



**TARİHİ BİR YAPININ MALZEMELERİNİN RESTORASYON
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: ANKARA KALECİK KALESİ
ÖRNEĞİ**

Ali EMİROSMANOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2024

ETİK BEYAN

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

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

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

Ali EMİROSMANOĞLU

18/07/2024

TARİHİ BİR YAPININ MALZEMELERİNİN RESTORASYON AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ: ANKARA KALECİK KALESİ ÖRNEĞİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ali EMİROSMANOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2024

ÖZET

Bir toplumun sahip olduğu tarihsel birikimin gelecek kuşaklara aktarılması, o toplumun sürekliliği ve kimliği açısından büyük bir öneme sahiptir. M.Ö. 200'lü yıllarda inşa edilen Kalecik Kalesi; Galatlar döneminden itibaren birçok uygarlığa tanıklık etmiştir. Geçmişten geleceğe köprü işlevi gören tarihi yapıların korunması, uygun teknik ve malzeme seçimleriyle sağlanabilmektedir. Bu kapsamda yapılan bu çalışmada, tarihi yapıların restorasyonunda uygun malzeme ve teknik seçimi Ankara Kalecik Kalesi özelinde ele alınmıştır. Kalenin 4 cephesinden (kuzey, güney, doğu, batı) alınan numunelerle çalışmalar yapılmıştır. Kaleden alınan numuneler üzerinde fiziksel deneyler ve elektron mikroskobu analizleri (SEM ve EDS) tatbik edilmiştir. Bu analizler sonucunda yapıda kullanılan malzemelerin basınç dayanımı, porozite, su emme, yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir. EDS analizleri sonucunda, kuzey ve güney cephesinde silisyum, batı ve doğu cephelerinde ise kalsiyum ağırlıklı element yüzdelerinin belirgin olduğu gözlemlenmiştir. SEM analizleri sonucunda, parçacıkların homojen bir dağılım sergilediği tespit edilmiştir. Basınç dayanımları açısından en yüksek değer doğu cephesinde, en düşük değer ise kuzey cephesinde ölçülmüştür. Diğer fiziksel testlerin sonuçları, dört cepheye ait değerlerin birbirine yakın olduğunu göstermiştir. Ayrıca numunelerden elde edilen veriler ışığında SAP 2000 programı ile kale modellenmiş ve yapının statik durumu değerlendirilmiştir. Sayısal modelleme ve analiz sonucunda ölü yükler altında yapının stabil olduğu saptanmış ve hareketli yükler altında yapının hasar alabileceği öngörülmüştür.

Bilim Kodu : 91127
Anahtar Kelimeler : Ankara Kalecik Kalesi, malzeme, restorasyon, fiziksel deneyler, sayısal modelleme
Sayfa Adedi : 83
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÖKDEMİR

EVALUATION OF THE MATERIALS OF A HISTORICAL BUILDING IN TERMS OF RESTORATION: THE EXAMPLE OF ANKARA KALECİK CASTLE

(M. Sc. Thesis)

Ali EMİROSMANOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2024

ABSTRACT

Transferring the historical accumulation of a society to future generations is of great importance for the continuity and identity of that society. Kalecik Castle, built in 200 BC, has witnessed many civilizations since the Galatians period. The protection of historical buildings, which serve as a bridge from the past to the future, can be ensured by appropriate technique and material choices. In this study, the selection of appropriate materials and techniques in the restoration of historical buildings is discussed in the case of Ankara Kalecik Castle. Studies were carried out with samples taken from 4 facades of the castle (north, south, east, west). Physical tests and electron microscope analyzes (SEM and EDS) were performed on the samples taken from the castle. As a result of these analyzes, compressive strength, porosity, water absorption, density and unit volume weight values of the materials used in the structure were obtained. As a result of the EDS analysis, it was observed that the percentages of silicon-dominant elements on the north and south facades and calcium-dominant elements on the west and east facades were prominent. As a result of SEM analysis, it was determined that the particles exhibited a homogeneous distribution. In terms of compressive strength, the highest value was measured on the east facade and the lowest value on the north facade. The results of other physical tests showed that the values of the four facades were close to each other. In the light of the data obtained from the samples, the castle was modeled with SAP 2000 program and the static condition of the structure was evaluated. As a result of numerical modeling and analysis, it was determined that the structure was stable under dead loads and it was predicted that the structure could be damaged under live loads.

Science Code : 91127

Key Words : Ankara Kalecik Castle, material, restoration, physical experiments, numerical analysis

Page Number : 83

Supervisor : Assist Prof. Dr. Ahmet GÖKDEMİR

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűrecinde maddi ve manevi olarak desteęini benden esirgemeyen, tez çalıőmamı daha kolay kılan sevgili eőim Merve SALT EMİROSMANOęLU'na űkranlarımı sunar ve içtenlikle teőekkűr ederim. Hayatım boyunca maddi ve manevi tűm desteęini esirgemeyen babam Necmi EMİROSMANOęLU, annem Elmas EMİROSMANOęLU ve aęabeyim Mustafa EMİROSMANOęLU'na tez çalıőmam sırasında desteklerinden dolayı tűm kalbimle teőekkűr ederim. Yűksek lisans eęitimim sűresince benim için çok deęerli olan, bilgi ve tecrűbelerini benimle paylaőan, yanımda olup her konuda bana yardımcı olan tez danıőmanım Dr. Őęretim Ūyesi Ahmet GŐKDEMİR hocama en içten teőekkűrlerimi sunarım. Tez çalıőmam boyunca her tűrlű desteklerini hissettięim arkadaőlarım Arő. GŐr. Ahmet ERDAę'a ve inőaat műhendisi Tunç Baran YŪCEL'e teőekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. ANKARA KALECİK İLÇESİ	9
3.1. Coğrafi Durum	9
3.2. Ankara’da Deprem	10
3.3. Ankara İli ve Kalecik İlçesinin Jeolojik Özellikleri.....	10
3.4. Kalecik İlçesi Nüfusu	11
3.5. Kalecik İlçesinin Tarihçesi.....	12
4. SAVUNMA YAPILARI KALELER	17
5. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN MALZEMELER.....	25
5.1. Doğal Taşlar	25
5.2. Tuğla	26
5.3. Kerpiç.....	27
5.4. Tarihi Yapılarda Kullanılan Harçlar	27
5.4.1. Kireç harcı.....	28
5.4.2. Horasan harcı	28

	Sayfa
6. RESTORASYON YÖNTEMLERİ	31
6.1. Tarihi Yapılarda Hasar Çeşitleri	32
6.1.1. Yıkılmalar	32
6.1.2. Çatlaklar	32
6.1.3. Taş Erimeleri ve kayıpları	33
6.1.4. Nemlenme ve nemlenmeye bağlı çürüme	33
6.2. Restorasyon Teknikleri	33
6.2.1. Sağlamaştırma	33
6.2.2. Bütünleme	34
6.2.3. Yenileme	35
6.2.4. Yeniden yapma.....	35
6.2.5. Taşıma	36
6.2.6. Temizleme.....	36
7. MALZEME VE YÖNTEM	37
7.1. Malzeme	37
7.2. Yöntem	37
7.2.1. Deney numunelerinin hazırlanması.....	37
7.2.2. Basınç dayanımı deneyi	38
7.2.3. Porozite deneyi.....	39
7.2.4. Birim hacim ağırlık deneyi	39
7.2.5. Yoğunluk deneyi	40
7.2.6. Su emme deneyi	40
7.2.7. Taramalı elektron mikroskobu analizleri (SEM)	41
7.2.8. Taramalı elektron mikroskobu analizleri (EDS).....	41
8. BULGULAR VE TARTIŞMA	43
8.1. Basınç Dayanımı Deneyi.....	43

	Sayfa
8.2. Porozite Deneyi	44
8.3. Birim Hacim Ağırlık Deneyi.....	46
8.4. Yoğunluk Deneyi	48
8.5. Su Emme Deneyi.....	50
8.6. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizleri (SEM)	51
8.7. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizleri (EDS).....	53
9. TARİHİ KALECİK KALESİ’NİN SUR DUVARLARININ MODELLENMESİ VE YAPISAL ANALİZİ.....	57
9.1. Kalecik Kalesi Sur Yapısı	57
9.2. Statik Analizde Kullanılan Kale Ölçüleri	58
9.3. Kalenin Modellenmesi	58
9.4. Yapının SAP 2000 Programına Aktarılması	60
9.5. Ölü Yükler Altında Yapı Analizi	62
9.6. Ölü Yük ve Deprem Yüğü Altında Yapı Analizi.....	69
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	83

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Ankara Kalecik ilçesi nüfus verileri	12
Çizelge 5.1. Doğal taş çeşitleri ve fiziki özellikleri [40]	25
Çizelge 8.1. Basınç dayanımı deneyi sonuçları	43
Çizelge 8.2. Porozite deneyi sonuçları.....	45
Çizelge 8.3. Birim hacim ağırlık deneyi sonuçları	46
Çizelge 8.4. Yoğunluk deneyi sonuçları	48
Çizelge 8.5. Su emme deneyi sonuçları.....	50
Çizelge 9.1. Elastisite modülü ve poisson oranı değerleri	59
Çizelge 9.2. Emniyetli gerilmeler	65

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Ankara ili deprem risk haritası	10
Şekil 4.1. Top mazgalı çeşitleri.....	22
Şekil 5.1. Doğal taş kullanılan örnek yapı	26
Şekil 8.1. Ortalama basınç dayanımları (MPa)	44
Şekil 8.2. Ortalama porozite değerleri	45
Şekil 8.3. Ortalama kuru birim hacim ağırlık değerleri	47
Şekil 8.4. Ortalama doygun birim hacim ağırlık değerleri	47
Şekil 8.5. Ortalama gerçek yoğunluk değerleri	49
Şekil 8.6. Ortalama görünür yoğunluk değerleri	49
Şekil 8.7. Ortalama ağırlıkça su emme değerleri	50
Şekil 8.8. Ortalama hacimce su emme değerleri.....	51
Şekil 8.9. Kuzey cephe EDS analizi	54
Şekil 8.10. Batı cephe EDS analizi	54
Şekil 8.11. Güney cephe EDS analizi	54
Şekil 8.12. Doğu cephe EDS analizi.....	55
Şekil 9.1. Kalecik Kalesi giriş kısmı analiz modeli	60
Şekil 9.2. Kalecik Kalesi giriş kısmı analiz modeli sağ yan görünümü	61
Şekil 9.3. Kalecik Kalesi giriş kısmı analiz modeli sol yan görünümü	61
Şekil 9.4. Programa tanımlanan malzeme özellikleri	62
Şekil 9.5. Ölü yükler altında x ekseninde oluşan gerilme dağılımının sol yan görünümü.....	63
Şekil 9.6. Ölü yükler altında x ekseninde oluşan gerilme dağılımının sağ yan görünümü.....	63
Şekil 9.7. Ölü yükler altında y ekseninde oluşan gerilme dağılımının sol yan görünümü.....	64

Şekil	Sayfa
Şekil 9.8. Ölü yükler altında y ekseninde oluşan gerilme dağılımının sağ yan görünümü	65
Şekil 9.9. Ölü yükler altında Smax değerinin sol yan görünümü	66
Şekil 9.10. Ölü yükler altında Smax değerinin sağ yan görünümü	67
Şekil 9.11. Ölü yükler altında Smin değerinin sol yan görünümü	68
Şekil 9.12. Ölü yükler altında Smin değerinin sağ yan görünümü	68
Şekil 9.13. Ölü yük ve deprem yükü altında x ekseninde oluşan gerilme dağılımının sol yan görünümü	69
Şekil 9.14. Ölü yük ve deprem yükü altında x ekseninde oluşan gerilme dağılımının sağ yan görünümü	70
Şekil 9.15. Ölü ve deprem yükü altında y ekseninde oluşan gerilme dağılımının sol yan görünümü	71
Şekil 9.16. Ölü ve deprem yükü altında y ekseninde oluşan gerilme dağılımının sağ yan görünümü	71
Şekil 9.17. Ölü ve deprem yükü altında yer değiştirme değerlerinin sol yan görünümü	72
Şekil 9.18. Ölü ve deprem yükü altında yer değiştirme değerlerinin sağ yan görünümü	73

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Şükrü Ağa Konağı	15
Resim 3.2. Mecidiye (Hamdi) Cami	16
Resim 4.1. Mersin Mamure Kalesi	18
Resim 4.2. Kilitbahir Kalesi.....	19
Resim 4.3. Rize Zil Kalesi	21
Resim 4.4. Kalelerde kullanılan barbakan örneği	22
Resim 5.1. Bursa Orta Camii	27
Resim 6.1. Kalecik Kalesi'nde bütünleme tekniğiyle restore edilen surlar	35
Resim 6.2. Kumlama tekniği ile yüzey temizlenmesi.....	36
Resim 7.1. Kalecik Kalesi'nden alınan numuneler.....	38
Resim 7.2. Kalecik Kalesi'nden alınan numuneler.....	38
Resim 8.1. Kuzey cephe SEM analiz fotoğrafı.....	51
Resim 8.2. Batı cephe SEM analiz fotoğrafı.....	52
Resim 8.3. Güney cephe SEM analiz fotoğrafı.....	52
Resim 8.4. Doğu cephe SEM analiz fotoğrafı	53
Resim 9.1. Kalecik Kalesi giriş kapısı bölümü.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
%	Yüzde
°	Derece
°C	Santigrat Derece
µm	Mikrometre
Cm	Santimetre
cm ³	Santimetreküp
Υd	Doygun birim hacim ağırlık
Υk	Kuru birim hacim ağırlık
gr	Gram
gr/ cm ³	Gram/santimetreküp
km ²	Kilometrekare
m	Kütle
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
mm ²	Milimetrekare
p	Porozite
Sa	Ağırlıkça su emme
Sh	Hacimce su emme
V	Hacim
P	Yoğunluk
Kısaltmalar	Açıklamalar
ABAQUS/ Explicit	Açık çözüm yöntemli sonlu elemanlar programı
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ANSYS	Swanson analiz sistemleri
BHA	Birim hacim ağırlık

Kısaltmalar**Açıklamalar**

CAE	Bilgisayar destekli mühendislik
EDS	Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi
FEA	Sonlu elemanlar yöntemi
KPa	Kilopascal
M.Ö.	Milattan Önce
MPa	Megapascal
SAP2000	Yapısal analiz programı
SEM	Taramalı elektron mikroskopisi
TBDY	Türkiye bina deprem yönetmeliği
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TS EN	Türk Standardı Avrupa Normları
XRD	X - ışını kırınımı difraktometresi

1. GİRİŞ

Bir toplumun tarihsel birikiminin gelecek nesillere aktarılması, toplumsal süreklilik ve kimlik korunumu açısından kritik bir önem taşımaktadır. Tarih boyunca birçok uygarlığa ev sahipliği yapmış olan Anadolu toprakları geçmiş ile gelecek arasında bir köprü görevi görmektedir. Anadolu'nun ortasında stratejik bir konumda bulunan Ankara, geçmişten günümüze çeşitli topluluklar için bir yaşam alanı sunmuştur. Bununla birlikte, sadece tarihsel ve coğrafi açıdan değil, Cumhuriyetimizin kuruluşu açısından da kritik bir öneme sahiptir ve Kurtuluş Mücadelesinin merkezinde yer almıştır.

Tarihi yapılar, korunup fiziksel varlıklarını sürdürdükleri sürece anlam ve değer taşımaktadır. Bu bağlamda, günümüzde pek çok tarihi yapı restore edilmiştir. Restorasyon çalışmalarının başarılı olmasında en belirleyici faktörler, uygun malzeme ve yöntem seçimidir. Tarihi yapılarda kullanılan malzemeler, dönemin özelliklerini yansıtmaktadır ve genellikle yapının inşa edildiği bölgenin çevresinde kolayca temin edilebilmektedir. Günümüzde ise teknoloji ve ulaşım alanlarındaki gelişmelere paralel olarak, malzeme çeşitliliği de önemli ölçüde artmıştır.

Restorasyon çalışmaları öncesinde tarihi yapının bünyesinde bulunan yapı malzemeleri analiz edilmelidir. Yenileme çalışmalarında kullanılacak malzemelerin uygun niteliklere sahip olmaması durumunda, tarihi yapı üzerinde statik problemler ortaya çıkabilir. Yalnızca malzeme seçimiyle sınırlı olmayan bu durumda uygun yöntem seçilmesi de önem arz etmektedir. Tarihi yapıların aslına uygun olarak, tarihi dokusunu bozmadan güçlendirilmesi ve restore edilmesi, yalnızca uygun malzeme ve yöntem seçimleriyle mümkün olmaktadır.

Tarihi yapıların malzeme analizi ve modellenmesi ile ilgili olarak literatürde önemli çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmaların, tarihi yapılarda kullanılan sayısal modelleme tekniklerini ve analiz çeşitlerini, malzeme özelliklerini tayin etmeye yönelik deney yöntemlerini içeren bölümleri incelenmiştir.

Bu çalışmada Ankara ili Kalecik ilçesinde bulunan Kalecik Kalesi'nin yapımında kullanılan malzemeler analiz edilmiştir. Kalecik Kalesi'nden alınan ve 4 farklı cepheye ait olan numuneler fiziksel testlere tabi tutulmuş ve tarihi yapıda kullanılan malzemeler fiziksel olarak analiz edilmiştir. Numuneler üzerinde fiziksel deneylere ek olarak taramalı elektron

mikroskobuyla SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Kaleden alınan numunelerin kimyasal bileşenleri belirlenmiş ve numunelerin tanecik yapısına ait görüntüler elde edilmiştir. Bu testler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda, restorasyon çalışmalarında kullanılabilen en uygun malzeme ve yöntem seçimiyle ilgili çıkarımlarda bulunulmuştur.

Fiziksel deneylerden elde edilen malzeme özellikleri kullanılarak tarihi yapı SAP 2000 programında modellenmiştir. Modelleme sonucunda yapının kendi ağırlığı, depremsellik kuvveti ve diğer etkenler altında nasıl davrandığı modellenmiş ve sonuçlar sunulmuştur.

Sonuç olarak; tarihi bir yapıda restorasyon çalışmaları sırasında kullanılacak malzeme özelliklerinin belirlenmesindeki kriterler Ankara Kalecik Kalesi özelinde araştırılmıştır ve özellikle kullanılacak malzeme ve yöntem hakkında bilgiler sunulması hedeflenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tarihi yapıların malzeme analizi ve modellenmesi ile ilgili olarak literatürde önemli çalışmalar yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda farklı disiplinlerin bir araya gelmesiyle değerli akademik çalışmalar ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalarda bulunan tarihi yapılarda kullanılan sayısal modelleme tekniklerini ve analiz çeşitlerini, malzeme özelliklerini tayin etmeye yönelik deney yöntemlerini içeren bölümler incelenmiştir.

Kurugöl ve Güleç (2012) çalışmalarında, tarihi Yoros Kalesi'nde kullanılan harçların malzeme özelliklerini belirleme üzerine çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada genel anlamda kalede kullanılan harç malzemesinin orijinal olduğunu belirtmişlerdir. Harç içinde alüminin organik katkı maddesi olarak kullanıldığını ve bu durumun yumurta akı kullanımını doğruladığını vurgulamışlardır. XRD analizinde tespit edilen vaterit oluşumunun da yumurta akı kullanımını destekler nitelikte olduğunu belirtmişlerdir. Tarihi kalenin kısmen de olsa zarar gördüğü belirtilmiş ve harçların dayanıklılığının da az olduğu söylenmiştir. Bu dayanıklılığın az olmasının büyük ölçüde bağlayıcı fazdaki puzolanik tuğla tozları ve tuf katkılarından ve iyi derecelenmiş agregaların yanı sıra harçlardaki çakıl benzeri kalıntılardan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu durumda harçlar için düşük yoğunluklu beton olarak sınıflandırma yapılabileceğini öne sürmüşlerdir. Yapılan çalışma sonucunda restorasyon çalışmaları için gerekli malzeme seçimi için bir referans çalışma olabileceğini savunmuşlardır [1].

Jonaitis ve diğerleri (2018), çalışmalarında Gediminas Kalesi'nde bulunan tarihi istinat duvarında bulunan harcın fiziksel ve mekanik analizini sunmuşlardır. Karot numunelerine yapılan testler sonucunda harcın; hidrolik kireç, kuvars kumu ve tuğla kırığı agregalarından oluştuğunu ortaya koymuşlardır. Teste tabi tutulan harcın yüksek basınç dayanımına sahip olmasını, kireç ve seramik tuğla kırıntılarında oluşan agregaların kullanımına bağlamışlardır. XRD test sonuçlarının analizi, en derin sondaj kuyularından toplanan harç numunelerinde kalsit (CaCO_3) için yüksek yoğunluklu bir pik ortaya çıkardığını ortaya koymuştur. Mikroyapı testleri, 3,5-7,7 m derinlikten toplanan numunelerin yoğun bir yapıya sahip olduğunu, daha sığ sondaj deliklerinden toplanan numunelerin ise daha fazla gözenek ve boşluk içerdiğini ortaya koymuştur. Harcın yoğunluğu ve basınç dayanımının numunelerin alındığı derinlikle birlikte arttığını göstermişlerdir. Bu testler ve görüntü

analizleri sonucunda elde edilen verilerin tarihi yapının restorasyonu için uygun malzeme seçimine yardımcı olabileceğini göstermişlerdir [2].

Dereje (2018) yaptığı çalışmasında, tarihi Mentwab Kalesi'ni sayısal modelleme ile analiz etmiştir ve malzeme özelliklerini fiziksel deneyler ile tayin etmiştir. Fiziksel testler sonucunda yapı malzemesinin kayma dayanım değerlerini, kohezyonunu ve sürtünme katsayısını belirlemiştir. Yapılan fiziki testler sonucunda kesme kuvveti parametreleri olan kohezyon ve sürtünme katsayısının sırasıyla 0,15 MPa ve 0,76 MPa çıktığını belirtmiştir. Elastisite modülü 2,35 MPa olarak ölçülmüştür ve ortalama bir elastisite modülünün 38 MPa'ya eşit olduğunu belirtmiştir. Yapılan sayısal modelleme sonucunda yapının sadece düşey yükler altında yani kendi ağırlığı altında stabil olduğunu belirtmiştir. Bu yükleme koşulunda ortaya çıkan gerilme seviyelerinin duvarın taşıma kapasitesinin altında olduğunu tespit etmiştir [3].

Stavroulaki ve diğerleri (2018), çalışmalarında Yunanistan'ın Girit adasında bulunan bir Orta çağ yığma kalesi olan Frangokastello Kalesi'nin yapısal davranışını incelemişlerdir. Sonlu elemanlar yöntemi yapısal davranışı belirlemede kullanılmıştır. Yapılan modellemenin mevcut geometri, anıtın tarihi ve yapılan müdahaleler, yapı malzemelerinin kalitesi ve toprak altı koşullarına ilişkin araştırmalara dayandığını belirtmişlerdir. Kuzeybatı kulesinin kuzey yüzünün tüm yüksekliğinde bulunan büyük ve dikey çatlakın kule için bir risk faktörü olduğunu belirtmişlerdir ve olası bir deprem anında kulenin bir kısmının çökebileceğini değerlendirmişlerdir. Güney duvarının ortasındaki duvarın düzensizliğinin depremden sonra düzlem dışı bükülmeden kaynaklanıyor gibi görüldüğünü belirtmişlerdir. Bu hata modu, gerçek depremler altında yapılan doğrusal olmayan analizlerle doğrulanmıştır. Buna paralel olarak, güney duvarın modal analizde gösterildiği gibi birinci frekansta titreştiğini belirtilmişlerdir. Tarihi kalede yapılacak restorasyon çalışmaları için uygun müdahaleler konusunda fikirlerini beyan etmişlerdir. Duvar kısımlarının tamamen veya kısmen tahribata uğradığını ve harcın zarar gördüğünü belirtmişlerdir ve bunun sonucunda da duvar malzemesinin ve harcın değiştirilmesi gerektiğini tespit etmişlerdir [4].

Yatkin (2019) çalışmasında, tarihi bir yapıdaki bozulmaları ve restorasyon için uygun malzeme seçimine ilişkin olarak Ankara Kalesini araştırmıştır. Çalışmada kaleden alınan numunelere çeşitli fiziksel testler uygulanmıştır. Çalışma sonucunda doğu cephesinden alınan numunelerin basınç dayanımı yönünden yüksek, batı cephesinden alınan

numunelerdeki basınç dayanımının ise düşük olduğu gözlenmiştir. Su emme deneyi sonuçlarına göre doğu cephesi numunelerinin ortalama su emme değerlerinin en düşük, batı cephesi numunelerinin ortalama su emme değerlerinin ise en yüksek olduğu sunulmuştur. Porozite deneylerinde en yüksek değerlerin batı cephesi numunelerinde, kompasite deneylerinde ise en yüksek değerlerin doğu cephesi numunelerinde çıktığı belirtilmiştir. Termal iletkenlik açısından ise en yüksek değerlerin doğu cephesi numunelerinde gözlemlendiği aktarılmıştır. Çalışmada; mekanik ve fiziksel özellikler açısından güney ve doğu cephelerinde kullanılan yapı malzemelerinin diğer cephelerdeki yapı malzemelerine kıyasla daha yüksek dayanıma sahip olduğu anlatılmıştır [5].

Fırat (2020), çalışmasında Geben Kalesi'ni (Kahramanmaraş) SAP 2000 programında modellemiş ve yapısal analizini gerçekleştirmiştir. Modellemede kullanacağı malzeme özelliklerini literatür çalışmalarından elde ettiğini belirtmiştir. Ölü yük ve yerçekimi kuvveti altında yapılan analiz sonuçlarına göre oluşturulan modeldeki duvardaki basınç gerilmelerinin 0,5 MPa, çekme gerilmelerinin de 0,3 MPa seviyesinde kaldığını çalışmada göstermiştir. Deprem kuvvetlerinin etki ettirildiği hareketli yük kombinasyonuna göre tarihi yapıda yıkılmaların olacağını belirtmiştir. Bu nedenle kalede orijinal duvar yatay yük aktarma durumunun yapıya kazandırılması amacıyla sağlamlaştırma çalışmalarının yapılması gerektiğini belirtmiştir [6].

Nuhoğlu, Ercan ve Baranaydın (2021), makalelerinde Ayasuluk Kalesi sur duvarlarının yapısal davranış analizlerini ortaya koymuşlardır. Sur duvarlarında kullanılan malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla numuneleri fiziksel testlere tabi tutmuşlardır. Bu testler sonucunda elastisite modülü, poisson oranı, basınç çekme dayanımı ve birim hacim ağırlık gibi malzeme özelliklerine ulaşmışlardır. Oluşturdukları taşıyıcı sistem modelinde zemin basıncı, ölü ve deprem yükleri altında yapılan statik ve dinamik analizler sonucunda tarihi yapının çekme yönündeki gerilmeleri güvenle karşılamadığını göstermişlerdir. Oluşturulan iki farklı durum için yapılan analizlerde yapı ile ilgili durum gösterilmiştir. İlk durumda kuleler ve surlardan oluşan yapının yeterli düzeyde bağlayıcı harç kullanılarak yapıldığı kabul edilmiştir ve analiz için model oluşturulmuştur. Bu durumda statik ve dinamik analizler sonucunda oluşan maksimum çekme ve basınç gerilmelerinin yapı tarafından güvenle karşılandığı gösterilmiştir. İkinci durumda ise kalenin özellikle iç tarafında bulunan taşlarda bağlayıcı harç maddesinin serbest halde bulunduğu durum modellenmiş ve analiz edilmiştir. Bu durumda ise yapılan statik ve dinamik analiz

sonuçlarında iki kule arasında sur duvarının açıklık ortasında ve iç duvar zemin birleşim noktalarında daha önceki deneysel çalışmalardan elde edilen emniyetli çekme dayanım değerinin aşıldığını göstermişlerdir. Uygun harç ve bağlayıcı madde olmadan yapılan imalatlarda şiddetli deprem anında yapının hasar alabileceğini göstermişlerdir [7].

Dos Santon ve diğerleri (2021), çalışmalarında Gana sınırları içinde bulunan, Portekiz ve Hollanda işgal dönemlerinde (1482-1872) değişikliklere uğrayan Elmina Kalesi'ni yapısal olarak analiz etmişlerdir. Çalışmalarının amacını kalede bulunan batı duvarının yapısal sağlamlığı ve yanal kapasitesinde yol açtığı olası değişikliklerin bir ön değerlendirmesini yapmak olarak açıklamışlardır. Bir diğer amaçlarının ise bu savunma kulesinin çöküşünden depremlerin sorumlu olup olmadığını belirlemek için duvar-kule kompleksinin stabilitesini bir pushover (statik itme) analizi ile değerlendirmek olduğunu söylemişlerdir. Bu analizler için modeller Abaqus/CAE Explicit formülasyonu altında doğrusal olmayan 3D sonlu eleman analizi (FEA) kullanılarak test edilmiştir. Portekiz mimarisinin analizinden elde edilen sonuçlara göre, batı perde duvarına oturan bir kulenin sismik koşullar altında istikrarsızlaştırıcı etkisini gösterdiğini vurgulamışlardır. Erken Portekiz döneminde kerpiç benzeri malzemeyle inşa edilmiş bir yapı varsayımı altında, kule ve duvarların 1600'lerin başında tarihsel olarak belgelenen depremin yanal ivmesi altında çökmüş olmasının muhtemel olması konusunda görüş bildirmişlerdir. Hollanda mimarisinin tüm analizleri 0,10 g'nin altında kritik kapasitelere sahip olduğunu ve bu değerlerin nispeten düşük değerler olduğunu söylemişlerdir. 0,026 – 0,2 g aralığındaki bir sismik girdi yapının stabilitesi için kritik olabilir. Bu nedenle, tonozlu yapının ve önemli ölçüde dolgu malzemesi kalınlaştırmasının getirilmesi açısından Hollanda modifikasyonlarının sonuçlarının sorunlu olacağını belirtmişlerdir [8].

Belovacıklı (2022), tarihi kalelerde sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz çalışması gerçekleştirmiştir. Sinop Kalesi incelenmiştir. Çalışmada yapının taşıyıcı sistemindeki elemanların malzeme özelliklerini literatür çalışmalarından elde etmiştir. Sinop bölgesine ait deprem verileri kullanılarak yapılan modellemede tarihi Sinop Kalesi'nin ötelenme bakımından büyük oranda rijit bir davranışta olduğu gösterilmiştir. Ölü yükler ve deprem yükleri altında meydana gelen maksimum gerilme değerlerinin kale burcunun köşe noktalarında meydana geldiği gösterilmiştir [9].

Mete (2023) yaptığı çalışmasında, Konya Hoca Hasan Cami ve Konya Şerafettin Cami yapılarını malzeme özellikleri açısından incelemiştir. Çalışmada yapılardan alınan numuneler ve restorasyon amaçlı kullanılan malzemeler karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Hoca Hasan Camii'nde kullanılan yapı malzemesinin özgül kütle değerleri 2,446-2,610 gr/cm³ arasında olduğu vurgulanmaktadır. Bu cami için restorasyonda kullanılan malzemenin ise özgül kütle değeri 2,423- 2,570 gr/cm³ olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre yapı malzemesi ve restorasyon için seçilen malzemenin özgül kütle değerlerinin birbirine yakın değerler olduğu belirtilmiştir. Aynı şekilde Şerafeddin Cami'nde kullanılan malzemeler ve restorasyonda kullanılan malzemelerin de özgül kütlelerinin birbirine yakın değerlerde olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmada her iki cami için de yapı malzemesi ve restorasyonda kullanılan malzemelerin birim hacim ağırlık değerleri, kılcallık deneyleri sonuçları, kütlece su emme deneyi değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Yapılan çalışmada Mete, basınç dayanım değerleri açısından yapı malzemesi ve restorasyonda kullanılan malzeme arasında farkların olduğunu belirtmiştir [10].

Bozacı (2023) çalışmasında kagir yapıların statik ve dinamik analizlerini örnekler üzerinden gerçekleştirmiştir. Onarım ve güçlendirme çalışmaları için Edirne Eski Cami'yi inceleyen yazar camiyi ANSYS programı yardımı ile modellemiş ve gerekli malzeme parametrelerini ve zemin yapısını ise arşiv ve literatür taraması ile belirlemiştir. Yapılan analizler sonucunda yapı elemanlarında düşey yükler altında meydana gelen gerilmelerin yapıya herhangi bir olumsuz etki bırakmadığını belirtmiştir. Yapıdaki minarelerin bir tanesinin yapı ile bağlı diğerini ise yapıdan bağımsız olması ve minarelerin narin yapıda olmaları nedeniyle minarelerin yapıdan farklı olarak davranış gösterdiğini belirtmiştir. Yapıya bağlı olan minarede yapıdan bağımsız olarak devam eden hareketler sonucunda ani rijitlik değişimlerine bağlı büyük gerilmelerin oluştuğunu söylemiştir. Minarelerde göze çarpan çatlakların varlığı emniyet gerilmelerinin aşıldığını ve önlem alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Bozacı, deprem kuvvetleri etkisinde oluşan gerilmelerin malzeme dayanım sınırlarında kaldığını ve güncel haliyle yapının Minimum Hasar veya Hasarsızlık Beklentisi performansında olduğunu belirtmiştir. Ancak minareler deprem kuvvetleri altında gerilmeler açısından incelendiğinde Göçmenin Önlenmesi Performans düzeyinde olduğunu belirtmiştir [11].

Özetlenen çalışmalarda tarihi yapıların malzeme özellikleri ortaya konulmuştur. Elektron mikroskobu analizlerine ve sayısal modelleme analizlerine özetlenen çalışmalarda

değinilmiştir. Bu yüksek lisans çalışmasında yukarıda özetlenen çalışmalarda kullanılan benzer yöntemlerle Ankara Kalecik Kalesi zeline yapı taşlarının fiziksel analizi ve kale mimarisinin SAP 2000 programında modellenmesi yapılmıştır.



3. ANKARA KALECİK İLÇESİ

3.1. Coğrafi Durum

Ankara iline bağlı, şehir merkezine uzaklığı 71 km olan Kalecik ilçesi Ankara'nın kuzey doğusunda yer almaktadır. İlçenin komşuları doğu ve güney doğusunda Kırıkkale ili, güneyinde Elmadağ ilçesi, batısında Çubuk ve Akyurt ilçeleri ve kuzeyinde Çankırı ilidir. Kalecik ilçesi adını ilçede bulunan Kalecik Kalesi'nden almıştır. İlçenin yüzölçümü 1318 km² ve rakımı 725 m'dir [12].

Kalecik ilçesinin güneyinden Kızılırmak Nehri yer almaktadır ve bu nehir yakınında kurulan ilçe verimli tarım arazilerine sahiptir. Kalecik Kalesi etrafında bulunan yerleşim yerleri, kalenin kuzey batı ve kuzey yönlerinde inşa edilmiştir. İlçede bulunan evler eski Ankara evlerinin en temel örneklerindedir.

İlçenin genel iklimi İç Anadolu'nun hâkim iklimi olan karasal iklimdir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Kızılırmak kenarında bulunması nedeniyle verimli olan topraklarda genellikle tahıl tarımı, meyvecilik ve bağcılık yapılmaktadır. 2007 yılında tescili yapılan coğrafi işarete sahip Kalecik Karası üzümü ilçenin gelir kaynakları arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Ayrıca Kalecik Karası üzümünden yapılan şarap uluslararası bir değere sahiptir ve ihracatı yapılmaktadır. 2019'da başlayan ve günümüzde de devam eden Uluslararası Kalecik Karası Üzüm Festivali her yıl Kalecik'te düzenlenmektedir [13].

Ankara ili karasal iklim etkisi altında olduğundan gece gündüz arasındaki sıcaklık farkı fazladır. Meteoroloji iklim verilerine göre Ocak ayı Ankara için en soğuk aydır ve ortalama Ocak ayı sıcaklığı değeri 0,4 °C'dir. Buna karşın en sıcak ay ise Ağustos ayıdır. Ağustos ayı ortalama sıcaklığı değeri 23,3 °C'dir. Meteoroloji verilerine göre 1927-2021 yılları arası aylık yağış miktarı en fazla Mayıs ayındadır ve 51,3 mm olarak ölçülmüştür. Yine aynı yıllarda ölçülen en düşük sıcaklık ortalaması Ocak ayında -24,9 °C ve en yüksek sıcaklık ortalaması ise Temmuz ayında 41 °C olarak ölçülmüştür.

Ankara'nın 50 km kuzey doğusunda ve Çubuk Ovası'nın doğusunda yer almaktadır ve 1990 m yüksekliğe sahiptir. Yüksek kesimlerinde fiziksel aşınmalar sonucu düzlükler oluşmuştur.

Bölünmüş kaya ve mineral parçacıklarından oluşan granül bir malzeme olan kum, çakıldan daha ince ve siltten daha kalındır. Ankara'nın Irmak İstasyonu'ndan (TCDD) itibaren Kalecik ve Kırıkkale'ye doğru nehir yataklarının sebep olduğu alüvyal malzemeler olarak ince kum ve çakıl birikimleri mevcuttur.

Ayrıca ilçede çeşitli maden yatakları da mevcuttur. Dökme demir ve çelikte kullanılan, su boruları veya havalandırma sistemlerinde kullanılan manganeze Kalecik ilçesi civarlarında rastlanmaktadır. Ankara ili Nallıhan ve Beypazarı ilçelerinde önemli linyit rezervleri vardır. Birçok alanda kullanılan linyite Kalecik ilçesi sınırlarında da rastlanılmıştır. Sondaj çamuru olarak kullanılan bentonitin önemli miktardaki rezervi de Kalecik ilçesi çevresinde bulunmaktadır. Kalecik bentonit rezervi yaklaşık olarak var olan ve tahmin edilen kısımlarıyla beraber 75 milyon tondur.

3.4. Kalecik İlçesi Nüfusu

Kalecik ilçesi 57 mahalleden oluşmaktadır ve bu mahallelerin 6'sı merkezde bulunmaktadır. İlçede nüfusu en fazla olan mahalle 2742 kişiyle Halitcevriaslangil mahallesidir. Büyükşehir yasası nedeniyle köyler mahalle statüsüne geçtiği için 2013'ten itibaren kır nüfusu Çizelge 3.1'de yer almamaktadır [15].

Çizelge 3.1. Ankara Kalecik ilçesi nüfus verileri [15]

Yıl	Toplam	Şehir	Kır
1965	28.665	4.022	24.643
1970	29.784	5.804	23.980
1975	27.871	4.707	23.164
1980	28.446	5.035	23.411
1985	27.349	5.540	21.809
1990	25.043	10.051	14.992
2000	24.738	11.965	12.773
2007	17.007	11.767	5.240
2008	16.071	10.318	5.753
2009	15.142	9.809	5.333
2010	14.517	9.450	5.067
2011	13.969	8.959	5.010
2012	13.648	8.730	4.918
2013	13.678	13.678	veri yok
2014	13.604	13.604	veri yok
2015	13.388	13.388	veri yok
2016	13.251	13.251	veri yok
2017	12.897	12.897	veri yok
2018	13.450	13.450	veri yok
2019	13.234	13.234	veri yok
2020	12.941	12.941	veri yok
2021	12.502	12.502	veri yok
2022	12.794	12.794	veri yok
2023	13.296	13.296	veri yok

3.5. Kalecik İlçesinin Tarihçesi

Kalecik ve çevresinin ilk olarak M.Ö. 4000-3500 yıllarında yerleşim yeri olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Ankara'nın en eski yerleşim yerlerinden biri olan Kalecik, karaların yükselmesi sonucunda bir göle dönüşmüş ve bu kıta hareketlerinin devam etmesi ve iklim değişiklikleri sonucunda bugünkü konumuna ulaşmıştır.

Kalecik ve Çankırı ili arasında kalan İnandıktepe bölgesinde arkeolojik kazılar yapılmıştır. Bu kazılar sonucunda Hitit Kralı 1. Hattuşili döneminden kaldığı değerlendirilen tarihi eserler bulunmuştur [16]. Bu kazılar ve ortaya çıkan bulgular neticesinde Kalecik ilçesi ve çevresinin Hititler zamanında yerleşim yeri olarak kullanıldığı anlaşılmıştır [17].

Kalecik çevresinde Tüney Köyü civarındaki kazılarda ortaya çıkan; Kabartmalı Vazo, Bağış Tablet ve Mabed, Kalecik ilçesindeki Hitit yerleşimi ile ilgili ipucu vermektedir. Bu eserler

üzerinde dini törenler ile ilgili betimlemelere rastlanılmıştır. Bu durumda Kalecik ilçesi ve çevresinin Hititler için önemli bir dini merkez olabileceği değerlendirilmiştir [18].

Hitit İmparatorluğunun yıkılmasına kadar Hitit egemenliğinde kalan Kalecik, imparatorluğun yıkılması sonucunda Frig hâkimiyetine girmiştir. M.Ö. 1200 yıllarında Avrupa'dan Çanakkale Boğazını geçerek gelen Frigler bölgede hâkimiyet kurmuşlardır. Kalecik çevresinde Friglere ait birçok tarihi kalıntıya da rastlanılmıştır. Bölgedeki Frig hâkimiyeti M.Ö. 650 yıllarına kadar süregelmiş ve daha sonrasında bölgeye Lidyalılar hâkim olmuştur. Daha sonrasında da Lidyalılar çağdaşı olan Persler tarafından yıkılmış ve Kalecik çevresindeki Lidya hâkimiyeti de son bulmuştur [13].

Doğu efsanelerinde adı geçen ve yaşadığı zamanlarda dünyanın yarısını fethetmiş Makedonya Kralı Büyük İskender M.Ö. 331 yılında Anadolu'ya gelmiştir ve buradaki Pers hâkimiyetine son vermiştir. Ancak Büyük İskender'in genç yaşta ölmesinden sonra varisi olmadığından ülke komutanlar tarafından paylaşılmıştır. Orta Anadolu General Antigonos'un idaresine girmiştir. Daha sonrasında yaşanan çeşitli karışıklıklardan sonra Bitinya Kralı Kral Nikomedes kendisine destekte bulunan Galatlar ile iş birliği yapmıştır. Böylelikle Galatların Anadolu sahnesindeki rolleri başlamıştır.

Galatlar; ilk defa M.Ö. 600'lerde Fransa'nın güney bölgelerinde tarih sahnesine çıkan Hint-Avrupa kavimlerinden birisi olan Keltler'dir. M.Ö. 279 yılında Anadolu'ya akınlar düzenlemişlerdir ve bu akınlar sonucunda Anadolu'da bulunan Helenler ile temasta bulunmuşlardır. Helenler Keltlere "Galatai" ya da "Galates" demişlerdir [19].

Galatlar Anadolu'da 3 farklı bölgede hâkimiyet kurmuşlardır. 3 farklı bölgede hâkimiyet kuran kabilelerden birisi olan Trokmeler Kızılırmak'ın doğusu ve Kapadokya bölgesinde, bir diğer kabile olan Tolisto-Boiler Sakarya'nın batısı ve Gordion bölgesinde, sonuncu kabile olan Tektosaglar ise Sakarya ve Kızılırmak arasında hâkimiyet sağlamışlardır. Tektosaglar başkent olarak Ancyra'yı (Ankara) seçmişlerdir. Buradan da anlaşılacağı üzere Kalecik bölgesinde Tektosaglar hâkimiyet kurmuşlardır [19].

Galatların egemen olduğu Kalecik bölgesinde Galatlara ait birçok mezar taşı ve bazı evlerin ve camilerin duvarlarında kullanılan kabartma taş bloklar vardır. Galat asilzadeleri herhangi bir tehlike durumunda tüm ailesiyle dağın tepesine çıkarlardı ve burada karargâhları

bulunurdu. Dolayısıyla yüksek kayalar üstüne kurulan Kalecik Kalesi'nin Galatlar tarafından temellerinin atıldığı ve daha sonra da Romalılar tarafından tamamlandığı varsayılmıştır [20].

Galatların hâkimiyetinden sonra Kalecik Roma İmparatorluğu hâkimiyetine girmiştir. Kalecik Kalesi Roma İmparatorluğu zamanında dönemin Bursa Tekfuru tarafından kızına çeyiz hediyesi olarak yaptırılmıştır. Roma İmparatorluğunun ikiye ayrılmasından sonra Kalecik Doğu Roma İmparatorluğu (Bizans) hâkimiyetine girmiştir [11].

1071 yılında gerçekleşen Malazgirt Savaşı'ndan sonra Türk etkisi Anadolu topraklarında yayılmaya başlamıştır. 13. yy ortalarından itibaren Anadolu topraklarında beylikler dönemi başlamıştır. Bu dönemde Kalecik ve çevresine Ahiler egemen olmuşlardır. Bugün Kalecik'te "Ahiler" ve "Ahikemal" adında o zamanın etkilerini barındıran mahalleler bulunmaktadır.

Kalecik Osmanlı İmparatorluğu hâkimiyetine 1.Murat döneminde girmiştir. 1. Murat Kalecik'i Ahilerden almıştır. Kalecik o zamanlarda Ahilik teşkilatının önemli merkez noktalarından birisi olmuştur. 1402 yılında Yıldırım Beyazıt ve Timur arasında gerçekleşen Ankara Savaşı sonucunda Kalecik Osmanlı egemenliğinden çıkmıştır. Bu dönemde Kalecik'e İsfendiyaroğulları Beyliği egemen olmuştur [21].

Osmanlılar döneminde Kalecik, ticari açıdan önemli bir konumda bulunmaktaydı. Evliya Çelebi Kalecik'te bulunmuş ve Kalecik ile ilgili seyahatnamesinde şu bilgilere yer vermiştir: "...Oradan ileri gidip (Kalecik) Büyük Kalesine geldik. Burasını Bursa Tekfuru "Serdene" adlı Kral, kızı için yaptırmıştır. Sonra Kastamonu hâkimi (Topal Bayezid) fethetmiş ve Osmanlılara baş eğmeyip nice köy ve kasabalara el uzatmağa başlamıştır. Nihayet Yıldırım Bayezid Han bir gün birden bile bu kaleyi basıp fetheyledi. Hala Kangırı Sancağı hükmünde has ve subaşılıdır. Yüz elli akçalık Şerif kazadır. Kadısına senede dört kese has olunur. Kethüda ve yeniçeri serdarı, müftüsü, nakibüleşrafı, ayan ve eşrafı, kale ağası, yirmi kadar kale neferi vardır." [11].

Millî Mücadele zamanında Kalecik vatan savunması için önemli bir yere sahipti. İstiklal Yolu (Kastamonu-Ilgaz-Çankırı) üzerinden taşınan cephane ve diğer malzemeler Kalecik'te depolanmış ve diğer cephelere buradan dağıtılmıştır [22]. Ayrıca savaş zamanında

Kalecik'te bulunan Hamdi Cami ve diğer camiler askeri hastane haline dönüştürülmüş ve burada askerlerin yemek, sağlık ve diğer ihtiyaçları karşılanmıştır [16].

Kurtuluş Savaşı sonrasında Atatürk 1925 yılında ilk kez şapkayı Kalecik Şükrü Ağa Konağı'nda giymiştir. Dolayısıyla Şapka İnkılabının temelleri Kalecik ilçesinde atılmıştır [16]. Şükrü Ağa Konağı'na ait bir görsel Resim 3.1'de sunulmuştur.



Resim 3.1. Şükrü Ağa Konağı [23]

Millî Mücadele sonrası kalkınma döneminde Kalecik kültürel, ekonomik ve sosyal açıdan ileri bir düzeye gelmiştir. İlçenin verimli tarım alanlarına sahip olması aynı zamanda ticari faaliyetleri de artırmıştır. Bunun sonucu olarak Kalecik ticaret ve tarım merkezi haline gelmiştir. Ancak 1990'lı yıllarda ticaretin zayıflaması sonucunda ilçedeki nüfus yoğunluğu azalmaya başlamıştır [21].

Eski dönemlerde yerleşim ve ticaret merkezi olması nedeniyle ilçede Kalecik Kalesi gibi daha birçok tarihi yapı bulunmaktadır. Bölgede ahilik faaliyetlerinin fazla olması nedeniyle tabakçılık, bakırcılık ve kumaş dokumacılığı gelişmiştir ve bunlara bağlı tarihi yapılar yer almaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır: Hasbey, Hamdi, Saray, Tabakhane camileri ile

Kazancı Baba Türbesi ve Kızılırmak üzerindeki Develioğlu Köprüsü'dür. Hamdi Camii'ne ait bir görsel Resim 3.2'de sunulmuştur.



Resim 3.2. Mecidiye (Hamdi) Cami [24]

4. SAVUNMA YAPILARI KALELER

Savunma; saldırı anında saldırıyı bertaraf etmek için kullanılan bir eylemdir. Bir ülkenin savunma yapıları ve savunma anlayışı o ülkede yapılan savunma yapılarının muhtevası ile değerlendirilebilir.

Devletler güvenliklerini ve devletin sürekliliğini sağlamak için çeşitli savunma yapıları geliştirmişlerdir. Bu bağlamda çeşitli savunma yapıları ortaya çıkmıştır. Savunma duvarları, kaleler, düşman ataklarını önlemek için açılan hendekler, hisarlar ve gözetleme kuleleri tarihsel süreçte kullanılan savunma yapılarına örnek teşkil etmektedir.

Askeri alanda savunma, çeşitli şekillerde ve çeşitli yapılarla yapılan bir eylemdir. Genel olarak savunma kavramı, genel savaş taktiklerini kullanarak düşman ataklarını etkisiz hale getirme anlamına gelir. Tarih boyunca sürekli gelişen savaş taktikleri genel anlamda savunma ve saldırı başlığı etrafında şekillenmiştir.

Tarihsel sürece baktığımızda yaygın olarak kullanılan savunma yapıları kalelerdir. Ateşli silahlar ve ağır toplarla beraber gelişen yıkıcı saldırı silahlarıyla güvenilir olan savunma yapıları kaleler, teknoloji ilerledikçe etkisini yitirmeye başlamıştır. Geçmiş zamanlarda etkili olarak kullanılan kalelerin yerini zamanla yer altı sığınakları almıştır.

Kale kavramı Türkçede “kala” yığmak anlamındadır. Arapçada ise “kal’a” yüksek yerlerde yapılmış sağlamlaştırılmış yer anlamındadır [25]. Belirli bir alanda savunma yapmak amacıyla inşa edilmiş, üzerinde gözetleme kuleleri bulunan, kalın ve sağlam surlardan oluşan savunma surlarından ayrılan yapılara kale denilmektedir [26].

Yapılma amaçları arasında temel olarak bir bölgeyi savunma olan kaleler, halkın ihtiyaçlarını ve temel yaşam gerekliliklerini karşılayabileceği genişlikte ve büyüklükte inşa edilirler. Tarihi kalelere örnek olarak Mersin Mamure Kalesi’ne ait bir görsel Resim 4.1’de sunulmuştur.



Resim 4.1. Mersin Mamure Kalesi [27]

Kaleler, yapıldığı bölgenin özelliklerine göre şekillenmiştir. Kalelerin yapımında birçok önemli unsur bulunmaktadır. Düşman ataklarını mümkün olan en az sayıda askerle savunacak düzeyde ve uzun süren kuşatmalara karşı ayakta kalabilecek şekilde sağlam duvarlara sahip olması, acil durumlarda kale içi ve dışıyla bağlantıyı sağlayabilecek gizli geçitlerin varlığı ve inşası bahsedilen unsurlardan bazılarıdır [27].

Kaleler genellikle Orta Çağ döneminde kullanılan yapılardır. Avrupa'da şatolar zamanın kale yapıları gibi bir yapıya sahiptir ve aynı dönemde Anadolu'da bulunan kaleler Selçuklu döneminden başlayarak inşa edilmişlerdir [28]. Selçukluları kale yapmaya iten başlıca sebepler, haçlı seferleri ve dönemin beylikleri arasında yaşanan siyasi ve askeri çatışmalardır. Osmanlı Devleti ise savunma devletinden daha çok saldırı devleti olduğundan kaleler Osmanlı devrinde savunma yapısından daha ziyade saldırıya hazırlık yapısı olarak kullanılmıştır. Osmanlı zamanında kaleler saldırıya hazırlanırken düşman baskınlarından korunma amaçlı hareket noktası olarak kabul görmüştür [28]. Osmanlı Devleti zamanında yapılan Kilitbahir Kalesi'ne ait bir görsel Resim 4.2'de sunulmuştur.



Resim 4.2. Kilitbahir Kalesi [29]

Kale mimarisi ve yapım tekniği, savaş taktiklerinin ve silah çeşitliliğinin artmasıyla beraber değişime uğramıştır. İlk başlarda insanlar yaşadıkları yerleri yabani hayvanlardan korumak için daha sonrasında da yaşadıkları çevredeki diğer insan topluluklarından korumak için evlerinin çevresine duvarlar inşa etmişlerdir. Bu değişim sonucunda evlerin etrafında yapılan duvarlardan hareketle ilk kale örnekleri ortaya çıkmıştır. Anadolu topraklarında ortaya konulan en eski kale örnekleri M.Ö. 5500 yıllarında Hacılar (Burdur), M.Ö. 3600 yıllarında Yümüktepe (Mersin), M.Ö. 3000-2000 yılları arasında inşa edilen Alişar (Yozgat) ve Troia Kaleleri'ne (Çanakkale) aittir.

Alişar Höyüğünden elde edilen verilere göre ilk kurulmuş halinde dörtgen planlı, kerpiç duvarlı, düz damlı evleri olan basit bir köy yapısı ortaya çıkmıştır. Ancak daha sonraki zamanlarda şehrin etrafı surlarla çevrilmiştir. Bu durum Anadolu'daki ilk kale örneklerinden biri olarak Alişar Kalesi'ni ön plana çıkarmıştır [30].

Kale yapımını ve mimarisini etkileyen en önemli unsurlardan ilki yer seçimidir. Kale yapılacak alanda doğal olarak korunaklı yerlerin olması, engellerin var olması, denize veya su kaynaklarına yakın olması, iç kısımlarda ise yüksek ve hâkim tepelerde bulunması kale yapımında öncelikli olarak düşünülmesi gereken özelliklerdendir. Kaleler az sayıda askerle uzun süreli savunma yaptıran bir yapı olduğundan gerektiği zamanlarda yardım amaçlı veya

diğer amaçlarla kalenin dışarıyla bağlantısının olması gereklidir. Bu açıdan kale mimarisinde planlama ve yapım tekniği açısından bir diğer önemli özellik kalenin dışarıyla bağlantısının ne şekilde sağlanacağıdır.

Yapılış amacı öncelikli olarak savunma olan kaleler, ulaşılması zor ve engebeli topografyalarda yapılmıştır. Bu nedenle, kalelerin mimari yapısında düzenli ve tekdüze bir biçim ve geometrik düzen yoktur. Farklı duvar kalınlıkları ve yüksekliklerine sahip olmaları nedeniyle karmaşık kütle dağılımlarına sahiptirler [31].

Kaleler savunma veya askeri amaçlardan bağımsız ticari olarak da stratejik noktalara konumlanmıştır. Önemli ticaret yolları ve limanları kapsayan bölgelerde inşa edilen kaleler ticari amaçlı olmaları nedeniyle askeri kalelerden mimari olarak farklılıklar göstermektedir.

Kale planları yapılış yerine ve diğer amaçlara göre farklılık gösterebilir. En çok kullanılan kale planı; yüksek kalın duvarlı surlarla çevrili bir alan, bu alanın etrafını çevreleyen surlara inşa edilmiş kuleler ve burçlardan oluşan plan şeklindedir. Ortak bir plan şekli kabul görmüş olsa da kale yapımında kullanılan planlar, teknikler ve malzemeler kale yapısının olduğu alan ve etrafındaki bölgenin niteliği ile doğrudan bağlantılıdır. Her bir kale aslında kendi içinde kendine has yapılara ve özelliklere sahiptir [31].

Genellikle ortak mimari bir plana sahip olan kaleler; iç kale, dış kale, sur, avlu ve kulelerden oluşmaktadır. İç kale olarak adlandırılan kısım genellikle en çok korunaklı olan kısımdır. Bu kısımda hükümdar veya kalenin en üst düzeyde komutanı bulunmaktadır. Dış kale ise iç kaleden ayrılan ancak en dış surlarla etrafı çevrili olan kısımdır. Dış kale askeri birliklerin konuşlandığı kısım olarak nitelendirilebilir.

Kale mimarisinin en önemli kısmını oluşturan yapı surlardır. Surların yapımında kalenin bulunduğu çevreye göre kerpiç, harç, taş, tuğla, derz gibi malzemeler kullanılabilir. Bahse konu yapı elemanlarının birbirine bağlanması için de genellikle horasan harcı kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca örneklerine rastlanılan ve bazı kalelerde kazılar sonucu ortaya çıkan mermer sütun ve heykel yapıları da sur yapımında kullanılmıştır [32].

Kuleler kale yapılarında savunma amaçlı olarak inşa edilen en önemli yapılardan bir tanesidir. Kuleler, kale mimarisinde kalenin saldırıya açık güçsüz noktalarında inşa edilir ve

savunma anlamında kaleye pozitif katkı sağlar. Daire, kare, yarım daire, beşgen, altıgen ve sekizgen formda inşa edilebilen kulelerden en çok kullanılan yapıda olanı kare mimariye sahip olanlarıdır. Yapım kolaylığı dolayısıyla kare formda tercih edilen kulelerde, daire formlu olması durumunda yontma işlemlerinin zorluğu gün yüzüne çıkmaktadır [33].

Kale yapılarında savunmanın önemli yapısı kuleler genellikle surla bitişik biçimde ya da surlarla yekpare biçimde inşa edilebilirler. Kuleler genellikle surların yapıldığı malzemelerden yapılmakla beraber iklimin farklı olduğu bölgelerde kulelerin üstü kapalı olarak tasarlanmaktadır [34].

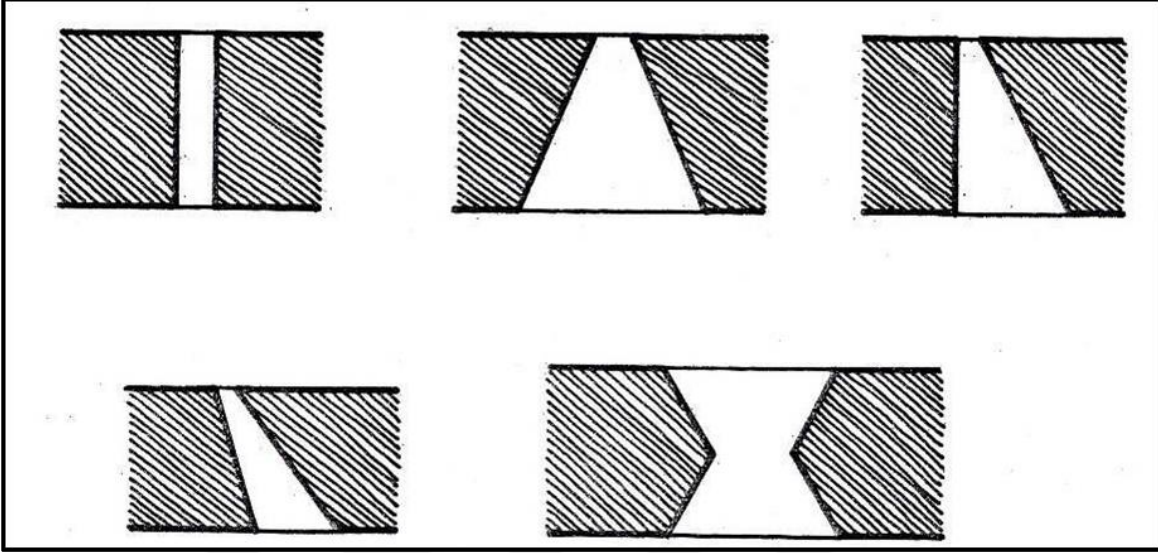
Kuleler kadar savunmada önemli olan bir diğer eleman da kapılardır. Kale kapıları genellikle sağlam ve dayanıklı olması açısından kalın tahtalardan yapılır ve üzerleri bakır veya demirle kaplanırdı. Kale kapıları bazı örneklerde görüldüğü üzere ulaşımı dolambaçlı yollardan olup güvenliği artırıcı etkisiyle ön plana çıkmıştır [35]. Tarihi kalelerden olan Rize Zil Kalesi'ne ait bir görsel Resim 4.3'te sunulmuştur.



Resim 4.3. Rize Zil Kalesi [35]

Kaleler; devam eden sürekli bir kalın duvar ve bu kalın duvar hattı boyunca inşa edilen burçlardan oluşur. Kalın duvarların iç kısımlarında “kazamat” adı verilen top ateşinden korunmak için inşa edilmiş yerin altına kazılmış siperler bulunmaktadır. Kale surlarının üst kısmı hareket kolaylığı sağlaması açısından düz tasarlanmaktadır. Bahsedilen bu kısma “seğirdim yeri” denilmektedir. Top atışlarının yapılabildiği, dış yanı geniş ve iç kısmı dar

olan mazgallar çeşitli mimari yapıya sahip olabilmektedir [36]. Top mazgal çeşitleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Top mazgalı çeşitleri [37]

Kalelerde mazgal ve mazgal siperlerinden oluşan, girintili çıkıntılı dış duvarların üst bölümüne barbata denmektedir. Barbatalar mazgalların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bahsedilen mazgalların dışında düşman saldırılarına karşı koymak amaçlı ok atışı için de sur duvarlarında delikler bulunmaktadır. Bu deliklere barbakan denilmektedir. Barbakan örneklerine ait bir görsel Resim 4.4’te sunulmuştur.



Resim 4.4. Kalelerde kullanılan barbakan örneği [38]

Savunma yapmayı kolaylaştırmak ve düşman ataklarını engellemek için surların önünde içi su dolu hendekler açılabilir. Bulunduğu topografyaya göre farklı boyutlarda hendekler mevcut olabilir. Bahsedilen bu hendeklerin içi suyla dolu olabileceği gibi boş da olabilir.

Özellikle kalelerin girişini güvenli hale getirmek için yapılan hendekler, üzerine konumlanan açılır kapanır özellikli köprüler sayesinde kaleye erişim imkânı da sağlamaktadır [37].





5. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN MALZEMELER

Tarihi yapılar buldukları ve inşa edildikleri yerin özelliklerine uygun ve kolay erişilebilir malzemelerden yapılmışlardır. Yapılma aşamasında uzun yıllar dayanabilecek sağlam malzeme tercihleri ön plana çıkmıştır. Eski zamanlarda teknolojinin durumuna ve taşıma işlemlerinin zorluğuna bağlı olarak yapılar, inşa edileceği bölgedeki malzemeler kullanılarak yapılmışlardır. Çok eski zamanlardan bugüne yapı elemanı olarak en çok doğal taş malzemeleri kullanılmıştır.

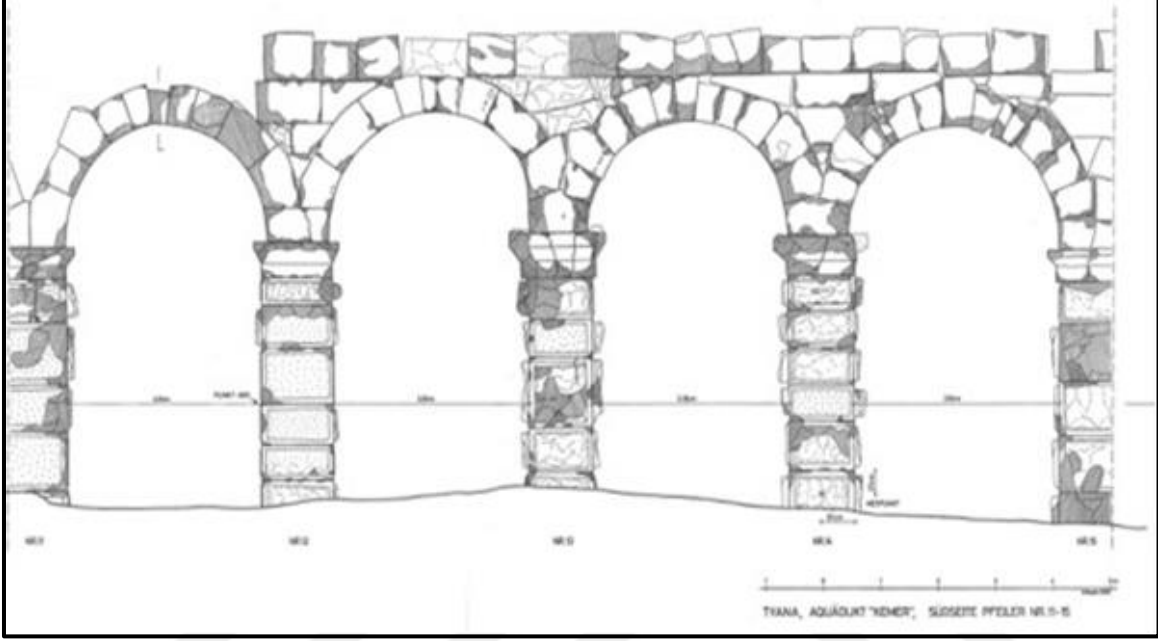
5.1. Doğal Taşlar

Doğal taşların yapı malzemesi olarak en yaygın şekilde kullanılmasının temel nedenleri, yeryüzünün hemen hemen her noktasında ve çeşitli arazi koşullarında kolaylıkla bulunabilmeleridir [39]. Doğal taşların, yapısı gereği taşıma gücü ve basınç mukavemeti yüksek ancak çekme dayanımı düşüktür. Bu özelliklerinden dolayı kullanım alanları basınç kuvveti olan alanlarla sınırlıdır. Taşıyıcı elemanların yük altında nasıl davranacağını ve yük altındaki sehim değerlerini hesaplamak için elastisite modülü önemli bir özelliktir. Günümüzde yapılarda kullanılan betonun elastisite modülü $14-30 \times 10^3$ MPa iken bu değer doğal taşlarda $15-70 \times 10^3$ MPa düzeyindedir [40]. Doğal taş çeşitleri ve fiziksel özellikleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Doğal taş çeşitleri ve fiziki özellikleri [40]

Taşın Cinsi	Basınç Dayanımı (kPa)	Kayma Dayanımı (kPa)	Çekme Dayanımı (kPa)	Elastisite Modülü (kPa)
Granit	30 000-70 000	14 000-33 000	4 000-7 000	30×10^6 - 55×10^6
Mermer	25 000-65 000	9 000-45 000	1 000-15 000	25×10^6 - 70×10^6
Kireçtaşı	18 000-35 000	6 000-20 000	2 000-6 000	10×10^6 - 55×10^6
Kumtaşı	5 000-30 000	2 000-10 000	2 000-4 000	13×10^6 - 50×10^6
Kuvars	10 000-30 000	3 000-10 000	3 000-4 000	15×10^6 - 55×10^6
Serpantin	7 000-30 000	2 000-10 000	6 000-11 000	23×10^6 - 45×10^6

Doğal taşlar genel itibariyle temel, kubbe, tonoz, duvar gibi basınç kuvvetine maruz kalan yapı elemanlarında kullanılır. Doğal taşlar kendi özellikleriyle bağdaşan sıva ve harçlarla beraber kullanılarak bir bütün oluşturmaktadır. Doğal taş kullanımına örnek bir yapı görseli Şekil 5.1’de sunulmuştur.



Şekil 5.1. Doğal taş kullanılan örnek yapı [41]

5.2. Tuğla

Yığma yapılarda doğal taşlardan sonra en çok kullanılan yapı malzemelerinden bir tanesi de tuğladır. Tuğla, yapısını oluşturan toprağın hamur haline getirilmesi, kalıplanması ve pişirilmesi sonucunda istenilen boyutlarda kullanılan bir yapı malzemesidir. Tuğlalar, kiremit gibi, kireç ile karıştırılarak önemli bir yapı elemanı haline gelmektedir. Özellikle Roma dönemi tarihi yapılarında çokça kullanılan tuğlalar dekoratif olarak göze hitap eden bir yapı elemanıdır [42]. Yapı malzemesi olarak tuğla kullanılan bir yapıya ait görsel Resim 5.1’de gösterilmiştir.



Resim 5.1. Bursa Orta Camii [43]

5.3. Kerpiç

Toprak, su ve birtakım katkı maddeleriyle karışım yapılarak hazırlanan ve yapı malzemesi olarak özellikle kurak alanlarda kullanılan kerpiç, mekanik olarak zayıf özelliklere sahip olması nedeniyle fazla tercih edilmemiştir.

5.4. Tarihi Yapılarda Kullanılan Harçlar

Yapı elemanlarının birlikte çalışması ve bir bütün olarak mekanik dayanım özellikleri göstermesi için kullanılan harçlar çok önemlidir. Taş veya tuğla gibi yapı malzemelerinin birlikte çalışmasını sağlayan harçlar genellikle kireçten elde edilmektedir. Genel olarak harçlar; kum, kil, puzolan malzemeleri, taş veya tuğla kırıntıları, saman gibi elemanların su veya başka bir bağlayıcıyla bir hamur haline getirilmesiyle oluşmaktadır [44].

Basınç dayanımına karşı etkili olan elemanların zayıf olduğu çekme dayanımı konusunda bu eksikliği harçlar karşılamaktadır. En çok kullanılan harç çeşitleri kireç harcı ve horasan harcıdır.

5.4.1. Kireç harcı

Yapı malzemelerinde bağlayıcı olarak kullanılan kireç, kum ve su karışımından elde edilen harç kireç harcı olarak bilinmektedir. Hidrolik ve hidrolik olmayan iki tür kireç harcı bulunmaktadır. Hidrolik olmayan kireç harçları, agrega ve kirecin birleşmesiyle oluşur. Hidrolik olan kireç harçları ise hidrolik kireç veya saf kireç ile puzolanın karıştırılmasıyla ortaya çıkmaktadır [45].

5.4.2. Horasan harcı

Kiremit ve tuğla gibi yapı malzemelerinin öğütülerek kireç ile bağdaştırılması ile elde edilen harç çeşidine horasan harcı denilmektedir. Bir başka deyişle; kireçle karıştırılmış pişirilmiş kile de horasan harcı denmektedir. Kiremit ve tuğlanın ham maddesi kildir. Horasan adı, İran'ın doğusunda bulunan Horasan bölgesinden gelmektedir. Betona Suudi Arabistan ülkesinde Horasan denilmektedir [46].

Horasan harcı hazırlanırken çok değişik katkı maddeleri eklenmektedir. Bunlardan bazıları; albümin, zeytinyağı, keten, elyaf ve samandır [47]. Horasan harcının dayanımı, karışımda kullanılan kireç ve tuğla tozunun incelik derecesiyle yakından ilgilidir. Harcın mekanik özelliklerinin daha iyi olması için horasan harcının içine eklenen ince çakıl muhtevası önemli bir parametredir. Ayrıca tarihi yapılarda meydana gelen rötreyi engellemek için horasan harcının içine saman karıştırılabilir [48].

Horasan harcı suya dayanıklı bir malzemedir. Suya dayanıklılık özelliğinden bu harç; Bizans, Selçuklu ve Osmanlı zamanlarında sarnıç, su kemeri, su kuyuları ve hamam yapımlarında etkili bir biçimde kullanılmıştır [49].

Horasan harcı dayanımını çok geç tamamlayan bir malzeme olduğundan eski zaman teknik kişileri bu süreyi göz önüne alarak yapıyı tamamlamışlardır. Horasan harcı için bahsedilen bu dayanım kazanma süresini azaltmak için harcın içine çeşitli katkı maddeleri eklenebilir [50].

Horasan harcının yapımında kullanılan tuğlaların yoğunlukları doğal taş agregalardan daha düşük olduğu için horasan harçları daha yüksek çekme kuvvetini karşılayabilirler. Ayasofya

Camisinin kubbesinde ve diğer kubbelerde kullanılan horasan harçları, horasan harcının hem hafif hem de çekme dayanımının yüksek olmasına örnek teşkil etmektedir.





6. RESTORASYON YÖNTEMLERİ

Tarihi yapılar hava ve iklim koşulları, bölgenin depremselliği, kullanılan malzemenin dayanımı ve türü gibi özelliklerle zaman içerisinde bozulmalara uğrayabilir. Bu gibi bozulmaların önüne geçmek için düzenli olarak bakım ve kontroller yapılmalıdır. Kültür varlıklarının korunması ve sonraki nesillere aktarılmasındaki temel kabul düzenli olarak bakımlarının yapılmasıdır. Restorasyon çalışmalarının başlamasından önce yapılan araştırmalar ve ön inceleme sayesinde yapı ile ilgili gerekli bilgiler toplanmaktadır. Elde edilen veriler ışığında yapıda meydana gelen hasarlar en aza indirilebilecek ve en etkili restorasyon yöntemi belirlenebilecektir.

Restorasyon yöntemleri ile tarihi yapılar orijinal dokularına sadık kalınarak güçlendirme ve yenileme işlemlerine tabi tutulmaktadırlar. Restorasyon işlemleri sayesinde yapılarda geri dönülmez hasarlar meydana gelmeyecek ve yapılar ayakta kalabileceklerdir. Yapının durumu göz önüne alınarak belirli restorasyon tekniklerinden biri veya birkaçı bir arada kullanılabilir. Bahsedilen restorasyon teknikleri genel anlamda şunlardır: sağlamlaştırma, yenileme, yeniden yapma, bütünleme, temizleme ve taşımadır.

Hasarlar doğa olaylarından olabileceği gibi insan eliyle de olabilmektedir. Yığma yapılardaki taşıyıcı sistemlerde kullanılan malzemelerin (genellikle doğal taş) çekme dayanımları zayıf ve kullanılan harçların da kayma mukavemetinin düşük olmasından dolayı deprem hareketleri yapılara zarar verebilmektedir. Deprem yapıya verdiği zarar çatlama, ayrılma veya dağılma şeklinde olabilmektedir. Deprem kuvveti yapının ağırlığı ile doğru orantılı olduğundan eski ve ağır yapılar büyük deprem kuvvetlerine maruz kalmaktadırlar. Depreme benzer etkiler gösteren patlama, oturma ve heyelan gibi unsurlar da yapılarda hasarlara neden olmaktadır [51,52].

Tarihi yapılarda en çok kullanılan yapı malzemesi olan doğal taşlar veya birlikte kullanıldığı metal malzemeler kimyasal bozulmalara maruz kalabilirler

Tarihi yapılarda çok çeşitli şekillerde hasar oluşabilmektedir. Bu hasarlardan bir kısmı aşağıdaki kısımda anlatılacaktır. Metallerde meydana gelen korozyon etkisi ile dayanım değerlerinde azalmalar olabilmektedir.

Doğal taş malzeme gözenekli yapısı nedeniyle sıcaklık farklarından oldukça fazla etkilenmektedir. Gözeneklerin su ile dolması ve burada bulunan suyun donması ve çözünmesi taşların yapısında bozulmalara ve dolayısıyla da hasarlara neden olmaktadır. Bahsedilen bu donma ve çözülme olaylarının tekrarlı hale gelmesi neticesinde taş malzemelerde çatlaklar meydana gelmektedir.

Kale, kule veya minare gibi yüksek yapılar için rüzgâr önemli bir tehdit unsurudur. Sürekli olarak aynı cepheden ve farklı şiddetlerde rüzgâra maruz kalan yapı elemanlarında aşınma veya bozulmalar meydana gelebilmektedir.

Yukarıda belirtilen sebeplere ek olarak çok çeşitli hasar nedenleri mevcuttur. Hava kirliliği, yanlış restorasyon uygulamaları, bilinçsizce yapılan müdahaleler, yapının uzun süre kullanılmamasına bağlı olarak gelişen hasarlar ve kasıtlı olarak yapıya zarar verme bunlardan bazılarıdır.

6.1. Tarihi Yapılarda Hasar Çeşitleri

6.1.1. Yıkılmalar

Yapılar; deprem, sel gibi doğal afetlerden, iklim ve çevresel koşullardan veya insan eliyle meydana gelen tahribatlardan kısmen ya da tamamen yıkılabilirler. Böyle bir yıkılma durumuyla karşılaşılması durumunda restorasyon çalışmalarından ziyade aynı yere bir kopyasının özüne sadık kalarak yapılması en geçerli yöntem olacaktır [44].

6.1.2. Çatlaklar

Çatlaklar genel itibariyle yığma yapılarda çok rastlanan bir hasar biçimidir. Statik olarak dengede olan yapının doğal veya insan eliyle gerçekleşen müdahaleler sonucunda ortaya çıkan hasarlar çatlaklardır ve yığma yapılar için çatlaklar önemli sıkıntıların belirtisidir. Yığma yapılarda duvarlar taşıyıcı unsur olduklarından duvarlarda oluşacak herhangi bir çatlak derecesine göre önem arz etmektedir. Birçok yapıda kılcal olarak görülen çatlaklar daha da büyük olabilmektedir ve daha büyük boyutlu çatlaklar yapının stabilitesi için tehlike arz etmektedir. Çatlaklar genellikle yapılarda taşıyıcı sistemin zayıfladığı pencere ve kapı eksenlerinde görülmektedir [44,53].

6.1.3. Taş Erimeleri ve kayıpları

Taşıyıcı sistemi doğal taşlardan meydana gelen yapılarda iklim koşulları, sıcaklık farkları ve donma-çözünme etkisiyle yer yer taşın dokusunda bozulmalar ve erimeler meydana gelmektedir. Bu gibi durumlarda erimenin derecesine göre doğal taş yapısındaki bozulmalar sonucu dayanım kaybı yaşanmaktadır. Erimenin fazla olduğu veya direkt olarak taş kayıplarının olduğu durumlarda zarar gören kısımlardaki elemanlar yenisiyle değiştirilmelidir [44].

6.1.4. Nemlenme ve nemlenmeye bağlı çürüme

Nemli ve suya maruz kalan bölgelerde görülen bu yapısal hasar durumu önemli bir hasar biçimidir ve önlemi geç kalınmadan alınmalıdır. Ahşap elemanlar ortamda bulunan su ile birlikte nemlenebilir ve taşıyıcı özelliklerini kaybedebilir. Çürüme ise metal elemanlarda meydana gelmektedir. Çürüme veya korozyon metalin yapısında değişikliklere neden olmaktadır ve taşıyıcı özelliklerinin zayıflamasına neden olmaktadır [44].

6.2. Restorasyon Teknikleri

Tarihi yapıların restorasyon çalışmalarında kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur. Elbette restorasyon çalışmaları başlamadan önce hangi metodun kullanılacağına bilinmesi ve uygun olan metodun seçilmesi önem arz etmektedir. Tarihi yapıların mevcut durumu ve kullanılan malzeme özelliklerine göre bir müdahale yöntemi seçmek yapılan işlemin başarıya ulaşmasında kilit öneme sahiptir.

6.2.1. Sağlamaştırma

Sağlamaştırma esas olarak zayıflayan ve etkisini yitirmeye başlayan taşıyıcı elemanlar üzerinde kullanılan bir yöntem olarak bilinmektedir. Ancak çeşitli durumlarda yapının oturduğu zeminlerde ve yapıda kullanılan yapı elemanlarında da sağlamaştırma tekniği uygulanmaktadır [54].

Tarihi yapılarda kullanılan doğal taş malzemeler, iklim etkileri ve çevresel faktörelere bağlı olarak tahribata uğramaktadır. Taşların tahribata uğramasında bir diğer etken ise hava

kirliliği olabilir. Böyle durumlarda meydana gelecek çatlaklar ve yapısal bozulmalar hasarlara neden olabilmektedir.

Taşıyıcı sistem özelinde metal elemanlarda çok rastlanan sağlamlaştırma yöntemleri; destekleme, gergi, kesit genişletme ve çemberdir. Temel güçlendirme, zemin değiştirme, enjeksiyon ve dikiş ise yapı temelinde kullanılan sağlamlaştırma teknikleridir. Malzeme sağlamlaştırması tekniklerinde malzeme yüzeylerine yapıştırıcı, dondurucu ve koruyucu özelliklere sahip kimyasal maddeler uygulanmaktadır. Bahse konu kimyasal maddeler püskürtme ve sürme yöntemleri uygulanarak tatbik edilmektedir. Ancak malzeme özelinde sağlamlaştırma yapılırken estetik kaygılara da dikkat edilmeli ve kullanılan malzemenin dış görünüşüne uyum sağlayabilecek malzeme ve teknik kullanılmalıdır [55].

6.2.2. Bütünleme

Tahribata uğramış olan tarihi yapıların hasar gören veya kısmi olarak yıkılmış olan bölümlerinin özüne uygun olarak eř değer malzemeler kullanılarak eski bütün haline getirilmesine bütünleme denilmektedir. Yapıda kullanılan malzemenin dokusuna, rengine uygun malzemeler, uygun işçilik ve uygun tekniklerle kullanılmalıdır. Hem estetik olarak hem de taşıyıcı sistemlerin statik durumları göz önüne alınarak yapılan bu teknik mevcut yapının tekrardan işlevsellik kazanması açısından önemli bir yere sahiptir [54,55]. Bütünleme tekniği ile restore edilen Kalecik Kalesi'ne ait bir görsel Resim 6.1'de sunulmuştur.



Resim 6.1. Kalecik Kalesi'nde bütünleme tekniğiyle restore edilen surlar

6.2.3. Yenileme

Gelişen hayat şartları sonucunda bir kısmı veya tamamı kullanım dışı olan yapıların günümüz şartlarına uygun olarak düzenlenmesidir. Tarihi yapı özelinde camii, hamam, ibadethaneler gibi mekânlara yeniden işlevsellik kazandırılması veya bazı durumlarda yapılara yeni kısımlar eklenmesi de yenileme kapsamına girmektedir.

6.2.4. Yeniden yapma

Çeşitli doğal afetler veya insan eliyle verilen zararlardan zarar gören veya tamamen yıkılan tarihi yapıların özüne sadık kalınarak tekrardan yapılmasıdır. Ancak yeniden yapma tekniği sadece özel durumlarda kabul gören bir restorasyon tekniğidir. Her yıkılmış tarihi yapının tekrardan yapılması gerekli olmayabilir ve kullanılacak olan kaynak ve malzeme açısından da uygun olmayabilir.

Tarihi yapı yerine yapılan yeni yapı, eski yapının tarihi dokusuna ve kullanılan malzemelere sahip değildir. Ancak tarihi yapının bölümlerini ve kütlelerini canlandırabilir. Dolayısıyla yeniden yapma tekniği kullanılmadan önce yeterli seviyede araştırma yapılmalı ve bu araştırmadan elde edilecek verilere göre bir plan çıkarılmalıdır.

6.2.5. Taşıma

Restorasyon teknikleri denilince akla ilk gelen kavram yerinde yenilemedir. Ancak baraj ya da yol yapımı gibi sebeplerle orijinal mekânında duramayacak eserler için başka bir yere taşıma işlemi gündeme gelebilir. Yapıları taşıma tekniği, yapının malzeme özellikleriyle ve boyutuyla ilişkilidir. Böyle bir durumda uygulanabilecek en basit yöntem yapının elemanlarına numara vererek sökmek ve yeni yapım alanında bu sıralamaya göre tekrardan inşa etmektir. Bahsedilen bu yöntem genellikle ahşap yapılarda mümkün olabilmektedir. Elbette ki yapıları taşıma tekniği, yapının malzeme özellikleriyle ve boyutuyla ilişkilidir.

6.2.6. Temizleme

Tarihi yapılarda yapı elemanları veya süslemelerin üzerlerinde oluşan birikintilerin ve kirlerin (patina tabakası) fiziksel veya kimyasal bir yöntemle temizlenmesi işlemdir. Temizleme işleminin nasıl ve hangi şartlar altında yapılacağına Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulları karar vermektedir. Su, kristal hale getirilmiş kum veya çeşitli aletlerle fiziksel temizlik yapılırken aynı zamanda çeşitli kimyasal maddeleri, kâğıt hamurları ve emici çeşitli malzemelerle kimyasal temizlik yapılmaktadır. Seçilecek yöntemler restore edilecek yapının malzemesine, dokusuna ve ihtiva ettiği kirin çeşidine göre farklılık göstermektedir. Kumlama tekniği ile ilgili bir görsel Resim 6.2’de gösterilmiştir.



Resim 6.2. Kumlama tekniği ile yüzey temizlenmesi [56]

7. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışmamıza konu olan Kalecik Kalesi'nden alınan numuneler fiziksel testlere tabi tutularak çalışmamız yapılmıştır.

7.1. Malzeme

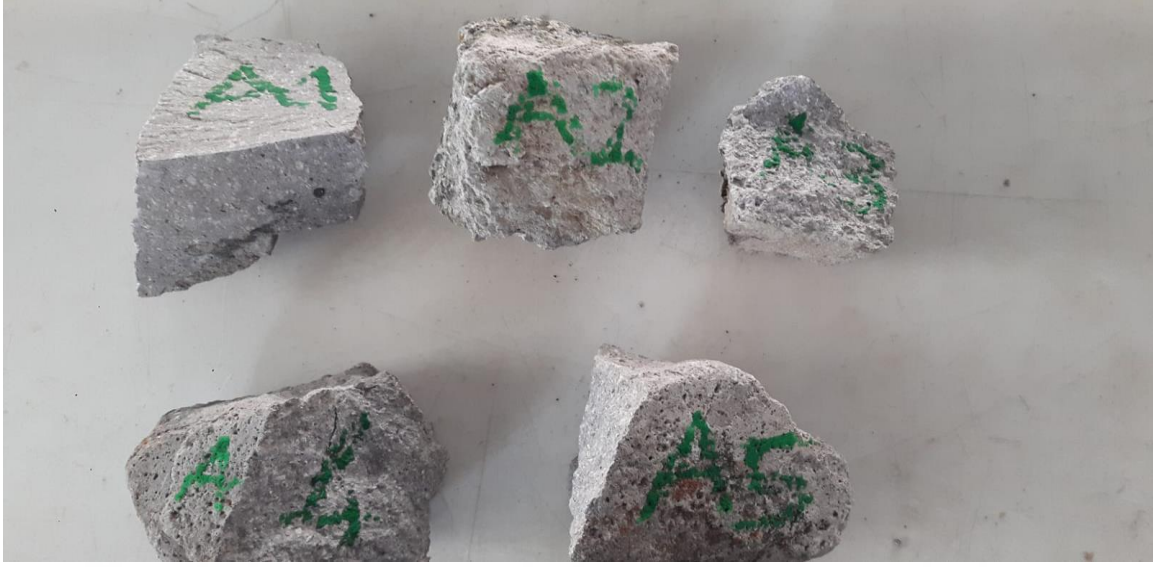
Kalecik Kalesi 2001 yılında kısmi olarak restorasyona uğramış ancak bu yapılan çalışma yetersiz kalmıştır. Kalecik Kalesinde yapılabilecek olan uygun restorasyon tekniklerini belirleyebilmek için kaleden taş numune örnekleri alınarak detaylı bir araştırma ve çalışma yapılmıştır. İklim parametreleri ve çevresel etkiler sonucunda etkilenen malzemeler kaleden alınmış ve deney numunesi olarak kullanılmıştır.

7.2. Yöntem

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda Kalecik Kalesi'nden alınan numuneler üzerinde şu deneyler yapılmıştır: Basınç dayanımı deneyi, yoğunluk deneyi, porozite deneyi ve su emme deneyi. Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü SEM Laboratuvarı Biriminde Taramalı Elektron Mikroskobu Analizleri SEM ve EDS yapılmıştır.

7.2.1. Deney numunelerinin hazırlanması

Kalecik Kalesi'nden alınan numuneler deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere uygun ölçülerde ve boyutlarda (50cm×50cm, 48×48 cm) hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere ait görseller Resim 7.1 ve Resim 7.2'de sunulmuştur. A ve B örnekleri volkanik kaya parçalarından oluşan malzemelerdir.



Resim 7.1. Kalecik Kalesi'nden alınan numuneler



Resim 7.2. Kalecik Kalesi'nden alınan numuneler

7.2.2. Basınç dayanımı deneyi

Deney için alınan ve hazırlanan numuneler üzerinde basınç dayanım testi TS EN 1926'da belirtilen şekilde gerçekleştirilmiştir. Standartta belirtilen "Deney numuneleri, kenarları (40 ± 1) mm'lik küp şeklinde olmalıdır. Bu yüzeyler, taş kesme testeresi ile ıslak kesilerek oluşturulmalıdır. Numunelerin, kuvvet uygulanacak yüzeyi ve oturma yüzeyi birbirine paralel olmalıdır.

Kalecik Kalesi'nden elde edilen numuneler küp numuneler halinde hazırlanmıştır. Deneyden önce 24 saat boyunca etüvde kurutulmuş ve basınç dayanımına tabi tutulmuştur.

7.2.3. Porozite deneyi

Doğal bir taşın porozitesi, içerisinde yer alan boşluk haciminin tüm hacme oranıdır. Mühendislik özelliği olarak önemli bir yere sahip olan porozite değerleri; permeabilitenin hesaplanmasında, baraj temel yapılarında, içerisinde çatlak bulunan kayalardaki su hareketlerinin saptanmasında ve sızma ile ilgili problemlerin çözümünde gereklidir. Porozite ile ilgili gerekli çalışmalar TS 699-Doğal Yapı Taşları İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri (2009) standardına uygun olarak yapılmıştır ve Eşitlik 7.1. ile porozite hesaplaması gösterilmiştir.

$$P = V_v / V \quad (7.1.)$$

- P : Porozite
- V_v : Deney Numunesinin Boşluk Hacmi (cm^3)
- V : Deney Numunesinin Toplam Hacmi (cm^3)

7.2.4. Birim hacim ağırlık deneyi

Deney numuneleri için kuru birim hacim ağırlık ve doymuş birim hacim ağırlık olarak iki adet birim hacim ağırlık hesaplaması yapılmıştır. Hesaplarda kullanılmak üzere numuneler 24 saat su içerisinde bekletilerek doymuş hale getirilmiştir. Daha sonrasında arşimet terazisinde su içerisinde tartımlar yapılmıştır.

Doymuş birim hacim ağırlık γ_d , boşlukları tamamen doymuş numunenin ağırlığının toplam hacme oranıdır. Eşitlik 7.2.'de doymuş birim hacim ağırlık denklemi gösterilmiştir.

$$\gamma_d = W_{\text{doymuş}} / V_{\text{toplam}} \quad (7.2.)$$

- $W_{\text{doymuş}}$: Doymuş numunenin ağırlığı
- V_{toplam} : Toplam hacim
- γ_d : Doymuş birim hacim ağırlık

Kuru birim hacim ağırlık deneylerinde kullanılmak üzere numuneler 105 °C etüvde kurutularak kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Kuru birim hacim ağırlık ise etüvde kurutulan numune ağırlığının toplam hacme oranıdır. Eşitlik 7.3.'te kuru birim hacim ağırlık hesaplaması gösterilmiştir.

$$\gamma_k: W_{\text{kuru}} / V_{\text{toplam}} \quad (7.3.)$$

- W_{kuru} : Kuru numunenin ağırlığı
- V_{toplam} : Toplam Hacim (cm³)
- γ_k : Kuru Birim Hacim Ağırlık

7.2.5. Yoğunluk deneyi

Basınç deneyinde kırımı yapılan numuneler, gerçek yoğunluk deneyinin yapılması için halkalı öğütücüde öğütülerek 63 mikron elekten geçirilmiştir.

Öğütücüden geçirilen numunelerden 50 gr tartılarak deney numuneleri hazırlanmıştır. Le Chatelier balonu yardımı ile hacimleri bulunmuştur ve yoğunlukları hesaplanmıştır. Hesaplanan yoğunluk gerçek yoğunluktur ve kapalı gözeneklerin hacmini içermemektedir.

Görünür yoğunluk ise numune ağırlığının görünür katı hacme oranı olarak hesaplanabilir. Görünür hacim toz hacmi ve kapalı gözeneklerin hacmini içermektedir. Yoğunluk hesaplamasına ait denklem Eşitlik 7.4.'te gösterilmiştir.

$$\rho = m / V \quad (7.4.)$$

- ρ : yoğunluk
- m : kütle (gr)
- V : hacim (cm³)

7.2.6. Su emme deneyi

Numunenin bünyesinde ne kadar boşluk bulunduğu dair bilgi veren bu deney, malzemenin dona dayanıklılığını saptama yönünden önemlidir. Dona dayanıklılıkta esas olan parametre

malzeme içinde bulunan boşluklardır ve bu boşlukların donma erimeye maruz kalması malzemede bazı yapısal hasarlara neden olmaktadır. Su emme, malzemenin ağırlık veya hacim olarak emmiş olduğu su yüzdesi olarak belirlenebilir. Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi denklemleri Eşitlik 7.5. – 7.6.'da gösterilmiştir.

$$Sa = \frac{W_2 - W_1}{W_1} * 100 \quad (7.5.)$$

$$Sh = \frac{W_2 - W_1}{V_1} * 100 \quad (7.6.)$$

- Sa: Ağırlıkça Su Emme
- Sh: Hacimce Su Emme
- W₂: Su Emdirilmiş Ağırlık
- W₁: Kuru Ağırlık
- V₁: Örnek Hacmi

7.2.7. Taramalı elektron mikroskobu analizleri (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu veya SEM (scanning electron microscope), odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobu tipidir. Taramalı elektron mikroskobu vasıtasıyla alınan görüntüler ve EDS çıktılarında elde edilen veriler ışığında numunelerin yapısal ve morfolojik elemental analizleri gerçekleştirilmiştir.

7.2.8. Taramalı elektron mikroskobu analizleri (EDS)

EDS (Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi – Energy-dispersive X-ray spectroscopy), numunelerin elemental analizi ya da kimyasal karakterizasyonunda kullanılan bir yöntemdir. X ışını uyarı kaynağının numune ile etkileşimi esasına dayalı bir tekniktir.



8. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tarihi Kalecik Kalesi'nden alınan numuneler laboratuvar ortamında deneylere tabi tutulmuştur. Numuneler üzerinde basınç dayanımı, porozite, birim hacim ağırlık, yoğunluk ve su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu analizleri (SEM ve EDS) laboratuvar ortamında yapılmıştır. Aşağıda bu deneyler sonucunda ortaya çıkan sonuçlar verilmiştir.

8.1. Basınç Dayanımı Deneyi

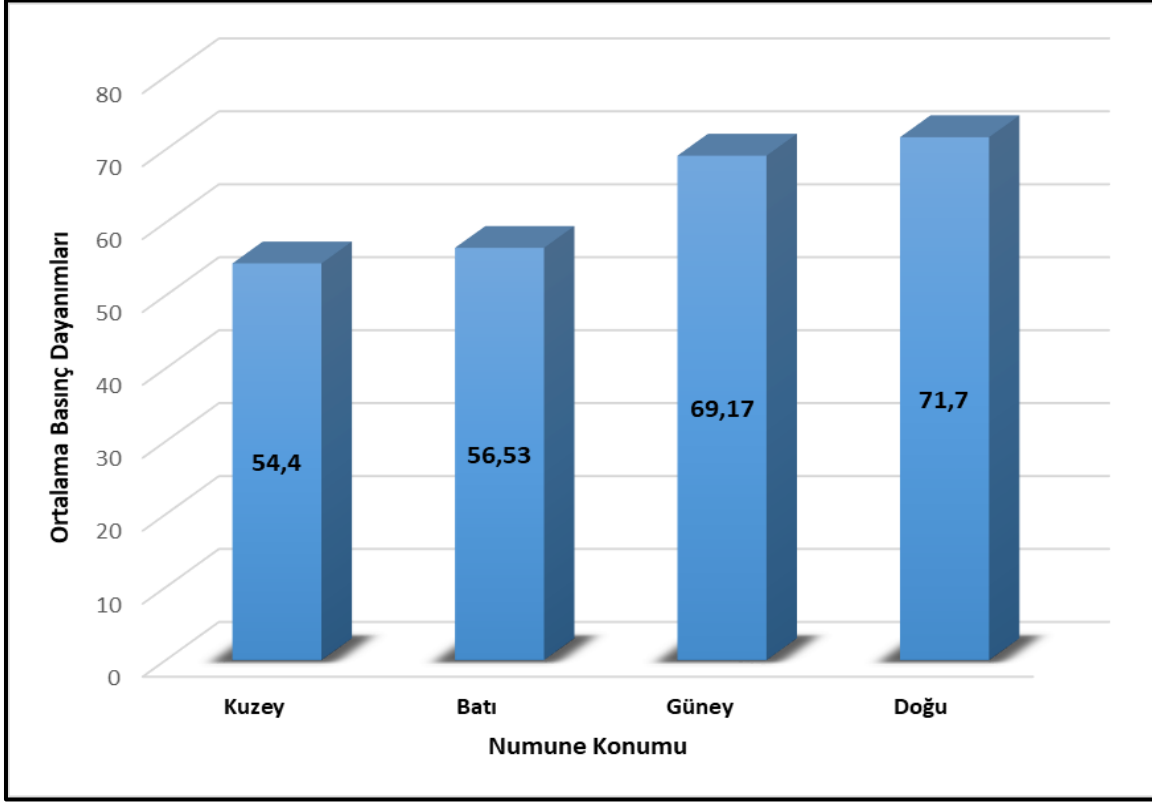
Kuzey, güney, batı ve doğu yönlerden alınan numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır ve çıkan sonuçlar Çizelge 8.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.1. Basınç dayanımı deneyi sonuçları

BASINÇ DAYANIMI	ÖLÇÜLER (mm)		Alan (mm ²)	Yük (N)	Gerilme (MPa)	Ortalama (MPa)
	En	Boy				
Kuzey-1	48	48	2304	113324	49,19	54,4
Kuzey-2	47	47	2209	111506	50,48	
Kuzey-3	45	45	2025	128645	63,53	
Batı-1	48	48	2304	118222	51,31	56,53
Batı-2	48	48	2304	120395	52,25	
Batı-3	42	42	1764	116520	66,05	
Güney-1	50	50	2500	156252	62,5	69,17
Güney-2	50	50	2500	174450	69,78	
Güney-3	46	46	2116	159188	75,23	
Doğu-1	48	48	2304	181435	78,75	71,7
Doğu-2	46	46	2116	145805	68,91	
Doğu-3	48	48	2304	155393	67,44	

Alınan örneklerde kuzey cephesindeki ortalama basınç dayanımı 54,4 MPa, batı cephesindeki ortalama basınç dayanımı ise 56,53 MPa olarak ölçülmüştür. Güney cephesinde ortalama basınç dayanımı 69,17 MPa iken doğu cephesinde ortalama basınç dayanımı 71,7 MPa olarak ölçülmüştür. Çıkan sonuçlar ışığında kuzey ve batı cephelerinden alınan numunelerin basınç dayanımları birbirine yakın değerler çıkmıştır. Aynı şekilde güney ve doğu cephesinden alınan numunelerin basınç dayanımları da birbirlerine yakın

değerler olarak bulunmuştur. Tarihi yapılarda kullanılan doğal taşlar, taşıma gücü ve basınç dayanımı açısından yüksek değerlere sahip; çekme dayanımı açısından ise daha düşük değerlere sahip olan bir malzemedir. Ortalama basınç dayanımları Şekil 8.1’de sunulmuştur.



Şekil 8.1. Ortalama basınç dayanımları (MPa)

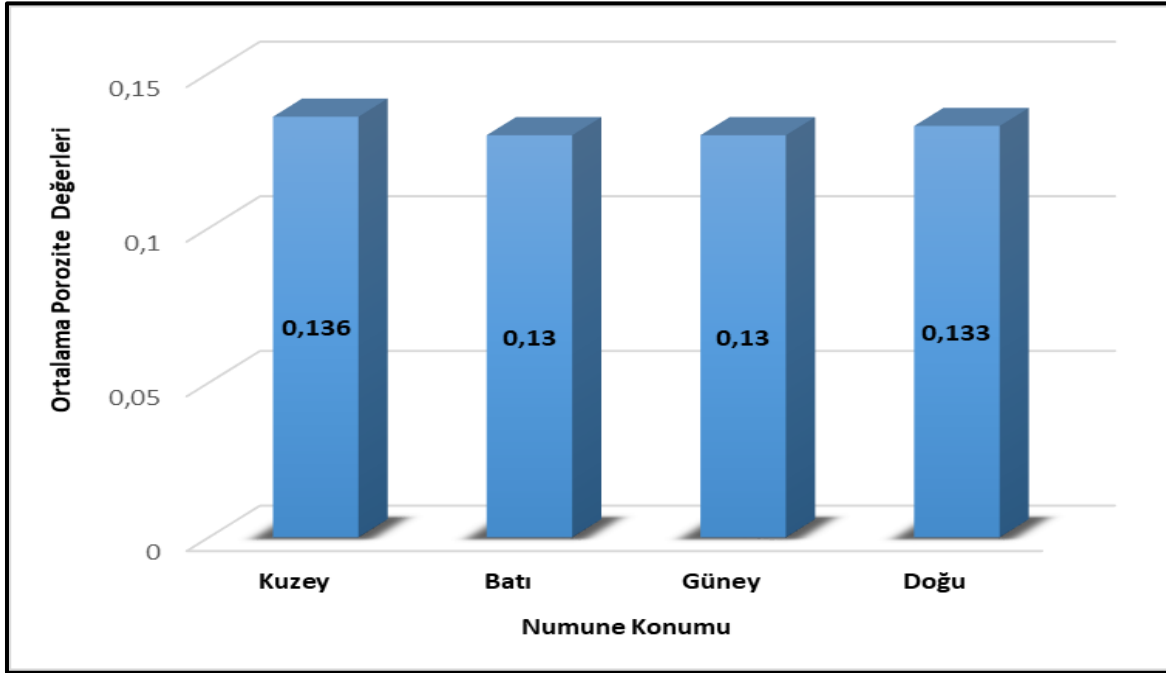
8.2. Porozite Deneyi

Kalecik Kalesi’nde 4 farklı cepheden alınan numuneler porozite deneyine tabi tutulmuş ve sonuçlar Çizelge 8.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.2. Porozite deneyi sonuçları

Numune Konumu	Porozite(p)
Kuzey-1	0,13
Kuzey-2	0,14
Kuzey-3	0,14
Batı-1	0,13
Batı-2	0,13
Batı-3	0,13
Güney-1	0,13
Güney-2	0,13
Güney-3	0,13
Doğu-1	0,13
Doğu-2	0,13
Doğu-3	0,14

Porozite deneyinden elde edilen veriler ışığında dört cepheden de alınan numunelerin ortalama olarak porozite değerleri çok yakın çıkmıştır. Böylelikle dört farklı cepheden alınan numunelerin boşluk oranlarının birbirlerine çok yakın olduğu hatta eşit sayılabileceği değerlendirilmiştir. Ortalama porozite değerleri Şekil 8.2’de sunulmuştur.



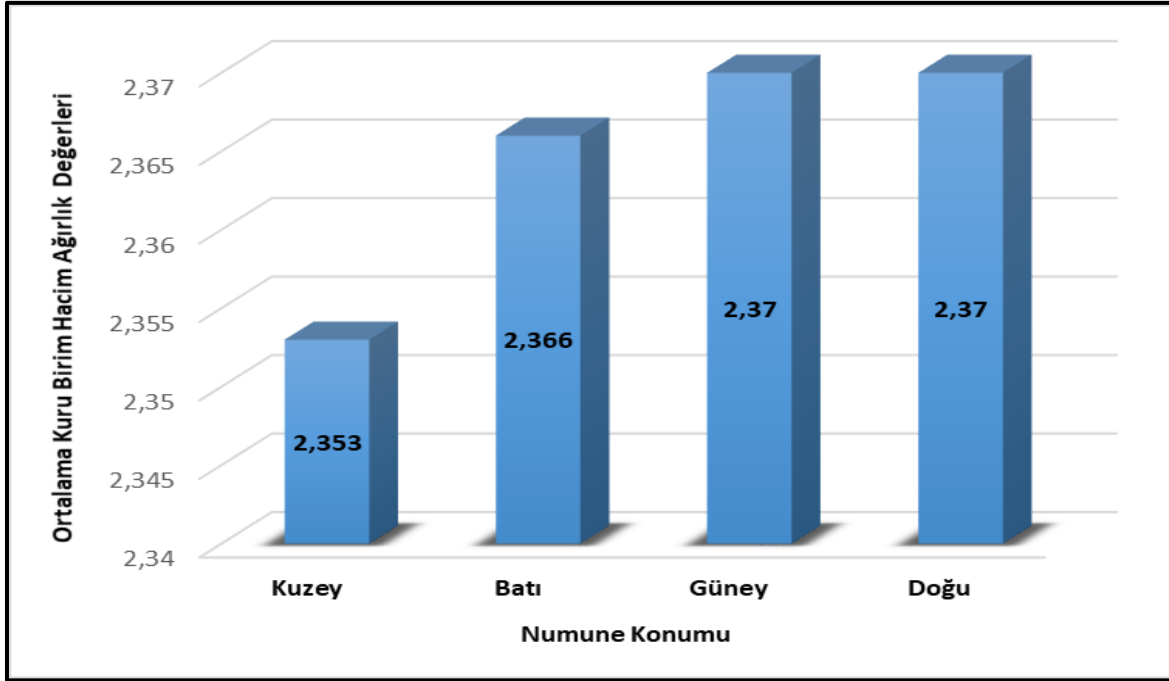
Şekil 8.2. Ortalama porozite değerleri

8.3. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

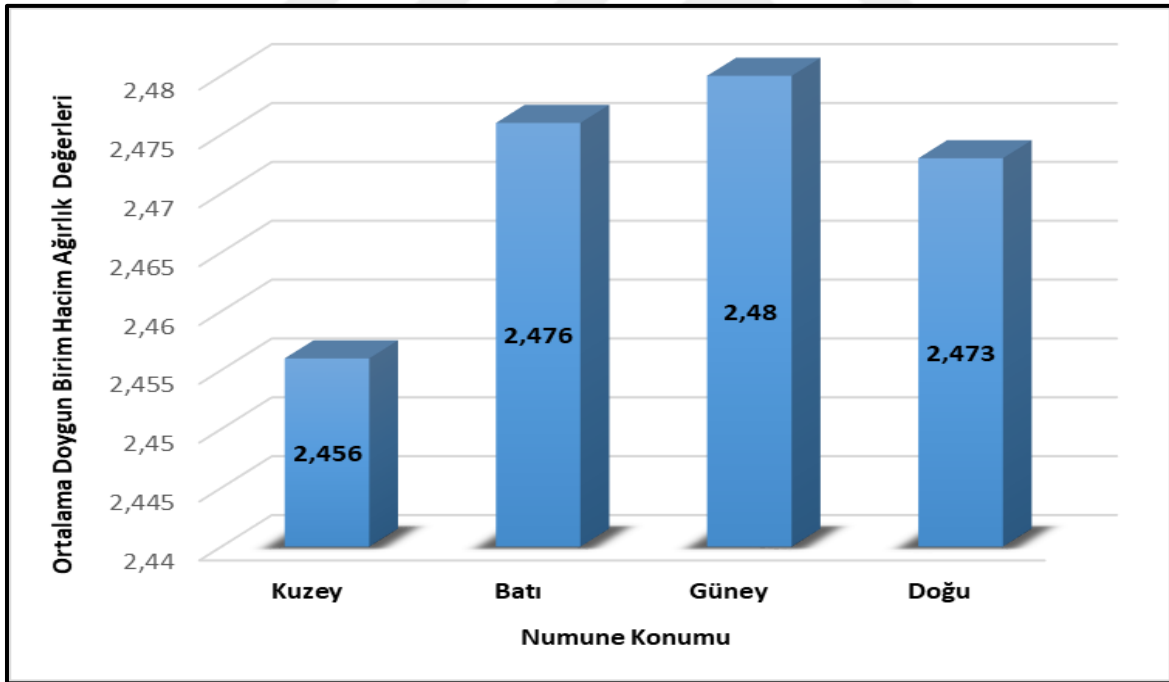
Kuzey, güney, batı ve doğu cephelerinden alınan numunelerin kuru ve doygun olmak üzere birim hacim ağırlıkları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 8.3'te gösterilmiştir. Ortalama kuru birim hacim ağırlık ve doygun birim hacim ağırlık değerleri Şekil 8.3 ve Şekil 8.4'te sunulmuştur.

Çizelge 8.3. Birim hacim ağırlık deneyi sonuçları

Numune Konumu	Ağırlıklar			Hacim (cm^3)	Birim Hacim Ağırlık	
	DYKA	SUDA	KURU		KURU B.H.A.	DOYGUN B.H.A.
	(gr)	(gr)	(gr)		(gr/cm^3)	(gr/cm^3)
Kuzey-1	1572,48	933,08	1512,99	638,4	2,37	2,46
Kuzey-2	1420,34	837,05	1365,06	582,38	2,34	2,44
Kuzey-3	778,58	462,68	742,66	315,41	2,35	2,47
Batı-1	1900,59	1131,81	1822,17	767,58	2,37	2,48
Batı-2	755,61	449,66	722,19	305,47	2,36	2,47
Batı-3	472,35	281,76	451,56	190,29	2,37	2,48
Güney-1	512,82	305,4	491,74	207,1	2,37	2,48
Güney-2	2627,78	1565,08	2516,88	1061,04	2,37	2,48
Güney-3	1473,14	877,53	1407,81	594,68	2,37	2,48
Doğu-1	1671,47	994,05	1600,02	676,36	2,37	2,47
Doğu-2	796,35	475,06	762,01	320,79	2,38	2,48
Doğu-3	419,36	249,58	399,83	169,52	2,36	2,47



Şekil 8.3. Ortalama kuru birim hacim ağırlık değerleri



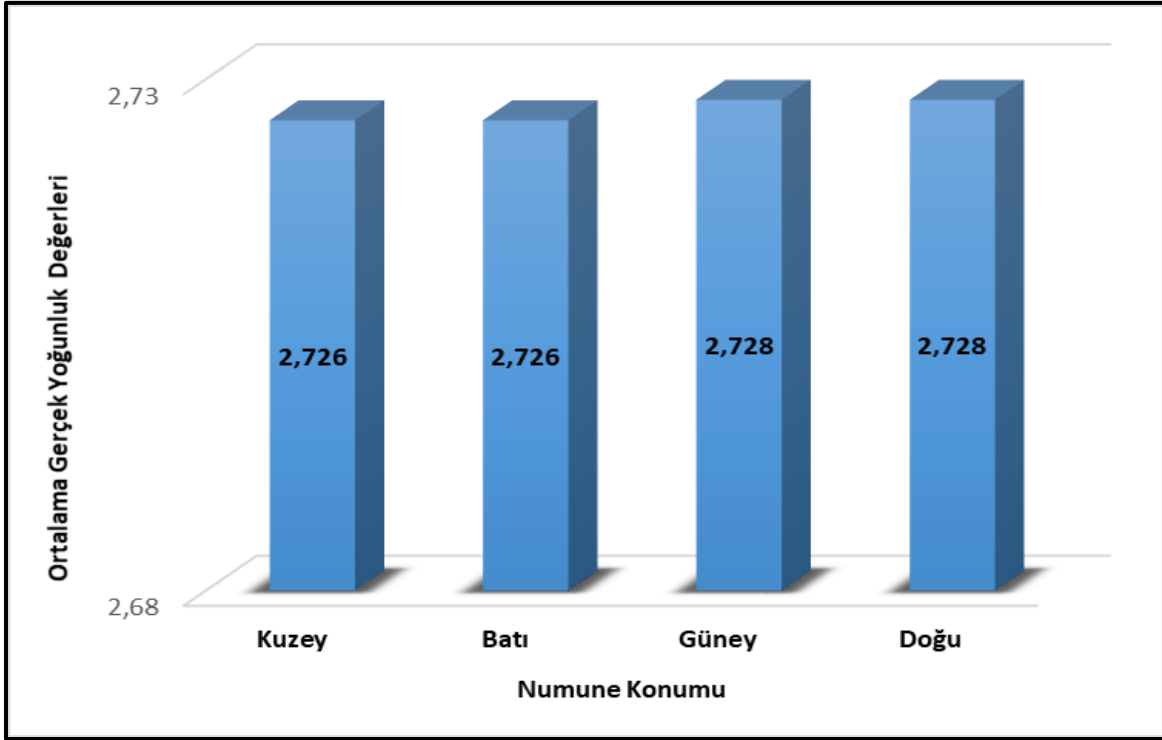
Şekil 8.4. Ortalama doygun birim hacim ağırlık değerleri

8.4. Yoğunluk Deneyi

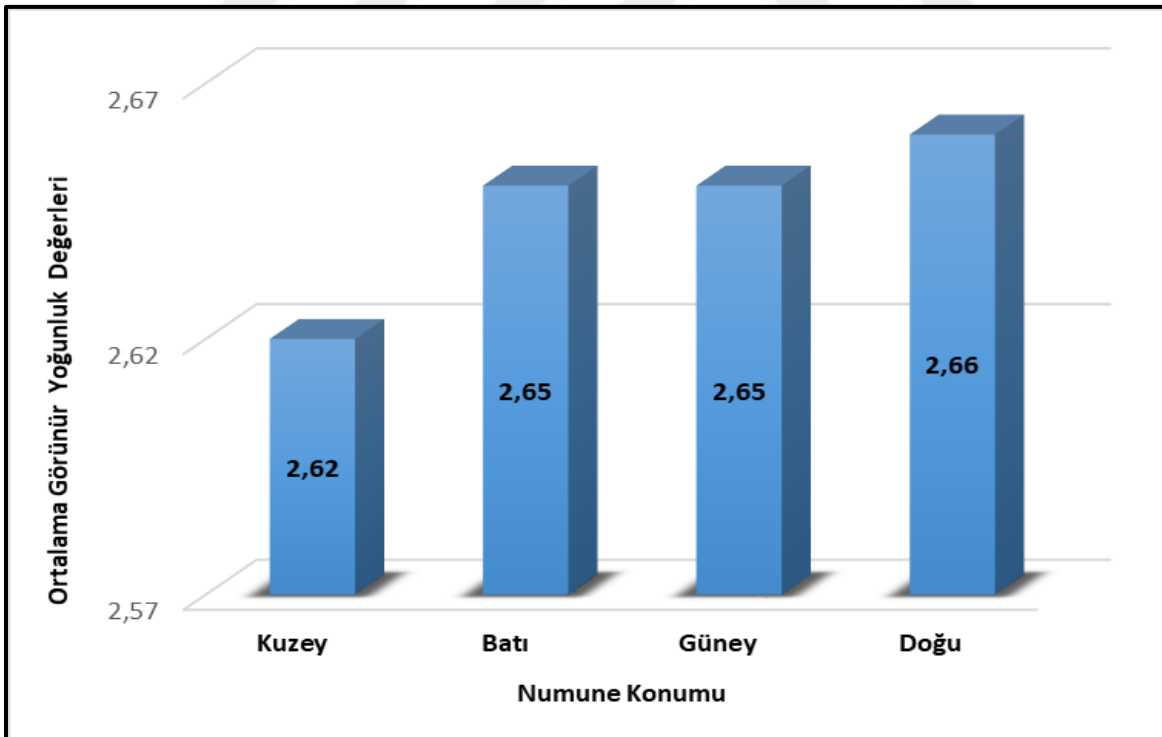
Kalecik Kalesi'nden alınan 4 farklı cepheye ait numuneler üzerinde gerçekleştirilen yoğunluk deneyi sonucunda elde edilen veriler Çizelge 8.4'te gösterilmiştir. Ortalama Gerçek yoğunluk ve görünür yoğunluk değerleri Şekil 8.5 ve Şekil 8.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 8.4. Yoğunluk deneyi sonuçları

Numune Konumu	<i>GÖR. YOĞ.</i>	<i>GERÇEK YOĞ.</i>
	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
Kuzey-1	2,61	2,723
Kuzey-2	2,59	2,723
Kuzey-3	2,66	2,731
Batı-1	2,64	2,723
Batı-2	2,65	2,723
Batı-3	2,66	2,731
Güney-1	2,64	2,723
Güney-2	2,65	2,731
Güney-3	2,66	2,731
Doğu-1	2,65	2,723
Doğu-2	2,66	2,731
Doğu-3	2,67	2,731



Şekil 8.5. Ortalama gerçek yoğunluk değerleri



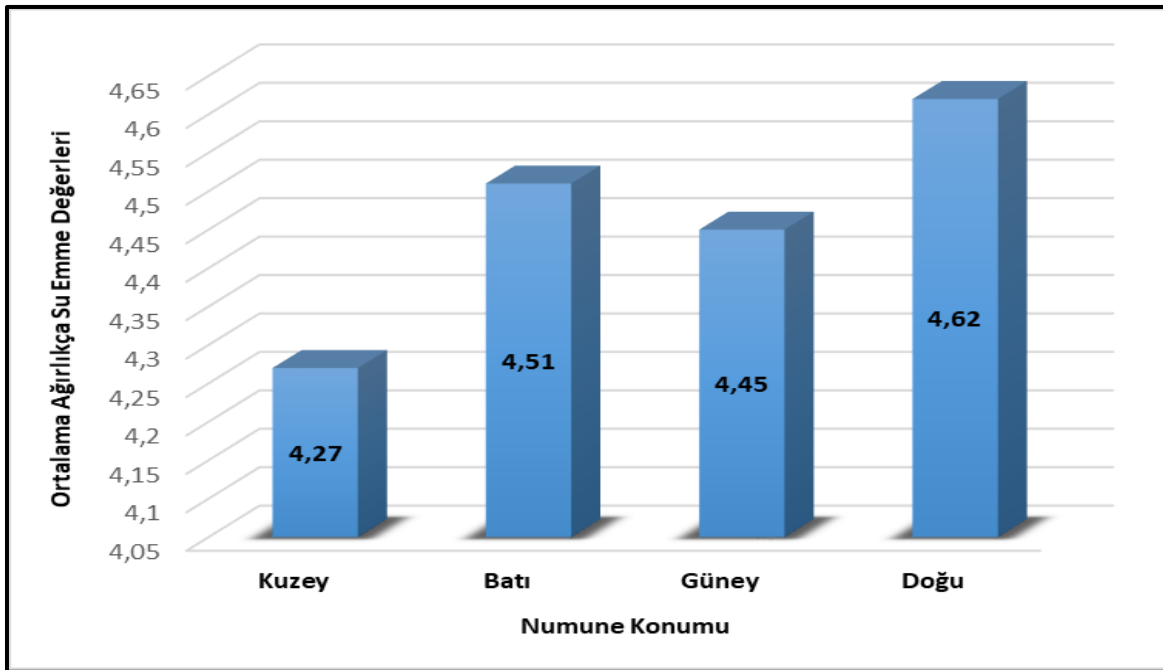
Şekil 8.6. Ortalama görünür yoğunluk değerleri

8.5. Su Emme Deneyi

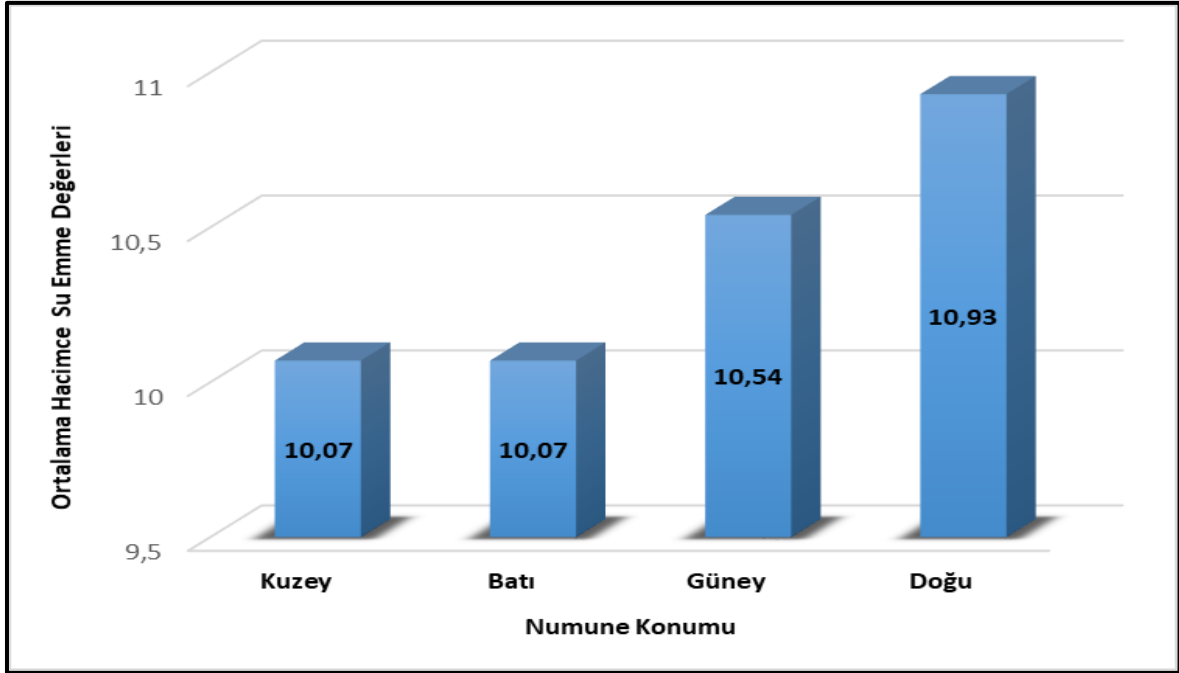
Kalecik Kalesi'nden alınan numunelere su emme deneyi yapılmıştır, ağırlıkça ve hacimce su emme oranları Çizelge 8.5'te gösterilmiştir. Ortalama ağırlıkça su emme ve hacimce su emme değerleri Şekil 8.7 ve Şekil 8.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.5. Su emme deneyi sonuçları.

Numune Konumu	AĞ. SU EMME	HACİMCE SU EMME
Kuzey-1	3,93%	9,32%
Kuzey-2	4,05%	9,49%
Kuzey-3	4,84%	11,39%
Batı-1	4,30%	10,22%
Batı-2	4,63%	10,94%
Batı-3	4,60%	10,93%
Güney-1	4,29%	10,18%
Güney-2	4,41%	10,45%
Güney-3	4,64%	10,99%
Doğu-1	4,47%	10,56%
Doğu-2	4,51%	10,70%
Doğu-3	4,88%	11,52%



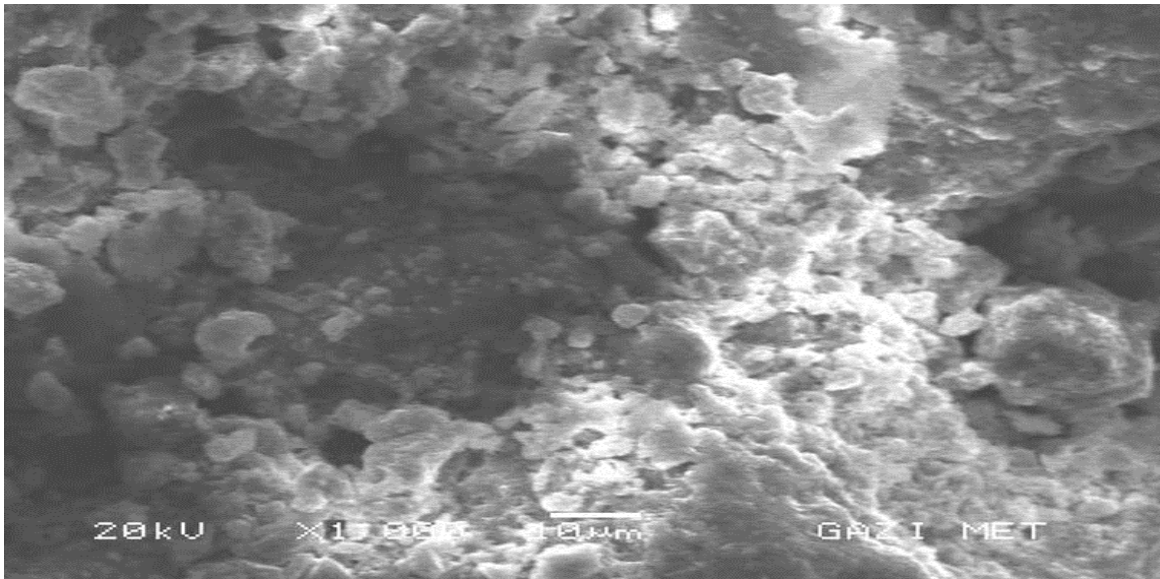
Şekil 8.7. Ortalama ağırlıkça su emme değerleri



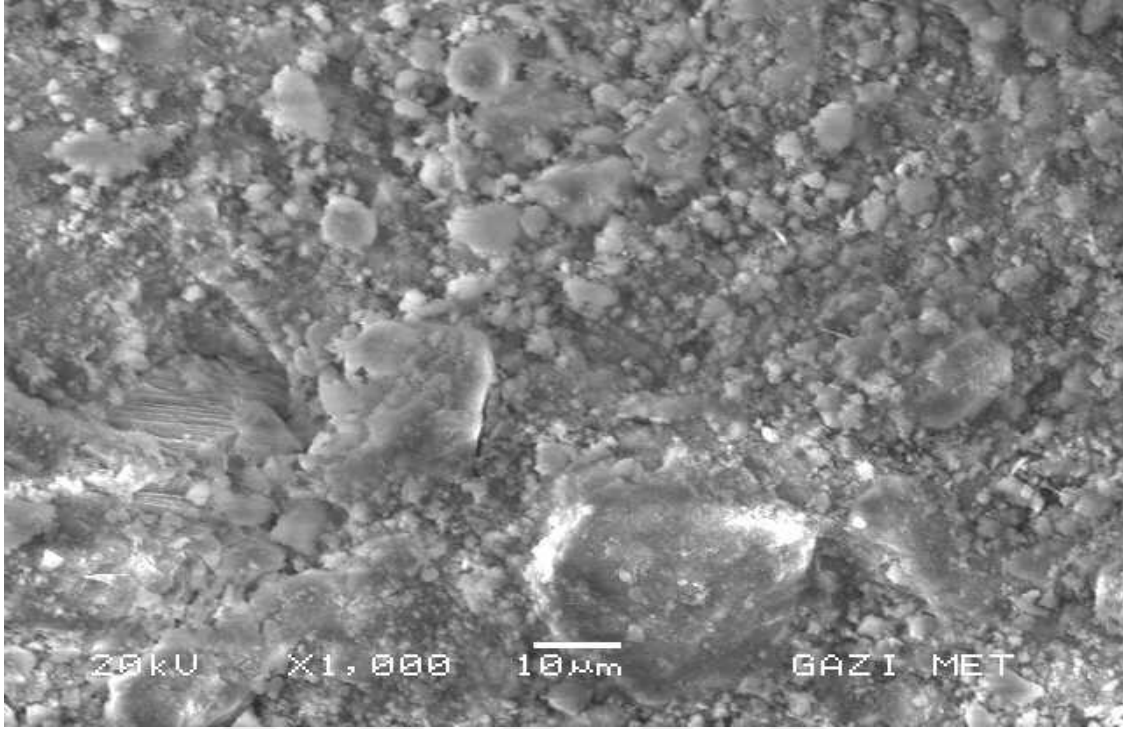
Şekil 8.8. Ortalama hacimce su emme değerleri

8.6. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizleri (SEM)

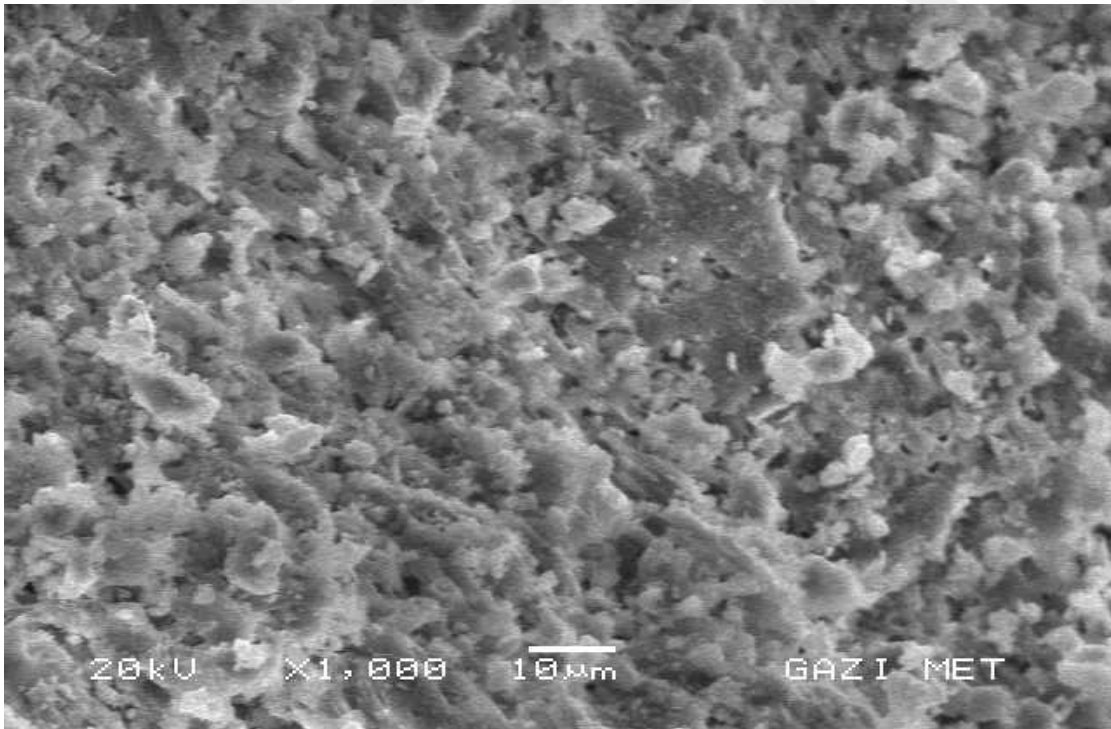
Kalecik Kalesi'nden alınan dört farklı cepheye ait numuneler SEM analizlerine tabi tutulmuşlardır. Resim 8.1, Resim 8.2, Resim 8.3 ve Resim 8.4'te dört farklı cepheye ait SEM analiz fotoğrafları sunulmuştur.



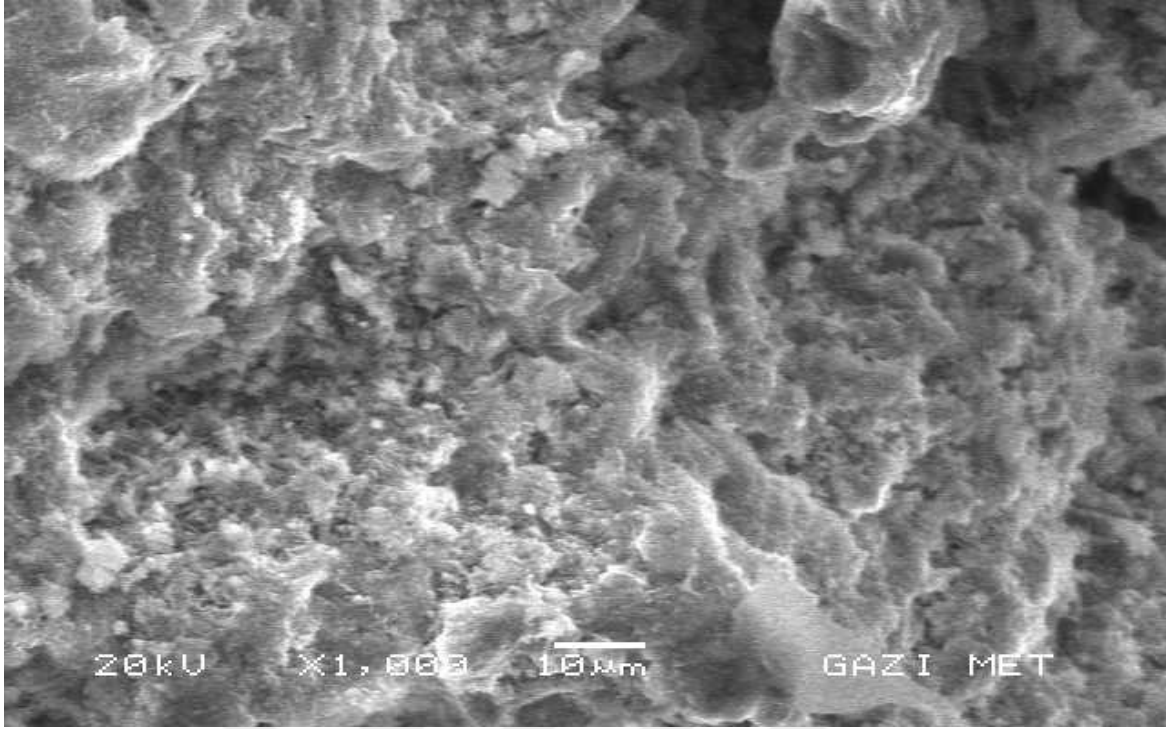
Resim 8.1. Kuzey cephe SEM analiz fotoğrafı



Resim 8.2. Batı cephe SEM analiz fotoğrafı



Resim 8.3. Güney cephe SEM analiz fotoğrafı

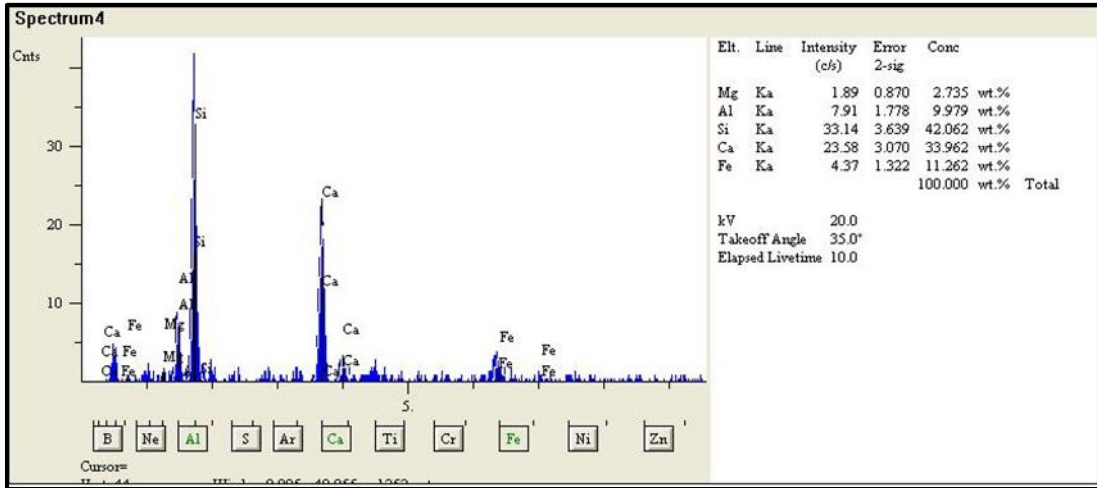


Resim 8.4. Doğu cephe SEM analiz fotoğrafı

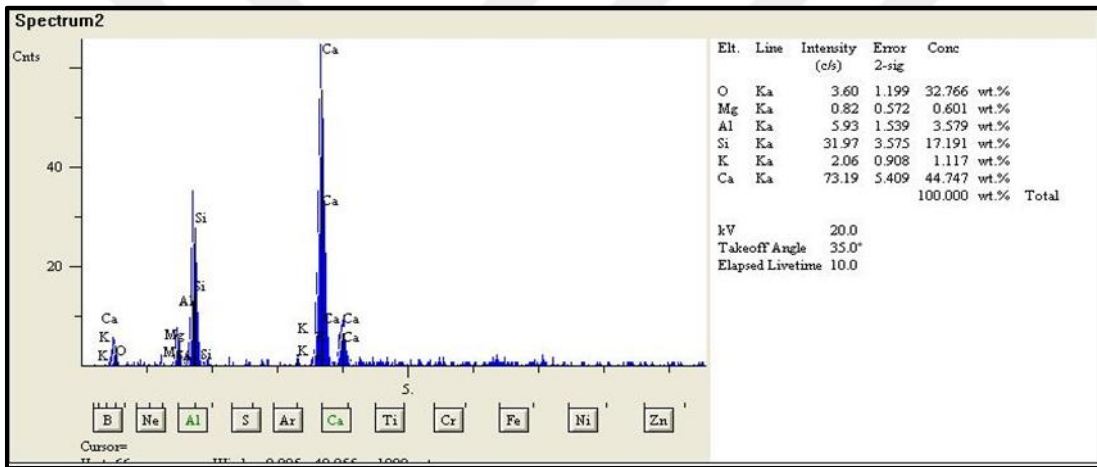
SEM analizleri sonucunda 4 farklı cepheden alınan numunelerde parçacıklar homojen olarak benzer dağılım göstermektedir. Tanecikler arası mesafeler dar görünümdeydir. Boyutlar yaklaşık olarak 0,35-0,91 μm civarındadır. Analizler sonucu ortaya çıkan fotoğraflarda, farklı boyut ve şekillerdeki taneciklerin birbirine yakın renk tonlarında olduğu gözlemlenmiştir. Bazı kısımlar koyu gri bazı kısımlar ise açık gri ve beyaz tonlarındadır. Genellikle homojen bir yapı gözlenmiştir. Taneciklerin sıkı bir formda olduğu, aşırı boşluk ve çok iri taneciklere hiç rastlanmadığı değerlendirilmiştir.

8.7. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizleri (EDS)

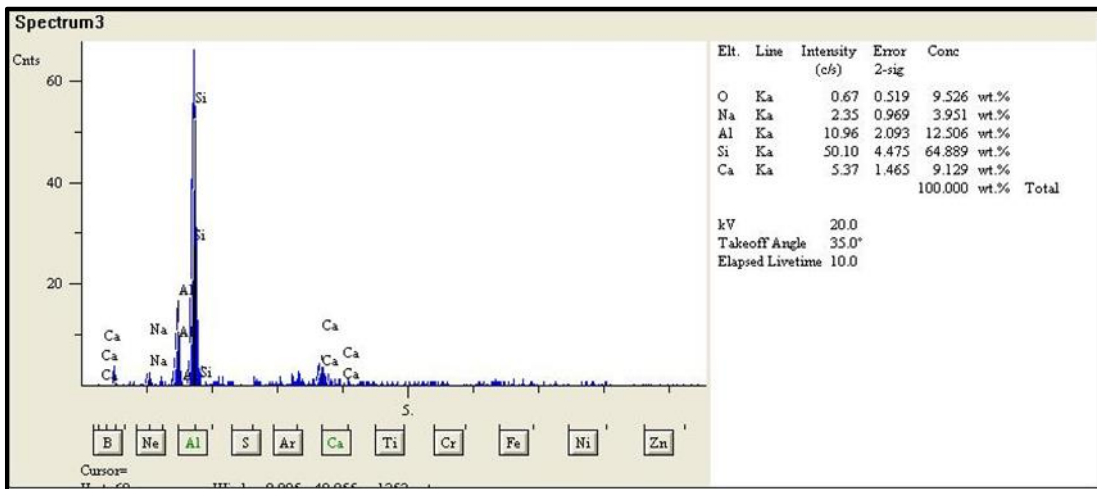
Kalecik Kalesi'nden alınan 4 farklı cepheye ait numuneler EDS analizlerine tabi tutulmuşlardır. Şekil 8.9, Şekil 8.10, Şekil 8.11 ve Şekil 8.12'de dört farklı cepheye ait EDS analizleri sunulmuştur.



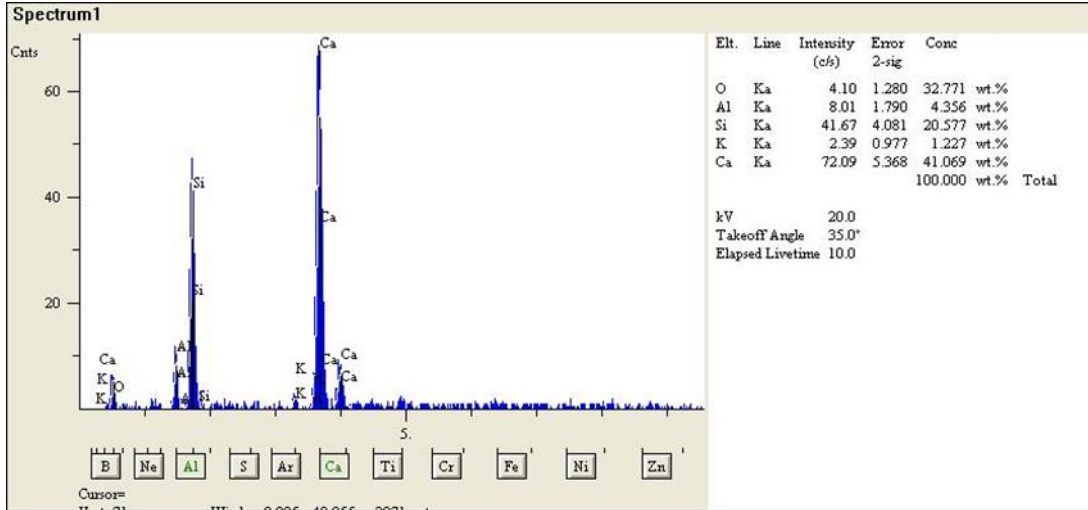
Şekil 8.9. Kuzey cephe EDS analizi



Şekil 8.10. Batı cephe EDS analizi



Şekil 8.11. Güney cephe EDS analizi



Şekil 8.12. Doğu cephe EDS analizi

EDS analizleri 10 µm'lik bir noktaya odaklanılarak ve yaklaşık (50 µm x 50 µm)'lik bir alanın taranması ile gerçekleştirilmiştir. Bu işlem yaklaşık 2,5 µm'lik bir derinlikle yapılmıştır. Bu analizlerde deney numunesinin saf bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir. EDS analizinden elde edilen element yüzdeleri resimler içindeki tablolarda görülmektedir. EDS analizlerine göre kuzey ve güney cephesinde silisyum, batı ve doğu cephelerinde kalsiyum ağırlıklı element yüzdesi dikkat çekmektedir.



9. TARİHİ KALECİK KALESİ'NİN SUR DUVARLARININ MODELLENMESİ VE YAPISAL ANALİZİ

9.1. Kalecik Kalesi Sur Yapısı

Kalecik Kalesi tarihsel gelişim sürecinde kısmen tahribata uğramış olsa da günümüze kadar ayakta kalmayı başaran önemli bir tarihi yapı olarak dikkat çekmektedir. Yerleşim tarihi M.Ö. 4000-3500'lü yıllara dayanan Kalecik, birçok medeniyetin ortak paydasını oluşturmaktadır. Roma İmparatorluğu zamanında Bursa tekfuru tarafından yaptırılan bu kale günümüzde varlığını devam ettirmektedir.

Kalecik ilçesinin en yüksek ve hâkim tepesinde bulunan kalenin etrafı sur duvarları ile çevrilidir. Kalenin giriş kapısının olduğu cephesi hariç diğer cepheler dik yamaçlarda bulunmaktadır. Bu yapısı ve dik yamaçları sayesinde daha korunaklı bir yapı özelliği taşımaktadır. Kalecik Kalesi 2001 yılında kısmi olarak restorasyona uğramıştır. Uzun yıllardır ayakta kalan bir yapıda yapısal bozulmalar olması tabidir. Kale sur duvarları genel anlamda iyi denilebilecek bir yapıdadır. Ancak yılların vermiş olduğu bazı yapısal bozulmalar dikkat çekmektedir.

Kalenin giriş kapısının bulunduğu kısım güney cephesidir ve kapının bulunduğu surların sol yanında dairesel bir burç bulunmaktadır. Diğer cepheleri takip eden surlar dairesel veya düz olarak devam etmektedir. Kalecik Kalesi'nin giriş kapısı bölümüne ait bir görsel Resim 9.1'de gösterilmiştir.



Resim 9.1. Kalecik Kalesi giriş kapısı bölümü

9.2. Statik Analizde Kullanılan Kale Ölçüleri

Statik analizde kalenin giriş kısmı modellenmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Kalenin giriş kapısının bulunduğu sur duvarının yüksekliği 8 m genişliği ise 7 m olarak belirlenmiştir. Kale kapısının sol tarafında bulunan dairesel kesitli burcun yüksekliği 15 m yarıçapı ise 6 m olarak belirlenmiştir. Hesaplama duvar kalınlığı 1 m olarak belirlenmiştir.

9.3. Kalenin Modellenmesi

Modellemede kullanılacak olan Kalecik Kalesinin surlarının bir bölümü SAP 2000 programında, programın modelleme özelliklerine göre sisteme aktarılmış ve çizilmiştir. Yapının analitik modelinin oluşturulması için gerekli olan tüm veriler kaleden ölçüler

alınarak kaydedilmiştir. Modelleme ve hesaplarda kullanılacak yük ve diğer parametreler aşağıda belirtilmiştir.

- Yapı SAP 2000 programında katı eleman olarak modellenmiştir.
- Kalede kullanılan malzeme doğal taş malzemedir. Kalenin 4 cephesinden numune alınarak fiziksel deneylere tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen veriler sisteme girilerek model oluşturulmuştur. Ayrıca diğer malzeme özellikleri bu konu üzerinde daha önceden yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan veriler, uluslararası hakemli dergiler tarafından yayınlanmış ve uluslararası literatürde tavsiye edilen bağıntılardan yararlanılarak yürürlükte olan şartnamelerde geçen yığma yapılar için önerilen değerler dikkate alınarak sisteme veri girişi yapılmıştır.
- Yığma taş yapılarda taş ve harcın birlikte tek bir malzeme olduğu varsayılmıştır. Elastisite modülü ve birim hacim ağırlık değerleri bu varsayım üzerine sisteme girilmiştir.
- Oluşturulan model üzerinde, sabit yükler ve deprem yükleri esas alınarak yük bağıntısı oluşturulmuştur ve uygulanmıştır. Sabit yük (G) ve deprem yükleri (+EX, +EY, -EX, -EY) ile birlikte yük kombinasyonları oluşturulmuştur. Modelleme ve analiz aşamasında G, G+EX, G-EX, G+EY ve G-EY yük kombinasyonları sistemde oluşturulmuştur.
- Hesapta kullanılacak deprem kuvvetinin hesabında kullanılacak parametreler TBDY 2018'e göre AFAD'dan elde edilmiştir.

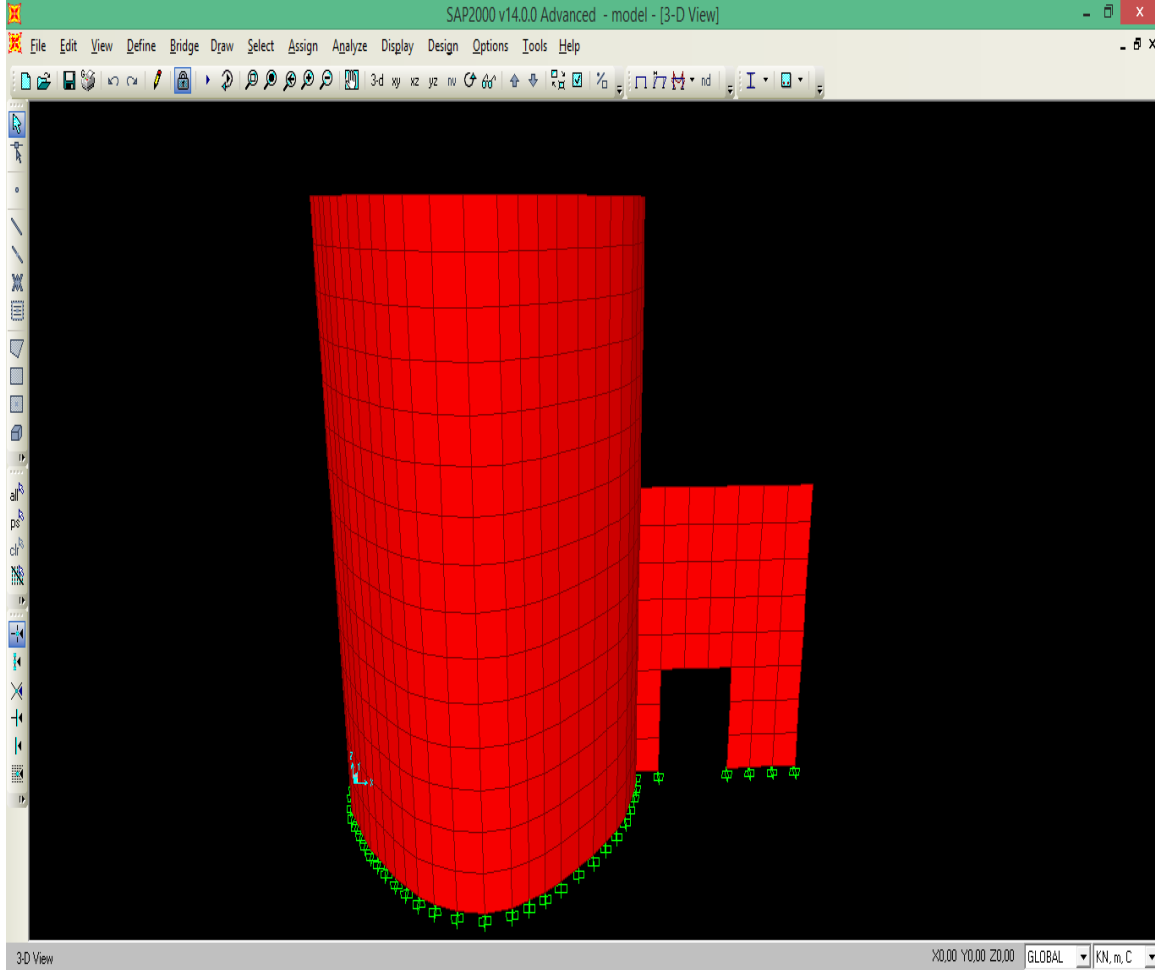
Tarihi yapılarda analiz ve modelleme aşamasında doğru veriler elde etmek için yapıda kullanılan malzemenin özelliklerini bilmek önem arz etmektedir. Kalecik Kalesi'nden alınan numunelerin malzeme özellikleri fiziksel testler sonucunda elde edilmiştir. Gerçeğe yakın bir analiz için kaleden alınan numunelerin fiziksel özelliklerini kullanmak önem arz etmektedir. Modellemede kullanılacak elastisite modülü değeri ve poisson oranı değeri, daha önce yapılan çalışmalardan elde edilmiştir. Elastisite modülü ve poisson oranı değerleri Çizelge 9.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 9.1. Elastisite modülü ve poisson oranı değerleri [31]

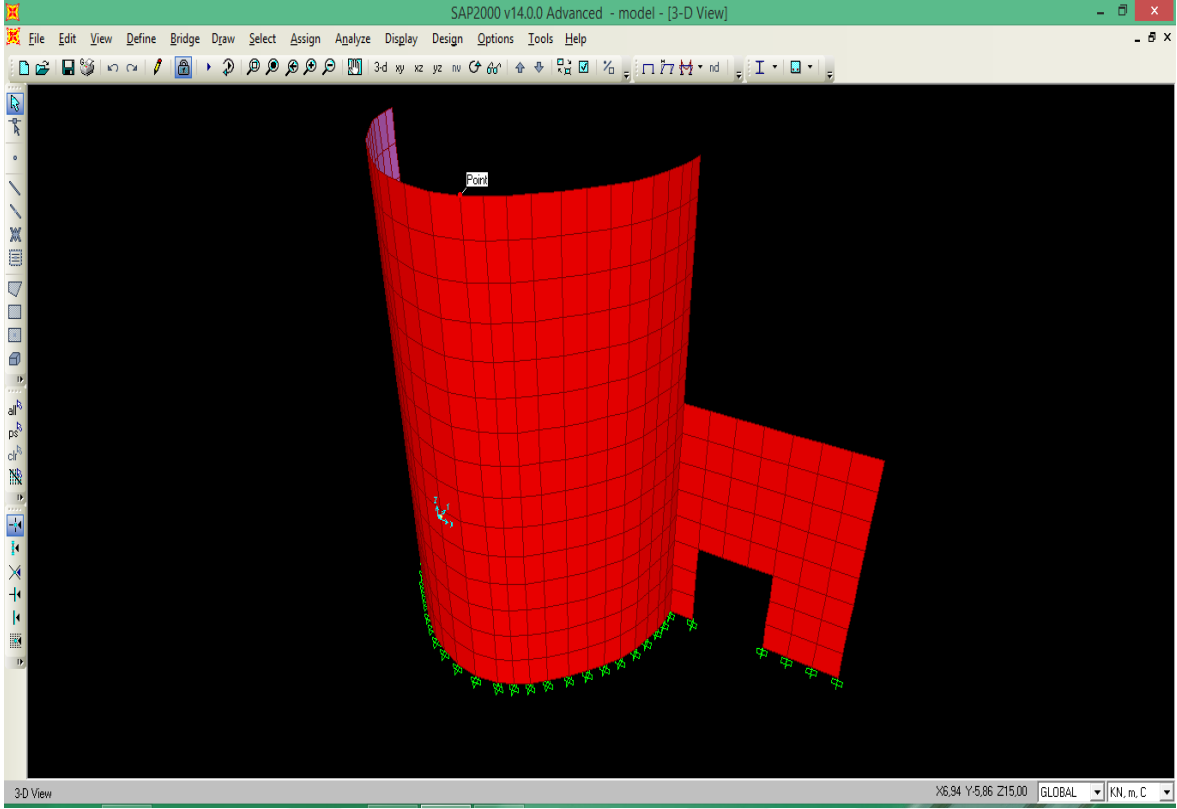
Eleman Tipi	Elastisite Modülü (kN/m ²)	Poisson Oranı
Sur Duvar (Harç ile birlikte)	1000000	0,2

9.4. Yapının SAP 2000 Programına Aktarılması

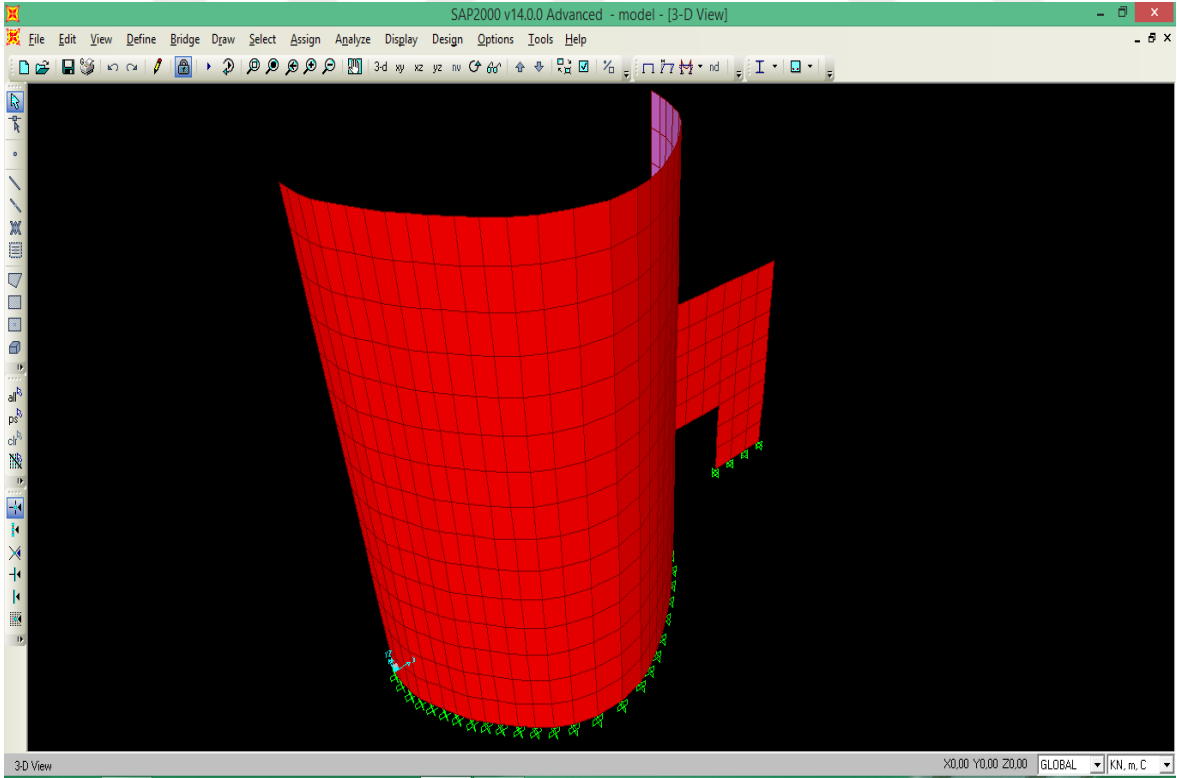
SAP 2000 programında oluşturulan 3 boyutlu model Şekil 9.1, Şekil 9.2 ve Şekil 9.3'te gösterilmiştir.



Şekil 9.1. Kalecik Kalesi giriş kısmı analiz modeli



Şekil 9.2. Kalecik Kalesi giriş kısmı analiz modeli sağ yan görünümü



Şekil 9.3. Kalecik Kalesi giriş kısmı analiz modeli sol yan görünümü

Yapıda kullanılan malzeme ile ilgili fiziksel özellikler yapılan deneyler sonucu elde edilmiş ve sisteme malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Malzeme özelliklerinin programa tanımlandığı kısım Şekil 9.4'te gösterilmiştir.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: TAŞ

Material Type: Other

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 23,24

Mass per Unit Volume: 2,3698

Units

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 1000000

Poisson's Ratio, U: 0,2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 416666,7

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

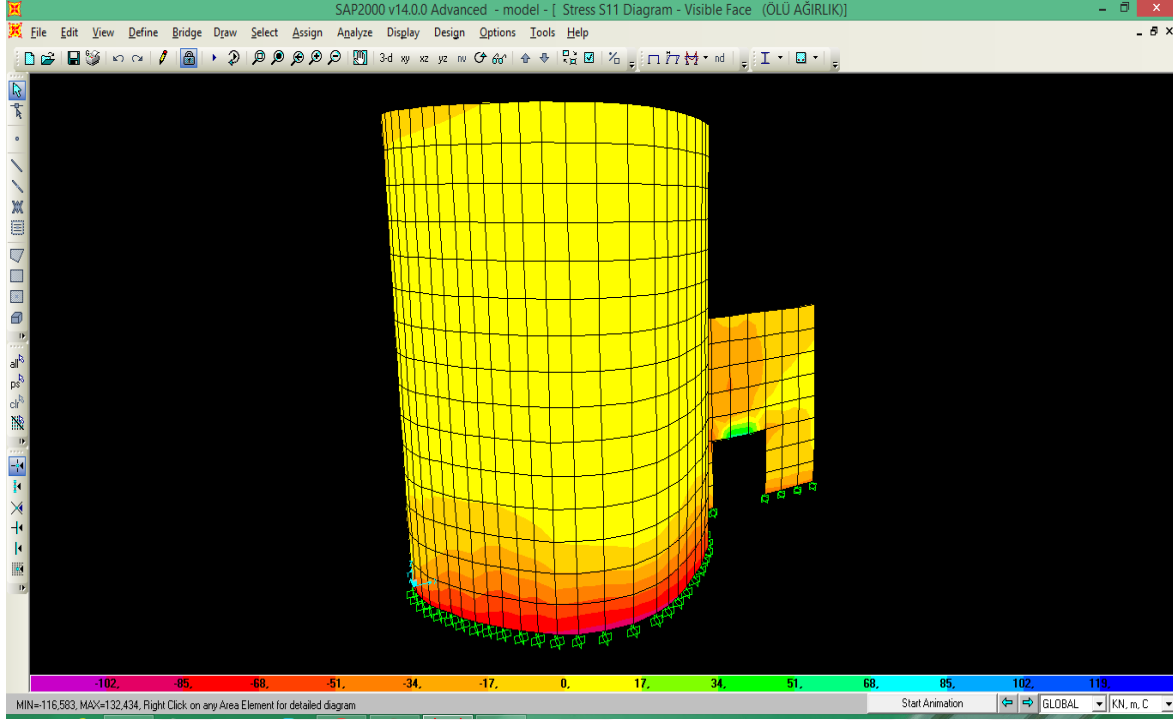
Şekil 9.4. Programa tanımlanan malzeme özellikleri

9.5. Ölü Yükler Altında Yapı Analizi

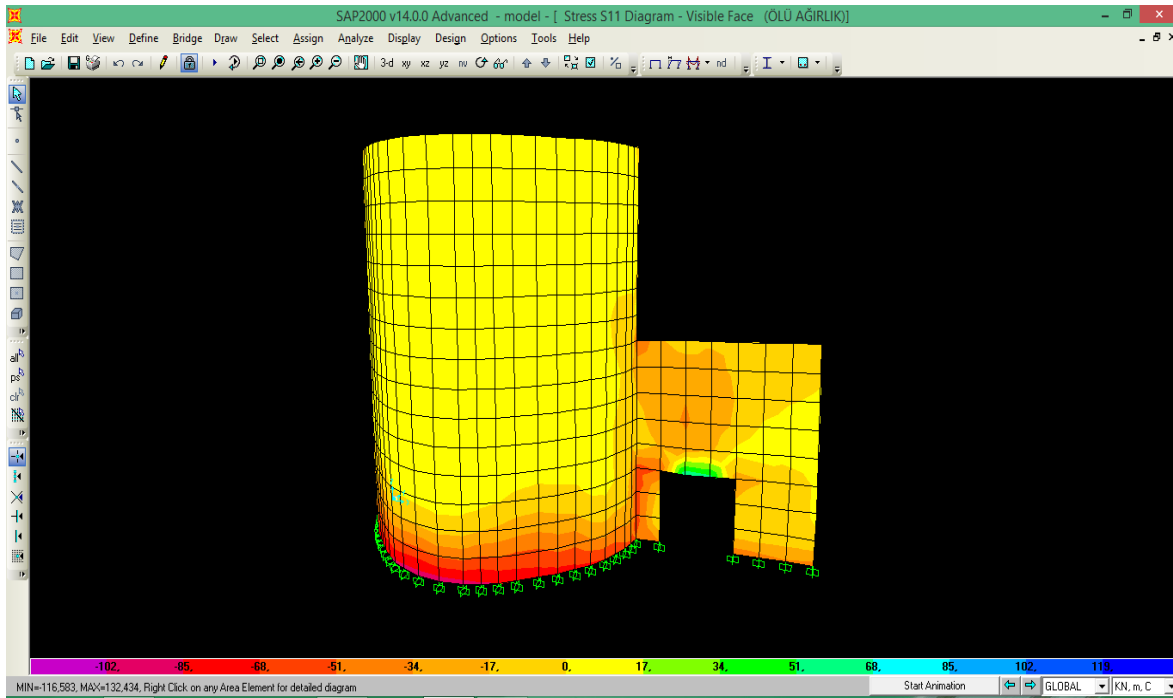
Kalecik Kalesi'nin oluşturulan üç boyutlu modelinde ölü ağırlıklar altında gerilmeleri hesaplanmış ve bu gerilmeler sonucunda muhtemel çatlak oluşturma alanları tespit edilmiştir.

Elde edilen statik analiz sonuçlarına göre ölü yükler altında x ekseninde (S11) meydana gelen maksimum basınç gerilmesi $116,583 \times 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır. Aynı durumda ölü yükler altında x ekseninde meydana gelen maksimum çekme gerilmesi ise $132,434 \times 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır. Meydana gelen en büyük basınç gerilmesi değerleri dairesel kesitli sur duvarının en alt kısımlarındadır. Yapıda oluşan en büyük çekme gerilmesi değeri

ise giriş kapısının üst bölgesinde ölçülmüştür. Yapıda üst kotlara gidildikçe tabii olarak gerilme değerleri azalmaktadır. Ölü yükler altında x eksenindeki gerilme dağılımları Şekil 9.5 ve 9.6'da sunulmuştur.

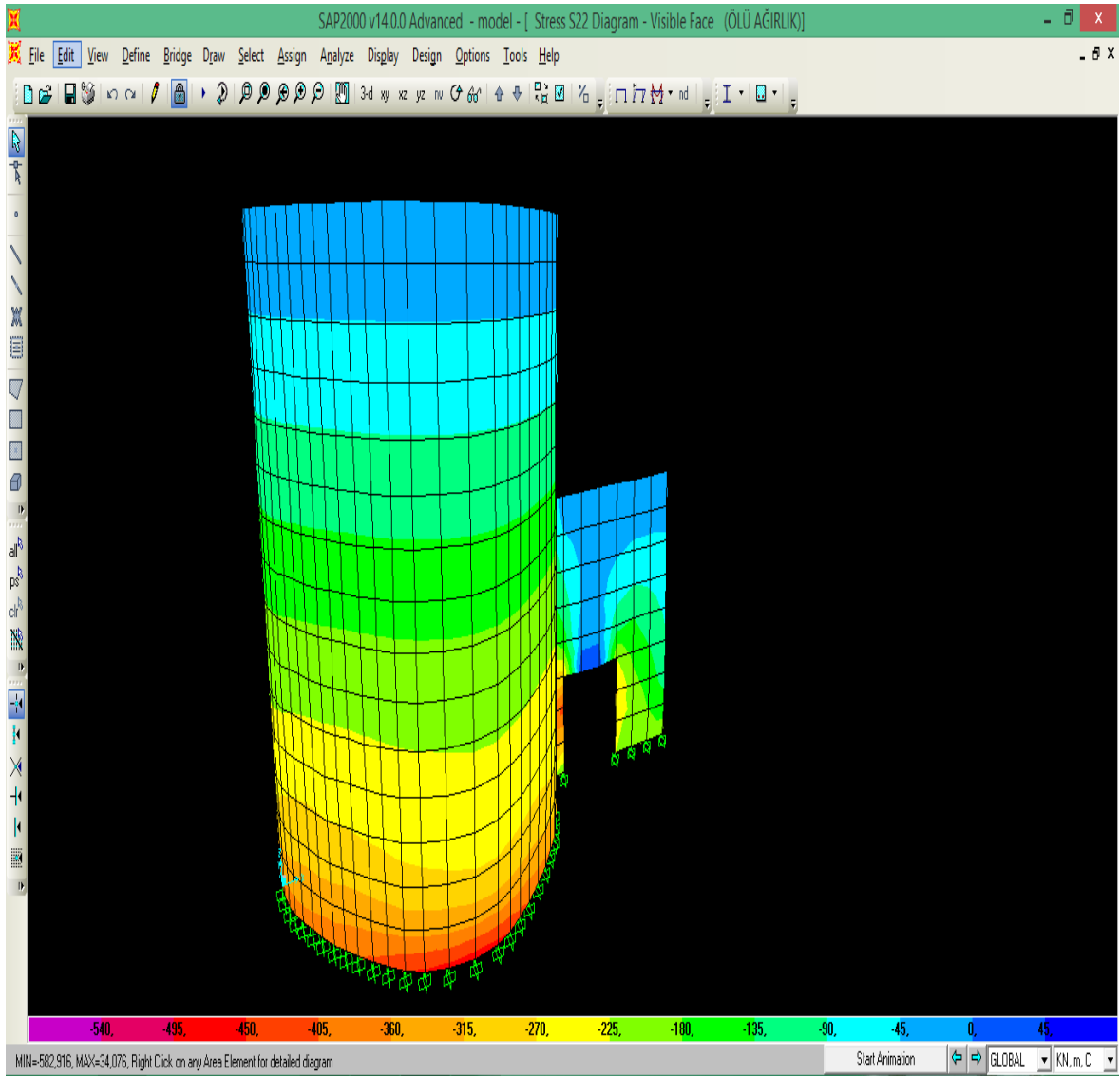


Şekil 9.5. Ölü yükler altında x ekseninde oluşan gerilme dağılımının sol yan görünümü

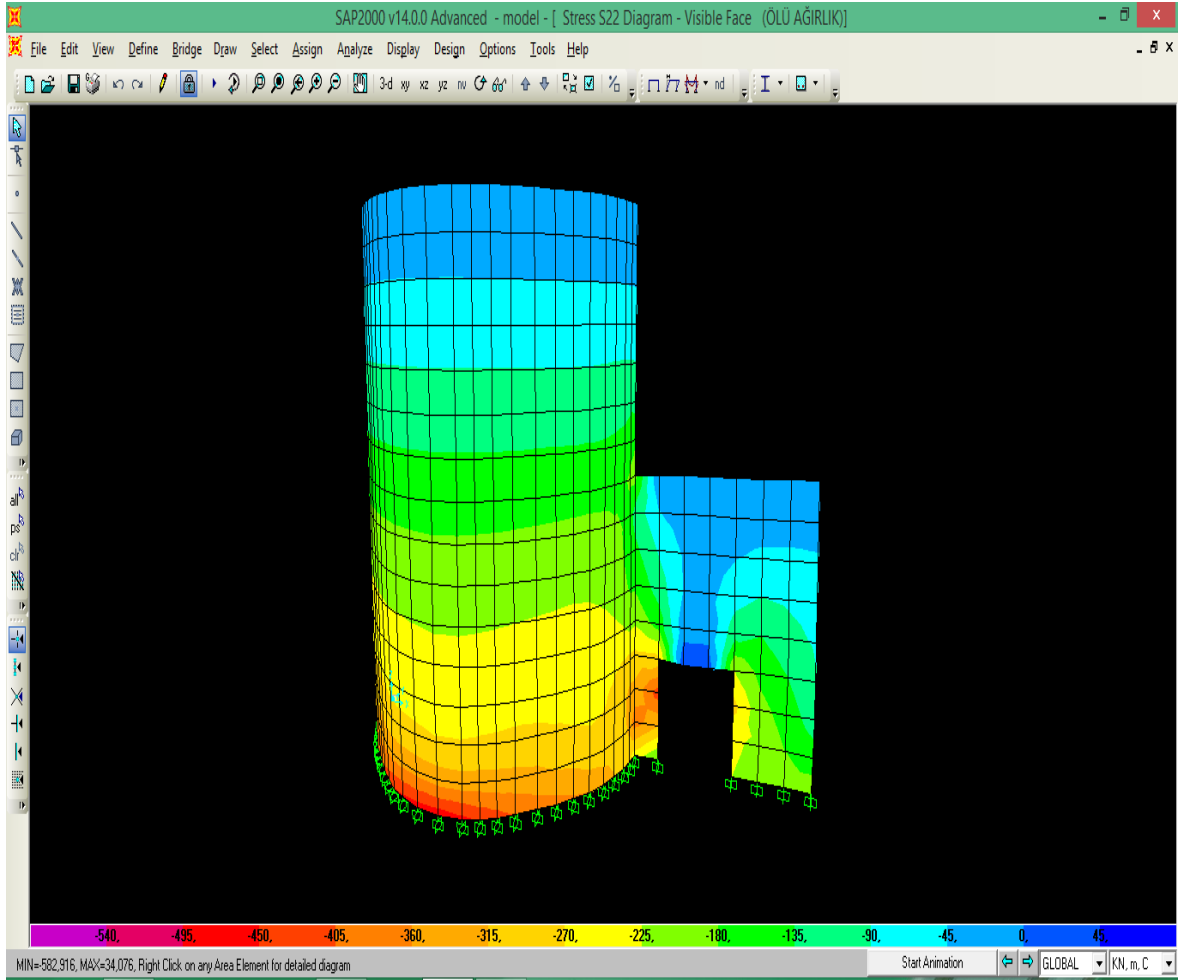


Şekil 9.6. Ölü yükler altında x ekseninde oluşan gerilme dağılımının sağ yan görünümü

Elde edilen statik analiz sonuçlarına göre ölü yükler altında y ekseninde (S22) meydana gelen maksimum basınç gerilmesi $582,916 \times 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır. Aynı durumda ölü yükler altında Y ekseninde meydana gelen maksimum çekme gerilmesi ise $34,076 \times 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır. Meydana gelen en büyük basınç gerilmesi değerleri dairesel kesitli sur duvarının en alt kısımlarındadır. Yapıda oluşan en büyük çekme gerilmesi değeri ise giriş kapısının üst bölgesinde ölçülmüştür. Ölü yükler altında y ekseninde oluşan gerilme dağılımları Şekil 9.7 ve 9.8’de gösterilmiştir.



Şekil 9.7. Ölü yükler altında y ekseninde oluşan gerilme dağılımının sol yan görünümü



Şekil 9.8. Ölü yükler altında y ekseninde oluşan gerilme dağılımının sağ yan görünümü

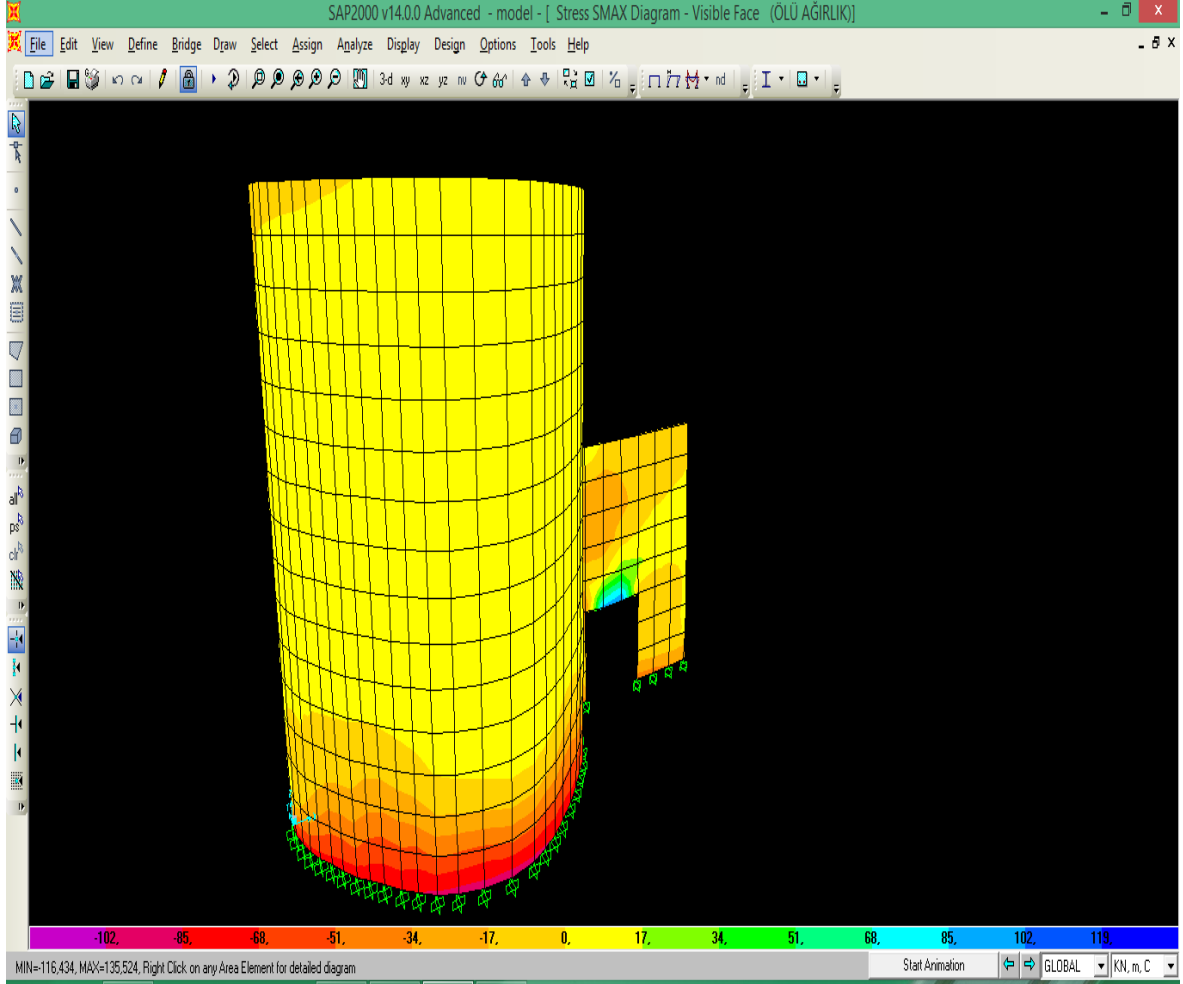
Literatür çalışmaları sonucunda elde edilen kabul edilebilir emniyet gerilmeleri Çizelge 9.2’de gösterilmiştir. Bu değerler daha önceden yapılmış olan bilimsel çalışmalardan elde edilmiştir.

Çizelge 9.2. Emniyetli gerilmeler

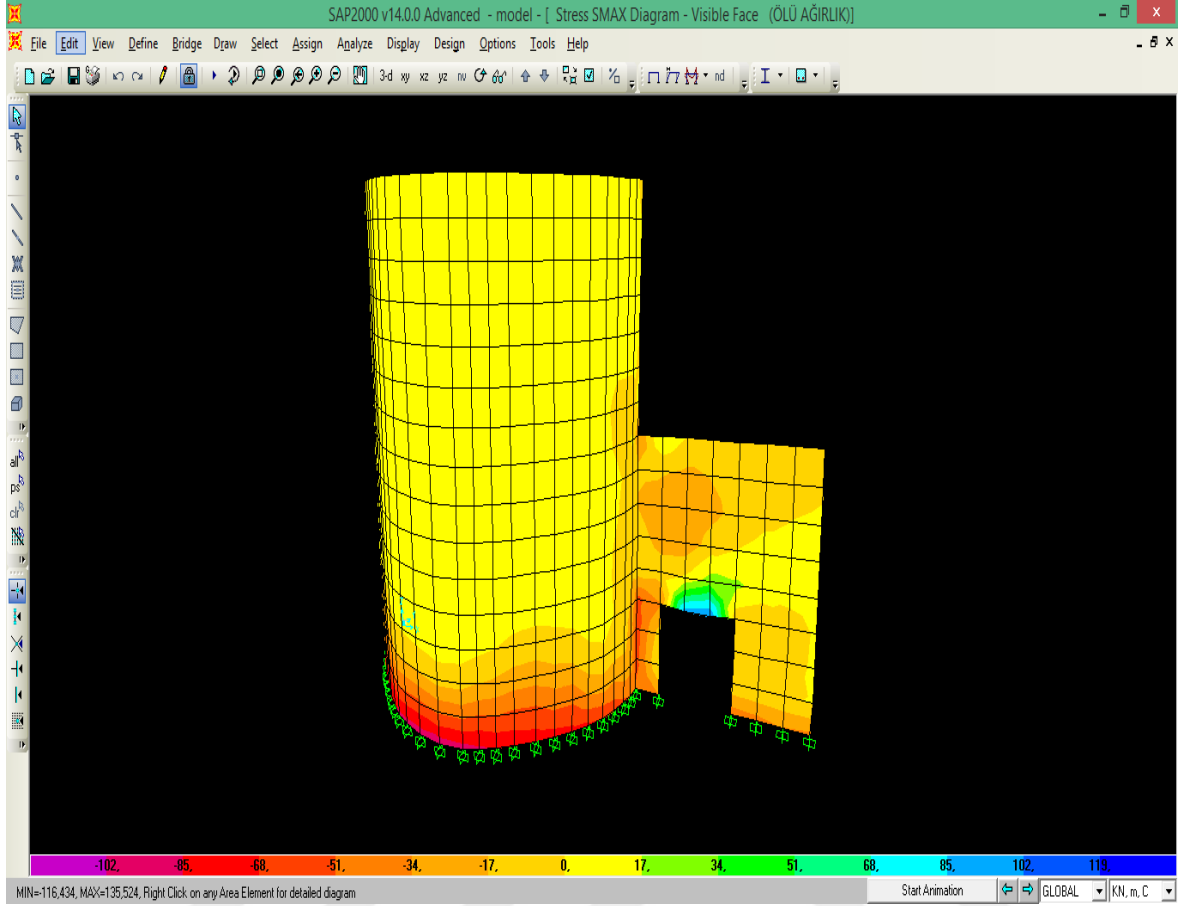
Eleman Tipi	Basınç Gerilmesi (Mpa)	Çekme Gerilmesi (Mpa)
Sur Duvarlar	2,4	0,15

x ve y eksenlerinde oluşan max basınç gerilmesi değeri $582,916 \times 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer emniyetli basınç gerilmesi değerinin altında bir değerdir. x ve y eksenlerinde oluşan max çekme gerilmesi değeri ise $134,434 \times 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer emniyetli çekme gerilmesi değerinin altında ve emniyetli çekme gerilmesi değerine yakın bir değerdir.

Smax değeri çekme kuvvetlerinden dolayı meydana gelen bileşke gerilmeleri tanımlamaktadır. Yapıda meydana gelen max asal çekme gerilmesi Smax $135,524 \times 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır. Bu değer kale kapısının üst kısmında hesaplanmıştır. Ölü yükler altında Smax değerlerine ait görseller Şekil 9.9 ve 9.10'da gösterilmiştir.

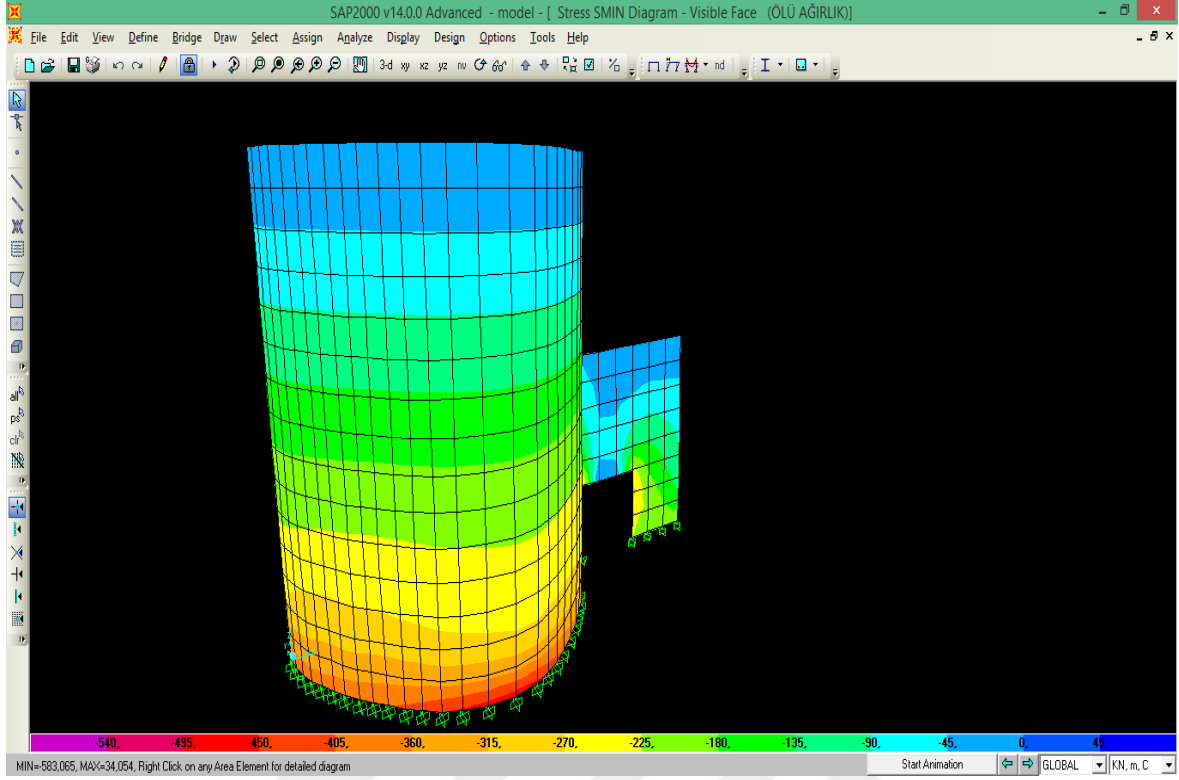


Şekil 9.9. Ölü yükler altında Smax değerinin sol yan görünümü

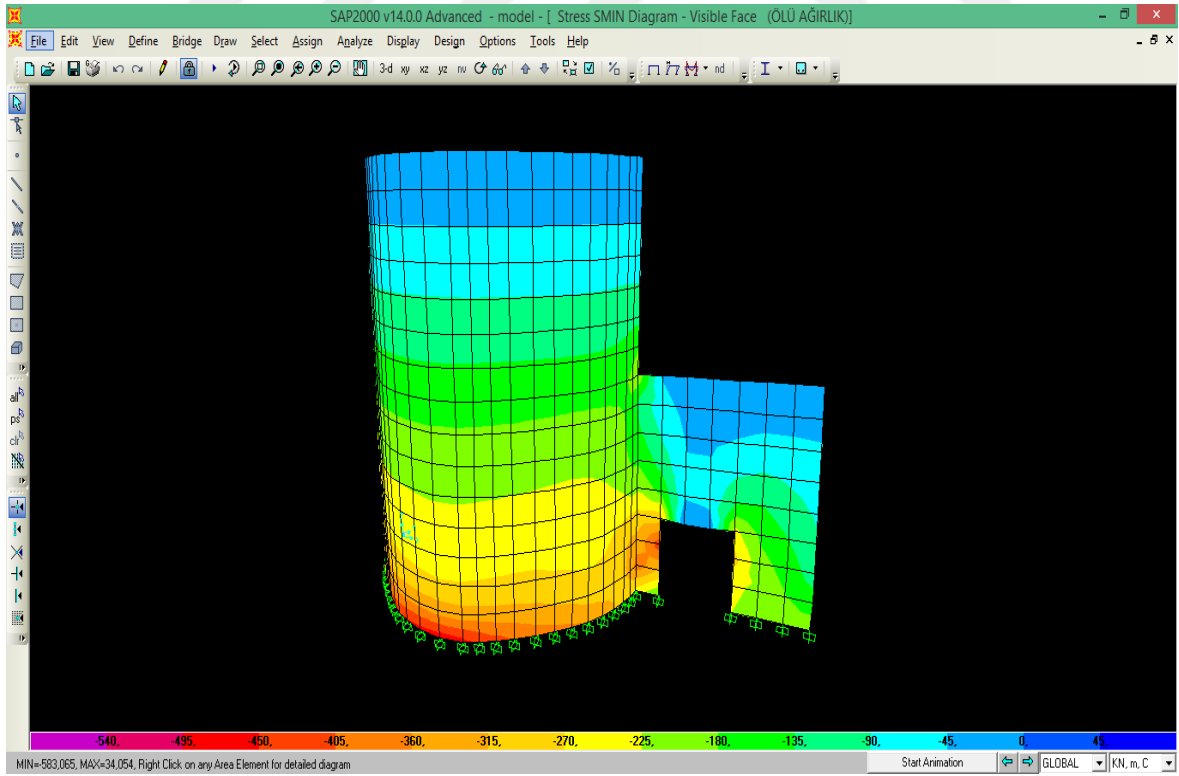


Şekil 9.10. Ölü yükler altında Smax değerinin sağ yan görünümü

Smin değerleri ise basınç kuvvetlerinden doğan bileşke gerilmelerdir. Modelde meydana gelen min asal basınç gerilmesi $S_{min} = 583,065 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer dairesel kesitli sur duvarın en alt noktasında hesaplanmıştır. Ölü yükler altında Smin değerlerine ait görseller Şekil 9.11 ve 9.12’de gösterilmiştir.



Şekil 9.11. Ölü yükler altında Smin değerinin sol yan görünümü

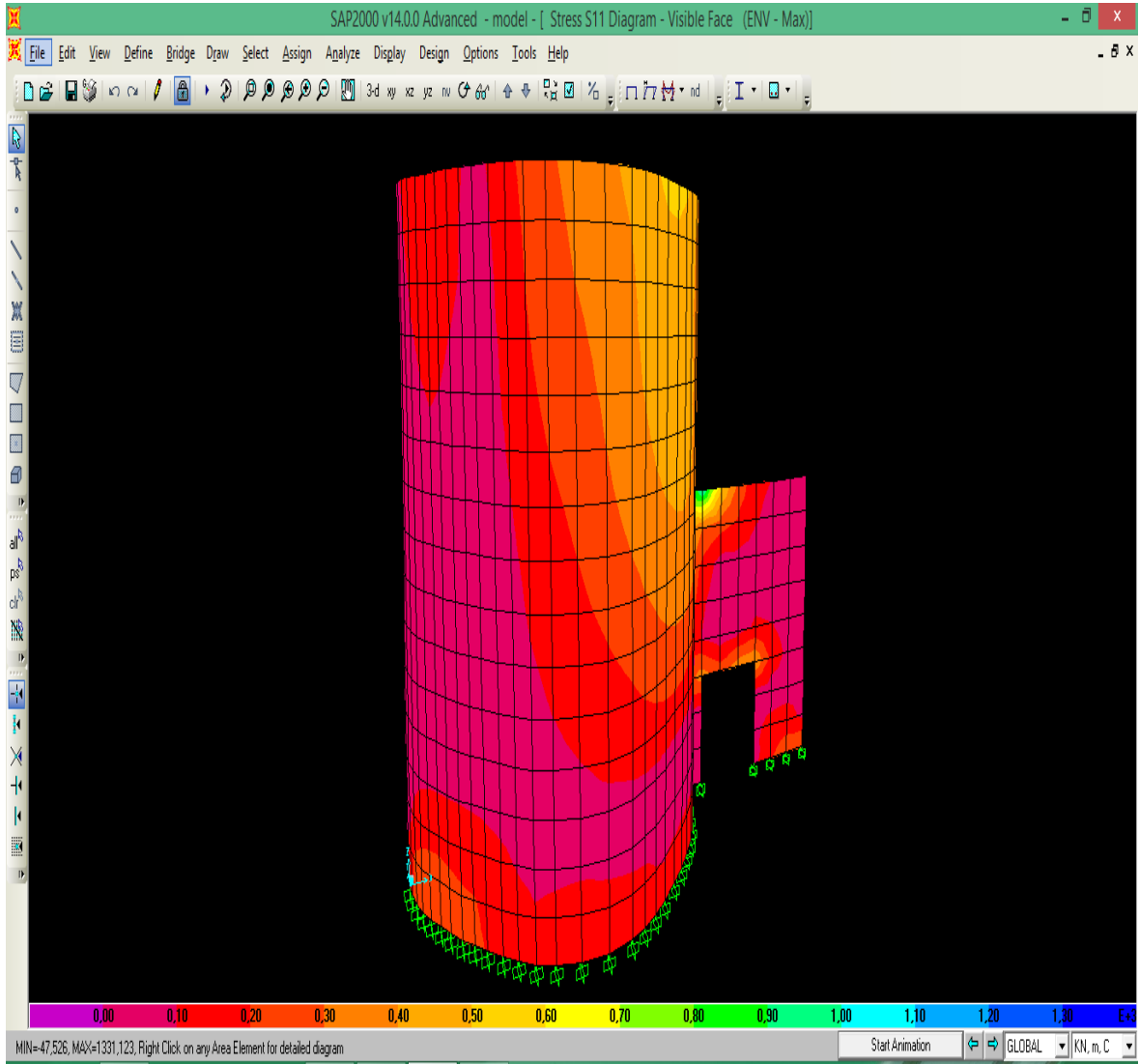


Şekil 9.12. Ölü yükler altında Smin değerinin sağ yan görünümü

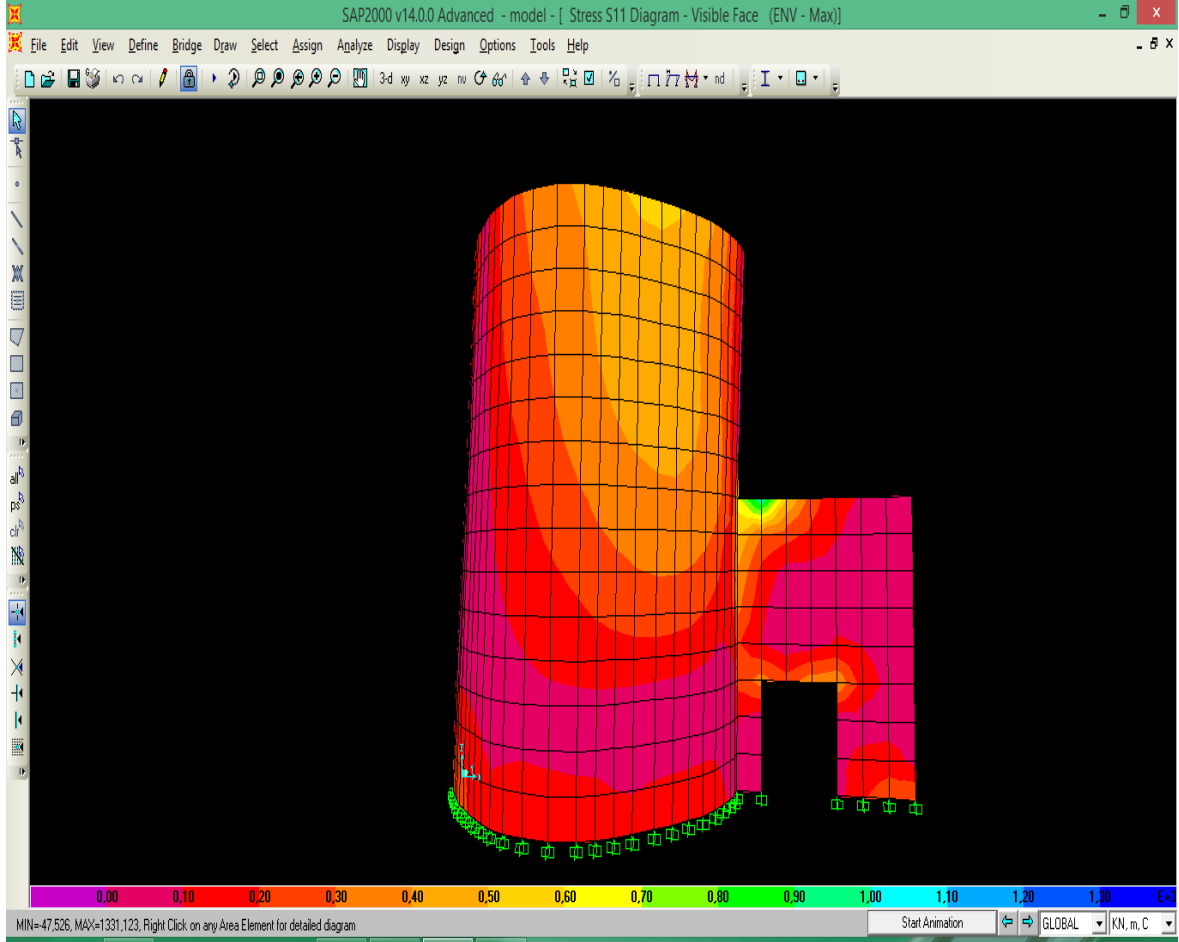
9.6. Ölü Yük ve Deprem Yükü Altında Yapı Analizi

Bir önceki bölümde yapıda meydana gelen gerilmeler sadece ölü yükler altında hesaplanmıştı. Bu bölümde ölü yük ve deprem yükleri birlikte etki ettiği durumda çözümlenmeler yapılmıştır. Bu hesaplamalarda kullanılacak yük G, G+EX, G-EX, G+EY ve G-EY yük kombinasyonlarına göre belirlenmiştir.

Ölü ve hareketli yük kombinasyonuna göre x ekseninde oluşan gerilme dağılımı Şekil 9.13 ve 9.14'te gösterilmiştir.



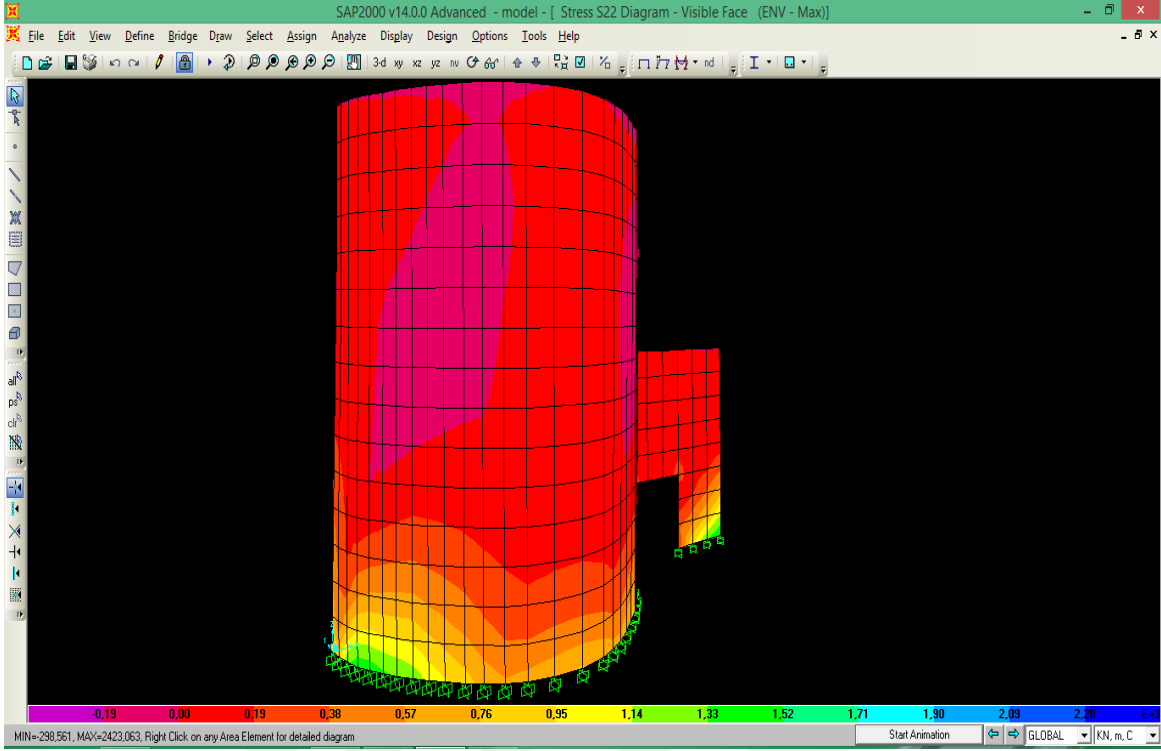
Şekil 9.13. Ölü yük ve deprem yükü altında x ekseninde oluşan gerilme dağılımının sol yan görünümü



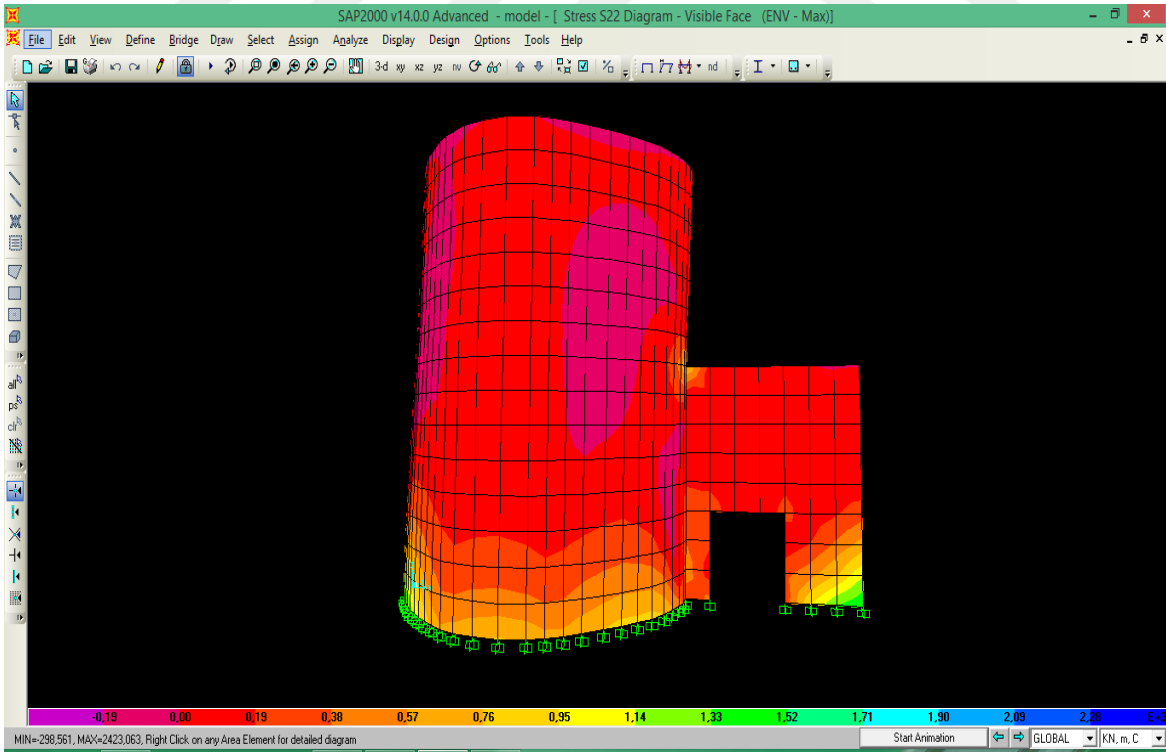
Şekil 9.14. Ölü yük ve deprem yükü altında x ekseninde oluşan gerilme dağılımının sağ yan görünümü

Bu yük kombinasyonuna göre oluşan x yönündeki (S11) en büyük basınç gerilmesi değeri $47,526 \cdot 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır. Aynı durumda hareketli yükler altında x ekseninde meydana gelen maksimum çekme gerilmesi ise $1331,123 \cdot 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır.

Ölü ve hareketli yük kombinasyonuna göre y ekseninde oluşan gerilme dağılımı Şekil 9.15 ve 9.16'da gösterilmiştir.



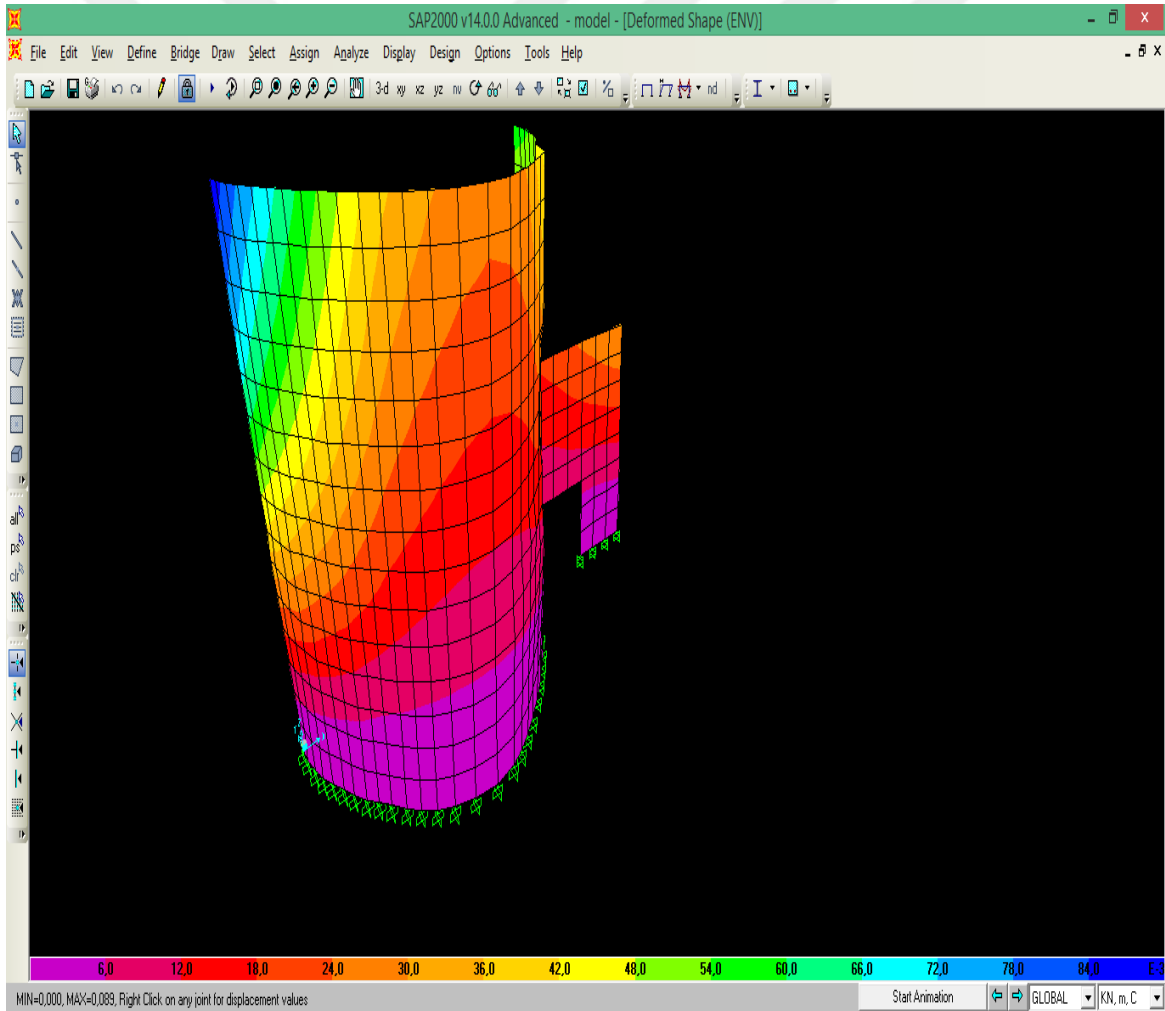
Şekil 9.15. Ölü ve deprem yükü altında y ekseninde oluşan gerilme dağılımının sol yan görünümü



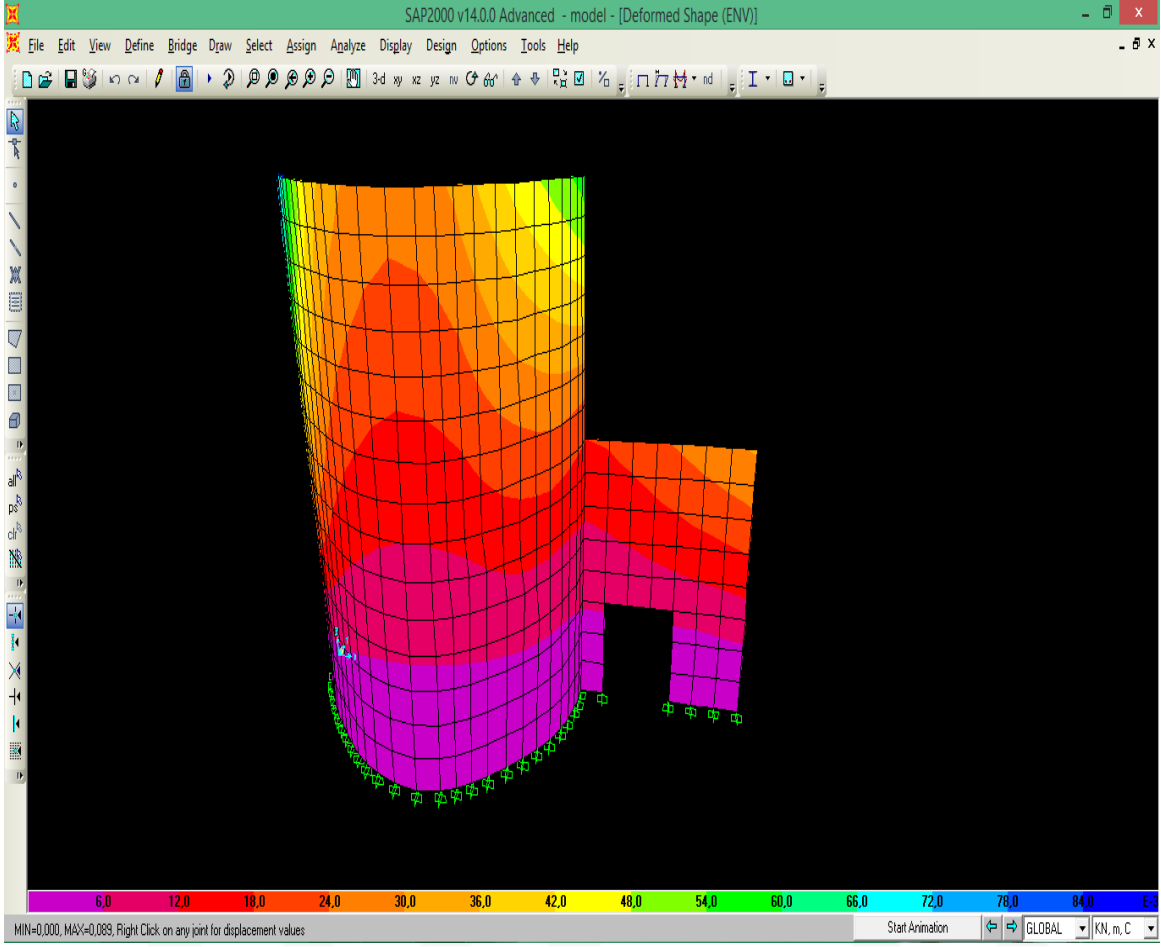
Şekil 9.16. Ölü ve deprem yükü altında y ekseninde oluşan gerilme dağılımının sağ yan görünümü

Elde edilen statik analiz sonuçlarına göre hareketli ve ölü yükler altında y ekseninde (S22) meydana gelen maksimum basınç gerilmesi $298,561 \times 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır. Aynı durumda hareketli yükler altında Y ekseninde meydana gelen maksimum çekme gerilmesi ise $2423,063 \times 10^{-3}$ MPa olarak hesaplanmıştır.

Hareketli ve ölü yük kombinasyonuna göre yer değiştirmeler de hesaplanmıştır. Yer değiştirme sonuçlarına göre en çok zorlanan dairesel kesitli sur duvarının uç kısmında z yönünde 0,089 m ve x yönünde 0,0719 m yer değiştirme değeri hesaplanmıştır. Ölü ve deprem yükü altında yer değiştirme değerlerine ait görseller Şekil 9.17 ve 9.18’de gösterilmiştir.



Şekil 9.17. Ölü ve deprem yükü altında yer değiştirme değerlerinin sol yan görünümü



Şekil 9.18. Ölü ve deprem yükü altında yer değiştirme değerlerinin sağ yan görünümü



10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada tarihi yapıların restorasyonu öncesi malzeme analizi konusu incelenmiş ve örnek çalışma alanı olarak Ankara Kalecik Kalesi seçilmiştir. Çalışma kapsamında Kalecik Kalesi'nin 4 farklı cephesinden numuneler alınmış ve bu numuneler üzerinde fiziksel deneyler tatbik edilmiştir. Deneyler sonucunda bazı verilere ulaşılmış ve malzeme analizi için gerekli veriler elde edilmiştir. Bu deneylerden elde edilen verilerin SAP 2000 programında modellenmesi ve analizi aşamasında kullanılmıştır.

Kaleden alınan numuneler basınç dayanımı, yoğunluk, porozite ve su emme deneylerine tabi tutulmuşlardır. Aynı zamanda Taramalı Elektron Mikroskobu Analizleri SEM ve EDS gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda yapıda kullanılan malzemeler hakkında bilgi sahibi olunmuştur.

SEM analizlerine göre 4 farklı cepheden alınan numunelerde de parçacıklar neredeyse homojen olarak dağılım göstermektedir. Tanecikler arası mesafeler dar görünümündedir. Boyutlar yaklaşık olarak 0,35-0,91 μm civarındadır. Analizler sonucu ortaya çıkan fotoğraflarda, farklı boyut ve şekillerdeki taneciklerin birbirine yakın renk tonlarında olduğu gözlemlenmiştir. Bazı kısımlar koyu gri bazı kısımlar ise açık gri ve beyaz tonlarındadır. Genellikle homojen bir yapı gözlenmiş, taneciklerin sıkı bir formda olduğu, aşırı boşluk ve çok iri taneciklere hiç rastlanmamıştır.

EDS analizleri 10 μm 'lik bir noktaya odaklanılarak ve yaklaşık (50 μm x 50 μm)'lik bir alanın taranması ile gerçekleştirilmiştir. Bu işlem yaklaşık 2,5 μm 'lik bir derinlikle yapılmıştır. Bu analizde de deney numunesinin saf bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir. EDS analizinden elde edilen element yüzdeleri resimler içindeki tablolarda görülmektedir. EDS analizlerine göre kuzey ve güney cephesinde silisyum, batı ve doğu cephelerinde kalsiyum ağırlıklı element yüzdesi dikkat çekmektedir.

Yapılan basınç dayanımı testlerine göre yapıda kullanılan malzemelerden güney ve doğu cephesi basınç dayanımları birbirlerine yakın çıkarken aynı şekilde kuzey ve batı cephesi basınç dayanımları birbirlerine yakın çıkmıştır. Ortalama basınç dayanımı kuzey cephesinde 54,4 MPa, batı cephesinde 56,53 MPa, güney cephesinde 69,17 MPa ve doğu cephesinde 71,7 MPa olarak ölçülmüştür.

Yapılan porozite deneyleri sonucunda dört farklı cepheden alınan numunelerin porozite değerleri ortalama olarak çok yakın çıkmıştır ve bu porozite değeri 0,13'tür.

Birim hacim ağırlık değerleri hem doymuş birim hacim ağırlık hem de kuru birim hacim ağırlık cinsinden hesaplanmıştır. Kuzey cephesinde ortalama kuru birim hacim ağırlık değeri $2,35 \text{ gr/cm}^3$, doymuş birim hacim ağırlık değeri ise $2,47 \text{ gr/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Batı cephesinde ortalama kuru birim hacim ağırlık değeri $2,37 \text{ gr/cm}^3$, doymuş birim hacim ağırlık değeri ise $2,48 \text{ gr/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Güney cephesinde ortalama kuru birim hacim ağırlık değeri $2,37 \text{ gr/cm}^3$, doymuş birim hacim ağırlık değeri ise $2,48 \text{ gr/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Doğu cephesinde ise ortalama kuru birim hacim ağırlık değeri $2,37 \text{ gr/cm}^3$, doymuş birim hacim ağırlık değeri ise $2,47 \text{ gr/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Dört cepheden de alınan numuneler doymuş ve kuru birim hacim ağırlık değerleri açısından yakın değerlere sahiptirler.

Görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk değerleri de yaklaşık olarak dört cephe içinde birbirine yakın değerlerdir. Kuzey cephesinde ortalama gerçek yoğunluk $2,726 \text{ gr/cm}^3$ iken ortalama görünür yoğunluk değeri $2,62 \text{ gr/cm}^3$ tür. Batı cephesinde ortalama gerçek yoğunluk $2,726 \text{ gr/cm}^3$ iken ortalama görünür yoğunluk değeri $2,65 \text{ gr/cm}^3$ tür. Güney cephesinde ortalama gerçek yoğunluk $2,728 \text{ gr/cm}^3$ iken ortalama görünür yoğunluk değeri $2,65 \text{ gr/cm}^3$ tür. Doğu cephesinde ortalama gerçek yoğunluk $2,728 \text{ gr/cm}^3$ iken ortalama görünür yoğunluk değeri $2,66 \text{ gr/cm}^3$ tür.

Su emme deneyi sonuçlarına göre; kuzey cephesinde ortalama ağırlıkça su emme değeri %4,27 ve ortalama hacimce su emme değerleri %10,07'dir. Batı cephesinde ortalama ağırlıkça su emme değeri %4,51 ve ortalama hacimce su emme değeri %10,70'dir. Güney cephesinde ortalama ağırlıkça su emme değeri %4,45 ve ortalama hacimce su emme değeri %10,54'tür. Doğu cephesinde ortalama ağırlıkça su emme değeri %4,62 ve ortalama hacimce su emme değeri %10,93'tür.

Elektron mikroskobu analizleri sonucunda güney cephede silisyum yoğunluğu diğer elementlere oranla daha fazla çıkmıştır ve bu durumla bağlantılı olarak basınç dayanım değerlerinin yüksek çıktığı değerlendirilmiştir. Ancak silisyum element yüzdesinin diğer elementlere oranla daha yüksek çıktığı kuzey cephesinde ise basınç dayanım değerleri düşük çıkmıştır. Bu duruma iklim parametrelerinin, gözenekli kayaç yapısının ya da zamana bağlı

olarak kayaç yapısındaki değişimlerin neden olduğu değerlendirilmektedir. Doğu cephesinde kalsiyum ağırlıklı element yüzdesinin yanında silisyum element yüzdesi de dikkat çekmektedir. Doğu cephesinde basınç dayanımının yüksek çıkmasında silisyum element yüzdesinin katkısı olduğu değerlendirilmektedir. Batı cephesinde ise silisyum element yüzdesi kalsiyum element yüzdesine oranla daha düşüktür ve basınç dayanımı değerleri de batı cephesinde nispeten düşük çıkmıştır.

Yapının modellenmesi aşamasında Kalecik Kalesi'nin giriş kapısının bulunduğu güney cephesi modellenmiştir. Statik analizi sırasında kullanılan veriler, hem yapılan fiziksel deneylerden hem de yapılan literatür çalışmaları sonuçlarından elde edilmiştir. Yapıda ölü yükler ve deprem yükleri altında oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmeler incelenmiştir.

SAP 2000 programında yapılan modelleme ve analiz sonuçlarına göre ölü yükler altında yapıda sur duvarlarının alt kısımlarında basınç gerilmeleri, kale kapısının hemen üst kısmında ise çekme gerilmeleri meydana gelmiştir. Yapı, ölü yükler altında statik olarak stabil konumdadır ve emniyet gerilme değerlerine ulaşmamıştır. Ölü yük ve deprem yükü ile birlikte yapıda hasar oluşabileceği öngörülmektedir.

Tarihi yapılarda restorasyon çalışmaları yapının dokusuna uygun yöntemler içermelidir. Restorasyonun amacı iyi belirlenmeli ve bu doğrultuda çalışmalar yapılmalıdır. Tarihi Ankara Kalecik Kalesi'nde yapılacak bir restorasyon çalışmasında öncelikli olarak hedef sağlamlaştırma olmalıdır. Herhangi bir deprem anında tehlike altında olan Kalecik Kalesi'nde yapılacak olan restorasyon çalışmalarında sağlamlaştırma üzerine çalışmalara öncelik verilmesi öngörülmektedir. Yapılan teknik analizler sonucunda bu tarihi kale restore edilip ülkemize, turizme ve insanlığa kazandırılmalıdır.



KAYNAKLAR

1. Kurugöl, S. and Güleç, A. (2012). Physico-chemical, petrographic, and mechanical characteristics of lime mortars in historic Yoros Castle (Turkey). *International Journal of Architectural Heritage*, 6(3), 322-341.
2. Jonaitis, B., Antonovič, V., Šneideris, A., Boris, R. and Zavalis, R. (2018). Analysis of physical and mechanical properties of the mortar in the historic retaining wall of the Gediminas Castle Hill (Vilnius, Lithuania). *Materials*, 12(1), 8.
3. Dereje, K. (2018). *Mechanistic behavior of historical masonry assemblages of fasil ghenbe and structural response assessment of mentwab castle under vertical loading; A case study*. Doctoral dissertation, Addis Ababa University, Addis Ababa, 25-32.
4. Stavroulaki, M. E., Drosopoulos, G. A., Tavlopoulou, E., Skoutelis, N. and Stavroulakis, G. E. (2018). Investigation of the structural behaviour of a masonry castle by considering the actual damage. *International Journal of Masonry Research and Innovation*, 3(1), 1-33.
5. Gökdemir, A. and Yatkin, T. (2021). Pre-restoration materials research in historical Ankara Castle. *Romanian Journal of Materials/Revista Romana de Materiale*, 51(2), 19-27.
6. Fırat, A. (2020). *Evaluation of structural problems of Geben Castle and recommendations for structural solution*. Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 14-41.
7. Nuhoglu, A., Ercan, E. ve Baranaydın, F. (2021). Ayasuluk Kalesi sur duvarlarının yapısal davranış analizleri ve onarım/güçlendirme çalışmaları. *TÜBA-KED Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi*, 23, 37-62.
8. Dos Santos, M. N., Abelezele, S. A., Korslund, K. A., Cecıl, R. T., Tezcan, S. and Perucchio, R. (2021). *Preliminary structural analysis of the western curtain wall of elmina castle, Elmina, Ghana*. In 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions.
9. Belovacıklı, E. (2022). *Tarihi kalelerin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 13-32.
10. Mete, H. (2023). *Restorasyonda kullanılan malzemelerin uygunluğu, Hoca Hasan Camii ve Şerafettin Cami örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Konya Karatay Üniversitesi Yüksek Lisans Enstitüsü, Konya, 21-32.
11. Bozacı, M. K. (2023). *Tarihi kagir yapılarda çağdaş restorasyon uygulamalarına yönelik bir yöntem önerisi*. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 10-18.
12. Erdoğan, A. (2008). *Adım adım Ankara, Ankara tarih ve kültür dizisi 7. Kitap*. Ankara: Ankara Büyükşehir Belediyesi, 253

13. Nusret, B. (2003). *Kalecik ve tarihin izleri*. Ankara: Pegem Akademi, 15-41.
14. Özmen, B., & Can, H. (2016). Ankara için deterministik deprem tehlike analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 41-52.
15. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu. URL: <https://www.tuik.gov.tr/>, Son Erişim Tarihi: 17.03.2024.
16. Ekiz, H. H. ve Aslangil, H. C. (1996). *Kalecik'in tarihi, dünü bugünü için bir araştırma* (No. 1). Ankara: Kalecik Kültür Derneği, 121-125.
17. Özgüç, T. (1988). *Inandiktepe: eski Hitit çağında önemli bir kült merkezi= An important cult center in the old Hittite period*. Ankara: Türk Tarih Kurumu Basım Evi, 42-48.
18. Kiliç, M. (2015). *1 numaralı şerhiye sicil defterine göre Kalecik'in sosyo-ekonomik yapısı (1251-1258/1835-1842)*. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kırıkkale, 51-62.
19. Leguenne, F. (1979). *Galatlar*. Ankara: Türk Tarih Kurumu Basımevi, 19-25.
20. Yeşil, İ. (2019). *Kalecik (tarih-coğrafya-sosyal ve ekonomik durum)*. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kırıkkale, 41-55.
21. Çınar, K. (2020). *Kalecik tarihi kent merkezinin kültürel peyzajlar kapsamında değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 20-29.
22. Sarıtepe, Z. (2019). İstiklal yolu ve Kalecik. *Kalecik Kültür Dergisi*, 4, 25.
23. İnternet: Kalecik Belediyesi. URL: <https://kalecik.bel.tr/tarihi-merkez/sukru-aga-konagi/18>, Son Erişim Tarihi: 21.01.2024.
24. İnternet: Kalecik Belediyesi. URL: <https://kalecik.bel.tr/tarihi-merkez/mecidiye-hamdi-camii/11>, Son Erişim Tarihi: 21.01.2024.
25. Pekin, F. (2008). *Türkiye'nin kültürel mirası 100 kale*. İstanbul: NTV Yayınları, 120-128.
26. Özen, M. ve Tanyeli, U. (1996). *Sanat kavram ve terimleri sözlüğü*. İstanbul: Remzi Kitapevi, 97-106.
27. İnternet: Akdeniz'in binlerce yıllık tanığı, Mamure Kalesi. URL: <http://www.anamur.gov.tr/anamur-mamure-kalesi>, Son Erişim Tarihi: 12.02.2024
28. Sevgen, N. (1959). *Anadolu kaleleri*. Ankara: Doğu Ltd. Şti. Matbaası, 29-59.
29. İnternet: Kilit Bahir müzesi-Çanakkale. URL: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/canakkale/gezilecekyer/kilitbahir-kalesi>, Son Erişim Tarihi: 12.02.2024
30. Kınal, F. (1998). *Eski Anadolu tarihi*. Ankara: Türk Tarih Kurumu Basımevi, 41-62.

31. Demircan, Kılıç, R. (2020). *Büyük kütleli tarihi yapıların çevresel etkiler altında yapısal dengesinin analitik yöntemlerle incelenmesi; Sinop Kalesi örneği*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 8-13
32. Özçetin, S. (2016). *Kale yapılarının arkeoloji müzesi olarak kullanılması; Bodrum, Çeşme ve Marmaris Kaleleri örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 7-31.
33. Akarca, A. (1998). *Şehir ve savunması*. Ankara: Türk Tarih Kurumu Basım Evi, 10-25.
34. Mesqui, J. (2014). *Savaştan barışa şatolar ve kaleler*. İstanbul: Yapı Kredi Kültür Yayınları, 13.
35. İnternet: Gezilecek yerler, Zilkale-Rize. URL: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/rize/gezilecekyer/zilkale>, Son Erişim Tarihi: 12.02.2024
36. Aşkıdil, A. (1998). *Şehir ve savunması*. Ankara: Türk Tarih Kurumu Yayınları, 19-28.
37. Boran, A. (1999). *Osmanlı dönemi kale mimarisi*. Ankara: Yeni Türkiye Yayınları, 112-121.
38. Sağlam, H. S. (2022). UNESCO Dünya miras geçici listesi bağlamında Kuşadası eleştirisi ve var olmamış bir Ceneviz kolonisi: Scalanova. *Kent Akademisi*, 15(2), 452-480.
39. Ünay, A. İ. (2002). *Tarihi yapıların depreme dayanımı*. Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi, 59-87.
40. Çamlıbel, N. (2000). *Yapıların taşıma gücünün iyileştirilmesi*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 20-75.
41. Berges, D., Nollé, J. (2000). *Tyana: Archäologisch-historische Untersuchungen zum südwestlichen Kappadokien*. (1.Baskı). Bonn: Dr. Rudolf Habelt GMBH, 500.
42. Zakar, L. ve Eyüpgiller, K. K. (2015). *Mimari restorasyon koruma teknik ve yöntemleri*. İstanbul: Ömür Matbaacılık AŞ Yayını, 14-52.
43. İnternet: Orta Cami Kilisesi. URL: <https://gezgince.com/tr/gezinti/orta-cami-kilisesi/>, Son Erişim Tarihi: 15.02.2024
44. Çalık, İ. (2017). *Tarihi cami ve minarelerin deneysel dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi ve restorasyon etkilerinin değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 32-45.
45. Amman, B. (2012). *Tarihi yapıların hasar onarım tespiti ve restorasyon çalışmaları*. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2-22.
46. Çamlıbel, N. (1998). *Sinan mimarlığında strüktürün analitik incelenmesi*. İstanbul: Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, 630.

47. Çizer, Ö. (2004). *Investigation of lime mortar characteristics for the conservation of the Ottoman baths in Seferihisar-Urla region*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 23-51.
48. Mahrebel, H. A. (2006). *Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 54-62.
49. Özgen, Ö. (2012). *Horasan harcı üzerine deneysel çalışmalar*. Uzmanlık Tezi, Kültür ve Turizm Bakanlığı İstanbul Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü, İstanbul, 61.
50. Saraç, M. M. (2003). *Tarihi yığma kargir yapıların güçlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 114-125.
51. Çırak, İ.F. (2011). Yığma yapılarda oluşan hasarlar, nedenleri ve öneriler. *International Journal Technological Science*, 3(2), 55-60.
52. Celep, Z. ve Kumbasar N. (2004). *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı*. İstanbul: Beta Yayıncılık, 63-68.
53. Bayülke, N. (1980). *Yığma yapılar*. Ankara: İmar ve İskân Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, 51-57.
54. Ahunbay, Z. (1996). *Tarihi çevre koruma ve restorasyon*. İstanbul: Yem Yayınları, 54-67.
55. Gökdemir, A. and Oflas, Y. B. (2019). Development of method for restoration of historical Kutahya Castle. *Iosr Journal of Engineering*, 9(4), 74-98.
56. İnternet: Kumlama tekniği. URL: <https://www.engineeringtr.com/2019/08/06/kumlama-teknigi/>, Son Erişim Tarihi: 17.02.2024



Gazili olmak ayrıcalıktır