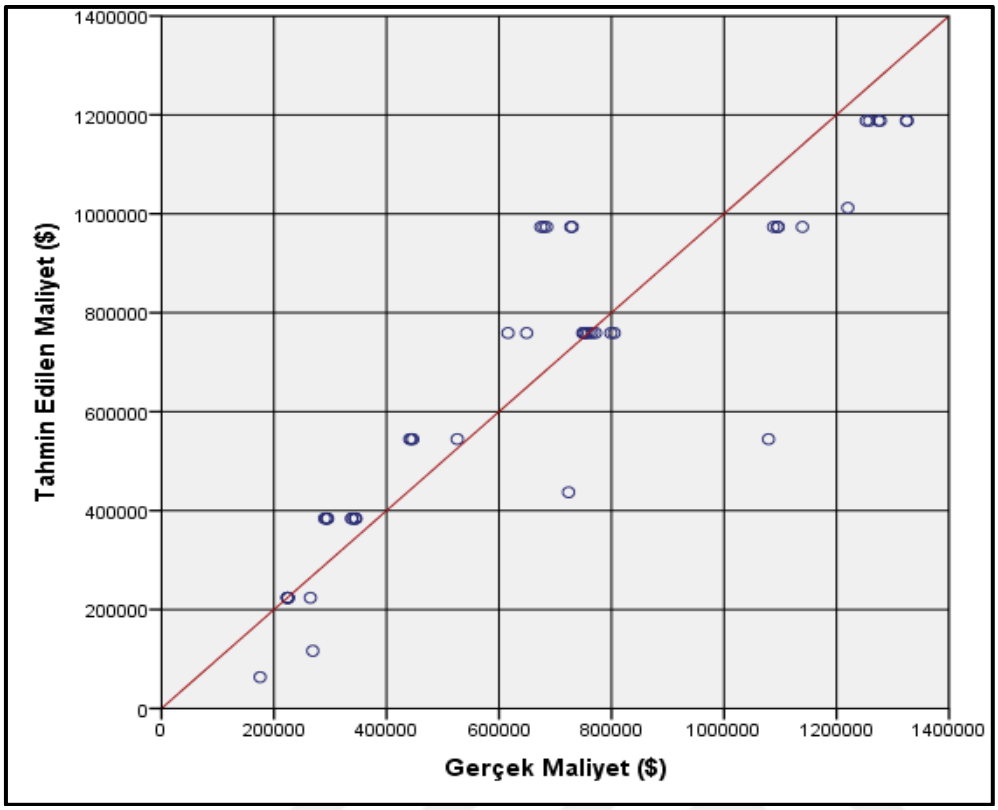
Şekil 4.17. Yapı yüksekliği, derslik sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.17'nin incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, yapı yüksekliği ve derslik sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin oldukça güçlü olduğunu göstermektedir.

Yani, regresyon analizine dayalı olarak yapılan tahminler, gerçek maliyeti doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin etme eğilimindedir. Yapı yüksekliği ve derslik sayısı parametreleri, maliyet tahmini yapılmasında önemli ve etkili faktörler olarak değerlendirilebilir.

Eş. 4.6’da verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 4.18’de gösterilmiştir.

Şekil 4.18 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve nispeten gerçek maliyet değerlerini doğruya yakın bir şekilde tespit edebildiği belirlenmiştir.



Şekil 4.18. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği ve derslik sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

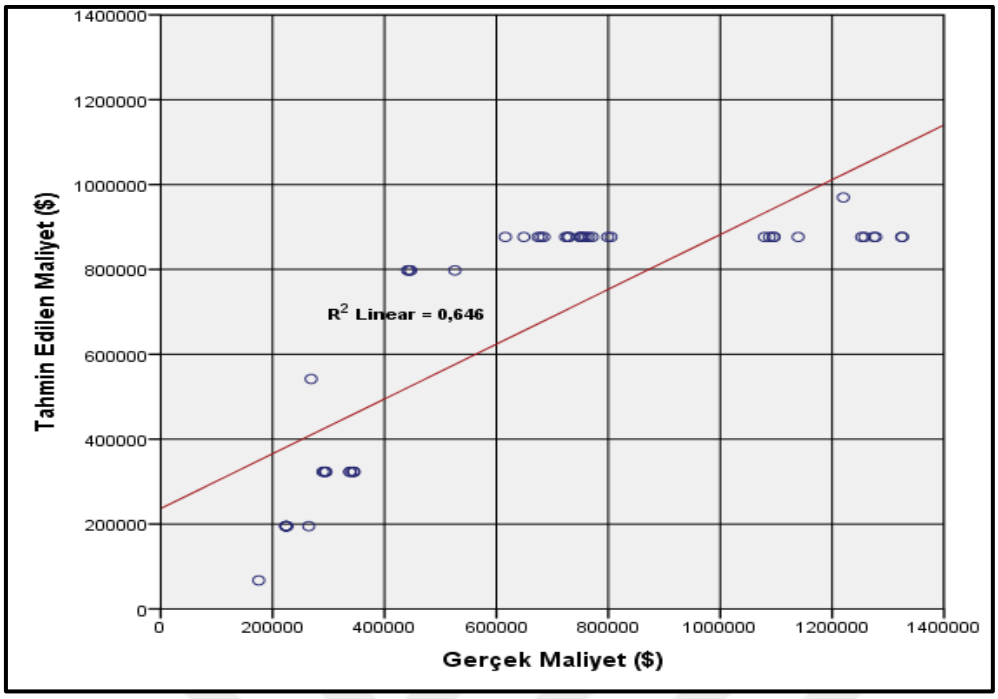
Yapı yüksekliği ve bodrum kat yüksekliği – maliyet ilişkisi

Bölge imar durumuna bağlı olarak yapı yüksekliği ve projede öngörülen bodrum kat yüksekliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve regresyon grafiği Şekil 4.19'da verilmiştir.

RA sonucuna göre, Eş. 4.7'de gösterilen regresyon denklemi elde edilmiş ve bu denklemle ilişkinin gücü R^2=0,646 olarak belirlenmiştir.

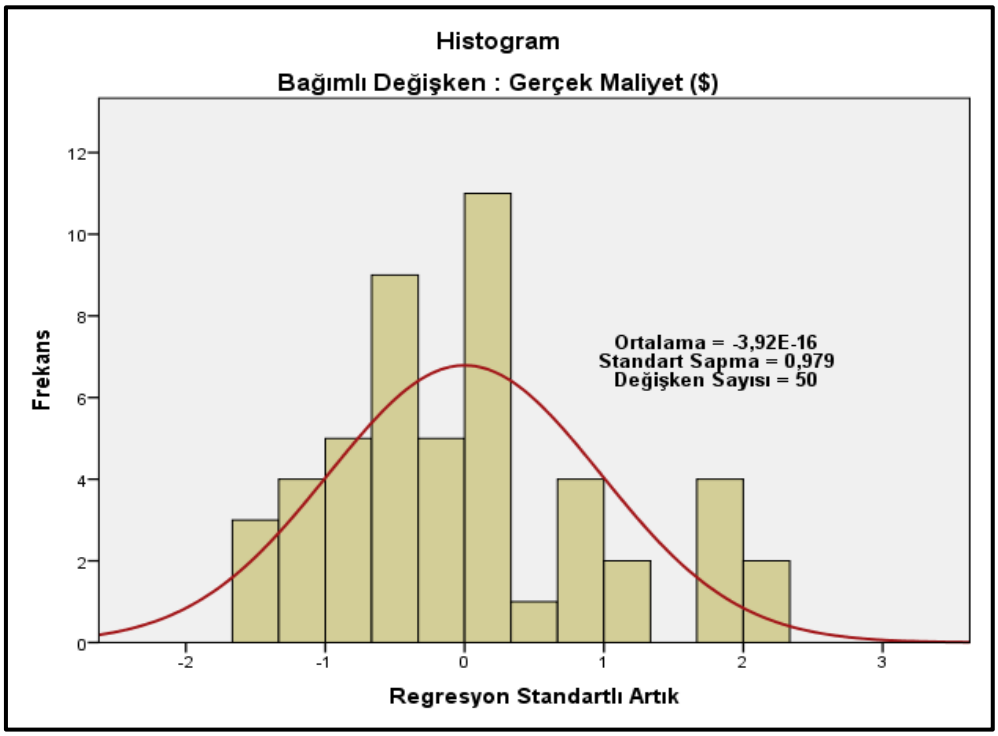
$$TM = -60728{,}339 + 38767{,}744 \times H + 105066{,}830 \times BKY \quad (4.7)$$

Eş. 4.7'de "H" parametresi yapı yüksekliğini (m), "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir. Bu sonuçlara göre, yapı yüksekliği ve bodrum kat yüksekliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin orta derecede güçlü olduğu söylenebilir.



Şekil 4.19. Yapı yüksekliği ve bodrum kat yüksekliği – gerçek maliyet regresyon grafiği

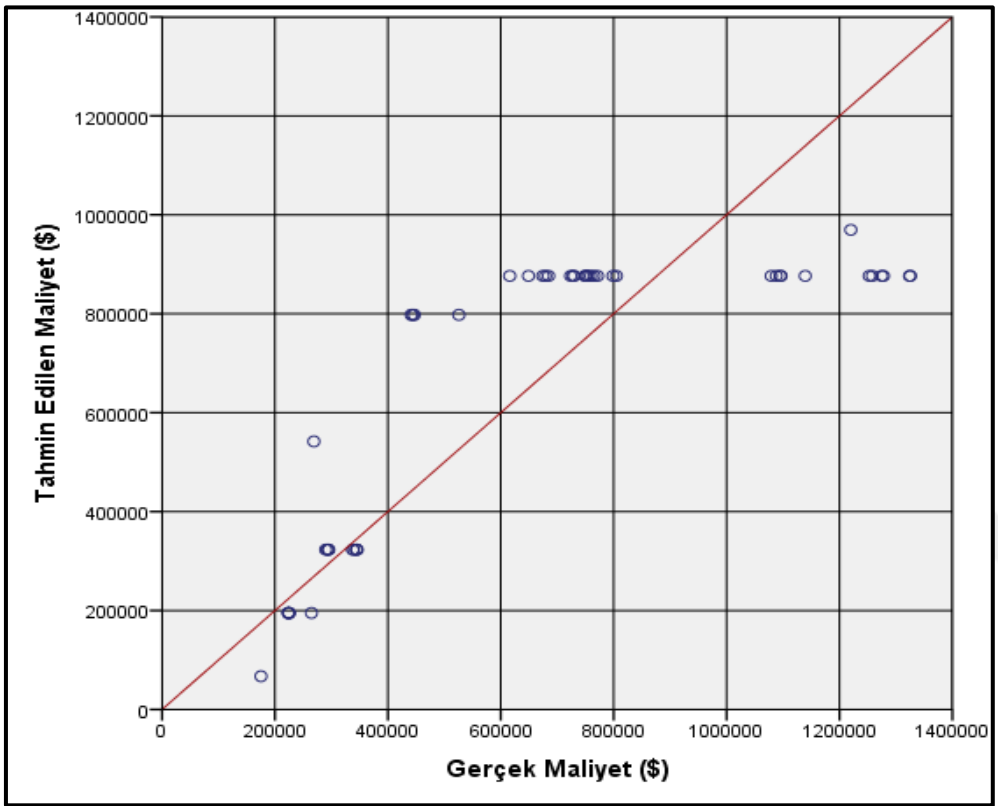
Analizler sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.20'de sunulan grafik incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağılmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum, yapı yüksekliği ve bodrum kat yüksekliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin nispeten zayıf olduğunu göstermektedir.

Eş. 4.7'de verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 4.21'de verilmiştir.

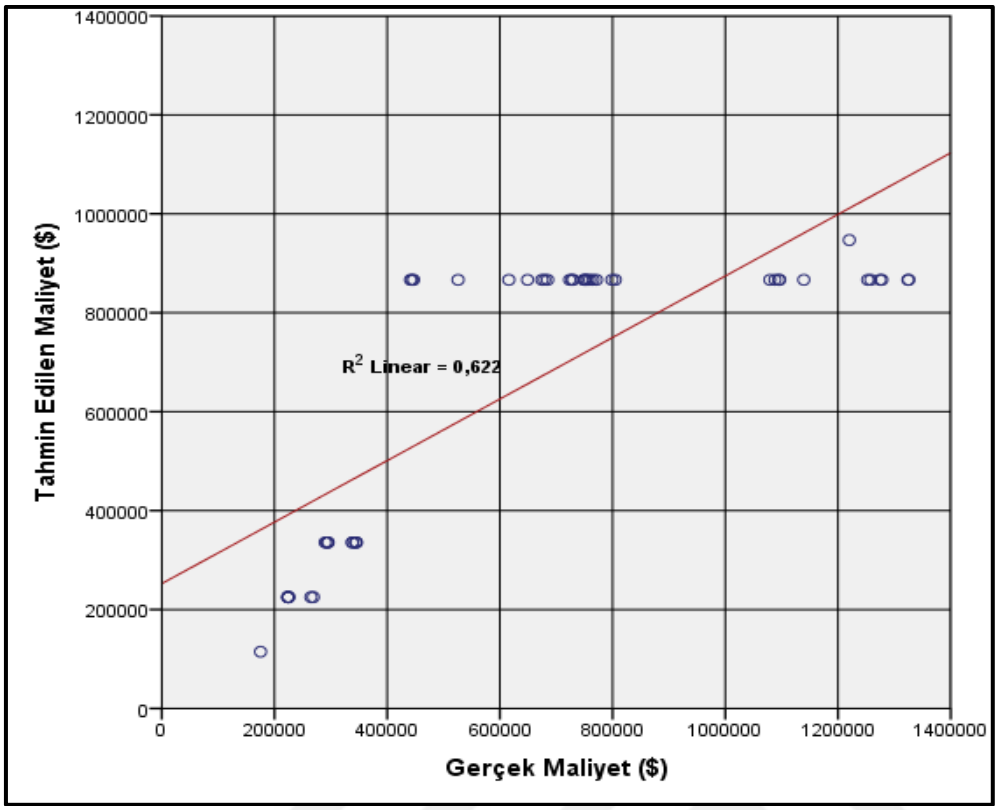


Şekil 4.21. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği ve bodrum kat yüksekliği parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.21 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplanmadığı ve gerçek maliyet değerlerini iyi bir şekilde tespit edemediği saptanmıştır.

<u>Yapı yüksekliği ve asansör sayısı – maliyet ilişkisi</u>

Bölge imar durumuna bağlı olarak yapı yüksekliği ve kullanıcı miktarına göre belirlenen asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve regresyon grafiği Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.22. Yapı yüksekliği ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

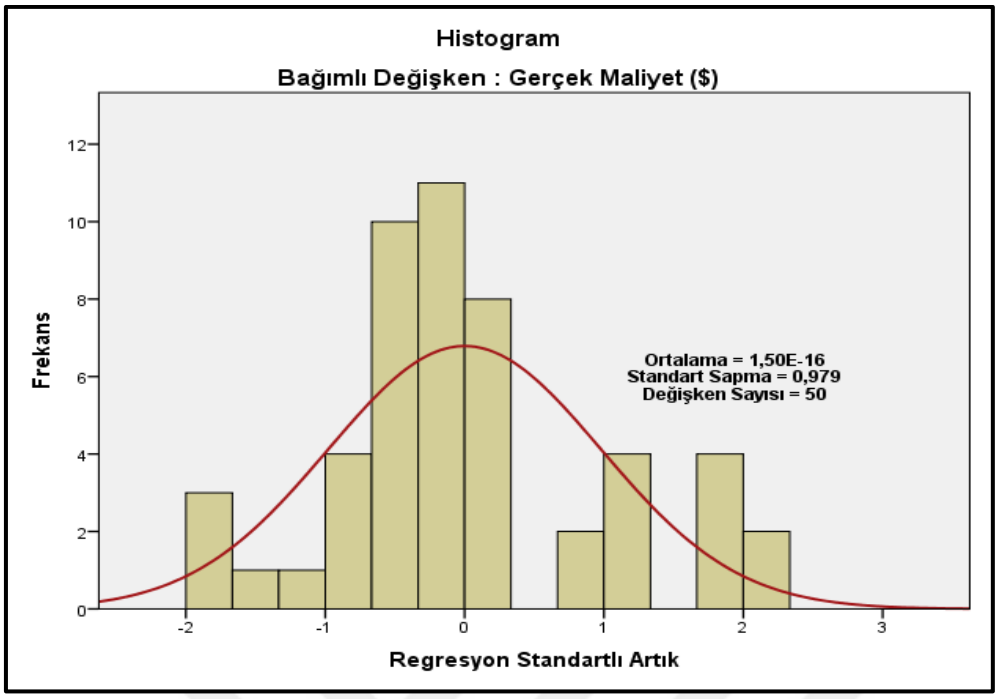
RA sonucuna göre, Eş. 4.8'de gösterilen regresyon denklemi elde edilmiş ve bu denklemle ilişkinin gücü R^2=0,622 olarak belirlenmiştir. Bu denklemde "H" parametresi yapı yüksekliğini (m), "AS" parametresi asansör sayısını (ad) ve "TM" tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.

$$TM = 4370{,}254 + 33461{,}629 \times H + 420553{,}881 \times AS \quad (4.8)$$

Sonuçlara göre, yapı yüksekliği ve kullanıcı miktarına göre belirlenen asansör sayısı ile gerçek maliyet arasında çok güçlü olmayan bir ilişki olduğu söylenebilir.

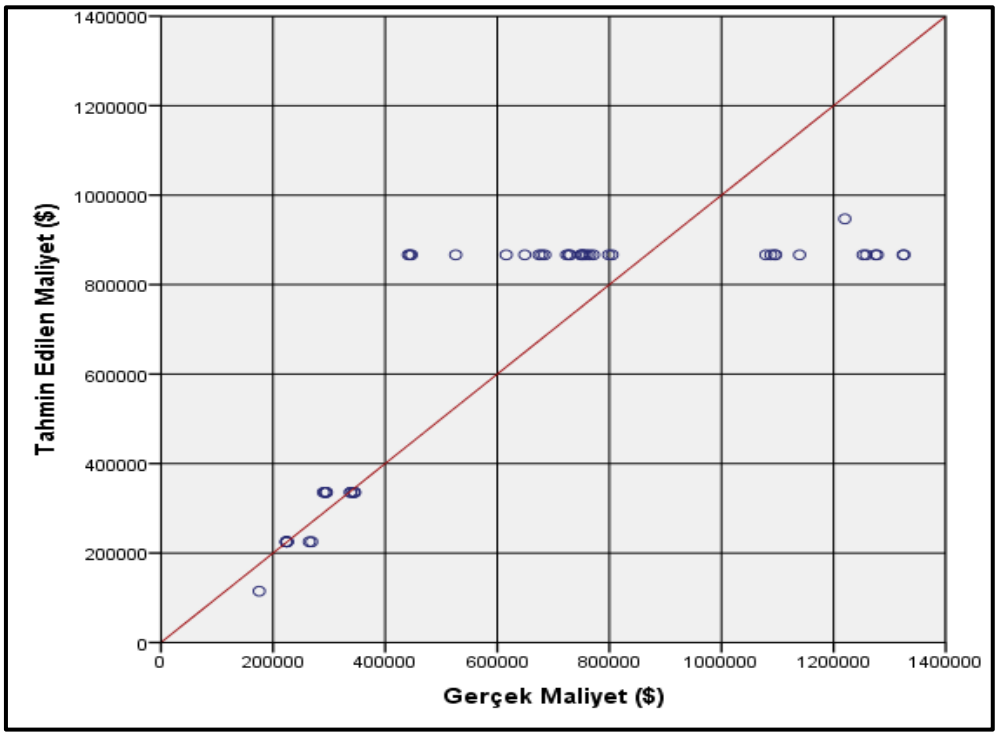
Analizler sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

Şekil 4.23 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağılmadığı açık bir şekilde görülebilmektedir. Bu durum, yapı yüksekliği ve asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin zayıf olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.23. Yapı yüksekliği, asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Eş. 4.8'de verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve grafiği Şekil 4.24'te verilmiştir.

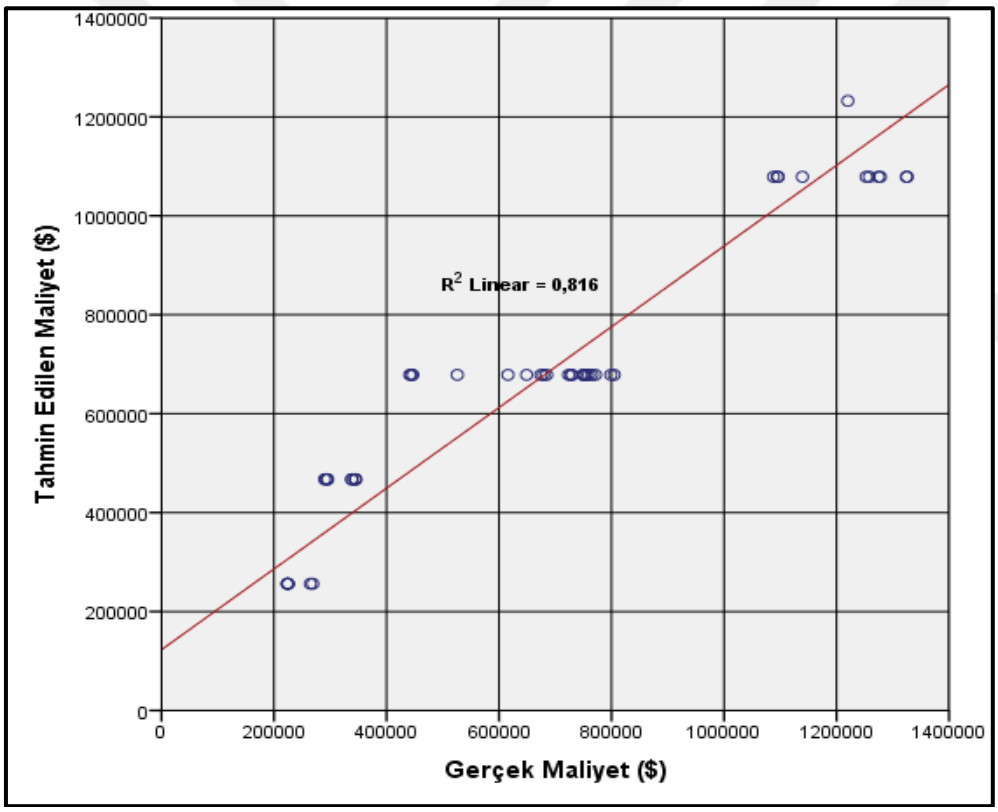


Şekil 4.24. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.24 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında sıkı bir şekilde dağılmadığı ve gerçek maliyet değerlerini iyi bir şekilde tahmin edemediği açık bir şekilde görülebilmektedir.

Yapı yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – maliyet ilişkisi

Bölge imar durumuna bağlı olarak yapı yüksekliği ve yangın güvenliği ile ilgili yönetmeliklere göre tasarlanan okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve regresyon grafiği Şekil 4.25'te verilmiştir.



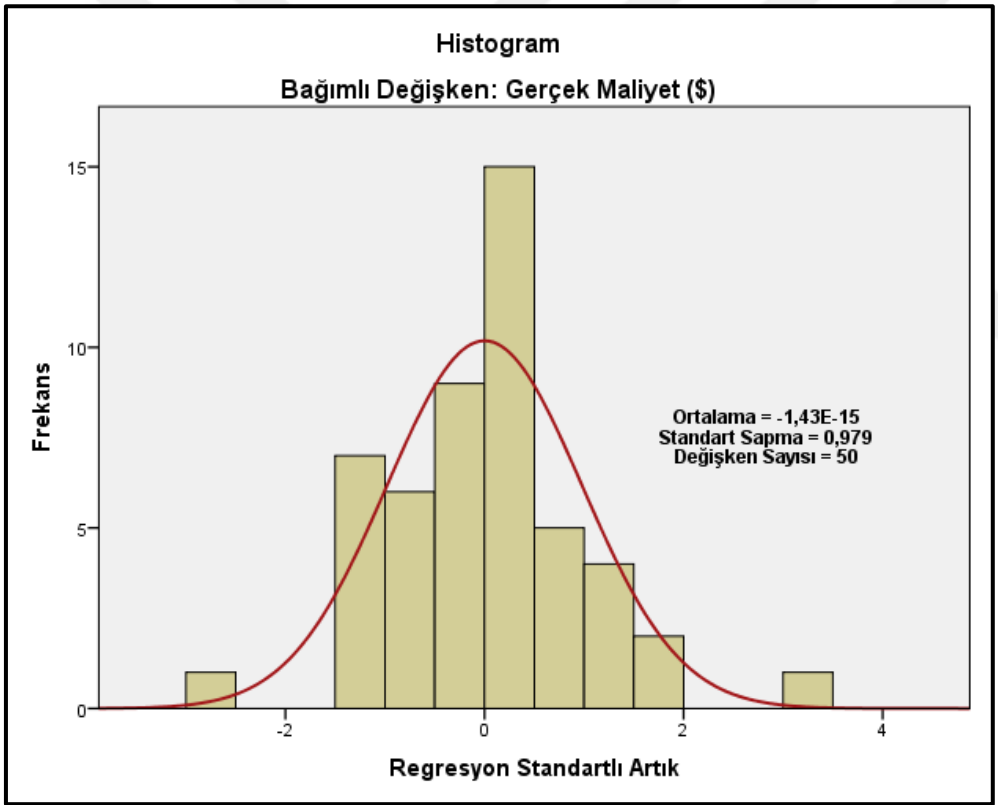
Şekil 4.25. Yapı yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

RA sonucunda, Eş. 4.9'da gösterilen regresyon denklemi elde edilmiş ve bu denklemle ilişkinin gücü R^2=0,816 olarak belirlenmiştir. Eş. 4.9'daki "H" parametresi yapı yüksekliğini (m), "AMS" parametresi okul iç ana merdiven sayısını (ad) ve "TM" tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.

$$TM = -566508{,}898 + 63987{,}104 \times H + 400342{,}687 \times AMS \quad (4.9)$$

Sonuçlara göre, yapı yüksekliği ve yangın güvenliği yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanan okul iç ana merdiven sayısı arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. R^2=0,816 olduğundan, regresyon modeli gerçek maliyetin büyük ölçüde doğru bir şekilde belirleyebilmektedir. Bu durum, yapı yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı kombinasyonunun maliyet üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu göstermektedir. Ancak, diğer etkenlerin de ilişkiyi etkileyebileceği unutulmamalı ve daha fazla analizle bu sonuçlar doğrulanmalıdır.

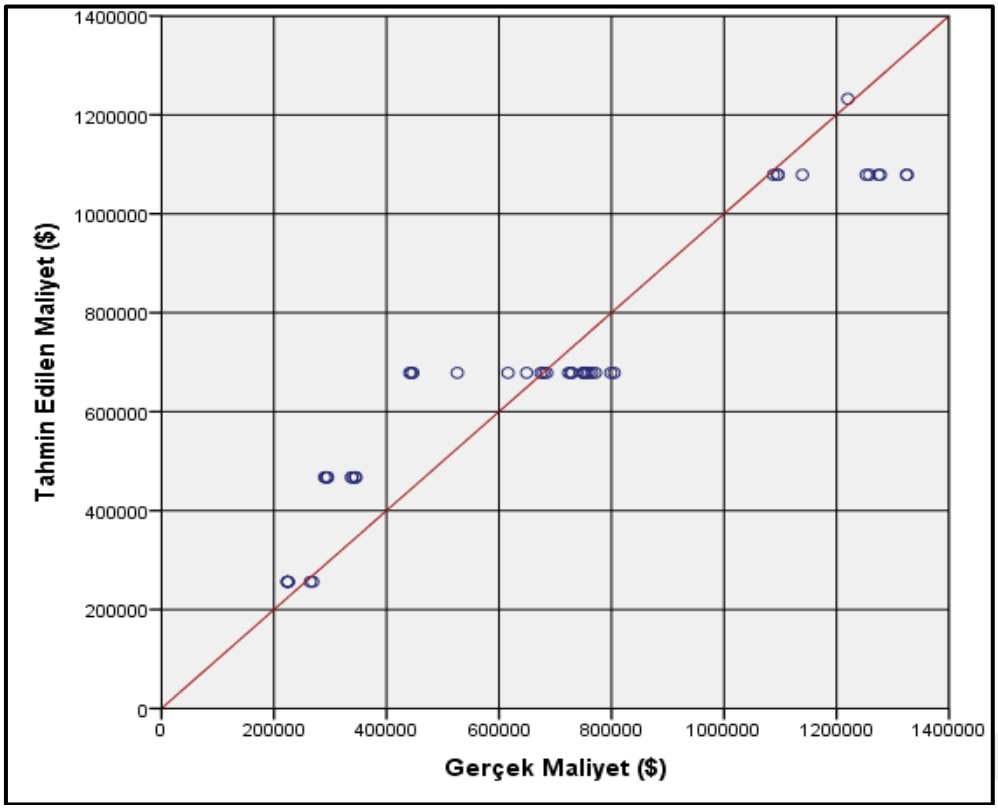
RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi, Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Yapı yüksekliği, okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.26 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, yapı yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin oldukça kuvvetli olduğunu göstermektedir.

Eş. 4.9’da verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.27 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında yoğun bir şekilde toplandığı görülmektedir. Bu durum, tahmin edilen maliyetin gerçek maliyete oldukça yakın sonuç verdiğini yani bu iki parametre ile gerçek maliyet arasında güçlü bir ilişkinin olduğunu göstermiştir.

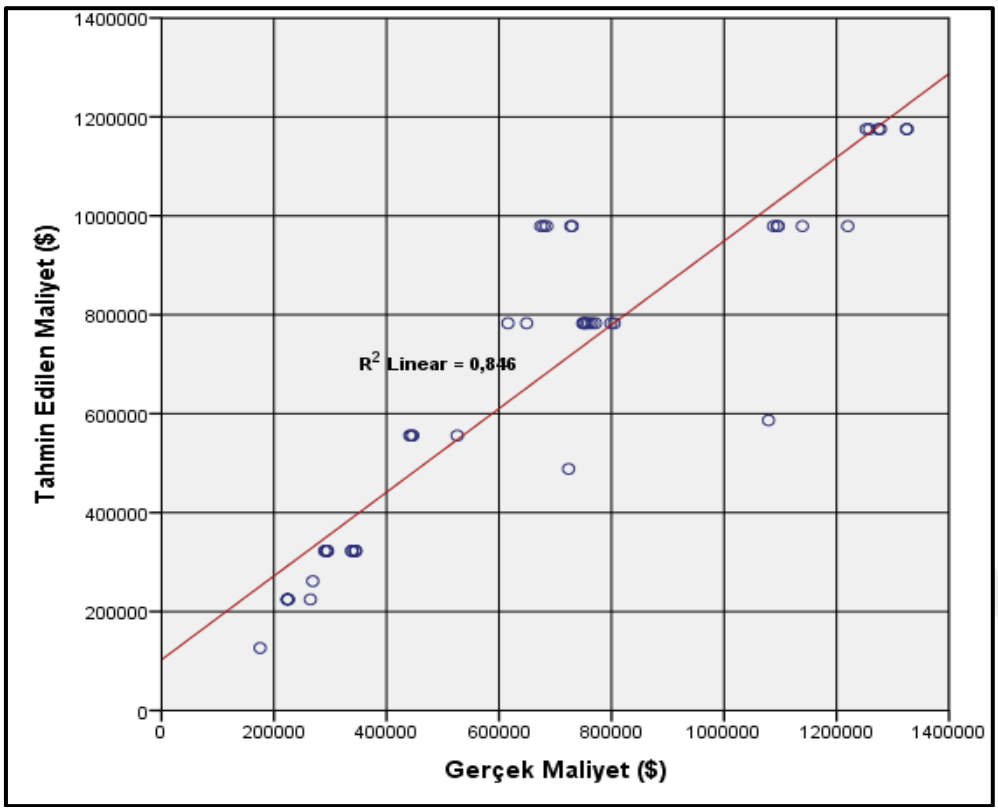
Derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği – maliyet ilişkisi

Eğitim yapılarında, derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği parametrelerinin gerçek maliyet ile olan ilişkisini belirlemek amacıyla RA gerçekleştirilmiş ve oluşan regresyon grafiği Şekil 4.28’de verilmiştir.

RA sonuçlarına göre ortaya çıkan regresyon denklemi Eş. 4.10'da sunulmuş ve R^2=0,846 olarak belirlenmiştir. Eş. 4.10'da "DS" parametresi derslik sayısını (ad), "BKY" parametresi

bodrum kat yüksekliğini (m) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir. Bu sonuçlar, derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu göstermektedir.

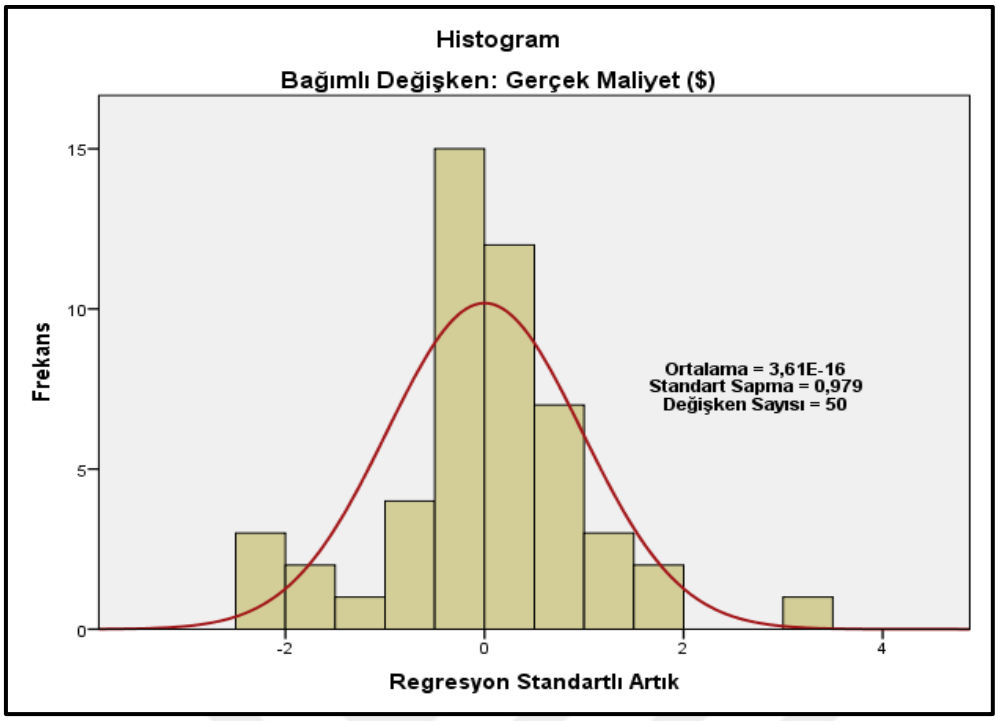
$$TM = 28252{,}965 + 24529{,}338 \times DS + 40958{,}812 \times BKY \quad (4.10)$$



Şekil 4.28. Derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği – gerçek maliyet regresyon grafiği

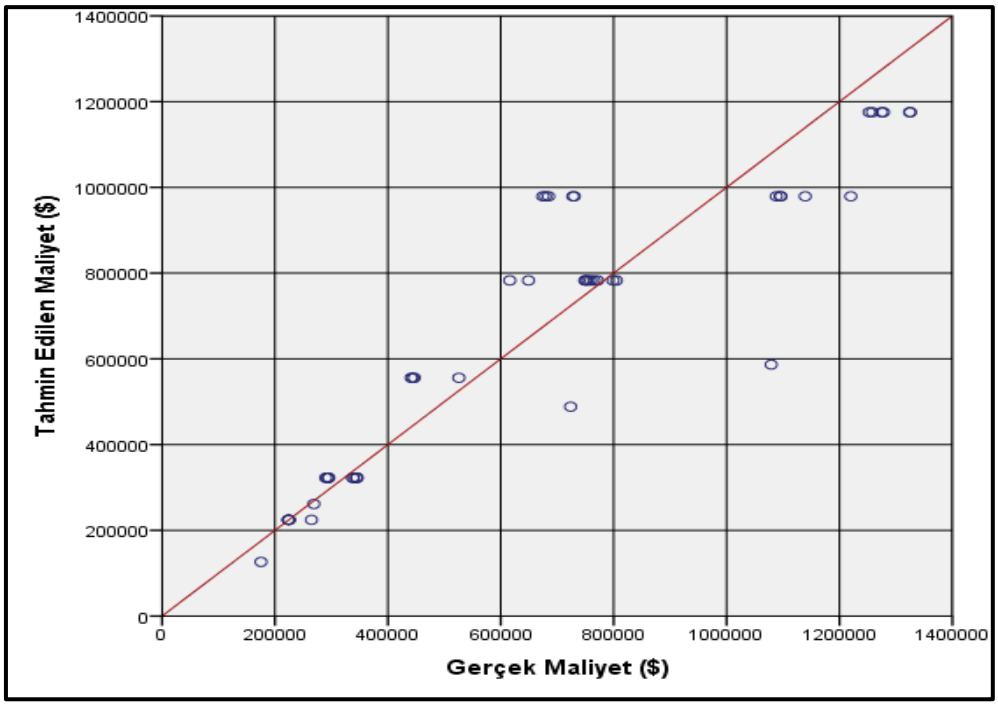
RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi, Şekil 4.29'da gösterilmiştir.

Şekil 4.29 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı açıkça görülmektedir. Bu durum, derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu göstermektedir. Hataların normal dağılıma uygun olması, regresyon modelinin doğru ve güvenilir tahminler sağladığını gösteren olumlu bir işarettir.



Şekil 4.29. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Eş. 4.10'da verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.30'da sunulmuştur.

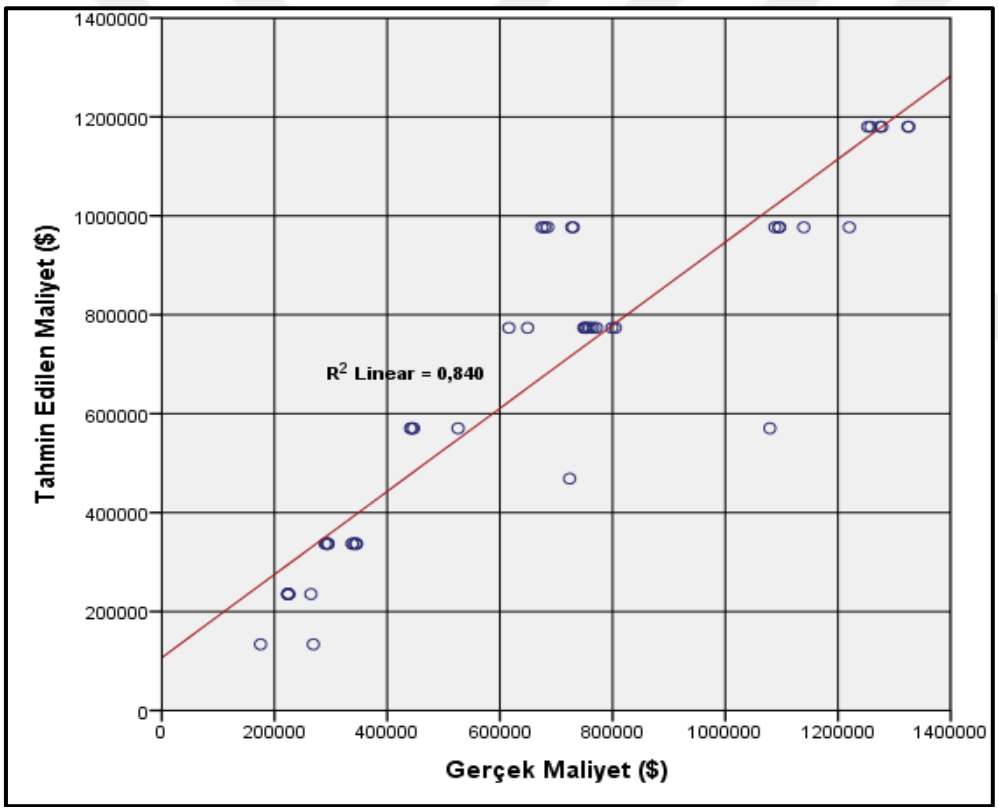


Şekil 4.30. Gerçek maliyet ile derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.30 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında yoğunlaştığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın tahmin ettiği görülmektedir. Tahmin edilen maliyetler ile gerçek maliyetler arasındaki yakınlık, regresyon modelinin doğru ve güvenilir tahminler sağladığını gösteren olumlu bir bulgudur.

Derslik sayısı ve asansör sayısı – maliyet ilişkisi

Derslik sayısı ve okul insan yükü hesaplarına göre asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve oluşan regresyon grafiği Şekil 4.31'de verilmiştir.



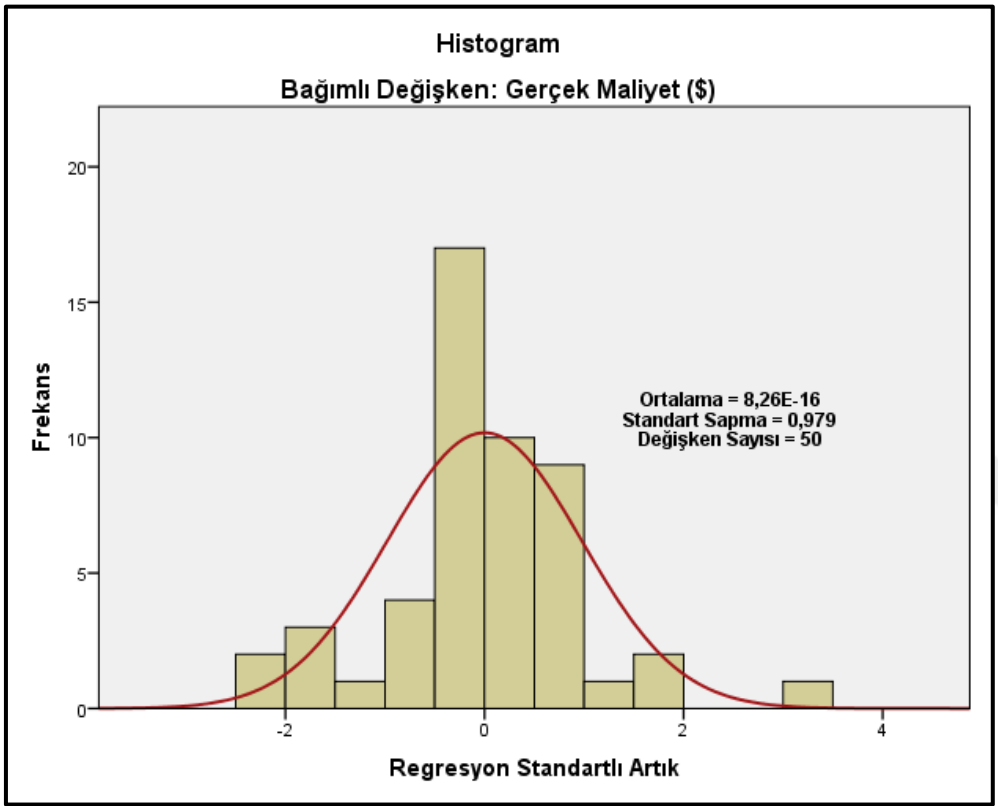
Şekil 4.31. Derslik sayısı ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

RA sonuçlarına göre ortaya çıkan regresyon denklemi Eş. 4.11'de sunulmuş ve R^2=0,840 olarak belirlenmiştir.

$$TM = 32095{,}183 + 25405{,}231 \times DS + 131768{,}388 \times AS \quad (4.11)$$

Eş. 4.11'de "DS" parametresi derslik sayısını (ad), "AS" parametresi asansör sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir. Bu bulgular, derslik sayısı ve asansör sayısı ile gerçek maliyet arasında güçlü bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Bu durum, regresyon denkleminin doğruya yakın bir tahmin yapabileceğini göstermektedir.

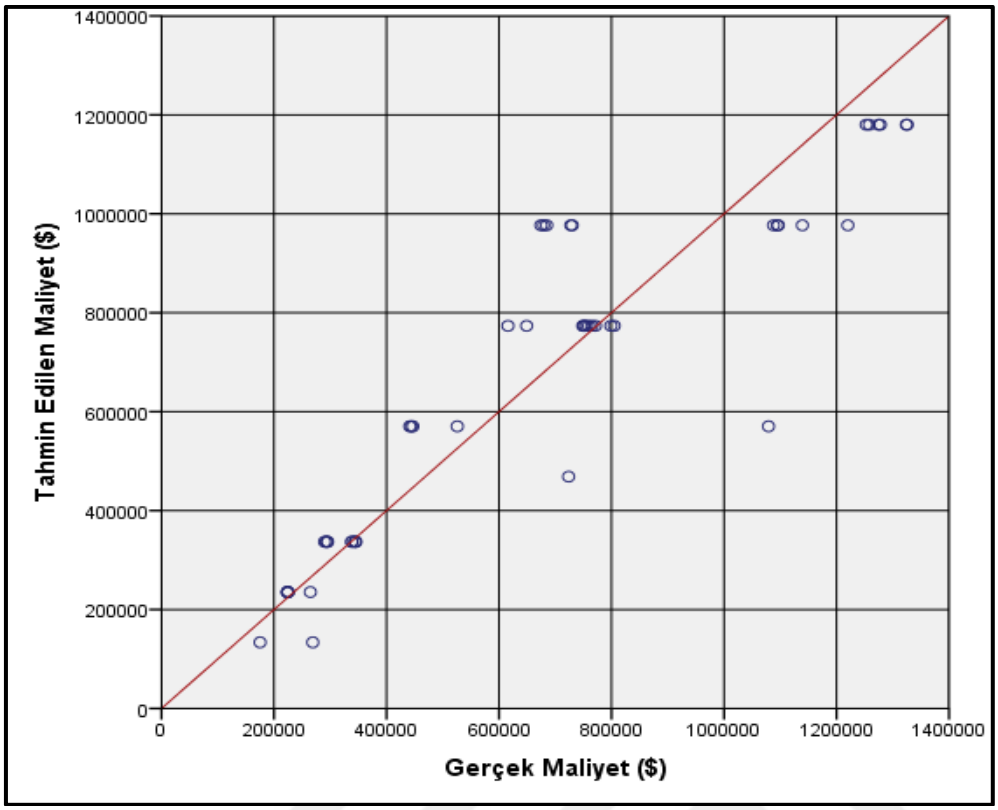
RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi çizilerek Şekil 4.32'de görselleştirilmiştir.



Şekil 4.32. Derslik sayısı, asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.32 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, derslik sayısı ve asansör sayısı ile gerçek maliyet değerleri arasındaki ilişkinin gücünün iyi bir düzeyde olduğunu göstermektedir.

Eş. 4.11'de verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.33'te verilmiştir. Şekil 4.33 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, regresyon denkleminin tahmin yeteneğinin yüksek olduğunu ve gerçek maliyetleri doğruya yakın bir şekilde tahmin ettiğini göstermektedir.



Şekil 4.33. Gerçek maliyet ile derslik sayısı ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

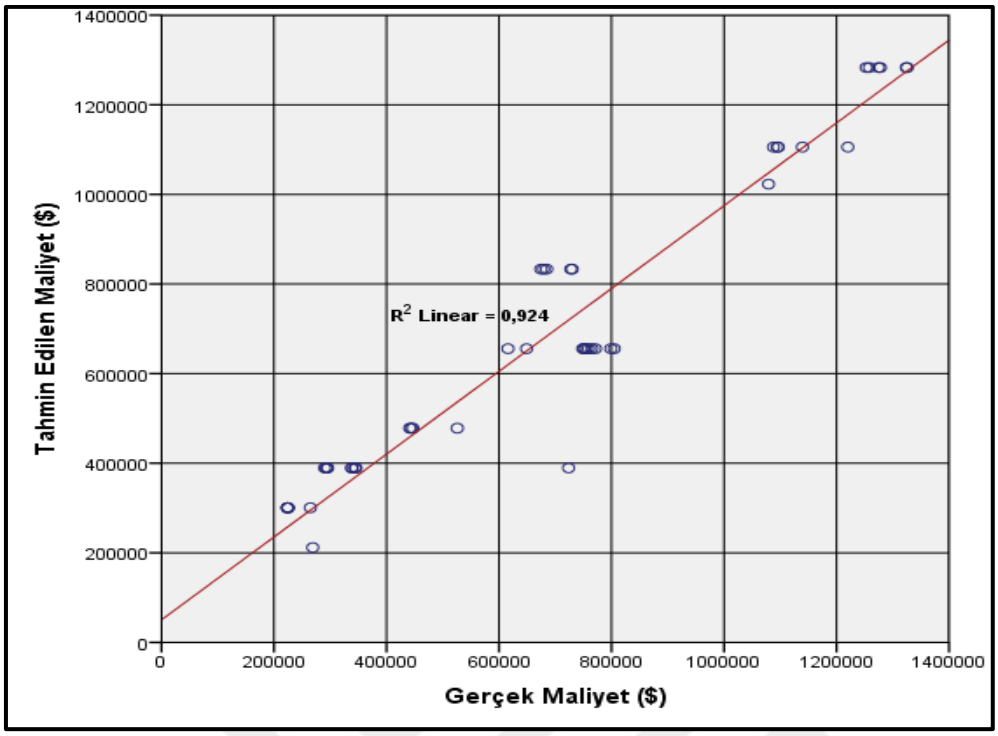
<u>Derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – maliyet ilişkisi</u>

Eğitim yapılarında ihtiyaç programına dayalı olarak belirlenen derslik sayısı ve projede yer alan okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve oluşan regresyon grafiği Şekil 4.34'te verilmiştir.

RA sonuçlarına göre ortaya çıkan regresyon denklemi Eş. 4.12'de sunulmuş ve R^2=0,924 olarak belirlenmiştir. Eş. 4.12'de yer alan "DS" parametresi derslik sayısını (ad), "AMS" parametresi okul iç ana merdiven sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.

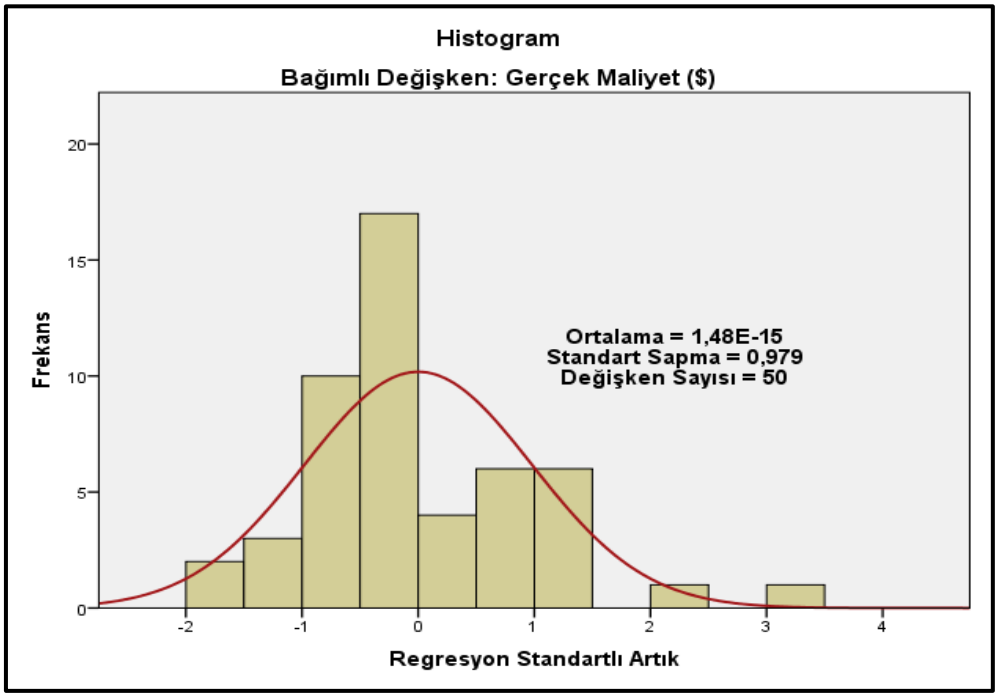
$$TM = -149371{,}366 + 22196{,}452 \times DS + 272373{,}639 \times AMS \quad (4.12)$$

Bu analizde regresyon katsayısını 0,924 olması, derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasında güçlü bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.34. Derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi, Şekil 4.35'te verilmiştir.

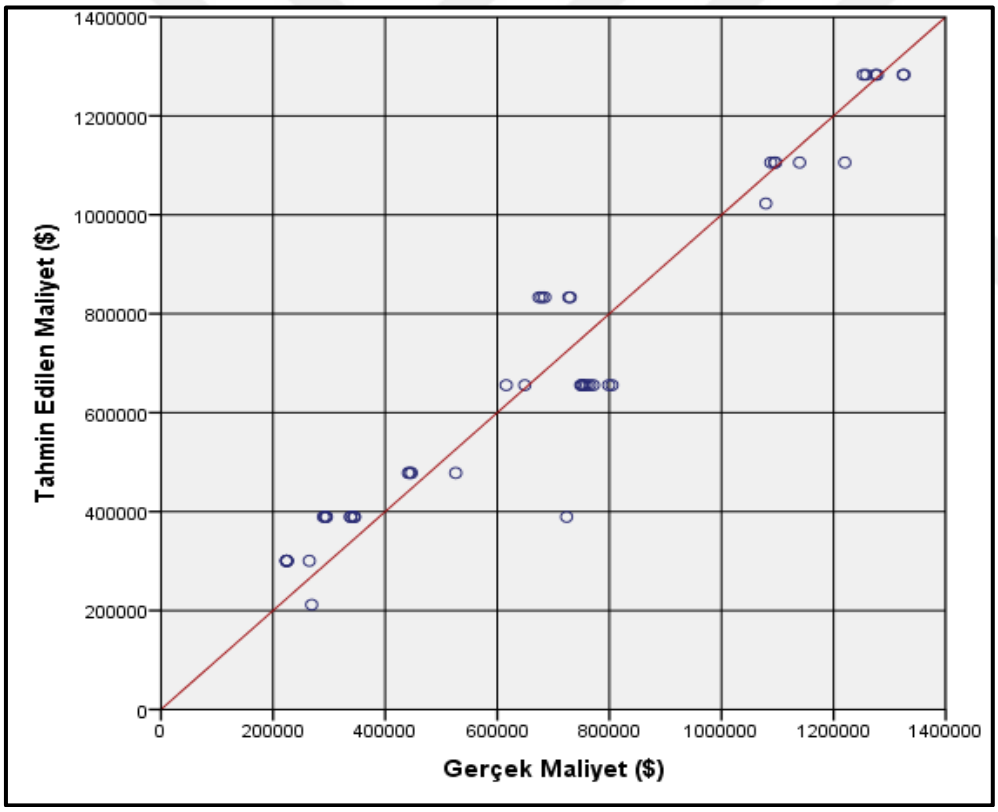


Şekil 4.35. Derslik sayısı, okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.35 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünün iyi düzeyde olduğunu ifade etmektedir.

Elde edilen bulgular, derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısının, gerçek maliyetin doğru bir şekilde tahmin edilmesinde önemli birer etkisinin olduğunu göstermektedir. Analiz sonuçları, bu iki değişkenin eğitim yapılarındaki maliyet hesaplamalarında belirleyici faktörler olduğunu ve maliyet tahminlerinin güvenilirliğini artırdığını ortaya koymaktadır.

Eş. 4.12'de verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.36'da verilmiştir.



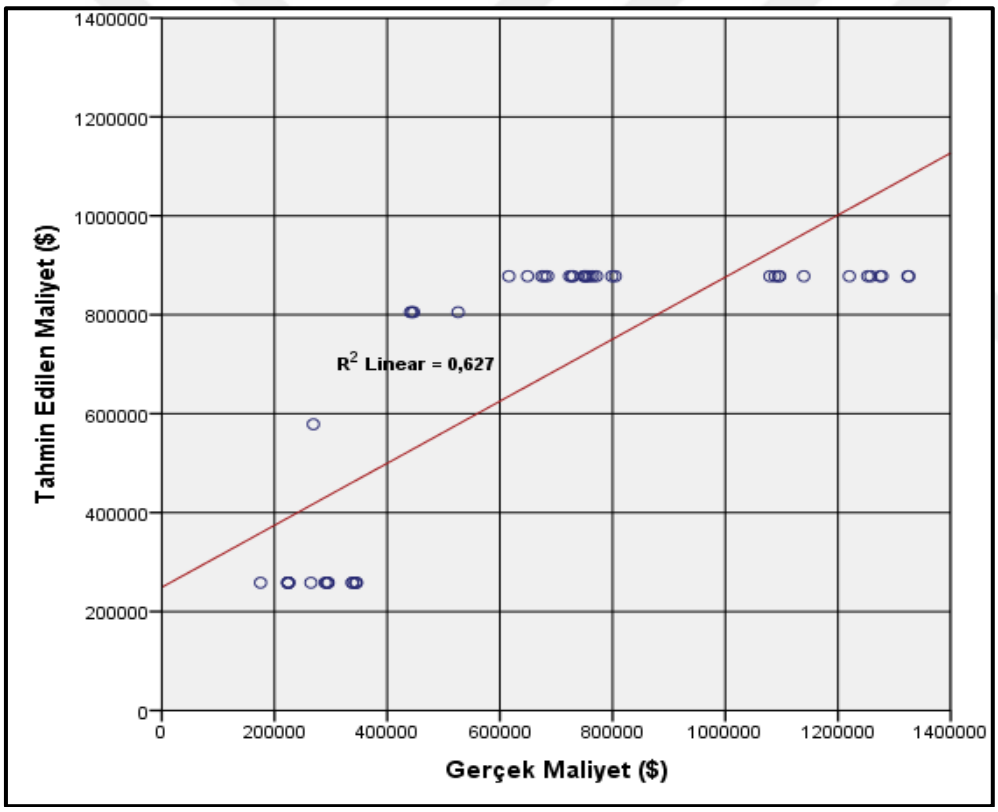
Şekil 4.36. Gerçek maliyet ile derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.36'yı incelediğimizde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında yoğunlaştığı ve gerçek maliyet değerlerini doğruya yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir.

Sonuç olarak, regresyon analizi ile elde edilen bulgular, tahmin edilen maliyet ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu ve regresyon denkleminin maliyet tahminlerinde etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Şekil 4.36'da bu ilişkiyi ve tahminlerin doğruluğunu görsel olarak desteklemektedir.

Bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı – maliyet ilişkisi

Eğitim yapılarında yapı kullanım amacına bağlı olarak bodrum kat yüksekliği ve okul insan yükü hesaplarına dayalı olarak asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve oluşan regresyon grafiği Şekil 4.37'de verilmiştir.



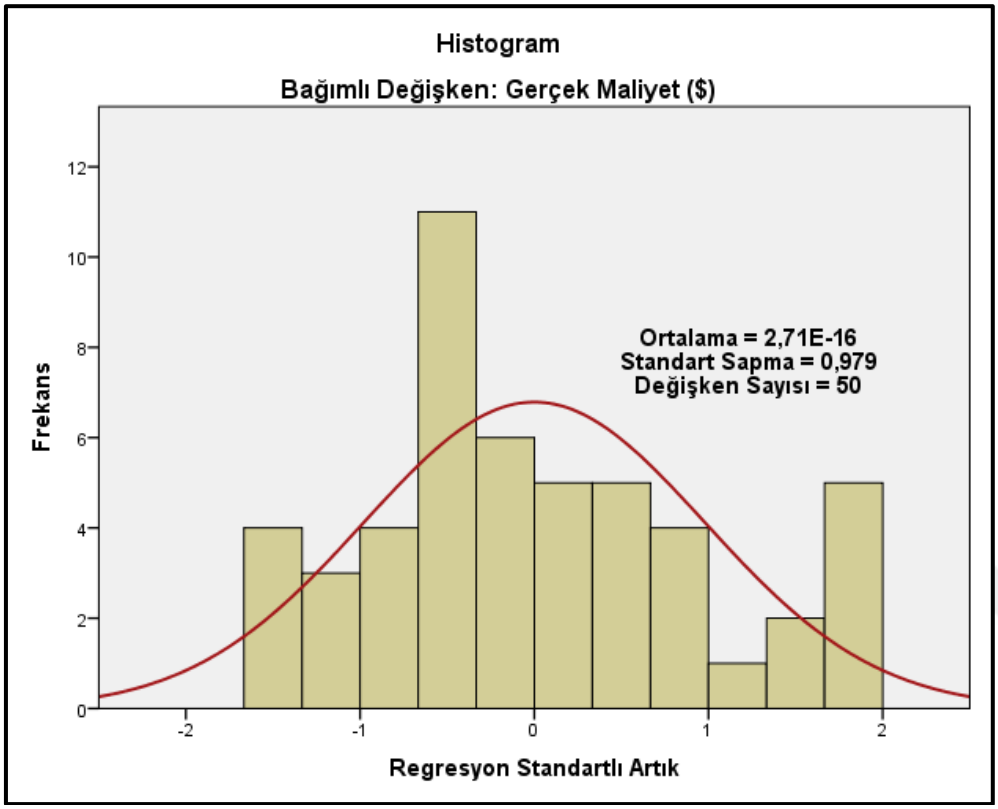
Şekil 4.37. Bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

RA sonuçlarına göre ortaya çıkan regresyon denklemi Eş. 4.13'te sunulmuş ve R^2=0,627 olarak belirlenmiştir.

$$TM = 258339{,}420 + 97062{,}406 \times BKY + 226432{,}900 \times AS \quad (4.13)$$

Eş. 4.13'te "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliği (m), "AS" parametresi asansör sayısı (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.

RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi, Şekil 4.38'de verilmiştir.

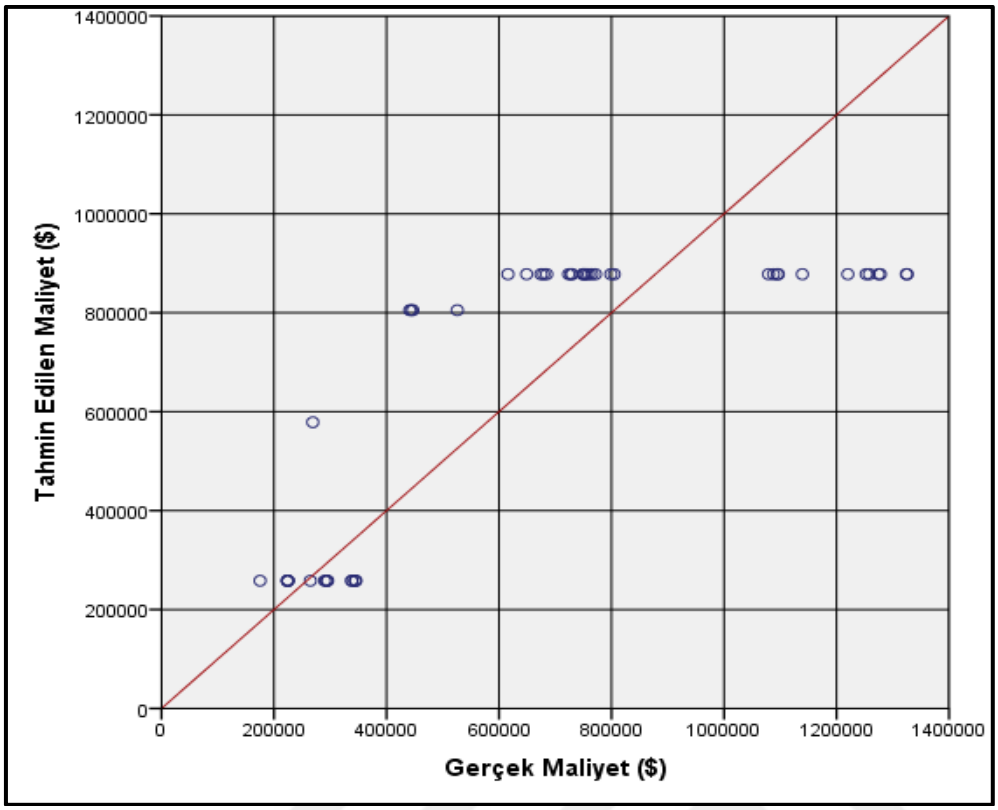


Şekil 4.38. Bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.38 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun olarak dağılmadığı görülmektedir. Bu durum, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin nispeten zayıf olduğunu göstermektedir

Eş. 4.13’te verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.39’da verilmiştir.

Şekil 4.39 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplanmadığı görülmektedir. Bu durum, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünün nispeten zayıf olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.39. Gerçek maliyet ile bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

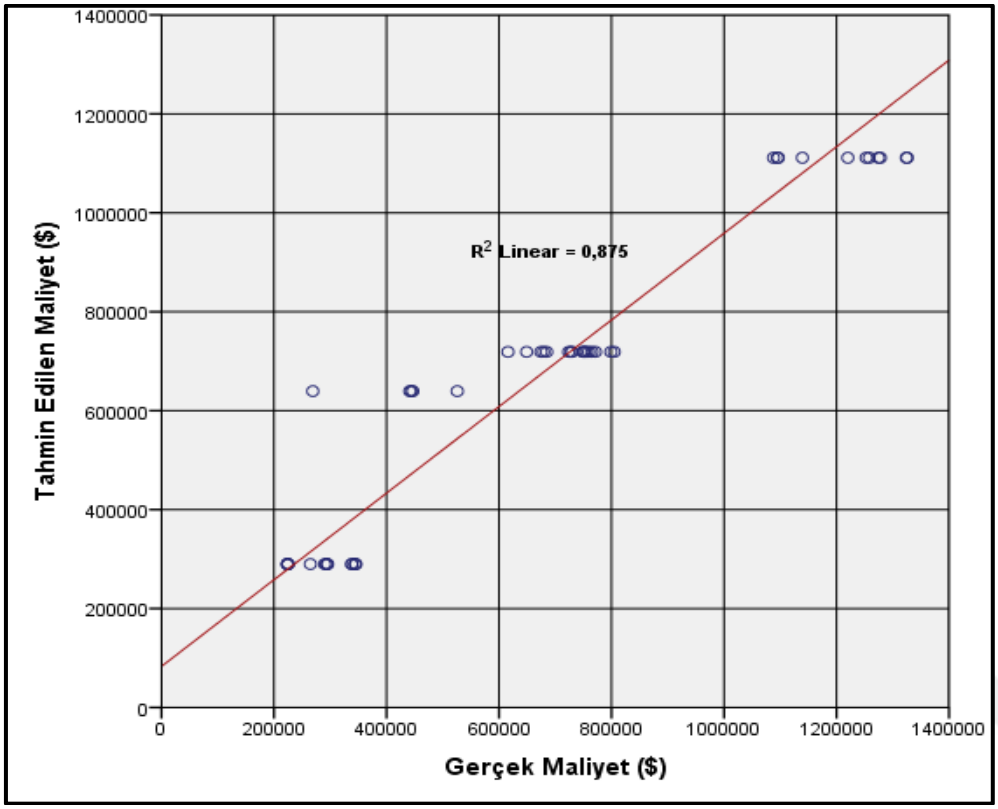
Bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – maliyet ilişkisi

Eğitim yapılarında, yapı kullanım amacına göre bodrum kat yüksekliği ile proje, plan ve yürürlükteki yönetmeliklere göre tasarlanan okul iç ana merdiven sayısı arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve oluşan regresyon grafiği Şekil 4.40'ta verilmiştir.

RA sonucunda elde edilen regresyon denklemi, Eş. 4.14'te gösterildiği şekilde oluşmuş ve R^2=0,875 olarak belirlenmiştir. Bu denklemde, "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m), "AMS" parametresi okul iç ana merdiven sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.

$$TM = -102575{,}495 + 105937{,}834 \times BKY + 392405{,}933 \times AMS \quad (4.14)$$

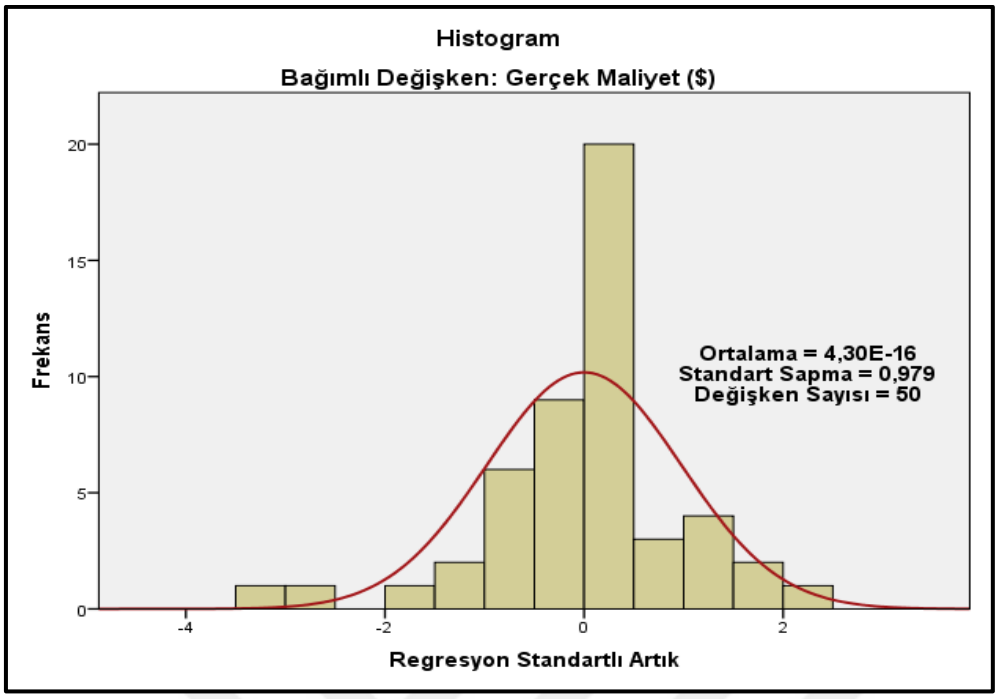
Analizde R^2=0,875 olması, ilişki düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı değişkenlerinin gerçek maliyeti tahmin etmede önemli bir rol oynadığını söylemek mümkündür.



Şekil 4.40. Bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

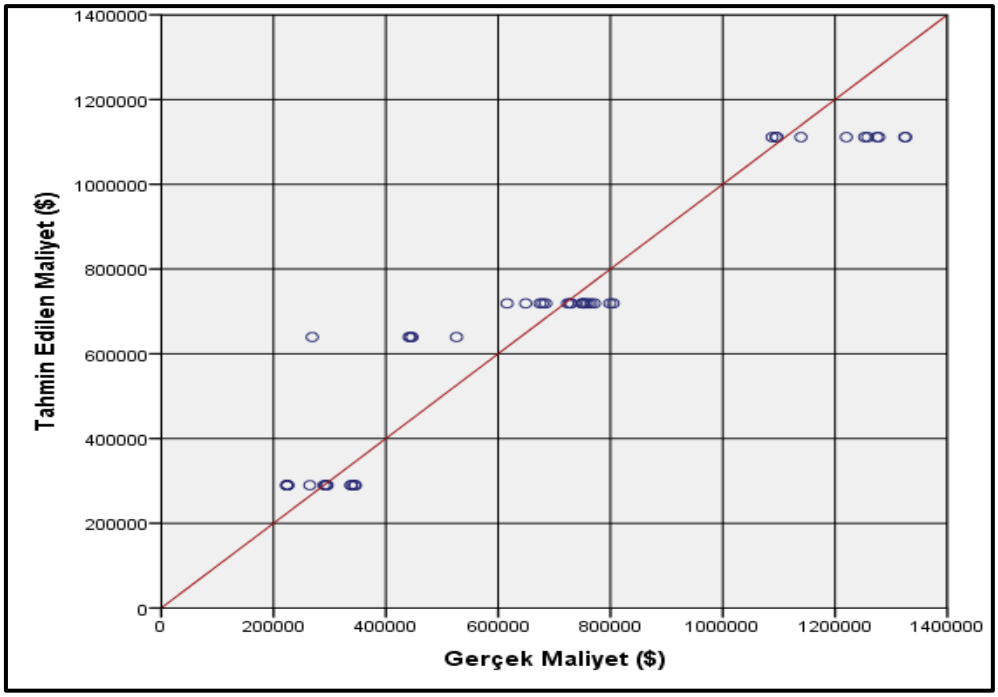
RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.41'de gösterilmiştir.

Şekil 4.41 incelendiğinde, hataların nispeten normal dağılıma uygun olarak dağıldığı görülmektedir. Bu durum, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünün iyi düzeyde olduğunu göstermektedir. Gerçekleşen iki değişkenli doğrusal regresyon analizleri arasında, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki RA üçüncü en yüksek regresyon katsayısını veren analiz olmuştur.



Şekil 4.41. Bodrum kat yüksekliği, okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Eş. 4.14'te verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.42'de verilmiştir.

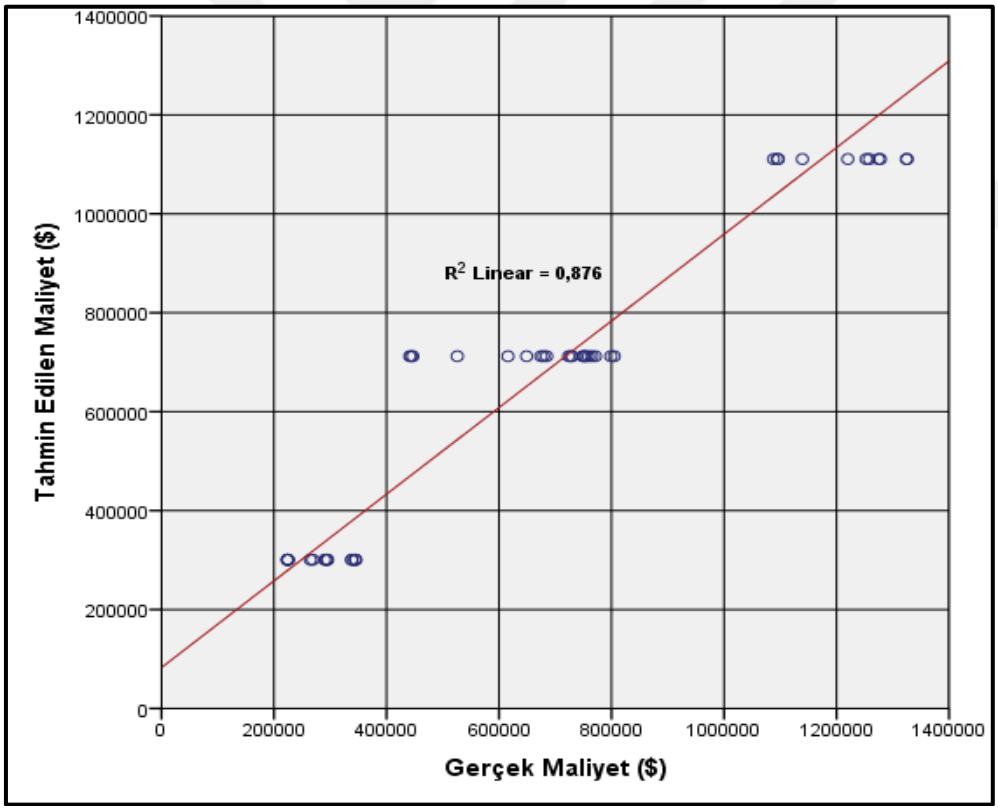


Şekil 4.42. Gerçek maliyet ile bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.42 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini nispeten yakın bir şekilde tahmin edebildiği görülmektedir. Bu durum, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin tahmin edilmesinde başarılı bir sonuç elde edildiğini göstermektedir.

Asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – maliyet ilişkisi

Eğitim yapılarında, insan yükü hesaplarına istinaden belirlenen asansör sayısı ve yürürlükteki yönetmenliklere göre tasarlanan okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 4.43'te verilmiştir.



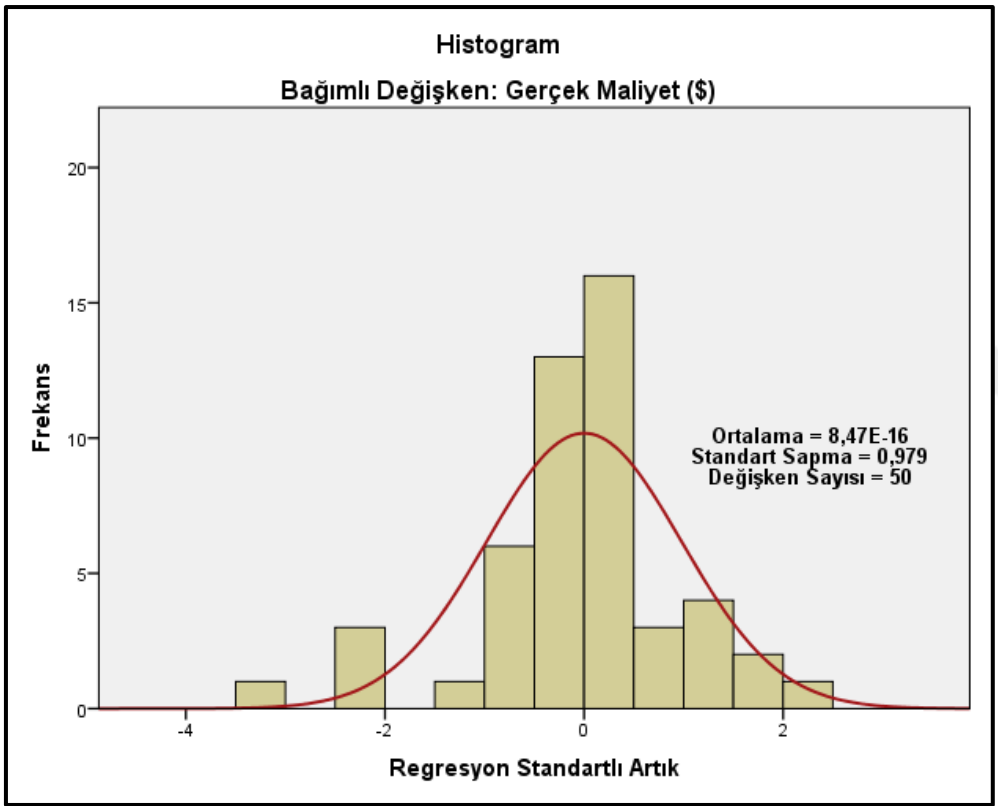
Şekil 4.43. Asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

RA sonucunda elde edilen regresyon denklemi, Eş. 4.15'te gösterildiği şekilde oluşmuş ve R^2=0,876 olarak belirlenmiştir.

Eş. 4.15'te, "AS" parametresi asansör sayısını (ad), "AMS" parametresi okul iç ana merdiven sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir. Bu sonuçlar, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu göstermektedir.

$$TM = -98038{,}503 + 411366{,}967 \times AS + 398670{,}665 \times AMS \quad (4.15)$$

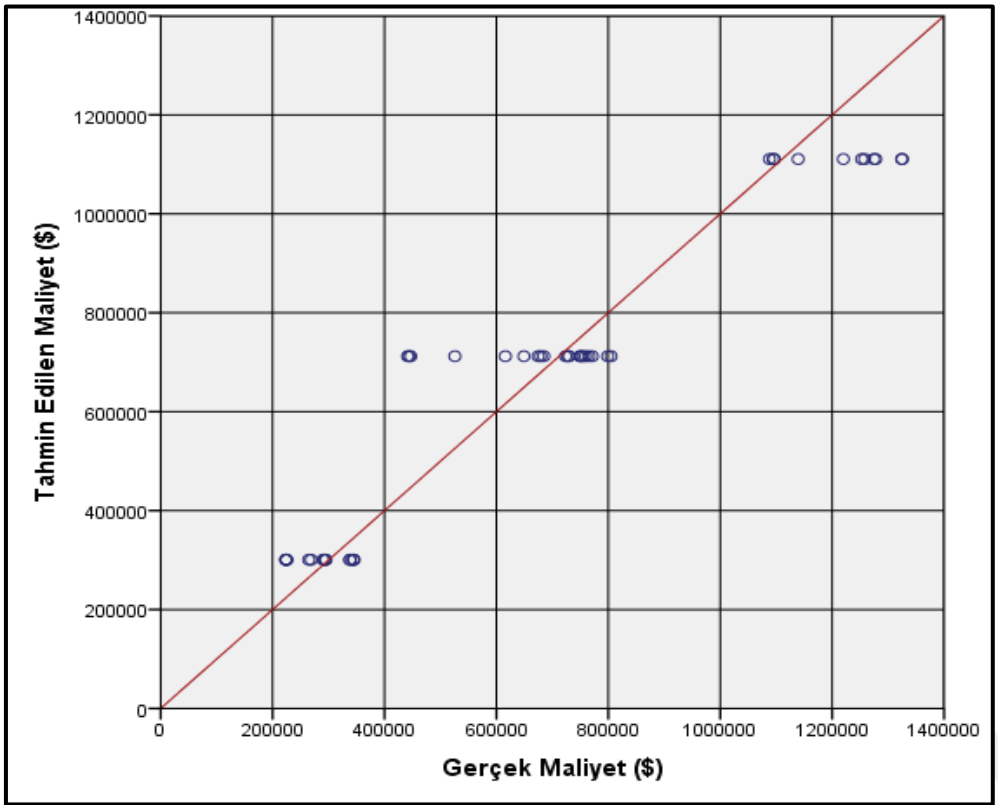
RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.44'te gösterilmiştir.



Şekil 4.44. Asansör sayısı, okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.44 incelendiğinde hataların nispeten normal dağılıma uygun olarak dağıldığı görülmektedir. Bu durum, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünün iyi denilebilecek bir seviyede olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu analiz, iki değişkenli analizler içerisinde ikinci en yüksek regresyon katsayısını veren analiz olmuştur.

Eş. 4.15'te verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.45'te verilmiştir.



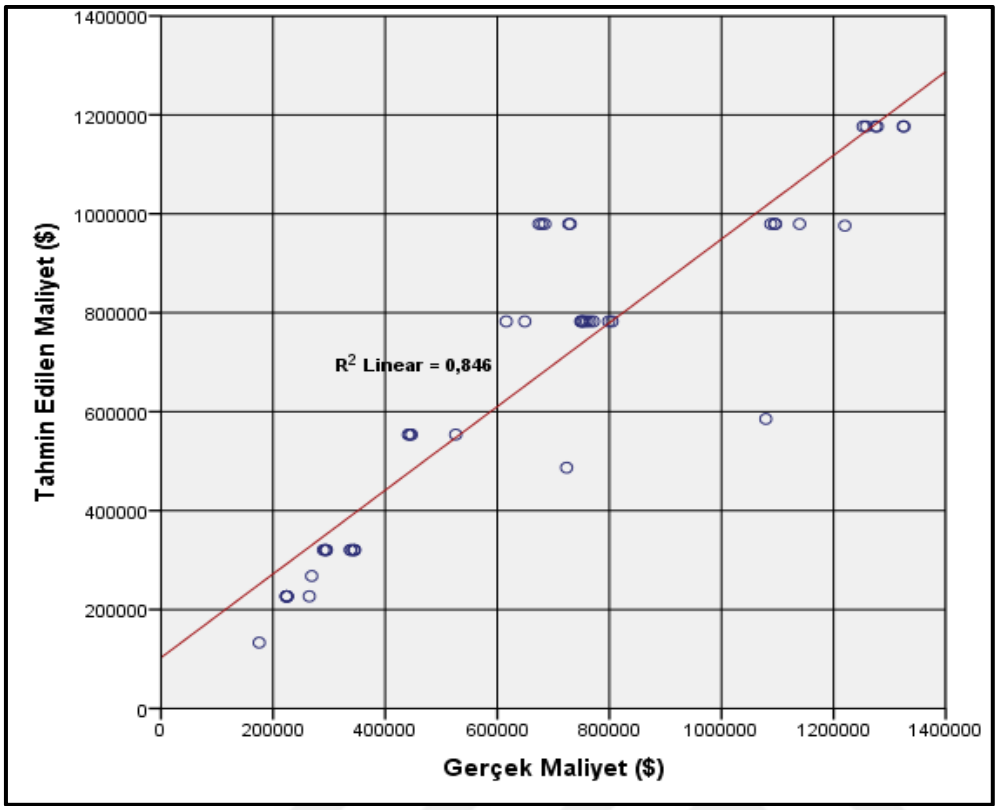
Şekil 4.45. Gerçek maliyet ile asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.45 incelendiğinde tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini nispeten yakın bir şekilde tahmin edebildiği görülmektedir.

4.3.3. Üç değişkenli doğrusal regresyon analizleri

<u>Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği – maliyet ilişkisi</u>

Eğitim yapılarında, bölge imar durumuna bağlı olarak yapı yüksekliği, ihtiyaç programına göre belirlenen derslik sayısı ve proje özelliklerine göre belirlenen bodrum kat yüksekliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve oluşan regresyon grafiği Şekil 4.46'da verilmiştir. Bu analizde, yapı yüksekliği, derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği parametrelerinin gerçek maliyet üzerindeki etkileri incelenmiştir.



Şekil 4.46. Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği – gerçek maliyet regresyon grafiği

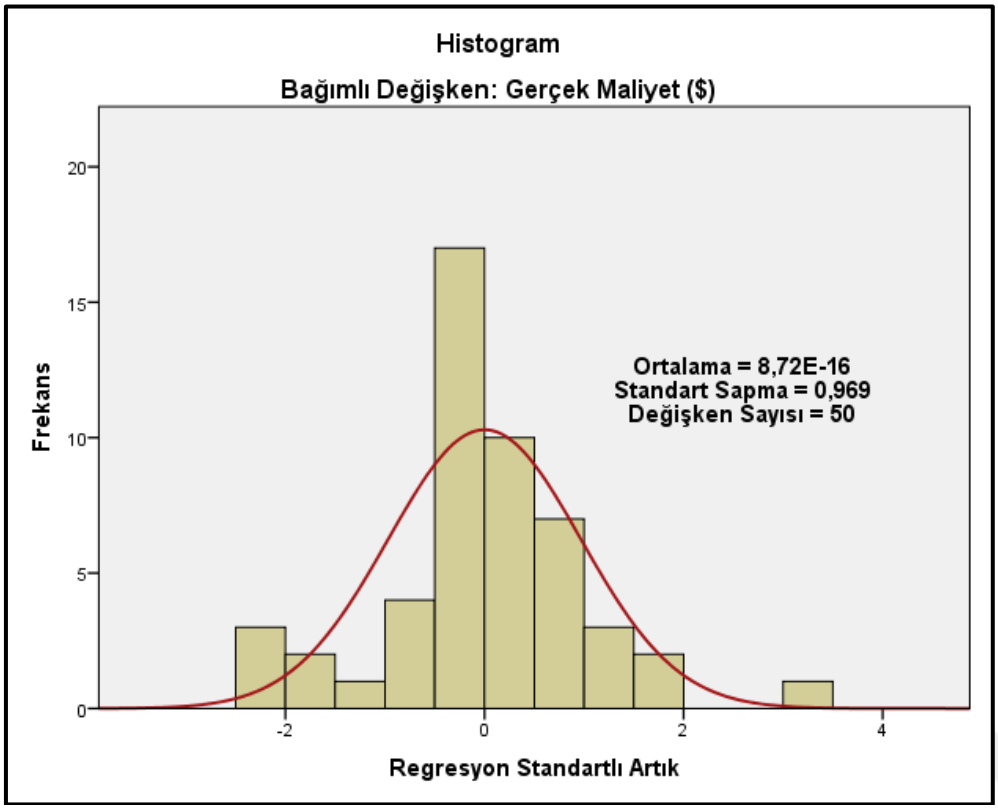
RA sonucunda elde edilen regresyon denklemi, Eş. 4.16'da gösterildiği şekilde oluşmuş ve R^2=0,846 olarak belirlenmiştir.

$$TM = 39389{,}205 - 1475{,}098 \times H + 24635{,}771 \times DS + 42293{,}500 \times BKY \quad (4.16)$$

Eş. 4.16'tda, "H" parametresi yapı yüksekliğini (m), "DS" derslik sayısını (ad), "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir. Bu sonuçlar, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu göstermektedir.

Bu bulgular, yapı yüksekliği, derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği gibi önemli tasarım özelliklerinin eğitim yapılarının gerçek maliyeti üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Araştırma sonuçları, planlama ve tasarım aşamalarında bu parametrelerin dikkate alınmasın önemli olduğunu göstermekte ve proje maliyetlerinin daha doğru tahmin edilmesine katkı sağladığı değerlendirilmektedir.

RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.47'de sunulmuştur.

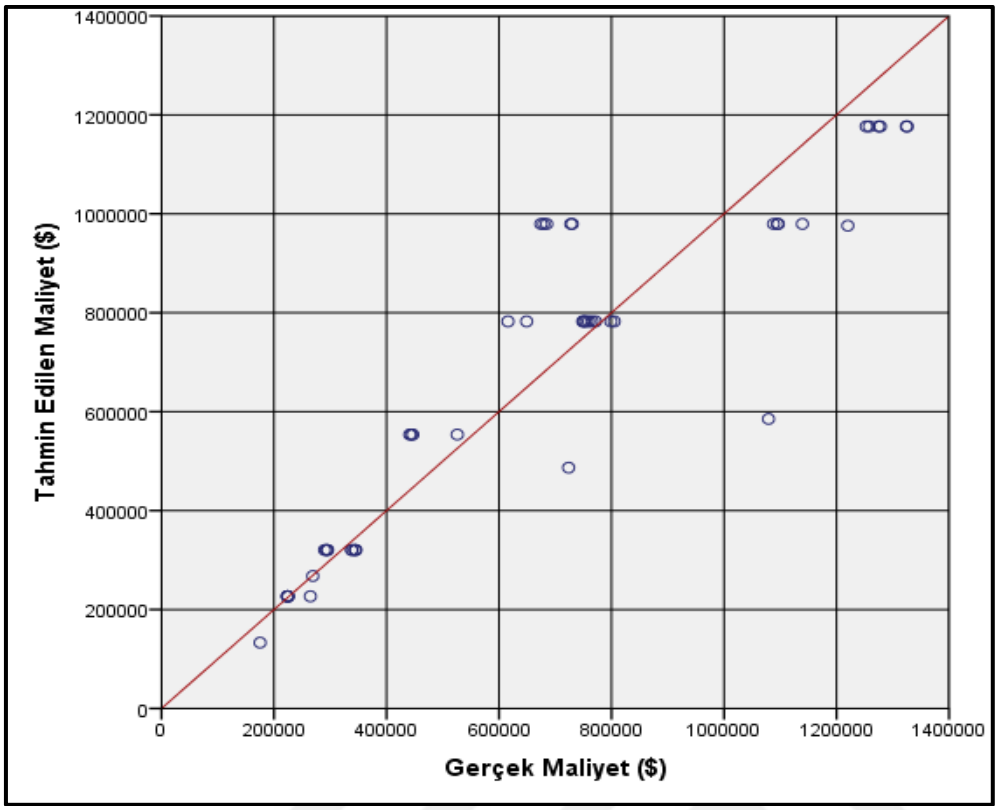


Şekil 4.47. Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.47 incelendiğinde hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, yapı yüksekliği, derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünün nispeten tatmin edici bir seviyede olduğunu göstermektedir.

Eş. 4.16'da verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.48'de verilmiştir.

Şekil 4.48 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin nispeten 1/1 eksen çizgisi etrafında yoğunlaştığı ve gerçek maliyet değerlerini iyi bir şekilde tahmin edebildiği görülmektedir.



Şekil 4.48. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, derslik sayısı ve bodrum kat yüksekliği parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Sonuç olarak bu analizler, maliyet tahmini yaparken sağlam bir temel oluşturmakta ve karar verme süreçlerine de değerli bir rehberlik sunmaktadır.

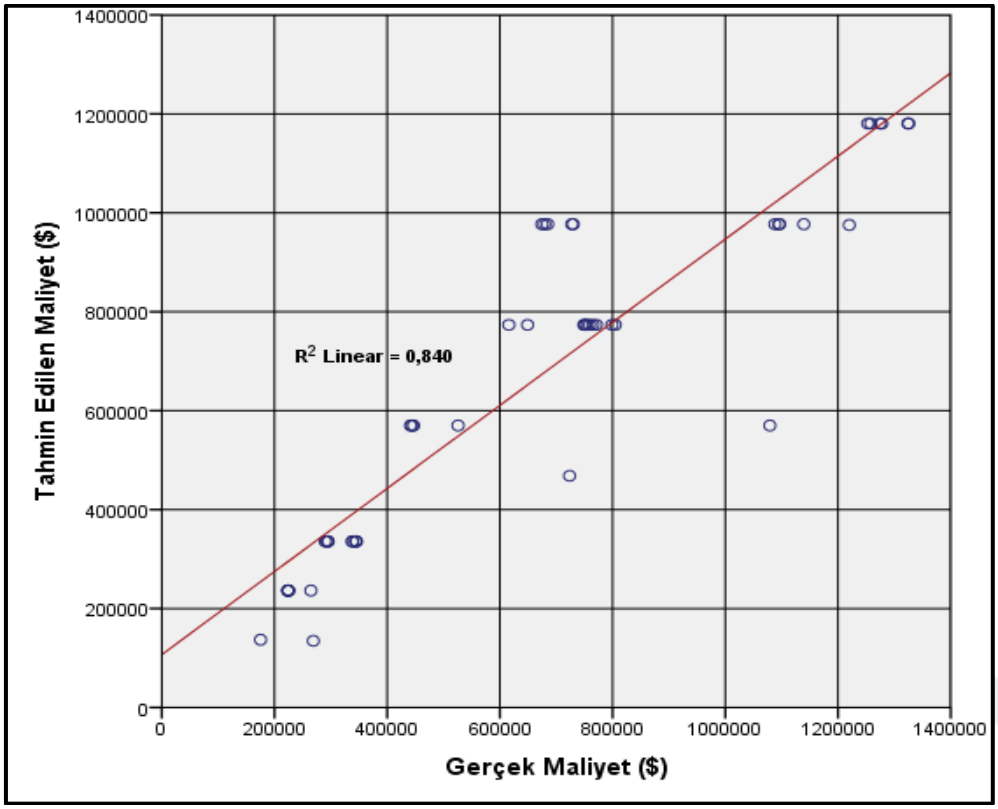
<u>Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısı – maliyet ilişkisi</u>

Eğitim yapılarında, bölge imar durumuna bağlı olarak yapı yüksekliği, ihtiyaç programına göre derslik sayısı ve insan yükü hesabına istinaden tasarlanan asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 4.49'da verilmiştir.

RA sonucunda, Eş. 4.17'de gösterilen regresyon denklemi elde edilmiş ve bu denklemle ilişkinin gücü R^2=0,840 olarak tespit edilmiştir.

$$TM = 37510{,}639 - 699{,}701 \times H + 25435{,}206 \times DS + 134807{,}851 \times AS \qquad (4.17)$$

Eş. 4.17'deki "H" parametresi yapı yüksekliğini (m), "DS" parametresi derslik sayısını (ad), "AS" parametresi asansör sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.

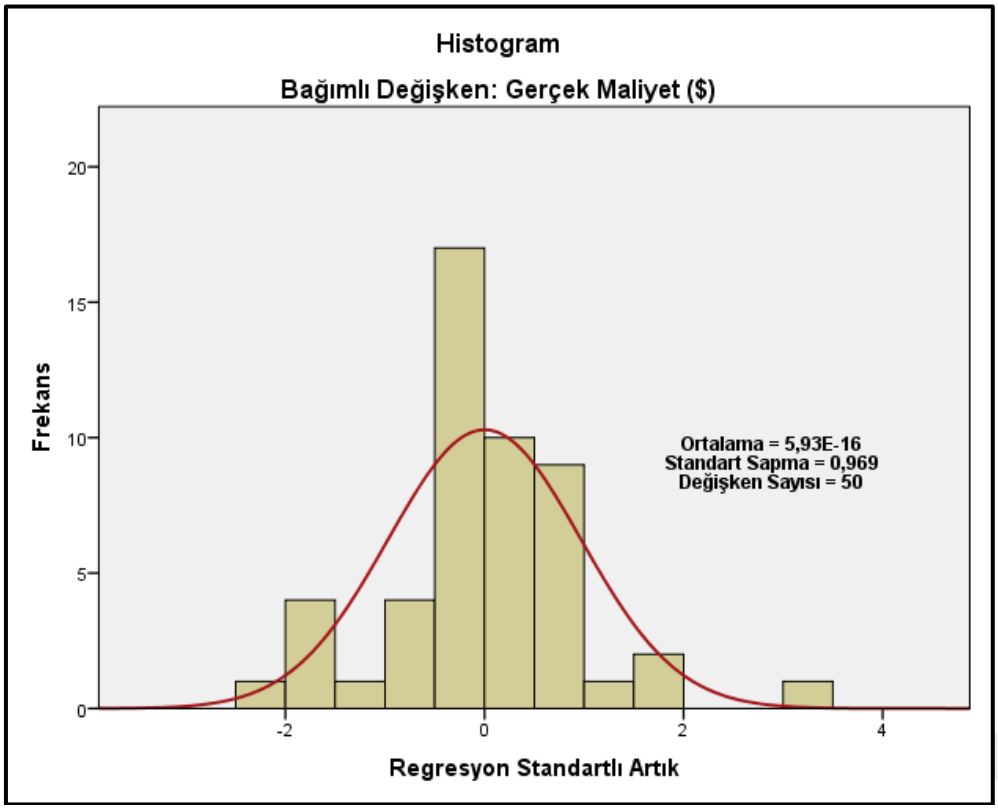


Şekil 4.49. Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

Regresyon analizi sonucunda elde edilen regresyon denklemi, yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısı gibi faktörlerin tahmin edilen maliyet üzerindeki etkisini açıklamaktadır. R^2 değeri ise ilişkinin gücünü göstermektedir. Elde edilen R^2=0,840 değeri, regresyon modelinin tahminlerinin gerçek maliyet değerleriyle uyumlu olduğunu ve yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısı gibi faktörlerin maliyet tahminlerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Bu bulgular, eğitim yapılarının maliyetlerini tahmin etmek için yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısı gibi önemli parametrelerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Regresyon analizi, bu faktörler arasındaki ilişkileri anlamamıza ve maliyet tahminlerinde daha doğru sonuçlar elde etmemize yardımcı olmaktadır.

RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi, Şekil 4.50'de sunulmuştur.

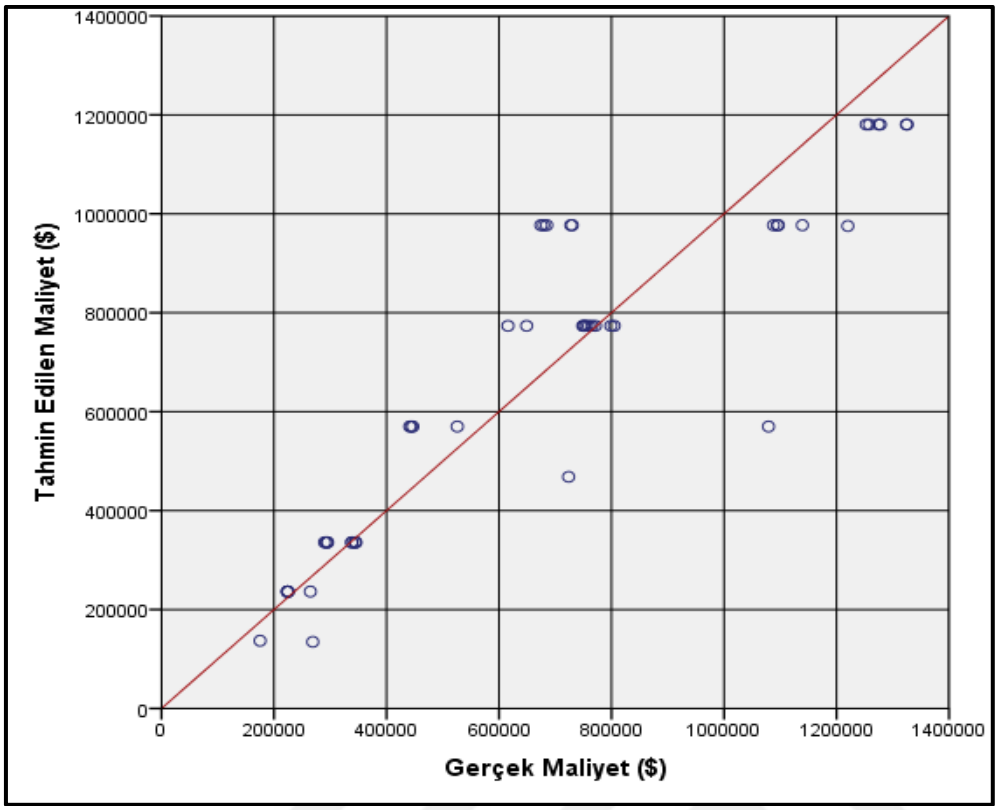


Şekil 4.50. Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.50'ye bakıldığında, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı açıkça görülmektedir. Bu durum, yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünün iyi denilebilecek bir seviyede olduğunu göstermektedir.

Bu bulgular, yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısı gibi değişkenlerin gerçek maliyeti tahmin etmedeki önemli parametreler olduğunu ve regresyon analizinin bu değişkenler arasındaki ilişkiyi başarılı bir şekilde modellediğini göstermektedir. Bu nedenle, yapı projelerinde bu değişkenlerin doğru bir şekilde analizlere katılması, maliyet tahminlerinin doğruluğunu artıracaktır.

Eş. 4.17’de verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.51’de verilmiştir.



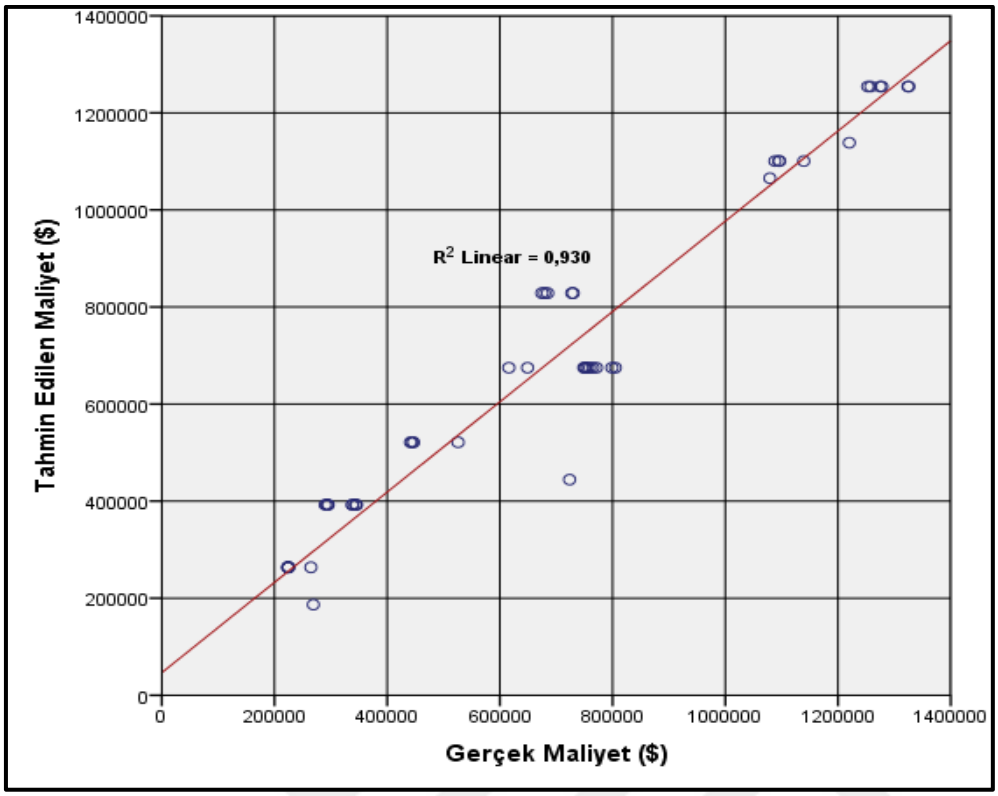
Şekil 4.51. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.51 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında yoğunlaştığı ve gerçek maliyet değerlerini nispeten yakın bir şekilde tahmin ettiği tespit edilmiştir.

Bu durum, regresyon denklemi ile tahmin edilen maliyetlerin gerçek maliyetlere yakın olduğunu ve regresyon modelinin güvenilir bir şekilde maliyet tahminlerini yapabildiğini göstermektedir. Tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında belirgin bir sapma veya aykırılık bulunmamaktadır.

<u>Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – maliyet ilişkisi</u>

Eğitim yapılarında, bölge imar durumuna bağlı olarak yapı yüksekliği, ihtiyaç programına göre derslik sayısı ve yürürlükte olan yönetmeliklere istinaden tasarlanan okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve oluşan regresyon grafiği Şekil 4.52'de verilmiştir.



Şekil 4.52. Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

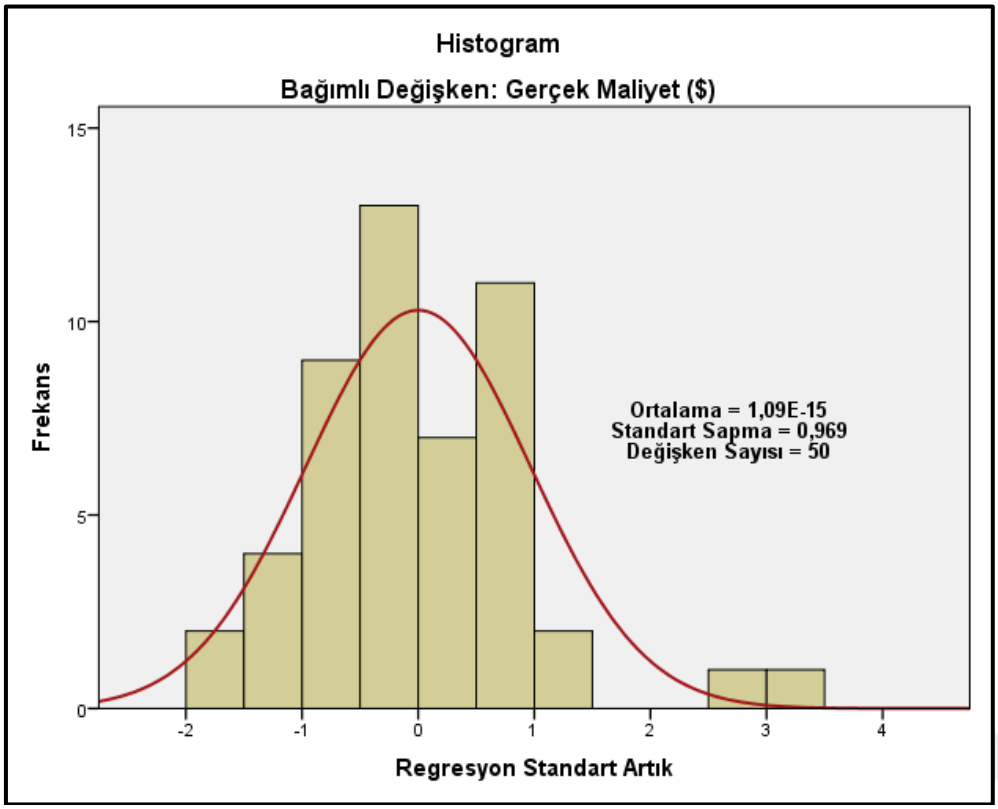
RA sonucunda, Eş. 4.18'de gösterilen regresyon denklemi elde edilmiş ve bu denkleme göre ilişkinin gücü R^2=0,930 olarak belirlenmiştir.

$$TM = -265979{,}532 + 15744{,}014 \times H + 19209{,}464 \times DS + 272024{,}556 \times AMS \qquad (4.18)$$

Eş. 4.18'deki "H" parametresi yapı yüksekliğini (m), "DS" parametresi derslik sayısını (ad), "AMS" parametresi okul iç ana merdiven sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.

RA sonuçlarına göre, yapı yüksekliği, derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısının gerçek maliyeti tahmin etmedeki başarısının yüksek olduğu görülmektedir. Regresyon denklemi, bu bağımsız değişkenlerin maliyet üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve maliyetin doğru bir şekilde tahmin edilmesinde güvenilir bir model sağladığını göstermektedir.

RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi, Şekil 4.53'te sunulmuştur.

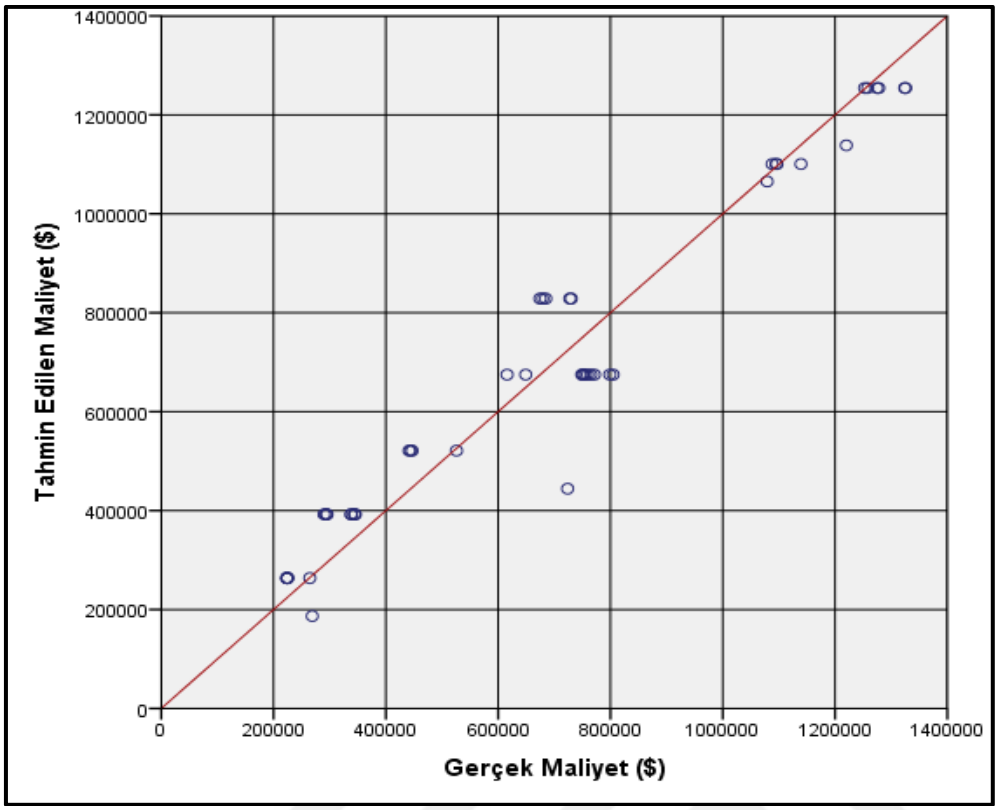


Şekil 4.53. Yapı yüksekliği, derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı- gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.53 incelediğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Hataların normal dağılıma uygun olarak dağılması, yapı yüksekliği, derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı gibi parametrelerin maliyet tahminlerinde önemli bir rol oynadığını ve güvenilir bir ilişki sağladığını göstermektedir.

Eş. 4.18'de verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.54'te verilmiştir.

Şekil 4.54 incelendiğinde, RA ile elde edilen regresyon denkleminin maliyet tahminleri konusunda oldukça başarılı olduğu söylenebilir. Çünkü tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde yoğunlaştığı ve gerçek maliyet değerlerini iyi derecede tahmin edebildiği net bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 4.54. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

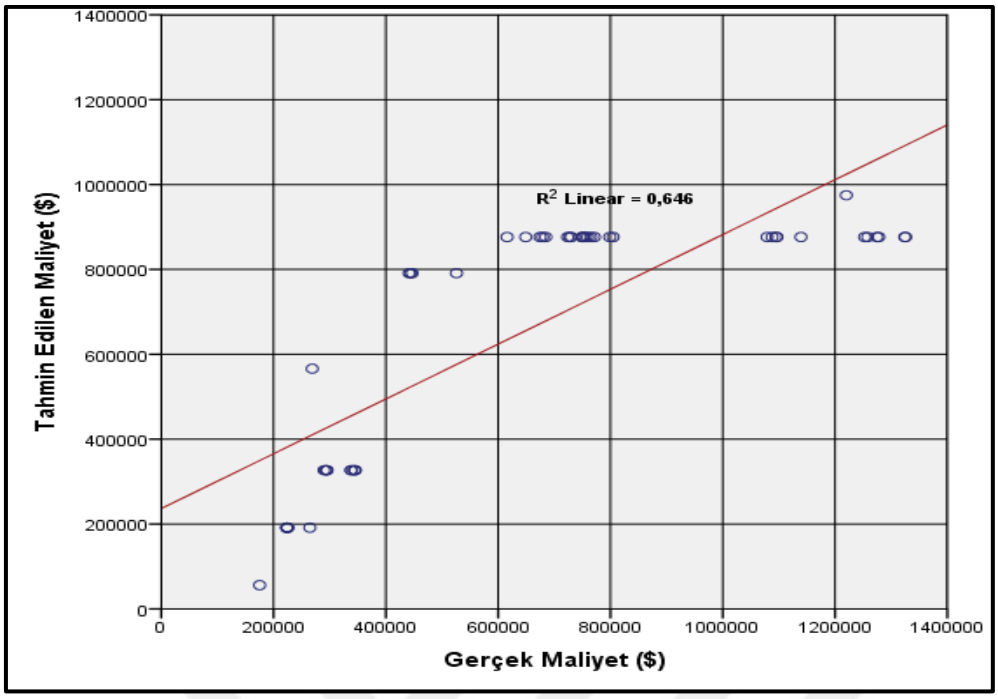
Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı – maliyet ilişkisi

Eğitim yapılarında, bölge imar durumuna bağlı olarak yapı yüksekliği, okul kullanım amacına göre bodrum kat yüksekliği, insan yükü hesabı ve ihtiyaçlara bağlı olarak belirlenen asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve oluşan regresyon grafiği Şekil 4.55'te sunulmuştur.

RA sonucunda, Eş. 4.19'da gösterilen regresyon denklemi belirlenmiş ve bu denklemle ilişkinin gücü R^2=0,646 olarak bulunmuştur.

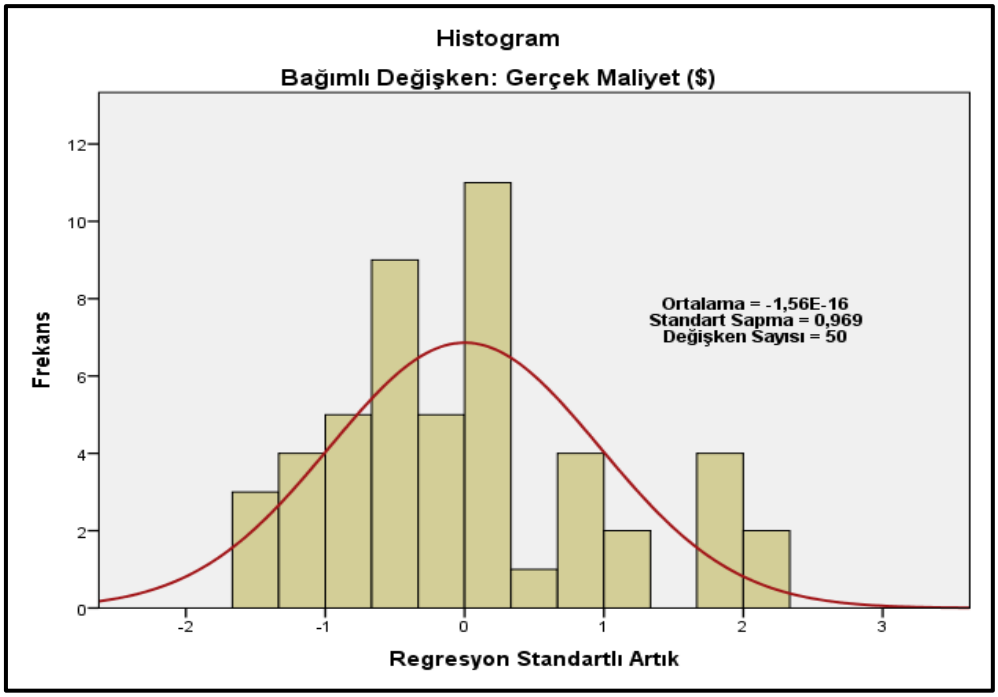
$$TM = -79468{,}944 + 41041{,}785 \times H + 113532{,}325 \times BKY - 45701{,}069 \times AS \qquad (4.19)$$

Eş. 4.19'deki "H" parametresi yapı yüksekliğini (m), "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m), "AS" parametresi asansör sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.



Şekil 4.55. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

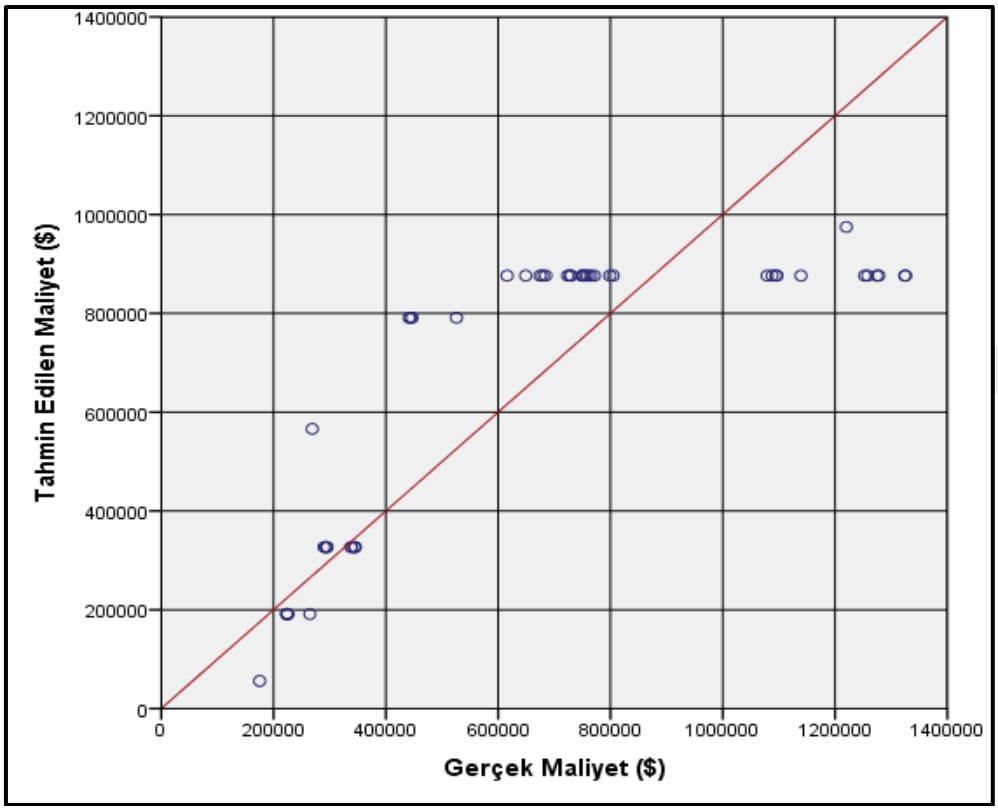
RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi, Şekil 4.56'da sunulmuştur.



Şekil 4.56. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.56 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağılmadığı görülmektedir. Bu durum, yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünün nispeten zayıf olduğunu göstermektedir. Üç değişkenli doğrusal regresyon analizleri içerisinde, en düşük regresyon katsayısına sahip olan ve gerçek maliyeti en kötü tahmin eden analiz, yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkiyi gösteren RA olmuştur.

Eş. 4.19'da verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.57'de verilmiştir.

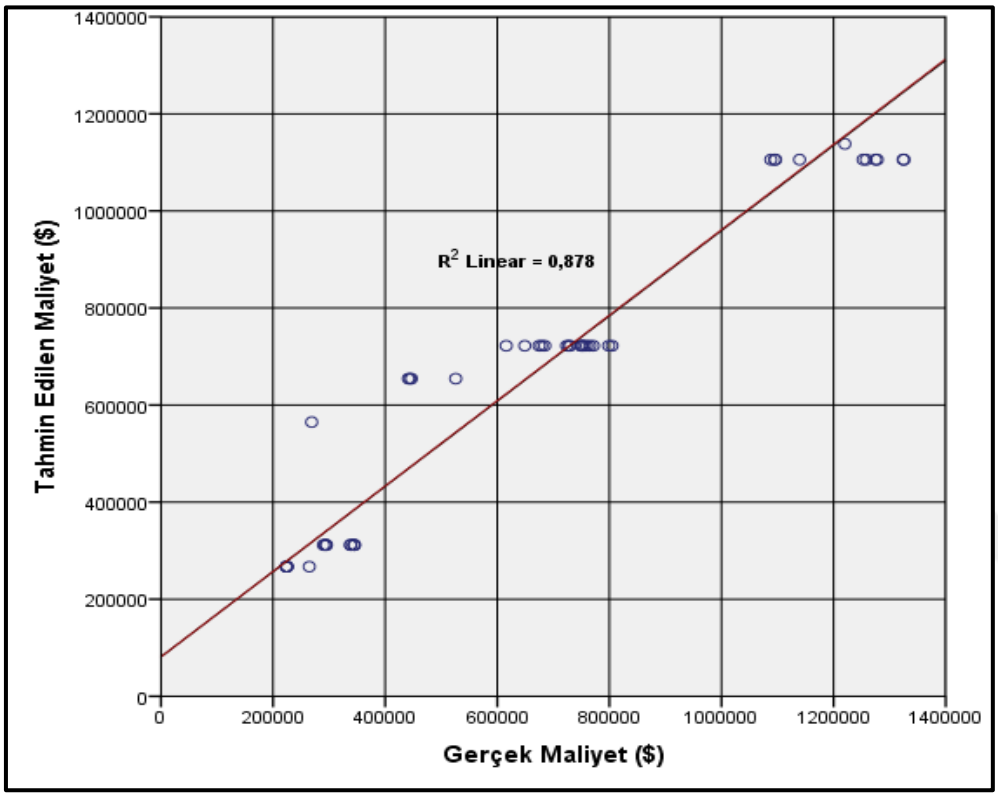


Şekil 4.57. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.57 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde toplanmadığı ve gerçek maliyet değerlerini nispeten zayıf bir şekilde tahmin ettiği açıkça görülebilmektedir. Bu durum, regresyon denklemi içerinde yer alan parametrelerin birlikte kullanılmasıyla elde edilen regresyon denklemiyle yapılan maliyet tahmininin, gerçek maliyeti yeterince doğru bir şekilde belirleyemediğini göstermektedir.

Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – maliyet ilişkisi

Eğitim yapılarında, bölge imar durumuna göre yapı yüksekliği, okul kullanım amacına göre bodrum kat yüksekliği ve yürürlükte olan yönetmeliklere bağlı olarak okul içinde bulunan ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü tespit etmek amacıyla RA yapılmış ve ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 4.58'de verilmiştir.



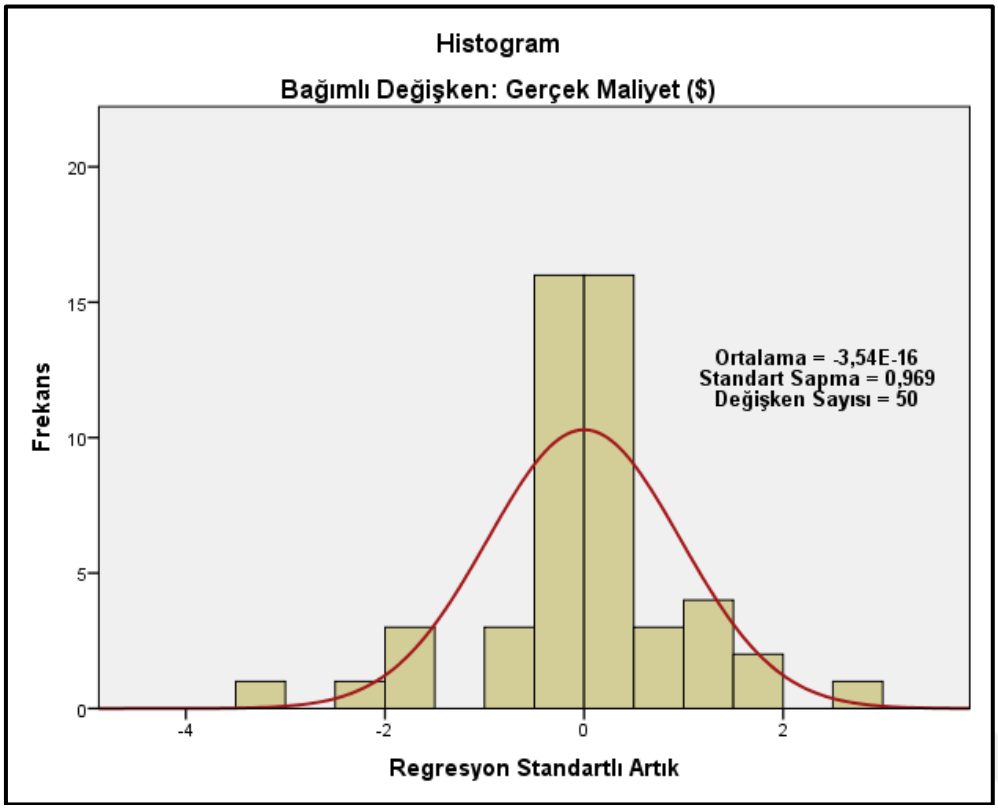
Şekil 4.58. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

RA sonucunda oluşturulan regresyon denklemi Eş. 4.20'de gösterilmiş ve R^2=0,878 olarak hesaplanmıştır.

$$TM = -205973{,}584 + 13567{,}109 \times H + 90262{,}379 \times BKY + 383483{,}942 \times AMS \qquad (4.20)$$

Eş. 4.20'de "H" parametresi yapı yüksekliğini (m), "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m), "AMS" parametresi okul içindeki ana merdiven sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.

RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi, Şekil 4.59'da sunulmuştur.

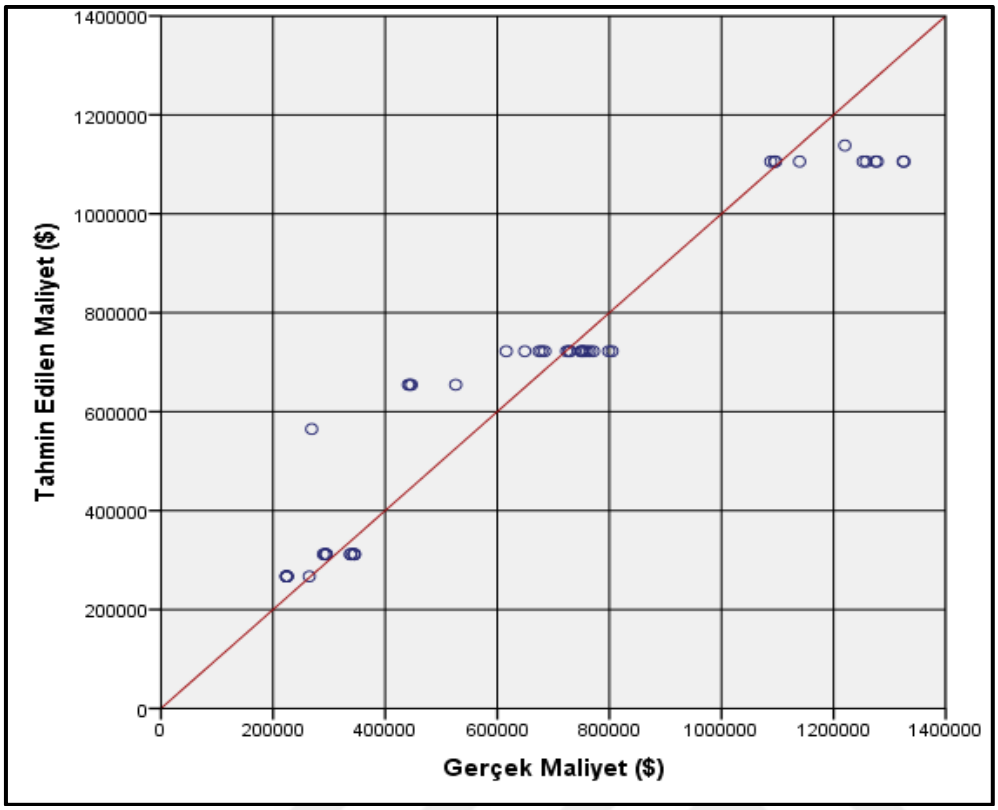


Şekil 4.59. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven Sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.59 incelediğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünün iyi bir seviyede olduğunu göstermektedir.

Eş. 4.20'de verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.60'ta sunulmuştur.

Şekil 4.60 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi çevresinde yoğunlaştığı açıkça görülebilmektedir. Bu durum, regresyon analizi sonucunda elde edilen regresyon denkleminin tahmin yeteneğinin yüksek olduğunu ve tahmin edilen maliyetlerin, gerçek maliyetleri başarılı bir şekilde belirleyebildiğini göstermektedir.



Şekil 4.60. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

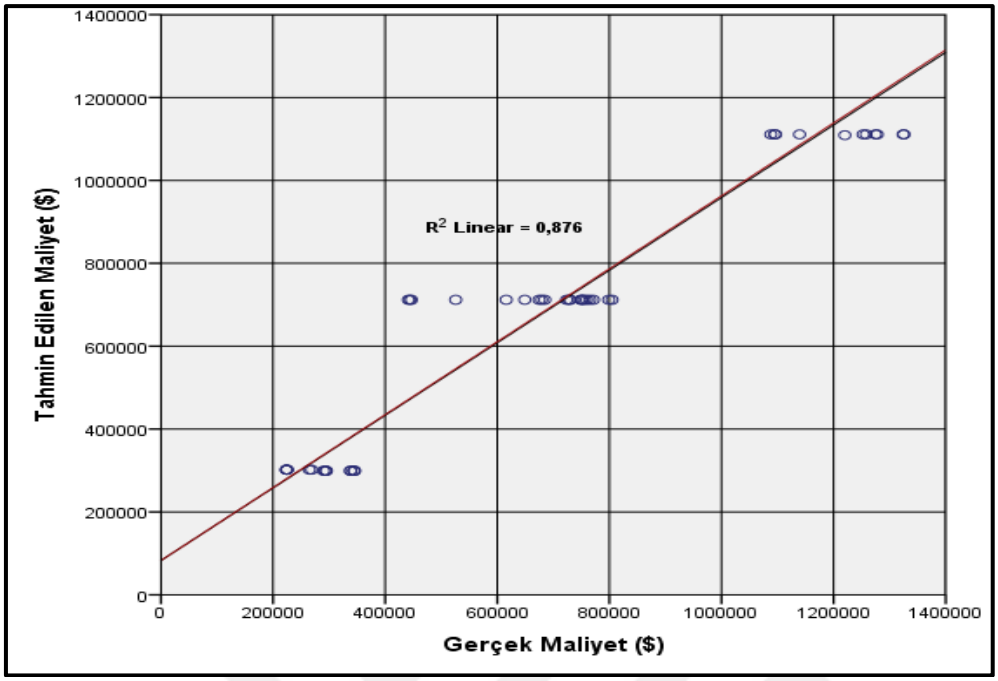
<u>Yapı yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – maliyet ilişkisi</u>

Eğitim yapılarında, bölge imar durumuna göre yapı yüksekliği, proje durumu, insan yükü hesabı ve yürürlükte olan yönetmenlikler doğrultusunda asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 4.61'de verilmiştir.

RA sonucunda elde edilen regresyon denklemi, Eş. 4.21'de gösterildiği şekilde oluşmuş ve R^2=0,876 olarak belirlenmiştir.

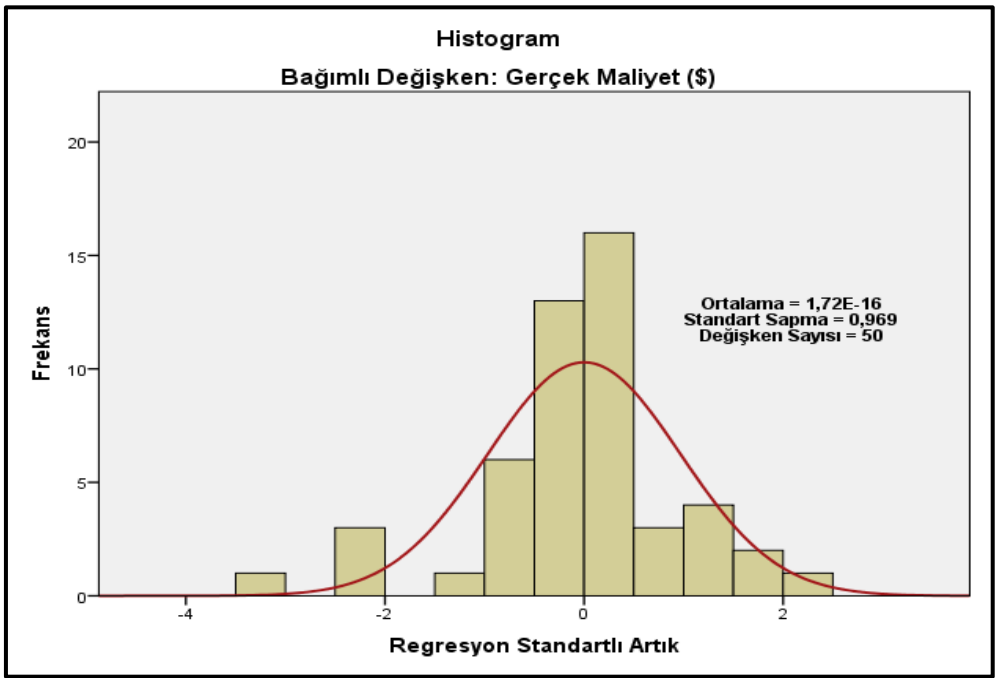
$$TM = -91983{,}457 - 796{,}268 \times H + 415233{,}523 \times AS + 399134{,}848 \times AMS \qquad (4.21)$$

Eş. 4.21'de "H" parametresi yapı yüksekliğini (m), "AS" parametresi asansör sayısını (ad), "AMS" parametresi okul iç ana merdiven sayısını (ad), ve "TM" tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.



Şekil 4.61. Yapı yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

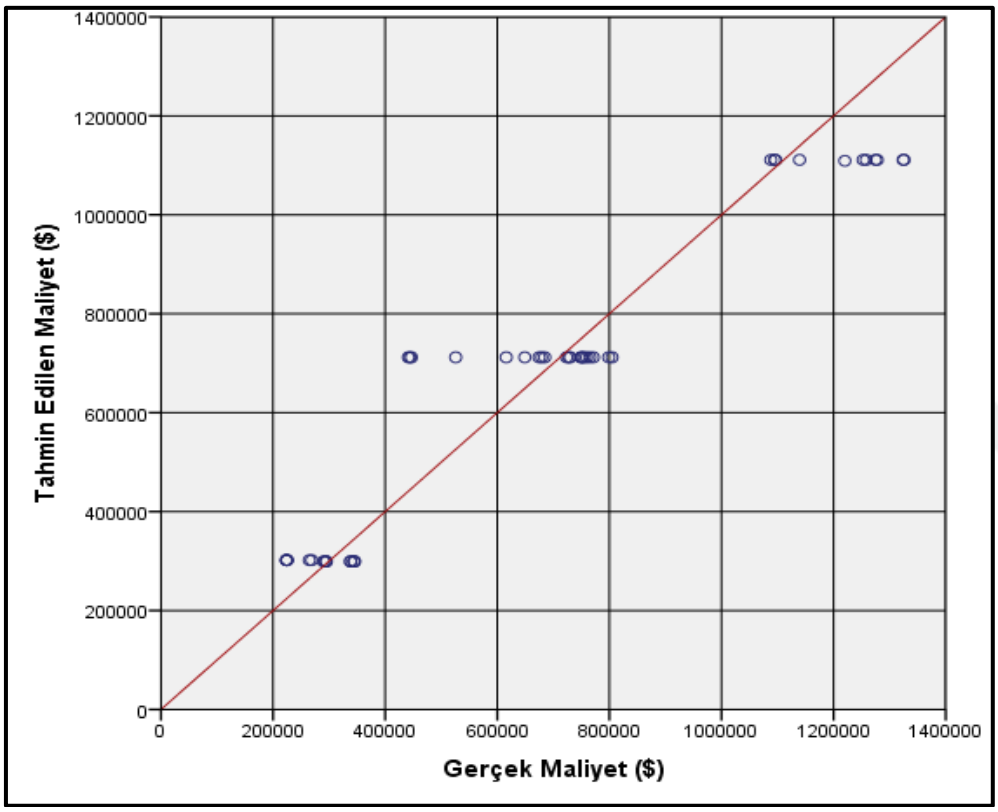
RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi, Şekil 4.62'de sunulmuştur.



Şekil 4.62. Yapı yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı- gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.62 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun olarak dağıldığı görülmektedir. Bu durum, yapı yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünün iyi bir seviyede olduğunu göstermektedir. Regresyon modeli ile elde edilen maliyet tahminleri, gerçek maliyet değerlerini başarılı bir şekilde belirleyebilmektedir.

Eş. 4.21'de verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.63'te sunulmuştur.

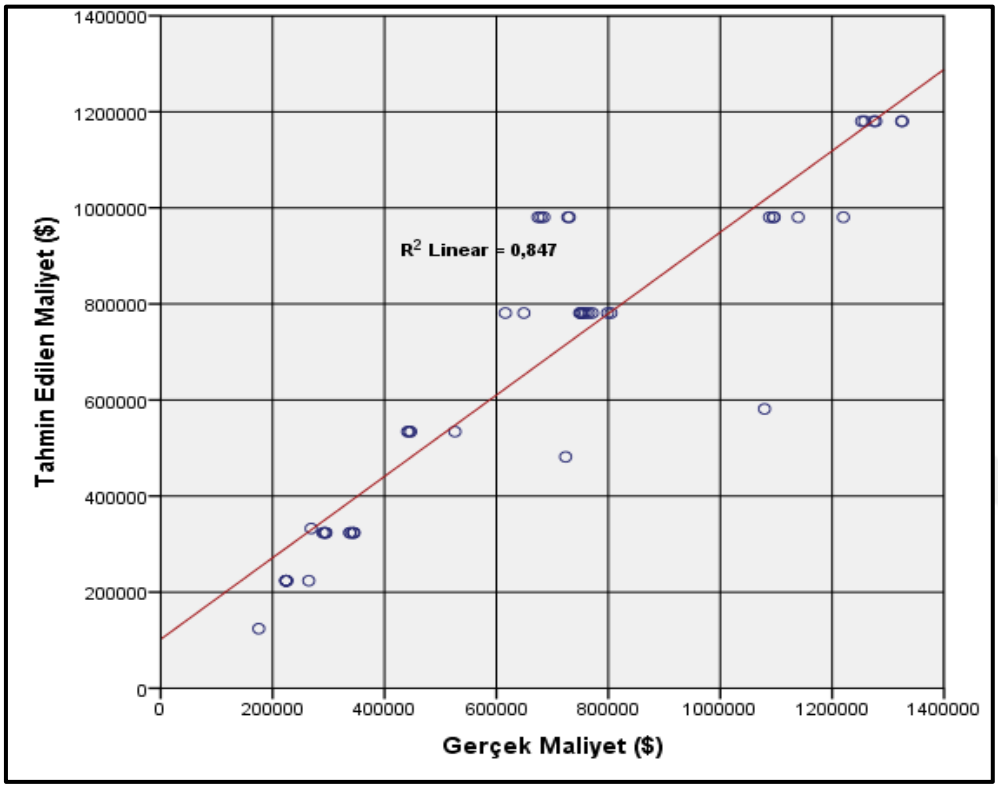


Şekil 4.63. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.63 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini iyi bir şekilde tahmin edebildiği görülebilmektedir. Bu sonuç, regresyon denklemi ile yapılan maliyet tahminlerinin güvenilir seviyede olduğunu ve analizde kullanılan parametrelerin gerçek maliyet değerlerini belirlemede güçlü birer parametre olduğunu göstermemektedir.

Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı – maliyet ilişkisi

Eğitim yapılarında, ihtiyaç programına göre belirlenen derslik sayısı, okul kullanım amacına bağlı olarak belirlenen bodrum kat yüksekliği ve proje durumu ile insan yükü hesabına istinaden belirlenen asansör sayısı arasındaki ilişkinin gerçek maliyet üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla RA yapılmış ve ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 4.64'te sunulmuştur.



Şekil 4.64. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

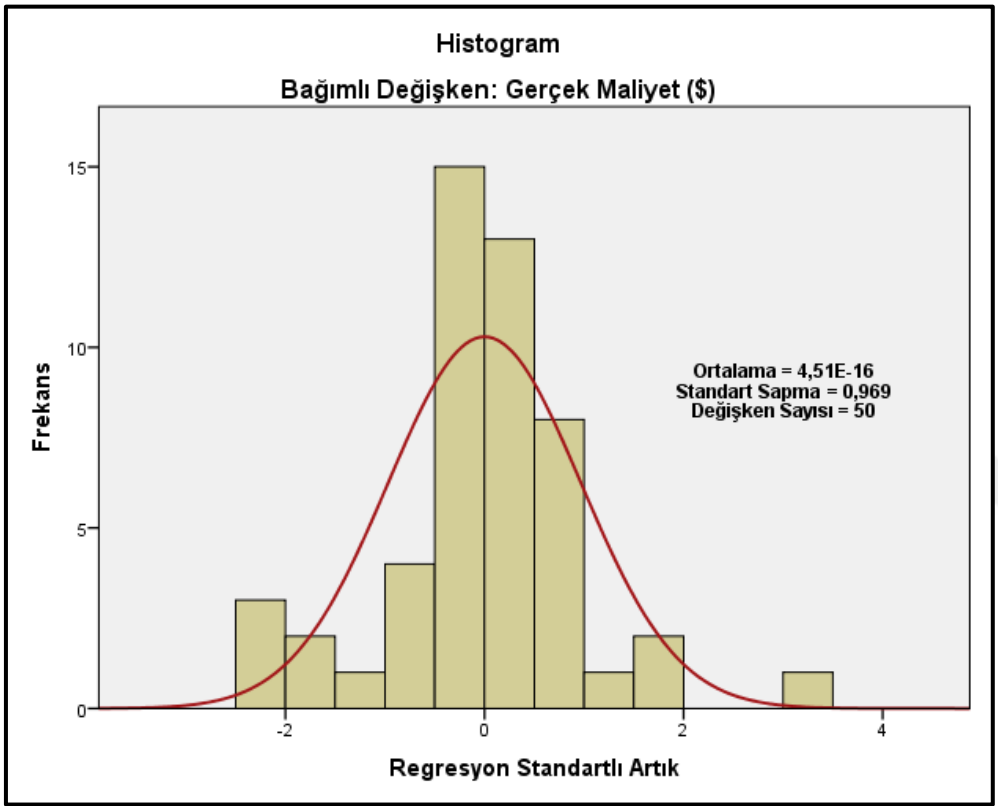
RA sonucunda, regresyon denklemi Eş. 4.22'de gösterildiği şekilde oluşmuş ve R^2=0,847 olarak belirlenmiştir.

$$TM = 24240{,}619 + 24949{,}478 \times DS + 63112{,}460 \times BKY - 97594{,}411 \times AS \quad (4.22)$$

Eş. 4.22'de "DS" parametresi derslik sayısını (ad), "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m), "AS" parametresi asansör sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.

Bu sonuçlar, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı ile gerçek maliyet arasında güçlü bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Regresyon analizi, bu parametrelerin tahmin edilen maliyet üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ve regresyon denkleminin gerçek maliyeti iyi bir şekilde belirleyebildiğini ortaya koymaktadır.

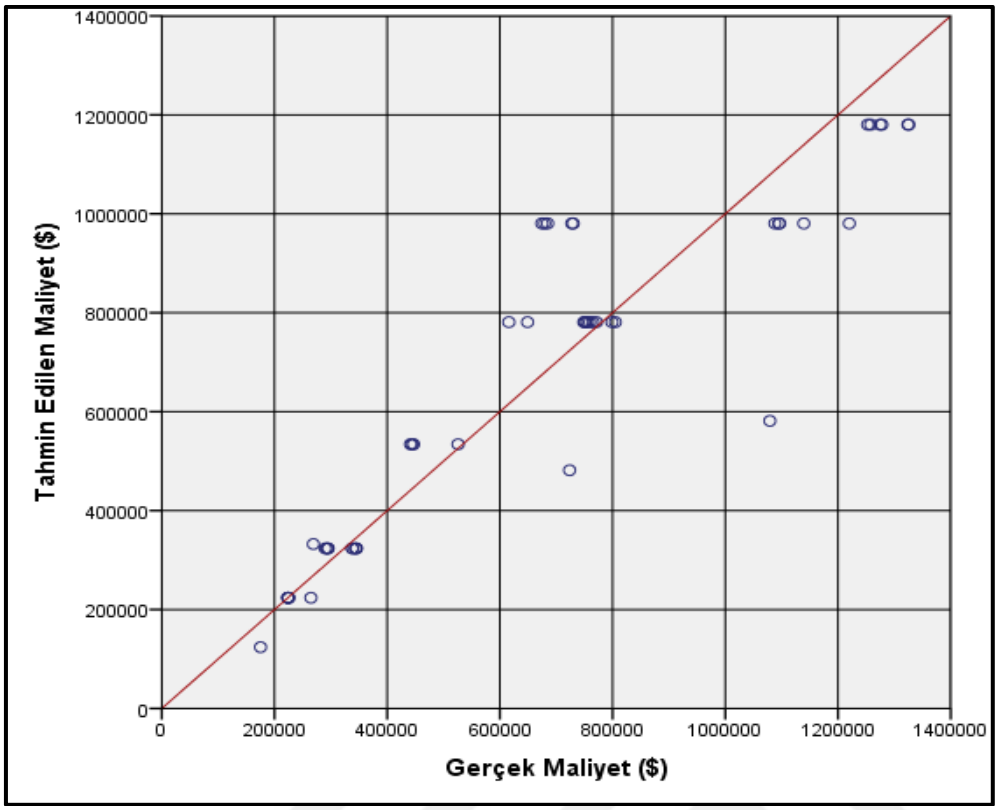
RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi, Şekil 4.65'te sunulmuştur.



Şekil 4.65. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Eş. 4.22'de verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.66'da sunulmuştur.

Şekil 4.66 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerine yakın bir şekilde tahminler yapıldığı gözlemlenmektedir. Bu durum, regresyon denklemi ile elde edilen tahminlerin gerçek maliyet değerlerine oldukça yakın olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.66. Gerçek maliyet ile derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

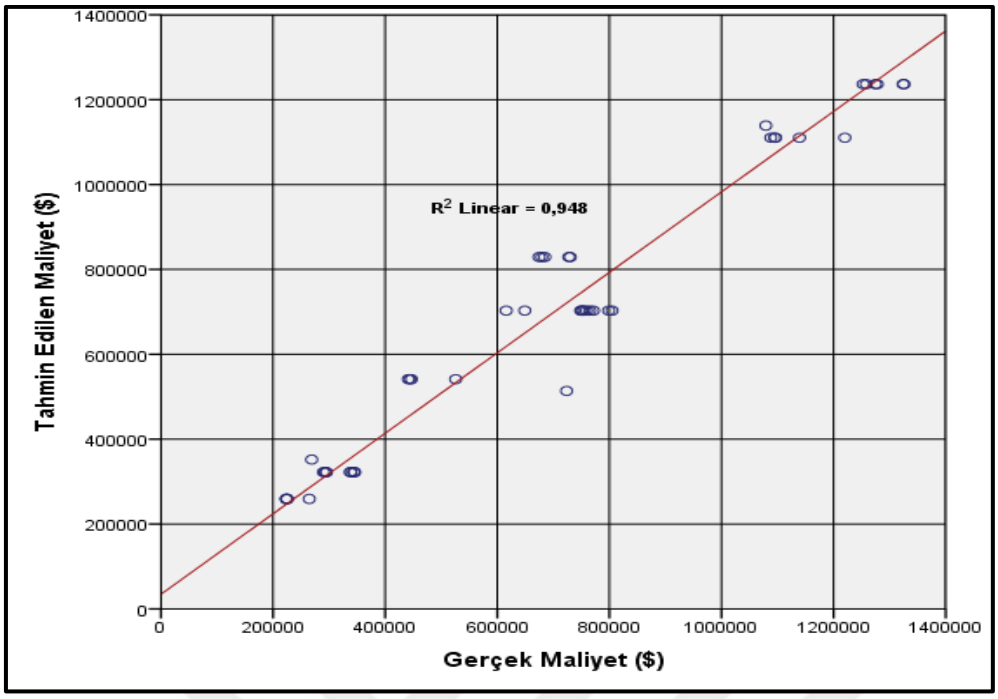
<u>Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – maliyet ilişkisi</u>

Eğitim yapılarındaki derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı değişkenleri ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve oluşan regresyon grafiği Şekil 4.67'de verilmiştir.

RA sonucuna göre, regresyon denklemi Eş. 4.23'te gösterildiği şekilde oluşmuş ve R^2=0,948 olarak belirlenmiştir.

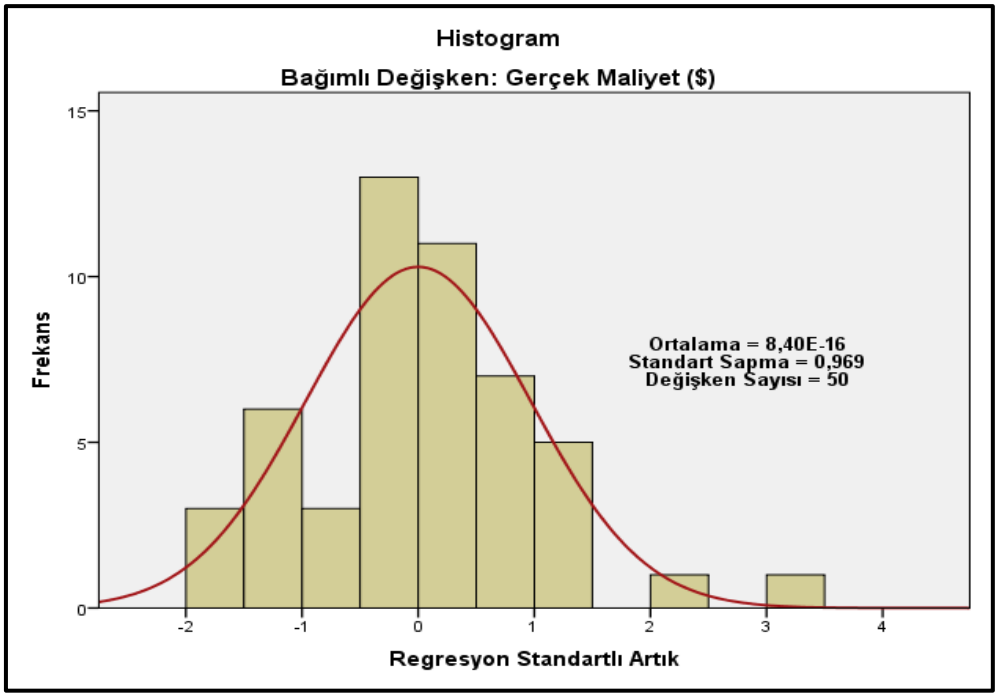
$$TM = -148154{,}137 + 15777{,}217 \times DS + 47251{,}381 \times BKY + 281125{,}100 \times AMS \qquad (4.23)$$

Eş. 4.23'te "DS" parametresi derslik sayısını (ad), "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m), "AMS" parametresi okul iç ana merdiven sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.



Şekil 4.67. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi, Şekil 4.68'de sunulmuştur.

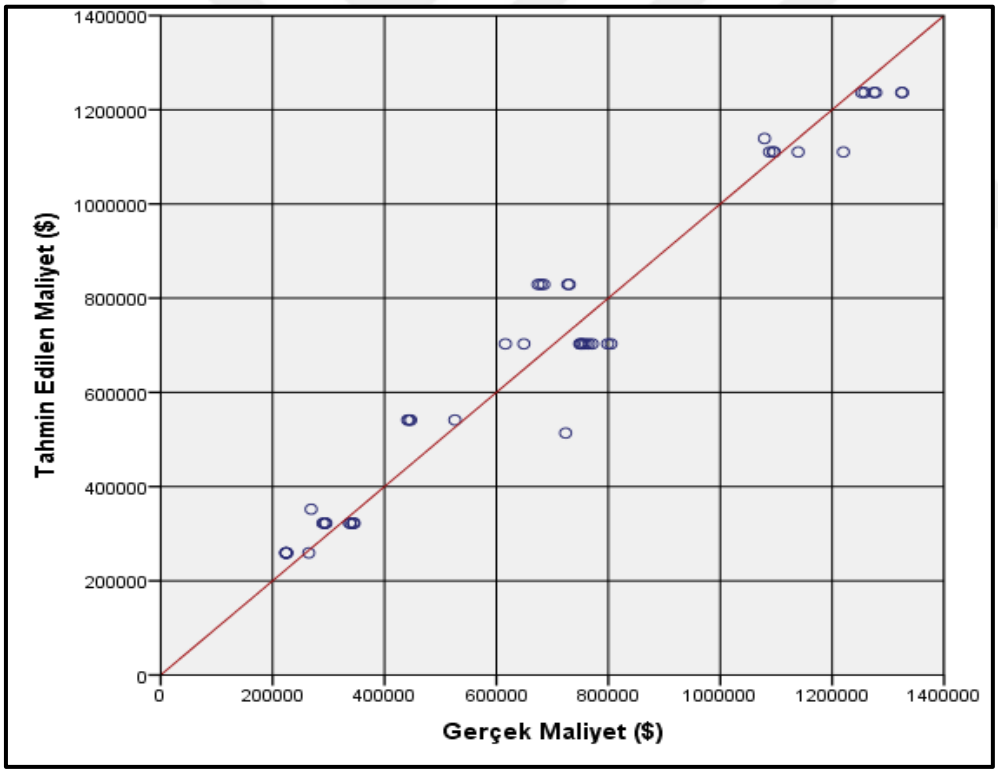


Şekil 4.68. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.68'de hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı açıkça görülmektedir. Bu durum, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı gibi parametrelerin gerçek maliyetle olan ilişkisinin çok iyi bir düzeyde olduğunu göstermektedir.

Yapılan üç değişkenli doğrusal regresyon analizleri arasında, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki analiz, en yüksek regresyon katsayısını veren ve gerçek maliyeti en iyi tahmin eden analiz olarak ortaya çıkmıştır.

Eş. 4.23'te verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.69'da sunulmuştur.

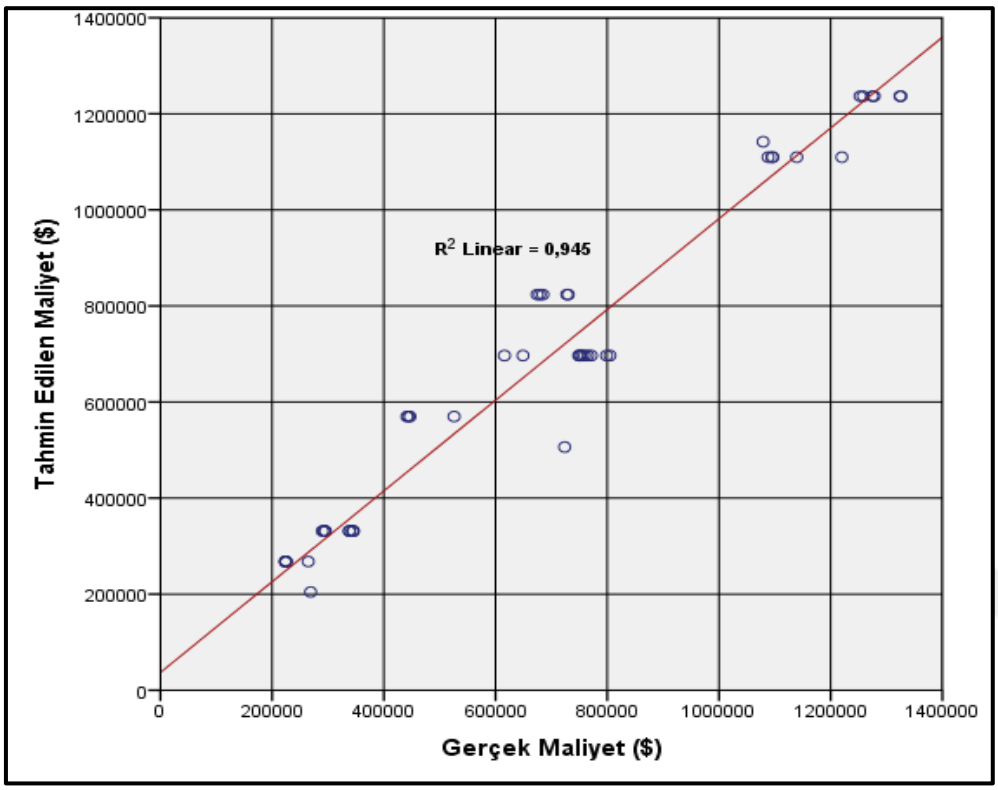


Şekil 4.69. Gerçek maliyet ile derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.69 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerine oldukça yakın tahminler yapıldığı gözlemlenmektedir.

Derslik sayısı, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – maliyet ilişkisi

Derslik sayısı, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametrelerinin gerçek maliyetle olan ilişkisini belirlemek amacıyla RA gerçekleştirilmiş ve ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 4.70'te verilmiştir.



Şekil 4.70. Derslik sayısı, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

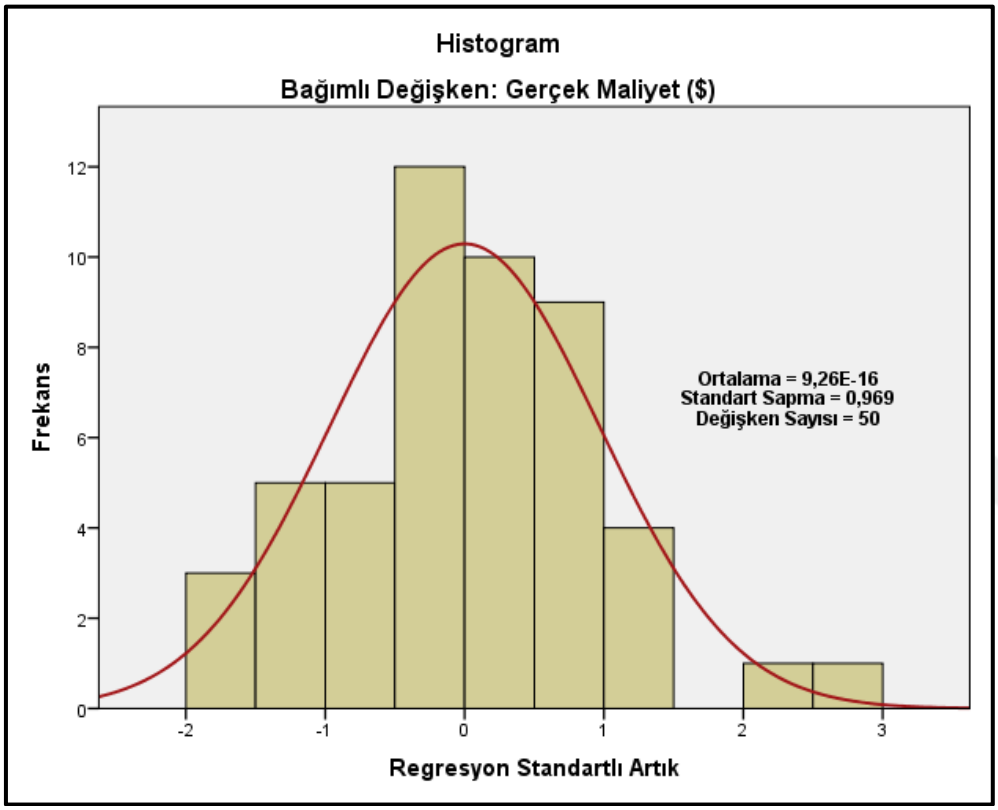
RA sonucunda oluşturulan regresyon denklemi Eş. 4.24'te gösterilmiş ve R^2=0,945 olarak hesaplanmıştır.

$$TM = -145123{,}940 + 15871{,}202 \times DS + 174935{,}742 \times AS + 286019{,}124 \times AMS \qquad (4.24)$$

Eş. 4.24'te "DS" parametresi derslik sayısını (ad), "AS" parametresi asansör sayısını (ad), "AMS" parametresi okul iç ana merdiven sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.

Bu analiz, eğitim yapılarında derslik sayısı, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametrelerinin gerçek maliyetle güçlü bir ilişki içerisinde olduğunu göstermektedir. Elde edilen yüksek R^2 değeri, regresyon denkleminin gerçek maliyeti büyük bir doğrulukla tahmin edebildiğine işarettir.

RA sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.71'de gösterilmiştir.

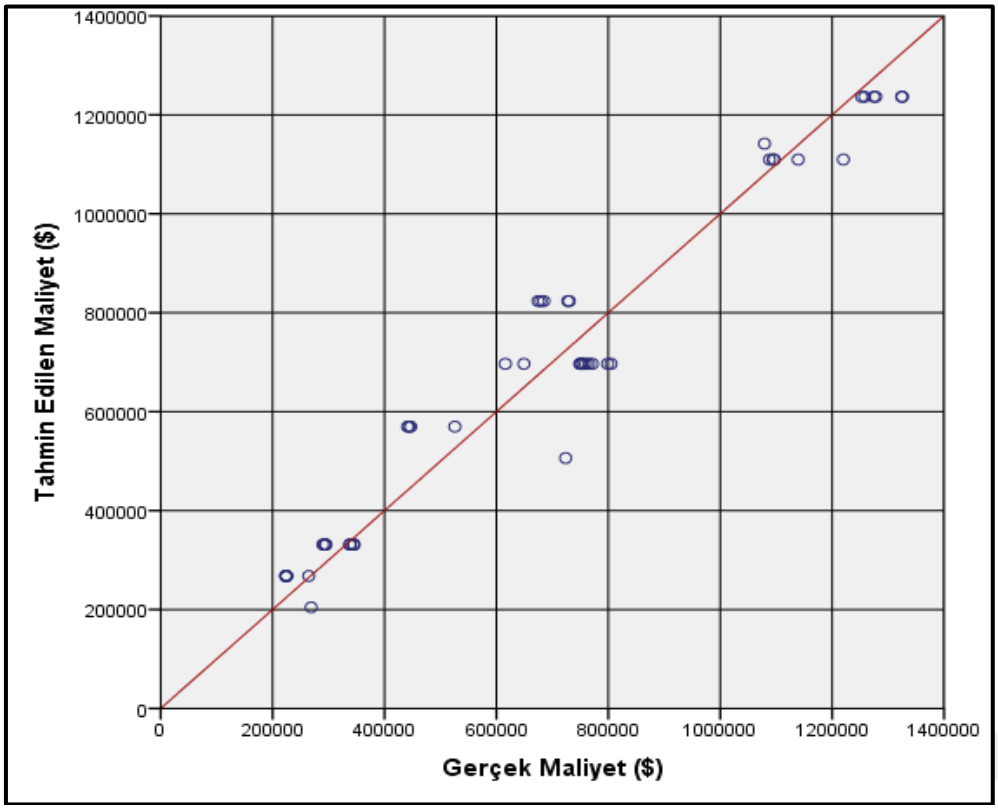


Şekil 4.71. Derslik sayısı, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.71 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı gözlemlenmektedir. Ayrıca, üç değişkenli doğrusal RA arasında ikinci en yüksek regresyon katsayısını veren ve gerçek maliyeti en iyi tahmin eden analiz, derslik sayısı, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametrelerinin kullanıldığı analiz olmuştur.

Sonuçta, bu üç değişkenin gerçek maliyet tahmininde önemli bir rol oynadığını ve bu parametrelerin maliyet planlaması ve yapı tasarımı süreçlerinde dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Eş. 4.24'te verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve ortaya çıkan grafik Şekil 4.72'de verilmiştir.



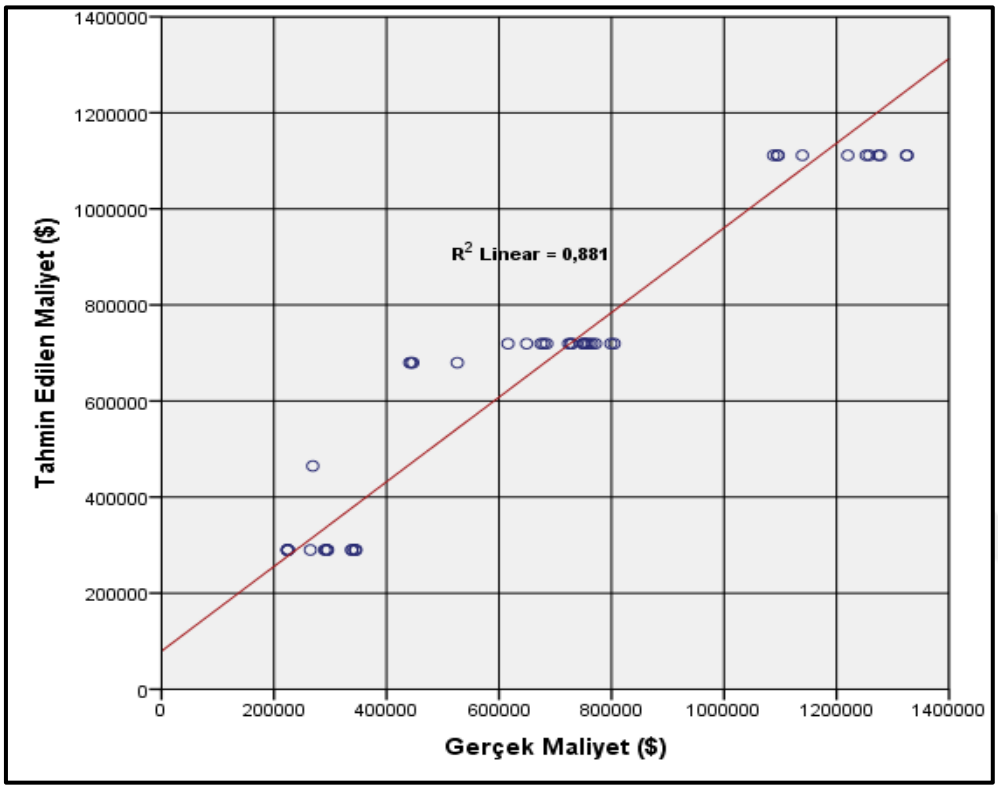
Şekil 4.72. Gerçek maliyet ile derslik sayısı, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.72 detaylı bir şekilde incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini doğruya yakın bir şekilde tahmin edebildiği görülmektedir.

Bu sonuçlar, regresyon denklemi ile tahmin edilen maliyetin, gerçek maliyet ile güçlü bir ilişki içinde olduğunu ortaya koymaktadır. Tahmin edilen maliyet değerleri, gerçek maliyet değerlerine oldukça yakın bir doğrulukla eşleşmektedir. Bu durum, regresyon analizinin, maliyet tahmini yapılmasında güvenilir bir araç olduğunu ve kullanılan parametrelerin gerçek maliyetin doğru bir şekilde tahmin edilmesinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bu bilgi, maliyet planlaması, bütçe oluşturma ve kaynak yönetimi gibi karar verme süreçlerinde kullanılabilir ve projelerin maliyetinin etkili bir şekilde tahmin edilmesine yardımcı olabilir.

Bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – maliyet ilişkisi

Eğitim yapılarında, okulun kullanım amacına göre bodrum kat yüksekliği, insan yükü hesabına istinaden asansör sayısı ve yürürlükte olan yönetmeliklere bağlı olarak okul içindeki ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA gerçekleştirilmiş ve ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 4.73'te verilmiştir.



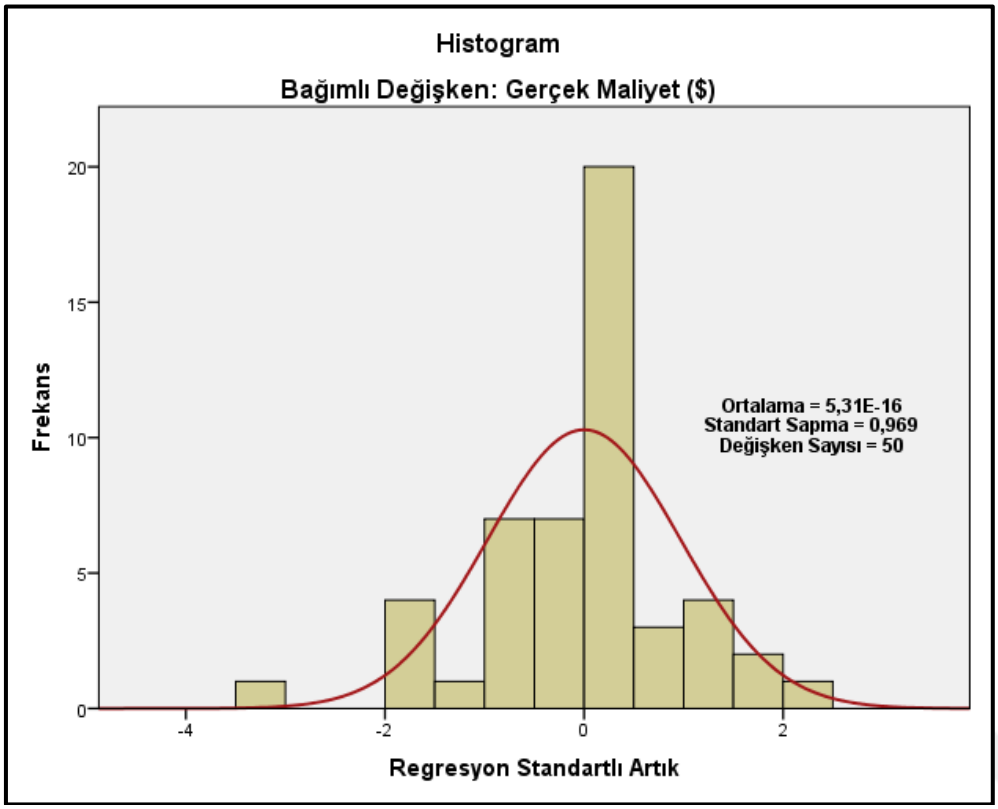
Şekil 4.73. Bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

Bu analiz sonucunda elde edilen regresyon denklemi Eşitlik 4.25'te gösterilmiş ve R^2=0,881 olarak hesaplanmıştır.

$$TM = -101980{,}079 + 52955{,}645 \times BKY + 215039{,}367 \times AS + 391936{,}487 \times AMS \quad (4.25)$$

Eşitlik 4.25'te "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m), "AS" parametresi asansör sayısını (ad), "AMS" parametresi okul içindeki ana merdiven sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.

RA sonucunda ortaya çıkan hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.74'de gösterilmiştir.

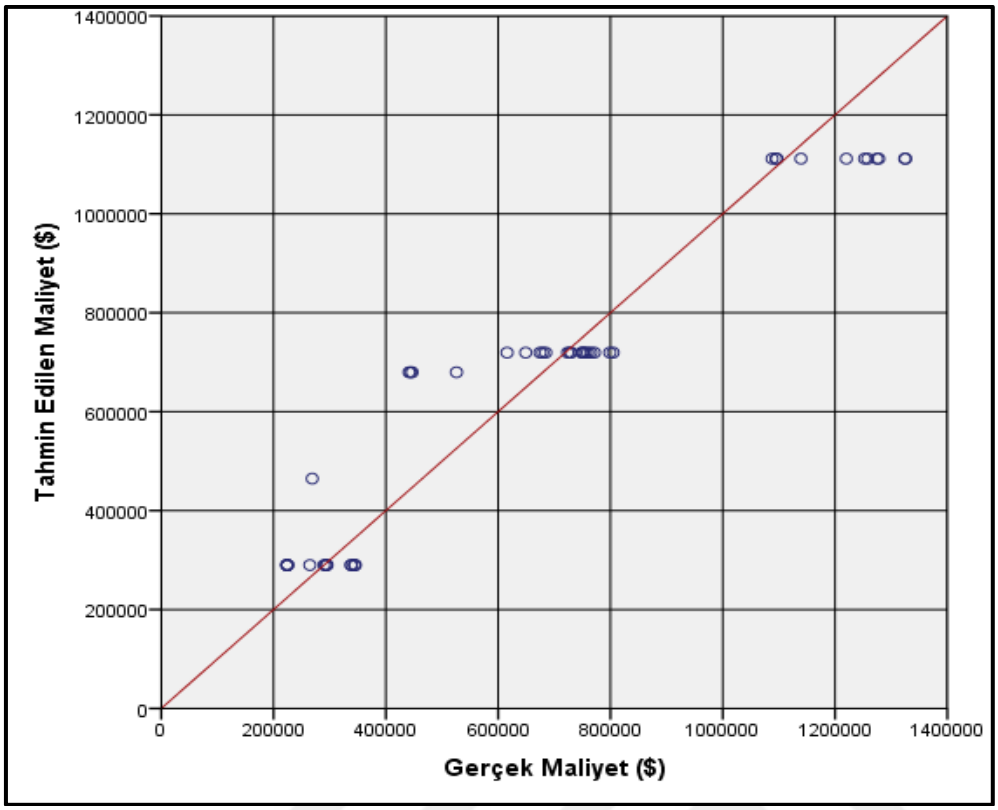


Şekil 4.74. Bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.74'ün incelenmesi sonucunda, nispeten hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünün nispeten iyi bir seviyede olduğunu göstermektedir.

Eş. 4.25’te verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve ortaya çıkan grafik Şekil 4.75’te verilmiştir.

Şekil 4.75 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini nispeten yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir.



Şekil 4.75. Gerçek maliyet ile bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

4.3.4. Dört değişkenli doğrusal regresyon analizleri

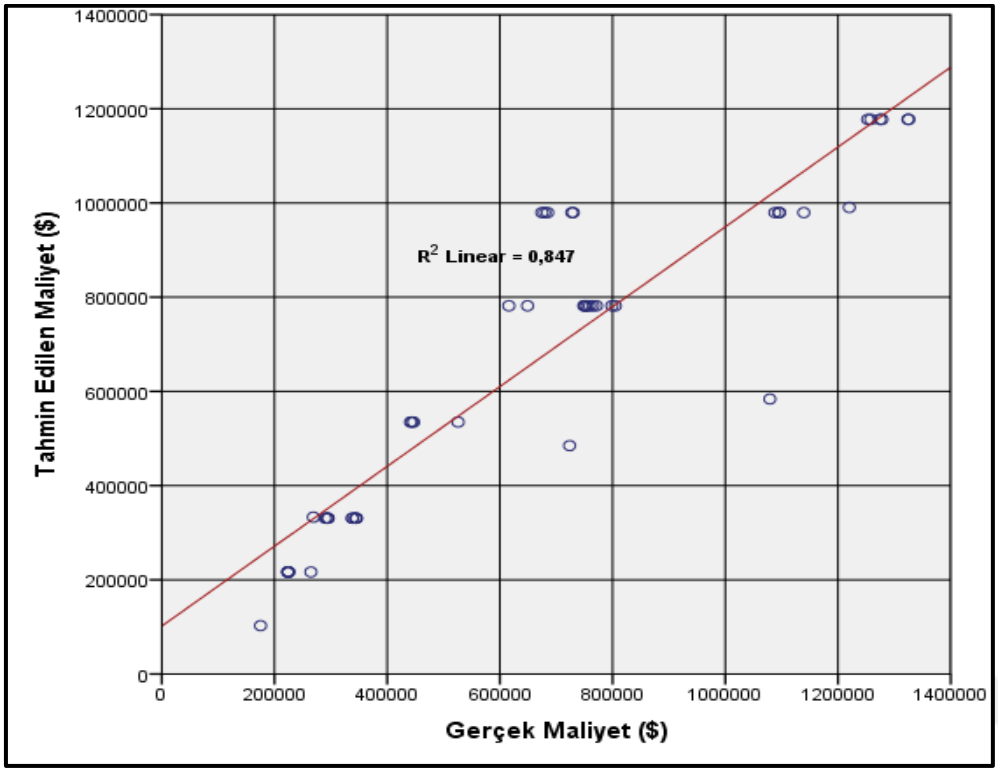
<u>Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı– maliyet ilişkisi</u>

Eğitim yapılarında, bölge imar durumuna bağlı olarak yapı yüksekliği, ihtiyaç programına göre belirlenen derslik sayısı, proje özelliklerine bağlı olarak bodrum kat yüksekliği ve insan yükü hesaplamalarına dayalı olarak asansör sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve oluşan regresyon grafiği Şekil 4.76'da gösterilmiştir.

Bu analiz sonucunda elde edilen regresyon denklemi Eşitlik 4.26'da gösterilmiş ve R^2=0,847 olarak hesaplanmıştır.

$$TM=-11579,364+4593,818\times H+24737,285\times DS+65244,684\times BKY-125298,606\times AS \quad (4.26)$$

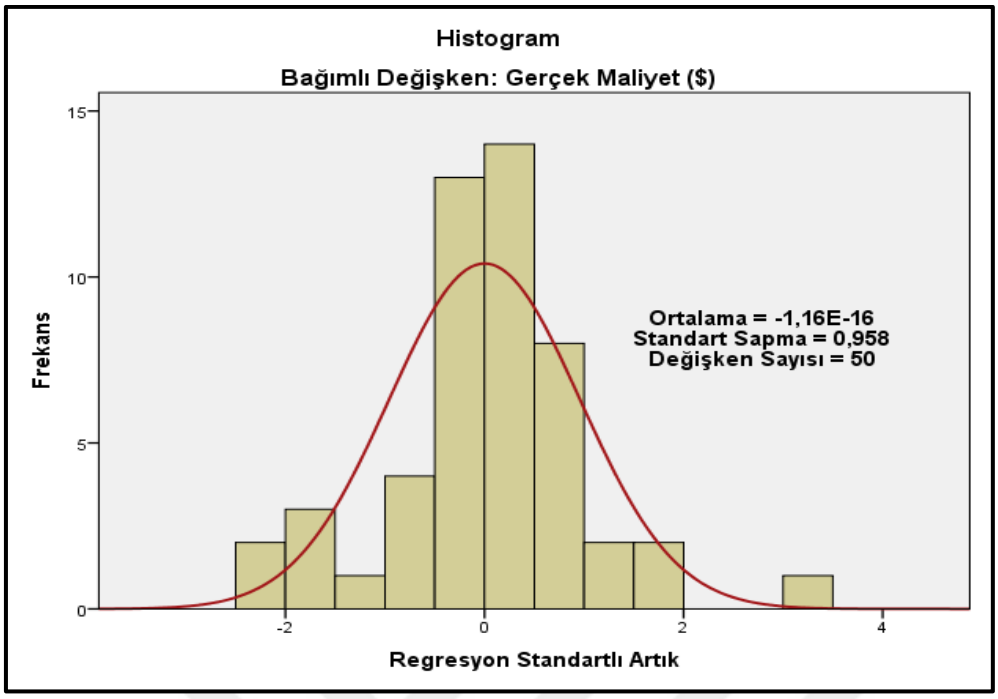
Eşitlik 4.26'da, "H" parametresi yapı yüksekliğini (m), "DS" parametresi derslik sayısını (ad), "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m), "AS" parametresi asansör sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.



Şekil 4.76. Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

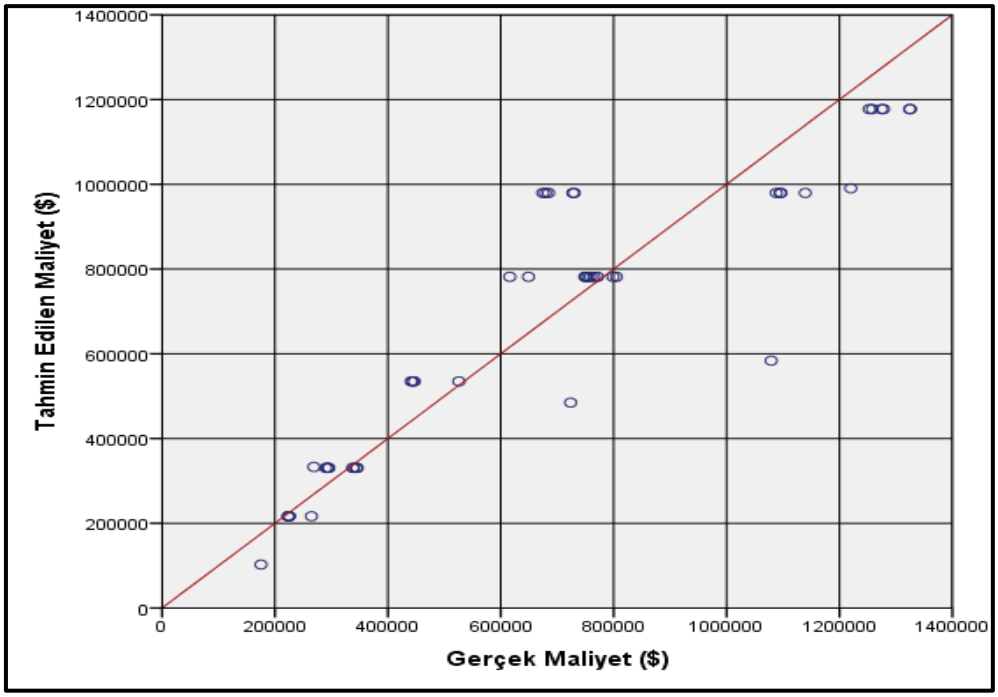
Bu analizle, yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı gibi değişkenlerin gerçek maliyetle arasında nispeten güçlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Yapılan regresyon analizi, bu değişkenlerin tahmin edilen maliyeti doğruya bir şekilde açıkladığını ve regresyon modelinin güçlü bir ilişki gösterdiğini ortaya koymaktadır. R^2 değeri ise, bu ilişkinin yaklaşık olarak %84,7 düzeyinde açıklanabildiğini göstermektedir.

RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi, Şekil 4.77'de gösterilmiştir. Şekil 4.77 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun olarak dağıldığının gözlemlenmesi, regresyon modelinin tahminlerinin genel olarak nispeten doğruya yakın olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 4.77. Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Eş. 4.26'da verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve ortaya çıkan grafik Şekil 4.78'de verilmiştir.

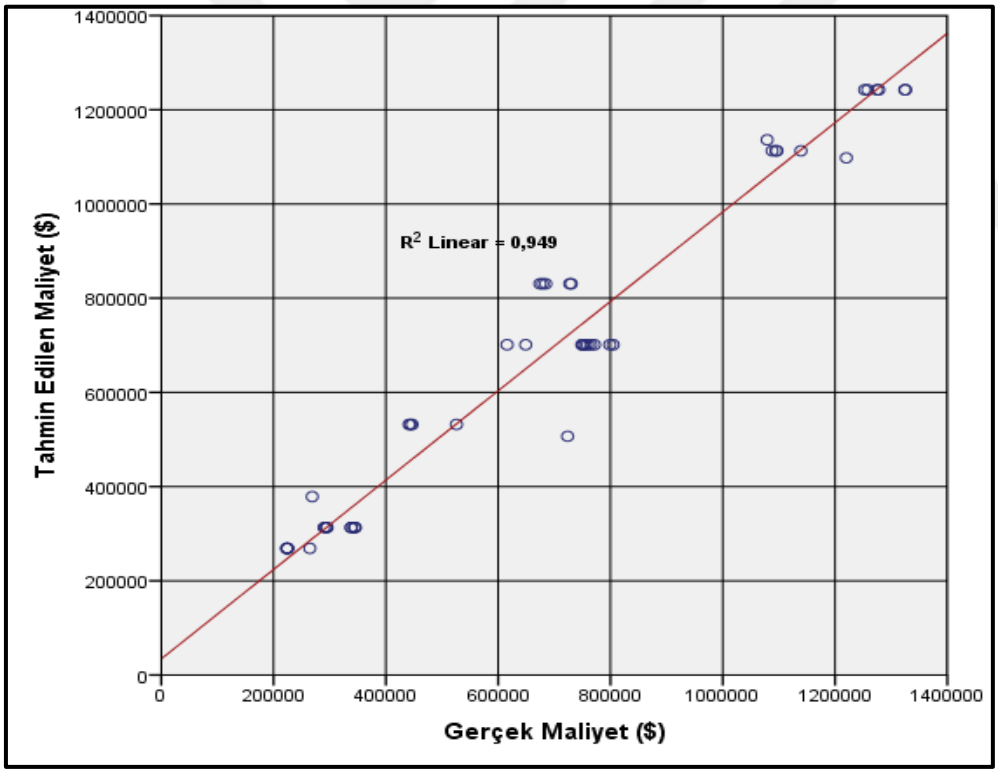


Şekil 4.78. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.78 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında yoğunlaştığı ve gerçek maliyet değerlerini nispeten yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir. Tahmin edilen maliyet değerleri, gerçek maliyetlerle uyumlu bir şekilde dağılım göstermektedir. Bu durum, regresyon modelinin nispeten iyi bir performans sergilediğini ve tahminlerin genel olarak doğru olduğunu göstermektedir.

Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı–maliyet ilişkisi

Eğitim yapılarında, yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve tasarlanan okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve oluşan regresyon grafiği Şekil 4.79'da verilmiştir.



Şekil 4.79. Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

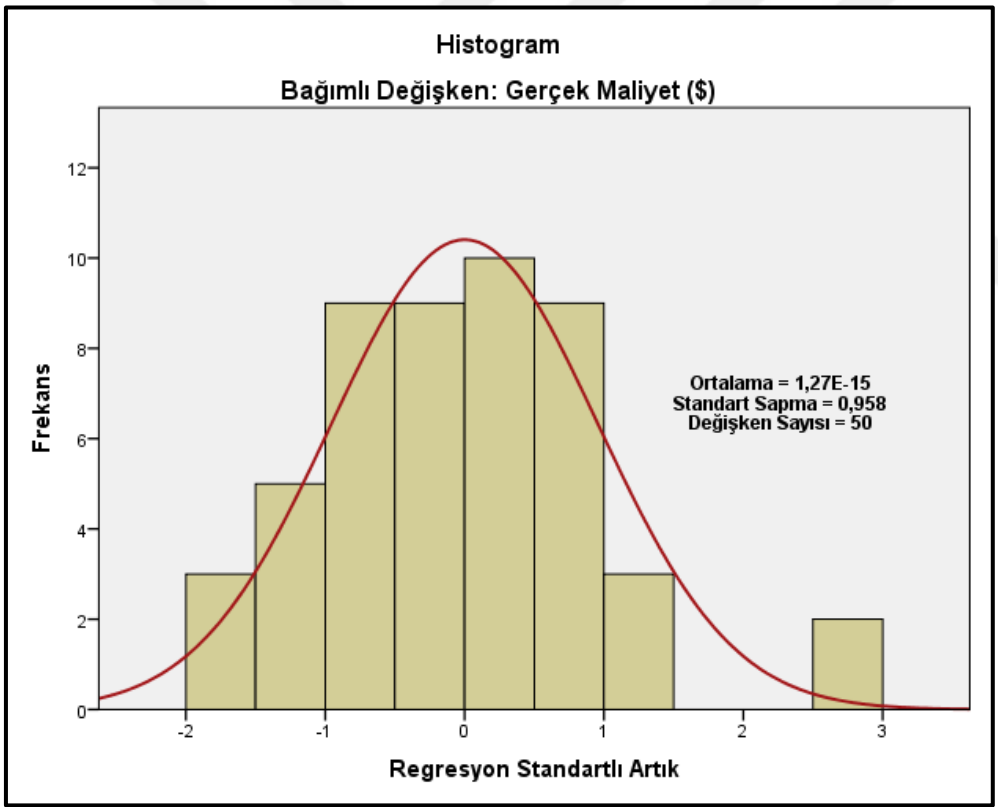
Bu analiz sonucunda elde edilen regresyon denklemi Eşitlik 4.27'de verilmiş ve R^2=0,949 olarak hesaplanmıştır.

$$TM=-101860,682-6230,675\times H+16189,820\times DS+52915,553\times BKY+282312,314\times AMS \quad (4.27)$$

Eş. 4.27'deki denklemde "H" parametresi yapı yüksekliğini (m) temsil ederken, "DS" parametresi derslik sayısını (ad), "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m), "AMS" parametresi okul iç ana merdiven sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) ifade etmektedir.

Bu bulgular, yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı parametrelerinin, gerçek maliyetle oldukça güçlü bir ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir.

RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.80'de gösterilmiştir.

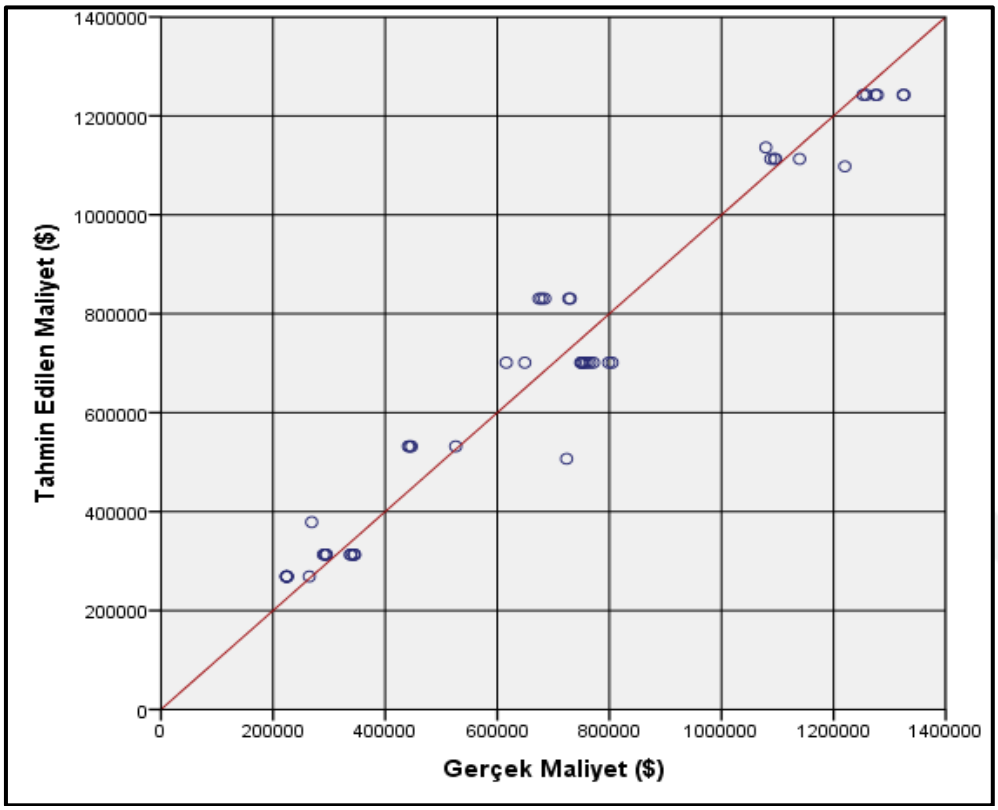


Şekil 4.80. Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.80 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir.

Dört değişkenli doğrusal regresyon analizleri arasında yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri ile gerçek maliyet arasındaki ilişkiyi en iyi açıklayan regresyon katsayısını veren analiz ortaya çıkmıştır.

Eş. 4.27'de verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.81'de verilmiştir.

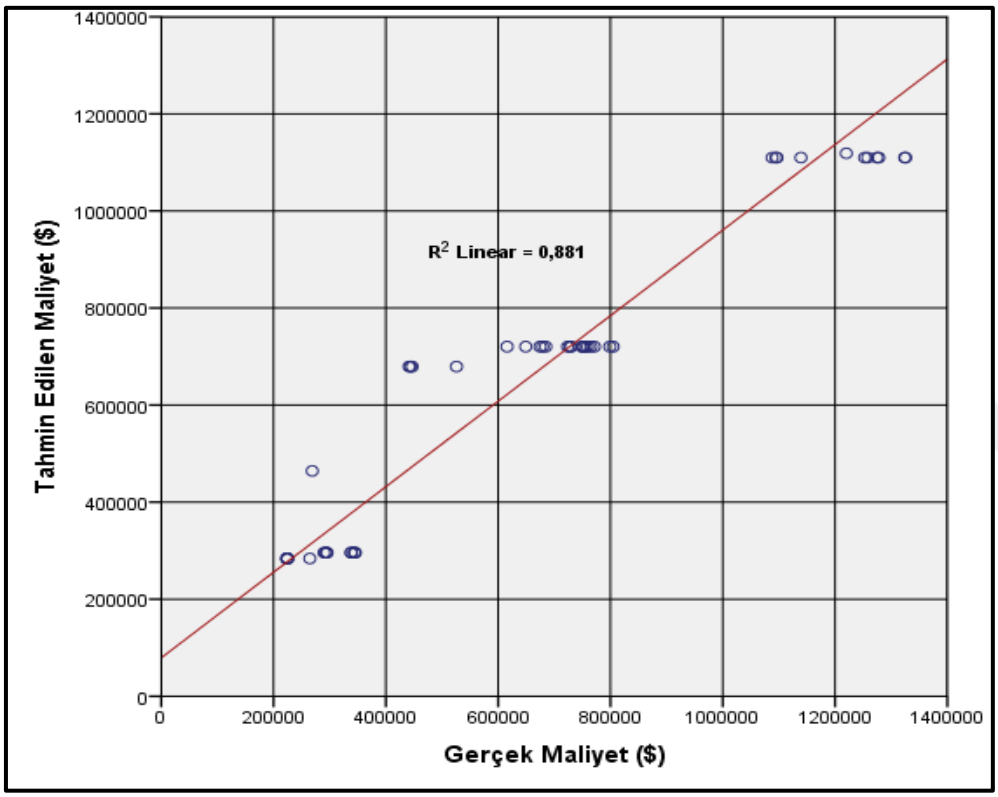


Şekil 4.81. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.81 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında yoğunlaştığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın bir şekilde tahmin ettiği gözlemlenmiştir.

Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı–maliyet ilişkisi

Bölge imar durumuna bağlı olarak yapı yüksekliği, proje özelliklerine göre bodrum kat yüksekliği, insan yükü hesabına istinaden belirlenen asansör sayısı ve mevcut yönetmeliklere uygun olarak tasarlanan okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve oluşan regresyon grafiği Şekil 4.82'de verilmiştir.



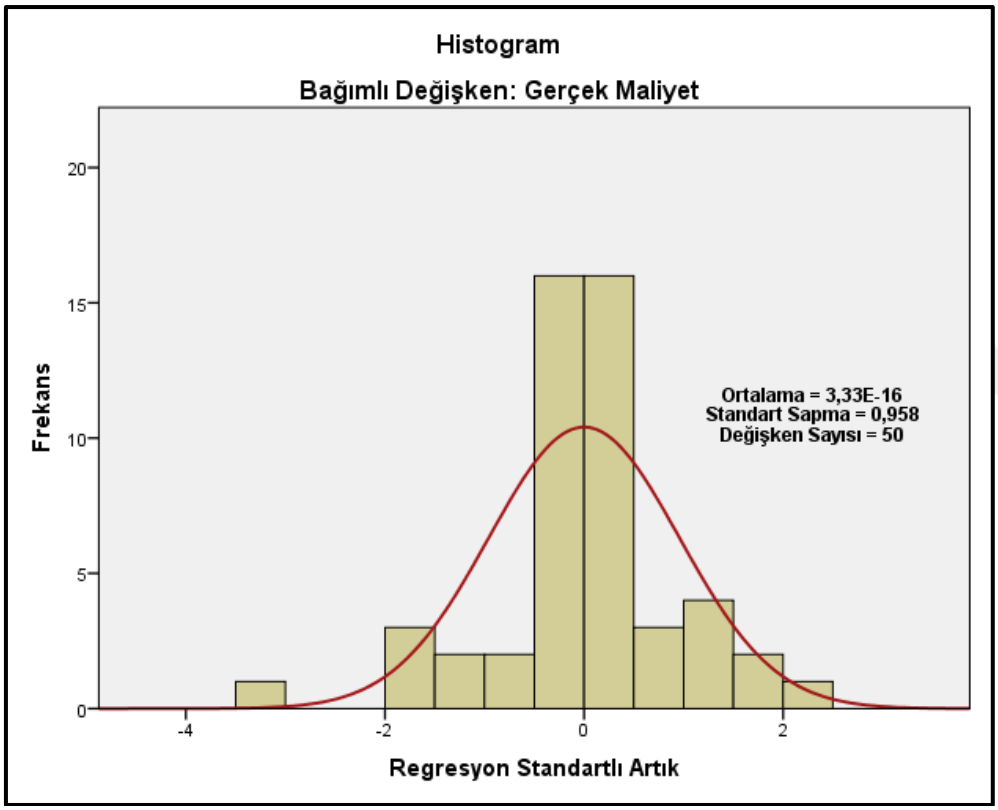
Şekil 4.82. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

RA sonucunda oluşturulan regresyon denklemi Eş. 4.28'de gösterilmiş ve R^2=0,881 olarak hesaplanmıştır.

$$TM=-130066,565+3676,463\times H+54697,102\times BKY+190730,745\times AS+389571,842\times AMS \quad (4.28)$$

Eş. 4.28'de, "H" parametresi yapı yüksekliğini (m), "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m), "AS" parametresi asansör sayısını (ad), "AMS" parametresi okul iç ana merdiven sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.

Bu analiz sonucunda elde edilen regresyon denklemi ve belirlenen R^2 değeri, yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin nispeten güçlü olduğunu göstermektedir.
RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.83'te gösterilmiştir.

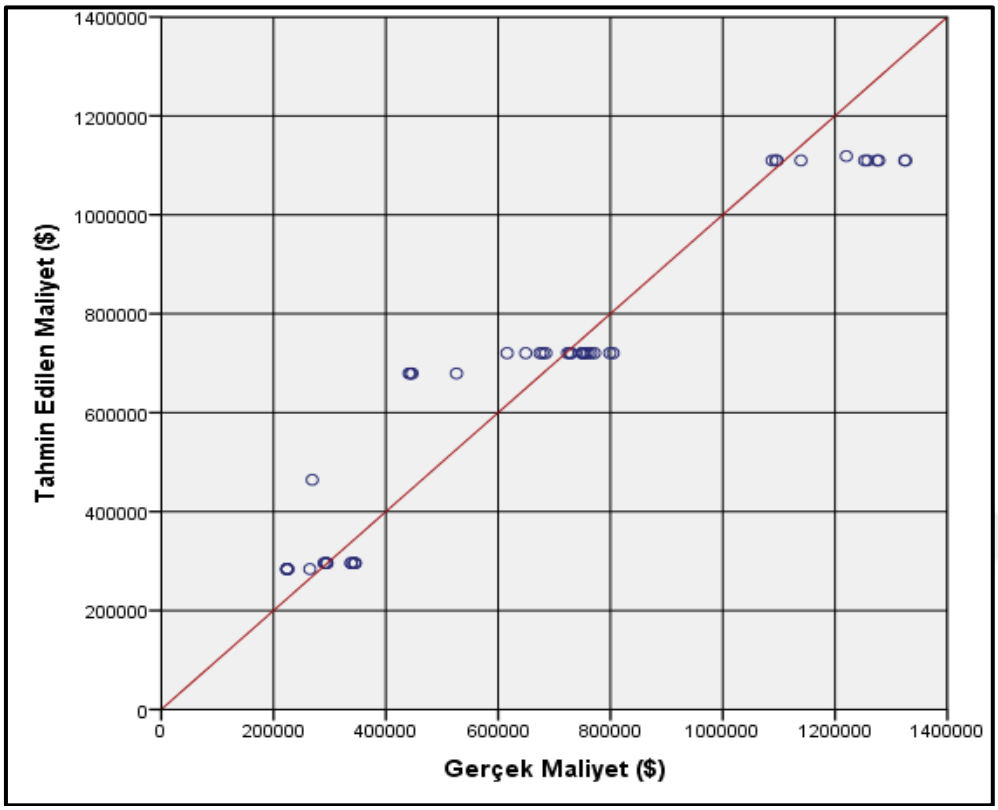


Şekil 4.83. Yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.83 incelediğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin nispeten kuvvetli olduğunu göstermektedir.

Eş. 4.28'de verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.84'te verilmiştir.

Şekil 4.84 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini nispeten iyi bir şekilde tahmin edebildiği görülebilmektedir.



Şekil 4.84. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

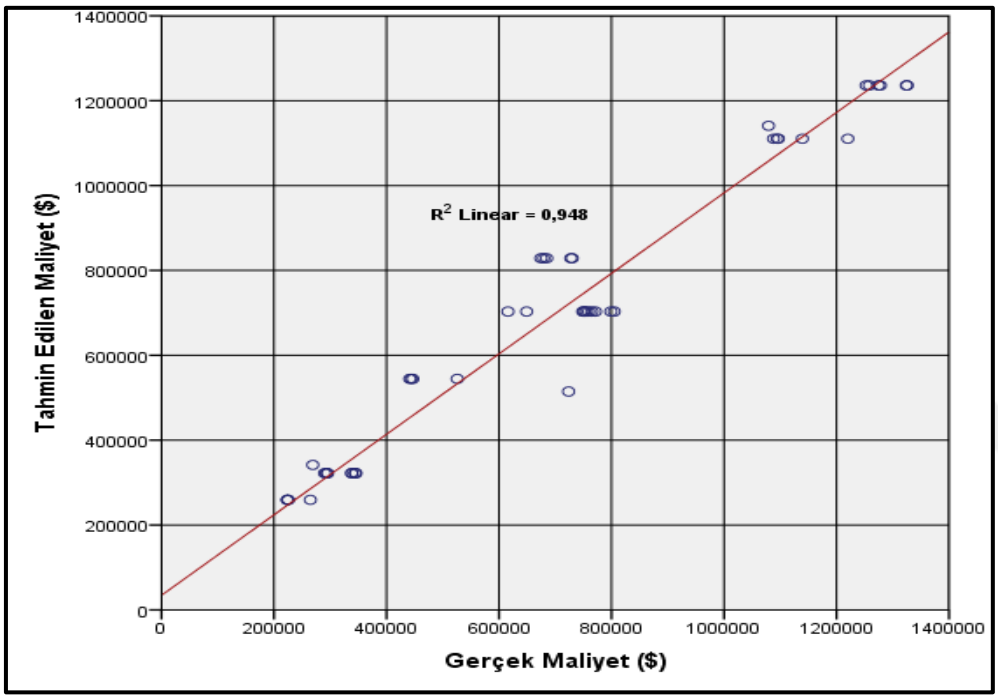
<u>Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı– maliyet ilişkisi</u>

Eğitim yapılarındaki derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametrelerinin gerçek maliyetle olan ilişkisini belirlemek amacıyla RA yapılmış ve ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 4.85'te verilmiştir.

RA sonucunda, Eş. 4.29'da gösterilen regresyon denklemi oluşmuş ve R^2=0,948 olarak belirlenmiştir.

$$TM=-147889,268+15699,289\times DS+44004,758\times BKY+14353,600\times AS+281643,412\times AMS \quad (4.29)$$

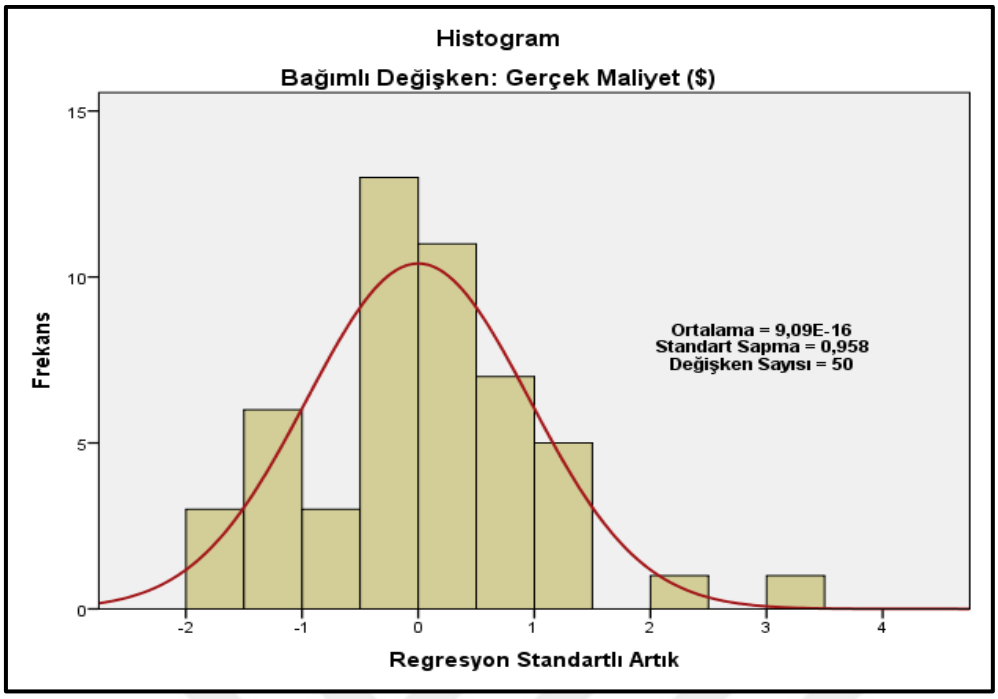
Eş. 4.29'da, "DS" parametresi derslik sayısını (ad), "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m), "AS" parametresi asansör sayısını (ad), "AMS" parametresi okul iç ana merdiven sayısını (ad) ve "TM" ise tahmin edilen maliyeti ($) temsil etmektedir.



Şekil 4.85. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

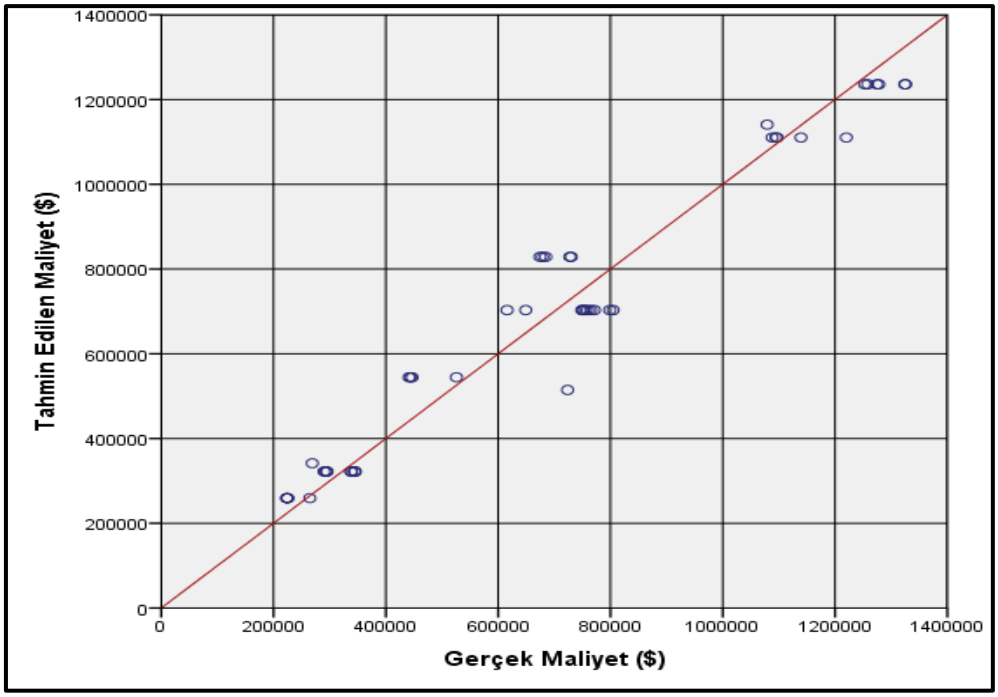
RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.86'de gösterilmiştir.

Şekil 4.86 incelendiğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin çok iyi bir güce sahip olduğunu göstermektedir. Bu analiz, dört değişkenli doğrusal regresyon analizleri içerisinde en iyi regresyon katsayısını veren analiz olmuştur.



Şekil 4.86. Derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Eş. 4.29'da verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.87'de verilmiştir.



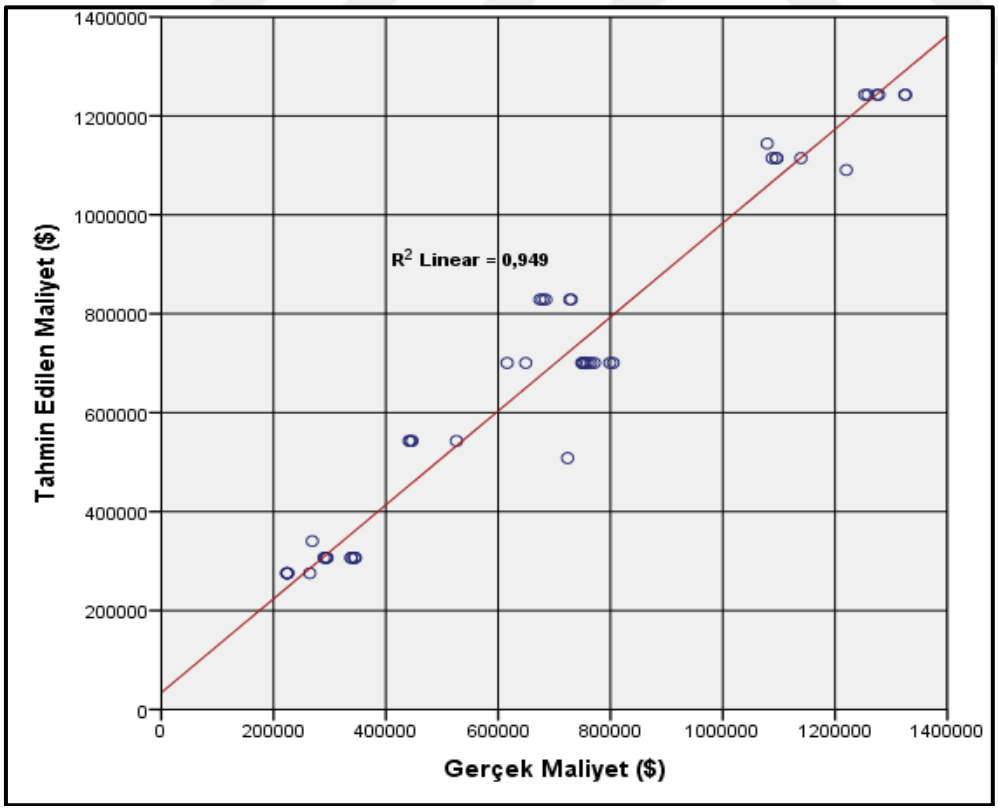
Şekil 4.87. Gerçek maliyet ile derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.87 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini çok yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir. Bu durum, regresyon analizi ile elde edilen denklemin, gerçek inşaat maliyetinin tahmin edilmesinde güvenli bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

4.3.5. Beş değişkenli doğrusal regresyon analizi

Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı– maliyet ilişkisi

Bölge imar durumuna göre yapı yüksekliği, ihtiyaç programına göre derslik sayısı, proje özelliklerine göre bodrum kat yüksekliği, insan yükü hesabına istinaden asansör sayısı ve yürüklükte olan yönetmeliklere göre tasarlanan okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişkinin gücünü belirlemek amacıyla RA yapılmış ve oluşan regresyon grafiği Şekil 4.88'de verilmiştir.



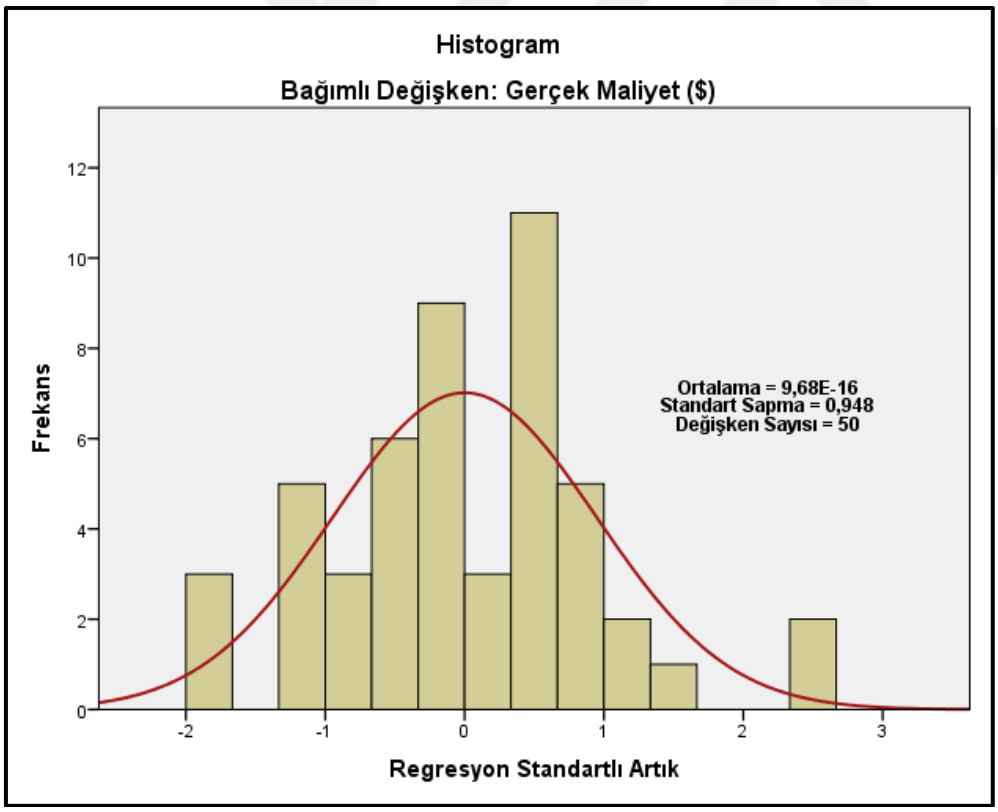
Şekil 4.88. Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı – gerçek maliyet regresyon grafiği

RA sonucunda oluşturulan regresyon denklemi Eş. 4.30'da gösterilmiş ve R^2=0,949 olarak hesaplanmıştır.

$$TM = -72607{,}844 - 9978{,}647 \times H + 16024{,}446 \times DS + 39092{,}710 \times BKY + 76175{,}487 \times AS + 285777{,}182 \times AMS \quad (4.30)$$

Eş. 4.30'da, "H" parametresi yapı yüksekliğini (m), "DS" parametresi derslik sayısını (ad), "BKY" parametresi bodrum kat yüksekliğini (m), "AS" parametresi asansör sayısını (ad), "AMS" parametresi okul iç ana merdiven sayısını (ad) ve "TM" parametresi ise gerçek maliyeti ($) temsil etmektedir.

RA sonucunda elde edilen hataların histogram grafiği ve normal dağılım eğrisi Şekil 4.89'da gösterilmiştir.

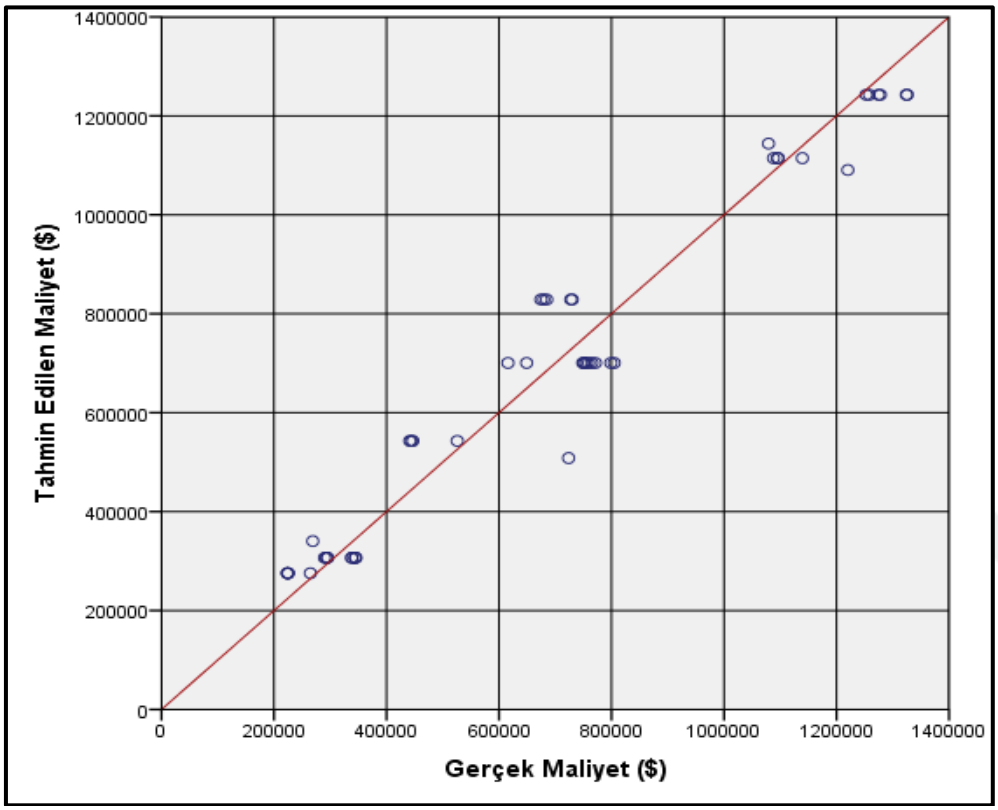


Şekil 4.89. Yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı - gerçek maliyet regresyon hataları histogramı

Şekil 4.89'u incelediğinde, hataların normal dağılıma uygun bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu durum, analizde kullanılan tüm parametrelerin gerçek maliyet ile

arasındaki ilişkinin gücünün oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Yapılan tüm analizler arasında en yüksek regresyon katsayısını veren analiz tüm değişkenlerin kullanıldığı RA olmuştur.

Eş. 4.30'da verilen regresyon denklemi yardımıyla tahmin edilen maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri karşılaştırılmış ve oluşan grafik Şekil 4.90'da verilmiştir.



Şekil 4.90. Gerçek maliyet ile yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri yardımıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırılması

Şekil 4.90 incelendiğinde, tahmin edilen maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında yoğunlaştığı ve gerçek maliyet değerlerini çok yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir.

Sonuçta, yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı gibi parametrelerin doğru bir şekilde kullanılması ve değerlendirilmesi, projelerin inşaat maliyetlerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu da regresyon modelinin güvenilir bir şekilde gerçek maliyeti tahmin ettiğini ve parametrelerin maliyet tahmininde rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir.

Dolayısıyla, özellikle R^2 katsayısı yüksek olan regresyon denklemleri, inşaat sektöründe maliyet tahmini yapmak ve bütçeleri yönetmek için değerli bir araç olabilir.

Regresyon denklemleri ile yapılan tahminler sonucunda, hataların birbirinden bağımsız olup olmadığını test etmek amacıyla Durbin-Watson analizi kullanılmıştır. Durbin-Watson analizi, regresyon modelinin hatalarının bağımsızlık özelliğini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu analiz sonucunda elde edilen Durbin-Watson değerlerinin 1,5-2,5 arasında olması, parametreler arasında yüksek bir ilişkinin olmadığını göstermektedir. Yapılan tüm RA sonuçları ve Durbin-Watson değerleri ile R^2 değerleri toplu halde Çizelge 4.2'de sunulmuştur. Çizelge 4.2 incelendiğinde, elde edilen regresyon denklemleriyle yapılan tahminlerin hatalarının Durbin-Watson değerlerinin 1,5-2,5 arasında olduğu görülmektedir.

Bu durum, değişkenler arasında yüksek bir ilişkinin olmadığını ve hataların birbirinden bağımsız olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, yapılan analizlerde kullanılan regresyon denklemlerinin güvenilir olduğu ve değişkenler arasında anlamlı bir ilişkinin bulunmadığı söylenebilir. Bu da regresyon modelinin istatistiksel olarak güçlü ve geçerli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.2. RA ile elde edilen denklemler, Durbin-Watson ve R^2 değerleri

Sıra No	Denklem	Açıklama	Durbin-Watson	R^2
Tek Değişkenli Denklemler				
1	*TM= - 475 958,556 + 99 182,611 × H*	H [m]	2,005	0,561
2	*TM= 22 413,378 + 29 879,720 × DS*	DS [ad]	2,277	0,828
3	*TM= 258 166,889 + 152 910,948 × BKY*	BKY [m]	2,275	0,621
4	*TM= 277 180,946 + 591 870,263 × AS*	AS [ad]	2,273	0,609
5	*TM= - 24 042,616 + 557 949,948 × AMS*	AMS [ad]	1,334	0,633
İki Değişkenli Denklemler				
6	*TM= - 96 896,073 + 16 078,375 × H + 26 819,240 × DS*	H [m], DS [ad]	2,322	0,834
7	*TM= - 60 728,339 + 38 767,744 × H + 105 066,830 × BKY*	H [m], BKY [m]	2,343	0,646
8	*TM= 4 370,254 + 33 461,629 × H + 420 553,881 × AS*	H [m], AS [ad]	2,274	0,622
9	*TM= - 566 508,898 + 63 987,104 × H + 400 342,687 × AMS*	H [m], AMS [ad]	1,474	0,816
10	*TM= 28 252,965 + 24 529,338 × DS + 40 958,812 × BKY*	DS [ad], BKY [m]	2,375	0,846
11	*TM= 32 095,183 + 25 405,231 × DS + 131 768,388 × AS*	DS [ad], AS [ad]	2,323	0,840
12	*TM= - 149 371,366 + 22 196,452 × DS +272 373,639 × AMS*	DS [ad], AMS [ad]	2,091	0,924
13	*TM= 258 339,420 + 97 062,406 × BKY + 226 432,900 × AS*	BKY [m], AS [ad]	2,306	0,627
14	*TM= - 102 575,495 + 105 937,834 × BKY + 392 405,933 × AMS*	BKY [m], AMS [ad]	1,846	0,875
15	*TM= - 98 038,503 + 411 366,967 × AS + 398 670,665 × AMS*	AS [ad], AMS [ad]	1,902	0,876
Üç Değişkenli Denklemler				
16	*TM= 39 389,205 - 1 475,098 × H + 24 635,771 × DS + 42 293,500 × BKY*	H [m], DS [ad], BKY [m]	2,370	0,846
17	*TM= 37 510,639 - 699,701 × H + 25 435,206 × DS + 134 807,851 × AS*	H [m], DS [ad], AS [ad]	2,321	0,840
18	*TM= - 265 979,532 + 15 744,014 × H + 19 209,464 × DS + 272 024,556 × AMS*	H [m], DS [ad], AMS [ad]	2,081	0,930
19	*TM= - 79 468,944 + 41 041,785 × H + 113 532,325 × BKY - 45 701,069 × AS*	H [m], BKY [m], AS [ad]	2,341	0,646
20	*TM= - 205 973,584 + 13 567,109 × H + 90 262,379 × BKY + 383 483,942 × AMS*	H [m], BKY [m], AMS [ad]	1,891	0,878
21	*TM= - 91 983,457 - 796,268 × H + 415 233,523 × AS + 399 134,848 × AMS*	H [m], AS [ad], AMS [ad]	1,903	0,876
22	*TM= 24 240,619 + 24 949,478 × DS + 63 112,460 × BKY - 97 594,411 × AS*	DS [ad], BKY [m], AS [ad]	2,382	0,847
23	*TM= - 148 154,137 + 15 777,217 × DS + 47 251,381 × BKY + 281 125,100 × AMS*	DS [ad], BKY [m], AMS [ad]	2,230	0,948
24	*TM= - 145 123,940 + 15 871,202 × DS + 174 935,742 × AS + 286 019,124 × AMS*	DS [ad], AS [ad], AMS [ad]	2,165	0,945
25	*TM= - 101 980,079 + 52 955,645 × BKY + 215 039,367 × AS + 391 936,487 × AMS*	BKY [m], AS [ad], AMS [ad]	1,921	0,881
Dört Değişkenli Denklemler				
26	*TM= - 11 579,364 + 4 593,818 × H + 24 737,285 × DS + 65 244,684 × BKY - 125 298,606 × AS*	H [m], DS [ad], BKY [m], AS [ad]	2,400	0,847
27	*TM= - 101 860,682 - 6 230,675 × H + 16 189,820 × DS + 52 915,553 × BKY + 282 312,314 × AMS*	H [m], DS [ad], BKY [m], AMS [ad]	2,195	0,949
28	*TM= - 130 066,565 + 3 676,463 × H + 54 697,102 × BKY + 190 730,745 × AS + 389 571,842 × AMS*	H [m], BKY [m], AS [ad], AMS [ad]	1,924	0,881
29	*TM= - 147 889,268 + 15 699,289 × DS + 44 004,758 × BKY + 14 353,600 × AS + 281 643,412 × AMS*	DS [ad], BKY [m], AS [ad], AMS [ad]	2,230	0,948
Beş Değişkenli Denklemler				
30	*TM= - 72 607,844 - 9 978,647 × H + 16 024,446 × DS + 39 092,710 × BKY + 76 175,487 × AS + 285 777,182 × AMS*	H [m], DS [ad], BKY [m], AS [ad], AMS [ad]	2,178	0,949
TM = Tahmin edilen maliyet ($), H = Yapı yüksekliği (m), DS = Derslik sayısı (ad), BKY = Bodrum kat yüksekliği (m), AS = Asansör sayısı (ad), AMS = Okul iç ana merdiven sayısı (ad)				

4.4. Yapay Sinir Ağı (YSA) ile Oluşturulan Tahmin Modelleri

Eğitim yapıları inşaat maliyetlerinin YSA ile tahmini amacıyla Şanlıurfa il genelinde yer alan 50 adet eğitim yapısı projesinden yararlanılmıştır. YSA analizleri yapılırken, RA için kullanılan parametrelerin aynısı kullanılmıştır. Bu bağlamda, daha önce Çizelge 4.1'de verilen yapı yüksekliği (m), derslik sayısı (ad), bodrum kat yüksekliği (m), asansör sayısı (ad) ve okul iç ana merdiven sayısı (ad) parametreleri analizlerde girdi parametresi, gerçek maliyet ise çıktı parametresi olarak kullanılmış ve ortaya çıkan sonuçlar RA sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

YSA ile ortaya konan bir modelin ortalama davranışı öğrenmesi hedefleniyorsa aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonunun kullanılması önerilirken, ortalamadan sapmanın öğrenilmesi amaçlanıyorsa hiperbolik tanjant fonksiyonunun kullanılması önerilmektedir. Tahmin problemlerinin çözümünde ise hem sigmoid hem de hiperbolik tanjant fonksiyonları aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılabilmektedir. Bu çalışmada, her iki aktivasyon fonksiyonu da kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmiş ve hem Sigmoid fonksiyonuyla oluşturulan modeller, hem de hiperbolik tanjant fonksiyonuyla oluşturulan modeller birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir.

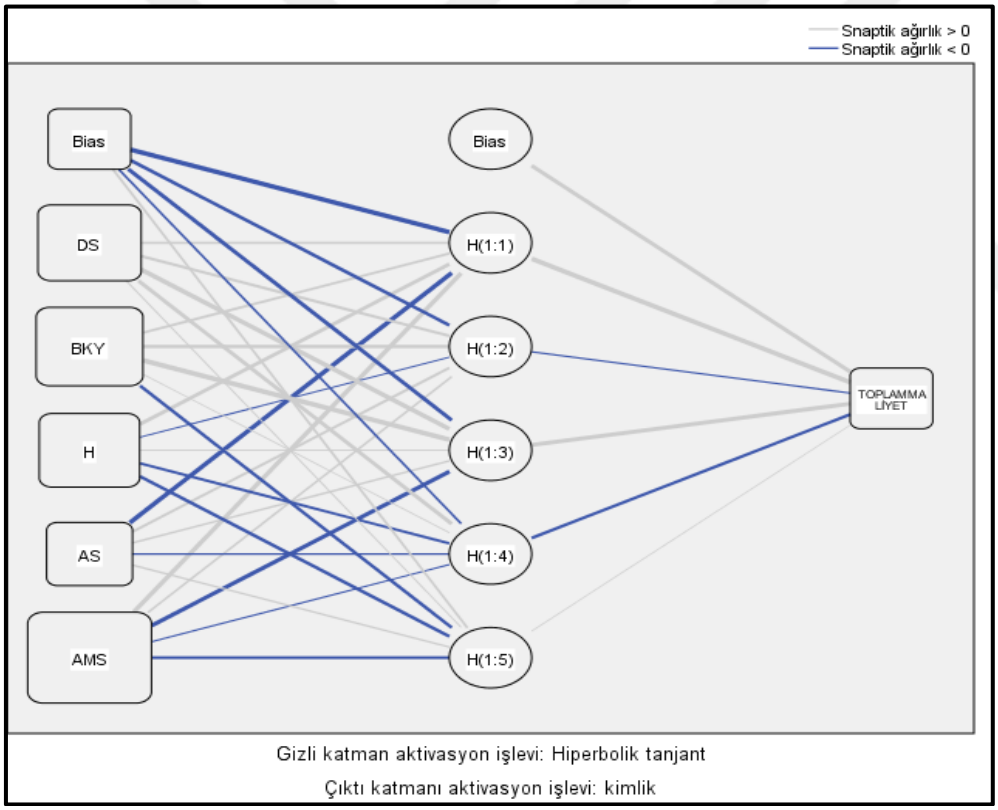
YSA analiz modelleri geliştirilirken, yazılım tarafından otomatik olarak seçilen mimariler yanında, analizleri tasarlayan tarafından gizli katman sayısının 1 veya 2 olduğu durumlar için aktivasyon fonksiyonu hem sigmoid hem de hiperbolik tanjant olan kombinasyonlar denenmiş ve en başarılı ağ mimarileri belirlenerek aşağıda sunulmuştur.

4.4.1. Otomatik mimari seçim ile oluşturulan YSA modeli

Eğitim yapısı projeleri üzerinden belirlenen ve Çizelge 4.1'de verilen bağımsız değişkenler girdi parametreleri olarak, gerçek maliyet ise çıktı parametresi olarak tanımlananı otomatik mimari seçimli aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan YSA ağ bilgisi Çizelge 4.3'te, YSA modeli ise Şekil 4.91'de verilmiştir. YSA analizi için toplam 50 adet proje verisi kullanılmış olup, bu verilerin 34 adedi (%68,0) ağı eğitmek için geriye kalan 16 adedi (%32,0) ise ağın testini yapmak için kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. Otomatik mimari seçimle oluşturulan YSA modelinin ağ bilgisi

Girdi Katmanı	Değişkenler	1	Derslik Sayısı (ad)
		2	Bodrum Kat Yüksekliği (m)
		3	Yapı Yüksekliği (m)
		4	Asansör Sayısı (ad)
		5	Okul İç Ana Merdiven Sayısı (ad)
	Birimlerin Adedi		5
	Değişkenler İçin Yeniden Ölçeklendirme Yöntemi		Standartlaştırılmış
Gizli Katman	Gizli Katmanların Adedi		1
	Gizli Katman 1'deki Birimlerin Adedi		5
	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

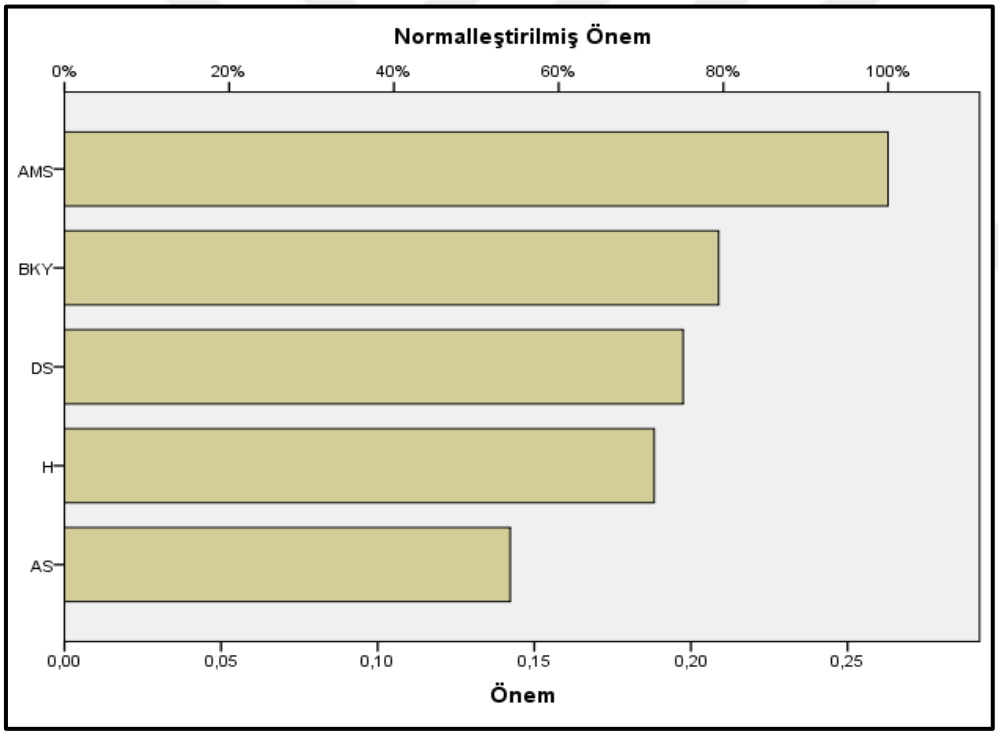


Şekil 4.91. Otomatik mimari seçimle oluşturulan YSA modelinin ağ şeması

YSA analizinin sonucunda elde edilen parametrelerin bağlantı ağırlıkları detaylı bir şekilde Çizelge 4.4'te sunulurken, önem değerleri ile normalleştirilmiş önem yüzdeleri Şekil 4.92'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Otomatik mimari seçimle elde edilen YSA modelindeki parametrelerin bağlantı ağırlıkları

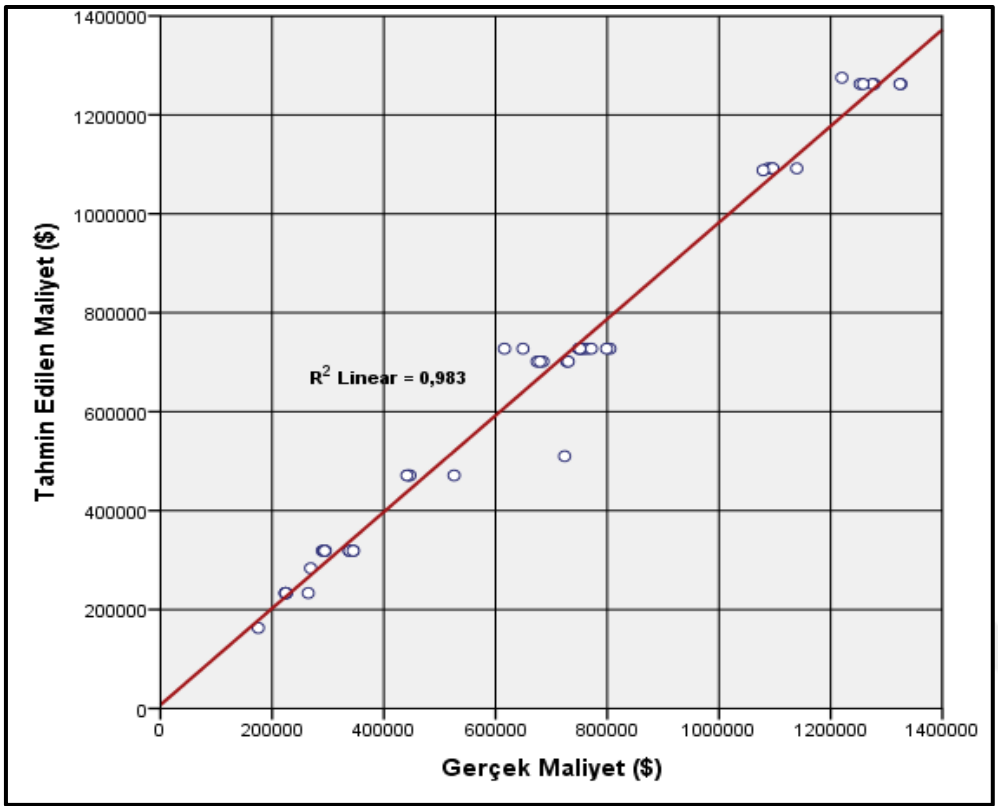
Tahminci		Tahmin Edilen					
		Gizli Katman 1					Çıktı Katmanı
		H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(1:4)	H(1:5)	Gerçek Maliyet ($)
Girdi Katmanı	(Bias)	-1,356	-0,459	-0,717	-0,187	0,194	
	Derslik Sayısı (ad)	0,217	0,316	1,281	0,679	0,084	
	Bodrum Kat Yüksekliği (m)	0,257	0,567	1,373	0,017	-0,428	
	Yapı Yüksekliği (m)	0,591	-0,088	0,055	-0,284	-0,457	
	Asansör Sayısı (ad)	-1,103	0,276	0,171	-0,166	0,162	
	Okul İç Ana Merdiven Sayısı (ad)	0,920	0,184	-0,838	-0,129	-0,325	
Gizli Katman 1	(Bias)						0,785
	H(1:1)						1,296
	H(1:2)						-0,146
	H(1:3)						0,881
	H(1:4)						-0,390
	H(1:5)						0,016



Şekil 4.92. Otomatik mimari seçimle oluşturulan YSA modelinde kullanılan değişkenlerin önem dereceleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri

Şekil 4.92'de sunulan normalleştirilmiş önem analizi sonuçlarına göre, gerçek maliyet üzerinde en yüksek öneme sahip olan parametre, okul iç ana merdiven sayısıdır. Öte yandan, maliyeti etkileyen diğer parametrelerin önem dereceleri ise sırasıyla bodrum kat yüksekliği, derslik sayısı, yapı yüksekliği ve asansör sayısıdır.

Otomatik mimari seçimli ve aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen eğitim yapısı inşaat maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında RA yapılmış ve R^2=0,983 olarak hesaplanmıştır. RA sonucunda ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 4.93'te verilmiştir.

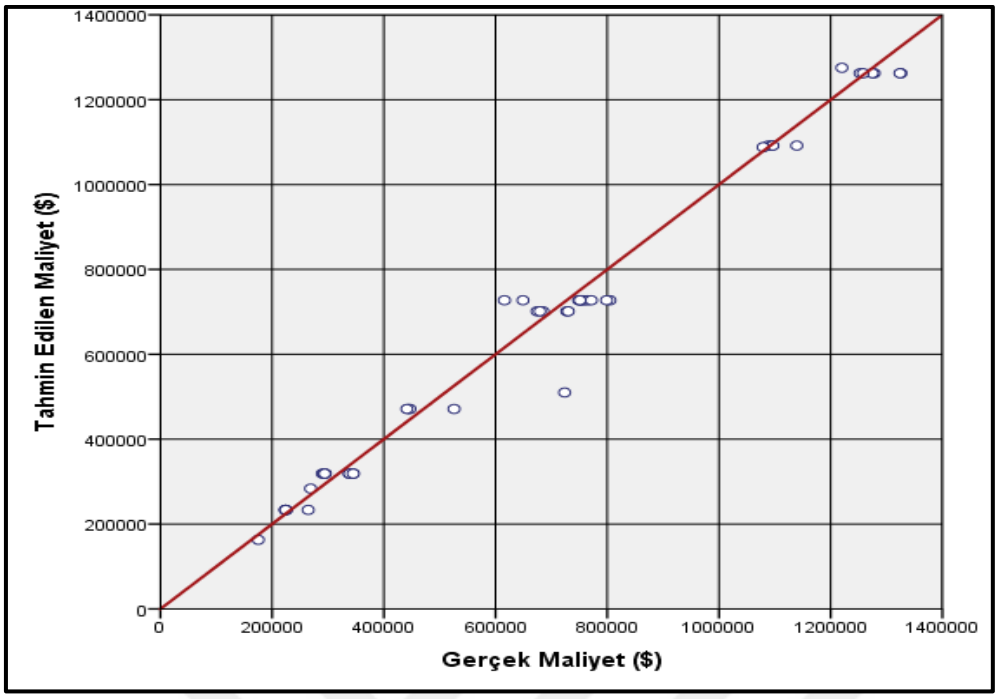


Şekil 4.93. Otomatik mimari seçimle oluşturulan YSA modeli regresyon grafiği

Eğitim yapısı inşaat maliyeti tahmin değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak için RA yapılmış ve ortaya çıkan grafik Şekil 4.94'te sunulmuştur.

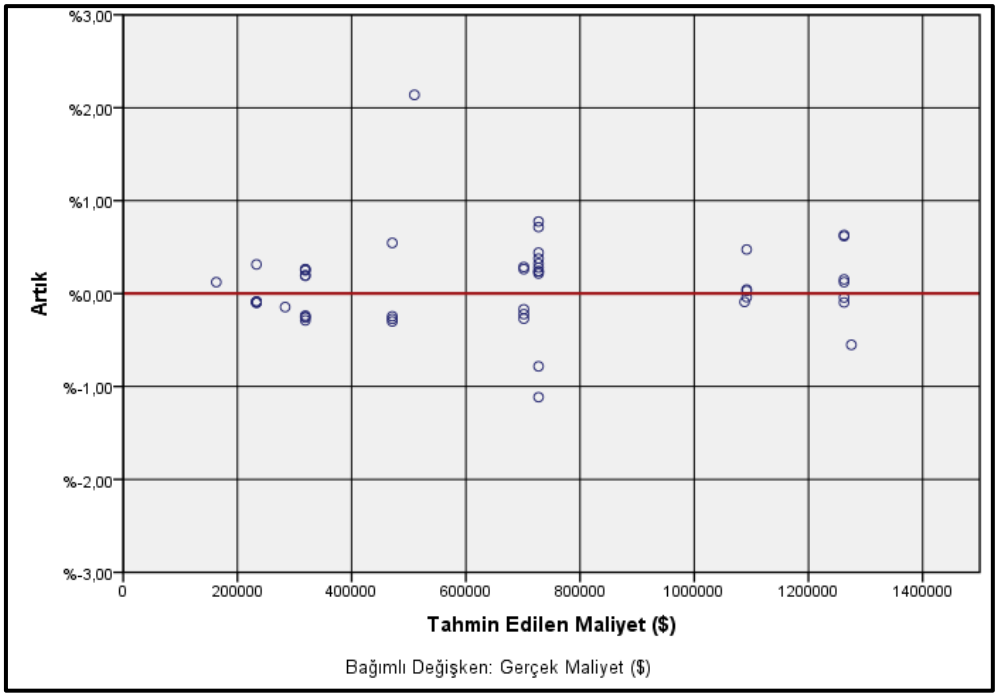
Şekil 4.94 incelendiğinde, tahmin edilen eğitim yapısı maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir.

Bu sonuçlar, YSA modelinin eğitim yapısı maliyetlerini başarılı bir şekilde tahmin ettiğini ve güvenilir sonuçlar sunduğunu göstermektedir. Tahminlerin gerçek değerlere yakın olması, modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini destekleyen önemli bir bulgudur ve YSA modelinin eğitim yapısı maliyetlerini tahmin etmede oldukça yüksek bir doğruluk ve açıklama gücüne sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.94. Gerçek maliyet ile otomatik mimari seçimli YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırması

Otomatik mimari seçimli YSA modeliyle yapılan analizle belirlenen tahmin edilen maliyetin artık grafiği Şekil 4.95'te verilmiştir.



Şekil 4.95. Otomatik mimari seçimli YSA modeli ile tahmin edilen maliyetin artık grafiği

Şekil 4.95 incelendiğinde, tahmin edilen eğitim yapısı inşaat maliyet değerlerinin eksen çizgisi etrafında nispeten homojen dağıldığı net bir şekilde görülebilmektedir.

4.4.2. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA

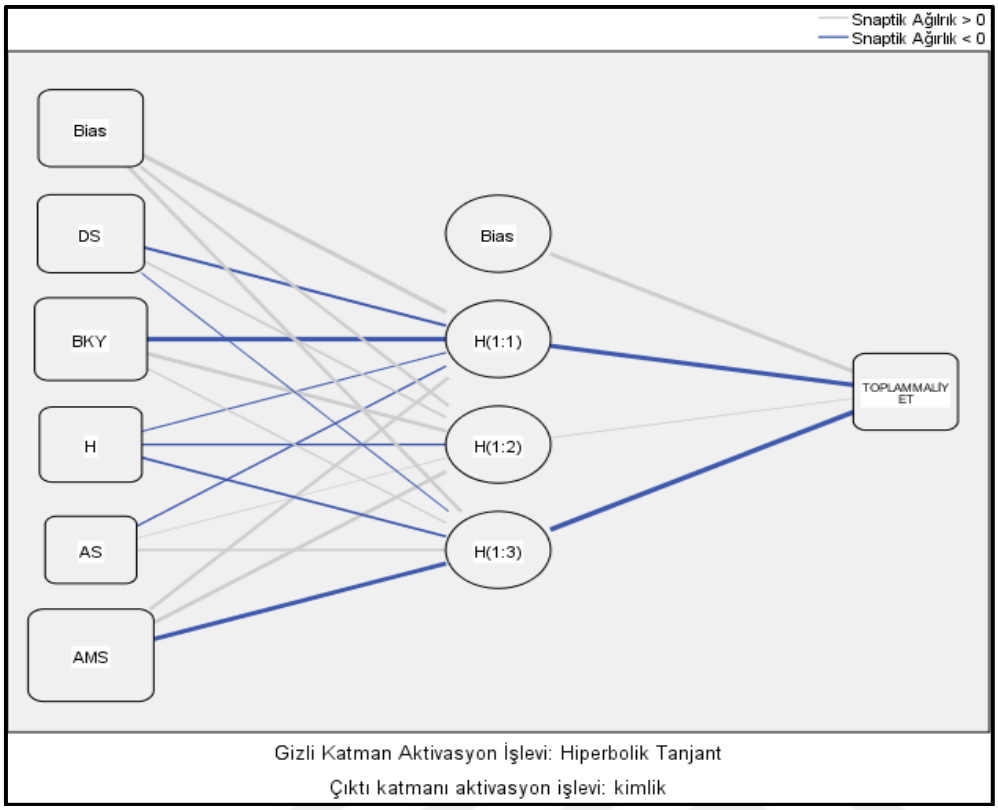
Eğitim yapısı projeleri üzerinden belirlenen ve Çizelge 4.1'de verilen bağımsız değişkenler kullanılarak oluşturulan hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA için ortaya çıkan ağ bilgisi Çizelge 4.5'te, YSA modeli ise Şekil 4.96'da verilmiştir. YSA analizinde toplam 50 adet proje verisinden, 27'si (%54,0) ağı eğitmek için, 23'ü (%46,0) ise ağın testi için kullanılmıştır.

Çizelge 4.5. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA ağ bilgisi

Girdi Katmanı	Değişkenler	1	Derslik Sayısı (ad)
		2	Bodrum Kat Yüksekliği (m)
		3	Yapı Yüksekliği (m)
		4	Asansör Sayısı (ad)
		5	Okul İç Ana Merdiven Sayısı (ad)
	Birimlerin Adedi		5
	Değişkenler İçin Yeniden Ölçeklendirme Yöntemi		Standartlaştırılmış
Gizli Katman	Gizli Katmanların Adedi		1
	Gizli Katman 1'deki Birimlerin Adedi[1]		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

YSA sonucunda elde edilen parametrelerin bağlantı ağırlıkları Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Ayrıca, bu parametrelerin önem değerleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri de Şekil 4.97'de görselleştirilmiştir.

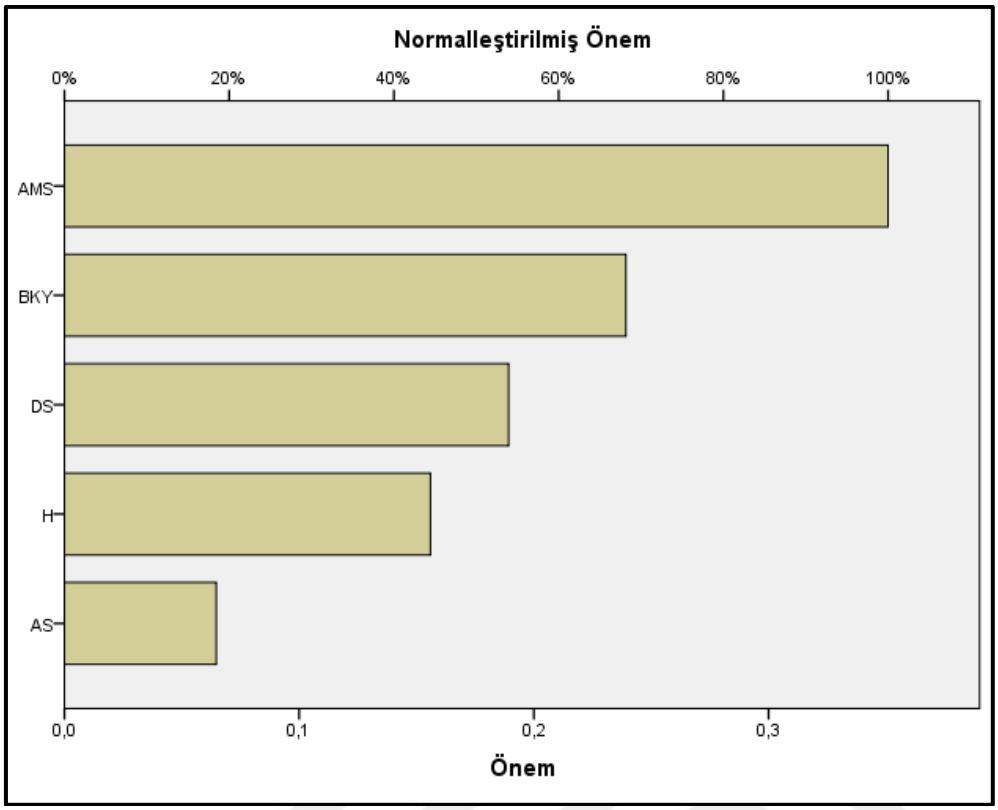
Şekil 4.97 incelendiğinde, gerçek maliyet üzerinde en yüksek öneme sahip olan parametre okul içi ana merdiven sayısı olarak belirlenmiştir. Diğer değişkenlerin gerçek maliyet üzerindeki etkileri ise sırasıyla bodrum kat yüksekliği, derslik sayısı, yapı yüksekliği ve asansör sayısıdır.



Şekil 4.96. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modelinin ağ şeması

Çizelge 4.6. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modelindeki parametrelerin bağlantı ağırlıkları

Tahminci		Tahmin Edilen			
		Gizli Katman 1			Gizli Katman 1
		H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	Gerçek Maliyet ($)
Girdi Katmanı	(Bias)	0,713	0,375	0,465	
	Derslik Sayısı (ad)	-0,371	0,215	-0,043	
	Bodrum Kat Yüksekliği (m)	-1,121	0,622	0,157	
	Yapı Yüksekliği (m)	-0,050	-0,210	-0,239	
	Asansör Sayısı (ad)	-0,185	0,042	0,334	
	Okul İç Ana Merdiven Sayısı (ad)	0,387	0,509	-0,809	
Gizli Katman 1	(Bias)				0,633
	H(1:1)				-0,977
	H(1:2)				0,043
	H(1:3)				-1,249



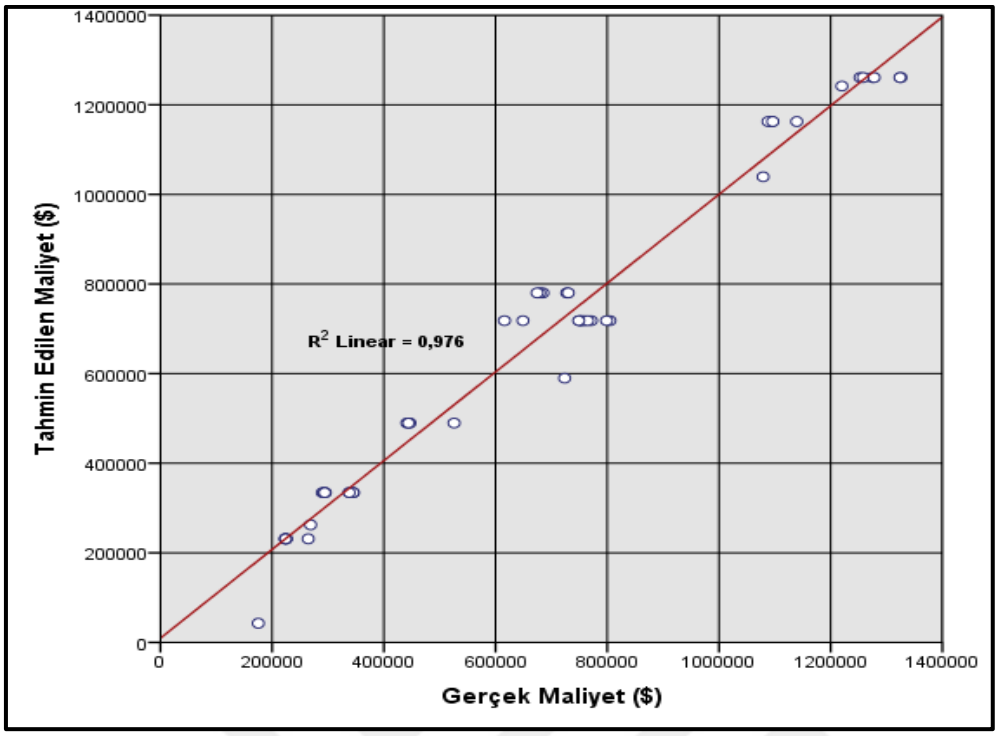
Şekil 4.97. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modelinde kullanılan değişkenlerin önem dereceleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri

Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen eğitim yapısı inşaat maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında RA yapılmış ve R^2=0,976 olarak hesaplanmıştır. RA sonucunda ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 4.98'de verilmiştir.

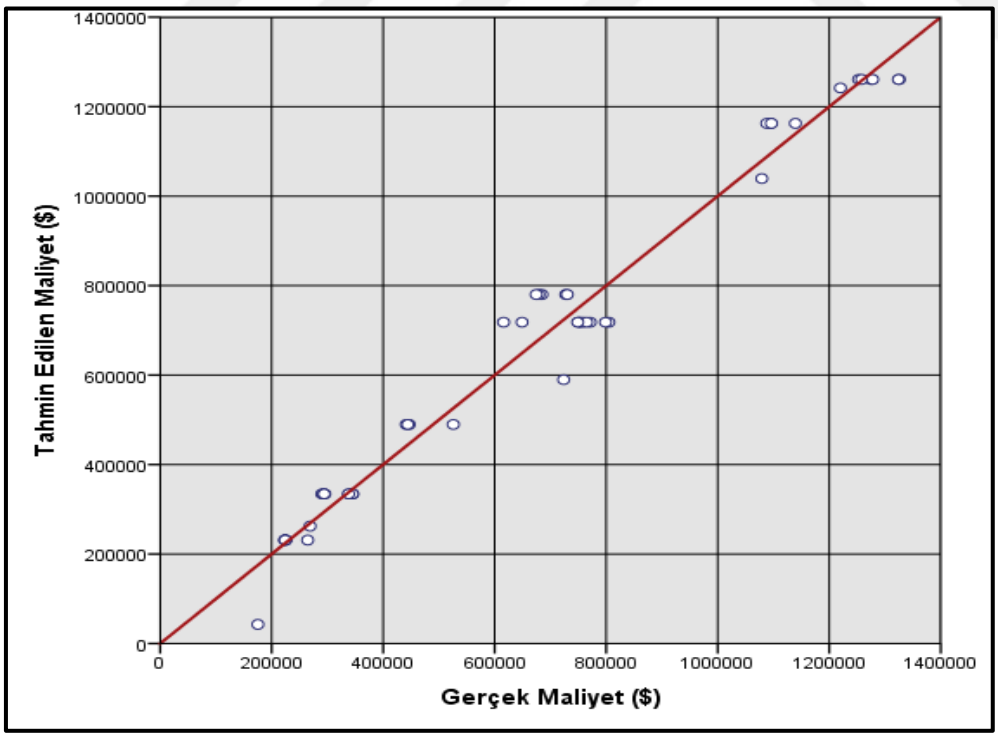
Eğitim yapısı inşaat maliyeti tahmin değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak için RA yapılmış ve ortaya çıkan grafik Şekil 4.99'da sunulmuştur.

Şekil 4.99 incelendiğinde, tahmin edilen eğitim yapısı maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir.

Bu sonuçlar, YSA modelinin eğitim yapısı maliyetlerini başarılı bir şekilde tahmin ettiğini ve güvenilir sonuçlar sunduğunu açıkça göstermektedir. Tahminlerin gerçek değerlere yakın olması, modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini destekleyen önemli bir bulgudur.

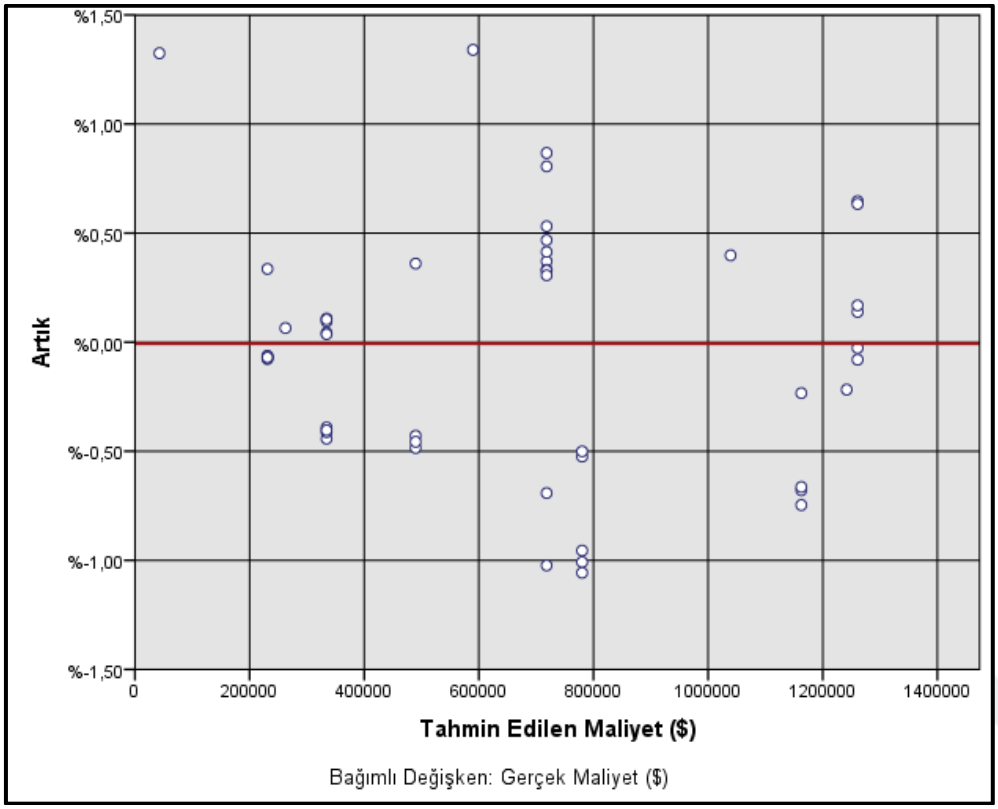


Şekil 4.98. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli regresyon grafiği



Şekil 4.99. Gerçek maliyet ile hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırması

Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modeliyle yapılan analizle belirlenen tahmin edilen maliyetin artık grafiği Şekil 4.100'de verilmiştir.



Şekil 4.100. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli ile tahmin edilen maliyetin artık grafiği

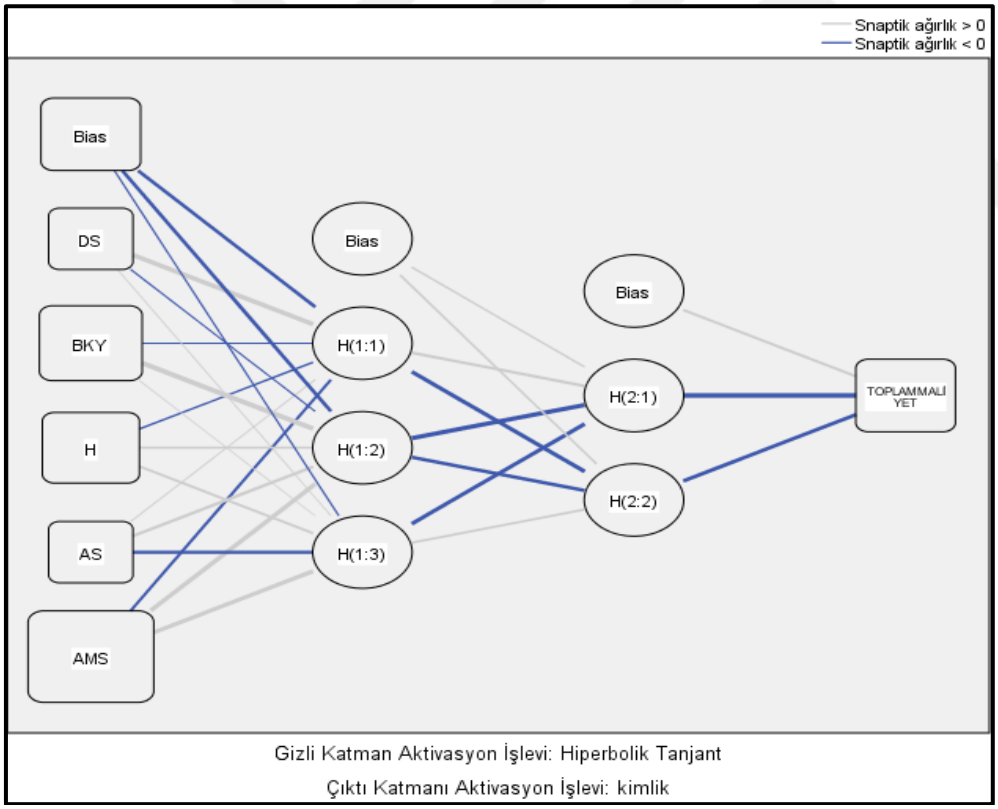
Şekil 4.100 incelendiğinde, tahmin edilen eğitim yapısı inşaat maliyet değerlerinin eksen çizgisi etrafında nispeten homojen bir şekilde dağıldığı görülebilmektedir.

4.4.3. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA

Eğitim yapısı projeleri üzerinden belirlenen ve Çizelge 4.1'de verilen bağımsız değişkenler kullanılarak oluşturulan hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA için ortaya çıkan ağ bilgisi Çizelge 4.7'de, YSA modeli ise Şekil 4.101'de verilmiştir. YSA analizinde toplam 50 adet proje verisinden, 32'si (%64,0) ağı eğitmek için, 18'i (%36,0) ise ağın testi için kullanılmıştır.

Çizelge 4.7. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA ağ bilgisi

Girdi Katmanı	Değişkenler	1	Derslik Sayısı (ad)
		2	Bodrum Kat Yüksekliği (m)
		3	Yapı Yüksekliği (m)
		4	Asansör Sayısı (ad)
		5	Okul İç Ana Merdiven Sayısı (ad)
	Birimlerin Adedi		5
	Değişkenler İçin Yeniden Ölçeklendirme Yöntemi		Standartlaştırılmış
Gizli Katman	Gizli Katmanların Adedi		2
	Gizli Katman 1'deki Birimlerin Adedi[1]		3
	Gizli Katman 2'deki Birimlerin Adedi[2]		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



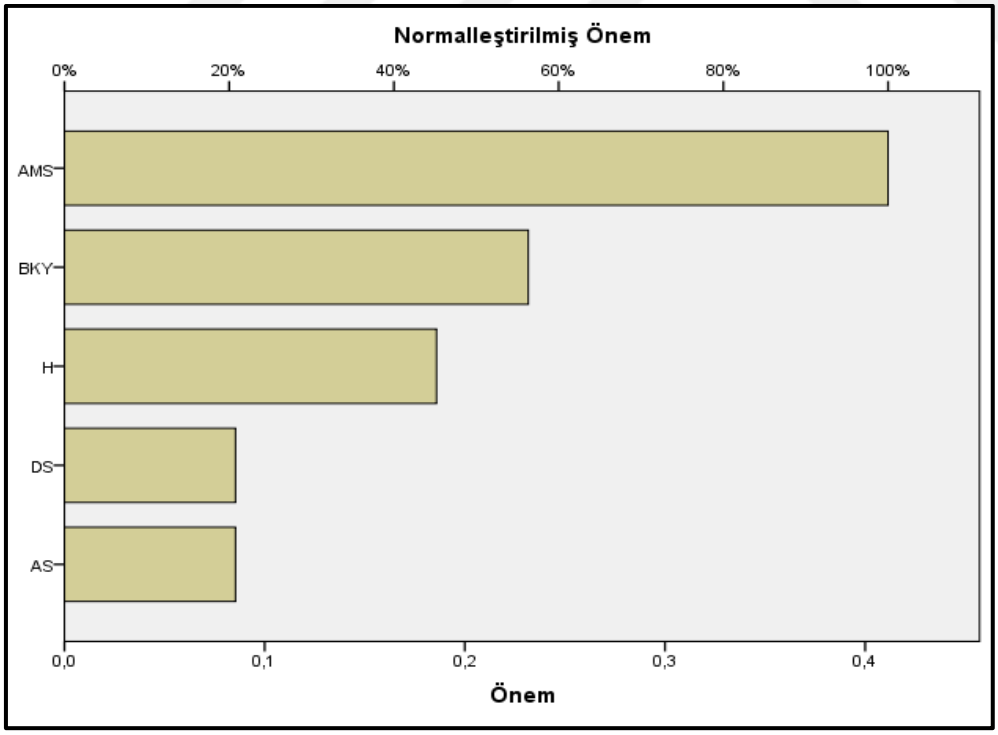
Şekil 4.101. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modelinin ağ şeması

[1] Bias birimleri hariç
[2] Bias birimleri hariç

YSA sonucunda elde edilen parametrelerin bağlantı ağırlıkları Çizelge 4.8'de sunulmuştur. Ayrıca, bu parametrelerin önem değerleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri de Şekil 4.102'de görselleştirilmiştir.

Çizelge 4.8. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modelindeki parametrelerin bağlantı ağırlıkları

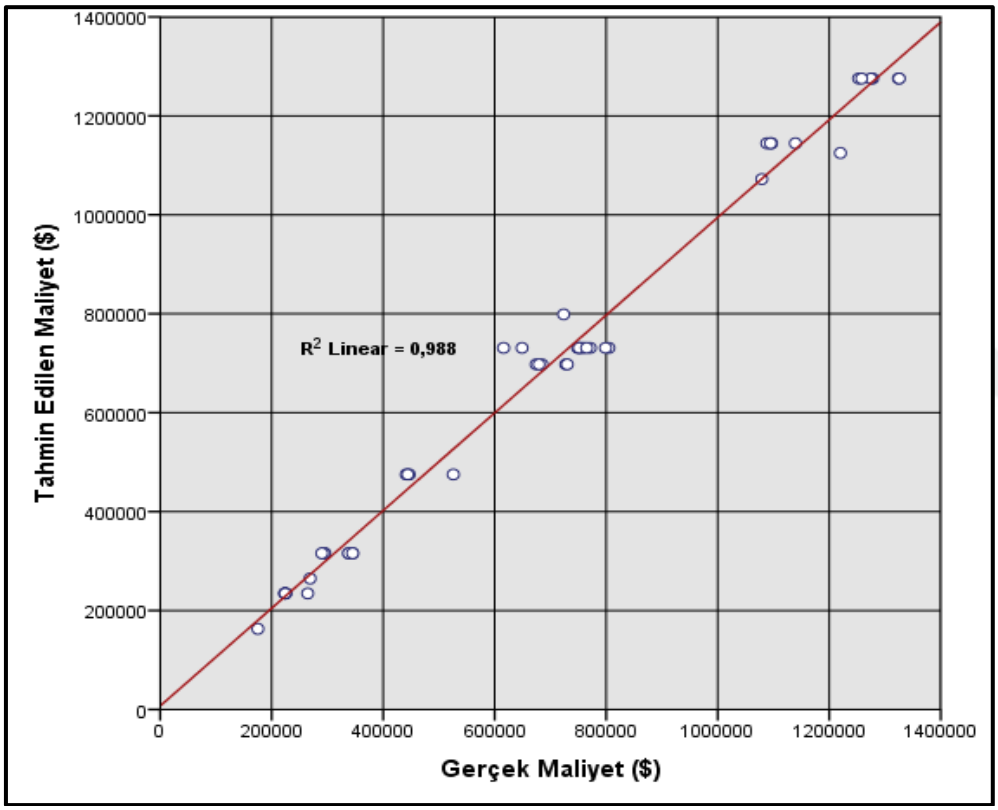
Tahminci		Tahmin Edilen					
		Gizli Katman 1			Gizli Katman 2		Çıktı Katmanı
		H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	H(2:1)	H(2:2)	Gerçek Maliyet ($)
Girdi Katmanı	(Bias)	-0,644	-0,648	-0,120			
	Derslik Sayısı (ad)	1,028	-0,114	0,015			
	Bodrum Kat Yüksekliği (m)	-0,112	1,363	0,014			
	Yapı Yüksekliği (m)	-0,200	0,224	0,331			
	Asansör Sayısı (ad)	0,038	0,604	-0,633			
	Okul İç Ana Merdiven Sayısı (ad)	-0,482	0,933	0,915			
Gizli Katman 1	(Bias)				0,179	0,215	
	H(1:1)				0,582	-0,886	
	H(1:2)				-1,025	-0,763	
	H(1:3)				-0,857	0,225	
Gizli Katman 2	(Bias)						0,363
	H(2:1)						-1,201
	H(2:2)						-0,785



Şekil 4.102. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modelinde kullanılan değişkenlerin önem dereceleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri

Şekil 4.102 incelendiğinde, gerçek maliyet üzerinde en yüksek öneme sahip olan parametre okul içi ana merdiven sayısı olarak belirlenmiştir. Diğer değişkenlerin gerçek maliyet üzerindeki etkileri ise sırasıyla bodrum kat yüksekliği, yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısıdır.

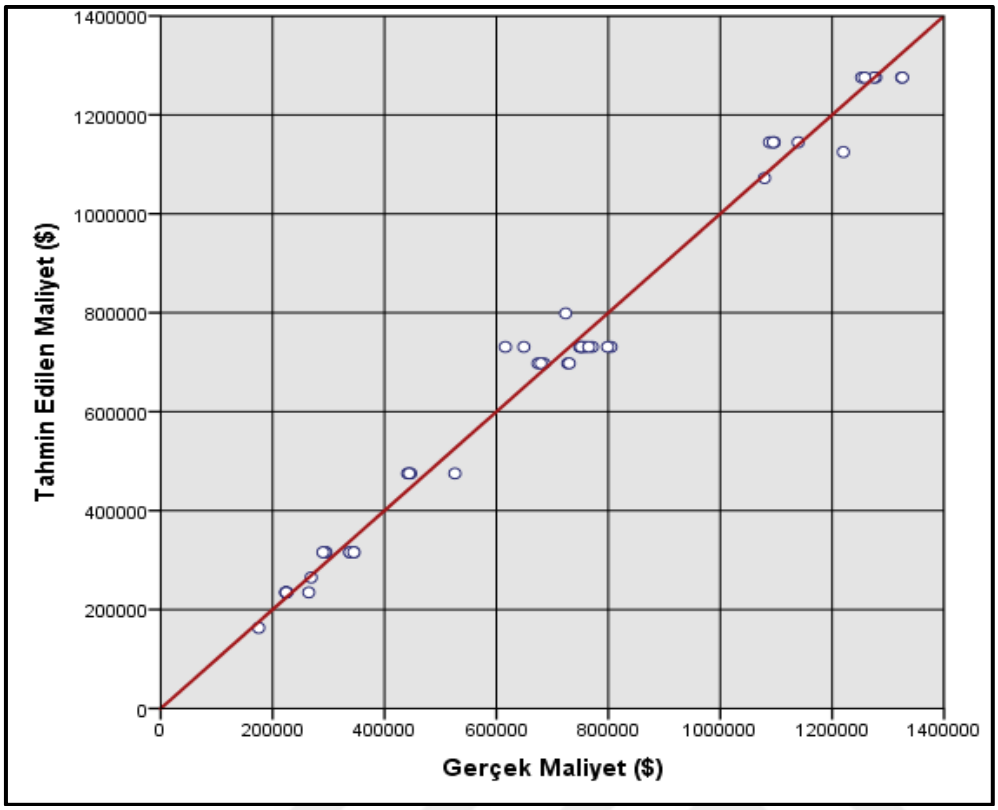
Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen eğitim yapısı inşaat maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında RA yapılmış ve R^2=0,988 olarak bulunmuştur. RA sonucunda ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 4.103'te verilmiştir.



Şekil 4.103. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli regresyon grafiği

Eğitim yapısı inşaat maliyeti tahmin değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak için RA yapılmış ve ortaya çıkan grafik Şekil 4.104'te sunulmuştur.

Şekil 4.104 incelendiğinde, tahmin edilen eğitim yapısı maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir.

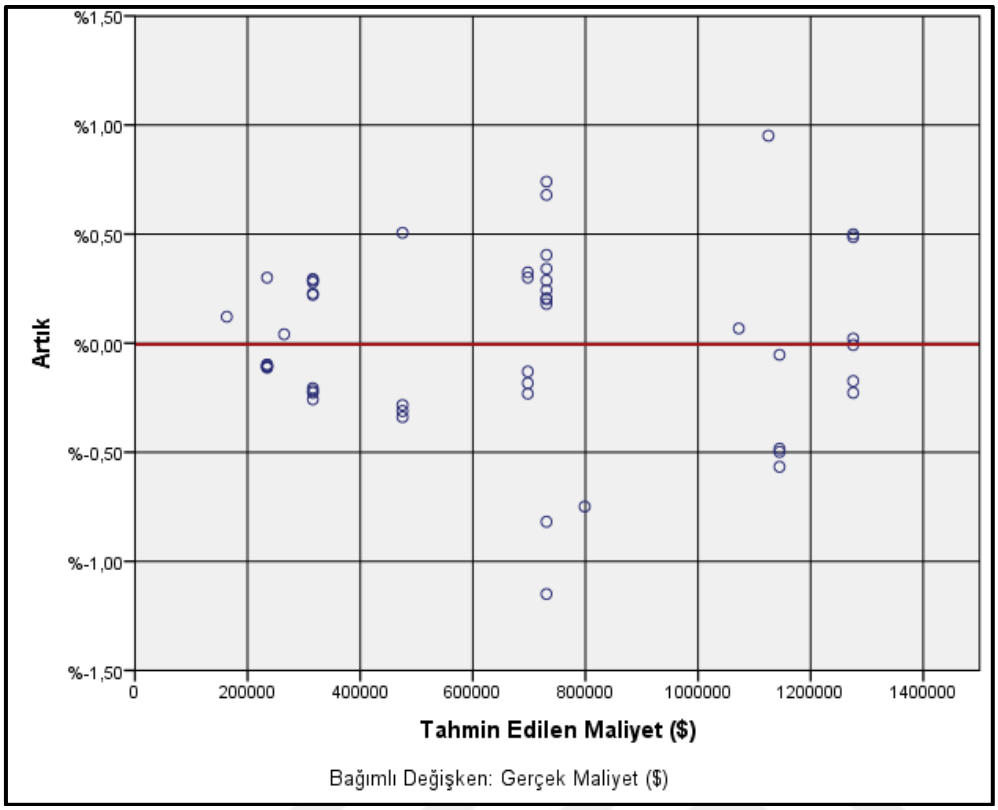


Şekil 4.104. Gerçek maliyet ile hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırması

Yapılan YSA modelleri içerisinde, en yüksek R^2 katsayısına sahip olan model, hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli olmuştur. Bu sonuçlar, YSA modelinin tahminlerinin gerçek maliyet değerlerine oldukça yakın olduğunu ve yüksek bir doğruluk oranı sağladığını göstermektedir.

Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modeliyle yapılan analizle belirlenen tahmin edilen maliyetin artık grafiği Şekil 4.105'te verilmiştir.

Şekil 4.105 incelendiğinde, tahmin edilen eğitim yapısı inşaat maliyet değerlerinin eksen çizgisi etrafında nispeten homojen bir şekilde dağılım gösterdiği söylenebilir. Tahminlerin eksen çizgisi etrafında homojen bir şekilde dağılması, modelin genel olarak iyi bir performans sergilediğini ve maliyet tahminlerinin tutarlı olduğunu işaret etmektedir.



Şekil 4.105. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli ile tahmin edilen maliyetin artık grafiği

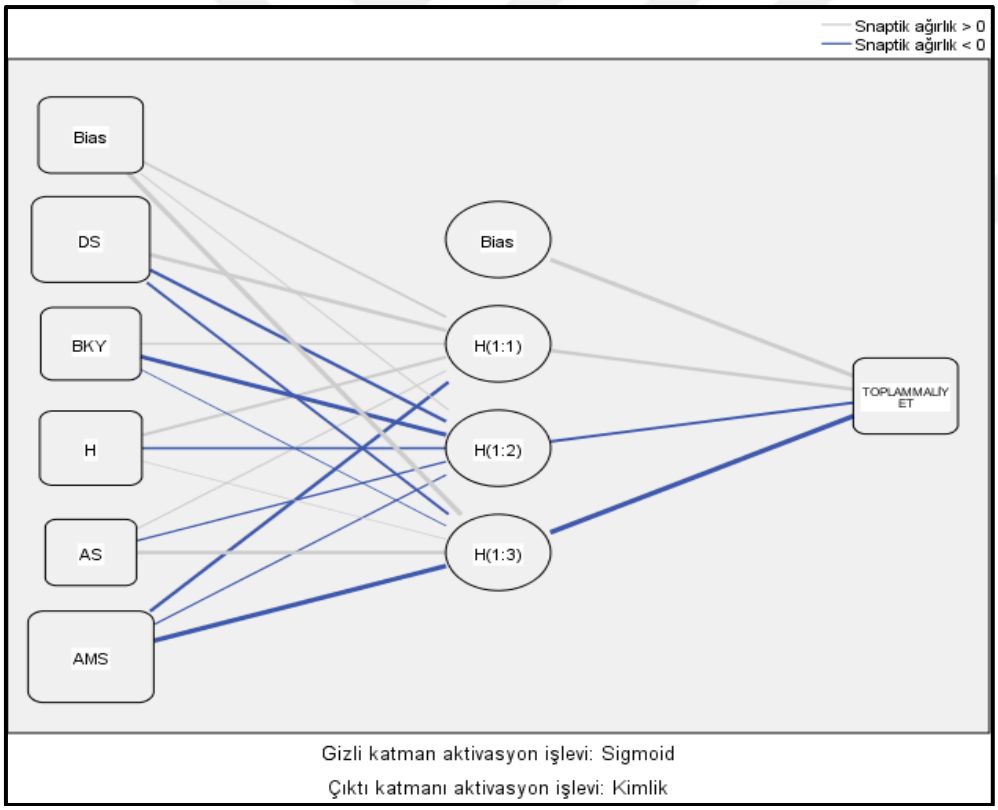
4.4.4. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA

Eğitim yapısı projeleri üzerinden belirlenen ve Çizelge 4.1'de verilen bağımsız değişkenler kullanılarak oluşturulan sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA için ortaya çıkan ağ bilgisi Çizelge 4.9'da, YSA modeli ise Şekil 4.106'da verilmiştir. YSA analizinde toplam 50 adet proje verisinden, 38'i (%76,0) ağı eğitmek için, 12'si (%24,0) ise ağın testi için kullanılmıştır.

YSA sonucunda elde edilen parametrelerin bağlantı ağırlıkları Çizelge 4.10'da sunulmuştur. Ayrıca, bu parametrelerin önem değerleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri de Şekil 4.107'de görselleştirilmiştir.

Çizelge 4.9. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA ağ bilgisi

Girdi Katmanı	Değişkenler	1	Derslik Sayısı (ad)
		2	Bodrum Kat Yüksekliği (m)
		3	Yapı Yüksekliği (m)
		4	Asansör Sayısı (ad)
		5	Okul İç Ana Merdiven Sayısı (ad)
	Birimlerin Adedi		5
	Değişkenler İçin Yeniden Ölçeklendirme Yöntemi		Standartlaştırılmış
Gizli Katman	Gizli Katmanların Adedi		1
	Gizli Katman 1'deki Birimlerin Adedi[3]		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

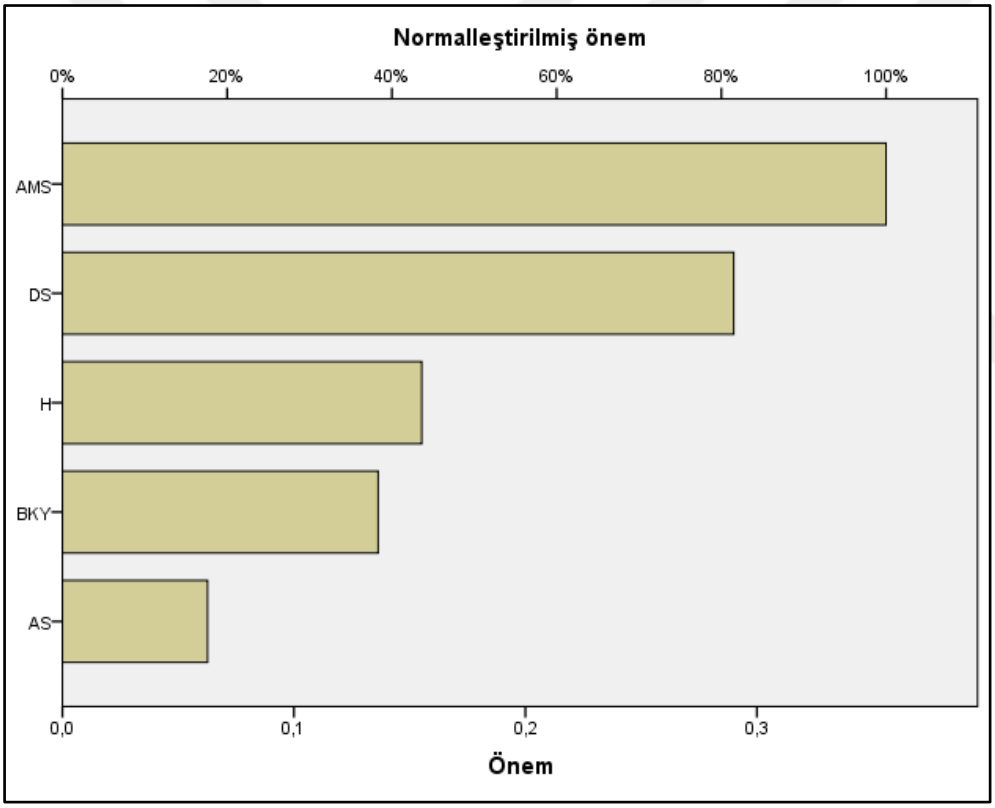


Şekil 4.106. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modelinin ağ şeması

[3] Bias birimleri hariç

Çizelge 4.10. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modelindeki parametrelerin bağlantı ağırlıkları

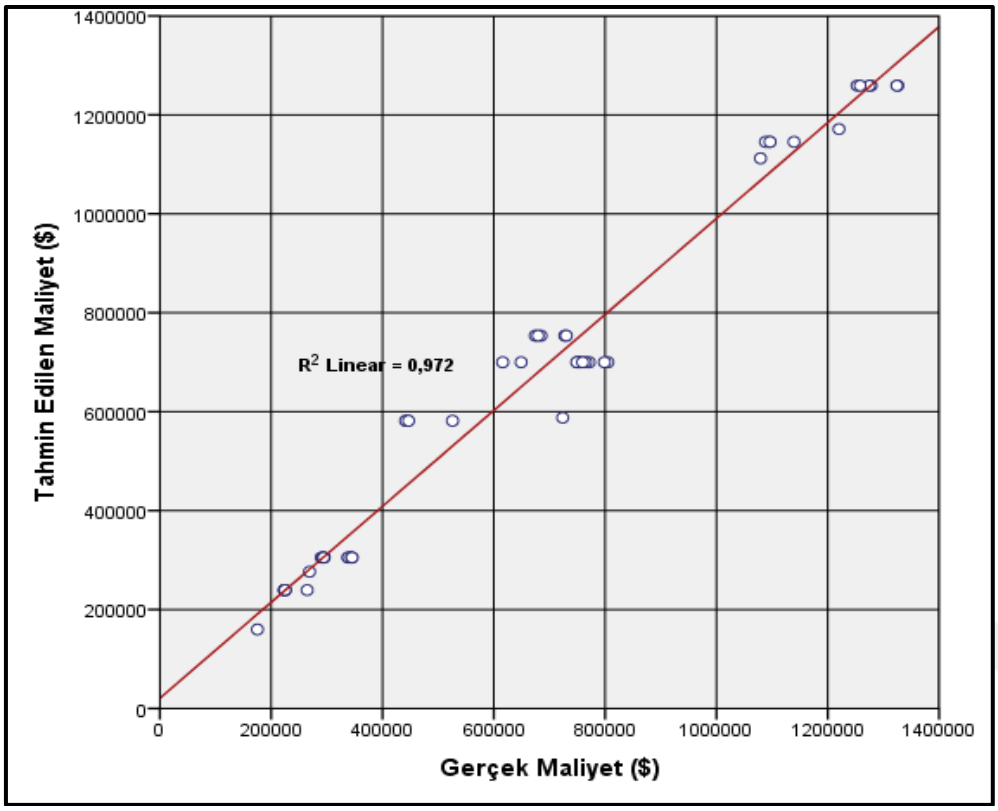
Tahminci		Tahmin Edilen			
		Gizli Katman 1			Çıktı Katmanı
		H(1:1)	H(1:2)	H(1:3)	Gerçek Maliyet ($)
Girdi Katmanı	(Bias)	0,645	0,184	1,733	
	Derslik Sayısı (ad)	1,053	-0,708	-0,652	
	Bodrum Kat Yüksekliği (m)	0,480	-1,445	-0,153	
	Yapı Yüksekliği (m)	0,702	-0,629	0,096	
	Asansör Sayısı (ad)	0,188	-0,422	1,046	
	Okul İç Ana Merdiven Sayısı (ad)	-0,821	-0,242	-1,859	
Gizli Katman 1	(Bias)				1,120
	H(1:1)				1,011
	H(1:2)				-0,686
	H(1:3)				-1,939



Şekil 4.107. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modelinde kullanılan değişkenlerin önem dereceleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri

Şekil 4.107 incelendiğinde, gerçek maliyet üzerinde en yüksek öneme sahip olan parametre okul içi ana merdiven sayısı olarak belirlenmiştir. Diğer değişkenlerin gerçek maliyet üzerindeki etkileri ise sırasıyla derslik sayısı, yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği ve asansör sayısıdır.

Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen eğitim yapısı inşaat maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında RA yapılmış ve R^2=0,972 olarak bulunmuştur. RA sonucunda ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 4.108'de verilmiştir.

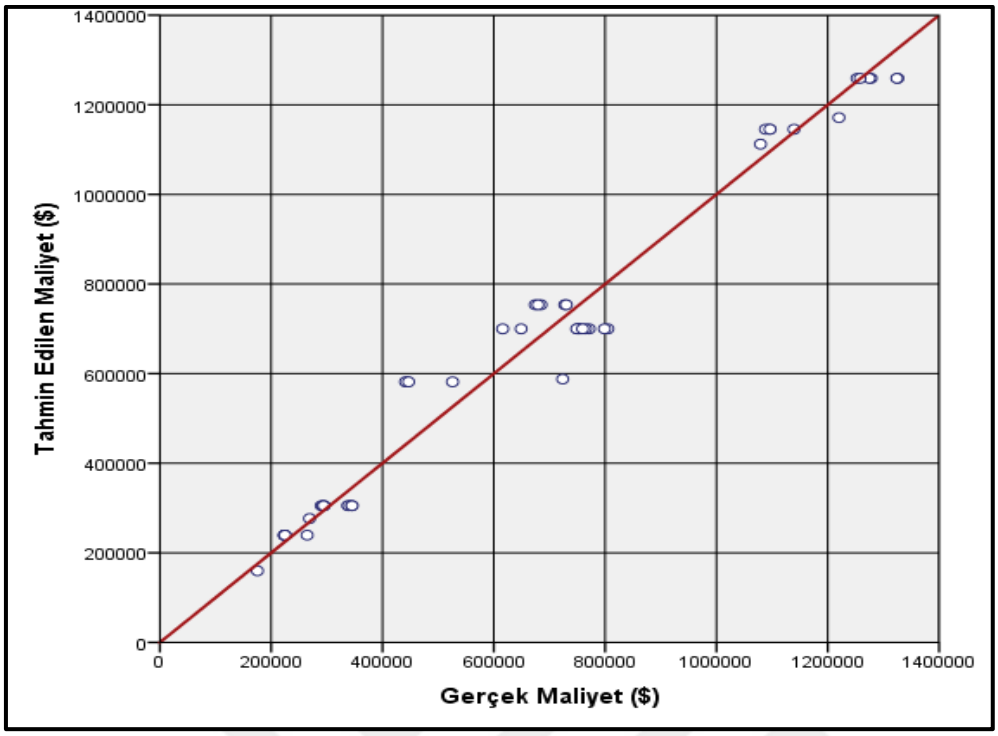


Şekil 4.108. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli regresyon grafiği

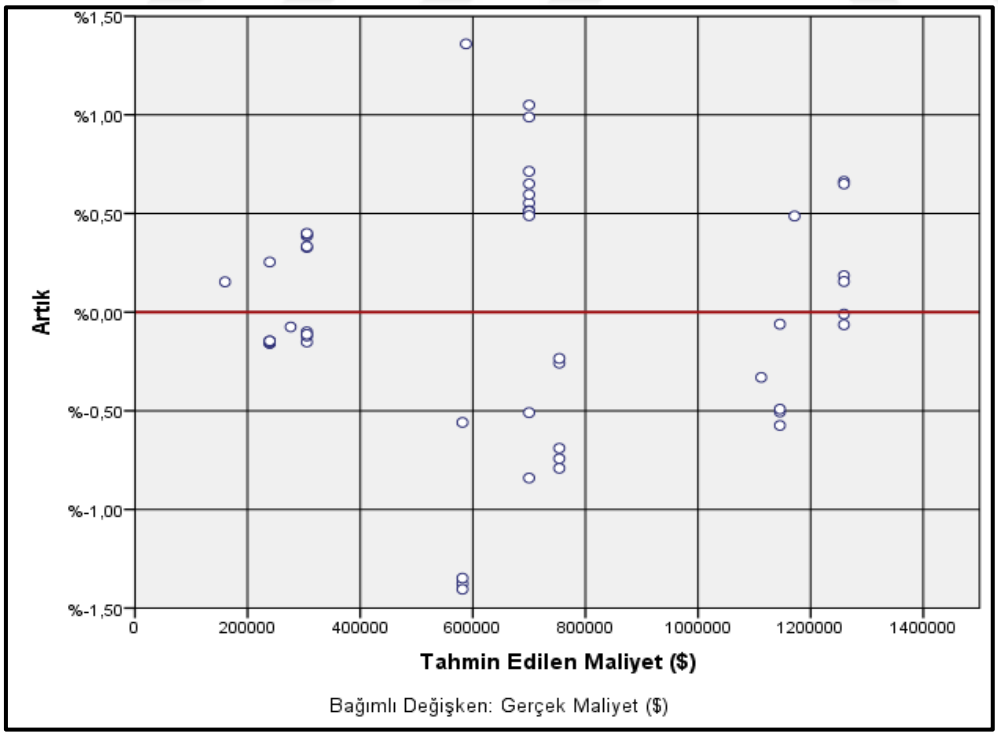
Eğitim yapısı inşaat maliyeti tahmin değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak için RA yapılmış ve ortaya çıkan grafik Şekil 4.109'da verilmiştir.

Şekil 4.109 incelendiğinde, tahmin edilen eğitim yapısı maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir.

Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimli YSA modeliyle yapılan analizle belirlenen tahmin edilen maliyetin artık grafiği Şekil 4.110'da verilmiştir.



Şekil 4.109. Gerçek maliyet ile sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırması



Şekil 4.110. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 1 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli ile tahmin edilen maliyetin artık grafiği

Şekil 4.110 incelendiğinde, tahmin edilen eğitim yapısı inşaat maliyet değerlerinin eksen çizgisi etrafında nispeten homojen bir şekilde dağıldığı açık bir şekilde görülmektedir. Tahminlerin eksen çizgisi etrafında homojen bir şekilde dağılması, modelin genel olarak iyi bir performans sergilediğini ve maliyet tahminlerinin de tutarlı olduğunu göstermektedir.

4.4.5. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA

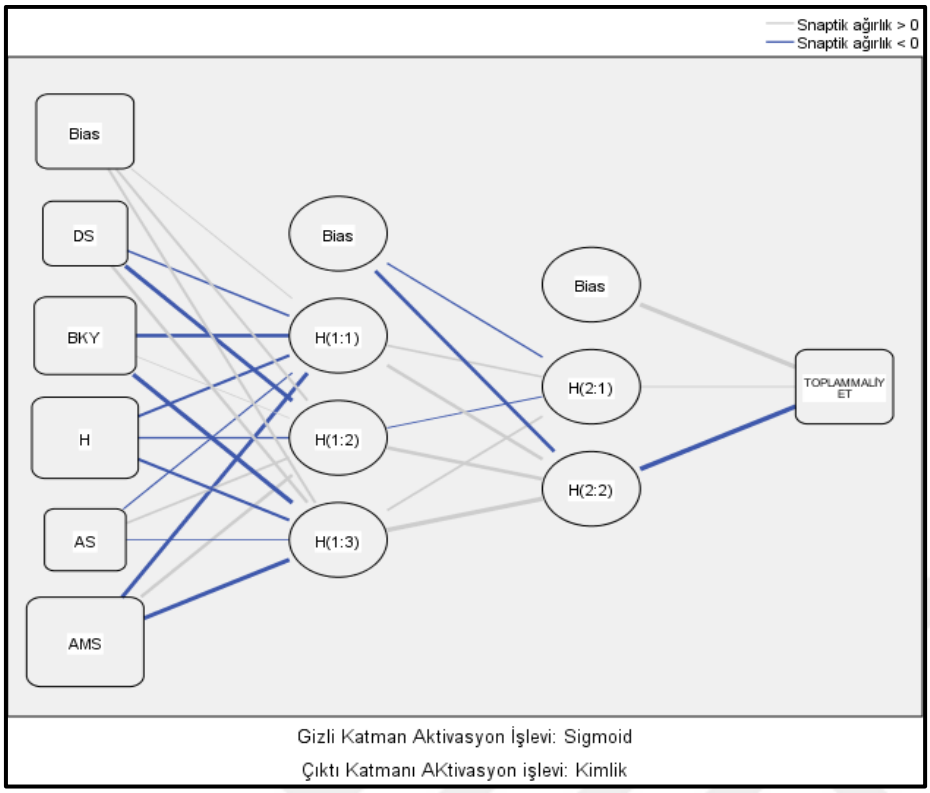
Eğitim yapısı projeleri üzerinden belirlenen ve Çizelge 4.1'de verilen bağımsız değişkenler kullanılarak oluşturulan sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA için ortaya çıkan ağ bilgisi Çizelge 4.11'de, YSA modeli ise Şekil 4.111'de verilmiştir. YSA analizinde toplam 50 adet proje verisinden, 39'u (%78,0) ağı eğitmek için, 11'i (%22,0) ise ağın testi için kullanılmıştır.

Çizelge 4.11. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA ağ bilgisi

Girdi Katmanı	Değişkenler	1	Derslik Sayısı (ad)
		2	Bodrum Kat Yüksekliği (m)
		3	Yapı Yüksekliği (m)
		4	Asansör Sayısı (ad)
		5	Okul İç Ana Merdiven Sayısı (ad)
	Birimlerin Adedi		5
	Değişkenler İçin Yeniden Ölçeklendirme Yöntemi		Standartlaştırılmış
Gizli Katman	Gizli Katmanların Adedi		2
	Gizli Katman 1'deki Birimlerin Adedi[4]		3
	Gizli Katman 2'deki Birimlerin Adedi[5]		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

YSA sonucunda elde edilen parametrelerin bağlantı ağırlıkları Çizelge 4.12'de sunulmuştur. Ayrıca, bu parametrelerin önem değerleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri de Şekil 4.112'de verilmiştir.

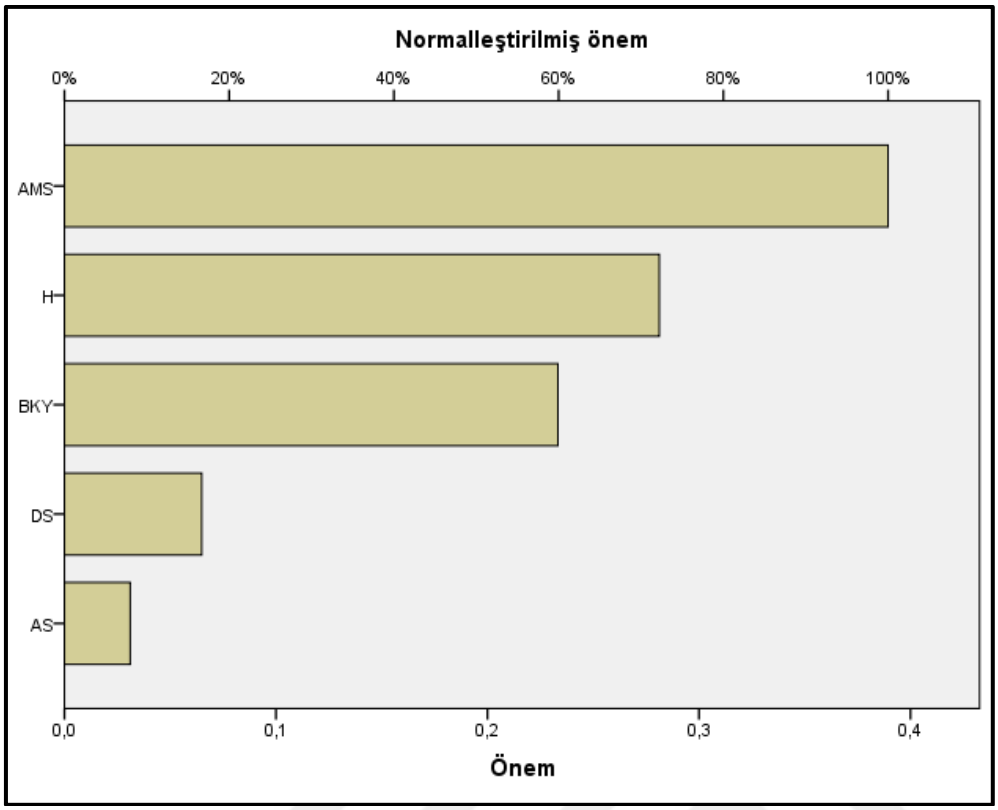
[4] Bias birimleri hariç
[5] Bias birimleri hariç



Şekil 4.111. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modelinin ağ şeması

Çizelge 4.12. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modelindeki parametrelerin 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)	0,154	0,750	0,884			
	Derslik Sayısı (ad)	-0,393	-1,718	1,047			
	Bodrum Kat Yüksekliği (m)	-1,623	0,052	-2,442			
	Yapı Yüksekliği (m)	-0,891	-0,370	-0,961			
	Asansör Sayısı (ad)	-0,317	0,672	-0,083			
	Okul İç Ana Merdiven Sayısı (ad)	-1,631	1,310	-2,072			
Gizli Katman 1	(Bias)				-0,349	-1,589	
	H(1:1)				0,404	1,540	
	H(1:2)				-0,164	1,593	
	H(1:3)				0,540	3,078	
Gizli Katman 2	(Bias)						3,037
	H(2:1)						0,207
	H(2:2)						-4,281

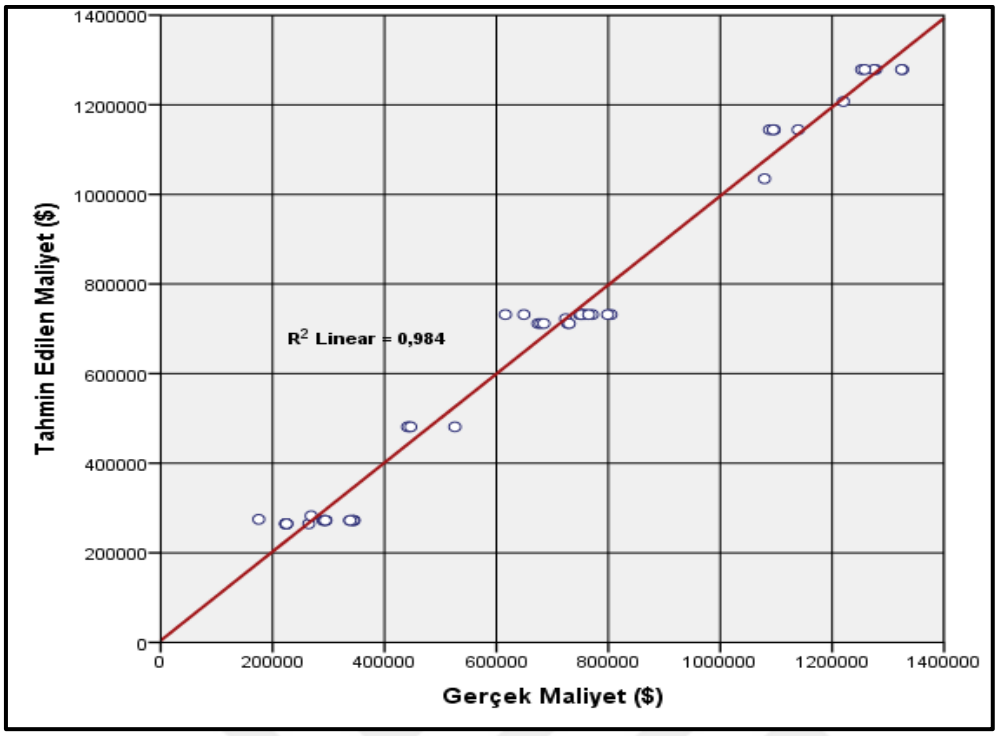


Şekil 4.112. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modelinde kullanılan değişkenlerin önem dereceleri ve normalleştirilmiş önem yüzdeleri

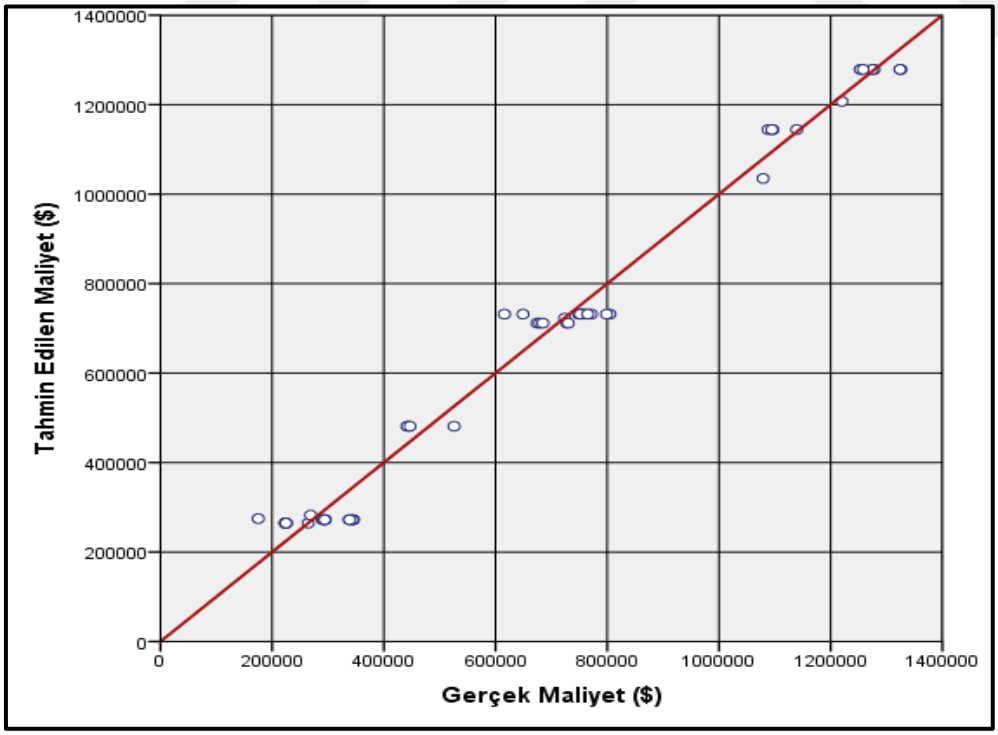
Şekil 4.112 incelendiğinde, gerçek maliyet üzerinde en yüksek öneme sahip olan parametre okul içi ana merdiven sayısı olarak belirlenmiştir. Diğer değişkenlerin gerçek maliyet üzerindeki etkileri ise sırasıyla yapı yüksekliği, bodrum kat yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısıdır.

Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen eğitim yapısı inşaat maliyet değerleri ile gerçek maliyet değerleri arasında RA yapılmış ve R^2=0,984 olarak bulunmuştur. RA sonucunda ortaya çıkan regresyon grafiği Şekil 4.113'te verilmiştir.

Eğitim yapısı inşaat maliyeti tahmin değerleri ile gerçek maliyet değerlerini karşılaştırmak için RA yapılmış ve ortaya çıkan grafik Şekil 4.114'te verilmiştir.



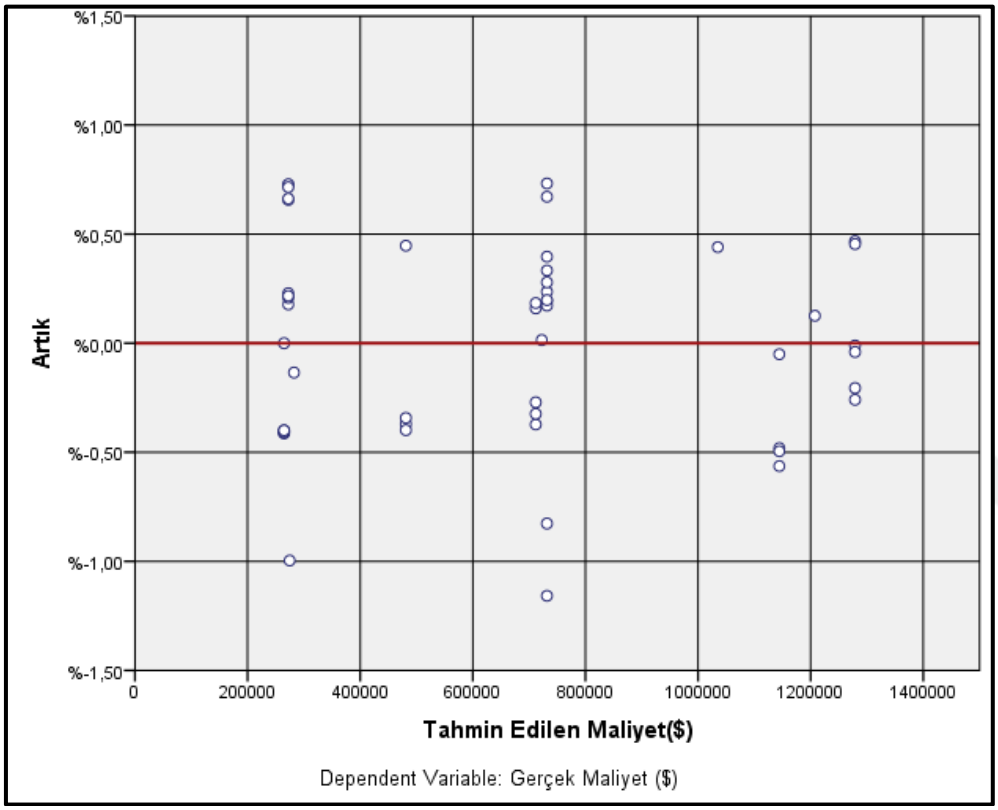
Şekil 4.113. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli regresyon grafiği



Şekil 4.114. Gerçek maliyet ile sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli vasıtasıyla tahmin edilen maliyetin karşılaştırması

Şekil 4.114 incelendiğinde, tahmin edilen eğitim yapısı maliyet değerlerinin 1/1 eksen çizgisi etrafında toplandığı ve gerçek maliyet değerlerini oldukça yakın bir şekilde tahmin ettiği görülmektedir.

Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimli YSA modeliyle yapılan analizle belirlenen tahmin edilen maliyetin artık grafiği Şekil 4.115'te verilmiştir.



Şekil 4.115. Sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip ve gizli katman sayısı 2 olan mimari seçimle oluşturulan YSA modeli ile tahmin edilen maliyetin artık grafiği

Şekil 4.115 incelendiğinde, tahmin edilen eğitim yapısı inşaat maliyet değerlerinin eksen çizgisi etrafında homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Tahminlerin eksen çizgisi etrafında homojen bir şekilde dağılması, modelin genel olarak iyi bir performans sergilediğini göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, eğitim yapılarının maliyetlerinin ön tahmini için bir yöntem önerilmiştir. Araştırmada, Millî Eğitim Bakanlığı'nın Şanlıurfa ilinde gerçekleştirilen 50 adet eğitim yapısı projesine ait veriler kullanılmıştır. Projeler üzerinden eğitim yapısı inşaat maliyeti çıktı değişkenini etkileyebilecek; yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı, okul iç ana merdiven sayısı, deprem bölgesi, zemin sınıfı, zemin emniyet gerilmesi, okul oturum alanı, tip kat alanı, laboratuvar ve atölye sayısı, okul toplam inşaat alanı, dış cephe alanı, dış cephe boşluk alanı, bodrum kat sayısı, tip kat sayısı, blok sayısı ve yangın merdiveni sayısı değişkeleri belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler ile eğitim yapısı inşaat maliyeti arasındaki korelasyona bakılmış ve ilişki düzeyi yüksek olan yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametreleri analizlerde girdi parametresi, gerçek inşaat maliyeti ise çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Belirlenen parametreler kullanılarak "SPSS Statistics 24" yazılımıyla RA ve YSA analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan tek değişkenli RA içerisinde R^2=0,828 katsayısı ile en yüksek ilişki düzeyine sahip analiz, derslik sayısı ile gerçek maliyet arasında yapılan RA sonucunda belirlenmiştir. İkinci en iyi sonuç ise okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasında yapılan RA sonucunda bulunmuş ve bu ilişki düzeyi de R^2=0,633 olarak belirlenmiştir. Diğer parametrelerle, eğitim yapısı gerçek inşaat maliyetleri arasında yapılan RA sonucunda ortaya çıkan ilişki düzeylerinin oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.

İki değişkenli RA sonuçlarına göre, R^2=0,924 katsayısı ile en yüksek ilişki düzeyine sahip analiz, derslik sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasında yapılan analiz sonucunda belirlenmiştir. İkinci en iyi sonuç ise asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasında yapılan analizde R^2=0,876 olarak bulunmuştur. Yine benzer şeklide bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasındaki ilişki düzeyi de R^2=0,875 olarak tespit edilmiştir.

Yapılan üç değişkenli RA içerisinde R^2=0,948 katsayısı ile en yüksek ilişki düzeyine sahip analiz, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasında yapılan analiz sonucunda tespit edilmiştir. İkinci en iyi sonuç ise derslik sayısı,

asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasında yapılan analiz sonucunda ortaya çıkmıştır ve R^2=0,945 olarak belirlenmiştir.

Dört değişkenli RA sonuçlarına göre, yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği ve okul iç ana merdiven sayısı ile gerçek maliyet arasında yapılan analizin en yüksek ilişki düzeyine sahip olduğu belirlenmiş ve R^2=0,949 olarak hesaplanmıştır.

Tüm değişkenlerin kullanıldığı RA sonucunda R^2=0,949 katsayısı ile en yüksek ilişki düzeyine ulaşılmıştır. Sonuç olarak, yapı yüksekliği, derslik sayısı, bodrum kat yüksekliği, asansör sayısı ve okul iç ana merdiven sayısı parametrelerinin birlikte kullanılmasıyla eğitim yapısının gerçek maliyetinin doğruya oldukça yakın bir şekilde tahmin edilebileceği belirlenmiştir.

Benzer şekilde RA için kullanılan girdi ve çıktı parametrelerin aynısı kullanılarak YSA analizleri gerçekleştirilmiştir. YSA analiz modelleri oluştururken, yazılım tarafından otomatik olarak seçilen mimariler ile gizli katman (1 veya 2) sayısının kullanıcı tarafından belirlendiği mimariler kullanılmıştır. Bu durumda, farklı kombinasyonlar denenerek aktivasyon fonksiyonunun sigmoid veya hiperbolik tanjant olmasına karar verilmiştir. Burada amaç, en başarılı ağ mimarisi ve aktivasyon fonksiyonunu belirleyerek, en iyi tahmin performansını bulmaktır.

Denemeler sonucunda, gizli katman sayısı 2 ve aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari en iyi tahmin gücüne sahip YSA modeli olarak belirlenmiştir. Modelde, ağın eğitimi için 32 adet (%64,0), ağın testi için ise 18 adet (%36,0) olmak üzere toplam 50 adet eğitim yapısı projesi kullanılmıştır. Normalleştirilmiş önem analizi sonuçlarına göre, gerçek maliyet üzerinde en yüksek öneme sahip olan parametre okul iç ana merdiven sayısı olarak belirlenmiştir. Gerçek maliyeti etkileyen diğer parametrelerin önem derecesi ise sırasıyla bodrum kat yüksekliği, yapı yüksekliği, derslik sayısı ve asansör sayısıdır.

Gizli katman sayısı 2 ve aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan mimari seçimli YSA modeli ile eğitim yapısı inşaat maliyet değerleri tahmini yapılmış ve eğitim yapısı gerçek maliyet değerleri ile arasındaki ilişki düzeyi tespit edilmiştir. Buna tespite göre R^2=0,988 olarak belirlenmiştir. Yapılan YSA modelleri içerisinde en yüksek R^2 katsayısına sahip

model, gizli katman sayısı 2 ve aktivasyon fonksiyonu hiperbolik tanjant olan model olmuştur.

Sonuç olarak, YSA ile yapılan eğitim yapısı inşaat maliyetleri tahminlerinin, RA ile yapılan eğitim yapısı inşaat maliyet tahminlerine göre daha başarılı sonuçlar verdiği ve eğitim yapısı inşaat maliyetlerinin tahmininde güvenle kullanılabilecek bir analiz şekli olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Aibinu, A. A., Jagboro, G. O. and Amusan, L. M. (2012). Cost estimation model for reinforced concrete beam and slab construction. *International Journal of Engineering and Technology*, 2(10), 1673-1681.

Aldama-Bustos, G., Martínez-Santos, P. and Herrero-Huerta, M. (2009). Estimation of soil erodibility factor in forest lands of northern Spain. *Journal of Hydrology,* 364(1-2), 42-50.

Altın, M. (2008). *Betonarme perde duvar ilavesi ve kolon mantolama yöntemiyle güçlendirilen eğitim yapılarında maliyet analizi.* Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 85-92.

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.

Bani-Hani, N., Shakya, D. R. and Al-Jarrah, M. (2010). Analysis of embankment settlements using multivariate regression. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,* 136(1), 111-115.

Baykan, U. N. (2007). *İnşaat projelerinde kaynak ihtiyacının yapay sinir ağları yaklaşımı ile tahmini,* Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 27-55.

Bektas, F. and Aytekin, M. (2013). Artificial neural networks for damage estimation and retrofitting of reinforced concrete buildings. *Advances in Engineering Software,* 58, 29-38.

Bengio, Y., Courville, A. and Vincent, P. (2007). Representation learning: A review and new perspectives. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* 35(8), 1798-1828.

Bengio, Y., Courville, A. and Vincent, P. (2015). Representation Learning: A Review and New Perspectives. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* 35(8), 1798-1828.

Bishop, C. M. (1995). *Neural networks for pattern recognition.* London: Oxford University Press, 36-42.

Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. New York: Springer, 42-48.

Bostacıoğlu, E. (2006). Konut binalarının ön tasarımında bir maliyet tahmin modeli, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi,* 8(3),27-49.

Chen, W., & Wang, L. (2020). *Predictive Modeling in Engineering: A Multivariable Regression Approach.* Engineering Analysis, 48(3), 150-167.

Cohen, J., Cohen, P., West, S. G. and Aiken, L. S. (2013). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. London: Routledge, 36-38.

Çelik, L.Y. (2006). *Türkiye'de inşaat sektöründe kullanılan ön maliyet tahmini yöntemleri,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-2.

Draper, N. R. and Smith, H. (1981). *Applied regression analysis.* New York: John Wiley & Sons, 29-38.

Draper, N. R. and Smith, H. (2014). *Applied regression analysis.* New York: John Wiley & Sons, 15-18.

Dwivedi, A., Chakraborty, S. and Debnath, K. (2018). A regression model for estimation of tensile strength of bamboo. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(11), 952-958.

El-Sawalhi, N. I., and Shehatto, O.M. (2014). A Neural Network Model for Building Construction Projects Cost Estimating. *Journal of Construction Engineering and Project Management,* 4, 9-16.

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.

Erdem, A. E. (1996). *Konut projelerinde, ön tasarım aşamasında, fonksiyonel elemanlara dayalı maliyet tahmini için bir model geliştirilmesi,* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-2

Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. New York: Sage, 19-23.

Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics.* New York: SAGE Publications, 85-93.

Garcia, M. J., & Lee, S. H. (2019). *Application of Multivariable Regression Analysis in Medical Research.* Medical Science Journal, 35(4), 210-225.

Goodfellow, I., Bengio, Y. and Courville, A. (2016). Deep learning. London: MIT Press, 32-38.

Goodfellow, I., Bengio, Y. and Courville, A. (2016). *Deep learning.* New York: MIT Press, 112-115.

Gujarati, D. N. and Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics.* London: McGraw-Hill, 12-16.

Gujarati, D.N. (2005). *Temel ekonometri*, İstanbul: Literatür Yayıncılık, 850.

Hair Jr., J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E. and Tatham, R. L. (2019). *Multivariate data analysis*. New York: Pearson, 32-38.

Haykin, S. (2009). Neural networks and learning machines. London: Pearson Education, 85-93.

He, K., Zhang, X., Ren, S. and Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 770-778.

Hegazy, T. and Ayed, A. (1998). Neural network model for parametric cost estimation of highway projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, 124, 210-218.

Hinton, G. E. and Salakhutdinov, R. R. (2006). Reducing the dimensionality of data with neural networks. *Science*, 313(5786), 504-507.

Hinton, G. E. and Sejnowski, T. J. (1986). Learning and relearning in Boltzmann machines. In *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition* (Vol. 1, pp. 282-317). New York: MIT Press, 85-92.

Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 79(8), 2554-2558.

Jain, M. K., Tiwari, M. K. and Jain, M. K. (2013). Evaluation of climatic influence on the behavior of concrete and masonry structures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(4), 533-541.

Johnson, R. A. (2020). *Miller & Freund's probability and statistics for engineers.* London: Pearson, 62-73.

Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2002). *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice Hall.

Kartam, N., Flood, I. and Mak, V. W. (2002). Risk management framework for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management,* 128(6), 473-482.

Kasaplı, K. (2014). *İçmesuyu şebekelerinde maliyet tahmini amacıyla yapay sinir ağları kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 27-75.

Kim, G. H., Shin, J. M., Kim, S., and Shin, Y. (2013). Comparison of school building construction costs estimation methods using regression analysis, neural network, and support vector machine. *Journal of Building Construction and Planning Research,* 1(1), 1-7.

Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J. and Li, W. (2004). *Applied linear statistical models.* New York: McGraw-Hill, 78-82.

LeCun, Y., Bengio, Y. and Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.

Lee, G. C., Chen, T. Y. and Wang, J. J. (2006). Statistical analysis of serviceability collapse loads of reinforced concrete buildings. *Journal of Structural Engineering,* 132(9), 1475-1483.

Lee, S.C. (2003). Prediction of concrete strength using artificial neural networks. *Engineering Structures*, 25(7), 849-857.

Li, Y., Xu, Y., Wu, Z. and Xia, Y. (2017). Predicting bearing capacity of composite foundation using artificial neural network optimized by a differential harmony search algorithm. *Journal of Computing in Civil Engineering,* 31(6), 04017053.

Mander, J. B., Priestley, M. J. and Park, R. (1988). Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering,* 114(8), 1804-1826.

McCulloch, W. S. and Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics,* 5(4), 115-133.

Montgomery, D. C., Peck, E. A. and Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis.* New York: John Wiley & Sons, 45-63.

Özçelik, Y., Şimşek, M., Türkmen, İ. and Gökdağ, H. (2015). Performance analysis of low-rise reinforced concrete buildings designed according to different earthquake regulations. *Journal of Performance of Constructed Facilities,* 29(1), 04014047.

Özmaden, M. ve Erdal, M. (2020). Konut Yapılarının Maliyet Tahmininde Kullanılan Yöntemlerin Performans Analizi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *8*(4).

Özsoy, İ. ve 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.

Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review,* 65(6), 386-408.

Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. and Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323(6088), 533-536.

Saraç, T. (2004). *Yapay sinir ağları, seminer projesi,* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-36.

Sarıkoç, T. (2022). *Kamu hizmet binalarında bakım-onarım maliyetlerinin ön tahmini için bir yöntem önerisi.* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 52-85.

Smith, A. B., & Jones, C. D. (2015). *Multiple Regression Analysis in Social Sciences*. Social Science Journal, 42(3), 220-235.

Sueri, M. (2022). *Kanalizasyon boru hattı inşaat maliyetlerinin ön tahmini için bir model önerisi.* Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 36-42.

Tanyildizi, H. (2009). Using artificial neural networks for maintenance cost prediction of highway pavements. *Journal of Civil Engineering and Management*, 15(4), 371-380.

Topçu, G. (1989). *Yapı üretim sürecinde maliyete ilişkin işlemler: Tahmin, planlama, kontrol.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 84-86.

Ugur, L. O., Kanit, R., Erdal, H., Namli, E., Erdal, H. I., Baykan, U. N. and Erdal, M. (2019). Enhanced predictive models for construction costs: A case study of Turkish mass housing sector. *Computational Economics*, 53, 1403-1419.

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.

Ujong, J. A., Mbadike, E. M., and Alaneme, G. U. (2022). Prediction of cost and duration of building construction using artificial neural network. *Asian Journal of Civil Engineering*, 23(7), 1117-1139.

Wang, Y., Zuo, J., Pan, M., Tu, B., Chang, R. D., Liu, S., and Dong, N. (2023). Cost prediction of building projects using the novel hybrid RA-ANN model. *Engineering, Construction and Architectural Management.*

Wang, Zhan & Chen, Gaowei. (2018). Discourse performance in L2 task repetition. In M. Bygate (Ed.), *Learning language through task repetition* (pp.97-116). Amsterdam: John Benjamins.

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.

EKLER

EK-1. Korelasyon Analizi

Korelasyon	Deprem bölgesi	Zemin sınıfı	Zemin emniyet gerilmesi (kg/cm²)	Derslik sayısı (ad)	Okul oturum alanı (m²)	Okul toplam inşaat alanı (m²)	Tip kat alanı (m²)	Bodrum kat yüksekliği (m)	Yapı yüksekliği (m)	Dış cephe alanı (m²)	Dış cephe boşluk alanı (m²)	Bodrum kat sayısı (ad)	Tip kat sayısı (ad)	Blok sayısı (ad)	Asansör sayısı (ad)	Yangın merdiven sayısı (ad)	Okul iç ana merdiven sayısı (ad)	Laboratuvar ve atölye sayısı (ad)	Gerçek maliyet ($)
Deprem bölgesi	1,000	-0,045	-0,060	-0,026	0,105	-0,017	0,105	0,127	0,095	-0,069	0,013	0,108	0,093	-0,276	0,151	0,152	-0,184	0,026	-0,047
Zemin sınıfı	-0,045	1,000	-0,769	0,101	-0,058	0,102	-0,058	0,036	0,084	0,096	0,105	0,023	0,072	0,059	0,036	0,090	0,028	0,076	0,106
Zemin emniyet gerilmesi (kg/cm²)	-0,060	-0,769	1,000	-0,054	0,153	-0,049	0,153	-0,081	-0,173	-0,042	-0,069	-0,070	-0,179	0,093	-0,103	-0,132	0,030	-0,075	-0,038
Derslik sayısı (ad)	-0,026	0,101	-0,054	1,000	-0,056	0,908**	-0,056	0,772**	0,768**	0,894**	0,940**	0,727**	0,720**	0,716**	0,784**	0,831**	0,602**	0,382**	0,910**
Okul oturum alanı (m²)	0,105	-0,058	0,153	-0,056	1,000	-0,019	1,000**	0,017	-0,105	-0,064	-0,038	0,008	-0,042	-0,080	0,018	-0,067	-0,199	0,035	-0,017
Okul toplam inşaat alanı (m²)	-0,017	0,102	-0,049	0,908**	-0,019	1,000	-0,019	0,802**	0,758**	0,988**	0,984**	0,758**	0,715**	0,776**	0,796**	0,845**	0,776**	0,672**	0,996**
Tip kat alanı (m²)	0,105	-0,058	0,153	-0,056	1,000**	-0,019	1,000	0,017	-0,105	-0,064	-0,038	0,008	-0,042	-0,080	0,017	-0,067	-0,199	0,035	-0,017
Bodrum kat yüksekliği (m)	0,127	0,036	-0,081	0,772**	0,017	0,802**	0,017	1,000	0,842**	0,757**	0,841**	0,993**	0,883**	0,388**	0,964**	0,857**	0,433**	0,482**	0,788**
Yapı yüksekliği (m)	0,095	0,084	-0,173	0,768**	-0,105	0,758**	-0,105	0,842**	1,000	0,726**	0,828**	0,830**	0,948**	0,344*	0,894**	0,813**	0,465**	0,485**	0,749**
Dış cephe alanı (m²)	-0,069	0,096	-0,042	,894**	-0,064	0,988**	-0,064	0,757**	0,726**	1,000	0,967**	0,715**	0,684**	0,813**	0,750**	0,806**	0,844**	0,688**	0,990**
Dış cephe boşluk alanı (m²)	0,013	0,105	-0,069	0,940**	-0,038	0,984**	-0,038	0,841**	0,828**	0,967**	1,000	0,798**	0,774**	0,712**	0,841**	0,879**	0,721**	0,606**	0,982**
Bodrum kat sayısı (ad)	0,108	0,023	-0,070	0,727**	0,008	0,758**	0,008	0,993**	0,830**	0,715**	0,798**	1,000	0,889**	0,359*	0,956**	0,798**	0,405**	0,448**	0,745**
Tip kat sayısı (ad)	0,093	0,072	-0,179	0,720**	-0,042	0,715**	-0,042	0,883**	0,948**	0,684**	0,774**	0,889**	1,000	0,319*	0,906**	0,738**	0,389**	0,459**	0,704**
Blok sayısı (ad)	-0,276	0,059	0,093	0,716**	-0,080	0,776**	-0,080	0,388**	0,344*	0,813**	0,712**	0,359*	0,319*	1,000	0,376**	0,430**	0,777**	0,416**	0,795**
Asansör sayısı (ad)	0,151	0,036	-0,103	0,784**	0,018	0,796**	0,017	0,964**	0,894**	0,750**	0,841**	0,956**	0,906**	0,376**	1,000	0,830**	0,419**	0,479**	0,781**
Yangın merdiven sayısı (ad)	0,152	0,090	-0,132	0,831**	-0,067	0,845**	-0,067	0,857**	0,813**	0,806**	0,879**	0,798**	0,738**	0,430**	0,830**	1,000	0,531**	0,537**	0,827**
Okul iç ana merdiven sayısı (ad)	-0,184	0,028	0,030	0,602**	-0,199	0,776**	-0,199	0,433**	0,465**	0,844**	0,721**	0,405**	0,389**	0,777**	0,419**	0,531**	1,000	0,734**	0,796**
Laboratuvar ve atölye sayısı (ad)	0,026	0,076	-0,075	0,382**	0,035	0,672**	0,035	0,482**	0,485**	0,688**	0,606**	0,448**	0,459**	0,416**	0,479**	0,537**	0,734**	1,000	0,663**
Gerçek maliyet ($)	-0,047	0,106	-0,038	0,910**	-0,017	0,996**	-0,017	0,788**	0,749**	0,990**	0,982**	0,745**	0,704**	0,795**	0,781**	0,827**	0,796**	0,663**	1,000

**. Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlıdır (2 kuyruklu).

*. Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlıdır (2 kuyruklu).

Sayfa 1

Gazili olmak ayrıcalıktır…