T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE ÜSTYAPI PROJELERİNDE ZAMAN-MALİYET İLİŞKİLERİ

DOKTORA TEZİ

Murat SÖNMEZ

Enstitü Anabilim Dalı	**:**	**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**
Enstitü Bilim Dalı	**:**	**YAPI İŞLETMESİ**
Tez Danışmanı	**:**	**Prof. Dr. Rıfat AKBIYIKLI**
Ortak Danışman	**:**	**Prof. Dr. S. Ümit DİKMEN**

Ekim 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE' DE ÜSTYAPI PROJELERİNDE ZAMAN-MALİYET İLİŞKİLERİ

DOKTORA TEZİ

Murat SÖNMEZ

Enstitü Anabilim Dalı : **İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

Enstitü Bilim Dalı : **YAPI İŞLETMESİ**

Bu tez 25 / 10 /2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/~~oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.	**Dr. Öğr. Üyesi**	**Dr. Öğr. Üyesi**
Rıfat AKBIYIKLI	**İrfan PAMUK**	**Mustafa Dayı**
Jüri Başkanı	**Üye**	**Üye**
Prof. Dr.		**Doç. Dr.**
Harun Reşit YAZĞAN		**Özer UYGUN**
Üye		**Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Murat SÖNMEZ

25.10.2019

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca gerek akademik gerekse iş hayatındaki bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, yüksek lisans ve doktora çalışmalarımın her aşamasında samimiyetle yardım eden, ilgilenen, teşvik eden, moral veren, gerçek bir bilim insanı olan kıymetli danışman hocalarım Sn. Prof. Dr. S. Ümit DİKMEN'e ve Sn. Prof. Dr. Rıfat AKBIYIKLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yürüttüğüm bu çalışma boyunca tez izleme toplantı ve sunumlarında değerli katkı ve desteklerinden dolayı Sn. Dr. İrfan PAMUK'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışmada veri temini konusunda yardımlarını esirgemeyen Toplu Konut İdaresi'ne (TOKİ) teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında, maddi ve manevi desteğiyle her zaman arkamızda duran aileme ve eşim Damla SÖNMEZ'e teşekkür ederim. Aynı süre zarfında, bilgi birikimini ve kıymetli zamanını benimle paylaşan ablam Aynur SÖNMEZ'e ayrıca teşekkür etmek isterim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ viii
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
TABLOLAR LİSTESİ xii
ÖZET xiv
SUMMARY xv

BÖLÜM 1.
GİRİŞ 1

BÖLÜM 2.
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 4
2.1. Süre-Maliyet İlişkisi 4
2.1.1. Bromilow süre-maliyet modeli 4
2.1.1.1. Bromilow süre-maliyet modeli ilgili yapılan çalışmalar 6
2.1.1.2. BTC modeli ile ilgili çalışmaların değerlendirilmesi ... 17
2.1.2. Nakit akışı yönetimi ve S-Eğrileri 20
2.1.2.1. S-Eğrisi ile nakit akışı tahminine ilişkin yapılan çalışmalar 24
2.1.2.2. S-Eğrisi ile ilgili çalışmaların değerlendirilmesi 40
2.1.3. Yapay sinir ağları ile süre-maliyet ilişkisi modeli 42
2.1.3.1. YSA ile inşaat projelerinde süre-maliyet ilişkisi çalışmaları 43
2.2. Bölüm Sonu Değerlendirme 44

BÖLÜM 3.
YÖNTEM 49
3.1. BTC Modeli 50
3.2. S-Eğrileri 52
3.3. Esnek Hesaplama (Soft-Computing) Temelli Yöntemler 55
3.3.1. Yapay sinir ağları 56
3.3.1.1. Yapay sinir ağlarının yapısı 57
3.3.1.2. Yapay sinir ağlarının özellikleri 59
3.3.1.3. Aktivasyon ve transfer fonksiyonları 60

BÖLÜM 4.
ANALİZLER VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 62
4.1. Veri Seti 62
4.2. Farklı Parametrelerinin Süre-Maliyet İlişkisi Üzerindeki Etkisi 64
4.2.1. Çalışılamayan gün sayısının etkisinin değerlendirilmesi 64
4.2.2. Döviz kuru etkisinin değerlendirilmesi 66
4.2.3. İllere göre insani gelişmişlik endeksi etkisinin değerlendirilmesi 69
4.2.4. İllere göre gayri safi yurt içi hasıla parametresinin etkisi 72
4.3. BTC Modeli ile Elde Edilen Bulgular 74
4.3.1. Temel analiz bulguları 75
4.3.2. Farklı parametrelere göre BTC model analizlerinin bulguları ... 81
4.3.2.1. Çalışılamayan günlerin bütün projelerdeki süre-maliyet ilişkisine etkileri 82
4.3.2.2. Çalışılamayan günlerin TOKİ sosyal konut projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri 84
4.3.2.3. Çalışılamayan günlerin bina projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri 85
4.3.2.4. Çalışılamayan günlerin okul projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri 87
4.3.2.5. Çalışılamayan günlerin hastane projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri 88

4.3.2.6. Çalışılamayan günlerin sanayi projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri 89
4.3.2.7. Döviz kurlarının bütün projelerdeki süre-maliyet ilişkisine etkileri 90
4.3.2.8. Döviz kurlarının TOKİ sosyal konut projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri 92
4.3.2.9. Döviz kurlarının okul projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri 93
4.3.2.10. Döviz kurlarının hastane projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri 94
4.3.2.11. Döviz kurlarının sanayi projeleri süre-maliyet i lişkisine etkileri..... 95
4.3.2.12. Döviz kurlarının bina projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri 97
4.3.2.13. İnsani gelişmişlik endeksinin bütün projelerdeki süre-maliyet ilişkisine etkisi 97
4.3.2.14. İnsani gelişmişlik endeksinin TOKİ sosyal konut projelerindeki süre-maliyet ilişkisine etkisi..... 98
4.3.2.15. İnsani gelişmişlik endeksinin bina projelerindeki süre-maliyet ilişkisine etkisi 99
4.3.2.16. İnsani gelişmişlik endeksinin okul projelerindeki süre-maliyet ilişkisine etkisi 101
4.3.2.17. İnsani gelişmişlik endeksinin hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi 102
4.3.2.18. İnsani gelişmişlik endeksinin sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi 103
4.3.2.19. Gayri safi yurtiçi hasılanın bütün projelerdeki süre-maliyet ilişkisine etkisi 104
4.3.2.20. Gayri safi yurtiçi hasılanın TOKİ sosyal konut projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi 105
4.3.2.21. Gayri safi yurtiçi hasılanın bina projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi 106

4.3.2.22. Gayri safi yurtiçi hasılanın okul projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi 108
4.3.2.23. Gayri safi yurtiçi hasılanın hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi 109
4.3.2.24. Gayri safi yurtiçi hasılanın sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi 110
4.3.3. Yapay sinir ağları ile projelerin tamamlanma süresinin tahmini 112
4.3.3.1. Önerilen yapay sinir ağları modeli ve veri seti 113
4.3.3.2. YSA eğitim süreci 118
4.3.3.3. YSA test performansı ve sonuçları 120
4.3.3.4. YSA modeli ve BTC modeli sonuçlarının karşılaştırılması 123
4.4. S-Eğrileri ile Elde Edilen Bulgular 126
4.4.1. Temel analiz bulguları 127
4.4.2. Farklı parametrelere göre S-Eğrisi analizlerinin bulguları 130
4.4.2.1. Çalışılamayan günlerin bütün projelerdeki nakit akış performansına etkisi 133
4.4.2.2. Çalışılamayan günlerin TOKİ sosyal konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi 134
4.4.2.3. Çalışılamayan günlerin bina projelerindeki nakit akış performansına etkisi 135
4.4.2.4. Çalışılamayan günlerin okul projelerindeki nakit akış performansına etkisi 136
4.4.2.5. Çalışılamayan günlerin hastane projelerindeki nakit akış performansına etkisi 137
4.4.2.6. Çalışılamayan günlerin sanayi projelerindeki nakit akış performansına etkisi 139
4.4.2.7. Çalışılamayan günlerin TOKİ afet konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi 140
4.4.2.8. Döviz kurlarının bütün projelerdeki nakit akış performansına etkisi 141

4.4.2.9. Döviz kurlarının TOKİ sosyal konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi 142
4.4.2.10. Döviz kurlarının bina projelerindeki nakit akış performansına etkisi 144
4.4.2.11. Döviz kurlarının okul projelerindeki nakit akış performansına etkisi 144
4.4.2.12. Döviz kurlarının hastane projelerindeki nakit akış performansına etkisi 145
4.4.2.13. Döviz kurlarının sanayi projelerindeki nakit akış performansına etkisi 146
4.4.2.14. Döviz kurlarının TOKİ afet konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi 147
4.4.2.15. İnsani gelişmişlik endeksinin bütün projelerdeki nakit akış performansına etkisi 148
4.4.2.16. İnsani gelişmişlik endeksinin TOKİ sosyal konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi..... 149
4.4.2.17. İnsani gelişmişlik endeksinin bina projelerindeki nakit akış performansına etkisi 151
4.4.2.18. İnsani gelişmişlik endeksinin okul projelerindeki nakit akış performansına etkisi 152
4.4.2.19. İnsani gelişmişlik endeksinin hastane projelerindeki nakit akış performansına etkisi 153
4.4.2.20. İnsani gelişmişlik endeksinin sanayi projelerindeki nakit akış performansına etkisi 154
4.4.2.21. İnsani gelişmişlik endeksinin TOKİ afet konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi..... 155
4.4.2.22. Gayri safi yurtiçi hasılanın bütün projelerdeki nakit akış performansına etkisi 156
4.4.2.23. Gayri safi yurtiçi hasılanın TOKİ sosyal konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi..... 157
4.4.2.24. Gayri safi yurtiçi hasılanın bina projelerindeki nakit akış performansına etkisi 158

4.4.2.25. Gayri safi yurtiçi hasılanın okul projelerindeki nakit akış performansına etkisi 159
4.4.2.26. Gayri safi yurtiçi hasılanın hastane projelerindeki nakit akış performansına etkisi 160
4.4.2.27. Gayri safi yurtiçi hasılanın sanayi projelerindeki nakit akış performansına etkisi 162
4.4.2.28. Gayri safi yurtiçi hasılanın TOKİ afet konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi..... 163
4.4.3. S-Eğrilerinin önceki çalışmalar ile karşılaştırılması 163
4.4.4. Yapay sinir ağları ile S-Eğrilerinin tahmini 165
4.4.4.1. Önerilen yapay sinir ağları modeli ve veri seti 167
4.4.4.2. YSA eğitim süreci..... 174
4.4.4.3. YSA test performansı ve sonuçları 177
4.5. Bölüm Sonu Değerlendirme ve Örnek Uygulama 184

BÖLÜM 5.
SONUÇ VE ÖNERİLER 191

KAYNAKÇA 194
ÖZGEÇMİŞ 209

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ANOVA	:	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
BTC	:	Bromilow's Time Cost Model (Bromilow Süre-maliyet Modeli)
DHSS	:	Department of Health and Social Services (Sağlık ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı)
EN	:	Elman Network (Elman Ağı)
GSYH	:	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
HDI	:	Human Development Index (İnsani Gelişmişlik Endeksi)
ISO	:	International Organization for Standardisation (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
İGE	:	İnsani Gelişmişlik Endeksi (HDI)
LTF	:	Love's Time Floor Model (Love Süre-Maliyet Modeli)
NOF	:	Number of Floors (Kat Sayısı)
RMSE	:	Root Mean Square Error (Karesel Ortalama Hata)
SPSS	:	Statistical Package for Social Sciences
TOKİ	:	Toplu Konut İdaresi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bromilow orijinal veri seti (Bromilow, 1969) 5
Şekil 2.2. İnşaat projelerinde nakit akışını gösteren tipik bir S-Eğrisi (Al-Joburi ve ark., 2012). 23
Şekil 2.3. Nakit akışını gösteren S-Eğrisi örnekleri (Kenley ve Wilson, 1986, Kenley, 2003) 23
Şekil 2.4. Diğer araştırmacıların S-Eğrisi grafikleri 42
Şekil 3.1. Yüzde olarak sözleşme süresini ve kümülatif nakit akışını gösteren S-Eğrisi (Kenley ve Wilson, 2003). 53
Şekil 3.2. Tipik bir yapay sinir ağları modeli (Dikmen ve Sönmez, 2011) 57
Şekil 3.3. YSA mimarisinin temel elemanları 58
Şekil 3.4. En çok kullanılan transfer fonksiyonları 61
Şekil 4.1. Projelere ait gerçek süre-maliyet dağılımları 63
Şekil 4.2. 1999-2018 yılları arası Döviz-TL kurları ve ÜFE endeksi (TCMB, 2018) 67
Şekil 4.3. 2002-2018 yılları arası Türk Lirası ticari kredi faiz oranları 68
Şekil 4.4. Yapı gruplarına göre BTC modeli analiz sonuçları 76
Şekil 4.5. Yapı gruplarına göre BTC model eğrileri 78
Şekil 4.6. Hastane ve okul projelerinin Bayram (2017) ile karşılaştırılması 80
Şekil 4.7. Bütün projeler- çalışılamayan günlere göre BTC model grafikleri 83
Şekil 4.8. TOKİ sosyal konutlar-çalışılamayan günlere göre BTC model grafikleri 84
Şekil 4.9. Bina projeleri-çalışılamayan günlere göre BTC model grafikleri 86
Şekil 4.10. Okul projeleri-çalışılamayan günlere göre BTC model grafikleri 87
Şekil 4.11. Hastane projeleri-çalışılamayan günlere göre BTC model grafikleri 88
Şekil 4.12. Sanayi projeleri-çalışılamayan günlere göre BTC model grafikleri 90
Şekil 4.13. Bütün projeler-döviz 03-10/10-18 dönemleri-BTC model grafikleri 91
Şekil 4.14. TOKİ sosyal konut-döviz 03-10/10-18 dönemleri-BTC model grafikleri 92

Şekil 4.15. Okul projeleri-döviz 03-10/10-18 dönemleri- BTC model grafikleri.... 94
Şekil 4.16. Hastane projeleri-döviz 03-10/10-18 dönemleri-BTC model grafikleri 95
Şekil 4.17. Sanayi projeleri-döviz 03-10/10-18 dönemleri- BTC model grafikleri. 96
Şekil 4.18. Bütün projeler-insani gelişmişlik endeksi- BTC model grafikleri..... 98
Şekil 4.19. TOKİ sosyal konut projeleri-insani gelişmişlik endeksi- BTC model grafikleri 99
Şekil 4.20. Bina projeleri-insani gelişmişlik endeksi- BTC model grafikleri..... 100
Şekil 4.21. Okul projeleri-insani gelişmişlik endeksi- BTC model grafikleri 101
Şekil 4.22. Hastane projeleri-insani gelişmişlik endeksi- BTC model grafikleri .. 102
Şekil 4.23. Sanayi projeleri-insani gelişmişlik endeksi- BTC model grafikleri 104
Şekil 4.24. Bütün projeler-gayri safi yurtiçi hasıla endeksi- BTC model grafikleri 105
Şekil 4.25. TOKİ sosyal konut projeleri-gayri safi yurtiçi hasıla endeksi- BTC model grafikleri 106
Şekil 4.26. Bina projeleri-gayri safi yurtiçi hasıla endeksi- BTC model grafikleri 107
Şekil 4.27. Okul projeleri-gayri safi yurtiçi hasıla endeksi- BTC model grafikleri 108
Şekil 4.28. Hastane projeleri-gayri safi yurtiçi hasıla endeksi- BTC model grafikleri 109
Şekil 4.29. Sanayi projeleri-gayri safi yurtiçi hasıla endeksi- BTC model grafikleri 111
Şekil 4.30. YSA ağ mimarisi..... 114
Şekil 4.31. Eğitim setinin YSA sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması .. 120
Şekil 4.32. Test setinin YSA sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması 122
Şekil 4.33. BTC modeli, YSA modeli sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması..... 124
Şekil 4.34. Bütün projeler için S-Eğrileri 128
Şekil 4.35. Bütün projeler için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri 133
Şekil 4.36. TOKİ sosyal konut projeleri için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri 134
Şekil 4.37. Bina projeleri için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri..... 135
Şekil 4.38. Okul projeleri için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri 137
Şekil 4.39. Hastane projeleri için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri 138
Şekil 4.40. Sanayi projeleri için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri 139

Şekil 4.41. TOKİ afet konut projeleri için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri 141
Şekil 4.42. Bütün projeler için döviz kurlarına göre S-Eğrileri 142
Şekil 4.43. TOKİ sosyal konut projeleri için döviz kurlarına göre S-Eğrileri 143
Şekil 4.44. Okul projeleri için döviz kurlarına göre S-Eğrileri..... 144
Şekil 4.45. Hastane projeleri için döviz kurlarına göre S-Eğrileri..... 145
Şekil 4.46. Sanayi projeleri için döviz kurlarına göre S-Eğrileri..... 147
Şekil 4.47. TOKİ afet konut projeleri için döviz kurlarına göre S-Eğrileri 148
Şekil 4.48. Bütün projeler için insani gelişmişlik endeksine Göre S-Eğrileri 149
Şekil 4.49. TOKİ sosyal konut projeleri için insani gelişmişlik endeksine göre S-Eğrileri 150
Şekil 4.50. Bina projeleri için insani gelişmişlik endeksine göre S-Eğrileri 151
Şekil 4.51. Okul projeleri için insani gelişmişlik endeksine göre S-Eğrileri 152
Şekil 4.52. Hastane projeleri için insani gelişmişlik endeksine göre S-Eğrileri 154
Şekil 4.53. Sanayi projeleri için insani gelişmişlik endeksine göre S-Eğrileri 155
Şekil 4.54. Bütün projeler için gayri safi yurt içi hasılaya göre S-Eğrileri..... 156
Şekil 4.55. TOKİ sosyal konut projeleri için gayri safi yurt içi hasılaya göre S-Eğrileri 157
Şekil 4.56. Bina projeleri için gayri safi yurt içi hasılaya göre S-Eğrileri 159
Şekil 4.57. Okul projeleri için gayri safi yurt içi hasılaya göre S-Eğrileri..... 160
Şekil 4.58. Hastane projeleri için gayri safi yurt içi hasılaya göre S-Eğrileri..... 161
Şekil 4.59. Sanayi projeleri için gayri safi yurt içi hasılaya göre S-Eğrileri..... 162
Şekil 4.60. S-Eğrilerinin literatür ile karşılaştırılması 163
Şekil 4.61. DHSS model ile S-Eğrilerinin literatür ile karşılaştırılması 164
Şekil 4.62. YSA ağ mimarisi..... 168
Şekil 4.63. YSA analizleri ve en düşük hata düzeyi 175
Şekil 4.64. Eğitim setinin YSA sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması .. 176
Şekil 4.65. Eğitim setinin YSA sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması .. 176
Şekil 4.66. YSA test seti sonuçları ve RMSE hata oranı 180
Şekil 4.67. Test setinin YSA sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması 181
Şekil 4.68. Test setinin YSA sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması 181
Şekil 4.69. YSA nakit akışı tahmini- planlanan ve gerçekleşen nakit akışları 187

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Diğer araştırmacıların BTC modeli ile elde ettikleri eşitlikler 18
Tablo 2.2. Diğer araştırmacıların S-Eğrisi eşitlikleri 41
Tablo 3.1. S-Eğrisi polinomial regresyon verisi örneği 54
Tablo 3.2. Transfer fonksiyonları 60
Tablo 4.1. Projelere ait genel veriler 63
Tablo 4.2. İllere göre çalışılamayan gün sayıları 66
Tablo 4.3. İl bazında insani gelişmişlik endeksi ve gruplar 70
Tablo 4.4. İnsani gelişmişlik endeksi gruplama aralıklarının hesaplanması 71
Tablo 4.5. İllere göre GSYH dağılımı ve gruplaması TUIK, (2018) 73
Tablo 4.6. Gayri safi yurtiçi hasıla endeksi gruplama aralıklarının hesaplanması .. 74
Tablo 4.7. Yapı gruplarına göre BTC modeli analiz sonuçları (S=501) 77
Tablo 4.8. Farklı parametrelere göre yapı gruplarının BTC modeli analiz sonuçları (S=501) 82
Tablo 4.9. YSA modeli girdi ve çıktıları 114
Tablo 4.10. Yapı türü parametresine verilen değerler 115
Tablo 4.11. YSA veri seti en yüksek- en düşük değerler 115
Tablo 4.12. YSA analizleri ve karşılaştırmaları 119
Tablo 4.13. RMSE ile hata hesabı- ağ performansı 121
Tablo 4.14. YSA ve BTC modellerinin hata değerleri ve oranları 125
Tablo 4.15. Proje türüne göre S-Eğrisi eşitlikleri 127
Tablo 4.16. Çalışılamayan gün sayısı parametresine göre S-Eğrisi eşitlikleri 131
Tablo 4.17. Döviz kuru parametresine göre S-Eğrisi eşitlikleri 131
Tablo 4.18. İnsani gelişmişlik endeksi parametresine göre S-Eğrisi eşitlikleri 132
Tablo 4.19. Gayri safi yurtiçi hasıla parametresine göre S-Eğrisi eşitlikleri 132
Tablo 4.20 S-Eğrisi YSA modeli girdi ve çıktıları 169
Tablo 4.21. Yapı türü parametresine atanan sayısal değerler 169

Tablo 4.22. YSA veri seti en yüksek- en düşük değerler 170
Tablo 4.23. Eğitim-test seti ağ performansı- RMSE ile hata hesabı 179
Tablo 4.24. Planlanan-gerçekleşen ve YSA ile tahmin edilen nakit akışları 187

ÖZET

Anahtar kelimeler: Süre-maliyet ilişkisi, üstyapı projeleri, Bromilow BTC modeli, Yapay Sinir Ağları, S-Eğrisi.

Proje öncesi safhalarda henüz çok az proje değişkeni biliniyorken inşaat projelerinin sözleşme sürelerini ve nakit akışlarını tahmin etmek oldukça önemli ve bir o kadar da zor bir konudur. Diğer taraftan, projelerin ilk safhalarında gerçekleştirilen tahminler, devam eden süreçte bütçe, nakit akışı, iş programı gibi konuların belirlenmesinde referans oluşturmaktadır. Bu bağlamda, inşaat projelerinde proje öncesi safhalarda süre-maliyet ilişkisinin ortaya konulması gerek bilim insanları gerekse inşaat firmaları ve yatırımcılar açısından önemli bir çalışma alanı olmuştur. Bu çalışmada Türkiye'deki üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisi araştırmıştır. Çalışma kapsamında Türkiye'de 1999-2018 yılları arasında 65 farklı inşaat firması tarafından tamamlanmış 501 adet üstyapı projesinin süre ve maliyet verileri kullanılmıştır. Veriler öncelikle yapıların kullanım amaçlarına göre gruplandırılmış (tekil bina, okul, hastane, sanayi ve TOKİ sosyal konut ve TOKİ afet Konut) ve daha sonra her grup için ayrı ayrı süre-maliyet ilişkileri belirlenmiştir. Ayrıca dış faktör olarak, döviz kurları, çalışılamayan gün sayısı, insani gelişmişlik endeksi ve gayri safi yurtiçi hasıla gibi önceki çalışmalarda araştırılmamış parametrelerin üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkileri istatiksel olarak araştırılarak bu alandaki bilimsel boşluğun doldurulması hedeflenmiştir.Çalışmanın ilk safhalarında, üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkileri, Bromilow zaman maliyet modeli (BTC) ve S-Eğrileri ile projeler bazında ayrı ayrı araştırılmıştır. Devam eden bölümlerde proje öncesi safhalarda üstyapı inşaat projelerinin tamamlanma sürelerinin ve nakit akışlarının tahmini için Yapay Sinir Ağları yöntemi ile bütünleşik bir karar destek sistemi oluşturulmuş ve model sonuçları, ilk aşamada elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçları değerlendirildiğinde önerilen bütünleşik modelin; Türkiye'deki üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisi ve nakit akışı yönetimi açısından daha anlamlı ve hassas sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlerde Yapay Sinir Ağları ile önerilen modelin projelerin tamamlanma sürelerini; %13.55, S-Eğrilerini %10,83 hata (RMSE) ile tahmin edebildiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan, YSA modelinin doğrulama testleri sonucunda; BTC modeline göre %11,57 oranında gerçek değerlere daha yakın tahminlerde bulunduğu, YSA nakit akışı eğrilerinin de polinomial regresyon ile oluşturulan eğrilere kıyasla gerçek S-Eğrilerine daha iyi uyum sağladığı ve nakit akışlarında gerçekleşebilecek dalgalanmaları hassas bir şekilde tahmin edebildiği tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda Türk inşaat sektöründe faaliyet gösteren yatırımcı, yüklenici firmalar ile proje yönetim ekiplerinin ihale öncesi safhalarda ve proje süresince ek bir çaba sarf etmeden istifade edebileceği; projelerin tamamlanma sürelerini ve nakit akışlarını tahmin edebilen alternatif bir karar destek sistemi önerilmiştir.

TIME AND COST RELATIONSHIP FOR SUPERSTRUCTURE PROJECTS IN TURKEY

SUMMARY

Keywords: Time-cost relation, building projects, Bromilow BTC model, Artificial Neural Networks, S Curve.

Estimating the duration and cash flows of construction projects is an extremely important and challenging issue in the pre-project phases when there are still unknown many variables. On the other hand, estimates carried out in the early stages of the projects, create references for budget planning, cash flow, and work Schedule in the on-going phases of the projects. In this context, estimating the time-cost relationship in the pre-project phases of construction projects is a significant research area for both academicians, construction companies and investors. In this study, the time-cost relationship of the superstructure projects in Turkey was investigated. Time and cost data of 501 superstructure projects, completed by 65 construction companies between 1999-2018 in Turkey. Firstly, gathered data grouped into type of projects (singular building, school, hospital, industry and TOKI, social housing and TOKI disaster housing), then for every group seperate time-cost relationship was determined. It was aimed to fill the gap in the literature with investigating the effect of external factor such as exchange rates, non-working days, human development index and gross domestic product, on time and cost relationship superstructure projects statistically.

In the first stages of the study, the time-cost relationships of the superstructure projects were investigated with Bromilow time cost model (BTC) and S-Curves separately on the project basis. In the following sections, an integrated decision support system with Artificial Neural Networks (ANN) method has been established to estimate the realization time and cash flow in the pre-project phases and the model results have been compared with the results obtained in the first stage. When the results of the research are evaluated, it has been determined that the proposed integrated model has been found to give a more meaningful and accurate results for time-cost relationship of the superstructure projects in Turkey. As a result of the analyzes, it was found that the proposed model with ANN can estimate the completion times of the projects with 13.55% error and S-Curves with 10.83% error (RMSE). On the other hand, as a result of validation tests, it has been determined that ANN model predicts closer to real values by 11.57% compared to BTC model, and ANN cash flow curves provide better adaptation to real S-Curves than polynomial regression curves and the ANN model can estimate possible fluctuations that may occur in cash flows more sensitively. As a result of the study, it has been proposed an alternative decision support system model, which can estimate the completion times and cash flows of projects, for the use of investors, contractors and project management teams operating in the Turkish construction sector during pre-tender stages without any additional effort.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnşaat projelerinin zaman-maliyet ilişkisinin araştırılması fikri ilk kez Bromilow tarafından 1969 yılında ortaya konulmuştur. Bromilow, Avustralya'da gerçekleştirilmiş bina projelerine ait veriler üzerinde yapmış olduğu çalışmada, projelerin gerçekleşme süreleri ile maliyetleri arasında güçlü bir ilişki olduğu sonucuna ulaşmış ve bu sonuç, proje öncesi safhalarda hem yatırımcılar hem de yükleniciler açısından projelerin tamamlanma süresinin tahmini açısından önemli bir yol gösterici olmuştur. Diğer taraftan, inşaat projelerinin yönetiminde, projelerin nakit akışları genellikle S-Eğrisi olarak bilinen bir eğri ile izlenmektedir. Nakit akışları ise inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkilerinin zaman içerisindeki değişim oranını ifade etmektedir. Proje yönetim ekipleri; S-Eğrilerinden istifade ederek bir projenin zamanında, gecikmiş veya bütçesinin içerisinde olup olmadığını görsel olarak takip edebilmektedir. Ayrıca, S-Eğrileri; yatırımcı, yüklenici ve idareler arasında proje öncesi safhalarda nakit akışlarının tahmin edilebilmesi için kullanılan yaygın bir uygulamadır. Bu bağlamda, inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkilerinin iki farklı eğri ile izlenebildiği anlaşılmaktadır.

Sözleşme kapsamında taahhüt edilmiş olan işlerin, ihale öncesi safhalarda belirlenmiş olan toplam proje süresi içerisinde ve dengeli bir nakit akışı ile yönetilmesi, projelerin başarı ile sonlandırılmasında en önemli faktörler arasında yer almaktadır (Kenley, 2003). Ancak, planlanan süre ve maliyetlerde meydana gelen aşımlar inşaat projelerinde sıklıkla yaşanan problemler olarak öne çıkmaktadır. Bu problemler proje öncesinde yapılan hatalı süre-maliyet tahmini, fizibilite çalışmaları ve düzensiz nakit akışı yönetiminden kaynaklanabilmektedir. Peer ve Rosental (1982), Pate Cornell ve ark. (1990), Singh ve Lakanathan (1992), Kaka ve Price (1993), Boussabaine ve Kaka (1998) gibi yapım yönetimi konusunda çalışma yapan birçok araştırmacı; yatırımcı ve yüklenici firmaların başarısızlığını proje kıstaslarından olan süre ve maliyetin verimsiz yönetilmesi ile açıklamıştır. Skitmore ve ark. (2003), Toor ve ark. (2008) ise yüklenici

hataları, tasarım değişiklikleri ve iklim şartları gibi öngörülemeyen olaylar ve önceden belirlenmiş aşırı iyimser hedeflerden dolayı süre-maliyet ilişkisinin planlamasında sorunlar yaşanabildiğini belirtmiştir. Diğer taraftan, birçok inşaat firması projelerin başlangıç safhasında toplam proje maliyetinin yaklaşık %10'u kadar bir nakit ile projelerin tamamlanabileceği varsayımı üzerine ihale hazırlığı yapmaktadır (Antill, 1973). Ancak, günümüzün karmaşık ve büyük inşaat projelerinde geleneksel yöntemler yerine gerçeğe en yakın süre ve nakit planlamasına yön verecek bilimsel yaklaşımlara ihtiyaç duyulduğu açıktır. Bu sebeple, inşaat projelerinde süre-maliyet ilişkisinin proje öncesi safhalarda doğru bir şekilde tanımlanması, projelerin süre ve finansal anlamda başarı ile sonlandırılabilmesi açısından önemli bir argümandır. Ancak, önceki çalışmalar incelendiğinde üstyapı projelerinin tamamlanma sürelerinin ve nakit akış profillerinin, süre-maliyet ilişkisi çerçevesinde daha önce araştırılmamış bir konu olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisinin kapsayıcı bir yaklaşım ile tahmin edilmesinin çözülmesi gerekli olan önemli bir problem olduğu anlaşılmaktadır.

Bu bilgiler ışığında bu çalışmanın amacı, Türk inşaat sektöründe faaliyet gösteren, yatırımcı ve yüklenici firmalar ile proje yönetim ekiplerinin ihale öncesi safhalarda ve proje süresince istifade edebileceği, üstyapı projelerinin tamamlanma sürelerini ve nakit akışlarını; projelerin karakteristik özelliklerini dikkate alarak süre-maliyet ilişkisi çerçevesinde tahmin edebilen alternatif ve bütünleşik bir karar destek modelinin ortaya konulmasıdır. Böylelikle, süre-maliyet ilişkisini proje öncesinden tamamlanana kadar bir süreç olarak değerlendiren yeni ve bütünleşik bir süre-maliyet ilişkisi tahmin modelinin literatüre özgün bir katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Çalışma kapsamında araştırma örneklemi olarak Türkiye'de 1999-2018 yılları arasındaki dönemde orta ve büyük ölçekli 65 farklı inşaat firması tarafından yapımı tamamlanmış 501 adet üstyapı projesinin süre, maliyet ve sözleşme verileri kullanılmıştır. Proje verileri öncelikle yapıların kullanım amaçlarına göre gruplandırılmış (tekil bina, okul, hastane, sanayi ve TOKİ sosyal konut ve TOKİ afet Konut) ve daha sonra her grup için ayrı ayrı süre-maliyet ilişkileri belirlenmiştir. Araştırmada temel süre ve maliyet verileri dışında; ilave dış faktör olarak, döviz kurları (Akyüksek ve Biçen, 2017), çalışılamayan gün sayısı (Halpin, 2005), insani

gelişmişlik endeksi (Jarkas, 2016) ve gayri safi yurtiçi hasıla (Tse ve Ganesan, 1997; Yiu ve ark., 2010; Berk ve Biçen, 2017) gibi daha önceden araştırılmamış parametrelerin, üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkileri istatiksel yöntemlerle araştırılarak bu alandaki bilimsel boşluğun doldurulması hedeflenmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında üstyapı projelerinin sözleşme büyüklüklerine göre tamamlanma süreleri Bromilow zaman-maliyet (BTC) modeli ile, süre-maliyet ilişkisinin zaman içerisindeki değişim oranını ifade eden S-Eğrileri ise polinomial regresyon yönteminden istifade edilerek araştırılmıştır. Devam eden bölümlerde proje öncesi safhalarda üstyapı inşaat projelerinin tamamlanma sürelerinin ve nakit akışlarının tahmini için Yapay Sinir Ağları ile bütünleşik bir karar destek sistemi oluşturulmuş ve model sonuçları, ilk aşamada elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçları değerlendirildiğinde önerilen bütünleşik modelin; Türkiye'deki üstyapı projelerinin tamamlanma sürelerinin ve nakit akışlarının tahmini açısından daha anlamlı ve hassas sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Özellikle inşaat sektöründe faaliyet gösteren yatırımcı ve yüklenici firmaların proje öncesi safhalarda ek bir çaba sarf etmeden, projelerin tamamlanma süreleri ve nakit akışları ile ilgili fikir sahibi olabilmeleri açısından bu çalışmanın Türkiye şartlarında referans bir kaynak olacağı değerlendirilmektedir.

BÖLÜM 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Süre-Maliyet İlişkisi

Nakit akışı yönetimi esasen süre ve maliyet arasındaki ilişkiyi kapsamaktadır. İnşaat projelerinin nakit akışları; projelerin yaşam döngüsü boyunca süre-maliyet ilişkisinin değişim oranı hakkında birtakım bilgiler sunsa da projelerin nihai süre ve maliyetleri, nakit akışlarının tahmininde belirleyici faktörler arasında yer almaktadır. Diğer taraftan, proje öncesi safhalarda nakit akışlarının belirlenebilmesi için hem zaman hem de maliyet tahminlerinin önceki safhalarda tamamlanmış olması gerekir. Ancak, inşaat projelerinin süre veya maliyetlerini tahmin etmek üzere literatürde derinlemesine yapılmış birçok çalışma yer alsa dahi bu iki proje birleşeni arasındaki ilişkiye bağlı olarak türetilmiş modeller oldukça kısıtlıdır. Bu bağlamda, çalışmanın bu bölümünde süre-maliyet ilişkisi ve nakit akışı yönetimi ile ilgili önceki çalışmalar araştırılmıştır.

2.1.1. Bromilow süre-maliyet modeli

İnşaat projelerinin gerçekleşme maliyeti ile gerçekleşme süresi arasındaki ilişki ilk kez Bromilow tarafından araştırılmıştır (Bromilow, 1969). Bromilow 1969 yılında Avustralya'da inşası tamamlanmış 328 adet üstyapı projesinin süre-maliyet ilişkisini incelemiştir. Araştırmacı çalışmasında gerçekleşme süresi ve maliyet arasındaki ilişkiyi Eşitlik (2.1)'de gösterilen Bromilow Time-Cost (BTC) modeli ile ifade etmiştir.

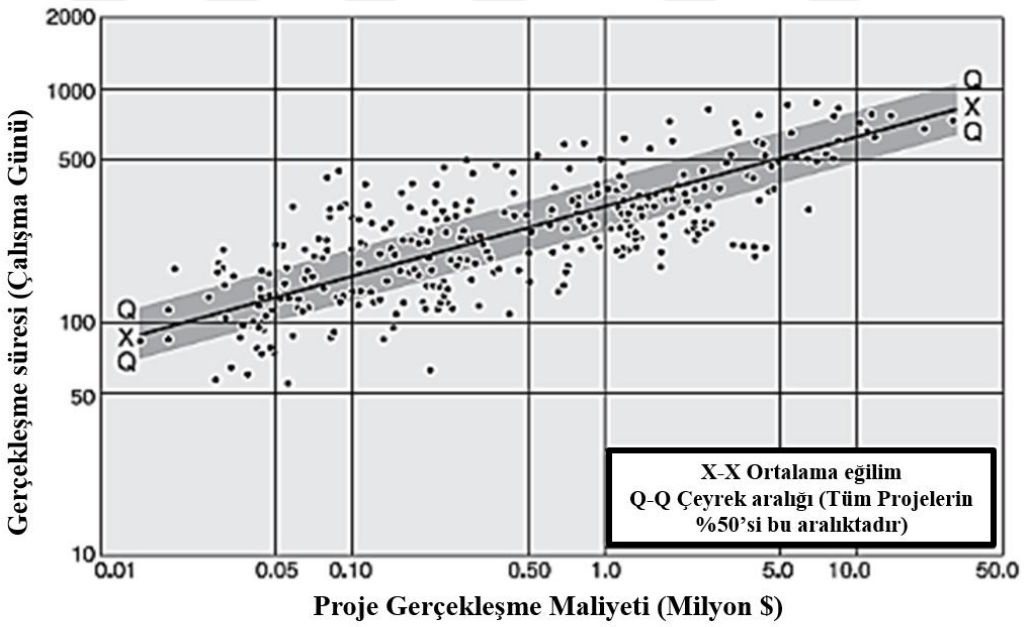
$$T = KC^B \tag{2.1}$$

Bu eşitlikte, *T,* takvim günü olarak projenin sözleşme imzalanması ile başlayan ve geçici kabul ile son bulan süreyi, *C* ise projenin sonunda yatırımcı ve/veya yüklenici açısından kesin maliyeti, yani yüklenici tarafından alınan toplam ödemeyi ifade etmektedir. Diğer yandan, *K* ve *B* ise süre ile maliyeti ilişkilendiren katsayılardır. Bu

katsayıların regresyon analizi ile hesaplanabilmesi için üssel bir eşitlik olan Eşitlik (2.1) lineer forma dönüştürülerek Eşitlik (2.2) elde edilmiştir.

$$\ln T = \ln K + B\ x\ \ln C \tag{2.2}$$

Eşitlik (2.2)'de görüldüğü gibi Eşitlik (2.1) y=a +bx şeklinde doğrusal bir eşitlik haline getirilerek, regresyon analizi yöntemiyle *K* ve *B* katsayıları geçmişte yapılan projelerin veri setleri kullanılarak elde edilebilmektedir. Burada *K* katsayısı inşaat süresi performansının karakteristiğini (ülkelere göre değişen), *B* katsayısı ise inşaat süresi performansının maliyete göre hassasiyetini ifade eden değerdir. Bromilow (1969), çalışmasında *K* katsayını 350, *B* katsayısını ise 0,30, maliyeti (*C* değerini) 1 (milyon AUD olarak belirlemiş ve buna bağlı olarak bir inşaat projesi için 350 iş gününü verimlilik ve etkinlik ölçütü olarak tespit etmiştir. Bromilow, süresi aşırı uzamış olan proje verilerini sonuçlarda farklılaşma etkisi yaratacağı kaygısı ile analiz dışında bırakmıştır. Bromilow'un orijinal veri seti Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Bromilow orijinal veri seti (Bromilow, 1969)

İstatistiksel modellemede, çeşitli tekniklerle belirlenen bir veri kümesinin korelasyon değeri; veri setini oluşturan iki veya daha fazla kantitatif ve sürekli değişken arasındaki ilişkinin gücü hakkında bir göstergedir. Güçlü veya yüksek bir korelasyon, veri

kümesinin değişkenlerinin birbirleriyle güçlü bir ilişkiye sahip olduğu anlamına gelirken, zayıf veya düşük bir korelasyon, değişkenlerin zorlukla ilişkili olduğu anlamına gelir. Diğer taraftan, R^2 olarak da bilinen determinasyon katsayısı, bir regresyon eğrisinin veri noktalarına ve bağımsız değişkenden tahmin edilebilir olan bağımlı değişkendeki varyansa ne kadar yaklaştığını gösteren bir ölçüdür (Baradan ve ark., 2019). BTC modeli ile yapılan analizler kapsamında hesaplanan determinasyon katsayısı (R^2) değeri de maliyet ve süre arasındaki ilişkinin açıklama düzeyindeki bir ölçüttür. $R^2=1$ olması, süre-maliyet ilişkisinin tam olarak açıklanabildiğini gösterirken $R^2=0$ olması durumunda ise süre-maliyet ilişkisinin bulunmadığı anlaşılmaktadır (Long ve ark., 2009). Çalışmanın devam eden bölümlerinde BTC modelinden istifade edilerek süre-maliyet ilişkisinin ve bu ilişkinin açıklama düzeyinin araştırıldığı çalışmalara yer verilecektir.

2.1.1.1. Bromilow süre-maliyet modeli ilgili yapılan çalışmalar

Ireland (1983), Bromilow (1969)'dan sonra BTC modelini kullanarak süre-maliyet ilişkisini inceleyen ilk araştırmacıdır. Ireland (1983), süre-maliyet ilişkisini araştırdığı çalışmasında Avustralya'da kamu ve özel sektöre ait 25 yüksek katlı ofis bina projesine ilişkin verileri AUD para birimini kullanarak regresyon analizi ile incelemiştir. Araştırmacı, Bromilow modelini doğrulayan sonuçlara ulaşmış ve süre-maliyet ilişkisini ($\mathrm{T} = 219\mathrm{C}^{0,47}\mathrm{R}^2 = 0{,}58$) ortaya koymuştur. Ireland (1983), Bromilow'un önerdiği şekilde, enflasyon etkisini proje maliyetinden arındırmak üzere Avustralya yapı maliyet endekslerini analizlerine dâhil etmiştir. Çalışma sonucunda; mimari tasarım, yapı tasarımı, kat sayısı ve endüstriyel anlaşmazlıklar gibi sözleşme değişimlerinde artış yaratan unsurların inşaat süresini büyük ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmasında Ireland (1985), BTC modelinden farklı olarak, inşa edilen toplam alan ve kat sayısı gibi fiziksel faktörleri dikkate alarak inşaat hızının ölçülmesine yönelik alternatif bir model ortaya koymuştur.

Kaka ve Price (1991), İngiltere gerçekleştirilmiş üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisini araştırmayı amaçlamışlardır. Araştırmacılar çalışma kapsamında inşaat projelerini değer bazında sınıflandırarak BTC modeli ile süre tahmini yapmıştır. Bu sebeple veri seti değeri 695 Milyon GBP'nin üzerinde 661 adet bina projesi ve 120

Milyon GBP'yi aşan 140 adet yol projesinden oluşturulmuştur. Çalışmada bina ve yol projelerinin süre-maliyet ilişkisinin BTC modeli ile yüksek düzeyde açıklanabildiği (Kamu projeleri $R^2 = 0{,}58$, Özel projeler $R^2 = 0{,}71$) tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda inşaat projelerinin maliyetleri ve süreleri arasında güçlü bir ilişki olduğu ve kamu projelerinin özel sektör projelerine kıyasla daha uzun sürede tamamlanabildiği tespit edilmiştir.

Yeong (1994), Avusturalya ve Malezya'da gerçekleştirilen inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisini çoklu regresyon modelini kullanarak araştırmıştır. Yeong, Malezya'da 65 bina projesinden 51'ini, Avusturalya'da ise 124 projeden 87'sini analize dahil etmiştir. Çalışma sonucunda Avustralya ve Malezya'da gerçekleştirilen kamu projeleri ile Avustralya'da gerçekleştirilen özel sektör projelerinin süre-maliyet ilişkisinin BTC modeli ile yüksek düzeyde açıklanabildiği saptanmıştır. Araştırmacı, üretimde kullanılan teknoloji, iş yapım yöntemi ve iş gücü verimlilikleri arasındaki farklar sebebi ile Malezya kamu projelerinin Avustralya'ya kıyasla daha uzun sürelerde tamamlanabildiğini ortaya koymuştur.

Kumaraswamy ve Chan (1995), BTC modelini Hong Kong'da yol ve yapı projelerinin süre-maliyet ilişkisini incelemek üzere kullanmışlardır. Çalışma kapsamında veri setinde yer alan projeler kamu ve özel sektör olarak gruplandırılmış ve BTC modeline ek olarak BTC eşitliğinde maliyet yerine m^2 cinsinden yüzey alanı değişkenini kullanarak süre-yüzey alanı ilişkisini de araştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar Birleşik Krallık ve Avusturalya ile karşılaştırılarak süre-maliyet ilişkisinin yüksek düzeyde açıklanabildiği ($R^2 = 0{,}85$) tespit edilmiştir. Diğer taraftan, yüzey alanı ve süre arasında da pozitif yönde anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Chan (1999), BTC modelinin uygulanabilirliğini Malezya'da 51 kamu projesi üzerinde araştırmıştır. Çalışma sonucunda kamu projeleri için ortalama en iyi inşaat süresi ($T = 269C^{0{,}32} R^2 = 0{,}407$) olarak tespit edilerek 1 Milyon Malezya Ringiti maliyetli kamu projelerinin ortalama tamamlanma süresinin 269 gün olduğu ve önerilen modelin Malezya sınırları içerisinde kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Ng ve Skitmore (2000), BTC modelinden istifade ederek Avusturalya'da 1991 ve 1998 yılları arasında tamamlanmış 93 inşaat projesinin gerçek süre ve maliyet verilerini analiz etmişlerdir. Araştırmacılar, inşaat maliyetlerini Mart 1998 Avustralya Bina Fiyat Endeksi'ni (BPI) kullanarak yeniden fiyatlandırmış ve süre-maliyet ilişkisini ($T = 131C^{0,31} R^2 = 0,58$) hesaplamıştır. Analizler sonucunda ortalama inşaat maliyeti 21,4 Milyon USD olan bir projenin 237 günde tamamlanabildiği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma sonucunda kamu ve özel sektör projelerinin süre-maliyet ilişkilerinin ayrı ayrı incelenmesinin gerekliliği ifade edilmiştir. Diğer taraftan sanayi projelerinin, okul ve rezidans projelerine kıyasla daha kısa sürede tamamlanabildiği tespit edilmiştir.

Ojo (2001) BTC modeli ile Nijerya'da gerçekleştirilen inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda Nijerya üstyapı inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisinin ($T = 27C^{0,125} R^2 = 0,176$) açıklanamadığı ve bu durumun nedeni olarak Nijerya inşaat sektöründe yaşanan yoğun belirsizlikler gösterilmiştir.

Choudhury ve ark. (2002), Bangladeş'te süre-maliyet ilişkisinin tespiti amacı ile 35 özel sektör ve kamu hastane projesini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda BTC süre-maliyet ilişkisi ($T = 149C^{0,27} R^2 = 0,65$) hesaplanmış ve Bromilow süre-maliyet modelinin Bangladeş'te proje maliyetinin bilinmesi halinde ihale öncesi safhalarda paydaşlara faydalı bilgiler sunabilen alternatif yöntemlerden biri olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Choudhury ve Rajan (2003), BTC modelini kullanarak Teksas'ta 55 konut projesine ait verileri incelemiştir. Gerçek inşaat süresi ve maliyeti arasındaki ilişkiyi incelemek üzere dağılım grafiği hazırlanmış ve değişkenler arasında pozitif bir ilişki ($T = 18,96\ C^{0,39} R^2 = 0,75$) olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacılar, BTC modeli ile süre üzerinde yalnızca maliyet faktörünün dikkate alındığını, gelecek çalışmalarda farklı faktörlerin de projelerin tamamlanma süreleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilebileceğini önermiştir. Bu bağlamda; bu çalışmada süre üzerinde maliyet faktörü ile birlikte çalışılamayan gün sayısı, insani gelişmişlik endeksi, döviz kuru, gayrisafi yurtiçi hâsıla ve yapı türünün etkisi de araştırılmıştır.

Love ve ark. (2005) yapının fiziksel özelliklerinin toplam inşaat süresi üzerinde önemli bir faktör olduğunu belirterek, projelerin tamamlanma sürelerinin tahmininde toplam taban alanı ve kat sayısı değişkenlerinden istifade ederek BTC modelinden türetilmiş LTF (Love et al.'s Time-Floor Model) modelini ortaya koymuştur. Araştırmacılar, Avusturalya'da gerçekleştirilen projelerin süre-maliyet ilişkisini incelemek üzere ülkenin farklı eyaletlerinden yapımı tamamlanmış 161 inşaat projesini incelemiştir. Veri seti içerisinde yer alan projeler yeni proje, yenileme, restorasyon ve tadilat başlıkları altında çoklu regresyon yöntemi ile analiz edilmiş ve süre maliyet ilişkisi R^2 =0,96 olarak elde edilmiştir. Çalışma sonucunda önerilen modelin bina projeleri için geçerli olduğu ve maliyetin, süre performansının tahmininde zayıf bir parametre olduğu belirtilmiştir. Diğer yandan, brüt kat alanının azalması ve kat sayısının artması durumunda imalat verimliliğinin azaldığı da elde edilen diğer bir bulgudur. Ayrıca yeni projeler; restorasyon ve tadilat projeleri ile karşılaştırıldığında, yeni projelerin imalat süresinin diğer projelere kıyasla daha uzun olduğu tespit edilmiştir.

Martin ve ark. (2006) Birleşik Krallık 'ta gerçekleştirilen inşaat projelerinin toplam tamamlanma sürelerinin tahmini amacı ile sözleşme içeriğinden inşaat süresi, yapı türü, yüklenici seçim yöntemi, müşteri tipi, sözleşme tutarı verilerini temin ederek analizlerini gerçekleştirmiştir. Süre ve maliyet arasındaki ilişki hesaplamalarında en küçük kareler ve doğrusal regresyon yöntemleri kullanılırken BTC modeli ile herhangi bir analiz gerçekleştirilmemiştir. Modelde veri seti olarak 1998-2006 yılları arasında İngiltere'de tamamlanan 200'den fazla bina projesinden istifade edilmiştir. Devam eden süreçte modeli geliştirmek için, yapım süresinin karekökü bağımlı değişken olarak kullanılmış ancak, analizler sonucunda ortaya koyulan eğrilerin süre-maliyet ilişkisini açıklayamadığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında ise BTC modeli hem regresyon hem de YSA modelleri kullanılarak iki farklı açıdan sınanmış ve diğer araştırmacıların çalışmaları ile karşılaştırılmıştır.

Ogunsemi ve Jagboro (2006), Nijerya inşaat projelerinde BTC modeli ile süre-maliyet ilişkisini araştırmıştır. Bu kapsamda 1991-2000 yıllarına ait 87 tamamlanmış bina projesinin maliyet verileri üzerinden regresyon analizi gerçekleştirilmiş ve Nijerya için inşaat süre-maliyet ilişkisi ($T = 63C^{0,26} R^2 = 0,205$) hesaplanmıştır. Araştırmacılar, elde edilen sonuçların Ojo (2001)'nun çalışmaları ile benzerlik gösterdiğini ancak,

Bromilow'un süre-maliyet modeline göre zayıf olduğunu belirtmiştir. Ogunsemi ve Jagboro (2006), analizler sırasında veri setinde yer alan projelerin maliyetlerine göre bir kırılma noktası olduğunu tespit etmiş ve parçalı bir model kullanarak, Nijerya için alternatif bir çalışma gerçekleştirmiştir. Tespit edilen kırılma noktasına göre süre-maliyet ilişkisi; $C < 408;\ T = 118{,}563 - 0{,}401C$ ve $C > 408;\ T = 603{,}427 + 0{,}610C$ olarak ortaya konulmuş ve modelin açıklama düzeyinin %80 seviyesinde olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, Nijerya inşaat sektöründe süre ve maliyet aşımlarının yaygın olduğu vurgulanarak, ülke ekonomisinde yaşanan yoğun belirsizliklerin BTC modelinin uygulanabilirliğine engel teşkil ettiği kanısına varılmıştır. Çalışma sonucunda araştırmacılar Nijerya inşaat firmaları için parçalı doğrusal regresyon ile ortaya koyulan modelin süre tahmini açısından faydalı olacağını önermiştir.

Endut ve ark. (2006), Malezya'da 1994-2005 yılları arasında tamamlanmış 359 inşaat projesinin süre ve maliyet verilerini analiz etmiştir. Araştırmacılar 301 yeni üstyapı bina projesi ve 58 adet kentsel dönüşüm projesi ile Bromilow süre-maliyet ilişkisini ($T = 328\ C^{0,246}\ R^2 = 0{,}324$) ortaya koymuşlardır. Ancak, çalışma sonucunda tahmin edilen sürelerin gerçek proje sürelerine kıyasla çok daha kısa olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada da Endut ve ark. (2006)'nın çalışmasına benzer olarak bina projeleri ile süre-maliyet ilişkisi araştırılmış ve Türkiye'de yer alan bina projelerinin süre-maliyet ilişkisi Malezya'ya kıyasla daha yüksek seviyede elde edilmiştir.

Hoffman ve ark. (2006), BTC modelinden istifade ederek Amerika'da 1988 ve 2004 yılları arasında tamamlanmış 332 adet sanayi projesinin süre-maliyet ilişkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda süre ve maliyet arasında anlamlı bir ilişki ($T = 26{,}8\ C^{0,202} R^2 = 0{,}337$) olduğu ifade edilmiş olsa dahi hesaplanan determinasyon katsayısı sebebi ile modelin kullanılabilirliğinin tartışmaya açık olduğu değerlendirilmektedir. Araştırmacılar çalışma sonucunda, süre-maliyet ilişkisinde etkili olan farklı dış faktörlerin dikkate alınarak yeni çalışmalar yapılabileceğini önermiştir. Bilhassa yönetim faktörlerinin ve yatırımcı etkisinin dikkate alınmasının gerekliliği ifade edilmiştir. Bu tez çalışmasında da sanayi projeleri incelenmiş ve farklı parametreler ile test edilmiştir. Yatırımcı ve yönetim faktörlerinden farklı olarak;

projenin gerçekleştirildiği bölge, iklim koşulları ve döviz kuru etkisi altında sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisi araştırılmış ve Türkiye için Hoffman ve ark. (2006)'nın çalışmasından daha anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Özçekiç (2007), BTC modeli ile Türk inşaat firmalarının yurtdışında (Doğu Avrupa, Orta Doğu ve Kuzey Afrika) inşa ettiği 209 adet bina projesinin süre-maliyet ilişkisini araştırmıştır. Bütün projeler için BTC modelinin açıklama düzeyi $R^2 = 0{,}76$ olarak hesaplanmış ve süreyi etkileyen faktörlerin %76,27'sinin ihale bedeli ile açıklanabileceği belirtilmiştir. Özçekiç (2007)'in çalışması her ne kadar Türk inşaat firmalarına ait projeler üzerinden yapılmış olsa da projelerin tamamı yurt dışında gerçekleştirildiğinden elde edilen bulgular Türkiye sınırları içinde gerçekleştirilmiş projeler için herhangi bir veri barındırmamaktadır. Choudhury ve Rajan (2003)'ın ve diğer birçok araştırmacının da belirttiği üzere projelerin tamamlanma süreleri ve maliyetleri gerçekleştirildiği bölgenin yerel koşullarından etkilenmektedir. Bu bağlamda, Özçekiç (2007)'in çalışması araştırmanın yapıldığı bölgeler için belirleyici sonuçlar sunabilmektedir. Bu çalışma kapsamında ise; Türkiye'nin 56 ilinde tamamlanmış projelerin süre-maliyet ilişkisi araştırılmış ve sektörde faaliyet gösteren yatırımcı, yüklenici ve proje yönetim ekipleri için ihale öncesi safhalarda kullanılabilecek veriler elde edilmiştir.

Zujo ve Pusic (2008), 1995-2006 yıllarında Bosna-Hersek'te inşa edilmiş 53 adet projenin süre-maliyet ilişkisini araştırmıştır. Öncelikli olarak proje verileri 29 adet yeni bina ve 24 adet yenileme yapısı olarak iki gruba ayrılmıştır. Diğer yandan, elde edilen model 2006-2008 yılları arasında Bosna- Hersek'te tamamlanmış 8 proje ile test edilmiştir. Çalışma sonucunda yenileme yapıları için elde edilen sonuçların ($T = 79C^{0,41}R^2 = 0{,}698$) yeni bina projelerine ait sonuçlara ($T = 70C^{0,52}R^2 = 0{,}336$) göre oldukça anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Test aşamasında 8 projenin 7 tanesinin tahmin ve gerçek sürelerinin uyum sağladığı, sadece 1 projede gerçek değer ile tahmini değerin ayrıştığı tespit edilmiştir.

Odabaşı (2009), Orta Doğu Teknik Üniversitesi kampüsünde 2004-2007 yılları arasında inşa edilmiş yedi adet kampüs projesinin süre-maliyet ilişkisini BTC modeli ile incelemiştir. Araştırmacı basit ve çok değişkenli regresyon hesaplamaları yapmış,

elde ettiği yüksek korelasyon değeri ($T = 161{,}74C^{0{,}58}R^2 = 0{,}93$) sonucunda modelin kullanılabilir olduğunu belirtmiştir. Ancak Odabaşı (2009)'nın çalışması aynı kampüs içerisinde benzer özelliklere sahip eğitim binaları ile sınırlı kalmıştır. Bu tez çalışmasında ise farklı bölgelerde inşa edilen eğitim binalarına ilave olarak farklı yapı türleri de incelenerek Türk inşaat sektöründe üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisi araştırılmıştır.

Diana ve Mladen (2009), 41 yerel yol, 27 otoban, 25 yol yapısı, 14 ofis ve konut projesinden istifade ederek Hırvatistan'da yol ve üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda, Hırvatistan sınırlarında gerçekleştirilmiş inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisi ($T = 88\ C^{0{,}54}R^2 = 0{,}80$) hesaplanmış ve modelin sektörde faaliyet gösteren inşaat firmaları ile yatırımcılar tarafından kullanılabileceği önerilmiştir.

Le-Hoai ve Lee (2009), Güney Kore inşaat projeleri için BTC modelinin geçerliliğini araştırmak üzere 34 üstyapı projesinin süre ve maliyet verilerini incelemiştir. Analizler sonucunda projeler kamu ve özel sektör şeklinde sınıflandırılarak süre-maliyet ilişkisi $T = 341C^{0{,}175}R^2 = 0{,}657$ olarak ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında örneklemin küçük olduğu ve yapı türlerinin çeşitlilik arz etmediği araştırmacılar tarafından belirtilerek gelecek çalışmalarda daha büyük bir veri seti ile farklı yapı türlerinin araştırılması önerilmiştir. Bu tez çalışmasında Le-Hoai ve Lee (2009)'nin önerdiği gibi geniş bir veri seti ve altı farklı yapı türü üzerinde araştırma yapılarak farklı yapı türleri için elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

Le-Hoai ve ark. (2009) BTC modelinden istifade ederek Vietnam'da 1999-2005 yılları arasındaki yedi yıl içerisinde tamamlanmış 77 tarihi yapı projesini incelemiştir. Proje tutarları; 1999-2005 yılları arasındaki tüketici fiyat endeksi kullanılarak 2000 yılı fiyatlarına eskale edilmiştir. Süre-maliyet ilişkileri kamu ve özel sektör olarak ayrı ayrı araştırılmış ve elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Kamu projeleri $T = 98{,}1\ C^{0{,}343}R^2 = 0{,}436$ ve özel sektör projeleri $T = 87{,}2\ C^{0{,}35}\ R^2 = 0{,}377$). Çalışma sonucunda 1 milyon VND (Vietnam Dongu) değerindeki özel sektör projelerinin 87 günde, kamu projelerinin ise 98 günde tamamlandığı, ortalama olarak tüm projelerin ise 94 günde tamamlanabildiği tespit edilmiştir. Ayrıca çalışma

sonucunda kamu sektörüne ait projelerin inşaat süresinin, özel sektör projelerine kıyasla daha uzun olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında kamu bünyesinde gerçekleştirilmiş olan TOKİ projelerinin de süre-maliyet ilişkileri araştırılmış ve Le-Hoai ve ark. (2009)'nın çalışmalarına kıyasla daha anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Car, Pusic ve Radujkovic (2010), Hırvatistan'da gerçekleştirilen inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisini; 2002-2004 ve 1992-2003 yılları olmak üzere dönemsel bazda araştırarak elde edilen bulguları 2005-2007 yılları arasında inşa edilen projeler ile test etmiştir. Araştırma kapsamında 41 adet eyalet ve yerel yol, 27 otoyol, 25 yol yapısı, 14 bina projesi olmak üzere toplam 107 adet projeden istifade edilmiş ve süre-maliyet ilişkisi $T = 58C^{0,50} R^2 = 0,82$ olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, K ve B katsayılarının diğer ülkelere kıyasla daha yüksek düzeyde elde edildiğini, bu durumun da düşük verimliliğe neden olan Hırvatistan'da kullanılan eski teknoloji, zayıf organizasyon ve çalışılamayan günlerden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Nitekim bu çalışmada süre-maliyet ilişkisine etki eden parametrelerden çalışılmayan gün sayısı ile birlikte döviz kuru, GYSH ve İGE parametreleri araştırılmış ve üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisine olan etkileri ortaya konulmuştur.

Sun ve Xu (2010), Çin'deki Wenchuan depreminden sonra 100.000 km^{2}'lik alanın iyileştirme çalışmaları amacı ile üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisini araştırmıştır. Süre tahmininde BTC ve Elman Ağı (EN-Elman Network) modellerinden istifade edilerek, çalışma sonucunda EN verilerinin ($R^2 = 0,86$) süre tahmininde BTC modeline kıyasla daha iyi tahmin kabiliyetine ($T = 42,4C^{0,286}$; $R^2 = 0,75$) sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında da BTC modelinin doğal afet sonrası gerçekleştirilen projelerin süre-maliyet ilişkisi Türkiye özelinde araştırılmış ve bulguları ortaya konulmuştur.

Choudhury (2012), Teksas eğitim yapılarının süre-maliyet ilişkisini tamamlanmış 39 proje ile araştırarak, yapım süresinin; maliyet, inşaat alanı ve proje teslim yöntemi gibi faktörlerinden etkilendiğini belirtmiştir. Bununla birlikte inşaat alanı artışının, inşaat süresini de uzattığı ve aralarında anlamlı bir ilişki ($T = 0.067GFA^{0,454} R^2 = 0,74$) olduğu ifade edilmiştir.

Choudhury (2012), BTC modeli ile Hindistan altyapı inşaat projeleri için toplam inşaat süresinin inşaat maliyeti ile ilişki düzeyini ve yapım süresi boyunca talep edilen değişikliklerin proje süresine olan etkilerini araştırmıştır. Hindistan'da 2007-2012 yılları arasında tamamlanmış 50 altyapı projesi Bromilow'un önerdiği eşitlik kullanılarak analiz edilmiş ve süre-maliyet ilişkisi $T = 4{,}38C^{0{,}276}$ $R^2 = 0{,}35$ olarak tespit edilmiştir. İstatistiksel analizlerin sonuçları, araştırma hipotezine sadece düşük düzeyde bir destek sağlamıştır. Çalışma sonucunda, altyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisinin ancak %35 düzeyinde açıklanabildiği tespit edilmiştir.

Ameyaw ve ark. (2012), BTC modelini Gana'da ki üstyapı projelerine uygulamak amacıyla 2000-2007 yılları arasında tamamlanmış 62 projenin maliyet verilerini incelemiştir. Çoklu regresyon analizi ile yapılan çalışmalarda, süre-maliyet ilişkisi ($R^2 = 0{,}003$) oldukça düşük düzeyde tespit edilmiştir. Araştırmacılar Gana'da projelerin tamamlanma sürelerinin tahminin oldukça güç olduğunu, bu nedenle de genel anlamda modelin Gana'da uygulanabilir olmadığını belirtmiştir. Çalışma sonucunda, Gana sınırları içerisinde gerçekleştirilecek inşaat projelerinin süre tahmini için sürekli gözlem, düzenli fonlama ve sistematik denetim önerilmiştir. Diğer taraftan, Gana yol projeleri üzerinde çalışan Mensah (2010) BTC modelinin kullanılabilir olduğunu belirtirken, Ameyaw ve ark. (2012) hesaplanan zayıf süre-maliyet ilişkisini, yol projelerinin düzenli bir şekilde fonlanmasına bağlamıştır.

Albalushi ve ark. (2013) inşaat sektöründe maliyet aşımlarının nedenini araştırmak üzere Umman'da 2010-2013 yılları arasında gerçekleştirilmiş 38 kamu projesini (konut, ofis, alt yapı, liman vb..) araştırmıştır. İncelenen projelerin %84,2'sinin maliyet aşımına uğradığını, %50'sinin ise gecikmiş olduğu tespit edilmiştir.

Mačková ve Bašková (2014), BTC modelini Slovakya konut projelerine uyarlayarak 2010-2013 yılları arasında tamamlanmış 28 konut projesi ile veri setini oluşturmuştur. Veriler üzerinde korelasyon ve regresyon analizi uygulanarak süre-maliyet ilişkisi $T = 384C^{0{,}263}$ olarak hesaplanmıştır. Araştırmacılar, 1 Milyon Euro'luk bir projenin ortalama tamamlanma süresini 384 gün olarak tespit etmiş ve modelin kullanılabilir olduğunu belirtmiştir. Ancak veri setinin 28 adet projeden oluşması modelin geçerliliği ile ilgili birtakım belirsizlikler içermektedir. Sriana ve Hayati (2015), Endonezya

sınırları içerisinde farklı bölgelerde projelerin süre-maliyet ilişkisinin değişiklik gösterdiğini belirtirken, BTC modeli ile elde edilen sonuçların geçerliliğinin ise veri seti büyüklüğü ile doğrudan ilişkili olduğu yapılan literatür araştırması sonucunda bilinmektedir.

Mizanur ve ark. (2014), BTC modeli ile Bangladeş'teki inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisini araştırmıştır. Veri seti anket yolu ile elde edilen 63 adet kamu ve özel sektör projesinden oluşturulmuş ve dört farklı regresyon modeli ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçların kontrolleri, Levene ve ANOVA testleri ile gerçekleştirilerek süre-maliyet ilişkisi ($T = 156C^{0,36}$; $R^2 = 0,646$) hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, her bir proje özelliği için geliştirilen BTC modelinin oldukça yüksek belirleme katsayısı ve nispeten küçük ortalama yüzde hatalarından dolayı uygun olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak Bangladeş için oluşturulan BTC Modelinin proje sürelerinin tahmini için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Waziri ve ark. (2014) Nijerya otoyol projelerinin tamamlanma sürelerinin tahmini için BTC modelini kullanarak süre-maliyet ilişkisini $T = 280C^{0,5352} R^2 = 0,549$ olarak elde etmiştir. Araştırmacılar, BTC modelinin tahmin gücünün; yolun uzunluğu, genişliği, viyadük sayısı, menfez sayısı ve konum vb. gibi faktörlerin de eklenmesi halinde geliştirilebileceğini ifade etmiştir. Çalışma sonucunda BTC modeli ile inşaat süresinin tahmininde sadece maliyet faktörünün dikkate almasından dolayı, bu durum araştırmacılar tarafından modelin en büyük sınırlılığı ve zayıf yanı olarak belirtilmiştir. Ayrıca, araştırmacılar hesaplanan %19 seviyesindeki Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) değeri sebebi ile modelin gerçek uygulamalarda kullanılamayacağını belirtmiştir.

Sriana ve Hayati (2015), BTC modeli ve çoklu regresyon modeli kullanarak, Endonezya'da; Bireun, Pidie, Aceh Utara, Aceh Selatan, Aceh Barat, Aceh Timur, Aceh Tengah ve Aceh eyaletlerindeki eğitim projelerinin süre, maliyet ve hacim ilişkilerini incelemiştir. Araştırmacılar, hacim artışının süreyi arttıracağını, artan sürenin ise maliyetleri yükselteceğini belirtmiştir. Çalışmada, 2008-2009 yılları arasında 105 eğitim kurumuna ait proje verisi ile sekiz ayrı eyalette süre-maliyet ilişkisinin anlamlı olduğu sonucuna ulaşılırken, bazı eyaletlerde ise süre-maliyet

ilişkisi oldukça düşük düzeyde tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, BTC modeli ile yapılan analizlerde bölgesel bazda farklı süre- maliyet ilişkileri elde edilirken, BTC modelinin çoklu regresyon modeline kıyasla daha anlamlı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu bağlamda, farklı bölgelerde gerçekleşen benzer yapı türlerinin süre-maliyet ilişkisinin, projenin gerçekleştiği bölgeden etkilendiği anlaşılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında da altı farklı yapı türüne ait süre-maliyet ilişkileri projelerin gerçekleştirildiği bölgelere göre detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

Jarkas (2016), Kuveyt inşaat sektöründe BTC modelinin uygulanabilirliğini araştırmış ve alternatif modeller geliştirmiştir. Her bir proje, BTC modeli çerçevesinde Microsoft Excel ve PHStat kullanılarak %5 anlamlılık düzeyinde en küçük kareler yönteminden istifade edilerek modellenmiştir. Analiz sonucunda konut projeleri ($T = 28{,}79C^{0{,}192}$) ve ofis projeleri ($T = 7{,}92C^{0{,}277}$) için süre-maliyet ilişkileri belirlenmiştir. İnşaat sözleşmeleri, ihale türü, iş yapım yöntemleri, saha yönetimi, iş gücü özellikleri, yasal etkenler, iklim, jeolojik koşullar, politik, kültürel ve sosyoekonomik özellikler gibi faktörlerin çoklu regresyon modellerinde kullanılabileceği tespit edilerek çalışma sonucunda önerilen modelin Kuveyt inşaat sektörü için kullanılabilir olduğu belirtilmiştir (R^2=0,80). Araştırmacı, elde edilen eşitliğin nakit akışı yönetiminde de kullanılabileceğini belirtmiş olsa dahi BTC modelinin nakit akışı yönetimi açısından yeterli düzeyde bilgi sağlamadığı bilinmektedir. Bu bağlamda Jarkas (2016)'ın çalışmasından farklı olarak bu çalışmada BTC modeline ek olarak projelerin nakit akışları da araştırılmış ve nakit akışı yönetimine katkı sağlayacak S-Eğrileri ortaya konulmuştur.

Adeyemi ve Masalila (2016), Bostwana'da inşa edilen projelerin süre-maliyet ilişkisini BTC modeli ile inceleyerek, çalışma sonucunda inşaat projelerinin gerçekleşme süreleri ile maliyetleri arasında pozitif (R^2=0,80) bir ilişki olduğunu ortaya konulmuştur. Diğer yandan, BTC modelinin Botswana'da ki inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisini yüksek düzeyde açıkladığı belirtilmiştir.

Bayram (2017), Türkiye'de kamu yapılarına ait proje verilerini kullanarak Bromilow Time- Cost (BTC) ve Love Time-Floor (LTF) modelleri ile yapıların tamamlanma süresinin tahmini için çalışmalar gerçekleştirmiştir. Veri seti; toplam inşaat alanı, bina

yüksekliği, brüt taban alanı, kat sayısı, sözleşme bedeli, maliyet ve sözleşme süresi verilerinden oluşturulmuştur. Araştırmacı, toplam 530 adet proje verisine ulaşmış ve veri analizini 424 proje üzerinden gerçekleştirirken, 106 proje ile model test edilmiştir. Sonuç olarak, süre tahmininde proje maliyetinin, kat alanı ve kat sayılarından daha etkin faktör olduğu tespit edilerek, BTC modelinin ($T = 209C^{0,353} R^2 = 0,26$), süre tahmin performansının LTF modeline ($R^2=0,25$) kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Diğer taraftan, Bayram (2016)'ın çalışması Türkiye'de inşa edilmiş kamu projeleri ile (okul binaları, hastane binaları) sınırlı kalarak, %25 düzeyinde süre maliyet ilişkisi elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında ise BTC ve YSA modelleri ile kamu-özel sektör projelerinin süre-maliyet ilişkileri araştırılmış ve daha yüksek açıklama düzeyleri elde edilmiştir.

Mackovaa ve ark. (2017), Slovakya inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisinin tespiti amacıyla, 2010-2013 yılları arasında tamamlanmış 28 adet özel sektör konut projesi ve 31 adet kamu projesi üzerinde çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmada, inşaat süresinin tahmini için; brüt taban alanı, kat sayısı, kat alanı/ toplam inşaat alanı, işgücü faktörlerinden istifade edilerek bilgisayar tabanlı bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçların LTF modeline kıyasla daha başarılı sonuçlar ($R^2 = 0,81$) verdiği belirtilerek 1 Milyon Euro'luk bir projenin ortalama tamamlanma süresi 384 gün olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda önerilen modelin konut binaları özelinde hızlı ve doğru tahmin üretebilme kabiliyetine sahip olduğu ve ihale öncesi safhalarda yatırımcı/yüklenici firmalar tarafından kullanılabileceği önerilmiştir.

Okere (2018), Amerika Birleşik Devletleri, Washington Eyaletinde tamamlanmış yol inşaatı projelerinin süre-maliyet ilişkisini BTC modelinden istifade ederek analiz etmiş ve süre-maliyet arasında pozitif bir ilişki ($R^2=0,70$) olduğunu tespit etmiştir.

2.1.1.2. BTC modeli ile ilgili çalışmaların değerlendirilmesi

Farklı bölgelerde birçok araştırmacı tarafından gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde BTC modelinin tahmin gücünün yerel şartlardan etkilendiği tespit edilmiştir. Bölgesel olarak değişen ekonomik koşullar, hava şartları, çalışma şekilleri ve belirsizlik düzeyleri gibi birtakım faktörlerin modelin açıklama düzeyini etkilediği

yapılan literatür taraması sonucunda anlaşılmıştır. Bu durum ülkeden ülkeye değişiklik gösterirken bu çalışmada olduğu gibi aynı ülke içerisinde de bölgesel olarak değişim gösterebilmektedir.

Tablo 2.1.'den de görüldüğü üzere, BTC modeli ile süre ve maliyet arasındaki ilişkiyi doğrulayan çalışmalar olduğu gibi açıklama düzeyinin düşük olduğunu gösteren çalışmalar da mevcuttur.

Tablo 2.1. Diğer araştırmacıların BTC modeli ile elde ettikleri eşitlikler

Ülke	Araştırmacı	K	B	R^2	P.Sayısı	P. Türü	P.Birim
Australya	Bromilow (1969)	287,0	0,30	-	329	K+Ö	AUD
	Bromilow ve Heenderson (1974)	313,0	0,30	-	370	K+Ö	AUD
	Ireland (1983)	219,0	0,47	0,58	25	K+Ö	AUD
	Yeong (1994)	269,0	0,22	-	87	K+Ö	AUD
	Ng ve ark. (2001)	130,9	0,31	0,58	93	K+Ö	AUD
ABD	Hoffman ve ark. (2006)	26,8	0,20	0,34	580	Ö	USD
	Choudhury ve Rajan (2003)	19,0	0,39	0,74	55	Ö	USD
Bangladeş	Choudhury ve ark. (2002)	5,0	0,27	0,65	35	K	BDT
	Mizanur ve ark. (2014)	156,0	0,36	0,65	63	K+Ö	BDT
B. Hersek	Zujo ve Pusic (2008)	70,0	0,52	0,39	29	Ö	HRK
	Zujo ve Pusic (2008)	79,0	0,41	0,51	24	Ö	HRK
	Petruseva ve ark. (2013)	0,1	0,55	0,73	75	Ö	BAM
Çin	Sun ve Xu (2010)	42,4	0,29	0,52	72	Ö	CNY
Endenozya	Sriana ve ark.-Bireun (2015)	24,1	0,14	0,09	105	K	IDR
	Sriana ve ark.-Pidie (2015)	19,0	0,15	0,12			IDR
	Sriana ve ark.-Utara (2015)	12,8	0,26	0,83			IDR
	Sriana ve ark.-Selatan (2015)	24,5	0,13	0,52			IDR
	Sriana ve ark.-Barat (2015)	6,68	0,36	0,76			IDR
	Sriana ve ark.-Timur (2015)	99,3	-0,13	0,05			IDR
	Sriana ve ark.-Tengah (2015)	15,7	0,21	0,37			IDR
	Sriana ve ark.-Banda (2015)	53,8	-0,03	0,01			IDR
Gana	Ameyaw ve ark. (2012)	3,2	0,38	0,38	62	Ö	GHS
G.Kore	Le-Long ve Dai (2009)	341,0	0,18	0,76	34	K+Ö	KRW
Hindistan	Choudhury (2009)	4,4	0,28	0,37	50	Ö	INR
Hırvatistan	Car ve Radujkovic (2010)	58,0	0,50	0,71	107	K	HRK
Hong Kong	Kumaraswamy ve ark. (1995)	152,0	0,22	0,85	111	K+Ö	HKD
İngiltere	Kaka ve Price (1991)	486,7	0,21	0,68	661	K	GBP
Kuveyt	Jarkas (2016)	28,8	0,19	0,80	113	Ö	USD
		7,9	0,28	0,85	74	Ö	USD
Malezya	Yeong (1994)	518,0	0,35	-	51	K+Ö	AUD
	Endut ve ark. (2006)	328,0	0,25	-	301	Ö	MYR
	Chan (1999)	269,0	0,32	0,41	51	K+Ö	MYR
Nijerya	Ojo (2001)	27,0	0,13	0,18	-	Ö	-
	Ogunsemi ve Jagboro (2006)	63,0	0,26	0,21	87	K+Ö	NGN
	Waziri (2014)	2,8	0,54	0,54	32	K	NGN
Slovakya	Mačková ve Bašková. (2014)	384,0	0,26	0,77	28	Ö	EURO
Karma	Özçekiç (2007)	137,3	46,05	0,76	209	Ö	USD
Türkiye	Odabaşı (2009)	161,7	0,58	0,93	7	K+Ö	AUD
	Bayram (2016)	209,0	0,35	0,26	424/530	K	TRY
Vietnam	Le-Hoai ve Dai (2009)	98,1	0,34	0,44	77	K	VND
	Le-Hoai ve Dai (2009)	87,2	0,35	0,38		Ö	VND

Kaynak: Kenley, R. (2003)
Para birimleri kodları ISO 4217 Standard'ına uygun olarak gösterilmiştir (ISO 4217). *K= Kamu projeleri; Ö= Özel Sektör Projeleri; Ö+K= Kamu ve Özel sektör projeleri Choudhury ve Rajan (2003), analizlerinde proje maliyetleri için 1000 USD kullanmıştır.*

Tablo 2.1.'de gösterildiği üzere Yeong (1994) ve Chan (1999) tarafından Malezya inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisi aynı veri seti kullanılarak araştırılmış ancak farklı BTC model eşitlikleri elde edilmiştir. Araştırmacılar tarafından ortaya konulan BTC model eşitliklerinde yer alan *K* katsayıları belirgin bir şekilde ayrışırken *B* katsayıları ise benzerlik göstermektedir. Aynı veri seti kullanılarak farklı BTC model eşitliklerinin ortaya konulmasının en temel sebebi Yeong (1994)'un çalışmalarını gerçekleştirdiği sırada proje maliyetlerini AUD para birimine dönüştürmüş olmasıdır (Yeong ,1994; K=518, B=0,35 ve Chan, 1999; K= 269, B=0,32). Ancak, Tablo 2.1.'den de anlaşılacağı üzere *B* katsayıları *K* katsayılarına kıyasla değişkenlik göstermemiştir. Bu durumdan çıkarılabilecek en temel sonuç, BTC modeli oluşturulurken kullanılan para birimi model içerisinde yer alan *K* katsayısını doğrudan etkilerken, *B* katsayısının para birimlerinden etkilenmemesidir. Diğer yandan, farklı ülkeler için oluşturulan modeller farklı para birimleri kullanılarak elde edilmiş olsa dahi *B* katsayıları kullanılarak modellerin karşılaştırılabileceği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın devam eden bölümlerinde Yeong (1994) ve Chan (1999)'nin çalışmaları sonrasında elde edilen bulgular dikkate alınarak bu çalışma kapsamında elde edilen BTC model eşitlikleri değerlendirilecektir.

Projelerin gerçekleştirildiği bölgelerde süre-maliyet ilişkisine etki eden birtakım faktörlerin (teknoloji, verimlilik ve ekonomik istikrar vb.) olduğu bilinmektedir (Ojo, 2001; Ogunsemi ve Jagboro, 2006; Ameyaw ve ark., 2012). Bu kapsamda bu araştırmada projelerin süre-maliyet ilişkisi üzerinde etkisi olabilecek birtakım parametrelerin etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Önceki çalışmalar incelendiğinde çoğunlukla BTC modelinin süre-maliyet ilişkisinin doğrusal regresyon kullanılarak incelendiği görülmektedir (Ireland, 1983; Kaka ve Price, 1991; Yeong, 1994; Kumaraswamy ve Chan,1995). Diğer taraftan, nadiren de olsa farklı metotlar kullanılarak (Love ve ark., 2005; LTF) BTC modelinin sınandığı da görülmektedir. Bu çalışmada ise BTC modeli, yapı türlerine göre ve dört farklı parametre ile hem doğrusal regresyon hem de YSA yöntemlerinden istifade edilerek sınanmış ve her iki metodun tahmin gücü karşılaştırılmıştır.

Önceki çalışmalarda, genellikle aynı yapı türleri üzerinde çalışmaların yapıldığı, yapı türlerinin nadiren çeşitliliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise önceki

çalışmalardan farklı olarak, Türk inşaat sektöründe gerçekleştirilen okul, hastane, sanayi, afet konut, sosyal konut, tekil bina projelerini kapsayan bir araştırma yapılarak yapı türlerine ve farklı parametrelere bağlı olarak süre-maliyet ilişkisinin değişip değişmediği araştırılmıştır. Sonuç olarak; yatırımcı, yüklenici ve proje yönetim ekipleri tarafından proje öncesi safhalarda kullanılabilecek, projelerin tamamlanma sürelerini tahmin edebilen alternatif bir model önerilmiştir.

2.1.2. Nakit akışı yönetimi ve S-Eğrileri

İnşaat sektörü, projelerin doğasında yer alan yüksek belirsizlik nedeniyle süre ve maliyet dengesi açısından en riskli sektörlerden biridir. Diğer taraftan, nakit yetersizliği; inşaat projelerinin başarısını tehdit eden ve ticari başarısızlıklara neden olan ana faktörler arasında yer almaktadır (Melik, 2010). İnşaat sektörünün kırılgan ve belirsiz yapısından dolayı birçok inşaat firması zaman zaman başarısızlığa uğramış ve iflas noktasına gelmiştir. Söz konusu başarısızlığın çeşitli nedenleri olsa da özellikle Boussabaine (1998) ve Kaka ve Price (1993), nakit akışlarının yetersiz kontrol edilmesi ve yönetilememesinden dolayı bu vaka ile karşılaşıldığını ileri sürmüştür. Bu nedenle, inşaat projelerinin risklerinin ve belirsizliklerinin göz önünde bulundurulduğu etkin nakit yönetimi için uygun bir nakit akış (planlama) tekniğine ihtiyaç duyulmaktadır.

Nakit yönetimi, inşaat şirketleri açısından teknik anlamda başarı sağlayabilmeleri için önemli bir kavramı ifade etmektedir. İnşaat firmalarının proje süresince nakit akışını ve yapılan işi dengeli bir şekilde yönetmesi, projelerin başarı ile sonuçlandırılmasında önemli bir etkendir. İşlerin tamamlanmadan sermayenin tüketilmesi finansal anlamda çöküşü getirmekte ve projelerin başarısız olmasına neden olmaktadır. Projelerin başlangıcında toplam proje maliyetinin yaklaşık %10'u kadar bir nakdin yüklenici firmanın elinde bulundurması çok eski tarihlerden itibaren kullanılan klasik bir yaklaşımdır (Antill, 1973). Ancak günümüzün karmaşık ve büyük inşaat projelerinde klasik yöntemler yerine doğru planlamaya yön verecek bilimsel yaklaşımlara ihtiyaç duyulduğu açıktır.

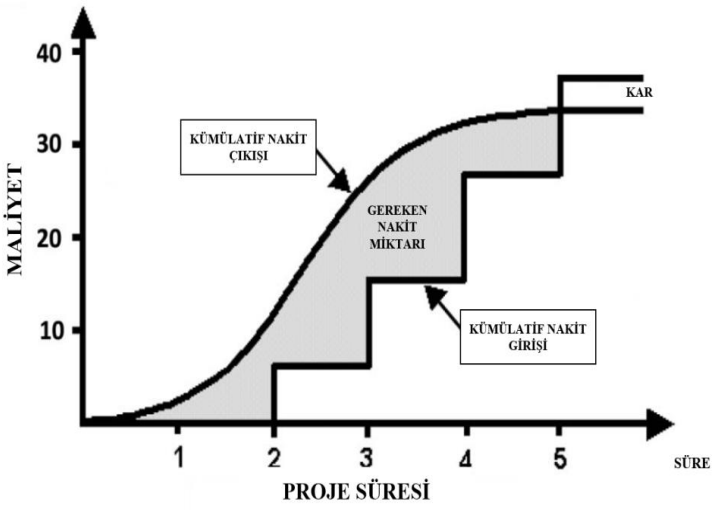
Nakit akışı sektörde kullanılan en yaygın maliyet kontrol tekniklerinden birisidir ve uzun süredir inşaat şirketleri tarafından kullanılmaktadır. Bu bağlamda, ekonomide nakit akışı "Bir firmanın fiili varlıkları ve kredinin karşılığına karşılık olarak para ödemelerinin zaman içindeki eşleniği" olarak tanımlanmaktadır (Bannock, 1988). Temel olarak nakit akışı, tek projenin veya tüm şirketin masraf ve gelirlerini zamana göre tanımlar ve net nakit koşullarını göstererek mevcut ve gelecekteki durumlarını yansıtır. Projeler devam ederken yatırımcı ve yükleniciler projenin tüm aşamalarında, olası nakit açığını kapatmak için öngörülen nakit akışının yeterli olduğunu bilmek isterler. Nakit akışı, proje maliyetini ve üreteceği gelir modelini karşılamak ve zaman içerisinde nakit ihtiyacının ölçütünü belirlemek üzere oluşturulmuş bir finansal modeldir. Bu nedenle, nakit akışı tekniğinin kullanımı hem ihale aşamasında hem de proje süresince faydalı olmaktadır.

İnşaat firmaları etkin nakit akışı yönetimi olmadan rekabetin oldukça üst düzeyde olduğu inşaat sektöründe hayatta kalmakta zorlanırlar. Yapılan araştırmalar sonucunda, likidite eksikliğinin inşaat projelerinin başarısızlığına neden olan önemli bir faktör olduğu anlaşılmaktadır (Al-Issa ve Zayed, 2007). İnşaat aşamasından önce bir projenin nakit akışındaki eğilimlerini doğru bir şekilde tahmin etmek için bir model oluşturmak oldukça güç bir konudur. Ancak, nakit akışını etkileyen faktörleri tespit edebilmek, bu faktörler hakkında önceden bilgi sahibi olmak ve etkisini anlayabilmek inşaat firmaları için oldukça önemli bir husustur. Bu bağlamda; yaygın olarak kullanılan nakit akışı uygulamalarından birisi de S-Eğrileridir. S-Eğrisi inşaat projelerinin başlangıcından bitişine kadar geçen sürede kümülatif nakit akışının grafiksel bir gösterimidir. Bir inşaat projesinin gerçekleşme sürecinde işletme tarafından yapılacak bütün nakit giriş-çıkışlarının kümülatif biçimde zamana bağlı olarak toplanması S biçiminde sürekli bir eğriyi ortaya koymaktadır. Bu eğri sayesinde; proje öncesi safhalarda ve proje süresince özellikle ellerinde yeterli hesaplama verileri bulunmayan yatırımcı firmalar, yükleniciler ve proje yönetim ekipleri için gerçek duruma en yakın nakit akışı tahmin edilebilir. Diğer yandan, S-Eğrileri; yatırımcı ve yüklenici firmaların proje gerçekleşme süresince nakit yönetimini başarılı bir şekilde yürütmesine yardımcı olmaktadır (Özdemir ve Bodur, 2000; Kenley, 2003). Bu bağlamda, S-Eğrileri, proje planlama ve kontrol aşamasında

yatırımcı ve yükleniciler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. İnşaat aşamasında, sözleşmede safhasında belirlenen bir S-Eğrisi, projenin herhangi bir noktada fiili ilerlemesinin, genel olarak programın gerisinde olup olmadığını tespit etmek ve gecikme miktarını değerlendirmek için de kullanılmaktadır (Kim ve Ballard, 2000).

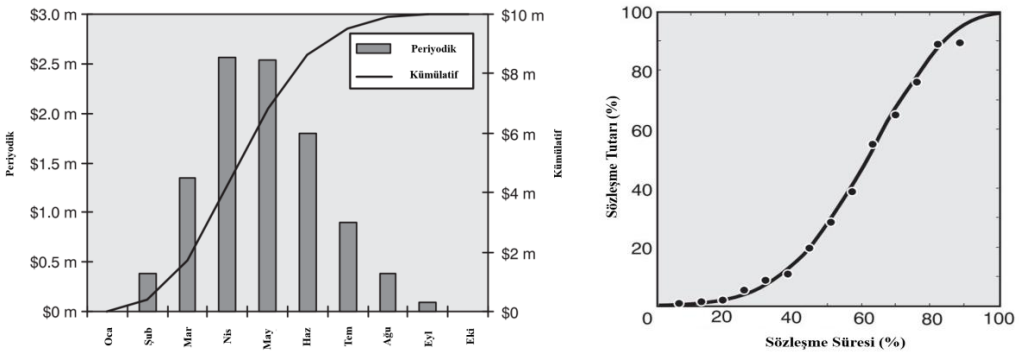
İnşaat projelerinde nakit akışı literatürde iki boyutu ile incelenmektedir. Bahse konu boyutlardan ilki proje süresince elde edilen net nakit girişi, diğeri ise net nakit çıkışıdır (Oxley ve Poskitt, 1996). Nakit çıkışları proje süresince ödenen aylıklar, iş ve malzemeler ile ilgili yapılan harcamalar, alt yüklenicilere yapılan ödemeler vb. giderlerden oluşmaktadır. Nakit girişleri ise proje sahibi tarafından ödenen aylık ödemelerden ve diğer gelirlerden sağlanmaktadır. Şekil 2.2.'de tipik bir S-Eğrisi gösterilmektedir. Bu eğriye göre nakit akışı aylık olarak sabit ödemelerle kümülatif olarak artmakta, nakit çıkışları ise S-Eğrisi ile gösterildiği biçimde meydana gelmektedir. Bahse konu iki eğri arasındaki boşluk şekildeki gibi olduğunda firmanın ilave nakit ihtiyacı olduğu anlaşılmaktadır. Ancak net nakit girişi, nakit çıkışından daha yüksek olduğunda nakit ihtiyacı bulunmamaktadır. Böylelikle proje başarılı bir şekilde sonlandırıldığında da firmalar kar elde etmektedir (Al-Joburi ve ark., 2012).

Şekil 2.2. genellikle projelerin çoğunda geçerli olsa da eğrinin şekli üzerinde etkisi olan bazı varyasyonların mevcut olabileceği unutulmamalıdır. Farklı projeler için bütün ödemeler tamamlandıktan sonra oluşan S-Eğrisi Şekil 2.2.'de gösterilen kadar düzgün olmayabilir. Ancak, tarihsel veriler, projelerin çoğunda harcamaların, S-Eğrisini işaret ettiği bir eğilimi yakından izlediğini kanıtlamaktadır. Bu bağlamda, tarihsel veri araştırmacılarının analizi, S-Eğrisi için çeşitli matematiksel eşitlikler önermiştir (Hudson ve Maunick, 1974; Peer, 1982; Kenley ve Wilson, 1986; Miskawi, 1989; Khoshrowshahi, 1991; Bousbaine ve Elhag, 1999). Önerilen çeşitli eğriler arasında, bilinen bir eğri, Hudson'nun konuyla ilgili çalışmalarına dayanan Birleşik Krallık Sağlık ve Güvenlik Bakanlığı (DHSS) tarafından geliştirilen bir modeldir. (Hudson, 1978). Ayrıca, DHSS modeli bu tez çalışması kapsamında detaylı olarak araştırılmıştır.



Şekil 2.2. İnşaat projelerinde nakit akışını gösteren tipik bir S-Eğrisi (Al-Joburi ve ark., 2012).

S-Eğrilerinin bir diğer gösterim metodu da Şekil 2.3.'te görüldüğü gibi proje sözleşme süresinin ve sözleşme tutarının yüzde şeklinde ifade edildiği yöntemdir. Bu modelde tamamlanan zaman yatay düzlemde bağımsız değişken olarak yüzde ile gösterilirken, herhangi bir zamandaki kümülatif nakit akışı ise dikey eksende bağımlı değişken olarak gösterilmektedir (Kenley, 2003). Bu çalışmada oluşturulan S-Eğrilerinde de bu metot kullanılarak yüzde olarak ilerlenen proje süresine göre kümülatif nakit akışları yüzde olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Nakit akışını gösteren S-Eğrisi örnekleri (Kenley ve Wilson, 1986, Kenley, 2003)

Şekil 2.3.'deki S-Eğrileri incelendiğinde genel olarak proje başlangıcında nakit akışının eğrinin eğiminden de anlaşılacağı üzere daha yavaş olduğu görülmektedir. Bu zaman diliminde genellikle başlangıç, temel açma, hazırlık ve mobilizasyon gibi nispeten daha az nakit kaynağı gerektiren işler yapıldığından nakit akışı yavaş olmaktadır. Eğrinin devam eden bölümlerinde, hızlı bir şekilde nakit akışının arttığı

görülmektedir. Bu zaman diliminde de yapısal işler, iç mekandaki ince yapı işleri ve dış cephe işleri gibi işlerin çoğunluğu tamamlanmaktadır. Bu sebeple bu zaman diliminde yüksek miktarda nakit kullanılmaktadır. Proje tamamlanma evresinde ise nakit akışının yavaşladığı ve eğrinin eğiminin azaldığı görülmektedir. Bu bölümde artık işlerin neredeyse tamamı yapılarak maliyet kalemlerinin sonlandırılması ve teslimat işleri ile ilgilenilmektedir. Özetle, projenin tamamlanma ve geçici kabul safhasında daha az nakit gereksinimi olduğundan nakit akışı yavaşlamaktadır.

2.1.2.1. S-Eğrisi ile nakit akışı tahminine ilişkin yapılan çalışmalar

Wray (1965), toplam ve kümülatif maliyetlerin, projenin toplam süresi açısından tanımlanmasının öneminden bahseden ilk çalışmayı yapmıştır. Araştırmacı hem yatırımcıların hem de inşaat firmalarının, bütçe ile belirlenmiş plan kapsamında etkin maliyet kontrolü sağlamak için projelerin aylık toplam değerlerini gösteren bir forma sahip olmalarını önermiştir (Kaka ve Price, 1993). Nazem (1968), tamamlanmış projelerden elde edilen verilere dayanan bir model ortaya koyarak projenin gelecekteki sermaye ihtiyaçlarını tahmin edebilen standart bir referans geliştirmiştir. Diğer taraftan Nazem (1968), daha önce tamamlanan benzer projelerin ortalama nakit akışları ile referans bir S-Eğrisinin oluşturulabileceği ve nakit giriş-çıkış eğrilerinden dolaylı olarak net nakit akış eğrisine ulaşılabileceği sonucuna varmıştır. Jepson (1969), Nazem'in sunduğu fikrin aksine, S-Eğrileri üzerinden projeler için maliyet tahmini ve proje performans kontrolünün yapılmasının doğru bir yaklaşım olmadığını belirterek S-Eğrileri yerine bileşen eğrilerinin kullanılmasının net nakit akışı açısından daha doğru sonuçlar vereceğini savunmuştur.

Hardy (1970), İngiltere'de yer alan 25 bina projesinin verilerini kullanarak nakit giriş ve çıkış eğrilerine sistematik gecikmeler uygulamıştır. Çalışma sonucunda, aynı kategoriden seçilen tüm projelerde dahi eğrilerin şekilleri arasında hiçbir benzerlik olmadığı sonucuna varılmıştır. Hardy (1970), tarafından önerilen model, çalışma içeriğindeki bilgilerin yetersizliği sebebi ile diğer araştırmacılar tarafından güvenirliği sınanamamıştır (Kenley ve Wilson, 1989). O 'Keefe (1971), firmaların finansal gereksinimleri tahmin etmek ve nakit eksikliğini etkileyen faktörleri belirlemek için birden fazla projeyi analiz etmiş ve finansal çarpıklığın projenin karlılığını etkileyen

önemli faktörlerden biri olduğunu ortaya koymuştur. S-Eğrilerden farklı olarak, Cleaver (1971), bilançolardan gelen bilgilere dayanarak inşaat projelerinin finansal ihtiyacını tahmin edebilen alternatif bir nakit akışı modeli önermiştir.

Mackay (1971), Londra'da kamu ve özel sektöre ait projelerin nakit akış profillerini analiz etmek üzere bir bilgisayar yazılımı geliştirmiştir. İlk olarak girdi verileri, maliyet kategorileri olarak sınıflandırmış ve projelere sistematik gecikmeler uygulanarak proje bazlı veriler (sözleşme değeri, beklenen kar ve tahmini proje tamamlanma tutarı) hazırlanan yazılıma girdi olarak dahil edilmiştir. Elde edilen eğrileri doğrusal vektörlere bölen Mackay, nakit akışının duyarlılığını farklı değer eğrileriyle analiz etmiştir. Son olarak, seçilen eğrinin şeklinin nakit akışlarının sonuçları üzerinde önemli bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Diğer yandan, Trimble (1972) seçilen eğrinin şeklinin net nakit akışı üzerindeki etkilerini araştırmış ve Mackay (1971) ile benzer sonuçlara ulaşmıştır.

Bromilow ve Henderson (1974), S-Eğrisi modeli oluşturmak için farklı özelliklere sahip Avustralya'da yer alan 4 bina projenin tarihsel verilerinin kullanıldığı regresyon analizi ile standart bir S-Eğrisi geliştirmiştir. Bununla birlikte, oluşturulan model çok fazla sabite sahip olduğu için, modelin esnekliğinin kısıtlı olduğu belirtilmiştir.

Zoiner (1974), İsrail'de farklı ilerleme oranlarına sahip projelerin verilerini kullanarak iş çizelgelerini ayrıntılarıyla hazırlamış ve ödemeler için ihtiyaç duyulabilecek eğriler üzerinde araştırma yapmıştır. Ancak, plan hazırlanırken nakit akışlarında yaşanabilecek olası hatalar hesaplara dahil edilmediği için Zoiner (1974); modelin kullanılabilirliğinin tartışmaya açık olduğunu belirtmiştir.

Glass (1976), Kolorado'da inşaat projelerindeki nakit akışları ve süre–maliyet ilişkisini incelendiği çalışmada veri analizinin birincil, ikincil ve meta analiz şeklinde düzeylerinin olduğunu ve değerlendirmelerin de bu ölçekte yapılmasının önemi üzerinde durmuştur. Birincil analiz, inşaat projelerinde fiili olarak gerçekleşmiş işler sonucu oluşan orijinal verilerin analizidir. İkincil analiz; gerçekleşmiş vakalardan elde edilen verilerin, gelecek dönemdeki vakalara yanıt verebilmek üzere projeksiyon amaçlı kullanılarak cevaplar aranması şeklinde tanımlanmıştır. Meta analiz ise,

bireysel çalışmalar ile elde edilen analiz bulgularının birleştirilerek istatistiksel analizlerde kullanılması ile oluşan verileri kapsamaktadır. Glass (1976), geçmiş tarihlerde yapılan nakit akışı çalışmalarının gelecek dönemde araştırma yapacak diğer araştırmacılara kaynak olması ve yön çizmesinin gerekliliğini vurgulamıştır. Ayrıca en iyi metodolojilerin ikincil analizler ile gerçekleştirilebileceğini önermiştir. Bu tez çalışması kapsamında da Glass (1976)'ın önerdiği şekilde ikincil analizlere yer verilerek alternatif olarak bu yaklaşımlar istatiksel olarak araştırılmıştır.

Ashley ve Teicholz (1977) Amerika Birleşik Devletleri San Francisco eyaletinde, inşaat firmalarının ayrıntılı maliyet ve iş programı hazırlamaları yerine, standart bir eğri oluşturarak projenin gelecekteki nakit akışını tahmin edebilmek amacı ile bir model önermiştir. Ancak, Ashley ve Teicholz standart bir eğrinin projenin bireysel koşullarını değerlendirmek için yeterince esnek olmadığını ileri sürmüş ve bu nedenle inşaat programında bir kazanç eğrisi hazırlayarak, net nakit akışı modelini geliştirmiştir. Araştırmacılar, maliyet kalemlerini işgücü, malzeme, ekipman olarak kategorize ederek belirli gecikme aralıklarını girdi olarak kullanmış, ancak önerilen model beklenen verimi sağlayamamıştır. Araştırma sonucunda, önerilen nakit akışı modellerinin başarısız olmasının temel sebebi finansal altyapı eksikliği olarak gösterilmiştir.

Hudson (1978) tarafından İngiltere'de yer alan sağlık projeleri kullanılarak oluşturulan nakit akışı modeli, Hudson ve Maunick tarafından 1967'de geliştirilmeye başlanmıştır. Araştırmacılar bürüt nakit akışlarında iki sabit kullanarak, eşitlik ve eğrilerde standartlar oluşturmuştur. Hudson (1978) tarafından önerilen model literatürde DHSS olarak anılmaktadır ve DHSS modeli ile büyük çaplı projelerin nakit akışlarının ölçümlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmacı, ideal bir S-Eğrisi oluşturmak amacı ile İngiltere'de tamamlanmış hastane projelerinin verileri ile matematiksel bir model üzerinde çalışmış ve diğer matematiksel/istatistiksel modellerden farklı olarak, Hudson S-Eğrisini geliştirirken daha az sabit kullanmıştır. Çalışma sonucunda Hudson (1978), geçmiş proje verileri ile gelecekteki nakit ihtiyaçlarını basit matematiksel modellerle tahmin etmenin zorluğunu belirterek nakit akışı planlamasında projelerin karmaşık özelliklerinin göz önünde bulundurulmasının önemini vurgulanmıştır.

DHSS modeli; proje nakit akışlarını maliyetlerine göre sınıflandırarak standart eğriler oluşturabilen analitik bir model olarak kurgulanmıştır. Hudson S-Eğrilerini oluşturmak için Eşitlik (2.3)'ü önermiştir. Diğer taraftan DHSS, günümüzde de kullanılan önemli bir nakit akış modelidir.

$$y = \frac{v}{S} = x + cx^2 - cx - \frac{(6x^3 - 9x^2 + 3x)}{k} \quad (2.3)$$

Eşitlik 2.3'de yer alan, *v* kümülatif aylık ödeme tutarı, *S* sözleşme toplam tutarı, *c ve k* eğriyi tanımlamak için kullanılan iki parametreyi ifade etmektedir. Hudson ayrıca çalışmasında İngiliz Sterlin para birimi cinsinden proje maliyetlerine göre kullanılması gereken c ve k parametrelerini tanımlamıştır.

McCaffer (1979) İngiltere'de ağ analizlerine dayanan karmaşık ve zaman alıcı bilgisayar programlarına alternatif olarak kullanılabilecek bilgisayar destekli değer eğrisi modeli oluşturmuştur. McCaffer, nakit akışını ve nakit çıkışını açıklayan S-Eğrilerine belirli süre gecikmelerini uygulamış ve böylece daha gerçekçi bir net nakit akışı elde edildiğini belirtmiştir. Benzer şekilde, Khung (1982) değer eğrilerini daha hızlı elde etmek için bir bilgisayar programı önermiştir. Ayrıca, Allsop (1980), süre-maliyet tahmini ve nakit akış analizlerinde kullanılmak üzere benzer projelerin değer eğrilerinin seçilebileceği bir veri tabanı oluşturmuştur.

Berny ve Howes (1982), genel bir eşitlik ile tek bir proje için ideal bir eğri oluşturmaya çalışan ilk araştırmacılardır. Bu girişim, nakit akışı alanında çalışma yapan araştırmacılar için referans bir kaynak niteliğinde olup Kenley ve Wilson (1986), Tucker (1986), Kaka ve Price (1991) gibi her bir inşaat projesini ayrı ayrı inceleyen araştırmacılar çalışmalarını bu disipline yöneltmişlerdir. Diğer taraftan, Kenley ve Wilson (1986, 1989), nakit akışı modellerinde en sık karşılaşılan sorunları araştırarak her bir projenin karakteristik özelliklerini yansıtacak nakit akışı modellemesinin gerekliliğini savunmuştur.

Tucker ve Rahilly (1982, 1985) 1960 yılında Avusturalya Commonwealth Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Organizasyonu (CSIRO) Bölümü'nde, büyük ölçekli kamu projelerinin, ileri plan ve programlarının oluşturulması amacıyla nakit akış

performanslarını inceleyen bir dizi çalışma gerçekleştirmiş ve S-Eğrileri için en iyi eşitliği en küçük kareler/polinom regresyon yöntemini kullanarak elde etmişlerdir. Bu tez çalışmasında ise Türkiye için en küçük kareler yöntemi ve Yapay Sinir Ağları ile her projenin karakteristik yapısına uygun S-Eğrileri elde edilmiş ve diğer araştırmacıların çalışmaları ile karşılaştırılmıştır.

Peer (1983), öğrencileri Zoiner (1974) ve Berdicevsky (1978) ile İsrail'de bir çalışma başlatmış ve standart nakit akışı eğrilerinin kullanılmasını tavsiye ederek nakit işlemlerinin zamana dayalı çizelgesini görebilmek için etkin nakit akışı tahmininin gerekli olduğunu belirtmiştir. Peer, dört toplu konut projesi üzerinde polinom regresyonu uygulamış ancak elde edilen sonuçlar veri setinin küçük olmasından dolayı diğer araştırmacılar tarafından kabul görmemekle birlikte geniş bir seti ile benzer analizlerin yapılabileceği önerilmiştir. Diğer araştırmacıların önerdiği şekilde, bu çalışmada da toplu konut projelerini de içeren çok geniş bir veri seti ile nakit akışı tahmini iki faklı yaklaşım ile değerlendirilmiştir.

Sing ve Phua (1984), Singapur'da nakit akışı eğrileri üzerine birçok çalışma yapmış ancak standart bir nakit akışı eğrisi geliştirememiştir. Nakit akış profillerinde %50 güven aralığında eğri zarfı tanımlamalarını yaparak, nakit akış profillerini farklı bileşenlere ayırmış olsa dahi elde edilen sonuçların kullanılamayacağı değerlendirilmiştir.

Oliver (1984), İngiltere'de 4 proje ile alternatif bir nakit akışı modeli geliştirmiş ve mevcut modellerin doğruluğunu test ederek inşaat projelerinin nakit akışlarındaki belirsizlikleri araştırmıştır. Diğer taraftan Oliver (1974), tarihsel süre ve maliyet verileri ile gelecek dönem için güvenilir ve gerçekçi nakit akışı tahmin modellerinin geliştirilemeyeceğini belirtmiştir. Bu çalışma kapsamında projelerin süre ve maliyet verileri dışında, nakit akışına etki eden parametreler belirlenerek YSA ile S-Eğrilerini tahmin edebilen bir model geliştirilmiştir. Oluşturulan YSA modelinin dinamik yapısından dolayı Oliver (1984)'ın önerdiği nakit akış profillerinde kullanılan süre ve maliyet verilerinin eksik yanları giderilmeye çalışılmıştır.

Bennett ve Ormerod (1984), İskoçya'da alternatif nakit akışı modeli geliştirebilmek için nakit akışlarını etkileyen ve dış faktörleri içeren simülasyon tabanlı bir model yazılım hazırlamıştır. Çalışma kapsamında; direk maliyet, dolaylı maliyet, hava durumu, kaynak kısıtlamaları, her bir faaliyete ait maliyet değerleri ve süreye bağlı maliyetler modele girdi olarak adapte edilmiş ve çalışma sonucunda önerilen modelin nakit akışı tahminlerinde kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında da benzer şekilde hava şartları, GSYH, İGE, döviz kurları, yapı türleri ve projenin gerçekleştirildiği bölge gibi dış faktörlerin nakit akışı üzerindeki etkisi araştırılmış ve diğer çalışmalarla kıyaslanmıştır.

Kenley ve Wilson (1986), inşaat projelerinde logit dönüşümü ile oluşturulmuş nakit akış modelinin, idiografik metodoloji ile tutarlı olması gerektiğini savunmuştur. Araştırmacılar Melbörn ve Sidney'de iki farklı firmadan temin edilen 1970 yılında inşa edilmiş 72 sanayi ve iş merkezi projesi üzerinde çalışma yaparak nakit akış modellerinin tutarlılığını incelemiştir. Oluşturulan net nakit akış modeli, istatiksel yaklaşımlar ile test edilerek başarısı kanıtlanmıştır. Modelin bireysel projeler için esnek ve uyarlanabilir olduğu, fakat spesifik projelere uyumluluğunun ise sınırlı olduğu gözlemlenmiştir. Net nakit akışı eğrisi tekil bina projeleri test edildiğinde standart sapma %1;%4,6 aralığında tespit edilmiş ve modelin finansal proje yönetim alanında kullanılabilecek bir araç olabileceği belirtilmiştir.

Kenley ve Wilson (1989), artan enflasyon ve faiz oranlarının reel sektöre olan etkileri ile finansal bazda başarıya ulaşamayan projeleri araştırmıştır. Araştırmacılar, bu gelişmeler ışığında nakit akışlarının kurumsal taraftaki önemine dikkat çekerek, o dönemdeki konjonktüre bağlı nakit akışlarının yöneticiler için anahtar rolü gördüğünü belirtmiştir. Diğer taraftan Kenley ve Wilson (1989), Joseph Berkson tarafından geliştirilen nakit akış modelinden esinlenerek 1970 ile 1980 yılları arasında Melbörn'de gerçekleşmiş olan 26 adet sanayi ve iş merkezi projesinin nakit akışını incelemiştir. Çalışma sonucunda, proje kapsamında nakit akışlarında meydana gelen değişkenliğin kapsamını ortaya koyarak, geçmiş projelerin türü ve ortalamaları ile gelecek projeler için projeksiyon oluşturmayı ve bu bilgiler ışığında üst yönetime bilgi sunulması hedeflemiştir. Çalışma içeriğinde, logit dönüşümüne dayanan net nakit akışı

modeli önerilmiş ve sonuç olarak, analiz edilen projelerin %75'nin tahmin modeli ile uyum sağladığı tespit edilmiştir.

Miskawi (1989), diğer araştırmacıların nakit akışı modellerine atıfta bulunmaksızın Dubai'deki petrokimya endüstrisindeki projelerin kontrolünde kullanılmak üzere S-Eğrileri için alternatif bir eşitlik önermiştir. Bu durumun en temel sebebi, Miskawi'nin Dubai bölgesinde petrokimya endüstrisinde faaliyet gösteren firmalara danışmanlık yapmış olmasıdır. Miskawi, elde edilen sonuçların uluslararası ölçekte inşa edilen petrokimya endüstrisindeki veriler ile uyum sağladığını belirtmiştir.

McCaffer (1989), Teicholz (1987), Mawdesley (1989), Harris ve McCaffer (1989), Booth (1991), Rasdorf, Carr ve Abudayyeh (1993), bilgisayar destekli ve maliyet bazlı yöntemleri kullanarak nakit akışı tahmin modelleri üzerinde çalışmıştır. Araştırmacılar önceki çalışmalarda önerilen matematik modellere daha doğru tahmin kabiliyeti kazandırabilmek amacı ile bilgisayar destekli tahmin modeline projeler ile ilgili birçok veriyi ayrıntılı bir şekilde adapte etmiştir. Projenin matrahları, her bir kaynağın gideri, her bir faaliyetin süresi, proje unsurlarının maliyet ve faaliyet kodlarına bölünmesiyle ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışma antrepo vb. projeler ile test edilerek olumlu sonuçlar elde edilmiş olsa dahi önerilen model çok fazla girdi ve detay içerdiği için diğer araştırmacılar tarafından kabul görmemiştir.

Kaka ve Price (1991), İngiltere'de ihale aşamasında nakit akışı tahminini geliştirmeye yönelik değer eğrileri yerine maliyet taahhüdü eğrilerine dayanan yeni bir model önererek daha güvenilir bir ideal eğri elde edileceğini öne sürmüştür. Net nakit akışı profilinin, nakit çıkışlarının nakit girişlerinden çıkarılmasıyla elde edilebileceği belirtilerek, önerilen model beş farklı bina projesi ile test edilmiş ve tahmin sonuçlarının hata oranı en küçük kareler yöntemi tespit edilmiştir. Kaka ve Price (1991), tarafından önerilen model hesaplanan düşük hata oranı sebebi ile güvenilir görünse dahi aynı tipte sadece 5 proje ile sınandığı için modelin güvenirliği diğer araştırmacılar tarafından kabul görmemiştir. Bu tez çalışmasında geniş bir veri seti kullanıldığı için elde edilen sonuçların güvenirlilik açısından önemli bir avantaj sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Skitmore (1991), ABD'de bakım sözleşmelerinin uygulanması üzerine çalışmalar yapmış ve 27 adet tamamlanmış projenin nakit akışlarını incelemiştir. Skitmore çalışmasında, kentsel dönüşüm, yeni konut, çelik çerçeveli yapılar ve çok konutlu siteler olmak üzere 4 farklı proje türünü kapsayan bir araştırma yapmıştır. Çalışma içeriğinde, DHSS modelinin, dört tip projede yapılan harcama akışına ilişkin bazı uygulamaları da yer almaktadır. Bağımsız değişkenleri sözleşme bütçesi, proje süresi ve yapı türü olan çoklu doğrusal regresyon modeli standart DHSS modeline adapte edilmiş ancak bu değişkenler DHSS modelinin tahmin gücüne önemli bir katkı sağlanamamıştır. Yapılan çalışmada tespit edilen diğer bir bulgu ise nakit akışlarının tahmininde sözleşme tutarından çok yapı türünün daha önemli bir faktör olduğudur. Bu tez çalışmasında da yapı türleri dikkate alınarak oluşturulan S-Eğrileri, DHSS modeli ile kıyaslanmış ve bulguları ortaya konulmuştur.

Singh ve Lakanathan (1992), Singapur Ulusal Üniversitesi'nde yatırımcı ve yüklenicilerin bakış açısından nakit akış planlaması amacı ile farklı yapı türleri için sözleşme ve kredi koşullarını dikkate alan interaktif bir tahmin modeli geliştirmiştir. Çalışma sonucunda sektörde faaliyet gösteren yatırımcı ve yüklenici firmalar ile proje yönetim ekiplerinin istifade edebileceği bilgisayar tabanlı bir yazılım önerilmiştir. Araştırmacılar nakit kaynaklarının devam etmekte olan projelerin günlük faaliyetlerini desteklemek için önemli bir faktör olduğunu, bu nedenle de kaynağın bulunamaması durumunda projelerin hedeflerine ulaşamayacağını belirtmiştir.

Bets ve Gunner (1993), Pasifik Kıyısı olan ülkelerden elde ettikleri 73 projenin nakit akışlarını incelemiştir. Araştırmacılar, Peer tarafından önerilen ve Bromilow, Hudson, Tucker, Kenley ve Wilson tarafından geliştirilen modellerden esinlenerek alternatif bir nakit akış tahmin modeli önermiştir. Bets ve Gunner (1993), diğer araştırmacıların önerdiği modellerin Pasifik kıyısındaki projelerde uygulanabilir olmadığını belirtilerek bu durumun sebebi olarak Kenley ve Wilson tarafından önerilen logit modelinin karmaşıklığı gösterilmiştir.

Lowe ve ark. (1993), inşaat projelerinin nakit akışını modellemek için uzman sistemler ve doğrusal olmayan veri formatını uyarlamada iyi olan yapay sinir ağlarına dayalı bir model geliştirmiştir. Araştırmacılar, önceki çalışmalarda önerilen matematiksel

modellerin boşluklarını doldurmayı hedeflese de oluşturulan yapının güvenirliği tarihsel verilerin kalitesine dayandığından, elde edilen sonuçlar beklenen verimi sağlayamamıştır. Bu tez çalışmasında benzer şekilde Yapay Sinir Ağları kullanılarak projelerin nakit akışlarının tahmini için bir model önerilmiştir. Veri seti; kayıtları titizlikle tutulmuş 501 adet projenin şantiye sonu kesin hesap raporlarından temin edilmiştir. Bu sebepten dolayı bu çalışmada kullanılan veri seti Lowe ve ark. (1993)'nın önerdiği şekilde belge kalitesi yüksek olan projelerden oluşmaktadır.

Skitmore ve Martin (1993), altı adet (DHSS, Kenley-Wilson, Berny-Howes, Cumulative logistic, Cumulative normal, Cumulative lognormal) 2 parametreli nakit akış modeli ile İngiltere'de tamamlanmış 27 adet bina projesini analitik, sentetik ve hibrit formlarda analiz etmiştir. Projeler; çelik yapılar, yeni binalar, kentsel dönüşüm projeleri ve kaba yapılar olmak üzere dört grupta kategorize edilmiş ve sözleşme tutarları İngiltere Bina Yapım Endeksleri ile 1974 yılına indirgenmiştir. Hibrit analiz yöntemi ile proje süresinin %10-90'lık bölümünde elde edilen nakit akışı eğrisi, sözleşme safhasında belirlenen nakit akışına uyum sağladığı belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında da veri setinde yer alan bütün projeler normalizasyon işlemine tabi tutularak değerler döviz kuru ve ÜFE etkisinden arındırılarak nakit akışı araştırması yapılmıştır.

Kaka ve Price (1993), nakit akış tahminlerinde kullanılan modeller ile elde edilen eğrilerin gerçek nakit akışı eğrilerine göre sapma oranlarının nedenlerini araştırmıştır. Çalışma kapsamında beş inşaat şirketinden temin edilen 150 projenin fiili aylık maliyet taahhüdü değerleri dört farklı stratejik kritere (proje türü, sözleşme tutarı, şirket yapısı ve sözleşme türü) göre sınıflandırılarak her kategori için logit dönüşümü uygulanmış ve ortalama nakit akış eğrileri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda, elde nakit akışı eğrileri arasında oluşan farklılığın genellikle gruplar içindeki bireysel projelerden kaynaklandığı tespit edilmiş ve bu sebeple geliştirilen maliyet taahhüdü modelinin proje paydaşları tarafından kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Kaka ve Price (1994), nakit akış profillerinin esnekliğinin arttırılabilmesi için geleneksel süre ve maliyet verilerine ilave olarak projelerin karakteristik yapısını tanımlayan çok sayıda değişken kullanarak bir model geliştirmiştir. Bireysel

sözleşmelerin nakit akışlarının hesaplanabilmesi için modelde elli değişken kullanılmış ve sonraki aşamada ek değişkenler veri setine adapte edilerek önerilen modelin esnekliği test edilmiştir. Test safhasında, ek değişkenlerin nakit akışı tahminindeki esnekliği arttırdığı kanıtlanmış ve doğruluğu değerlendirmek üzere tamamlanmış inşaat projeleri üzerinde ikinci bir test uygulanmıştır. Çalışma sonucunda modelin tahmin gücünün yüksek olduğu belirtilmiş olsa dahi değişken sayısının fazla olması sebebi ile veri temininde yaşanabilecek problemlerden dolayı önerilen model diğer araştırmacılar tarafından kabul görmemiştir.

Kaka (1996), nakit akışı modellerinin tahmin gücünü etkileyen faktörleri inceleyerek kapsamlı bir çalışma yapmış ve esnek maliyet eğrilerini nakit giriş-çıkış eğrileri arasındaki fark ile oluşturmaya çalışmıştır. Kaka (1996), tarafından önerilen model, matematiksel modellerdeki belirsizliğin tespiti açısından iyi bir örnek olarak ön plana çıkmış olsa dahi önerilen modelin karmaşıklığından dolayı diğer araştırmacılar tarafından kabul görmemiştir.

Boussabaine ve Kaka (1998), İngiltere'de inşaat projelerindeki maliyet akışlarını yapay sinir ağları ile tahmin etmek üzere özellikle yüklenicilerin istifade edebileceği bir model üzerinde araştırma yapmıştır. Veri seti tamamlanmış 50 projenin nakit akış eğrileri ile oluşturularak toplam proje süresinin 9 periyodu için nakit akış tahmini yapay sinir ağları ile gerçekleştirilmiştir. Önerilen modelin test safhasında 15 proje kullanılmış ve tahmin eğrileri ile gerçek eğriler arasında düşük oranda fark olduğu tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında da Boussabaine ve Kaka (1998)'dan farklı olarak yapay sinir ağları ile proje süresinin her %1'lik dilimi için hassas/esnek nakit akış tahmini yapabilen bir model önerilmiş ve elde edilen sonuçlar gerçek nakit akış eğrileri ile karşılaştırılmıştır.

Evans ve Kaka (1998), inşaat projelerinin ihale sürecinde kullanılmak üzere standart S-Eğrisini baz alan bir nakit akış tahmin modeli geliştirmiş ve modelin tahmin gücünün S-Eğrisinin doğruluğuna bağlı olduğu belirtilmiştir. Veri seti; 20 gıda ve perakende mağaza projesi ile oluşturularak yapı türleri sınıflandırılmış ve logit dönüşümü uygulanarak analizler gerçekleştirilmiştir. Eğrinin geometrisi üzerinde etkili olan parametreler analizler sonrasında müdahale edilerek S-Eğrileri elde

edilmeye çalışılmıştır. Ancak çalışma sonucunda projeler özelliklerine göre çok detaylı bir şekilde gruplara ayrılmış olsa dahi S-Eğrilerinin elde edilemediği ifade edilmiştir. Evans ve Kaka (1998)'nın çalışmasında, Boussabaine ve Kaka (1998) ve diğer araştırmacıların da belirttiği üzere veri setinde yer alan projelerin tarihsel verilerinin kalitesinden dolayı çalışma sonunda S-Eğrilerinin elde edilemediği değerlendirilmektedir.

Boussabaine ve Elhag (1998), ihale öncesi safhalarda inşaat projelerinin finansal karar alma sürecinde bulanık küme teorisinin yardımcı olabileceğini belirterek, proje nakit akışlarına alternatif bir yaklaşım önermiştir. Araştırmacılar, İngiltere'de gerçekleşmiş olan 30 bina projesinin verilerini dokuz tamamlanma dönemine ayırarak projelerin nakit akış eğrileri ile kaynak profillerini oluşturmuş ve bulanık mantığın nakit akış tahmin modelleri üzerindeki avantajlarını göstermiştir. Çalışma sonucunda, eğrinin belirli aralıkları için farklı eşitlikler önerilmiş ve oluşturulan modelin nakit akışı tahmini için kullanılabilir olduğu ifade edilmiştir. Ancak ortaya konulan model olasılık teorisinden yararlanmadığı için güvenirliği diğer araştırmacılar tarafından tartışma konusu olmuştur.

Kaka (1999), Avustralya inşaat projelerinin sözleşme süresi ile gerçek ilerlemesini karşılaştırarak alternatif bir proje yönetim kontrol sistemi geliştirmeyi hedeflemiştir. Çalışma içeriğinde öncelikli olarak imalat ilerlemeleri saha tabanlı uygulayıcılar ve çubuk çizelgeler ile ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Modeli test etmek üzere dört inşaat firmasından 118 bina projesinin aylık maliyet verileri temin edilmiş ve nakit akışı eğrilerinin oluşturulmasında Kenley'nin önerdiği Logit modeli kullanılmıştır. Bu bağlamda model oluşturulurken öncelikli olarak nakit akış profillerinin geometrisi ile ilgili değişkenler belirlenmiş ve iki aşamada bu değişkenlere bağlı olarak bir matematiksel bir eşitlik önerilmiştir. Kaka, oluşturulan modelin sözleşmelerin ilk safhası ile elde edilen S-Eğrilerinin uyum gösterdiğini ancak devam eden süreçte projelerin karmaşık yapısından dolayı farklılaştığını belirtmiştir.

Khosrowshahi (2000, 2001), ARCOM konferansında ardışık olarak sunduğu iki çalışmada projelerin nakit akışını tahmin etmek üzere İngiltere'de gerçekleşmiş olan üstyapı projelerini incelemiştir. Araştırmacı, projelerin nakit akış eğrilerinin

geometrisini, matematiksel bir ifade ile basıklık ve bozulma (kurtosis ve distortion) şeklinde birbirine bağlı iki modüle dayandırmıştır. Çalışmanın devam eden bölümlerinde proje yönetimi ve finansal tahmin için eğri geometrisine bağlı olarak matematiksel bir model önerilmiştir. Sonuç olarak eğri geometrisinin, projelerin finansal kontrolü için faydalı bir enstrüman olabileceği belirtilmiştir.

Kaka ve Fortune (2002), inşaat projelerindeki nakit akış eğrilerini aylık ödemelerdeki gecikmeleri dikkate almadan geleneksel yöntemler ile elde ederek, kurum içi ve dışından gelen nakit akışlarını S-Eğrileri ile araştırmıştır. Veri seti dört farklı inşaat firmasından 118 adet tamamlanmış bina projesi ile oluşturulmuş ve analizler sonucunda elde edilen hata oranlarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, çoklu doğrusal regresyon yönteminin nakit akışı tahmininde etkili bir yöntem olmadığı belirtilerek gelecek çalışmalarda doğrusal olmayan regresyon ve yapay sinir ağlarının nakit akışı tahmininde kullanılmasının faydalı olacağı ifade edilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında Kaka ve Fortune (2002)'nun önerdiği şekilde projelerin tamamlanma süreleri ve nakit akış profilleri, projelerin karmaşık yapısından dolayı yapay sinir ağları kullanılarak analiz edilmiş ve bir tahmin modeli oluşturulmuştur. Ancak Kaka ve Fortune (2002)'dan farklı olarak bu çalışmada projelerin nakit akışına ve tamamlanma sürelerine etki eden parametreler tespit edilerek önerilen modele dış faktör olarak adapte edilmiştir.

Odeyinka ve ark. (2003), İngiltere'de gerçekleştirilen inşaat projelerinin nakit akış profillerini tahmin etmek üzere 100 farklı inşaat firmasından sözleşme verilerini temin ederek analizlerini gerçekleştirmiştir. Veri analizi SPSS istatiksel yazılımı ile gerçekleştirilmiş ve çalışma sonucunda 4. derece polinomial eşitliklerin ihale öncesi safhalarda nakit akışlarının tahmini için kullanılabilir en uygun yöntem olduğu belirtilmiştir. Bu tez çalışmasında toplam 501 adet üstyapı projesi incelenmiş ve tamamlanmış projelerin gerçek nakit akış profilleri Odeyinka ve ark. (2003)'nın çalışmasına benzer şekilde 3. derece polinomial eşitlikler ile matematiksel olarak modellenmiştir.

Khosrowshahi ve Kaka (2007), inşaat projelerine ilişkin en geçerli nakit akış tahmin modellerinin ancak finansal bazlı yöntemler ile elde edilebileceğini belirtmiştir. Bu

kapsamda araştırmacılar tarafından oluşturulan modele, üç adet matematiksel bileşen (bir adet üstel, iki adet 4. derece polinom) ve organizasyon deneyimi değişken olarak adapte edilmiştir. Önerilen modelde tahmin edilen kümülatif nakit akışı bir sonraki safhada kurumsal hedefler doğrultusunda manipüle edilerek gerçekçi nakit akış profilleri elde edilmiştir. Araştırmacılar, önerilen modelin inşaat firmalarının proje nakit akışlarını kurumsal hedefleriyle uyumlu hale getirmesine ve diğer paydaşlar ile müzakere etmesine imkan tanıyan bir karar destek sistemi olduğunu belirterek modelin kullanılabilir olduğunu ifade etmiştir.

Liu ve ark. (2009), inşaat projelerinin nakit akışları üzerinde etkisi olan faktörleri incelemiş ve bu faktörler nakit akışlarının etkilenme derecesine göre kategorize edilmiştir. Finansal yönetim, tedarik zinciri, yüklenici türü, proje öncesi ve sürecindeki nakit akışı, organizasyon içi iletişim ve diğer belirsiz parametreler 7 temel faktör olarak tanımlanmıştır. Kanada'da yer alan inşaat firmaları ile yapılan anket sonucunda nakit akışlarını etkileyen 7 temel ve 43 alt faktör 0-9 aralığında sınıflandırılarak araştırmacılar tarafından oluşturulan matematiksel modele değişken olarak adapte edilmiş ve bu değişkenler Monte Carlo Simülasyonu/Analitik Hiyerarşik Proses yöntemleri ile bütünleşik olarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda ana faktörler arasında yer alan finansal yönetimin nakit akışlarına %27,72'lik bir etkisinin olduğu tespit edilerek Kanada'da faaliyet gösteren inşaat firmalarının nakit akışı tahmininde kullanabileceği bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Melik (2010), Türk inşaat sektöründeki yüksek belirsizlik ve risklerden dolayı maliyet, nakit akış denetimi ve planlamayı kontrol altında tutabilecek alternatif bir model üzerinde araştırma yapmıştır. Araştırmacı, bulanık mantık ile sektör kaynaklı belirsizliklerin de sisteme dahil edildiği, gerçekçi ve güvenilir bir karar destek sistemi geliştirmeyi hedeflemiştir. Önerilen modelin girdileri, inşaat firmaları ve sözleşmelerden temin edilen temel süre ve maliyet bilgileridir. İnsanın doğasına uygun karar verme teknikleri ve sektörde fiili olarak rol alan yöneticilerin tecrübelerinden istifade edilerek, nakit akış senaryoları modelde çıktı olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda özellikle inşaat firmalarının ihale hazırlık aşamasında oluşabilecek süre-maliyet riskleri ile varyasyonlarını önceden tespit edebileceği alternatif bir karar destek sistemi önerilmiştir.

Anastasopoulos ve ark. (2010), Amerika Birleşik Devletleri Indiana eyaletinde yer alan 1722 otoyol projesine ait (bakım ve inşa projeleri) nakit akış verilerini inceleyerek yol projelerinin nakit akışlarını etkileyen parametreleri tespit etmek üzere bir araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda proje gerçekleşme süreleri ile nakit akışlarının maliyet, proje türü, planlanan süre ve olumsuz hava şartlarından önemli derecede etkilendiği tespit edilmiş ve önerilen modelin ihale öncesi safhalarda inşaat firmaları tarafından karayolu projeleri için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Anastasopoulos ve ark. (2010)'nın çalışmasında çok geniş bir veri seti kullanılmasına karşın sadece otoyol projeleri ile çalışılması önemli bir kısıt olarak öne çıkmaktadır. Diğer taraftan, bu tez çalışmasında Anastasopoulos ve ark. (2010)'nın önerdiği şekilde iklim koşulları, proje türü parametrelerine ilave olarak İGE, GYSH ve Döviz kuru faktörlerinin nakit akışları üzerindeki etkileri dikkate alınarak bir karar destek sistemi önerilmiştir.

Odeyinka ve ark. (2012), inşaat projelerinin maliyet akışlarının tahmininde etkin olan risk faktörlerini araştırmak amacıyla alternatif regresyon modelleri geliştirmiştir. Araştırmacılar, nakit akış tahmininde karşılaşılan en önemli sorunları tespit etmek üzere İngiltere'de 100 inşaat firması ile anket gerçekleştirmiş ve 55 projenin tahmini/ gerçek nakit akışları arasındaki farkları araştırmıştır. Çalışma sonucunda, projenin ilk tasarım sürecindeki değişiklikler, üretim sürecindeki tasarım değişiklikleri, kabul sürecindeki gecikmeler ve faaliyetlerdeki değişikliklerin maliyet akış tahminlerine negatif etki eden en önemli faktörler olduğu tespit edilmiştir.

Škomrlj ve Radujković (2012), Hırvatistan'da gerçekleştirilen inşaat projelerinin nakit akışlarını tahmin etmek amacı ile bina, tünel ve otoyol yapılarını kapsayan toplam 78 adet projenin yapı türlerine göre S-Eğrilerini 6. Dereceden polinomial regresyon ile tanımlamış ve elde edilen eşitliklerin nakit akış profillerini %95 güven aralığında temsil ettiği belirtilmiştir. Araştırmacılar, regresyon ile elde edilen eşitliklerin özellikle proje ile ilgili bilgilerin eksik veya az olduğu durumlarda nakit akışı tahmini için faydalı olabileceğini savunmuştur.

Al-Joburi ve ark. (2012), Dubai'de negatif nakit akışlarının inşaat performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışma kapsamında henüz tamamlanmamış ve

inşaat faaliyeti devam eden ticari, özel konut ve karma yapılardan oluşan 40 proje verisi kullanılarak, tahmin edilen proje değeri, işin süresi (ay), ortalama aylık harcamalar, en yüksek nakit çıkışı ve nakit akışının negatif olarak devam edeceği süre % cinsinden yapı türlerine göre sınıflandırılarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda incelenen yapı türlerine göre ticari bina projelerinde %29, villa projelerinde %40 ve rezidans projelerinde %7 oranında negatif nakit akış değerleri tespit edilerek inşaat projelerinin nakit akışları üzerinde sözleşme tutarı, sözleşme süresi ve negatif nakit akışının kritik öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Ancak, Al-Joburi ve ark. (2012)'nın çalışmasında; S-Eğrilerinin analizinde kullanılan veri setinin küçük ve yapı türlerinin sınırlı olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasında ise daha büyük bir veri seti (501 proje), altı yapı türü üzerinde araştırma yapılarak daha güveniler sonuçlar elde edilmesi hedeflenmiştir.

Chao (2013), Hudson (1973) tarafından önerilen nakit akış eşitliğinin iki parametresini tahmin etmek üzere bir yapay sinir ağı modeli önermiştir. Tayvan'da 2005-2010 yılları arasında tamamlanmış projeler için gerçek ilerleme, proje özellikleri ve proje koşulları ile ilgili veriler bulanık kümeleme yöntemi ile girdi birimi olarak önerilen sinir ağı modeline adapte edilmiştir. Çalışmanın hazırlık safhasında Tayvan'da 101 proje ve Skitmore ve Martin (1993)'nin daha önceden kullandığı 27 proje bu çalışma kapsamında veri setine dahil edilmiştir. Analiz sonucunda RMSE 0,25 olarak hesaplanmış ve hata payının Kenley ve Wilson (1986)'nın çalışmasına kıyasla oldukça düşük seviyede olduğu belirtilmiştir. Araştırmacı oluşturulan yeni sistemin önceki tahmin modellerine göre daha verimli olduğunu belirterek modelin özellikle ihale öncesi safhalarda kullanılabilirliğini önermiştir. Bu tez çalışmasında da Chao (2013)'nun çalışmasında önerildiği üzere yapay sinir ağları ile S-Eğrilerinin oluşturulması hedeflenmiştir. Ancak, Chao (2013) YSA modeli ile S-Eğrilerini elde edebilmek için Hudson (1973) tarafından önerilen matematiksel eşitlikte yer alan iki parametreyi tahmin etmeyi amaçlamıştır. Bu tez çalışmasında ise yapı türü, çalışılamayan gün sayısı, proje maliyeti, proje süresi, GSYH ve İGE parametreleri önerilen modelde girdi birimi olarak tanımlanmış ve yapay sinir ağları ile her bir projenin karakteristik özellikleri dikkate alınarak S-Eğrilerini tahmin edebilen dinamik bir karar destek sistemi önerilmiştir.

Heaps ve Domingo (2014), Yeni Zelanda'da tamamlanmış 7 alışveriş merkezi ve 12 sağlık kuruluşu olmak üzere toplam 19 projenin nakit akışlarını 4. Derece polinomal eşitlikler ile analiz ederek çalışmanın yapıldığı bölge için etkin bir nakit akış modeli geliştirmeyi hedeflemiştir. Analiz safhasında gerçek ve tahmin edilen nakit akışları arasında %3,93 ile %7,09 oranında değişen hatalar tespit edilmiş olsa dahi inşaat projelerinin farklı karakteristik özelliklerinden dolayı standart nakit akış eğrisi oluşturulamadığı ifade edilmiştir. Diğer taraftan araştırmacılar, her bir projenin özgün yapısının nakit akışı tahmin modellerine yansıtılmasının daha doğru sonuçlar verebileceğini önermiştir. Bu tez çalışmasında yapay sinir ağları ile S-Eğrilerinin oluşturulmasının temel sebebi, nakit akışlarını etkileyen dış faktörlerin temel bir modele pratik bir şekilde dahil edilerek projelerin karakteristik yapılarının tanımlanabilmesidir.

Datey (2015), inşaat projelerinin nakit akışlarını proje öncesi safhalarda tahmin edebilmek üzere nakit akışlarını adım fonksiyonları ile bilgisayar destekli bir yazılıma adapte ederek bir model geliştirmeyi hedeflemiştir. Adım fonksiyonları oluşturulurken her bir proje için yatırımcıdan alınan avans, harcamalar ve ödeme verileri kullanılmıştır. Araştırmacı gerçek hayatta proje nakit akışlarının diğer araştırmacılar tarafından tanımlanan düzgün eğriler ile gösterildiği şekilde gerçekleşmediğini ve bunun yerine akışların parçalı bir şekilde gerçekleştiğini ifade ederek adım fonksiyonlarının nakit akışı tahmin modellerinde daha gerçekçi sonuçlar ortaya koyabildiğini belirtmiştir. Çalışma sonucunda bilgisayar destekli bir nakit akış tahmin modeli geliştirilmiş ve yatırımcı/yüklenici firmalar tarafından kullanılabilir olduğu vurgulanmıştır.

Asiedu ve ark. (2016), inşaat projelerindeki süre aşımlarını ve nakit akışlarını tahmin etmek üzere Gana'da 2010-2013 yılları arasında tamamlanmış kamu eğitim projelerinden oluşan 321 projeyi incelemiş ve modelin oluşturulması için 224 proje verisi kullanılmıştır. Veri seti; metrajların yer aldığı faturalar, proje sürecinde yapılan ara ödemeler, sözleşme ve kesin hesap raporları ile oluşturulmuştur. Proje maliyetlerinin enflasyondan arındırılması amacı ile sözleşme tutarları 2013 Haziran dönemi Gana Bina Maliyet Endeksleri ile düzeltilerek çoklu regresyon yöntemi ile nakit akışı modeli oluşturulmuştur. Veri setinde yer alan projelerin %86,6'sında

gecikme yaşandığı, gecikmelerin %44,7'sinin toplam maliyet, toplam yüzey alanı ve sözleşme türü ile açıklanabildiği tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda önerilen modelin ihale safhasında karar vericiler açısından etkin bir karar destek sistemi olabileceği vurgulanmıştır. Diğer taraftan, Asiedu ve ark. (2016)'nın önerdiği model, önceki araştırmacıların çalışmalarına göre geniş bir veri setine sahip olsa dahi yalnızca kamu eğitim yapılarının araştırılmış olması modelin en önemli kısıtı olarak ön plana çıkmaktadır. Bu tez çalışmasının ise hem yapı türü hem de veri seti açısından Asiedu ve ark. (2016)'nın çalışmasına göre çok daha kapsayıcı olduğu değerlendirilmektedir.

Dikmen ve ark. (2020) doğal afet sonrasında inşa edilen afet projelerinin ilerleyişini matematiksel bir yaklaşım ile araştırmıştır. Bu kapsamda araştırmacılar Weibull dağılımı kullanarak oluşturdukları model ile Monte Carlo simülasyonundan istifade ederek elde edilen nakit akış eğrisini analiz etmiştir. Araştırma sonucunda doğal afet sonrası yeniden yapılanma kapsamında gerçekleştirilen projelerin nakit akışı eğrilerinin S formunda olduğu tespit edilmiş ve özellikle eğrinin ilk bölümündeki eğimin toplumun doğal afete hazırlığı ile yakından ilişkili olduğu belirtilmiştir.

2.1.2.2. S-Eğrisi ile ilgili çalışmaların değerlendirilmesi

Nakit akışı yönetiminin tahmini ile ilgili önceki çalışmalar incelendiğinde birçok araştırmacının S-Eğrilerinden istifade ederek çeşitli modeller üzerinde çalıştığı anlaşılmaktadır. Literatür taraması sonrası S-Eğrisi ve nakit akışı yönetimi ile ilgili çalışmalarda ortaya konulan eşitlikler Tablo 2.2. ve Şekil 2.4.'te özet olarak gösterilmektedir.

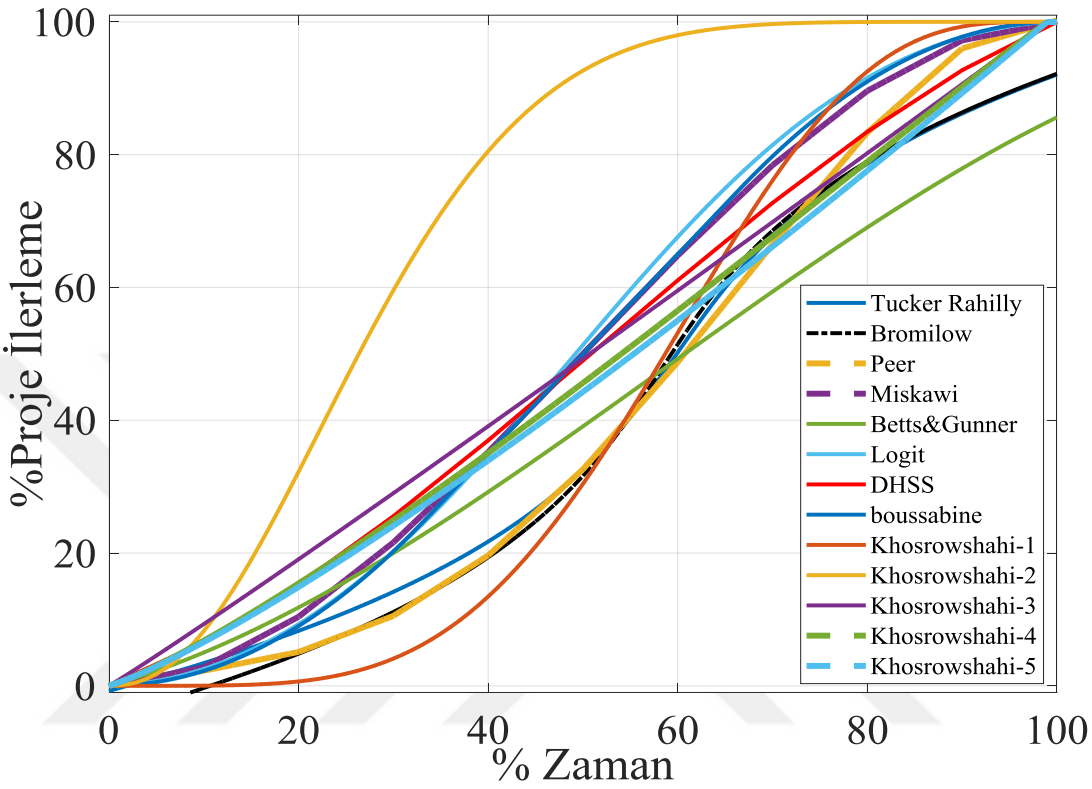
Şekil 2.4. incelendiğinde araştırmacılar tarafından genellikle farklı S-Eğrilerinin ortaya konulduğu görülmektedir. Her projenin özgün nakit akışı özelliklerine sahip olmasından dolayı farklı projelerden elde edilen veriler ile oluşturulan S-Eğrileri arasında birtakım farklar oluşmaktadır. Hudson (1975), hastane projeleri üzerinde çalışırken, Kenley ve Wilson (1986), tekil bina projeleri, Škomrlj ve Radujković (2012), ise otoyol ve tünel ve kamu binaları üzerine çalışmıştır.

Tablo 2.2. Diğer araştırmacıların S-Eğrisi eşitlikleri

Araştırmacı	Yıl	Kontrol Modeli	Eşitlik
Bromilow	1978	Polinomial ters regresyon model	$y = [\,a_0 + a_1\left(\frac{W}{t}\right) + a_2\left(\frac{W}{t}\right)^2 + a_3\left(\frac{W}{t}\right)^3 + a_4\left(\frac{W}{t}\right)^4\,]\,C$ $t = 10{,}667 + 2{,}09132p - 0{,}034436p^2 + 0{,}000241p^3$
Hudson	1978	Bileşik polinomial model	$y = S\,[x + C\,x^2 - Cx - \frac{6x^3 - 9x^2 + 3x}{K}]$
Peer	1982	Polinomial regresyon modeli	$y = 0{,}0089 + 0{,}26981\,t + 2{,}36949\,t^2 - 1{,}39030\,t^3$
Tucker ve Rahilly	1982	Polinomial ters regresyon modeli	$t = 1{,}9 + 2{,}5p - 0{,}04014p^2 + 0{,}0002668p^3$
Benry ve Howes	1982	Bileşik polinomial model	$y = \frac{v}{S} = x(1 + a(1 - x)(x - b)$
Kenley ve Wilson	1986	Logit Modeli	$v = \frac{100e^a\left(\frac{t}{100 - t}\right)^b}{1 + e^a\left(\frac{t}{100 - t}\right)^b}$
Tucker	1988	Weibull	$y = \propto (1 - e(-(\frac{x - d}{y})\beta)$
Miskawi	1989	Sin	$y = \frac{3^t}{2}\,sin\left(\pi\frac{1 - t}{2}\right)sin(\pi t)\ln\left(\frac{t + 0{,}5}{a + t}\right) - 2t^3 + 3t^2$
Khosrowshahi	1991	Logit Modeli	$y = C(e^{ax^{b(1-x)^d}} - 1)$ $a = \frac{dR}{1 - R}$, $b = \frac{log_e(1 + Q)}{R^a(1 - R)^d}$
Betts ve Gunner	1993	Polinomial regresyon modeli	$y = 0{,}4013t + 0{,}01066t^2 - 6{,}1116E - 5t^3$
Boussabaine& Elhag	1999	Fazlı polinomial modeli	$0 \le x \le \frac{1}{3}$; $Y = \frac{9x^2}{4}$ $\frac{1}{3} \le x \le \frac{2}{3}$; $Y = \frac{3x}{2} - \frac{1}{4}$ $\frac{2}{3} \le x \le 1$; $Y = \frac{9x}{2} - \frac{9x^2}{4} - \frac{5}{4}$
Škomrlj ve Radujković (Bina)	2012	Polinomial regresyon modeli	Y=0,00308724+0,29833094 xi+0,01298652 xi^2+0,00012448 xi^3–0,00000260 xi^4+ 0,00000001xi^5
Škomrlj ve Radujković (Tünel)	2012	Polinomial regresyon modeli	Y=0,0022540801+0,3013256588xi+0,0190451810xi^2 +0,0000154346xi^3 0,000022972xi^4+0,0000000093xi^5
Škomrlj ve Radujković (Otoyol)	2012	Polinomial regresyon modeli	Y=0,0022540801+0,3013256588xi+0,0190451810xi^2 +0,0000154346xi^3 0,000022972xi^4+0,0000000093xi^5

Bahse konu yapı türlerinin nakit akışlarında farklılık bulunması proje türlerinin farklı olmasından kaynaklanabilmektedir. Diğer taraftan veri setlerinin farklı ülkelerden elde edilmesi de eğrilerin farklılaşmasına neden olabilmektedir. Ancak diğer araştırmacılar tarafından önerilen S-Eğrilerinin ortalamadan çok farkla ıraksamadıkları hemen hemen benzer oldukları Şekil 2.4.'de yer alan grafikte görülmektedir. Eğrilerden sadece Khosrowshahi'ye ait olan eğrilerin net bir şekilde ayrıştığı görülmektedir.

Khosrowshahi projelerin gelişim süreçlerine göre farklı varyasyonları dikkate alabilen S-Eğrileri elde etmeyi hedeflemiş ve bu doğrultuda gerçekleşebilecek senaryolara göre farklı eşitlikler önermiştir (Kenley, 2003).



Şekil 2.4. Diğer araştırmacıların S-Eğrisi grafikleri

2.1.3. Yapay sinir ağları ile süre-maliyet ilişkisi modeli

Yapay Sinir Ağları (YSA)'nın literatürde genel kabul görmüş tek bir tanımı mevcut değildir. Bazı araştırmacılar YSA için genel anlamda bir tanımlama yapmak yerine YSA türlerinin tanımlanmasının gerekli olduğunu ifade etmiştir (Sönmez, 2009; Dikmen ve Sönmez, 2011). Kısaca tanımlamak gerekirse YSA insan beyninin öğrenme tekniğinden esinlenerek, elde ettiği verilerden yeni veriler elde edilebilmesine imkan tanıyan yazılımlardır. Çalışmanın bu bölümünde YSA kullanılarak araştırılan süre-maliyet ilişkisi çalışmaları incelenecektir.

2.1.3.1. YSA ile inşaat projelerinde süre-maliyet ilişkisi çalışmaları

Naik ve Kumar (2013), inşaat projelerinin süre-maliyet optimizasyonunda basit jenerik algoritmalar ve Geri Yayılım Yapay Sinir Ağı modelinden istifade etmiştir. Oluşturulan modelde girdi birimi olarak projelerin süre ve maliyet verileri kullanılmıştır. Önerilen sinir ağının test safhasında Hindistan'da tamamlanmış 512 konut projesinin verileri kullanılmış ve çalışma sonucunda proje maliyetinin %3,91, proje süresinin ise %5 oranında hata ile tahmin edilebildiği belirtilmiştir.

Petruseva ve ark. (2013), inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkini incelemek amacıyla Bosna Hersek Federasyonunda gerçekleştirilen 75 üstyapı projesinin verilerini BTC modeli ile birlikte doğrusal regresyon yöntemleri ile araştırarak alternatif bir süre tahmin modeli önermiştir. Araştırmacılar modelin sonraki aşamasında ise aynı verileri kullanarak çok katmanlı Yapay Sinir Ağı modeli geliştirmiş ve önceki çalışmanın tahmin gücünün olumlu yönde etkilendiğini belirtmiştir. Çalışma sonucunda; BTC modeli kullanılarak, süre-maliyet ilişkisi ($T = 0{,}093C^{0{,}550208}$, $MAPE = 10.35, R^2 = 0{,}73$) yüksek düzeyde elde edilmiş olsa dahi YSA modelinin BTC modeline kıyasla daha yüksek açıklama gücüne $MAPE = 2.49, R^2 = 0{,}97$ sahip olduğu ifade edilmiştir. Bu tez çalışmasında da Petruseva ve ark. (2013)'nın çalışmasına benzer şekilde YSA ve BTC modelleri ile inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkileri araştırılmış ve YSA modelinin tahmin gücünün BTC'ye kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Waziri ve ark. (2017), YSA algoritmalarının inşaat projelerinin süre-maliyet hesaplarında risk değerlendirme ve karar verme süreçlerinde kullanılabileceğini belirterek YSA algoritmalarının geleneksel hesaplama modellerine göre karmaşık problemlerin çözümlerinde daha başarılı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca YSA'nın, genetik algoritmalar, bulanık mantık, karınca kolonisi optimizasyonu, yapay arı kolonisi gibi hesaplama modelleri ile birlikte kullanılmasının inşaat projelerinin süre-maliyet tahminlerinde çok daha iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Diğer taraftan Kulkarni ve ark. (2017), belirsizliğin yüksek olduğu inşaat projelerinde süre, maliyet, kalite gibi parametrelerin tahmininde Geri Yayılım Yapay Sinir Ağı modelinin başarılı sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Pesko ve ark. (2017), Sırbistan'da gerçekleştirilen yol projelerinin süre-maliyet ilişkisinin araştırıldığı çalışmada Yapay Sinir Ağları ve SVM (Support Vector Machines) modelleri ile analizler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda SVM modelinin YSA modeline kıyasla daha anlamlı sonuçlar verdiği belirtilerek SVM'nin maliyet tahmininde %7,6 MAPE (Mean absolute percentage error- Ortalama mutlak yüzde hatası) değeri ile daha kararlı sonuçlar verdiği, YSA'nın ise %25,38 MAPE değeri ile yüksek oranda hatalı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan süre tahmininde ise MAPE hata değeri SVM için %22,77, YSA için %26,26 olarak hesaplanmıştır.

Alaloul ve ark. (2018), proje performans kriterleri (süre, maliyet, kalite) arasındaki ilişkiyi alternatif bir YSA modeli ile araştırmıştır. Çalışma kapsamında onaltı proje koordinasyon faktörü belirlenerek girdi birimi olarak tanımlanmış ve süre-maliyet-kalite ilişkisinin tespiti amacıyla üç katmanlı ileri beslemeli GYYSA algoritması ile tahmin modeli oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda maliyet, süre ve kalite için önerilen sinir ağı modelinin determinasyon katsayısı (R^2) sırasıyla 0,77-0,76 ve 0,75 olarak elde edilmiştir.

2.2. Bölüm Sonu Değerlendirme

İnşaat sektöründe nakit, şirketlerin yeni yatırımlar yapma, yeni projeler başlatma ve projeleri devam ettirmeleri için en önemli unsurlardan birisidir. Diğer taraftan, nakit problemi, projeler devam ederken ortaya çıkabilecek en tehlikeli sorunlardan biridir. Özellikle yatırımcı veya yüklenici firmaların nakit sıkıntısını karşılamak için herhangi bir planı yoksa, işçilik maliyeti, malzeme maliyeti, ekipman ve genel giderler gibi projenin dolaylı ve doğrudan giderleri sebebi ile projelerin hızı yavaşlar veya durma noktasına gelir. Bu sebeple, yatırımcı veya yüklenici firmaların projelere başlamadan önce sermaye şartlarını belirleyerek makul bir nakit akışı planı hazırlaması gerekmektedir. Kaka ve Price (1991) ile Kenley (2003), yeterli sermayenin olmaması ve etkin nakit akışı planı olmadan projelere başlanmasını inşaat şirketlerinin projelerden kar elde etmek yerine iflasa gitmelerinin ana nedeni olarak belirtmişlerdir. Aynı şekilde, Singh ve Lakanathan (1992), nakdin ve nakit akışının devam eden projelerin günlük faaliyetlerini desteklemek için en önemli kaynak olduğunu ve bu

kaynağın bulunmamasının yatırımcı ve yüklenici firmaların başarısızlığına neden olacağını belirtmiştir. Bu nedenle, özellikle inşaat şirketleri, ihale aşamasında ve projeler devam ederken projelerin finansal durumunu ve şirket üzerindeki nakit durumunu kontrol edebilecek etkin araçlara ihtiyaç duymaktadır.

Nakit akışı modelleri; doğru kararlar almak, iyi tahminler yapmak ve inşaat sektöründe etkin mali kontrolü sağlamak için önemli ve kaçınılmaz olduğu için, daha doğru ve güvenilir nakit akışı sağlamak için birçok araştırmacı tarafından farklı nakit akışı modelleri önerilmiştir. Nakit akışı modellerinin çoğu, yeni yatırımlar yaparken müşteriye karar verme, ihale aşamasında ise yükleniciye fikir vermesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu bağlamda, süre-maliyet ilişkisinin farklı bir gösterim şekli olan S-Eğrilerinden; projelerin nakit akışının tahmini için yaygın bir biçimde istifade edildiği literatür taraması sonucunda anlaşılmaktadır. S-Eğrileri, projelerin başlangıcından bitişine kadar süre-maliyet ilişkisini ortaya koyarak nakit akışı yönetimi için etkin çözümler sağlayabilmektedir. Önceki çalışmalarda S-Eğrilerinin farklı matematik modellerinden faydalanılarak oluşturulması sonucunda ortaya çıkan nakit akış modellerinin S olarak şekillendiği görülmüştür. Yapılan çalışmalarda eğrilerin formlarının değişmesinin de bölgesel koşullardan ve diğer parametrelerden kaynaklandığı gözlenmiştir.

Önceki çalışmalar incelendiğinde; nakit akışları konusunda Oliver (1984) 4, Kenley ve Wilson (1986) 72, Skitmore (1991) 27, Bets ve Gunner (1993) ise 73 proje üzerinde çalışma yapmıştır. BTC modeli üzerinde yapılan çalışmalarda da aynı durum söz konusudur. Bromilow (1969) 329, Bromilow ve Heenderson (1976) ise 370 adet proje üzerinde çalışmıştır. Bu araştırmacıların çalışmaları en çok örnekleme sahip olmaları açısından ön plana çıkarken diğer araştırmacıların çalışmaları ise daha küçük veri setine sahiptir. Bu bağlamda bu çalışma kapsamında önceki çalışmalara kıyasla gerek BTC ve gerekse de nakit akışı eğrilerinin analizinde çok geniş bir veri seti kullanılmıştır. Diğer yandan, bu çalışma yapı türlerinin çeşitliliği açısından da ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada TOKİ sosyal konut, TOKİ afet konut, sanayi, hastane, okul ve bina projeleri olmak üzere altı farklı yapı türü ile süre-maliyet ilişkisi araştırılmıştır. Önceki çalışmalar incelendiğinde BTC modeli ile; Sriana ve Hayati (2015) okul projelerini, Waziri ve ark. (2014) otoyol projelerini, Mačková ve Bašková (2014)

konut projelerini, Sun ve Xu (2010) afet projelerini, Choudhury (2012) altyapı inşaat projelerini analiz ettikleri görülmektedir. Diğer taraftan yapı türünün çeşitli olduğu çalışmalar da mevcuttur. Örneğin Albalushi ve ark. (2013); konut, ofis ve alt yapı projelerini, Car-Pusic ve Radujkovic (2010); otoyol ve bina projelerini, Diana ve Mladen (2009); yol, ofis ve konut projelerini incelemiştir.

Ayrıca bu çalışmada İnsani Gelişmişlik Endeksi, döviz kuru, çalışılamayan gün sayısı ve gayrisafi yurtiçi hasıla olmak üzere dört farklı parametrenin etkisi de süre-maliyet ilişkindeki rolü incelenmiştir (Bu parametrelerin seçim kriterleri çalışmanın devam eden bölümlerinde detaylı bir şekilde açıklanmıştır). Ireland (1985), Ojo, (2001), Ogunsemi ve Jagboro (2006), Kumaraswamy ve Chan (1995) ve Kenley (2003) inşaat projelerinin tamamlanma süreleri ve maliyetlerinin; sektördeki belirsizliklerden, ekonomik koşullardan ve yapı türü gibi bir dizi faktöre bağlı olduğunu ileri sürmüştür. Choudhury ve Rajan (2003), BTC modelini test ettikleri çalışmada süre-maliyet ilişkisinde farklı parametrelerin incelenmesinin daha gerçekçi tahminler yapılabilmesi açısından yararlı olacağını ifade etmiştir. Waziri ve ark. (2014)'da BTC modeline yapıya ait birtakım özelliklerin faktör olarak eklenmesinin daha doğru sonuçlar alınması açısından yararlı olacağını önermiştir. Bu kapsamda yapı türünün etkisini bir parametre olarak inceleyen çalışmaların da gerçekleştiği görülmektedir (Martin ve ark., 2006, Diana ve Mladen, 2009, Car-Pusic ve Radujkovic, 2010). Le-Hoai ve ark. (2009) kamu ve özel sektör projelerinin süre-maliyet ilişkisini çalışmasında incelemiştir. Mackovaa ve ark. (2017) brüt taban alanı, kat sayısı, kat alanı/ toplam inşaat alanı gibi faktörlerin etkisini BTC modeli ile araştırmıştır. Nakit akışı ile ilgili yapılan çalışmalarda ise Kaka ve Price (1993) proje türü, sözleşme büyüklüğü, şirket ve sözleşme türü parametrelerinin etkisini çalışmalarında incelemişlerdir. Akpan ve Igve (2001), ise ödeme tutarları, süre ve enflasyon oranlarının etkisini değerlendirmiştir. Anastasopoulos ve ark. (2010), proje türü, planlanan süre ve çalışılamayan gün sayısını parametre olarak modellerine yansıtmıştır. Al-Joburi ve ark. (2012), proje değeri, işin süresi (ay), ortalama aylık harcamalar, maksimum negatif nakit akışı ve nakit akışının negatif olarak devam edeceği sürenin etkisini yaptıkları nakit akışı analizi çalışmalarında incelemişlerdir. Chao (2013), ise proje zorluk derecesi ve yüklenicilerin yeterliliğini nakit akışı analizinde parametre olarak

ele almıştır. Sonuç olarak bu çalışmada da farklı parametrelerin gerek BTC modeli ve gerekse nakit akışı eğrileri üzerindeki etkileri incelenerek bu parametrelerin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada ayrıca gerek BTC modeli ve gerekse nakit akışı eğrileri regresyon analizine ek olarak YSA ile de test edilmiş, regresyon[1] ve YSA sonuçları karşılaştırılmıştır. Gerek BTC ve gerekse S-Eğrileri ile ilgili yapılmış olan ve önceki bölümde açıklanan çalışmaların yalnızca regresyon ya da YSA (Boussabaine ve Kaka, 1998; Petruseva ve ark., 2013; Bayram, 2016; Waziri ve ark., 2017; Kulkarni ve ark., 2017; Pesko ve ark., 2017; Alaloul ve ark., 2018) metotlarından biri seçilerek araştırıldığı görülmektedir. Kaka ve Fortune (2002) regresyon analizi ile nakit akışını incelediği çalışmasında nakit akışının YSA gibi yazılım temelli esnek hesaplama (soft computing) yöntemlerinden faydalanılmasını önermiştir. Bu açıdan bu çalışmada gerek BTC ve gerekse nakit akışı eğrileri iki farklı metot ile analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Yapay Sinir Ağları, inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisi tahmininde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. YSA kullanılarak oluşturulan süre-maliyet modellerinin, inşaat projelerinde süre-maliyet ilişkisini yüksek düzeyde açıklayabildiği yapılan çalışmalardan görülmektedir. Lowe ve ark. (1993), nakit akışını modellemek ve projelerin tamamlanma sürelerini tahmin etmek için uzman sistemler kullanmıştır. Ayrıca Boussabaine ve Kaka (1998), nakit akış modelini geliştirirken sinir ağının kullanıldığı doğrusal olmayan yapıları önermiştir. Boussabaine ve Kaka'ya göre, önceki modellerde nakit akışını ve projelerin tamamlanma sürelerini etkileyen değişkenler arasındaki korelasyonun belirlenmesinin güçlüğü en önemli dezavantaj olarak ifade edilmiştir. Ayrıca, regresyon tekniği ile geliştirilen modellerin yetersiz ve güvenilir olmayan tarihsel veriler kullanarak genel çözümler sunması, özellikle S-Eğrisinin şeklini etkileyen faktörlerin net olmaması, girdi ve çıktı birimleri arasındaki ilişkinin karmaşık yapısından dolayı Yapay Sinir Ağlarının projelerin karakteristik

[1] Önceki bölümde gerek BTC modeli ve gerekse S-Eğrilerinin regresyon analizi ile araştırıldığı birçok çalışma açıklanmıştır. Bu çalışmaların sayısı çok fazla olduğundan referans olarak bu bölümde tekrar gösterilmemiştir.

özelliklerine göre daha doğru sonuçlar üreteceği bu çalışma kapsamında değerlendirilmektedir. Yapay Sinir Ağları ile bu çalışma içeriğinde önerilen model ile önceki araştırmaların eksik yanlarının ve sınırlılıklarının giderilmesi amaçlanmıştır.

Diğer araştırmacıların çalışmaları incelendiğinde, projelerin tamamlanma sürelerini ve bu süreye göre nakit akışlarını tahmin edebilen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Diğer taraftan, literatür araştırmasında özellikle S-Eğrilerini YSA ile araştıran tek çalışmanın Chao ve Chien (2009)'e ait olduğu tespit edilmiştir. Ancak, Chao ve Chien (2009)'nin çalışması YSA ile S-Eğrilerinin elde edilebilmesi için Hudson (1973) tarafından önerilen eşitlikteki parametreleri tahmin etmekle sınırlı kalmıştır. Bu çalışmada ise diğer çalışmalardan farklı olarak projelerin süre-maliyet ilişkisini etkileyen parametreler ile S-Eğrileri, projelerin karakteristik özelliklerine göre doğrudan Yapay Sinir Ağları ile elde edilmiştir. Bu bağlamda bu çalışma kapsamında öncelikli olarak BTC modeli ve S-Eğrileri ile projelerin süre-maliyet ilişkileri incelenerek; Yapay Sinir Ağları ile ihale öncesi safhalarda yatırımcı, yüklenici ve proje yönetim ekiplerinin istifade edebileceği projelerin tamamlanma süreleri ve nakit akış profillerini tahmin edebilen dinamik bir karar destek sistemi önerilmiştir. Diğer taraftan, literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada süre-maliyet ilişkisine ve nakit akışlarına etki eden faktörler çalışma kapsamında önerilen modellere parametre olarak dahil edilmiştir.

BÖLÜM 3. YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde üstyapı projelerinde süre-maliyet ilişkisinin tespiti amacı ile uygulama safhasında kullanılacak; matematiksel, istatiksel ve esnek hesaplama modelleri açıklanmıştır. Diğer araştırmalardan farklı olarak bu tez çalışmasında; çok geniş bir veri seti (501 proje), farklı yapı türleri (sosyal konut, afet konutları, tekil bina, okul, hastane, sanayi) çeşitli parametrelerin etkisi (çalışılmayan gün sayısı, döviz kuru, İGE, GYSH) ve birden fazla modelin (BTC, S-Eğrileri, Yapay Sinir Ağları) inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Özellikle önceki çalışmalar bölümünde birçok araştırmacının sadece belirli yapı türleri ve kısıtlı proje sayıları ile projelerin tamamlanma sürelerini veya nakit akış profillerini ayrı ayrı araştırıldığı tespit edilmiştir (Bromilow, 1969; Bromilow ve Henderson, 1974; Hudson, 1978; Tucker ve Rahilly, 1985; Kenley ve Wilson, 1986; Skitmore, 1991; Kaka ve Price, 1994; Kaka ve Fortune, 2002; Khosrowshahi ve Kaka, 2007 Kaka ve Price, 1991; Ng ve Skitmore, 2000; Choudhury ve Rajan, 2003; Özçekiç, 2007; Odabaşı, 2009; Car-Pusic ve Radujkovic, 2010; Bayram, 2017; Okere, 2018). Özetle; önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışma, inşaat projelerinin tamamlanma süreleri ve bu süreye bağlı olarak nakit akışlarının (S-Eğrilerinin) süre-maliyet ilişkisi kapsamında araştırıldığı, çalışma sonucunda yatırımcı ve yüklenici firmalar ile proje yönetim ekiplerinin ihale safhasında ve proje süresi boyunca ek bir çaba sarf etmeden istifade edebileceği bütünleşik bir karar destek sisteminin önerildiği ilk çalışmadır.

Bu tez çalışması kapsamında öncelikli olarak matematiksel bir yaklaşım olan Bromilow süre-maliyet modeli ile üstyapı projelerinin sözleşme tutarlarına göre tamamlanma sürelerini tahmin edebilen BTC model eşitlikleri belirlenmiştir. Veri setinde yer alan projelerin gerçekleşmiş olan nakit akış profilleri incelenerek yapı türlerine göre polinomial regresyon ile nakit akış eşitlikleri ortaya konulmuştur. Diğer yandan, BTC ve S-Eğrileri ile yapılan analizler, yapı türlerine göre ve dört farklı parametreye (çalışılmayan gün sayısı, döviz kuru, İGE, GYSH) göre yinelenerek bu

parametrelerin süre-maliyet ilişkisine etkileri tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, araştırılan parametrelerin inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi belirlendikten sonra Yapay Sinir Ağları ile analizler gerçekleştirilerek projelerin tamamlanma sürelerini, nakit akışlarını ve ilerlemelerini süre-maliyet ilişkisi kapsamında ve proje öncesi safhalarda, bütünleşik olarak tahmin edebilen bir karar destek sistemi bu çalışma kapsamında önerilmiştir. İnşaat projelerinin birçok dış faktöre bağlı karmaşık bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir (Sönmez, 2009). Doğrusal olmayan yapıdaki problemlerin çözümündeki başarısı, veri seti içerisindeki girdilerin arasındaki karmaşık ilişkiyi belirleyebilmesi, bu ilişkileri hesap adımlarına dahil edebilmesi ve olası hatalara karşı esnek yapıda olması (Sönmez, 2009; Chao ve Chien, 2009, Dikmen ve Sönmez, 2011) sebebi ile analizlerde Yapay Sinir Ağları tercih edilmiştir.

Veri setinde bulunan ve kullanım amaçlarına göre altı alt gruba ayrılmış toplam 501 adet tamamlanmış üstyapı projesi, Bromilow süre-maliyet modeli, S-Eğrileri ve Yapay Sinir Ağlarından istifade edilerek süre-maliyet ilişkileri araştırılmıştır. Analizlerde Mathworks Matlab R2017a ve R2017b sürümleri kullanılmıştır (Mathworks, 2017).

3.1. BTC Modeli

Önceki çalışmalar bölümünde de belirtildiği üzere BTC modeli; inşaat projelerinin maliyeti ile gerçekleşme süresi arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. BTC modeli projelerin gerçekleşme süresi ve maliyeti arasındaki ilişkiyi Eşitlik (3.1)'de ve bu katsayıların regresyon analizi ile hesaplanabilmesi için üssel bir eşik olan Eşitlik (3.1) lineer haline getirilerek; Eşitlik (3.2) ile matematiksel olarak ifade etmiştir.

$$T = KC^{B} \tag{3.1}$$

$$\ln T = \ln K + B\ x\ \ln C \tag{3.2}$$

Eşitlik (3.1) ve (3.2)'de yer alan değişkenler önceki çalışmalar bölümünde detaylı bir şekilde tanımlandığı için bu bölümde tekrar açıklanmamıştır.

BTC modelinde süre-maliyet ilişkisinin tahmini yapılırken en küçük kareler (EKK) metodu ve belirlilik katsayısı *(R^2)* kullanılmıştır. Regresyonda temel amaçlardan bir tanesi bağımlı değişkenin (bu çalışmada inşaat süresidir) varyansının nedenini araştırmaktır. R^2, bir regresyon eğrisinin veri noktalarına ve bağımsız değişkenden tahmin edilebilir olan bağımlı değişkendeki varyansa ne kadar yaklaştığını gösteren bir ölçüdür (Baradan ve ark., 2019). Regresyon eşitliliğinin verilerle uyumunun olup olmadığının bir göstergesi de açıklanabilen değişimin toplam değişime olan oranıdır. Bahse konu oran literatürde belirlilik katsayısı (determination coefficient) olarak anılmaktadır ve bağımlı değişkende meydana gelen değişimin hangi düzeyde bağımsız değişken tarafından açıklanabildiğini göstermektedir. Eşitlik (3.3)'te EKK yöntemine göre belirlilik katsayısının hesabı gösterilmiştir.

$$R^2_{YX} = \frac{\sum(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \qquad \text{veya} \quad R^2_{YX} = 1 - \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \tag{3.3}$$

Burada *Yi;* deneysel olarak saptanmış değerleri, $\hat{Y}$*;* regresyon eşitliğinden hesaplanmış değerleri, $\tilde{Y}$; deneysel verilerin ortalamasını ifade etmektedir.

Korelasyon katsayısının (R) karesi olan belirlilik katsayısı (R^2) 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır.

$$0 \leq R^2 \leq 1 \tag{3.4}$$

Bu değerin 1'e yakınsaması bağımlı değişkenin varyansının bir kısmının bağımsız değişken ile açıklandığını gösterir (Yüzer, 2004; Ünver, 1996). Bu çalışmada da yapılan analizler sonucunda elde edilen belirlilik katsayısı ile proje maliyeti bağımsız değişkeninin, proje süresi bağımlı değişkenini hangi düzeyde açıklayabildiği belirlilik katsayısı ile ortaya konulmuştur. Projelerin BTC eğrileri değerlendirilirken elde edilen R^2 değerinin 1'e yakın olması süre-maliyet ilişkisinin yüksek düzeyde açıklanabildiğini gösterirken, $R^2 = 0{,}80$ olması durumunda y değişkeninde (bu çalışmada proje süresi (T)) toplam varyansın %80'i x bağımsız değişkeni (bu çalışmada proje maliyeti (C)) ile açıklanabilmektedir. Varyansın %20'si nin ise açıklanamadığı kabul edilmektedir.

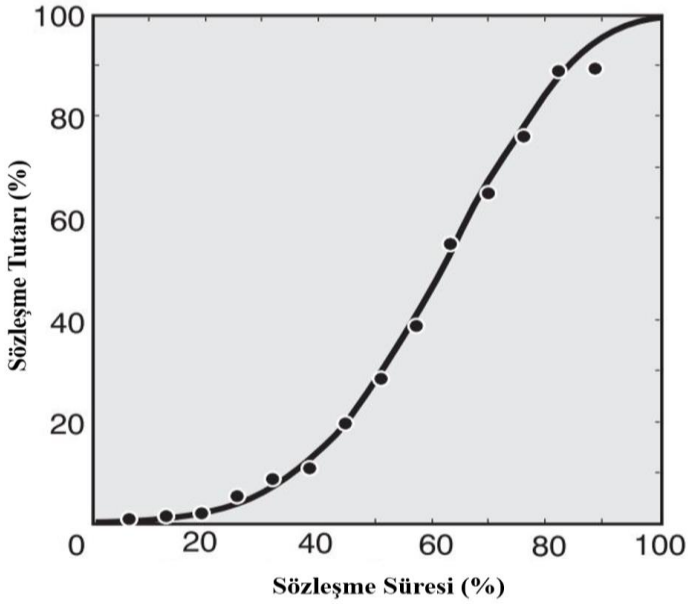
Regresyon analizinde gerçek ve tahmini bağımlı değişken (Y) değerleri arasındaki farklar hataları göstermektedir. Bağımlı değişken ile tek bir bağımsız değişkenin ilişkisi incelendiğinde standart sapma değeri Eşitlik (3.5)'de gösterilen şekilde hesaplanmaktadır (Kohler, 1988);

$$S_{YX} = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-2}} \tag{3.5}$$

Bu bağlamda yapılan analizler sonucunda elde edilen eğrilerin ± standart sapma değerleri de elde edilen grafiklerde gösterilmiştir. Standart sapma eğrileri de gerçek süre ve ilerleme ile tahmini süre ve ilerleme arasındaki farkın değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Gerçek değerlerde dağılımın çok fazla olması standart sapmayı arttırırken, elde edilen eğrinin süre-maliyet ilişkisini düşük düzeyde açıkladığını göstermektedir.

3.2. S-Eğrileri

Çalışma kapsamında projelerin ilerleme süreçlerini göstermek ve süre-maliyet değişkenlerinin ilişkisini anlamak amacıyla projelere ait veriler ile proje türlerine bağlı olarak farklılaşan S-Eğrileri oluşturulmuştur. Önceki çalışmalar bölümünde ifade edildiği gibi S-Eğrilerinde yatay eksen projenin gerçekleşme süresinin yüzde (%) olarak ilerlemesini gösterirken, dikey eksen ise projedeki kümülatif nakit akışının toplam proje tutarına oranını göstermektedir (Kenley, 2003). Şekil 3.1.'de gösterilen yatay ve dikey eksenler, projenin hangi zaman diliminde yüzde olarak ne kadar nakit akışının gerçekleştirildiğini ortaya koymakta yardımcı olmaktadır. Diğer taraftan, S-Eğrileri ile süre-maliyet ilişkisi kapsamında projenin nakit akışı ile ilerleme hızı arasındaki ilişkisi değerlendirilmiştir.



Şekil 3.1. Yüzde olarak sözleşme süresini ve kümülatif nakit akışını gösteren S-Eğrisi (Kenley ve Wilson, 2003).

S-Eğrilerinin oluşturulmasında farklı metotların kullanıldığı önceki çalışmalar bölümünde gösterilmiştir. Buna göre S-Eğrileri oluşturulurken; Bromilow (1978), Tucker ve Rahilly (1982)'nin ters polinomial, Hudson (1978), Benry ve Howes (1982)'nin bileşik polinomial regresyonu, Khosrowshahi (1991), Kenley ve Wilson (1986)'ın logit dönüşümünü, Boussabaine ve Elhag (1999)'ın fazlı polinomial regresyon metodunu ve Peer (1982), Betts ve Gunner (1993), Škomrlj ve Radujković (2012)'in ise polinomial regresyon metodunu kullandıkları görülmektedir. Bu çalışmada; yapı türü ve farklı parametrelere göre polinomial regresyon metodu kullanılarak 3. dereceden polinomlar ile projelerin S-Eğrisi eşitlikleri ortaya konulmuştur. S-Eğrisi grafikleri üzerinden projelerin nakit akışı davranışları değerlendirilerek süre-maliyet ilişkileri araştırılmıştır.

Süre ve nakit akışı arasında doğrusal olmayan ilişkiyi ortaya koymak amacı ile eşitlik (3.6)'de gösterilen tek tahmin değişkeni (single predictor) *X* olan polinomial regresyon modeli kullanılmıştır.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \epsilon \tag{3.6}$$

Bu eşitlikte *Y* bağımlı değişken iken, *X* ise bağımsız tahmin değişkenidir. Eşitlik içerisinde polinomun derecesini gösteren *h=3* alınarak 3. dereceden kübik polinomlar

elde edilmiştir. Yapılan analizler sırasında projelerin ortalama S-Eğrilerinin matematik modelinin en iyi 3.derece polinomlar ile uyum sağladığı tespit edilmiş ve S-Eğrisi eşitlikleri 3.derece polinomlar ile ifade edilmiştir. Tablo 3.1.'de belirtilen bir adet projeye ait nakit akışı yüzdelik verileri örnek olarak gösterilmiştir. Bu tablodaki veriler üzerinden polinominal regresyon uygulanarak ilgili proje için β_0, β_1, β_2 ve β_3, katsayıları hesaplanmış ve S-Eğrisi eşitlikleri oluşturulmuştur.

Tablo 3.1. S-Eğrisi polinomial regresyon verisi örneği

i	İlerleme Süresi / Sözleşme Süresi (%) (X_i)	Kümülatif Nakit Akış Tutarı / Sözleşme Tutarı (%) (Y_i)
0	1	0,8
1	2	1,4
2	3	2,7
3	4	3,3
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
98	99	99,5
99	100	100

Projelerin gerçekleşen nakit akışları aylık olarak düzenlenen ödeme evrakları üzerinden hesaplanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, her bir proje ile ilgili hakediş (aylık ödemeye esas imalatı gösteren dokümanlar) verileri ayrı ayrı incelenerek gerçekleşen nakit akışları kümülatif olarak hesaplanmış ve S-Eğrileri oluşturulmuştur. Tablo 3.1.'den görüldüğü üzere sözleşme süresi 100 eşit parçaya bölünmüş ve bu şekilde sözleşme süresi farklı olan tüm projelerin 100 birim zaman üzerinden ilerlemeleri ve bu 100 birime karşılık gelen kümülatif nakit akışları Kenley (2003)'nin önerdiği şekilde elde edilmiştir. 100 birim zaman için nakit akışlarının hesaplanması amacıyla, ara noktalardaki nakit akış değerleri lineer enterpolasyon metodu ile hesaplanmıştır. Bu işlemin temel amacı süresi ve tutarı farklı olan bütün projeleri ortak bir payda altında ifade edebilmektedir. Bu bağlamda; Eşitlik (3.7) kullanılarak projelerin kümülatif nakit akışları elde edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \\ \sum x_i^3 y_i \end{bmatrix} \tag{3.7}$$

Sözleşme tutarı ekseninde; kümülatif nakit akışının sözleşme tutarına oranı gösterilmektedir. Bu değer ile nakit akışı yüzde olarak hesaplanarak eğrinin y_i değerleri grafikler üzerinde ortaya konulmuştur. Eşitlik (3.7)'den de görüldüğü üzere Tablo 3.1.'den alınan 100 (n=100) ayrı x ve y değerleri kullanılarak 3. Dereceden (h=3) bir polinomunu ortaya koyan β_0, β_1, β_2 ve β_3, katsayıları hesaplanmış ve ilgili proje için S-Eğrisi oluşturulmuştur. Projelerin ortalama S-Eğrileri ise veri setinde bulunan projelerin x_i ve y_i değerlerinin ortalamasından elde edilen ortalama x_i ve y_i değerleri kullanılarak oluşturulmuştur.

3.3. Esnek Hesaplama (Soft-Computing) Temelli Yöntemler

Türkiye'de üstyapı projelerinde Süre-Maliyet ilişkilerinin incelendiği bu çalışma kapsamında, BTC modeli ve S-Eğrileri ile yapılan çalışmalara ilave olarak; projelerin tamamlanma sürelerini ve nakit akışlarını (S-Eğrilerini) Yapay Sinir Ağları ile tahmin edebilen bir model önerilmiştir. Projelerin karmaşık yapısından dolayı, girdi ve çıktı birimlerinin arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğu bilinmektedir (Sönmez, 2009) Yapay Sinir Ağları; girdi ve çıktı birimleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri tespit ederek, bu birimler arasındaki karmaşık yapıları ilişkilendirip (ağırlıklandıran) doğrusal olmayan transfer fonksiyonları ile çok sayıda eş zamanlı işlem yapma kabiliyetine sahiptir. Böylelikle, Boussabaine ve Kaka (1998), Kulkarni ve ark. (2017), Pesko ve ark. (2017), Chao ve Skibniewski (1995), Chao (2001), Kaka ve Fortune (2002), Chao ve Chien (2009), Dikmen ve Sönmez (2011), Petruseva ve ark., (2013), Waziri ve ark. (2017), Alaloul ve ark. (2018)'nın önerdiği şekilde her bir projenin özgün ve karmaşık yapısından dolayı, projelerin tamamlanma süreleri ve nakit akış profillerinin tahmin edilebilmesi için Yapay Sinir Ağları modeli tercih edilmiştir.

Bu kapsamda veri seti içerisinde yer alan toplam 501 adet projeden 450 adeti Yapay Sinir Ağlarının eğitim aşamasında, 51 proje ise test safhasında kullanılmıştır. Analizler, Matlab R2017a, R2017b ve MS-Excel yazılımlarından istifade edilerek gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde projelerin tamamlanma süreleri ve nakit akışlarının tahmin edilebilmesi amacı ile kademeli olarak iki adet Yapay Sinir Ağı modeli

önerilmiştir. Bu modeller ile ilgili ağ mimarileri, girdi ve çıktı birimleri, kullanılan aktivasyon fonksiyonları ve girdi-çıktı birimlerinin matematiksel ifadeleri Bölüm 4.3.3. ve 4.4.4.'de detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu bölümde yalnızca Yapay Sinir Ağları kavramsal olarak tanımlanmıştır.

3.3.1. Yapay sinir ağları

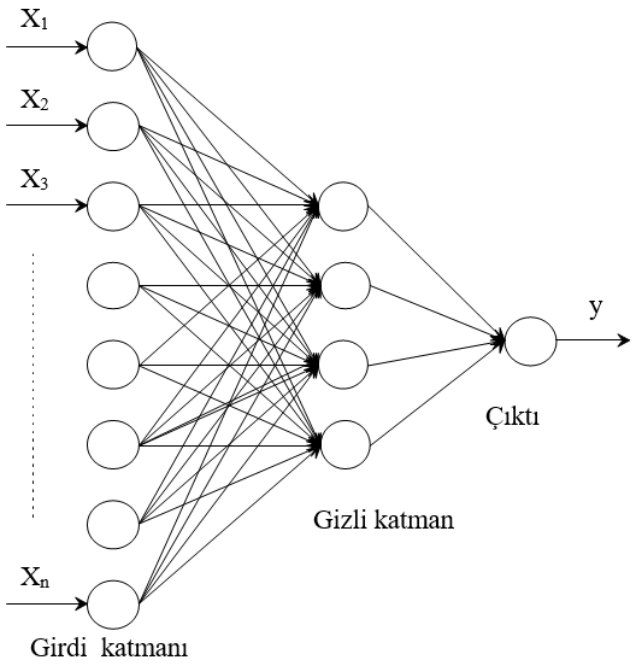
YSA kavramının başlangıcı 1800'lü yıllara dayanmaktadır. Anılan tarihlerde ilk olarak insan beyninin, düşünce ve zekasının çalışma mantığını anlamak üzerine araştırmalar yapıldığı ve devam eden süreçte YSA'ların ilk kullanım alanlarının bilgisayar ortamındaki simülasyonlar olduğu bilinmektedir. Bu kapsamda, McCulloch ve Pitts (1943), nörolojik yaklaşımlar ile YSA modellerini ortaya koyarak nöronların çalışma prensiplerinde birtakım varsayımlarda bulunmuştur. Araştırmacıların geliştirdiği ağlar, sabit eşikleri olan ikili eşitlikler şeklinde görülen basit nöronları temel almıştır. Modellerden elde edilen sonuçlar ise "a ve/veya b" şeklinde basit mantıksal fonksiyonlar olmuştur. Diğer taraftan, YSA konusunda Farley ve Clark (1954) ve Rochester, Holland, Haibit ve Duda (1956), tarafından bilgisayar simülasyonlarının kullanıldığı görülmektedir. IBM araştırmacıları olan Farley ve Clark, McGill Üniversitesinden nörobilimciler ile ortak bir araştırma yapmış ancak geliştirilen model hedeflenen şekilde çalışmamıştır. Bu bağlamda, bu araştırmacıların açmış olduğu yoldan çok disiplinli bir alan olan YSA doğmuştur. YSA kapsamında bazı araştırmacılar yapı tanımlama gibi problemlerin çözümüne dönük çalışmalara devam etmişlerdir. Grossberg ve Carpenter (1995), yankı algoritmalarını araştırmış ve bu konuda yeni bir yaklaşımın temellerini atmışlardır. Araştırmacılar, temeli biyoloji olan teorik gelişmelere ilgi göstermiş ve adaptif yapı sınıflandırması konusunda bir makale yayınlayarak öğrenme temeline yönelik matematiksel bir teori ortaya koymuştur. Diğer yandan, Minsky ve Papert (1969)'ın yayımladıkları kitapta ilave analiz yapılmaksızın kabul gören YSA'lara karşı olumsuzlukların belirtilmesi sonucunda, YSA ile ilgili araştırmalar yavaşlamış ancak, 1980'li yılların başında yapım yönetimi ve diğer birçok alanda çalışmalar tekrar hız kazanmıştır (Moselhi ve ark. ,1991; Boussabaine, 1996; Adeli ve Karim, 2005; Sönmez, 2009; Dikmen ve Sönmez, 2011). Bu bağlamda, yapay sinir ağlarının maliyet ve süre tahmini, verimlilik,

risk değerlendirmesi, kar tahmini, zaman ve kaynak yönetimi alanında birçok araştırma yapılmıştır (Adeli ve Karim 2005; Dikmen ve ark., 2009).

3.3.1.1. Yapay sinir ağlarının yapısı

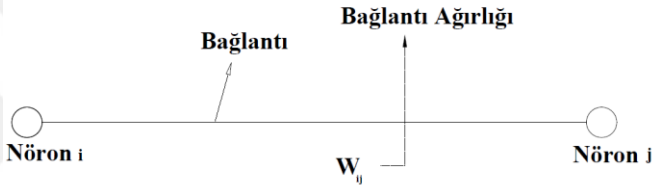
YSA'lar, basit biyolojik sinir sisteminde görülen çalışma yöntemini simüle etmek amacıyla tasarlanmış bilgisayar programlardır. Simüle edilen sinir hücreleri nöronlar içerir ve bu nöronlar muhtelif biçimlerde birbirlerine irtibatlanarak bir ağ meydana getirirler. Sinir ağları; öğrenme, hafızada tutma ve veriler arasındaki olası ilişkiyi açığa çıkarma becerisini taşırlar. Farklı bir ifade ile, YSA'lar, bir insanın gözlemleme ve düşünme ile ilgili olan doğal becerilerini kullanmasını gerekli kılan problemlere yönelik çözümler sağlamaktadır. Bir insanın, düşünme ve gözlemleme becerilerini gerekli kılan problemlere ilişkin çözümler getirebilmesinin esası, insan beyninin sahip olduğu yaşayarak ya da tecrübe ederek öğrenme becerisidir (Sönmez, 2009).

Tipik bir YSA modelinde girdi, gizli ve çıktı katmanları mevcuttur. Çıktı katmanı, girdi katmanından, aradaki gizli katmanlardan da geçerek, girdi ve sinyalleri alır. Gizli katman sayısı, uygulama alanına göre farklılaşırken, Şekil 3.2.'de sadece bir adet gizli katmanı olan tipik YSA modeli gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Tipik bir yapay sinir ağları modeli (Dikmen ve Sönmez, 2011)

Çok katmanlı perseptron modeli; mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan en yaygın YSA modelleri arasında yer almaktadır. Şekil 3.2.'de gösterilen modelde, x_1'den x_n'e kadar olan girdiler, girdi katmana beslendikten sonra bir "bağlantı ağırlığı" ile çarpılır ve sonrasında gizli katmana transfer edilir. Gizli katmanda veriler toplanır ve bir "aktivasyon fonksiyonu" vasıtası ile işlenerek gizli katmanda mevcut olan nörondan çıkış elde edilir. Bu işlem verinin, en son çıktı katmanına varmasına kadar bütün gizli katmanlar için yinelenir. Çıktı katmanında ise veri nihai olarak bir defa daha aynı biçimde işlendikten sonra YSA'nın çıktısı meydana gelir. YSA'ların üç temel elemanı Şekil 3.3.'de görülmektedir. Bağlantı; girdi ve çıktı birimlerinin nöronlar vasıtası ile iletişimini sağlarken, bağlantı ağırlıkları nöronlar arasındaki ilişkinin seviyesini belirler.



Şekil 3.3. YSA mimarisinin temel elemanları

YSA'lar daha önceki örneklerden istifade ederek ağırlıkların belirlenmesi sonrasında girdi değişkenleri ile tahmin edilen değişkenler arasında mevcut olan ilişki düzeyini ortaya çıkarırlar. Farklı bir ifadeyle YSA'lar eğitilerek önceki örneklerden elde ettiği bilgilerle yeni durumlar için karar veya sonuç üretir. Bir defa bu ilişkilerin öğrenilmesiyle (ağ eğitildikten sonra), YSA yeni veriler ile çalıştırılarak tahminlerde bulunabilir. Bir YSA'nın performansı, hedeflenen ve ağın çıktısı arasındaki hata kriteriyle ölçülebilir. Ağın çıktısı, hedeflenen çıktıyla karşılaştırılır ve hata payı tespit edilir. Geri Yayılma (back propagation) adıyla anılan bu algoritma hata payı azalacak şekilde ağırlıkların ayarlanması ile kullanılır. Bu işlem birçok kez yinelenerek YSA eğitilir. Eğitim işleminin sürekli tekrar etmesinin sebebi optimum çözümün elde edilmesidir (Dikmen ve Sönmez, 2011).

3.3.1.2. Yapay sinir ağlarının özellikleri

Karmaşık ya da problemli veriden dahi anlamlı sonuçlar çıkarma yeteneğine sahip olan YSA'lardan, insanlar ya da bilgisayarlar tarafından kavranması güç olan trendleri tespit etmek ya da yapıları ortaya çıkarmak amacıyla istifade edilmektedir. Tam olarak eğitilmiş bir YSA modeli, analiz ettiği veriler açısından uzmanlaşmış bir model olarak kabul edilmektedir (Sönmez, 2009). Diğer taraftan, YSA'ların kullanılmasında dikkate alınması gereken bazı dezavantajlar da mevcuttur. Dezavantajlar arasında en önemli olanı veri setinin kalitesidir. Diğer taraftan YSA'ların verimli bir şekilde eğitilebilmesi açısından oldukça geniş bir veri setine gereksinim duyulmaktadır (Boussabaine ve Kaka, 1998; Petruseva ve ark., 2013). Ancak, veri setinin büyüklüğü açısından kesin bir kriter mevcut olmamakla birlikte araştırmaya esas uygulamaya göre değişebilmektedir.

Çok yönlü analiz özelliklerinden istifade edilen YSA'ların yalnızca inşaat projelerinin süre ve maliyet tahminlerinden değil, buna ilave olarak birçok problemde başarılı sonuçları verdiği yapılan araştırmada görülmektedir. YSA'lar ile ilgili özellikler şu şekilde sıralanabilir;

- Doğrusal Olmayan Yapı: YSA'ların en kayda değer özelliklerinden birisi, gerçek hayatta karşılaşılabilme ihtimali olan ve doğrusal olmayan yapıları dikkate almasıdır. White (1990), YSA'ların doğrusal olmayan modeller olarak tanımlanabileceğine ilişkin bulgular elde etmiştir. Nitekim, üstyapı projelerinin birbirinden farklı olması ve insan faktörünün doğrudan etkisinden dolayı doğrusal olmayan bir sistemin varlığı söz konusudur. Sonuç olarak, analiz konusunun içerdiği veri setinin doğrusal ya da doğrusal olmayan yapıda olması, analiz sonucunu etkileyecek kayda değer bir unsurdur.
- Öğrenme: YSA'lar insan beyninin çalışma prensibi esas alınarak tasarlanmıştır. Geleneksel modellerin çözüm sağlayamadığı karmaşık sorunlara, öğrenme özelliği ile çözüm sunabilmektedir.
- Yerel İşlem ve Esneklik: Geleneksel modellerde, her hareket sırasıyla tek bir merkezi işlem elemanı tarafından gerçekleştirir. YSA modelleri esnek bir yapıya sahiptir. Her biri büyük bir problemin parçası ile ilgilenen çok sayıda basit işlem

elemanlarından oluşma ve bağlantı ağırlıklarının ayarlanabilmesi gibi özelliklerinden dolayı yapısal esnekliği önem kazanmıştır. YSA'lar ile oluşturulan modellerde ağda meydana gelebilecek bir problem sonucunda yalnızca performans düşüklüğü yaşanırken, modelin fonksiyonunu bütünüyle kaybetmesi söz konusu değildir. Diğer taraftan, toplam işlem yükünü paylaşan işlem elemanlarının birbirleri arasındaki yoğun bağlantı yapısı, sinirsel hesaplamanın esas güç kaynağıdır. Bu bağlamda YSA; en karmaşık problemlerin çözümü için dahi kullanılabilmektedir.

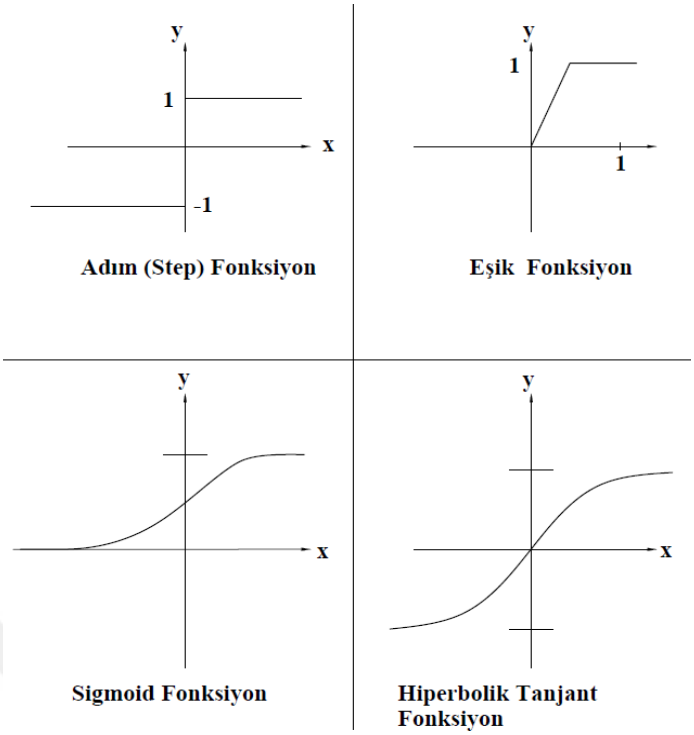
- Genelleme: YSA önceden ortaya konulmuş olan modelleri temel alarak daha önce karşılaşılmamış durumlar için genelleme yapabilmektedir. Diğer bir ifadeyle, kayıp ya da hatalı verilere yönelik çözüm getirebilmektedir. YSA'lar, tanımlanmamış girdi verilere ilişkin karar alırken genelleme yapabildiklerinden iyi bir tanımlayıcı ve sağlam bir sınıflandırıcı özelliğini taşırlar.
- Kendi İlişkisini Oluşturma: YSA, eşitlik içermeden, girdilere (verilere) bağlı olarak kendi ilişkilerini meydana getirirler.
- Sınırsız Sayıda Değişken ve Parametre: YSA modelleri sınırsız sayıda parametre ve değişken ile çalışarak öngörü doğruluğuyla problemlere genel çözümler sağlayabilmektedir.

3.3.1.3. Aktivasyon ve transfer fonksiyonları

YSA'ların kullanım amacına bağlı olarak birçok türde aktivasyon ve transfer fonksiyonu mevcuttur. En uygun tanımlamanın yapılabilmesi amacıyla aktivasyon ve transfer fonksiyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Mühendislik problemlerinde en yaygın kullanılan fonksiyonlar Şekil 3.4. ve Tablo 3.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Transfer fonksiyonları

Fonksiyon Türü	Eşitlik
Lineer	$f(s) = s$
Sigmoid	$f(s) = 1/(1 + exp(-s))$
Hiperbolik tanjant	$f(s) = (1 - exp(-2s))/(1 + exp(-2s))$
Radial tabanlı fonksiyon	$f(s) = exp(-s2/2)$



Şekil 3.4. En çok kullanılan transfer fonksiyonları

Transfer fonksiyonlarının büyük bir bölümü doğrusal olmayan yapıya sahiptir. Bu bağlamda, doğrusal fonksiyonlar incelediğinde çıktının, girdiyle orantılı olduğu görülür. Anılan durum, ilk YSA denemelerinin başarısızlık ile sonuçlanmasının temel sebebi olarak bilinmektedir (Minsky ve Papert, 1969). Çoğunlukla istifade edilen transfer fonksiyonları incelendiğinde sigmoid, eşik, hiperbolik tanjant vb. fonksiyonlar ön plana çıkmaktadır. YSA mimarisinde, transfer fonksiyonu sonucunda ilgili işlem elemanının çıktısı elde edilir. Mühendislik problemlerinin karmaşık ve doğrusal olmayan yapısından dolayı Yapay Sinir Ağları ile yapılan analizlerde çoğunlukla Sigmoid aktivasyon fonksiyonu doğruya en yakın sonuçları vermektedir (Sönmez, 2009). Sigmoid fonksiyonu, kolayca türevi alınabilen, sürekli ve doğrusal olmayan yapısından dolayı, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde istifade edilen ve sinir ağlarında yaygın olarak kullanılan bir fonksiyondur. Bu çalışma kapsamında, projelerin tamamlanma sürelerini ve nakit akış profillerini tahmin etmek üzere kademeli olarak önerilen iki ayrı YSA modelinde de yapılan denemeler sonucunda sigmoid aktivasyon fonksiyonunun doğruya en yakın sonuçları verdiği tespit edilmiştir.

BÖLÜM 4. ANALİZLER VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Veri Seti

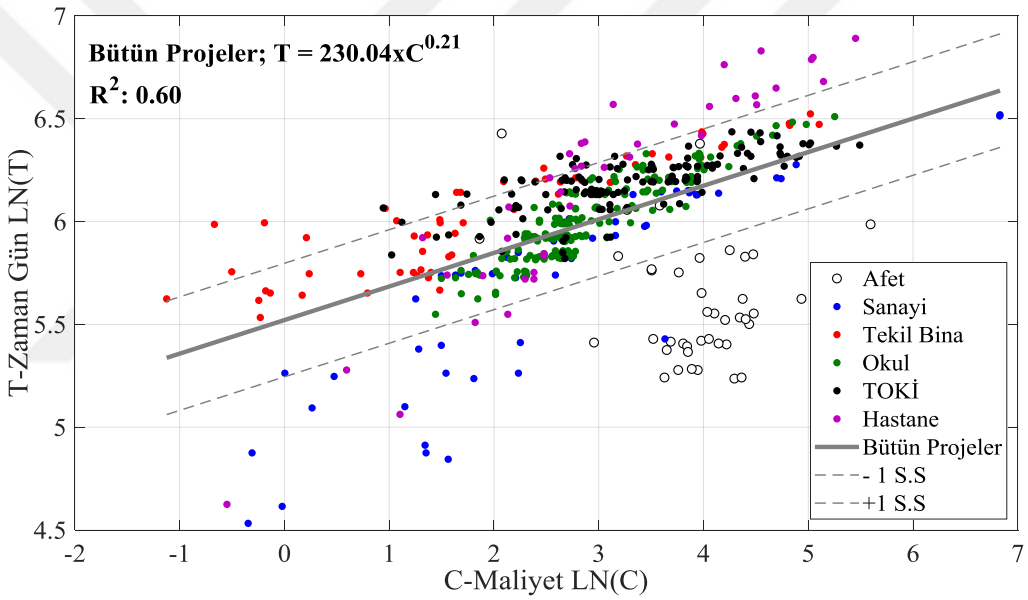
Bu çalışmanın hazırlık aşamasında, 1999-2018 yılları arasında Türkiye'nin 56 ilinde tamamlanmış 501 üstyapı projesinin sözleşme ve aylık ödeme bilgileri temin edilmiştir. Veri setinde kullanım amaçlarına göre TOKİ sosyal konut, TOKİ afet konut, sanayi, okul, hastane ve tekil bina olmak üzere altı farklı yapı türü yer almaktadır. Proje bilgileri, Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) ve inşaat sektöründe faaliyet gösteren 65 firma ile görüşülerek temin edilmiştir. TOKİ projeleri; Afet Konutları ve Sosyal Konut projelerinden oluşmaktadır. Ancak, TOKİ Afet Konutları, afet sonrasında meydana gelen olağan üstü şartlar altında inşa edildiği için bu çalışma kapsamında BTC analizinde süre-maliyet bağıntısı tespit edilememiş ve bu projeler BTC modeli için kapsam dışında bırakılmıştır. Ancak, bu çalışma kapsamında kullanılan veri seti içeriğindeki afet projeleri Dikmen ve ark. (2020), tarafından farklı bir yaklaşım ile afet sonrasındaki yapılaşmanın matematik modeli üzerinde yapılan bir çalışma ile haricen değerlendirilmiştir.

Firmalardan temin edilen proje ve sözleşme dokümanlarından; sözleme tarihi, yer teslim tarihi, sözleşme safhasındaki işin tamamlanma tarihi, ihale bedeli, geçici kabul tarihi, projenin gerçekleştirildiği bölge, işveren ve yüklenici firma bilgileri, gerçekleşen ödemeler (nakit akışları), projenin gerçek tamamlanma tarihi ve tutarı ile ilgili bilgiler kullanılarak veri seti oluşturulmuştur. 1999-2018 yılları arasında Türkiye'de tamamlanmış projelerden oluşan veri setine ilişkin genel bilgiler Tablo 4.1.'de gösterilmiştir. Diğer taraftan, 501 projeye ait gerçek verilerin süre-maliyet eksenlerine göre dağılımları ise Şekil 4.1.'de yer almaktadır.

Tablo 4.1. Projelere ait genel veriler

Yapı Grubu	Sektör (Kamu (K) / Özel (Ö)*	Proje Sayısı	Proje Sayısı %	Proje Zaman Dilimi		En Uzun Proje Söz. Süresi (gün)	En Kısa Proje Söz. Süresi (gün)	En Yüksek İhale Bedeli (Milyon TL)	En Düşük İhale Bedeli (Milyon TL)
TOKİ Afet Konut	K	41	8,18%	2007	2016	550	173	145,33	3,15
TOKİ Sos. Konut	K	130	25,95%	2005	2017	750	203	147,55	1,28
Okul	Ö+K	177	35,33%	2007	2016	685	145	103,20	1,92
Hastane	Ö+K	40	7,98%	1999	2014	1200	350	149,50	0,35
Tekil Bina	Ö	58	11,58%	2011	2016	773	163	120,00	0,22
Sanayi	Ö	55	10,98%	1999	2017	650	190	79,67	0,40
Toplam	Ö+K	501	100,00%	1999	2017	1200	145	149,50	0,22

** K=Kamu Projeleri, Ö=Özel sektör Projeleri, K+Ö=Kamu ve Özel Sektör Projeleri*



Şekil 4.1. Projelere ait gerçek süre-maliyet dağılımları

Tablo 4.1. ve Şekil 4.1.'den görüleceği üzere yapı grupları arasında hastane (7,98%), sanayi (10,98%), tekil bina (11,58%), TOKİ sosyal konutlar (25,95%) ve okul (35,33%) ve TOKİ afet konutları (8,18%) projeleri yer almaktadır. Sözleşmeler için en kısa tamamlanma süresi 145 gün iken, en uzun gün sayısı ise 1200'dür. Projelerin en düşük ihale bedeli 0, 22 Milyon TL ve en yüksek bedel ise 149.50 Milyon TL'dir. Ortalama tamamlanma süreleri ise 422 gün olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda veri setinde yer alan projelerin sözleşme bedeli ortalamaları yaklaşık 20 Milyon TL iken, gerçekleşen tamamlanma maliyetlerinin yaklaşık 21 Milyon TL olduğu tespit edilmiştir.

4.2. Farklı Parametrelerinin Süre-Maliyet İlişkisi Üzerindeki Etkisi

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen literatür taraması sonrasında inşaat projelerinin süre ve maliyetleri üzerinde etkisi olan birçok faktör olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, inşaat projeleri yaşam döngüsü içerisinde çok karmaşık süreçleri içermekte ve farklı sektörler ile iç içe çalışılarak tamamlanabilmektedir. Bu sebeple, Türkiye'nin içinde bulunduğu ekonomik durum, hava şartları, kullanılan teknoloji, gelişmişlik düzeyi gibi faktörler; projelerin maliyetleri ve süreleri başta olmak üzere diğer tüm süreçlerine etki edebilmektedir (Halpin, 2005; Uğur, 2007; Baradan ve ark., 2019). Çalışmanın bu bölümünde inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisi ve nakit akış performansına etki edebilecek parametreler araştırılmıştır.

Ireland (1985), BTC modelinin kullanılabilirliğini vurgulamakla birlikte, mevcut modele süre, maliyet ve kaliteyi ölçen değişkenlerin eklenerek projeler için daha verimli sonuçlar elde edilebileceğini belirtmiştir. Ojo, (2001) ve Ogunsemi ve Jagboro (2006), Nijerya inşaat sektöründeki belirsizlikler ve dalgalanmalar nedeniyle BTC modelinin başarı sağlayamayacağını, ancak şartlara uygun olarak alternatif matematiksel yaklaşımların kullanabileceğini ifade etmiştir. Kumaraswamy ve Chan (1995), inşaat süresinin, projenin gerçekleştiği bölgenin yerel şartlarından etkilendiğini belirtirken, Kenley (2003) ise sonraki çalışmalarda araştırmacıların, proje sınıflandırmalarının anlamlarının ve tahmin modellerindeki rollerinin ele alınmasını önermiştir. Bu bağlamda, farklı parametrelerin projelerin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi ve bu ilişkinin açıklanabilirliğini arttırmak amacı ile bu çalışma kapsamında; Çalışılamayan Gün Sayısı, Döviz Kuru, İnsani Gelişmişlik Endeksi, Gayri Safi Yurtiçi Hasıla parametreleri analizlere yansıtılmıştır. Parametrelerin seçim kriterleri ve tanımları devam eden bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

4.2.1. Çalışılamayan gün sayısının etkisinin değerlendirilmesi

İnşaat projelerinde yatırımcı veya yüklenici firmaların kontrolü dışında sözleşme sürelerinde gecikmelerin yaşanmasına zemin hazırlayan olumsuz hava şartlarına bağlı çalışılamayan günler olabilmektedir. Paydaşlar arasında sözleşme süresi belirlenirken

çalışılamayan gün sayılarının dikkate alınmasının önemi bilinse dahi bu parametre çoğunlukla toplam iş süresi açısından dikkate alınmamaktadır (Halpin, 2005). Bu bağlamda, inşaat projelerinde süreye etki eden çalışılamayan gün sayısının süre-maliyet tahminlerinde dikkate alınması gerekli hale gelmektedir.

Bu çalışmada çalışılamayan gün sayısı parametresi; inşaat projelerinde coğrafi koşullar nedeniyle Türkiye'de illere göre çalışılamayan gün sayılarını ifade etmektedir. Süre-maliyet ilişkisinin iki temel bileşeninden biri olan zaman bileşeninin proje tamamlanma süresi üzerinde etkisinin araştırılabilmesi amacı ile çalışılmayan gün sayıları analizlere dahil edilmiştir. Bu parametre kullanılarak projelerin yer aldığı il ve ilçelerdeki şartlara bağlı olarak Bakanlık tarafından yayımlanan genelge çerçevesinde bir gruplama yapılmıştır (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 1982). Tablo 4.2. incelendiğinde her ile ait çalışılamayan gün sayılarının 0, 60, 75, 90, 105, 120, 135 ve 165 gün değerlerinden birini aldığı görülmektedir. Bakanlığa ait genelgenin içeriğinde bu parametrenin mevsimsel ayrışma veya hava şartları ile ilgili olduğu anlaşılmaktadır. Diğer araştırmacılar bu gruplamayı coğrafi bölgelere göre yapmış olsa dahi Türkiye'nin coğrafi bölgelerinin farklı iklim özellikleri göstermesi sonucu inşaat projelerinin toplam tamamlanma sürelerinin etkilediği bilinmektedir (Sönmez ve ark, 2020). Bu sebeple, çalışılamayan gün sayıları bu çalışmada 3 grup altında incelenmiştir. Bu çerçevede,

- 1.Grup: 0-60 gün,
- 2.Grup: 75-105 gün,
- 3.Grup: 120-165 gün

olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda çalışılamayan gün sayıları iller bazında Tablo 4.2.'de gösterilmiştir.

Çalışılamayan gün sayıları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından tespit edilen verilerden oluşmaktadır (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 1982). Bakanlığın yayımladığı genelge ile ilgili açıklama;

"Yapım işlerine ilişkin havanın fen noktasından çalışmaya uygun olmadığı günlerin tespitinde; Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın 07/07/1982 tarih ve B-01/İh.İş.Md.Gr.3/99-2/101156-B sayı ile yayımladığı genelgesi uyarınca, kamu inşaatlarının sözleşme sürelerinin belirlenmesinde, iş programlarının hazırlanmasında ve süre uzatımlarında göz önünde bulundurulmak üzere tespit edilen, il ve ilçelere göre çalışmaya müsait olmayan günleri esas alınmaktadır. "

olarak ifade edilmiştir.

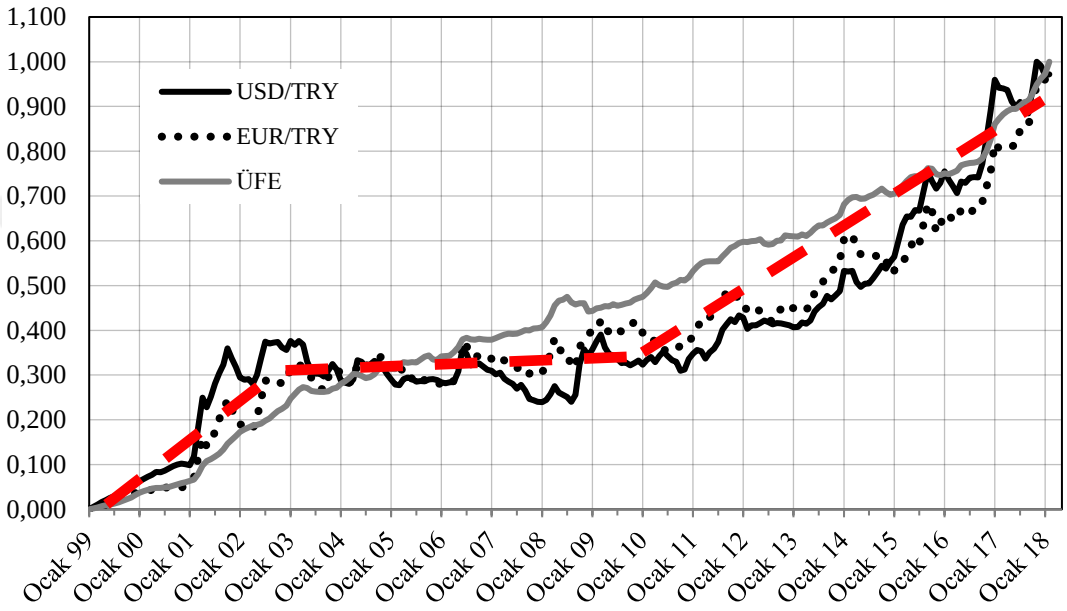
Tablo 4.2. İllere göre çalışılamayan gün sayıları

1.Grup 0-60 Gün		2.Grup 75-105 Gün		3.Grup 120-165 Gün	
İl	**Gün Sayısı**	**İl**	**Gün Sayısı**	**İl**	**Gün Sayısı**
Antalya	0	Balıkesir	75	Afyon	120
Hatay	0	Gaziantep	75	Ankara	120
İçel	0	Giresun	75	Bolu	120
Muğla	0	Kırklareli	75	Çankırı	120
Adana	60	Kocaeli	75	Çorum	120
Aydın	60	Rize	75	Elâzığ	120
Bursa	60	Sakarya	75	Erzincan	120
Çanakkale	60	Samsun	75	Eskişehir	120
Diyarbakır	60	Tekirdağ	75	Kastamonu	120
İstanbul	60	Trabzon	75	Kayseri	120
İzmir	60	Zonguldak	75	Kütahya	120
Manisa	60	Bartın	75	Malatya	120
Mardin	60	Bilecik	90	Ordu	120
Urfa	60	Burdur	90	Siirt	120
		Denizli	90	Van	120
		Edirne	90	Yozgat	120
		Isparta	90	Batman	120
		Uşak	90	Adıyaman	135
		Amasya	105	Artvin	135
		Kırşehir	105	Ağrı	150
		Konya	105	Bingöl	150
		K.Maraş	105	Bitlis	150
		Nevşehir	105	Gümüşhane	150
		Niğde	105	Muş	150
		Tokat	105	Sivas	150
		Karabük	105	Tunceli	150
				Erzurum	165
				Hakkâri	165
				Kars	165

4.2.2. Döviz kuru etkisinin değerlendirilmesi

Türkiye'de reel döviz kurunda yaşanan değişimler inşaat sektöründe satın alma ve satın almaya bağlı birçok süreci etkilemektedir (Kılıç ve Yıldırım, 2015). Diğer taraftan, döviz kurunda yaşanan dalgalanmalar sözleşme şartlarına bağlı olarak; süre, maliyet, kapsam ve kalite açısından önemli problemler yaşanmasına zemin hazırlamaktadır (Akyüksek ve Biçen, 2017). Bu sebeple döviz kurlarının inşaat

projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkisinin incelenmesi, Türkiye'de gerçekleştirilen inşaat projeleri açısından önem arz etmektedir. Bu bağlamda, döviz kuru ve inşaat yapım maliyetlerinin zaman içerisindeki değişimini çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlere dahil edebilmek amacıyla döviz kuru ve ÜFE bilgileri Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası web sitesinden temin edilmiş ve Şekil 4.2.'de grafik olarak gösterilmiştir (TCMB, 2018).

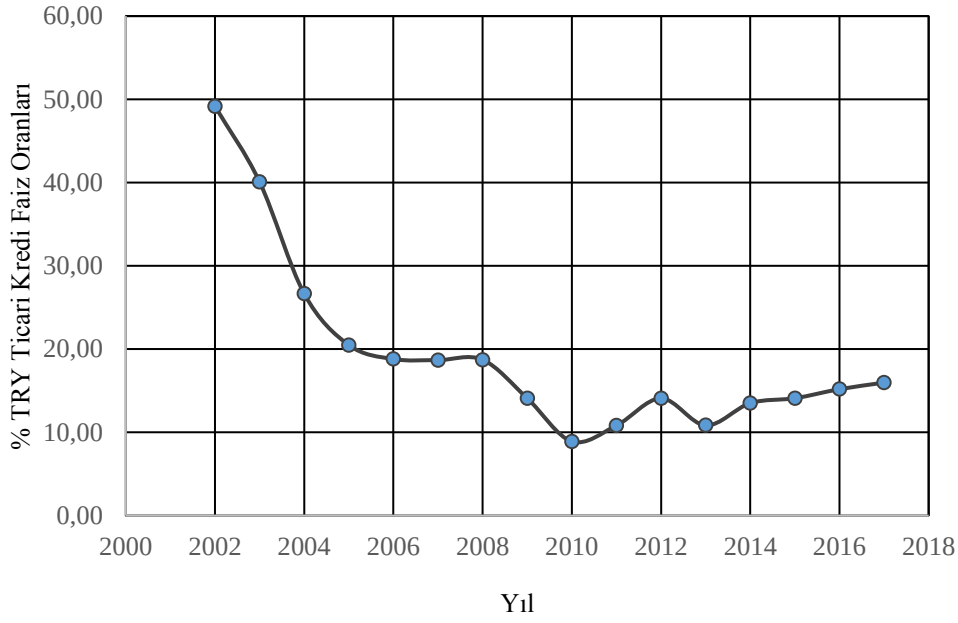


Şekil 4.2. 1999-2018 yılları arası Döviz-TL kurları ve ÜFE endeksi (TCMB, 2018)

Şekil 4.2.'den görüleceği üzere döviz kurlarında 2003 ve 2010 yılları olmak üzere iki noktada kırılma yaşandığı anlaşılmaktadır. Bu kapsamda 1999-2003 yılları arasında döviz kurunun artış eğiliminde olduğu, 2003-2010 yılları arasında ise dalgalanmalar yaşansa dahi durağan seyrettiği ve nihai olarak 2010-2018 yılları arasında ise tekrar artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Böylelikle, döviz kurlarının inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkisinin ölçülmesi amacıyla veri setinde yer alan projeler Şekil 4.2.'de gösterilen 3 kırılım noktasına karşılık gelen dönemlere göre gruplandırılmıştır. Ancak, 1999-2003 yılları arasında analizlerin anlamlı bir şekilde yapılabilmesi açısından yeterli dağalım bulunmadığından, gruplama 2003-2010 yılları arası (1. grup) ve 2010-2018 yılları arası (2. grup) olacak şekilde değerlendirilmiştir. Bu şekilde bir gruplamanın sebebi ise iki ayrı dönemde dövizde yaşanan değişimlerin proje maliyetleri üzerindeki etkisinin farklı olmasıdır.

Türkiye'de üstyapı projelerinde süre-maliyet ilişkisinin araştırıldığı bu çalışmada, maliyet ile ilgili göstergelerin döviz kuru açısından değişimini anlayabilmek için, döviz kuru etkisi yapı türleri ile birlikte dönemsel olarak analizlere dahil edilmiştir.

Diğer yandan, Şekil 4.3.'de 2002-2018 yılları arasında TCMB (2018)'dan temin edilen Türk Lirası Ticari Kredi Faiz Oranları yer almaktadır. Her ne kadar Şekil 4.2.'de döviz kurlarının hareketlerine bağlı olarak iki adet gruplama yapılmış olsa dahi Şekil 4.3. incelendiğinde 2010 yılının iki grubun ayrıştırılması açısından anlamlı bir nokta olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. 2002-2018 yılları arası Türk Lirası ticari kredi faiz oranları

İnşaat sektöründe faaliyet gösteren firmalar yapım maliyetlerinin büyük bir bölümünü ticari krediler ile finanse etmektedir (Akyüksek ve Biçen, 2017). 2002 yılında %50 seviyesinde olan faiz oranları 2010 yılında %10 seviyesinin altına gerilemiş ve bugüne kadar olan en düşük değerine ulaşarak 2010 yılı itibari ile faiz oranları tekrar pozitif yönde artışa geçmiştir. Bu bağlamda, döviz etkisinin incelendiği bölümlerde 2003-2010 ile 2010-2018 dönemi ayrı ayrı incelenmiş ve dönemler arasında görülen farklar ile projelerin süre-maliyet ilişkisine olan etkileri çalışmanın devam eden bölümlerinde detaylı olarak açıklanmıştır.

4.2.3. İllere göre insani gelişmişlik endeksi etkisinin değerlendirilmesi

İnsani Gelişmişlik Endeksi, Birleşmiş Milletler İnsani Kalkınma Programı (UNDP) kapsamında 1990'dan itibaren her yıl ülkeler esas alınarak hesaplanmakta ve düzenli olarak yayınlanmaktadır. Diğer taraftan, İGE endeksi; gelir, eğitim ve sağlık bileşenlerinden meydana gelmektedir. Endeksin sağlık bileşeni; beklenen yaşam süresi değişkenini, eğitim bileşeni; beklenen ve ortalama okullaşma yılı değişkenlerini, gelir bileşeni ise kişi başına gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYH) değişkenini ifade etmektedir. Ancak, İGE hesaplama yöntemi düzeltme yapılarak 2010 yılında nihai haline getirilmiştir. 2010 yılı öncesinde okullaşma oranı ve okuryazar oranı değişkenleri kullanılarak hesaplanan eğitim bileşeni, 2010 yılı sonrasında beklenen okullaşma yılı ve ortalama okullaşma yılı değişkenlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır.

İGE, ülkelerin kalkınmasının göstergesi olan ekonomik gelişmeye alternatif bir endekstir (UNDP, 1990). Diğer taraftan, ekonomik ve insani gelişme kavramları arasında açık bir ayrım ortaya koymaktadır. Buna göre, toplumların refah kaynaklarını arttırma konusunda yalnızca gelirin değil eğitim ve sağlık imkanlarının da o ülke insanları açısından önem arz ettiği anlaşılmaktadır.

İnsani Gelişmişlik Endeksi, dolaylı veya doğrudan inşaat projelerinin yönetiminde etkili olan bir faktördür. Bir ülkenin sağlık, eğitim ve gelir düzeyinin her alanda olduğu gibi inşaat sektörü üzerinde de etkisi bulunmaktadır. Ayrıca, inşaat sektöründe İGE düzeyi düşük ülkelerde iş kazaları daha fazla yaşanmaktadır (Baradan ve ark., 2019). Diğer taraftan, inşaat projeleri iş kazaları sebebi ile maliyet ve süre anlamında olumsuz yönde etkilenmektedir. Jarkas (2016), iş gücü özellikleri, yasal etkenler, politik, kültürel ve sosyoekonomik özellikler gibi faktörlerin inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkilerinin araştırılmasının önemini vurgulamıştır. Ayrıca, çalışma kapsamında İGE endeksi, maliyet (gelir) etkisi ile birlikte eğitim ve sağlık bileşenlerini de içerdiği için Jarkas (2016)'ın da önerdiği şekilde sosyoekonomik faktörlerin projelerin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkilerini ölçmek amacı ile analizlere dahil edilmiştir. Tablo 4.3.'de Türkiye için il bazında İGE endeksleri yer almaktadır.

Tablo 4.3. İl bazında insani gelişmişlik endeksi ve gruplar

1.GRUP-Yüksek			2.GRUP-Orta			3.GRUP-Düşük		
İl	**İGE**	**Sıra**	**İl**	**İGE**	**Sıra**	**İl**	**İGE**	**Sıra**
Ankara	**0,817**	**1**	Edirne	**0,555**	**20**	Kars	**0,266**	**70**
İzmir	**0,770**	**2**	Burdur	**0,554**	**21**	Siirt	**0,239**	**71**
Kocaeli	**0,741**	**3**	Isparta	**0,546**	**22**	Ardahan	**0,232**	**72**
İstanbul	**0,738**	**4**	Kayseri	**0,545**	**23**	Bingöl	**0,217**	**73**
Muğla	**0,695**	**5**	Aydın	**0,541**	**24**	Şırnak	**0,189**	**74**
Trabzon	**0,659**	**6**	Giresun	**0,531**	**25**	Hakkâri	**0,187**	**75**
Yalova	**0,651**	**7**	Hatay	**0,530**	**26**	Bitlis	**0,183**	**76**
Antalya	**0,650**	**8**	Çanakkale	**0,528**	**27**	Urfa	**0,167**	**77**
Rize	**0,643**	**9**	Samsun	**0,527**	**28**	Van	**0,101**	**78**
Mersin	**0,626**	**10**	Balıkesir	**0,514**	**29**	Kilis	**0,040**	**79**
Bolu	**0,622**	**11**	Düzce	**0,512**	**30**	Ağrı	**0,039**	**80**
Denizli	**0,604**	**12**	Karaman	**0,512**	**31**	Muş	**0,035**	**81**
Kırıkkale	**0,603**	**13**	Tunceli	**0,511**	**32**			
Artvin	**0,593**	**14**	Kırşehir	**0,511**	**33**			
Zonguldak	**0,589**	**15**	Bilecik	**0,508**	**34**			
Tekirdağ	**0,581**	**16**	Sakarya	**0,502**	**35**			
Bursa	**0,572**	**17**	Erzincan	**0,501**	**36**			
Eskişehir	**0,570**	**18**	Konya	**0,497**	**37**			
Karabük	**0,568**	**19**	Kırklareli	**0,497**	**38**			
			Manisa	**0,496**	**39**			
			Uşak	**0,494**	**40**			
			Malatya	**0,490**	**41**			
			Amasya	**0,488**	**42**			
			Kastamonu	**0,484**	**43**			
			Aksaray	**0,482**	**44**			
			Sinop	**0,472**	**45**			
			Ordu	**0,470**	**46**			
			Elâzığ	**0,468**	**47**			
			Adana	**0,459**	**48**			
			Sivas	**0,448**	**49**			
			Çorum	**0,438**	**50**			
			Bartın	**0,436**	**51**			
			K.Maraş	**0,435**	**52**			
			Kütahya	**0,430**	**53**			
			Osmaniye	**0,428**	**54**			
			Nevşehir	**0,426**	**55**			
			Çankırı	**0,405**	**56**			
			Niğde	**0,400**	**57**			
			Afyon	**0,396**	**58**			
			Adıyaman	**0,375**	**59**			
			Gümüşhane	**0,370**	**60**			
			Gaziantep	**0,368**	**61**			
			Yozgat	**0,366**	**62**			
			Tokat	**0,345**	**63**			
			Bayburt	**0,335**	**64**			
			Batman	**0,334**	**65**			
			Mardin	**0,332**	**66**			
			Erzurum	**0,330**	**67**			
			Iğdır	**0,303**	**68**			
			Diyarbakır	**0,298**	**69**			

Kaynak: Gülel ve ark., 2017'dan uyarlanmıştır

Gülel ve ark. (2017)'nın "Türkiye'de İllere Göre İnsani Gelişmişlik Endeksi" isimli çalışmasında İGE hesaplamasında dikkate alınan değişkenler kullanılarak 2017 yılı için Türkiye'de il bazında İGE endeksleri hesaplanmıştır. Gülel ve ark. (2017)'nın 2017 yılı için belirlediği İGE endeksi bu çalışma kapsamında 2018 yılı için tekrar

hesaplanarak veri setinde yer alan projelerin analiz edildiği dönem ile uygun hale getirilmiş ve Tablo 4.3.'de gösterilmiştir. Bu bağlamda, çalışma içeriğinde süreye bağlı olan bütün parametreler (İGE-GYSH-ÜFE) 2018'yılına eskale edilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

Gülel ve ark. (2017)'nın çalışmasından uyarlanarak 2018 yılı için tekrar hesaplanan İGE endeksi sonucunda veri setinde yer alan iller insani gelişmişlik düzeylerine göre sınıflandırılmış ve analizlerde İGE grupları dikkate alınarak projelerin süre-maliyet ilişkileri araştırılmıştır. Bu çalışma içeriğinde kullanılan İGE endeksleri Türkiye'de yer alan illere göre; Tablo 4.3. ve Tablo 4.4.'de de gösterildiği üzere 3 gruba ayrılmıştır;

- 1.Grup İGE endeksi-yüksek;
- 2.Grup İGE endeksi-orta;
- 3.Grup İGE endeksi-düşük olarak tanımlanmıştır.

Tablo 4.4. İnsani gelişmişlik endeksi gruplama aralıklarının hesaplanması

İGE	Eşitlik	Değerler	Aralık
En yüksek-Max	$\dot{I}_{max}$	0,817	-
En düşük-Min	$\dot{I}_{min}$	0,035	-
Fark	$Fark=\dot{I}_{max}-\dot{I}_{min}$	0,782	-
Genlik	$Genlik= (\dot{I}_{max}-\dot{I}_{min})/3$	0,261	-
Grup 1	$Grup1_{max}= \dot{I}_{max}$ $Grup1_{min}=Grup2_{max}+0,001$	0,558 0,817	0,558-0,817
Grup 2	$Grup2_{max}=Grup2_{min}+Genlik$ $Grup2_{min}=Grup3_{max}+0,001$	0,297 0,557	0,297-0,557
Grup 3	$Grup3_{max}= \dot{I}_{min} + Genlik$ $Grup3_{min}= \dot{I}_{min}$	0,035 0,296	0,035-0,296

Tablo 4.4.'den de görüleceği üzere İGE endeksinin en yüksek ve en düşük değerlerinin arasındaki fark grup sayısına bölünerek genlik hesabı yapılmış ve grup aralıkları belirlenmiştir. Bu bağlamda, veri setinde yer alan projeler Tablo 4.3.'de gösterilen üç gruba göre sınıflandırılmış ve üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisi İGE parametresinin etkisi dikkate alınarak araştırılmıştır.

4.2.4. İllere göre gayri safi yurt içi hasıla parametresinin etkisi

Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYH)'da gerçekleşen değişimlerin inşaat projelerinin süre ve maliyetleri üzerinde etkili olması sebebi ile GSYH'da yaşanan daralma ya da genişleme, projelerin toplam tamamlanma sürelerini ve nakit akışlarını da etkilemektedir (Tse ve Ganesan, 1997; Yiu ve ark., 2010; Berk ve Biçen, 2017). Esasında İGE parametresi her ne kadar GSYH parametresini kapsıyor olsa da (Baradan ve ark., 2019), GSYH'ın inşaat maliyetleri ve nakit akışlarını doğrudan etkileyen bir parametre olması sebebi ile bu çalışma kapsamında ayrıca analizlere dahil edilmiştir. Bu bağlamda, veri setinde yer alan projeler Türkiye'de bulunan illerin gelir düzeylerine bağlı olarak Tablo 4.5.'de gösterilen şekilde üç grup olarak belirlenmiş ve gelir düzeyi farklı olan bölgelerde gerçekleştirilen inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisi bu çalışma kapsamında araştırılmıştır.

GSYH parametresinin analizlere dahil edilmesinin bir diğer sebebi ise, Türkiye'de üstyapı inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkilerinin incelendiği bu çalışmada; araştırmaya esas iki temel bileşenden biri olan maliyetin, proje tamamlanma süresi ve nakit akışları üzerindeki etkisinin araştırılabilmesi için il bazındaki ekonomik gelir düzeyinin projeler üzerindeki etkisinin tespitidir. TÜİK (2018), web sitesinden elde edilen veriler ile illere göre kişi başı gelirler hesaplanmış ve veri seti içerisinde yer alan projeler Tablo 4.5. ve Tablo 4.6.'da gösterildiği üzere üç gruba ayrılmıştır;

- 1.Grup GSYH-Yüksek
- 2.Grup GSYH-Orta
- 3.Grup GSYH-Düşük

3 gruba ayırma işlemi GSYH endeksinin en yüksek ve en düşük değerleri arasındaki fark bulunarak grup sayısına bölünmüş ve grupları oluşturacak genlik hesaplanmıştır. Genliğe bağlı olarak en düşük GSYH değerinden başlanarak grupların aralıkları Tablo 4.6.'da gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 4.5. İllere göre GSYH dağılımı ve gruplaması TUIK, (2018)

1.Grup-Yüksek			2.Grup-Orta			3.Grup-Düşük		
İl	Gelir En.	Sıra	İl	Gelir En.	Sıra	İl	Gelir En.	Sıra
Kocaeli	1,000	1	Tekirdağ	0,576	5	Aydın	0,320	33
İstanbul	0,817	2	Mersin	0,572	6	Artvin	0,315	34
Ankara	0,780	3	Bursa	0,540	7	Burdur	0,314	35
İzmir	0,773	4	Kırıkkale	0,524	8	Uşak	0,305	36
			Zonguldak	0,510	9	Bilecik	0,305	37
			Hatay	0,462	11	Kastamonu	0,303	38
			Muğla	0,435	12	Kütahya	0,298	39
			Eskişehir	0,428	13	Sivas	0,295	40
			Yalova	0,422	14	Isparta	0,283	41
			Denizli	0,418	15	Kırşehir	0,265	42
			Kayseri	0,395	16	Nevşehir	0,263	43
			Sakarya	0,389	17	Amasya	0,262	44
			Edirne	0,377	18	Elâzığ	0,257	45
			Trabzon	0,375	19	Afyon	0,250	46
			Adana	0,372	20	Karaman	0,246	47
			Bolu	0,371	21	Bartın	0,244	48
			Kırklareli	0,370	22	Malatya	0,241	49
			Rize	0,361	23	Erzurum	0,231	50
			Samsun	0,358	24	K.Maraş	0,228	51
			Çanakkale	0,356	25	Çorum	0,228	52
			Manisa	0,350	26	Erzincan	0,226	53
			Karabük	0,344	27	Ordu	0,215	54
			Balıkesir	0,343	28	Sinop	0,211	55
			Düzce	0,342	29	Giresun	0,208	56
			Gaziantep	0,340	30	Osmaniye	0,194	57
			Aksaray	0,339	31	Diyarbakır	0,186	58
			Konya	0,335	32	Yozgat	0,174	59
						Tunceli	0,174	60
						Niğde	0,172	61
						Çankırı	0,169	62
						Tokat	0,167	63
						Batman	0,166	64
						Mardin	0,162	65
						Van	0,161	66
						Şırnak	0,141	67
						Iğdır	0,141	68
						Adıyaman	0,126	69
						Bayburt	0,122	70
						Şanlıurfa	0,108	72
						Siirt	0,105	73
						Kars	0,104	74
						Gümüşhane	0,101	75
						Hakkâri	0,098	76
						Ardahan	0,084	77
						Bingöl	0,082	78
						Bitlis	0,072	79
						Ağrı	0,026	80
						Muş	0,001	81

Kaynak: TÜİK,2018

Tablo 4.6. Gayri safi yurtiçi hasıla endeksi gruplama aralıklarının hesaplanması

GYSH	Eşitlik	Değerler	Aralık
En yüksek-Max	$İ_{max}$	1,000	-
En düşük-Min	$İ_{min}$	0,001	-
Fark	$Fark=İ_{max}-İ_{min}$	0,999	-
Genlik	$Genlik= (İ_{max}-İ_{min})/3$	0,333	-
Grup 1	$Grup1_{max}= İ_{max}$	1,000	1,000-0,669
	$Grup1_{min}=Grup2_{max}+0,001$	0,669	
Grup 2	$Grup2_{max}=Grup2_{min}+Genlik$	0,668	0,668-0,335
	$Grup2_{min}=Grup3_{max}+0,001$	0,335	
Grup 3	$Grup3_{max}= İ_{min} + Genlik$	0,334	0,001-0,334
	$Grup3_{min}= İ_{min}$	0,001	

Sonuç olarak, çalışılamayan gün sayısı, döviz kuru, İGE ve GSYH parametrelerinin inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkisinin büyüklüğü ve yönünü tespit etmek amacıyla araştırmaya esas modellere bu parametreler dahil edilerek çalışma kapsamında analizler gerçekleştirilmiştir.

4.3. BTC Modeli ile Elde Edilen Bulgular

Çalışma kapsamında veri setinde yer alan üstyapı projeleri; öncelikle kullanım amaçlarına göre gruplandırılmış ve devam eden süreçte döviz kuru, çalışılamayan gün sayısı, İGE ve GSYH parametrelerinin etkisi dikkate alınarak Bromilow süre-maliyet modeli (BTC) kapsamında analiz edilerek bulguları ortaya konulmuştur. BTC modeli ile gerçekleştirilen temel analiz bulguları değerlendirilmeden önce proje maliyetlerinin enflasyon etkisinden arındırılmasına ilişkin Bromilow (1969) tarafından önerilen Eşitlik (4.1) açıklanacaktır.

Bromilow (1969), yıllara bağlı olarak ekonomik koşulların değişmesiyle proje maliyetlerinin de farklı düzeylerde gerçekleştiğini belirterek, inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisi analizlerinde daha doğru sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla proje maliyetlerinin zamana bağlı olarak değişen enflasyon etkisinden arındırılmasını önermiştir. Bu kapsamda, Bromilow (1969)'un önerdiği modele göre gerçekleşen proje maliyetlerinin endeksler yardımı zaman etkisinden arındırılarak ortak bir paydada kıyaslanabilir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, Eşitlik (4.1) kullanılarak proje maliyetleri zaman etkisinden arındırılmıştır.

$$Düzeltilmiş\ Gerçek\ Maliyet = Gerçek\ Maliyet\left(1 + \frac{I_1 - I_2}{I_2}\right) \quad (4.1)$$

Eşitlikte, I_1 sözleşme tarihindeki endeks değerini, I_2 ise proje maliyetlerinin eskale edileceği tarihteki endeksi ifade etmektedir. Diğer taraftan, *Gerçek Maliyet;* projenin gerçek tamamlanma tutarını, *Düzeltilmiş Gerçek Maliyet* ise endeksler yardımı ile proje maliyetlerinin zaman etkisinden arındırılmış maliyetini göstermektedir.

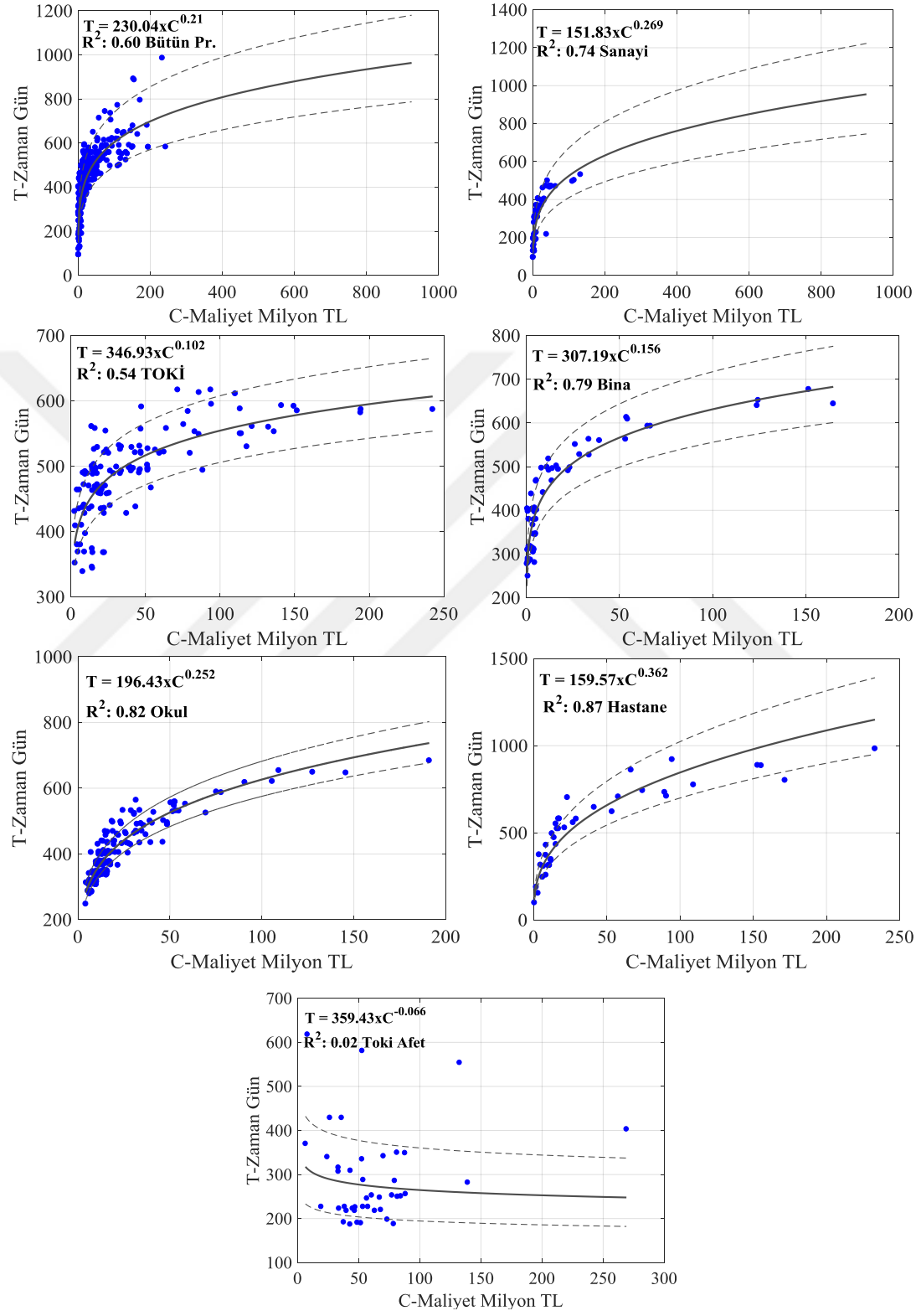
Bir ekonomide, üretici fiyat endeksi (ÜFE) ile tüketici fiyat endeks (TÜFE) hareketleri enflasyon oranının bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Yamak, 2014). Bromilow (1969), çalışmasında Avustralya ÜFE'yi kullanarak proje maliyetlerini enflasyon etkisinden arındırmıştır. Bu çalışmada ise analizlerde kullanılan ÜFE endeksine ait veriler, Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Elektronik Veri Dağıtım Sistemin'den (TCMB-EVDS,2018) derlenerek, proje maliyetleri süre etkisinden arındırılmış ve Nisan 2018 dönemine eskale edilmiştir.

4.3.1. Temel analiz bulguları

Şekil 4.4.'de kullanım amaçlarına göre yapı gruplarının süre-maliyet ilişkisi gösterilmektedir. Şekil 4.4.'de yer alan grafiklerdeki dikey eksen takvim günü cinsinden projelerin zaman verisini ifade ederken, yatay eksen Milyon Türk Lirası cinsinden proje maliyetlerini göstermektedir. Grafik içeriğinde sürekli olmayan eğriler araştırmaya esas projelerin süre-maliyet ilişkisinin +1/-1 standart sapma bölgelerini ifade etmektedir.

BTC modeli analizleri sonucunda sözleşme bedeli yüksek olan hastane ve sanayi projelerinin süre ve maliyetlerinin diğer yapı gruplarına kıyasla daha değişken olması sebebi ile standart sapma aralıkları artmıştır. Çalışma kapsamında değerlendirilen verilerde 1 Milyon TL düzeyinde maliyeti olan hastane projeleri olduğu gibi 164 milyon TL olarak gerçekleşen projeler de mevcuttur. Ancak hastane projeleri; bina, konut ve diğer proje türlerinden farklı olarak, tıbbi gereksinimlere bağlı çok fazla detay içerdiği için sanayi projeleri ile birlikte dövize bağlı satın alma sürecine sahiptir

(Kırbaş, 2012). Bu bağlamda, sözleşme tutarlarındaki farklılığın özellikle hastane ve sanayi projeleri açısından standart sapmanın yükselmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.4. Yapı gruplarına göre BTC modeli analiz sonuçları

Bu çalışma kapsamında bütün projelerin birlikte ve yapı türlerine göre incelenmesi sonucunda elde edilen BTC model eşitlikleri ve açıklama düzeyleri Tablo 4.7.'de, gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Yapı gruplarına göre BTC modeli analiz sonuçları (S=501)

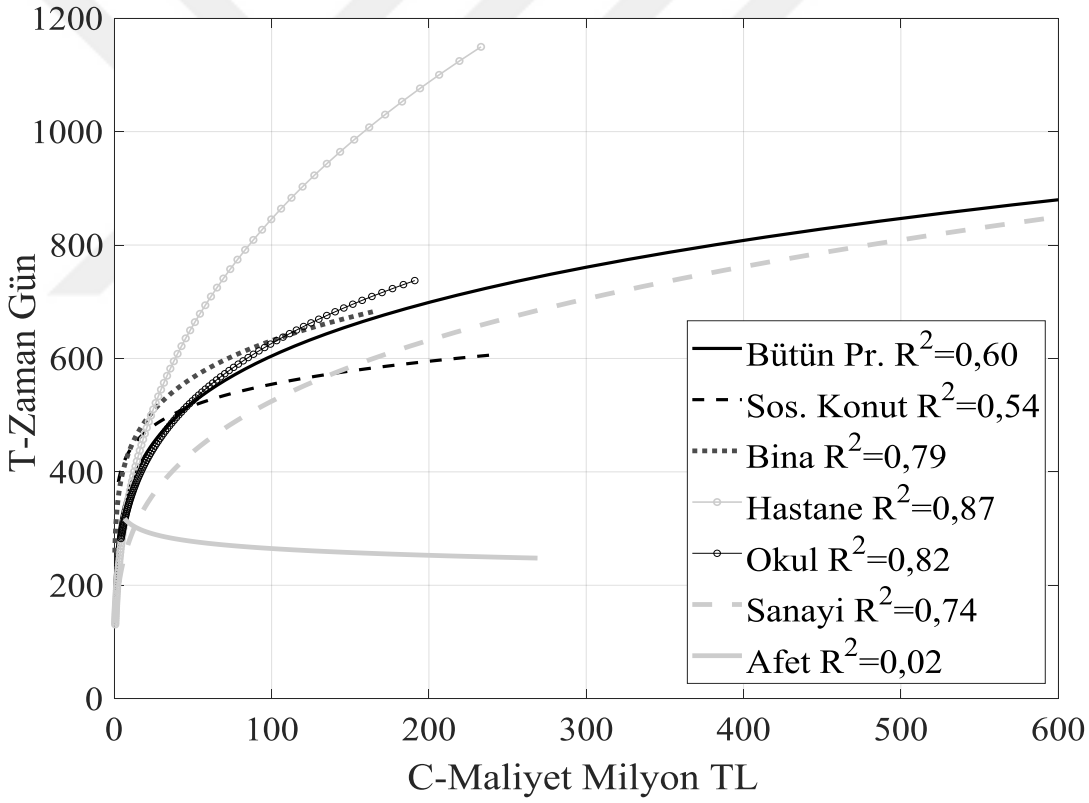
Proje Türü	K	B	R^2
TOKİ Afet Konut	359,43	-0,066	0,02
TOKİ Sosyal Konut	346,93	0,102	0,54
Bina	307,19	0,156	0,79
Hastane	159,57	0,362	0,87
Okul	196,43	0,252	0,82
Sanayi	151,83	0,269	0,74
Bütün Projeler	230,04	0,210	0,60

Tablo 4.7. incelendiğinde hastane (R^2=0,87), bina (R^2=0,79), sanayi (R^2=0,74) ve okul (R^2=0,82) projeleri için süre-maliyet arasında kuvvetli bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, Şekil 4.5. incelendiğinde hastane projelerinin diğer proje gruplarına kıyasla belirgin bir şekilde ayrışmasının en temel sebebi ise maliyetlerin artması ile sürenin de diğer projelere göre daha ivmeli (B=0,362) bir şekilde artış eğilimi göstermesidir. Diğer taraftan önceki çalışmalar incelendiğinde; bu çalışmada Türkiye için hastane projelerinin süre-maliyet (R^2=0,87) ilişkisi, Choudhury ve ark. (2002)'nın Bangladeş'teki çalışmasına (R^2=0,65) kıyasla daha yüksek düzeyde açıklanabildiği tespit edilmiştir. İki çalışma arasındaki bu farklılık Kumaraswamy ve Chan (1995)'nin de belirtiği üzere inşaat süresinin, projenin gerçekleştiği bölgenin yerel şartlarından etkilenmesidir.

TOKİ Sosyal Konut projelerinin BTC eğrisi, diğer projelerden belirgin bir şekilde ayrışırken (R^2=0,54), ihale bedellerinin yüksek olduğu (30 Milyon TL ve üzeri) durumlarda proje süresinin aynı oranda artmadığı Şekil 4.4.'den anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, Choudhury ve Rajan (2003), ABD'de konut projelerinin süre-maliyet ilişkisinin R^2=0,75, Mačková ve Bašková (2014) ise Slovakya'da benzer bir çalışmada süre-maliyet ilişkisinin R^2=0,77 düzeyinde olduğunu belirtmiştir. Slovakya ve ABD'de konut projeleri ile yapılan her iki çalışmada da süre-maliyet ilişkisi bu çalışmaya R^2=0,54 kıyasla daha yüksek seviyede elde edilmiştir. Ancak, Choudhury ve Rajan (2003), Mačková ve Bašková (2014)'nın çalışması özel sektöre ait projelerden oluşurken bu çalışmada yer alan TOKİ projeleri kamu kapsamında yer almaktadır. Bu bağlamda, Kaka ve Price (1991) ve Yeong (1994), BTC modeli ile

süre-maliyet ilişkisini inceledikleri çalışmalarında özel sektör yapılarının süre-maliyet ilişkisinin kamu projelerine göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada da özel sektörün ağırlıkta olduğu sanayi ve bina projelerinin süre-maliyet ilişkisinin Kaka ve Price (1991) ve Yeong (1994)'ın belirttiği üzere kamu projelerine kıyasla daha yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bütün projeler birlikte incelendiğinde, BTC modelinin süre-maliyet ilişkisini %60 seviyesinde açıkladığı, projeler kullanım amaçlarına göre gruplandığında ise; BTC modelinin süre-maliyet ilişkisini %54 ile %87 arasında daha anlamlı bir şekilde açıkladığı bu çalışma ile tespit edilmiştir. Bu bağlamda yapı türlerinin süre-maliyet ilişkisini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmaktadır.



Şekil 4.5. Yapı gruplarına göre BTC model eğrileri

Projeler, tamamlanma sürelerine göre incelendiğinde, sanayi ve hastane projeleri için elde edilen K katsayıları diğer yapı türlerinden farklılaşmaktadır. Ancak B katsayıları incelendiğinde, hastane projelerinin (B=0,362) sanayi projelerine (B=0,269) kıyasla daha yüksek bir değer aldığı anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, hastane projelerinin

maliyetleri arttığında, süresinin de diğer proje gruplarına göre daha fazla artacağı sonucuna varılmıştır. Şekil 4.5.'te hastane projelerinin diğer projelerden ayrışması B katsayısının aldığı değer ile açıklanabilmektedir. Diğer yapı gruplarının maliyetleri arttığında, sürelerinin de benzer oranda artış göstereceği bu çalışma ile elde edilen önemli bulgulardan biridir.

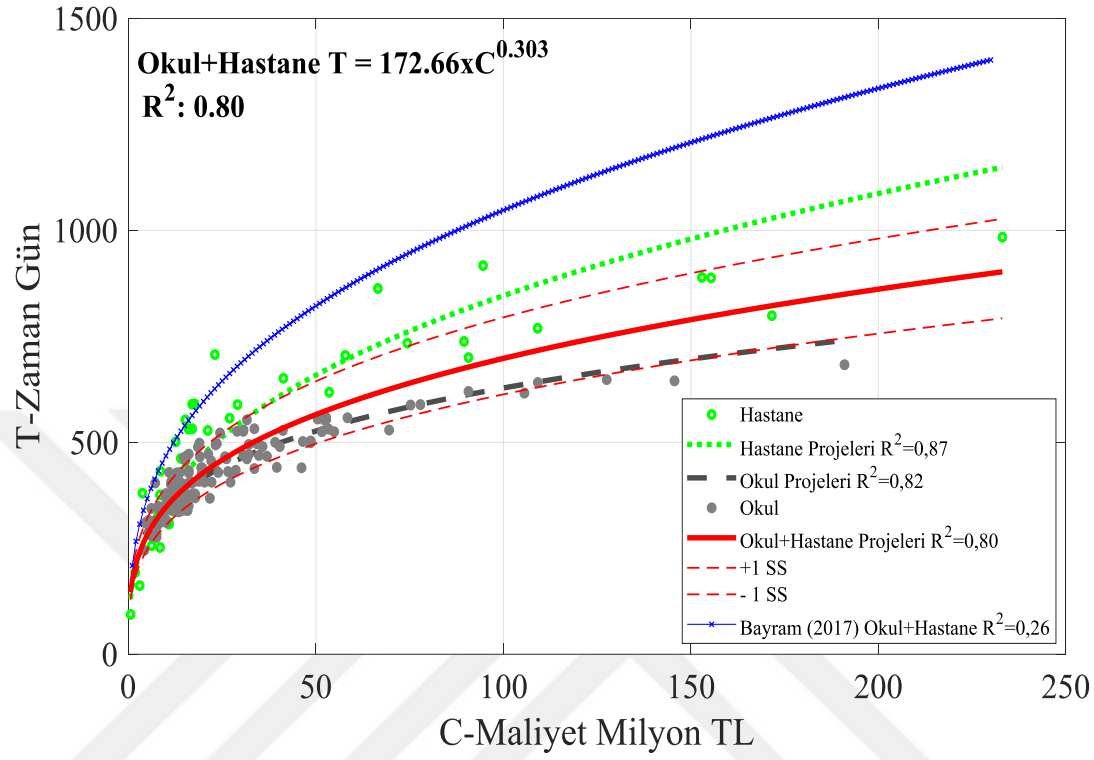
Diğer yandan, Bayram (2017)'ın Türkiye'de kamu yapılarının süre-maliyet ilişkisini araştırdığı çalışmaya önceki bölümlerde yer verilmiştir. Bayram (2017)'ın veri seti içerisindeki projelerin %82'si eğitim ve %11'i sağlık yapılarından oluşmaktadır. Bu çalışmada okul (4.3.) ve hastane (4.4.) projeleri için elde edilen eşitlikler ile Bayram (2017)'ın elde ettiği Eşitlik (4.2.) karşılaştırıldığında;

$$T = 209C^{0,350} \quad (4.2)$$
$$T = 196{,}43C^{0,252} \quad (4.3)$$
$$T = 159{,}57C^{0,362} \quad (4.4)$$

sonuçları elde edilmiştir.

Bu bağlamda, elde edilen K katsayıları incelendiğinde, bu çalışmada okul projeleri için elde edilen K=196,43 iken, Bayram (2017)'ın çalışmasında elde edilen K=209'dur. Eğrinin eğimini gösteren B katsayıları incelendiğinde ise; Bayram (2017)'ın çalışmasında B=0,350 iken, bu çalışmada hastane yapıları için B=0,362'dir. Sonuç olarak, Bayram (2017)'ın elde etmiş olduğu K katsayısı bu çalışmadaki okul projeleri ile benzerlik gösterirken, B katsayısı ise hastane projeleri ile benzerlik göstermektedir. Ancak, Bayram (2017)'ın çalışmasında eğitim projeleri her ne kadar ağırlıklı olsa da okul ve hastane projeleri bir arada analiz edildiği için bu çalışma ile doğrudan bir kıyaslama yapılamayacağından bu çalışma kapsamında Şekil 4.6.'da yer alan grafik oluşturulmuştur. Şekil 4.6. incelediğinde Bayram (2017)'ın çalışmasına benzer şekilde bu çalışmada yer alan okul ve hastane projeleri birlikte analiz edilmiş bu iki yapı türünün BTC model eğrileri arasındaki farklılıklar gösterilmiştir. Ayrıca, çalışmaların süre-maliyet ilişkisini açıklama düzeyleri incelendiğinde bu çalışmada (R^2=0,80) Bayram (2017)'ın çalışmasına kıyasla oldukça yüksek anlamlılık katsayısı elde edilmiştir. İki çalışma arasındaki temel farklılık; Bayram (2017)'ın çalışması

tamamen kamu projelerini kapsıyorken bu çalışmada kamu ve özel sektör projeleri bir arada araştırılmıştır.



Şekil 4.6. Hastane ve okul projelerinin Bayram (2017) ile karşılaştırılması

Diğer taraftan, iki çalışma arasında gerçekleştirilen bu karşılaştırma; Kaka ve Price (1991) ve Yeong (1994)'un kamu ve özel sektör projelerinin süre-maliyet ilişkileri ile ilgili tespitlerini doğrulamaktadır. Ayrıca, Bayram (2017)'ın çalışması; BTC ve LTF modellerinin tahmin güçlerinin karşılaştırılması ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada ise Bayram (2017)'ın çalışmasından farlı olarak altı farklı yapı türü ve dört parametre ile Türkiye'de üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkileri alternatif yöntemler ile araştırılmış ve çalışma sonucunda ihale öncesi safhalarda üstyapı projelerinin tamamlanma sürelerini ve nakit akışını tahmin edebilen bir karar destek modeli önerilmiştir.

Eğitim binalarında Sriana ve Hayati (2015)'nin çalışması incelendiğinde, BTC modelinin okul binaları için süre-maliyet ilişkisini Endonezya'da sekiz eyaletten dördünde anlamlı bir şekilde açıkladığı, diğer dördünde ise açıklayamadığı belirtilmiştir. Choudhury (2012), Teksas eğitim yapılarının, süre-maliyet ilişkisini

incelemiş ve süre-maliyet ilişkisinin yüksek düzeyde ($R^2 = 0{,}74$) açıklandığını tespit etmiştir. Ng ve Skitmore (2000), okul projelerinin süre-maliyet ilişkisinin yüksek düzeyde olduğunu ve benzer maliyetli diğer yapı türlerine kıyasla daha kısa sürelerde tamamlanabildiğini ifade etmiştir. Bu çalışmada ise okul binalarının süre-maliyet ilişkisinin BTC modeli ile diğer araştırmacıların çalışmalarına benzer şekilde yüksek düzeyde (R^2= 0,82) açıklanabildiği tespit edilmiştir. Odabaşı (2009) ise BTC modelinin eğitim yapılarının süre-maliyet ilişkisini Türkiye şartlarında yüksek düzeyde (R^2= 0,93) açıklayabildiğini belirtilmiştir. Ancak, araştırmacının bir üniversite kampüsünde benzer türde 7 proje ile gerçekleştirdiği çalışma, ortaya konulan süre-maliyet ilişkisinin güvenirliğini zayıflatmaktadır. Bu çalışmada ise sadece okul projelerinin 177 adet olması ve tüm bölgelerden örnekler içermesi, bu çalışmayı Türkiye'de okul binalarının süre-maliyet ilişkisini açıklamada daha güvenilir hale getirmektedir.

TOKİ afet konutlarının olağanüstü şartlarda gerçekleştirildiği göz önünde bulundurulduğunda, BTC modelinin bu projelerde süre-maliyet ilişkisini (R^2=*0,02*) açıklayamadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle çalışmanın devam eden bölümlerinde TOKİ afet konut projeleri BTC modelinin diğer parametreler ile incelenmesi aşamasında analizlere dahil edilmeyecektir.

4.3.2. Farklı parametrelere göre BTC model analizlerinin bulguları

Çalışmanın bu bölümünde veri setinde yer alan projeler birtakım dış faktörlere göre gruplandırılarak farklı parametrelerin süre-maliyet ilişkileri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Önceki çalışmalarda yapılan gruplandırmalardan farklı olarak bu çalışmada, beş farklı yapı grubu (TOKİ Sosyal Konut Projeleri, Okul, Hastane, Bina, Sanayi), Çalışılmayan Gün Sayısı (3 grup), Döviz Kuru (2 grup), İGE (3 grup) ve GYSH (3 grup) parametreleri ile tekrar analiz edilmiş ve bu parametrelerin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışılamayan gün sayısı, döviz kuru, İGE ve GYSH parametreleri ile incelenen yapı gruplarına ait BTC modeli süre-maliyet ilişkisi analiz sonuçları Şekil 4.7. ila Şekil 4.29.'da gösterilmiştir.

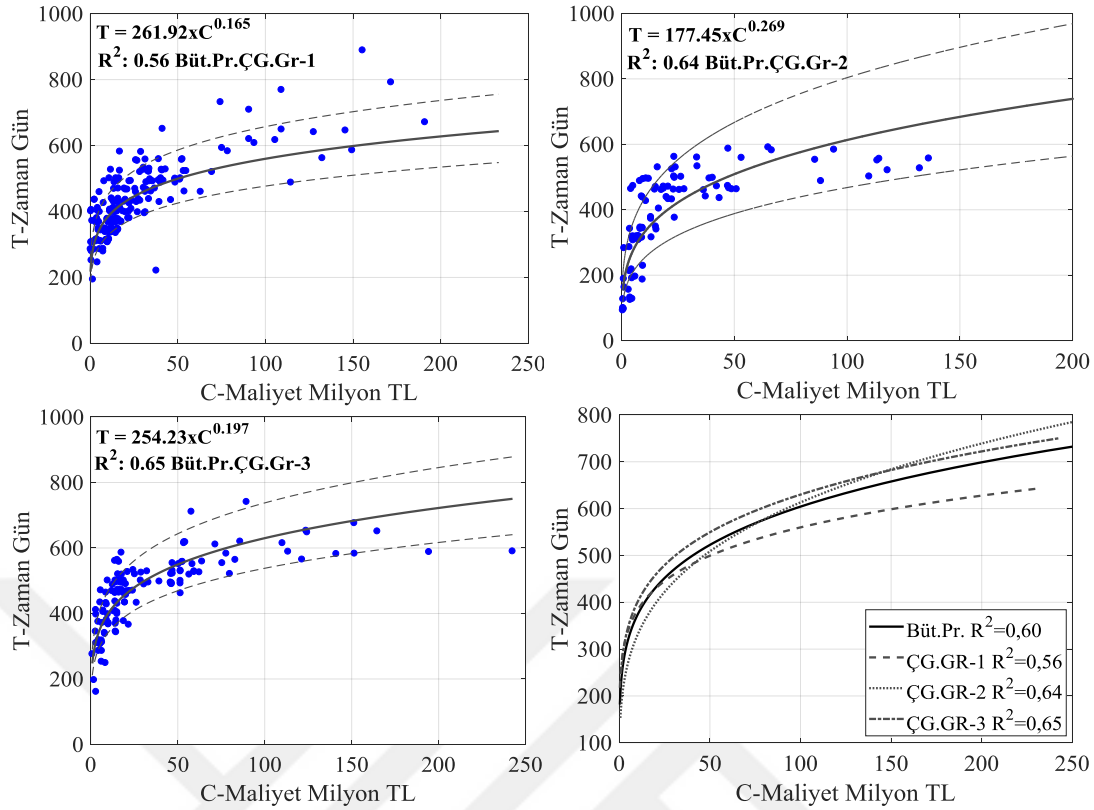
Tablo 4.8. araştırmaya esas dört farklı parametrenin etkisi altında elde edilen BTC modeli eşitliğine ilişkin katsayıları ve açıklama düzeylerini (R^2) göstermektedir. Tablo 4.8.'de boş kalan bölümler ise proje dağılımlarının yetersiz olması sebebi ile analiz yapılamayan grupları ifade etmektedir. R^2 değerleri süre-maliyet ilişkisinin seviyesini gösterirken, K ve B katsayıları ise BTC modeli eşitliklerinin bileşenleridir.

Tablo 4.8. Farklı parametrelere göre yapı gruplarının BTC modeli analiz sonuçları (S=501)

Proje Grupları	Filtre Grubu	1.GRUP			2.GRUP			3.GRUP		
		K	B	R²	K	B	R²	K	B	R²
Bütün Pro.	Çalışılamayan Günler	261,9	0,165	0,56	177,5	0,269	0,64	254,2	0,197	0,65
Afet Konutları		97,4	0,294	0,69	-	-	-	699,7	-0,244	0,21
Sosyal Konut		343,0	0,103	0,59	403,6	0,059	0,32	330,9	0,116	0,58
Tekil Bina		312,7	0,147	0,60	305,4	0,160	0,89	277,5	0,179	0,90
Okul		190,6	0,255	0,84	170,2	0,334	0,81	213,0	0,247	0,87
Hastane		191,3	0,299	0,83	133,7	0,494	0,98	149,2	0,398	0,85
Sanayi		195,3	0,198	0,50	144,5	0,275	0,78	249,0	0,158	0,94
Bütün Pro.	Döviz	217,0	0,228	0,70	234,8	0,203	0,56	-	-	-
Afet Konutları		584,4	0,166	0,14	102,9	0,218	0,15	-	-	-
Sosyal Konut		302,6	0,139	0,67	369,9	0,085	0,50	-	-	-
Tekil Bina		-	-	-	307,2	0,156	0,79	-	-	-
Okul		197,3	0,250	0,84	188,7	0,266	0,77	-	-	-
Hastane		159,1	0,737	0,90	158,8	0,355	0,84	-	-	-
Sanayi		223,4	0,172	0,92	135,6	0,313	0,73	-	-	-
Bütün Pro.	GSYH	213,3	0,221	0,63	276,1	0,162	0,47	260,8	0,190	0,59
Afet Konutları		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sosyal Konut		390,3	0,078	0,52	319,4	0,119	0,57	344,3	0,104	0,53
Tekil Bina		301,0	0,159	0,70	310,5	0,156	0,78	349,2	0,125	0,96
Okul		188,9	0,258	0,85	164,1	0,366	0,35	219,8	0,235	0,86
Hastane		153,4	0,357	0,89	191,6	0,305	0,91	164,88	0,384	0,88
Sanayi		154,8	0,263	0,75	47,0	0,757	0,83	341,9	0,007	0,00
Bütün Pro.	İGE (HDI)	221,1	0,212	0,60	256,6	0,192	0,57	312,7	0,142	0,54
Afet Konutları		-	-	-	500,5	-0,085	0,21	297,9	-0,035	0,00
Sosyal Konut		358,0	0,094	0,53	331,9	0,113	0,50	362,3	0,093	0,61
Tekil Bina		304,6	0,156	0,70	326,6	0,140	0,89	-	-	-
Okul		191,7	0,254	0,83	215,8	0,242	0,88	237,2	0,213	0,80
Hastane		157,5	0,350	0,89	151,0	0,402	0,87	227,1	0,299	0,94
Sanayi		150,9	0,267	0,73	243,4	0,155	0,83	-	-	-

4.3.2.1. Çalışılamayan günlerin bütün projelerdeki süre-maliyet ilişkisine etkileri

İnşaat projelerinde özellikle kar, yağmur ve nem gibi yapı işleri açısından olumsuz hava şartlarına bağlı olarak sözleşme süresi içerisinde çalışılamayan günler olabilmektedir (Thorpe ve Karan, 2008). Bu kapsamda veri setinde yer alan bütün projeler, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın 07/07/1982 tarih ve B-01/İh.İş.Md.Gr.3/99-2/101156-B sayı ile yayımladığı genelgeye göre analiz edilmiş ve bütün gruplar için elde edilen sonuçlar Şekil 4.7.'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Bütün projeler- çalışılamayan günlere göre BTC model grafikleri

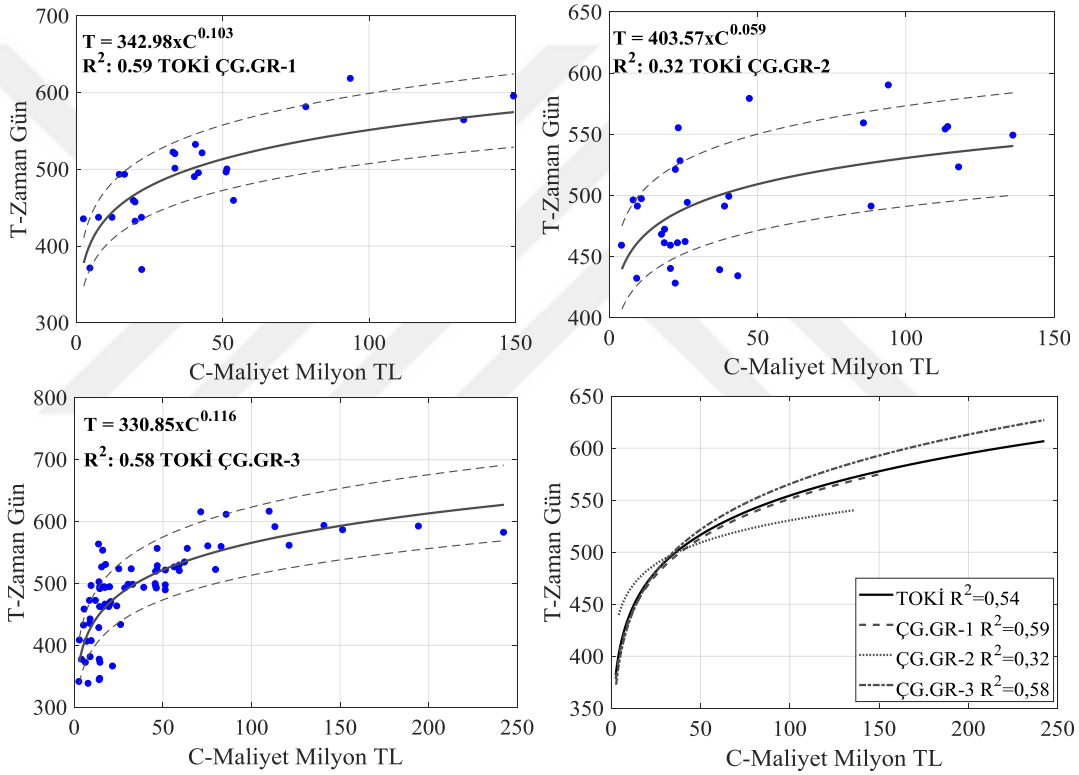
Çalışılmayan gün sayıları daha önceden de ifade edildiği gibi üç farklı gruba (1.grup: 0-60 gün, 2. grup: 75-105 gün, 3.grup: 120-165 gün) ayrılarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, çalışılamayan gün sayısının en fazla olduğu 3. grup projelerin en uzun sürede tamamlanması beklenmektedir. Ancak, 2. grup projeler için elde edilen B (0,269) katsayısının diğer gruplara göre daha yüksek olması, artan maliyetler ile birlikte proje tamamlanma sürelerinin de daha uzun olacağını ifade etmektedir.

3. grupta yer alan projeler ise 150 Milyon TL sınırına kadar 2. grupta yer alan projelere kıyasla daha uzun sürede tamamlanabilmektedir. Ancak, 150 Milyon TL ve üzeri maliyetler için 2. grupta yer alan projelerin 3. grupta yer alan projelere göre daha uzun sürede tamamlanabileceği Şekil 4.7.'den anlaşılmaktadır. Çalışılamayan günlerin en az olduğu (0-60 gün) ve 1.grupta yer alan illerde projeler diğer gruplara kıyasla daha kısa sürede tamamlanabilmektedir. B katsayısının diğer iki gruba kıyasla düşük olması nedeniyle 1. grup için artan maliyetlerin de toplam gün sayısı üzerinde etkisinin az olduğu ilgili grafik üzerindeki dağılımdan tespit edilmiştir. Böylelikle, bütün projeler bir arada analiz edildiğinde hava şartlarına bağlı olarak çalışılmayan gün sayısı arttıkça

projelerin daha uzun sürede tamamlanabildiği tespit edilmiştir. Devam eden bölümlerde çalışılmayan gün sayılarının yapı türlerine göre süre-maliyet ilişkisini etkileme düzeyi araştırılmıştır.

4.3.2.2. Çalışılamayan günlerin TOKİ sosyal konut projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri

TOKİ sosyal konut projeleri, çalışılamayan günlere göre analiz edilmiş ve sonuçları Şekil 4.8.'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8. TOKİ sosyal konutlar-çalışılamayan günlere göre BTC model grafikleri

Elde edilen sonuçlara göre, 2. grupta yer alan projeler için BTC modelinin, süre-maliyet ilişkisini açıklama düzeyi R^2=0,32, diğer gruplar için elde edilen açıklama düzeyinden (1.grup R^2=0,59 ve 3.grup R^2=0,58) daha düşük seviyededir. Diğer taraftan 2. grupta yer alan projeler grafik üzerinde diğer gruplara kıyasla farklı bir dağılım göstermiştir. Bu sebeple bu grup için elde edilen BTC eğrisinin standart sapması diğer projelere göre daha fazladır.

TOKİ sosyal konut projeleri, çalışılamayan günlerin en çok olduğu illerde (3.Grup), çalışılamayan günlerin en az olduğu (1.grup, 0-60 gün) illere kıyasla daha uzun sürede tamamlanabilmektedir. Ancak, her iki grup için proje tamamlanma sürelerinde dikkate değer bir farklılık tespit edilmemiştir. Bu durumun en önemli sebebi TOKİ Sosyal konut projelerinin yapı olarak birbirine benzerlik göstermesi ve belirli bir sistematikle projelerin tamamlanmasıdır. Diğer taraftan, her üç grup açısından da yaklaşık 35 Milyon TL maliyete sahip projelerin ortalama 500 günde tamamlanabildiği Şekil 4.8.'den anlaşılmaktadır.

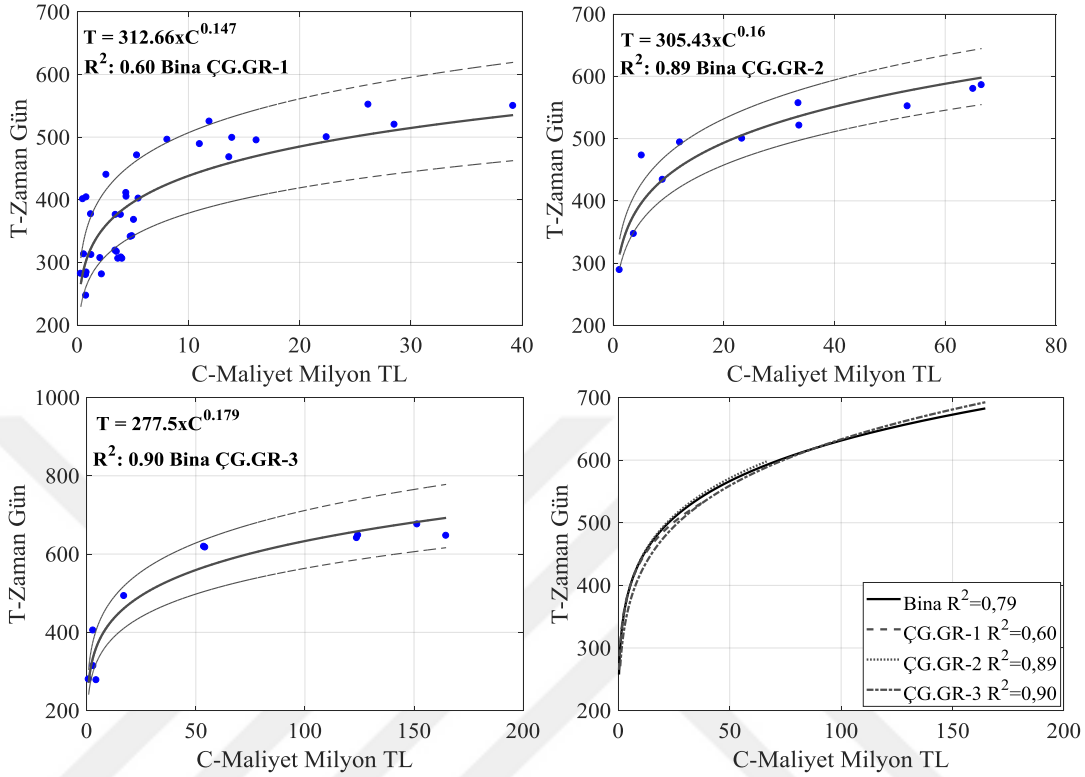
Kaka ve Price (1991), İngiltere'de, kamuya ait konut projelerinin süre-maliyet ilişkisini araştırdığı çalışmasında R^2=0,58 açıklama düzeyini elde etmiştir. Bu çalışmada ise BTC modeli ile çalışılmayan gün sayısı parametresi dikkate alınarak yapılan analizlerde kamuya ait sosyal konut projeleri için Kaka ve Price (1991)'a benzer şekilde 1. ve 3. grup projeler için R^2=0,58/0,59 açıklama düzeyi elde edilmiştir. Ancak, 2. grup projelerin süre-maliyet ilişkisini açıklama düzeyinin oldukça düşük seviyede (R^2=0,32) olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak çalışılmayan gün sayıları ile yapılan analizler sonrasında Şekil 4.8.'de yer alan eğri ve eşitliklerin net bir şekilde ayrışmasından dolayı çalışılmayan gün sayısı parametresinin, kamu konut (TOKİ Sosyal Konut) projelerinin tamamlanma sürelerini negatif yönde etkilemektedir. Bu bağlamda, özellikle tip proje olarak gerçekleştirilen TOKİ sosyal konut projelerinin sözleşme safhasında; Halpin (2005)'nin de belirttiği üzere çalışılmayan gün sayısı faktörünün dikkate alınmasının gerekliliği anlaşılmaktadır.

4.3.2.3. Çalışılamayan günlerin bina projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri

Bina projeleri, süre-maliyet ilişkisi kapsamında BTC modeli ile çalışılamayan gün sayısı parametresi dikkate alınarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.9.'da gösterilmiştir. Bina projelerinin ilk analizinde BTC modeli süre-maliyet ilişkisinin R^2=0,79 olarak elde edilmiştir. Ancak, çalışılamayan gün sayısı parametresi ile yapılan analizde 2. ve 3. grupta yer alan bina projeleri için süre-maliyet ilişkisi (2. grup

R^2=0,89 ve 3. grup R^2=0,90) ilk duruma göre artarken, 1. grup için süre-maliyet ilişkisi daha düşük (R^2=0,60) seviyede tespit edilmiştir.



Şekil 4.9. Bina projeleri-çalışılamayan günlere göre BTC model grafikleri

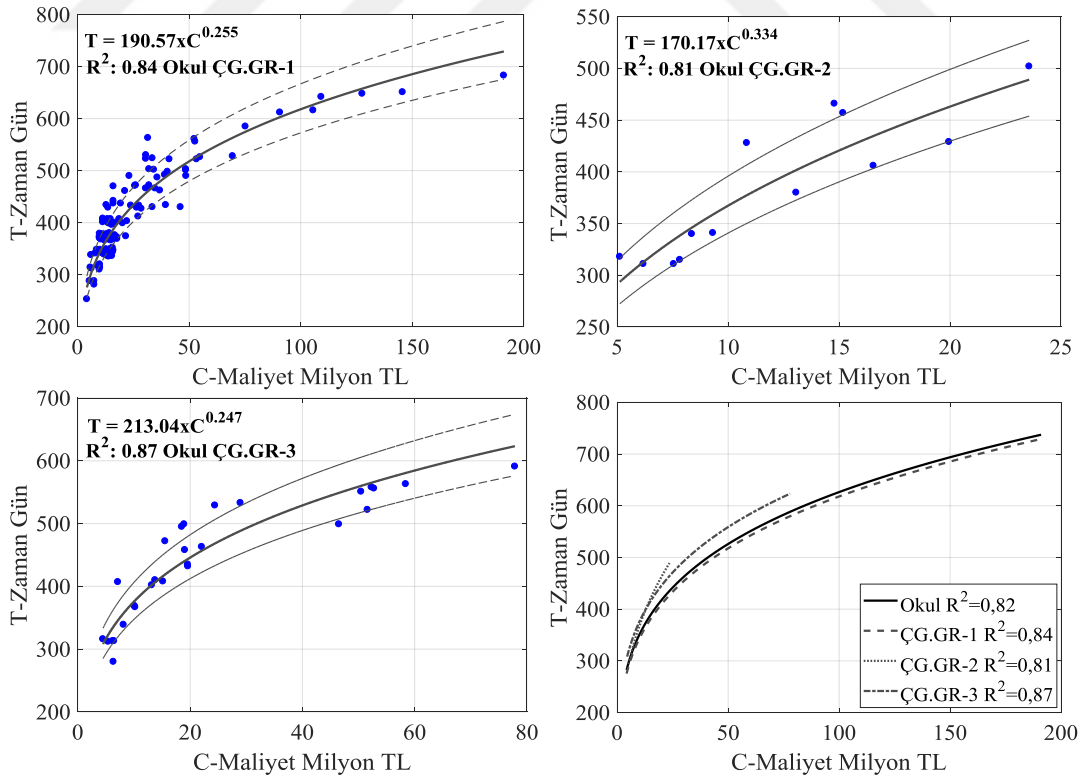
Kaka ve Price (1991), İngiltere'de özel sektör bina projeleri için süre-maliyet ilişkisinin açıklama düzeyini R^2=0,71 olarak belirlemiştir. Yeong (1994), Avustralya ve Malezya'da kamu ve özel sektör bina projelerinin süre-maliyet ilişkisinin yüksek seviyede açıklanabildiğini öne sürmüştür. Bu çalışmada ise bina projeleri BTC modeli ile çalışılmayan gün sayıları dikkate alınarak analiz edilmiş ve her üç grup için süre-maliyet ilişkisi yüksek düzeyde elde edilmiştir.

Yeong (1994)'un araştırmasında yapım işlerinde kullanılan teknolojinin inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisinin açıklama düzeyinde olumlu bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma kapsamında da her üç grup için süre-maliyet ilişkisinin açıklama düzeyinin yüksek olması ve Şekil 4.9.'da BTC eğrilerinin önemli ölçüde ayrışmaması; Yeong (1994)'un araştırmalarını doğrulamaktadır. Bu bağlamda, Şekil 4.9.'dan da anlaşılacağı üzere özel sektör tarafından inşa edilen bina projelerinin süre-maliyet ilişkisinin çalışılamayan gün sayısından önemli ölçüde etkilenmediği

tespit edilmiştir. Böylelikle, çalışılmayan gün sayısı ve iklim faktörlerinin özellikle özel sektör bünyesinde inşa edilen bina projelerinin sözleşme safhasında dikkate alındığı anlaşılmaktadır.

4.3.2.4. Çalışılamayan günlerin okul projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri

Okul projeleri, çalışılamayan gün sayısı parametresine göre analiz edilerek sonuçları Şekil 4.10.'da gösterilmiştir. Çalışılamayan günlere göre yapılan analizlerde bütün gruplar için süre-maliyet ilişkisi %81 ve üzeri seviyede tespit edilmiştir. 2. grupta yer alan projelerin B (0,334) katsayısının diğer gruplarda yer alan projelere kıyasla daha yüksek olması sebebi ile; yüksek maliyetli projelerin, 2. grupta yer alan illerde inşa edilmesi durumunda 1. ve 3. grupta yer alan illere kıyasla daha uzun sürede tamamlanabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca, 3.grup projeleri süre-maliyet ilişkisinin en iyi açıklandığı (R^2=0,87) bölge olarak tespit edilmiştir. Ancak, çalışılamayan günlere göre yapılan gruplama sonrasında 1. grupta (0-60 gün) yer alan projelerin diğer gruplara kıyasla daha kısa sürede tamamlanabildiği anlaşılmaktadır.

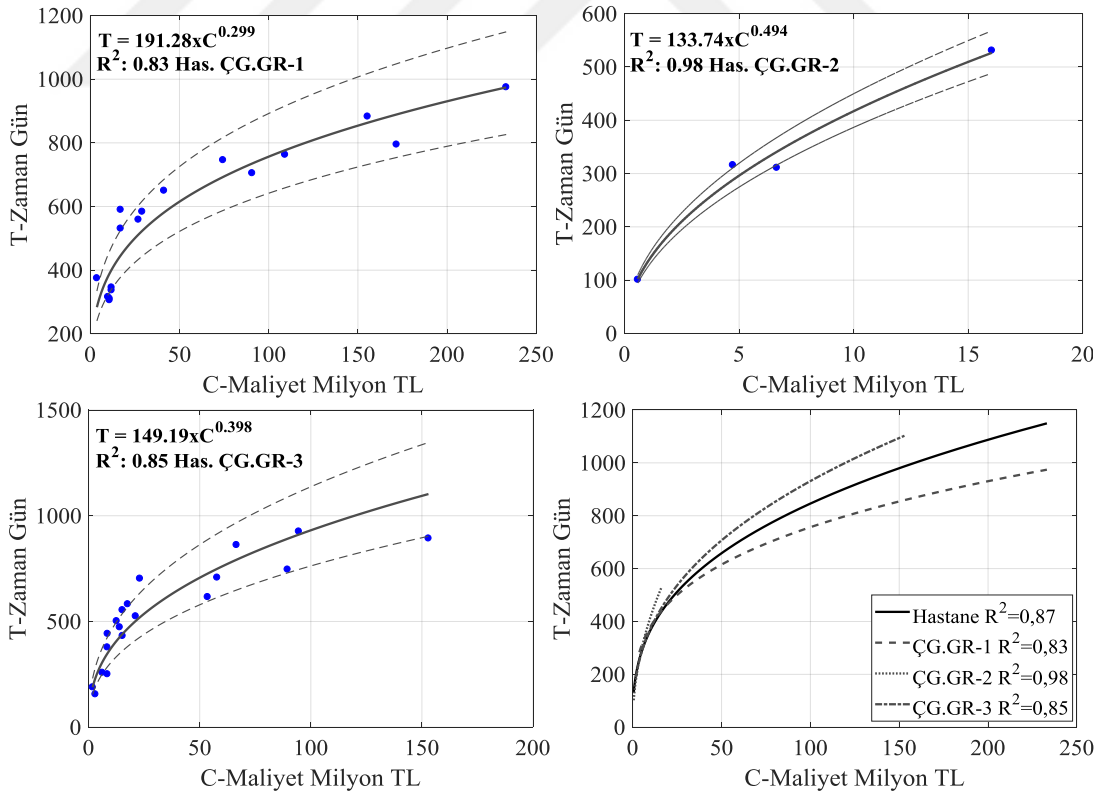


Şekil 4.10. Okul projeleri-çalışılamayan günlere göre BTC model grafikleri

Sriana ve Hayati (2015), Endonezya'da yapmış olduğu çalışmada BTC modelinin bazı eyaletlerdeki eğitim projelerinin süre-maliyet ilişkisini açıklayabildiğini, bazı eyaletlerde ise açıklayamadığını belirtmiştir. Kısaca araştırmacı, eğitim projelerinin süre-maliyet ilişkisinin bölgesel faktörlerden etkilendiğini ileri sürmüştür. Bu çalışmada ise çalışılamayan gün sayısına göre yapılan bölgesel ayrım ile oluşturulan üç ayrı bölgede de süre-maliyet ilişkisinin yüksek düzeyde açıklanabilmektedir. Ancak Şekil 4.10.'da yer alan eğrilerden çalışılmayan gün sayısı parametresinin eğitim projelerinin tamamlanma sürelerini önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Özetle, çalışılmayan günlerin az olduğu bölgelerde projelerin daha kısa sürede ve düşük maliyet ile tamamlanabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

4.3.2.5. Çalışılamayan günlerin hastane projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri

Çalışılamayan günlere göre hastane projeleri kapsamında gerçekleştirilen analiz sonuçları Şekil 4.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Hastane projeleri-çalışılamayan günlere göre BTC model grafikleri

Hastane projelerinin çalışılamayan gün sayısı parametresi dikkate alınarak analiz edilmesi sonucunda elde edilen BTC modellerinin açıklama düzeylerinin (1.grup R^2=0,83, 2.grup R^2=0,98, 3.grup R^2=0,85), gruplama öncesi hastane projeleri için oluşturulan BTC modelinin açıklama düzeyine (R^2=0,87) benzer olduğu tespit edilmiştir. 1.grupta yer alan projelerin 3. grupta yer alan projelere kıyasla daha kısa sürede tamamlanabildiği Şekil 4.11.'den anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, hastane projeleri özelinde, çalışılamayan gün sayısına göre yapılan gruplama sonucunda, çalışılamayan gün sayısı arttıkça projelerin ortalama tamamlanma sürelerinin arttığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan 2. grupta yer alan projelerin özellikle maliyet anlamında diğer projelerden daha düşük seviyede olması sebebi ile süre-maliyet ilişkisi kapsamında belirgin bir şekilde ayrışmaktadır. Ancak, bu grupta yer alan projeler, 1.ve 3. grupta yer alan projelere kıyasla daha küçük ölçeklidir.

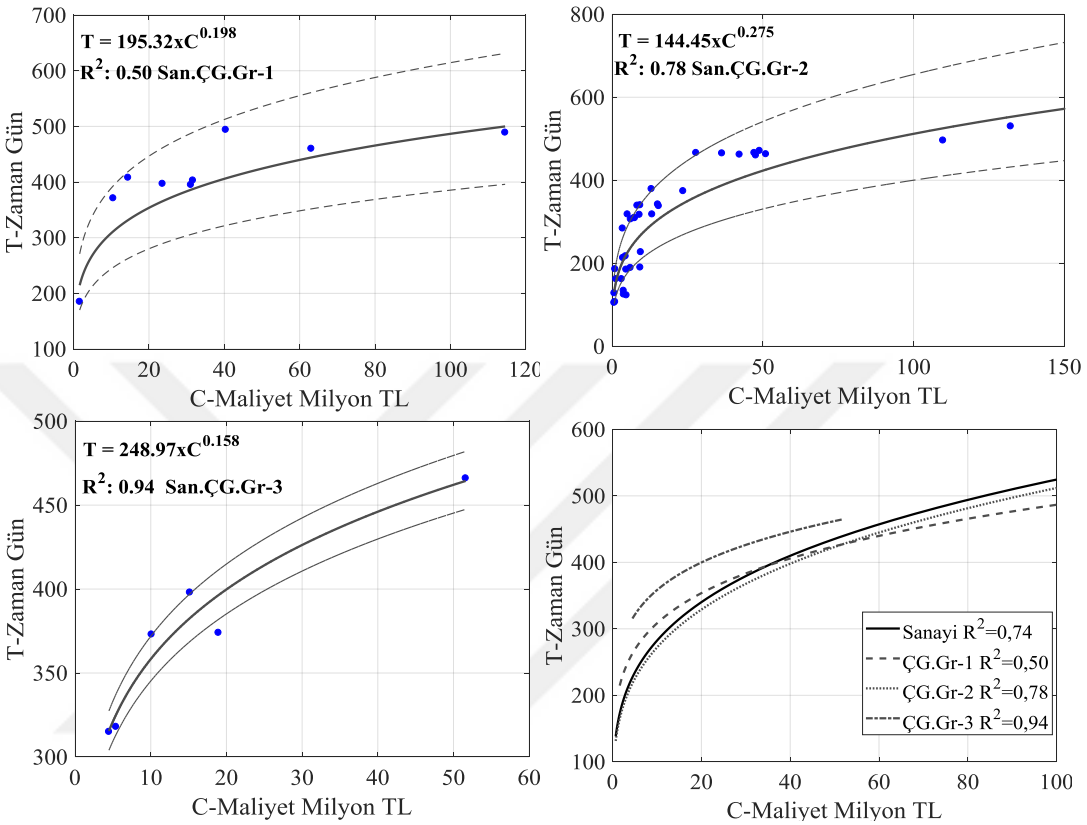
Choudhury ve ark. (2002), Bangladeş'te bu çalışmaya benzer şekilde kamu ve özel sektöre ait hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisini araştırmış ve R^2=0,65 açıklama düzeyini elde ederek sonuçların proje paydaşları tarafından kullanılabileceğini belirtmiştir. Bu çalışmada ise hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisi her üç grup için de yüksek düzeyde elde edilmiştir. Ancak Şekil 4.11.'de görüldüğü üzere hastane projelerinin BTC eğrilerinin belirgin bir şekilde ayrıştığı ve hastane projelerinin çalışılmayan gün sayısı parametresinden önemli ölçüde etkilendiği tespit edilmiştir.

4.3.2.6. Çalışılamayan günlerin sanayi projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri

Çalışılamayan günlere göre sanayi projelerinin BTC model analiz sonuçları Şekil 4.12.'de gösterilmiştir. Bu bağlamda, 1. grup dışında kalan bölgelerde yer alan projeler için yüksek seviyede süre-maliyet ilişkileri tespit edilmiştir. Diğer taraftan, 1. ve 2. grupta yer alan sanayi projelerinin BTC model eğrilerinin benzerlik gösterdiği ancak, 3. grupta yer alan projelerin, 1. ve 2. grup'da yer alan projelerden net bir şekilde ayrıştığı Şekil 4.12.'den anlaşılmaktadır.

Hoffman ve ark. (2006), Amerika'da sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisini R^2=0,34 olarak hesaplamış ve sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerinde etkili olan farklı faktörlerin de dikkate alınarak yeni çalışmalar yapılabileceğini önermiştir.

Hoffman ve ark. (2006), nın önerdiği şekilde bu çalışmada sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerinde çalışılmayan gün sayısının etkisi araştırılmış ve Şekil 4.12.'den de görüldüğü üzere araştırmaya esas gruplarda ayrışmalar tespit edilmiştir.



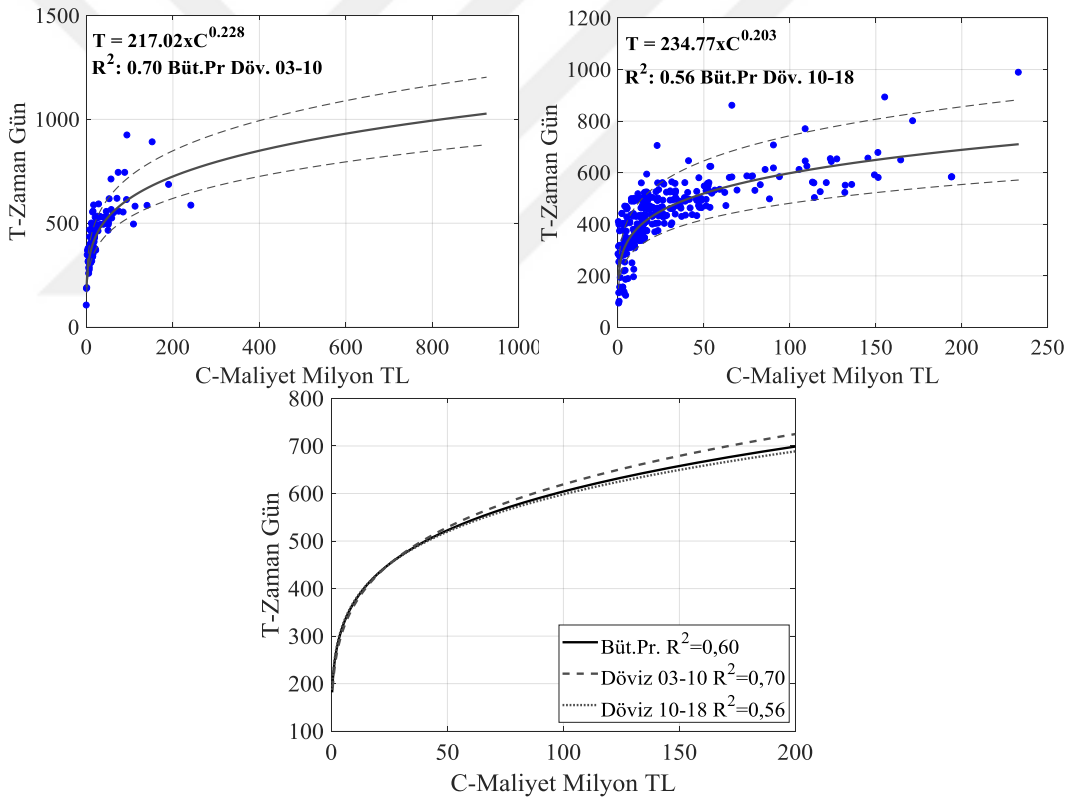
Şekil 4.12. Sanayi projeleri-çalışılamayan günlere göre BTC model grafikleri

Sonuç olarak, çalışılmayan gün sayılarının sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerinde belirleyici bir parametre olduğu ve çalışılmayan gün sayısı arttıkça, projelerin tamamlanma süresinin de arttığı bu çalışma kapsamında değerlendirilmektedir.

4.3.2.7. Döviz kurlarının bütün projelerdeki süre-maliyet ilişkisine etkileri

Döviz kuru parametresi ile yapılan gruplama sonrasında bütün projeler için elde edilen analiz sonuçları Şekil 4.13.'te gösterilmektedir. Buna göre, döviz kurlarının durağan olduğu 2003-2010 döneminde veri setinde yer alan projeler için elde edilen süre-maliyet ilişkisinin açıklama düzeyi R^2=0,70, 2010-2018 yılları için ise R^2=0,56 olarak tespit edilmiştir. Analiz sonuçları ilk dönemdeki projelerin süre-maliyet ilişkisinin ikinci döneme kıyasla daha yüksek oranda açıklanabildiğini göstermektedir.

Aksükyek ve Biçen (2017), Türkiye'de döviz kurlarında yaşanan dalgalanmaların inşaat projelerini süre, maliyet ve kalite açısından etkilediğini ifade ederek, projelerin gerçekleşme sürecinde döviz kuruna bağlı zorunlu değişiklikler yapıldığını belirtilmiştir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında iki ayrı dönem için elde edilen farklı düzeydeki süre-maliyet ilişkileri, Aksükyek ve Biçen (2017)'in bulgularını doğrulamaktadır. Diğer taraftan, döviz kurlarının durağan olduğu ilk dönemde her ne kadar süre-maliyet ilişkisi daha iyi açıklanabiliyor olsa da projelerin dövizin yükseliş eğiliminde olduğu 2010-2018 döneminde daha kısa sürede tamamlanabildiği tespit edilmiştir. Özellikle sözleşme tutarı 50 Milyon TL ve üzerindeki projelerde 2003-2010 döneminde inşaat sürelerinin 2010-2018 dönemine kıyasla daha uzun olduğu Şekil 4.13.'den anlaşılmaktadır.



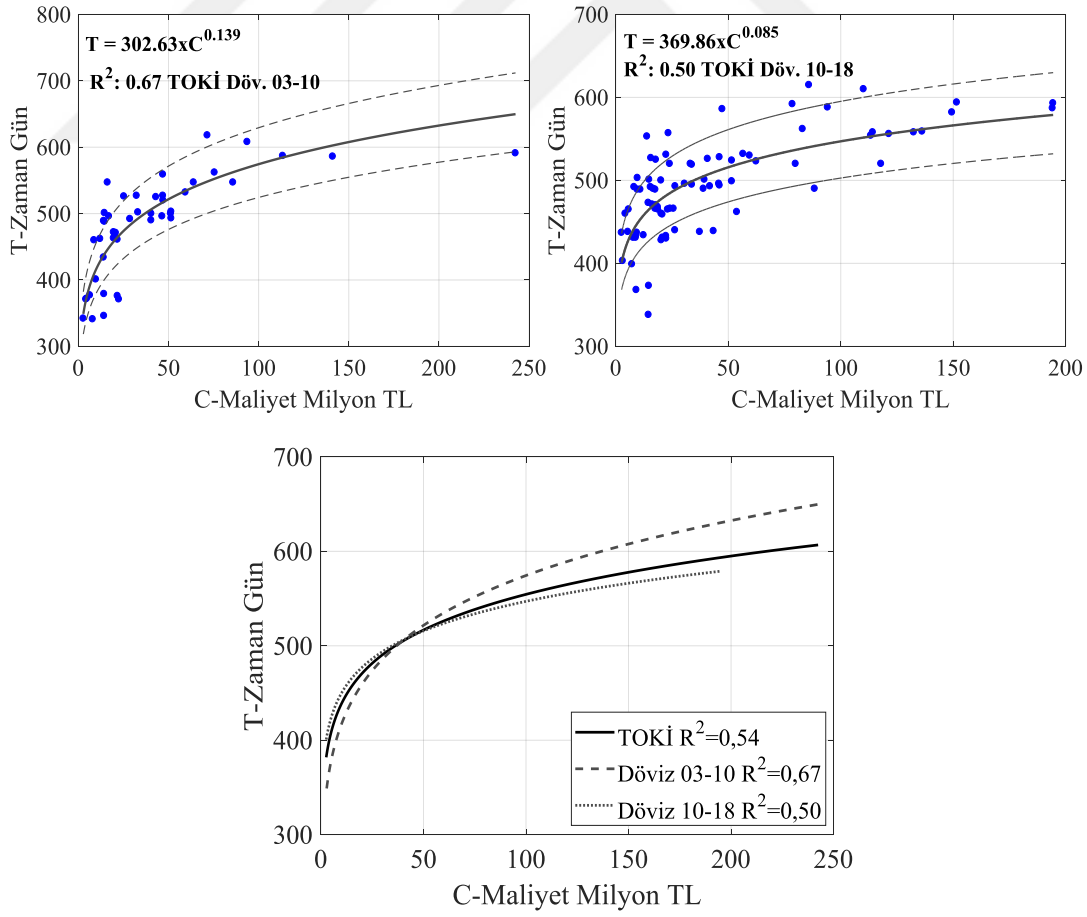
Şekil 4.13. Bütün projeler-döviz 03-10/10-18 dönemleri-BTC model grafikleri

Ireland (1985), Ojo, (2001), Ogunsemi ve Jagboro (2006), Kumaraswamy ve Chan (1995) ve Kenley (2003), inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisinin sektördeki belirsizliklerden, ekonomik koşullardan ve yapı türü gibi bir dizi faktöre bağlı olduğunu ileri sürmüştür. Araştırmacıların üzerinde durduğu parametrelerden yapı türü ve özellikle ekonomik koşulların projelerin süre-maliyet ilişkisi üzerinde etkin bir

faktör olduğu Şekil 4.13.'den anlaşılmaktadır. Bu çalışma kapsamında BTC modeli ile gerçekleştirilen analizler bahsi geçen araştırmacıların çalışmalarını Türkiye şartlarında doğrulamaktadır. Ayrıca, bu çalışma kapsamında projelerin süre-maliyet ilişkisine etkisi araştırılan dört parametreden; dönemsel döviz kurları yapı türlerine göre projelerin gerçekleştiği tarihler baz alınarak yapılan bir araştırmadır. Diğer taraftan; İGE, GSYH ve çalışılmayan gün sayıları ise projelerin gerçekleştiği bölgeleri dikkate almaktadır. Bu bağlamda, dönemsel döviz kurlarını diğer parametrelerden ayıran en temel özellik zaman faktörüdür.

4.3.2.8. Döviz kurlarının TOKİ sosyal konut projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri

Döviz kuru parametresi ile yapılan analiz sonrası TOKİ sosyal konut projeleri için süre-maliyet ilişkileri Şekil 4.14.'te gösterilmiştir.



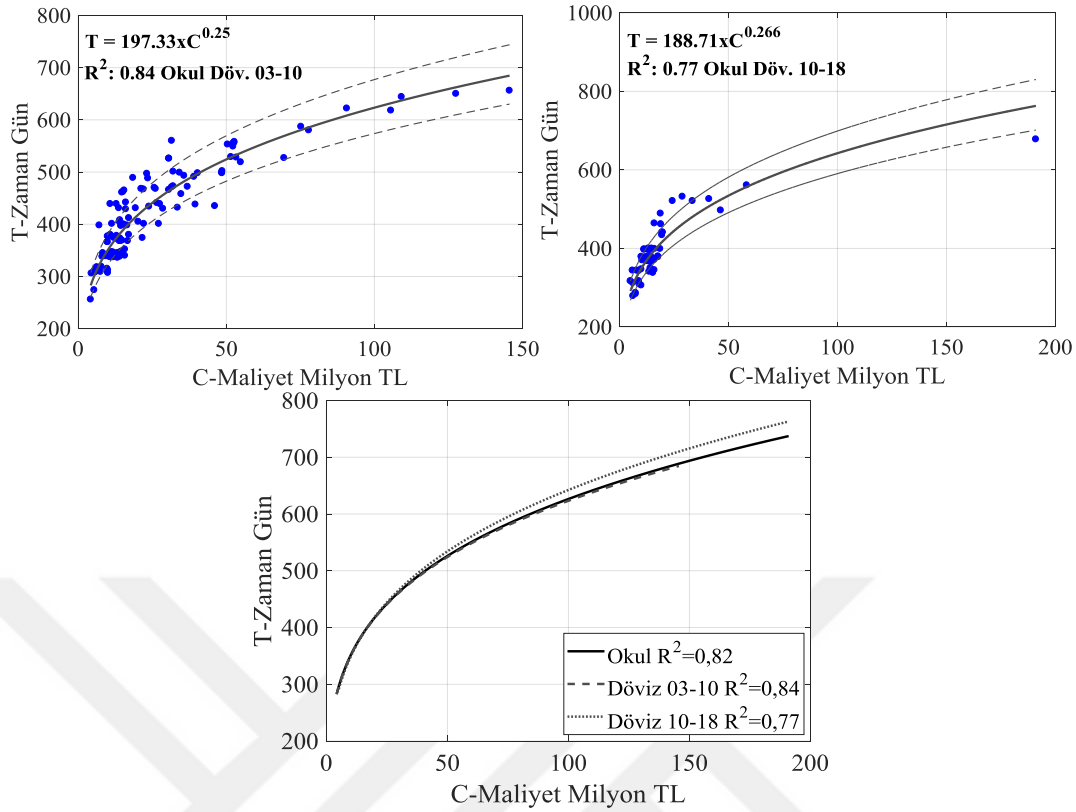
Şekil 4.14. TOKİ sosyal konut-döviz 03-10/10-18 dönemleri-BTC model grafikleri

Le-Hoai ve Lee (2009), Güney Kore'de 2009 yılı öncesindeki kamu konut projelerinin süre-maliyet ilişkisini araştırmış ve BTC modelinin açıklama düzeyini R^2=0,66 olarak tespit etmiştir. Bu çalışmada da Le-Hoai ve Lee (2009)'ye benzer şekilde ve aynı zaman diliminde (2003-2010 yılları) kamu kapsamındaki TOKİ sosyal konut projelerinin süre-maliyet ilişkisi araştırılarak açıklama düzeyi R^2=0,67 olarak tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları; projelerin gerçekleştirildiği zaman dilimi, yapı türü ve kamu bünyesindeki projeler olması açısından Le-Hoai ve Lee (2009)'nin çalışması ile uyum sağlamaktadır. Ancak, çalışmanın bu bölümünde Le-Hoai ve Lee (2009) ve diğer araştırmacılardan farklı olarak dönemsel döviz kurlarının projelerin süre-maliyet ilişkisine etkileri araştırılmıştır. Bu bağlamda, Türkiye ekonomisinin stabil olduğu dönem ile dalgalı olduğu dönemlerde inşa edilen projelerin süre-maliyet ilişkilerinin döviz kuru artışından olumsuz yönde etkilendiği bu çalışma kapsamında tespit edilen önemli bulgulardan biridir.

4.3.2.9. Döviz kurlarının okul projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri

Döviz kuru etkisi altında okul projelerinin süre-maliyet ilişkisi incelenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4.15.'te gösterilmiştir. Analizler sonucunda BTC modelinin her iki dönem için de okul projelerinin süre-maliyet ilişkisini yüksek düzeyde açıklayabildiği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, 2003-2010 döneminde gerçekleşen okul projelerinin süre-maliyet ilişkisi 2010-2018 dönemine kıyasla daha yüksek seviyede elde edilirken 2003-2010 döneminde inşa edilen okul projelerinin, 2010-2018 dönemine kıyasla daha kısa sürede tamamlanabildiği tespit edilmiştir.

Odabaşı (2009), bu çalışmanın döviz kuru açısından ilk dönemini temsil eden 2003-2010 yılları arasında inşa edilen eğitim projelerinin süre maliyet ilişkisini araştırmış ve BTC modeli ile eğitim projelerinin süre maliyet ilişkisini R^2=0,93 olarak yüksek düzeyde elde etmiştir. Bu çalışmada da 2003-2010 döneminde Odabaşı (2009)'nın çalışmasına benzer şekilde eğitim projelerinin süre-maliyet ilişkisi R^2= 0,84 olarak yüksek düzeyde elde edilmiş ve her iki çalışma sonucunda elde edilen bulguların bahse konu dönem için örtüştüğü tespit edilmiştir.



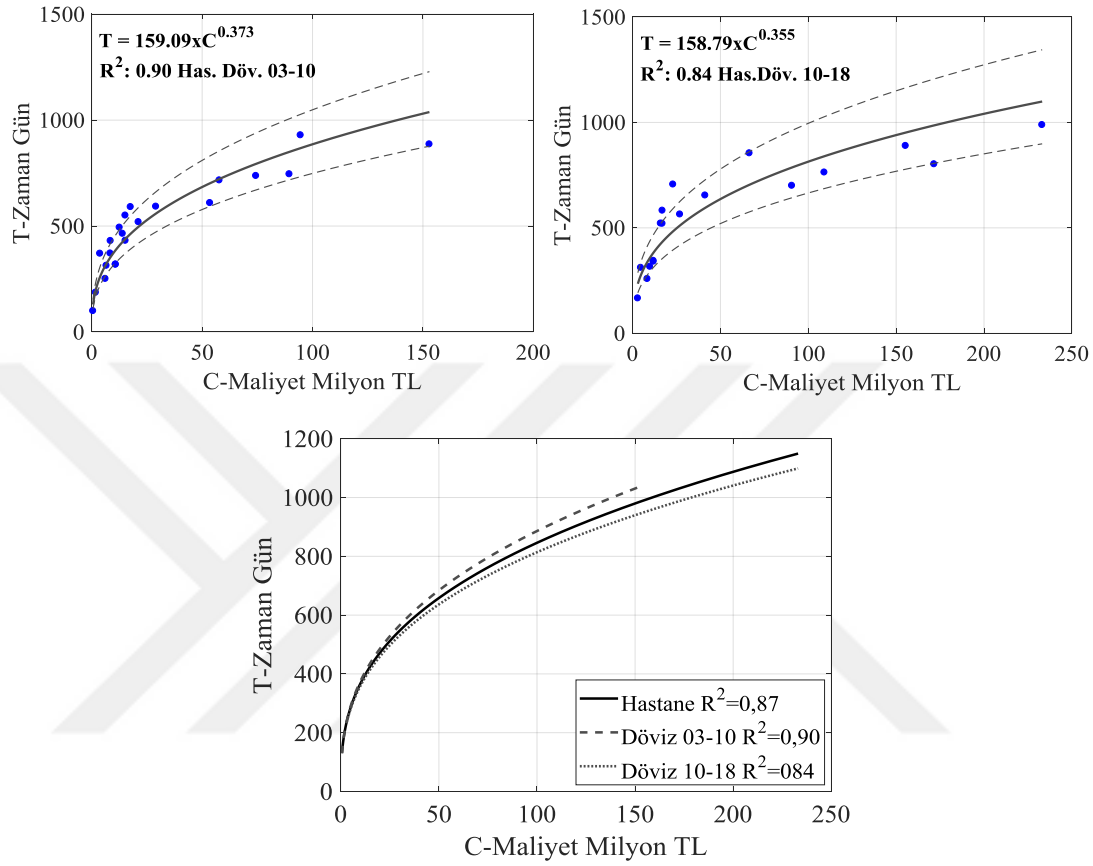
Şekil 4.15. Okul projeleri-döviz 03-10/10-18 dönemleri- BTC model grafikleri

4.3.2.10. Döviz kurlarının hastane projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri

Döviz kuru etkisi altında hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisi incelenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4.16.'da gösterilmiştir. Döviz kuru parametresine bağlı olarak oluşturulan her iki grup için de sözleşme değeri 25 Milyon TL sınırında olan projelerin süre-maliyet ilişkileri benzerlik gösterirken, sözleşme tutarı 25 Milyon TL üzerinde olan projelerin 2010-2018 döneminde, 2003-2010 dönemine kıyasla daha kısa sürede tamamlanabildiği Şekil 4.16.'dan anlaşılmaktadır. Bu analiz sonucunda her iki dönem için elde edilen R^2 açıklama düzeylerinin yüksek olması süre-maliyet ilişkisi düzeyinin yüksek düzeyde olduğunu göstermektedir.

Choudhury ve ark. (2002), Bangladeş'te bu çalışmanın 1. dönemini kapsayan (2003-2010) kamu ve özel sektöre ait 35 adet hastane projesinin süre-maliyet ilişkisini araştırmış ve çalışma sonucunda BTC modelinin açıklama düzeyi R^2=0,65 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada ise Choudhury ve ark. (2002)'dan farklı olarak veri setinin oldukça geniş ve uzun yılları kapsamasından dolayı hastane projelerinin süre-maliyet

ilişkisi 2003-2010 yılları ve 2010-2018 yılları arasında iki farklı dönemde araştırılarak yıllara bağlı olarak değişen ekonomik koşulların projelerin süre-maliyet ilişkisine etkisi araştırılmıştır.

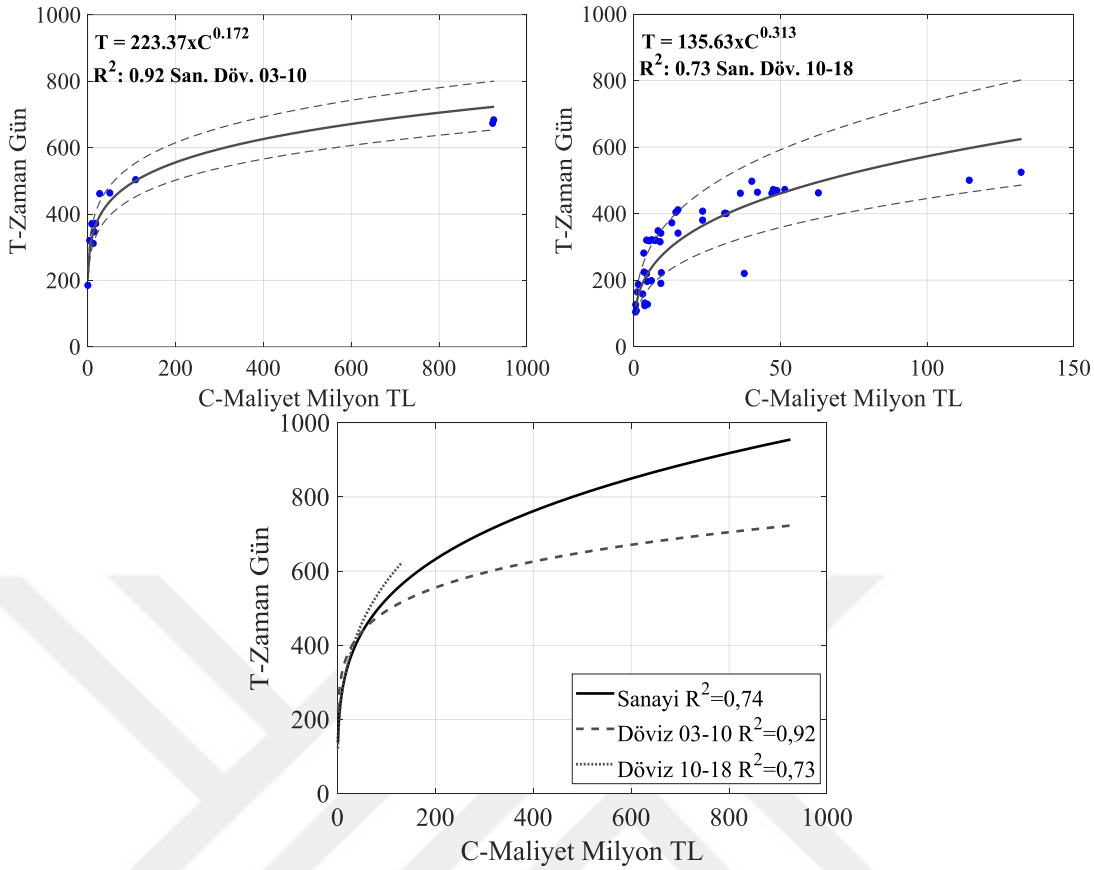


Şekil 4.16. Hastane projeleri-döviz 03-10/10-18 dönemleri-BTC model grafikleri

Bu bağlamda, döviz kurunun durağan olduğu dönemde hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisinin, 2010-2018 yıllarına kıyasla açıklama düzeyinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Şekil 4.16.'dan da görüldüğü üzere her iki döneme ait hastane projelerinin BTC eğrilerinin belirgin bir şekilde ayrıştığı ve hastane projelerinin dövize bağlı satın alma sürecine sahip olması sebebi ile döviz kuru dalgalanmalarından olumsuz yönde etkilendiği tespit edilmiştir.

4.3.2.11. Döviz kurlarının sanayi projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri

Döviz kuru etkisi altında sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisi incelenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Sanayi projeleri-döviz 03-10/10-18 dönemleri- BTC model grafikleri

Analizler sonucunda, 1. grupta yer alan sanayi projelerinin 2003-2010 döneminde diğer yapı türlerine benzer şekilde ve 2. gruba kıyasla daha anlamlı süre-maliyet ilişkisine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak, diğer yapı gruplarının aksine, döviz kurlarının durağan olduğu 2003-2010 döneminde sanayi projelerinin daha kısa sürede tamamlanabildiği Şekil 4.17.'den anlaşılmaktadır. Diğer yandan, dövizin yükseliş eğiliminde olduğu 2010-2018 döneminde sanayi projeleri dikkate değer bir şekilde daha uzun sürede tamamlanabilmektedir. Ancak, hastane ve sanayi yapıları, bina, konut ve diğer projelerden farklı, tesisin gereksinimlere bağlı olarak çok fazla detay içeren ve aynı zamanda dövize bağlı satın alma sürecine sahip projelerdir (Kırbaş, 2012). Ayrıca, sanayi projelerinde diğer yapı türlerine kıyasla daha yoğun kullanılan demir, çelik ve diğer yapısal ürünlerin doğrudan döviz kuruna bağlı olduğu bilinmektedir (Dikmen ve Özek, 2011). Dövizin artış eğiliminde olduğu 2. Dönemde sanayi projelerinin 1. Döneme kıyasla daha uzun sürede tamamlanabilmesi; Dikmen ve Özek (2011)'in çalışmasında belirttiği üzere yapım işlerinde kullanılan malzemelerin dövize bağlı olması ile açıklanabilmektedir. Diğer taraftan, Türkiye'de

sanayi sektöründe faaliyet gösteren firmaların dövize karşı kırılgan yapıda olması sebebi ile altyapı yatırımlarının ödeme dengesinin dövize bağlı olarak bozulmasına neden olmaktadır (TOBB, 2011). Sonuç olarak; sanayi yapılarında girdilerin doğrudan dövize endeksli olması, bu yapı türünü diğerlerinden ayıran en temel özellik olarak ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda, Şekil 4.17.'den de görüleceği üzere döviz kurlarında yaşanan dalgalanma ve yükselişin sanayi projelerini doğrudan ve olumsuz yönde etkilediği bu çalışma kapsamında elde edilen önemli bulgular arasında yer almaktadır.

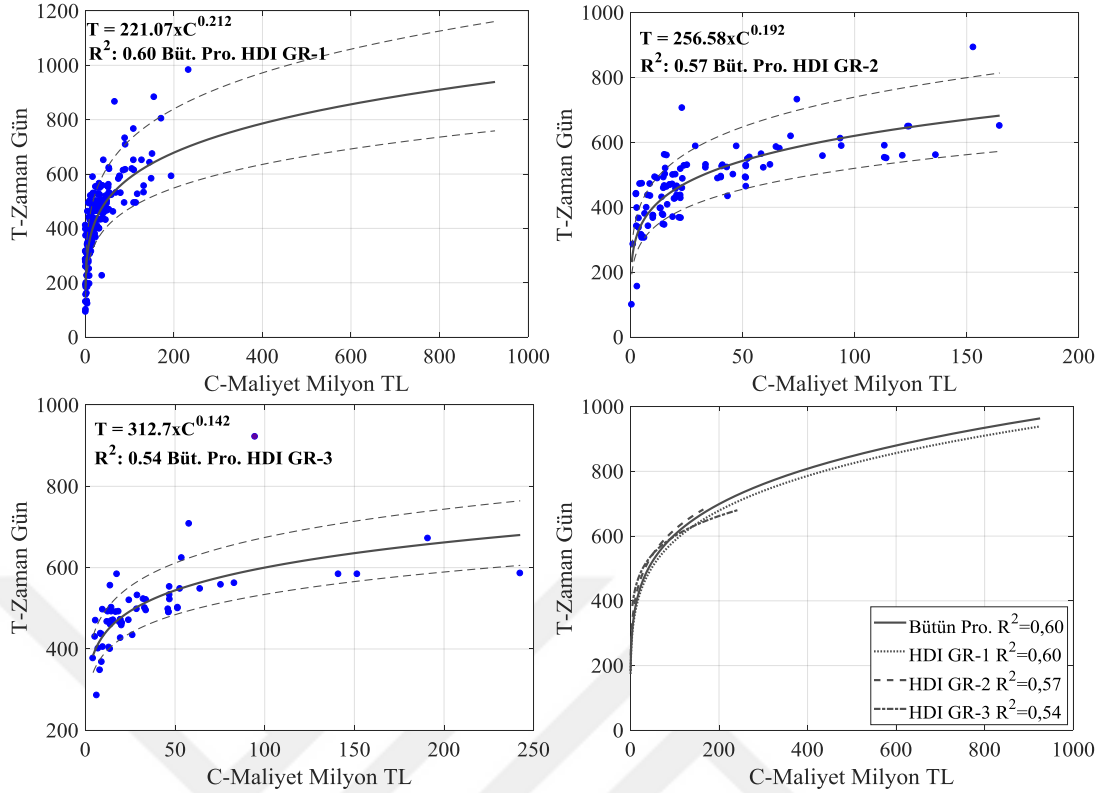
4.3.2.12. Döviz kurlarının bina projeleri süre-maliyet ilişkisine etkileri

Bina projelerinin verileri sadece 2010-2018 yılları arasında dağılım gösterdiği için, döviz parametresi ile yapılan gruplama bu proje grubu için uygulanamamıştır. Bu bağlamda, döviz kurları gruplama parametresi ile yapılan analizde bina projeleri için farklı bir bulgu tespit edilememiştir.

4.3.2.13. İnsani gelişmişlik endeksinin bütün projelerdeki süre-maliyet ilişkisine etkisi

Çalışmanın bu bölümünde projelerin tamamlanma süreleri ve süre-maliyet ilişkileri projelerin gerçekleştirildiği bölgedeki insani gelişmişliğin etkisi dikkate alınarak araştırılmıştır. İGE düzeyi düşük ülkelerde inşaat projelerinde iş kazalarının daha fazla olabildiği görülmektedir (Baradan ve ark., 2019). İş kazalarının ise inşaat projelerini maliyet ve süre olarak doğrudan etkilediği bilinmektedir. Bu kapsamda, insani gelişmişlik endeksi parametresinin bütün projeler açısından süre-maliyet ilişkisi incelenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4.18.'de gösterilmiştir.

Şekil 4.18. incelendiğinde İGE düzeyi açısından bütün bölgelerde süre-maliyet ilişkisinin anlamlı ve yakın düzeyde olduğu görülmektedir. İGE düzeyi yüksek olan bölgelerde gerçekleştirilen projelerin maliyetlerinin İGE düzeyi düşük olan bölgelere kıyasla daha yüksek olduğu Şekil 4.18.'den anlaşılmaktadır. Projelerin 600. gününde maliyetin; İGE düzeyi en yüksek olan 1. Grup illerde 120 Milyon TL, 2.Grup illerde 80 Milyon TL, 3. grup illerde ise 100 Milyon TL düzeyinde gerçekleştiği görülmektedir.



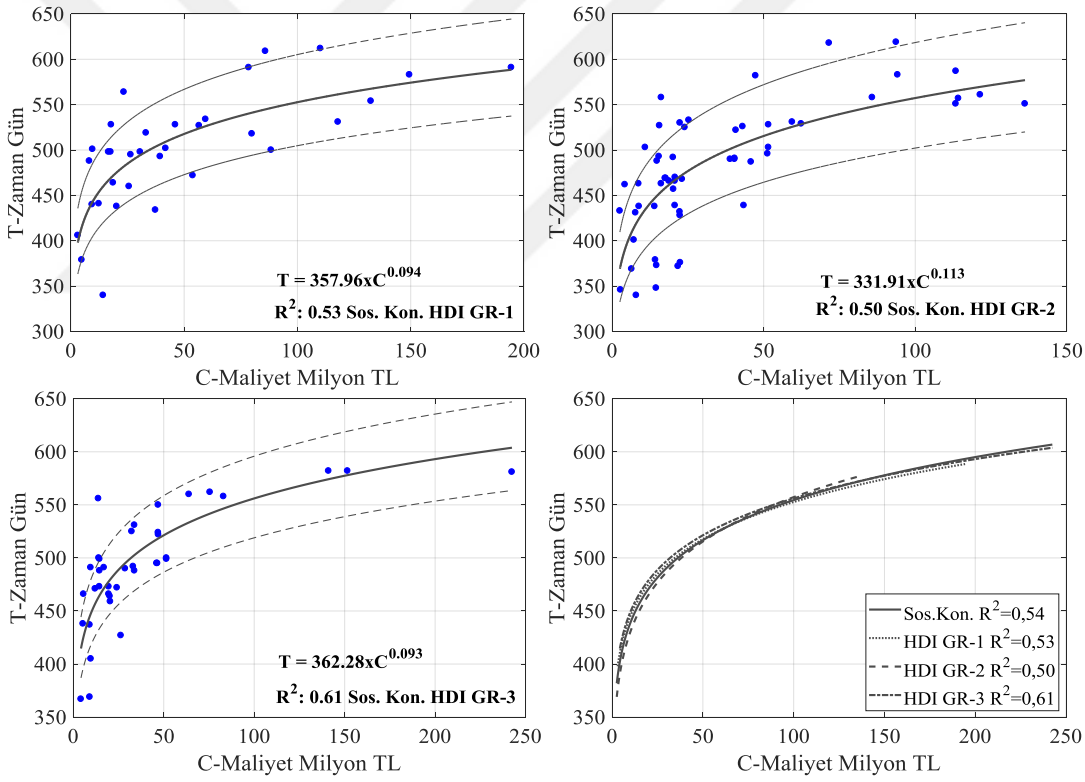
Şekil 4.18. Bütün projeler-insani gelişmişlik endeksi- BTC model grafikleri

Gelişmişlik düzeyi yüksek olan bölgelerde; projelerin maliyet açısından daha büyük çaplı oldukları ve buna bağlı olarak daha uzun sürede gerçekleştirildikleri Şekil 4.18.'de yer alan grafiklerin ölçek farklarından anlaşılmaktadır.

4.3.2.14. İnsani gelişmişlik endeksinin TOKİ sosyal konut projelerindeki süre-maliyet ilişkisine etkisi

TOKİ sosyal konut projelerinin süre-maliyet ilişkisi insani gelişmişlik endeksi dikkate alınarak BTC modeli ile incelenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4.19.'da gösterilmiştir. Kaka ve Price (1991), İngiltere'de kamuya ait konut projelerinin süre-maliyet ilişkisini R^2=0,58'lik bir açıklama düzeyi ile ifade etmiştir. İngiltere insani gelişmişlik açısından uluslararası ölçekte 2018 yılı verilerine göre 14. sırada bulunurken, Türkiye 64. sırada bulunmaktadır (hdr.undp.org, 2018). İngiltere ve Türkiye İGE açısından çok farklı düzeyde olmalarına karşın bu çalışmada sosyal konut projelerinin süre-maliyet ilişkileri (R^2=0,54), Kaka ve Price (1991)'ın çalışmasında elde ettiği sonuçlar ile benzerlik göstermektedir (R^2=0,58). Ancak, bu çalışmada Kaka ve Price (1991)'ın çalışmasından farklı olarak veri setinde bulunan sosyal konut projeleri İGE açısından

Türkiye'deki üç farklı bölgede incelenmiş ve bölgesel olarak süre-maliyet ilişkisi farklı düzeylerde tespit edilmiştir (R^2=0,53-0,50-0,61). Bu bağlamda, İGE düzeyi açısından farklı olan üç grupta da BTC modelinin süre-maliyet ilişkisini diğer yapı türlerine göre düşük düzeyde de olsa açıklayabildiği tespit edilmiştir. Şekil 4.19.'da yer alan grafiklerde araştırmaya esas üç bölgede süre-maliyet ilişkisinin açıklama düzeyleri değişkenlik gösterirken, BTC eğrilerinin grafik üzerinde belirgin bir şekilde ayrışmadığı anlaşılmaktadır. Sosyal konut projelerinin devlet destekli olarak alt gelir grubu için inşa edilmesinden kaynaklı bölgesel olarak İGE düzeyinde farklılıklar olsa dahi projelerin maliyet ve sürelerinin benzer olması sebebi ile İGE endeksinin sosyal konut projelerini önemli ölçüde etkilemediği bu çalışma kapsamında değerlendirilmektedir.

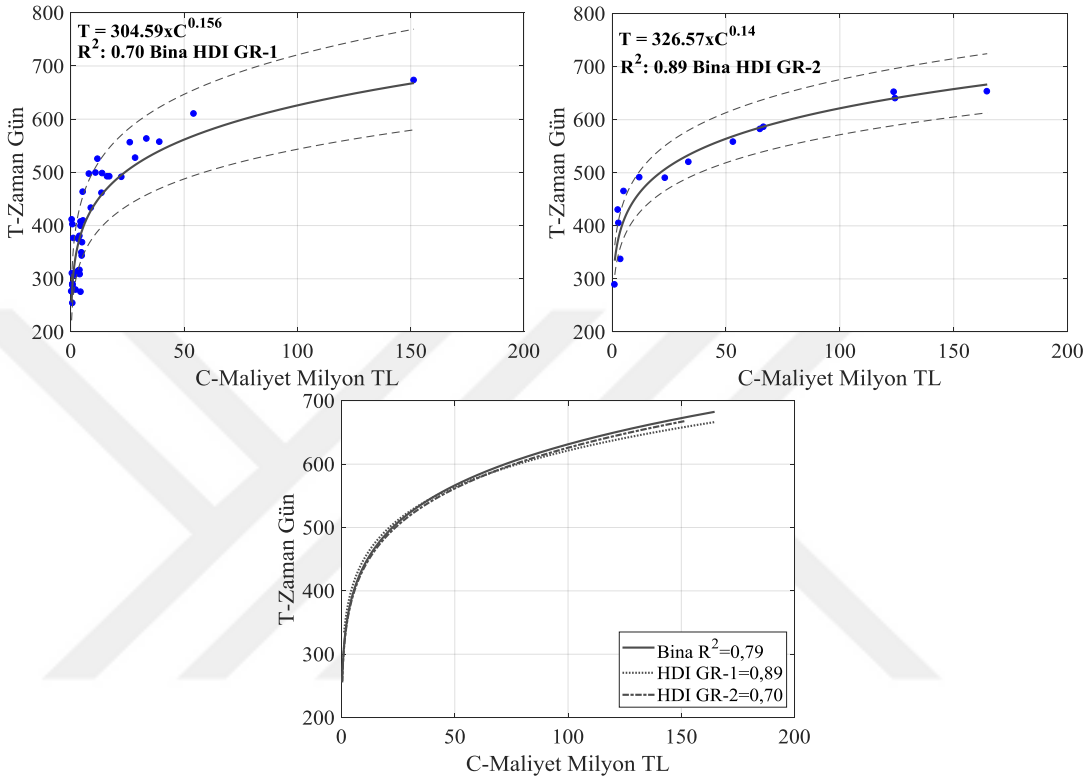


Şekil 4.19. TOKİ sosyal konut projeleri-insani gelişmişlik endeksi- BTC model grafikleri

4.3.2.15. İnsani gelişmişlik endeksinin bina projelerindeki süre-maliyet ilişkisine etkisi

İnsani gelişmişlik endeksi parametresinin bina projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkileri araştırılmış ve analiz sonuçları Şekil 4.20.'de gösterilmiştir. İGE düzeyi

açısından 3. Grupta yer alan illerde inşa edilen projelerin dağılımı yeterli olmadığından BTC model grafikleri oluşturulamamıştır. İGE düzeyi açısından 1. ve 2. grupta yer alan illerdeki projelerde ise BTC modelinin bina projeleri için süre-maliyet ilişkisini yüksek düzeyde açıklayabildiği Şekil 4.20.'den anlaşılmaktadır.



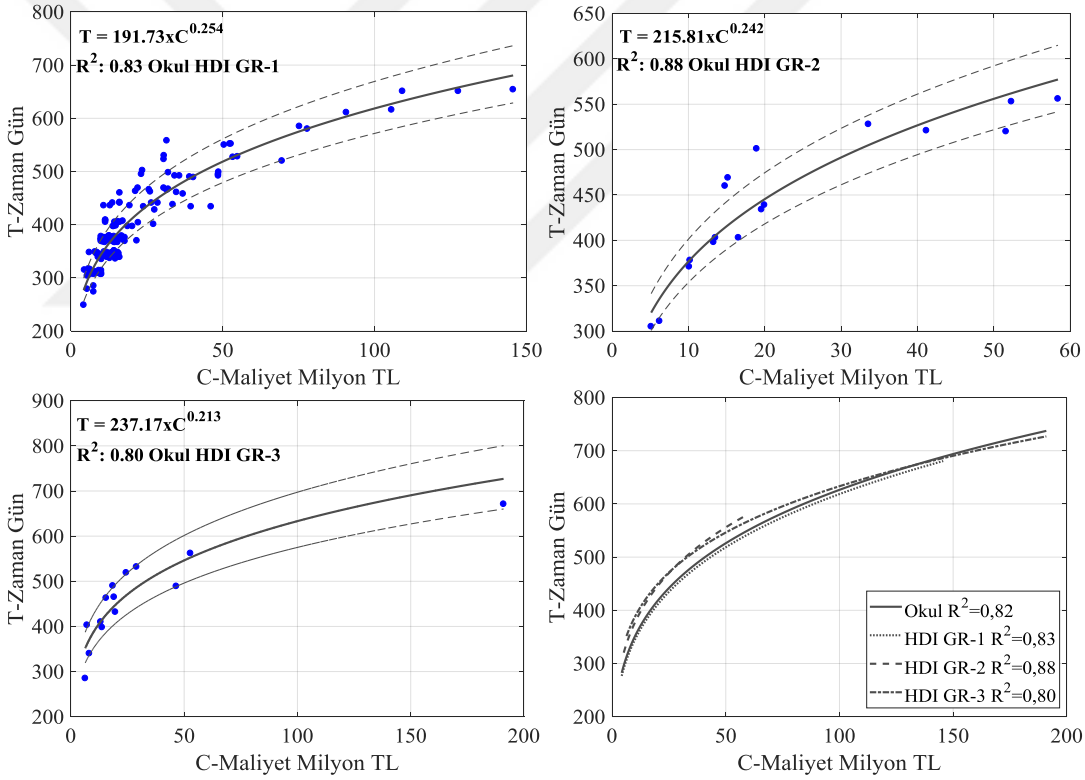
Şekil 4.20. Bina projeleri-insani gelişmişlik endeksi- BTC model grafikleri

İGE sıralamasında 38. sırada bulunan Slovakya'da (hdr.undp.org, 2018) Mackovaa ve ark. (2017), özel sektör bina projelerinin süre-maliyet ilişkisini R^2=0,81 düzeyinde tespit etmişlerdir. Bu çalışmada da bina projeleri için Mackovaa ve ark. (2017)'nın çalışmasına benzer (R^2=0,79) süre-maliyet ilişkisi tespit edilmiştir. Ancak, Mackovaa ve ark. (2017)'nın çalışmasından farklı olarak bu çalışmada özel sektör bina projelerinin süre-maliyet ilişkisi Türkiye'de İGE açısından farklı düzeylerde olan bölgelerde üç grup olarak araştırılmıştır. Bu bağlamda; gelişmişlik düzeyi yüksek olan 1. grup bölgelerde süre-maliyet ilişkisi daha yüksek seviyede (R^2=0,89) tespit edilmiştir. Ancak, Şekil 4.20. incelediğinde gruplar arasında BTC eğrilerinin belirgin bir şekilde ayrışmadığı görülmektedir. Sonuç olarak, veri setinde yer alan tekil bina projelerinin inşa edildiği dönemde Türkiye'de düşük faizli kredilerle (TUIK,2018) yatırımcı ve son kullanıcıların kolay nakit elde edebilmesi ve özel sektörde kullanılan

yapım teknolojisi sebebi ile İGE endeksinin özel sektör bina projelerinin tamamlanma sürelerini etkilemediği tespit edilmiştir.

4.3.2.16. İnsani gelişmişlik endeksinin okul projelerindeki süre-maliyet ilişkisine etkisi

Veri setinde yer alan okul projelerinin süre-maliyet ilişkisi insani gelişmişlik endeksi dikkate alınarak incelenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4.21.'de gösterilmiştir. İGE düzeyi açısından farklı 3 bölgede bulunan illerdeki projelerde süre-maliyet ilişkisinin açıklama düzeylerinin benzer ve yüksek seviyede olduğu Şekil 4.21.'den anlaşılmaktadır (R^2=0,83-0,88-0,80).



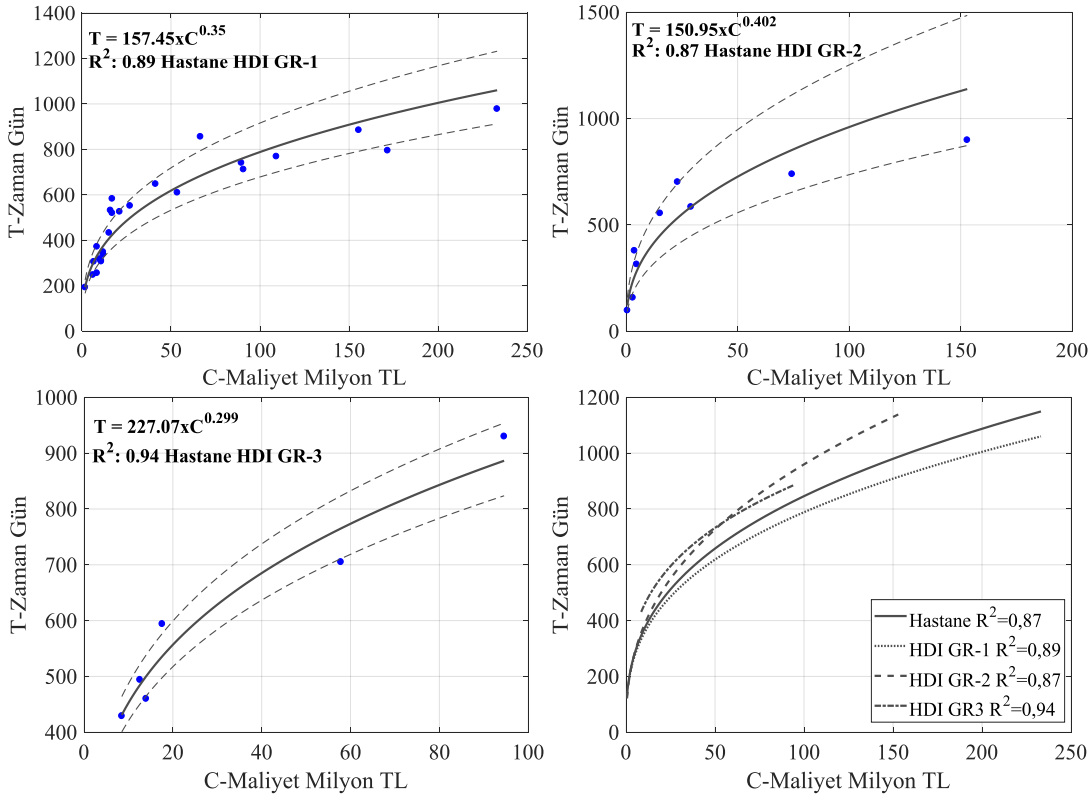
Şekil 4.21. Okul projeleri-insani gelişmişlik endeksi- BTC model grafikleri

Odabaşı (2009), Ankara'da ki eğitim binalarının süre-maliyet ilişkisini R^2=0,93 olarak belirlerken bu çalışmada Ankara'nın da içerisinde bulunduğu ve İGE açısından 1. grup da yer alan projelerin süre-maliyet ilişkisi BTC modeli ile R^2=0,83 olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar Odabaşı (2009)'nın bulguları ile benzerlik göstermektedir.

Diğer taraftan, İGE düzeyi açısından 1. ve 3. grupta yer alan eğitim yapılarının maliyetlerinin 2. grupta bulunan illere kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sriana ve Hayati (2015), Endonezya'da eğitim projelerinin süre-maliyet ilişkisini araştırarak üstyapı projelerinin yerel faktörlerden, süre ve maliyet açısından etkilendiğini belirtmiştir. Bu bağlamda, özellikle İGE'nin bileşenlerinden biri olan okullaşma düzeyinin 3.grupta düşük olması (Yeşilyurt ve ark., 2016) sebebi ile bu bölgede devlet destekli ve yüksek maliyetli eğitim yapılarının inşa edildiği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, Sriana ve Hayati (2015)'nin de belirttiği üzere 3. grupta yer alan projelerin kısıtlı imkanlar altında inşa edilmesinden kaynaklı maliyetlerinin diğer gruplarda yer alan benzer projelere kıyasla daha yüksek olduğu değerlendirilmektedir.

4.3.2.17. İnsani gelişmişlik endeksinin hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi

Hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisi insani gelişmişlik düzeyi parametresinin etkisi dikkate alınarak incelenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4.22.'de gösterilmiştir.



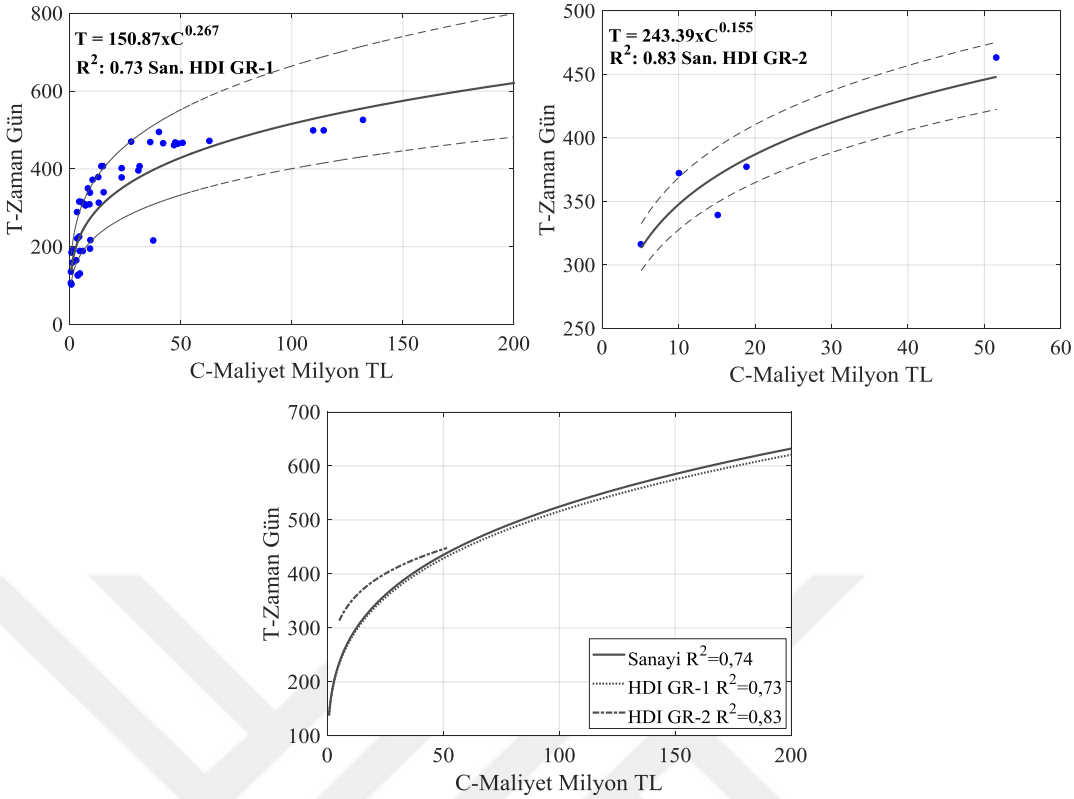
Şekil 4.22. Hastane projeleri-insani gelişmişlik endeksi- BTC model grafikleri

Şekil 4.22.'de yer alan grafikler incelendiğinde her üç grupta bulunan hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisinin BTC modeli ile anlamlı bir şekilde açıklanabildiği tespit edilmiştir. Hastane projeleri tamamlanma süreleri açısından incelendiğinde, İGE düzeyi en düşük olan illerde projelerin daha uzun sürede tamamlanabildiği Şekil 4.22.'den anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, özellikle İGE düzeyinin düşük olduğu illere sağlık hizmetlerinin daha çok götürülmesinde ülke politikasının etkili olduğu bilinmektedir (Gözlü ve Tatlıdil, 2015). Bu çalışmada da Gözlü ve Tatlıdil (2015)'in belirttiği üzere İGE düzeyi en düşük olan bölgelerde hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisi R^2=0,94 olarak yüksek seviyede elde edilmiştir. Hastane projelerinin, dövize bağlı yüksek yatırım maliyetleri gerektiren ve bölgesel ayrım olmadan tıbbi gereksinimlere göre bütün bölgelerde benzer standartlar ile inşa edilmesi gereken projeler olduğu bilinmektedir (Kırbaş, 2012). Bu bağlamda, hastane projelerinin yerel faktörler sebebi ile tamamlanma sürelerinin İGE parametresinden olumsuz yönde etkilendiği tespit edilirken bu yapı türünün bütün bölgelerde benzer standartlarla inşa edilmesi sebebi ile süre-maliyet ilişkisinin her üç bölgede de benzer düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

4.3.2.18. İnsani gelişmişlik endeksinin sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi

Sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisi insani gelişmişlik endeksi dikkate alınarak incelenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4.23.'te gösterilmiştir. Bu analizde İGE düzeyi açısından 3. grupta yer alan illerde sanayi projesi veri setinde bulunmadığından 3. grup değerlendirmeye alınamamıştır. İGE düzeyi açısından farklı olan her iki grupta bulunan projelerin süre-maliyet ilişkisinin BTC modeli ile yüksek düzeyde açıklanabildiği R^2 (0,73-0,83) tespit edilmiştir.

Ng ve Skitmore (2000), Avustralya'da, Hoffman ve ark. (2006) ise ABD'de sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkilerini BTC modeli ile araştırmış ve süre-maliyet ilişkisi Avustralya; R^2=0,58, ABD; R^2=0,34 olarak tespit edilmiştir. Her iki ülke de uluslararası ölçekte İGE açısından Türkiye'ye göre üst sıralarda yer alsa dahi (hdr.undp.org, 2018) Türkiye şartlarında özel sektör sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisi bu çalışmada R^2=0,74 olarak daha yüksek seviyede tespit edilmiştir.

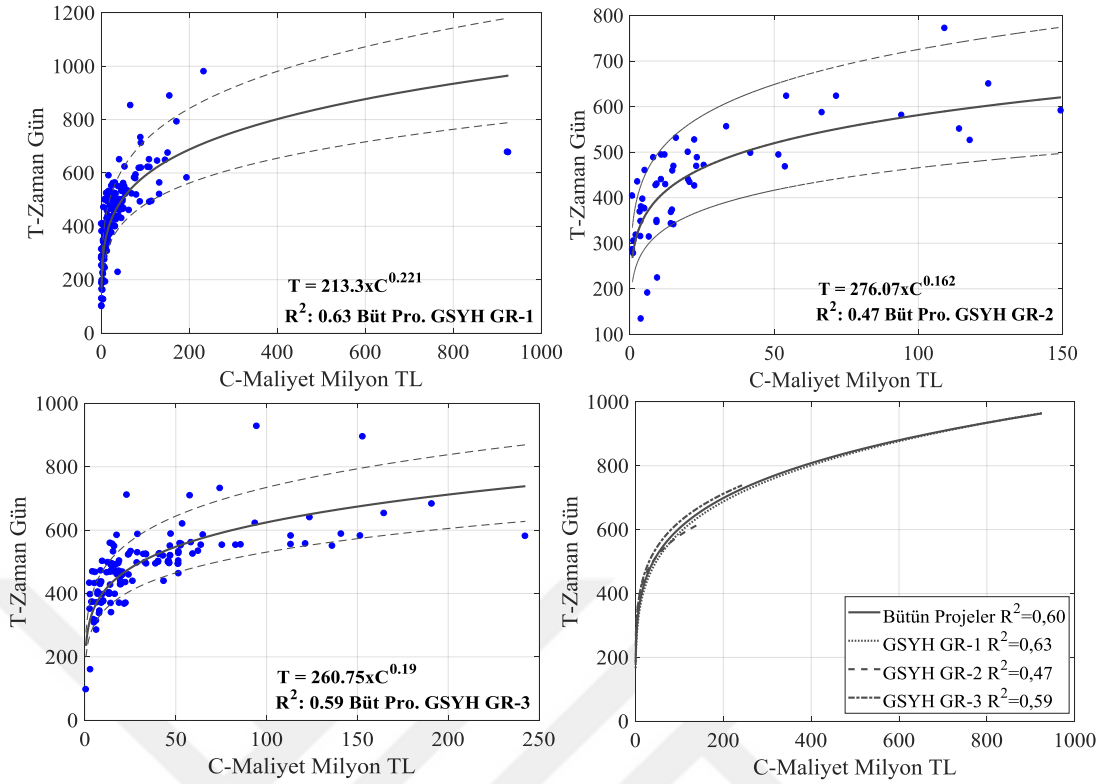


Şekil 4.23. Sanayi projeleri-insani gelişmişlik endeksi- BTC model grafikleri

Bu durumun, Türkiye'de küçük ve orta ölçekli sanayi yatırımcılarının sektörde yaşanan belirsizlikler sebebi ile tesisin bir an önce devreye girmesi (Akyüksek ve Biçen, 2017) konusundaki baskıları ile ilişkili olduğu bu çalışma kapsamında değerlendirilmektedir.

4.3.2.19. Gayri safi yurtiçi hasılanın bütün projelerdeki süre-maliyet ilişkisine etkisi

GSYH'da yaşanan daralma ya da genişleme; inşaat sektörünün iş hacmini ve inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisini etkileyebilmektedir (Tse ve Ganesan, 1997; Yiu ve ark., 2010; Berk ve Biçen, 2017). Diğer taraftan, İGE parametresi her ne kadar GSYH parametresini kapsıyor olsa da (Baradan ve ark., 2019), GSYH parametresi, inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkilerini ve nakit akışlarını doğrudan etkileyen bir parametre olduğu için bu çalışma kapsamında ayrıca değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, veri setinde yer alan bütün projelerin süre-maliyet ilişkileri GSYH parametresi dikkate alınarak BTC modeli ile incelenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4.24.'te gösterilmiştir.



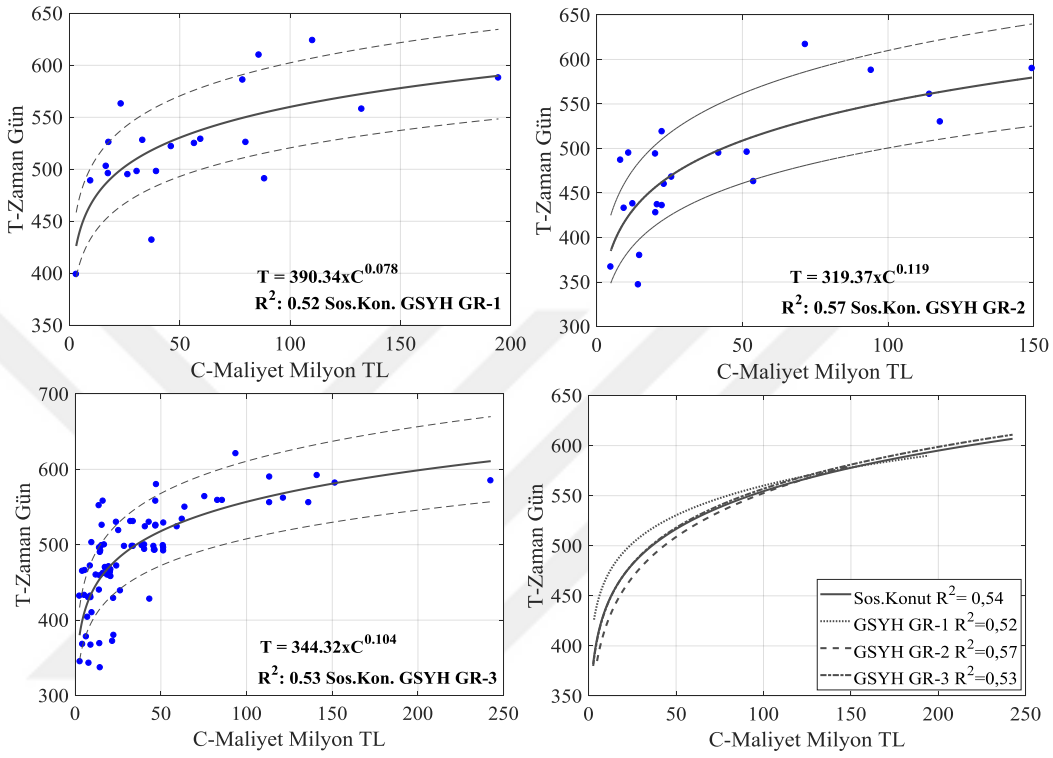
Şekil 4.24. Bütün projeler-gayri safi yurtiçi hasıla endeksi- BTC model grafikleri

GSYH'ın farklı düzeyde olduğu bölgelerde projelerin süre-maliyet ilişkisinin BTC modeli ile açıklanabildiği Şekil 4.24.'den anlaşılmaktadır. GSYH düzeyi en yüksek olan ve 1. grupta bulunan illerdeki projelerin diğer iki gruba kıyasla çok daha yüksek maliyetlere sahip olduğu ve daha uzun sürelerde gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Devam eden bölümlerde GSYH parametresinin yapı türlerinin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkileri araştırılmış ve bulguları detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

4.3.2.20. Gayri safi yurtiçi hasılanın TOKİ sosyal konut projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi

TOKİ sosyal konut projelerinin süre-maliyet ilişkisi, gayri safi yurtiçi hasıla parametresi dikkate alınarak incelenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4.25.'te gösterilmiştir. TOKİ sosyal konut projeleri özelinde GSYH'ın farklı olduğu üç ayrı grup açısından da süre-maliyet ilişkisinin düşük düzeyde de olsa BTC modeli ile açıklanabildiği Şekil 4.25.'den anlaşılmaktadır. Kaka ve Price (1991), İngiltere'de kamuya ait konut projelerinin süre-maliyet ilişkisini araştırmış ve açıklama düzeyini R2=0,58 olarak elde etmiştir. Diğer taraftan İngiltere, GSYH sıralamasında

Türkiye'ye kıyasla daha üst sıralarda bulunmasına karşın (hdr.undp.org, 2018), bu çalışmada GSYH parametresi dikkate alınarak yapılan süre-maliyet analizlerinde TOKİ sosyal konut projelerinin süre-maliyet ilişkisi, Kaka ve Price (1991)'ın çalışmasına benzer düzeyde elde edilmiştir.



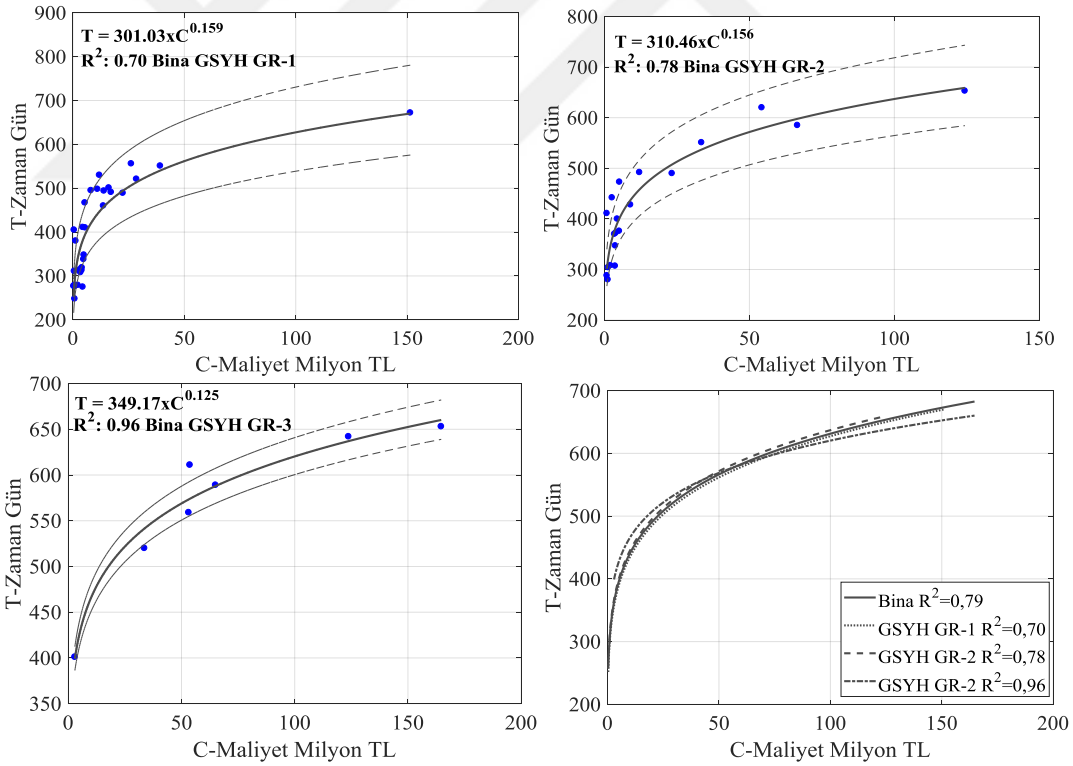
Şekil 4.25. TOKİ sosyal konut projeleri-gayri safi yurtiçi hasıla endeksi- BTC model grafikleri

Sonuç olarak, TOKİ sosyal konut projelerinin Türkiye'de düşük gelirli ailelere konut arzının sağlanması politikası kapsamında (Akyüksek ve Biçen, 2017) devlet destekli olarak inşa edilmesi sebebi ile GYSH parametresinin bu yapı grubunun süre-maliyet ilişkisi üzerinde bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

4.3.2.21. Gayri safi yurtiçi hasılanın bina projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi

Tekil bina projeleri gayri safi yurtiçi hasıla parametresi dikkate alınarak analiz edilmiş ve elde edilen süre-maliyet ilişkileri Şekil 4.26.'da gösterilmiştir. GSYH parametresinin farklı düzeyde olduğu her üç bölgede de tekil bina projelerinin süre maliyet ilişkisinin BTC modeli ile yüksek düzeyde açıklanabildiği Şekil 4.26.'dan anlaşılmaktadır. Ancak, GSYH'ın en düşük düzeyde olduğu 3. grupta bulunan

illerdeki projelerin süre-maliyet ilişkisinin (R^2= 0,96) diğer gruplarda yer alan projelere (1. Grup için R^2= 0,70, 2. Grup için R^2= 0,78) kıyasla yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, GSYH açısından Türkiye'ye kıyasla daha üst sırada bulunan Slovakya'da (hdr.undp.org, 2018), özel sektör bina projelerinin süre-maliyet ilişkisini araştıran Mackovaa ve ark. (2017) bu çalışmaya benzer sonuçlar (R^2=0,81) elde etmiştir. Ancak, Mackovaa ve ark. (2017)'nın çalışmasından farklı olarak bu çalışmada özel sektör bina projelerinin süre-maliyet ilişkisi Türkiye şartlarında GSYH açısından farklı düzeylerde olan bölgelerde ayrıca araştırılmıştır. Bu bağlamda; veri seti içerisinde yer alan özel sektör bina projelerinin tamamı bölgesel ayrım olmadan BTC modelinden istifade edilerek araştırılmış ve süre-maliyet ilişkisi R^2=0,79 seviyesinde elde edilmiştir. Ancak, aynı projeler GSYH parametresi dikkate alınarak BTC modeli ile analiz edildiğinde süre-maliyet ilişkileri R^2=0,70-0,78-0,96 seviyelerinde farklılaşmıştır.



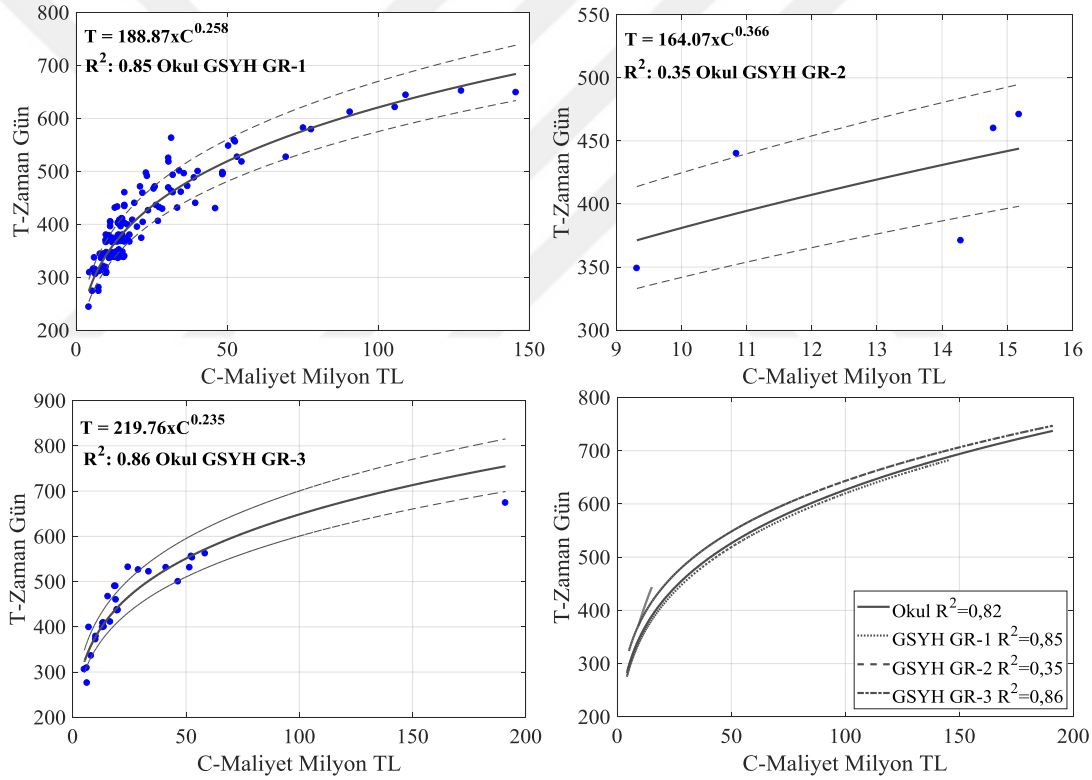
Şekil 4.26. Bina projeleri-gayri safi yurtiçi hasıla endeksi- BTC model grafikleri

Özel sektör tarafından müşteri taleplerine istinaden inşa edilen bina projelerinde geleneksel anlamda ödemelerin proje tamamlanma evresinde yapılan konut satışları ile karşılanmaktadır (Kenley, 2003). Bu bağlamda, bina projelerinin son kullanıcı

talepleri üzerine gerçekleştirilmesi sebebi ile gelir düzeyi yüksek olan bölgelerde projelerin planlanan süre ve maliyette tamamlanması için yüksek nakit akış oranı ile finanse edildiği değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, GSYH parametresinin özel sektör bünyesinde gerçekleştirilen tekil bina projelerinin süre-maliyet ilişkisinin açıklanmasında belirleyici bir etken olduğu tespit edilmiştir.

4.3.2.22. Gayri safi yurtiçi hasılanın okul projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi

okul projelerinin süre-maliyet ilişkisi gayri safi yurtiçi hasıla parametresi dikkate alınarak incelenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4.27.'de gösterilmiştir.



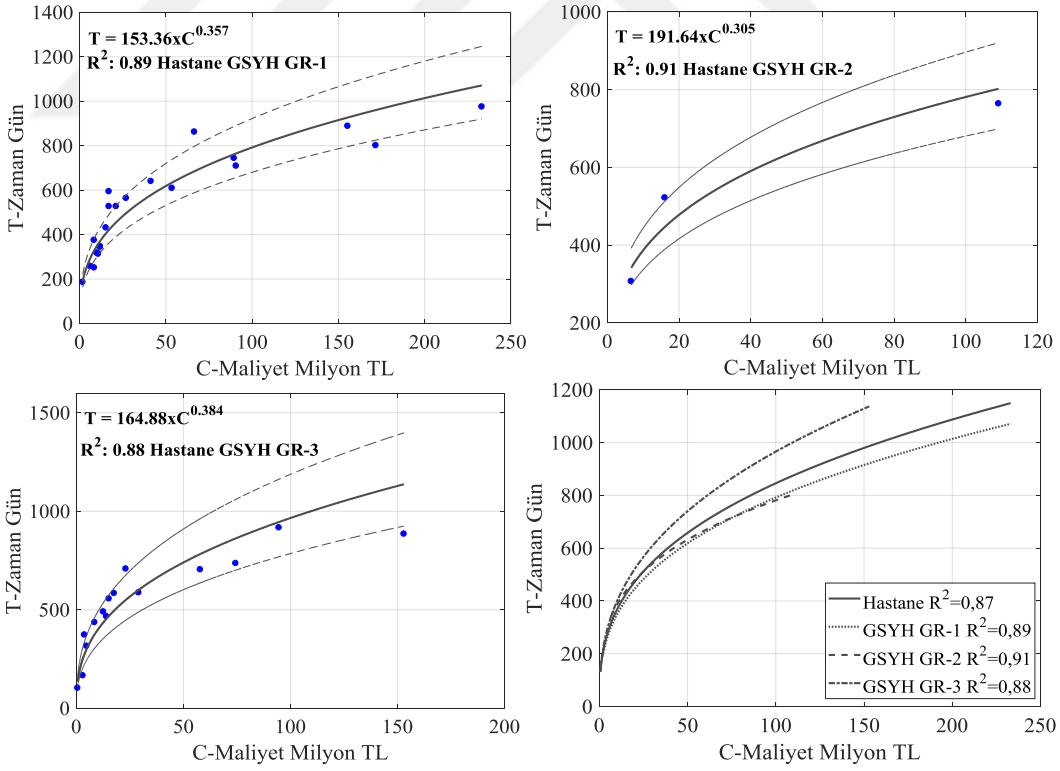
Şekil 4.27. Okul projeleri-gayri safi yurtiçi hasıla endeksi- BTC model grafikleri

Choudhury (2012), Teksas eğitim yapılarının süre-maliyet ilişkisinin BTC modeli ile yüksek düzeyde (R^2= 0,74) açıklanabildiğini belirtmiştir. Bu çalışmada da okul projelerinin süre-maliyet ilişkisi (R^2= 0,82), Choudhury (2012)'nin çalışmasına benzer düzeyde elde edilmiştir. Diğer taraftan, Odabaşı (2009), Ankara'da ki eğitim binalarını incelediği çalışmasında projelerin süre-maliyet ilişkisini BTC modeli ile R^2=0,93 olarak belirlerken bu çalışmada Ankara'nın da içerisinde bulunduğu ve GYSH

açısından 1. Grup da yer alan projelerin (Tablo 4.5.) süre-maliyet ilişkisi BTC modeli ile R^2=0,85 olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar Odabaşı (2009)'nın çalışmasındaki bulgular ile benzerlik göstermektedir. Diğer taraftan, veri setinde yer alan eğitim projeleri GSYH parametresi dikkate alınarak analiz edildiğinde projeler arasında süre-maliyet ilişkisi zayıf olan yapı grupları bölgesel olarak ayrışarak diğer gruplarda R^2=0,82'nin üzerinde açıklama düzeyleri tespit edilmiştir. Bu bağlamda, GYSH parametresinin Türkiye'de gerçekleştirilen eğitim yapılarının süre-maliyet ilişkisi üzerinde belirleyici bir etkisi olduğu tespit edilmiştir.

4.3.2.23. Gayri safi yurtiçi hasılanın hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi

Hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisi gayri safi yurtiçi hasıla parametresi dikkate alınarak incelenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4.28.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Hastane projeleri-gayri safi yurtiçi hasıla endeksi- BTC model grafikleri

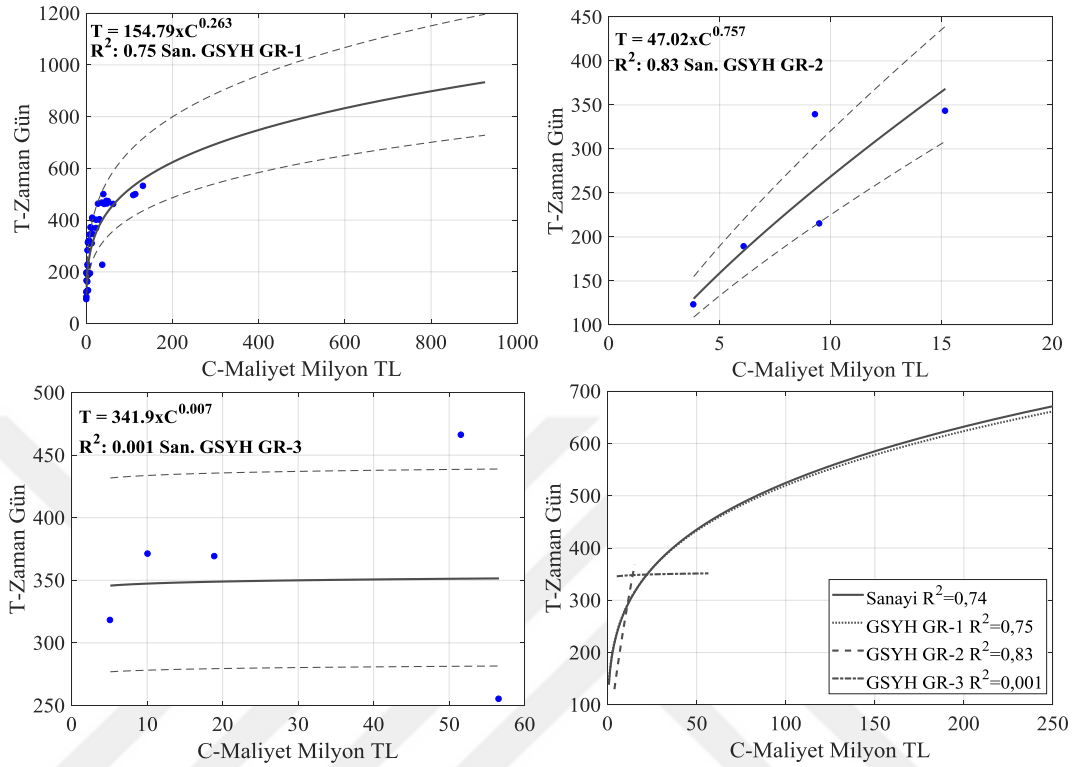
GSYH'ın farklı düzeyde olduğu her üç grupta bulunan projelerin süre-maliyet ilişkisinin BTC modeli ile yüksek düzeyde açıklanabildiği tespit edilmiştir (R^2=0,89-

0,91-0,88). GSYH açısından düşük düzeyde bulunan illerin nüfusunun az olması sebebi ile hastane yatırımlarının düşük kapasiteli olarak planlanmaktadır (Gülel ve ark., 2017). Bu bağlamda, İGE parametresinde olduğu gibi GSYH açısından da en yüksek düzeye sahip olan bölgelerdeki hastane projelerinin sözleşme tutarlarının diğer gruplara kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. GSYH açısından düşük düzeyde bulunan bölgelerde inşa edilen benzer maliyetli hastane projelerinin ise diğer gruplarda yer alan projelere göre daha uzun sürede tamamlanabildiği Şekil 4.28.'den anlaşılmaktadır. Baradan ve ark. (2019), İGE ile GSYH parametreleri arasında R^2=0,78 seviyesinde yüksek bir ilişki olduğunu belirtirken, GYSH'ın da İGE endeksinin hesaplanmasında kullanılan bir parametre olduğu bilinmektedir (Gülel ve ark, 2017). Bu bilgiler ışığında, gelir seviyesinin insani gelişmişlik ile doğrudan ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, Choudhury ve ark. (2002), bu çalışmada olduğu gibi kamu ve özel sektöre ait hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisini araştırmış ve bu ilişkisinin açıklama düzeyini R^2=0,65 olarak tespit etmiştir. Bu çalışmada ise Choudhury ve ark. (2002)'nın çalışmasından farklı olarak Türkiye'nin farklı bölgelerinde GSYH kapsamında hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisi araştırılmış ve süre-maliyet ilişkisinin açıklama düzeyi Choudhury ve ark. (2002)'nın bulgularına göre daha yüksek düzeyde elde edilmiştir. GSYH etkisi dikkate alınarak hastane projelerinin BTC modeli ile yapılan analizlerinde Şekil 4.28.'den görüleceği üzere eğrilerde ayrışmalar tespit edilirken, açıklama düzeylerinin gruplama sonrasında daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır (R^2=0,89-0,91-0,88). Sonuç olarak, hastane projelerinin Kırbaş (2012)'ın da belirttiği üzere bölgesel ayrım olmadan tıbbi gereksinimlere göre bütün bölgelerde benzer standartlarla inşa edilmesi sebebi ile GSYH parametresinin hastane projelerinin süre-maliyet ilişkilerinin açıklanmasında belirleyici bir parametre olduğu tespit edilmiştir.

4.3.2.24. Gayri safi yurtiçi hasılanın sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisine etkisi

Sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisi gayri safi yurtiçi hasıla parametresi dikkate alınarak incelenmiş ve analiz sonuçları Şekil 4.29.'da gösterilmiştir. Sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisinin BTC modeli ile 1. grup (R^2= 0,75) ve 2. grup (R^2=

0,83) projelerde açıklanabildiği görülürken, 3. grup projelerde ise modelin açıklama düzeyi oldukça düşük seviye elde edilmiştir (R^2= 0,001).



Şekil 4.29. Sanayi projeleri-gayri safi yurtiçi hasıla endeksi- BTC model grafikleri

Ng ve Skitmore (2000), Avustralya'da sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisini BTC modeli ile R^2=0,58 seviyesinde belirlerken, Hoffman ve ark. (2006), ABD'deki sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisini R^2=0,34 olarak tespit etmiştir. Bu çalışmada sanayi projelerinin tamamı BTC modeli ile analiz edildiğinde süre-maliyet ilişkisinin R^2=0,74 düzeyinde olduğu Şekil 4.29.'dan anlaşılmaktadır. Avustralya ve ABD; GSYH (hdr.undp.org, 2018) açısından Türkiye'ye kıyasla oldukça üst sıralarda yer alsa dahi, Türkiye'de gerçekleştirilen sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisi Ng ve Skitmore (2000) ve Hoffman ve ark. (2006)'na göre daha yüksek seviyede elde edilmiştir. Türkiye'de küçük ve orta ölçekli sanayi yatırımcılarının sektörde yaşanan belirsizlikler sebebi ile tesisin, planlama sürecindeki kurgusundan sapmaması için özellikle finansal anlamda birtakım önlemler almaktadır (Akyüksek ve Biçen, 2017). Bu bağlamda, sanayi yatırımcılarının kur riskinden korunmada kullanılan temel araçlardan hedging, futures, forward, swap ve opsiyon sözleşmeleri vb. türev ürünlerden faydalanarak

proje öncesi safhalarda bir takım finansal önlemler alarak projelerin planlanan şekilde tamamlanmasını sağladığı değerlendirilmektedir (Aksüyek ve Biçen, 2017).

4.3.3. Yapay sinir ağları ile projelerin tamamlanma süresinin tahmini

Türkiye'de üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisinin araştırıldığı bu çalışmada veri setinde yer alan projeler öncelikli olarak BTC Modeli ile analiz edilmiş ve elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Önceki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanan BTC modeli ile projelerin tamamlanma süreleri; proje maliyetlerine göre enflasyon etkisi de dikkate alınarak tahmin edilebilmektedir. Ireland (1985), Ojo, (2001), Ogunsemi ve Jagboro (2006), Kumaraswamy ve Chan (1995) ve Kenley (2003)'nin de belirttiği üzere; inşaat projelerinin tamamlanma süreleri sektördeki belirsizliklerden, ekonomik koşullardan ve proje türü gibi bir dizi faktörden etkilenmektedir. Bu sebeple çalışma kapsamında Yapı türü, Döviz Kuru, Çalışılmayan gün sayıları, İGE ve GYSH parametreleri BTC modeline yansıtılarak analizler gerçekleştirilmiş ve projelerin tamamlanma süreleri ile süre-maliyet ilişkileri arasındaki açıklama düzeyleri tespit edilmiştir. Ancak, BTC modelinin yapısından dolayı bu parametreler bir bütün olarak modele yansıtılamamaktadır. Bu bağlamda, her bir parametrenin proje tamamlanma süresi ve süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkisi önceki bölümlerde ayrı ayrı araştırılmış ve etkileri tespit edildikten sonra; Yapı Türü, Proje Maliyeti, Çalışılmayan Gün Sayısı, GYSH ve İGE verilerinden istifade edilerek Yapay Sinir Ağları ile "Projelerin Tamamlanma Sürelerini" tahmin edebilen bir model oluşturulmuştur.

Bu bağlamda, bu çalışmanın amacı; sektörde faaliyet gösteren yatırımcı, işveren ve yüklenici firmaların ihale öncesi safhalarda ek bir çaba sarf etmeden istifade edebileceği; projelerin tamamlanma sürelerini tahmin edebilen bir karar destek sisteminin geliştirilmesidir. YSA modeli; öğrenme ve test olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle ağın öğrenme süreci gerçekleşmiş, YSA istenen hata düzeyine getirildikten sonra test seti ile sınanmıştır. Bu bağlamda, öncelikle ağın öğrenme aşaması açıklanmış ve devam eden bölümlerde test sonuçları değerlendirilmiştir.

4.3.3.1. Önerilen yapay sinir ağları modeli ve veri seti

Bu bölümde, YSA ile oluşturulan süre-maliyet ilişkisi açıklanacaktır. Sinir ağının yazılı formu için; Ghaboussi ve Sidarta (1997), Ghaboussi ve Lin (1998) ve Ghaboussi ve ark. (1998)'nın önerdiği sembolik gösterim kullanılmıştır. Eşitlik (4.5.)'de YSA'nın yazılı formu gösterilmektedir.

$$f = NN(\{Girdi\ Parametreleri\}:\{YSA\ Mimarisi\}) \quad (4.5)$$

Burada *NN*, çok katmanlı ileri beslemeli bir sinir ağının çıktısını gösterirken, *f* vektörü ise YSA'nın çıktısıdır. İlk argüman alanı YSA'nın girdi birimlerini açıklarken, ikinci argüman alanı sinir ağının yapısını (Girdi katmanı, gizli katman, işlem sayısı vb.) ifade etmektedir. Bu kriterler ışığında, modelin ana girdileri Yapı Türü, Çalışılmayan Gün Sayısı, İnsani Gelişmişlik Endeksi, GSYH, ÜFE endeksi yardımı ile Nisan 2018 yılına eskale edilmiş projenin gerçek tamamlanma tutarı olarak tespit edilmiştir. Modelin ana çıktısı ise girdilere baz olarak "Projelerin Gerçek Tamamlanma Süresidir".

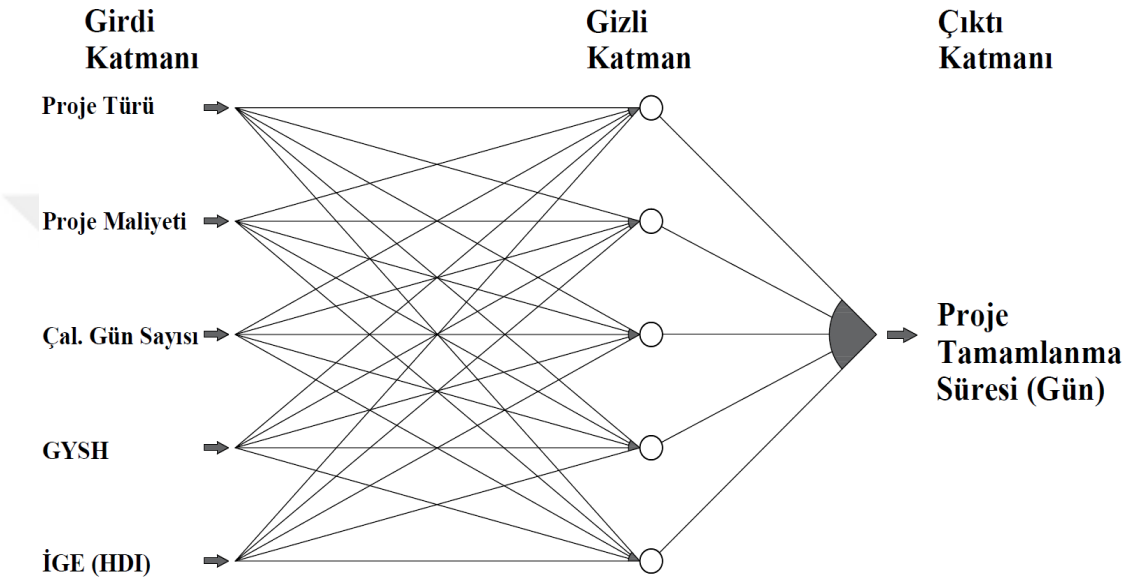
Bu bağlamda, Ghaboussi ve Sidarta (1997), Ghaboussi ve Lin (1998) ve Ghaboussi ve ark. (1998)'in önerdiği gösterimden istifade edilerek bu çalışma için önerilen YSA modeli Eşitlik 4.6.'da gösterilmiştir.

$$y_e = NN(\{p_t, p_c, n, g, h\}:\{5, n_{h(5)}, 1\}) \quad (4.6)$$

Burada; *pt* yapı türünü, p_c proje maliyetini (*Milyon TL*) , *n* çalışılamayan gün sayısını (Gün), *g* GYSH parametresini, *h* ise İGE endeksini ifade ederken çıktı birimi olarak belirtilen y_e; projelerin toplam tamamlanacağı süreyi takvim günü olarak göstermektedir. İkinci argüman alanının elemanları sırasıyla; girdi birimlerinin sayısını, gizli katman düğümlerinin sayısını (*nh*) ve çıktı biriminin sayısını belirtmektedir.

Oluşturulan modelde kullanılan veriler sözleşme safhasından yapının devam eden süresi boyunca tutulacak kayıtlar ile kolaylıkla elde edilebilecek niteliktedir. Ancak, projelerin ortalama tamamlanma süreleri dikkate alındığında, bu verilerin

kullanılabilir olması açısından kayıtların, proje yaşam döngüsü boyunca titizlikle muhafaza edilmesi ve arşivlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle önerilen yöntem hemen her büyüklükteki işveren-müteahhit ve yüklenici firma için ihale öncesinde projelerin yaklaşık tamamlanma sürelerinin tespitinde kullanılabileceği değerlendirilmektedir. YSA modelinde kullanılan girdi ve çıktı birimleri Şekil 4.30. ve Tablo 4.9. 'da gösterilmektedir.



Şekil 4.30. YSA ağ mimarisi

Gerek girdi birimlerinin seçiminde gerekse çıktı birimlerinin uygulamaya yönelik olması ile ilgili olarak araştırmacıların uzun yıllara dayanan konu ile ilgili tecrübeleri ve BTC modeli ile yapılan analizler ışığında karar verilmiştir. Seçilen parametrelerin tanımları ve seçim kriterleri devam eden bölümlerde açıklanmıştır.

Tablo 4.9. YSA modeli girdi ve çıktıları

Girdi/Çıktı	Parametre
Girdi 1	Proje Türü
Girdi 2	Proje Maliyeti (Nisan 2018) (Mil. TL)
Girdi 3	Çal. Gün Sayısı (0-60-75-90-105-120-165 gün)
Girdi 4	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (0,01-1,00)
Girdi 5	İnsani Gelişmişlik Endeksi (0,035-0,817)
Çıktı	Proje Tamamlanma Süresi (Gün)

Yapıların karakteristik özelliklerinden dolayı veri setinde bulunan altı yapı türü oluşturulan YSA modelinde ayrı ayrı tanımlanmış ve her yapı grubu için 1'den 6'ya kadar kategorik bir değer atanarak Tablo 4.10.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Yapı türü parametresine verilen değerler

Yapı Türü	Değer
TOKİ Afet Konutları	1
TOKİ Sosyal Konutları	2
Hastane	3
Okul	4
Bina	5
Sanayi	6

YSA modeli için kullanılacak girdi ve çıktı birimlerinin en yüksek- en düşük değerleri ile aralıkları Tablo 4.11.'de gösterilmiştir. Ancak bu verileri doğrudan YSA analizlerinde kullanmanın imkanı bulunmamaktadır. Bu kapsamda veri setinde yer alan bütün değerler normalize edilmiştir. Normalizasyon işlemi sonrasında veri seti kendi içinde ölçeklendirilerek, tüm değerler (0-1) arasında modele dahil edilmiştir. Bu çalışmada Eşitlik 4.7. kullanılarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

$$Norm(x_i) = (x_i - x_{imin})/range \quad (4.7)$$

Tablo 4.11. YSA veri seti en yüksek- en düşük değerler

Veri	Girdi(Input)/ Çıktı (Output)	En Düşük	En Yüksek	Aralık(Range)
Girdi 1	Proje Türü	1,00	6,00	5,00
Girdi 2	Proje Maliyeti (Nisan 2018)(Mil. TL)	0,32	925,33	149,28
Girdi 3	Çal. Gün Sayısı (Gün)	0	165	165
Girdi 4	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla	0,01	1,00	0,99
Girdi 5	İllere Göre İnsani Gelişmişlik Endeksi	0,035	0,817	0,782
Çıktı	Proje Tamamlanma Süresi (Gün)	145,00	1200,00	1055,00

Önerilen Sinir Ağında kullanılan girdi ve çıktı birimleri Tablo 4.11.'de gösterilen şekilde belirlenmiştir. Girdi ve çıktı birimleri belirlenirken öncelikli olarak seçilen parametrelerin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkileri BTC modeli ile sınanmıştır. Diğer taraftan, YSA mimarisi oluşturulurken inşaat projelerinin temel süre ve maliyet verileri dışında ilave dış faktör verileri olarak, döviz kurları (Akyüksek ve Biçen, 2017), çalışılamayan gün sayısı (Halpin, 2005), insani gelişmişlik endeksi (Jarkas, 2016) ve gayri safi yurtiçi hasıla (Tse ve Ganesan, 1997; Yiu ve ark., 2010; Berk ve Biçen, 2017) gibi daha önceden araştırılmamış ancak diğer araştırmacılar tarafından araştırılması önerilen parametrelerin, üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkileri bu çalışmada dikkate alınmıştır. Bu bağlamda; Kumaraswamy ve Chan (1995) inşaat süresinin, projenin gerçekleştirildiği bölgeden etkilendiğini

belirtirken, Kenley (2003) ise sonraki çalışmalarda araştırmacıların, proje sınıflandırmalarının anlamlarının ve tahmin modellerindeki rollerinin ele alınmasını önermiştir. Bu bağlamda;

Proje Türü (Girdi 1); Bu çalışma kapsamında veri seti içerisinde Toki Afet, Toki Sosyal Konut, Tekil Bina, Okul, Sanayi, Hastane projeleri olmak üzere altı farklı yapı türü yer almaktadır. Her bir proje türünün karakteristik ve teknik özeliklerinin olduğu da bilinmektedir (Sönmez, 2009). Ayrıca, Kenley (2003), gelecek çalışmalarda araştırmacıların, proje sınıflandırmalarının anlamlarının ve tahmin modellerindeki rollerinin ele alınmasını önermiştir. Diğer taraftan, bu çalışmada gerçekleştirilen BTC analizlerinde bütün yapı türlerinin süre-maliyet ilişkisi farklı düzeylerde elde edilerek Kenley (2003)'nin öne sürdüğü argüman doğrulanmıştır. Bu bağlamda, veri setinde yer alan projeleri YSA mimarisine girdi olarak dahil edebilmek için yapı türlerine 1-6'ya kadar kategorik değerler atanmış ve farklı yapı türlerinin proje tamamlanma süreleri üzerindeki etkisinin önerilen sinir ağı modeline yansıtılması amaçlanmıştır.

Proje Maliyeti (Girdi 2); Veri seti içerisinde yer alan projelerin sözleşme tutarlarının 0,32 Milyon TL ile 925,33 Milyon TL aralığında değiştiği Tablo 4.11.'den anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, en kısa proje süresi 145 takvim günü iken en uzun proje süresi 1200 takvim günüdür. Kısaca özetlemek gerekirse veri setinde yer alan altı farklı proje türü, sözleşme tutarı ve süresi açısından değişkenlik göstermektedir. Bu bağlamda, farklı büyüklükteki projelerin etkisinin projelerin tamamlanma süreleri üzerindeki etkisini Bromilow (1969)'un da önerdiği şekilde YSA modeline yansıtabilmek için proje maliyeti verisi önerilen YSA mimarisine girdi olarak dahil edilmiştir. Proje maliyeti, ihale safhasında veya sözleşme sürecinde yatırımcı ve yüklenici firmaların maliyet analizlerinden temin edilebilmektedir.

Çalışılmayan Gün Sayısı (Girdi 3); İnşaat projelerinde özellikle olumsuz hava şartlarına bağlı olarak çalışılamayan günler olabilmektedir. Bu durum, yatırımcı veya yüklenicinin kontrolü dışında sözleşme sürelerinde gecikmelerin yaşanmasına zemin hazırlamaktadır. Ancak, sözleşme süresi belirlenirken proje paydaşlarının çalışılamayan gün sayılarını dikkate alması gerekmektedir (Halpin, 2005). Bu sebeple, inşaat projelerinde süreye etki eden çalışılamayan gün sayısının, projelerin

tamamlanma sürelerinin tahmini için önerilen YSA mimarisine dahil edilmiştir. Veri setinde yer alan projelerin gerçekleştirildiği illere göre çalışılmayan gün sayısı verisi Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (1982) tarafından yayımlanmış genelgeden temin edilebilmektedir. Ayrıca, önceki bölümlerde yer alan Tablo 4.2.'de illere göre "0, 60, 75, 90, 105, 120, 135 ve 165" gün aralığında değişen çalışılmayan gün sayıları yer almaktadır.

Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH) (Girdi 4); Gayri Safi Yurt İçi Hasıla'da yaşanan değişimlerin inşaat projelerinin süre ve maliyetleri üzerinde etkili olduğu ve GSYH'da yaşanan daralma ya da genişlemenin inşaat projelerinin toplam tamamlanma süresini ve nakit akışlarını etkilediği bilinmektedir (Tse ve Ganesan, 1997; Yiu ve ark., 2010; Berk ve Biçen, 2017). Aslında İGE her ne kadar GSYH parametresini kapsıyor olsa da (Baradan ve ark., 2019), GSYH inşaat maliyetlerini, nakit akışlarını ve dolayısı ile projenin tamamlanma süresini doğrudan etkileyen bir faktör olduğu değerlendirilerek bu çalışma kapsamında ayrıca analizlere dahil edilmiştir. GYSH verisi TUİK, (2018) web sitesinden doğrudan temin edilebilmektedir.

İnsani Gelişmişlik Endeksi (İGE) (Girdi 5); İnsani Gelişmişlik Endeksi, dolaylı veya doğrudan inşaat projelerinin yönetiminde etkili olan bir faktördür. Bir ülkenin sağlık, eğitim ve gelir düzeyinin her alanda olduğu gibi inşaat sektörü üzerinde de etkisi bulunmaktadır. İnşaat sektöründe İGE düzeyi düşük ülkelerde iş kazalarının daha fazla olabildiği görülmektedir (Baradan ve ark., 2019). Bu gibi durumların inşaat projelerini maliyet ve süre olarak etkilemesi kaçınılmaz hale gelmektedir. Diğer taraftan Jarkas (2016), iş gücü özellikleri, yasal etkenler, politik, kültürel ve sosyoekonomik özellikler gibi faktörlerin inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkilerinin araştırılmasının önemini vurgulamıştır. Bu bağlamda, İGE parametresi bu çalışma kapsamında inşaat projelerinin tamamlanma süresinin tahmini için önerilen YSA mimarisine girdi olarak dahil edilmiştir. İGE verisi bu çalışmada Türkiye'de yer alan illere göre 2018 yılı için hesaplanarak önerilen YSA mimarisine adapte edilmiştir. Ayrıca İGE verisi bu çalışma kapsamında önceki bölümlerde Tablo 4.3.'de detaylı bir şekilde tanımlanmıştır.

Proje Tamamlanma Süresi (Çıktı); Proje tamamlanma süresi çalışmanın bu bölümünde önerilen Yapay Sinir Ağı modelinin ana çıktısıdır. Önerilen ağ mimarisinde beş farklı girdi birimi kullanılarak (Yapı Türü, Proje Maliyeti, Çalışılmayan Gün Sayısı, İGE ve GSYH) projelerin tamamlanma süresinin takvim günü olarak elde edilmesi bu çalışma kapsamında hedeflenmiştir. Ayrıca, bu bölümde YSA ile tahmin edilen projelerin tamamlanma süresi Bölüm 4.4.4'de projelerin nakit akışlarını tahmin edebilmek için önerilen Yapay Sinir Ağları modelinde girdi olarak kullanılarak, Türkiye'de üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisinin tespiti amacı ile bütünleşik bir karar destek sistemi önerilmiştir.

4.3.3.2. YSA eğitim süreci

Oluşturulan sinir ağını eğitmek için, toplam 501 adet üstyapı proje verisinden 450 adeti kullanılırken, rastgele seçilen 51 proje ise modeli test etmek için ayrılmıştır. Gizli katmandaki nöron sayısının ve aktivasyon fonksiyonunun etkisini gözlemlemek için bu parametreler değiştirilerek birtakım denemeler yapılmıştır. Her denemede 51 proje için oluşan mutlak hata değerleri, Eşitlik 4.8. ile hesaplanmıştır.

$$E(y_i) = |((y_{ai} - y_{ei})/y_{ai})| \tag{4.8}$$

Burada $E(y_i)$, i projesinin mutlak hatasını, y_{ai} i verisinin gerçek değerini gösterirken, y_{ei} i verisinin YSA ile tahmin edilen çıktı değerini göstermektedir. Ayrıca, n (bu çalışmada eğitim seti için n=450, test seti için n=51) her deneme için hatanın ortalama kök karesi (RMSE), Eşitlik 4.9. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE(n) = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(E_{yi}\right)^2} \tag{4.9}$$

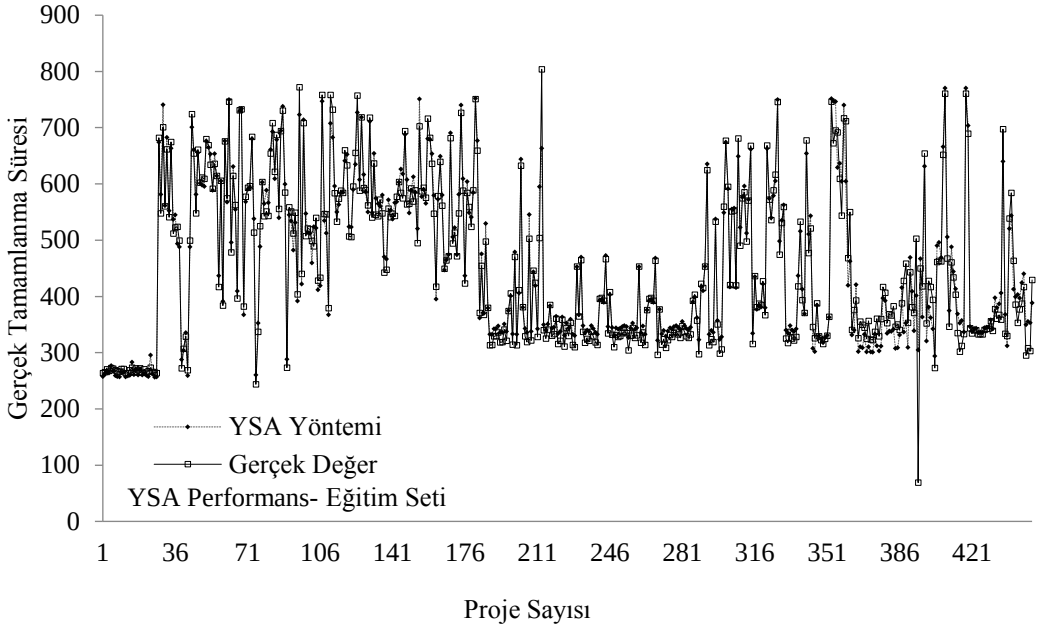
Hesaplanan hataların sistemin bütününü temsil etmesi açısından ve tek bir değer ile ifade edilmesi sonuçların kıyaslanabilir olması açısından önemli bir argümandır. Bu sebepten dolayı çalışma kapsamında RMSE (Root Mean Squared Eror) kullanılarak hata hesapları yapılmıştır (Chao ve Chien, 2009, Sönmez, 2009 ve Dikmen ve Sönmez, 2011).

Çalışma kapsamında Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları kullanılmıştır. Geri yayılım ağları, çok katmanlı perceptron ile benzer bir yapıdadırlar ve öğrenme aşamasında geri yayılma algoritmasından faydalanırlar. Nitekim, YSA ile yapılan denemeler sonucunda optimum çözümler geri yayılım algoritması ve sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile elde edilmiştir. Diğer yandan, YSA modeli eğitim safhasında, analizler sırasında oluşan hatalar hesaplandıktan sonra geri yayılım algoritması ile bu hatalar tekrar sisteme bölüştürülüp, sürekli iterasyon ile istenen hata düzeyine getirilmiştir. Ancak, belirli bir iterasyon sayısından sonra hata oranı daha fazla azalmamaktadır. Bu durum, ağın öğrenmesinin durduğunu ve daha iyi bir sonuca ulaşılamayacağı anlamına gelmektedir. Bu çalışmada Dikmen ve Sönmez (2011)'in önerdiği şekilde YSA eğitim sürecinde öğrenme oranı %70 seviyesinde tutularak sistem ezber mantığından arındırılmıştır. Denemeler sonucunda, öğrenme oranının yüksek düzeyde belirlenmesi, eğitim aşamasının çok verimli, fakat test aşamasının bir o kadar başarısız olmasına sebep olduğu tespit edilmiştir (Dikmen ve Sönmez, 2011).

Tablo 4.12.'de YSA modeli ile gerçekleştirilen analizler ve elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Tablo 4.12. incelendiğinde en yüksek tekil hata oranı %23,14 ve ortalama RMSE hata değeri %17,03 olarak tespit edilmiştir. YSA modeli ile en iyi sonuç 0.70 öğrenme oranı, 0.20 momentum katsayısı ile Tablo 4.12.'de yer alan en son adım (8) ile gerçekleşmiştir. Tablo 4.12.'de 8. Sırada yer alan değerler ile YSA eğitimi tamamlanmış ve eğitim için kullanılan 450 adet projenin gerçek-YSA tahmin değerleri Şekil 4.31.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.12. YSA analizleri ve karşılaştırmaları

Deneme	Öğrenme Ağı	Aktivasyon Fonksiyonu	Öğr. Oranı.	Momentum Katsayısı	MSE	İterasyon	Hid. Layer	Nöron (Hid.Lay)	Max. Hata	RMSE (Hata)
1	*İleri beslemeli GYA*	Sigmoid Symetric	0,80	0,60	0,00010	5.000.000	1,00	8,00	123,87%	26,88%
2		Sigmoid Symetric	0,80	0,60	0,00010	5.000.000	1,00	6,00	109,11%	24,46%
3		Sigmoid-Step	0,80	0,60	0,00010	5.000.000	1,00	5,00	89,70%	19,29%
4		Sigmoid-Step	0,80	0,60	0,00001	5.000.000	1,00	10,00	126,33%	21,50%
5		Sigmoid	0,70	0,80	0,00010	500.000	1,00	10,00	83,30%	19,60%
6		Sigmoid	0,70	0,40	0,00010	500.000	1,00	8,00	26,04%	21,16%
7		Sigmoid	0,70	0,50	0,00004	500.000	1,00	6,00	27,03%	17,40%
8		*Sigmoid*	*0,70*	*0,20*	*0,00005*	*5.000.000*	*1,00*	*5,00*	*23,14%*	*17,03%*



Şekil 4.31. Eğitim setinin YSA sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması

Önerilen YSA modelinin eğitimi, testi ve uygulaması için FANN (2018) isimli yazılımdan istifade edilmiştir. Bu yazılımın tercih sebebi kullanım kolaylığı ve ücretsiz olarak temin edilebilmesidir. Böylece, sınırlı bilgi teknolojilerine (IT) sahip küçük inşaat şirketlerinin dahi yazılıma doğrudan erişerek kullanabileceği değerlendirilmiştir.

4.3.3.3. YSA test performansı ve sonuçları

Bir yapay sinir ağının performansı daha önce hiç görmediği örneklere ürettiği sonuçların doğruluğu ile belirlenir. Bunun için ağı eğitmek üzere veri setinde bulunan projelerden rastgele seçilen bir bölümü eğitilmiş ağı test etmek için ayrılmıştır. Bazı durumlarda ağ eğitim sırasında verilen tüm örneklere doğru cevap üretse dahi test setindeki örneklere doğru cevap veremeyebilir. Ağın tahmin ettiği değerler ile beklenen değerler arasındaki farkın yüzde olarak ifadesi bir önceki bölümde açıklanmış olan Eşitlik 4.10. ve 4.11. hesaplanmıştır. Analizlerde kullanılan toplam 501 adet projeden 51 adeti test ve ağın performansını değerlendirmek için ayrıldığı daha önceden belirtilmiştir. 450 adet proje ile yapılan eğitim sonrasında sonra oluşturulan YSA modeli, yeni projeler için tahmin üretmeye hazırdır.

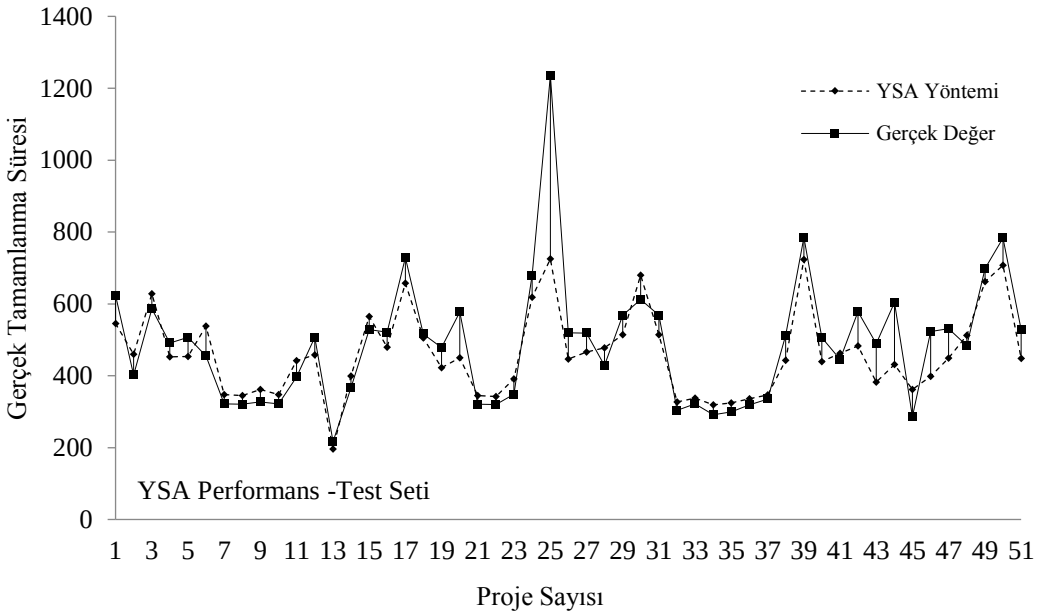
Tablo 4.13. RMSE ile hata hesabı- ağ performansı

Data No	YSA	Gerçek	% Hata YSA	YSA Hata²
1	196,26	217	9,36%	0,009
2	399,00	366	-9,02%	0,008
3	362,16	286	-26,51%	0,070
4	627,70	587	-7,00%	0,005
5	452,22	491	7,89%	0,006
6	453,28	507	10,66%	0,011
7	458,39	507	9,59%	0,009
8	479,25	521	8,09%	0,007
9	442,82	512	13,53%	0,018
10	545,34	624	12,56%	0,016
11	465,73	518	10,11%	0,010
12	538,11	456	-18,09%	0,033
13	657,66	729	9,73%	0,009
14	565,13	528	-6,97%	0,005
15	505,21	516	2,09%	0,000
16	422,56	478	11,62%	0,014
17	439,30	506	13,14%	0,017
18	449,64	577	22,08%	0,049
19	344,72	321	-7,45%	0,006
20	342,42	320	-6,93%	0,005
21	391,42	348	-12,48%	0,016
22	347,59	322	-8,07%	0,007
23	344,72	321	-7,45%	0,006
24	361,46	327	-10,43%	0,011
25	442,00	397	-11,43%	0,013
26	459,68	402	-14,40%	0,021
27	618,65	680	9,04%	0,008
28	724,99	1236	41,34%	0,171
29	477,66	428	-11,55%	0,013
30	723,58	785	7,85%	0,006
31	679,99	612	-11,10%	0,012
32	323,98	299	-8,18%	0,007
33	336,26	319	-5,32%	0,003
34	346,48	335	-3,47%	0,001
35	326,80	304	-7,46%	0,006
36	337,55	321	-5,07%	0,003
37	319,16	291	-9,51%	0,009
38	446,82	519	13,92%	0,019
39	398,41	523	23,81%	0,057
40	449,46	531	15,35%	0,024
41	431,02	604	28,63%	0,082
42	462,15	446	-3,73%	0,001
43	482,95	579	16,53%	0,027
44	382,02	489	21,94%	0,048
45	511,97	484	-5,85%	0,003
46	661,71	698	5,24%	0,003
47	707,71	783	9,67%	0,009
48	447,93	528	15,16%	0,023
49	347,59	322	-8,07%	0,007
50	344,72	321	-7,45%	0,006
51	514,14	569	9,61%	0,009
	ΣHata²			0,94
	ΣHata/n (51)			0,02
	RMSE (Hata)			13,55%

Analizler sonucunda, test seti için ayırılan 51 adet projeye ait RMSE hata değeri %13,55 olarak hesaplanmış ve Tablo 4.13.'te gösterilmiştir. Önceki çalışmalar bölümde de belirtildiği gibi veri setinin büyüklüğü YSA'ların eğitimi ve kurulan

modelin doğru sonuçlar vermesi açısından önemlidir. Petlíková ve Jarský (2017) YSA analizlerinde veri setinin mümkün olduğunca büyük olmasının, sonuçların çok daha doğru şekilde elde edilmesine katkı sağlayacağını ifade etmiştir.

Test sonuçları Şekil 4.32.'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 4.32.'den de görüleceği üzere gerçek değerler ile önerilen YSA modeli kullanılarak hesaplanan değerler birbirine oldukça yakındır. En büyük fark 25'nolu projede (test seti) %41,6 olarak oluşmuştur. Fakat bu fark sadece bir proje için gerçekleşmiştir. Diğer yandan, Tablo 4.13.'te gösterildiği üzere eğitim setinde hesaplanan ortalama hatanın %17,03 olmasına karşın test setinde oluşan ortalama hata %13,55 olarak tespit edilmiştir. Kısaca özetlemek gerekirse, oluşturulan ağ yeni projeler ile test edildiğinde, eğitim safhasındaki performansından %3,5 seviyesinde daha yüksek performans göstermiştir. YSA modelinin ürettiği tahminlerde, birtakım projelerde pik farklar oluştuğu Tablo 4.13. ve Şekil 4.32.'de görülmektedir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında oluşan pik farkların gelecek dönemde yapılacak yeni parametre araştırmaları ile daha düşük seviyelere çekilebileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 4.32. Test setinin YSA sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması

Test seti sonuçları incelendiğinde, RMSE ile hesaplanan ortalama hata %13,58 olarak elde edilse dahi 51 adet test seti projesinden 6 adedinin hata düzeyi %20'nin üzerinde

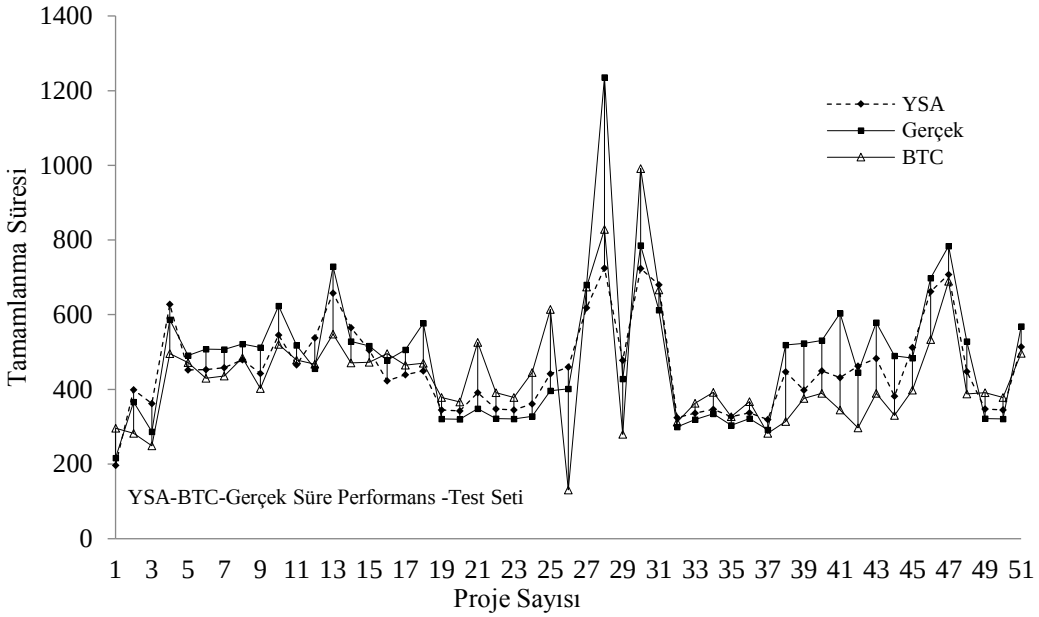
tespit edilmiştir. RMSE ile elde edilen değerler sonucunda, gelecek çalışmalarda benzer hata payları ile tahminlerin gerçekleşmesini beklemek hatalı bir yaklaşım olacaktır. Bunun yerine en büyük ve en küçük hata düzeyleri üzerinden sonuçları belirli bir aralıkta irdelemenin daha faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Sönmez (2009)'in belirttiği üzere yapı işlerindeki belirsizlikler de dikkate alındığında çalışma kapsamında önerilen ağın performansı ve hata düzeyinin kabul edilebilir düzeyde (%13,58 hata oranı) olduğu değerlendirilmektedir.

Çalışmanın bu bölümünde önerilen YSA modelinin çıktıları (projelerinin tamamlanma süresi), Tablo 4.15.'de (Bölüm 4.4.1.) yer alan yapı türlerine göre S-Eğrisi eşitliklerinde kullanılarak proje öncesi safhalarda nakit akışlarının tahmini açısından yatırımcı ve yüklenici firmalara bir fikir verebileceği değerlendirilmektedir. Diğer yandan, devam eden bölümlerde S-Eğrilerinin (proje ilerlemeleri) tahmini için önerilen YSA modeli açıklanmıştır. Projelerin tamamlanma sürelerinin tahmini için önerilen YSA modelinin çıktıları, Bölüm 4.4.4.'de nakit akışlarının (S-Eğrileri) tahmini için önerilen YSA modelinde girdi birimi olarak tanımlanmış ve çalışma sonucunda üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisini bütünleşik olarak ortaya koyan dinamik bir karar destek sistemi önerilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda bu çalışmanın; Türk inşaat sektöründe faaliyet gösteren işveren ve yüklenici firmaların ihale öncesi safhalarda projelerin süre tahmini ve nakit akışı planlamasına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

4.3.3.4. YSA modeli ve BTC modeli sonuçlarının karşılaştırılması

Veri setinde yer alan projelerin; gerçek ve çalışma kapsamında önerilen modeller (BTC- YSA) ile tahmin edilen tamamlanma süreleri, RMSE hata oranları ile birlikte Şekil 4.33. ve Tablo 4.14.'te gösterilmiştir. Tablo 4.14.'den ve Şekil 4.33.'den de görüleceği üzere YSA ile hesaplanan ortalama hata oranı %13,55 iken, BTC Modeli ile hesaplanan ortalama hata %25,12'dir. Ancak, BTC modeli ile test setinde yer alan projelerin tamamlanma süreleri hesaplandığında tekil projelerde %60 düzeyinde hata oranları tespit edilmiş ve Şekil 4.14.'de gösterilmiştir. Petruseva ve ark. (2013), özel sektör kapsamında gerçekleştirilen tekil bina projelerinin süre-maliyet ilişkisini YSA ve BTC modellerinden istifade ederek araştırmış ve YSA modelinin ($R^2 = 0{,}97$)

tahmin gücünün, BTC modeline ($R^2 = 0{,}73$) kıyasla daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmada da Petruseva ve ark. (2013)'nın çalışmasına benzer şekilde YSA modelinin, BTC modeline kıyasla daha hassas ve doğru sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.33. BTC modeli, YSA modeli sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması

Bu bağlamda, YSA ile oluşturulan modelin; projelerin süre tahmini konusunda daha verimli olduğu değerlendirilmektedir. Ancak, söz konusu iki yöntemin arasında temelde farklılıklar mevcuttur. BTC Modeli ile tek bir eşitlik üzerinden projelerin maliyetine göre süre tahmini yapılırken, bu çalışmada YSA ile beş farklı parametre girdi olarak kullanılmış ve süre tahmini için bir model önerilmiştir. YSA modelinde girdi sayısının fazla olması sebebi ile araştırmaya esas proje özellikleri ve diğer belirsizlikler sisteme daha net tanımlanabilmektedir. Diğer yandan, BTC modeli ile logaritmik bir eğri üzerinde projelerin maliyetlerine göre tamamlanma sürelerinin belirli sapmalar ile tahmini hedeflenirken, YSA modeli ile tek bir eşitlik üzerinden işlem yapılmamaktadır. YSA mimarisinde girdi birimleri üzerinden nöronlar yardımı ile gizli katmada birçok işlem gerçekleştirilerek nihai çıktıya en az hata ile ulaşılması hedeflenir. Bu bağlamda; girdi parametreleri ile eğitim safhasında hedeflenen sonuçlara en yakın değerleri elde etmek için YSA katmanlarında birden çok işlem gerçekleştirilirken aynı zamanda sistem içerisindeki birtakım belirsizlikler de modele dahil edilmektedir (Chao ve Chien, 2009).

Tablo 4.14. YSA ve BTC modellerinin hata değerleri ve oranları

Data No	YSA	Gerçek	BTC	% Hata YSA	YSA Hata²	% Hata BTC	BTC Hata²
1	196,26	217	295,74	9,36%	0,009	-36,58%	0,1338
2	399,00	366	282,50	-9,02%	0,008	22,81%	0,0520
3	362,16	286	248,46	-26,51%	0,070	13,21%	0,0174
4	627,70	587	495,78	-7,00%	0,005	15,49%	0,0240
5	452,22	491	471,43	7,89%	0,006	3,97%	0,0016
6	453,28	507	429,74	10,66%	0,011	15,30%	0,0234
7	458,39	507	435,77	9,59%	0,009	14,05%	0,0198
8	479,25	521	484,50	8,09%	0,007	7,08%	0,0050
9	442,82	512	401,92	13,53%	0,018	21,51%	0,0463
10	545,34	624	520,96	12,56%	0,016	16,47%	0,0271
11	465,73	518	478,50	10,11%	0,010	7,65%	0,0059
12	538,11	456	467,60	-18,09%	0,033	-2,61%	0,0007
13	657,66	729	548,00	9,73%	0,009	24,78%	0,0614
14	565,13	528	471,24	-6,97%	0,005	10,80%	0,0117
15	505,21	516	472,67	2,09%	0,000	8,40%	0,0071
16	422,56	478	495,88	11,62%	0,014	-3,71%	0,0014
17	439,30	506	464,75	13,14%	0,017	8,10%	0,0066
18	449,64	577	469,97	22,08%	0,049	18,56%	0,0344
19	344,72	321	377,86	-7,45%	0,006	-17,79%	0,0316
20	342,42	320	366,52	-6,93%	0,005	-14,46%	0,0209
21	391,42	348	526,01	-12,48%	0,016	-51,15%	0,2616
22	347,59	322	391,29	-8,07%	0,007	-21,66%	0,0469
23	344,72	321	377,86	-7,45%	0,006	-17,79%	0,0316
24	361,46	327	445,03	-10,43%	0,011	-35,96%	0,1293
25	442,00	397	613,83	-11,43%	0,013	-54,76%	0,2998
26	459,68	402	130,83	-14,40%	0,021	67,44%	0,4548
27	618,65	680	674,14	9,04%	0,008	0,88%	0,0001
28	724,99	1236	828,30	41,34%	0,171	32,99%	0,1088
29	477,66	428	279,96	-11,55%	0,013	34,62%	0,1198
30	723,58	785	991,42	7,85%	0,006	-26,26%	0,0690
31	679,99	612	666,58	-11,10%	0,012	-8,91%	0,0079
32	323,98	299	312,46	-8,18%	0,007	-4,33%	0,0019
33	336,26	319	362,86	-5,32%	0,003	-13,65%	0,0186
34	346,48	335	391,58	-3,47%	0,001	-16,94%	0,0287
35	326,80	304	326,45	-7,46%	0,006	-7,34%	0,0054
36	337,55	321	366,86	-5,07%	0,003	-14,19%	0,0201
37	319,16	291	282,52	-9,51%	0,009	3,06%	0,0009
38	446,82	519	314,11	13,92%	0,019	39,49%	0,1559
39	398,41	523	375,39	23,81%	0,057	28,21%	0,0796
40	449,46	531	389,85	15,35%	0,024	26,57%	0,0706
41	431,02	604	344,69	28,63%	0,082	42,92%	0,1842
42	462,15	446	296,44	-3,73%	0,001	33,46%	0,1120
43	482,95	579	389,72	16,53%	0,027	32,64%	0,1066
44	382,02	489	329,90	21,94%	0,048	32,59%	0,1062
45	511,97	484	398,42	-5,85%	0,003	17,62%	0,0311
46	661,71	698	533,63	5,24%	0,003	23,58%	0,0556
47	707,71	783	689,21	9,67%	0,009	12,03%	0,0145
48	447,93	528	387,30	15,16%	0,023	26,64%	0,0710
49	347,59	322	391,29	-8,07%	0,007	-21,66%	0,0469
50	344,72	321	377,86	-7,45%	0,006	-17,79%	0,0316
51	514,14	569	496,86	9,61%	0,009	12,64%	0,0160
	ΣHata²			0,94		3,22	
	ΣHata/n (51)			0,02		0,06	
	RMSE (Hata)			13,55%		25,12%	

Sonuç olarak, YSA yönteminde seçilen girdi birimleri modelin hassas ve doğru sonuçlar vermesi açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bunlara bağlı olarak, YSA yönteminin önceki çalışmalar bölümünde de belirtildiği gibi BTC modeline kıyasla

daha hassas ve proje özelliklerine uygun sonuçlar verdiği bu çalışma kapsamında tespit edilmiştir.

4.4. S-Eğrileri ile Elde Edilen Bulgular

Proje yönetiminde özellikle inşaat proje yönetiminde, projelerin nakit akışı genel olarak S şeklinde bir eğri ile izlenebilmektedir. Bu bağlamda, S-Eğrilerinin projelerin nakit akışını tanımlayan matematiksel bir form olduğu ifade edilebilir (Kenley, 2005). Farklı bir ifade ile; S-Eğrileri projelerin başlangıcından tamamlanmasına kadar geçen süreçte kümülatif ilerlemelerin grafiksel bir gösterimidir.

Üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkilerinin araştırıldığı bu çalışmada; süre-maliyet ilişkisini farklı bir formda ifade eden S-Eğrilerinden istifade edilmiştir. Bilindiği üzere BTC modeli; logaritmik bir eğri yardımı ile projelerin yaklaşık tamamlanma sürelerinin ve bu bağlamda süre-maliyet ilişkilerinin tahmini üzerine kurgulanmıştır. Ancak, süre-maliyet ilişkisinin farklı bir gösterimi olan S-Eğrileri ise inşaat projelerinin yaşam döngüsü boyunca zamana bağlı olarak ilerleyişini göstermektedir.

Proje yönetim ekipleri; S-Eğrilerinden istifade ederek bir projenin zamanında, gecikmiş veya bütçesinin içerisinde olup olmadığını görsel olarak tespit edebilmektedir. Diğer yandan, S-Eğrileri yatırımcı, müteahhit ve yüklenici firmaların proje planlamasında ve özellikle de nakit akışını tahmin edebilmek için kullandığı yaygın bir uygulamadır (Dikmen ve ark., 2020). Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında veri setinde yer alan projelerin S-Eğrileri yapı gruplarına (tekil bina, sanayi, hastane, okul, TOKİ sosyal konut ve TOKİ afet konut projeleri) ve birtakım dış faktörlere göre (döviz kuru, insani gelişmişlik endeksi, çalışılamayan gün sayısı ve gayrisafi yurt içi hâsıla) analiz edilerek, nakit akışlarına ve proje ilerlemelerine etki eden parametreler belirlenmiştir. Devam eden bölümlerde sektörde faaliyet gösteren, yatırımcı, işveren ve yüklenici firmalar ile proje yönetim ekiplerinin ihale öncesi safhalarda ve proje süresince istifade edebileceği, projelerin nakit akışlarını ve ilerlemelerini Yapay Sinir Ağları ile tahmin edebilen bir karar destek sistemi önerilmiştir.

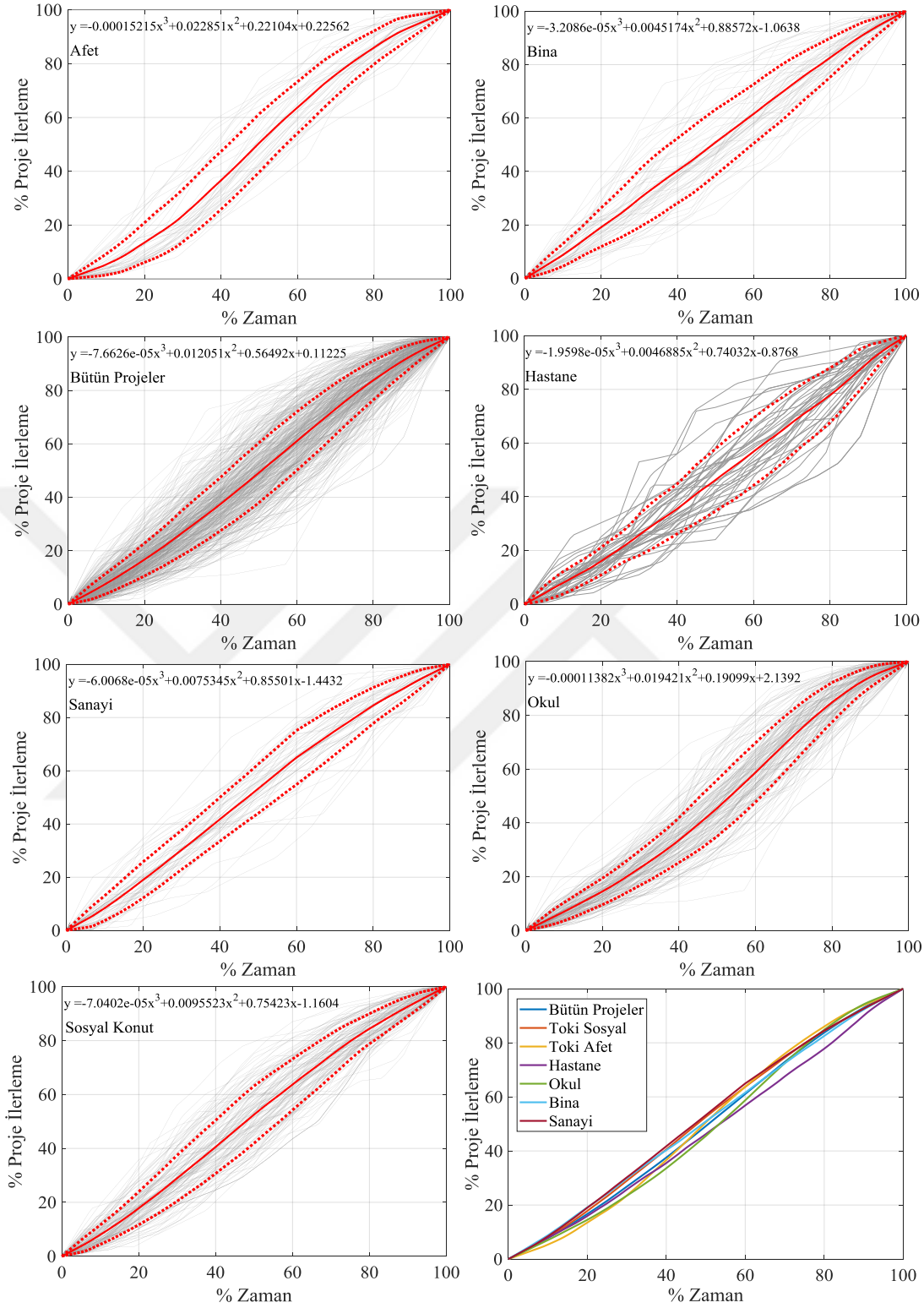
4.4.1. Temel analiz bulguları

Şekil 4.34'te kullanım amaçlarına göre yapı gruplarının süre-maliyet ilişkisi kapsamında nakit akışlarını gösteren S-Eğrileri yer almaktadır. Şekil 4.34'deki grafiklerde yatay eksen yüzde olarak projenin ilerleme süresini gösterirken, dikey eksen ise proje maliyetinin kümülatif yüzdelik ilerleme dilimlerini ifade etmektedir. Yüzdelik değerler toplam proje maliyetine ve planlanan gerçekleşme sürelerine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Grafik içeriğinde sürekli olmayan eğriler, veri setinde yer alan projelerin nakit akışları için +1, -1 standart sapma bölgelerini ifade etmektedir. Eğrilerin birbirinden ıraksaması standart sapmayı arttırırken yakınlaşması ise azaltmaktadır. Diğer taraftan, grafiklerde tekil eğriler projelerin ayrı ayrı S-Eğrilerini göstermektedir. Proje türlerine göre S-Eğrileri incelendiğinde genel olarak proje başlangıcında eğrinin eğiminin düşük seviyede olduğu görülmektedir. Bu zaman diliminde genellikle başlangıç, mobilizasyon, taşıma, temel açma ve hazırlık işleri gibi nispeten daha az nakit kaynağı gerektiren imalatlar yapıldığından nakit akışı yavaş olmaktadır. Devam eden süreçte hızlı bir şekilde nakit akışı eğrisinin eğiminin arttığı görülmektedir. Bu zaman diliminde de yapısal işler, iç mekandaki ince yapı işleri ve dış cephe gibi işlerin çoğunluğu tamamlanmaktadır. Bu amaçla bu zaman diliminde yüksek miktarda nakit kullanılmaktadır. Proje tamamlanma evresinde ise nakit akışı eğrisinin eğiminin azaldığı görülmektedir. Bu bölümde ise işlerin neredeyse tamamı yapılarak, maliyet kalemlerinin sonlandırılması ve teslimat işleri ile ilgilenilmektedir. Burada daha az nakit gereksinimi olduğundan nakit akışı yavaşlamaktadır.

Tablo 4.15. ve Şekil 4.34.'de bu çalışma kapsamında yapı gruplarına göre elde edilen S-Eğrilerine ait eşitlikler gösterilmektedir.

Tablo 4.15. Proje türüne göre S-Eğrisi eşitlikleri

Proje Türü	S-Eğrisi Eşitlikleri
TOKİ Sosyal Konut	$y = -7{,}0402.10^{-5}.x^3 + 9{,}5523.10^{-3}.x^2 + 0{,}75423.x - 1{,}1604$
TOKİ Afet Konut	$y = -1{,}5215.10^{-4}.x^3 + 2{,}2851.10^{-2}.x^2 + 0{,}22104.x + 0{,}22562$
Hastane	$y = -1{,}9598.10^{-5}.x^3 + 4{,}6885.10^{-3}.x^2 + 0{,}74032.x - 0{,}8768$
Okul	$y = -1{,}1382.10^{-4}.x^3 + 1{,}9421.10^{-2}.x^2 + 0{,}19099.x + 2{,}1392$
Bina	$y = -3{,}2086.10^{-5}.x^3 + 4{,}5174.10^{-3}.x^2 + 0{,}88572.x - 1{,}0638$
Sanayi	$y = -6{,}0068.10^{-5}.x^3 + 7{,}5345.10^{-3}.x^2 + 0{,}85501.x - 1{,}4432$
Bütün Projeler	$y = -7{,}6626.10^{-5}.x^3 + 1{,}2051.10^{-2}.x^2 + 0{,}56492.x + 0{,}11225$



Şekil 4.34. Bütün projeler için S-Eğrileri

Şekil 4.34. incelendiğinde tekil bina, sanayi ve hastane projelerinin doğrusala yakın nakit akış eğrilerinin oluştuğu görülmektedir. Bu yapı türlerinin ilerleme süreleri ile maliyetlerinin yüzdesel olarak eşit şekilde devam ettiği Şekil 4.34'den anlaşılmaktadır.

Kenley (2003), ticari anlamda getiri sağlayan sanayi ve hastane projelerinde her ay ödemelerin düzenli bir şekilde gerçekleştiğini ifade etmektedir. Bu çalışmada da tekil bina, sanayi ve hastane projelerinin nakit akışlarının dengeli bir şekilde yürütülmesi Kenley (2003) tarafından öne sürülen argümanı doğrulamaktadır.

Okul ve TOKİ afet konut projelerinde ise, oluşan S-Eğrileri ile projelerin ilk safhasında ilerlemelere göre nakit akışı seviyesinin düşük düzeyde kaldığı, tamamlanma evresinde ise nakit akışının proje ilerlemesine kıyasla daha yüksek düzeyde gerçekleştiği görülmektedir. İlgili projelerde, proje süresinin %20'si tamamlandığında nakit akışının %20'nin altında kaldığı, diğer taraftan proje süresinin %80'i tamamlandığında nakit akışının ise kümülatif olarak %80'in üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu noktada kamu desteği ile inşa edilen TOKİ projelerinin (https://toki.gov.tr, 2018), başlangıç evresinde yavaş ilerlediği projenin tamamlanma safhasında ise işlerin hızlı bir şekilde tamamlandığı değerlendirilmektedir.

Hudson (1978), Birleşik Krallık'ta ki hastane projelerinden istifade ederek DHSS olarak anılan nakit akış modelini önermiştir. Diğer taraftan, Heaps ve Domingo (2014), hastane projelerinin S-Eğrilerini polinomial regresyon kullanarak 4. dereceden polinomlar olarak elde etmiş ve hastane projelerinde maliyetin artmasıyla daha yüksek nakit akışı performansının gerçekleştiğini belirtmiştir. Ancak bu çalışmada, Heaps ve Domingo (2014)'nun çalışmasına kıyasla hastane projelerinin nakit akışlarının daha düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'de hastane projelerinin diğer proje türlerinden farklı olarak, tıbbi gereksinimlere bağlı çok fazla detay içermesi ve dövize bağlı satın alma sürecine sahip olması (Kırbaş, 2012) sebebi ile proje safhasındaki nakit akışlarının, Hudson (1978) ve Heaps ve Domingo (2014)'nun çalışmasına kıyasla daha düşük seviyede gerçekleştiği değerlendirilmektedir.

Afetle mücadele ve toparlanma kapsamında Ouyang ve Wang (2015), Zobel (2013) ve Porter (2016), afet projelerinin nakit akışlarını araştırmış ve bu çalışmada olduğu gibi afet projelerinin hazırlık ve teslimat safhasında nakit akış eğrisinin düşük eğimde olduğu ifade edilmiştir. Türkiye'de afet sonrasında devlet teşviki ile inşa edilen afet projelerinin, proje başlangıç ve teslimat safhasında bir takım kamulaştırma problemleri ile karşı karşıya kaldığı bilinmektedir (https://toki.gov.tr, 2018). Bu

sebeple, proje başlangıç safhasında; arazi tahsisi, projelendirme, mobilizasyon ve kazı işlerinin gecikmesi sebebi ile afet projelerinin nakit akış eğrilerinin düşük seviyede gerçekleşmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada afet sonrasında gerçekleştirilen projelerin nakit akış performansları ve proje ilerleme süreçlerinin, Ouyang ve Wang (2015), Zobel (2013) ve Porter (2016)'ın çalışmasına benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Kenley (2003), tekil konut projelerinde geleneksel anlamda ödemelerin proje sonlarında yapılan satışlar ile karşılandığını belirtmiş ve Kaka (1999), İngiltere bina projelerinin nakit akışlarını araştırarak Kenley (2003)'nin öne sürdüğü proje finansman modelinden dolayı projelerin ilk safhasında nakit akışlarının düşük seviyelerde kalabildiğini belirtmiştir. Bu çalışmada ise bina projelerinin genellikle dengeli bir nakit akışı performansına sahip olduğu tespit edilmiştir. Anılan dönemde Türkiye'de yatırımcı, yüklenici ve son kullanıcıların düşük faizli kredilerle (TUIK,2018) kolay nakit elde edebilmesi sebebi ile konut projelerinin nakit akışlarının dengeli bir şekilde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

4.4.2. Farklı parametrelere göre S-Eğrisi analizlerinin bulguları

Bromilow süre-maliyet ilişkisinin incelendiği bölümde olduğu gibi çalışmanın bu bölümünde de projeler yapı türlerine göre sınıflandırılarak nakit akış performansları daha önceden açıklanmış dört farklı parametreye bağlı olarak araştırılmıştır. Öncelikli olarak veri setinde bulunan projeler TOKİ sosyal konut, bina, okul, hastane, sanayi ve TOKİ afet konut projeleri olacak şekilde gruplar halinde analiz edilmiştir. Analizlerde döviz kurları, çalışılamayan gün sayıları, insani gelişmişlik endeksi ve gayri safi yurt içi hasıla parametreleri dikkate alınarak, projelerin nakit akışları ve gerçekleşme süreleri yüzdelik oranlar cinsinden (%20'lik aralıklarla) belirtilerek S-Eğrisi grafikleri ve eşitlikleri elde edilmiştir. Projelerin gerçekleşme süresinin %20'si tamamlandığında kümülatif nakit akışının % olarak karşılığı grafiklerde görülmektedir. Bu bağlamda, yatırımcı, yüklenici ve proje yönetim ekipleri projelerin ilerleme hızları ve ihtiyaç duyulacak nakit miktarı hakkında fikir sahibi olmaktadırlar. Tablo 4.16.'da çalışılamayan gün sayısı parametresine göre oluşturulan S-Eğrileri gösterilmektedir. Çalışılamayan gün sayısı açısından 2. Grupta bulunan illerde TOKİ

Afet Konut projesi inşa edilmediğinden çalışmada yalnızca 1. ve 3. gruba dahil olan illerin verileri kullanılmış ve yalnızca bu iki grup için S-Eğrileri araştırılmıştır.

Tablo 4.16. Çalışılamayan gün sayısı parametresine göre S-Eğrisi eşitlikleri

Çalışılamayan Gün Sayısı	Proje Türü	S-Eğrisi Eşitlikleri
1. GRUP (0-60 Gün)	Bütün Projeler	$y = -9{,}5992.10^{-5}.x^3 + 1{,}6.10^{-2}.x^2 + 0{,}345.x + 1{,}42$
	TOKİ Sosyal Konut	$y = -93877.10^{-5}.x^3 + 1{,}4385.10^{-2}.x^2 + 0{,}5.x + 0{,}2$
	TOKİ Afet Konut	$y = -1{,}1742.10^{-4}.x^3 + 1{,}4059.10^{-2}.x^2 + 0{,}79414.x - 1{,}8881$
	Hastane	$y = -3{,}7105.10^{-5}.x^3 + 6{,}2.10^{-3}.x^2 + 0{,}77.x - 2{,}2$
	Okul	$y = -1{,}25.10^{-4}.x^3 + 0{,}2164.x^2 + 0{,}0777.x + 2{,}9845$
	Bina	$y = -3{,}424.10^{-5}.x^3 + 4{,}48.10^{-3}.x^2 + 0{,}91.x - 1{,}31$
	Sanayi	$y = -2{,}5874.10^{-5}.x^3 + 4{,}9625.10^{-3}.x^2 + 0{,}76649.x - 0{,}153$
2. GRUP (75-105 Gün)	Bütün Projeler	$y = -6{,}3091.10^{-5}.x^3 + 8{,}5.10^{-3}.x^2 + 0{,}794.x - 1{,}22$
	TOKİ Sosyal Konut	$y = -6{,}7875.10^{-5}.x^3 + 9{,}4.10^{-3}.x^2 + 0{,}754.x - 1{,}10$
	TOKİ Afet Konut	$y = -1{,}5177.10^{-4}.x^3 + 2{,}2974.10^{-2}.x^2 + 0{,}2056.x + 0{,}21864$
	Hastane	$y = 1{,}57.10^{-5}.x^3 + 3{,}4.10^{-4}.x^2 + 0{,}807.x - 0{,}5$
	Okul	$y = -6{,}2272.10^{-5}.x^3 + 0{,}0107.x^2 + 0{,}57.x - 0{,}5$
	Bina	$y = -3{,}2052.10^{-5}.x^3 + 5{,}0121.10^{-3}.x^2 + 0{,}83848.x - 0{,}91053$
	Sanayi	$y = -6{,}7623.10^{-5}.x^3 + 7{,}57.10^{-3}.x^2 + 0{,}93.x - 1{,}84$
3. GRUP (120-165 Gün)	Bütün Projeler	$y = -7{,}6001.10^{-5}.x^3 + 1{,}12.10^{-2}.x^2 + 0{,}642.x - 0{,}82$
	TOKİ Sosyal Konut	$y = -6{,}2037.10^{-5}.x^3 + 7{,}8.10^{-3}.x^2 + 0{,}84.x - 1{,}65$
	TOKİ Afet Konut	-
	Hastane	$y = -1{,}1316.10^{-5}.x^3 + 4{,}3.10^{-3}.x^2 + 0{,}7.x + 0{,}23$
	Okul	$y = -8{,}3823.10^{-5}.x^3 + 1{,}27.10^{-2}.x^2 + 0{,}566.x - 0{,}75$
	Bina	$y = -2{,}507.10^{-5}.x^3 + 4{,}16.3.x^2 + 0{,}85423.x - 0{,}412$
	Sanayi	$y = -6{,}7946.10^{-5}.x^3 + 1{,}16.10^{-2}.x^2 + 0{,}526.x - 1{,}02$

Döviz kuru parametresine göre oluşturulan S-Eğrilerinin eşitlikleri Tablo 4.17.'de gösterilmektedir. Bina projelerinin verileri sadece 2010-2018 yılları arasında dağılım gösterdiği için, döviz parametresi ile yapılan gruplama bu proje grubu için uygulanamamıştır.

Tablo 4.17. Döviz kuru parametresine göre S-Eğrisi eşitlikleri

Döviz Kuru Dönemleri	Proje Türü	S-Eğrisi Eşitlikleri
Dönem-1 (2003-2010)	Bütün Projeler	$y = -7{,}9572.10^{-5}.x^3 + 1{,}201.10^{-2}.x^2 + 0{,}59675.x - 0{,}351$
	TOKİ Sosyal Konut	$y = -6{,}285.10^{-5}.x^3 + 6{,}924.10^{-3}.x^2 + 0{,}945.x - 2{,}34$
	TOKİ Afet Konut	$y = -1{,}1707.10^{-4}.x^3 + 1{,}7617.10^{-2}.x^2 + 0{,}38688.x + 0{,}70556$
	Hastane	$y = -5{,}8095.10^{-5}.x^3 + 9{,}8807.10^{-3}.x^2 + 0{,}59041.x + 0{,}050453$
	Okul	$y = -1{,}0538.10^{-4}.x^3 + 1{,}7857.10^{-2}.x^2 + 0{,}26742.x + 1{,}398$
	Bina	-
	Sanayi	$y = -6{,}1836.10^{-5}.x^3 + 8{,}074.10^{-3}.x^2 + 0{,}81026.x - 1{,}6106$
Dönem-2 (2010-2018)	Bütün Projeler	$y = -7{,}5363.10^{-5}.x^3 + 1{,}2.10^{-2}.x^2 + 0{,}55128.x + 0{,}311$
	TOKİ Sosyal Konut	$y = -7{,}4679.10^{-5}.x^3 + 1{,}1041.10^{-2}.x^2 + 0{,}64643.x - 0{,}49$
	TOKİ Afet Konut	$y = -1{,}6501.10^{-4}.x^3 + 2{,}4771.10^{-3}.x^2 + 0{,}16023.x + 0{,}049$
	Hastane	$y = 2{,}7455.10^{-5}.x^3 + 1{,}6576.10^{-3}.x^2 + 0{,}92354.x - 2{,}0101$
	Okul	$y = -1{,}1783.10^{-4}.x^3 + 2{,}0165.10^{-2}.x^2 + 0{,}15468.x + 2{,}4912$
	Bina	-
	Sanayi	$y = -5{,}9574.10^{-5}.x^3 + 7{,}3837.10^{-3}.x^2 + 0{,}8675.x - 1{,}3965$

İnsani gelişmişlik endeksi parametresine göre oluşturulan S-Eğrisi eşitlikleri Tablo 4.18.'de gösterilmektedir. İnsani gelişmişlik endeksi parametresi açısından TOKİ afet

konut projelerinin veri dağılımının yetersiz olması sebebi ile S-Eğrileri oluşturulamamıştır.

Tablo 4.18. İnsani gelişmişlik endeksi parametresine göre S-Eğrisi eşitlikleri

İnsani Gelişmişlik Endeksi Grupları	Proje Türü	S-Eğrisi Eşitlikleri
1. GRUP (Yüksek)	Bütün Projeler	$y = -8{,}6896.10^{-5}.x^3 + 1{,}44.10^{-2}.x^2 + 0{,}43.x + 0{,}96$
	TOKİ Sosyal Konut	$y = -1{,}17.10^{-4}.x^3 + 1{,}821.10^{-2}.x^2 + 0{,}341.x + 1{,}01$
	TOKİ Afet Konut	-
	Hastane	$y = -4{,}7132.10^{-6}.x^3 + 2{,}504.10^{-3}.x^2 + 0{,}821.x - 1{,}52$
	Okul	$y = -1{,}2.10^{-4}.x^3 + 2{,}1.10^{-2}.x^2 + 0{,}1.x + 2{,}77$
	Bina	$y = -3{,}278.10^{-5}.x^3 + 4{,}3.10^{-3}.x^2 + 0{,}914.x - 1{,}06$
	Sanayi	$y = -5{,}7454.10^{-5}.x^3 + 7{,}13.10^{-3}.x^2 + 0{,}87.x - 1{,}35$
2. GRUP (Orta)	Bütün Projeler	$y = -5{,}6877.10^{-5}.x^3 + 7{,}8.10^{-3}.x^2 + 0{,}803.x - 1{,}48$
	TOKİ Sosyal Konut	$y = -5{,}7543.10^{-5}.x^3 + 7{,}4.10^{-3}.x^2 + 0{,}847.x - 1{,}502$
	TOKİ Afet Konut	-
	Hastane	$y = -6{,}4691.10^{-5}.x^3 + 9{,}5835.10^{-3}.x^2 + 0{,}68.x - 1{,}58$
	Okul	$y = -6{,}2536.10^{-5}.x^3 + 9.10^{-3}.x^2 + 0{,}7341.x - 1{,}37$
	Bina	$y = -3{,}1798.10^{-5}.x^3 + 5{,}24.10^{-3}.x^2 + 0{,}814.x - 1{,}14$
	Sanayi	$y = -8{,}6208.10^{-5}.x^3 + 1{,}16.10^{-2}.x^2 + 0{,}714.x - 2{,}38$
3. GRUP (Düşük)	Bütün Projeler	$y = -5{,}7489.10^{-5}.x^3 + 7{,}8.10^{-3}.x^2 + 0{,}802.x - 1{,}36$
	TOKİ Sosyal Konut	$y = -4{,}6564.10^{-5}.x^3 + 5{,}1.10^{-3}.x^2 + 0{,}97.x - 2{,}51$
	TOKİ Afet Konut	-
	Hastane	$y = -1{,}3976.10^{-5}.x^3 + 6{,}5.10^{-3}.x^2 + 0{,}49.x + 2{,}85$
	Okul	$y = -1{,}095.10^{-4}.x^3 + 1{,}58.10^{-2}.x^2 + 0{,}492.x - 0{,}13$
	Bina	-
	Sanayi	-

Gayri safi yurtiçi hasıla parametresine göre oluşturulan S-Eğrilerinin eşitlikleri Tablo 4.19.'da gösterilmektedir Gayri safi yurtiçi hasıla parametresi açısından TOKİ afet konut projelerinin veri dağılımının yetersiz olması sebebi ile S-Eğrileri oluşturulamamıştır.

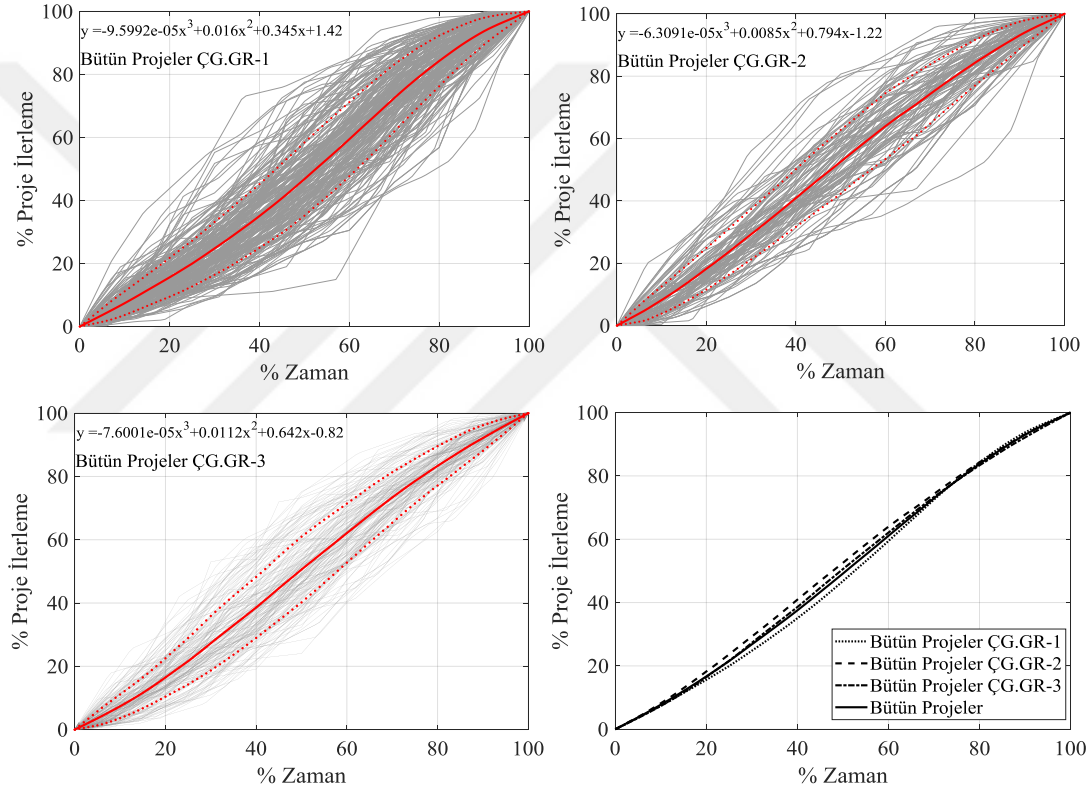
Tablo 4.19. Gayri safi yurtiçi hasıla parametresine göre S-Eğrisi eşitlikleri

Gayri Safi Yurtiçi Hasıla Grupları	Proje Türü	S-Eğrisi Eşitlikleri
1. GRUP (Yüksek)	Bütün Projeler	$y = -9{,}5131.10^{-5}.x^3 + 1{,}6.10^{-2}.x^2 + 0{,}37.x + 1{,}24$
	TOKİ Sosyal Konut	$y = -1{,}43.10^{-4}.x^3 + 2{,}2.10^{-2}.x^2 + 0{,}256.x + 1{,}22$
	TOKİ Afet Konut	-
	Hastane	$y = -1{,}729.10^{-5}.x^3 + 4{,}2.10^{-3}.x^2 + 0{,}774.x - 1{,}32$
	Okul	$y = -1{,}22.10^{-4}.x^3 + 2{,}13.10^{-2}.x^2 + 0{,}083.x + 2{,}90$
	Bina	$y = -4{,}939.10^{-5}.x^3 + 7{,}15.10^{-3}.x^2 + 0{,}79.x - 0{,}77$
	Sanayi	$y = -5{,}7226.10^{-5}.x^3 + 7{,}5.10^{-3}.x^2 + 0{,}833.x - 1{,}27$
2. GRUP (Orta)	Bütün Projeler	$y = -3{,}5146.10^{-5}.x^3 + 5{,}4.10^{-3}.x^2 + 0{,}83.x - 0{,}83$
	TOKİ Sosyal Konut	$y = -6{,}9897.10^{-5}.x^3 + 1{,}204.10^{-2}.x^2 + 0{,}502.x + 0{,}45$
	TOKİ Afet Konut	-
	Hastane	$y = -8{,}7513.10^{-5}.x^3 + 1{,}025.10^{-3}.x^2 + 1{,}165.x - 2{,}98$
	Okul	$y = -4{,}515.10^{-5}.x^3 + 8{,}86.10^{-3}.x^2 + 0{,}58.x - 0{,}78$
	Bina	$y = -7{,}6288.10^{-6}.x^3 - 5{,}11.10^{-5}.x^2 + 1{,}11.x - 1{,}68$
	Sanayi	$y = -5{,}5903.10^{-5}.x^3 + 3{,}71.10^{-3}.x^2 + 1{,}2.x - 1{,}87$
3. GRUP (Düşük)	Bütün Projeler	$y = -5{,}7494.10^{-5}.x^3 + 7{,}6.10^{-3}.x^2 + 0{,}83.x - 1{,}61$
	TOKİ Sosyal Konut	$y = -5{,}1325.10^{-5}.x^3 + 5{,}84.10^{-3}.x^2 + 0{,}941.x - 2{,}16$
	TOKİ Afet Konut	-
	Hastane	$y = -4{,}4405.10^{-5}.x^3 + 8{,}3.10^{-3}.x^2 + 0{,}607.x + 0{,}192$
	Okul	$y = -8{,}453.10^{-5}.x^3 + 1{,}18.10^{-2}.x^2 + 0{,}66.x - 1{,}02$
	Bina	$y = -2{,}533.10^{-5}.x^3 + 5{,}59.10^{-3}.x^2 + 0{,}675.x - 0{,}59$
	Sanayi	$y = -7{,}9555.10^{-5}.x^3 + 8{,}9.10^{-3}.x^2 + 0{,}93.x - 4{,}03$

Çalışmanın devam eden bölümlerinde farklı parametrelerin etkisi altında veri setinde yer alan projelerin yapı türleri dikkate alınarak nakit akışı eğrileri araştırılmış ve bulguları değerlendirilmiştir.

4.4.2.1. Çalışılamayan günlerin bütün projelerdeki nakit akış performansına etkisi

Çalışılamayan gün sayısı parametresi ile yapılan gruplama sonrasında bütün projeler için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.35.'te gösterilmektedir.



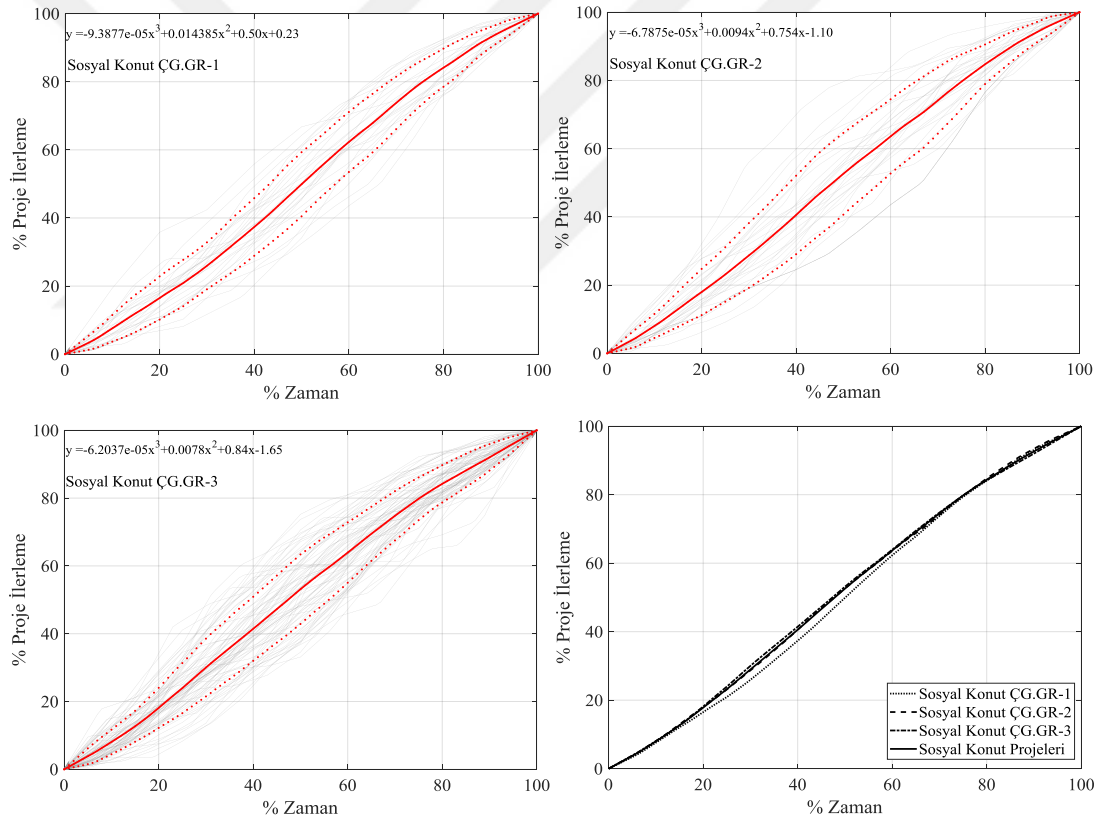
Şekil 4.35. Bütün projeler için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri

Thorpe ve Karan, (2008)'nın da belirttiği üzere, inşaat projelerinde özellikle yağmur, kar ve nem gibi yapı işleri açısından olumsuz hava şartlarına bağlı olarak sözleşme süresi içerisinde çalışılamayan günler olabilmektedir. Bu bağlamda, Şekil 4.35. incelendiğinde çalışılmayan günlerin diğer gruplara göre daha az olduğu 1.grup kapsamına giren projelerin nakit akışının daha düşük seviyede, 2. grup ve 3. grup projelerde ise daha dengeli bir nakit akış eğrisi görülmektedir. Sonuç olarak bütün projelerin çalışılmayan günler kapsamında S-Eğrileri incelendiğinde Şekil 4.35.'den

de anlaşılacağı üzere, proje planlama safhasında çalışılmayan günlerin dikkate alındığı değerlendirilerek nakit akışlarında belirgin bir ayrışma tespit edilememiştir. Devam eden bölümlerde yapı grupları ayrı ayrı araştırılarak çalışılmayan gün parametresi kapsamında üstyapı projelerinin nakit akışlarındaki ayrışmalar daha detaylı incelenecektir.

4.4.2.2. Çalışılamayan günlerin TOKİ sosyal konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Çalışılamayan gün sayısı parametresi ile yapılan gruplama sonrasında TOKİ sosyal konut projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.36.'da gösterilmektedir.



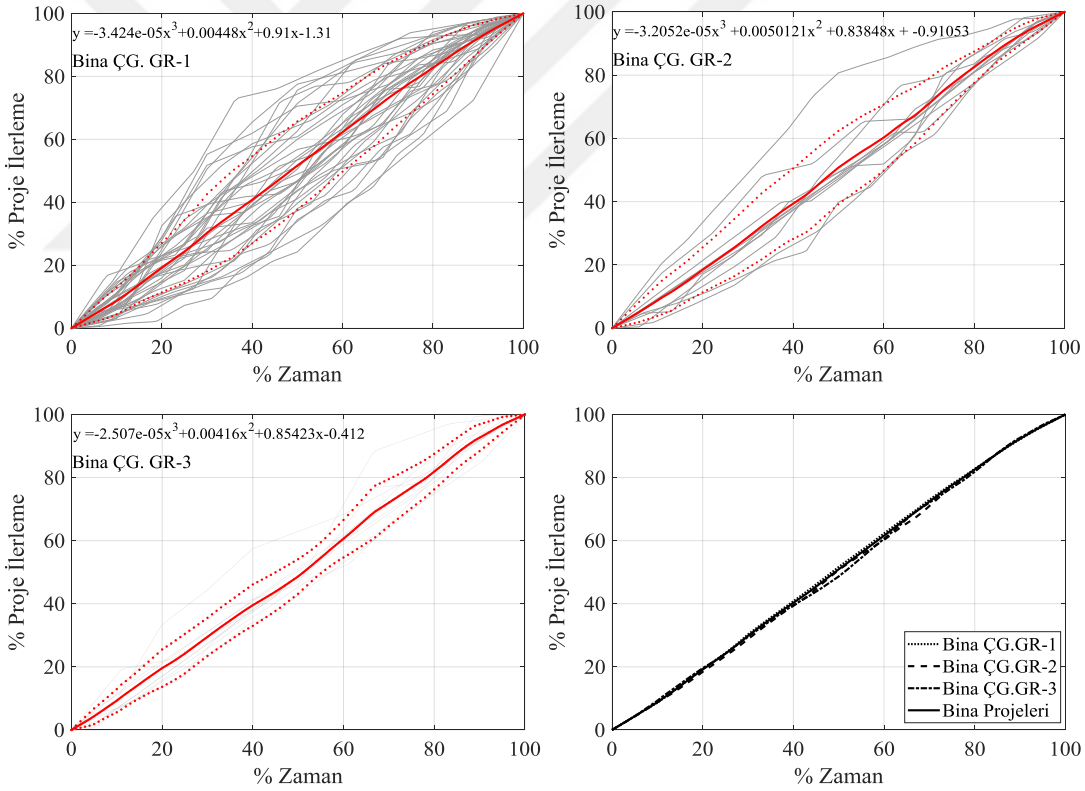
Şekil 4.36. TOKİ sosyal konut projeleri için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri

Veri setinde yer alan bütün projelerin S-Eğrilerinin gösterildiği Şekil 4.35.'de olduğu gibi TOKİ sosyal konut projelerinde de 1. grup projelerin nakit akışının projelerin başlangıç safhasında düşük seviyede olduğu anlaşılmaktadır. 1. grup TOKİ sosyal konut projelerinde, projelerin süre olarak %50'sinde nakit akışının %50 seviyesinden

daha düşük kaldığı Şekil 4.36.'dan görülmektedir. Sonuç olarak, TOKİ sosyal konut projelerinin nakit akışları ve proje ilerlemeleri çalışılmayan günler kapsamında incelendiğinde Şekil 4.36.'dan görüleceği üzere S-Eğrileri arasında belirgin bir ayrışma tespit edilememiştir. Bu durumun TOKİ sosyal konut projelerinin; devlet destekli, kapsamı ve süresi belirli olan tip projeler olarak (https://toki.gov.tr, 2018) inşa edilmesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

4.4.2.3. Çalışılamayan günlerin bina projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Çalışılamayan gün sayısı parametresi ile yapılan gruplama sonrasında bina projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.37.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. Bina projeleri için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri

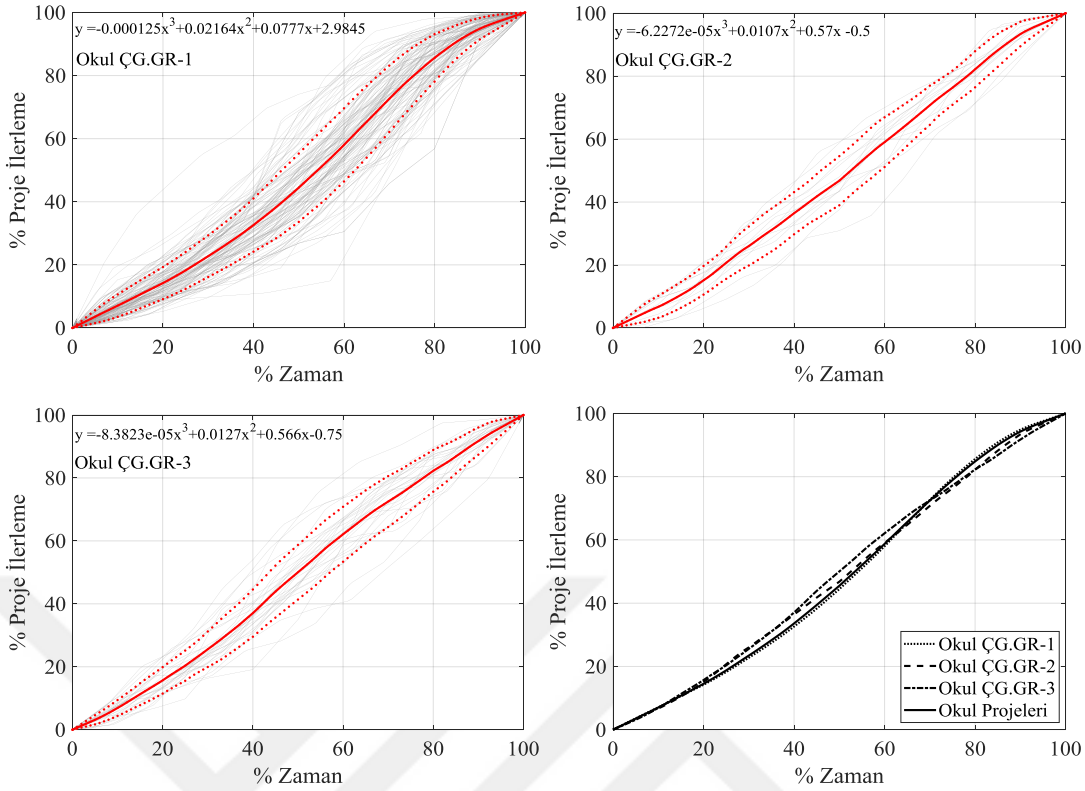
Özel sektör kapsamında gerçekleştirilen tekil bina projelerinde her üç grubun da yaklaşık olarak doğrusal nakit akış eğrisine sahip olduğu Şekil 4.37.'den anlaşılmaktadır. Bu noktada ödemeler ile proje ilerlemesinin dengeli olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan bu durum, projelerin başlangıçtan tamamlanmasına kadar

sabit bir hızda ilerlediğini de göstermektedir. Yeong (1994)'un belirttiği üzere yapım işlerinde kullanılan teknolojinin süre-maliyet ilişkisinin açıklama düzeyinde olumlu bir etkiye sebep olduğu bilinmektedir. Kenley (2003) ise özel sektör inşaat projelerinin kamu kapsamında gerçekleşen projelere göre daha verimli yönetildiğini ileri sürmüştür. Bu bağlamda, bu çalışmada özel sektör bünyesinde gerçekleştirilen bina projelerinin nakit akış performansları Yeong (1994) ve Kenley (2003)'nın bulguları ile uyum sağlamaktadır. Ayrıca, anılan dönemde Türkiye'de gerek yatırımcıların ve gerekse de yüklenicilerin düşük faizli kredilerle (TUIK,2018) kolay nakit elde edebilmesi ve planlama safhasında çalışmayan günlerin dikkate alınması sebebi ile tekil bina projelerinin nakit akışlarının çalışılmayan gün sayısı parametresinden etkilenmediği tespit edilmiştir.

4.4.2.4. Çalışılamayan günlerin okul projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Çalışılamayan gün sayısı parametresi ile yapılan gruplama sonrasında okul projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.38.'de gösterilmiştir. Okul projelerinde çalışılamayan gün sayısına göre 2. grupta yer alan projelerin nakit akışının diğer iki grupta bulunan projelere göre daha doğrusal bir şekilde gerçekleştiği görülmektedir. 1. ve 3. grupta bulunan projelerin ilk safhalarda daha düşük seviyede nakit akışına sahip oldukları, proje tamamlanma safhasında ise daha fazla nakit akışı sağlanarak proje ilerleme süresi ile nakit akışı arasındaki dengenin sağlandığı anlaşılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında veri seti içerisinde bulunan projeler arasında süre-maliyet ilişkisi en yüksek olan yapı türü okul ve hastane projeleridir (Okul R^2=0,82; Hastane R^2=0,87). Diğer taraftan, okul projelerinin çalışılmayan günlere göre BTC analizlerinde süre-maliyet ilişkisi en yüksek 3. grupta elde edilmiştir. Aynı projelerin nakit akışları incelendiğinde benzer şekilde 3. grupta yer alan okul projelerinin nakit akışlarının daha yüksek şekilde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Sriana ve Hayati (2015), Endonezya'da eğitim projelerinin süre-maliyet ilişkisini bölgesel bazda araştırmış, projelerin yerel faktörlerden ve iklim koşullarından etkilendiğini belirtmiştir. Şekil 4.38.'den görüleceği üzere çalışılmayan günlere göre okul projelerinin nakit akışları bölgesel olarak net bir şekilde ayrışmaktadır.



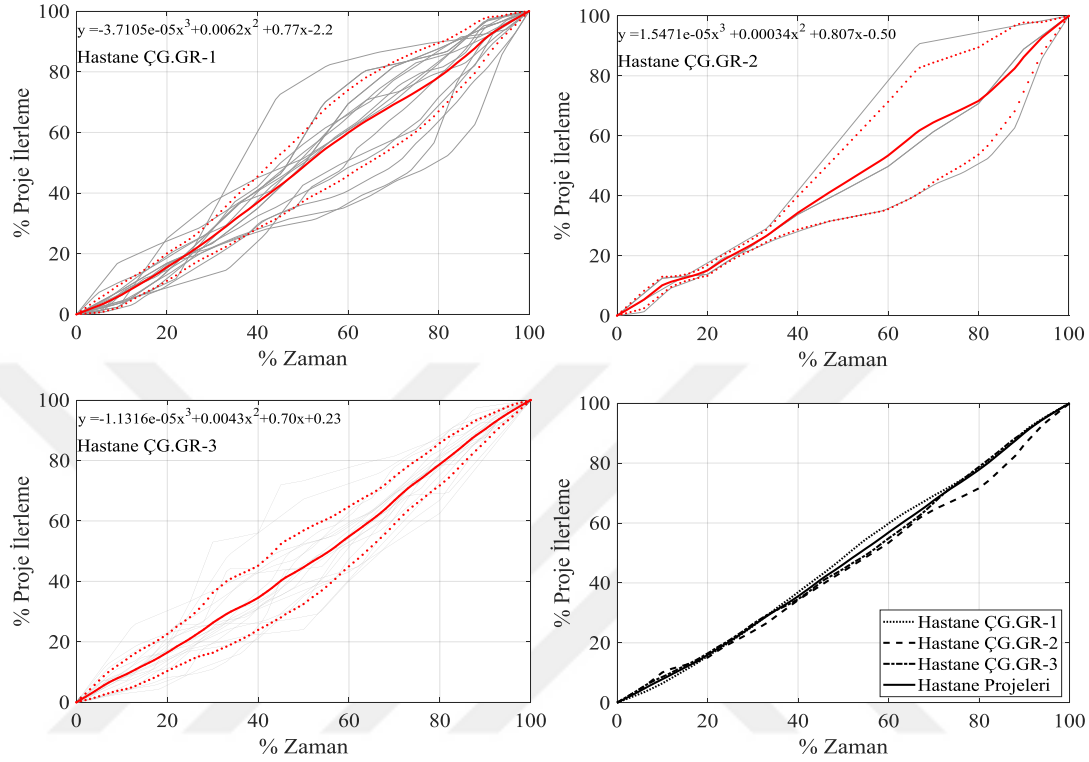
Şekil 4.38. Okul projeleri için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri

Bu bağlamda, okul projeleri özelinde çalışılmayan gün sayıları arttıkça nakit akışlarının da arttığı tespit edilmiştir. Thorpe ve Karan, (2008)'nın belirttiği üzere mevsimsel etki ile inşaat projeleri daha düşük verimlilikle gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda, okul projelerinde nakit akışı finansmanının özellikle mevsimsel şartların zorlayıcı olduğu bölgelerde arttırılarak sözleşme kapsamında belirlenmiş olan işlerin bu şartlar altında planlanan sürede tamamlanabildiği değerlendirilmektedir.

4.4.2.5. Çalışılamayan günlerin hastane projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Çalışılamayan gün sayısı parametresi ile yapılan gruplama sonrasında hastane projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.39.'da gösterilmiştir. 2. grupta yer alan hastane projelerinin diğer gruplarda bulunan projelere kıyasla proje süresinin %70'lik diliminden tamamlanana kadar daha düşük seviyede nakit akışı ile yönetildiği Şekil. 4.39.'dan anlaşılmaktadır. Ancak 2. grupta sadece 4 proje yer alması sebebi ile bu grup için istatiksel bir genelleme yapmak için yeterli proje sayısı bulunmamaktadır. Diğer

taraftan, aynı grupta BTC ile yapılan analizlerde hastane projeleri için %98 oranında süre-maliyet ilişkisi tespit edilmiş olsa dahi bu projelerin nakit akışları incelendiğinde ilerlemelerinin düzenli olmadığı Şekil 4.39.'dan anlaşılmaktadır.



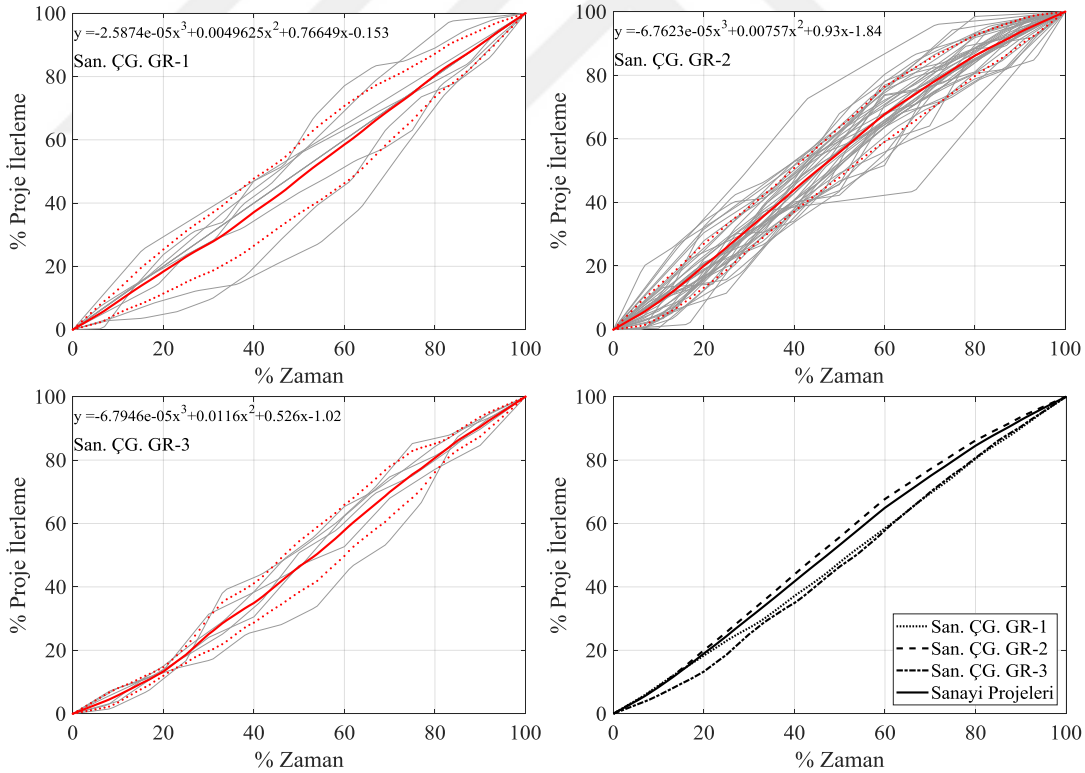
Şekil 4.39. Hastane projeleri için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri

Bu bilgiler ışığında, bu çalışmada olduğu gibi süre-maliyet ilişkisinin iki farklı boyutta incelenmesinin gerekliliği ön plana çıkmaktadır. BTC modeli projelerin gerçekleşme tutarları ile sürelerini dikkate alırken, S-Eğrileri projelerin yaşam döngüleri boyunca ilerlemelerinin grafiksel bir gösterimidir. Bu bağlamda, projelerin tamamlanma tutarı ve süreleri ile nakit akışlarının süre-maliyet ilişkisi kapsamındaki önemi ve farkı, bu çalışmada tam olarak hastane projeleri ile açıklanmıştır.

Hastane projelerinin bina, konut ve diğer proje türlerinden farklı olarak, tıbbi gereksinimlere bağlı olarak çok fazla detay içerdiği bilinmektedir (Kırbaş, 2012). Bu bağlamda hastane projeleri Kırbaş (2012)'ın da belirttiği üzere bölgesel ayrım olmadan tıbbi gereksinimlere göre bütün bölgelerde benzer standartlarla inşa edilmesinden dolayı çalışılmayan gün sayılarının hastane projeleri üzerinde etkisinin olmadığı değerlendirilmektedir.

4.4.2.6. Çalışılamayan günlerin sanayi projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Çalışılamayan gün sayısı parametresi ile yapılan gruplama sonrasında sanayi projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.40.'ta gösterilmiştir. Sanayi projelerinde çalışılamayan gün sayısının etkisi incelendiğinde 2. grupta yer alan projelerin, ortalama S-Eğrisinin aksine nakit akışının projelerin başlangıç safhasından tamamlanana kadar yüksek düzeyde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu durumun, sanayi projelerindeki yatırımcıların gecikme konusunda hassasiyetinden ve gecikme durumunda sanayi yatırımının hemen faaliyete geçememesinden dolayı oluşabilecek muhtemel zararlardan kaynaklandığı değerlendirilmektedir (Forcada ve ark., 2011). Ayrıca, yatırımcı baskısı sebebi ile işlerin daha hızlı ve planlı yapılmasının gerekliliğinden dolayı sanayi projelerinde nakit akışının diğer yapı gruplarına kıyasla daha hızlı gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.40. Sanayi projeleri için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri

2. grupta yer alan projelerin gerçekleşme süresinin %40'ın da nakit akışının yaklaşık %45 oranında gerçekleştiği, sürenin %60'ın da ise nakit akışının %60 oranında

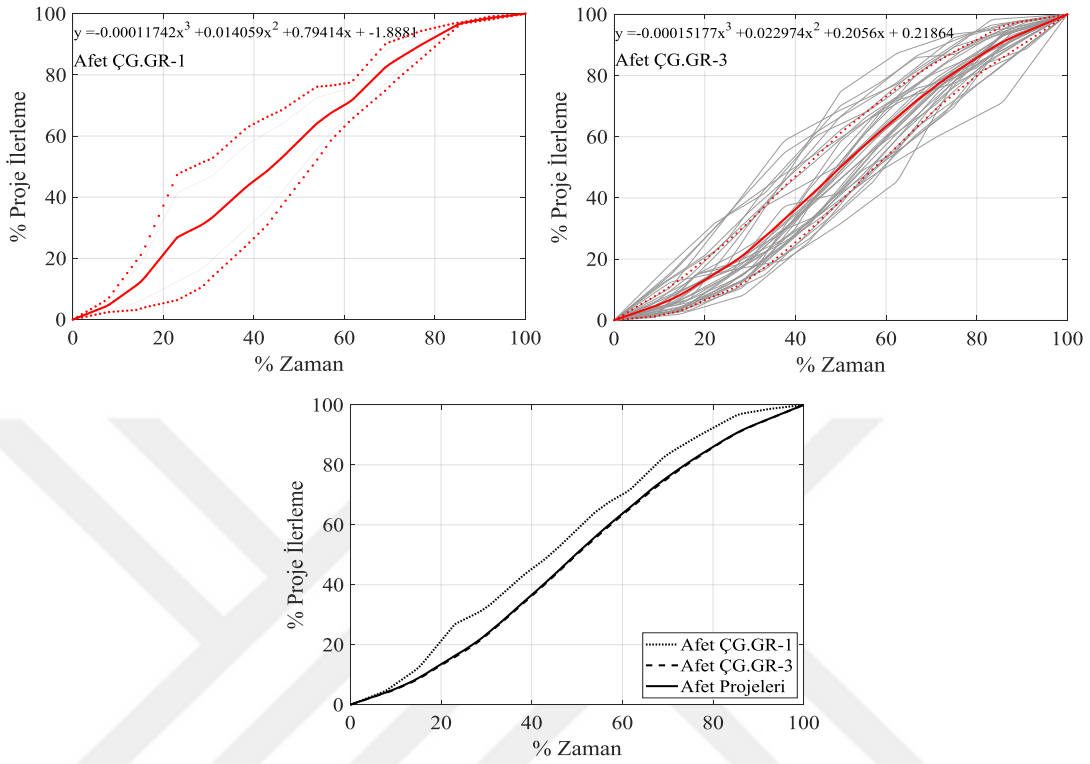
dengelendiği, 1. grupta yer alan projelerin ise proje başlangıcından tamamlanmasına kadar geçen zaman diliminde imalat hızına bağlı olarak; dengeli ve doğrusala yakın bir nakit akışı ile finanse edildiği Şekil 4.40.'tan anlaşılmaktadır. Ancak, BTC modeli ile yapılan analizlerde sanayi projelerinin çalışılmayan günlere göre 1.grubunda yer alan projelerin süre-maliyet ilişkisi R^2=0,50 olarak tespit edilmiştir. Bu bağlamda projelerin tamamlanmış olan süre ve maliyetleri ile yaşam döngüsü boyunca ilerleme sürecinin; birbirini tamamlayan iki unsur olduğu anlaşılmaktadır. Bu bilgiler ışığında, projelerin nakit akışlarının düzenli olması projelerin başarılı bir şekilde hedeflerine ulaşması için yeterli bir enstrüman olmadığı sonucuna varılmaktadır. S-Eğrilerinin; yatırımcı ve yönetim ekipleri açısından projelerin ilerlemelerini takip edebileceği efektif bir araç olduğu önceki bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Farklı bir bakış açısı ile proje paydaşları S-Eğrilerinden istifade ederek projelerin gerçekleşme safhasında karşılaşılabilecek olası problemlere müdahale etme şansına sahip olurlar. Bu bağlamda, sanayi projelerinin çalışılmayan günlere göre 1. grubunda yer alan projeler yüksek bir nakit akışı ile finanse edilerek gerçekleştirilmiş olsa dahi süre-maliyet kapsamında diğer gruplara kıyasla daha düşük bir ilişkiye sahiptir.

Şekil 4.40. incelendiğinde her üç grupta yer alan projelerin net bir şekilde ayrıştığı görülürken, sanayi projelerinin nakit akışlarının çalışılmayan gün parametresinden etkilendiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, çalışılmayan gün sayıları arttıkça sanayi projelerinin nakit akışlarının da arttığı tespit edilirken, bu durumun da Forcada ve ark. (2011)'nın belirttiği üzere sanayi yatırımcılarının çalışılmayan günleri sözleşme safhasında dikkate alarak nakit akış planlarını projelerin gerçekleştirildiği bölgeye göre yaptığı tespit edilmiştir.

4.4.2.7. Çalışılamayan günlerin TOKİ afet konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Çalışılamayan gün sayısı parametresi ile yapılan gruplama sonrasında TOKİ Afet konutları için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.41.'te gösterilmiştir. Çalışılmayan gün sayısı açısından 2. grupta yer alan illerde TOKİ afet konut projeleri bulunmadığından dolayı çalışmada yalnızca 1. ve 3. gruba dahil olan illerin proje verileri değerlendirilmiştir. Ancak,1. grupta da sadece iki proje yer aldığı için bu yapı türü ile

ilgili sadece grafikler Şekil 4.41.'de gösterilmiştir. TOKİ afet projelerinin bütünü ile ilgili açıklamalar Bölüm 4.4.1.'de yer almaktadır.

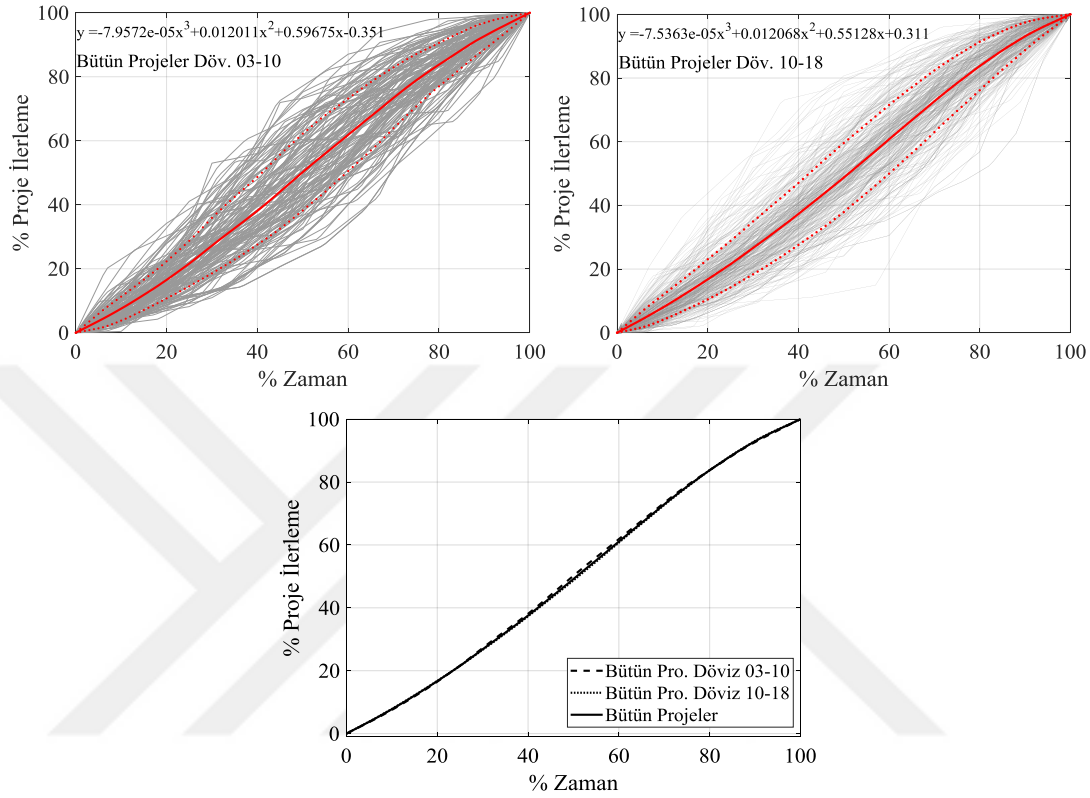


Şekil 4.41. TOKİ afet konut projeleri için çalışılamayan günlere göre S-Eğrileri

4.4.2.8. Döviz kurlarının bütün projelerdeki nakit akış performansına etkisi

Döviz kuru parametresi ile yapılan analizler sonucunda bütün projeler için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.42.'de gösterilmiştir. Türkiye'de döviz kurunun istikrarlı olduğu 2003-2010 dönemi ve dalgalı/ yükseliş trendi içerisinde bulunduğu 2010-2018 yılları arasında meydana gelen nakit akışı oranlarının benzer olduğu Şekil 4.42.'den anlaşılmaktadır. S-Eğrileri incelendiğinde oluşan zarf (envelope) ile projelerin başlangıç safhasında nakit akışı oranlarının proje ilerlemelerine göre geride olduğu, tamamlanma evresinde ise nakit akışı oranlarının arttığı Şekil 4.42.'den anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, 1. dönem ve 2. dönem projelerinin benzerlik göstermesi döviz kuru parametresinin üstyapı projelerinin nakit akışı üzerinde etkili olmadığını göstermektedir. Ancak, inşaat firmalarının döviz kurunun olumsuz etkilerini önceden önlem alarak yönetebildiği bilinmektedir. Diğer taraftan, dövize bağlı ihalelerin yapılması, alacakların dövize endekslenmesi gibi birtakım enstrümanlar

kullanılabilmektedir. Bu bağlamda, gelirleri ve maliyetleri farklı para birimleri ile gerçekleştirilen inşaat sözleşmelerinde kur dalgalanması riskine karşı hedging yöntemlerine başvurabilmektedir.



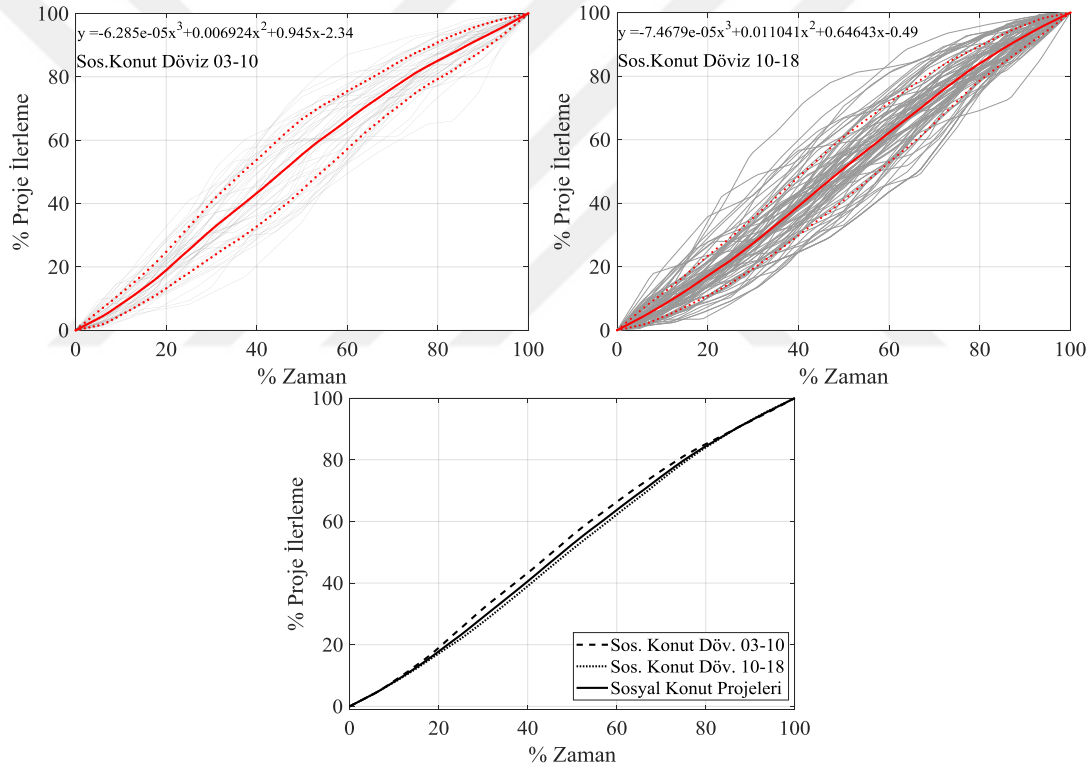
Şekil 4.42. Bütün projeler için döviz kurlarına göre S-Eğrileri

Kur riskinden korunmada kullanılan temel araçlar ise futures, forward, swap ve opsiyon sözleşmeleri vb. türev ürünlerdir (Aksüyek ve Biçen, 2017). Bu önlemlerin alınması inşaat firmalarının projelerin devam ettiği süreçte nakit akışlarında problem yaşanmamasına katkı sağlamaktadır. Finansal bakış açısı ile Aksüyek ve Biçen, (2017)'ın belirttiği şartlar altında döviz kuru etkisinin üstyapı projelerinin nakit akışlarını etkilemediği değerlendirilmektedir.

4.4.2.9. Döviz kurlarının TOKİ sosyal konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Döviz kuru parametresi ile yapılan gruplama sonrasında TOKİ sosyal konut projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.43.'te gösterilmiştir. 2003-2010 yılları arasında inşa edilen sosyal konut projelerinde nakit akışlarının 2010-2018 döneme kıyasla daha

yüksek oranda gerçekleştiği, ikinci dönemde ise nakit akışı oranının proje süresine kıyasla daha düşük seviyede olduğu Şekil 4.43.'den anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, TOKİ sosyal konut projelerinin süre-maliyet bağlamında döviz kuru dalgalanmalarından etkilendiği değerlendirilmektedir. Özellikle döviz kuru ve ÜFE'ye bağlı olarak Türkiye'de inşaat malzeme fiyatlarında 2010-2018 yılları arasında artış yaşanırken, tüketici konut kredisi faizleri ise yükselmiştir (Dalkılıç ve Aşkın, 2018). Diğer yandan, TOKİ projeleri kamu kapsamında finanse edildiği için ödeme dönemlerinde ÜFE endeksine bağlı olarak fiyat farkı uygulaması kullanılmaktadır (http://www.toki.gov.tr, 2018). Bu bilgilere proje veri setinde yer alan aylık hakediş raporlarından ulaşılmıştır.



Şekil 4.43. TOKİ sosyal konut projeleri için döviz kurlarına göre S-Eğrileri

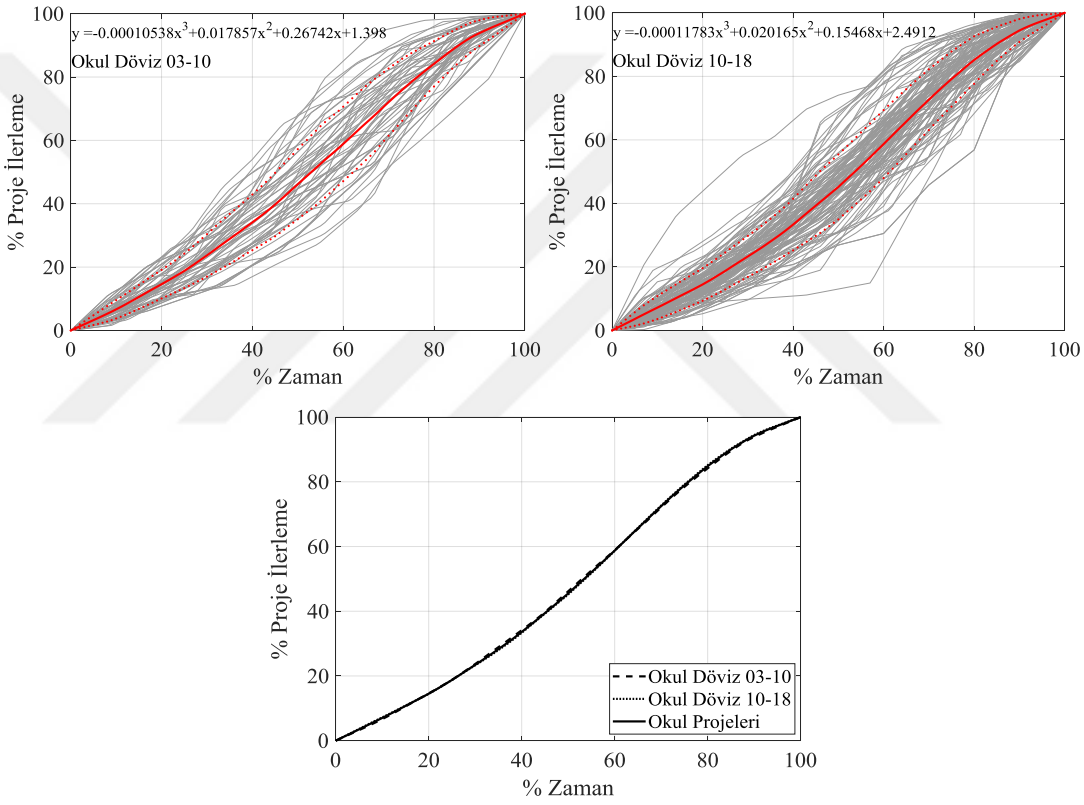
ÜFE endeksinin döviz kurlarına bağlı olarak artış eğilimi gösterdiği önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bu bağlamda, sektördeki belirsizlikler, maliyet artışı ve kredi faizlerinin yükselmesi nedeniyle TOKİ sosyal konut projelerinde nakit akışının ikinci dönemde daha düşük seviyede gerçekleştiği tespit edilmiştir.

4.4.2.10. Döviz kurlarının bina projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Bina projelerinin verileri sadece 2010-2018 yılları arasında dağılım gösterdiği için, döviz parametresi ile yapılan gruplama bu proje grubu için uygulanamamıştır.

4.4.2.11. Döviz kurlarının okul projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Döviz kuru parametresi ile yapılan analiz sonucunda okul projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.44.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.44. Okul projeleri için döviz kurlarına göre S-Eğrileri

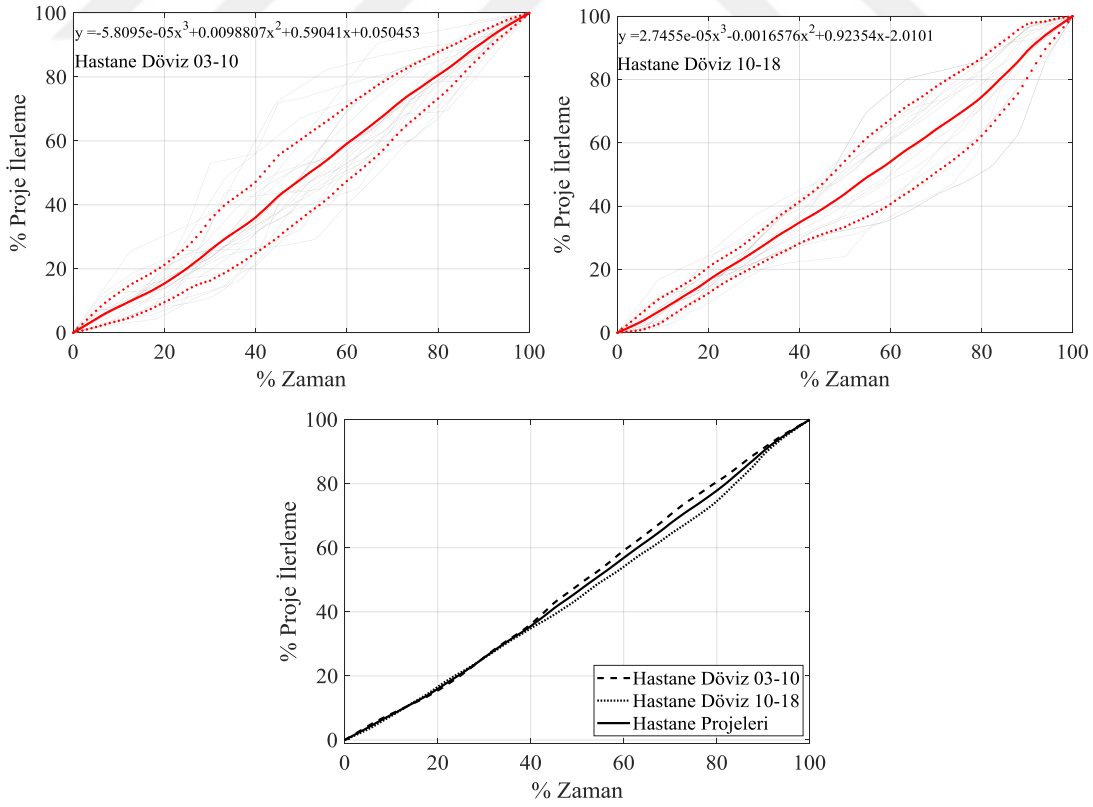
Dövizin dalgalı olduğu dönem ile istikrarlı olduğu dönemde okul projelerinin nakit akışı/gerçekleşme süresi oranlarının benzer sonuçlar verdiği ve bu sebeple döviz kuru parametresinin okul projelerinin nakit akışlarını etkilemediği Şekil 4.44.'te gösterilen S-Eğrilerinden anlaşılmaktadır. Okul projeleri bu çalışmadaki veri seti içerisinde hastane projeleri ile birlikte en yüksek süre-maliyet ilişkisine sahip yapı grubudur (R^2=0,82). Diğer taraftan, okul projeleri tamamlanma süre ve maliyetleri açısından da

döviz kurlarından önemli ölçüde etkilenmemiştir. Şekil 4.44. incelendiğinde nakit akışları açısından da benzer bir tablo görülmektedir.

Kamu kapsamında gerçekleştirilen okul projelerinin ödeme evrakları da diğer kamu projeleri gibi ÜFE oranında fiyat farkı uygulaması ile finanse edilmektedir. (https://www.ipkb.gov.tr, 2018). Ancak, kamu kapsamındaki okul projeleri "Proje Koordinasyon Merkezi" tarafından yönetilmektedir (https://www.ipkb.gov.tr, 2018). Bu bağlamda okul projelerinin, proje ve finans yönetiminin diğer kamu projelerine kıyasla daha başarılı olduğu, ayrıca fiyat farkı uygulaması kullanılarak aylık ödemelerin gerçekleştirilmesi sebebi ile bu yapı grubunun döviz kurlarından etkilenmediği tespit edilmiştir.

4.4.2.12. Döviz kurlarının hastane projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Döviz kuru parametresi ile yapılan gruplama sonrasında hastane projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.45.'te gösterilmiştir.



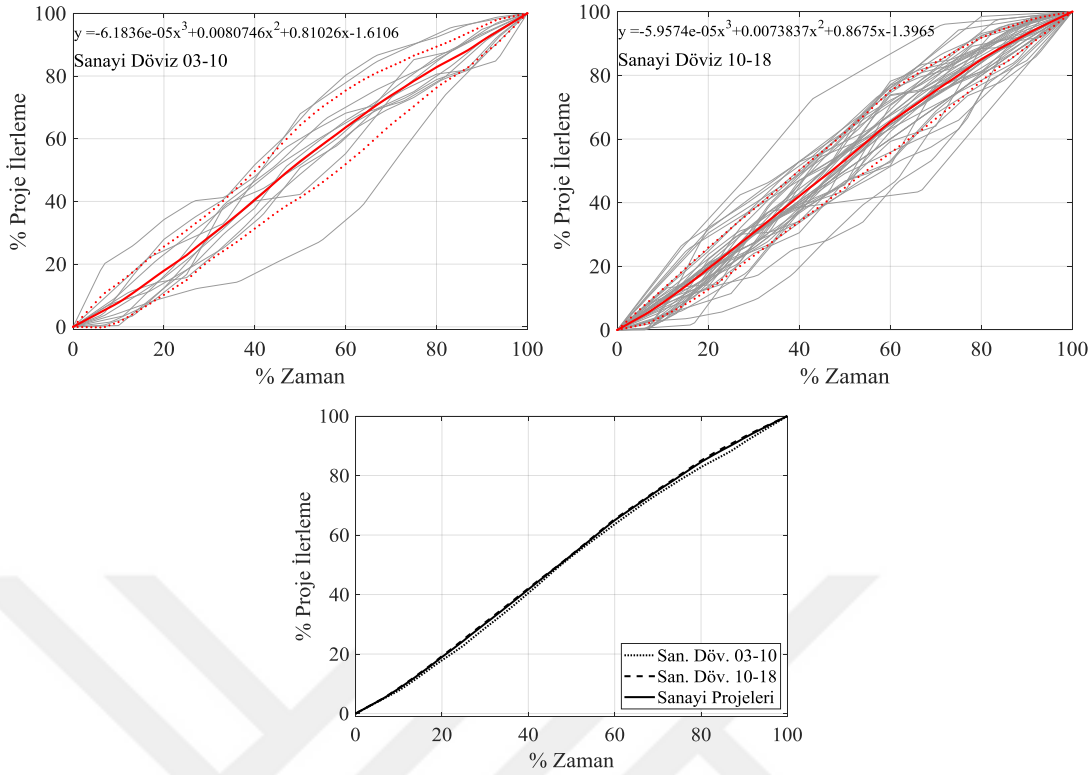
Şekil 4.45. Hastane projeleri için döviz kurlarına göre S-Eğrileri

Hastane projelerinin her iki dönem için %40'lık zaman dilimine kadar benzer nakit akışı oranlarına sahip olduğu, devam eden süreçte ise ayrıştığı görülmektedir. Bu bağlamda, ilk dönem (2003-2010) projelerinin gerçekleşme süresinin %80'ninde nakit akışının da %80 oranında, ancak ikinci dönem (2010-2018) projelerinin ise aynı sürede %75 oranında nakit akışının gerçekleştiği Şekil 4.45.'ten anlaşılmaktadır. Hastane projeleri kapsamında işletme evresinde kullanılacak tıbbi ekipmanlar dövize endeksli olarak temin edilebilmektedir. Ayrıca, projeler henüz yapım aşamasında iken satın alma işlemleri gerçekleştirilmektedir (Kırbaş, 2012). Diğer taraftan, hastane inşaatı projeleri, bina, konut ve diğer proje türlerinden farklı olarak, tıbbi gereksinimler sebebi ile çok fazla detay içerdiği için sanayi projeleri ile birlikte dövize bağlı bir satın alma sürecine sahiptir (Kırbaş, 2012). Bu bağlamda, döviz kurunun artış eğiliminde olduğu ikinci dönemde hastane projelerine ait nakit akışının dövize bağlı satın alma sürecinden dolayı daha düşük seviyede gerçekleştiği değerlendirilmektedir. Bu bilgiler ışığında ve Şekil 4.45.'de yer alan S-Eğrilerinin de %40'lık zaman diliminden sonra net olarak ayrışmasından dolayı hastane projelerinin döviz kurlarının yükselmesinden kaynaklı daha fazla nakit akışı ile finanse edildiği tespit edilmiştir.

4.4.2.13. Döviz kurlarının sanayi projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Döviz kuru parametresi ile yapılan analizler sonucunda sanayi projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.46.'da gösterilmiştir. Sanayi projeleri için döviz kurunun nakit akışları üzerinde etkili olmadığı, proje gerçekleşme süresi oranlarının da nakit akışı oranları ile paralel bir şekilde ilerlediği Şekil 4.46.'dan anlaşılmaktadır. Ancak, sanayi projelerinde ağırlıkla kullanılan demir, çelik ve diğer yapısal ürünlerin doğrudan döviz kuruna bağlı olduğu da bilinmektedir (Dikmen ve Özek, 2011). Aksükyek ve Biçen (2017), Türkiye'de döviz kurunda yaşanan dalgalanmaların inşaat projelerini süre, maliyet ve kalite açısından etkilediğini ifade ederek proje yaşam döngüsünde bütçe kontrolü açısından tasarımda birtakım değişikler yapılabildiğini belirtmiştir.

Sanayi yatırımcılarının kur riskinden korunmada kullanılan temel araçlardan (futures, forward, swap ve opsiyon sözleşmeleri vb. (Aksüyek ve Biçen, 2017) faydalandığı ve bu sebepten dolayı da sanayi projelerinin nakit akışlarının döviz kuru parametresinden etkilenmediği değerlendirilmektedir.

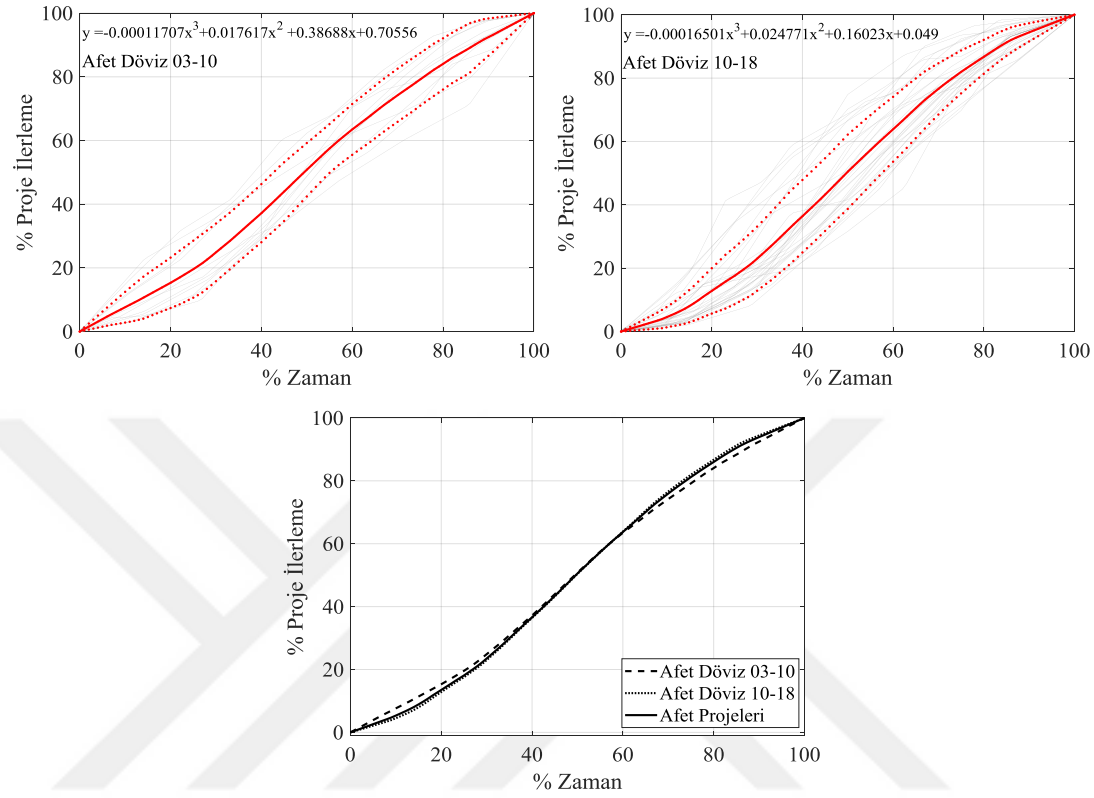


Şekil 4.46. Sanayi projeleri için döviz kurlarına göre S-Eğrileri

4.4.2.14. Döviz kurlarının TOKİ afet konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Döviz kuru parametresi ile yapılan gruplama sonrasında TOKİ afet konut projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.47.'de gösterilmiştir. TOKİ afet konut projelerinin ilk evresinde nakit akışlarının her iki dönemde de düşük seviyede kaldığı, projelerin devam eden safhalarında ise nakit akışı oranlarının ilerleme süresi ile dengelendiği Şekil 4.47.'den anlaşılmaktadır. Ancak, Şekil 4.47. incelendiğinde her iki dönem için de afet projelerine ait S-Eğrilerinin önemli ölçüde ayrışmadığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan afet projeleri, afet bölgesinde kamu yararına (www.toki.gov.tr, 2018) inşa edilen projeler olması sebebi ile projelerin gerçekleşme sürecinde farklı parametrelerin etkisi olduğu ve kamu tarafından kesintisiz bir şekilde finanse edildiği bilinmektedir (Sönmez ve ark.,2020). Bu bağlamda, bu çalışmada TOKİ afet projelerinin nakit akış performansları ve proje ilerleme süreçlerinin, Ouyang ve Wang (2015), Zobel (2013) ve Porter (2016)'ın çalışmasına benzerlik göstererek döviz kurlarından önemli ölçüde etkilenmediği tespit edilmiştir. Diğer taraftan, TOKİ tarafından inşa edilen projelerin kamu kapsamında finanse edilerek, aylık ödemelerin ÜFE endeksine bağlı olarak

planlandığı (http://www.toki.gov.tr, 2018), ÜFE endeksinin ise döviz kurlarına bağlı olarak artış gösterdiği de Bölüm 4.2.2.'de yer alan Tablo 4.2.'de açıklanmıştır.



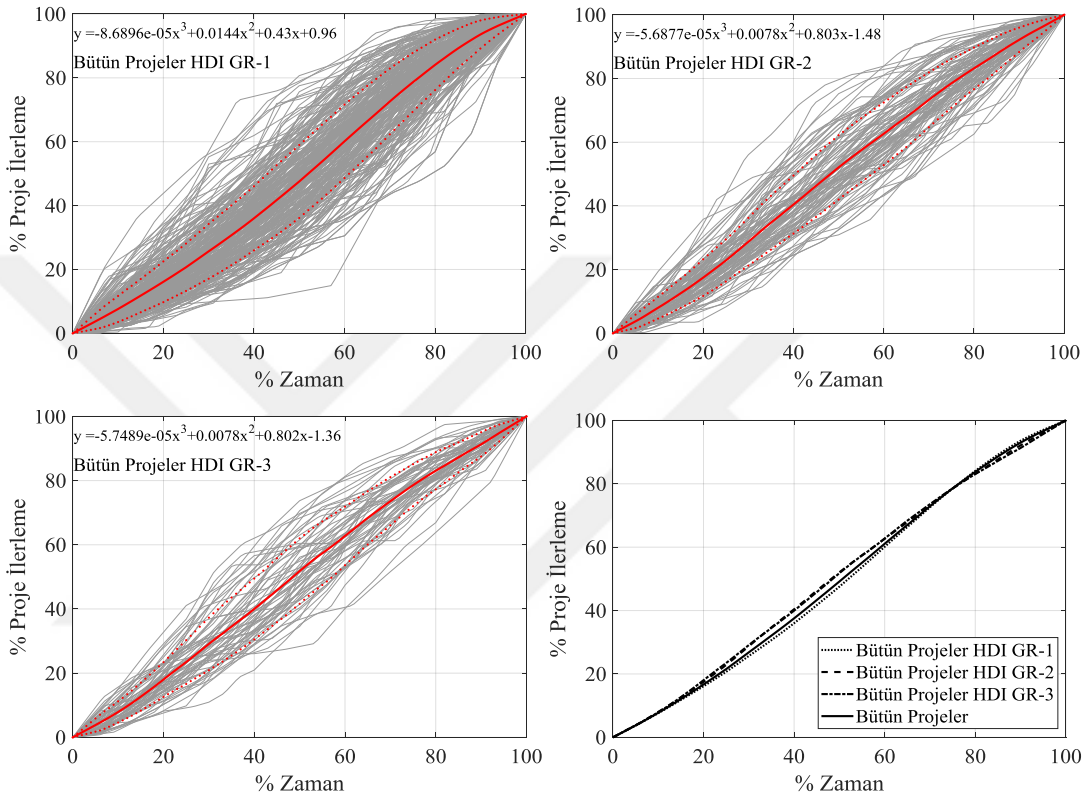
Şekil 4.47. TOKİ afet konut projeleri için döviz kurlarına göre S-Eğrileri

Bu bağlamda, TOKİ afet konut projelerinin doğal afetler sonrasında devlet destekli olarak finanse edilmesi ve yüklenici ödemelerinde ÜFE endeksine bağlı fiyat farkı uygulanması sebebi ile nakit akışlarının döviz kurlarından önemli ölçüde etkilenmediği tespit edilmiştir.

4.4.2.15. İnsani gelişmişlik endeksinin bütün projelerdeki nakit akış performansına etkisi

İnsani gelişmişlik endeksi parametresi ile yapılan analizler sonucunda bütün projeler için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.48.'de gösterilmiştir. Bütün projelerin İGE kapsamında yapılan analizlerinde, doğrusala yakın S-Eğrilerinin elde edildiği Şekil 4.48.'den anlaşılmaktadır. Ancak, İGE düzeyi yüksek olan illerde gerçekleştirilen 1. grup projelerde proje sürelerinin başlangıç safhasında nakit akış oranının düşük olduğu, İGE düzeyi düşük olan illerde gerçekleştirilen 3. grup projelerde ise nakit akış

oranının diğer gruplara kıyasla daha yüksek olduğu Şekil 4.48.'den anlaşılmaktadır. Projelerin süre açısından %40'ın da 1. grup projelerde nakit akış oranının %35, 2. grup projelerde %40, 3. grup projelerde ise %45 düzeylerinde gerçekleştiği Şekil 4.48.'de görülmektedir. Bu bağlamda, İGE endeksi düşük olan bölgelerdeki projelerin, başlangıç safhasında daha fazla nakit akışı ile finanse edildiği tespit edilmiştir.



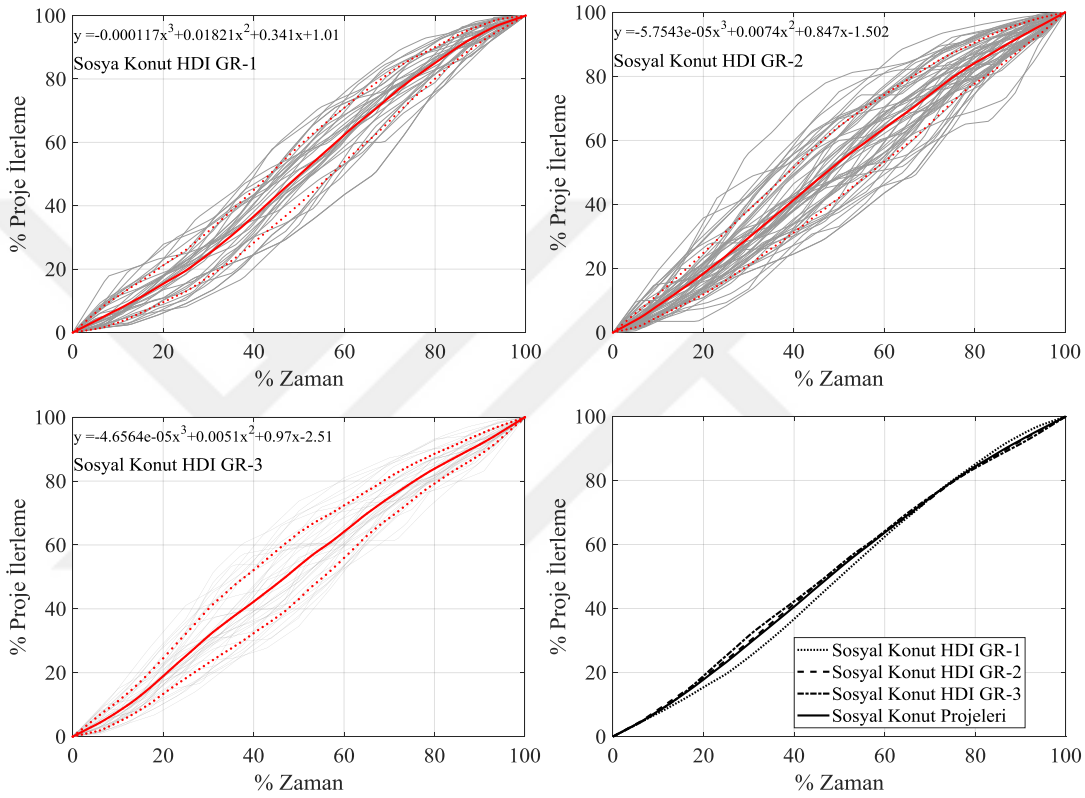
Şekil 4.48. Bütün projeler için insani gelişmişlik endeksine Göre S-Eğrileri

Ancak, İGE düzeyi düşük olan bölgelerde inşaat projelerinde iş kazaları daha fazla yaşanmaktadır (Baradan ve ark., 2019). Bu gibi durumların inşaat projelerini maliyet ve süre olarak etkilediği de bilinmektedir. Devam eden bölümlerde yapı türlerine göre İGE endeksinin nakit akışlarına etkisi detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

4.4.2.16. İnsani gelişmişlik endeksinin TOKİ sosyal konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi

İnsani gelişmişlik endeksi parametresi ile yapılan gruplama sonrasında TOKİ sosyal konut projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.49.'da gösterilmiştir. TOKİ sosyal konut projelerinde İGE düzeyi dikkate alındığında 2. ve 3. grupta bulunan illerde

gerçekleştirilen projelerin ilk safhalarında ilerleme oranına göre yüksek seviyede nakit akışı sağlandığı, İGE düzeyi en yüksek olan illerde inşa edilen projelerin ise başlangıç evresinde diğer projelere kıyasla daha düşük seviyede nakit akışı ile finanse edildiği Şekil 4.49.'dan anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, TOKİ sosyal projelerinin süre-maliyet ilişkisi BTC modeli ile bu çalışma kapsamında incelenmiş ancak İGE'nin bu yapı türünü önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir.

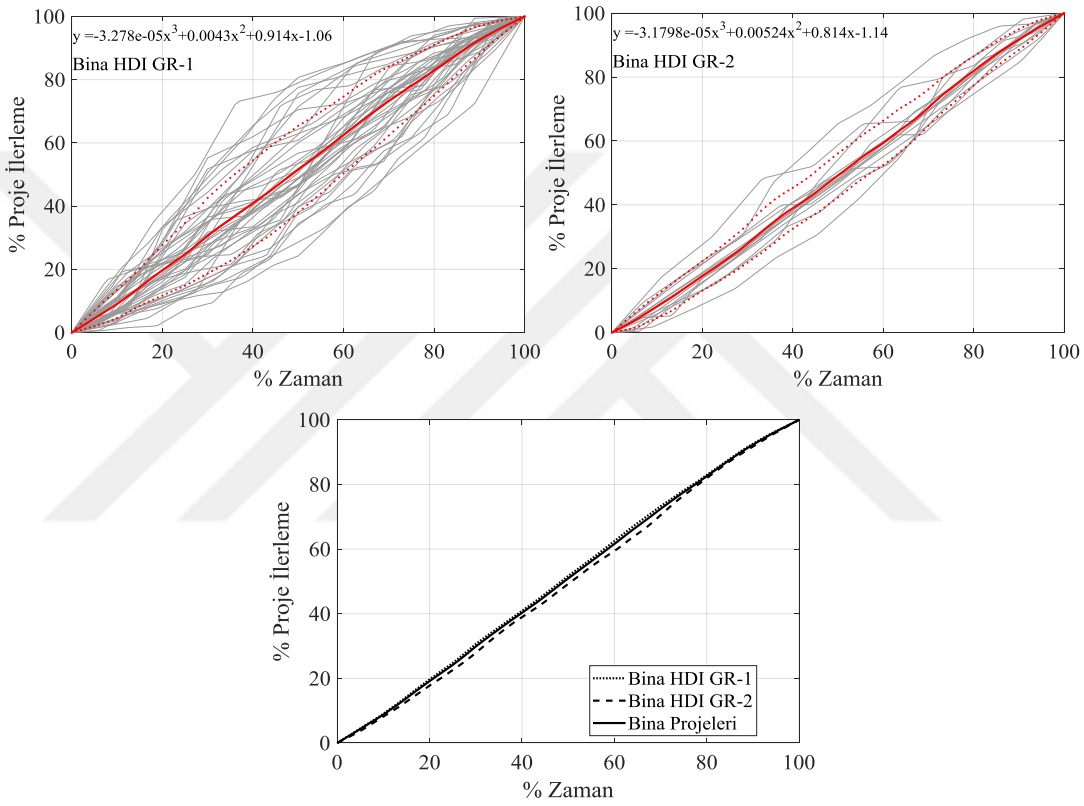


Şekil 4.49. TOKİ sosyal konut projeleri için insani gelişmişlik endeksine göre S-Eğrileri

Özellikle İGE açısından Türkiye'ye göre daha gelişmiş düzeyde (hdr.undp.org, 2018) olan İngiltere'de Kaka ve Price (1991), tarafından kamu konut projeleri üzerinde yapılan süre-maliyet ilişkisi araştırmaları sonuçları da bu çalışmada elde edilen bulguları doğrulamaktadır. Bu durumun en temel sebebi ise, TOKİ sosyal konut projelerinin devlet destekli, kapsamı ve süresi belirli olan tip projeler olarak (https://toki.gov.tr, 2018) kamu yararına inşa edilmesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

4.4.2.17. İnsani gelişmişlik endeksinin bina projelerindeki nakit akış performansına etkisi

İnsani gelişmişlik endeksi parametresi ile yapılan analizler sonucunda bina projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.50.'de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan veri setinde İGE-3. grup için yeterli dağılım olmadığı için bu parametre kapsamında 3. grup projeleri analize dahil edilememiştir.



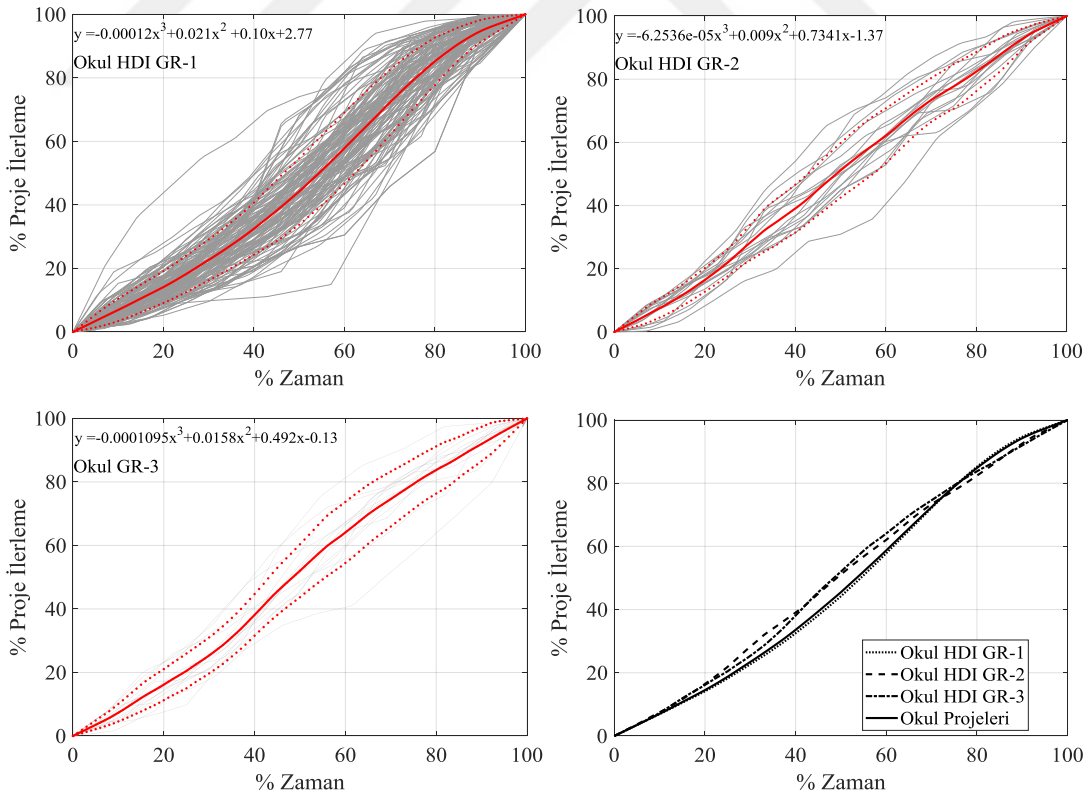
Şekil 4.50. Bina projeleri için insani gelişmişlik endeksine göre S-Eğrileri

Şekil 4.50. incelendiğinde genel olarak her iki grupta yer alan bina projelerinde nakit akış oranı ile proje gerçekleşme süresinin dengeli ve doğrusala yakın bir şekilde ilerletildiği Şekil 4.50.'den anlaşılmaktadır. İGE sıralamasında 38. sırada bulunan Slovakya'da (hdr.undp.org, 2018) Mackovaa ve ark. (2017), özel sektör bina projelerinin süre-maliyet ilişkisini R^2=0,81 düzeyinde tespit etmiştir. Bu çalışmada da Mackovaa ve ark. (2017)'nın çalışmasına benzer (R^2=0,79) süre-maliyet ilişkisi tespit edildiği önceki bölümlerde açıklanmıştır. Diğer taraftan, Yeong (1994) özel sektör kapsamında yapım işlerinde kullanılan teknolojinin proje planlaması açısında olumlu

bir etkiye sebep olduğu belirtirken, Kenley (2003) ise özel sektör inşaat projelerinin kamu kapsamında gerçekleşen projelere göre daha verimli yönetildiğini ileri sürmüştür. Bu bağlamda, İGE açısından özel sektör bina projelerinin süre-maliyet ilişkisi gelişmişlik düzeyi yüksek olan bölgelerde daha yüksek seviyede elde edilirken Şekil 4.50.'den de görüleceği üzere aynı projelerin nakit akışlarında belirgin bir ayrışma tespit edilememiştir. Türkiye'de anılan dönemde düşük faizli kredilerle (TUIK,2018) yatırımcı ve son kullanıcıların kolay nakit elde edebilmesi ve özel sektörde kullanılan yapım teknolojisi sebebi ile İGE endeksinin bina projelerinin nakit akışlarını etkilemediği anlaşılmaktadır.

4.4.2.18. İnsani gelişmişlik endeksinin okul projelerindeki nakit akış performansına etkisi

İnsani gelişmişlik endeksi parametresi ile yapılan gruplama sonrasında okul projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.51.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.51. Okul projeleri için insani gelişmişlik endeksine göre S-Eğrileri

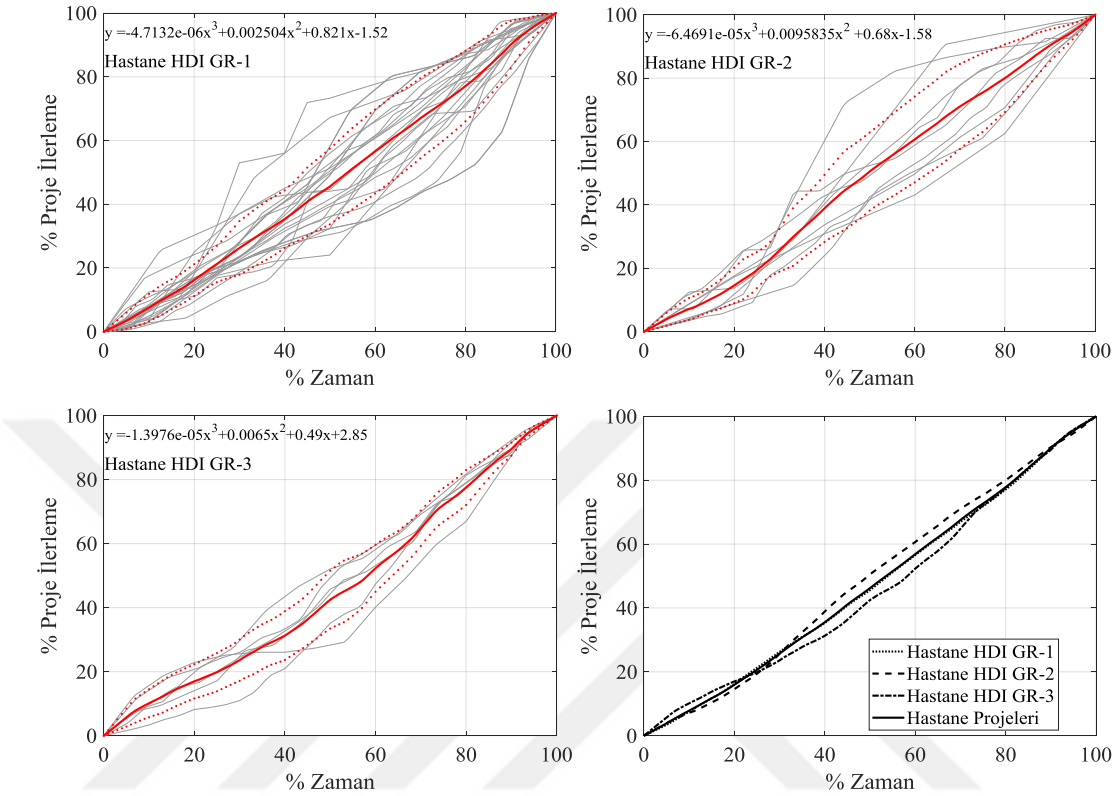
Şekil 4.51. incelendiğinde İGE düzeyi açısından her üç grup projede de projelerin ilk evresinde düşük nakit akış oranı ile çalışma yapıldığı, sürenin %50'sin de ise 2. grup ve 3. grup projelerde gerçekleşme süresi ile nakit akış oranlarının dengede olduğu anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, okul projelerinin İGE açısından süre-maliyet ilişkisi bu çalışma kapsamında araştırılmış ve R^2=0,88 açıklama düzeyi elde edilmiştir. Ayrıca, Sriana ve Hayati (2015), Endonezya'da eğitim projelerini incelediği çalışmada projelerin yerel faktörlerden, süre ve finansal anlamda olumsuz yönde etkilendiğini belirtmiştir. Bu bağlamda, Şekil 4.51.'de yer alan okul projelerinin S-Eğrilerinin belirgin bir şekilde ayrıştığı ve 2.grupta yer alan okul projelerinin daha yüksek nakit akışı ile finanse edildiği tespit edilmiştir.

Özetle, okul projelerinin nakit akışlarının BTC süre-maliyet modeline göre elde edilen sonuçların aksine İGE parametresinden etkilendiği, düşük gelir seviyesindeki bölgelerde gerçekleşen projelerin Sriana ve Hayati (2015)'nin de ifade ettiği gibi yerel şartlardan etkilenmesi sebebi ile daha yüksek nakit akışı ile finanse edildiği tespit edilmiştir.

4.4.2.19. İnsani gelişmişlik endeksinin hastane projelerindeki nakit akış performansına etkisi

İnsani gelişmişlik endeksi parametresi ile yapılan gruplama sonrasında hastane projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.52.'de gösterilmiştir. İGE düzeyi açısından 2. grupta yer alan projeler 3. grup projelere kıyasla daha yüksek nakit akışı ile yönetilmiştir. Şekil 4.52. incelendiğinde hastane projelerine ait S-Eğrilerinin belirgin bir şekilde ayrıştığı görülmektedir. Diğer taraftan, hastane projelerinin BTC modeli ile süre-maliyet ilişkisi R^2=0,87 ve İGE açısından 1., 2. ve 3. gruplarda yer alan projelerin süre-maliyet ilişkileri ise sırası ile R^2=0,89-0,87-0,94 olarak yüksek düzeyde tespit edilmiştir. Ancak, aynı projelerin İGE parametresi ile nakit akışları incelendiğinde; süre-maliyet açısından en yüksek açıklama düzeyine sahip olan 3. grup projelerinin bu bölümde en düşük düzeyde nakit akışı oranına sahip olduğu görülmektedir. Özellikle İGE açısından daha düşük seviyede yer alan illere sağlık hizmetlerinin daha çok götürülmesinde ülke politikasının etkili olduğu da önceki

bölümlerde belirtilmiştir (Gözlü ve Tatlıdil, 2015). Ancak veri setinde yer alan projeler incelendiğinde en az hastane projesi 3. grupta bulunmaktadır.



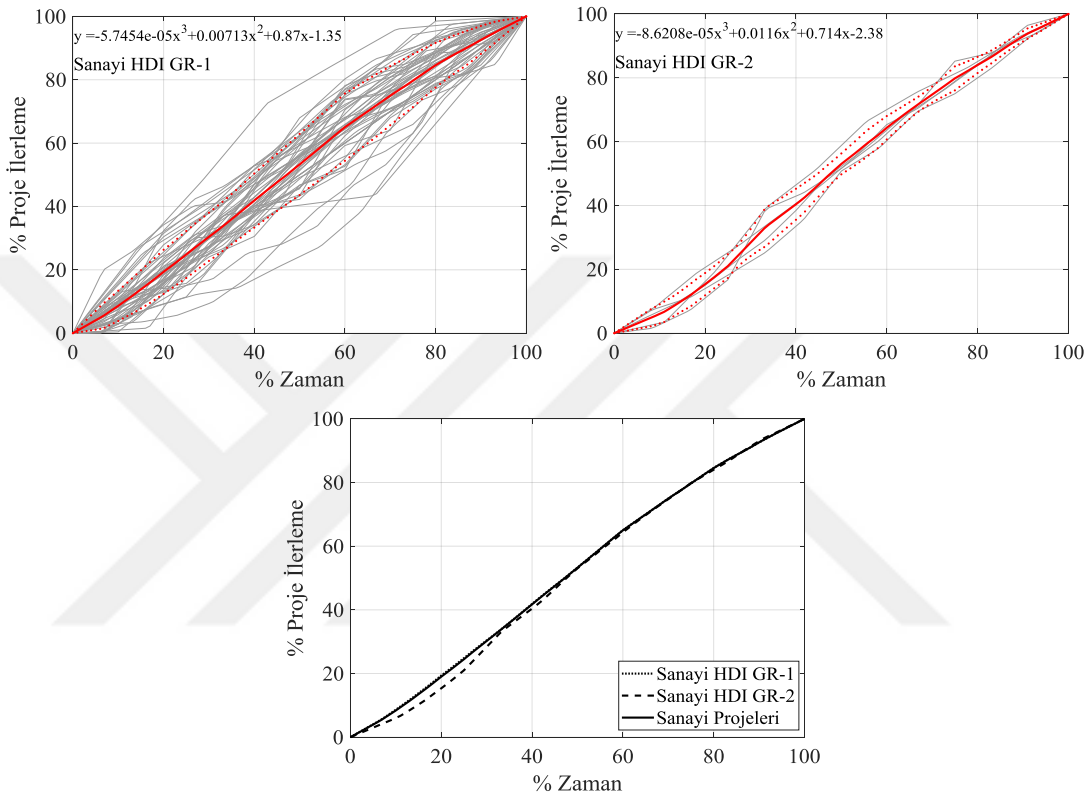
Şekil 4.52. Hastane projeleri için insani gelişmişlik endeksine göre S-Eğrileri

Hastane projelerinin, dövize bağlı yüksek yatırım maliyetleri gerektiren ve bölgesel ayrım olmadan tıbbi gereksinimlere göre bütün bölgelerde benzer standartlar ile inşa edilmesi gereken projelerdir (Kırbaş, 2012). Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında hastane projelerinin nakit akışlarının İGE parametresinden etkilendiği, dövize bağlı satın alma süreci sebebi ile İGE seviyesi düşük olan bölgelerde nakit akışlarının daha düşük seviyede gerçekleştiği tespit edilmiştir.

4.4.2.20. İnsani gelişmişlik endeksinin sanayi projelerindeki nakit akış performansına etkisi

İnsani gelişmişlik endeksi parametresi ile yapılan gruplama sonrasında sanayi projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.53.'te gösterilmiştir. Veri setinde yer alan sanayi projelerinde, İGE kapsamında 3. gruptaki illerde sanayi projelerinin dağılımının yetersiz olması sebebi ile sanayi projeleri 1. ve 2. grup bağlamında değerlendirilmiştir.

Özellikle İGE 2. grupta bulunan illerdeki projelerin nakit akış oranının proje başlangıç safhasında düşük düzeyde olduğu, 1. grupta bulunan projelerde ise daha yüksek düzeyde gerçekleştiği görülmektedir. Ancak, her iki bölgedeki sanayi projeleri incelendiğinde Şekil 4.53.'den de görüleceği üzere grafiklerde belirgin bir ayrışma tespit edilememiştir.



Şekil 4.53. Sanayi projeleri için insani gelişmişlik endeksine göre S-Eğrileri

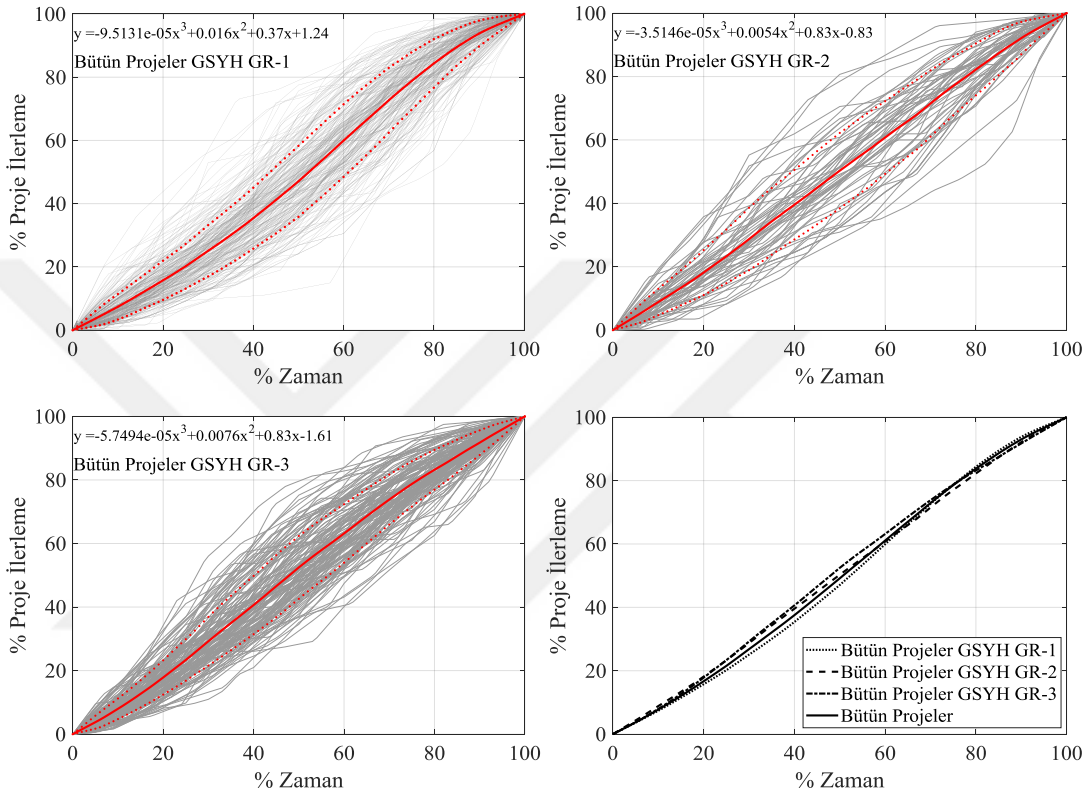
Bu durumun Türkiye'de küçük ve orta ölçekli sanayi yatırımcılarının sektörde yaşanan belirsizlikler sebebi ile bölgesel ayrım gözetmeksizin tesisin bir an önce devreye girmesi konusundaki baskılarla ilişkili olduğu bu çalışma kapsamında değerlendirilmektedir (Akyüksek ve Biçen, 2017).

4.4.2.21. İnsani gelişmişlik endeksinin TOKİ afet konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi

İnsani gelişmişlik endeksi parametresi açısından TOKİ afet konut projelerinin veri dağılımının yetersiz olması nedeniyle gruplama yapılabilecek veri bulunamamış ve analizi yapılamamıştır.

4.4.2.22. Gayri safi yurtiçi hasılanın bütün projelerdeki nakit akış performansına etkisi

Gayri safi yurtiçi hasıla parametresi dikkate alınarak gerçekleştirilen analizler sonucunda bütün projeler için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.54.'te gösterilmiştir.



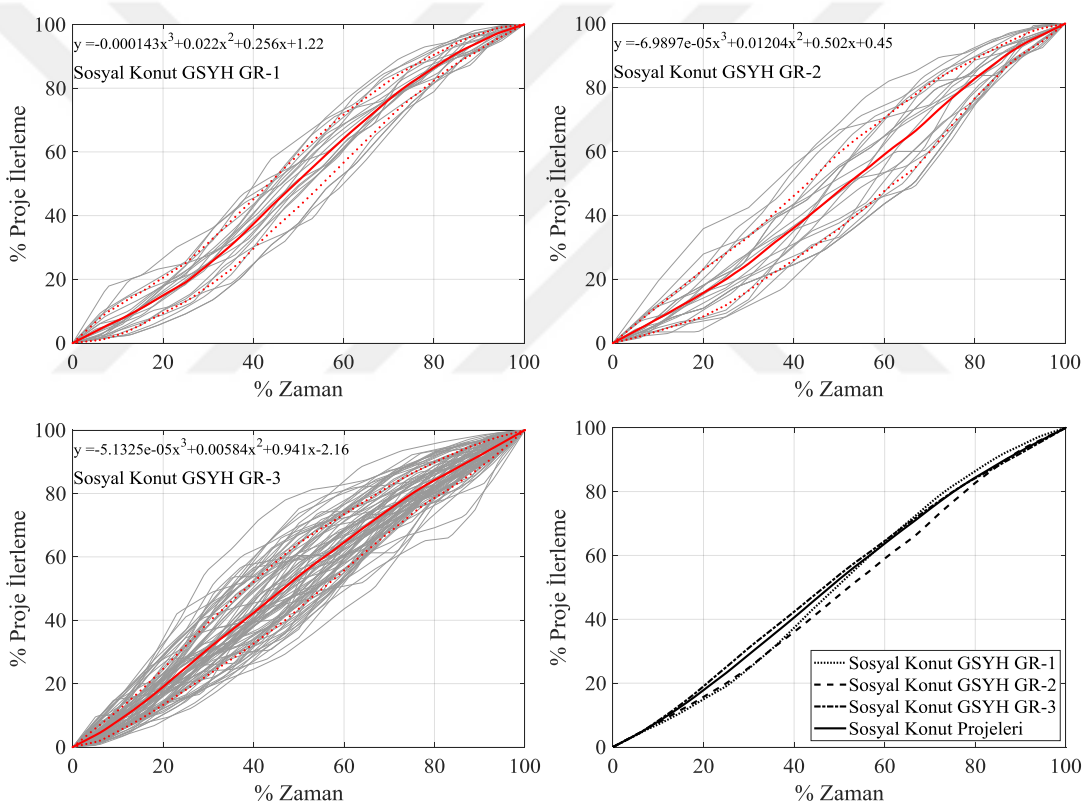
Şekil 4.54. Bütün projeler için gayri safi yurt içi hasılaya göre S-Eğrileri

Proje süresinin %40'ında nakit akış oranının 1. grup projelerde %30, 2. grup projelerde %40 ve 3. grup projelerde ise %40 düzeyinin üzerinde gerçekleştiği ve bütün gruplarda yer alan projelerin; tamamlanma evresinde nakit akışlarında dengeye ulaştıkları Şekil 4.54.'den anlaşılmaktadır. GSYH'da yaşanan daralma ve genişleme inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisini olumlu veya olumsuz yönde etkilemektedir (Tse ve Ganesan, 1997; Yiu ve ark., 2010; Berk ve Biçen, 2017). Diğer taraftan, insani gelişmişlik endeksi her ne kadar GSYH parametresini kapsıyor olsa da (Baradan ve ark., 2019), GSYH; inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkilerini ve nakit akışlarını doğrudan etkileyen bir parametre olduğu için bu çalışma kapsamında ayrıca değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, GSYH parametresi etkisi altında BTC modeli ile süre-maliyet ilişkisinin

araştırıldığı bölümde bütün projeler için süre-maliyet ilişkisi bölgesel olarak sırası ile R^2=0,63-0,47-0,59 olarak belirlenmiş ve BTC eğrilerinde belirgin ayrışmalar tespit edilmiştir. Çalışmanın devam eden bölümlerde yapı türlerine göre GSYH parametresinin nakit akışlarına etkisi araştırılarak bulguları değerlendirilecektir.

4.4.2.23. Gayri safi yurtiçi hasılanın TOKİ sosyal konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Gayri safi yurtiçi hasıla parametresi ile TOKİ sosyal konut projelerinin nakit akışları araştırılmış ve S-Eğrileri Şekil 4.55.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.55. TOKİ sosyal konut projeleri için gayri safi yurt içi hasılaya göre S-Eğrileri

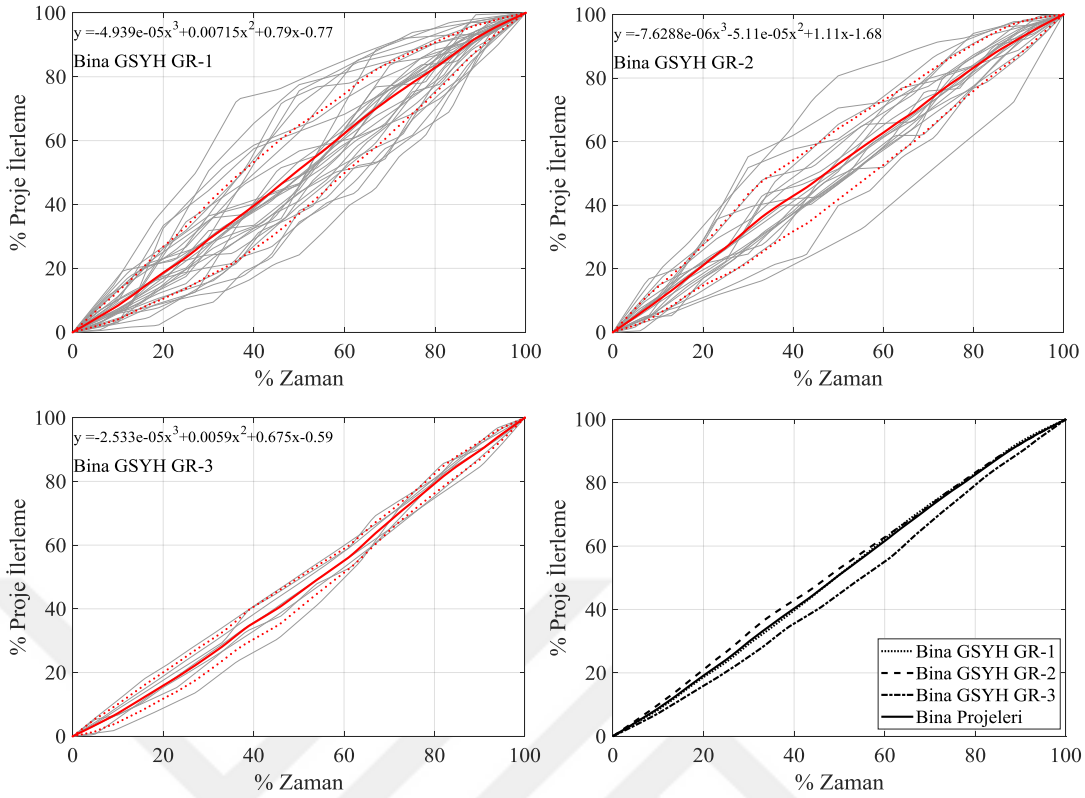
GSYH açısından en yüksek düzeye sahip olan 1. grup TOKİ sosyal konut projelerinde diğer iki gruba kıyasla daha düşük nakit akışı oranı ile projelerin ilk evrelerinin gerçekleştiği Şekil 4.55.'den anlaşılırken, gelir düzeyinin düşmesiyle birlikte projelerin daha yüksek nakit akışı ile finanse edildiği tespit edilmiştir. Ayrıca, BTC modeli ile GSYH etkisi dikkate alınılarak gerçekleştirilen analizlerde TOKİ sosyal konut projelerinin süre-maliyet ilişkisi Kaka ve Price (1991)'ın çalışmasına benzer

şekilde R^2=0,52-0,53-0,57 olarak belirlenmiş ancak bu parametrenin projelerin tamamlanma sürelerini önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir. Aynı projelerin nakit akışları incelendiğinde eğriler (Şekil 4.55.) belirgin bir şekilde ayrışmaktadır. Bu bağlamda, GSYH parametresinin BTC süre-maliyet modeli ile yapılan analizlerinde TOKİ sosyal konut projelerini etkilemediği ancak, nakit akışlarının olumsuz yönde etkilendiği tespit edilmiştir. Kısaca özetlemek gerekir ise GSYH açısından 3. grupta yer alan sosyal konut projeleri başlangıç safhasından tamamlanana kadar yüksek nakit akışı ile yönetilirken, 1. grupta yer alan projeler sadece tamamlanma safhasında diğer gruplarda yer alan projelere kıyasla yüksek nakit akışı ile finanse edilmiştir. Diğer taraftan, GSYH'ın en düşük düzeyde olduğu 3. grupta bulunan illerde projelerin daha yüksek maliyetlere ve gerçekleşme sürelerine sahip olduğu BTC analizlerinde belirtilmiştir. Akyüksek ve Biçen (2017)'ın belirttiği üzere bu durumun düşük gelirli ailelere konut arzı sağlanması politikasının sonucunda gerçekleştiği değerlendirilmektedir.

4.4.2.24. Gayri safi yurtiçi hasılanın bina projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Gayri safi yurtiçi hasıla parametresi ile yapılan gruplama sonrasında bina projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.56.'da gösterilmiştir. Şekil 4.56. incelendiğinde GSYH açısından orta ve yüksek gelir seviyesine sahip olan illerdeki projelerin nakit akış oranlarının yüksek düzeyde gerçekleştiği anlaşılmaktadır. En düşük gelir grubunda (3.grup) yer alan projelerde ise nakit akışları düşük seviyede gerçekleşmiştir.

Tekil bina projeleri, müşteri talepleri ile birlikte özel sektör bünyesinde inşa edilen yapı gruplarını kapsamaktadır (Kenley, 2003). Bu sebeple çalışma kapsamında araştırılan parametrelerin tekil bina projelerini genellikle etkilemediği bilinse de GSYH parametresinin tekil bina projelerinin nakit akışlarını etkileyen önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, bina projelerinde geleneksel anlamda ödemeler proje tamamlanma evresinde konut satışları ile karşılanmaktadır (Kenley, 2003).



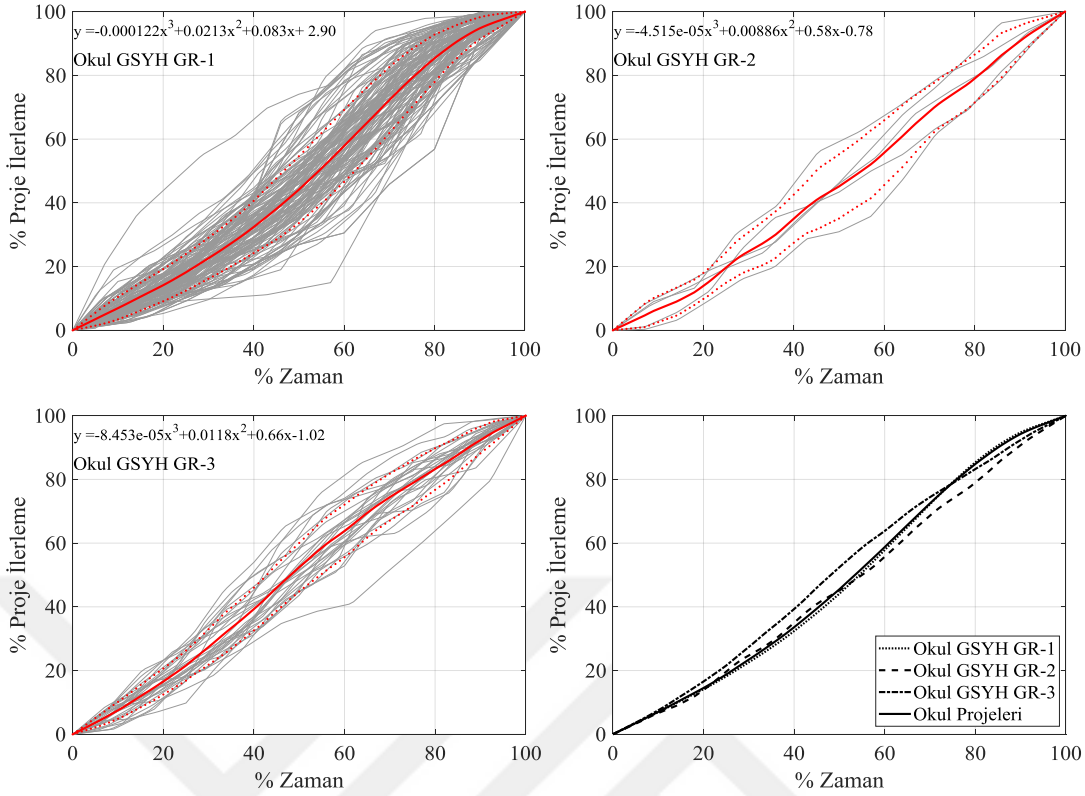
Şekil 4.56. Bina projeleri için gayri safi yurt içi hasılaya göre S-Eğrileri

Bu bağlamda, özel sektör bünyesinde inşa edilen bina projelerinin son kullanıcı talepleri üzerine gerçekleştirilmesi sebebi ile gelir düzeyi yüksek olan bölgelerde projelerin planlanan süre ve maliyette tamamlanması için yüksek nakit akış oranı ile finanse edildiği tespit edilmiştir.

4.4.2.25. Gayri safi yurtiçi hasılanın okul projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Gayri safi yurtiçi hasıla parametresi ile yapılan gruplama sonrasında okul projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.57.'de gösterilmiştir.

GSYH parametresinin okul projelerinin nakit akışları üzerindeki etkisi incelendiğinde en düşük gelir düzeyindeki bölgelerde yer alan projelerin daha yüksek nakit akışı ile gerçekleştirildiği görülmektedir. Projelerin süre açısından %40'ında nakit akışı oranının 3. grup projelerde %40, 2. grup projelerde ise %35 ve 1.grup projelerde ise %30 olarak gerçekleştiği Şekil 4.57.'den anlaşılmaktadır.



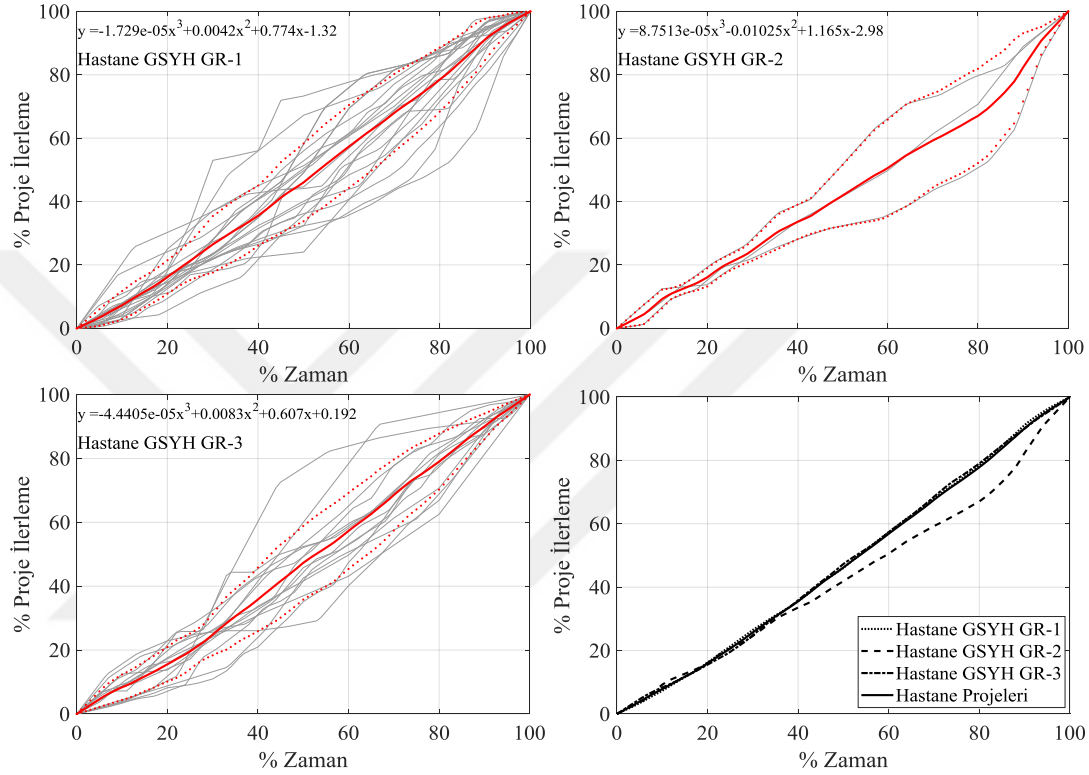
Şekil 4.57. Okul projeleri için gayri safi yurt içi hasılaya göre S-Eğrileri

İGE ile GSYH parametreleri arasında R^2=0,78 seviyesinde yüksek bir ilişki olduğu bilinmektedir (Baradan ve ark., 2019). Bu bilgiler ışığında, İGE'nin bileşenlerinden biri olan okullaşma düzeyinin (Yeşilyurt ve ark., 2016) düşük olduğu 3. grup illerde yer alan eğitim projelerinin, diğer bölgelere kıyasla yüksek nakit akışı ile yönetildiği ve bu sebeple projelerin inşa edildiği bölgelerin gelir düzeyleri düştükçe nakit akış oranlarının yüksek seviyede gerçekleştiği tespit edilmiştir.

4.4.2.26. Gayri safi yurtiçi hasılanın hastane projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Gayri safi yurtiçi hasıla parametresi ile yapılan gruplama sonrasında hastane projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.58.'de gösterilmiştir. GSYH parametresi açısından hastane projelerinin nakit akışları incelendiğinde her üç grupta yer alan projelerin; proje süresince düşük nakit akışı oranı ile yürütüldüğü Şekil 4.58.'den anlaşılmaktadır. Özellikle 2. grupda yer alan projelerin proje süresinin %50'lik diliminden sonra düşük nakit akış oranı ile yönetildiği tespit edilmiştir.

BTC modeli ile yapılan araştırmada hastane projelerinin süre-maliyet ilişkisi GSYH 2.grupta yer alan projeler için R^2=0,91 oranında yüksek düzeyde belirlenirken aynı projelerin nakit akışlarının düzenli olmadığı Şekil 4.58.'den anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, 2. grupta 3 adet proje yer alması sebebi ile istatiksel bir değerlendirme yapılamamıştır.

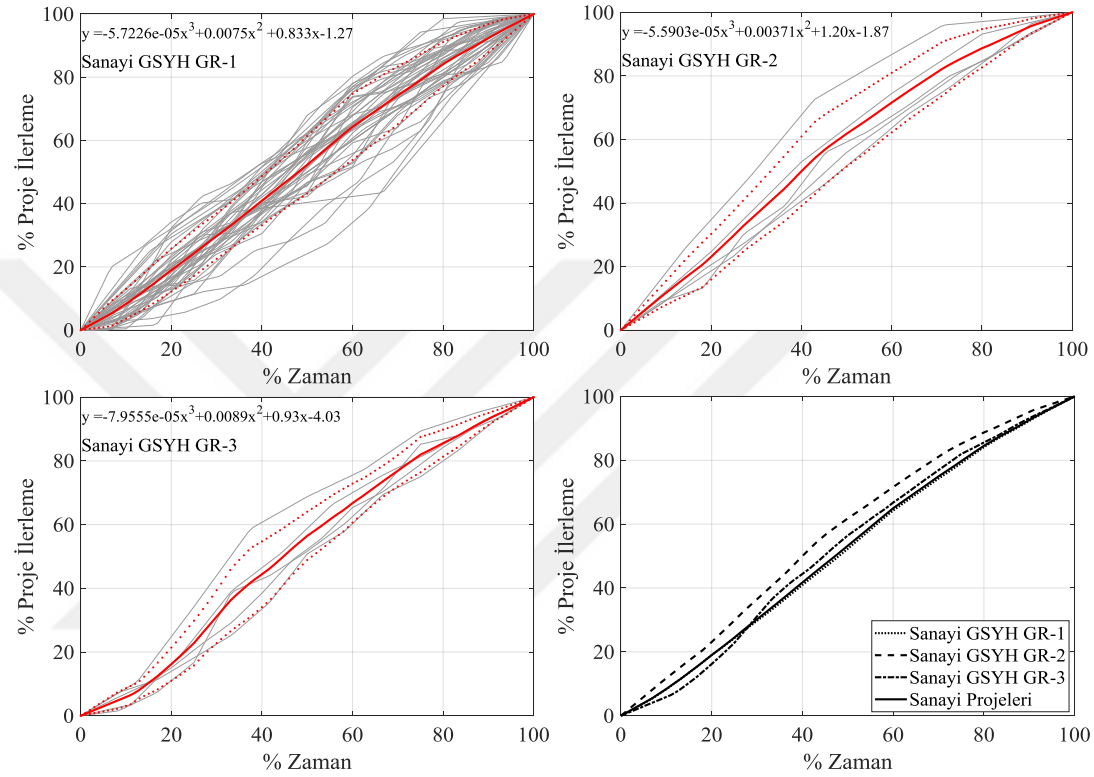


Şekil 4.58. Hastane projeleri için gayri safi yurt içi hasılaya göre S-Eğrileri

Bu bağlamda, 2. grupta yer alan projelerin GSYH etkisi altındaki S-Eğrileri kapsam dışı bırakıldığında, BTC modeli ile elde edilen bulguların aksine Şekil 4.58.'den de görüleceği üzere GSYH parametresinin hastane projelerinin nakit akışlarına herhangi bir etkisi olmadığı bu çalışma kapsamında tespit edilmiştir. Ayrıca, GSYH açısından düşük düzeyde bulunan illerin nüfusunun düşük olması sebebi ile hastane yatırımları da düşük kapasiteye sahiptir (Gülel ve ark., 2017). Bu bağlamda, hastane projelerinin Kırbaş (2012)'ın da belirttiği üzere bölgesel ayrım olmadan tıbbi gereksinimlere göre bütün bölgelerde benzer standartlarla inşa edilmesinden dolayı GSYH parametresinin hastane projelerinin nakit akışlarını etkilemediği tespit edilmiştir.

4.4.2.27. Gayri safi yurtiçi hasılanın sanayi projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Gayri safi yurtiçi hasıla parametresi ile yapılan gruplama sonrasında sanayi projeleri için elde edilen S-Eğrileri Şekil 4.59.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.59. Sanayi projeleri için gayri safi yurt içi hasılaya göre S-Eğrileri

GSYH parametresi açısından sanayi projeleri incelendiğinde genel olarak imalatların ve nakit akışlarının yüksek düzeyde gerçekleştiği Şekil 4.59.'dan anlaşılmaktadır. Diğer taraftan, BTC modeli ile yapılan süre-maliyet ilişkisi araştırmalarında 3. grupta bulunan illerdeki projelerin süre-maliyet ilişkisini açıklama düzeyi R^2=0,001 olarak oldukça düşük düzeyde elde edilirken aynı projelerin nakit akışlarının diğer bölgelere kıyasla daha yüksek seviyede gerçekleşmiştir. Türkiye'de küçük ve orta ölçekli sanayi yatırımcıları; sektörde yaşanan belirsizlikler sebebi ile tesisin planlama sürecindeki kurgusundan sapmaması için finansal anlamda birtakım önlemler almaktadır (Akyüksek ve Biçen, 2017). Sanayi yatırımcıları, projelerde yaşanabilecek gecikmeler ve bu gecikmelerden kaynaklı zararlar sebebi ile tesisin planlanan şekilde faaliyete geçmesi konusunda oldukça hassastır (Forcada ve ark., 2011). Bu gereklilikten dolayı

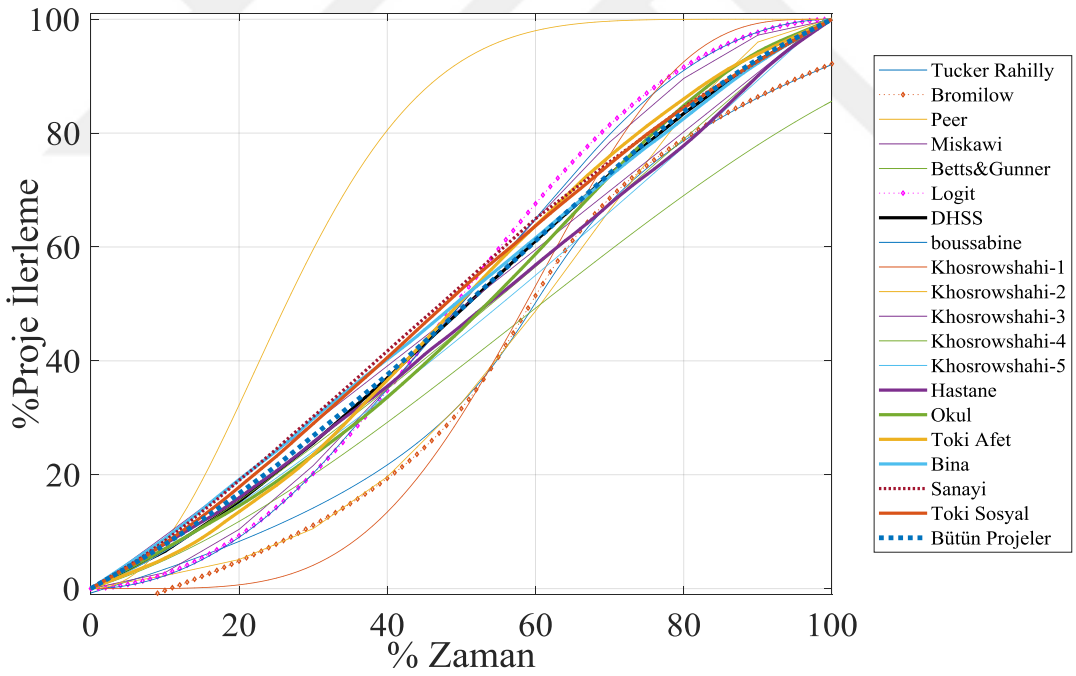
sanayi projeleri; GSYH açısından bütün bölgelerde diğer yapı gruplarına kıyasla daha yüksek nakit akışı ile finanse edilmiştir.

4.4.2.28. Gayri safi yurtiçi hasılanın TOKİ afet konut projelerindeki nakit akış performansına etkisi

Gayri safi yurtiçi hasıla parametresi açısından TOKİ afet konut projelerinin veri dağılımının yetersiz olması sebebi ile nakit akışı analizi yapılamamıştır.

4.4.3. S-Eğrilerinin önceki çalışmalar ile karşılaştırılması

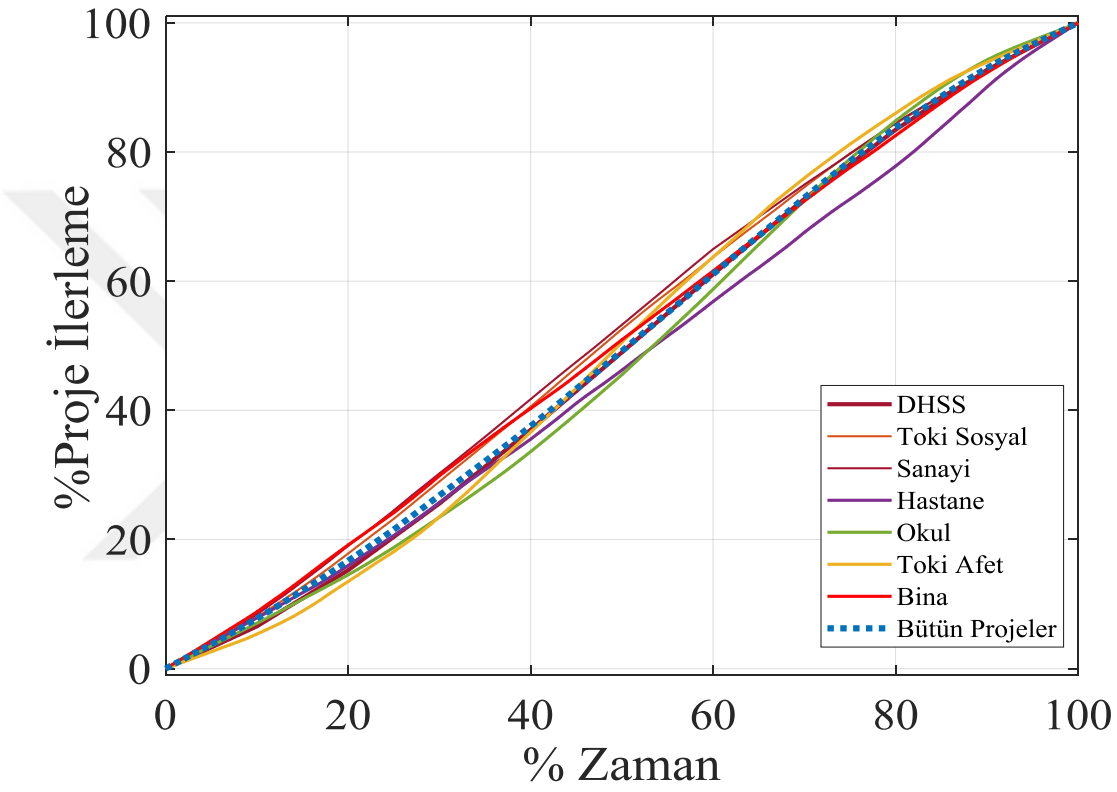
Bu çalışma kapsamında elde edilen S-Eğrilerinin önceki çalışmalarda öne çıkan diğer S-Eğrileri (DHSS, Logit model vb.) ile kıyaslanması amacıyla Şekil 4.60.'da yer alan grafik oluşturulmuştur.



Şekil 4.60. S-Eğrilerinin literatür ile karşılaştırılması

Şekil 4.60. ve 4.61. incelendiğinde, veri setinde yer alan bütün projelerin ortalama S-Eğrisinin, Hudson (1978) tarafından önerilen DHSS modeli ile büyük oranda uyum sağladığı tespit edilmiştir. Hudson (1978)'ın önerdiği S-Eğrisi de bu çalışmada elde edilen S-Eğrileri gibi 3. dereceden bir polinomdur ve polinomial regresyon soncunda

elde edilmiştir. Diğer taraftan Hudson'un S-Eğrisi eşitliği incelendiğinde (Eşitlik 2.14) toplam sözleşme tutarının (*S*) nakit akışı üzerindeki etkisini dikkate aldığı, ilerleme hızı üzerinde etkisi olan *c* ve nakit akış oranında etkisi olan *k* katsayıları ile de eğrinin büküm noktasını şekillendirdiği görülmektedir. Diğer taraftan Hudson, bu çalışmada olduğu gibi, DHSS modelinde süreyi ve proje ilerlemesini yüzde cinsinden ifade etmiştir (Kenley, 2003).



Şekil 4.61. DHSS model ile S-Eğrilerinin literatür ile karşılaştırılması

Hudson (1978), önerilen bir matematiksel modelin gerçek dünya şartlarında hayata geçirilen ve karmaşık bir sürece sahip olan inşaat projelerinin nakit akış profillerini tahmin etmekte genellikle başarılı olamayabileceğini ileri sürse de (Kenley, 2003), bu çalışmada gerçek veriler kullanılarak ortaya konulan S-Eğrilerinin Hudson (1978)'ın eğrisi ile uyum sağladığı Şekil 4.60. ve Şekil 4.61.'den anlaşılmaktadır. Sidewall ve bu bağlamda Hudson (1978)'ın ileri sürdüğü matematiksel modelin Türk inşaat sektöründe gerçekleştirilen projelerin nakit akışı performanslarını açıklamakta başarılı olabileceği değerlendirilmektedir. Berny ve Howes (1982), DHSS modelinin gerçek verilere dayanmamasını bir problem olarak ifade etmiş ve modelin kullanıldığı zamana

göre enflasyon vb. bir takım süreye bağlı şartların dikkate alınması gerektiğini ileri sürmüştür (Akt.: Kenley, 2003). Benzer şekilde bu çalışmada ÜFE'nin normalize edilerek dikkate alınması bahse konu araştırmacıların da ifade ettiği gibi öne sürülen problemin giderilmesini sağlamıştır.

Bu çalışmada Hudson (1978) ve diğer araştırmacıların çalışmalarından farklı olarak, projelerin nakit akışlarını ve ilerlemelerini Yapay Sinir Ağları ile tahmin edebilen bir karar destek sistemi önerilmiştir. Hudson (1978), Kenley (2003), Sidewall ve diğer araştırmacılar nakit akışı tahminlerinde kullanılan matematik modellerin inşaat projelerinin karmaşık yapısını tanımlamada yeterli olmadığını belirtmiştir. Bu bağlamda Chao ve Chien (2009), Hudson (1978) tarafından önerilen matematiksel modelin parametrelerini Yapay Sinir Ağları ile tahmin etmeye çalışmış olsa da Hudson (1978) tarafından önerilen eşitliğe bağlı kalmıştır. Bu bağlamda, bu çalışmada önerilmiş olan Yapay Sinir Ağları tahmin modeli ise tamamlanmış 501 adet üstyapı projesinin gerçek verileri ve projelerin karakteristik özelliklerini tanımlayan altı farklı parametre ile yapılandırılmıştır. Ayrıca bu çalışma, yapım yönetimi alanında projelerin karakteristik özelliklerinin dikkate alınarak, nakit akışlarının ve ilerlemelerinin tahmini için bir karar destek sisteminin önerildiği ilk çalışma olarak literatürde ön plana çıkmaktadır.

4.4.4. Yapay sinir ağları ile S-Eğrilerinin tahmini

İnşaat projelerinde nakit akışları genellikle S şeklinde bir eğri ile izlenebilmektedir. S-Eğrileri ise projelerin kümülatif nakit akışının grafiksel bir gösterimidir (Kenley, 2003). Proje yönetim ekipleri, S-Eğrilerinden istifade ederek projelerin ilerlemesini ve nakit akışı takibini görsel olarak yapabilmektedir. Diğer yandan, S-Eğrileri yatırımcı, müteahhit ve yüklenici firmaların proje planlamasında ve özellikle de nakit akışını tahmin edebilmek için istifade ettiği yaygın bir uygulamadır (Dikmen ve ark., 2020).

Chao ve Chien (2009), yapı özellikleri, proje ilerlemesi, toplam inşaat süresi ve sözleşme tutarı arasındaki ilişkinin birçok faktörden etkilendiğini belirtmiştir. Ireland (1985), Ojo (2001), Ogunsemi ve Jagboro (2006), Kumaraswamy ve Chan (1995) ve Kenley (2003), inşaat projelerinin tamamlanma süreleri ve maliyetlerinin; sektördeki

belirsizliklerden, ekonomik koşullardan ve yapı türü gibi bir dizi faktöre bağlı olduğunu ileri sürmüştür. Bu çalışma kapsamında polinomial regresyon ile S-Eğrileri oluşturulurken, yapı türü, çalışılmayan gün sayısı, döviz kuru, İGE ve GYSH parametrelerinin nakit akışlarına ve dolayısıyla süre-maliyet ilişkisine olan etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Bu parametreler belirlendikten sonra, yapı türü, proje maliyeti, proje süresi, çalışılmayan gün sayısı, GYSH ve İGE verilerinden istifade edilerek Yapay Sinir Ağları ile projelerin nakit akışlarını (S-Eğrilerini) tahmin edebilen bir model oluşturulmuştur. Diğer taraftan, bu bölümde önerilen YSA modeline, önceki bölümlerde projelerin tamamlanma sürelerinin tahmini amacı ile önerilen YSA modelinin çıktı birimi (tahmini proje tamamlanma süresi) modele girdi olarak tanımlanarak bütünleşik bir karar destek sistemi kurulması hedeflenmiştir.

İnşaat projelerinin karmaşık yapısından dolayı, çıktı birimleri ile girdi birimlerinin arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğu bilinmektedir (Sönmez, 2009). Yapay Sinir Ağları, girdi ve çıktı birimleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri tespit ederek, bu birimler arasındaki karmaşık yapıları ilişkilendirip (ağırlıklandıran) doğrusal olmayan transfer fonksiyonları ile çok sayıda eş zamanlı işlem yapma kabiliyetine sahiptir. Bu sebepten dolayı, Chao ve Skibniewski (1995), Chao (2001), Chao ve Chien (2009) ve Dikmen ve Sönmez (2011)'in de önerdiği üzere bu çalışma kapsamında nakit akışı tahmininde Yapay Sinir Ağları modeli tercih edilmiştir. Ayrıca geçmiş proje verilerini analiz eden araştırmacılar; özellikle inşaat projelerinde, proje süresince kümülatif nakit akışlarının genellikle S şeklinde bir eğri sergilediğini belirlemiştir. Her ne kadar bu şekil genellikle projelerin çoğu için geçerli olsa da eğrinin şekli üzerinde etkisi olan bazı varyasyonların olabileceği dikkate alınmalıdır. Kısaca özetlemek gerekir ise, bir projenin gerçekleşmiş kümülatif nakit akışı eğrisi tam olarak düzgün S formunda olmayabilir. Diğer taraftan, bu çalışmanın veri seti içerisinde yer alan 501 adet projenin kümülatif nakit akışları önceki bölümlerde polinomial regresyon ile analiz edilmiş ve bazı projelerin nakit akışlarında zaman zaman ani dalgalanmalar gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında önerilen sinir ağı modelinin; bir inşaat projesinin yaşam döngüsü boyunca nakit akışında veya ilerlemesinde yaşanabilecek olası dalgalanmaları da dikkate alarak tahmini nakit akılarını hassas bir şekilde ortaya koyması hedeflenmiştir. Sonuç olarak,

sektörde faaliyet gösteren yatırımcı, işveren ve yüklenici firmalar ile proje yönetim ekiplerinin ihale öncesi safhalarda ve proje süresince ek bir çaba sarf etmeden istifade edebileceği, projelerin nakit akışlarını ve ilerlemelerini Yapay Sinir Ağları ile tahmin edebilen bütünleşik bir karar destek sistemi bu çalışma kapsamında ortaya konulmuştur.

YSA modeli; öğrenme ve test olmak üzere iki aşamadan meydana gelmektedir. Öncelikle ağın öğrenme süreci tamamlanarak eğitilen YSA en düşük hata düzeyine getirildikten sonra test seti ile sınanacaktır. Bu bağlamda öncelikle ağın öğrenme aşaması açıklanmış ve devam eden bölümlerde ise modelin test sonuçları incelenerek veri setinde yer almayan ve hali hazırda devam eden örnek bir proje ile önerilen YSA modeli uygulamalı olarak açıklanmıştır.

4.4.4.1. Önerilen yapay sinir ağları modeli ve veri seti

Yapay sinir ağının yazılı formu için; Ghaboussi ve Sidarta (1997), Ghaboussi ve Lin (1998), Ghaboussi ve ark. (1998), Chao ve Chien (2009), Dikmen ve Sönmez (2011)'in önerdiği sembolik gösterim Eşitlik 4.10'da açıklanan şekilde kullanılmıştır. Bu yapı aynı zamanda projelerin tamamlanma sürelerini tahmin etmek için önerilen YSA modelinde de kullanılmıştır.

$$f = NN(\{Girdi\ Parametreleri\}:\{YSA\ Mimarisi\}) \quad (4.10)$$

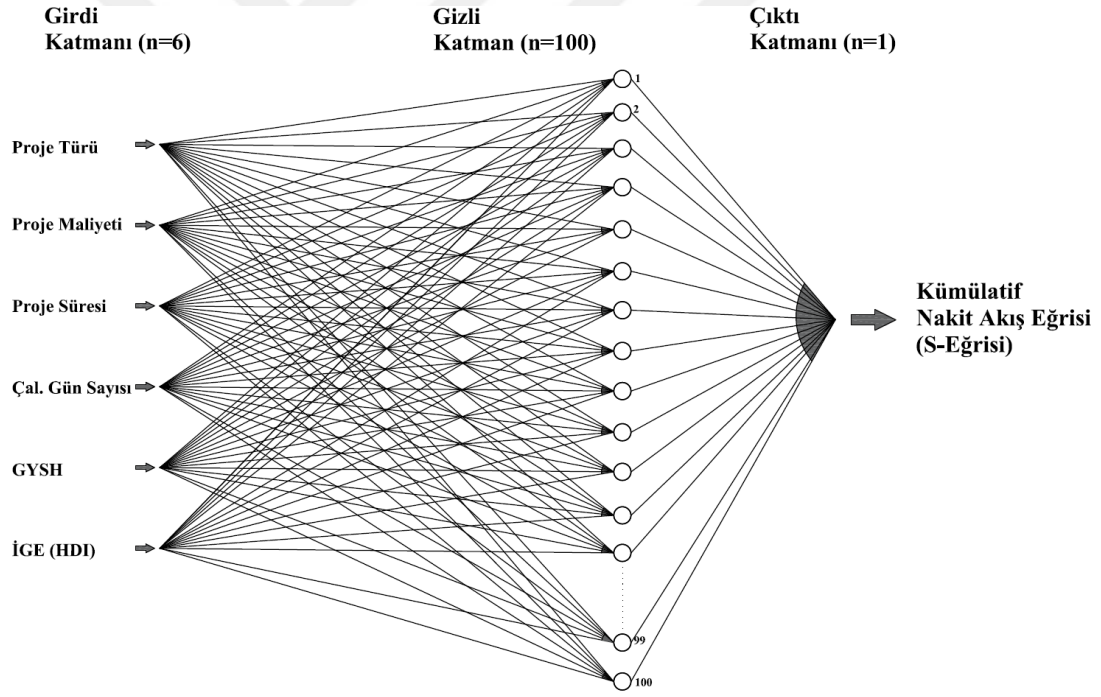
Burada NN, çok katmanlı ileri beslemeli bir sinir ağının çıktısını gösterirken, f vektörü ise YSA'nın çıktısıdır. İlk argüman alanı YSA'nın girdi birimlerini ifade ederken, ikinci argüman alanı sinir ağının yapısını (Girdi katmanı, gizli katman, işlem sayısı vb.) göstermektedir.

Bu bilgiler ışığında, modelin ana girdileri; Proje Türü, Proje Maliyeti, Proje Süresi (tahmini), Çalışılmayan Gün Sayısı, İGE ve GSYH olarak tespit edilmiştir. Modelin ana çıktısı ise "Projelerin S-Eğrisidir (Kümülatif Nakit Akış Grafiğidir)." Bu bağlamda, Ghaboussi ve Sidarta (1997), Ghaboussi ve Lin (1998), Ghaboussi ve ark.

(1998), Chao ve Chien (2009), Dikmen ve Sönmez (2011)'in önerdiği gösterimden istifade edilerek bu çalışma için oluşturulan YSA modeli Eşitlik 4.11'de gösterilmiştir.

$$y_e = NN(\{p_t, p_c, p_d n, g, h\}:\{6, n_{h(100)}, 1\}) \quad (4.11)$$

Burada, *pt* yapı türünü, p_c proje maliyetini (*Milyon TL*), p_d proje süresini (*gün*), *n* çalışılamayan gün sayısını, *g* GYSH parametresini, *h* ise İGE endeksini ifade etmektedir. Çıktı birimi olarak gösterilen $y_{e;}$ S-Eğrisini (Nakit Akış Profilini) göstermektedir. İkinci argüman alanının elemanları sırasıyla, girdi birimlerinin sayısını, gizli katman düğümlerinin sayısını (*nh*) ve çıktı biriminin sayısını belirtmektedir. Bu çalışmada önerilen YSA modeli ayrıca grafik olarak Şekil 4.62.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.62. YSA ağ mimarisi

Önerilen YSA mimarisinde girdi katmanında 6 nöron bulunurken gizli katmanda ise 100 nöron yer almaktadır. Sinir ağının eğitim safhasında, modelin parametreleri analizler sırasındaki denemeler sonucunda belirlenmiştir. Bu bağlamda, öğrenme oranı ;0,70, momentum katsayısı; 0,20, GYYSA (Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı) ve sigmoid transfer fonksiyonu ile ağın eğitimi tamamlanmıştır. Diğer taraftan, eğitim

süreci 1000 döngü (epochs) içerisinde optimum çözüme ulaşabilmiştir. Oluşturulan modelde kullanılan veriler ve girdi birimlerinin seçimi; BTC Modeli, S-Eğrileri ve projelerin tamamlanma sürelerinin tahmini için önerilen YSA modelinin bir türevidir. Gerek girdi birimlerinin seçiminde gerekse çıktı birimlerinin uygulamaya yönelik olması ile ilgili olarak yazarların uzun yıllara dayanan konu ile ilgili tecrübeleri, BTC modeli ve S-Eğrileri ile ilgili önceki bölümlerde yer alan araştırmalar ışığında karar verilmiştir. Diğer taraftan, bu çalışma kapsamında S-Eğrilerinin YSA ile tahmini için kullanılan girdi birimleri devam eden bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Önerilen Yapay Sinir Ağı modelinde kullanılan girdi ve çıktı birimleri Tablo 4.20.'de özetlenmiştir.

Tablo 4.20 S-Eğrisi YSA modeli girdi ve çıktıları

Girdi/Çıktı	Parametre
Girdi 1	Yapı/Proje Türü
Girdi 2	Proje Maliyeti (Milyon TL)
Girdi 3	Proje Tamamlanma Süresi (Gün) (YSA ile tahmin edilen)
Girdi 4	Çalışılmayan Gün Sayısı (Gün)
Girdi 5	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (TUİK,2018)
Girdi 6	İllere Göre İnsani Gelişmişlik Endeksi (TUİK,2018)
Çıktı	Tahmini Kümülatif Nakit Akışı Grafiği (S-Eğrisi; % Zaman, % Proje İlerleme)

Bilindiği üzere veri setinde farklı özelliklere sahip altı yapı türü bulunmaktadır. Önerilen YSA modelinde yapı türlerinin herhangi bir sayısal karşılığı olmadığı için Chao ve Chien (2009)'in çalışmasında belirtilen şekilde yapı türlerine 1'den 6'ya kadar kategorik değerler atanarak yapı grupları sınıflandırılmış ve Tablo 4.21.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.21. Yapı türü parametresine atanan sayısal değerler

Yapı Türü	Değer
TOKİ Afet Konutları	1
TOKİ Sosyal Konutları	2
Hastane	3
Okul	4
Bina	5
Sanayi	6

YSA için kullanılacak girdi ve çıktı birimlerinin en yüksek- en düşük değerleri ile aralıkları Tablo 4.22.'de gösterilmiştir. Girdi ve çıktı birimlerinin YSA modelinde

kullanılabilmesi için değerlerin 0-1 arasında olacak şekilde normalize edilmesi gerekmektedir. Normalizasyon işlemi analizler sırasında Matlab R2017b sürümü ile doğrudan hesaplanmış ve Eşitlik 4.12'de gösterilmiştir.

$$Norm(xi) = (xi - xmin)/range(aralık) \quad (4.12)$$

Projelerin nakit akışlarının (S-Eğrilerinin) tahmini için önerilen sinir ağı modelinde girdi ve çıktı birimleri Tablo 4.22.'de gösterilen şekilde belirlenmiştir. Bilindiği üzere projelerin nakit akışı planlaması bir projenin tamamlanma süresi ve maliyetine paralel olarak yapılabilmektedir (Kenley, 2003). Bu bağlamda, girdi ve çıktı birimleri belirlenirken öncelikli olarak seçilen parametrelerin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkileri, BTC modeli ve polinomial regresyon ile elde edilen S-Eğrileri ile sınanmıştır. Diğer taraftan, YSA mimarisi oluşturulurken inşaat projelerinin temel süre ve maliyet verileri dışında ilave dış faktör olarak, çalışılamayan gün sayısı (Halpin, 2005), insani gelişmişlik endeksi (Jarkas, 2016) ve gayri safi yurtiçi hasıla (Tse ve Ganesan, 1997; Yiu ve ark., 2010; Berk ve Biçen, 2017) gibi daha önceden araştırılmamış parametrelerin, üstyapı projelerinin süre-maliyet ve nakit akışları üzerindeki etkisi bu çalışma kapsamında araştırılmıştır.

Tablo 4.22. YSA veri seti en yüksek- en düşük değerler

Veri	Girdi(Input)/ Çıktı (Output)	En Düşük	En Yüksek	Aralık(Range)
Girdi 1	Yapı/Proje Türü	1	6	5
Girdi 2	Proje Maliyeti (Milyon TL)	0,32	925,33	149,28
Girdi 3	Proje Tamamlanma Süresi (Gün-YSA tahmini)	145	1200	1055
Girdi 4	Çalışılmayan Gün Sayısı (Gün)	0	165	165
Girdi 5	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla	0,01	1	0,99
Girdi 6	İllere Göre İnsani Gelişmişlik Endeksi	0,035	0,817	0,782
Çıktı	Tahmini Kümülatif Nakit Akışı Grafiği (S-Eğrisi)	%0 - %100 Aralığında S-Eğrisi Grafiği		

Kumaraswamy ve Chan (1995), projelerin nakit akışlarının projenin gerçekleştiği bölgeden etkilendiğini belirtirken, Kenley (2003) yapı türlerinin projelerin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkilerinin incelenmesini önermiştir. Diğer taraftan, Chao ve Chien (2009) YSA ile nakit akışlarını incelediği çalışmasında sözleşme tutarı, sözleşme süresi, proje türü ve projenin gerçekleştirildiği bölgeleri ağ mimarisine girdi birimi olarak tanımlamıştır. Chao ve Chien (2009)'nin çalışmasında sözleşme tutarı ve

sözleşme süresi, nakit akışını doğrudan etkileyen parametreler olarak sınıflandırılmış ve bu sebepten dolayı YSA analizlerine dahil edilmiştir. Bu çalışmada da benzer sebepler ile sözleşme tutarı, sözleşme süresi, proje türü ile birlikte Chao ve Chien (2009)'in çalışmasından farklı olarak Türkiye'de inşaat sektöründe nakit akışlarında etkili olabileceği değerlendirilen çalışılamayan gün sayısı, GSYH, İGE parametreleri girdi birimi olarak önerilen YSA mimarisine dahil edilmiştir. Ancak Chao ve Chien (2009)'nin çalışmasında polinomial bir eşitliğe bağlı kalınarak nakit akışları tahmin edilmeye çalışılırken, bu çalışmada gerçekleşmiş nakit akışları ve nakit akışlarını etkileyen parametreler kullanılarak doğrudan bir nakit akış eğrisinin tahmini için bir YSA modeli oluşturulmuştur. Diğer taraftan, önceki çalışmalarda proje öncesi safhalarda projelerin tamamlanma süreleri ile nakit akışlarının tahminini süre-maliyet ilişkisi kapsamında bütünleşik olarak ele alan bir çalışma olmadığı tespit edildiğinden, bu çalışma ile literatürdeki bilimsel boşluğun doldurulması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, önerilen YSA modeline girdi olarak seçilen parametreler aşağıda açıklanan şekilde belirlenmiştir.

Proje Türü (Girdi 1); Bu çalışma kapsamında veri seti içerisinde Toki Afet, Toki Sosyal Konut, Tekil Bina, Okul, Sanayi, Hastane projeleri olmak üzere altı farklı yapı türü yer almaktadır. Her bir proje türünün farklı karakteristik ve teknik özeliklerinin olduğu da bilinmektedir (Sönmez, 2009). Diğer taraftan Kenley (2003), gelecek çalışmalarda araştırmacıların, proje sınıflandırmalarının nakit akışı tahmin modellerindeki etkisinin değerlendirilmesini önermiştir. Ayrıca, bu çalışmada kapsamında yapı türlerine göre gerçekleştirilen BTC analizlerinde ve S-Eğrilerinde bütün yapı türlerinin hem süre-maliyet ilişkisi hem de nakit akış eğrileri farklı düzeylerde elde edilerek Kenley (2003)'nin öne sürdüğü argüman doğrulanmıştır. Bu bağlamda veri setinde yer alan projeler önerilen YSA modeline 1-6 aralığında kategorik değer atanarak dahil edilmiştir.

Proje Maliyeti (Girdi 2); Veri seti içerisinde yer alan projelerin sözleşme tutarlarının 0,32 Milyon TL ile 925,33 Milyon TL arasında değiştiği Tablo 4.22.'den görülmektedir. Tablo 4.22. incelendiğinde veri setinde yer alan altı farklı proje türü sözleşme tutarı açısından büyük ölçüde değişkenlik göstermektedir. Bu bağlamda farklı büyüklükteki projelerin nakit akışları üzerindeki etkisini Bromilow (1969)'un

da önerdiği şekilde YSA modeline yansıtabilmek amacı ile proje maliyeti verisi önerilen YSA mimarisine girdi olarak dahil edilmiştir.

Proje Tamamlanma Süresi (Girdi 3); Nakit akışı planlaması yapılırken, özelikle yatırımcı ve yüklenici firmaların projelerin tamamlanma sürelerini ve maliyetlerini dikkate alarak nakit akışı analizlerini gerçekleştirdiği bilinmektedir (Kenley, 2003). Ayrıca, bu çalışma kapsamında süre-maliyet ilişkisinin iki aşamalı olarak araştırıldığı önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bu bağlamda, öncelikle projelerin toplam maliyetlerine göre tamamlanma sürelerinin ve devamında süre-maliyet ilişkisinin zaman içerisindeki gelişimini toplam süre ve maliyete göre görsel olarak ortaya koyan S-Eğrilerinin tespiti bu çalışma kapsamında hedeflenmiştir. Projelerin tamamlanma süreleri Bölüm 4.3.3.'de önerilen Yapay Sinir Ağları modelinin çıktısı olarak bu bölümde nakit akışlarının tahmini için önerilen sinir ağı modelinde girdi birimi olarak kullanılmaktadır. Böylelikle önerilen sinir ağı modelinin projelerin tamamlanma süreleri ve nakit akışlarını süre-maliyet ilişkisi çerçevesinde aşamalı ancak bütünleşik olarak ifade edilebileceği değerlendirilmiştir.

Çalışılmayan Gün Sayısı (Girdi 4); İnşaat projelerinde özellikle olumsuz hava şartlarına bağlı olarak çalışılamayan günler olduğu bilinmektedir. Bu durum yatırımcı veya yüklenici firmanın kontrolü dışında sözleşme süresine göre işlerin gecikmesine zemin hazırlamaktadır ve proje öncesi safhalarda sözleşme süresi belirlenirken proje paydaşlarının çalışılamayan gün sayılarını dikkate alması gerekmektedir (Halpin, 2005). Bu sebeple, inşaat projelerinin tamamlanma süresine etki eden çalışılamayan gün sayısı, üst yapı projelerinin nakit akışlarının tahmini için önerilen YSA modeline girdi olarak dahil edilmiştir. Veri setinde yer alan projelerin gerçekleştirildiği illere göre çalışılmayan gün sayısı Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (1982), tarafından yayımlanmış genelgeden temin edilmiştir. Ayrıca önceki bölümlerde yer alan Tablo 4.2.'de illere göre "0, 60, 75, 90, 105, 120, 135 ve 165" gün aralığında çalışılmayan gün sayısı verisi yer almaktadır.

Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH) (Girdi 5); Gayri Safi Yurt İçi Hasıla'da yaşanan değişimlerin inşaat projelerinin süre ve maliyetleri üzerinde etkili olduğu ve GSYH'da yaşanan daralma ya da genişlemenin inşaat projelerinin nakit akışlarını etkilediği

bilinmektedir (Tse ve Ganesan, 1997; Yiu ve ark., 2010; Berk ve Biçen, 2017). Esasında İGE parametresi her ne kadar GSYH parametresini kapsıyor olsa da (Baradan ve ark., 2019), GSYH parametresi inşaat maliyetlerini, toplam tamamlanma süresini ve dolayısı ile nakit akışlarını doğrudan etkileyen bir faktör olduğu değerlendirilerek bu çalışma kapsamında önerilen YSA modeline ayrıca girdi olarak dahil edilmiştir. Diğer taraftan, GYSH verisi TUİK (2018), web sitesinden temin edilmiştir.

İnsani Gelişmişlik Endeksi (İGE) (Girdi 6); İnsani Gelişmişlik Endeksi, dolaylı veya doğrudan inşaat projelerinin yönetiminde etkili olan bir faktördür. Bir ülkenin sağlık, eğitim ve gelir düzeyinin her alanda olduğu gibi inşaat sektörü üzerinde de etkisi bulunmaktadır. İnşaat sektöründe İGE düzeyi düşük bölgelerde iş kazalarının daha fazla olabildiği görülmektedir (Baradan ve ark., 2019). Bu gibi durumların inşaat projelerini maliyet ve süre olarak etkilemesi kaçınılmaz hale gelmektedir. Diğer taraftan Jarkas (2016), iş gücü özellikleri, yasal etkenler, politik, kültürel ve sosyoekonomik özellikler gibi faktörlerin inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkilerinin araştırılmasının önemini vurgulamıştır. Bu bağlamda, İGE parametresi bu çalışma kapsamında inşaat projelerinin nakit akışlarının tahmini için önerilen YSA modeline girdi olarak dahil edilmiştir. İGE verisi bu çalışmada Türkiye'de yer alan illere göre 2018 yılı için hesaplanarak Bölüm 4.2.3'de yer alan Tablo 4.3.'de gösterilmiş ve analizlere dahil edilmiştir.

Kümülatif Nakit Akışı Grafiği (S-Eğrisi) (Çıktı); İnşaat projelerinin toplam tamamlanma süresi ve maliyetine bağlı olarak ortaya konulabilen kümülatif nakit akışı grafiği (S-Eğrisi) çalışmanın bu bölümünde önerilen Yapay Sinir Ağları modelinin ana çıktısıdır. YSA modeline girdi olarak tanımlanan altı farklı parametre kullanılarak (Yapı Türü, Proje Maliyeti, Projenin Tamamlanma Süresi, Çalışılmayan Gün Sayısı, İGE ve GSYH) üstyapı inşaat projelerinin kümülatif nakit akışlarının gerçeğe en yakın sonuçlar ile tahmini için bir model oluşturulması hedeflenmiştir. Bu bağlamda önerilen YSA'nın eğitim ve test sonuçları incelenerek Türkiye'de üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisinin tespiti amacı ile bütünleşik bir karar destek sistemi bu çalışma kapsamında önerilmiştir.

4.4.4.2. YSA eğitim süreci

Oluşturulan sinir ağını eğitebilmek için, toplam 501 adet projeye ait veriden 450 adeti kullanılırken, rastgele seçilen 51 adet proje ise modeli test etmek için ayrılmıştır. Gizli katmandaki nöron sayısının ve aktivasyon fonksiyonunun etkisini gözlemlemek için bu parametreler değiştirilerek denemeler yapılmıştır. Her denemede 51 proje için oluşan mutlak hata değerleri, Eşitlik 4.13 ile hesaplanmıştır.

$$E(y_i) = |((y_{ai} - y_{ei})/y_{ai})| \tag{4.13}$$

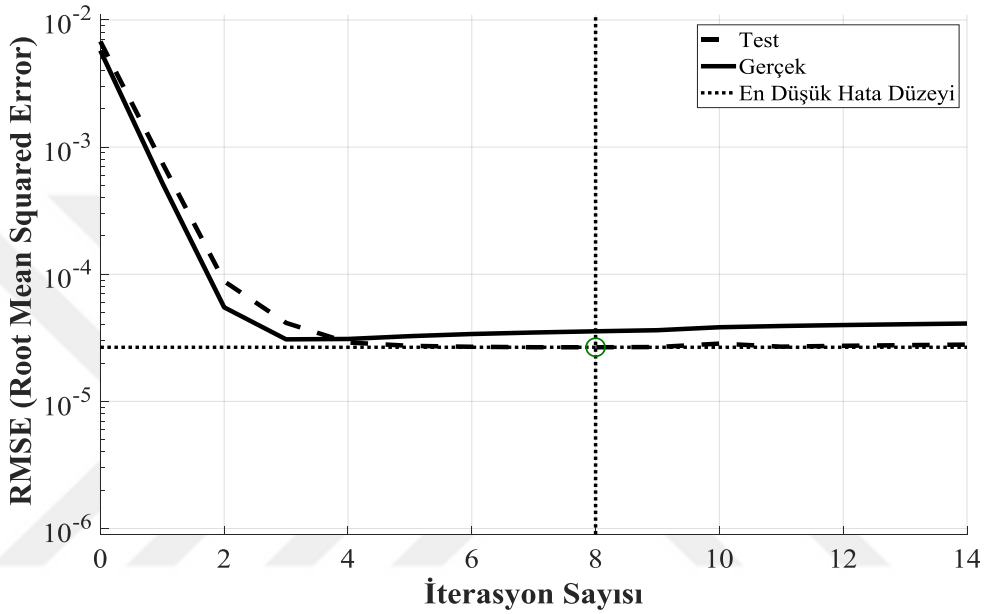
Burada $E(y_i)$, *i projesinin mutlak hatası,* y_{ai} *i* verisinin gerçek değerini gösterirken, y_{ei} *i* verisinin YSA ile tahmin edilen çıktı değerini göstermektedir. Ayrıca, *n* (bu çalışmada eğitim seti için n=450, test seti için n=51) her deneme için hatanın ortalama kök karesi (RMSE), Eşitlik 4.14 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE(n) = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(E_{yi}\right)^2} \tag{4.14}$$

Hesaplanan hataların sistemin bütününü temsil etmesi açısından; Chao ve Chien (2009), Sönmez (2009) ve Dikmen ve Sönmez (2011)'in önerdiği gibi bu çalışmada da RMSE (Root Mean Squared Eror) kullanılarak hata hesapları yapılmıştır.

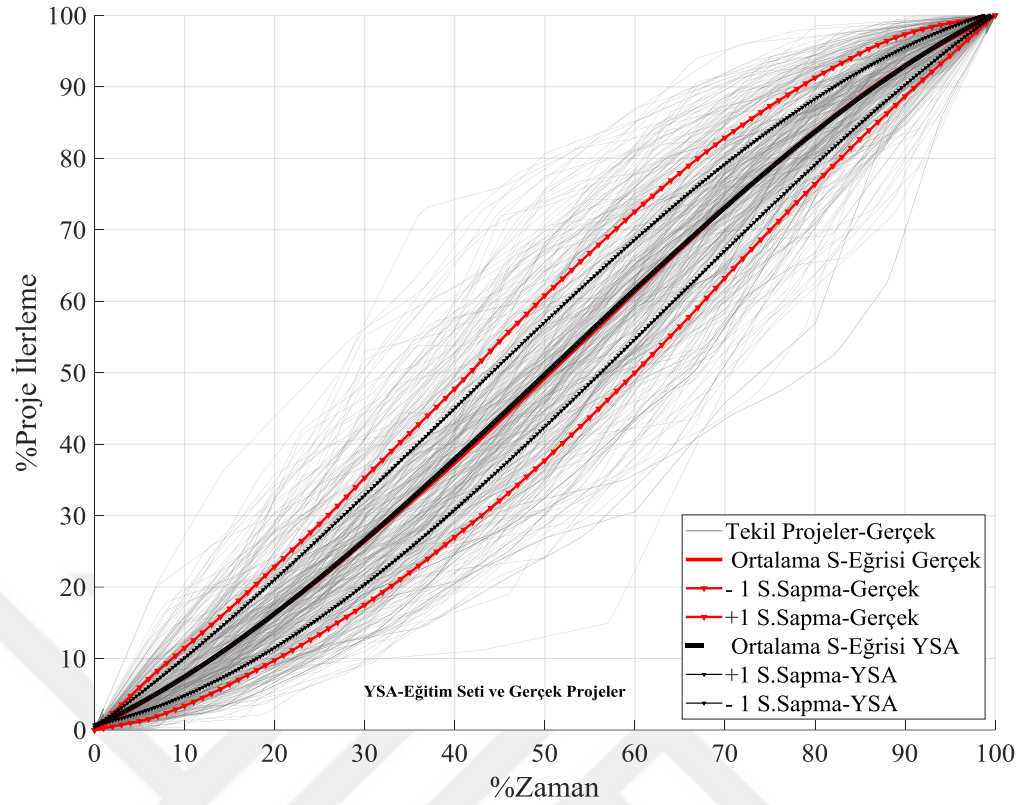
Çalışma kapsamında ağın eğitimi için Geri Yayılımlı (beslemeli) Yapay Sinir Ağları (GYYSA) kullanılmıştır. Geri yayılım ağları, çok katmanlı perceptron ile benzer bir yapıdadırlar ve öğrenme aşamasında geri yayılma algoritmasından yararlanırlar. Nitekim, YSA ile yapılan denemeler sonucunda optimum çözümler; geri yayılım algoritması, sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve gizli katmana 100 adet nöron tanımlanarak elde edilmiştir. Diğer yandan, YSA modeli; eğitim safhasında analizler sırasında oluşan hatalar hesaplandıktan sonra geri yayılım algoritması ile bu hatalar sisteme geri beslenerek, sürekli iterasyon ile en düşük hata düzeyine getirilmiştir. Ancak belirli bir iterasyon sayısından sonra hata oranı daha fazla azalmamaktadır. Bu durum, ağın öğrenmesinin durduğunu ve daha iyi bir sonuca ulaşılamayacağı anlamına gelmektedir. Bu çalışmada Chao ve Chien (2009), Dikmen ve Sönmez (2011)'in

önerdiği şekilde ve yapılan denemeler sonucunda YSA eğitim sürecinde öğrenme oranı %70 seviyesinde tutularak önerilen sinir ağı modeli ezber mantığından arındırılmıştır. Denemeler sonucunda, öğrenme oranın yüksek düzeyde belirlenmesi, eğitim aşamasının çok verimli, fakat test aşamasının bir o kadar başarısız olmasına sebep olduğu görülmüştür. Şekil 4.63.'de YSA modelinin eğitim süreci ve en düşük hata seviyesi gösterilmiştir.

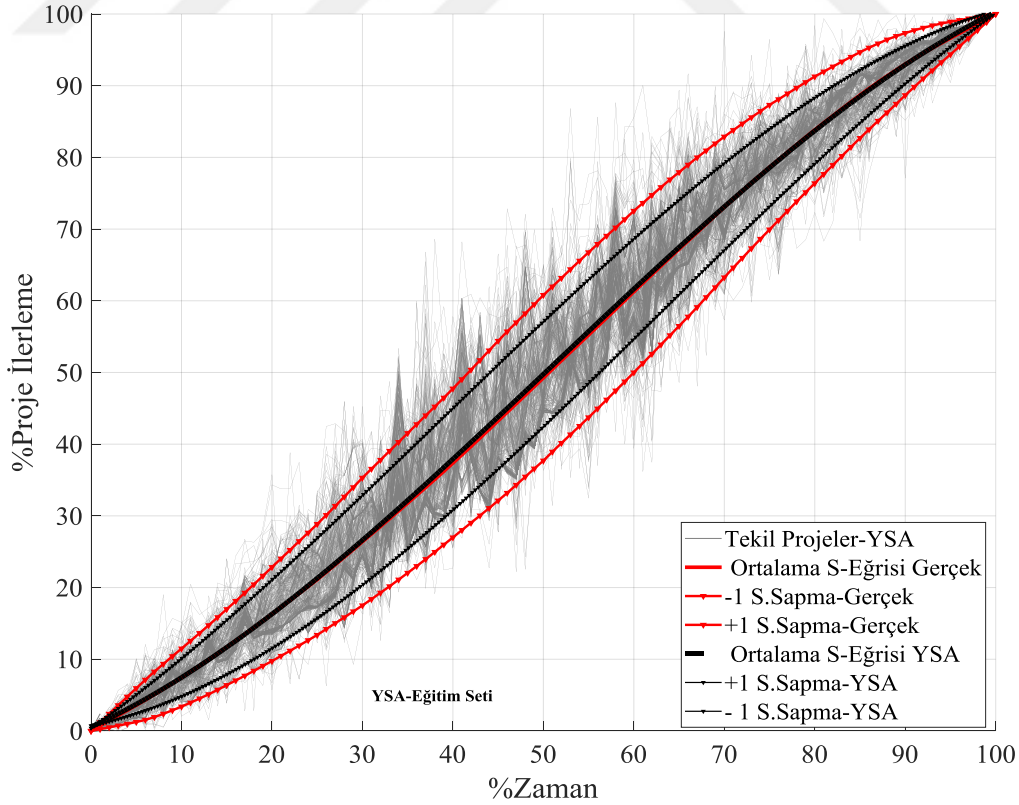


Şekil 4.63. YSA analizleri ve en düşük hata düzeyi

Yapay Sinir Ağlarının eğitimi sırasında gizli katmada yer alan toplam 100 adet nöronun her biri için 14 iterasyon gerçekleştirilmiştir. Diğer taraftan, analizlerin ilk safhasında hata düzeyinin oldukça yüksek olduğu Şekil 4.63.'den anlaşılmaktadır. Ancak geri beslemeli ağ yapısından dolayı hata düzeyleri azalarak analizler devam etmiş ve 14. iterasyonda eğitim süreci tamamlanmıştır. Analiz sürecinde her bir gizli nöron katmanında toplam 14 iterasyon gerçekleşmiş olmasına karşın en iyi sonuç Şekil 4.63.'den de görüleceği üzere 8. iterasyondan elde edilmiştir. Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra, eğitim setinde yer alan 450 adet projeye ait ortalama RMSE hata değeri %21,61 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, Şekil 4.64. ve 4.65.'de YSA eğitim setinin grafikleri yer almaktadır. Şekil 4.64. içerisinde yer alan tekil eğriler projelerin gerçekleşmiş olan S-Eğrilerini gösterirken, merkezi noktalardan geçen (lejantta gösterilen) S formundaki eğri ise 450 adet eğitim seti projesinin gerçek ortalama S-Eğrisini ve +1/-1 standart sapmaları ifade etmektedir.



Şekil 4.64. Eğitim setinin YSA sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması



Şekil 4.65. Eğitim setinin YSA sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması

Şekil 4.65.'de yer alan tekil eğriler, YSA modelinin eğitim setinde kullanılan projeler için tahmin ettiği nakit akış eğrilerini göstermektedir. Şekil 4.64. ve 4.65.'de merkezi noktadan geçen eğri ise eğitim safhasında YSA ile tahmin edilen ortalama S-Eğrisini göstermektedir. Bu eğrinin alt ve üst bölgesinden geçen eğriler ise YSA modelinin +1/-1 standart sapma bölgelerini ifade etmektedir. Grafikler üzerinde yer alan bütün eğrilerin tanımları Şekil 4.64. ve 4.65. üzerinde gösterilmiştir.

Projelerin ortalama S-Eğrileri incelendiğinde; gerçek ve YSA ile tahmin edilen eğrilerin tam olarak uyum sağladığı Şekil 4.65.'den görülmektedir. Diğer yandan, YSA ile tahmin edilen +1/-1 standart sapma eğrilerinin ortalama S-Eğrisinden çok fazla ıraksamadığı da Şekil 4.65.'den anlaşılmaktadır. Bu durum çalışma kapsamında önerilen ağ mimarisinin hassas ve doğruya yakın tahmin ürettiğini ve modelin geçerliliğini desteklemektedir. Ayrıca YSA modelinin tekil projeler için tahmin ettiği nakit akışı eğrilerinde ani dalgalanmalar olduğu Şekil 4.65. görülmektedir. Tahmin eğrilerindeki dalgalanmanın temel sebebi; YSA modelinin projelerin gerçekleşme safhasında nakit akışlarında yaşanan dalgalanmaları da dikkate alarak eğitim safhasını tamamlamasıdır. Devam eden bölümlerde eğitimi tamamlanmış YSA modeli yeni örnekler (test seti n=51 proje) ve veri setinde yer almayan ancak hali hazırda devam eden örnek bir proje ile test edilerek gerçek verilerden sapma oranları değerlendirilecektir.

Önerilen YSA modelinin eğitim, test ve uygulama safhaları için Matlab R2017b sürümü kullanılmıştır. Ayrıca son kullanıcıların girdi parametrelerini kullanarak projelerin nakit akışlarını tahmin edebilmesi için Ms Excel ortamında bir ara yüz hazırlanmıştır. Ms Excel programı birçok işletmenin ve son kullanıcının farklı işlemlerde de kullandığı ve hali hazırda bünyelerinde yer alan lisanslı bir yazılımdır. Böylelikle, sınırlı bilgi teknolojilerine (IT) sahip küçük inşaat şirketleri ve bireysel kullanıcılar dahi önerilen ara yüzü ek bir çaba sarf etmeden kullanabilecektir.

4.4.4.3. YSA test performansı ve sonuçları

Bir yapay sinir ağının performansı daha önce hiç görmediği örnekler için ürettiği sonuçların doğruluğu ile belirlenebilmektedir. Bunun için veri setinde bulunan

projelerden rastgele seçilen bir bölümü (51 adet) ağın testi için ayrılmıştır. Diğer taraftan, YSA ile oluşturulan model, ağın eğitimi sırasında verilen tüm örneklere doğru tahminler üretmiş olsa dahi test setindeki örnekler için doğru tahminler üretemeyeceği bilinmektedir (Sönmez, 2009). Ağın tahmin ettiği değerler ile beklenen değerler arasındaki farkın yüzde olarak ifadesi YSA modelinin eğitim safhasında hata hesabı için kullanılan Eşitlik 4.15 ve 4.16'da gösterildiği gibidir.

$$E(y_i) = |((y_{ai} - y_{ei})/y_{ai})| \tag{4.15}$$

$$RMSE(n) = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(E_{yi}\right)^2} \tag{4.16}$$

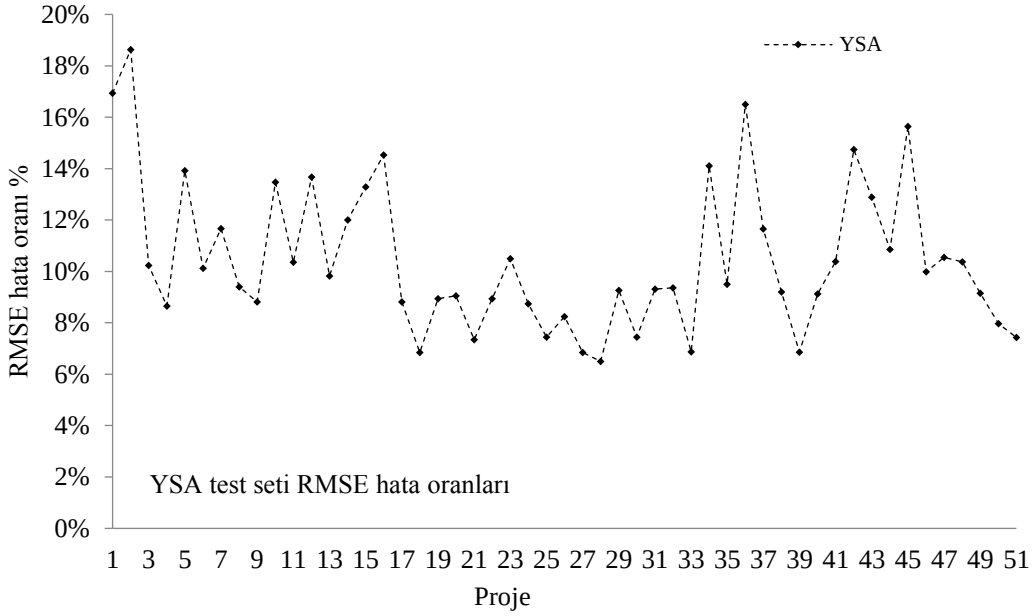
Analizlerde kullanılan toplam 501 adet projeden rastgele seçilen 51 adeti (%10) test ve ağın performansını değerlendirmek için ayrıldığı daha önceden belirtilmiştir. Eğitim süreci için veri setinin %90'lık bölümü (450 proje) kullanılmıştır. Eğitim ve test seti için kullanılacak projelerin sayısı belirlenirken önceki araştırmacıların çalışmaları ve bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler göz önünde bulundurulmuştur (Chao ve Chien, 2009; Sönmez, 2009; Dikmen ve Sönmez, 2011). Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra oluşturulan YSA modelinde test seti için ayırılan 51 projeye ait RMSE hata değeri %10,83 olarak hesaplanmış ve Tablo 4.9.'da gösterilmiştir. Önceki çalışmalar bölümünde de belirtildiği gibi veri setinin büyüklüğü YSA'ların eğitimi ve kurulan modelin doğru sonuçlar vermesi açısından oldukça önemlidir. Petlíková ve Jarský (2017), YSA modelinde veri setinin mümkün olduğunca büyük olmasının, sonuçların doğruya yakın şekilde elde edilmesine katkı sağlayacağını ifade etmiştir. Diğer taraftan, bu tez çalışmasının veri seti; literatürdeki en geniş veri seti olarak ön plana çıkmaktadır. Bu durum çalışma kapsamında önerilen sinir ağının geçerliliğini ve güvenirliğini artırmaktadır.

Önerilen YSA mimarisinin test sonuçları Tablo 4.23. ve Şekil 4.66.'da gösterilmiştir. Test seti için hesaplanan RMSE hata değeri %10,83 iken eğitim seti için bu değer %21,61 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.23. Eğitim-test seti ağ performansı- RMSE ile hata hesabı

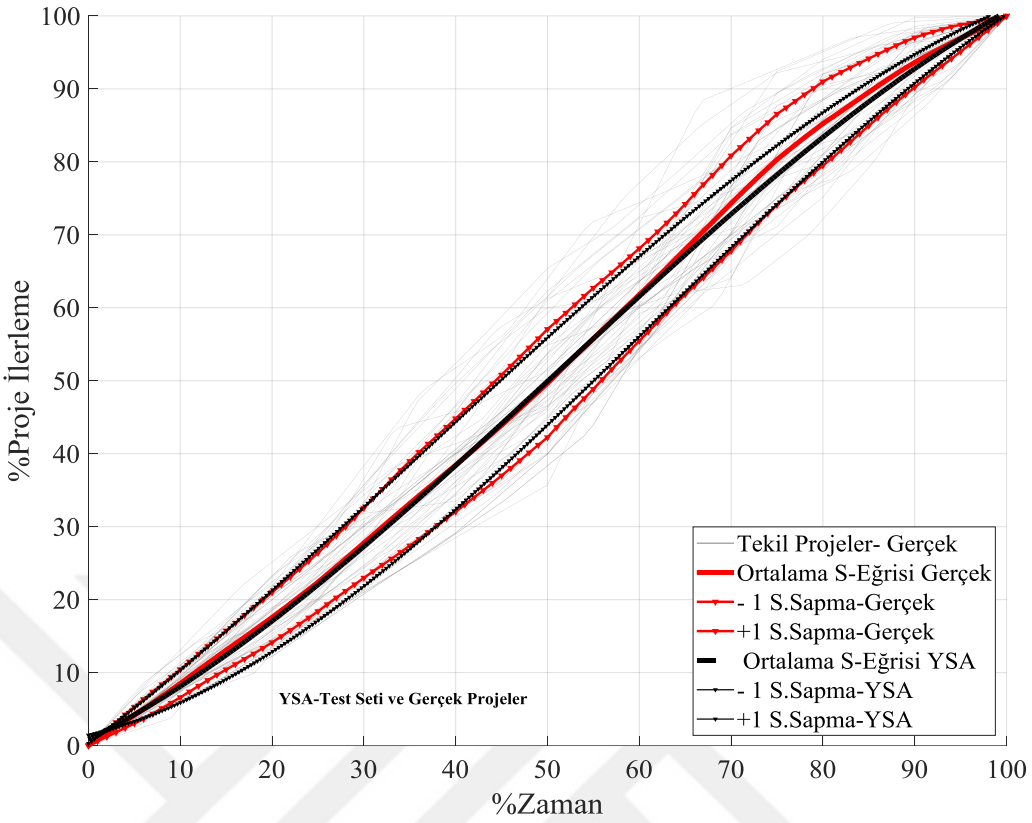
Proje No	% Hata Oranı YSA	YSA Hata²	YSA MSE (Proje)	YSA RMSE (Proje)
1	16,94%	0,0287	0,0486	0,2205
2	18,63%	0,0347	0,0573	0,2393
3	10,23%	0,0105	0,0308	0,1756
4	8,65%	0,0075	0,0155	0,1243
5	13,92%	0,0194	0,0439	0,2095
6	10,13%	0,0103	0,0173	0,1315
7	11,67%	0,0136	0,0298	0,1726
8	9,40%	0,0088	0,0174	0,1321
9	8,81%	0,0078	0,0151	0,1230
10	13,48%	0,0182	0,0297	0,1723
11	10,36%	0,0107	0,0233	0,1528
12	13,67%	0,0187	0,0614	0,2477
13	9,83%	0,0097	0,0204	0,1428
14	12,00%	0,0144	0,0287	0,1693
15	13,29%	0,0177	0,0421	0,2052
16	14,53%	0,0211	0,0429	0,2071
17	8,81%	0,0078	0,0114	0,1065
18	6,85%	0,0047	0,0099	0,0995
19	8,93%	0,0080	0,0139	0,1181
20	9,05%	0,0082	0,0169	0,1298
21	7,34%	0,0054	0,0095	0,0974
22	8,93%	0,0080	0,0139	0,1181
23	10,50%	0,0110	0,0161	0,1268
24	8,74%	0,0076	0,0114	0,1067
25	7,44%	0,0055	0,0114	0,1067
26	8,25%	0,0068	0,0144	0,1200
27	6,85%	0,0047	0,0099	0,0995
28	6,50%	0,0042	0,0079	0,0888
29	9,26%	0,0086	0,0154	0,1239
30	7,44%	0,0055	0,0114	0,1067
31	9,32%	0,0087	0,0140	0,1184
32	9,36%	0,0088	0,0177	0,1332
33	6,86%	0,0047	0,0100	0,1002
34	14,11%	0,0199	0,0428	0,2068
35	9,50%	0,0090	0,0180	0,1342
36	16,50%	0,0272	0,0500	0,2236
37	11,66%	0,0136	0,0263	0,1622
38	9,20%	0,0085	0,0156	0,1250
39	6,85%	0,0047	0,0098	0,0992
40	9,13%	0,0083	0,0155	0,1245
41	10,38%	0,0108	0,0238	0,1543
42	14,74%	0,0217	0,0476	0,2182
43	12,89%	0,0166	0,0322	0,1795
44	10,86%	0,0118	0,0198	0,1409
45	15,63%	0,0244	0,0431	0,2076
46	9,98%	0,0100	0,0164	0,1281
47	10,55%	0,0111	0,0215	0,1465
48	10,37%	0,0108	0,0233	0,1525
49	9,15%	0,0084	0,0143	0,1197
50	7,97%	0,0064	0,0143	0,1197
51	7,43%	0,0055	0,0113	0,1065
∑Hata² Test Seti		0,5985		
∑Hata²/n (51) Test Seti		0,0117		
RMSE (Hata) YSA Test Seti		10,83%		
∑Hata² Eğitim Seti		20,9616		
∑Hata²/n (51) Eğitim Seti		0,0467		
RMSE (Hata) YSA Eğitim		21,61%		

En büyük hata oranı 2'nolu projede (test seti) %18,63 olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan, Şekil 4.66. incelendiğinde; test setinde yer alan projelerin hesaplanan ortalama RMSE hata değerleri görülmektedir. Test setinde yer alan 51 projenin 23 adetinin hata oranı %10'nun üzerinde gerçekleşirken, kalan 28 adet projede ise %10'un altında gerçekleşmiştir. Özetle, önerilen sinir ağı modeli yeni projeler ile test edildiğinde, eğitim safhasındaki performansından %10,78 düzeyinde daha verimli sonuçlar elde edilmiştir.

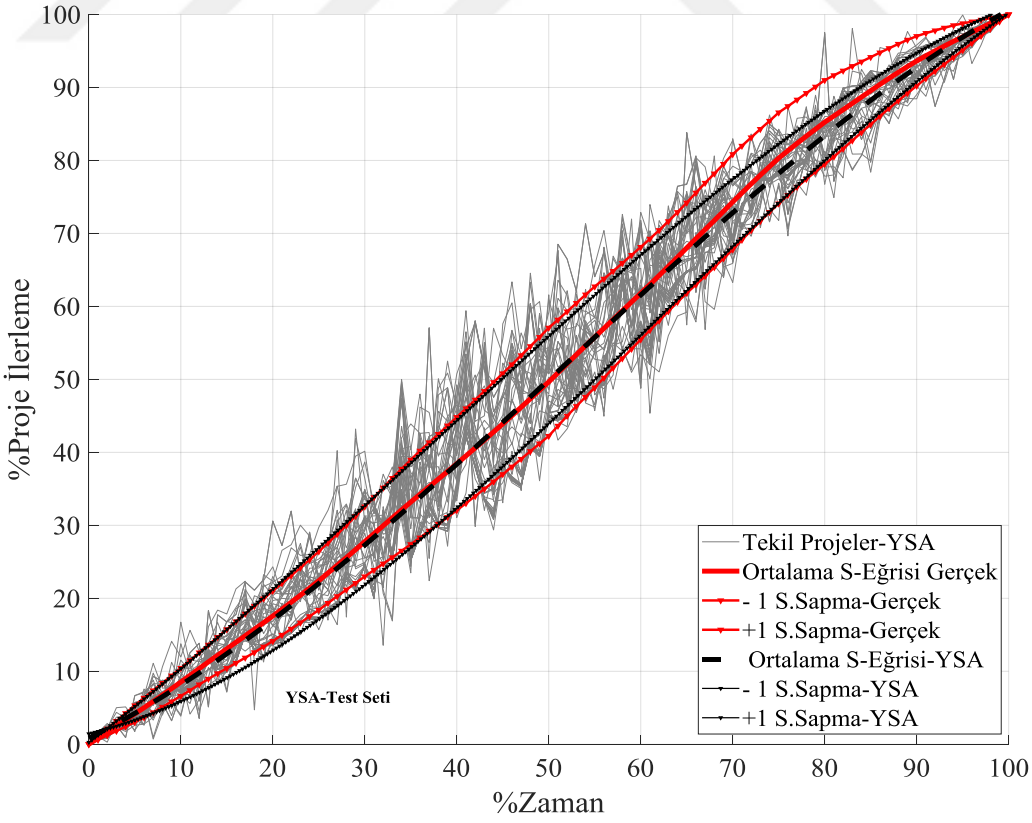


Şekil 4.66. YSA test seti sonuçları ve RMSE hata oranı

Şekil 4.66'da gösterilen RMSE hata değerlerindeki pik farkların yapılacak yeni parametre araştırmaları ile daha düşük seviyelere indirilebileceği değerlendirilmektedir. Çalışmada kullanılan veri setinde farklı büyüklükte altı yapı türü kullanılması ve her bir projenin farklı karakteristik yapısından dolayı bu tür pik farkların test setinde oluşmasının olağan bir durum olduğu, ancak hesaplanan hataların kabul edilebilir limitlerde olduğu değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, test setinde yer alan projelerin YSA tahmin sonuçları Şekil 4.67. ve 4.68.'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 4.67. ve 4.68.'den de görüleceği üzere, gerçekleşmiş ortalama S-Eğrileri ile önerilen sinir ağı ile hesaplanan tekil ve ortalama S-Eğrilerinin formları uyum sağlamaktadır. Şekil 4.68.'de YSA modelinin test setinde yer alan yeni projeler için tahmin ettiği nakit akış eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 4.67. Test setinin YSA sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması



Şekil 4.68. Test setinin YSA sonuçları ve gerçek değerlerin karşılaştırılması

Tahmini ve gerçek ortalama S-Eğrilerinin, süre olarak %65 dilimine kadar olan bölümde benzer bir forma sahip olduğu görülmektedir. Ancak, %65'lik zaman diliminden proje tamamlana kadar (%100) geçen zamanda YSA ile tahmin edilen nakit akışı daha düşük seviyede gerçekleşmiştir. Diğer taraftan, gerçekleşen ve tahmin edilen +1/-1 standart sapma eğrileri incelendiğinde; YSA ile oluşturulan modelin standart sapma eğrilerinin ortalama S-Eğrisinden ıraksamadığı Şekil 4.66. ve 4.67.'den görülmektedir.

Test seti sonuçları incelendiğinde, RMSE ile hesaplanan ortalama hata %13,58 ve 51 adet test seti projesinden 23 adedinin hata düzeyi %10'nun üzerinde tespit edilmiştir. Hesaplanan ortalama hata düzeyi referans alınarak sonuçların o hata düzeyinde gerçekleşmesini beklemenin hatalı bir yaklaşım olacağı bu çalışma kapsamında değerlendirilmektedir. Bunun yerine en büyük ve en küçük hata düzeylerini belirli bir aralıkta irdelemenin daha faydalı olacağı önerilmektedir. Diğer taraftan, Chao ve Chien (2009), YSA mimarisi ile oluşturdukları S-Eğrilerinin regresyon ile oluşturdukları modele göre %2,47 oranında daha yüksek modelleme ve tahmin doğruluğuna sahip olduğunu ifade etmiştir (%17,51-%15,04). Bu tez çalışmasında ise inşaat projelerinin nakit akışlarını tahmin etmek üzere önerilen YSA modelinin, Chao ve Chien (2009) 'nin çalışmasına kıyasla %1,46 oranında daha yüksek tahmin gücüne sahip olduğu tespit edilmiştir (%13,58; %15,04). Ancak, Chao ve Chien (2009), çalışmalarını Hudson tarafından önerilen matematiksel bir eşitliğin parametrelerini YSA ile tahmin etmek üzere sınırlı tutarak S-Eğrilerini elde etmeyi hedeflemiştir. S-Eğrilerinin projelerin nakit akışlarını tahmin etmek için kullanılan sürekli bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir (Kenley, 2003). Ancak, bir inşaat projesinin gerçekleşen nakit akış eğrisi her zaman düzenli ve S formunda olmayabilir. Bu bağlamda, nakit akışı eğrileri üzerinde farklı varyasyonların olabileceği bilinmektedir (Kenley, 2003). Bu çalışma kapsamında önerilen YSA; projelerin gerçekleşmiş nakit akış eğrilerini ve nakit akışlarını etkileyen faktörleri dikkate alarak dinamik bir yapıda tasarlanmıştır. Önerilen YSA modelinin gerçekleşen nakit akışlarında yaşanan ani dalgalanmaları da dikkate alarak tahmini S-Eğrilerini oluşturabildiği Şekil 4.68.'den görülebilmektedir. Bu bağlamda YSA ile önerilen modelin Chao ve Chien (2009)'nin çalışmasına kıyasla projelerin karakteristik yapısına uygun ve nakit akışlarında gerçekleşebilecek ani

dalgalanmaları da dikkate alarak daha hassas tahminler üretebildiği tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında önerilen sinir ağı modeli, örnek bir proje ile uygulamalı olarak açıklanarak güvenirliği sınanacaktır.

S-Eğrileri; projelerin ilerleme sürecinin takibinde ve sözleşme yönetiminde kullanılan, avantajları ve kısıtlamaları olan bir uygulamadır. Bununla birlikte, proje öncesi ve süresince; planlama ve finansal tahminler için S-Eğrilerinin birçok araştırmacı tarafından kabul gördüğü ifade edilebilir. Hudson (1978), Kenley (2003), Sidewall ve diğer araştırmacılar nakit akışı tahminlerinde kullanılan matematik modellerin inşaat projelerinin karmaşık yapısını tanımlamada yeterli olmadığını belirtmiştir. Diğer taraftan, Berny ve Howes (1982) DHSS modelinin gerçek verilere dayanmamasının bir problem olduğunu öne sürmüştür. Hudson (1978), önerilen bir matematiksel modelin gerçek dünya şartlarında hayata geçirilen ve karmaşık bir sürece sahip olan inşaat projelerinin nakit akış profillerini tahmin etmekte genellikle başarılı olamayabileceğini ileri sürse de bu çalışmada gerçek veriler kullanılarak ortaya koyulan S-Eğrilerinin Hudson (1978)'ın önerdiği eğri ile uyum sağladığı Şekil 4.60. ve Şekil 4.61.'de gösterilmiştir. Chao ve Chien (2009), Hudson (1978) tarafından önerilen S-Eğrisi eşitliliğinde yer alan değişkenleri YSA ile tahmin etmek üzere yapmış olduğu çalışmada veri setini (110 proje) aynı inşaat firmasından temin etmiştir. Ancak, Chao ve Chien (2009), Hudson (1978) tarafından önerilen matematiksel modelin parametrelerini Yapay Sinir Ağları ile tahmin etmeye çalışmış olsa dahi Hudson (1978) tarafından önerilen matematiksel bir eşitliğe bağlı kalmıştır. Kısaca özetlemek gerekirse, tahmin değişkenleri; belirli sınırlar içerisinde matematiksel bir eşitliğe bağlı düzgün bir S-Eğrisi oluşturmak üzere kurgulanmış bir modeli temsil etmektedir. Diğer yandan, inşaat projelerinin karakteristik yapılarından dolayı yaşam döngüsü boyunca birtakım belirsizlikler barındırdığı da bilinmektedir (Kenley, 2003). Ayrıca, Chao ve Chien (2009), gelecekteki çalışmalarda farklı firmalardan daha fazla sayıda temin edilecek projeler ve farklı parametreler kullanılarak daha iyi sonuçlar alınabileceğini önermiştir.

Bu bağlamda, bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak, 65 farklı inşaat firmasından temin edilen 501 adet proje ile inşaat projelerinin nakit akışlarını tahmin edebilen bir YSA modeli oluşturulmuştur. Yapı türü, inşaat süresi, proje tutarı,

çalışılmayan gün sayıları, İGE, GYSH girdi parametreleri modele dahil edilerek sinir ağı eğitilmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmada önerilen Yapay Sinir Ağları tahmin modeli tamamlanmış 501 adet üstyapı projesinin gerçek verileri ile projelerin karakteristik özelliklerini tanımlayan altı farklı parametre ile yapılandırılmıştır. Eğitim ve test setinde yer alan projeler ile YSA modeli sınandığında ani dalgalanmaların yer aldığı eğrilerin elde edildiği görülmektedir. Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında önerilen sinir ağı modelinin projelerin gerçekleşeme safhasında nakit akışlarında gerçekleşebilecek değişiklikleri de dikkate alabildiği değerlendirilmektedir. Diğer taraftan bu çalışma, yapım yönetimi alanında projelerin karakteristik özelliklerinin dikkate alınarak, nakit akışlarının ve ilerlemelerinin tahmin edilebildiği bir karar destek sistemi olarak literatürde ön plana çıkmaktadır.

Sonuç olarak; bu çalışmada yatırımcı, işveren, yüklenici ve proje yönetim ekiplerinin ihale öncesi safhalarda ve proje süresince ek bir çaba sarf etmeden istifade edebileceği, projelerin tamamlanma sürelerini, nakit akışlarını ve ilerlemelerini tahmin edebilen iki kademeli bütünleşik bir karar destek modeli önerilmiştir. Öncelikle projelerin tamamlanma süresini tahmin edebilen YSA modeli yapılandırılmış ve bu modelin çıktı birimi olan projelerin tamamlanma süreleri gün olarak nakit akışlarının (S-Eğrisi) tahmini için önerilen YSA modeline girdi olarak tanımlanmıştır. Geniş bir veri seti ve altı farklı girdi parametresi kullanılarak YSA mimarisi kademeli olarak yapılandırılmış ve bütünleşik bir model elde edilmiştir. Böylelikle, önerilen modelin ilgili problem için daha iyi sınıflandırma yaptığı, araştırmaya esas projelere özgün daha doğru ve hassas sonuçlar üretebildiği bu çalışma kapsamında değerlendirilmektedir.

4.5. Bölüm Sonu Değerlendirme ve Örnek Uygulama

Türkiye'de üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisinin araştırıldığı bu çalışmada; projelerin tamamlanma sürelerini ve nakit akışlarını süre-maliyet ilişkisi kapsamında iki aşamalı ancak bütünleşik olarak tahmin edebilen Yapay Sinir Ağları modeli ile veri setinde yer alamayan ve hali hazırda yapımı devam eden bir sanayi projesi, çalışmanın bu bölümünde önerilen model ile test edilmiştir. Diğer taraftan, örnek olarak incelenen proje hali hazırda bu çalışmanın yazarı tarafından yönetilmektedir.

İstanbul Yeni Havalimanı'nın kargo bölümünde 38.846,24 m^2 arazi üzerinde 27.652,00 m^2 kapalı alana sahip olan sanayi projesi, gümrüklü operasyon alanı (11.200,00 m^2) ve ofis bölgelerinden (16.452,00 m^2) oluşmaktadır. Operasyon alanı 22 mt yüksekliğinde ve 32 mt açıklığa sahip tek katlı bir yapı iken ofis alanı bir adet bodrum olmak üzere toplam dört kattan oluşmaktadır.

Projenin Gerçekleştirildiği İl	: İstanbul Yeni Havalimanı Kargo Terminali
Sözleşme Tarihi	: 26.12.2018
Sözleşme Süresi	: 1 yıl (12 ay-365 gün)
Yer Teslimi	: 03.01.2019
Tamamlanma Tarihi (Söz.)	: 03.01.2020
Sözleşme Tutarı	: 137.730.000,00 TL
Proje Türü	: 6 (Sanayi Projesi)
Çalışılmayan Gün Sayısı	: 60 gün (İstanbul)
Gayri Safi Yurtiçi Hasıla	: 0,817 (İstanbul 2.sıra)
İnsani Gelişmişlik Endeksi	: 0,738 (İstanbul 4.sıra)
BTC Model Eşitliği (Sanayi)	: $T=151,83.C^{0,269}$

Bu bağlamda öncelikli olarak BTC analizlerinde sanayi projeleri için elde edilen eşitlik kullanılarak; $T=151,83.C^{0,269}$

C=137,73 Milyon TL sözleşme tutarı ilgili eşitlikte yerine yazılarak;

$T=151,83.\ (137,73)^{0,269}$; 571,16 ≈571 gün olarak projenin tahmini tamamlanma süresi BTC eşitliği ile belirlenmiştir.

Diğer taraftan, örnek sanayi projesinin tamamlanma süresi için önceki bölümlerde ifade edilmiş olan YSA modeli Eşitlik 4.17'de gösterilmektedir.

$$y_e = NN(\{p_t, p_c, n, g, h\}:\{5, n_{h(5)}, 1\}) \quad (4.17)$$

Eşitlik 4.17'ye örnek projeye ilişkin girdi birimleri yazıldığında;

$$T = NN\big(\{(6),(137.73),(60),(0.817),(0.738)\}:\{5, n_{h(5)}, 1\}\big) = 395{,}65 \approx 396\ g\ddot{u}n \quad (4.18)$$

Projenin toplam tamamlanma süresi 396 gün olarak hesaplanmıştır.

Sözleşme içeriğinde yer alan toplam tamamlanma süresinin 365 gün olmasına karşın aynı süre BTC modeli ile 571 gün, Yapay Sinir Ağları ile 396 gün olarak hesaplanmıştır. Yapay Sinir Ağları modelinin sözleşme verisine çok yakın bir değer ile süre tahmini yaptığı görülmektedir. YSA ile örnek projenin toplam tamamlanma süresi 396 gün olarak belirlendikten sonra ikinci aşamada "Nakit Akışı Tahmini" için önerilen YSA modeli ile örnek projenin S-Eğrisi tahmin edilecektir. Önceki bölümlerde açıklanmış olan Eşitlik 4.19'da S-Eğrilerinin tahmini için önerilen YSA'nın yazılı formu görülmektedir.

$$y_e = NN(\{p_t, p_c, p_d n, g, h\}:\{6, n_{h(100)}, 1\}) \quad (4.19)$$

Eşitlik 4.19 kullanılarak örnek sanayi projesine ilişkin girdi birimleri yerine yazıldığında;

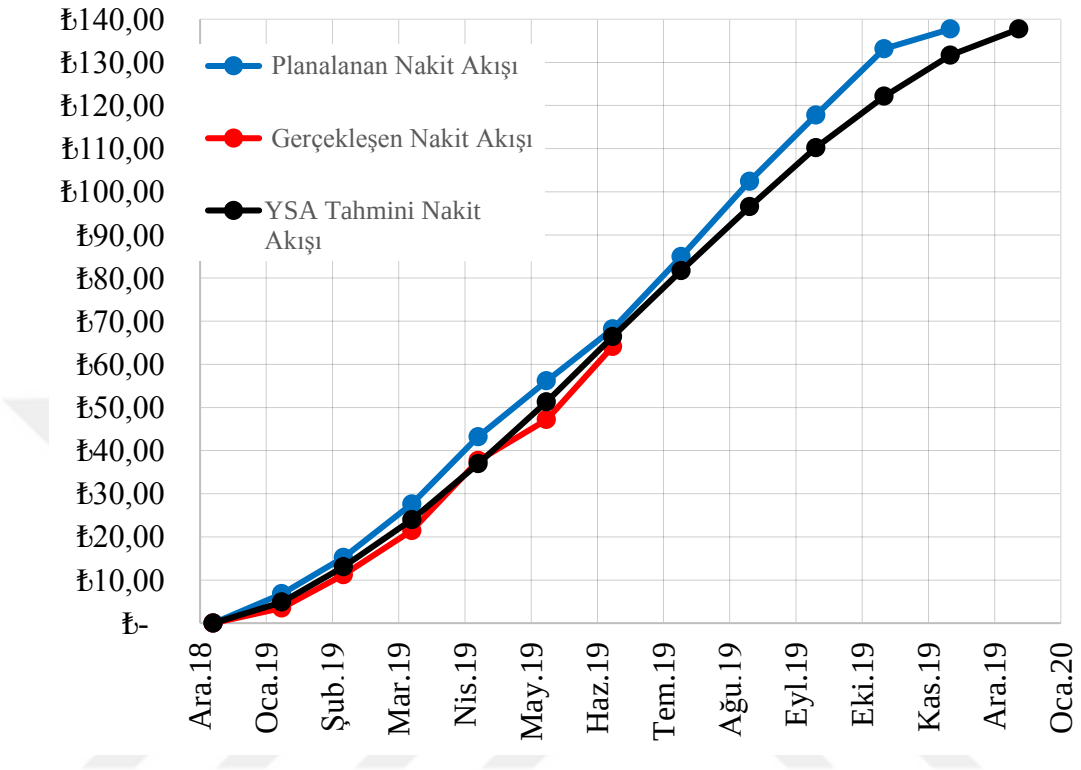
$$y_e = NN(\{(6),(137.73),(396),(60),(0.817),(0.738)\}:\{6, n_{h(100)}, 1\}) \quad (4.20)$$

$$y = -0{,}000133x^3 + 0{,}0207x^2 + 0{,}2621x\ ;\ R^2 = 0{,}9914 \quad (4.21)$$

Nakit akışlarının tahmini için önerilen YSA analizi sonucunda Eşitlik 4.19'da yer alan polinomial bağıntı, Şekil 4.69.'da yer alan S-Eğrisi ve Tablo 4.21.'de yer alan aylık kümülatif nakit akışları elde edilmiştir.

Şekil 4.69.'da düşey eksen kümülatif nakit akış miktarlarını, yatay eksen ise aylık ödemelerin gerçekleştirildiği dönemleri göstermektedir. Ayrıca, Şekil 4.69.'da planlanan, gerçekleşen ve bu çalışma kapsamında önerilen YSA modeli ile tahmin edilen S-Eğrileri yer almaktadır. YSA ile tahmin edilen S-Eğrisi'nin ihale safhasında planlanan S-Eğrisinden yaklaşık olarak 30 gün daha uzun bir sürede kümülatif nakit akışının sözleşme tutarına ulaştığı görülmektedir. Bu durumun en temel sebebi YSA

ile tahmin edilen proje süresinin sözleşme süresinden 30 gün daha fazla tahmin edilmiş olmasıdır.



Şekil 4.69. YSA nakit akışı tahmini- planlanan ve gerçekleşen nakit akışları

Tablo 4.24. Planlanan-gerçekleşen ve YSA ile tahmin edilen nakit akışları

Sn	Aylar	Planlanan Nakit Akışı	Gerçekleşen Nakit Akışı	YSA Tahmini Nakit Akışı
0	Oca.19	₺ -	₺ -	₺ -
1	Şub.19	₺ 6,78	₺ 3,48	₺ 4,88
2	Mar.19	₺ 15,21	₺ 11,22	₺ 13,08
3	Nis.19	₺ 27,60	₺ 21,44	₺ 23,98
4	May.19	₺ 43,21	₺ 37,68	₺ 36,93
5	Haz.19	₺ 56,14	₺ 47,16	₺ 51,29
6	Tem.19	₺ 68,21	₺ 64,14	₺ 66,43
7	Ağu.19	₺ 84,98	₺ -	₺ 81,72
8	Eyl.19	₺ 102,44	₺ -	₺ 96,53
9	Eki.19	₺ 117,74	₺ -	₺ 110,21
10	Kas.19	₺ 133,14	₺ -	₺ 122,14
11	Ara.19	₺ 137,73	₺ -	₺ 131,67
12	Oca.20			₺ 137,73

Diğer taraftan, örnek projenin sözleşmesinin imzalandığı Aralık 2018 döneminde Türkiye'de 2018 yılı içerisinde kur dalgalanmasının hakim olduğu bilinmektedir (TUIK, 2018). Bu proje kapsamında yatırımcı ve yüklenici firmalar kur riskini

yönetebilmek amacı ile Akyüksek ve Biçen (2017)'ın önerdiği gibi hedging, futures, forward ve opsiyon sözleşmelerinden faydalanarak finans kuruluşlarından destek almıştır. Proje kapsamında herhangi bir avans veya ihzarat uygulaması sözleşme içeriğinde yer almamaktadır. Ayrıca örnek sanayi projesinin sözleşme safhası tamamlandıktan sonra önceki bölümlerde Skitmore ve ark. (2003), Toor ve ark. (2008), belirttiği üzere bu projede de tasarım değişiklikleri ve iklim şartlarına bağlı olarak birtakım gecikmeler yaşanmıştır. Özellikle kazı işlerinin gerçekleştiği Ocak-Şubat 2019 döneminde şantiye sahasının bulunduğu bölgede yaşanan olumsuz hava şartları ve yapının ofis bloğunun yatırımcı talebi ile statik ve mimari tasarımının değiştirilmesinden dolayı an itibari ile devam eden projenin tamamlanma tarihi 17.02.2020 olarak revize edilmiştir. Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında önerilen YSA modeli ile tahmin edilen proje süresinin hali hazırda devam eden projenin tahmini tamamlanma süresi ile örtüştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında BTC modeli ile sanayi projelerinin süre-maliyet ilişkisi R^2=0,74 olarak oldukça yüksek düzeyde elde edilmesine karşın örnek sanayi projesinin toplam tamamlanma süresi BTC model eşitliği ile 571 gün olarak tahmin edilebilmiştir. Tahmin edilen sürelerdeki bu farklılığın temel sebebi BTC modelinin logaritmik bir eğri üzerinden tahminlerini gerçekleştirmesidir. Ancak, örnek vakada da görüldüğü üzere her projenin karakteristik bir yapısı vardır. Bu bağlamda, bütün projeler için tek bir matematik eşitlik kullanılarak, projelerin tamamlanma sürelerinin tahmininin (bu örnekte olduğu gibi) zaman zaman başarısız olabileceği anlaşılmıştır. Üstyapı projelerinin doğrusal olmayan ve karmaşık yapısına uygun dinamik bir karar destek sistemi; bu çalışma kapsamında önerilerek, YSA test seti ve örnek proje ile bu varsayım doğrulanmıştır. Diğer taraftan, sanayi projelerinin, yatırımcıların gecikme konusunda hassasiyetinden ve gecikme durumunda sanayi yatırımının hemen faaliyete geçememesinden kaynaklı oluşabilecek zararlardan dolayı süre ve maliyet anlamında ciddi baskılara maruz kaldığı bilinmektedir (Forcada ve ark., 2011). Araştırılan örnek projede de olumsuz iklim şartları ve tasarım değişiklikleri yaşanmasına karşın, yatırımcı baskısı sebebi ile sözleşme kapsamında sınırları belirlenmiş olan işlerin planlanan kurguya yakın bir şekilde devam ettiği Şekil 4.69. ve Tablo 4.23.'den anlaşılmaktadır. Şekil 4.69. incelendiğinde gerçekleşen nakit akışı ile bu çalışma kapsamında önerilen YSA modelinin tahmin ettiği nakit akışlarının önemli ölçüde

uyum sağladığı tespit edilmiştir. Temmuz 2019 dönemine ait tahmin edilen kümülatif nakit akışı 66.43 Milyon TL iken şu ana kadar gerçekleşen nakit akışı 64,14 Milyon TL'dir. Gerçekleşen kümülatif nakit akışı 2.29 Milyon TL (%1,66) farkla YSA tahminine kıyasla daha düşük seviyede kalmıştır. Bu durumun en temel sebebi ise tasarım değişiklikleri ve kazı safhasında iklim şartlarından kaynaklanan gecikmelerdir. İhale safhasında planlanan nakit akışı ise aynı dönemde 68,21 Milyon TL olarak tahmin edilmiştir. Ancak, Şekil 4.69. incelendiğinde planlanan nakit akışının proje yaşam döngüsü boyunca bütün safhalarda daha yüksek seviyede tahmin edildiği görülmektedir. Skitmore ve ark. (2003), Toor ve ark. (2008)'nın belirttiği üzere bu çalışma kapsamında incelenen örnek sanayi projesinde gerçekleşen tasarım değişiklikleri, projenin nakit akışlarını olumsuz yönde etkilerken toplam tamamlanma süresinin de yaklaşık 40 takvim günü uzamasına neden olmuştur. Ancak, Forcada ve ark., (2011)'nın belirttiği gibi sanayi projelerindeki yatırımcı baskısı sebebi ile örnek olarak incelenen projede yaşanan değişiklik ve olumsuzluklara karşın imalatlar planlanana yakın bir şekilde devam etmektedir.

İnşaat projeleri; sözleşme ile sınırları önceden belirlenmiş, belirli süresi, maliyeti ve karakteristik özellikleri olan geçici organizasyonlardır (Sönmez, 2009). Bu bağlamda, çalışma kapsamında üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkilerinin kapsayıcı bir yaklaşım ile tahmini hedeflenmiştir. Bu amaçla, öncelikli olarak projelerin tamamlanma süreleri tespit edilmiş ve sonrasında tahmin edilen süreye göre nakit akışlarını tahmin edebilen iki aşamalı bir karar destek sistemi önerilmiştir. Önceki çalışmalarda süre-maliyet ilişkilerinin sadece proje maliyetine bağlı olarak süre tahmini (Bromilow, 1969; Kaka ve Price, 1991; Ng ve Skitmore, 2000; Choudhury ve Rajan, 2003; Özçekiç, 2007; Odabaşı, 2009; Car-Pusic ve Radujkovic, 2010; Bayram, 2017; Okere, 2018) ya da nakit akış modellerinin tahmini ile sınırlı kaldığı tespit edilmiştir (Bromilow ve Henderson, 1974; Hudson, 1978; Tucker ve Rahilly, 1985; Kenley ve Wilson, 1986; Skitmore, 1991; Kaka ve Price, 1994; Kaka ve Fortune, 2002; Khosrowshahi ve Kaka, 2007). Ancak, bu çalışmada süre-maliyet ilişkisi; toplam proje süresi ve bu süreye bağlı olarak planlanan nakit akışları ile bütünleşik olarak ele alınmıştır. Diğer taraftan, inşaat projelerinin nakit akışlarının, projenin tamamlanma süresi ve tutarı ile planlanabildiği bilinmektedir (Kenley, 2003). Bu durum da inşaat

projelerinde süre-maliyet ilişkisinin önemini ortaya koymaktadır. Bu sebepten dolayı S-Eğrileri (Nakit Akışı Planlaması); yatırımcı-yüklenici firmalar için ihtiyaç duyulan nakit miktarını ve süre-maliyet ilişkisinin zaman içerisindeki gelişimini gösteren önemli bir enstrümandır. Önceki çalışmalarda bu yaklaşım diğer araştırmacılar tarafından ayrı ayrı ve belirli matematiksel eşitliklere bağlı kalınarak tanımlanmaya çalışılmıştır (Bromilow ve Henderson, 1974; Hudson, 1978; Tucker ve Rahilly, 1985; Kenley ve Wilson, 1986; Skitmore, 1991; Kaka ve Price, 1994; Kaka ve Fortune, 2002; Khosrowshahi ve Kaka, 2007). Bu çalışmada ise projelerin karakteristik yapısını tanımlayan parametreler kullanılarak üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisi; her bir projenin yapısına uygun olarak ortaya konulmuştur.

Çalışmanın bu bölümünde hali hazırda devam eden bir sanayi projesi örnek vaka olarak ele alınmış ve çalışma içeriğinde önerilen tahmin modeli ile test edilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Diğer taraftan, her inşaat projesinin hedeflenen bir tamamlanma süresi ve nakit akış planlaması olsa dahi projelerin yaşam döngüsü boyunca maruz kaldığı birtakım belirsizliklerin olduğu bilinmektedir (Bromilow ,1969). Bromilow (1969)'un ifade ettiği belirsizlikler, çalışmanın bu bölümündeki örnek proje ile doğrulanmış ve bu belirsizlikleri öngörebilen bir tahmin modelinin gereksinimi ortaya konulmuştur. Bu kapsamda bu tez çalışmasının üstyapı inşaat projelerinde proje öncesi safhalarda, projelerin tamamlanma sürelerini ve nakit akışlarının zamana bağlı olarak değişimini tahmin eden bütünleşik bir model olarak literatüre özgün bir katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Özet olarak süre-maliyet ilişkisini proje öncesinden tamamlanana kadar bir süreç olarak değerlendiren yeni ve bütünleşik bir süre-maliyet ilişkisi tahmin modeli bu çalışma kapsamında önerilmiştir.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türk inşaat sektörü üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisi araştırılmış olup, araştırma örneklemi olarak 1999-2018 yılları arasındaki dönemde orta ve büyük ölçekli 65 farklı inşaat firması tarafından yapımı tamamlanmış 501 adet üstyapı projesinin süre, maliyet ve sözleşme verileri kullanılmıştır. Proje verileri öncelikle yapıların kullanım amaçlarına göre gruplandırılmış (tekil bina, okul, hastane, sanayi ve TOKİ sosyal konut ve TOKİ afet Konut) ve daha sonra her grup için ayrı ayrı süre-maliyet ilişkileri belirlenmiştir. Araştırmada temel süre ve maliyet verileri dışında ilave dış faktör olarak, döviz kurları (Akyüksek ve Biçen, 2017), çalışılamayan gün sayısı (Halpin, 2005), insani gelişmişlik endeksi (Jarkas, 2016) ve gayri safi yurtiçi hasıla (Tse ve Ganesan, 1997; Yiu ve ark., 2010; Berk ve Biçen, 2017) gibi daha önceden araştırılmamış parametrelerin, üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında üstyapı projelerinin sözleşme büyüklüklerine göre tamamlanma süreleri BTC modeli ile, süre-maliyet ilişkisinin zaman içerisindeki dağılımını ifade eden S-Eğrileri ise polinomial regresyon yönteminden istifade edilerek araştırılmıştır. Devam eden bölümlerde proje öncesi safhalarda üstyapı inşaat projelerinin tamamlanma sürelerinin ve S-Eğrilerinin tahmini için Yapay Sinir Ağları yöntemi ile bütünleşik bir karar destek sistemi oluşturulmuş ve model sonuçları, ilk aşamada elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçları değerlendirildiğinde önerilen bütünleşik modelin; Türkiye'deki üstyapı projelerinin süre-maliyet ilişkisi ve nakit akışı yönetimi açısından daha anlamlı ve hassas sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında Yapay Sinir Ağları ile önerilen modelin; projelerin tamamlanma sürelerini %13,55, S-Eğrilerini ise %10,83 hata ile tahmin edebildiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan, doğrulama testleri sonucunda; YSA modelinin BTC modeline kıyasla

%11,57 oranında gerçek değerlere daha yakın tahminlerde bulunduğu; YSA ile tahmin edilen nakit akışı eğrilerinin ise polinomial regresyon ile oluşturulan eğrilere kıyasla gerçek S-Eğrilerinin geometrisine daha iyi uyum sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada bütün projeler için polinomial regresyon ile elde edilen ortalama S-Eğrisinin, Hudson (1978) tarafından önerilen ve literatürde DHSS modeli olarak anılan nakit akışı eğrisi ile uyum sağladığı görülmüştür. Ancak, veri seti içerisinde yer alan projelerin gerçekleşmiş kümülatif nakit akışları incelendiğinde, S-Eğrilerinin matematiksel eşitlikler ile gösterildiği kadar düzgün bir geometride olmadığı, proje yaşam döngüsü içerisinde nakit akışlarında ani dalgalanmaların meydana geldiği ve eğri geometrisi üzerinde birtakım varyasyonların mevcut olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında önerilen karar destek sistemi; üstyapı projelerinin yaşam döngüsü boyunca nakit akışlarında meydana gelebilecek ani dalgalanmaları da tahmin edilebilecek şekilde yapılandırılmış ve henüz devam etmekte olan bir sanayi projesi ile önerilen modelin tahmin gücü doğrulanmıştır. Çalışma sonucunda, Türk inşaat sektöründe faaliyet gösteren yatırımcı ve yüklenici firmalar ile proje yönetim ekiplerinin ihale öncesi safhalarda ve proje süresince, ek bir çaba sarf etmeden istifade edebileceği; projelerin tamamlanma sürelerini ve S-Eğrilerini süre-maliyet ilişkisi kapsamında tahmin edebilen bir karar destek sistemi önerilmiştir.

Bu tez çalışmasının; veri seti büyüklüğü, yapı türü çeşitliliği, kullanılan model ve yöntemler açısından diğer çalışmalara kıyasla daha üstün olduğu tespit edilmiştir. Zira literatürde, altı farklı yapı türü ve 501 adet üstyapı projesinden daha geniş veri setine sahip herhangi bir çalışma yer almamaktadır. Diğer taraftan bu çalışma, gerek süre-maliyet ilişkisinin ve gerekse nakit akış yönetiminin iki farklı model/yöntem ile karşılaştırmalı olarak incelendiği ilk çalışma olarak literatürde ön plana çıkmaktadır. Bu bilgiler ışığında bu çalışma kapsamında Yapay Sinir Ağları ile önerilen karar destek sistemi; üstyapı inşaat projelerinin süre-maliyet ilişkisini proje öncesi safhalardan tamamlanana kadar bir süreç olarak değerlendiren, yeni ve bütünleşik bir süre-maliyet ilişkisi tahmin modeli literatürde ilk olma özelliği taşımaktadır. Bu bağlamda, bu çalışmanın Türkiye'deki inşaat projelerinin finans ve proje yönetim sürecine ışık tutan referans bir kaynak olacağı değerlendirilmektedir.

Ayrıca, bu çalışma 1999-2018 yılları arasında Türkiye sınırları içerisinde gerçekleştirilen ve analiz için verileri elde edilen altı yapı türü (TOKİ sosyal konut, TOKİ afet konut, tekil bina, okul, hastane, sanayi projeleri) ve 501 adet üstyapı projesi ile süre-maliyet ilişkisine etki eden parametrelerden çalışılamayan gün sayısı, döviz kuru, İGE, GSYH ile sınırlı tutulmuştur. Gelecek çalışmalarda, daha geniş bir veri seti ve yeni parametre araştırmaları ile bu çalışmanın diğer araştırmacılar tarafından geliştirilebileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

Abu Hammad, A. A., Ali, S. M. A., Sweis, G. J., ve Sweis, R. J. 2010. Statistical analysis on the cost and duration of public building projects. Journal of Management in Engineering, 26(2), 105-112.

Abudayyeh, O. Y. ve Rasdorf, W. J. 1993. Prototype integrated cost and schedule control system, Journal of Computer and Civil Engineering, 7(2), 181- 198.

Adam, A., Josephson, P. E., ve Lindahl, G. 2014. Implications of cost overruns and time delays on major public construction projects. In Proceedings of the 19th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate (pp. 747-758). Springer, Berlin, Heidelberg.

Adeyemi, A. Y., ve Masalila, K. 2016. Delay factors and time-cost performance of construction projects in Gaborone City Council, Botswana. Journal for the Advancement of Performance Information & Value, 8(1), pp.1-18.

Akpan, E. O. P. ve Igwe, O. 2001. Methodology for determining price variation in project execution, Journal of Construction Engineering and Management, Vol.127, Issue 5, 367 – 373.

Aksüyek, H., ve Yılmaz, H. B. 2017. Kur Riskinin İnşaat Projeleri Üzerindeki Etkisi Ve Korunma Yöntemleri. ulakbilge, Cilt 5, Sayı 9, Volume 5, Issue 9, 179-198.

Alaloul, W. S., Liew, M. S., Wan Zawawi, N. A., Mohammed, B. S., ve Adamu, M. 2018. An Artificial neural networks (ANN) model for evaluating construction project performance based on coordination factors. Cogent Engineering, 5(1), 1-18.

Albalushi, I., Usman, F., ve Alnuaimi, A. S. 2013. Construction Cost Overrun and Variations: Investigation on Its Causes and Consequences. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7(14), 311-323.

Al-Issa, A., ve Zayed, T. 2007. Projects cash flow factors-contractor perspective. In Construction Research Congress (CRC) conference (pp. 5-8).

Al-Joburi, K. I., Al-Aomar, R., ve Bahri, M. E. 2012. Analyzing the impact of negative cash flow on construction performance in the Dubai area. Journal of management in engineering, 28(4), 382-390.

Allsop, P. 1980. Cash flow and resource aggregation from estimator's data (computer program CAFLAR), Project Report in Construction Management, Loughborough University of Technology.

Altman, E. I. 1968. Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy. The journal of finance, 23(4), 589-609.

Ameyaw, C., Mensah, S. ve Diss, Y. 2012. Applicability Of Bromilow's Time-Cost Model On Building Projects in Ghana. 4th West Africa Built Environment Research (Waber) Conference, Abuja, Nigeria, 24-26.

Ammar, M. A. 2010. Optimization of project time-cost trade-off problem with discounted cash flows. Journal of Construction Engineering and Management, 137(1), 65-71.

Anastasopoulos, P. C., Labi, S., Bhargava, A., ve Mannering, F. L. 2011. Empirical assessment of the likelihood and duration of highway project time delays. Journal of Construction Engineering and Management, 138(3), 390-398.

Antill, J. M. 1973. Civil engineering management. Elsevier Publishing Company.

Ariful Haque, K.M., ve Hasin, M.A.A. 2012. Genetic algorithm for project time-cost optimization in fuzzy environment. Journal of Industrial Engineering and Management, 5(2), pp.364-381.

Ashley, D. B. and Teicholz, P. M. 1977. Pre-estimated cash flow analysis, Journal of Construction Division, ASCE, 102(3), 369 – 379.

Asiedu, R. O., Frempong, N. K., ve Nani, G. 2016. Parametric time overrun estimation of building projects. Journal of Financial Management of Property and Construction, 21(3), 253-268.

Atallah, P. (2006). Building a successful construction company. Kaplan Publishing.

Au, T. ve Hendrickson, C. 1986. Profit measures for construction projects. Journal of Construction Engineering and Management, 112(2), 273-286.

Balkau, B. J. 1975. A financial model for public works programmes, in Paper to National ASOR Conference Sydney, 25-27.

Baloi, D., ve Price, A. D. 2003. Modelling global risk factors affecting construction cost performance. International journal of project management, 21(4), 261-269.

Bannock, G. and Baxter, R. E. and Davis, E. 1988. Dictionary of Economics, Peguin Books, Fourt Edition.

Barrie, D. S., ve Paulson, B. C. 1992. Professional construction management: including CM, design-construct, and general contracting. McGraw-Hill Science/Engineering/Math.

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı. 1982. 07/07/1982 tarih ve B-01/İh.İş.Md.Gr.3/99-2/101156-B sayı ile yayımladığı genelge.

Bayram, S. 2017. Duration prediction models for construction projects: In terms of cost or physical characteristics?. KSCE Journal of Civil Engineering, 2017, 21.6: 2049-2060.

Bayram, S. ve Al-Jibouri, S. 2016. Application of reference class forecasting in Turkish public construction projects: contractor perspective. Journal of management in engineering, 32(3), 5016002. http://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000421.

Bayram, S. ve Al-Jibouri, S. 2018. Reference Class Forecasting Method in Predicting Construction Project Duration. Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences, 22 (3), pp.1132-1142.

Bennett, J. and Ormerod, R. N. 1984. Simulation applied to construction projects, Construction Management and Economics, 2(3), 225-263.

Berdicevsky, S. 1978. Erection cost - flow analysis. Technion Israel Institute of Technology, Haifa, Israel. M.Sc Thesis.

Baradan, S., Dikmen, S. U. & Akboga Kale, O. (2019) Impact of human development on safety consciousness in construction, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 25:1, 40-50,

Berk, N. ve Biçen, S. (2017).Causality between the Construction Sector and GDP Growth in Emerging Countries: The Case of Turkey,10th Annual International Conference on Mediterranean Studies, 10-13 April 2017, Athens- Greece, April 10-11,2017.

Berke, B. ve Akarsu, G. 2017. Türkiye için "S-Eğrisi" Analizi. V. Anadolu International Conference in Economics, May 11-13, 2017, Eskişehir, Turkey.

Berny, J. ve Howes, R. 1982. Project management control using real time budgeting and forecasting models. Construction papers, 2(1), 19-40.

Betts, M. ve Gunner J. 1993. Financial Management of Construction Projects. Longman Singapore publishers Ltd.

Blyth, K. ve Kaka, A. 2006. A novel multiple linear regression model for forecasting S-curves. Engineering, Construction and Architectural Management, 13(1), 82-95.

Booth, J. Askew, W. H. ve Mawdesley, M. J. 1991. Automated budgeting for construction, In Proceeding of the Eight International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Stuttgart, 3 - 5 June, 529 - 538.

Boussabaine, A. H., ve Elhag, T. 1998. A Fuzzy Approach for Cash Flow Analysis. In: (Proceedings) EUFIT '98 Annual Conference. Aachen, Germany.

Boussabaine, A. H. ve Elhag, T. 1999. Applying fuzzy techniques to cash flow analysis. Construction management & economics, 17(6), 745-755.

Boussabaine, A. H. ve Kaka, A. P. 1998. A neural networks approach for cost flow forecasting. Construction Management & Economics, 16(4), 471-479.

Bromilow, F. J. 1969. Contract Time Performance Expectations And The Reality. Building Forum, 1, 70-80.

Bromilow, F. J. ve Henderson, J. A. 1974. Procedures for Reckoning the Performance of Building Contracts, 2nd edn. CSTRO Division of Building Research Special Report, Highett, Australia.

Bromilow, F.J. ve Henderson, J.A. 1976. Procedures for reckoning and valuing the performance of building contracts. The Chartered Builder, 10 (9), 57.

Carpenter, G. A., Grossberg, S., ve Reynolds, J. H. 1995. A fuzzy ARTMAP nonparametric probability estimator for nonstationary pattern recognition problems. IEEE Transactions on Neural Networks, 6(6), 1330-1336.

Car-Pušić, D. ve Radujković, M. 2010. Model For Proposed Construction Time For Transportation Facilities. Suvremeni Promet, 30(1/2), 127-130.

Carr, R. I. 1993. Cost, schedule, and time variances and integration. Journal of Construction Engineering and Management, 119(2), 245-265.

Chan, A. 1999. Time-Cost Relationship of public sector projects in Malaysia. International Journal Of Project Management, 19, 223-229.

Chao, L. C., Chien C.F. 2009. Estimating Project S-Curves Using Polynomial Function and Neural Networks. Journal of Construction Engineering and Management, (ASCE)0733-9364(2009)135:3(169)

Chao, L. C. 2013. Estimating Project S-Curve Based On Project Attributes and Conditions. The Thirteenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13), September 11-13, 2013, Sapporo, Japan.

Choudhury, I., ve Rajan, S. S. 2003. Time-cost relationship for residential construction in Texas. CIB REPORT, 284, 73.

Choudhury, I. 2009. Time-Cost Relationship For Infrastructure Projects In India. (s.14.1270.1). American Society for Engineering Education.

Choudhury, I. 2012. A study of the factors of construction time for educational projects in Texas. In American Society for Engineering Education. American Society for Engineering Education.

Choudhury, I., Khan, M. M., ve Matin, A. 2002. Relationship between construction time and project cost of health sector construction works in Bangladesh. In Proceedings of the 38th Annual Conference of the Associated Schools of Construction (pp. 337-42).

CIB, 2000, Cash Flow Management - Cash Flow Forecasting ve Liquidity, Charted Institute of Bankers (CIB) Yayınevi.

Cleaver, H. L. 1971. Flexible financial control in the construction industry, Building Technology and Management, 9(8), 6 – 17.

Coulthrust, N., ve McAuley, L. 1990. Cost and management accounting, Longman's, London, 23–265.

Dalkılıç, B. ve Aşkın, M. 2018. Gayrimenkul ve Konut Sektörüne Bakış, Mayıs 2018. Emlak Konut GYO A.Ş.

Datey, V. 2015. Step Function Model For Forecasting Project Cash Flow. International Journal of scientific research and management (IJSRM), 3 (5) pp. 2812-2815.

Dikmen, S.Ü., Ateş O., Akbıyıklı, R., Sönmez, M., (2009), "A review of utilization of soft computing methods in construction" Management Construction for Tomorrow, MC4T, İstanbul.

Dikmen, S. Ü., ve Özek, S. 2011. Deprem bölgelerinde zemin sınıfının sanayi yapılarının maliyetine etkisi. İMO Teknik Dergi, 22 (108), pp.5543-5558.

Dikmen, Ü., Akbıyıklı, R. ve Sönmez, M. (2020). Assessment of the Disaster Recovery Progress through Mathematical Modelling, İMO Teknik Dergi 31 (4), Preprint Verison, https://dx.doi.org/10.18400/tekderg.473099

Dursun, O. 2009. Modelling construction duration for building projects in İstanbul. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Egan, J. 2002. Rethinking Construction Accelerating Change. The report of the Construction Task Force. Department of Trade and Industry. London.

Endut I.R., Akintoye, A. ve Kelly, J. 2006. Relationship Between Duration And Cost of Malaysian Construction projects", Proceedings Of The International Conference In The Built Environment in the 21st Century, Kuala Lumpur (ICiBE).

Evans, R. C. ve Kaka, A. P. 1998. Analysis of the accuracy of standard/average value curves using food retail building projects as case studies", Engineering Construction and Architectural Management, 5(1), 58 – 67.

Farshchian, M. M., Heravi, G., ve AbouRizk, S. 2017. Optimizing the Owner's Scenarios for Budget Allocation in a Portfolio of Projects Using Agent-Based Simulation. Journal of Construction Engineering and Management, 143(7), 04017022.

Farley, B. W. A. C., ve Clark, W. 1954. Simulation of self-organizing systems by digital computer. Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory, 4(4), 76-84.

Forcada, N., Casals, M., Gangolells, M., Roca, X., ve Fuertes, A. 2011. Experiences of success in industrial plants projects. Revista Ingeniería de Construcción, 23(2), 82-93.

Fu, F., ve Zhang, T. 2016. A New Model for Solving Time-Cost-Quality Trade-Off Problems in Construction. PloS one, 11(12), e0167142.

Ghaboussi , J. ; Sidarta D. E. 1997 . New method of material modeling using neural networks , in Proc. of the International Conference on Numerical Models in Geomechanics , Montreal , Canada , 393 – 400 .

Ghaboussi , J. ; Lin , J. 1998 . New method of generating spectrum compatible accelerograms using neural networks ,Earthquake Engineering & Structural Dynamics 27 4 : 377 – 396 . doi: 10.1002/(SICI)1096-9845(199804)27:4

Ghaboussi , J. ; Pecknold , D. A. ; Zhang , M. ; Haj-Ali , R. 1998 . Autoprogressive training of neural network constitutive models , International Journal for Numerical Methods in Engineering 42 1 : 105 – 126 . doi: 10.1002/(SICI)1097-0207(19980515)42:1

Glass, G. V. 1976. Primary, secondary, and meta-analysis of research. Educational researcher, 5(10), 3-8.

Gözlü M. ve Tatlıdil, H. 2015. Türkiye'deki 81 İlin Kamu Tarafından Sunulan Sağlık Hizmetlerine Erişim Durumları. Sosyal Güvenlik Dergisi. Cilt 5, Sayı 2, Sayfa 145-165.

Gülel, F. E., Çağlar, A., Uyar, S. G. K., Karadeniz, O., ve Yeşilyurt, M. E. 2017. Türkiye'de İllere Göre İnsani Gelişme Endeksi. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (27), 208-216.

Halpin, D. (2005). Construction Management, 3rd Ed., Wiley, New York.

Hardy, J. V. 1970. Cash flow forecasting for the construction industry. MSc report, Dept. of Civil Engineering, Loughborough University of Technology.

Harris, F. ve McCaffer R. 1989. Modern Construction Management, Oxford: Bis Professional Books.

Heaps, A., ve Domingo, N.D. 2014. Forecasting cash flow expenditure at pre-tender stage: Case studies in New Zealand construction projects. In D. Amaratunga, R. Haigh, L. Ruddock, K. Keraminiyage, U. Kalutunga, & C. Pathirage (Eds.) International Conference on Construction in a Changing World Conference Proceedings. (pp. 1 - 12).: International Conference on Construction in a Changing World.

Hoffman, G. J., Thal Jr, A. E., Webb, T. S., ve Weir, J. D. (2007). Estimating performance time for construction projects. Journal of Management in Engineering, 23(4), 193-199.

Hudson, K. W. 1978. DHSS expenditure forecasting method. Chartered Surveyor–Building and Quantity Surveying Quarterly, 5, 42-5.

Hudson, K. W., ve Maunick, J. 1974. Capital expenditure forecasting on health building schemes, or a proposed method of expenditure forecast. Research report, Surveying Division, Research Section, Department of Health and Social Security, UK.

Ireland, V. 1985. The Role Of Managerial Actions In The Cost Time and Quality Performance Of High-Rise Commercial Building Projects. Construction Management And Economics, 3(1), 59-87.

ISO 4217, https://www.currency-iso.org/en/home.html, Erişim Tarihi: 12.11.2017.

Jarkas, A. M. 2016 Predicting Contract Duration For Building Construction: Is Bromilow's Time-Cost Model a Panacea?, 1 (32). Safat, Kuwait: Journal Of Management in Engineering.

Jepson, W. B. 1969. Financial Control of Construction and Reducing the Element of Risk, Contract Journal, 24, 862–864.

Kaka, A. P. 1996. Towards more flexible and accurate cash flow forecasting, Construction Management and Economics, 14(1), 35 - 44.

Kaka, A. P. 1999. The development of a benchmark model that uses historical data for monitoring the progress of current construction projects. Engineering, Construction and Architectural Management, 6(3), 256-266.

Kaka, A. P., ve Fortune, C. 2002. Net cash flow models: towards the black box approach. In The 18th Annual Association of Researchers in Construction Management (ARCOM) Conference (Vol. 1, pp. 73-83).

Kaka, A., ve Price, A. D. 1991. Relationship between value and duration of construction projects. Construction Management and Economics, 9(4), 383-400.

Kaka, A. P., ve Price, A. D. F. 1993. Modelling standard cost commitment curves for contractors'cash flow forecasting. Construction Management and Economics, 11(4), 271-283.

Kaka, A. P., ve Price, A. D. 1994. A survey of contractors'corporate planning and financial budgeting: Contractors lack effective and accurate methods of corporate planning, financial budgeting and cash flow forecasting identified in survey of 15 British construction companies. Building research and information, 22(3), 174-182.

Kenley, R. 2003. Financing construction: Cash flows and cash farming. Routledge.

Kenley, R. ve Wilson, O. D. 1986. A construction project cash flow model—an idiographic approach. Construction Management and Economics, 4(3), 213-232.

Kenley, R. ve Wilson, O. D. 1989. A construction project net cash flow model. Construction Management and Economics, 7(1), 3-18.

Khosrowshahi, F. 1991. Simulation of expenditure patterns of construction projects. Construction Management and Economics, 9(2), 113-132.

Khosrowshahi, F. 1996. Value profile analysis of construction projects. journal of financial management of property and construction, 1(1), 55-77.

Khosrowshahi, F. 1999. Neural network model for contractors'prequalification for local authority projects. Engineering, Construction and Architectural Management, 6(3), 315-328.

Khosrowshahi, F. 2000. A radical approach to risk in project financial management. In Proceedings of the 16th Annual ARCOM conference, Glasgow Caledonian University, September (Vol. 6, No. 8, pp. 547-556).

Khosrowshahi, F. 2001. Project cash flow forecasting: a mathematical approach. In Proceedings of the 17th Annual ARCOM Conference (pp. 5-7).

Khosrowshahi, F. ve Kaka, A. P. 2007. A decision support model for construction cash flow management. Computer- Aided Civil and Infrastructure Engineering, 22(7), 527-539.

Khung, L. 1982. Cash flow forecasting using a micro computer user's and programmers'manual, Project report submitted as part of M.Sc course in Construction Management, Lougborough University of Technology.

Kılıç, E. ve Yıldırım, K. 2015. Sektörel reel döviz kuru volatilitesinin Türk imalat sanayi ihracatı üzerine etkileri. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 15(1), ss.13-25.

Kırbaş, C. 2012. Hastanelerde Mimari-Mekanik Proje Tasarımı ve Uygulama Esasları. Tesisat Mühendisliği, Sayı 127, ss. 15-30.

Kulkarni, P., Londhe, S., ve Deo, M. 2017. Artificial neural networks for construction management: A review. Soft Computing in Civil Engineering, 1(2), 70-88.

Kumar, V. M., Wilfred, A., ve Sridevi, H. 2017. Comparative study of time-cost Optimization. International Journal of Civil Engineering and Technology, 8(4), 659-663.

Kumaraswamy, M. ve Chan, D. 1995. Determinants Of Construction Duration Construction Management And Economics, 13(3), 209-217, 1995.

Le-Hoai, L. ve Dai L. Y. 2009. Time-cost relationships of building construction project in Korea. Facilities, 27 (13/14), 549-559.

Li, J., Moselhi, O. ve Alkass, S. 2006. Forecasting project status by using fuzzy logic. Journal of construction engineering and management, 132(11), 1193-1202.

Liu, Y., Zayed, T. ve Li, S. 2009. Cash Flow Analysis of Construction Projects. In Canadian Society of Civil Engineering (CSCE) Conference, St. John's, Newfoundland, Canada, May (pp. 27-30).

Long, L. H., ve Dai, L. Y. 2009. Bromilow's Time-Cost Equation for Building Projects in Korea., Korean Society Of Civil Engineers, (7) 812-815.

Long, R. J. 2015. Acceleration Claims on Engineering and Construction Projects. Long International Inc.

Love, P. E. D., Tse, R. Y. C., ve Edwards, D. J. 2005. Time-cost relationships in Australian building construction projects. Journal of Construction Engineering and Management (ASCE), Vol. 131, No. 2, pp. 187-194.

Lowe, J. G., Moussa, N. ve Lowe, H. C. 1993. Cash flow management: An expert system for the construction client, Journal of Applied Expert System, 1(2), 134 - 152.

Lucko, G. 2011. Optimizing cash flows for linear schedules modeled with singularity functions by simulated annealing. Journal of Construction Engineering and Management, 137(7), 523-535.

Mackay, I. 1971. To examine the feasibility of a computer program for cash flow forecasting by contractors, M.Sc Project in Construction Management, Loughborough University of Technology, Loughborough.

Mačková, D. ve Bašková R. 2014. Applicability of Bromilow´s Time-cost Model for Residential Projects in Slovakia, SSP - Journal of Civil Engineering Vol. 9, Issue 2,5-12.

Mackova, M., Kozlovska, M., Baskova, R., Spisakova, M. ve Krajnikova, K. 2017. Construction-duration prediction model for residential buildings in Slovak Republic based on computer simulation. International Journal of Applied Engineering Research, 12(13), 3590-3599.

Martin, J., Burrows, T. K. ve Pegg, I. 2006. Predicting Construction Duration of Building Projects. XXIII FIG Congress. Munich, Germany.

Mathworks Matlab R2017a, https://www.mathworks.com/, Erişim Tarihi: 11.10.2017.

Mawdesley, M. J., Askew, W. H. ve Taylor, J. 1989. Using computers to aid integration of some construction management tasks, Proc., 4th Int. Conf. on Civ. and Struct. Engrg. Comp. – CIVIL- COMP, Scotland, 63- 68.

McCaffer, R. 1979. Cash flow forecasting, Quantity Surveying, August, 22 –26.

McCulloch, W. S., ve Pitts, W. 1943. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. The bulletin of mathematical biophysics, 5(4), 115-133.

Melik, S. 2010. Cash Flow Analysis Of Construction Projects Using Fuzzy Set Theory. Mıddle East Technical University. The Graduate School of Natural And Applied Sciences Civil Engineerıig. Master of Science Thesis.

Mensah, I., Nani, G. ve Adjei-Kumi, T. 2016. Development of a model for estimating the duration of bridge construction projects in Ghana. International Journal of Construction Engineering and Management, 5(2), 55-64.

Miskawi, Z. 1989. An S-curve equation for project control. Construction Management and Economics, 7(2), 115-124.

Minsky M.I. ve Papert S. 1969. Perceptrons, MIT Press, Cambridge, MA.

Mizanur, R. M., Dai, L. Y., Khanh, H. D. ve Hyun, C. Y. 2014. Development Of Time-Cost Models For Building Construction Projects In Bangladesh. 3 (4, Issue 3,). Korea: Korean Institute Of Construction Engineering And Management.

Moselhi, O., Hegazy, T., ve Fazio, P. 1991. Neural networks as tools in construction. Journal of Construction Engineering and Management, 117(4), 606-625.

Morris, S. (1990). Cost and time overruns in public sector projects. Economic and Political weekly, M154-M168.

Naik, G. M., ve Kumar, M. 2013. Project Cost and duration optimization Using Soft Computing Techniques. Journal of Advanced Management Science, 1(3). 299-303.

Nazem, S. M. 1968. Planning contractor's capital. Building Technology and Management, 6(10) August: 256–60.

Ng, S., Mak, M., Skitmore, R. ve Varnam, M. 2001. The Predictive Ability Of Bromilow's Time-Cost Model. Construction Management And Economics, 19(2), 165-173.

Odabaşı, E. 2009. Models For Estimating Construction Duration: An Application For Selected Buildings On The Metu Campus. Ankara: Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Odeyinka, H., Kaka, A., ve Morledge, R. 2003. An evaluation of construction cash flow management approaches in contracting organisations. In ARCOM 19th Annual Conference (Vol. 1, pp. 33-41). Association of Researchers in Construction Management.

Odeyinka, H., Lowe, J. ve Kaka, A. 2012. Regression modelling of risk impacts on construction cost flow forecast. Journal of Financial Management of Property and Construction, 17(3), 203-221.

Ogunsemi, D. R. ve Jagboro, G. O. 2006. Time-Cost Model For Building Projects In Nigeria. Construction Management And Economics, 253-258 (3).

Ojo, G. 2001. A Study of the Relationship Between Contract Period and Tender Sum of Construction Projects in South-Western Nigeria. M.Sc. Thesis, Obafemi Awolowo University, Ile-Ife.

Okere, G. 2018. An Evaluation of a Predictive Conceptual Method for Contract Time Determination on Highway Projects Based on Project Types. International Journal of Civil Engineering, 1-17.

O'Keefe, M. J. 1971. An empirical study of cash flow in engineering contracts. In Odeyinka, HA and Lowe, J. G. 2001. An Evaluation of Methodological Issues for Assessing Risk Impacts on construction cash flow forecast. Proceedings of the 167th Annual Association of Researchers in Construction Management (ARCOM) Conference, September (pp. 5-7).

Oliver, J. C. 1984. Modeling cash flow projection using a standard micro - computer spreadsheet program, Loughborough University of Technology, Loughborough. Construction Management, M.Sc Project.

Ostojić-Škomrlj, N. ve Radujković, M. 2012. S-curve modelling in early phases of construction projects. Građevinar, 64(08.), 674-654.

Othman, N. 1997. Management of variations in construction contracts. Proceedings of the 13th Annual Association of Researchers in Construction Management (ARCOM), 15-17.

Ouyang, M., Wang, Z. 2015. Resilience assessment of interdependent infrastructure systems: With a focus on joint restoration modeling and analysis, Reliability Engineering and System Safety, 141(2015)74–82.

Oxley, R. ve Poskitt, J. 1996. Management Techniques. Oxford: Blackwell Science Ltd.

Özçekiç, A. F. 2007. Türk Yüklenicilerin Uluslararası Teklif Aşamasında Kullanabileceği Bir Süre-maliyet Modeli. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Bilim ve Teknoloji Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Özdemir, İ. ve Bodur A. 2000. Türkiye'de Yapı Projelerinin Nakit Akış Sorunlarının Yazılım Desteği İle İzlenmesi ve Çözümlenmesi, 2. Yapı İşletmesi Kongresi, İzmir.

Peer, S. 1982. Application of cost-flow forecasting models. Journal of the Construction Division, 108(2), 226-232.

Peško, I., Mučenski, V., Šešlija, M., Radović, N., Vujkov, A., Bibić, D., ve Krklješ, M. 2017. Estimation of costs and durations of construction of urban roads using ANN and SVM. Complexity, Volume 2017. 1-13.

Petlíková, K. ve Jarský, Č. (2017). Modeling of the time structure of construction processes using neural networks. Organization, technology & management in construction: an international journal, 9(1), 1559–1564.

Petruseva, S., Zujo, V. ve Zileska-Pancovska, V. 2013. Neural network prediction model for construction project duration. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2(11), 1646-1654.

Petruseva, S., Pusic, D. C., ve Pancovska, V. Z. 2016. Model for Predicting Construction Time by Using General Regression Neural Network. International Scientific Conference People, Buildings and Environment 2016 (PBE2016) 29 September – 1 October, 2016, Luhacovice, Czech Republic.

Porter, K. 2016. Damage and Restoration of Water Supply Systems in an Earthquake Sequence, Structural Engineering and Structural Mechanics Program, Department of Civil Environmental and Architectural Engineering, University of Colorado, SESM 16-02, July 2016.

Rochester, N, Holland, J H, Haibt, L H ve Duda, W. L. 1956. Test on a cell assembly theory of the action of the brain, using a large digital computer. IRE Transactions on Information Theory. IT-2, 80-93.

Singh, S. ve Lakanathan, G. 1992. Computer-based cash flow model. AACE international transactions, 2, R-5.

Singh, S. ve Woon, P. W. 1984. Cash flow trends for high rise building projects. In Proceedings of the 4th international symposium on Organization and management of construction, University of Waterloo, Canada.

Skitmore, M. 1991. The construction contract bidder homogeneity assumption: An empirical test. Construction Management and Economics, 9(5), 403-429.

Skitmore, M. 1992. Parameter prediction for cash flow forecasting models. Construction Management and Economics, 10(5), 397-413.

Skitmore, M., Thorpe, T., McCaffer, R. ve Couzens, A. 1992. Decision support system for contract bidding (interim report). Technical Report, Department of Surveying, University of Salford.

Sönmez, M., (2009), "Yapay sinir ağları metodu ile kalıp işlerinde bir verimlilik ve adam-saat tahmin modeli" Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Sönmez, M , Dikmen, S , Akbıyıklı, R . (2020). Time - Cost Relationships for Superstructure Projects in Turkey. Teknik Dergi, 31 (2), . DOI: 10.18400/tekderg.456761

Sriana, T. ve Hayati, K. 2015. Time-Cost Relationship Model On The Construction Of Education Building In Aceh Province. Journal of Asian Scientific Research, 5(7), 328-339.

Sun, C. ve Xu, J. 2010. Estimation Of Time For Wenchuan Earthquake Reconstruction In China. Journal Of Construction Engineering And Management, 137(3), 179-187.

Sun, C. ve Xu, J. 2010. Estimation of time for Wenchuan Earthquake reconstruction in China. Journal of Construction Engineering and Management, 137(3), 179-187.

Syahrizal, 2014. Acceleration Time Analysis of Project Work on Optimum Structure with Additional Cost. Journal of Civil Engineering Research, 4(3A): 208-213.

Şaşmaz, H. 2005. İnşaat Projelerinde Süresel Planlamayı Etkileyen Faktörler ve Etki Derecelerinin Türkiye Koşullarında Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Şen, Z., 2004. Yapay sinir ağları ilkeleri, Su Vakfı Yayınları.

TCMB, 2018. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası, Döviz kurları dönem bilgileri https://evds2.tcmb.gov.tr/index.php?/evds/serieMarket, Erişim Tarihi: 03.03.2018.

Teicholz, P. M. 1987. Current needs for cost control systems. Project controls: Needs and solutions; Proc., Speciality Conf., ASCE, New York, N.Y., 47-57.

Thorpe, D. ve Karan, E. P. 2008. Method for calculating schedule delay considering weather conditions. In Proceedings of the 24th annual conference of the Association of Researchers in Construction Management (ARCOM 2008) (Vol. 2, pp. 809-818). Association of Researchers in Construction Management (ARCOM).

TOBB. 2011. Türkiye İnşaat Malzemeleri Sektör Görünüm Raporu.

Trimble, E. G. 1972. Taking the tedium from cash flow forecasting, Construction News, 9 March.

Tucker, S. N. 1986. Formulating construction cash flow curves using reliability theory analogy, Construction Management and Economics, 4(3), 179 – 188.

Tucker, S. N. ve Rahilly, M. 1982. A single project cash flow for a microcomputer, Building Economist, December, 109 - 115.

Tse, R. Y., & Ganesan IV, S. (1997). Causal relationship between construction flows and GDP: evidence from Hong Kong. Construction Management & Economics, 15(4), 371-376.

Uğur, L. O. (2007). Yapı Maliyeti, Yapı Dünyası, Sayı 131, s. 10-22.

UNDP. 2004. Ulusal İnsani Gelişme Raporu 2004, http://www.tr.undp.org/content/turkey/tr/home/library/national-hdrs/national_HDR_2004.html. Erişim Tarihi: 12.12.2017.

Waziri, B. ve Nurudeen, Y. 2014. Application Of Bromilow's Time-Cost (BTC) Model To Highway Projects In Nigeria. Arid Zone Journal of Engineering, Technology And Environment, 10, 1-11.

Waziri, B. S., Bala, K., ve Bustani, S. A. 2017. Artificial Neural Networks in Construction Engineering and Management. International Journal of Architecture, Engineering and Construction, 6(1), 50-60.

White H. 1990. Connectionist Nonparametric Regression: Multilayer Feedforward Networks Can Learn Arbitrary Mappings, Neural Networks, 3, pp. 535-49.

Yeong, C. 1994. Time And Cost Performance of Building Contracts in Australia And Malaysia. University of South Australia, University of South Australia School of Building and Planning. M.Sc. Thesis.

Yeşilyurt, M. E., Karadeniz, O., Gülel, F. E., Çağlar, A., ve Uyar, S. G. 2016. Türkiye'de İllere Göre Ortalama ve Beklenen Okullaşma Yılı. Pamukkale Journal of Eurasian Socioeconomic Studies, 3(1), 1-7.

Yiu, C. Y., Lu, X. H., Leung, M. Y., & Jin, W. X. (2004). A longitudinal analysis on the relationship between construction output and GDP in Hong Kong. Construction Management and Economics, 22(4), 339-345.

Zhang, G., Patuwo, B. E., ve Hu, M. Y. (1998). Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. International journal of forecasting, 14(1), 35-62.

Zobel, C.W., 2013. Analytically comparing disaster recovery following the 2012 derecho, Proceedings of the 10th International ISCRAM Conference – Baden-Baden, Germany, May 2013 T. Comes, F. Fiedrich, S. Fortier, J. Geldermann and T. Müller, eds.

Zoiner, J. 1974. Erection cost - flow analysis in housing projects as a function of its size and construction time. Thesis presented to the Technion - Israel Institute of Technology at Haifa, Israel, in practical fulfillment of the requirements for the degree of M.Sc.

Zujo, V. ve Pusic, D. C. 2008. Application of "Time-cost" Model in Construction Project Management. Abstracts of the 8th International Conference Organization, Technology And Management in Construction And 5th SENET Conference (s. 1-7). Umag, Hrvatska.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Kadıköy İstanbul'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimini Kadıköy'de tamamladı. Lisans öğrenimini Sakarya Üniversitesi Mühendislik-Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde tamamlayarak 2007 yılında mezun oldu. İstanbul'da üstyapı inşaat projeleri alanında faaliyet gösteren özel bir firmada inşaat mühendisi olarak görev yapmaya devam etmektedir. Çalışma dönemi içerisinde konut, sanayi yapıları ve iş merkezi projelerinde idareci olarak görev almıştır. 2009 yılında İstanbul Kültür Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi'nde doktora öğrenimine başlayan yazar, halen İstanbul'da özel bir inşaat firmasında çalışmaktadır.