

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MONTE CARLO SİMÜLASYONU İLE SÜRE VE MALİYET
BELİRSİZLİĞİ TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Fatih ACAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Önder Halis BETTEMİR

Ocak 2025

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MONTE CARLO SİMÜLASYONU İLE SÜRE VE MALİYET
BELİRSİZLİĞİ TAHMİNİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Fatih ACAR
(36223621916)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Önder Halis BETTEMİR

Ocak 2025

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

MONTE CARLO SİMÜLASYONU İLE SÜRE VE MALİYET
BELİRSİZLİĞİ TAHMİNİ

Tezi Hazırlayan: Mehmet Fatih ACAR

Yüksek Lisans Tezi



TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Önder Halis BETTEMİR'e,

Çalışmalarında ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmalarım süresince de benden her türlü desteklerini esirgemeyen eşim ve aileme,

Tezin uygulama aşamasında vermiş oldukları FYL-2024-3668 proje numaralı maddi ve manevi destekten dolayı, İnönü Üniversitesi BAP birimine

teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Doktora veya yüksek lisans tezi olarak sunduğum Monte Carlo Yöntemi ile Süre ve Maliyet Belirsizliği Tahmini başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Mehmet Fatih ACAR

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ.....	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
TABLOLAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Monte Carlo Simülasyonu.....	2
1.2 Planlama	2
1.3 Metraj Hesaplama.....	3
1.4 Tezin Amacı.....	3
1.5 Tezin Kapsamı.....	4
1.6 Tezin Farklılıkları ve Avantajları.....	4
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	6
3.YÖNTEM.....	13
3.1 Veri Girişi.....	15
3.2 İş Tariflerinin Tanımlanması (Poz Tarifleri Tablosu).....	16
3.3 Metraj Hesaplamaları.....	19
3.3.1 Temel işlerinin metraj hesabı.....	19
3.3.2 Kaba işler metrajı.....	20
3.3.2.1 Beton metrajı hesaplama.....	20
3.3.2.2 Kalıp metrajı hesaplama	24
3.3.2.3 Donatı metrajı hesaplama	29
3.3.3 İnce işler metrajı tablosu	34
3.3.3.1 İnce işler metrajı analitik formüller	34
3.3.3.2 Dış duvar metraj hesaplamaları	35
3.3.3.3 İç duvar metraj hesaplamaları.....	36
3.3.3.4 Dış sıva metraj hesaplamaları	37
3.3.3.5 İç sıva metraj hesaplamaları	38
3.3.3.6 Boya metraj hesaplamaları	38
3.3.3.7 Parke ve fayans metraj hesaplamalarında kullanılan analitik formüller	39
3.3.3.8 Parke-fayans metrajı hesaplama	41
3.3.3.9 Süpürgelik metrajı hesaplama.....	42
3.4) Adam-saat ve Malzeme Tablosu.....	43
3.5) Süre ve Ekip Hesaplamaları.....	45
3.6 Rayiçler Tablosu.....	46
3.7 Takvimli İş Programı.....	47
3.8 Malzeme Kullanımı Tablosu.....	50
3.9 Paranın Zaman Değeri Değişimi Tablosu.....	51
3.10 Monte Carlo Analizi.....	52
3.11) Analiz Sonuçlar Tablosu.....	57
4. VAKA ANALİZİ.....	58
4.1) Metraj Özeti Tablosu.....	59
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
5.1 İnşaat Süresi İle İlgili Sonuçlar.....	61

5.1.1 İnşaat süresi ile zayıf etkileşimli girdi parametreleri.....	61
5.1.2 İnşaat süresi ile yüksek etkileşimli girdi parametreleri.....	69
5.2 İnşaat Maliyeti İle İlgili Sonuçlar.....	73
5.2.1 İnşaat maliyeti ile zayıf etkileşimli girdi parametreleri.....	73
4.2.2 İnşaat maliyeti ile yüksek etkileşimli girdi parametreleri.....	79
5.3 İnşaat Paranın Zaman İçerisinde Değişim Maliyeti İle İlgili Sonuçlar.....	85
5.3.1 İnşaat paranın zaman içerisinde değişim maliyeti ile zayıf etkileşimli girdi parametreleri.....	85
5.3.2 İnşaat paranın zaman içerisinde değişimi maliyeti ile yüksek etkileşimli girdi parametreleri.....	93
5.4 Sonuçların Kısmi Türev Yöntemi İle Kontrol Edilmesi.....	98
KAYNAKÇA.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	105



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1	Mimari elemanların tanımlanabilmesi için girilmesi gereken veriler.....	16
Tablo 3.2	Beton metraj hesabı yapılırken kullanılan analitik formüller.....	21
Tablo 3.3	Beton minha hacmi hesaplamalarında kullanılan analitik formüller.....	22
Tablo 3.4	Beton metrajı için uygulamada kullanılan analitik formüller.....	23
Tablo 3.5	S104 kolonu kalıp hesabı formülleri.....	26
Tablo 3.6	Örnek iskele hesabı analitik formülleri.....	26
Tablo 3.7	Usta,usta yardımcısı, düz işçi sayı belirlemede kullanılan excel formülleri.....	44
Tablo 3.8	Takvimli iş tablosunda kullanılan excel formülleri.....	49
Tablo 3.9	Girdi parametreleri.....	53
Tablo 4.1	Metraj özeti tablosunda kullanılan excel formülleri.....	59
Tablo 5.1	Süre ile zayıf etkileşim oluşturan girdi parametreleri.....	61
Tablo 5.2	Süre ile yüksek etkileşim oluşturan girdi parametreleri.....	70
Tablo 5.3	Maliyet ile zayıf etkileşim oluşturan girdi parametreleri.....	73
Tablo 5.4	Maliyet ile yüksek etkileşim oluşturan girdi parametreleri.....	80
Tablo 5.5	Paranın zaman içerisinde değişimi ile zayıf etkileşim oluşturan girdi parametreleri.....	86
Tablo 5.6	Paranın zaman içerisinde değişimi ile yüksek etkileşim oluşturan girdi parametreleri.....	94
Tablo 5.7	Sonuç değerlendirilme tablosu.....	99
Tablo 5.8	Süre ile ilgili uyumsuz sonuç alınan iş kalemleri.....	100
Tablo 5.9	Maliyet ile ilgili uyumsuz sonuç alınan iş kalemleri.....	100
Tablo 5.10	Paranın zaman değeri ile ilgili uyumsuz sonuç alınan iş kalemleri.....	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1	Tez çalışması akış şeması 1.....	13
Şekil 3.2	Tez çalışması akış şeması 2.....	14
Şekil 3.3	Bina geometrisinin girilmesi için gerekli veriler.....	15
Şekil 3.4	İnşaat tatil günleri ile ilgili girilmesi gereken veriler.....	16
Şekil 3.5	Örnek poz sunumu.....	19
Şekil 3.6	Toprak işlerinin veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	20
Şekil 3.7	Basit kiriş kesiti.....	21
Şekil 3.8	Kolon-kiriş-döşeme birleşim noktası örneği.....	22
Şekil 3.9	Zemin ve normal kat beton metraj hesaplamaları.....	24
Şekil 3.10	Kolon,kiriş,döşeme birleşme detayı.....	25
Şekil 3.11	Zemin ve normal kat kolon kalıp hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	27
Şekil 3.12	Zemin ve normal kiriş kalıp hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	28
Şekil 3.13	Zemin ve normal kat perde kalıp hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	28
Şekil 3.14	Zemin ve normal kat döşeme kalıp hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	29
Şekil 3.15	Döşeme donatı detayı.....	29
Şekil 3.16	Zemin ve normal kat kolon donatı hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	31
Şekil 3.17	Zemin ve normal kat kiriş donatı hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	32
Şekil 3.18	Zemin ve normal kat döşeme demir hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	33
Şekil 3.19	Zemin ve normal kat perde demir hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	33
Şekil 3.20	Duvar kesit örneği.....	34
Şekil 3.21	Normal kat dış duvar metraj hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	36
Şekil 3.22	Normal kat iç duvar metraj hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	37
Şekil 3.23	Zemin kat dış sıva hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	37
Şekil 3.24	Normal kat iç sıva hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	38
Şekil 3.25	Normal kat boya hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	39
Şekil 3.26	Örnek çalışma odası çizimi ve ölçüleri.....	40
Şekil 3.27	Normal kat parke-fayans hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	42
Şekil 3.28	Normal kat süpürgelik hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları.....	43
Şekil 3.29	Adam-saat ve malzeme hesaplamaları.....	45
Şekil 3.30	Süreler ekipler tablosu.....	46
Şekil 3.31	Rayiçler tablosu.....	47
Şekil 3.32	Tatil günleri kontrolü algoritma şeması.....	48
Şekil 3.33	Takvimli işçilik tablosu.....	49
Şekil 3.34	Malzeme kullanımı tablosu.....	50
Şekil 3.35	Paranın zaman değeri değişimi tablosu.....	51
Şekil 3.36	Sayı üretme tablosu.....	55
Şekil 3.37	Değerler tablosu.....	56
Şekil 3.38	Analizde kullanılan makro formülleri.....	56
Şekil 3.39	Sonuçlar tablosu.....	57
Şekil 4.1	Bodrum kat planı.....	58
Şekil 4.2	Zemin kat planı.....	58

Şekil 4.3 Normal kat planı.....	59
Şekil 4.4 Metraj özeti tablosu.....	60
Şekil 5.1 Süre- donatı maliyeti etkileşim grafiği.....	63
Şekil 5.2 Süre-kalıp maliyeti etkileşim grafiği.....	64
Şekil 5.3 Süre-1 bağlantı malzemesi maliyeti etkileşim grafiği.....	64
Şekil 5.4 Süre-kalıp yağı maliyeti etkileşim grafiği.....	64
Şekil 5.5 Süre-1 ahşap kiriş maliyeti etkileşim grafiği.....	65
Şekil 5.6 Süre-beton maliyeti etkileşim grafiği.....	65
Şekil 5.7 Süre-gaz beton maliyeti etkileşim grafiği.....	65
Şekil 5.8 Süre-tutkal maliyeti etkileşim grafiği.....	66
Şekil 5.9 Süre-tuğla maliyeti etkileşim grafiği.....	66
Şekil 5.10 Süre-kireç harcı maliyeti etkileşim grafiği.....	66
Şekil 5.11 Süre-kum(tuvenan agrega) maliyeti etkileşim grafiği.....	67
Şekil 5.12 Süre-çimento maliyeti etkileşim grafiği.....	67
Şekil 5.13 Süre-sönmüş kireç tozu maliyeti etkileşim grafiği.....	67
Şekil 5.14 Süre-su maliyeti etkileşim grafiği.....	68
Şekil 5.15 Süre-kaba harç maliyeti etkileşim grafiği.....	68
Şekil 5.16 Süre-ince harç maliyeti etkileşim grafiği.....	68
Şekil 5.17 Süre-normal kat kalıp süresi etkileşim grafiği.....	70
Şekil 5.18 Süre-normal kat donatı süresi etkileşim grafiği.....	71
Şekil 5.19 Süre-normal kat iç duvar süresi etkileşim grafiği.....	71
Şekil 5.20 Süre-normal kat iç sıva süresi etkileşim grafiği.....	71
Şekil 5.21 Süre-normal kat boya süresi etkileşim grafiği.....	72
Şekil 5.22 Süre-kazı süresi etkileşim grafiği.....	72
Şekil 5.23 Süre-beton dökme süresi etkileşim grafiği.....	72
Şekil 5.24 Süre-kalıp sökme süresi etkileşim grafiği.....	73
Şekil 5.25 Maliyet-1 bağlantı malzemesi maliyeti etkileşim grafiği.....	75
Şekil 5.26 Maliyet-kalıp yağı maliyeti etkileşim grafiği.....	76
Şekil 5.27 Maliyet-1 ahşap kiriş maliyeti etkileşim grafiği.....	76
Şekil 5.28 Maliyet-tutkal maliyeti etkileşim grafiği.....	76
Şekil 5.29 Maliyet-tuğla maliyeti etkileşim grafiği.....	77
Şekil 5.30 Maliyet-kireç harcı maliyeti etkileşim grafiği.....	77
Şekil 5.31 Maliyet-kum(tuvenan agrega) maliyeti etkileşim grafiği.....	77
Şekil 5.32 Maliyet-çimento maliyeti etkileşim grafiği.....	78
Şekil 5.33 Maliyet-sönmüş kireç tozu maliyeti etkileşim grafiği.....	78
Şekil 5.34 Maliyet-su maliyeti etkileşim grafiği.....	78
Şekil 5.35 Maliyet-donatı maliyeti etkileşim grafiği.....	81
Şekil 5.36 Maliyet-kalıp maliyeti etkileşim grafiği.....	81
Şekil 5.37 Maliyet-beton maliyeti etkileşim grafiği.....	81
Şekil 5.38 Maliyet-gaz beton maliyeti etkileşim grafiği.....	82
Şekil 5.39 Maliyet-parke maliyeti etkileşim grafiği.....	82
Şekil 5.40 Maliyet-fayans maliyeti etkileşim grafiği.....	82
Şekil 5.41 Maliyet-düz işçi maliyeti etkileşim grafiği.....	83
Şekil 5.42 Maliyet-sıva ustası maliyeti etkileşim grafiği.....	83
Şekil 5.43 Maliyet-normal kat kalıp süresi etkileşim grafiği.....	83
Şekil 5.44 Maliyet-normal kat donatı süresi etkileşim grafiği.....	84
Şekil 5.45 Maliyet-normal kat iç duvar süresi etkileşim grafiği.....	84
Şekil 5.46 Maliyet-normal kat iç sıva süresi etkileşim grafiği.....	84
Şekil 5.47 Maliyet-kazı süresi etkileşim grafiği.....	85
Şekil 5.48 Maliyet-kalıp sökme süresi etkileşim grafiği.....	85

Şekil 5.49 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -1 bağlantı malzemesi maliyeti etkileşim grafiği.....	88
Şekil 5.50 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kalıp yağı maliyeti etkileşim grafiği	88
Şekil 5.51 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -1 ahşap kiriş maliyeti etkileşim grafiği.....	89
Şekil 5.52 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -tutkal maliyeti etkileşim grafiği	89
Şekil 5.53 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -tuğla maliyeti etkileşim grafiği	89
Şekil 5.54 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kireç harcı maliyeti etkileşim grafiği	90
Şekil 5.55 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kum(tuvenan agrega) maliyeti etkileşim grafiği.....	90
Şekil 5.56 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -çimento maliyeti etkileşim grafiği	90
Şekil 5.57 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -sönmüş kireç tozu maliyeti etkileşim grafiği.....	91
Şekil 5.58 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -su maliyeti etkileşim grafiği.....	91
Şekil 5.59 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kaba harç maliyeti etkileşim grafiği	91
Şekil 5.60 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -ince harç maliyeti etkileşim grafiği	92
Şekil 5.61 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kum(ince) maliyeti etkileşim grafiği	92
Şekil 5.62 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -şilte maliyeti etkileşim grafiği.....	92
Şekil 5.63 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti-donatı maliyeti etkileşim grafiği	95
Şekil 5.64 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kalıp maliyeti etkileşim grafiği	95
Şekil 5.65 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -beton maliyeti etkileşim grafiği	95
Şekil 5.66 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -gaz beton maliyeti etkileşim grafiği	96
Şekil 5.67 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -parke maliyeti etkileşim grafiği	96
Şekil 5.68 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -düz işçi maliyeti etkileşim grafiği	96
Şekil 5.69 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -sıva ustası maliyeti etkileşim grafiği	97
Şekil 5.70 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -normal kat kalıp süresi etkileşim grafiği.....	97
Şekil 5.71 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -normal kat donatı süresi etkileşim grafiği.....	97
Şekil 5.72 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kazı süresi etkileşim grafiği.....	98
Şekil 5.73 Kısmi türev hesaplama tablosu.....	99
Şekil 5.74 İki duyarlılık analiz sonuçlarının karşılaştırma tablosu.....	100

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

rb	: ramazan bayramı tatil günleri
kt	: kurban bayramı tatil günleri
yt	: kış tatili günleri
x_i	: giriş parametreleri
m	: örneklem büyüklüğü
t	: Zaman
n	: girdi parametrelerinin sayısı
GCS	: günlük çalışma saati
$M_{a,k,s}$	: a 'ninci aktivitenin tamamlanması için kullanılması gereken s'nıncı malzeme sınıfının miktarını
$AT_{a,k,p}$	: k'ninci kattaki a'ninci aktivitenin tamamlanması için tayin edilmesi gereken p'ninci personel sınıfının adam.saat değeri
$Metraj_{a,k}$	: a aktivitesinin k'ninci kattaki toplam metrajı
POZ_a	: a'ninci aktivitenin iş tarifi
Süre_a	: a aktivitesinin çalışma günü süresi

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MONTE CARLO SİMÜLASYONU İLE SÜRE VE MALİYET BELİRSİZLİĞİ TAHMİNİ

Mehmet Fatih ACAR

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

105+ XI sayfa

2025

Danışman: Prof. Dr. Önder Halis BETTEMİR

Bu tez çalışmasında, inşaat projelerinin süre ve maliyetine etki etme potansiyeline sahip 68 girdi parametresi belirlenerek bu parametrelerin inşaat süresine ve maliyetine etkileri Monte Carlo Simülasyonu ile incelenmiştir. Simülasyon, her bir parametre için 25.000 rastgele değer üreterek inşaat süresini ve maliyetini tahmin etmek için kullanılmıştır. Girdi parametreleri, aktivite süreleri, personel, iş makinesi ve malzeme bedellerinin belirsizliklerinden oluşmaktadır. İş programı oluşturulurken doğrusal iş programı yöntemi uygulanmıştır. Parametreler, normal dağılıma göre belirlenen belirsizlik dağılımlarına uygun şekilde modellenmiş ve her parametre için rastgele eşleşmeler yapılarak inşaat süresi ve maliyeti 25.000 defa analiz edilmiştir. Simülasyon sonucunda, 9 katlı bir bina projesi üzerinden inşaat maliyeti $69.476.481,63 \text{ TL} \pm 4.695.718,72 \text{ TL}$ ve inşaat süresi $472,47 \pm 36,89$ gün olarak tahmin edilmiştir. Paranın zaman değeri dikkate alınarak ve alınmayarak iks farklı simülasyon senaryosu oluşturulmuştur. İnşaat süre ve maliyetine en çok etki eden parametreler vurgulanmıştır. Bu çalışma, inşaat projelerindeki belirsizliğin etkilerini ölçmek ve risk analizlerini iyileştirmek için etkili bir yöntem sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Monte Carlo Simülasyonu, inşaat maliyeti, iş programı, belirsizlik

ABSTRACT

Master Thesis

MONTE CARLO SİMÜLASYONU İLE SÜRE VE MALİYET BELİRSİZLİĞİ TAHMİNİ

Mehmet Fatih ACAR

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

105+XI sayfa

2025

Supervisor: Prof. Dr. Önder Halis BETTEMİR

In this thesis, 68 input parameters that have the potential to affect the duration and cost of construction projects are identified and their effects on construction duration and cost are analyzed by Monte Carlo Simulation. The simulation was used to estimate construction time and cost by generating 25,000 random values for each parameter. The input parameters consist of uncertainty in activity durations, personnel, construction equipment and material costs. Linear work schedule method was applied to generate the work schedule. The parameters were modeled in accordance with the uncertainty distributions determined according to the normal distribution and the construction time and cost were analyzed 25,000 times by making random matches for each parameter. As a result of the simulation, the construction cost was estimated as 69,476,481.63 TL $\pm$ 4,695,718.72 TL and the construction period as 472.47 $\pm$ 36.89 days for a 9-story building project. Two different simulation scenarios were created with and without considering the time value of money. The parameters that have the most impact on construction time and cost are highlighted. This study provides an effective method to quantify the effects of uncertainty in construction projects and improve risk analysis.

Keywords: Monte Carlo Simulation, Construction cost, Construction Schetule, Uncertainty

1. GİRİŞ

İnşaat sektörü, ekonomik büyümenin ve kentsel dönüşümün temel dinamiklerinden biridir. Bu sektörde faaliyet gösteren şirketler, rekabetin yoğun olduğu bir ortamda, iş tekliflerinin titizlikle hazırlanması ve doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerektiğinin farkındadır. Bu süreçte, iş programının ve maliyet tahmininin yüksek doğrulukta olması, sadece işin başarılı bir şekilde tamamlanması için değil, aynı zamanda şirketin itibarının ve uzun vadeli karlılığının korunması açısından da hayati öneme sahiptir.

Ancak süre ve maliyet tahminlerinin doğruluğunu sağlamak her zaman kolay değildir. İnşaat projeleri, karmaşık ve dinamik yapılarıyla bilinirler. Bu nedenle, inşaat işi için süre ve maliyet tekliflerinin hazırlanmasında kullanılan verilerin detaylı, güvenilir ve gerçekçi olması gerekmektedir. Özellikle, iş kalemlerinin metrajının yanlış hesaplanması veya maliyet analizlerindeki belirsizliklerin dikkate alınmaması gibi faktörler, inşaat maliyetinin yanlış tahmin edilmesine ve dolayısıyla şirketin kârlılığının olumsuz etkilenmesine ve hatta zarar edilmesine neden olabilir.

İnşaat işi için süre ve maliyet tekliflerinin hazırlanması aşamasında, doğru ve güvenilir bir iş programının oluşturulması da kritik bir öneme sahiptir. İnşaat sürecinin zamanında ve bütçe dâhilinde tamamlanması, müşteri memnuniyetinin yanı sıra şirketin itibarını da etkileyen önemli bir faktördür. Ancak, iş süresinin yanlış tahmin edilmesi durumunda, proje maliyetlerinde artışlar ve iş sonrası sorunlar kaçınılmaz hale gelebilir.

Bu bağlamda, inşaat işi için süre ve maliyet tekliflerinin hazırlanmasında ve iş programlarının oluşturulmasında kullanılan verilerin doğruluğunu artırmak için yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Monte Carlo Simülasyonu gibi gelişmiş analitik yöntemler kullanılarak, iş süresi ve maliyet tahminlerinin ne kadar doğru olduğunu belirlemek ve bu tahminleri geliştirmek amacıyla bir araştırma yapılmıştır.

Araştırmanın sonuçlarına dayanarak, iş tekliflerinin hazırlanması ve iş programlarının oluşturulması için daha etkili ve güvenilir yöntemler geliştirilebilir. Planlamacılar tarafından belirlenen risk oranlarına göre teklif bedeli ve süresinin hesaplanması için bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama, müteahhitlerin belirlenen miktar üzerine güvence payı ve kâr eklemelerine olanak tanıyarak, işin sonunda oluşabilecek olumsuz durumları en aza indirmeyi hedeflemektedir.

1.1 Monte Carlo Simülasyonu

Monte Carlo simülasyonu, belirsizlik altında olan bir sistemin davranışını anlamak ve tahmin etmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu simülasyon, rastgele sayı üretimi ve istatistiksel analizler aracılığıyla bir sistemin olası farklı durumlarını modellemek için kullanılır. İnşaat projeleri gibi karmaşık ve belirsizliğe açık sistemlerde Monte Carlo simülasyonu önemli bir araçtır çünkü birçok değişkenin etkileşimini ve belirsizliklerini hesaba katarak gerçekçi tahminler sağlamaktadır.

Monte Carlo simülasyonu, projenin belirsizlik altında olan parametrelerini dikkate alarak, her bir parametreden rastgele değerler seçer ve bu değerlerle birçok kez simülasyon çalıştırır. Bu simülasyonlar sonucunda elde edilen veriler istatistiksel olarak analiz edilerek, projenin olası farklı durumları ve sonuçları hakkında bilgi sağlar. Örneğin, inşaat projelerinde kullanıldığında, süre, maliyet, kaynak gereksinimleri ve riskler gibi faktörler Monte Carlo simülasyonu ile modellenabilir.

Bu yöntem, projenin olası farklı senaryolarını değerlendirmek ve riskleri anlamak için kullanılır. İnşaat projelerinde, süre ve maliyet gibi faktörlerdeki belirsizliklerin değerlendirilmesi, proje yöneticilerine ve paydaşlarına daha doğru bir resim sunar. Bu sayede, daha bilinçli kararlar alınabilir, kaynaklar daha etkili bir şekilde yönetilebilir ve projenin başarılı bir şekilde tamamlanması için gerekli önlemler alınabilir.

Monte Carlo simülasyonu, inşaat projeleri gibi karmaşık ve belirsizliğe açık sistemlerde, gerçekçi tahminler sağlayan, proje yönetiminde önemli bir araçtır. Bu yöntem, projenin başarılı bir şekilde tamamlanması için gerekli stratejilerin belirlenmesine ve risklerin etkin bir şekilde yönetilmesine yardımcı olur.

1.2 Planlama

İnşaat projelerinin imalat aşamalarının planlanması, projenin başarılı bir şekilde tamamlanması için hayati öneme sahiptir. Bu planlama süreci, gerçeğe yakın verilerle titizlikle yapılmalıdır. İş planlaması, projenin her aşamasında hangi gün hangi iş kaleminde imalat yapılacağına ve kaç işçinin çalıştırılacağına dair kritik bilgileri sağlar. Ayrıca, iş bitirme süresini belirlemek için de önemli bir araçtır. Bu süreçte, her bir iş kaleminin gereksinimlerine ve süreçlerine detaylı bir şekilde odaklanılır. İş planlaması yapılırken, projenin kapsamı ve hedefleri titizlikle incelenir. Hangi iş kalemlerinin ne zaman tamamlanması gerektiği belirlenirken, işin karmaşıklığı, ölçeği ve kaynakların uygun kullanımı göz önünde bulundurulur. İşçi ve kaynak planlaması yapılırken, her bir iş kaleminin ihtiyaç duyduğu işçi sayısı, uzmanlık alanları ve çalışma saatleri detaylı bir

şekilde değerlendirilir. Buna ek olarak, iş bitirme süresinin belirlenmesi için projenin genel zaman çizelgesi oluşturulur ve işin her aşamasının tamamlanması için gereken toplam süre hesaplanır. Bu süreçte, olası riskler ve belirsizlikler de dikkate alınır. Projenin herhangi bir aşamasında ortaya çıkabilecek sorunlara karşı alternatif planlar oluşturulur ve sürecin kesintisiz ilerlemesi sağlanır. İş planlaması, proje yönetiminde önemli bir rol oynar ve projenin başarılı bir şekilde tamamlanması için gereken adımların belirlenmesinde önemli bir faktördür.

1.3 Metraj Hesaplama

Keşif ve gerçek metrajların detaylı ve doğru bir şekilde hazırlanması, yapım projelerinin kritik bir adımıdır. Bu süreç, projenin maliyet tahminlerinin doğru yapılmasını sağlar ve işlerin süresiyle ilgili daha sağlam bir temel oluşturur. Ayrıca, ekiplerin ihtiyaç duyduğu malzemelerin ne zaman temin edilmesi gerektiğini belirlemeye yardımcı olarak operasyonel verimliliği artırır. Bu süreç aynı zamanda iş süreçlerini optimize yardımcı olur. Metrajın doğru hesaplanması inşaat süre ve maliyetinin doğru bir şekilde belirlenmesi, şantiyeye getirilecek olan malzemenin doğru miktarda getirilmesi ve eksik malzeme getirilmesi durumunda oluşabilecek olumsuz durumları ortadan kaldırır. Dolayısıyla, keşif ve gerçek metrajların doğru bir şekilde hazırlanması, yapım projelerinin başarılı bir şekilde tamamlanması için hayati öneme sahiptir.

1.4 Tezin Amacı

Bu tez çalışması, inşaat sektöründe süre ve maliyet üzerine karşılaşılan belirsizlikleri önceden tahmin etme ve etkilerini en aza indirmeye hedefiyle titizlikle incelemektedir. İnşaat projelerinde, zaman ve maliyet tahminlerindeki belirsizlikler sıkça beklenmeyen zorluklara ve maliyet artışlarına sebep olabilmektedir. Bu çalışmada, bu belirsizliklerin doğru bir şekilde tanımlanması, analiz edilmesi ve etkili stratejilerin geliştirilmesi için çeşitli matematiksel ve istatistiksel yöntemlerin nasıl kullanılabileceği üzerine yoğunlaşmıştır.

Monte Carlo Simülasyon yöntemi bu çalışmanın temel araçlarından biridir. Bu yöntem, projenin süre ve maliyeti üzerinde etkili olan çeşitli değişkenleri ve arasındaki ilişkiler ile olası senaryoları daha iyi anlamak için kullanılmıştır. Monte Carlo Simülasyonu, projenin süresi ve maliyeti üzerindeki etkilerini farklı parametrelerle analiz ederek, gelecekteki olası durumları modellemeye yardımcı olmuştur. Bu durum proje yöneticilerinin daha güvenilir tahminler yapmalarına, tahminlerinin belirsizlik sınırlarını

belirlemelerine ve proje süresince karşılaşılabilecekleri riskleri daha iyi yönetmelerine olanak tanımaktadır.

Yapılan analizler ve hesaplamalar, inşaat projelerindeki belirsizliklerin büyük ölçüde iş kalemlerine bağlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, süre ve maliyet tahminlerinde dikkate alınması gereken belirli iş kalemlerine odaklanmanın kritik önemi vurgulanmıştır. Bu tez çalışması, inşaat sektöründeki profesyonellerin belirsizlikleri ele almak ve yönetmek için somut bir çerçeve sunmaktadır. Monte Carlo Simülasyonu gibi matematiksel ve istatistiksel araçlarla desteklenen bu çerçeve, inşaat projelerinin daha sağlam bir temel üzerine inşa edilmesine ve başarıyla tamamlanmasına katkı sağlayacaktır.

1.5 Tezin Kapsamı

Bu tez çalışmasında, 9 katlı konut projesi ele alınmış olup, projenin tüm kalemleri için metraj hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalarda, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayınlanan poz tariflerinden faydalanılmış ve imalat yapılan iş kalemleri, bu tariflerdeki açıklamalara göre düzenlenmiştir. Süre hesaplamalarında ise, gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek adına işçilik bölümlerinde hızlandırma uygulanmıştır. Malzeme fiyatları için poz tariflerinde belirtilen birim fiyatlar ile güncel değerler karşılaştırılmış ve fiyat farkı fazla olan iş kalemlerinde fiyat düzenlemesi yapılmıştır.

Uygulamada resmî tatiller ve hafta sonu tatilleri dikkate alınmamış, bayram tatillerinde inşaat tatil olacak şekilde programlanmıştır. Ayrıca, kış tatili olarak 01 Ocak-01 Mart tarihleri arasında inşaat imalat yapılmamıştır.

İnşaat süresince oluşabilecek olumsuz durumlar önceden tahmin edilemeyeceğinden, bu durumlarla ilgili standart sapma değeri olarak %20 kabul edilmiştir. Bu oran, olası risklerin ve belirsizliklerin hesaplamalara yansıtılmasını sağlamak amacıyla belirlenmiştir.

Bu çalışmada, gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek için belirli kabuller yapılmış ve olası risklerin hesaba katılması için çeşitli önlemler alınmıştır. Ancak, inşaat ortamında oluşabilecek her türlü durumun önceden tahmin edilemeyeceği ve bazı durumların bilgisayar programlarıyla tam olarak modellenemeyeceği göz önünde bulundurulmuştur.

1.6 Tezin Farklılıkları ve Avantajları

Monte Carlo Simülasyonu ile ilgili yapılan çalışmalarda genellikle diğer simülasyon uygulamalarıyla karşılaştırma yapılarak hangi simülasyon tekniğinin daha hızlı sonuçlar sağladığı vurgulanmıştır. Ancak, önceki çalışmalarda inşaat süresi ve maliyeti

hesabı için farklı uygulamalar geliştirilmiş olmasına rağmen, Monte Carlo Simülasyonu yöntemiyle inşaatın tüm unsurlarını göz önünde bulundurarak hangi iş kaleminin süre ve maliyet üzerindeki etkisinin kritik olduğuyla ilgili bir çalışma yapılmamıştır. Bu eksikliği gidermek amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

Literatürdeki bu eksikliğe yönelik olarak, inşaat aktivitelerinin süre ve maliyet üzerindeki etkilerini hesaplamak için bir uygulama geliştirilmiştir. Önceki çalışmalarda kullanılan metraj ve süre hesaplamalarının sonuçları ile Monte Carlo Simülasyonu ile oluşturulan uygulamanın sonuçlarını karşılaştırma imkânı sağlanmıştır.

Uygulama oluşturulurken Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yayınladığı poz tariflerinden yararlanılmış olup, gerçekçi sonuçlara ulaşmak için bazı işçilik ve maliyetlerde düzenleme yapılmıştır. İnşaat süre ve maliyet hesaplamaları yapan sistemlere göre daha açık bir sistem geliştirilmiştir. Belirsizlik analizi yapan uygulamaya herkes ücretsiz ulaşabilmekte ve mühendislik eğitimi almış biri kolaylıkla anlayıp kullanabilmektedir.

Bu uygulamanın avantajı belirli bir projenin maliyet ve süre analizlerini hızlı bir şekilde sonuçlandırmasıdır. Ayrıca uygulama üzerinde çalışılan projenin maliyetini ve süresini önemli ölçüde etkileyecek aktiviteleri de belirlemektedir. Uygulama ile ilgili hesaplamalar yapıldıktan sonra süre ve maliyet ile fazla etkileşim gösteren iş kalemleri belirlenecektir. Uygulama yapılan her projede fazla etkileşim oluşturacak iş kalemleri değişiklik gösterebilmektedir. Belirlenen iş kalemlerinin dikkatli bir şekilde tekrardan incelenmesine olanak sağlamaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Helton (1993), radyoaktif atık bertarafı için performans değerlendirmelerinde Diferansiyel Analiz, Monte Carlo Analizi, Tepki Yüzey Metodolojisi ve Fourier Genlik Duyarlılık Testi tekniklerini karşılaştırmıştır. Radyoaktif atık bertarafı ve diğer ilgili işlemler için performans değerlendirmesinde kullanılan modeller, genellikle hem girdi hem de çıktı değişkenlerinin çok olduğu problemlerde aşırı karmaşıklıklaştırmaktadır. Yöntemlerin karşılaştırılması sonucunda radyoaktif atık bertarafı için performans değerlendirmelerinde kullanılmak üzere en geniş uygulanabilirliğe sahip olan yaklaşımın Monte Carlo yöntemi olduğu belirlenmiştir (Helton, 1993).

Akgöl ve Günay (2018) şehirlerin yol ağı rasyonelliklerinin ölçülmesinde kullanılan güzergâh rasyonellik ölçekleri için Monte Carlo tabanlı alternatif bir yöntem önermiştir. Verilerin elde edilebilmesi için Java programlama dili kullanılarak Google Maps ile entegre çalışan bir yazılım geliştirilmiştir (Akgöl & Günay, 2018).

Köse ve Yanmaz (2010) köprü dik kenar ayakları etrafındaki temiz su oyulmasının zamansal değişimini veren amprik ve yarı amprik nitelikte iki yöntem sunmuş, ayak temel derinliğinin oyulma eğilimine karşı güvenilirliğini amprik yöntem ve Monte Carlo benzeşimleri ile bulmuştur. Çalışmada doğrusal olmayan denklemler için güvenilirlik hesaplamaları Monte Carlo yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Amprik ve yarı amprik yöntem sonuçlarının birbirleriyle ve deneysel veriyle uyumlu olduğu ortaya konmuştur (Köse & Yanmaz, 2010).

Yatay yükler bağ kirişlerinde eğilme ve beraberinde önemli oranda kesme gerilmelerine neden olduğu için, boşluklu perdeli sistemlerin yapısal davranışları bağ kirişlerinin geometrik, mekanik özellikleri ve bağ kirişi katkı oranı (r) ile yakından alakalı olan davranışlarından oldukça fazla etkilenmektedir. Bu nedenle, r -değerleri boşluklu perdeli sistemlerin doğrusal olmayan hesabında önemli bir parametre olarak düşünülebilir. Doran ve Alacalı (2017) " r " değerlerini belirlemek amacıyla uygulamada sıkça karşılaşılan geometriye sahip yeterli sayıda boşluklu perdeli sistemler dikkate alınarak bağ kirişi katkı oranları genişletilmiş çubuk teorisi yardımı ile ifade ederek Monte Carlo simülasyonu ile söz konusu bağ kirişlerin göçme olasılıkları hesaplanmıştır (Doran & Alacalı, 2017).

Aydemir ve Zorbozan (2012) kolon eğilme momenti kapasitesi M_p 'yi etkileyen parametrelerin istatistik dağılımlarını dikkate alınarak, bu parametrelerdeki belirsizliklerin eğilme momenti kapasitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu amaçla; malzeme dayanımları, kesit boyutları ve farklı beton davranış modellerinin kullanıldığı analitik

moment-eğrilik ilişkilerinin deneysel sonuçlarla gözlenen değişkenlikleri Monte Carlo benzeşim yöntemi yardımıyla sayısal olarak modellenmiştir. Hazırlanan bir bilgisayar programı yardımıyla, donatı düzeni, kesit boyutu, beton sınıfı, donatı sınıfı ve yanal donatı mekanik indeksi farklı örnek kolon kesitleri için eğilme momenti taşıma gücü artış katsayıları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar istatistiksel değerlendirmeye tabi tutulmuştur (Aydemir & Zorbozan, 2012).

Şengül (2011) klor iyonlarının beton içine girişi ve taşınımını Fick'in 2. yasası ile modellenmiş ve yapı özelliklerindeki ve çevresel etkilerdeki dağılımları Monte Carlo analizi ile dikkate alan bir yazılım hazırlanmıştır (Şengül, 2011).

Birgönül ve Dikmen (1996), Monte Carlo Benzetim tekniğini kullanılarak götürü bedel örnek bir proje için uzman görüşlerinin ve önceki yıllara ait kayıtların ışığında maliyet tahmini gerçekleştirmiştir. Örnek bir apartman projesi üzerinde çalışılmıştır. Risk analizinin yürütülmesine olanak sağlamak amacıyla proje maliyeti, alt maliyet gruplarına ayrılmış ve her alt maliyet grubunca kapsanan risk faktörleri, uzmanların görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Olasılık dağılımlarının belirlenmesi aşamasında, her alt maliyet grubunun davranışlarının en iyi karakterize eden olasılık dağılım ve aralıkları tespit olunmuştur. Proje girdileri yüklenerek 2000 iterasyon gerçekleştirilmiştir. Karar verme yetkisindeki kişi, risk konusundaki tutumuna bağlı olarak üstlenebileceği risk mertebesini belirlemek suretiyle uygun teklif hazırlayabilecektir (Birgönül & Dikmen, 1996).

Çalamak (2016) Tanyeri Barajı'nın üstten aşılma güvenilirliğini olasılık yöntemlerle değerlendirmiştir. Monte Carlo benzeşimiyle iki değişkenli taşkın hidrografları ile taşkın öncesindeki hazne su seviyeleri rastgele olarak üretilmiş ve maksimum taşkın dalgası seviyesinin barajın kret seviyesini geçme olasılığı tahmin edilmiştir (Çalamak, 2017).

Çavuş ve Yanıkoğlu (2003) Monte Carlo yöntemiyle karmaşık sistemlerin güvenilirlik analizinin nasıl yapılacağını gösterilmiştir. Analiz yapılırken 5 elemanlı seri ve paralel olmayan karmaşık bir örnek sistem incelenmiştir. Monte Carlo yöntemi bilgisayarlar kullanıldığında analitik yöntemlere göre daha kısa zamanda sonuç verdiğini, Nümerik metotların aynı sistem için her zaman aynı sonucu verirken, Monte Carlo metodu üretilen rastgele sayılara bağlı olarak birbirine yaklaşık sonuç verdiğini, Monte Carlo metodunu kullanırken uygun örnekleme sayısını seçmenin önemli olduğunu belirtmiştir (Çavuş & Yanıkoğlu, 2003).

Öztekin (2015), cıvatalı birleşimlerdeki cıvatalar arası ve cıvataların birleşim levhası kenarlarına olan mesafelerin güvenilirliklerini araştırmıştır. Yükleme türü, cıvata türü, birleşim levhası kalınlığı değişken olarak alarak Monte Carlo Simülasyon yöntemi ile girdi parametrelerin tüm kombinasyonları için güvenilirlik analizleri yapmıştır (Öztekin, 2015).

Sağlam ve Bettemir (2018) inşaatlarda kullanılan ekskavatör seçiminde kazı işinin süresi ve kazının birim maliyetinin önemli rol oynadığını belirtmiştir. Ekskavatör verimini ve kazı hızını etkileyen faktörler ekskavatörün kepçe hacmi, kepçe doluluk oranı, dönüş açısı, çevrim süresi, çevre ve hava koşulları ile kazılan zeminin türü olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada çevre koşullarını ve farklı zemini dikkate alarak kazı süresini ve gerekli kamyon sayısını tahmin eden C++ programlama dilinde bir yazılım geliştirilmiştir (Sağlam & Bettemir, 2018).

Bettemir (2006) metrik kamera ve pushbroom tarayıcı ile çekilen görüntüler kullanılarak diferansiyel rektifikasyon yönteminin duyarlılık ve hata analizini yapmıştır. Algoritmanın duyarlılığı ve verimliliği diğer görüntü rektifikasyon methodları ile karşılaştırılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir (Bettemir, 2006).

Bettemir (2020) inşaat faaliyetlerin yürütülmesi sırasında iş paketlerinin kritik olma olasılıklarının tespiti için modifiye PERT yöntemini tüm olası yol tamamlama kombinasyonlarını dikkate alarak uygulamıştır. Bir yolun belirli bir zamanda bitirilmesi ve geriye kalan yolların ilgili zamandan daha önce bitirilmesi olasılığı hesaplanarak ilgili yolun kritik yol olma olasılığının hesaplanmasını sağlamıştır. Büyük ağlar için yol tamamlama kombinasyonları ile istatistiksel kesişim işlemleri arasındaki ilişki türetilmiş ve kesişim hesaplamalarını yürüten bir makro kodu oluşturulmuştur. Çalışma 4 örnek üzerinden yapılmış ve sonuçlar Monte Carlo simülasyonu ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda yöntemin benzer olasılık tahminleriyle Monte Carlo simülasyonundan önemli ölçüde daha hızlı olduğunu yorumuna varılmıştır (Bettemir, 2020).

Bettemir (2011) yer kontrol noktaları kullanmadan pushbroom uydu görüntülerinin coğrafi referanslama hassasiyeti tahmin etmiştir. Çalışma, yıldız izler, GPS alıcısı, görüntü alma zamanlaması, iç kamera parametreleri ve sayısal yükseklik modelinin (DEM) çeşitli hassasiyetleri için senaryo analizlerini içermektedir. Girdi parametrelerinin olasılık dağılım fonksiyonu, sensör özellikleri, çevresel etkiler ve varsayımlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Diferansiyel hassasiyet analizi ile belirli bir sensör ve görüntüleme geometrisi hassasiyeti için en olası coğrafi referanslı koordinatları ve hassasiyetini

incelenmiştir. Çalışma, BilSAT yörüngesi ve SPOT 5 ve Landsat optik sistem özellikleri temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Coğrafi referanslamada bir ShuttleRadar Topography Mission (SRTM) DEM ve stereo görüntülerden elde edilen bir DEM kullanılmıştır (Bettemir, 2011).

Yan vd. (2011) tasarım, görselleştirme ve eğitimde bilgisayar oyunlarının mevcut uygulamalarına yönelik çalışma gerçekleştirmiştir. Tasarım eğitiminde bilgisayar oyunlarının çalışılmasını ve uyarlanabilirliğini genişletmek için mimari görselleştirmeyi ve eğitimi geliştirmek için oyun ve bina modelleri arasındaki birlikte çalışabilirliği ele alan çözüm sunmuştur. YBM-Oyununun uygulanması mimarlık, mühendislik, bilgisayar bilimi, görselleştirme ve oyun geliştirme gibi çeşitli alanlar arasında çeşitli bağlantılar sağlamıştır. Yan vd. (2010) YBM ve oyunları entegre etmek için bir çerçeve ve çerçevenin kullanımını ve potansiyellerini göstermek için sanal bir kullanıcı modeli ile gerçek zamanlı, etkileşimli ve fotogerçekçi sanal yürüyüş imkanı sunmaktadır (Yan vd., 2011). Ergen ve Bettemir (2024) YBM tabanlı algoritma ve yazılım geliştirerek betonarme binaların tam doğrulukta donatı metrajlarının hazırlanmasını sağlamıştır.

Bettemir (2009) inşaatının bir kısmına ait kazı çalışmasının süre ve iş makinesi ihtiyacını önceden belirlemeye yönelik proje planlamasındaki belirsizlikleri ve bu belirsizliklerin sonuca olan etkilerini Monte Carlo analizi ile incelemiştir. İş planlamasında sıkça karşılaşılan belirsizlikler ve risklerin iş takvimine yansıtılamaması sorunu modellenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada iş makinelerinin verimi için sektörde yaygın olarak kullanılan makine verim tablolarından yararlanılmış, tabloların verdiği belirsizlik aralığında rastgele sayılar üretilerek verimlilik tahmini yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde kazı süresinin doğru şekilde tahmin edilmesinin en zor kalem olduğu ortaya çıkmıştır. Bununla beraber, ekskavatör-saat değerinin en az sapma gösteren kalem olduğu analiz sonucunda elde edilen başka bir çıkarımdır (Bettemir, 2009). Bettemir (2024) otonom bir iş makinesinin tesviye kazısı yapma işleminin süre ve maliyet analizini simülasyonla gerçekleştirmiştir.

Rüppel vd. (2011) bina tahliye edilme sürecinde bina durumunun insanların davranışları üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla YBM dayalı bir oyun yaklaşımı sunmuştur. Gerçek hayatta insan davranışını incelemek amacıyla yanan binalarda kurtarma testleri yapmak imkansız olduğu için mevcut tahliye simülasyon modellerinin gerçeğiyle çelişmeyecek insan davranışlarıyla oluşturulan bir oyun modellemesiyle gerçek hayatta risk durumunda karşılaşılabilecek durumlar üzerinde çalışılmıştır. Gerçekçi ciddi oyun

senaryolarını yeni ve verimli bir şekilde oluşturmak amacı ile YBM'nin kabiliyetleri mühendislik alanındaki simülasyonlarda (yangın, duman) kullanılabilirliği gösterilmiştir. YBM bina sakinlerinin yanı sıra kurtarma ekiplerinin oyun senaryosunun modellenmesi olmadan en kısa sürede farklı senaryoları gösterme imkânı sunduğu için çatışmaların engellenmesine ve güvenlik risklerinin önceden belirlenmesine katkı sağlayabileceği belirtilmiştir (Rüppel & Schatz, 2011). YBM aynı zamanda malzeme israfının en aza indirilmesi için kullanılabilir. Ergen ve Bettemir (2025) yer karosu döşemesi işini en az malzeme israfı ile gerçekleştirebilen YBM tabanlı algoritma ve yazılım geliştirmiştir.

Beccali vd. (2011) hava durumu veri tabanının yönetimini kolaylaştırmak ve kullanıcıların dosyayı kolayca oluşturabilmelerini sağlamak amacıyla Microsoft Visual Basic for Application (VBA) dilinde makro yazarak bir uygulama geliştirilmiştir. Bu sayede, ISO 15927 4'ün uygulanması, Microsoft Excel veya Access gibi popüler bir yazılım aracı kullanılarak, başka herhangi bir pahalı özel yazılım kullanılmadan da mümkün olabileceği ifade edilmiştir (Beccali vd., 2011).

Goulding vd. (2014) entegre projeler için web tabanlı bir sanal bulut platformu tarafından desteklenen bir oyun ortamı sunmuşlardır. Goulding vd. (2014), kursiyerlere geleceğin şantiyesinin simülasyon deneyimini sunmak için bulut tabanlı bir VR Şantiye Simülatörü sunmuştur. Geliştirilen simülatör, stajyerlerin aldıkları kararların işlerini nasıl etkileyeceğini değerlendirebilecekleri risksiz bir ortam sunmaktadır (Goulding vd., 2014).

Natephra vd. (2017) aydınlatma durumunun gerçekçi bir şekilde görselleştirilmesi ve enerji tüketiminin hesaplanması için bir yöntem önererek BIM tabanlı bir aydınlatma tasarımı geri bildirim (BLDF) prototip sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada geliştirilen sistem, binalardaki gün ışığını ve yapay ışıkların aydınlatmasını simüle etmek için etkileşimli ve sürükleyici bir sanal gerçeklik (VR) ortamı kullanılmış ve dijital kameralar kullanarak gerçekçi sanal gerçeklik sahnelerini görselleştirilmiştir (Natephra vd., 2017).

Sandoval (2018) bir inşaat faaliyetinin Ayrık Olay Simülasyonu (AOS) modelini ve aynı inşaat faaliyetinin fiziksel özelliklerini temsil eden bir YBM modelini ticari bir oyun motoru içinde entegre eden bir simülatör prototipi geliştirmişlerdir. Oyun motorları, geliştiricinin programlama deneyiminden bağımsız olarak içerdikleri mevcut kaynaklardan yararlanarak yazılım çözümlerini daha hızlı ve daha ucuza sunmak amacıyla kullanılmıştır. Prototip, kullanıcının tek bir inşaat faaliyetinin süresinin farklı girdi parametrelerinden nasıl etkilendiğini görselleştirmesini sağlamaktadır. Sunulan simülatör prototipi, AOS ve YBM modellerini entegre etmek için umut verici bir yaklaşım olduğu ve kullanıcıların

bunlarla 3D ortamda etkileşime girmesine olanak tanıdığını belirtilmişlerdir. Buna ek olarak, kullanıcıların kendi YBM modellerini içe aktarmalarına ve endüstride birçok potansiyel kullanıma sahip olan kendi AOS çalışmalarını yürütmelerine olanak tanımaktadır. Kaynakların kullanımı, malzemelerin konumu ve görev hiyerarşisi ile ilgili farklı stratejileri test etmek için inşaatın planlanması sırasında bir tesisin YBM modelini kullanmak, karar verme sürecinde paydaşlara yardımcı olacağı belirtilmiştir. Ayrıca, bu planların sonuçlarının 3 boyutlu bir ortamda görselleştirilmesi, inşaat yöneticilerinin projelerini daha hızlı ve daha iyi anlamalarına da yardımcı olabilecek entegrasyonu inşaat yönetimi eğitimi için ciddi bir oyunun çekirdeği olarak kullanma olasılığını araştırmayı amaçlamışlardır. Buna ek olarak, inşaat faaliyetlerini dijital olarak incelemek için alternatif bir yol sağlaması, modelin tek bir inşaat faaliyetine odaklanmak yerine tüm tesisi kapsayacak şekilde genişletilmesi, kullanıcının faaliyetler arasındaki etkileşimi göz önünde bulundurarak eksiksiz bir inşaat projesini yönetmesine olanak tanınması amaçlanmıştır (Osorio Sandoval vd., 2018).

Yu-Cheng Lin vd. (2018) yarı daldırılmış sanal gerçeklik ortamında (SG) özel sağlık tasarımı için YBM, oyun motoru ve sanal ortam teknolojileriyle entegre bir Veri tabanı destekli SG/YBM tabanlı İletişim ve Simülasyon (DVBCS) sistemi geliştirilmiştir. DVBCS sistemi, sistemi doğrulamak ve uygulamadaki etkinliğini göstermek için Tayvan'daki bir kanser merkezinin tasarım projesinin vaka çalışmasında uygulanmıştır. Sonuçlar, DVBCS sisteminin sağlık hizmetleri tasarımı için etkili bir görsel iletişim ve simülasyon platformu olduğunu gösterdiği ifade edilmiştir. DVBCS sisteminin avantajının sadece tasarım ekipleri ve sağlık hizmeti paydaşları arasındaki iletişim verimliliğini artırmak değil, aynı zamanda 3D SG/YBM ortamında iletişim kurarken görsel etkileşimleri kolaylaştırmak ve karar verme sürecini kolaylaştırmak olduğu vurgulanmıştır. Önerilen DVBCS sisteminin etkin kullanımı, tasarım ekiplerine ve paydaşlara gelecekteki sağlık hizmetleri tasarım çalışmalarını sistematik bir şekilde ele alma konusunda önemli ölçüde yardımcı olacağı ön görülmektedir (Lin vd., 2018).

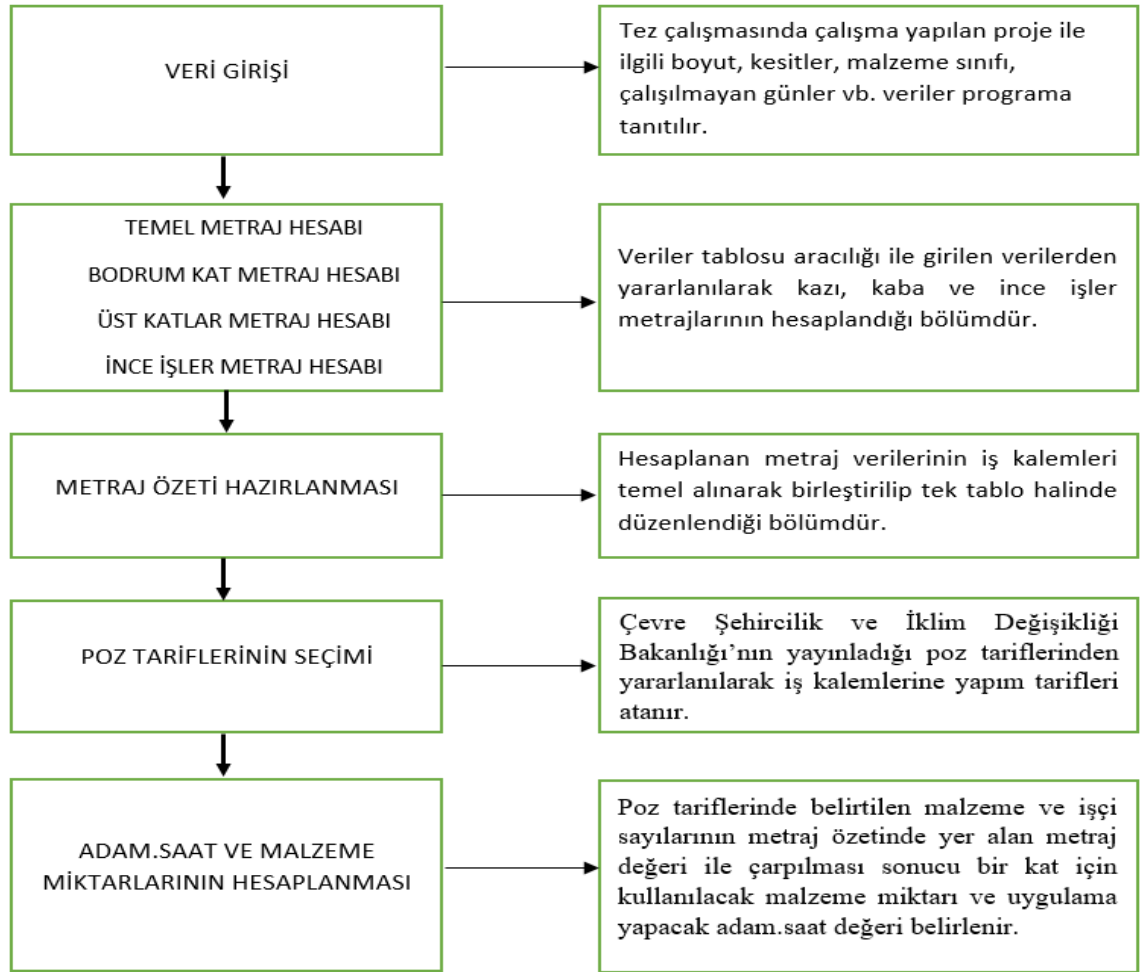
Omaran vd. (2019) bir YBM-oyun prototipinin geliştirilmesinde YBM ve yaşam döngüsü maliyeti (LCC) analizini uygulamıştır. Çalışmada YBM'yi Unity 3D oyun motoru simülasyonu ile LCC analiz görselleştirmesine entegre eden bir YBM-oyun prototipi oluşturulmuş ve YBM-oyun prototipinin, kullanıcıların LCC'yi simüle etme kabiliyeti ile bina ortamlarında gezinmelerine olanak tanınmıştır. Geliştirilen sistemin mimarlık, mühendislik, bilgisayar programlama ve oyun geliştirme gibi birçok alanın birleşiminden

oluştugu vurgulanmiştir. YBM-oyun prototipinin etkinliğini değerlendirmek için bir anket geliştirilmiş ve sonuçların sistemin gelecekteki projelerde kullanılması için önemli bir potansiyel olduğu öne sürülmüştür (Omaran vd., 2019).

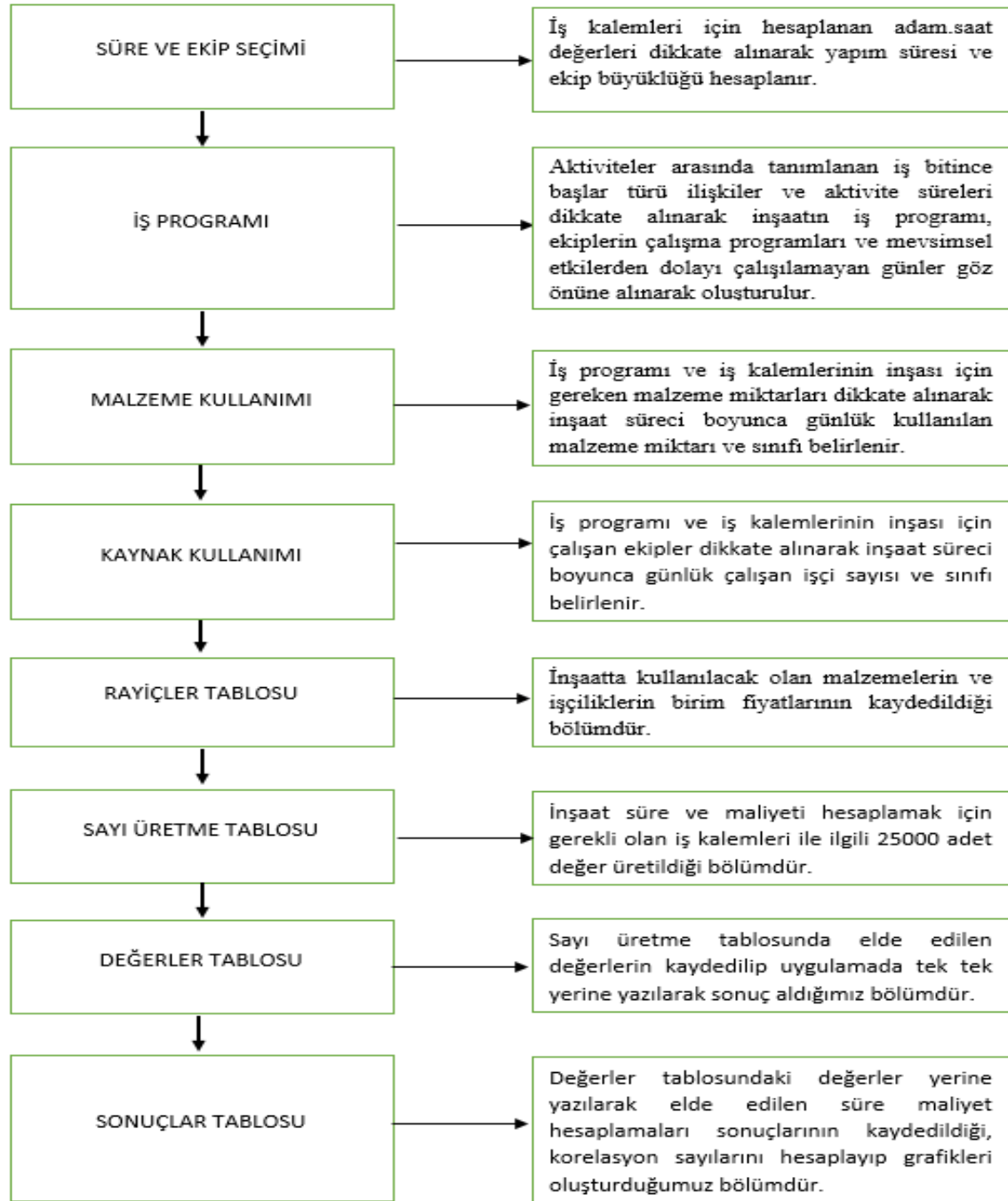
Liu vd. (2021) evrimsel oyun teorisine dayalı olarak kurulan üçlü evrimsel oyun modeline iş sahibinin ceza yoğunluğu, teşvik havuzunun büyüklüğü ve tahsis oranı, YBM maliyeti, Entegre Proje Teslimatı (IPD) kazancı, tasfiye edilen hasar, YBM veri kaynağı paylaşımından oluşan kayıp ve diğer değişebilir parametreler eklenmiştir. Üçlü davranış stratejileri evrimsel oyun teorisi ile incelenmiş ve değişken parametrelerin ve sistem dengesinin kararlılığının evrimsel oyunların kararlılığı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Çalışmada yollar MATLAB programı kullanılarak matematiksel olarak simüle edilmiştir. Çalışmada iş sahibi denetiminin dinamik mekanizması açığa kavuşturulmuştur (Liu vd., 2021).

3.YÖNTEM

Bu tez çalışmasında konut tipi yapıların inşaat maliyet ve süre hesaplamalarındaki belirsizlik sınırları Monte Carlo Simülasyonu ile tahmin edilmiştir. Monte Carlo Simülasyonunu gerçekleştirmek için hazırlanan MS Excel uygulama dosyası verilerin tanımlanmasının ardından temel, bodrum kat, zemin kat ve üst katlarda gerçekleştirilecek kaba inşaat ve ince işlerin metrajını hesaplayıp ayrı bir tabloda metraj özeti sunar. Kullanıcının her iş kalemi için çalışacak işçi sayısını atamasının ardından iş paketinin süresi hesaplanır ve poz tariflerinden yararlanılarak işin yürütülmesi için kullanılması gerekli malzemeler belirlenir. Proje süresi boyunca günlük çalışan işçi sayısı, iş programı, rayiçler, süreler-ekipler, değerler ve sonuçlar bölümlerinden oluşmaktadır. Bu uygulamada gerekli hesaplamaları gerçekleştiren tabloların içerikleri ile ilgili özetler ve akış şeması Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Tez çalışması akış şeması 1



Şekil 3.2 Tez çalışması akış şeması 2

3.1 Veri Girişİ

Veriler bölümünde hesaplama yapılan projeye ait aks aralarındaki mesafeler, temel ve kazı çıkma, temel yüksekliği, kat yüksekliği, bodrum kat sayısı, bodrum kat yüksekliği, grobeton-çakıl yüksekliği verileri ile bina geometrisi tanımlanır. Malzeme ile ilgili temel birim donatı, temel membran hesabı ile ilgili veriler, başlık kiriş ölçüleri, kuşak kiriş ölçüleri, kolon ölçüleri, kiriş ölçüleri, perde kalınlığı, döşeme kalınlığı, yangın kapısı ölçüleri, asansör ölçüleri, demir imalatlarında kullanılacak olan ölçüler, birim uzunlukta farklı çaptaki demirlerin kg cinsinden değerleri, duvar yükseklikleri ve kalınlıkları, kapı ölçüleri, pencere ölçüleri ve sayısı, lento ölçüleri, süpürgelik yüksekliği, günlük çalışma süresi ve şantiyenin tatil olduğu bayram günleri ile ilgili bilgiler girilmiştir.

A	940	cm
B	865	cm
C	1740	cm
D	1700	cm
E	1725	cm
Temel çıkma	100	cm
Kazı çıkma	100	cm
Temel yüksekliği	125	cm
Kat sayısı	9	adet
Kat yüksekliği	300	cm
Bodrum Kat Sayısı	1	adet
Bodrum Kat Yüksekliği	350	cm
Gro beton,çakıl yükseklik	15	cm
Temel yan membran alanı	184,25	m2
Temel altı membranı	1357,5625	m2
Temel çıkma membran alanı	147,4	m2
Bina yan membran alanı	508,81	m2

Şekil 3.3 Bina geometrisinin girilmesi için gerekli veriler

Günlük çalışma süresi	10 saat				
Tampon Süre	5 gün				
İŞE BAŞLANGIÇ TARİHİ	1.04.2023				
RAMAZAN BAYRAMI 2023	21.04.2023			KURBAN BAYRAMI 2023	28.06.2023
	22.04.2023				29.06.2023
	23.04.2023				30.06.2023
					1.07.2023
RAMAZAN BAYRAMI 2024	10.04.2024			KURBAN BAYRAMI 2024	16.06.2024
	11.04.2024				17.06.2024
	12.04.2024				18.06.2024
					19.06.2024
KIŞ TATİLİ BAŞLANGIÇ	1.01.2024				
KIŞ TATİLİ BİTİŞ	1.03.2024				

Şekil 3.4 İnşaat tatil günleri ile ilgili girilmesi gereken veriler

3.2 İş Tariflerinin Tanımlanması (Poz Tarifleri Tablosu)

Bu çalışmada metraj özeti tablosu hazırlandıktan sonra adam-saat ve malzeme verileri ile ilgili Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yayınladığı poz tariflerinden yararlanılmıştır. Hesaplanan metrajlar poz tariflerindeki açıklamalara göre düzenlenmiştir. Poz tariflerinden alınan değerler ile metraj özetinde yer alan ilgili poz miktarı çarpılarak yapılacak olan iş kaleminin gerçekleştirilmesi için gereken malzeme ve işçilik miktarları elde edilmiştir. Bazı poz tariflerinde şantiye şartlarında yapılan uygulamalardan çok daha fazla işçilik değeri çıkmaktadır. Bu tür durumlarda azaltılarak poz tariflerindeki işçilik değerleri gerçeğe yakın hale getirilmiştir. Bu yapılan işlemle elde edilen veriler uygulamada daha gerçekçi sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

İnşaat sürecinde dış duvar malzemesi olarak 25 cm gaz beton kullanılmıştır. İç duvar malzemesi olarak 15, tuvalet kısmı ayırıcı duvar malzemesi olarak 10 cm yatay delikli tuğla kullanılmıştır. Bina koridor tabanında terazzo karo malzemesi, tuvaletlerde ise zemin ve duvar fayans malzemesi ayrı ayrı kullanılmıştır. Oda tabanları ahşap parke malzemesi olarak imalat yapılmıştır. İş kalemleri için tayin edilen poz tarifleri tablosu Tablo 3.1'de sunulmuştur.

Tablo 3.1 Mimari elemanların tanımlanabilmesi için girilmesi gereken veriler

Fore Kazık	Ø 45 cm çapında, her boyda, C 30/37 basınç dayanımında yerinde dökme betonarme fore kazık yapılması (1m için)
İnce Donatı	Ø8 - Ø12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması(1 ton için)

Kalın Donatı	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması. (1 ton için)
Kalıp	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması (1 m2 için)
Beton	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 25/30 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)
Beton	Mobil beton pompası'nın (420 HP) 1 saatlik ücreti
Kazı	Makine ile yumuşak ve sert küskülük kazılması (serbest kazı)
Sıva	Kireç harcı yapılması (sönmüş kireç torbalı)
Sıva	Dış Cephe Sıvası
İnce Sıva	350 Kg çimento dozlu ince harç yapılması
Kaba Sıva	İç Cephe Kaba Sıvası
Kaba Sıva	0.170 m3/200 Kg kireç ve çimento karışımı kaba harç yapılması (sönmüş kireç torbalı)
İnce Sıva	0.100 m3/250 Kg kireç-çimento karışımı ince harç yapılması (sönmüş kireç torbalı)
Alçı Sıva	Alçı sıva yapılması
Kaba Sıva	0.200 m3/150 kg kireç-çimento karışımı kaba harç yapılması
Su Yalıtımı	3 mm kalınlıkta plastomer esaslı (-5 soğukta bükülmeli) cam tülü taşıyıcılı ve 3 mm kalınlıkta plastomer esaslı (-5 soğukta bükülmeli) polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtüler ile iki kat su yalıtımı yapılması
Çakıl Serimi	Çakıl temin edilerek, makine ile serme, sulama ve sıkıştırma yapılması
Duvar	85 mm kalınlığında yatay delikli tuğla (190 x 85 x 190 mm) ile duvar yapılması
Duvar	135 mm kalınlığında yatay delikli tuğla (190 x 135 x 190 mm) ile duvar yapılması
Duvar	250 mm kalınlığında yatay delikli tuğla (240 x 250 x 190 mm) ile duvar yapılması
Duvar	25 cm kalınlığındaki techizatsız gazbeton duvar blokları ile duvar yapılması (gazbeton tutkalı ile) (5,00 N/mm ² ve 600 kg/m ³)

İç Cephe Boya	Yeni sıva yüzeylere macun ve astar uygulanarak iki kat su bazlı hybrid teknoloji b oya yapılması (iç cephe)
Dış Cephe Boya	Brüt beton, sıvalı veya eski boyalı yüzeylere, astar uygulanarak silikon esaslı grenli/tekstürlü kaplama yapılması (dış cephe)
Karo Yapımı	30x30 cm düz yüzeyli, her renk ve desende, sırlı porselen (granit) karolar ile fugalı döşeme kaplama
Karo Yapımı	(25 x 33 cm) veya (25 x 40 cm) anma ebatlarında, her türlü desen ve yüzey özelliğinde, 1. kalite, renkli seramik duvar karoları ile 3 mm derz aralıklı duvar kaplaması yapılması (karo yapıştırıcısı ile)
Karo Yapımı	30 x 30 cm) veya (33 x 33 cm) anma ebatlarında, her türlü renk, desen ve yüzey özelliğinde, 1.kalite, mat, sırsız porselen karo ile 3 mm derz aralıklı döşeme kaplaması yapılması (karo yapıştırıcısı ile)
Isı Yalıtımı	3 cm.taşyünü ısı yalıtım levhalı dış duvarların dıştan ısı yalıtımı,ısı yalıtım sıvası
İş İskelesi	Çelik borudan tam güvenli cephe iş iskelesi yapılması (0,00-51,50m arası)
Kalıp İskelesi	Çelik borudan kalıp iskelesi yapılması (0,00-4,00m arası)
Kalıp İskelesi	Çelik borudan kalıp iskelesi yapılması (4,01-6,00m arası)
Parke	Parke yer kaplaması ile döşeme kaplaması yapılması (süpürgelik dahil)
İç Cephe Boya	Yeni sıva yüzeylere astar uygulanarak iki kat su bazlı mat b oya yapılması (iç cephe)
Dış Cephe Boya	Brüt beton, sıvalı veya eski boyalı yüzeylere, astar uygulanarak silikon esaslı su bazlı b oya yapılması (dış cephe)
Terrazo Yapımı	Terrazo karo plak(k.mozaik) (beyaz çim.)düz veya des. kırılma yükü şartları (sınıf 2)(25x25,30x30vb)
Karo Yapımı	(30 x 30 cm) veya (33 x 33 cm) anma ebatlarında, her türlü desen ve yüzey özelliğinde, 1.kalite, renkli seramik yer karoları ile 3 mm derz aralıklı döşeme kaplaması yapılması (karo yapıştırıcısı ile)

Tablo 3.1’de sunulan pozların tanımının detayları oluşturulan uygulamaya tanıtılmıştır. Örnek olarak “Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması (1 m2 için)” pozu Şekil 3.5’te sunulmuştur.

151.801.002	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması(1 m2 için)			m2		
KALIP	Tanımı	Birimi	Miktar			
Rayiç No	Malzeme:					
04.168/B3	Film kaplı 21 mm Plywood kalıp malzemeleri (TS 46) (1,20/30= 0,04 m2)	m ²	1,2		1,9	
04.168/B3	Film kaplı 21 mm Plywood kalıp malzemeleri (TS 46) (Bağlantı malzemeleri vb. karşılığı %10)	m ²	0,004		0,19	
04.116/1	Yağ bazlı kalıp ayırıcı (konsantre kalıp yağı, ahşap-plastik)	kg	0,1			
04.168/C	I kesitli ahşap kiriş (alt ve üst başlıklar min.40x80 mm) (TS 46) ((Alt ve üst başlıklar min. 40x80 mm fırınlanmış ladin, köknar vb. kereste gövde suya dayanıklı sunta veya kontraplak min. 30 mm.kalınlıkta) (1,10 / 10	m	1,1			
04.272	Çatal çivi (TS 155)	kg	0,1			
04.270	Çiviler (TS 155)	kg	0,2			
	İşçilik:	Hızlandırma	8		4	
	Yapılması ve sökülmesi		Kolay iş		Orta Zorluk	
01.009	Marangoz ustası	Saat	1,1	0,1375	0,275	
01.209	Marangoz usta yardımcısı	Saat	1,1	0,1375	0,275	
01.501	Düz işçi	Saat	0,75	0,09375	0,1875	

Şekil 3.5 Örnek poz sunumu

3.3 Metraj Hesaplamaları

3.3.1 Temel işlerinin metraj hesabı

Temel metraj işleri kısmında şantiyede temel kısmında kullanılacak olan çakıl hacmi, membran alanı, koruyucu tuğla sayısı, toplam kazı hacmi hesaplanmıştır. Ayrıca temelde kalıp metrajı, donatı metrajı, beton metrajı ve geri dolgu yapılacak olan toprağın hacmi bu bölümde hesaplanmış olup formülleri şekilde değerlerin yan hücrelerinde gösterilmiştir.

Kazı hacmi hesaplanırken;

Bina temel eni = Bina eni + temel çıkma uzunluğu,

Bina kazı eni= bina temel eni + kazı çıkma uzunluğu,

Bina temel boyu = Bina boyu + temel çıkma uzunluğu,

Bina kazı boyu = bina temel boyu+ kazı çıkma uzunluğu,

Kazı alanı = Bina kazı eni* Bina kazı boyu,

Kazı hacmi= Kazı alanı* kazı yüksekliği olarak hesaplanmıştır.

Bina eni	3545 cm			TEMEL					
Bina boy	3425 cm								
Temel eni	3745 cm			Temel beton hacmi	1696,953 m3			(Temeleni*Temelboyu)*Temelyukseklik/10^6	
Temel boy	3625 cm			Temel kalıp	184,25 m2			2*(Temeleni+Temelboyu)*Temelyukseklik/10^4	
Kazı eni	3945 cm								
Kazı boyu	3825 cm			Temel çakıl hacmi	150,8963 m3				
Temek kazı derinliği	490 cm			Toplam Membran Alanı	219,8023 m2				
				Koruyucu Tuğla Sayısı	8570 adet				
				Toplam kazı hacmi	7393,916 m3				

Şekil 3.6 Toprak işlerinin veri girişi ve metraj hesaplamaları

3.3.2 Kaba işler metrajı

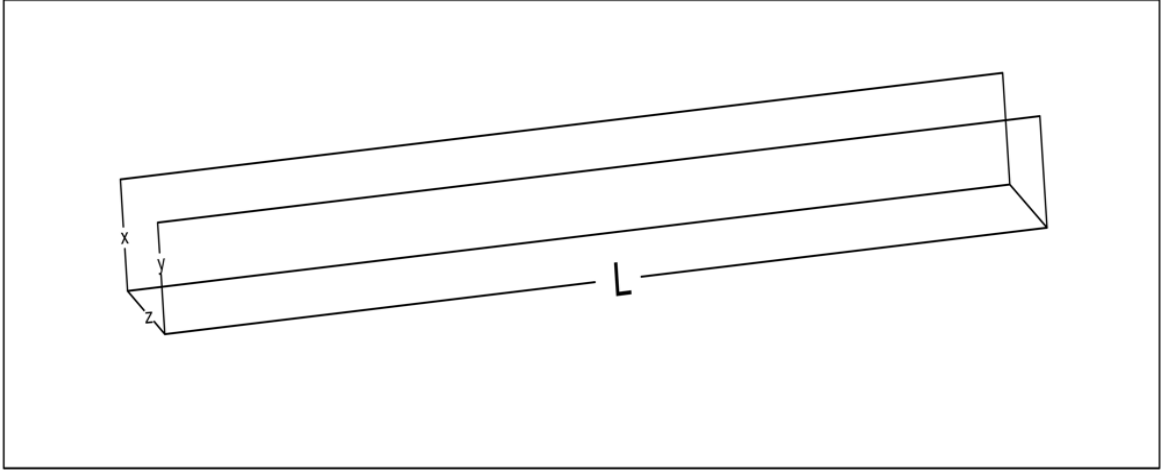
Kaba işler metraj işleri kolon, kiriş, döşeme elemanlarının beton, kalıp, demir ve kalıp iskelesi hesaplamalarından oluşmaktadır.

3.3.2.1 Beton metrajı hesaplama

Beton metrajı hesaplama işlemi maliyet hesaplamalarında oldukça önemli bir yere sahiptir. Betonun birim fiyatı yüksek olduğundan yapılacak olası bir hata teklif aşamasında olması gerekenden düşük veya yüksek teklif verilmesine neden olacaktır. Bu durumda yanlış hesaplama ya zarar edilmesine veya teklifin yüksek olmasını ve sunulan teklifin kabul görmemesine neden olacak önemli bir kalemdir. Bu yüzden beton metraj işlemleri dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.

Beton metrajı hesaplanırken kolon, kiriş ve döşeme elemanlarının hesaplamaları ayrı ayrı yapılmıştır. Beton miktarı hesaplarda metreküp (m³) yapılmıştır. Hesaplama yapılırken proje ölçülerinde cm cinsinden olduğundan sonuçların m³'e çevrilmesi unutulmamalıdır. Hesaplama yapılan eleman ile aynı ölçülere sahip elemanlar var ise benzeri olarak işleme katılmıştır.

Örnek olarak Şekil 3.7'de verilen kiriş açılımında verilen ölçülere göre kiriş beton metrajı hesabı yapılmıştır.



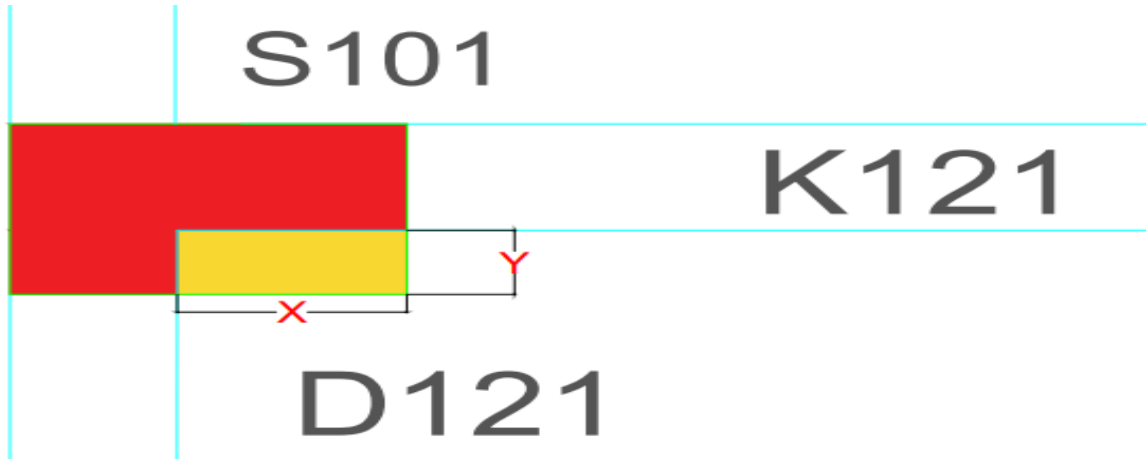
Şekil 3.7 Basit kiriş kesiti

Kiriş Eni= z cm, Kiriş Arka Yüz Derinliği= x cm, Kiriş Ön Yüz Derinliği= y cm, Kiriş Boyu= L cm olarak adlandırılmıştır. Kiriş beton metraj hesabı: $(x*z*L)/10^6$ m³ cinsinden hesaplanmıştır. Kolon, perde ve döşeme hesaplamaları ile alakalı analitik formüller Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Beton metraj hesabı yapılırken kullanılan analitik formüller

KOLON	$(Koloneni * Kolonboyu * Katyük)/10^6$
PERDE	$(Perdekalinlik * Katyük * D2E2Kirisaralik) /10^6$
KİRİŞ	$(Kirisderinlik * Kiriseni * (A_{aks}-Kolonboyu))/10^6$
DÖŞEME	$((C_{aks}-Kiriseni)*(B_{aks}-Kiriseni)*Dosemekalinlik)/10^6 -$ döşememinha

Kolon, perde, kiriş ve döşemelerde beton hesabı yapılırken dikkat edilmesi gereken durum bu elemanların birleşim bölgelerinin iki ayrı elemana ait hesaplara dahil edilmemesidir. Beton hesabı yapılırken aynı bölgeyi iki kere hesaplamamak için bu bölgeleri minha olarak işleme almak gerekmektedir. Bu uygulamada minha işlemi döşeme beton hesabında işlemlere dahil edilmiştir. Döşeme betonu hesaplanırken döşeme en ve boy hesaplamaları kirişin iç kısmından iç kısmına olacak şekilde işlemlere alınmıştır.



Şekil 3.8 Kolon-kiriş-döşeme birleşim noktası örneği

Minha metraj alan hesabı= $(X*Y)/10^4$ m² olarak hesaplanmıştır.

Bu kısımda minha hesabı yapılırken sarı renk ile belirtilen kısım kolon beton hesabı yapılırken hesaplanmıştır. Kolon beton hesabı kısmında hesaplanan alanın döşeme alanından çıkarılarak hesaplara katılması gerekmektedir. Minha alanları bu projede 5 ayrı çeşit olmak üzere formülleştirilmiş ve hesaplamalara eklenmiştir. Şekil 3.8’de minha hesaplamaları ile ilgili analitik formüller verilmiştir. Hesaplanan minha alanları döşeme alanından çıkarılarak döşemenin net alanı hesaplanmıştır. Döşeme yüksekliği ile çarpılarak döşeme için gerekli olan beton miktarı m³ cinsinden hesaplanmıştır.

Tablo 3.3 Beton minha hacmi hesaplamalarında kullanılan analitik formüller

Çeyrek minha	$((\text{Koloneni}/2 - \text{Kiriseni}/2) * (\text{Kolonboyu}/2 - \text{Kiriseni}/2))10^4$
Yarım minha	$((\text{Koloneni}/2 - \text{Kiriseni}/2) * (\text{Kolonboyu} - \text{Kiriseni})) / 10^4$
Tam minha	$((\text{Koloneni} - \text{Kiriseni}) * (\text{Kolonboyu} - \text{Kiriseni})) / 10^4$
Dilatasyon tam minha	$((\text{Dilkoloneni} - \text{Kiriseni}) * (\text{Dilkolonboyu} - \text{Kiriseni})) / 10^4$
Dilatasyon yarım minha	$((\text{Dilkoloneni} - \text{Kiriseni}) * (\text{Dilkolonboyu}/2 - \text{Kiriseni}/2)) / 10^4$

Kolonların beton hacmi hesaplanırken kolon eni, kolon boyu ve kat yüksekliği çarpılarak elde edilmiştir. Beton hacmi hesaplanan kolonlar ile aynı ölçülerdeki kolonların sayısı çarpılarak kolonlar için kullanılacak olan toplam beton hacmi hesaplanmıştır.

Kirişlerde hesaplamalar yapılırken kirişlere ait derinlik, en ve açıklık değerleri girilerek hacim hesabı yapılmış olup benzeri kirişlerde hesaba katılarak kirişler için gerekli beton hacmi hesabı yapılmıştır.

Perdelere hesaplamalar yapılırken perdeler için kalınlık, yükseklik ve açıklık değerleri girilerek hacim hesabı yapılmış olup benzeri perdelerde hesaba katılarak perdeler için gerekli beton hacmi hesabı yapılmıştır.

Döşemelerde beton hesabı yapılırken önce döşeme-kolon birleşmelerinden dolayı oluşan minhalar hesaplanmıştır. Minhalar çeyrek minha, yarım minha ve tam minha olmak üzere 3 çeşit hesaplanmıştır. Döşemelerde beton hacmi hesaplanırken döşemelerin eni, boyu ve veriler kısmında belirtilen döşeme yüksekliği değerleri çarpılmıştır. Elde edilen sonuçlardan döşemeye ait minhalar çıkarılmıştır. Benzeri döşemeler ile çarpılıp bulunan tüm değerler toplanarak döşemeler için gerekli beton hacmi hesabı yapılmıştır.

Tablo 3.4 Beton metrajı için uygulamada kullanılan analitik formüller

KOLON	$Koloneni * Kolonboyu * Katyuk$
KİRİŞ	$Kirisderinlik * Kiriseni * (A_{aks} - Kolonboyu)$
PERDE	$Perdekalinlik * Katyuk * D2E2Kirisaralik$
DÖŞEME	$(C_{aks} - Kiriseni) * (B_{aks} - Kiriseni) * Dosemekalinlik$

BETON METRAJ							
KOLONLAR							
	En	Boy	Yükseklik	Hacim	Benzeri	Toplam	
A1 Kolonu	70	70	300	1,47	16	23,52	m3
D1 Kolonu	35	70	300	0,735	8	5,88	m3
Normal kat toplam kolon beton hacmi						29,4	m3
Normal kat genel toplam kolon beton hacmi						264,6	m3
KİRİŞLER							
	Derinlik	En	Açıklık	Hacim	Benzeri	Toplam	
B2-B3 Kirişi	70	30	870	1,827	6	10,962	m3
B1-B2 Kirişi	70	30	560	1,176	16	18,816	m3
B2-C2 Kirişi	70	30	1630	3,423	8	27,384	m3
A2-B2 Kirişi	70	30	510	1,071	8	8,568	m3
D2-E2 Kirişi	70	30	1670	3,507	6	21,042	m3
Normal kat toplam kiriş beton hacmi						86,772	m3
Normal kat genel toplam kiriş beton hacmi						780,948	m3
PERDE							
	Kalınlık	Yükseklik	Açıklık	Hacim	Benzeri	Toplam	Minha
C2-D2 Perdesi	30	300	1670	15,03	2	30,06	m3
C2-C3 Perdesi	30	300	870	7,83	2	15,66	m3
D2-D3 Perde minha							0,63
Asansör perdesi	20	300	1780	10,68	1	10,68	m3
Normal kat toplam perde beton hacmi						55,77	m3
Normal kat genel toplam perde beton hacmi						501,93	m3
DÖŞEME							
	En	Boy	Minha	Hacim	Benzeri	Toplam	
A1-B2 Döşemesi	9,5	835	0,0576	0,06932	1	22,788	m3
A2-B3 Döşemesi	8,45	910	0,0384	0,08463	1	24,8592	m3
B1-C2 Döşemesi	8,65	835	0,0384	0,07716	1	22,2728	m3
B2-C3 Döşemesi	9,4	910	0,0256	0,11126	1	24,2896	m3
C1-D2 Döşemesi	1695	835	0,024	22,6212	1	22,6212	m3
D2-E3 Döşemesi	1695	910	3,2544	21,4248	1	21,4248	m3
C2-D3 Döşemesi	1695	910	0,016	24,6792	1	24,6632	m3
Normal kat toplam döşeme hacmi						41,828	m3
Normal kat genel toplam döşeme hacmi						376,452	m3

Şekil 3.9 Zemin ve normal kat beton metraj hesaplamaları

3.3.2.2 Kalıp metrajı hesaplama

Kalıp metraj hesaplamaları kolon, kiriş ve döşeme kalıbı olarak ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir. Kalıp metraj işlemleri beton metraj hesaplamalarına göre daha uğraştırıcıdır. Kalıp metraj hesabı m² biriminde yapılır.

Örnek olarak Şekil 3.7’de verilen kiriş açılımında verilen ölçülere göre kiriş kalıp metrajı hesabı yapılmıştır.

Kiriş Eni= z cm, Kiriş Arka Yüz Derinliği= x cm, Kiriş Ön Yüz Derinliği= y cm, Kiriş Boyu= L cm olarak adlandırılmıştır

Kirişin 3 yüzünün alanın hesaplanması aşağıda verilen analitik formüller ile yapılır.

$$\text{Ön yüz kalıp} = (L \cdot y) / 10^4 \text{ m}^2$$

$$\text{Arka yüz kalıp} = (L \cdot x) / 10^4 \text{ m}^2$$

$$\text{Alt taban kalıp} = (L \cdot b) / 10^4 \text{ m}^2$$

Toplam Kiriş Kalıbı= $L \cdot (a+b+c) / 10^4 \text{ m}^2$ formülleri ile kiriş kalıp hesabı yapılmaktadır.

Kolon kalıp hesabı yapılırken kolonun her yüzü için ayrı ayrı metraj hesabı yapıp elde edilen değerler toplanarak toplam kolon kalıp hesabı elde edilir. Kolon kalıp hesabı yapılırken projede verilen kolon, kiriş ve döşemeyi 3 boyutlu olarak düşünüp kolon kalıbı için minhalanacak olan alanlar hesaplanmalıdır. Kolon metraj hesabında yükseklik ölçüsü bina dışına gelen kolon ile bina iç kısmında olan kolon için iki farklı değer hesaplara katılmalıdır.

Bina dış kısmında kalan kolon yüzü için yükseklik değeri “Kat yüksekliği” olarak hesaplamalara katılır. Bina iç kısmına denk gelen kolon yüzleri için yükseklik değeri “Kat yüksekliği-döşeme kalınlığı” olarak hesaplamalara katılır.

Kolon metraj hesaplamalarında dikkat edilmesi gereken bir diğer husus kolonun hangi yüzünde kiriş ile bağlantısı var ise kolon yüzey alanından kiriş alanı minhalanmalıdır.



Şekil 3.10 Kolon,kiriş,döşeme birleşme detayı

Şekil 3.10’de de kolon, kiriş ve döşeme detayları verilmiştir. Verilen bu ölçülere göre S104 kolonu için kalıp hesabı formülleri Tablo 3.5’te verilmiştir.

Tablo 3.5 S104 kolonu kalıp hesabı formülleri

1.yüzey alanı(A1)	$(y * \text{kat yüksekliği}) / 10^4$
2.yüzey alanı(A2)	$(x * (\text{kat yüksekliği} - c) - k * (l - c)) / 10^4$
3.yüzey alanı(A3)	$(y * (\text{kat yüksekliği} - c) - a * (b - c)) / 10^4$
4.yüzey alanı(A4)	$(y * \text{kat yüksekliği}) / 10^4$
Toplam kalıp alanı	$A1 + A2 + A3 + A4$

Döşeme kalıp metraj hesabı yapılırken beton için metraj hesabı yapılan minha alanları döşeme alanında çıkarılarak net döşeme kalıp alanı elde edilir. Beton metrajı hesaplanırken minha olan kısımların m² olarak hesaplanması kalıp metrajı hesaplanırken de kullanılması içindir.

Kalıp metrajı yapılırken kalıp iskelesi hesabı da yapılması gerekmektedir. Kalıp iskelesi yapılırken bina iç hacminin hesaplanması gerekmektedir. İşlemler bir kat için yapıp kat sayısı ile çarpılarak hesaplamalara katılır.

Tablo 3.6 Örnek iskele hesabı analitik formülleri

İskele hesabı	$(\text{BinaEni} * 2 + 2 * \text{Kiriseni}) * (\text{BinaBoy}) * (\text{Katyuk} - \text{Dosemekalinlik})$
---------------	---

İnşaatta bulunan kolonların kalıp hesabı hesap yapılacak olan kolona ait kolon eni veya kolon boyu ölçülerinin veriler tablosunda belirtilen kat yüksekliği ile çarpılmasından elde edilen alan hesabıyla yapılmıştır. Kolonların dört yüzü ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bulunan tüm yüzeylerin metraj sonuçları toplanmıştır. Hesap yapılan kolon ile aynı ölçülere ait kolon var ise benzeri şekilde hesaba katılıp toplan kolon kalıp metraj hesabı yapılmıştır.

KİRİŞLER							
	Derinlik	En	Açıklık	Alan	Benzeri	Toplam	
B2-B3 Kirişi	70	30	630	8,694	6	52,164	m2
B1-B2 Kirişi	70	30	560	7,728	16	123,648	m2
B2-C2 Kirişi	70	30	480	6,624	8	52,992	m2
A2-B2 Kirişi	70	30	510	7,038	8	56,304	m2
D2-E2 Kirişi	70	30	570	7,866	6	47,196	m2
Normal kat toplam kiriş kalıp alanı						332,304	m2
Normal kat genel toplam kiriş kalıp alanı						4984,56	m2

Şekil 3.12 Zemin ve normal kiriş kalıp hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

İnşaatta bulunan perdelerin kalıp hesabı yapılırken perde eni ve bodrum kat yüksekliğinden döşeme kalınlığı çıkarılarak elde edilen değer ile çarpılıp alan hesabı yapılmıştır. Ölçüleri aynı olan perdeler benzeri olarak hesaba alınmıştır. Farklı ölçülerdeki perdeler hesaplanarak tüm değerler toplanmıştır. Yangın kapısına ait minha hesaplanıp perde kalıp hesabından çıkarılarak sonuç elde edilmiştir.

PERDELER							
	En	Yükseklik	Alan	Minha	Benzeri	Toplam	
C2-D2Perdesi	570	300	33,288		2	66,576	m2
C2-C3 Perdesi	630	300	36,792		2	73,584	m2
D2-D3 Perde minha				5,76			
Asansör Perdesi	1780	300	53,4			53,4	m2
Normal kat toplam perde kalıp alanı						187,8	m2
Normal kat genel toplam perde kalıp alanı						2817	m2

Şekil 3.13 Zemin ve normal kat perde kalıp hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

İnşaatla bulunan döşemelerin kalıp hesabı yapılırken döşeme ait en ve boy değerleri çarpılarak alan hesabı yapılır. Döşemelerin beton kısmında hesapladığımız minhalardan kaç adet var ise minha değeri hesaplanıp bulunan alandan çıkarılmıştır. Benzeri ölçülere sahip döşemeler hesaba katılmıştır. Bulunan tüm değerler toplanıp bodrum ve normal kat döşeme kalıp hesabı tamamlanmıştır.

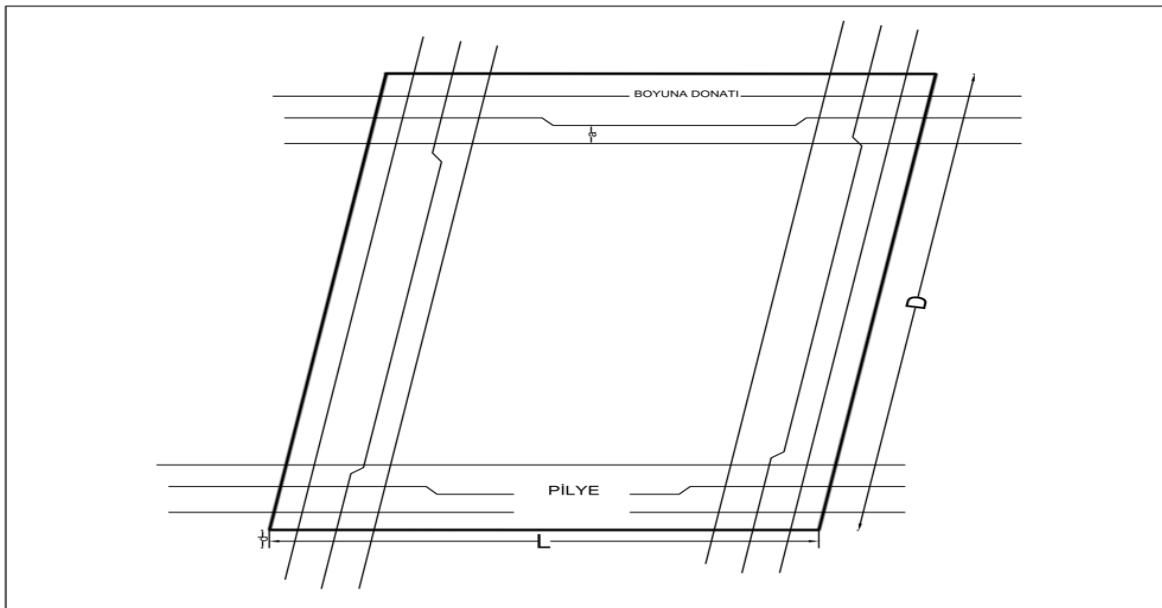
DÖŞEME	En	Boy	Minha	Alan	Benzeri	Toplam
A1-B2 Döşemesi	570	620	0,36	34,98	4	139,92 m2
A2-B3 Döşemesi	570	670	0,24	37,95	2	75,9 m2
B1-C2 Döşemesi	520	620	0,24	32	4	128 m2
B2-C3 Döşemesi	520	670	0,16	34,68	2	69,36 m2
D1-E2 Döşemesi	595	620	0,15	36,74	4	146,96 m2
D2-E3 Döşemesi	595	670	20,34	19,525	1	19,525 m2
C2-D3 Döşemesi	595	670	0,1	39,865	1	39,765 m2
Normal kat toplam döşeme kalıp alanı						619,43 m2
Normal kat genel toplam döşeme kalıp alanı						9291,45 m2

Şekil 3.14 Zemin ve normal kat döşeme kalıp hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

3.3.2.3 Donatı metrajı hesaplama

Donatı metrajı hesaplarırken kolon, kiriş ve döşeme için metraj hesabı yapılmaktadır. Donatı metrajı hesaplamak beton ve kalıp metrajları arasından en uğraştırıcı ve hata yapılma olasılığı en yüksek hesaplama alanıdır. Donatı metrajı hesaplarırken düzenli bir şekilde ve ayrıntılı bir şekilde hesaplama yapmak gerekmektedir. Donatı fiyatları oldukça yüksek olduğu için yapılacak olası bir hesaplama hatası maliyet hesaplarının gerçek değerlerden uzaklaşmasına neden olacağından donatı hesaplama işlemleri özenle yapılmalıdır.

Örneğin Şekil 3.15’te verilen döşeme planında donatı hesabı örneklendirilmiştir.



Şekil 3.15 Döşeme donatı detayı

Döşeme eni= L, Döşeme Boyu= D, Döşeme Derinliği= d, Döşeme Donatı aralığı= a,

Donatı çapı birim ağırlığı= b olarak tanımlanmıştır.

Boyuna donatı uzunluk= $L + (\text{Komşu Kiriş Eni}) * 2 + (\text{Komşu Döşeme Eni}/4) * 2$

Pilye uzunluk= $L + 2 * 0,82 * d$

Boyuna donatı sayısı= $D/a + 1$

Pilye sayısı= $(D/a + 1) - 1$

Boyuna donatı ağırlığı= $(L + (\text{Komşu Kiriş Eni}) * 2 + (\text{Komşu döşeme Eni}/4) * 2) * (D/a + 1) * (b)$

Pilye ağırlığı= $(L + 2 * 0,82 * d) * ((D/a + 1) - 1) * (b)$

Tek yönde bulunan toplam boyuna donatı ağırlığı= $(L + (\text{Komşu Kiriş Eni}) * 2 +$

$(\text{Komşu döşeme Eni}/4) * 2) * (D/a + 1) * (b) + (L + 2 * 0,82 * d) * ((D/a + 1) - 1) * (b)$

Yapılan işlemlerde tek yönde bulunan donatı ağırlığını hesaplayıp metrajı belirlenmiştir. Aynı işlemler enin donatı ebatları değiştirilerek enine donatı hesabı içinde yapılır. Tek tip basit döşeme donatı metrajı tamamlanmış olur.

Kolon donatı hesabı yapılırken bir kolon için etriye ve boyuna donatı ölçüleri olmak üzere iki ayrı hesaplama yapılmıştır. Bulunan donatı ağırlıkları toplanarak bir adet kolona ait demir hesabı tamamlanmıştır.

Sıklaştırma boyu hesaplanırken kat yüksekliğinin $\frac{1}{4}$ 'ü, kolonun eni ve kolonun boyu değerlerinden maksimum olan değeri hesaba alarak belirlenmiştir. Serbest boy değeri bodrum kat yüksekliğinden alt ve üst kiriş birleşme noktalarından sıklaştırma boyunu ve kiriş derinliğini çıkararak elde edilmiştir. Kolon ölçüleri dikkate alınarak etriye sayısı belirlenmiştir. Kolon etriye boyu ve sayısı çarpılarak ilgili kolona ait toplam etriye uzunluğu hesaplanmıştır. Etriyelerde Ø8 kullanıldığından bulunan toplam etriye uzunluğu ile Ø8 donatı birim ağırlığı çarpılarak hesap yapılan kolona ait etriyelerde kullanılan donatının ağırlığı bulunmuştur. Donatı çapı değiştirildiğinde donatının birim ağırlığı yetiştirilen uygulama tarafından otomatik biçimde güncellenmektedir.

Boyuna donatı hesabı yapılırken bodrum kat yüksekliği ile filiz boyunu toplayıp hesap yapılan kolona ait boyuna donatı uzunluğu hesaplanmıştır. Veriler kısmında hesaplanan bodrum kat kolon donatı sayısı ile boyuna donatı uzunluğu çarpılarak toplam boyuna donatı uzunluğu hesaplanmıştır. Boyuna donatı olarak Ø16 kullanılmıştır. Bulunan boyuna donatı uzunluğu ile Ø16 donatı birim ağırlığı ile çarpılarak boyuna donatılarda kullanılacak toplam donatı ağırlığı hesaplanmıştır. Uygulamada farklı donatı çapları kullanılabilir, bu durumda veri girişi tabında ilgili donatı çapı listeden seçilir ve

donatının birim ağırlığı otomatik olarak getirilmektedir. Bu şekilde metraj hesaplamaları otomatikleştirilmiştir.

Bulunan etriye ve boyuna donatıların ağırlığı toplanarak hesap yapılan kolona ait donatı ağırlık cinsinden hesaplanmıştır. Benzeri kolonların sayısı da çarpılarak hesaba eklenmiştir. Bodrum kat kolonlar için yapılan hesaplamalar ve işlem adımları Şekil 3.16’de gösterilmiştir.

DONATI METRAJI					
KOLONLAR				TOPLAM	
A1 Kolonu Etriye					
Sıklaştırma boyu	75 cm				
Serbest boy	90 cm				
Etriye sayısı	35 adet				
Etriye boyu	103,6 m	Ø8			
Etriye ağırlık	40,92 kg			982,128 kg	
A1 Kolonu Boyuna donatı					
Donatı boyu	410 cm				
Toplam boyuna donatı boyu	98,4 m	Ø16			
Toplam boyuna donatı ağırlığı	155,275 kg			3726,6 kg	
Benzeri	24 adet				

Şekil 3.16 Zemin ve normal kat kolon donatı hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

Bodrum kat kiriş betonarme donatı hesabı yapılırken bir kiriş için etriye, asal ve montaj donatı ölçüleri olmak üzere iki ayrı hesaplama yapılmıştır. Bulunan donatı ağırlıkları toplanarak bir adet kirişe ait demir hesabı tamamlanmıştır.

Kirişlerde etriye hesabı yapılırken kirişe ait açıklık değerine göre sıklaştırma boyu hesaplanmıştır. Kirişe ait açıklıktan 2*sıklaştırma boyu çıkarılarak serbest boy hesaplanmıştır. Sıklaştırma ve serbest boylarda kullanılacak etriye sayısı, etriye uzunluğu ile çarpılarak etriyeler için kullanılacak donatı uzunluğu hesaplanır. Kiriş için hesaplanan etriye donatı uzunluğu ile Ø8 donatı birim ağırlığı çarpılarak etriyelerde kullanılacak donatının ağırlık cinsinden değeri hesaplanmıştır.

Kirişe ait asal donatı sayısı hesaplanıp asal donatı uzunluğu ile çarpılarak toplam asal donatı uzunluğu elde edilmiştir. Montaj donatı boyu hesaplanıp sayısı ile çarpılarak montaj donatısının uzunluk cinsinden değeri hesaplanmıştır. Kiriş toplam asal donatı uzunluğu ve toplam montaj donatı uzunluğu ile donatılara atanan donatı çapının birim ağırlık değerleri ile çarpılarak donatıların ağırlıkları bulunur.

Bulunan etriye ve boyuna donatıların ağırlığı toplanarak hesap yapılan kirişe ait donatı ağırlık cinsinden hesaplanmıştır. Benzeri kirişlerin sayısı da çarpılarak hesaba eklenmiştir. Zemin kat ve normal katta bulunan kiriş demir metrajları bodrum katta yapılan hesaplamalar ile aynı formüllerle yapılmış olup Şekil 3.17’de gösterilmiştir.

KİRİŞLER			
A2-B2 Kirişi Etriye			
Açıklık	510 cm		
Sıklaştırma boyu	268 cm		
Serbest boy	246 cm		
Etriye sayısı	39 cm		
Toplam etriye boyu	80,34 cm	Ø8	
Toplam etriye ağırlığı	31,7343 kg		
Benzeri	8		253,874 kg
A2-B2 Kirişi Boyuna donatı			
Donatı boyu	822 cm		
Toplam donatı boyu	32,84 m	Ø18	
Montaj boyu	600 cm		
Toplam montaj boyu	24 m		
Toplam boyuna donatı ağırlığı	94,61 kg		
Benzeri	8 adet		756,851 kg

Şekil 3.17 Zemin ve normal kat kiriş donatı hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

Döşeme donatı metrajında döşemeye ait x ve y doğrultusundaki düz donatı ve pilye donatı metrajlarının ayrı ayrı hesaplanıp toplanmasıyla elde edilmiştir.

Döşemenin en ve boy uzunluklarına kiriş eni ve 2*kiriş derinliği eklenerek düz donatı uzunlukları hesaplanmıştır. Pilye donatı uzunluğu hesaplanırken döşeme uzunluğuna komşu kirişin eni ve komşu döşemelerin $\frac{1}{4}$ 'ü ve 0,82* döşeme kalınlığı eklenerek hesaplanmıştır. Komşu döşeme bir tane ise komşu döşeme uzunluğunun $\frac{1}{4}$ 'ü ve kiriş derinliği olarak hesaplanmıştır.

Döşeme donatı sayıları belirlenirken döşeme uzunluğunun veriler tablosunda belirtilen donatı aralık değerine bölümü ile bulunur. Hesaplanan sonuç bir üst sayıya tamamlanır. Elde edilen düz ve pilye uzunlukları hesaplanan adet ile çarpılarak döşeme için kullanılacak donatının toplam uzunluğu hesaplanır. X ve y doğrultusu için ayrı ayrı hesap yapılmıştır. Hesaplanan donatı uzunluğu kullanılan donatının birim ağırlık değeri ile çarpılarak hesap yapılan döşemede kullanılacak olan donatının ağırlık cinsinden hesabı yapılmıştır. Hesap yapılan döşeme ile benzer ölçülerde olan döşemeler benzeri olarak hesaba katılmıştır.

DÖŞEME							
A1-B2 Döşemesi	En	Boy					
	600	650					
	Düz	Pilye					
X Doğrultu boyu	770	863,12	Y Boyu	620	Y Sayı	21	
Y Doğrultu boyu	820	925,62	X Boyu	570	X Sayı	20	
Ø10 Boyu	692,079	m					
Ø10 Ağırlık	427,013	kg	Benzeri	4			
Toplam	1708,1	kg					
A2-B3 Döşemesi	En	Boy					
	600	700					
	Düz	Pilye					
X Doğrultu boyu	770	863,12	Y Boyu	670	Y Sayı	23	
Y Doğrultu boyu	870	1093,12	X Boyu	570	X Sayı	20	
Ø10 Boyu	768,242	m					
Ø10 Ağırlık	474,005	kg	Benzeri	2			
Toplam	948,0	kg					

Şekil 3.18 Zemin ve normal kat döşeme demir hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

Perde donatı hesabı boyuna ve tevzi donatıları olmak üzere x ve y doğrultusunda iki ayrı donatı hesabı yapılarak bulunan donatı sonuçlarının toplanması ile gerçekleştirilir. X doğrultusunda kullanılacak olan tevzi donatıların hesabında perde açıklığının veriler tablosunda belirlenen perde donatı aralık değerine bölünmesi ile adet olarak kullanılacak donatı belirlenir. Kullanılacak olan boyuna donatı uzunluğu ilgili katın yüksekliği ile perde filiz boyu değerinin toplanması ile elde edilmiştir. Y yönünde kullanılacak olan donatıların hesabı yapılırken bodrum kat yüksekliğini verilerde belirtilen bodrum perde yan donatı aralığı değerine bölünmesi ile donatı adedi elde edilir. Donatı boyu ise perde açıklığına perde yan filiz boyu değeri eklenerek hesaplanmıştır.

Hesaplanan donatı adetleri donatı boyları ile çarpılarak hesap yapılan perdede kullanılacak olan toplam donatı uzunluğu hesaplanmıştır. Bulunan toplam donatı uzunluğu ilgili perde için belirlenen donatı çapının birim ağırlık değeri ile çarpılarak döşemede kullanılacak olan donatı ağırlık cinsinden değeri hesaplanmıştır.

PERDE							
	Perde Uzunluğu	Boyuna Sayı	Dikey donatı boy	Tevzi Sayı	Yatay donatı boy	Benzeri	Toplam
C2-D2 Perdesi	1670	168	360	20	1722,5	2	1898,6 m
C2-C3 Perdesi	870	88	360	20	975	2	1023,6 m
Asansör perdesi	1245	178	360	20	1305	1	901,8 m
Normal kat toplam perde ağırlığı	3395,712	kg	Ø12				

Şekil 3.19 Zemin ve normal kat perde demir hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

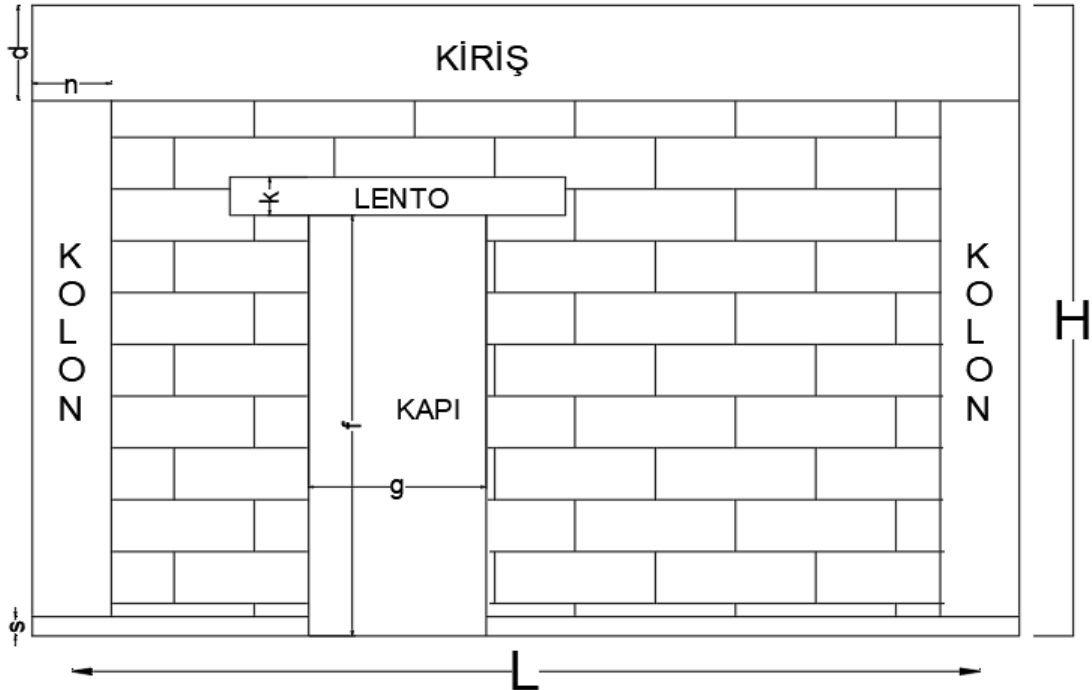
3.3.3 İnce işler metrajı tablosu

İnce işler metraj hesaplaması yapılırken detaylı ve özenli bir yaklaşım gereklidir. İşin her aşamasında, her bir parçanın veya bileşenin detaylı bir incelemesi yapılmalı ve olası hataların önlenmesi için her bir unsurun ölçüleri, malzeme gereksinimleri ve diğer önemli detaylar göz önünde bulundurulmalıdır. İnce işler metrajı hesaplama işlemlerinde üç boyutlu düşünmek gerekmektedir. Bu da projenin her açıdan tam olarak anlaşılmasını sağlar ve hesaplama sürecindeki hataların azaltılmasına yardımcı olur. Son olarak, dikkatli bir şekilde yapılan hesaplamalar, her bir detayın gözden kaçırılmadığından emin olmak için önemlidir.

İnce işler metrajı dış duvar, iç duvar, kılıcına duvar, parke, iç sıva, dış sıva, süpürgelik, iç cephe boya, dış cephe boya, fayans metrajlarından oluşmaktadır.

3.3.3.1 İnce işler metrajı analitik formüller

İnce işler metrajı hesaplarken adım adım hesaplamalar yapılmalı ve hesaplama yapılacak kalemler arasında bağlantı olduğu unutulmamalıdır. Şekil 3.20’de kesit duvar ölçüleri ve duvar metraj hesaplamalarında dikkate alınması gereken bilgiler verilmiştir.



Şekil 3.20 Duvar kesit örneği

Şekil 3.20'e göre duvar metrajı hesaplama aşağıda verilen analitik formüllerle yapılmaktadır.

Net açıklık= L (İki kolonun merkezinden merkezine),

Kat Yüksekliği= H (döşeme kalınlığı dahil),

Kapı Yüksekliği= f,

Kapı Genişliği= g,

Kolon Eni= n,

Kiriş Derinliği= d,

Lento Yüksekliği= k,

Lento Genişliği= g + 2*20(pencere eni+20cm),

Süpürgelik Yüksekliği= s;

Duvar net yüksekliği= (H – d)

Duvar net genişliği= (L – (n₁+n₂) /2)

Kapı Minha (Boşluk)= g*f

Lento Minha= k*(g+2*20)

Duvar Yüzey alanı= [(H – m) *(L – (n₁+n₂) /2)] – [(g*f) + k*(g+2*20)] /10⁴ m² 'dir.

Sıva metraj hesaplamaları yapılırken aşağıdaki analitik formüller kullanılmıştır.

Sıva yüksekliği= H

Sıva genişliği= (L + (n₁+n₂) /2)

Kapı Minha (Boşluk)= g*f

Sıva Yüzey alanı= [(H) *(L + (n₁+n₂) /2)] – [(g*f)] /10⁴ m² 'dir.

Kesitte yer alan boyanacak alanın boyutları hesaplanırken aşağıdaki analitik formüllerden kullanılmıştır.

Boya yüksekliği= H- s

Boya genişliği= (L + (n₁+n₂) /2)

Kapı Minha (Boşluk)= g*f

Boya Yüzey alanı= [(H- s) *(L + (n₁+n₂) /2)] – [(g*f)] /10⁴ m² 'dir.

3.3.3.2 Dış duvar metraj hesaplamaları

Zemin kat dış duvar metraj hesabı yapılırken duvara ait giriş açıklık uzunluğu ile kat yüksekliğinden giriş derinliğini çıkararak elde edilen değer çarpılıp alan hesabı yapılmıştır. Dış duvarda bulunan pencere ve lento minhaları metraj hesapları yapılarak duvar metrajından çıkarılmıştır. Aynı ölçülere ait duvarlar var ise benzeri olarak metraj hesabına katılmıştır.

Üst katlarda bulunan dış duvar metrajları zemin katta yapılan hesaplamalar ile aynı formüllerle yapılmıştır. Bina girişinin olduğu aks dış duvar metrajını farklılaştıran bölgedir.

DIŞ DUVAR					
	Açıklık	Yükseklik	Alan(m2)	Benzeri	Toplam
B1C1 Duvarı	1630	230	37,49		
Minha P1	400	160	6,4		
Minha Lento	440	20	0,88		
			30,21	2	60,42 m2
	Açıklık	Yükseklik	Alan(m2)	Benzeri	Toplam
A1B1 Duvarı	1650	230	37,95		
Minha P1	400	160	6,4		
Minha Lento	440	20	0,88		
			30,67	1	30,67 m2
	Açıklık	Yükseklik	Alan(m2)	Benzeri	Toplam
A1A2 Duvarı	775	230	17,825	2	35,65 m2
	Açıklık	Yükseklik	Alan(m2)	Benzeri	Toplam
A2A3 Duvarı	870	230	20,01		
Minha P2	50	50	0,25		
Minha Lento	90	20	0,18		
			14,73	3	44,19 m2
	Açıklık	Yükseklik	Alan(m2)	Benzeri	Toplam
D1E1 Duvarı	7,90	230	18,18		
Minha P2	50	50	0,25		
Minha Lento	90	20	0,18		
			17,75	1	17,75 m2
Dış duvar toplam alan					188,68 m2

Şekil 3.21 Normal kat dış duvar metraj hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

3.3.3.3 İç duvar metraj hesaplamaları

İç duvar metraj hesaplamalarının birimi m²'dir.Örülecek olan duvarın yüzey alanı hesaplanır. Zemin ve normal kat iç duvar metraj hesabı yapılırken duvara ait kiriş açıklık uzunluğu ile kat yüksekliğinden kiriş derinliğini çıkararak elde edilen değer çarpılıp alan hesabı yapılmıştır. İç duvarda bulunan kapı (kapı yüksekliği*kapı eni) ve lento (lento açıklık*lento yüksekliği) minhaları metraj hesapları yapılarak duvar metrajından çıkarılmıştır. Aynı ölçülere ait duvarlar var ise benzeri olarak metraj hesabına katılmıştır.

İÇ DUVAR						
	Açıklık	Yükseklik	Alan(m2)	Benzeri	Toplam	
B2C2 Duvarı	480	230	11,04			
Minha ofis kapı	100	210	2,1			
Minha Lento	140	20	0,28			
			8,66	2	17,32	m2
	Açıklık	Yükseklik	Alan(m2)	Benzeri	Toplam	
A1B1 Duvarı	510	230	11,73	4	46,92	m2
	Açıklık	Yükseklik	Alan(m2)	Benzeri	Toplam	
B2B3 Duvarı	630	230	14,49			
Minha ofis kapı	100	210	2,1			
Minha Lento	140	20	0,28			
			12,11	4	48,44	m2
	Açıklık	Yükseklik	Alan(m2)	Benzeri	Toplam	
C1C2 Duvarı	560	230	12,88			
Minha ofis kapı	100	210	2,1			
Minha Lento	140	20	0,28			
			10,5	8	84	m2
	Açıklık	Yükseklik	Alan(m2)	Benzeri	Toplam	
D2E2 Duvarı	570	230	13,11			
Minha Ofis kapı	100	210	2,1			
Minha Lento	140	20	0,28			
			10,73	2	21,46	m2
İç duvar toplam alan					218,14	m2

Şekil 3.22 Normal kat iç duvar metraj hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

3.3.3.4 Dış sıva metraj hesaplamaları

Zemin ve normal kat dış sıva hesabı yapılırken bina dış ölçüleri toplanıp sıva uzunluk değeri elde edilir. Elde edilen uzunluk değeri ile kat yüksekliği çarpılarak alan hesabı yapılmıştır. Dış sıva alan hesabından elde edilen değerden duvarlarda bulunan kapı, pencere, havalandırma boşluğu vb. boşluklar minhalanarak dış sıva net metraj alanı elde edilmiş olur.

DIŞ SIVA						
	En	Boy	Yükseklik	Alan	Benzeri	Toplam
A1A4		2030	300	60,9		
Minha tuvalet penceresi	50	50		1,5		
Tuvalet pencere dışı sıva				1,62		
				61,02	2	122,04
	En	Boy	Yükseklik	Alan	Benzeri	Toplam
A1G1		3610	300	108,3		
Minha arşiv pencere	50	50		1		
Arşiv pencere dışı sıva				1,08		
Minha p1	400	160		25,6		
P1 Dış sıva				3,744		
				86,524	2	173,048 m2
Toplam dış sıva alanı zemin	295,088	m2				

Şekil 3.23 Zemin kat dış sıva hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

3.3.3.5 İç sıva metraj hesaplamaları

Zemin ve normal kat iç sıva metraj hesaplamaları yapılırken hesap yapılacak olan bölmeye ait duvar uzunlukları toplanıp toplam uzunluk elde edilmiştir. Kat yüksekliği değerinden döşeme kalınlığı çıkarılarak sıva yapılacak bölmenin yükseklik değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan uzunluk ve yükseklik değeri çarpılarak m² cinsinden sıva alanı elde edilmiştir. Sıva alanından duvarlarda bulunan kapı ve pencere alanları minhalanarak sıva yapılacak net alan elde edilmiştir. Tavan sıva metrajı hesaplanırken işlem yapılacak olan bölmenin en ve boy uzunlukları çarpılarak tavan alanı elde edilmiştir. Elde edilen tavan alanından kolon iz düşüm alanları minhalanarak net alan elde edilmiştir. Tavan ve duvarlara yapılan sıva metrajları toplanarak hesap yapılan bölmenin iç sıva metrajı hesaplanmıştır. Benzer ölçülere ait olan bölmeler benzeri olarak çarpılarak hesaba katılmıştır.

İÇ SIVA	En	Boy	Yükseklik	Alan	Benzeri	Toplam
A1C2	1132,5	632,5	284	100,252		
Kolon dış 1		45	284	2,556		
Kolon dış 2		27,5	284	1,562		
Minha P1	400	160		12,8		
Minha kapı	100	210		4,2		
Tavan	1132,5	632,5		71,6		
Minha A1				0,2025		
Minha B1				0,315		
Minha C1-A2				0,2475		
Minha B2				0,1925		
Minha C2				0,075625		
				158,0	4	631,87 m2

Şekil 3.24 Normal kat iç sıva hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

3.3.3.6 Boya metraj hesaplamaları

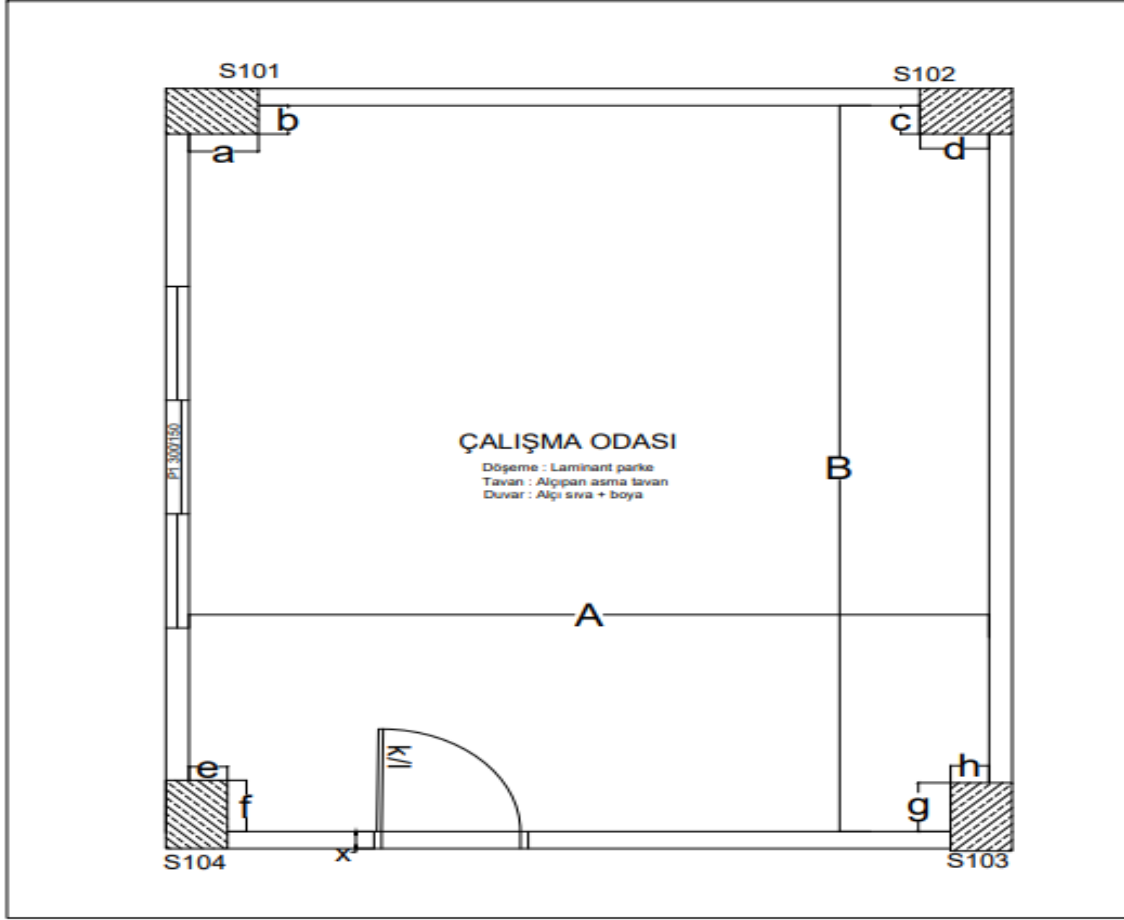
Zemin ve normal kat boya metraj hesabı yapılırken hesap yapılan bölmenin duvar uzunlukları toplanmıştır. Yükseklik değeri kat yüksekliğinden döşeme kalınlığı çıkarılarak elde edilmiştir. Toplam duvar uzunluğu ve elde edilen yükseklik değeri çarpılarak boya yapılacak olan alan hesaplanmıştır. Duvarlarda bulunan kapı veya pencere alanları bulunan değerden çıkarılmıştır. Hesaplanan duvar uzunluğu ile süpürgelik yüksekliği çarpılarak elde edilen alan toplam alandan çıkarılarak boya yapılacak olan net alan hesabı elde edilmiştir. Tavan boyası yapılacak alan ile tavan iç sıva yapılan alan eşit olduğundan iç sıva için hesaplanan değer hesaba katılmıştır.

BOYA							
	En	Boy	Yükseklik	Alan	Benzeri	Toplam	
A1C2	1132,5	632,5	284	87,37			
Minha süpürgelik			8	11,0048			
				76,3652	4	305,4608	m2
Tavan boyası				70,6	4	282,39	m2
	En	Boy	Yükseklik	Alan	Benzeri	Toplam	
B2C3	535	685	284	69,296			
Minha kapı	100	210		8,4			
Minha süpürgelik			8	1,5744			
				59,3216	2	118,6432	m2
Tavan boyası				36,345	2	72,69	m2
	En	Boy	Yükseklik	Alan	Benzeri	Toplam	
D1E2	617,5	632,5	284	71			
Minha kapı	100	210		4,2			
Minha p2				0,5			
Minha süpürgelik			8	2,8072			
Ayırıcı duvar	632,5	284		35,926			
				99,4188	4	397,6752	m2
Tavan boyası				37,457	4	149,828	m2

Şekil 3.25 Normal kat boya hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

3.3.3.7 Parke ve fayans metraj hesaplamalarında kullanılan analitik formüller

Parke, fayans, terazzo vb. yer kaplama malzemelerinin metraj hesaplamaları benzer analitik formüllerle yapılmaktadır. Projede belirtilen alanın yer kaplaması ne ise dikkat edilip ona göre metraj hesaplamalarına katılmalıdır. Şekil... verilen çalışma odası kesitinde döşeme malzemesi olarak laminant parke uygun görülmüştür. Laminant parke ile duvar birleşim köşe kısımlarında süpürgelik imalatı yapılacaktır.



Şekil 3.26 Örnek çalışma odası çizimi ve ölçüleri

Şekil 3.26'e göre yapılacak olan laminant parke metraj hesaplamalarında;

Çalışma odası eni=A

Çalışma odası boyu=B

S101 kolonu dış uzunlukları= a, b

S102 kolonu dış uzunlukları= c, d

S103 kolonu dış uzunlukları= g, h

S104 kolonu dış uzunlukları= e, f

(a = S101 kolonu eni-duvar kalınlığı, b=S101 kolonu boyu-duvar kalınlığı)

(d = S102 kolonu eni-duvar kalınlığı, c=S102 kolonu boyu-duvar kalınlığı)

(h = S103 kolonu eni-duvar kalınlığı, g=S103 kolonu boyu-duvar kalınlığı)

(e = S104 kolonu eni-duvar kalınlığı, f=S104 kolonu boyu-duvar kalınlığı)

Kapı genişliği= k

Duvar eni= x olarak belirlenmiştir.

Laminant parke yüzey alanı=A*B

$$\text{Minha S101} = a * b$$

$$\text{Minha S102} = c * d$$

$$\text{Minha S103} = g * h$$

$$\text{Minha S104} = e * f$$

$$\text{Kapı eşik alanı} = k * x$$

$$\text{Laminant parke net yüzey alanı} = (A * B - a * b - c * d - g * h - e * f + k * x) / 10^4 \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

Süpürgelik metraj hesaplama işlemi yapılırken;

$$\text{Süpürgelik net uzunluğu} = 2 * (A + B) - k \text{ m' dir.}$$

3.3.3.8 Parke-fayans metrajı hesaplama

Parke metrajı hesaplanırken işlem yapılan bölmenin en ve boy ölçüleri çarpılarak alan hesabı yapılmıştır. Elde edilen alandan kolon iz düşüm alanları minhalanmıştır. Kapı eşiğinin iç kısmına da parke yapılacağı için kapı eni ve boyu çarpılarak elde edilen sonuç hesaba eklenmiştir. Benzeri ölçülere sahip alanlar metraj hesabına benzer olan alan sayısı kadar benzeri sütununa yazılmış ve ilgili mekânın alanı ile çarpılarak toplam alan elde edilmiştir.

Zemin katta fayans metraj hesabı yapılırken işlem yapılacak olan alanın en ve boy değerleri çarpılmıştır. Elde edilen alan hesabından kolon iz düşüm alanları ve bölme duvar alanı (duvar eni*duvar uzunluğu) minhalanarak net fayans alanı elde edilmiştir.

PARKE-FAYANS						
PARKE						
	En	Boy	Alan	Benzeri	Toplam	
A1C2 Parkesi	1132,5	632,5	71,63063			
Minha kolon			1,033125			
Kapı eşiği	94	15	0,141			
			70,739	4	282,954	m2
	En	Boy	Alan	Benzeri	Toplam	
D1E2 Parkesi	617,5	632,5	39,05688			
Minha kolon			0,40			
Kapı eşiği	94	15	0,141			
Minha kılıcına duvar	632,5	10	0,6325			
			38,17	4	152,664	m2
	En	Boy	Alan	Benzeri	Toplam	
B2C3 Seramik	535	685	36,6475			
Minha kolon			0,30			
Kapı eşiği	94	15	0,423			
			36,77	2	73,536	m2
	En	Boy	Alan	Benzeri	Toplam	
Tuvalet fayans	582,5	685	39,90125			
Minha			0,39875			
Minha ayırıcı duvar	200	10	1			
Minha kılıcına duvar	685	10	0,685			
Kapı eşiği	10	86	0,516			
			38,3335	2	76,667	m2

Şekil 3.27 Normal kat parke-fayans hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

3.3.3.9 Süpürgelik metrajı hesaplama

Süpürgelik metraj hesabı yapılırken hesap yapılan bölmeye ait duvar uzunlukları toplanarak metre cinsinden sonuç elde edilmiştir. Kolon dış kısımları da uzunluk olarak hesaplanarak toplanmıştır. Duvarda bulunan kapı ölçüsü de metre cinsinden minhalanarak hesap yapılan bölmenin süpürgelik metrajı hesaplanmıştır.

SÜPÜRGELİK					
	En	Boy	Uzunluk	Benzeri	Toplam
A1C2	1132,5	632,5	35,3		
Kolon dış 1		45	0,9		
Kolon dış 2		27,5	0,55		
Minha kapı	100		2,36		
			34,39	4	137,56 m
	En	Boy	Uzunluk	Benzeri	Toplam
D1E2	617,5	632,5	25		
Minha ayırıcı duvar kalınlık			0,2		
Ayrıcı duvar			12,65		
Minha kapı	100		2,36		
			35,09	4	140,36 m
	En	Boy	Uzunluk	Benzeri	Toplam
B2C3	535	685	24,4		
Minha kapı	100		4,72		
			19,68	2	39,36 m
	En	Boy	Uzunluk	Benzeri	Toplam
D2E3	617,5	685	26,05		
Minha kapı	100		2,36		
			23,69	2	47,38 m
Toplam süpürgelik uzunluğu normal kat	364,66 m				

Şekil 3.28 Normal kat süpürgelik hesabı için veri girişi ve metraj hesaplamaları

3.4) Adam-saat ve malzeme tablosu

İş kalemlerinin gerçekleştirilebilmesi için gereken malzeme miktarı ve işçilik miktarları bu aşamada hesaplanır. Her bir iş kalemi için önce inşaat tekniği seçilir, ardından seçilen tekniğe göre poz tarifi atanır. Adam-saat ve malzeme tablosu hazırlanırken iş kalemleri ile ilgili hesaplanan metraj ve poz tariflerinde birim iş için gerekli olan malzeme ve işçilik hesaplamalarından yararlanılmıştır. Adam-saat tablosu hazırlanacak olan her kalem için metraj değerinin bir işçinin veya bir ustanın günlük yapabileceği iş miktarına bölünmesi ile yevmiye miktarları hesaplanmıştır. Günlük çalışma süresi 10 saat olarak belirlenmiştir. Usta, usta yardımcısı ve düz işçi hesaplamaları iş kaleminin normal şartlar altında gerçekleşmesi beklenen işçi verimi dikkate alınarak adam.saat birimine göre belirlenmiştir. Adam.saat ile ilgili yapılacak olan iş kaleminde usta, usta yardımcısı, düz işçi sayıları Eşitlik 1'de verilen analitik formüllerle hesaplanmıştır. İş kaleminin süresi kullanıcı tarafından atanmaktadır. Bu tabloda iş kalemlerinin kaç gün süreceği belirlendikten sonra bu imalatlar yapılırken çalışması gereken usta, usta yardımcısı ve düz işçi sayıları hesaplanmıştır.

$$AT_{a,k,p} = \left\lceil \frac{(\text{Metraj}_{a,k}) * \sum_x^{ps} x,p}{\text{Süre}_a * GCS} \right\rceil \quad (1)$$

$$M_{a,k,s} = \frac{(\text{Metraj}_{a,k}) * \sum_x^{ps} \text{POZ}_{x,s}}{\text{Süre}_a * GCS} \quad (2)$$

Adam saat ve malzeme miktarı Eşitlik 2’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Eşitlik 2’de $AT_{a,k,p}$ k’ninci kattaki a’ninci aktivitenin tamamlanması için tayin edilmesi gereken p’ninci personel sınıfının adam.saat değerini vermektedir. $M_{a,k,s}$ a ’ninci aktivitenin tamamlanması için kullanılması gereken s’ninci malzeme sınıfının miktarını, $\text{Metraj}_{a,k}$ a aktivitesinin k’ninci kattaki toplam metrajını belirtmektedir. POZ_a a’ninci aktivitenin iş tarifini ifade etmektedir. ps sisteme kayıtlı poz adetini ifade etmektedir. Süre_a ifadesi a aktivitesinin çalışma günü süresini, GCS günlük çalışma saati değerini ifade etmektedir.”[]” ifadesi denklemde elde edeceğimiz küsuratlı sonuçlar için yukarı yuvarlama anlamına gelmektedir. Tablo 3.7’de görüldüğü gibi metraj değeri birim zamanda yapılacak olan imalata bölünür ve çıkan sonuç bir üst sayıya tamamlanır. Böylece her iş kalemi için günlük çalışması gereken usta sayısı belirlenmiş olur.

Malzeme miktarı belirlenirken hangi kalem için işlem yapılıyorsa birim metrajda kullanılacak malzeme miktarı için Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın yayınladığı poz tariflerinden yararlanılmıştır. Birim metrajda kullanılacak olan malzeme miktarları ile hesaplanan metraj değeri çarpılarak kullanılması gereken malzeme miktarı elde edilmiştir. Oluşturulan bu tabloda her kalem için ayrı ayrı işlem yapılmıştır. Şantiyede kullanılacak her bir malzeme cinsi için toplam malzeme miktarı belirlenmiştir. Bu tablodan yararlanılarak malzeme tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 3.7 Usta,usta yardımcısı, düz işçi sayı belirlemede kullanılan excel formülleri

Soğuk demirci ustası	=EĞER((V31AŞAĞIYUVARLA(V31/(\$X\$27*GünlükÇalışmaSaati);0))*GünlükÇalışmaSaati*\$X\$27)<Fazlamesai;AŞAĞIYUVARLA(V31/(\$X\$27*GünlükÇalışmaSaati);0); YUKARIYUVARLA(V31/(\$X\$27*GünlükÇalışmaSaati);0))

Soğuk demirci usta yardımcısı	EĞER((V32-AŞAĞIYUVARLA(V32/(\$X\$27*GünlükÇalışmaSaati);0)) *GünlükÇalışmaSaati*\$X\$27)<Fazlamesai;AŞAĞIYUVARLA(V32/(\$X\$27*GünlükÇalışmaSaati);0); YUKARIYUVARLA(V32/(\$X\$27*GünlükÇalışmaSaati);0))
Düz işçi	EĞER((V33-(AŞAĞIYUVARLA(V33/(\$X\$27*GünlükÇalışmaSaati);0)) * GünlükÇalışmaSaati*\$X\$27)<Fazlamesai;AŞAĞIYUVARLA(V33/(\$X\$27*GünlükÇalışmaSaati);0); YUKARIYUVARLA(V33/(\$X\$27*GünlükÇalışmaSaati);0))

Normal kat					
	Donatı	İşçilik	Adet	7 gün	
Şantiyeye gelecek (8-12) donatı		13,2934	Ton		
Şantiyeye gelecek (14-28) donatı		9,68479	Ton		
Demir kesme ve bükme makinesi		43,4233	1		
Soğuk demirci ustası		99,5069	2		
Soğuk demirci usta yardımcısı		149,26	3		
Düz işçi		257,819	4		
	Kalıp	İşçilik	Adet	7 gün	
Şantiyeye gel	=EĞER((V31-(AŞAĞIYUVARLA(V31/(\$X\$27*GünlükÇalışmaSaati);0))* GünlükÇalışmaSaati*\$X\$27)<Fazlamesai;AŞAĞIYUVARLA(V31/(\$X\$27* GünlükÇalışmaSaati);0);YUKARIYUVARLA(V31/(\$X\$27*GünlükÇalışmaSaati);0))				
Bağlantı malz					
Kalıp yağı					
1 kesitli ahşap					
Çatal çivi		135,927	kg		
Çiviler		271,853	kg		
Marangoz ustası		373,798	6		
Marangoz usta yardımcısı		373,798	6		
Düz işçi		254,862	4		
	Beton dökme			1 gün	
Betoncu ustası		16,69	2		
Düz işçi		33,37	4		
	Priz alma süresi			4 gün	

Şekil 3.29 Adam-saat ve malzeme hesaplamaları

3.5) Süre ve Ekip Hesaplamaları

İş kalemlerinin süre ve ekip büyüklüğü analizleri yapılırken adam-saat tablosunda hesaplanan işçilik gereksinimlerinden ve kullanıcının belirleyeceği tamamlanma süresinden yararlanılmıştır. Kalıp, donatı, beton, dış duvar, iç duvar, iç sıva, dış sıva, parke, fayans, boya, parke iş kalemlerinin bodrum, zemin ve normal katta çalışacağı usta, usta yardımcısı ve işçi sayıları tablo haline getirilip düzenlenmiştir. Kalıp, donatı, beton, dış duvar, iç duvar, iç sıva, dış sıva, parke, fayans, boya, parke, kazı işleri, temel donatı,

mekanik işleri, beton kürü, kalıp sökme süreleri, elektrik tesisat ve mekanik işleri gibi iş kalemlerinin süreleri de tablo haline getirilmiştir. Süre ve ekip analizleri gerçekleştirilen tablo iki bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm adam saat tablosunda hesaplanan değerlerin düzenli hale getirilmesiyle oluşturulmuştur. Her iş kalemi için ayrı ayrı gerekli olan günlük usta, usta yardımcısı ve düz işçi hesaplamaları tek tabloda birleştirilmiştir. Bundan sonra yapılacak olan işlemlerde kullanılacak olan değerler tablonun ilgili satırından elde edilmiştir.

İkinci bölümde ise her iş kalemi için 25000 adet süre tayin edilmiştir. Süreler değişiklik gösterdikçe imalat için gerekli olan işçi ve usta sayısı da otomatik olarak değişmektedir.

KALIP									
	Bodrum(işçi)	Zemin(işçi)	Normal kat(işçi)		Normal kat bitiş süresi	5,441907687 gün	1,088382	54	
Marangoz ustası	4	4	6		Zemin kat bitiş süresi	7,212228175 gün	1,442446	55	
Marangoz ustası yrd	4	4	6		Bodrum kat bitiş süresi	9,14455268 gün	1,828911	56	
Düz işçi	3	3	4						
DONATI									
	Bodrum(işçi)	Zemin(işçi)	Normal kat(işçi)		Normal kat bitiş süresi	8,517432664 gün	1,703487	57	
Kesme makinesi	1	1	1		Zemin kat bitiş süresi	6,748257559 gün	1,349652	58	
Soğuk demir ustası	2	2	2		Bodrum kat bitiş süresi	6,272483476 gün	1,254497	59	
Soğuk demir usta yardımcısı	3	3	3						
Düz işçi	5	5	4						
BETON									
	Bodrum(işçi)	Zemin(işçi)	Normal kat(işçi)		Normal kat bitiş süresi	1 gün	0,2		
Beton ustası	2	2	2		Zemin kat bitiş süresi	1 gün	0,2		
Düz işçi	5	5	4		Bodrum kat bitiş süresi	1 gün	0,2		
Beton vibratör	1	1	1						
					Priz alma süresi	4 gün	0,8		

Şekil 3.30 Süreler ekipler tablosu

3.6 Rayiçler Tablosu

Rayiçler tablosu Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yayımladığı birim fiyat tablosuna göre hazırlanmıştır. Tablo hazırlanırken hesaplanan maliyetlerde gerçeğe yakın değerler elde etmek için inşaat malzeme fiyatlarının bazıları güncel değerlere göre düzenlenmiştir. Bu bölümde şantiyenin maliyet hesaplama işlemleri ile alakalı işlemler yapılmıştır. Rayiçler tablosu iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde bir yıl 3 aylık 4 periyoda bölünerek her periyot için malzeme fiyatları %50 arttırılmıştır. Her iş kalemi için 2023/1-2023/2-2023/3-2023/4-2024/1-2024/2-2024/3-2024/4 olacak şekilde 8 ayrı periyotta işlem yapılmıştır.

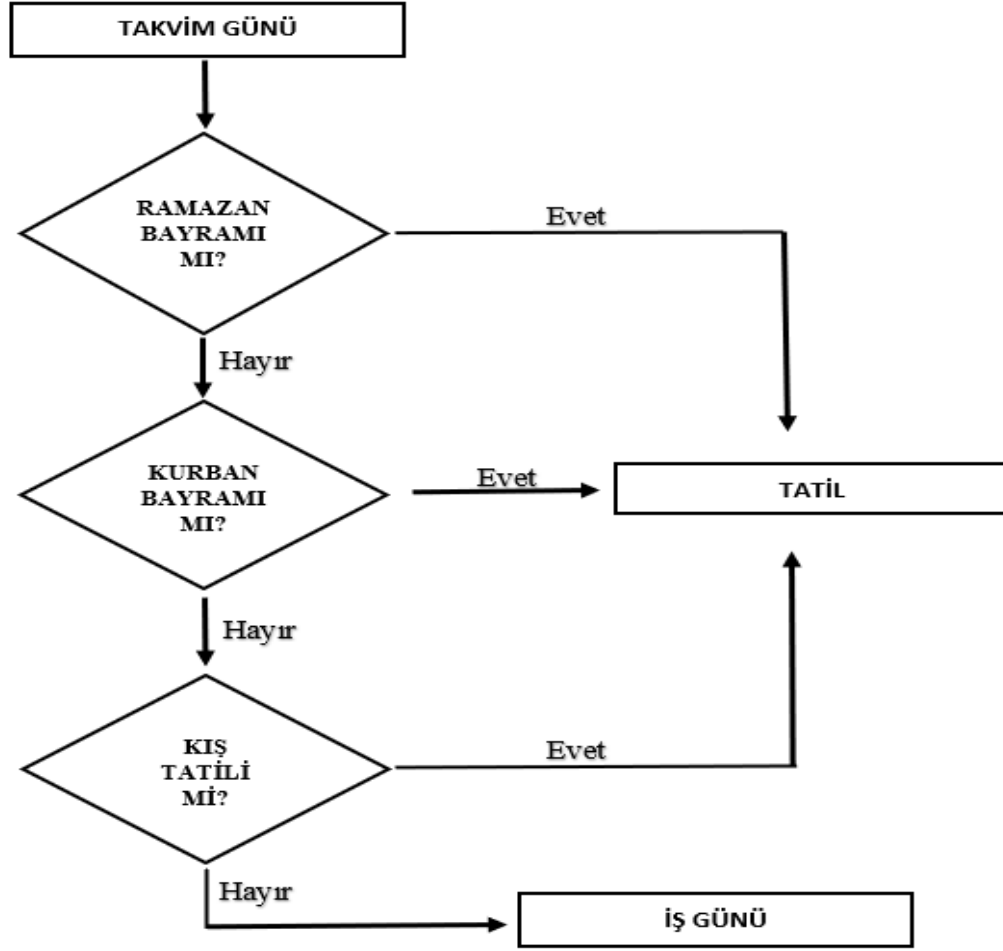
Rayiçlerin tanıtılması ve rayicin geçerli olduğu periyodun gösterimi Şekil 3.31'de sunulmuştur. Tanımlanan rayiç değerleri ilgili malzeme veya işçilikle ilişkilendirilerek imalatın gerçekleştiği tarih dikkate alınarak maliyet hesaplanır.

	2023-1	2023-2	2023-3	2023-4	2024-1	2024-2	2024-3	2024-4	STANDART SAPMA ORANI	2023-1	2023-2	2023-3	2023-4	2024-1	2024-2	2024-3	2024-4
Donatı									0,2								
Şantiyeye gelecek (8-12) donatı	12967,5	16209,38	19451,25	22893,13	25935	29825,25	32418,75	35012,25		1	2.593,50	3.241,88	3.890,25	4.538,63	5.187,00	5.965,05	6.483,75
Şantiyeye gelecek (14-28) donatı	12967,5	16209,38	19451,25	22893,13	25935	29825,25	32418,75	35012,25		2	2.593,50	3.241,88	3.890,25	4.538,63	5.187,00	5.965,05	6.483,75
Kalıp																	
Şantiyeye gelecek kalıp	285,00	356,25	427,5	498,75	570	655,5	712,5	769,5		3	57,00	71,25	85,50	99,75	114,00	131,10	142,50
Bağlantı malzemesi	285,00	356,25	427,5	498,75	570	655,5	712,5	769,5		4	57,00	71,25	85,50	99,75	114,00	131,10	142,50
Kalıp yağı	13,50	16,875	20,25	23,625	27	31,05	33,75	36,45		5	2,70	3,38	4,05	4,73	5,40	6,21	6,75
İhtesil alıncı kırış	140,00	175	210	245	280	322	350	378		6	28,00	35,00	42,00	49,00	56,00	64,40	70,00
Beton dökme																	
Beton	1400,00	1750	2100	2450	2800	3220	3500	3780		7	280,00	350,00	420,00	490,00	560,00	644,00	700,00
Duvar																	
Dış duvar(Gaz beton)																	
Gaz beton	272,5	340,625	408,75	476,875	545	626,75	681,25	735,75		8	54,50	68,13	81,75	95,38	109,00	125,35	136,25
Tutkal	3,47	4,3375	5,205	6,0725	6,94	7,981	8,675	9,369		9	0,69	0,87	1,04	1,21	1,39	1,60	1,74
İç duvar																	
Tuğla	2,40	3	3,6	4,2	4,8	5,52	6	6,48		10	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96	1,10	1,20
Kireç harcı	763,21	954,0125	1144,815	1335,618	1526,42	1755,383	1908,025	2060,667		11	152,64	190,80	228,96	267,12	305,28	351,08	381,61
Kum(tuvenan agregası)	95,00	118,75	142,5	166,25	190	218,5	237,5	256,5		12	19,00	23,75	28,50	33,25	38,00	43,70	47,50
Çimento	1540,00	1925	2310	2695	3080	3542	3850	4158		13	308,00	385,00	462,00	539,00	616,00	708,40	770,00
Sırtmış toz kireci	763,21	954,0125	1144,815	1335,618	1526,42	1755,383	1908,025	2060,667		14	152,64	190,80	228,96	267,12	305,28	351,08	381,61
Su	22,00	27,5	33	38,5	44	50,6	55	59,4		15	4,40	5,50	6,60	7,70	8,80	10,12	11,00
Kılıcına duvar																	
Tuğla	2,40	3	3,6	4,2	4,8	5,52	6	6,48		16	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96	1,10	1,20
Kireç harcı	763,21	954,0125	1144,815	1335,618	1526,42	1755,383	1908,025	2060,667		17	152,64	190,80	228,96	267,12	305,28	351,08	381,61
Kum(tuvenan agregası)	95,00	118,75	142,5	166,25	190	218,5	237,5	256,5		18	19,00	23,75	28,50	33,25	38,00	43,70	47,50
Çimento	1540,00	1925	2310	2695	3080	3542	3850	4158		19	308,00	385,00	462,00	539,00	616,00	708,40	770,00
Sırtmış toz kireci	763,21	954,0125	1144,815	1335,618	1526,42	1755,383	1908,025	2060,667		20	152,64	190,80	228,96	267,12	305,28	351,08	381,61
Su	22,00	27,5	33	38,5	44	50,6	55	59,4		21	4,40	5,50	6,60	7,70	8,80	10,12	11,00

Şekil 3.31 Rayiçler tablosu

3.7 Takvimli İş Programı

Takvimli iş programı oluşturulurken aktivitelere atanan süreler ile çalışılmayan süreler verilerinden yararlanılmıştır. Şantiyenin işe başlama tarihi olarak 01.04.2023 tarihi belirlenmiştir. İşe başlama tarihi veriler tablosundan manuel olarak girilebilmektedir. Her kalem için erken başlangıç, erken tamamlama, tatil süresi ve bitiş tarihi hesaplanmıştır. Her kalem için erken başlangıç süresine süreler ekipler tablosunda hesaplanan imalat süresi eklenerek erken tamamlanma süresi hesaplanmıştır. Erken başlangıç ve erken tamamlanma süreleri arasında tatil günleri var ise tatil olan gün sayısı kadar erken tamamlama süresine eklenerek bitiş tarihi belirlenmiştir. Tatil günlerinin belirlenmesi Şekil 1’de gösterilen algoritma akış şeması ile açıklanmıştır. Tarihler hesaplanırken şantiyenin başlangıç tarihinden itibaren tarihler sıralı bir şekilde ilerletilmiştir. İş kalemlerinin birbiriyle bağlantılı olan durumları sıralamayı oluştururken dikkate alınmıştır. Tüm iş kalemlerinin hangi tarihte başladığı ve bitirildiği hesaplanmıştır. Aktiviteler arasındaki fiziksel ve mantıksal koşullar dikkate alınarak başlangıç ve bitiş tarihleri dikkate alınır. Kalıp ve donatı işleri tamamlanmadan beton dökümüne başlanamaz. Bu nedenle beton dökümü ile kalıp ve donatı işleri arasında bitince başlar türü ilişkiler kurulmuştur. Beton dökme erken başlangıç tarihi, kalıp ve demir kalemlerinin bitiş tarihlerine göre oluşturulmuştur. Hangi kalem daha geç bitiyor ise beton dökme için erken başlangıç tarihi o iş kaleminin bitiş tarihi olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.32 Tatil günleri kontrolü algoritma şeması

Takvimli iş programında iş yapılan günün tatil olup olmadığı kontrolü Şekil 3.32’de verilen algoritma ile yapılmıştır. İş programı tablosu belirlenirken 2023-2024 yıllarındaki bayram günlerinde ve 01.01.2024-01.03.2024 tarihleri arasında kış tatili verilmiştir.

$$işgünü(x) = \begin{cases} x = rb & \text{ise } x = 3 \\ x = kt & \text{ise } x = 4 \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{değilse} \\ \text{değilse} \end{matrix} \quad \begin{matrix} x = 0 \\ x = 0 \end{matrix} \quad (3)$$

Eşitlik 3’de x iş takviminde iş başlangıç tarihinden itibaren sıralı bir şekilde takvim günlerini, rb ramazan bayramı tatil günlerini, kt kurban bayramı tatil günlerini, ifade etmektedir. Tatil günleri veriler tablosunda belirtilmiştir. İş kaleminin başlama tarihi ramazan bayramına denk geliyorsa 3 gün, kurban bayramına denk geliyorsa 4 gün tatil verilmiştir.

$$işgünü(x) = \begin{cases} x = yt & \text{ise } x = 01.03.2024 \\ x \neq yt & \text{ise } x \end{cases} \quad (4)$$

Eşitlik 4’de x iş takviminde iş başlangıç tarihinden itibaren sıralı bir şekilde takvim günlerini, yt ise kış tatili günlerini ifade etmektedir. Tatil günleri veriler tablosunda

belirtilmiştir. İş kaleminin başlama tarihi kış tatiline denk geliyorsa söz konusu işin başlangıç tarihi olumsuz kış şartlarından dolayı çalışılmayan sürenin sonuna eklenir.

Algoritmanın uygulanması için gerekli denklemler aşağıdaki Tablo 3.8’de sunulmuştur. İş programının oluşturulması ile ilgili detaylar Bettemir ve Bulak (2022), Bettemir (2018), tarafından gerçekleştirilen çalışmada yer almaktadır.

Tablo 3.8 Takvimli iş tablosunda kullanılan excel formülleri

B1 KAT BETON ERKEN BAŞLANGIÇ	=EĞER(VE(F15<Veriler!\$C\$163;F15>Veriler!\$C\$162);Veriler!\$C\$163;MAK(F14;F15))
B1 KAT BETON ERKEN TAMAMLAMA	=C16+Süreler.ekipler!I20
B1 KAT BETON TATİL GÜNÜ HESAPLAMA	=EĞER(VE((Veriler!\$C\$151+1)>='Takvimli(İŞÇİ)'!C14;Veriler!\$C\$151<='Takvimli(İŞÇİ)'!D14);3;0)+EĞER(VE((Veriler!\$C\$156+1)>='Takvimli(İŞÇİ)'!C14;Veriler!\$C\$156<='Takvimli(İŞÇİ)'!D14);3;0)+EĞER(VE((Veriler!\$H\$151+1)>='Takvimli(İŞÇİ)'!C14;Veriler!\$H\$151<='Takvimli(İŞÇİ)'!D14);4;0)
B1 KAT BETON TAKVİMLİ BİTİŞ GÜNÜ	=D16+E16

[illegible]

Şekil 3.33 Takvimli işçilik tablosu

Şekil 3.33’te verilen takvimli işçilik tablosu örneğinde parke başlangıç tarihi iç sıra başlangıç tarihleri ile ilgili formülasyon oluşturulmuştur. İç sıra 1. Kat başlangıç tarihinden sonra veya iç sıvanın bitiş tarihinden önce parke bitmeyecek şekilde parke başlangıç tarihi formüle edilmiştir.

İş kalemlerinde imalat yapılırken düz işçi, usta yardımcısı ve usta sayıları süreler ekipler tablosundan günlük maliyet ile ilgili rakamlar rayiçler tablosundan çekilip çarpılarak iş kalemlerinin günlük işçilik maliyetleri hesaplanmıştır.

Günlük malzeme kullanımı değerleri hesaplanırken iş kaleminin gerçekleştirilmesi için kullanılması gereken malzeme cinsi ve miktarı değerlerinden yararlanılmıştır. İş kalemlerinde imalat yapılırken hangi malzemelerin gerekli olduğu adam.saat tablosundan çekilerek günlük malzeme maliyeti hesaplanmıştır. İş kalemi için gerekli toplam malzeme maliyeti iş kaleminin süresine bölünerek malzeme günlük kullanımı hesaplanmıştır. Elde edilen günlük maliyetler iş kaleminin süresi ile çarpılarak hesaplama yapılan iş kaleminin toplam maliyet hesabı tamamlanmıştır. Tüm iş kalemlerinin toplam maliyetleri toplanarak inşaattaki tüm malzeme maliyeti hesaplanmıştır.

Şekil 3.34 Malzeme kullanımı tablosu

3.9 Paranın Zaman Değeri Değişimi Tablosu

Paranın zaman değeri değişimi tablosu oluşturulurken, öncelikle "takvimli maliyet" ve "takvimli işçi" tablolarından yararlanılmaktadır. Bu tablolar her bir iş kalemi için ayrı ayrı işçilik ve malzeme miktarlarını hesaplamaktadır. Bu süreçte, takvimli maliyet tablosu, işin gerçekleştirilmesi sırasında ortaya çıkan tüm maliyetlerin detaylı bir dökümünü sunmaktadır. İşçi tablosunda, her iş kalemi için ilgili iş gücü ve zaman diliminin ne kadar gerekli olduğuna dair bilgiler yer almaktadır. Bu iki tablo aracılığıyla elde edilen işçilik ve malzeme tutarları, faizli tablonun oluşturulmasında bir temel oluşturur. Her bir iş kaleminin imalat tarihi ve bu süreçteki toplam işçilik ile malzeme tutarları belirlenerek paranın zaman değeri değişimi tablosu oluşturulmuştur.

İşin başlangıç tarihinden itibaren, her ay için toplam maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Bu süreç, işin ilerlemesiyle birlikte maliyetlerin nasıl değiştiğini görmek açısından önemlidir. Ayrıca, aylık belirlenen maliyetler üzerinde %5 gibi bir faiz oranı uygulanarak, bu maliyetler işin başlangıç tarihine taşınmıştır. Her ay için gerçekleştirilen hesaplamalar, işin başlangıcında toplam faizli maliyetin daha net bir şekilde belirlenmesini sağlamaktadır. Böylece, proje bütçesi üzerinde daha sağlıklı ve anlaşılır bir değerlendirme yapılabilmekte ve maliyet unsurları arasındaki ilişki daha iyi anlaşılabilir.

		MALİYET	GENEL GİDER	TOPLAM MALİYET	5% FAİZLİ MALİYET
				₺60.771.295,28	₺47.310.179,71
1	1.04.2023	₺4.092.160,47	450000,00	₺4.542.160,47	₺4.542.160,47
2	1.05.2023	₺6.171.280,21	465000,00	₺6.636.280,21	₺6.320.266,86
3	1.06.2023	₺3.498.306,64	450000,00	₺3.948.306,64	₺3.581.230,51
4	1.07.2023	₺3.754.005,68	465000,00	₺4.219.005,68	₺3.644.535,74
5	1.08.2023	₺5.170.720,99	465000,00	₺5.635.720,99	₺4.636.521,60
6	1.09.2023	₺6.456.342,69	450000,00	₺6.906.342,69	₺5.411.300,21
7	1.10.2023	₺7.088.711,96	465000,00	₺7.553.711,96	₺5.636.696,17
8	1.11.2023	₺5.088.481,43	450000,00	₺5.538.481,43	₺3.936.095,35
9	1.12.2023	₺4.576.780,52	465000,00	₺5.041.780,52	₺3.412.475,51
10	1.01.2024	₺0,00	0,00	₺0,00	₺0,00
11	1.02.2024	₺0,00	0,00	₺0,00	₺0,00
12	1.03.2024	₺6.832.313,14	465000,00	₺7.297.313,14	₺4.266.587,86
13	1.04.2024	₺3.002.191,56	450000,00	₺3.452.191,56	₺1.922.309,43
14	1.05.2024	₺0,00	0,00	₺0,00	₺0,00
15	1.06.2024	₺0,00	0,00	₺0,00	₺0,00
16	1.07.2024	₺0,00	0,00	₺0,00	₺0,00
17	1.08.2024	₺0,00	0,00	₺0,00	₺0,00
18	1.09.2024	₺0,00	0,00	₺0,00	₺0,00
19	1.10.2024	₺0,00	0,00	₺0,00	₺0,00
20	1.11.2024	₺0,00	0,00	₺0,00	₺0,00
21	1.12.2024	₺0,00	0,00	₺0,00	₺0,00
22	1.03.2025	₺0,00	0,00	₺0,00	₺0,00
23	1.04.2025	₺0,00	0,00	₺0,00	₺0,00

Şekil 3.35 Paranın zaman değeri değişimi tablosu

3.10 Monte Carlo Analizi

Monte Carlo Simülasyonu, girdi parametrelerindeki belirsizliklerin çıktı parametreleri üzerine etkisini istatistiksel şekilde modelleyen bir analiz yöntemidir. Monte Carlo Simülasyonu 5 aşamadan oluşmaktadır.

İlk aşamada, belirsizlik içeren giriş parametreleri ile belirsizliklerin dağılımı ve dağılımın aralığı saptanır. Belirsizliğe sahip giriş parametreleri x_i ile ifade edilir ve ilk adımda her x_i için olasılık dağılımı atanır. İkinci aşamada, aralıklardan ve atanan dağılımlardan örnekler oluşturulur. Bu aşamanın sonunda her bir örnek için n adet rastgele sayı üretilerek m adet örnek oluşturulur.

$$x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}] \quad i=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Eşitlik 5'de n girdi parametrelerinin sayısı, m ise örneklem büyüklüğüdür. Doğru örneklem büyüklüğünün seçilmesi oldukça önemlidir. Örneklem boyutu çok küçükse, girdi parametrelerinin birbirleriyle etkileşimi düzgün bir şekilde modellenemez ve belirsizliklerin etkisi tam olarak ölçülemez. Örneklem boyutunun çok büyük olması durumunda ise modelleme aşırı bellek ve hesap yükü gerektireceğinden çok yüksek kapasiteli bilgisayarların kullanılmasını gerektirecektir. Rastgele sayıların oluşturulması ile ikinci aşama tamamlanmış olur.

Üçüncü aşamada, giriş parametreleri birbirleriyle eşleştirilir ve m adet kombinasyon oluşturulur. Rastgele eşleştirilen giriş parametreleri ile çıkış parametrelerinin oluşumu Eşitlik 6'da gösterilmiştir.

$$y_i = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) = f(x_i) \quad i=1, 2, \dots, m \quad (6)$$

Temelde bu model, değerlerin belirsizliklerini analiz etmek için girdi parametreleri için bir eşleme yapar. $j = 1, 2, \dots, n$ giriş parametreleri her x_{ij} için eşleştirilir ve her giriş parametresi için olasılık dağılımlarına göre rastgele üretilen sayılarla m giriş simülasyon modeli oluşturulur. Oluşturulan modeller, normal dağılım kullanılarak çıktının belirsizliğini tahmin etmek için kullanılır.

Dördüncü aşamada, elde edilen veri setinin y_i değerlerinin ortalamaları alınır.

$$E(y) = \sum_{i=1}^m \frac{y_i}{m} \quad (7)$$

Beşinci aşamada, y_i değerlerinin standart sapma ve giriş parametreleri ile korelasyonu hesaplanır.

$$V(y) = \sum_{i=1}^m \frac{[y_i - E(y)]^2}{m-1} \quad (8)$$

Hesaplamalar sonucunda elde edilen ortalama ve standart sapma değerlerinden bir normal dağılım eğrisi oluşturulur. Belirli bir sonuç için risk analizi z-tablosu aracılığıyla gerçekleştirilir (Sağlam & Bettemir, 2018).

Monte Carlo simülasyonunun inşaat süre ve maliyet belirsizliğini modellemek için 68 adet girdi parametresi incelenmiştir. Tez çalışması kapsamında incelenen girdi parametreleri Tablo 3.10’da sunulmuştur. Birinci aşamada hesaplanan metraj yöntemleri ile alakalı olan malzeme maliyetleri, işçilikler ve şantiyenin süresini belirlemek için imalat yapılan işlerin süreleri ile ilgili 68 adet kalemde işlem yapılmıştır. Monte Carlo simülasyonunun ikinci aşamasında belirlenen girdi parametrelerinin süre ve maliyet değerlerinin normal dağılımına uygun olarak modellenebilecek biçimde belirsizlik içerdiği değerlendirilmiş ve ortalama değerinin %20 ‘si kadar standart sapmaya sahip olacağı kabul edilmiştir.

Tablo 3.9 Girdi parametreleri

GİRDİ PARAMETRELERİ			
1	Çelik Maliyeti	35	Boyacı ustası Maliyeti
2	Şantiyeye gelecek kalıp Maliyeti	36	Fayans ustası Maliyeti
3	Kalıp bağlantı malzemesi Maliyeti	37	Kalıp zemin kat bitiş süresi
4	Kalıp yağı Maliyeti	38	Kalıp bodrum kat bitiş süresi
5	I kesitli ahşap giriş Maliyeti	39	Donatı zemin kat bitiş süresi
6	Beton Maliyeti	40	Donatı bodrum kat bitiş süresi
7	Gaz beton Maliyeti	41	Dış duvar zemin kat bitiş süresi
8	Tutkal Maliyeti	42	İç duvar zemin kat bitiş süresi
9	Tuğla Maliyeti	43	İç sıva zemin kat bitiş süresi

10	Kireç harcı Maliyeti	44	Dış sıva normal kat bitiş süresi
11	Kum(tuvenan agrega) Maliyeti	45	Dış sıva zemin kat bitiş süresi
12	Çimento Maliyeti	46	Parke normal kat bitiş süresi
13	Sönmüş toz kireci Maliyeti	47	Parke zemin kat bitiş süresi
14	Su Maliyeti	48	Fayans normal kat bitiş süresi
15	Kaba Harç Maliyeti	49	Fayans zemin kat bitiş süresi
16	İnce Harç Maliyeti	50	Boya zemin kat bitiş süresi
17	Kum(ince,derz) Maliyeti	51	Çakıl-grobeton süresi
18	Parke Maliyeti	52	Su yalıtımı süresi
19	Şilte Maliyeti	53	Mekanik(temel)
20	Fayans Maliyeti	54	Temel donatı süresi
21	Harç(Fayans) Maliyeti	55	Temel kalıp süresi
22	Zımpara kâğıdı Maliyeti	56	Beton dökme süresi
23	Astar Maliyeti	57	Beton kürü süresi
24	Macun Maliyeti	58	Kalıp sökme(temel) süresi
25	Boya Maliyeti	59	Donatı kalıp süresi aralığı
26	Düz işçi Maliyeti	60	Katlar mekanik süresi
27	Marangoz ustası Maliyeti	61	Kalıp normal kat bitiş süresi
28	Marangoz usta yardımcısı Maliyeti	62	Donatı normal kat bitiş süresi
29	Soğuk demir ustası Maliyeti	63	Dış duvar normal kat bitiş süresi
30	Soğuk demir usta yardımcısı Maliyeti	64	İç duvar normal kat bitiş süresi
31	Betoncu ustası Maliyeti	65	İç sıva normal kat bitiş süresi
32	Duvarcı ustası Maliyeti	66	Boya normal kat bitiş süresi
33	Sıvacı ustası Maliyeti	67	Kazı süresi
34	Sıvacı usta yardımcısı Maliyeti	68	Kalıp sökme süresi

Üçüncü aşamada sayı üretme tablosundan yararlanılmıştır. Sayı üretme tablosu 25000 satırdan ve 137 sütundan oluşmuştur. İlk sütunda 25000 adet 0 ile 1 arasında değer oluşturulmuştur. Oluşturulan değerler iş kalemlerinin önce standart sapması %20 olacak

şekilde sonra ortalamaları hesaplanan değer olacak şekilde oluşturulmuştur. Bu tabloda maliyet ve süre hesaplamalarında yararlanılacak değerler oluşturulmuştur. Maliyet belirleme işlemleri için 37 adet iş kalemi, süre belirlemek için 31 adet iş kalemi değerleri olmak üzere toplamda 68 iş kalemi için işlem yapılmıştır. Bu tabloda oluşturulan 25000 adet değer sonuçlar tablosunda tek tek kaydedilmiştir. Sonuçlar tablosuna kaydedilen değerler sıralı bir şekilde işleme alınmıştır. Örneğin 7 iş günü olarak hesaplanan kalıp imalatı için standart sapması 1.4 ve ortalaması 7 olan 25000 adet değer oluşturulmuştur.

İkinci aşamada 68 girdi parametresi için oluşturulan 25000 adet örnek değer için eşitlik 9'daki analitik formüller kullanılmıştır.

$$x_{in} = x_i \pm (0,2 * x_i) x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i25000}) i = 1,2,3, \dots, 68 \quad (9)$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2		std sapma															
3		0,2															
4				1													
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	

Şekil 3.36 Sayı üretme tablosu

Üçüncü aşamada değerler tablosunda üretilen sayıların sonuçlar tablosuna kaydedilmesi ile birlikte her 68 kalem için 25000 adet hesaplama yapılacak şekilde programlanmıştır. Sayı üretme tablosunda elde edilip sonuçlar tablosuna kaydedilen her satır için ayrı ayrı sonuç elde etmek amaçlanmıştır. Şantiyenin süre hesabı yapılırken süre değişkenleri ile alakalı değerler süreler. ekipler tablosunda, maliyet hesaplama ile alakalı değerler rayiçler tablosunda yerine yazılarak şantiyenin süre ve maliyet sonuçları oluşturulmuştur. Monte Carlo Analizi sırasında rastgele eşleştirme ile oluşturulan girdi parametreleri değerlerinin hesaplamalarda kesintisiz biçimde kullanılabilmesi için ayrı bir tablo oluşturulmuştur. Oluşturulan tabloya makro kodu ile değerler yazdırılmaktadır ve hücre bağlantı formülleri ile ilgili hücreye yazdırılan değer iş programı ve maliyet analizlerinde kullanılmaktadır. Şekil 3.37'de oluşturulan değerler tablosundan bir kesit gösterilmiştir. Bu aşamada kullanılan makro formülleri Şekil 3.38'te verilmiştir.

Bu aşamada yapılan işlemlerin analitik açıklaması Eşitlik 10'de verilmiştir.

$$y_i = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i25000}) = f(x_i) i=1,2, \dots, 25000 \quad (10)$$

1	17009,89		Malzeme ve işçilik bedelleri		
2	288,4554				
3	379,2791				
4	9,674601				
5	168,5839				
6	1812,935				
7	290,1799				
8	3,927229				
9	2,765437				
10	719,9515				
11	99,0716				
12	1094,896				
13	733,8858				
14	21,72699				
15	158,9719				
16	243,734				
17	144,3388				
18	319,0736				
19	2,143905				
20	228,4311				
21	385,4429				
22	1,563453				
23	28,37592				
24	18,47407				
25	63,88194				
26	51,18506				
27	51,58256				
28	48,77441				
29	81,56998				
30	42,92287				

Şekil 3.37 Değerler tablosu

```

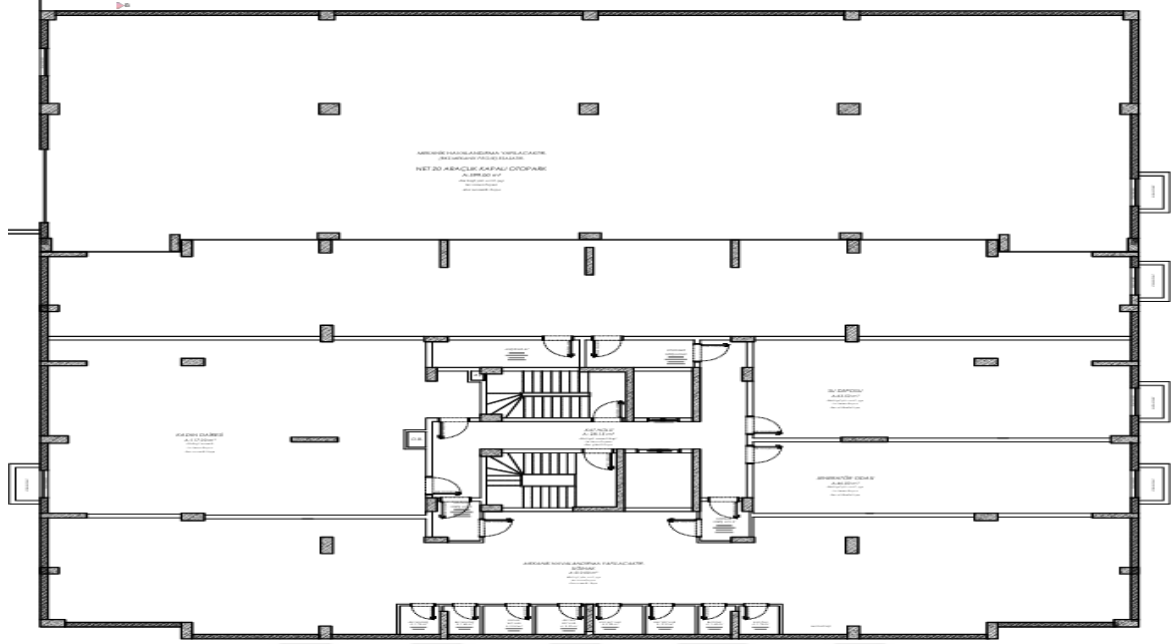
Sub Makrol1()
Dim i, j, k, deneme As Integer
Dim degisken, degisken2, degisken3 As Double
deneme = 25000
For i = 1 To deneme
For j = 1 To 68
Sheets("SONUÇLAR").Select
degisken = Cells(5 + i, 2 + j).Value
Sheets("Degerler").Select
Cells(1 + j, 2).Value = degisken
Next j      ' monte carlo simülasyonu için değer eşlemesi yapıldı
Application.CalculateFull
Sheets("Takvimli (işçi)").Select
degisken = Cells(23, 65).Value      ' Toplam maliyet
degisken2 = Cells(19, 64).Value     ' İnşaat Süresi
degisken3 = Cells(24, 65).Value     ' Faizli toplam maliyet
Sheets("SONUÇLAR").Select
Cells(5 + i, 72).Value = degisken2
Cells(5 + i, 73).Value = degisken
Cells(5 + i, 74).Value = degisken3  ' sonuçlar tabına değer yazdırıldı.
Next i

```

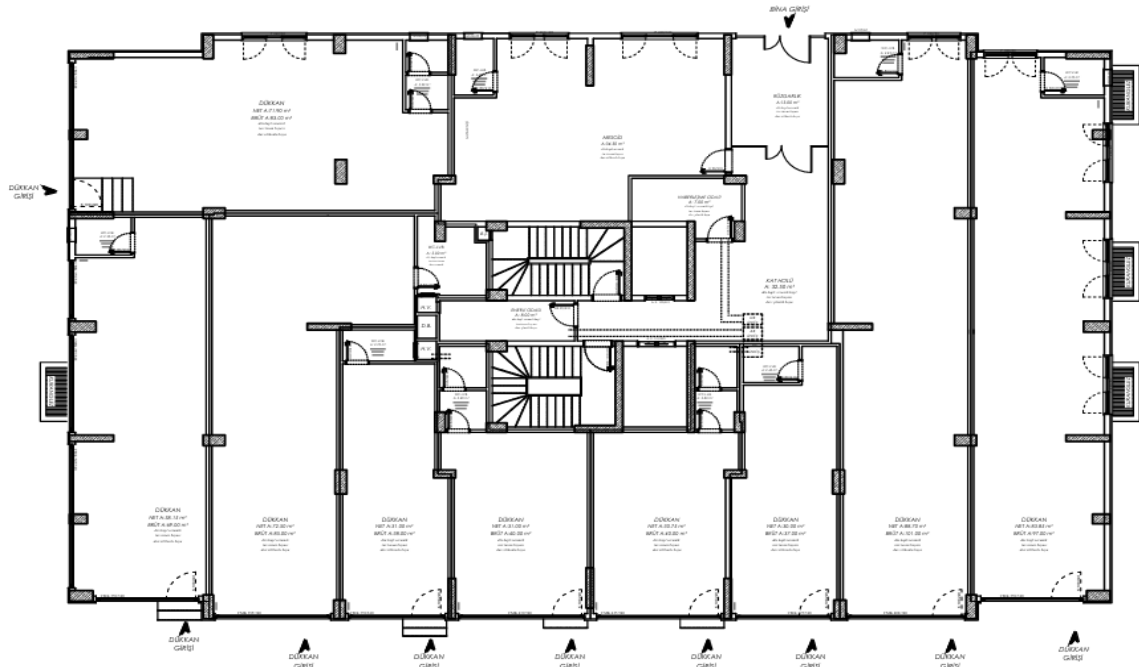
Şekil 3.38 Analizde kullanılan makro formülleri

4. VAKA ANALİZİ

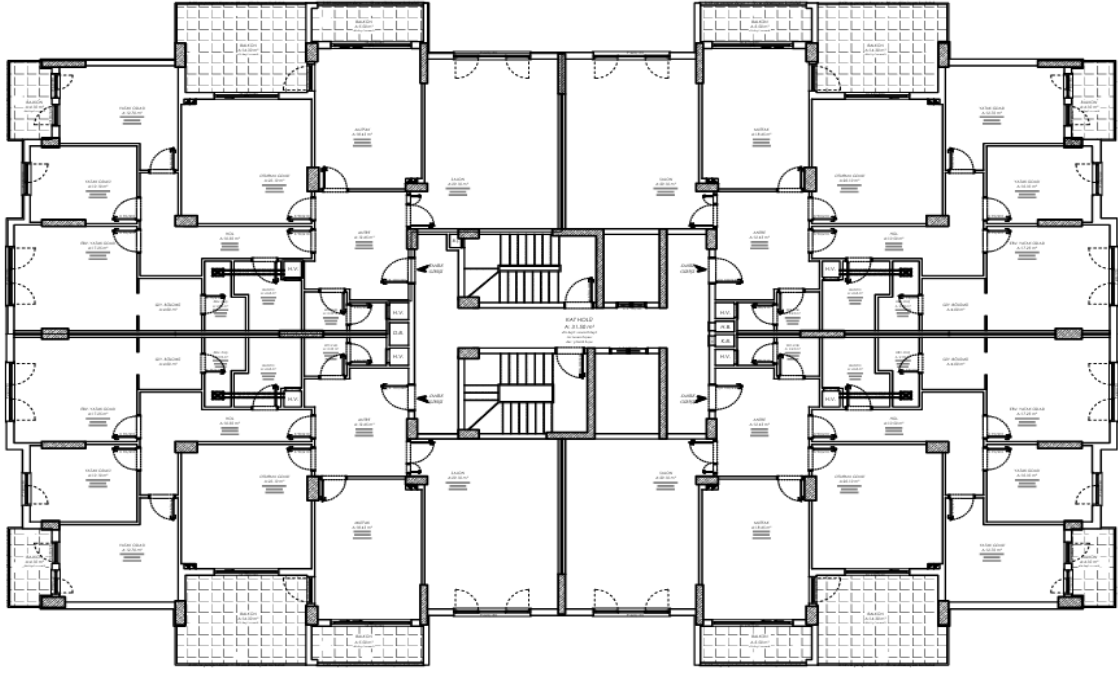
Uygulama geliştirilen bina projesinin bodrum, zemin ve normal kat projeleri verilmiştir.



Şekil 4.1 Bodrum kat planı



Şekil 4.2 Zemin kat planı



Şekil 4.3 Normal kat planı

4.1) Metraj Özeti Tablosu

Metraj özeti tablosunda bodrum, zemin ve normal katta kullanılacak olan kaba işler metrajları (beton, kalıp, donatı) ve ince işler metrajları (dış duvar, iç duvar, tuvalet duvarı, ayırıcı duvar, parke, terazzo, iç sıva, dış sıva, süpürgelik, duvar boyası, tavan boyası, fayans, dış cephe boyası, mantolama) tek tabloda toplanmıştır. Metraj özeti tablosunda kalıp iskelesi ve iş iskelesi hesaplanmıştır.

Metraj özeti tablosu hazırlanırken elde edilen tüm metraj değerlerinin düzenli bir tablo haline getirilmesi amaçlanmıştır. Bu tabloya kadar yapılan tüm metraj hesaplamaları değişiklik gösterdikçe tablodaki değerler otomatik olarak güncellenecektir. Düzenli tablo haline getirmek bundan sonra yapılacak olan hesaplamaları kolaylaştıracaktır. Bu işlemin devamında işçilik ve malzeme hesaplamalarında bu tablodan faydalanılacaktır. Metraj özeti tablosu tüm iş kalemleri için şu ana kadar hesaplanan metrajların toplanması ile hesaplama yapılan projede hangi kalemden ne kadar kullanılacağı bilgisine ulaşabilmek için yardımcı olacaktır.

Tablo 4.1 Metraj özeti tablosunda kullanılan excel formülleri

BODRUM KAT KALIP	=Bodrumkolonkalip+Bodrumkiriskalipalani+Bodrumdösem ekalipalani+Bodrumperdekalipalani
------------------	--

BODRUM			ZEMİN			KALIP İSKELESİ				
Bodrum Beton	278,953	m3	Dış Duvar	156,3	m2	En	Boy	Yükseklik	Toplam	
Bodrum Kalıp	1691,89	m2	İç Duvar	218,14	m2	Bodrum	3550	2000	264	1874,4
Bodrum İnce Donatı	16,6959	kg	Tuvalet Duvarı	52,09	m2	Normalkat	3610	2030	284	2081,24
Bodrum Kalıp Donatı	7,04311	kg	Ayrıncı Duvar	71,852	m2					
			Parke	294,141	m2					
			İç Sıva	1529,8665	m2					
			Dış Sıva	295,088	m2					
ZEMİN						İŞ İSKELESİ				
Zemin Beton	222,487	m3	Süpürgelik	332,48	m	En	Boy	Yükseklik	Alan	
Zemin Kalıp	1359,27	m2	Duvar Boyası	918,3512	m2	3610	2030	300	338,4	m2
Zemin Donatı İnce	12,6604	kg	Tavan Boyası	592,4485	m2					
Zemin Donatı Kalın	9,05121	kg	Tuvalet fayans	76,667	m2					
			Terazzo	261,39275	m2					
						=Bodrumkolonkalıp+Bodrumkıriskalıpalanı+Bodrumdösemekalıpalanı +Bodrumperdekalıpalanı				
NORMAL KAT			NORMAL KAT							
Üst Kat Beton	222,487	m3	Dış Duvar	156,3	m2					
Üst Kat Kalıp	1359,27	m2	İç Duvar	247,57	m2					
Üst Kat İnce Donatı	12,6604	kg	Tuvalet Duvarı	52,09	m2					
Üst Kat Donatı Kalın	9,05121	kg	Ayrıncı Duvar	71,852	m2					
			Parke	509,154	m2					
			İç Sıva	1638,895	m2					
			Dış Sıva	295,088	m2					
			Süpürgelik	364,66	m					
			Boya	1576,7078	m2					
			Tuvalet fayans	76,667	m2					
			Dış Cephe Boyası	295,088	m2					
			Mantolama	105	m2					

Şekil 4.4 Metraj özeti tablosu

Projeleri verilen inşaat için hesaplanan süre ve maliyet hesaplamaları için gerekli olan işlemler tamamlanınca standart sapma işleme katılmadan hesaplanan maliyet 60.706.427,84 TL, süre ise 368,6 gün olarak hesaplanmıştır. Standart sapma değeri %20 olacak şekilde değerler elde edilip 25000 adet maliyet ve süre değeri elde edilmiştir. Elde edilen değerler sonucunda 68 iş kalemi için süre ve maliyet korelasyon değerleri hesaplanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 İnşaat Süresi İle İlgili Sonuçlar

5.1.1 İnşaat süresi ile zayıf etkileşimli girdi parametreleri

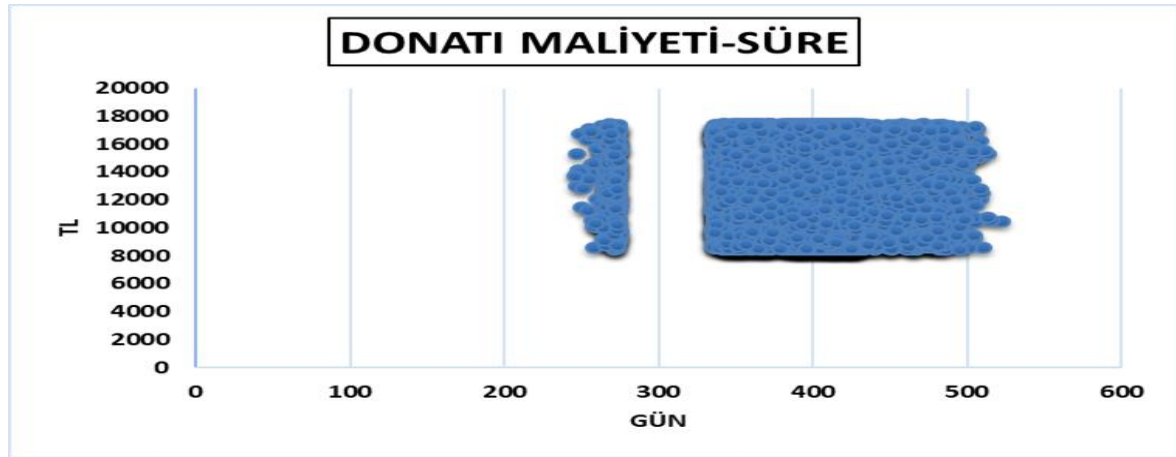
Korelasyon değeri -0,1 ile 0,1 arasında olan girdi parametrelerinin inşaat süresi ile zayıf bir etkileşim içerisinde olduğu kabul edilmektedir. Bu kabulden anlaşılabileceği üzere süre ile zayıf etkileşim içerisinde olan girdi parametrelerinin inşaat süresinin uzaması veya kısılması sonucunda toplam maliyete önemli ölçüde etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Girdi parametrelerinin inşaat süresi ile zayıf etkileşim içerisinde olması aktivitenin kısa sürede tamamlanması veya inşaatın geneline yayılmamasından kaynaklanması sonucunda olabileceği gibi inşaatın toplam maliyeti üzerindeki etkisinin az olmasından da kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. Zayıf korelasyonlu işlerin süre uzatımı sonucunda inşaat toplam maliyetine çok fazla etkisinin olmayacağı değerlendirilmektedir.

Tablo 5.1 Süre ile zayıf etkileşim oluşturan girdi parametreleri

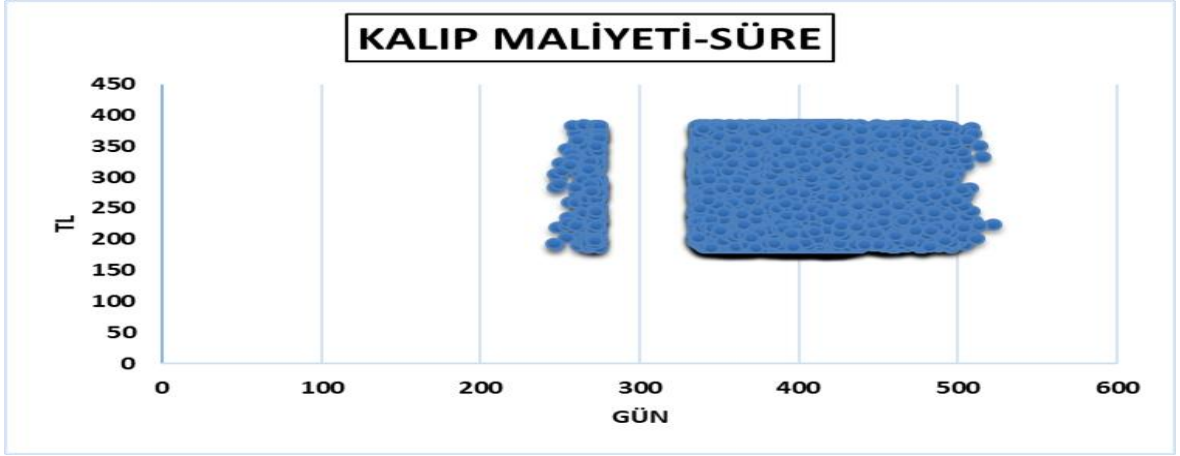
SÜRE İLE ZAYIF ETKİLEŞİM OLUŞTURAN GİRDİ PARAMETRELERİ			
No	İş Kalemi	Korelasyon Değeri	Kısmi Türev
1	Donatı Maliyeti	0,021	0
2	Kalıp Maliyeti	0,0009	0
3	I Kalıp bağlantı malzemesi Maliyeti	0,0102	0
4	Kalıp yağı Maliyeti	0,00293	0
5	I kesitli ahşap kiriş Maliyeti	0,0039	0
6	Beton Maliyeti	0,0008	0
7	Gaz beton Maliyeti	0,0027	0
8	Tutkal Maliyeti	0,0079	0
9	Tuğla Maliyeti	0,0078	0
10	Kireç harcı Maliyeti	0,0032	0
11	Kum(tuvenan agregası) Maliyeti	0,00043	0

12	Çimento Maliyeti	0,0028	0
13	Sönmüş toz kireci Maliyeti	0,00201	0
14	Su Maliyeti	0,01213	0
15	Kaba Harç Maliyeti	0,0044	0
16	İnce Harç Maliyeti	0,0035	0
17	Kum(ince) Maliyeti	0,00562	0
18	Parke Maliyeti	0,00595	0
19	Şilte Maliyeti	0,0011	0
20	Fayans Maliyeti	0,0045	0
21	Harç(Fayans) Maliyeti	0,0038	0
22	Zımpara kâğıdı Maliyeti	0,00101	0
23	Astar Maliyeti	0,0034	0
24	Macun Maliyeti	0,003	0
25	Boya Maliyeti	0,0147	0
26	Düz işçi Maliyeti	0,00031	0
27	Marangoz ustası Maliyeti	0,0044	0
28	Marangoz usta yardımcısı Maliyeti	0,0002	0
29	Soğuk demir ustası Maliyeti	0,0035	0
30	Soğuk demir usta yardımcısı Maliyeti	0,0066	0
31	Betoncu ustası Maliyeti	0,00023	0
32	Duvarcı ustası Maliyeti	0,0034	0
33	Sıvacı ustası Maliyeti	0,0039	0
34	Sıvacı usta yardımcısı Maliyeti	0,0014	0
35	Boyacı ustası Maliyeti	0,00348	0
36	Fayans ustası Maliyeti	0,0015	0
37	Kalıp zemin kat bitiş süresi	0,0127	0
38	Kalıp bodrum kat bitiş süresi	0,00186	0
39	Donatı zemin kat bitiş süresi	0,062	0,0075
40	Donatı bodrum kat bitiş süresi	0,0645	0,09
41	Dış duvar normal kat bitiş süresi	0,0730	0,6788
42	Dış duvar zemin kat bitiş süresi	0,034	0,007
43	İç duvar zemin kat bitiş süresi	0,075	0,0075

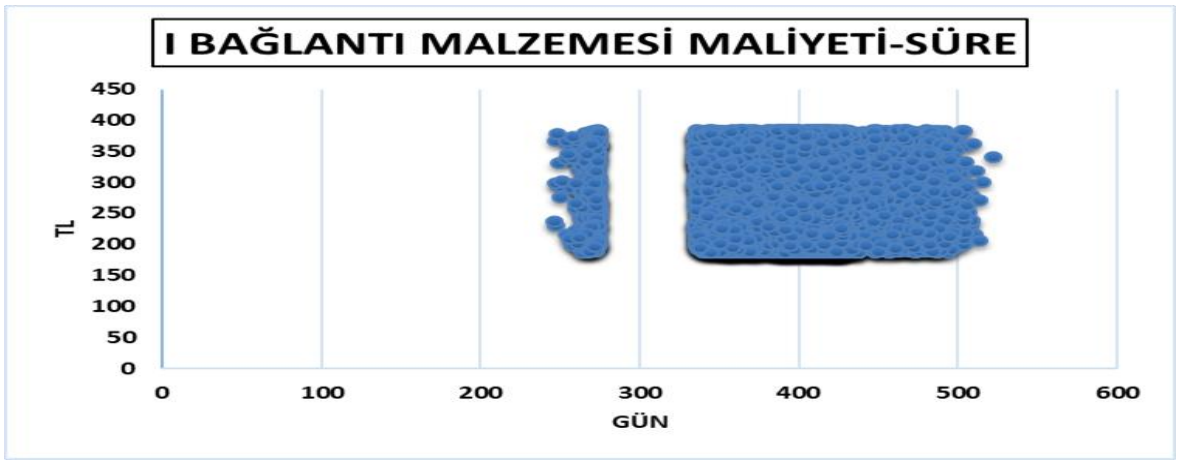
44	İç sıva zemin kat bitiş süresi	0,038	0,0056
45	Dış sıva normal kat bitiş süresi	0,002	0
46	Dış sıva zemin kat bitiş süresi	0,0054	0
47	Parke normal kat bitiş süresi	0,0505	0
48	Parke zemin kat bitiş süresi	0,016	0
49	Fayans normal kat bitiş süresi	0,00262	0,0377
50	Fayans zemin kat bitiş süresi	0,0099	0
51	Boya zemin kat bitiş süresi	0,0477	0,005
52	Çakıl-grobeton	0,0025	0,0009
53	Su yalıtımı	0,0524	0,00566
54	Mekanik(temel)	0,0386	0,00283
55	Temel donatı süresi	0,093	0,01375
56	Temel kalıp süresi	0,0042	0
57	Beton kürü süresi	0,063	0,0056
58	Kalıp sökme(temel)	0,0078	0,0009
59	Donatı kalıp süresi aralığı	0,0045	0
60	Katlar mekanik süresi	0,0031	0



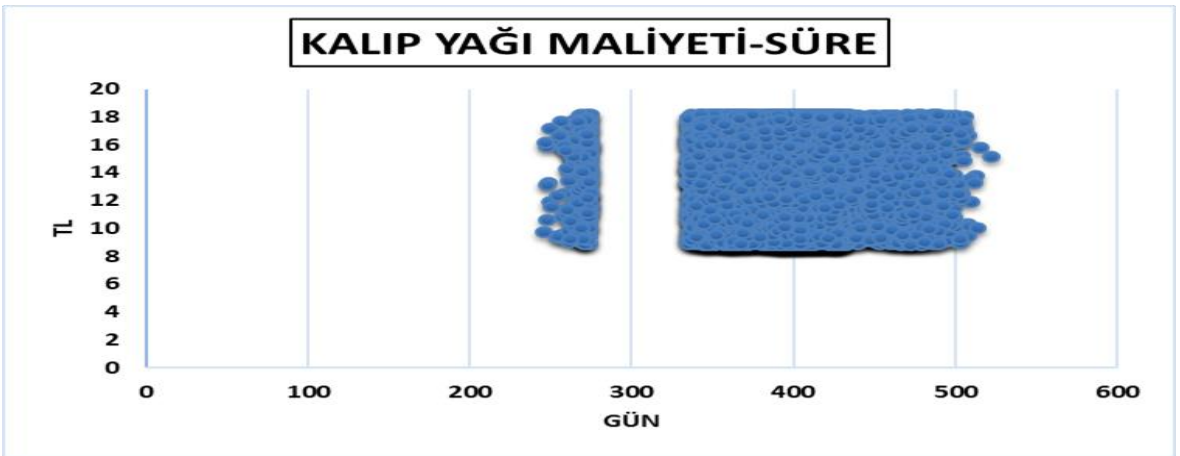
Şekil 5.1 Süre- donatı maliyeti etkileşim grafiği



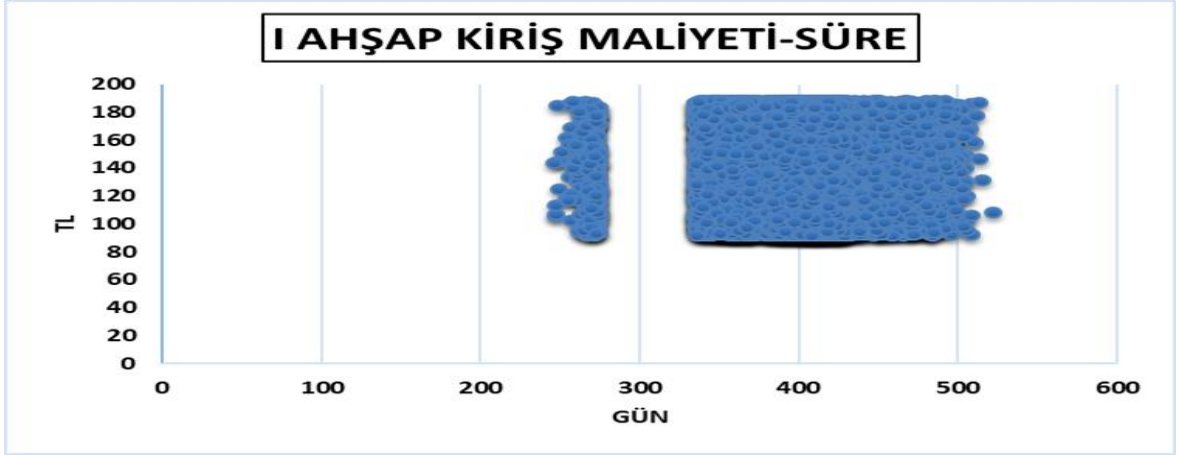
Şekil 5.2 Süre-kalıp maliyeti etkileşim grafiği



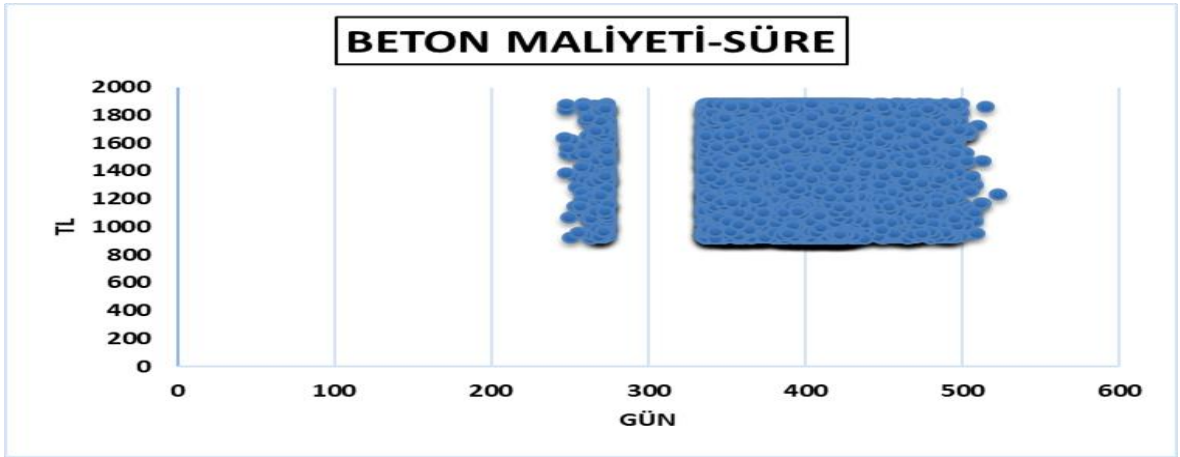
Şekil 5.3 Süre-ı bağlantı malzemesi maliyeti etkileşim grafiği



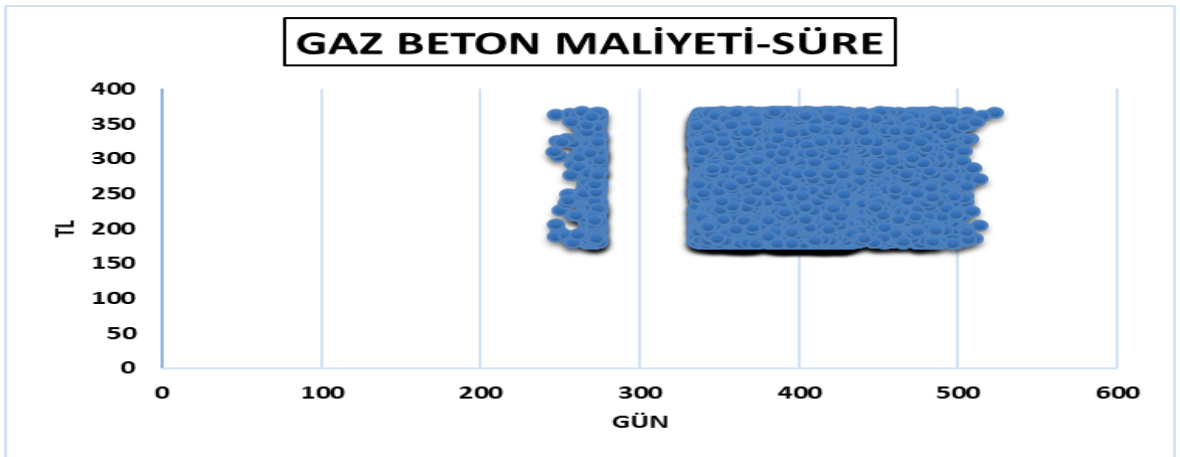
Şekil 5.4 Süre-kalıp yağı maliyeti etkileşim grafiği



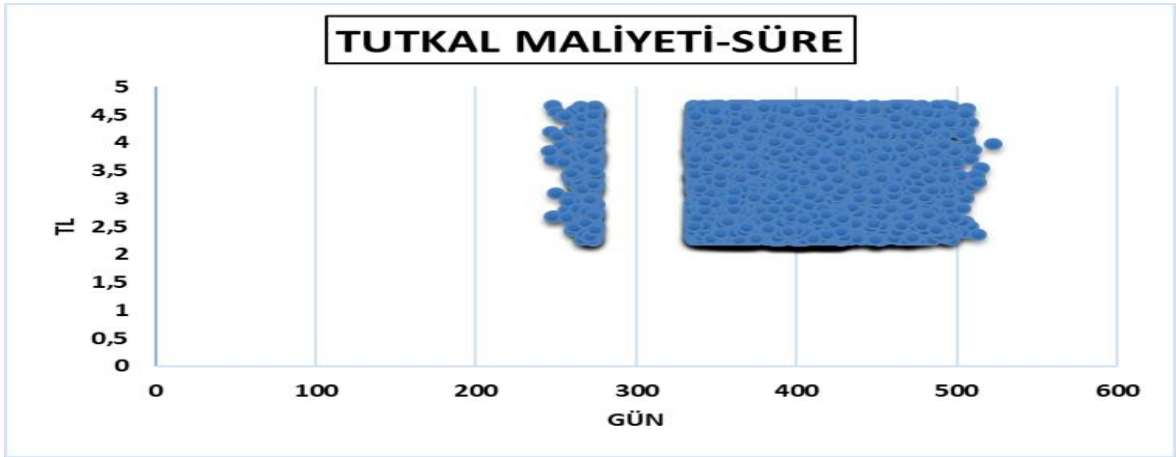
Şekil 5.5 Süre-1 ahşap kiriş maliyeti etkileşim grafiği



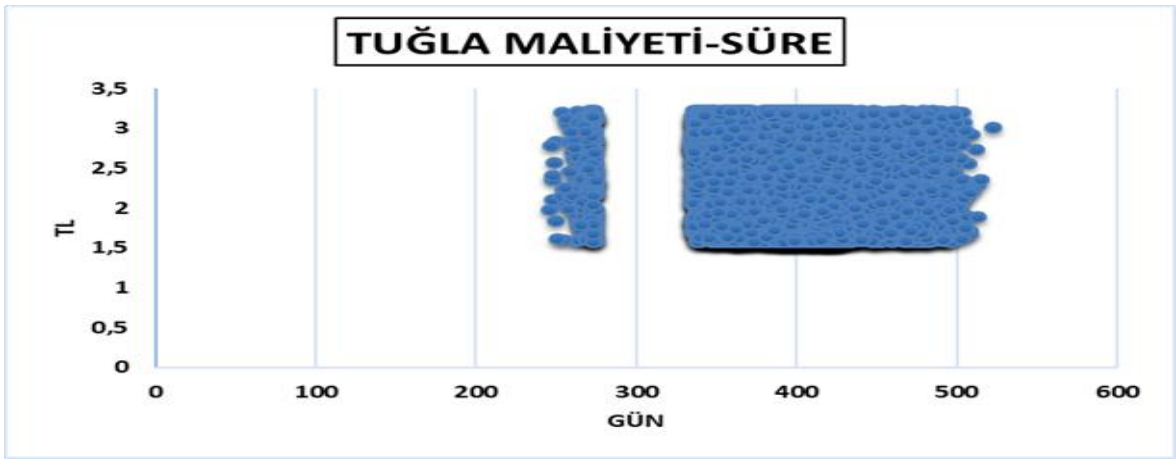
Şekil 5.6 Süre-beton maliyeti etkileşim grafiği



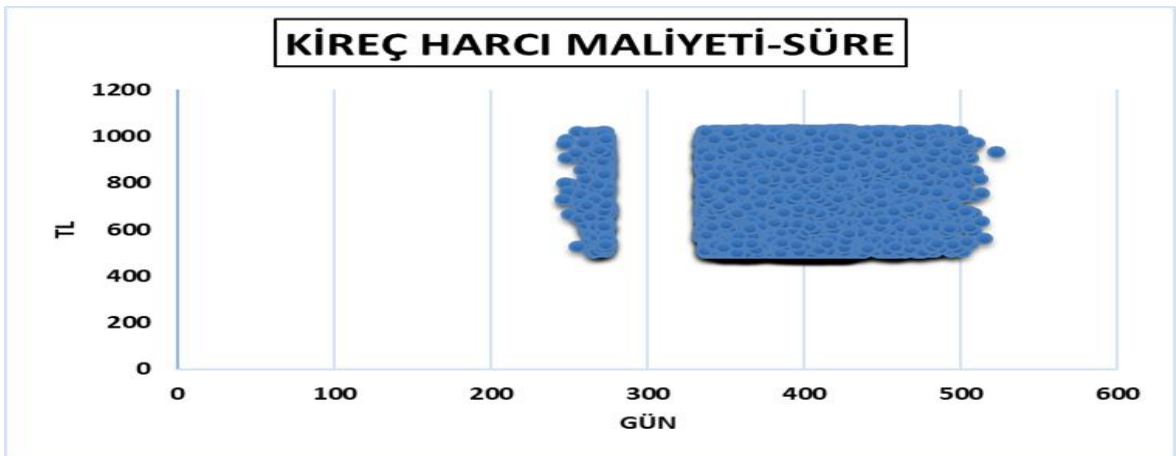
Şekil 5.7 Süre-gaz beton maliyeti etkileşim grafiği



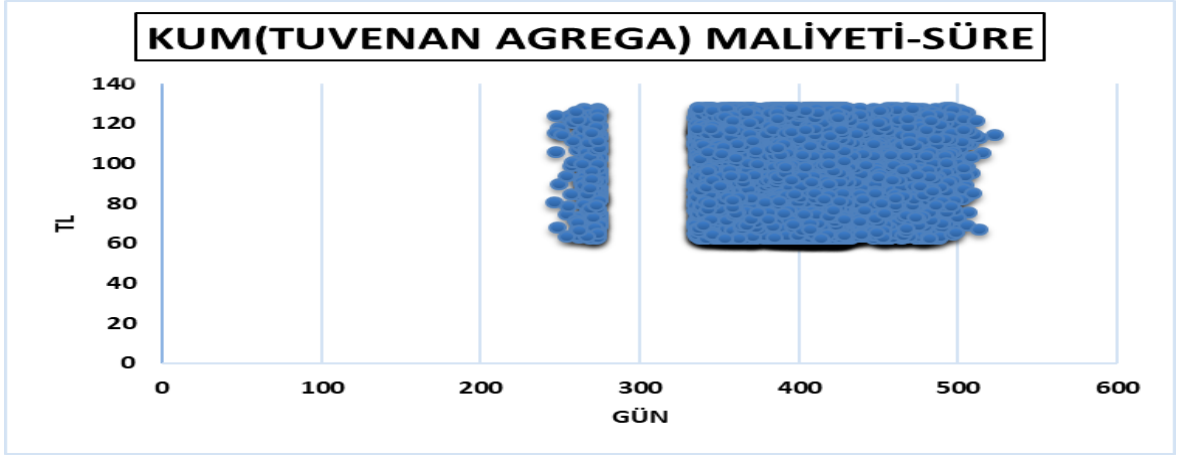
Şekil 5.8 Süre-tutkal maliyeti etkileşim grafiği



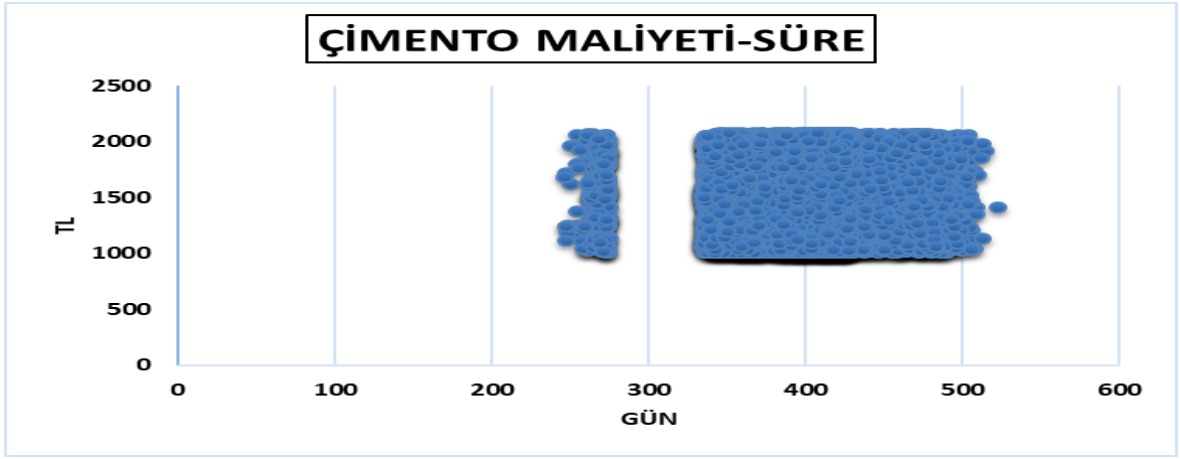
Şekil 5.9 Süre-tuğla maliyeti etkileşim grafiği



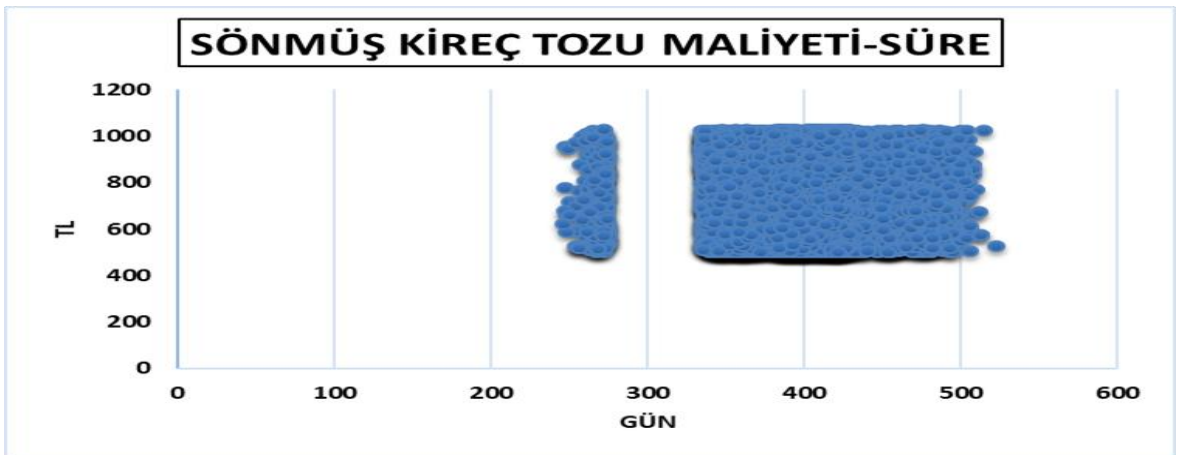
Şekil 5.10 Süre-kireç harcı maliyeti etkileşim grafiği



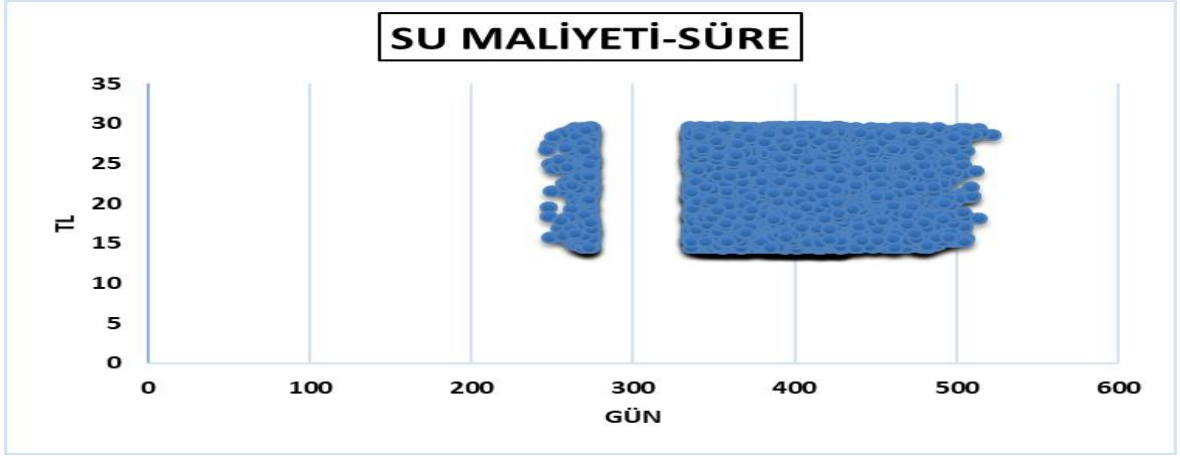
Şekil 5.11 Süre-kum (tuvenan agreg) maliyeti etkileşim grafiği



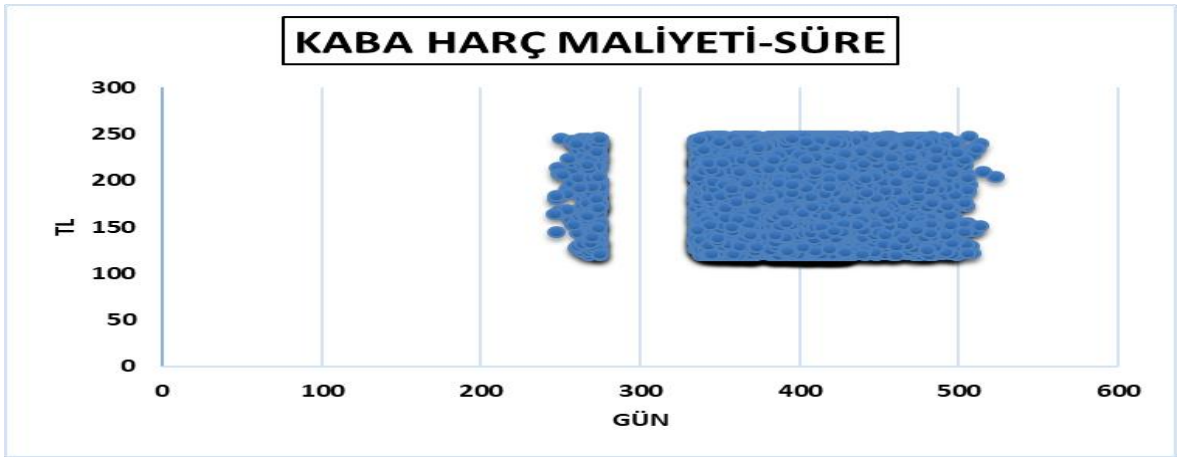
Şekil 5.12 Süre-çimento maliyeti etkileşim grafiği



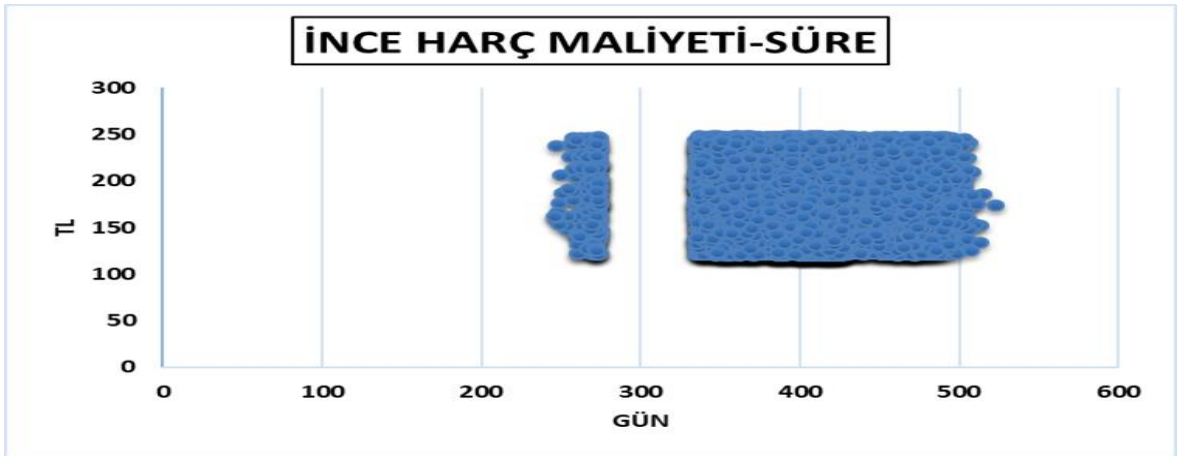
Şekil 5.13 Süre-sönmüş kireç tozu maliyeti etkileşim grafiği



Şekil 5.14 Süre-su maliyeti etkileşim grafiği



Şekil 5.15 Süre-kaba harç maliyeti etkileşim grafiği



Şekil 5.16 Süre-ince harç maliyeti etkileşim grafiği

5.1.2 İnşaat süresi ile yüksek etkileşimli girdi parametreleri

Korelasyon değeri 0,1'den büyük olan girdi parametrelerinin süre ile fazla bir etkileşim içinde olduğu yorumlanmıştır. Söz konusu parametreler inşaat süresinin uzaması veya kısalmasıyla inşaat maliyetine önemli ölçüde etkisinin olduğunu göstermektedir. Bir başka ifadeyle inşaatın uzaması veya belirtilen iş kalemlerinin kullanıldığı malzemelerin fiyatlarının yükselmesinin toplam maliyet üzerinde önemli bir etki yapabileceği söylenebilir. Bu parametreler, projenin süresini belirleme ve yönetmede kritik öneme sahiptir. Bu durum, bu parametrelerin hesaplamalarının doğruluğunun hayati önem taşıdığını ve yapılan hataların süre hesaplama sonuçları üzerinde ciddi bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, bu parametrelerde yapılacak hataların kesinlikle göz ardı edilemeyeceğini ve yanlış hesaplamaların elde edilen sonuçların gerçeğe uygun olmamasına neden olabileceği öngörülmektedir. Sonuç olarak proje yönetiminde ve süreç planlamasında bu parametrelerin doğru bir şekilde ele alınması gerekmektedir.

İş paketleri arasında kritik olan işlerden biri de kazı işinin süresidir. İnşaat projelerinde kazı işlemlerinin süresi, projenin ilerleyen aşamalarını doğrudan etkileyen hayati bir faktördür. Çünkü kazı işlemi inşaat yapım aktivitelerinden ilk sırada yapılacak olan işlemdir. Kazı süresinin uzaması, diğer yapı faaliyetlerinin başlama tarihlerini erteleyerek genel inşaat süresini artmasına neden olacaktır. Bu gecikmelerin birleşmesi, inşaat süresinin artmasına ve dolayısıyla maliyetin yükselmesine neden olacaktır. Zamanın artması maliyeti artırır çünkü işçilik, ekipman kiralama ve malzeme depolama gibi maliyetler artar. Ayrıca, inşaat süresinin uzaması beklenmedik ek harcamaları da beraberinde getirebilir; örneğin, ek ekipman veya malzeme kiralanması gerekebilir. Bu nedenle, kazı işlemlerinin zamanında ve hızlı bir şekilde tamamlanması, genel proje süresi hesaplamalarında fazla etkileşimli bir imalattır ve maliyeti açısından kritik önem taşır.

İnşaatta yapım işlerinde süre analizi yapmak oldukça önemlidir. Süre analizi, bir inşaat projesinin zaman çizelgesini oluşturması ve planlanması için gereklidir. Projedeki her aşamanın ne zaman tamamlanması gerektiğini belirlemek, iş akışını düzenlemek ve kaynakları etkin bir şekilde yönetmek için önemlidir. Süre analizi oluşturmak projenin başarılı bir şekilde ilerlemesini sağlar ve gecikmelerin önüne geçilmesine yardımcı olur.

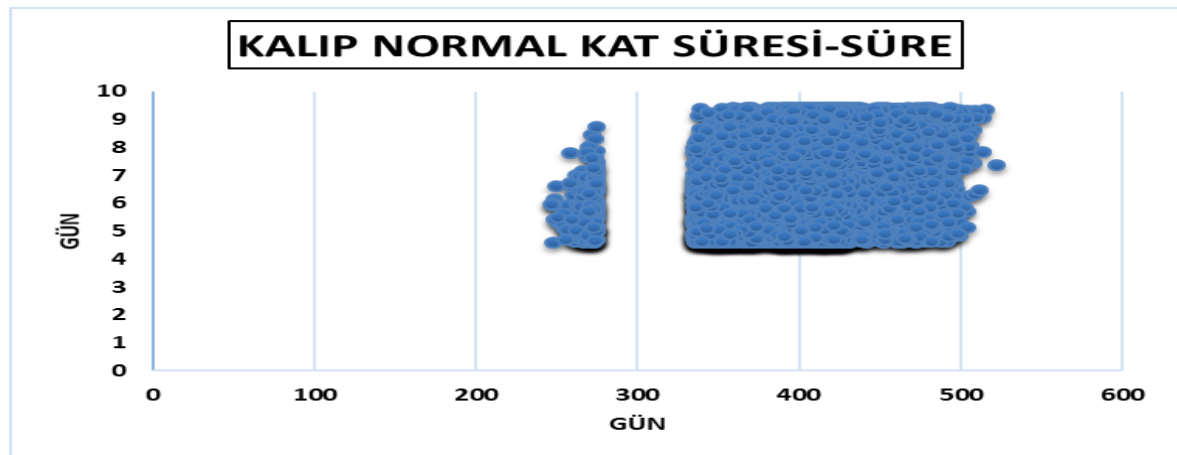
Süre analizi, belirli görevlerin tamamlanması için gereken süreleri belirler. Bu da işçilik, malzeme ve ekipman gibi kaynakların ne zaman ve ne kadar süreyle kullanılacağını planlamak için rehberlik eder. Böylece kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesi ve

gereksiz maliyetlerin önlenmesi sağlanır. Bu durumda projenin zamanında bitirilmesine ve belirlenen bütçe içerisinde kalmasına yardımcı olur.

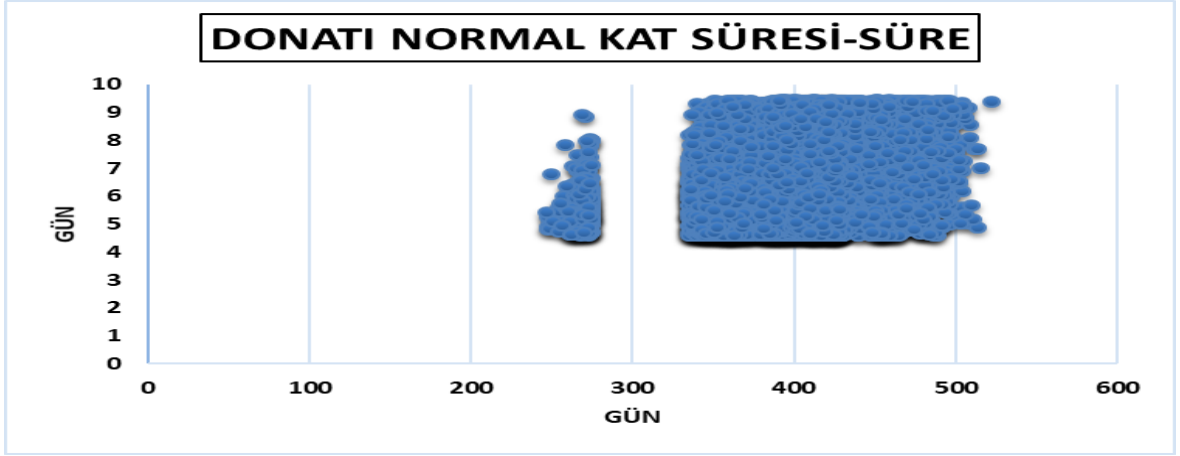
Süre analizi, potansiyel gecikme risklerini belirler ve bu risklere karşı önlemler alabileceğimiz ortamı oluşturur. Gecikmelerin etkileri azaltılarak veya önlenerek proje maliyetlerinin kontrol altında tutulması amaçlanır. Proje ilerlemesini izlemek ve paydaşları bilgilendirmek için bir temel sağlar. Projenin ne zaman tamamlanacağına dair net bir anlayış, paydaşlar arasında güven ve memnuniyet oluşturur. Bu nedenlerle, inşaat projelerinde süre analizi yapılması önemlidir ve başarılı bir proje yönetimi için temel bir gerekliliktir.

Tablo 5.2 Süre ile yüksek etkileşim oluşturan girdi parametreleri

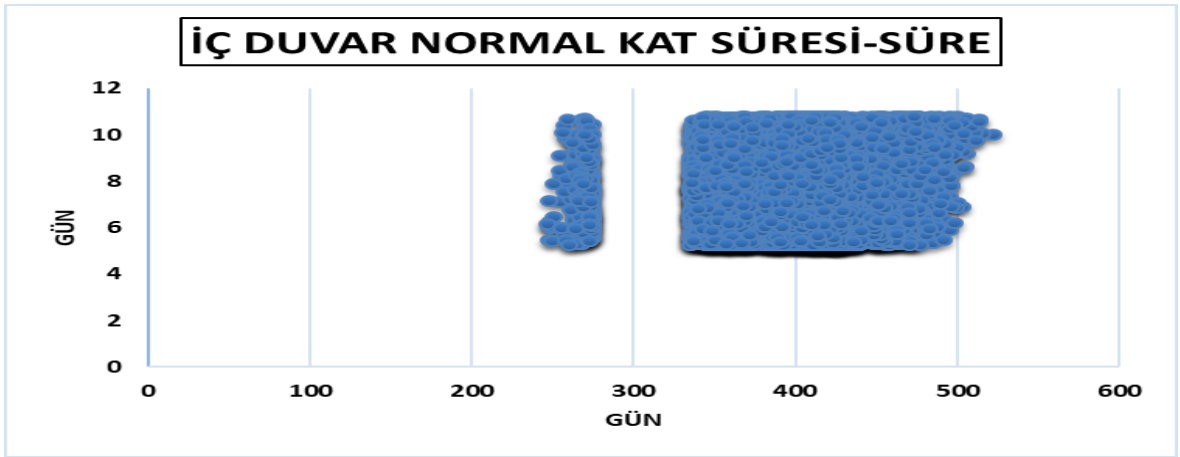
SÜRE İLE YÜKSEK ETKİLEŞİM OLUŞTURAN GİRDİ PARAMETRELERİ			
No	İş Kalemi	Korelasyon Değeri	Kısmi Türev
1	Kalıp normal kat bitiş süresi	0,2825	0,0297
2	Donatı normal kat bitiş süresi	0,27995	0,0392
3	İç duvar normal kat bitiş süresi	0,14195	0,6587
4	İç sıva normal kat bitiş süresi	0,2449	0,3231
5	Boya normal kat bitiş süresi	0,1756	0,0595
6	Kazı süresi	0,1144	0,013
7	Beton dökme süresi	0,1227	0,012
8	Kalıp sökme süresi	0,3958	0,04



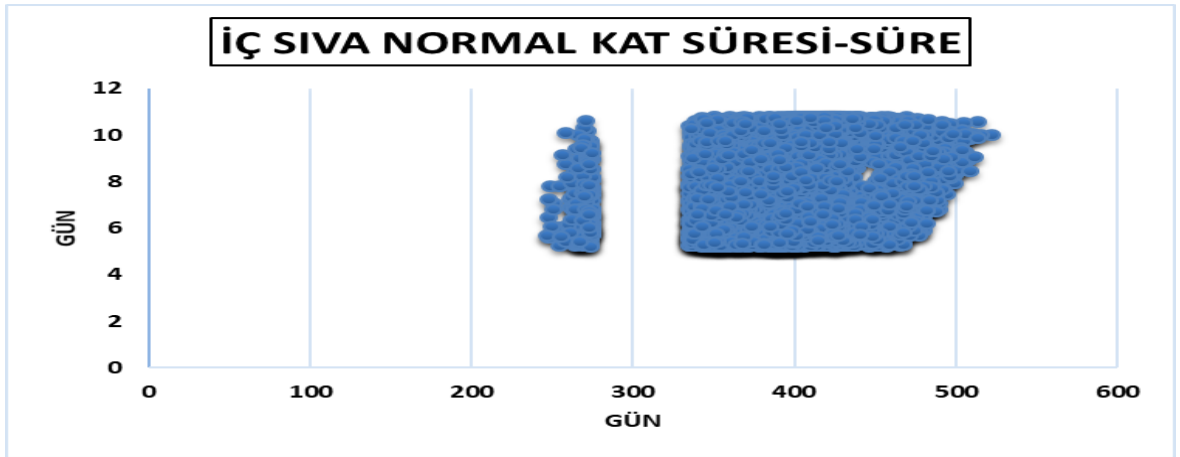
Şekil 5.17 Süre-normal kat kalıp süresi etkileşim grafiği



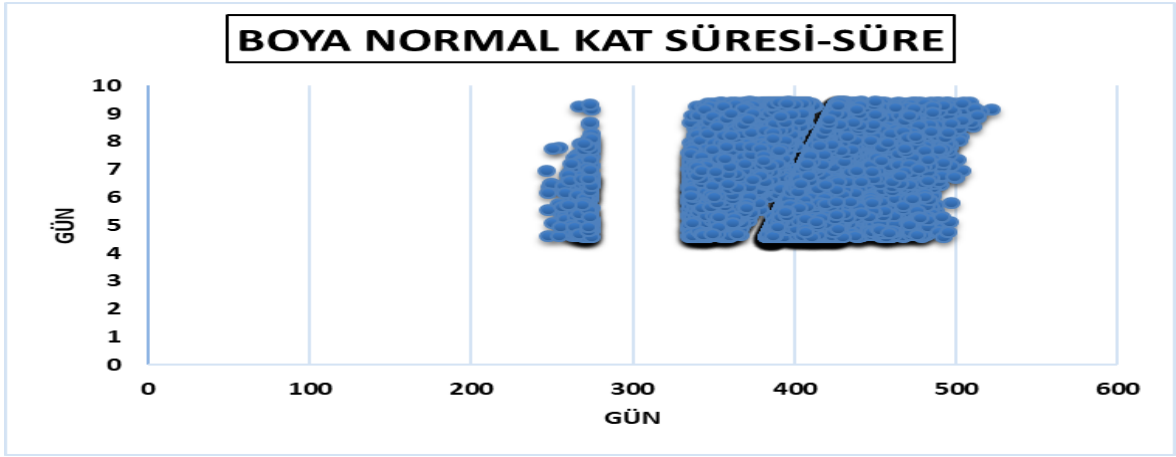
Şekil 5.18 Süre-normal kat donatı süresi etkileşim grafiği



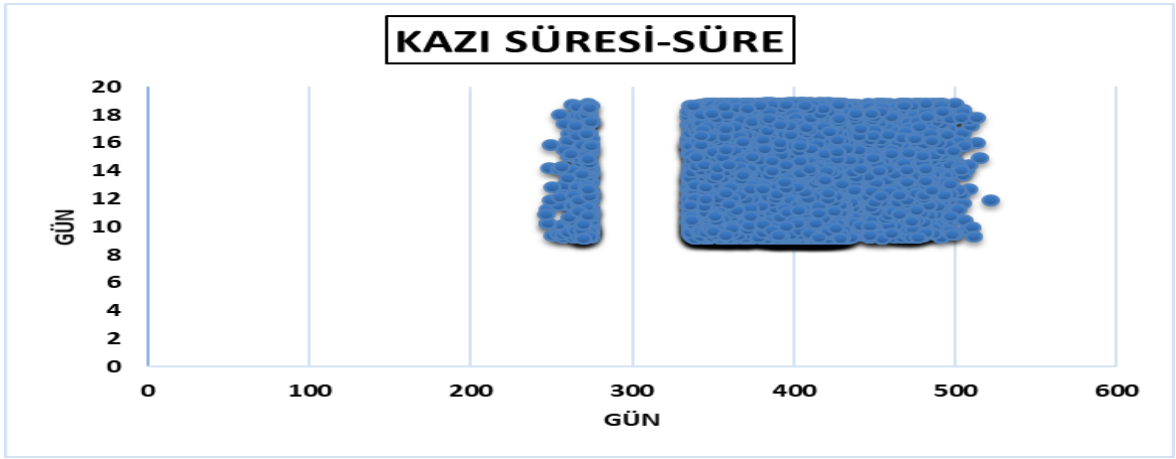
Şekil 5.19 Süre-normal kat iç duvar süresi etkileşim grafiği



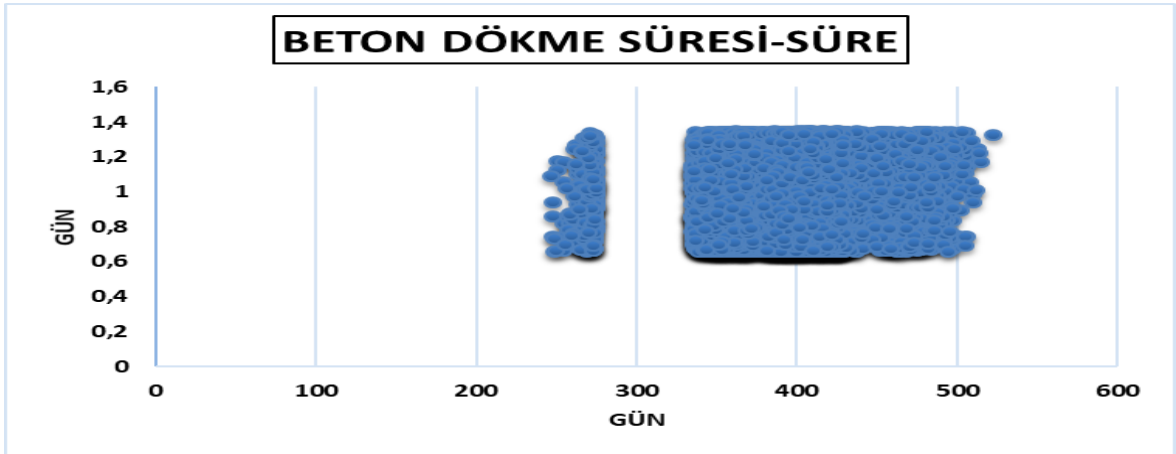
Şekil 5.20 Süre-normal kat iç sıva süresi etkileşim grafiği



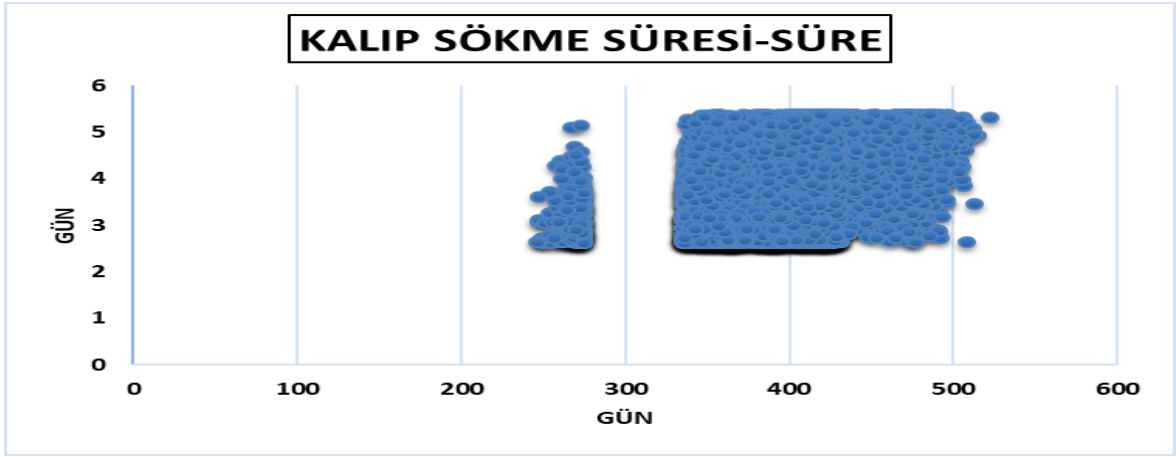
Şekil 5.21 Süre-normal kat boya süresi etkileşim grafiği



Şekil 5.22 Süre-kazı süresi etkileşim grafiği



Şekil 5.23 Süre-beton dökme süresi etkileşim grafiği



Şekil 5.24 Süre-kalıp sökme süresi etkileşim grafiği

5.2 İnşaat Maliyeti İle İlgili Sonuçlar

5.2.1 İnşaat maliyeti ile zayıf etkileşimli girdi parametreleri

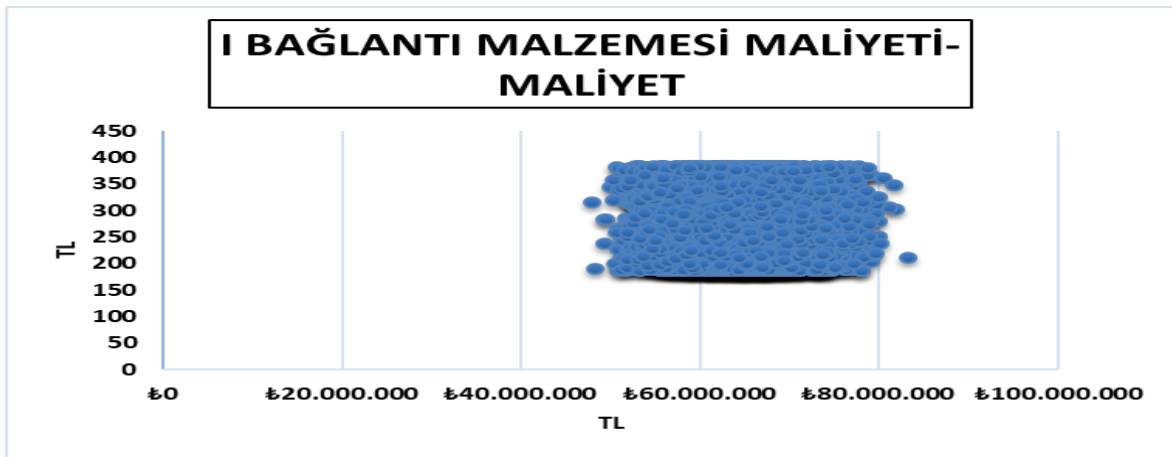
Korelasyon değeri -0,1 ile 0,1 arasında olan girdi parametrelerinin inşaat maliyeti ile zayıf bir etkileşim içerisinde olduğu kabul edilmektedir. Kabulden anlaşılacağı üzere maliyet ile zayıf etkileşim içerisinde olan girdi parametrelerinin inşaat yapım maliyetinin artması veya azalması durumlarında etkili olmadığı ve toplam inşaat süresine önemli ölçüde etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Girdi parametrelerinin inşaat maliyeti ile zayıf etkileşim içerisinde olması genellikle iş kalemlerinin süresiyle alakalı parametreler olduğunu veya şantiyenin geneline yayılmamasından kaynaklanabileceği anlamına gelmektedir. Zayıf korelasyonlu işlerin maliyet artırımı sonucunda inşaat toplam maliyetine çok fazla etkisinin olmayacağı değerlendirilmektedir.

Tablo 5.3 Maliyet ile zayıf etkileşim oluşturan girdi parametreleri

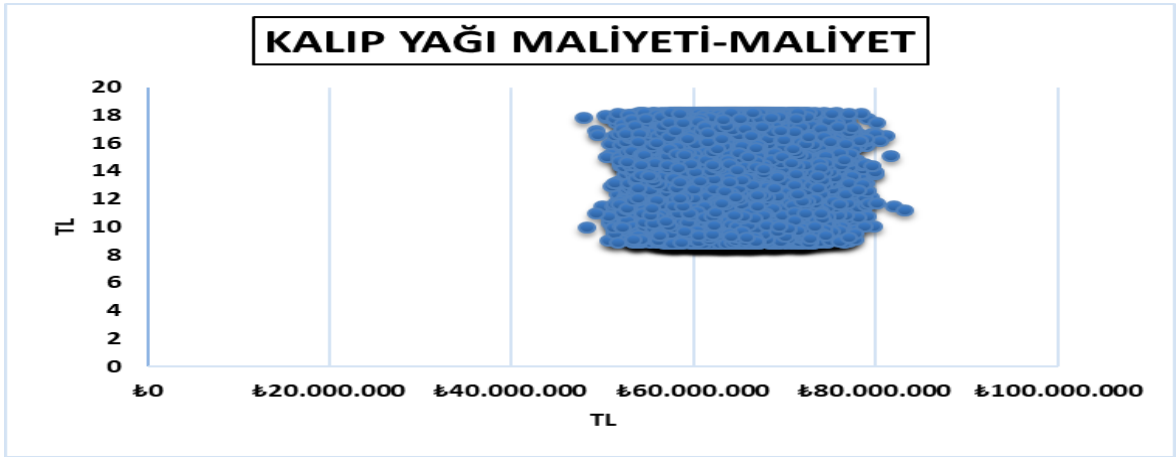
MALİYET İLE ZAYIF ETKİLEŞİM OLUŞTURAN GİRDİ PARAMETRELERİ			
No	İş Kalemi	Korelasyon Değeri	Kısmi Türev
1	I bağlantı malzemesi maliyeti	0,00126	0,0004
2	Kalıp yağı maliyeti	0,00009	0,0005
3	I ahşap kiriş maliyeti	0,0224	0,00617

4	Tutkal maliyeti	0,00928	0,00539
5	Tuğla maliyeti	0,043	0,0106
6	Kireç harcı maliyeti	0,0085	0,0018
7	Kum(tuvenan agrega) maliyeti	0,0046	0,001
8	Çimento maliyeti	0,0381	0,0068
9	Sönmüş toz kireci maliyeti	0,0002	0,0013
10	Su maliyeti	0,0017	0,0002
11	Kaba Harç maliyeti	0,0152	0,0021
12	İnce Harç maliyeti	0,0074	0,0009
13	Kum(ince) maliyeti	0,003	0,006
14	Şilte maliyeti	0,004	0,001
15	Harç(Fayans) maliyeti	0,0019	0,0004
16	Zımpara kağıdı maliyeti	0,0001	0,0000001
17	Astar maliyeti	0,0004	0,0000002
18	Macun maliyeti	0,00029	0,00000154
19	Boya maliyeti	0,0011	0,00000004
20	Marangoz ustası maliyeti	0,07387	0,0173
21	Marangoz usta yardımcısı maliyeti	0,0569	0,0112
22	Soğuk demir ustası maliyeti	0,0159	0,0033
23	Soğuk demir usta yardımcısı maliyeti	0,0203	0,0044
24	Beton ustası maliyeti	0,0008	0,0004
25	Duvar ustası maliyeti	0,0409	0,0089
26	Sıva usta yardımcısı maliyeti	0,044	0,0106
27	Boya ustası maliyeti	0,062	0,013
28	Fayans ustası maliyeti	0,0482	0,00896
29	Kalıp zemin kat bitiş süresi	0,015	0,011
30	Kalıp bodrum kat bitiş süresi	0,0082	0,0098
31	Donatı zemin kat bitiş süresi	0,0348	0,0539
32	Donatı bodrum kat bitiş süresi	0,04923	0,0575
33	Dış duvar normal kat bitiş süresi	0,02	0,08
34	Dış duvar zemin kat bitiş süresi	0,0287	0,0045
35	İç duvar zemin kat bitiş süresi	0,0352	0,0083

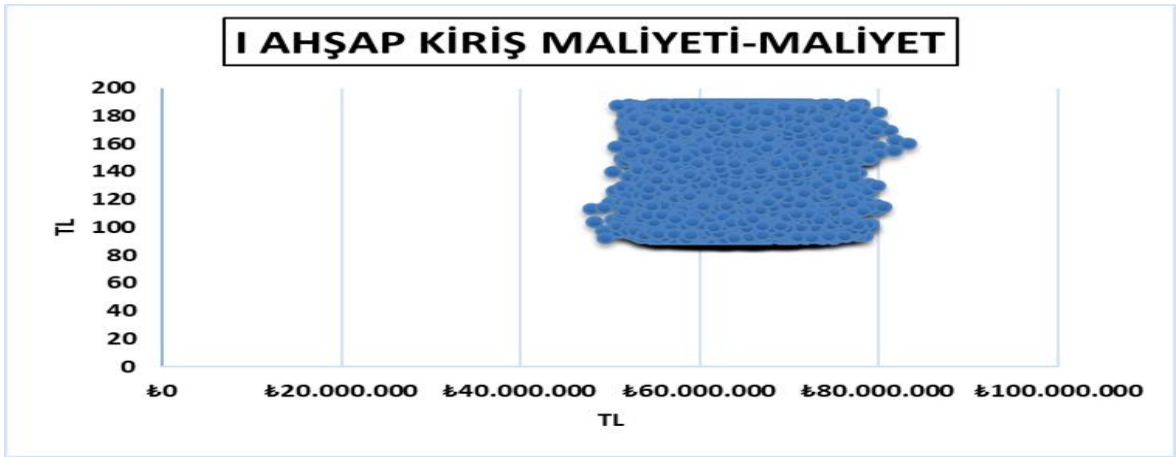
36	İç sıva zemin kat bitiş süresi	0,0243	0,0176
37	Dış sıva normal kat bitiş süresi	0,007	0,00018
38	Dış sıva zemin kat bitiş süresi	0,0103	0,0062
39	Parke normal kat bitiş süresi	0,0139	0,0282
40	Parke zemin kat bitiş süresi	0,0197	0,004
41	Fayans normal kat bitiş süresi	0,0012	0,0697
42	Fayans zemin kat bitiş süresi	0,0209	0,0072
43	Boya normal kat bitiş süresi	0,02529	0,109
44	Boya zemin kat bitiş süresi	0,0109	0,009
45	Çakıl-grobeton süresi	0,000029	0,00591
46	Su yalıtımı süresi	0,0301	0,045
47	Mekanik(temel) süresi	0,0145	0,0192
48	Temel donatı süresi	0,0609	0,0624
49	Temel kalıp süresi	0,0018	0,0013
50	Beton dökme süresi	0,0826	0,0249
51	Beton kürü süresi	0,0314	0,022
52	Kalıp sökme(temel) süresi	0,0095	0,0066
53	Donatı kalıp süresi aralığı	0,0052	0,0000129
54	Katlar mekanik süresi	0,0019	0,00000376



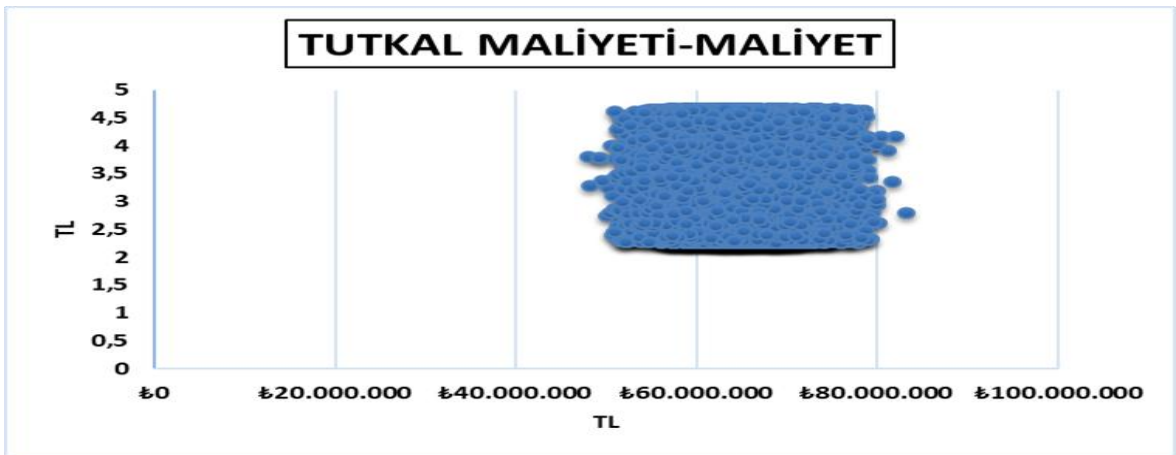
Şekil 5.25 Maliyet-ı bağlantı malzemesi maliyeti etkileşim grafiği



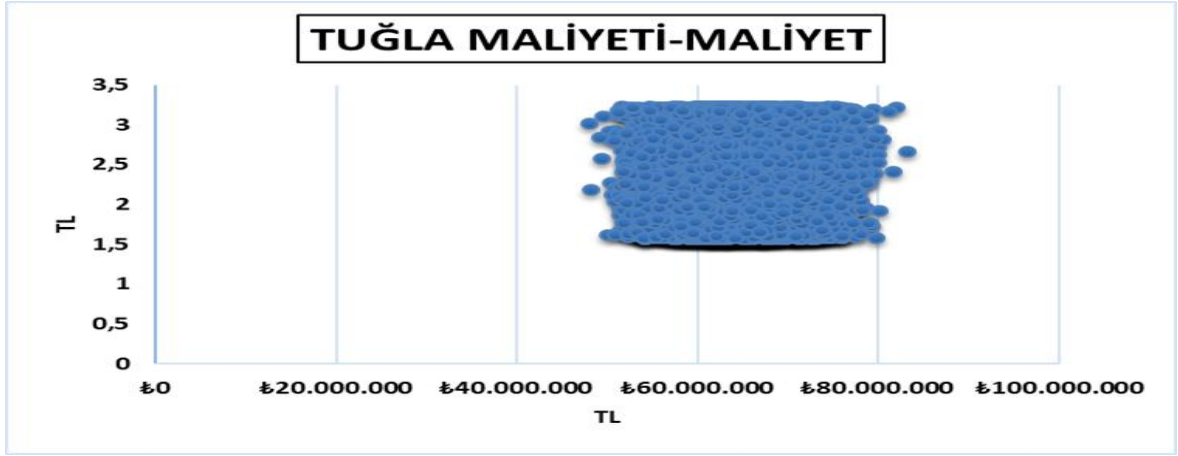
Şekil 5.26 Maliyet-kalıp yağı maliyeti etkileşim grafiği



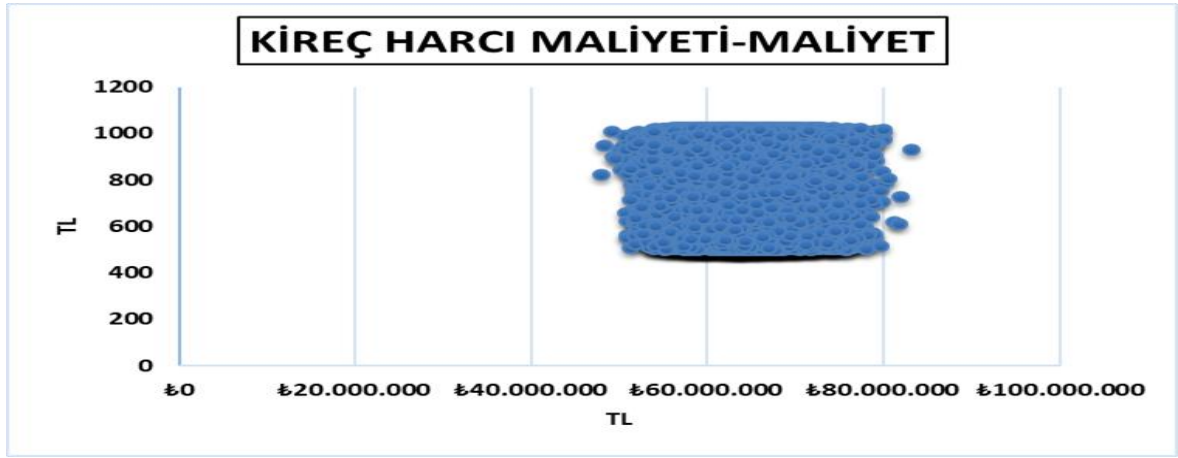
Şekil 5.27 Maliyet-ı ahşap kiriş maliyeti etkileşim grafiği



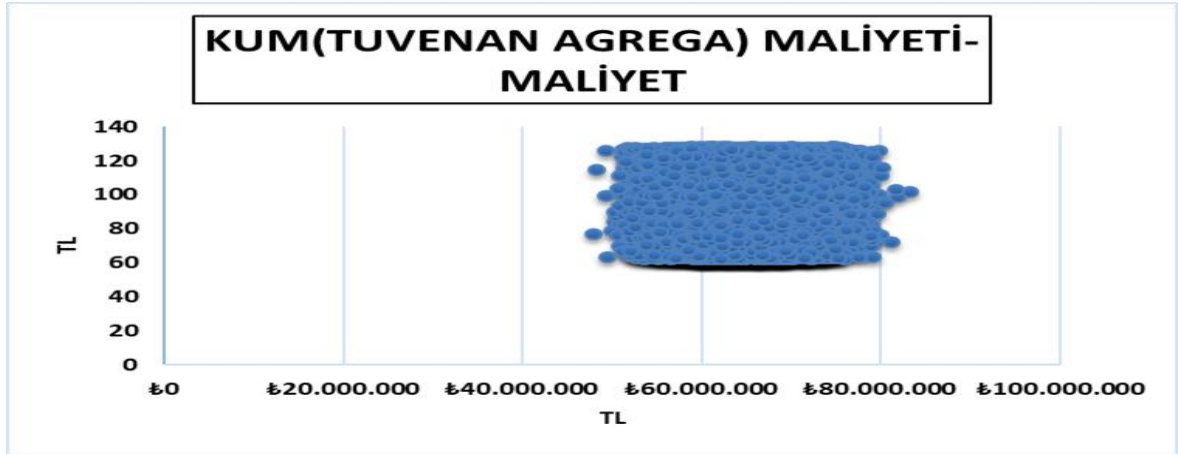
Şekil 5.28 Maliyet-tutkal maliyeti etkileşim grafiği



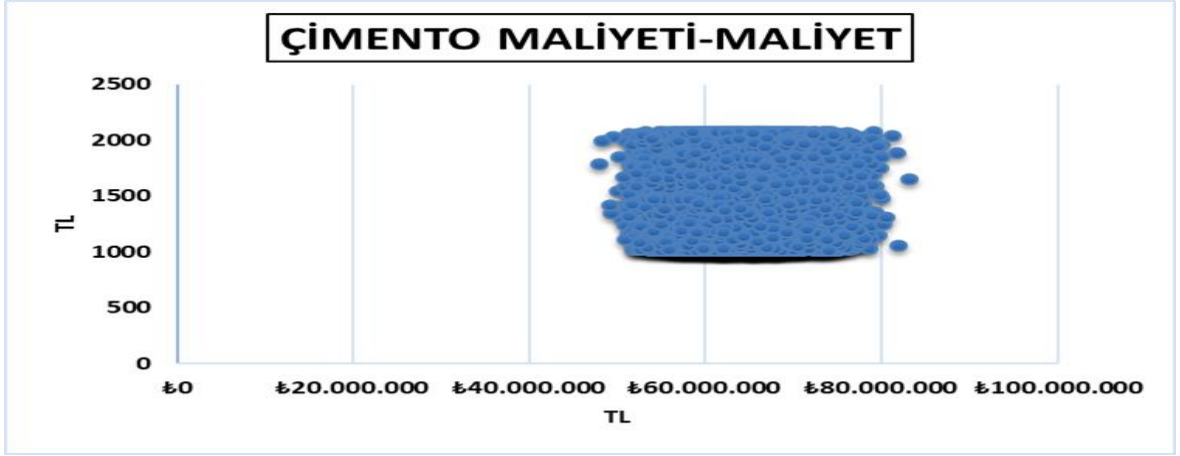
Şekil 5.29 Maliyet-tuğla maliyeti etkileşim grafiği



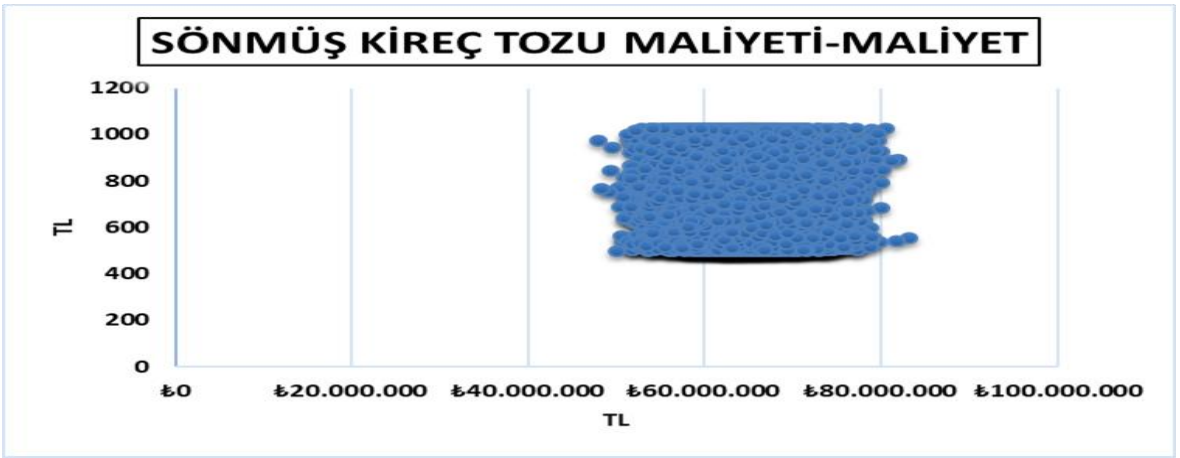
Şekil 5.30 Maliyet-kireç harcı maliyeti etkileşim grafiği



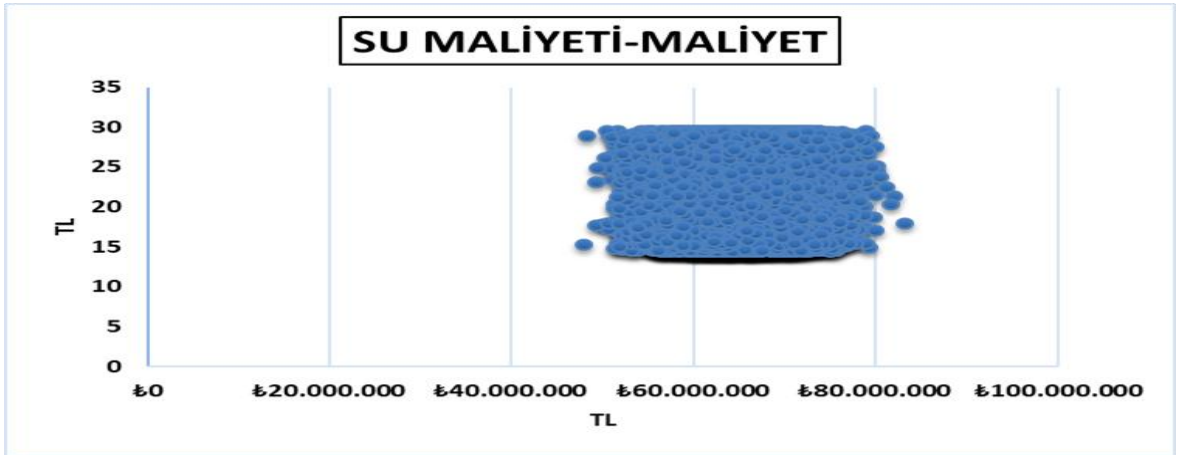
Şekil 5.31 Maliyet-kum(tuvenan agregası) maliyeti etkileşim grafiği



Şekil 5.32 Maliyet-çimento maliyeti etkileşim grafiği



Şekil 5.33 Maliyet-sönmüş kireç tozu maliyeti etkileşim grafiği



Şekil 5.34 Maliyet-su maliyeti etkileşim grafiği

4.2.2 İnşaat maliyeti ile yüksek etkileşimli girdi parametreleri

Korelasyon değeri 0,1'den büyük olan girdi parametrelerinin maliyet ile yüksel bir etkileşim içinde olduğu kabul edilmektedir. Söz konusu durum parametrelerin inşaat maliyetinin artması veya azalmasıyla önemli ölçüde ilişkili olduğunu gösterir. Yani, bu parametrelerin değerlerindeki değişikliklerin yapım maliyetine önemli bir etki yapabileceği söylenebilir. Maliyete tesiri yüksek olan gider kalemleri projenin yapım maliyetini belirleme ve yönetmede kritik öneme sahiptir. Bu durum, bu parametrelerin hesaplamalarının doğruluğunun proje teklifleri belirlenmesinde önemli olduğunu ve yapılan hataların maliyet hesaplama sonuçları üzerinde ciddi bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, bu parametrelerde yapılacak hataların kesinlikle göz ardı edilemeyeceğini ve yanlış hesaplamaların elde edilen sonuçların gerçeğe uygun olmamasına neden olabileceği öngörülmektedir. Sonuç olarak proje yönetiminde ve süreç planlamasında bu parametrelerin doğru bir şekilde ele alınması gerekmektedir.

İnşaat maliyeti ile yüksek etkileşimli olan aktivitelerin ortak özelliği, inşaat uygulamalarında fazla miktarda kullanılan veya birim fiyatı yüksek olan malzemelerden oluşmasıdır. Yüksek etkileşimli iş kalemlerinin hesaplamalarda daha dikkatli olunmasını gerektirir. Örneğin, çelik maliyeti, inşaat maliyetini artırırken, çelik kaleminin inşaatlarda fazla miktarda kullanılmasından ve birim fiyatının yüksek olmasından kaynaklanır. Benzer şekilde fazla etkileşimli olan bir diğer aktivite normal kat kalıp süresidir. Özellikle yüksek katlı binalarda her katta kalıp süresinin artması diğer aktivitelerin gecikmesine neden olacaktır ve bu durum maliyeti artırır. Bu tür durumlar, inşaat projesinin planlanması ve yönetilmesi aşamasında özel önlem gerektirir. Çünkü bu faktörlerin dikkate alınmaması, projenin bütçesinin ve süresinin kontrolsüz bir şekilde artmasına yol açabilir. Bu nedenle, inşaat projelerinde bu tür fazla etkileşimli aktivitelerin önceden tanımlanması ve hesaplamalarında dikkatli olunması önemlidir.

İnşaat yapım işleri projelerinde maliyet analizi yapmanın birçok faydası bulunmaktadır. Maliyet analizi, projenin finansal sağlığını değerlendirme ve bütçe planlamasını yapma açısından önemlidir. Projeye başlatmadan önce, beklenen maliyetlerin belirlenmesi ve buna uygun bir bütçe oluşturulması, projenin başarıyla tamamlanması için önemli bir adımdır.

Ayrıca, maliyet analizi maliyetlerin nerede ve nasıl oluştuğunu anlama ve kontrol altına alma imkânı sağlar. Bu, gereksiz harcamaların önlenmesine ve maliyetlerin optimize

edilmesine yardımcı olur. Böylece, projenin bütçe dışı kalması veya finansal sorunlarla karşılaşılması riski azalır.

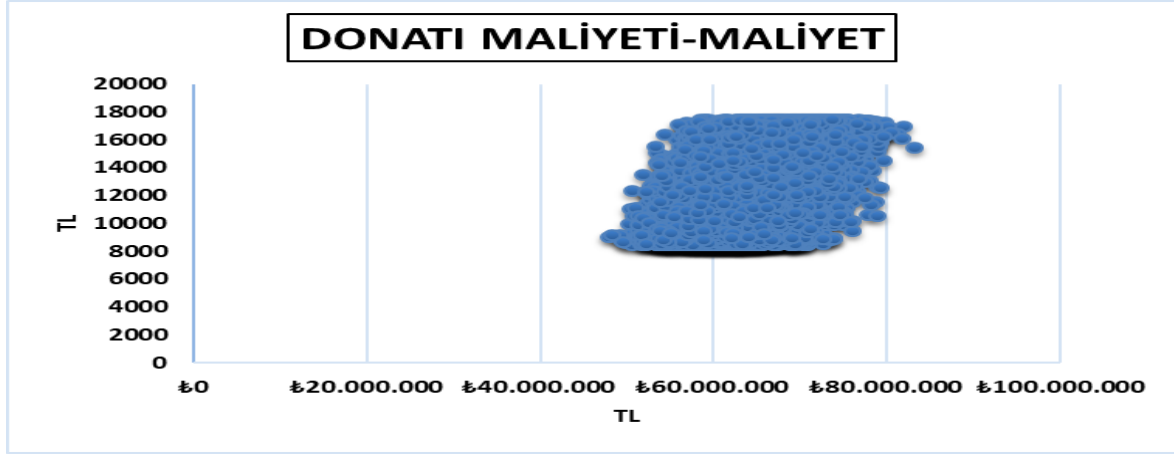
Maliyet analizi aynı zamanda, kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesine ve en uygun maliyetle en iyi sonucun elde edilmesine yardımcı olur. Maliyetlerin detaylı bir şekilde analiz edilmesi ve izlenmesi, kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar ve gereksiz masrafların önlenmesine yardımcı olur. Bununla birlikte, maliyet analizi risklerin ve belirsizliklerin belirlenmesine ve bunların yönetilmesine de yardımcı olur. Projeye ilişkin potansiyel risklerin ve maliyet artırıcı faktörlerin önceden tespit edilmesi, proje yöneticilerinin bu risklere karşı önlemler almasını sağlar ve projenin başarılı bir şekilde tamamlanmasını yardımcı olur.

Sonuç olarak, inşaat yapım işlerinde maliyet analizi yapmanın faydaları oldukça fazladır. Bu analiz, projenin finansal sağlığını değerlendirir, maliyetlerin kontrol altına alınmasına yardımcı olur, kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesini sağlar ve risklerin belirlenmesine ve yönetilmesine yardımcı olur. Bu da projenin başarılı bir şekilde tamamlanmasını ve hedeflerine ulaşmasını sağlar.

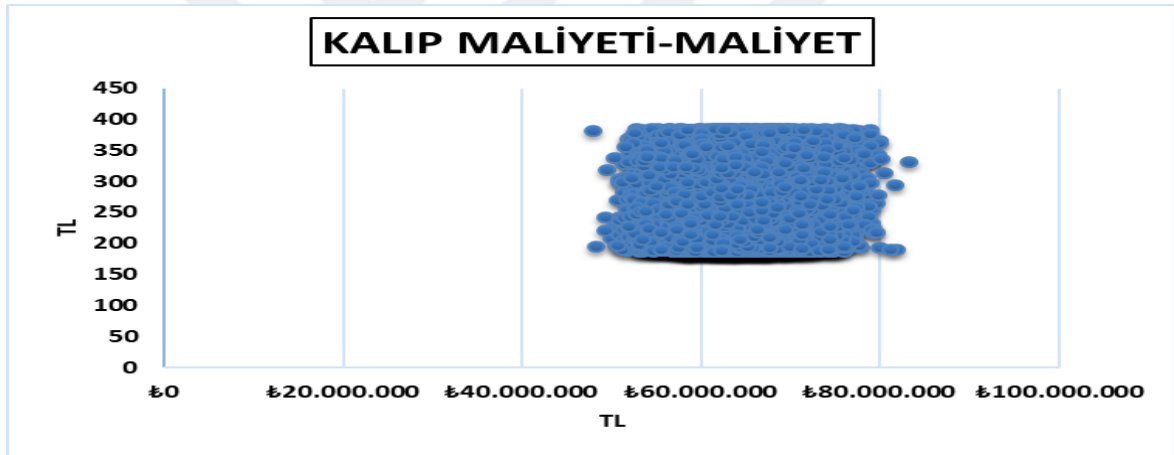
Tablo 5.4 Maliyet ile yüksek etkileşim oluşturan girdi parametreleri

MALİYET İLE YÜKSEK ETKİLEŞİM OLUŞTURAN GİRDİ PARAMETRELERİ			
No	İş Kalemi	Korelasyon Değeri	Kısmi Türev
1	Donatı Maliyeti	0,468	0,088
2	Kalıp Maliyeti	0,158	0,013
3	Beton Maliyeti	0,46292	0,11
4	Gaz Beton Maliyeti	0,34548	0,079
5	Parke Maliyeti	0,15102	0,036
6	Fayans Maliyeti	0,10363	0,0162
7	Düz İşçi Maliyeti	0,25129	0,055
8	Sıva Ustası Maliyeti	0,12166	0,028
9	Normal Kat Kalıp Süresi	0,16699	0,248
10	Normal Kat Donatı Süresi	0,1345	0,11
11	Normal Kat İç Duvar Süresi	0,22273	0,274
12	Normal Kat İç Sıva Süresi	0,10529	0,038

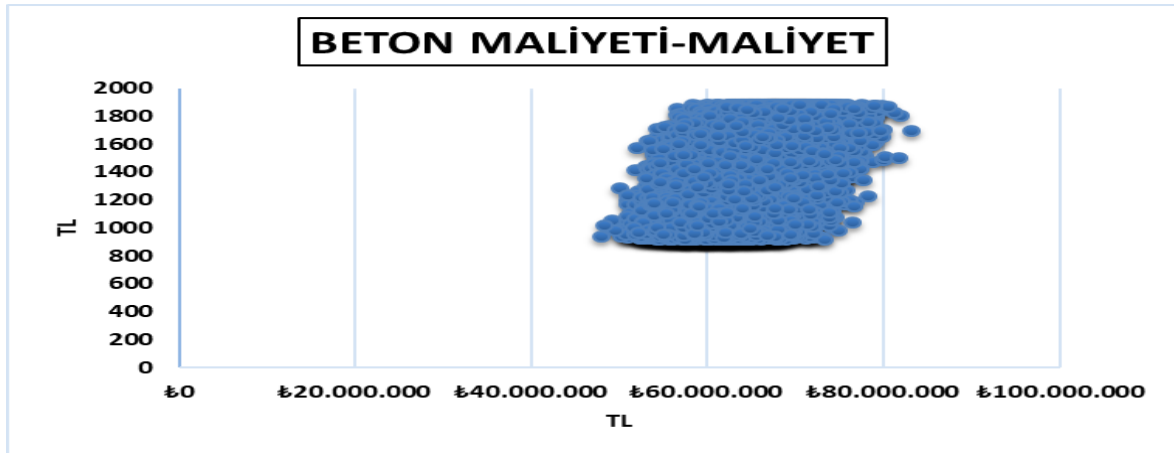
13	Kazı Süresi	0,10934	0,104
14	Kalıp Sökme Süresi	0,14828	0,11



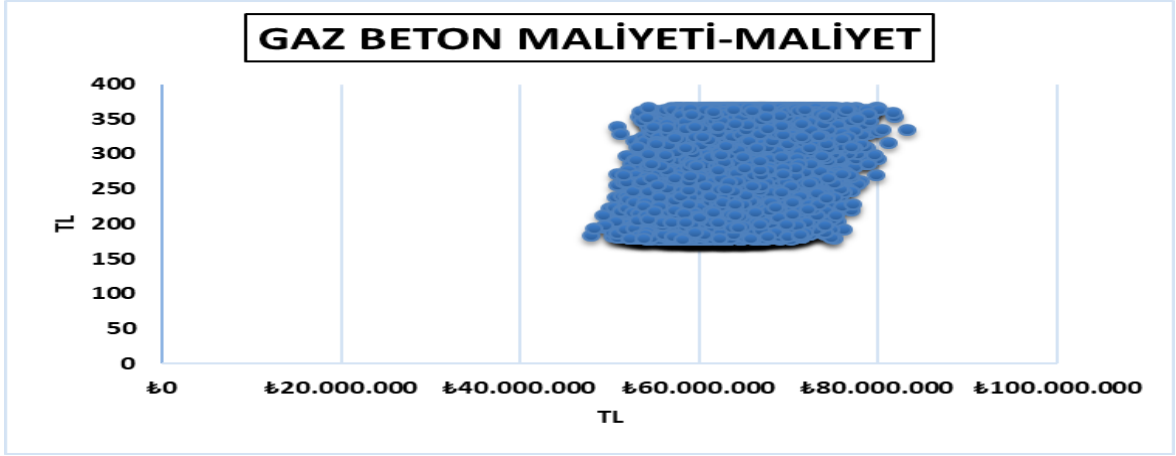
Şekil 5.35 Maliyet-donatı maliyeti etkileşim grafiği



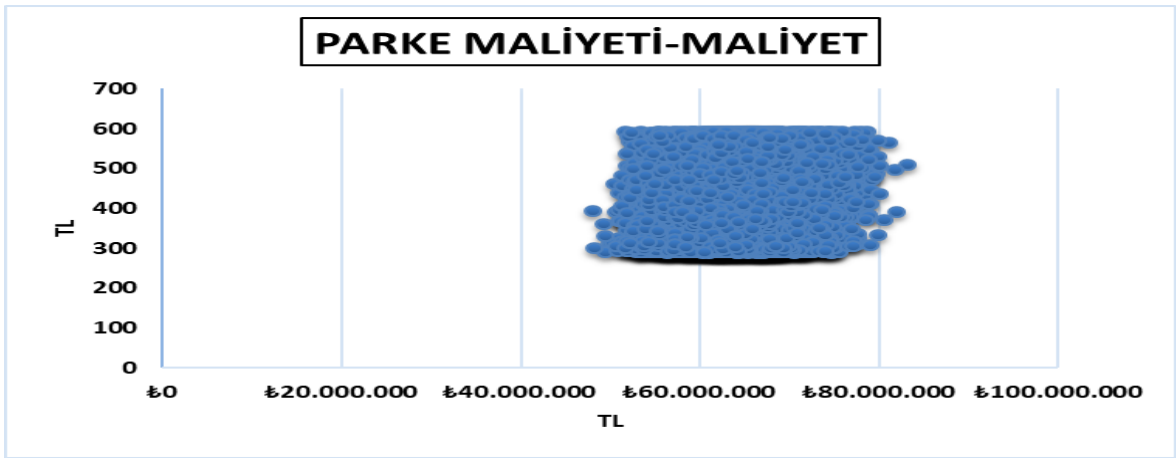
Şekil 5.36 Maliyet-kalıp maliyeti etkileşim grafiği



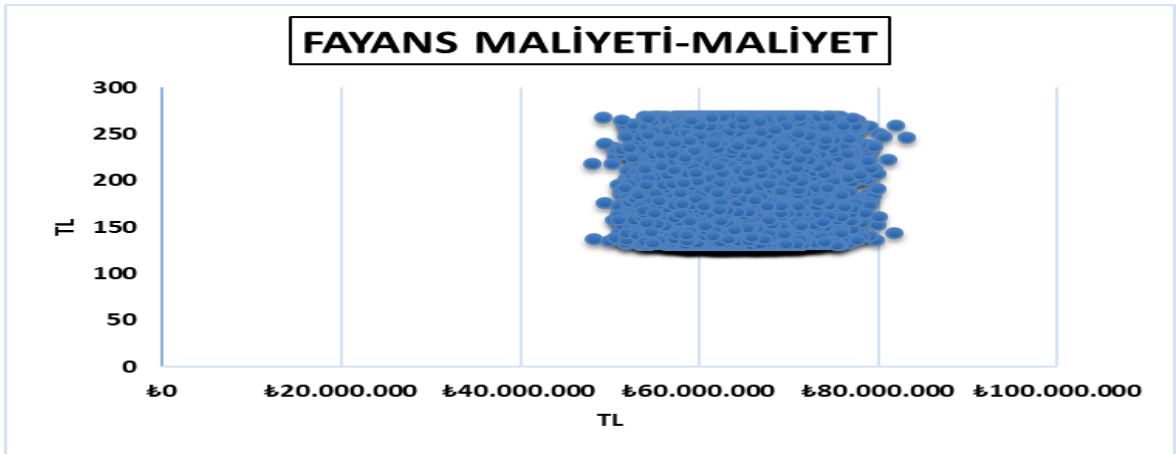
Şekil 5.37 Maliyet-beton maliyeti etkileşim grafiği



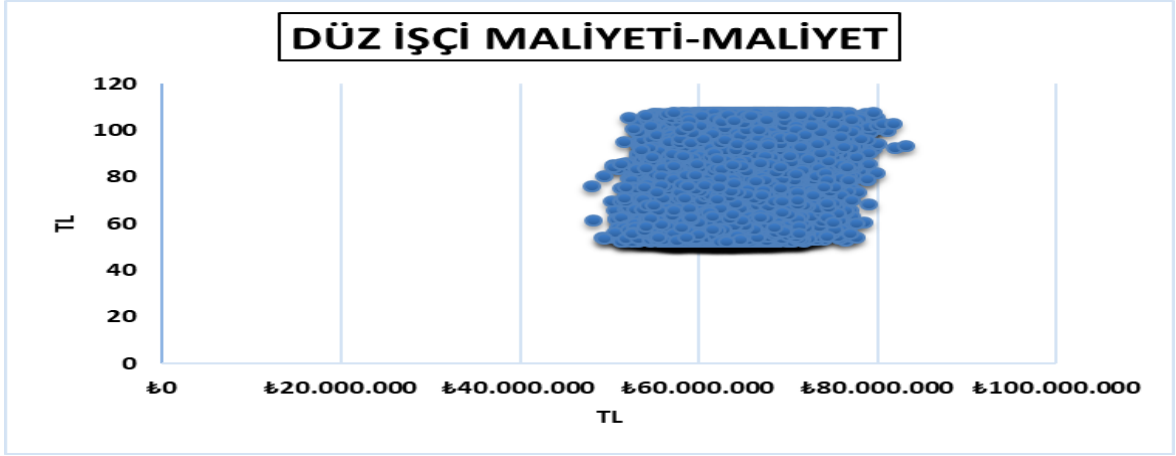
Şekil 5.38 Maliyet-gaz beton maliyeti etkileşim grafiği



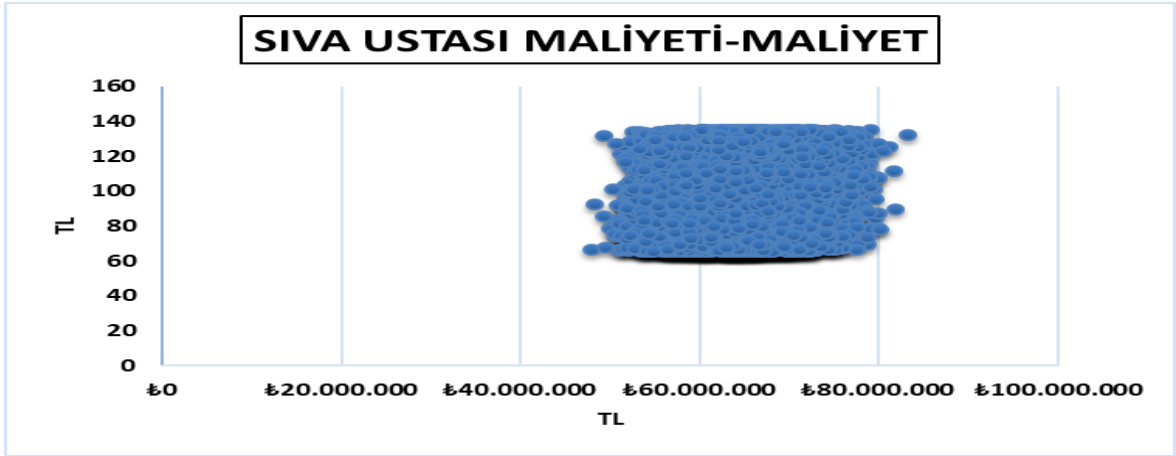
Şekil 5.39 Maliyet-parke maliyeti etkileşim grafiği



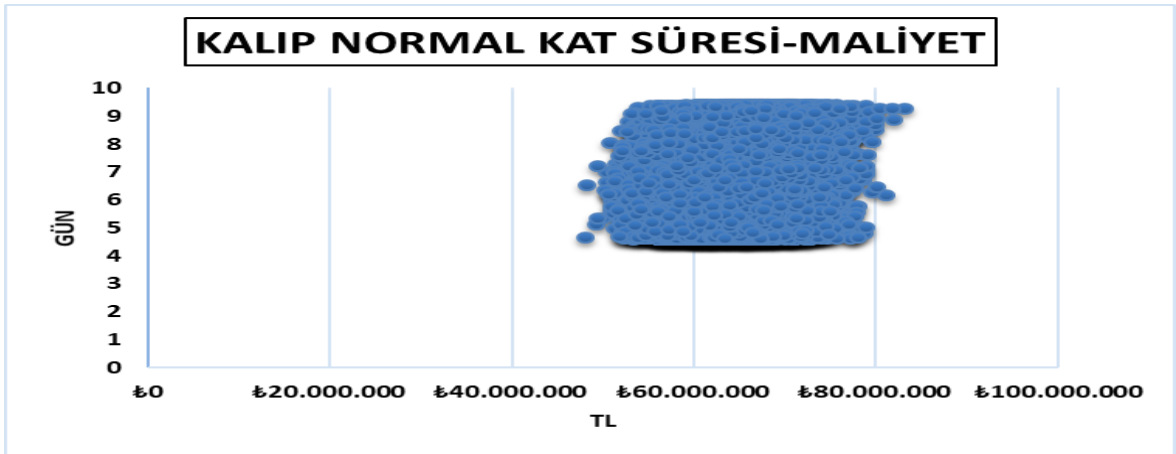
Şekil 5.40 Maliyet-fayans maliyeti etkileşim grafiği



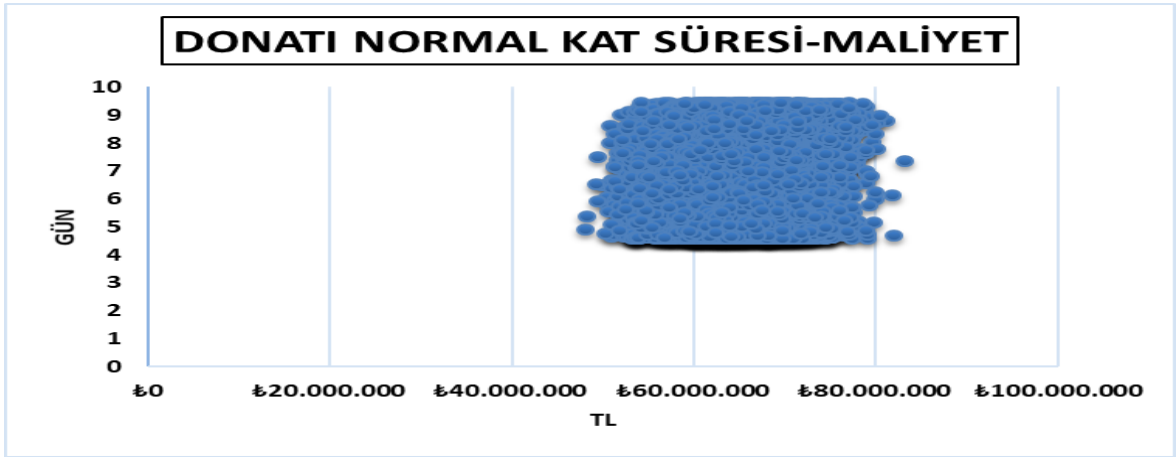
Şekil 5.41 Maliyet-düz işçi maliyeti etkileşim grafiği



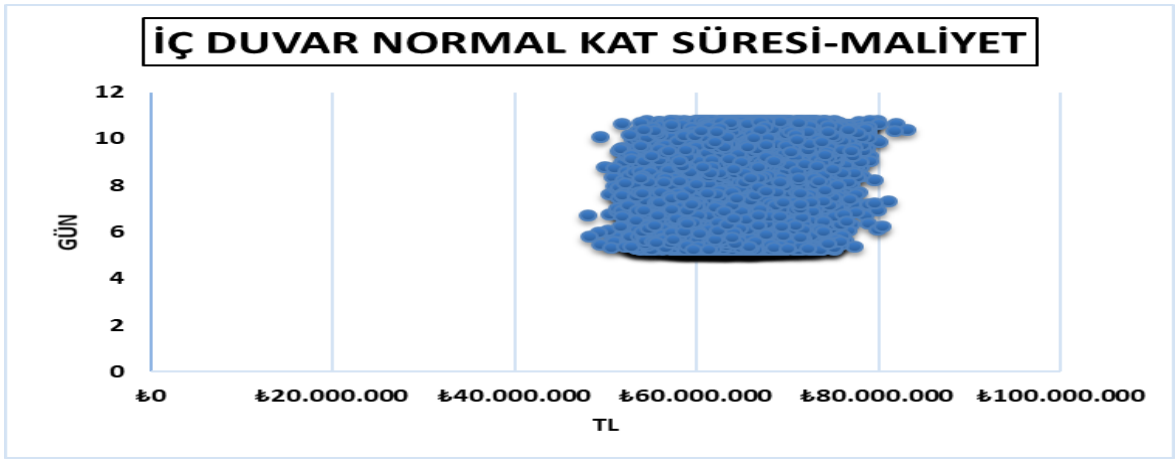
Şekil 5.42 Maliyet-sıva ustası maliyeti etkileşim grafiği



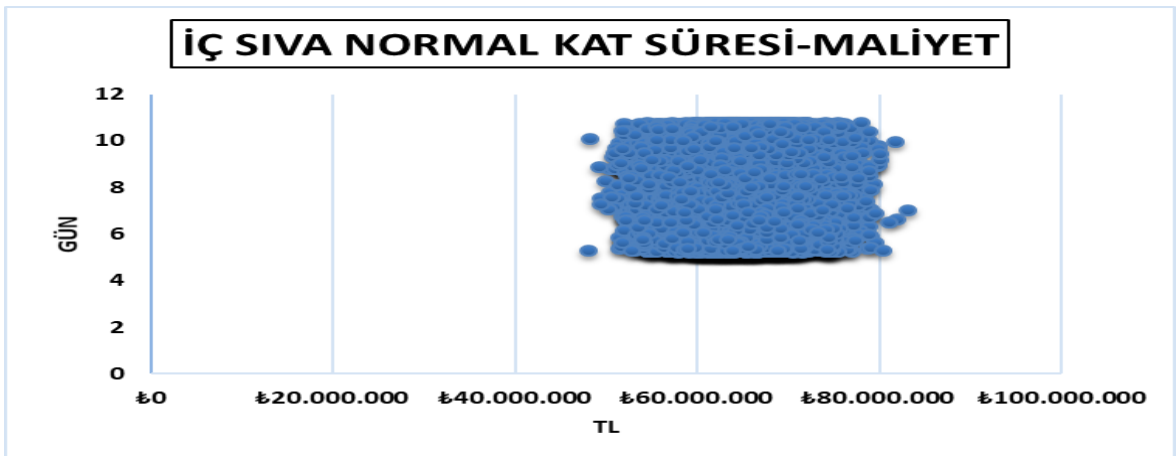
Şekil 5.43 Maliyet-normal kat kalıp süresi etkileşim grafiği



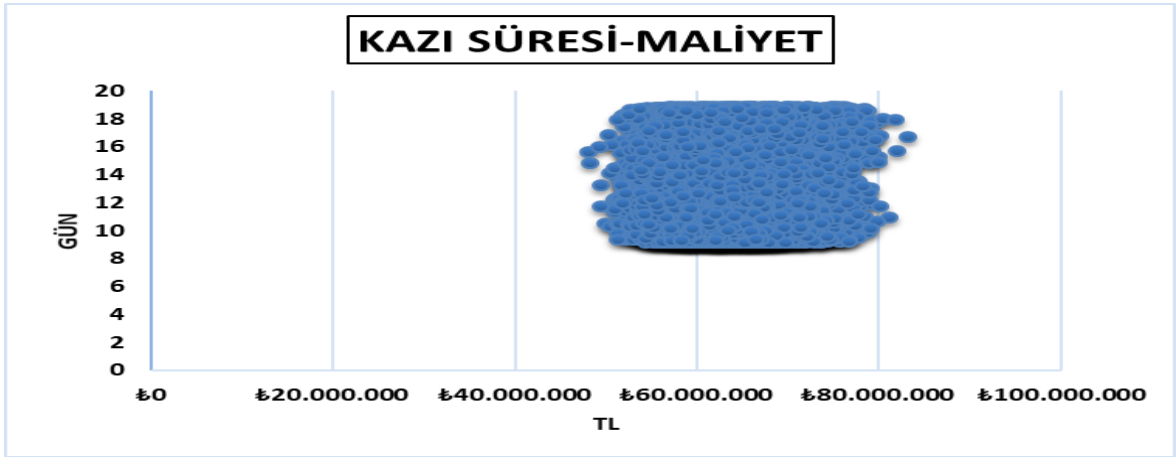
Şekil 5.44 Maliyet-normal kat donatı süresi etkileşim grafiği



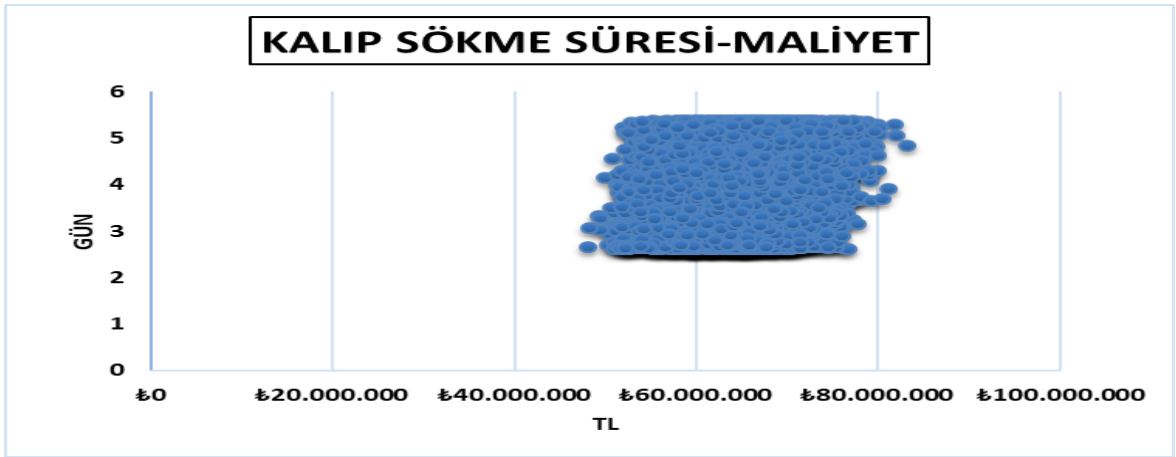
Şekil 5.45 Maliyet-normal kat iç duvar süresi etkileşim grafiği



Şekil 5.46 Maliyet-normal kat iç sıva süresi etkileşim grafiği



Şekil 5.47 Maliyet-kazı süresi etkileşim grafiği



Şekil 5.48 Maliyet-kalıp sökme süresi etkileşim grafiği

5.3 İnşaat Paranın Zaman İçerisinde Değişim Maliyeti İle İlgili Sonuçlar

5.3.1 İnşaat paranın zaman içerisinde değişim maliyeti ile zayıf etkileşimli girdi parametreleri

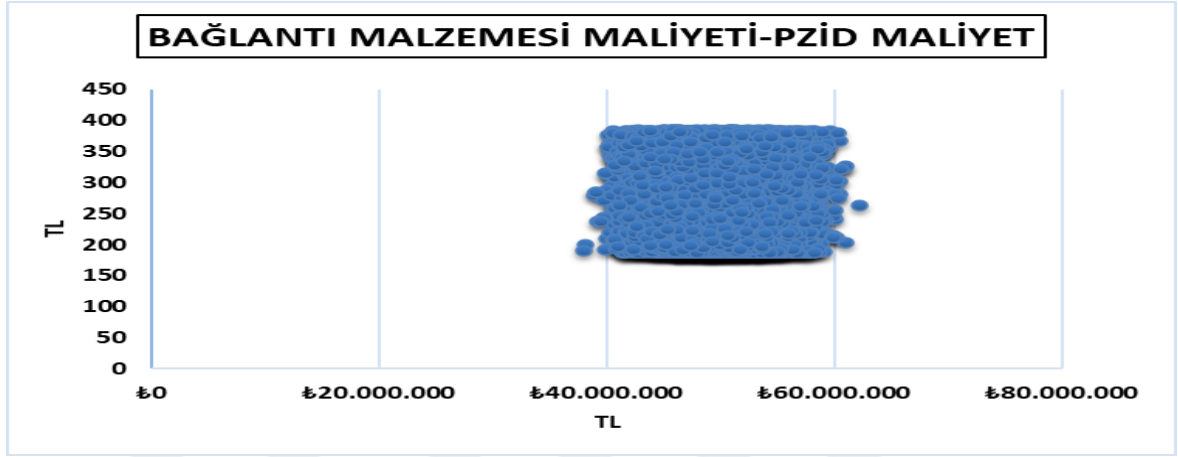
Korelasyon değeri -0,1 ile 0,1 arasında olan girdi parametrelerinin inşaat paranın zaman içerisindeki değişimi maliyeti ile zayıf bir etkileşim içerisinde olduğu kabul edilmektedir. Kabulden anlaşılacağı üzere maliyet ile zayıf etkileşim içerisinde olan girdi parametrelerinin inşaat yapım maliyetinin artması veya azalması durumlarında etkili olmadığı ve toplam inşaat süresine önemli ölçüde etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Girdi parametrelerinin paranın zaman içerisindeki değişimi maliyeti ile zayıf etkileşim içerisinde olması genellikle iş kalemlerinin süresiyle alakalı parametreler olduğunu veya şantiyenin geneline yayılmamasından kaynaklanabileceği anlamına gelmektedir. Zayıf korelasyonlu işlerin maliyet artırımı sonucunda inşaat toplam maliyetine çok fazla etkisinin olmayacağı değerlendirilmektedir.

Tablo 5.5 Paranın zaman içerisinde değişimi ile zayıf etkileşim oluşturan girdi parametreleri

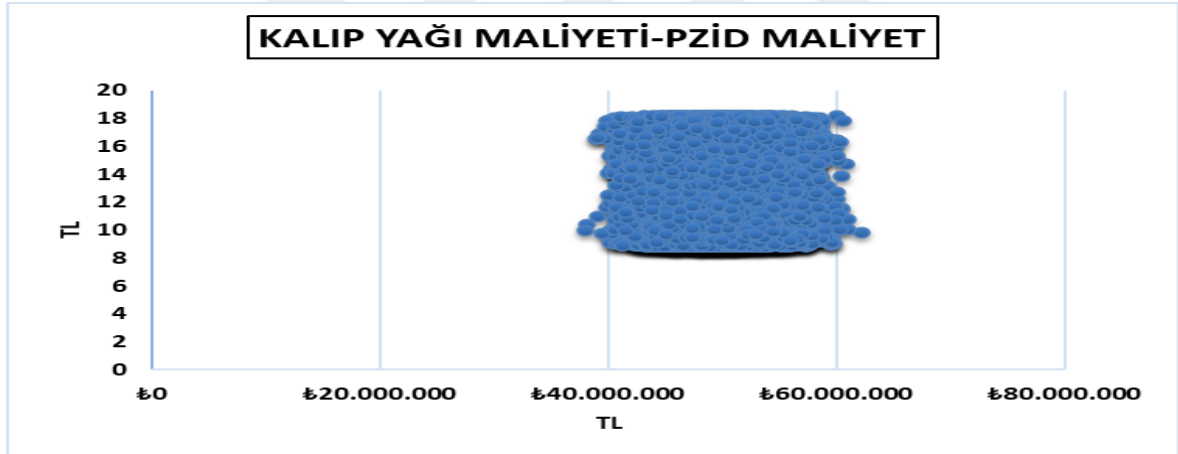
PARANIN ZAMAN İÇERİSİNDE DEĞİŞİMİ MALİYET İLE ZAYIF ETKİLEŞİM OLUŞTURAN GİRDİ PARAMETRELERİ			
No	İş Kalemi	Korelasyon Değeri	Kısmi Türev
1	I bağlantı malzemesi maliyeti	0,00346	0,0008
2	Kalıp yağı maliyeti	0,0012	0,0009
3	I ahşap kiriş maliyeti	0,027	0,012
4	Tutkal maliyeti	0,0115	0,0095
5	Tuğla maliyeti	0,047	0,016
6	Kireç harcı maliyeti	0,0083	0,0032
7	Kum(tuvenan agrega) maliyeti	0,0041	0,0017
8	Çimento maliyeti	0,036	0,016
9	Sönmüş toz kireci maliyeti	0,0017	0,0021
10	Su maliyeti	0,00892	0,003
11	Kaba Harç maliyeti	0,0167	0,0036
12	İnce Harç maliyeti	0,0056	0,0015
13	Kum(ince) maliyeti	0,0008	0,001
14	Şilte maliyeti	0,0047	0,0002
15	Fayans Maliyeti	0,09544	0,024
16	Harç (Fayans) maliyeti	0,00008	0,00006
17	Zımpara kâğıdı maliyeti	0,0029	0,00003
18	Astar maliyeti	0,00606	0,000064
19	Macun maliyeti	0,000084	0,0000003
20	Boya maliyeti	0,0041	0,000009
21	Marangoz ustası maliyeti	0,078	0,032
22	Marangoz usta yardımcısı maliyeti	0,06606	0,0217
23	Soğuk demir ustası maliyeti	0,0190	0,0066

24	Soğuk demir usta yardımcısı maliyeti	0,02657	0,0082
25	Beton ustası maliyeti	0,00096	0,00095
26	Duvar ustası maliyeti	0,03911	0,015
27	Sıva usta yardımcısı maliyeti	0,04351	0,016
28	Boya ustası maliyeti	0,049	0,019
29	Fayans ustası maliyeti	0,0417	0,0131
30	Kalıp zemin kat bitiş süresi	0,00853	0,023
31	Kalıp bodrum kat bitiş süresi	0,0203	0,021
32	Donatı zemin kat bitiş süresi	0,05835	0,046
33	Donatı bodrum kat bitiş süresi	0,043	0,016
34	Dış duvar normal kat bitiş süresi	0,049	0,018
35	Dış duvar zemin kat bitiş süresi	0,01307	0,017
36	İç duvar normal kat bitiş süresi	0,054	0,349
37	İç duvar zemin kat bitiş süresi	0,0076	0,0098
38	İç sıva normal kat bitiş süresi	0,0069	0,22
39	İç sıva zemin kat bitiş süresi	0,011	0,012
40	Dış sıva normal kat bitiş süresi	0,0129	0,0019
41	Dış sıva zemin kat bitiş süresi	0,0096	0,0114
42	Parke normal kat bitiş süresi	0,0105	0,05
43	Parke zemin kat bitiş süresi	0,0153	0,008
44	Fayans normal kat bitiş süresi	0,0048	0,14
45	Fayans zemin kat bitiş süresi	0,0174	0,009
46	Boya normal kat bitiş süresi	0,01312	0,13
47	Boya zemin kat bitiş süresi	0,0044	0,012
48	Çakıl-grobeton süresi	0,00169	0,0038
49	Su yalıtımı süresi	0,0068	0,044
50	Mekanik(temel) süresi	0,005	0,046
51	Temel donatı süresi	0,0054	0,046
52	Temel kalıp süresi	0,0011	0,0028
53	Beton dökme süresi	0,02373	0,007
54	Beton kürü süresi	0,005	0,0005
55	Kalıp sökme(temel) süresi	0,0045	0,0054

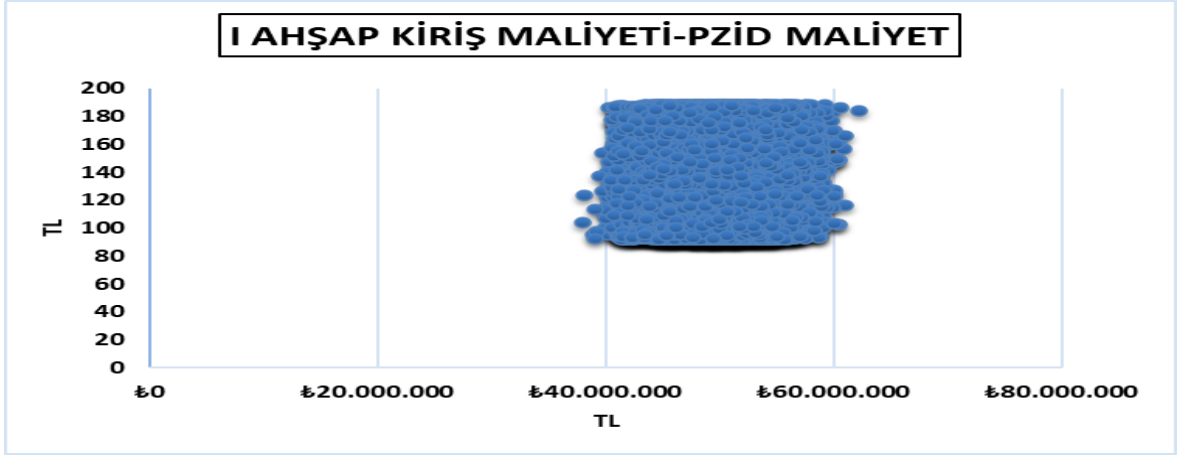
56	Kalıp sökme süresi	0,0546	0,0085
57	Donatı kalıp süresi aralığı	0,0064	0,000008
58	Katlar mekanik süresi	0,0026	0,00086



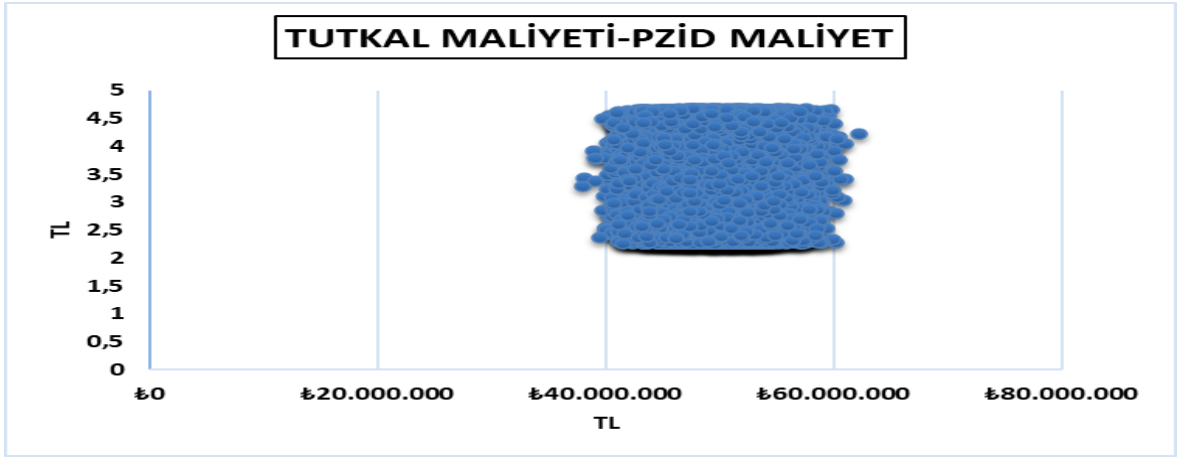
Şekil 5.49 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -1 bağlantı malzemesi maliyeti etkileşim grafiği



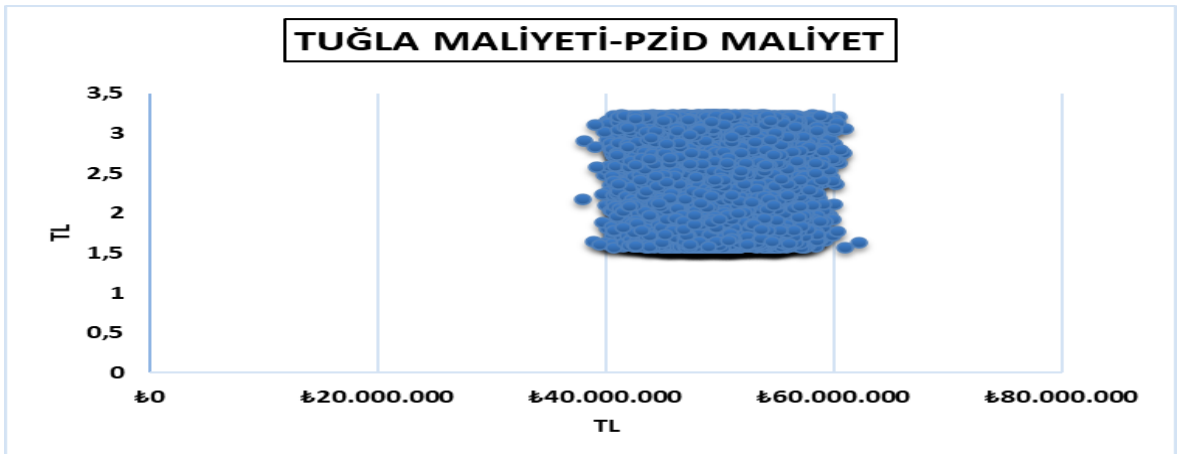
Şekil 5.50 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kalıp yağı maliyeti etkileşim grafiği



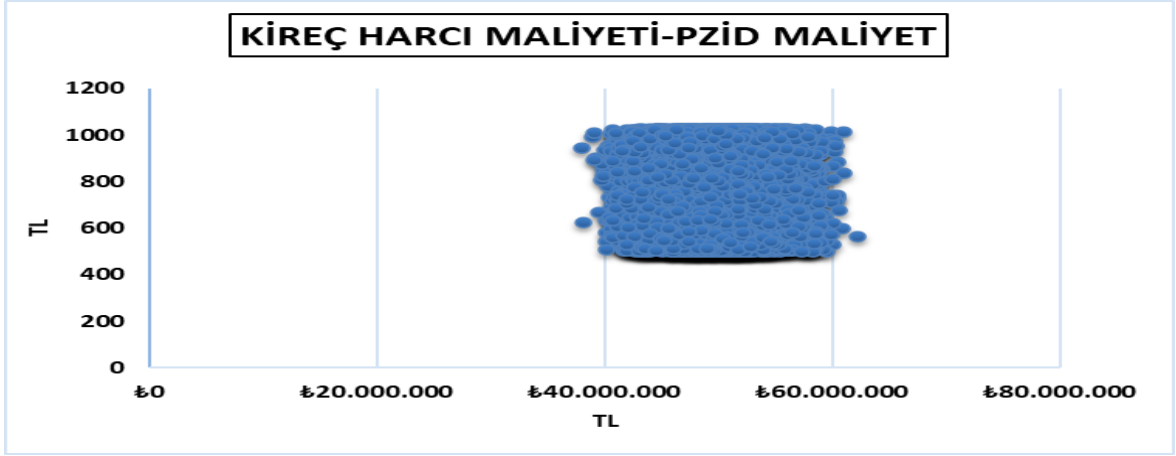
Şekil 5.51 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -1 ahşap kiriş maliyeti etkileşim grafiği



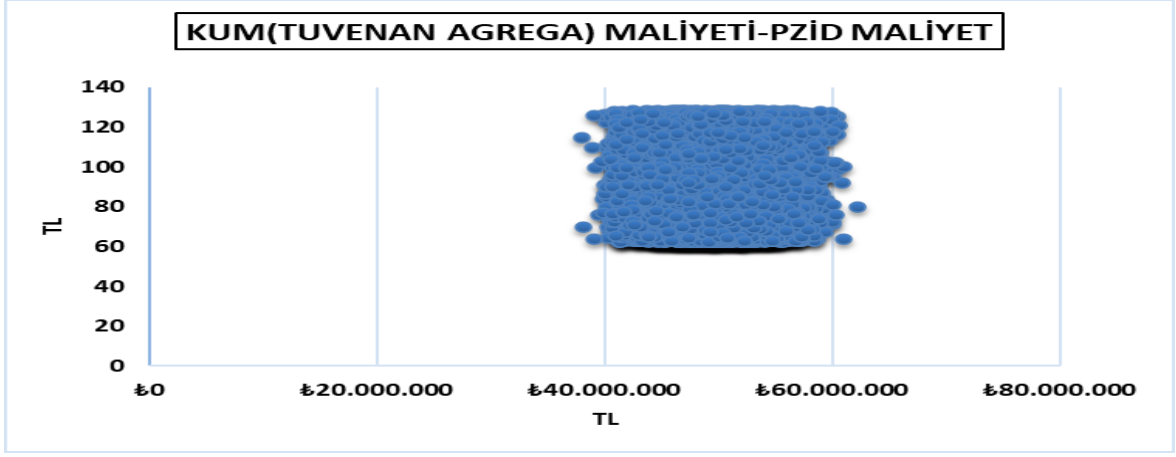
Şekil 5.52 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -tutkal maliyeti etkileşim grafiği



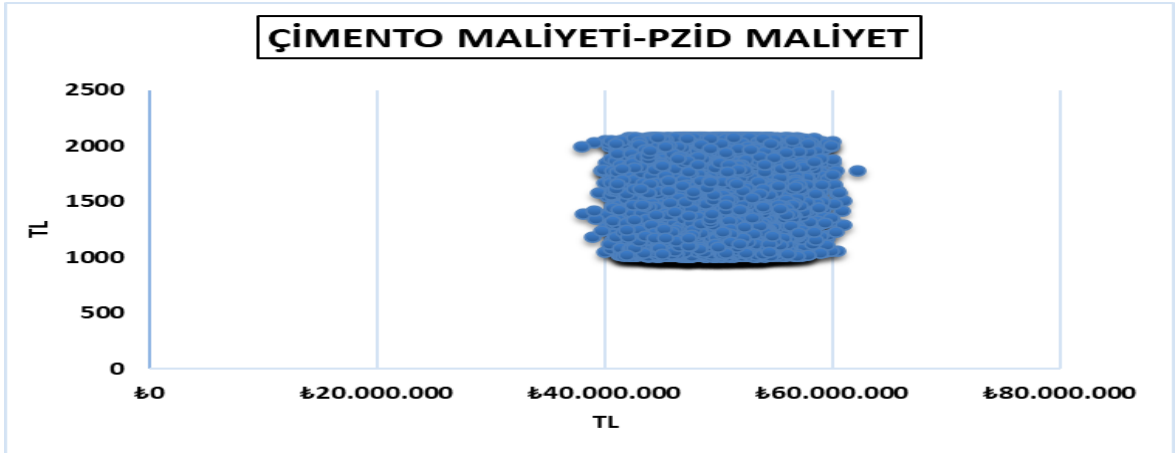
Şekil 5.53 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -tuğla maliyeti etkileşim grafiği



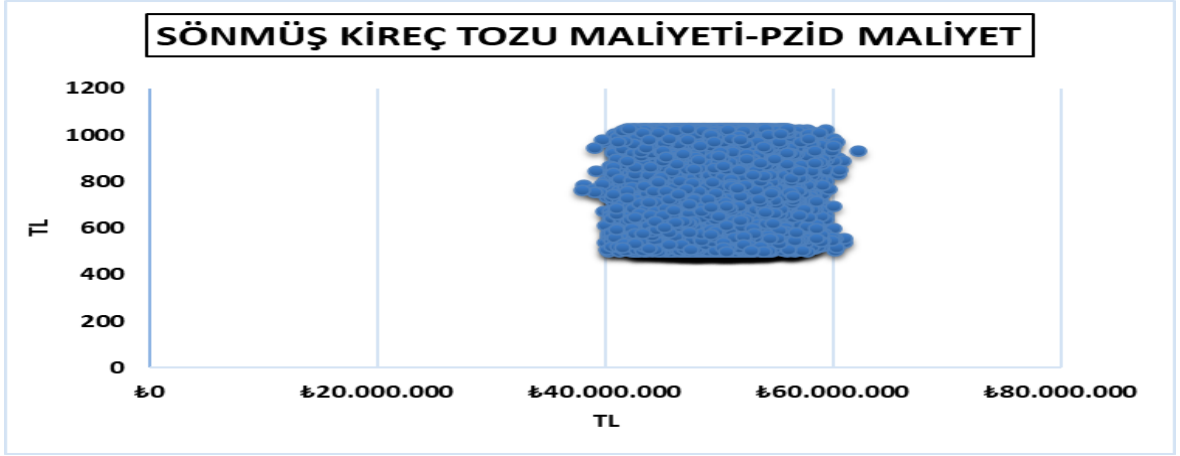
Şekil 5.54 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kireç harcı maliyeti etkileşim grafiği



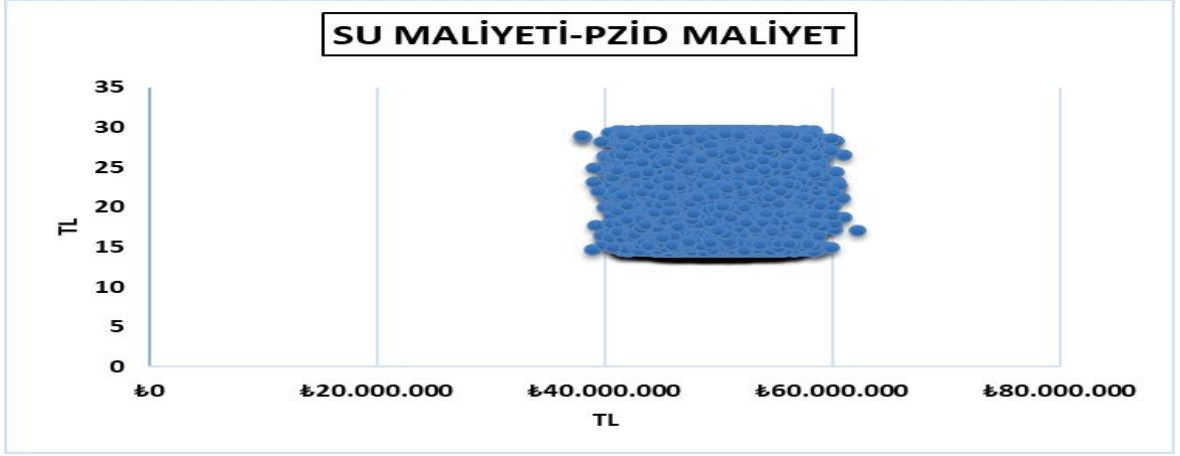
Şekil 5.55 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kum(tuvenan agregası) maliyeti etkileşim grafiği



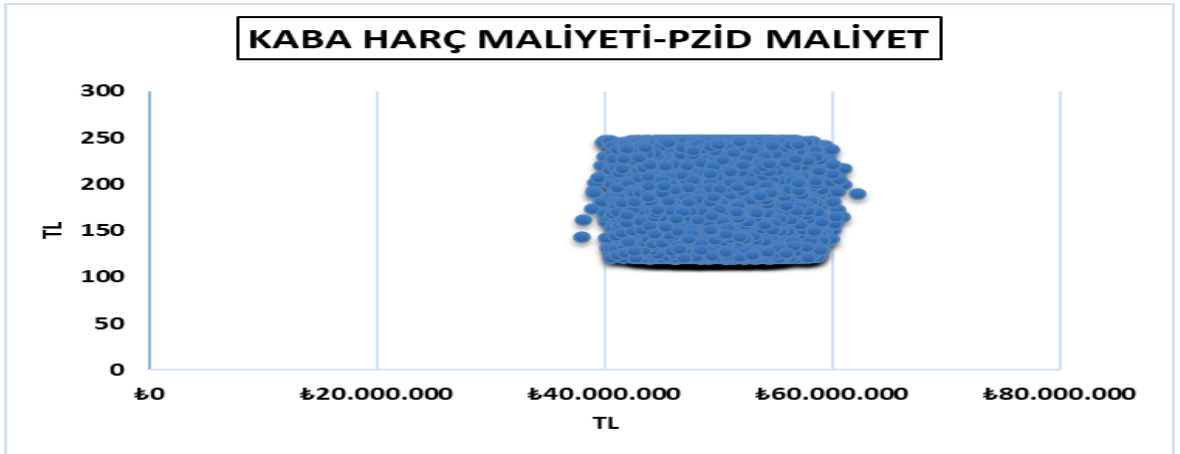
Şekil 5.56 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -çimento maliyeti etkileşim grafiği



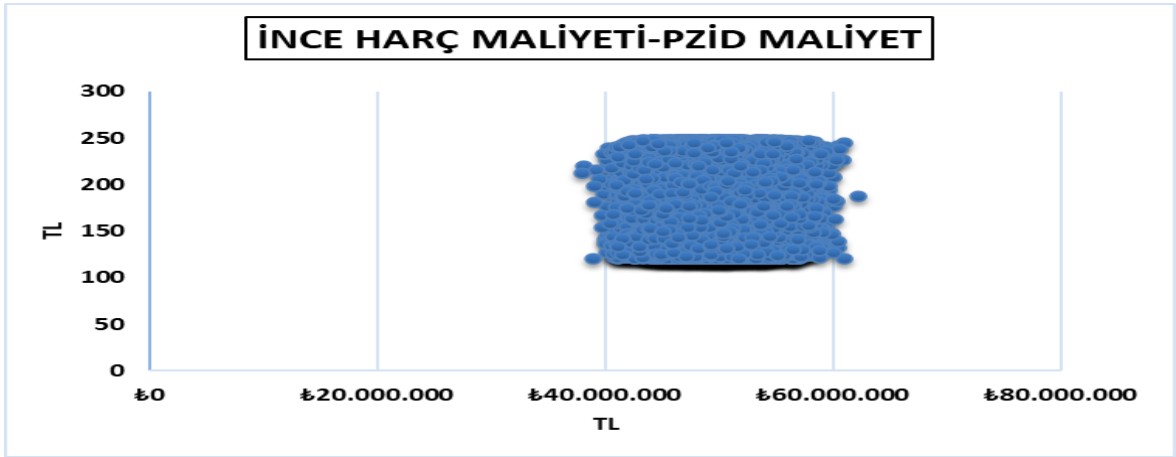
Şekil 5.57 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -sönmüş kireç tozu maliyeti etkileşim grafiği



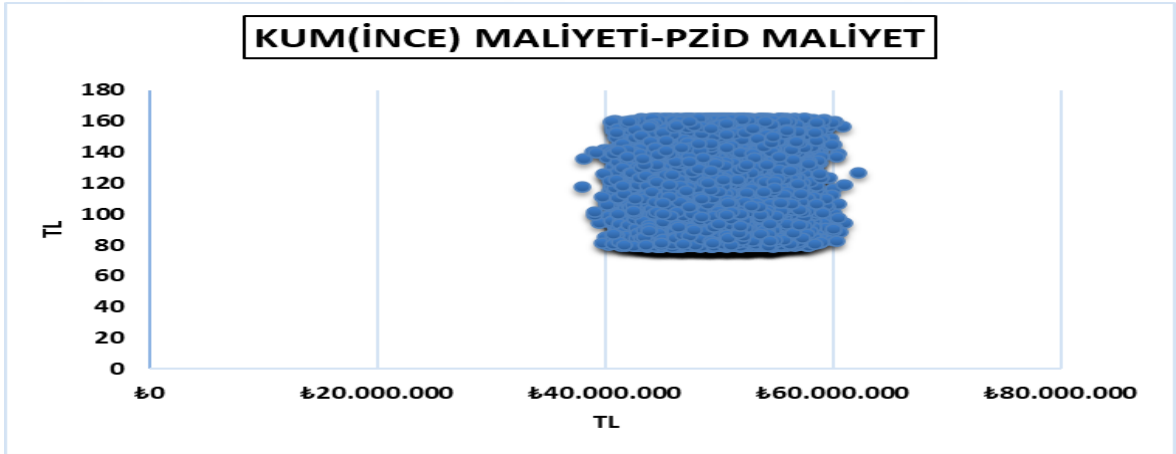
Şekil 5.58 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -su maliyeti etkileşim grafiği



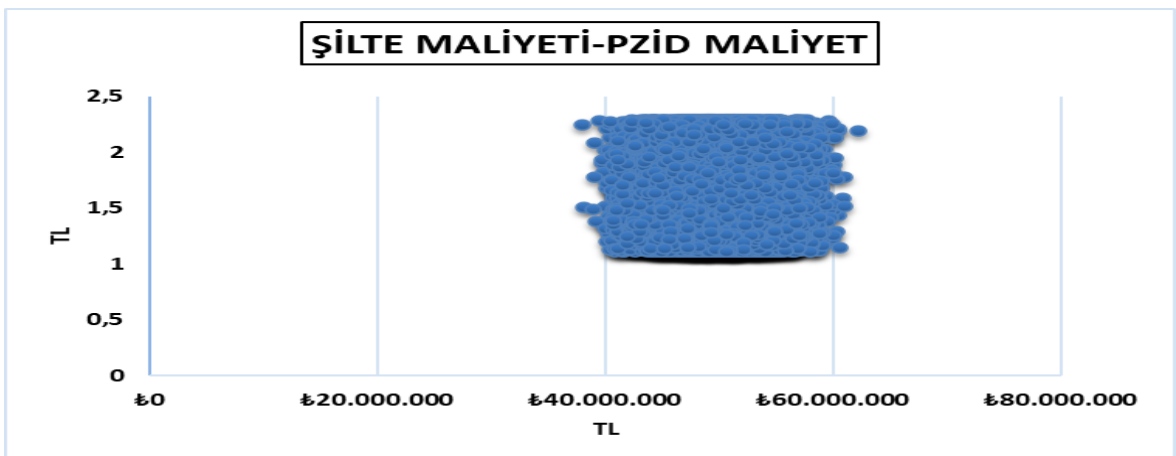
Şekil 5.59 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kaba harç maliyeti etkileşim grafiği



Şekil 5.60 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -ince harç maliyeti etkileşim grafiği



Şekil 5.61 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kum(ince) maliyeti etkileşim grafiği



Şekil 5.62 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -şilte maliyeti etkileşim grafiği

5.3.2 İnşaat paranın zaman içerisinde değişimi maliyeti ile yüksek etkileşimli girdi parametreleri

Korelasyon değeri 0,1'den büyük olan girdi parametrelerinin paranın zaman içerisindeki değişim maliyeti ile yüksek bir etkileşim içinde olduğu kabul edilmektedir. Söz konusu parametrelerin inşaat paranın zaman içerisindeki değişimi maliyetinin artması veya azalmasıyla önemli ölçüde ilişkili olduğunu gösterir. Paranın zaman içerisindeki değişimi maliyet hesaplamaları, tüm inşaat kalemlerinin başlangıç tarihine taşınarak yapılmaktadır. Bu yöntemle, her bir iş kaleminin başlangıç tarihinde inşaat maliyetine doğrudan etkisi belirlenir. İnşaat süreçleri boyunca farklı zamanlarda oluşacak maliyetlerin başlangıç tarihine taşınması, bu maliyetlerin tek bir referans noktasında analiz edilmesini sağlar. Böylece, iş kalemlerinin zamanlamalarına bağlı olarak paranın zaman içerisindeki değişimi maliyete etkileri doğru bir şekilde ölçülür. Bu yaklaşım projedeki maliyet akışlarının net bir şekilde anlaşılmasını ve maliyet artışlarının kaynağının belirlenmesini kolaylaştırır. Özellikle projeye özgü yüksek maliyetli ve fazla kullanılan kalemlerin, toplam maliyet üzerindeki etkisi bu yöntemle daha doğru şekilde analiz edilebilir. Bu nedenle, bu iş kalemlerinin hesaplanmasında büyük bir özen gösterilmeli ve hesaplamaların doğruluğu titizlikle kontrol edilmelidir.

Paranın zaman içerisindeki değişimi maliyet hesaplamalarında, inşaat projelerinde kullanılan tüm iş kalemlerinin başlangıç tarihine taşınması, özellikle yüksek enflasyonun etkili olduğu ekonomik koşullarda, maliyet analizi açısından oldukça önemlidir. Bu yöntem, inşaat sürecinde farklı zamanlarda oluşan maliyetlerin başlangıç tarihine göre normalize edilmesini sağlayarak, her bir iş kaleminin projeye olan doğrudan maliyet etkisini doğru bir şekilde ortaya koyar. Özellikle, inşaat projelerinde fazla etkileşim içerisinde olan iş kalemleri, proje boyunca maliyet artışlarına neden olan en kritik unsurlardır. Başlangıç tarihine taşınarak yapılan bu tür bir hesaplama, yüksek enflasyon gibi ekonomik belirsizliklerin neden olduğu fiyat dalgalanmalarının iş kalemleri üzerindeki etkisini ayırtırmayı ve daha mantıklı sonuçlar elde etmeyi mümkün kılar.

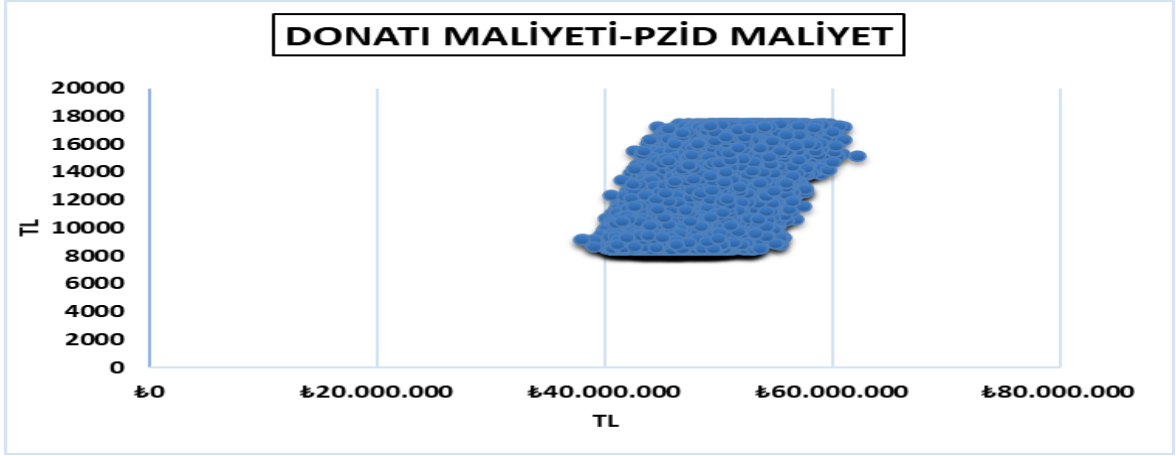
Bu hesaplama yöntemi sayesinde, yüksek maliyetli veya fazla miktarda kullanılan inşaat kalemlerinin, proje maliyetine etkisi daha net bir şekilde anlaşılır. Örneğin, çelik gibi hem birim fiyatı yüksek hem de inşaatlarda yoğun şekilde kullanılan malzemelerin maliyetleri, enflasyon etkisiyle zaman içerisinde önemli değişiklikler gösterebilir. Ancak tüm maliyetlerin başlangıç tarihine taşınması, bu tür malzemelerin gerçek maliyet yükünü ve faizli maliyete etkisini daha sağlıklı bir şekilde hesaplamayı sağlar. Benzer şekilde, iş

gücü ve zaman planlaması gibi projeyi doğrudan etkileyen diğer faktörler de başlangıç tarihine göre analiz edildiğinde, maliyetlerin daha doğru bir şekilde yönetilmesine olanak tanır.

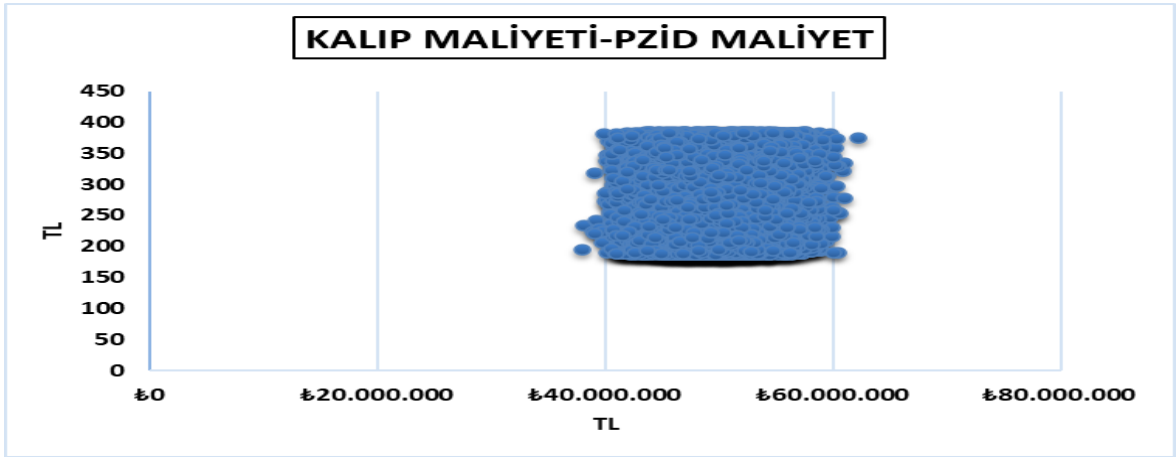
Bu yöntemin bir diğer avantajı, maliyetlerin tek bir referans tarihine indirgenmesi sayesinde bütçe planlamasında daha güvenilir tahminler yapılabilmesidir. Özellikle yüksek enflasyon dönemlerinde, iş kalemlerinin ekonomik dalgalanmalardan nasıl etkilendiği ve bu etkilerin projeye nasıl yansıdığı bu yöntemle detaylı bir şekilde incelenebilir. Sonuç olarak, başlangıç tarihine taşınan bu hesaplamalar, inşaat projelerindeki maliyet unsurlarının daha iyi anlaşılmasına ve projelerin bütçe yönetiminin daha etkin bir şekilde yapılmasına yardımcı olur. Bu nedenle, bu iş kalemlerinin doğru bir şekilde hesaplanması ve enflasyon etkilerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi, proje başarısı açısından oldukça önemlidir.

Tablo 5.6 Paranın zaman içerisinde değişimi ile yüksek etkileşim oluşturan girdi parametreleri

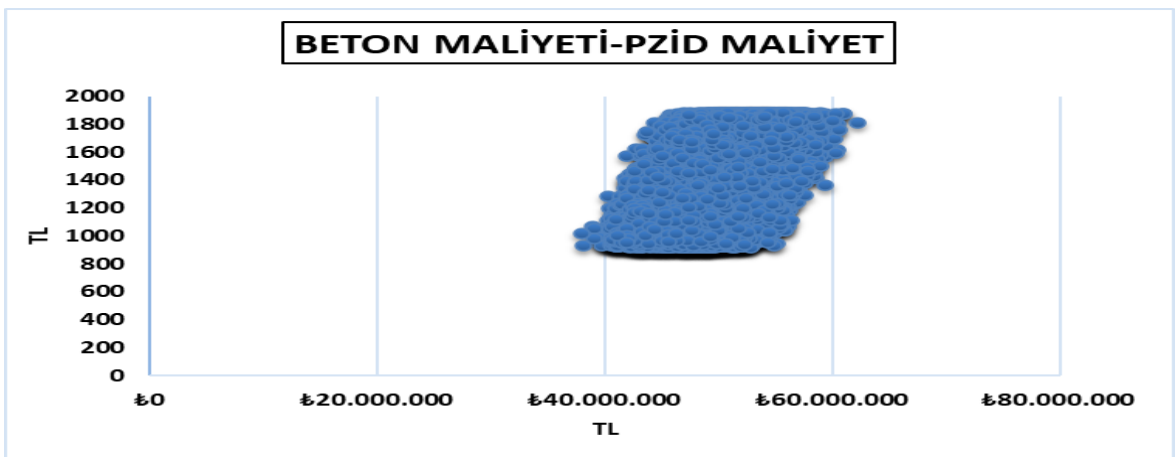
PARANIN ZAMAN İÇERİSİNDE DEĞİŞİMİ İLE YÜKSEK ETKİLEŞİM OLUŞTURAN GİRDİ PARAMETRELERİ			
No	İş Kalemi	Korelasyon Değeri	Kısmi Türev
1	Donatı Maliyeti	0,56447	0,17
2	Kalıp Maliyeti	0,27298	0,026
3	Beton Maliyeti	0,54329	0,22
4	Gaz Beton Maliyeti	0,35838	0,14
5	Parke Maliyeti	0,1421	0,054
6	Düz İşçi Maliyeti	0,259	0,11
7	Sıva Ustası Maliyeti	0,117	0,04
8	Normal Kat Kalıp Süresi	0,28429	0,41
9	Normal Kat Donatı Süresi	0,18943	0,165
10	Kazı Süresi	0,12097	0,1009



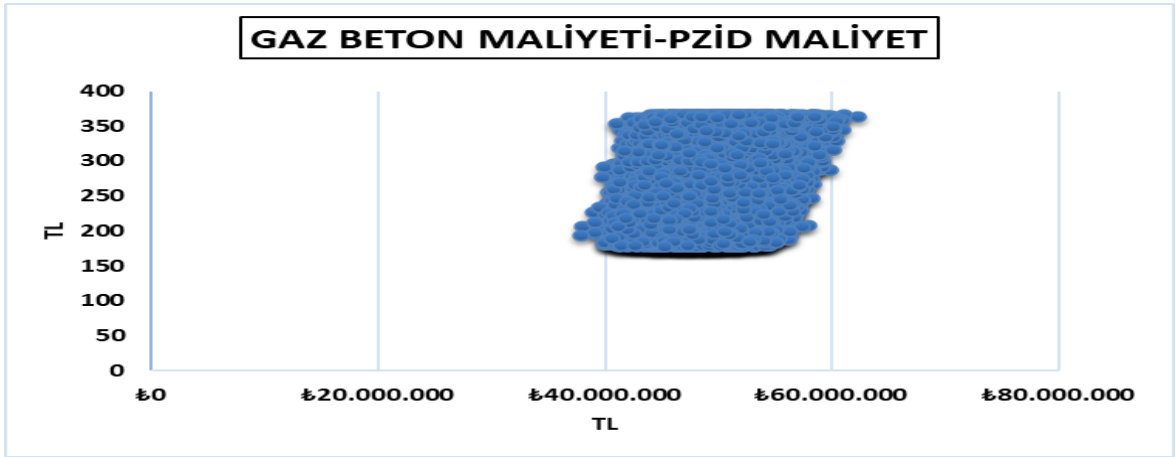
Şekil 5.63 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -donatı maliyeti etkileşim grafiği



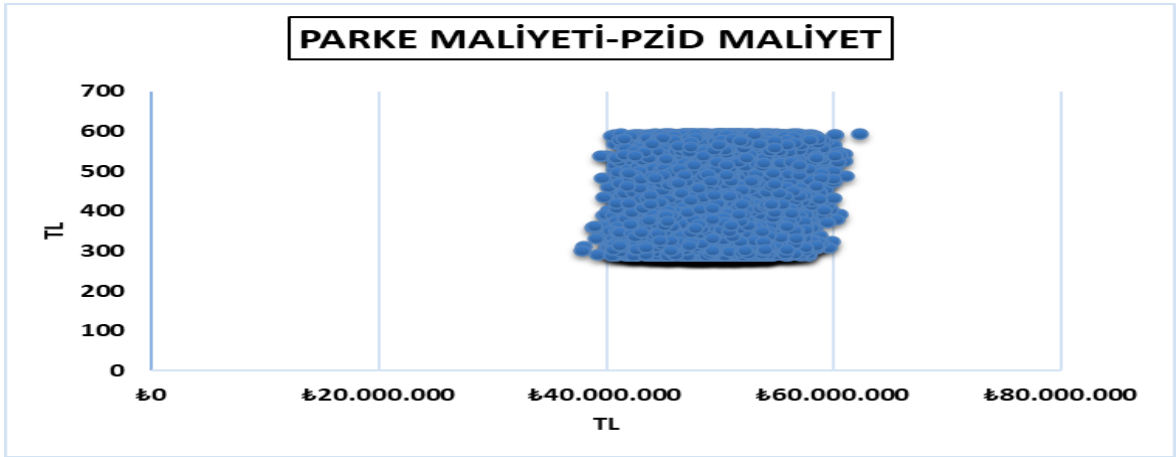
Şekil 5.64 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kalıp maliyeti etkileşim grafiği



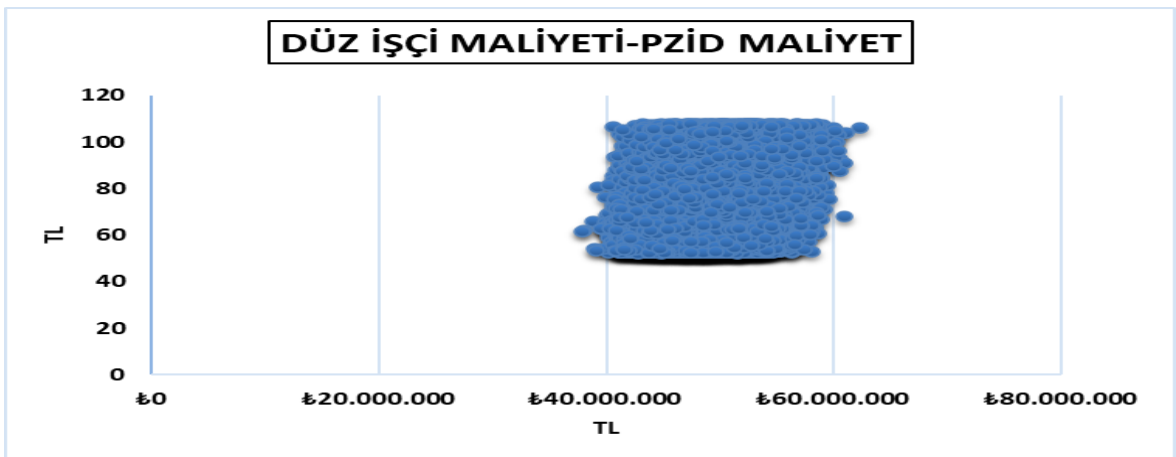
Şekil 5.65 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -Beton maliyeti etkileşim grafiği



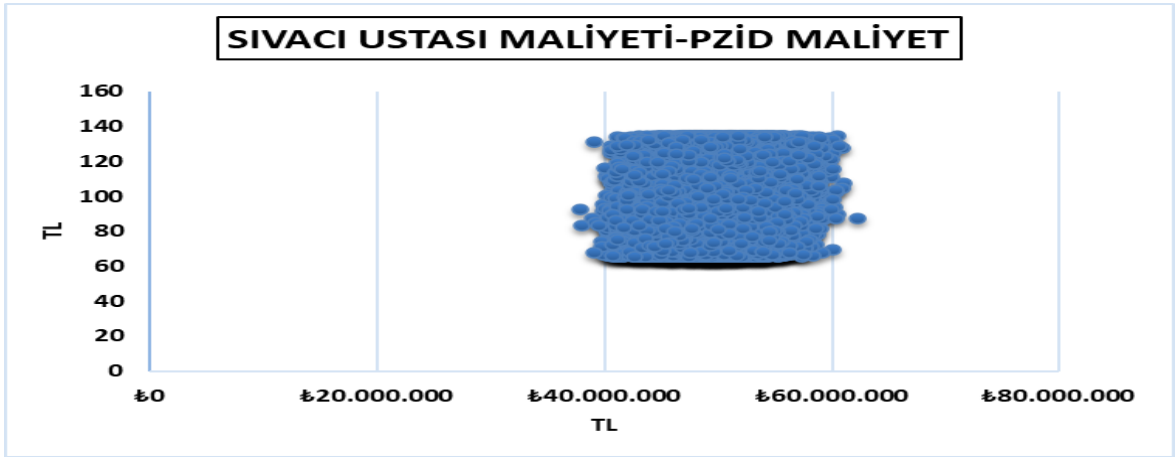
Şekil 5.66 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -gaz beton maliyeti etkileşim grafiği



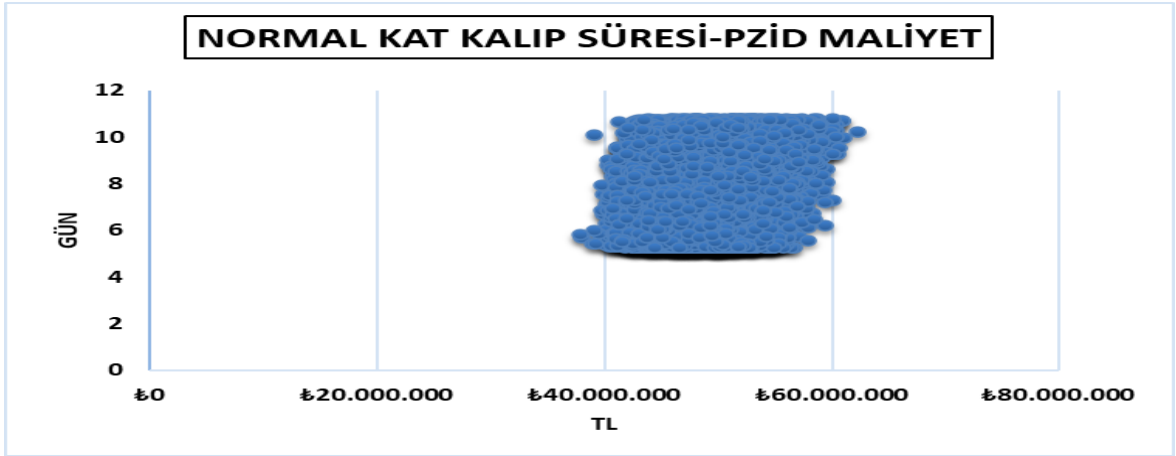
Şekil 5.67 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -parke maliyeti etkileşim grafiği



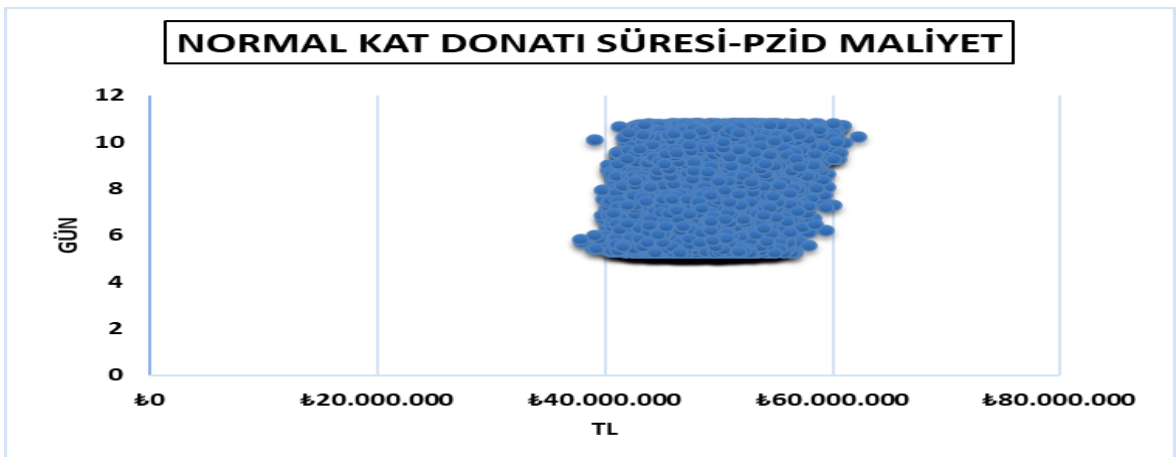
Şekil 5.68 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -düz işçi maliyeti etkileşim grafiği



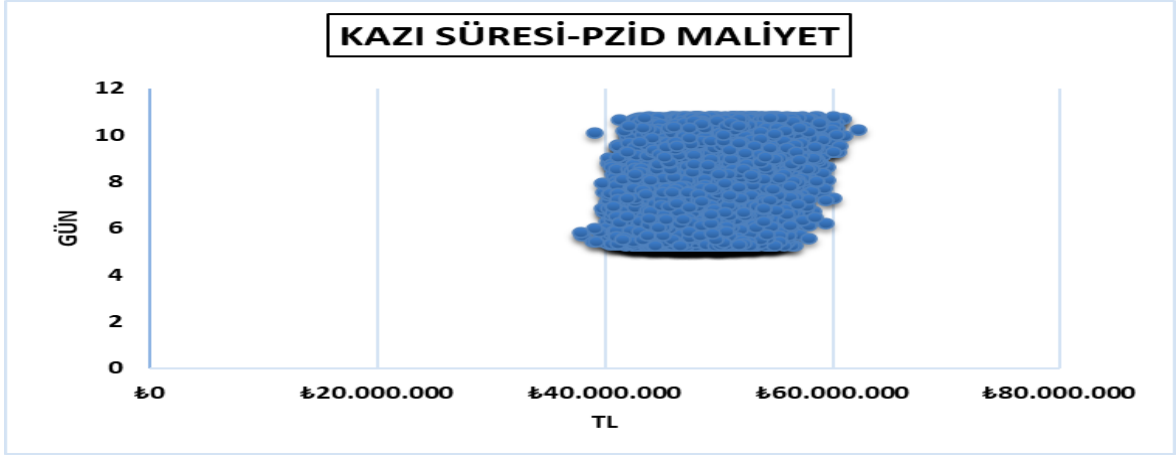
Şekil 5.69 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -sıva ustası maliyeti etkileşim grafiği



Şekil 5.70 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -normal kat kalıp süresi etkileşim grafiği



Şekil 5.71 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -normal kat donatı süresi etkileşim grafiği



Şekil 5.72 Paranın zaman içerisinde değişim maliyeti -kazı süresi etkileşim grafiği

5.4 Sonuçların Kısmi Türev Yöntemi İle Kontrol Edilmesi

Tez çalışması sonucunda elde edilen iş kalemlerinin toplam proje maliyeti ve süresi ile korelasyon değerlerinin doğruluğu, kısmi türev yöntemi ile hesaplanarak teyit edilmiştir. Her bir iş kalemi için süre, maliyet ve paranın zaman içindeki değeri dikkate alınarak kısmi türev yöntemi ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sırasında belirli bir matematiksel model temel alınmış olup, Eşitlik 13’de verilen formülü kullanılmıştır.

$$f'(x) = \frac{-f(x + 2h) + 8f(x + h) - 8f(x - h) + f(x - 2h)}{12h} \quad (13)$$

Formülde, süre ile ilgili kalemler için h değeri 0,1 olarak belirlenmiş ve hesaplamalar bu doğrultuda yapılmıştır. Maliyetle ilgili kalemlerde ise birim fiyatı 100 TL ve üzeri olan iş kalemleri için h değeri 1 TL, birim fiyatı 100 TL’den az olan iş kalemleri için ise 0,01 TL olarak alınmıştır. Hangi iş kalemi için işlemler yapılacak ise diğer iş kalemleri sabit tutulmuş ve alınan sonuçlar süre, maliyet ve paranın zaman içerisindeki değişimi olarak hesaplanmıştır. Örneğin, normal kat kalıp süresi hesaplamalara 7 iş günü olarak dâhil edilmiş olup, kısmi türev hesaplamalarında h değeri 0,1 olarak kullanılmıştır. Benzer şekilde, başlangıç birim fiyatı 12.967,5 TL olan donatı maliyeti işlemlere dahil edilerek, ilgili hesaplamalarda h değeri 1 TL olarak belirlenmiş ve ilgili formülde değerler yerine yazılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. İnşaat süresi ve maliyetini hesaplamak için oluşturulan hesap tablosunda tüm formüller tanımlı olarak işlendiği için h değerinin girilmesi ile kısmi türevler otomatik olarak hesaplanmaktadır.

1 1-DONATI MALİYETİ			
SÜRE	MALİYET	FAİZLİ	
	0 654,5308333	556,0639583	
ETKİ	- 0,00786875	0,02990150	
1 5-I AHŞAP KİRİŞ MALİYETİ			
SÜRE	MALİYET	FAİZLİ	
	0 4220,16	3576,910542	
ETKİ	- 0,00003813	0,00014421	
0,01 9-TUĞLA MALİYETİ			
SÜRE	MALİYET	FAİZLİ	
	0 383275,5	286830,6242	
ETKİ	- 0,00009242	0,00027252	
1 13-SÖNMÜŞ KİREÇ TOZU MALİYETİ			
SÜRE	MALİYET	FAİZLİ	
	0 162,82	118,2369917	
ETKİ	- 0,00000169	0,00000468	
1 17-KUM(İNCE) MALİYETİ			
SÜRE	MALİYET	FAİZLİ	
	0 485,7608333	356,7985583	
ETKİ	- 0,00000037	0,00000105	
1 21-FAYANS HARCİ MALİYETİ			
SÜRE	MALİYET	FAİZLİ	
	0 74,00916667	47,21064167	
ETKİ	- 0,00000020	0,00000043	

Şekil 5.73 Kısmi türev hesaplama tablosu

Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler, Monte Carlo simülasyonu ile hesaplanan korelasyon değerleri ile karşılaştırılmış ve sonuçlar uyumlu, uyumsuz veya bulanık olarak değerlendirilmiştir. Monte Carlo simülasyonu ile elde edilen korelasyon değeri 0,1'den küçükse ve kısmi türev yöntemi ile hesaplanan değer de 0,1'den küçük çıkmışsa, bu durum sonuçların uyumlu olduğunu göstermektedir. Uyumlu olarak hesaplanan değerler iki gruba ayrılmıştır: Eğer elde edilen sonuçlar birbirine %10 oranında yakınsa doğrudan uyumlu kabul edilmiş, ancak aradaki fark bu oranı aşıyorsa uyumlu ancak bulanık olarak değerlendirilmiştir. Tablo 5.7'de sonuçların değerlendirilmesi ile ilgili bilgiler verilmiştir. Şekil 5.74'te elde edilen sonuçlar kaydedilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.7 Sonuç değerlendirilme tablosu

Monte Carlo Değeri	Kısmi Türev Yöntemi	Sonuç
X<0,1	X<0,1	Uyumlu
X>0,1	X>0,1	Uyumlu
X<0,1	X>0,1	Uyumsuz
X>0,1	X<0,1	Uyumsuz

	SÜRE	KISMI SÜRE	UYUMLU	UYUMSUZ	BULANIK	MALİYET	KISMI MALİYET	UYUMLU	UYUMSUZ	BULANIK	PARANIN ZAMAN DEĞERİ MALİYET	KISMI PARANIN ZAMAN DEĞERİ	UYUMLU	UYUMSUZ	BULANIK
[8-12] donatı	0,021020908	0	X			0,468307282	0,088705986	X			0,56302506	0,172920512			
Şantiyeye gelecek kalıp	0,000808416	0	X			0,158572771	0,013712884	X			0,170786455	0,026669017	X		
Bağlama malzemesi	0,010261734	0	X			0,001263451	0,000426448	X			0,003520406	0,000821845			
Kalıp yağı	0,002936288	0	X			9,16E-06	0,000504954	X			0,0012201	0,000973239			
İ kesitli ahşap kiriş	0,003926168	0	X			0,022495625	0,006174809		X		0,027056884	0,012008856			
Beton	0,000846468	0	X			0,463062761	0,112098013	X			0,543572994	0,221774437			
Gaz beton	0,002785278	0	X			0,341778064	0,079361901	X			0,355818197	0,14041874			
Tutkal	0,007987621	0	X			0,009288334	0,005396354	X			0,011526671	0,009548024		X	
Tuğla	0,007838133	0	X			0,042861214	0,009613662		X		0,047038661	0,016508297			
Kireç harcı	0,003206936	0	X			0,008551323	0,001881323	X			0,008399959	0,003230589			
Kum(tüvenan agregal)	0,000342343	0	X			0,004649778	0,00100751	X			0,004103568	0,001703758			
Çimento	0,002887264	0	X			0,03813108	0,006827186		X		0,036086021	0,011571168			
Sönmiş toz kireci	0,002018067	0	X			0,000260025	0,001298728	X			0,001740499	0,002164028			
Su	0,012133239	0	X			0,001748826	0,000224523	X			0,008924548	0,000378435			
Kaba Harç	0,004437359	0	X			0,015269664	0,002146726		X		0,016754048	0,003618095			
İnce Harç	0,0035147	0	X			0,007377849	0,000933368	X			0,005669015	0,001573085			
Kum(ince,derz)	0,005626617	0	X			0,000322095	0,000609215	X			0,000832672	0,001026762			
Parke	0,005950565	0	X			0,157719259	0,036243052		X		0,140537459	0,054724866	X		
Şilte	0,001192148	0	X			0,004023176	0,000140091	X			0,004719185	0,000211437			
Fayans	0,004506827	0	X			0,10368851	0,016243981		X		0,095055417	0,023775241			
Harç	0,001954203	0	X			0,001954203	0,000448621		X		8,3653E-05	0,000656649			
Zımpara kağıdı	0,010194501	0	X			0,000148427	1,42757E-15	X			0,002908043	3,27565E-15			

Şekil 5.74 İki duyarlılık analiz sonuçlarının karşılaştırma tablosu

Süre ile ilgili hesaplamalarda 68 iş kalemi içerisinde 53 iş kalemi için uyumlu, 7 iş kalemi için uyumsuz ve 8 iş kalemi için uyumlu ancak bulanık olarak hesaplanmıştır. Uyumsuz olarak hesaplanan sonuçlar Tablo 5.8’de gösterilmiştir.

Tablo 5.8 Süre ile ilgili uyumsuz sonuç alınan iş kalemleri

KALIP-NORMAL KAT SÜRESİ	KAZI SÜRESİ
DONATI-NORMAL KAT SÜRESİ	BETON DÖKME SÜRESİ
DIŞ DUVAR-NORMAL KAT SÜRESİ	KALIP SÖKME SÜRESİ
BOYA-NORMAL KAT SÜRESİ	

Maliyet ile ilgili hesaplamalarda 68 iş kalemi içerisinde 43 iş kalemi için uyumlu, 9 iş kalemi için uyumsuz ve 16 iş kalemi için uyumlu ancak bulanık olarak hesaplanmıştır. Uyumsuz olarak hesaplanan sonuçlar Tablo 5.9’da gösterilmiştir.

Tablo 5.9 Maliyet ilgili uyumsuz sonuç alınan iş kalemleri

DONATI MALİYETİ	DÜZ İŞÇİ MALİYETİ
KALIP MALİYETİ	SIVA USTASI MALİYETİ
GAZ BETON MALİYETİ	İÇ SIVA-NORMAL KAT SÜRESİ
PARKE MALİYETİ	BOYA-NORMAL KAT SÜRESİ
FAYANS MALİYETİ	

Paranın zaman değeri ile ilgili hesaplamalarda 68 iş kalemi içerisinde 47 iş kalemi için uyumlu, 9 iş kalemi için uyumsuz ve 12 iş kalemi için uyumlu ancak bulanık olarak hesaplanmıştır. Uyumsuz olarak hesaplanan sonuçlar Tablo 5.10'da gösterilmiştir.

Tablo 5.10 Paranın zaman değeri ilgili uyumsuz sonuç alınan iş kalemleri

KALIP MALİYETİ	İÇ DUVAR-NORMAL KAT SÜRESİ
PARKE MALİYETİ	İÇ SIVA-NORMAL KAT SÜRESİ
SIVA USTASI MALİYETİ	FAYANS-NORMAL KAT SÜRESİ
KALIP-NORMAL KAT SÜRESİ	BOYA-NORMAL KAT SÜRESİ
DONATI-NORMAL KAT SÜRESİ	

KAYNAKÇA

- Akgöl, K., & Günay, B.** (2018). Kentiçi Yol Ağlarının Rasyonellik Hesabında Monte Carlo Yönteminin Kullanımı. *Teknik Dergi*.
<https://doi.org/10.18400/tekderg.345376>
- Aydemir, C., & Zorbozan, M.** (2012). Betonarme Kolonların Olası Eğilme Momenti Kapasitelerinin Belirlenmesi İçin Bir Yöntem. *Teknik Dergi*, 23(112), Article 112.
- Beccali, M., Bertini, I., Ciulla, G., & Di, P.** (2011). *Software for weather databases management and construction of Reference Years*. 12, 1182-1186.
<https://doi.org/10.26868/25222708.2011.1419>
- Bettemir, Ö. H.** (2024). Cost and duration estimation of autonomous grading algorithm by simulation. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 42(3), 831-844.
- Bettemir, Ö. H., & Bulak, Ö.** (2022). Scheduling, Management and Optimization of Construction Process. *Teknik Dergi/Turkish Journal of Civil Engineering*, 33(6), 12945-12986.
- Bettemir, Ö. H.** (2020). Computation of Critical Path Probabilities by Modified PERT. *Gazi University Journal of Science*, 33(3), 673-694.
<https://doi.org/10.35378/gujs.611579>
- Bettemir, Ö. H.** (2006). *Sensitivity and error analysis of a differential rectification method for CCD frame cameras and pushbroom scanners* [Master Thesis, Middle East Technical University]. <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/16341>
- Bettemir, Ö. H.** (2009). *Kazi ve Hafriyat Strelerindeki Belirsizliğin Monte Carlo Analizi ile Tahmini*.
- Bettemir, Ö. H.** (2011). Determination of optimum STC orientation by GA. *Proceedings of 5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies - RAST2011*, 203-208. <https://doi.org/10.1109/RAST.2011.5966824>.
- Bettemir, Ö. H.** (2011). Prediction of georeferencing precision of pushbroom scanner images. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 50(3), 831-838.
- Birgönül, M. T., & Dikmen, İ.** (1996). *İnşaat Projelerinin Risk Yönetimi*. 1305-1326.
- Çalamak, M.** (2017). Tanyeri barajı örneğinde barajların taşkın nedeniyle üstten aşılma güvenilirliğinin belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), Article 3. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.337652>
- Çavuş, T. F., & Yanıkoğlu, E.** (2003). Karmaşık Sistemlerin Monte Carlo Yöntemi ile Güvenilirlik Analizi. *Sakarya University Journal of Science*, 7(3), Article 3.
- Doran, B., & Alacalı, S.** (2017). Bağ Kirişlerinin Göçme Olasılıklarının Monte Carlo Simülasyonu ile Belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 19(55), Article 55.
- Ergen, F., & Bettemir, Ö. H.** (2025). BIM-driven software and algorithm for optimal floor tile layout minimizing material waste. *Automation in Construction*, 173, 106115.
- Ergen, F., & Bettemir, Ö. H.** (2024, February). Development of ontological algorithms for exact QTO of reinforced concrete construction items. In *Structures*, 60, p. 105907, Elsevier.

- Ergen, F., & Bettemir, Ö. H.** (2023). Development of BIM-based prototype software for the accurate quantity take-off calculation of rough construction items. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(1), 86-105.
- Ergen, F., & Bettemir, Ö. H.** (2022). Development of BIM software with quantity take-off and visualization capabilities. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 5(1), 1-14.
- Goulding, J. S., Rahimian, F. P., & Wang, X.** (2014). Virtual reality-based cloud BIM platform for integrated AEC projects. *Journal of Information Technology in Construction*, 19, 308-325.
- Helton, J. C.** (1993). *Uncertainty and sensitivity analysis techniques for use in performance assessment for radioactive waste disposal*. 42, 327-367.
- Köse, Ö., & Yanmaz, A. M.** (2010). Köprü Kenar Ayaklarındaki Oyulma Güvenilirliği. *Teknik Dergi*, 21(101), Article 101.
- Lin, Y.-C., Chen, Y.-P., Yien, H.-W., Huang, C.-Y., & Su, Y.-C.** (2018). Integrated BIM, game engine and VR technologies for healthcare design: A case study in cancer hospital. *Advanced Engineering Informatics*, 36, 130-145. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2018.03.005>
- Liu, K., Liu, Y., Zhou, H., Kou, Y., Ji, Q., & Li, D.** (2021). Evolutionary game and numerical simulation of participants' collaborative behavior in integrated project delivery project. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 373-385. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.08.038>
- Natephra, W., Motamedi, A., Fukuda, T., & Yabuki, N.** (2017). Integrating building information modeling and virtual reality development engines for building indoor lighting design. *Visualization in Engineering*, 5(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0058-x>
- Omaran, S. M., Alghamdi, A. A., Alharishawi, S. C., & Hains, D. B.** (2019). *Integrating BIM and Game Engine for Simulation Interactive Life Cycle Analysis Visualization*. 120-128. <https://doi.org/10.1061/9780784482421.016>
- Osorio Sandoval, C., Tizani, W., & Koch, C.** (2018). A method for discrete event simulation and building information modelling integration using a game engine. *Advances in Computational Design*, 3, 405-418. <https://doi.org/10.12989/acd.2018.3.4.405>
- Öztekin, E.** (2015). Investigation of Reliabilities of Bolt Distances for Bolted Structural Steel Connections by Monte Carlo Simulation Method. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 21(6), 213-223. <https://doi.org/10.5505/pajes.2015.29981>
- Rüppel, U., & Schatz, K.** (2011). Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), 600-611. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.08.001>
- Sağlam, B., & Bettemir, Ö. H.** (2018). Estimation of duration of earthwork with backhoe excavator by Monte Carlo Simulation. *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 1, 85-94. <https://doi.org/10.31462/jcemi.2018.01085094>

- Şengül, Ö.** (2011). Probabilistic Design for the Durability of Reinforced Concrete Structural Elements Exposed to Chloride Containing Environments. *Teknik Dergi*, 22(110), Article 110.
- Yan, W., Culp, C., & Graf, R.** (2011). Integrating BIM and gaming for real-time interactive architectural visualization. *Automation in Construction*, 20(4), 446-458. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.013>



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmet Fatih ACAR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

YÜKSEK LİSANS VEYA DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR (Makaleler, Bildiriler, Patentler v.b.)

- Kaya M., Bettemir Ö. H., Acar M. F. (2024) “Digital Twin Implementation Opportunities for Civil Engineering Applications” International Conference on Engineering Technologies (ICENTE’24), 210 – 216.
- Kaya M., Bettemir Ö. H., Acar M. F. (2024) “Assessment of Schedule Variances By Monte Carlo Simulation” Kitap Bölümü INNOVATIVE APPROACHES IN APPLIED ENGINEERING FIELDS, Selçuk University Press, Konya.