



**TONOZLARDA GEOMETRİK ŞEKİL DEĐIŐİKLİĐİNİN
YAPISAL DAYANIMA ETKİLERİ;
DİYARBAKIR İÇ KALE CAMİSİ ÖRNEĞİ**

Yasemin BARAN

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2015

Yasemin BARAN tarafından hazırlanan "TONOZLARDA GEOMETRİK ŞEKİL DEĞİŞİKLİĞİNİN YAPISAL DAYANIMA ETKİLERİ; DİYARBAKIR İÇ KALE CAMİSİ ÖRNEĞİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ali İhsan ÜNAY

Mimarlık, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu Onaylıyorum

Başkan: Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA

Mimarlık, Karabük Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu Onaylıyorum

Üye: Prof. Dr. Metin ARSLAN

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu Onaylıyorum

Üye: Prof. Dr. Ali Uzay PEKER

Mimarlık, ODTÜ

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu Onaylıyorum

Üye: Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu Onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 21/01/2015

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

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü

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.

Yasemin BARAN

21.01.2015

TONOZLARDA GEOMETRİK ŞEKİL DEĞİŞİKLİĞİNİN YAPISAL DAYANIMA ETKİLERİ; DİYARBAKIR İÇ KALE CAMİSİ ÖRNEĞİ

(Doktora Tezi)

Yasemin BARAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2015

ÖZET

Tarihi yapılar, inşa edildikleri dönemin sosyal, kültürel, ekonomik, politik ve dini yapısını yansıtmakta ve kültürel varlığımızın devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır. Kültürel miras niteliğinde olan bu yapıların korunması için gerek mimarlar gerekse mühendisler disiplinler arası aktarımı iyi sağlamalı ve ortak çalışmalıdır. Tarihi yapıların gelecek nesillere daha sağlıklı bir şekilde aktarılması için bu yapıların taşıyıcı sistemini oluşturan elemanların iyi korunması gerekmektedir. Geçmiş kültürlerin günümüze yansımaları olan tarihi yapıların birçoğu karşılaştıkları birçok olumsuzluğa rağmen ayakta kalmayı başarmıştır. Tarihi bir yapının strüktürel davranışı öncelikle yapının geometrisi ve yapıda kullanılan malzemenin özellikleri olmak üzere iki etkene bağlıdır. Geometri, tüm yapıların temelini oluşturmaktadır. Yapı geometrisi farklı olan taşıyıcı elemanlar, aynı tür yükler altında farklı davranış gösterirler. Yapıyı oluşturan taşıyıcı elemanların en kesit boyutları, geometrik biçimleri, kütle ve rijitlikleri, o yapının yapısal dayanımını etkileyen en önemli parametrelerdir. Bu tez çalışmasında tarihi yapıların önemli taşıyıcı sistem elemanlarından olan tonozların geometrik şekil değişikliğinin yapısal dayanıma etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında farklı geometrik biçim ve boyutlardaki tonozların yan yana çalıştığı çok az rastlanan tarihi yığma yapı örneklerinden olan Diyarbakır İç Kale Camisi incelenmiştir. Söz konusu tonozların oturdukları duvar, kemer ve sütunların özellikleri dikkate alınarak üç boyutlu modeller hazırlanmıştır. Çeşitli yük ve mesnet şartlarına göre hazırlanan modellerin yapısal davranışı, sonlu elemanlar yöntemiyle SAP2000 (Structural Analysis Program, Yapısal Analiz Programı) bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlara göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelere göre, karmaşık bir yapı içinde yer alan tonozların yapısal davranışının sadece o tonozun geometrik biçim ve boyutlarına göre belirlenmesi mümkün değildir. Tonozları destekleyen diğer taşıyıcı sistem elemanlarının rijitlik oranları, birbiriyle ve tonozlarla birleşim detayları ve mesnet koşulları, tonozların yapısal davranışını ve performansını yakından etkiler.

Bilim Kodu : 714.1.151

Anahtar Kelimeler : Tarihi yapı, sonlu elemanlar, yapı geometrisi, yapısal dayanım, yapısal performans

Sayfa Adedi : 96

Danışman : Prof. Dr. Ali İhsan ÜNAY

THE EFFECTS OF GEOMETRIC FORM CHANGES ON VAULTS INTO THE
STRUCTURAL RESISTANCE: THE EXAMPLE OF DİYARBAKIR İÇ KALE MOSQUE

(Ph. D. Thesis)

Yasemin BARAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2015

ABSTRACT

Historical structures and monuments reflect the social, cultural, economic, politic and religious assemblies of the period in which they were built and they have great importance in terms of maintaining our cultural assets. For the aim of conserving these structures forming our cultural heritage, both architects and engineers must ensure the interdisciplinary studies and must work together. In order to ensure a better transfer of the historic buildings to the next generations, the elements constituting the structural system of these buildings must be well protected. Most of the historic buildings which are reflection of the past cultures to the present have succeeded to remain standing despite of many rough conditions. The structural behaviors of a historic building primarily depend on two factors: the geometrical form of the structure and the material properties used in the construction. Geometrical form constitutes the bases of all the structures. Structural elements which have different geometrical shapes exhibit different behaviors under the same kind of loads. The cross-sectional dimensions, geometrical forms, mass and stiffness of the structural elements of the building are the most important parameters that affect the structural capacity of that building. In this thesis, it has been aimed to determine the effects of the geometric deformation of the vaults, one of the significant structural elements of the historic buildings, towards the structural capacity. In the frame of this aim, the Diyarbakır İç Kale Mosque which is one of the rare historic masonry structure examples containing vaults of various geometric forms and dimensions has been examined. Taking into consideration the features of the walls, arches and columns on which are placed these vaults, three-dimensional models have been prepared. The structural behaviors of the models which have been prepared in accordance with various load and support conditions have been analyzed and assessed by use of SAP2000 (Structural Analysis Program). According to the analysis results, it is not possible to determine the structural behavior of the vaults possessing a complex structure, depending only on the geometric form and dimensions of that vault. The stiffness of the other structural elements supporting the vaults, their connection details with each other and vaults and also support conditions intensely affect the structural behavior and performance of the vaults.

Science Code : 714.1.151

Key Words : Historical structure, finite element, structural resistance, building geometry, structural performance

Page Number : 96

Supervisor : Prof. Dr. Ali İhsan ÜNAY

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca hiçbir fedakârlıktan kaçınmayarak kişiliği ve akademik kimliğiyle bana yol gösteren değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Ali İhsan ÜNAY'a, çalışmamın önünü aydınlatan ve bana ışık tutan değerli tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Metin ARSLAN'a ve Sayın Prof. Dr. Mehmet Emin Tuna'ya, tez çalışmamda bilgi ve tavsiyelerini benimle paylaşan yardımını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN'e teőekkürü bir borç bilirim.

Göstermiş oldukları ilgi ve alakalarıyla hayatım boyunca hep yanımda olan, maddi manevi hiçbir desteği esirgemeyen babam Yakup KOÇ ve annem Selver KOÇ'a, ağabeylerim Yasin ve Serdar KOÇ'a, beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, verdiği destekle beni her zaman cesaretlendiren, özellikle bu tez çalışmasında göstermiş olduğu özveri, sabır ve anlayışından dolayı eşim R. Sezer BARAN'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
HARİTALARIN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ	1
2. TARİHİ YAPILAR	5
2.1. Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistemler	6
2.1.1. Duvar	7
2.1.2. Kemer	7
2.1.3. Kubbe	10
2.1.4. Sütun ve ayak	12
2.1.5. Tromp (Tonoz mesnet)	12
2.1.6. Pandantif (Küresel mesnet)	13
2.1.7. Türk üçgeni	13
2.1.8. Tonoz	14
2.2. Depremin Tarihi Yapılara Genel Etkisi	16
2.2.1. Yapıların depreme karşı dayanımı için temel ilkeler	16

	Sayfa
2.2.2. Tarihi yapıların depreme karşı davranışı.....	17
2.3. Tarihi Yapıların Strüktürel Analizi	19
2.3.1. Sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal modelleme	20
2.3.2. SAP2000 programı ile sayısal modelleme	22
3. FARKLI TONOZ GEOMETRİK BİÇİMLERİ ÜZERİNDE ANALİZLER	25
3.1. İki Mesnedin Sabit Olması Durumunda Yapılan Analizler	27
3.2. Bir Mesnedin Ankastre, Bir Mesnedin Sabit Olması Durumunda Yapılan Analizler	32
3.3. İki Mesnedin Ankastre Olması Durumunda Yapılan Analizler	36
3.4. Üç Farklı Mesnet Durumuna Göre Yapılan Analizlerin Karşılaştırılması	41
3.5. Yapılan Hesapların Değerlendirilmesi	46
4. TONOZ DAVRANIŞININ DİYARBAKIR İÇ KALE CAMİSİ ÖRNEĞİNDE İNCELENMESİ	47
4.1. Diyarbakır İç Kale Camisi'nin Tarihi Özellikleri	47
4.2. Diyarbakır İç Kale Camisi'nin Mimari Özellikleri	49
4.3. Diyarbakır İlinin Sismik Özellikleri	53
5. DİYARBAKIR İÇ KALE CAMİSİ SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ	55
5.1. Hesap Modellerinin Tanımı	55
5.2. Hesap Yöntemi ve Uygulanan Yüklemeler	57
5.3. Bitişik Üç Tonozun Davranışını İncelemek İçin Gerçekleştirilen Hesaplar	60
5.4. Yapının Tamamının Duvarlarla Birlikte Tanımlandığı Modellerin Analizleri	64
6. SONUÇLAR.....	73

	Sayfa
KAYNAKLAR	77
EKLER.....	81
Ek-1 Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görünüşleri)	82
ÖZGEÇMİŞ	95

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan sayısal analizlerde modelin tanımlanmasında kullanılan adımlar	21
Çizelge 2.2. SAP2000 yapısal analiz programının genel özellikleri	22
Çizelge 3.1. Tonoz modellemesinde kullanılan açıklık ve yükseklik değerleri	26
Çizelge 3.2. İki mesnedin sabit olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmelerin renk konturlarıyla gösterimi	28
Çizelge 3.3. Tonoz modellerinde meydana gelen maksimum basınç ve çekme değerleri	29
Çizelge 3.4 İki mesnedin sabit olması durumunda tonozda meydana gelen basınç ve çekme değerlerinin grafiksel gösterimi	30
Çizelge 3.5. Bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmelerin renk konturlarıyla gösterimi.....	32
Çizelge 3.6. Tonoz modellerinde meydana gelen maksimum basınç ve çekme değerleri	34
Çizelge 3.7. Bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması durumunda tonozda meydana gelen basınç ve çekme değerlerinin grafiksel gösterimi.....	35
Çizelge 3.8. Her iki mesnedin ankastre olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmelerin renk konturlarıyla gösterimi	37
Çizelge 3.9. Tonoz modellerinde meydana gelen maksimum basınç ve çekme değerleri.....	38
Çizelge 3.10. Her iki mesnedin ankastre olması durumunda tonozda meydana gelen basınç ve çekme değerlerinin grafiksel gösterimi	39
Çizelge 3.11. Üç farklı mesnet durumuna göre tonozlarda oluşan basınç ve çekme değerlerinin karşılaştırılması	42
Çizelge 3.12. Üç farklı mesnet durumuna göre düşey yer değiştirme değerleri	45
Çizelge 5.1. Parametrik hesaplar için hazırlanan sonlu elemanlar modelinde kullanılan farklı malzeme özellikleri	58

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.2. 2007 deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik etkin yer ivme katsayısı	58
Çizelge 5.3. Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B).....	59
Çizelge 5.4. Mesnet tiplerinin değişimine göre düzenlenen hesap modelleri	60
Çizelge 5.5. Mesnet tiplerinin değişimine göre yapılan hesap sonuçları.....	62
Çizelge 5.6. Farklı etkin yer ivme katsayısı ve zemin gruplarına göre yapılan hesapların sonuçları	65
Çizelge 5.7. Farklı elastisite modülü kabulü ile yapılan hesapların sonucunda meydana gelen maksimum yer değiştirme ve gerilme değerleri	66

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Farklı kemer biçimleri.....	8
Şekil 2.2. Kemer ve kemerde kullanılan öğeler	9
Şekil 2.3. Farklı kubbe biçimleri	10
Şekil 2.4. Kubbede çekme ve basınç bölgeleri	11
Şekil 2.5. Kubbelerde yük taşıma mekanizması	11
Şekil 2.6. Tromp örneği	13
Şekil 2.7. Kare planlı (a) ve dairesel planlı (b) pandantif biçimleri	13
Şekil 2.8. İlkel bir tonoz örneği.....	14
Şekil 2.9. Çeşitli tonoz biçimleri	15
Şekil 5.1. Bitişik tonozların davranışlarını incelemek için oluşturulan hesap modeli	56
Şekil 5.2. Tonozların gerçek mesnet şartlarına göre davranışını incelemek için oluşturulan hesap modeli	56
Şekil 5.3. 2007 deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik elastik ivme spektrumu	59
Şekil 5.4. Hesap sonuçlarının gösterildiği çizelgelerdeki karakteristik yer değiştirme ve gerilmelerin hesap modelleri üzerindeki konumları.....	64
Şekil 5.5. Bitişik üç tonozun değişik mesnet durumlarına göre yapılan hesaplar sonucunda elde edilen yer değiştirmeler.....	68
Şekil 5.6. Bitişik üç tonozun değişik mesnet durumlarına göre yapılan hesaplar sonucunda elde edilen gerilmeler	69
Şekil 5.7. Tonozların gerçek mesnet şartlarını tanımlamak için yapının duvarları ile birlikte modellenerek farklı etkin yer ivme katsayısı ve zemin gruplarına göre yapılan hesaplar sonucunda elde edilen düşey yöndeki yer değiştirmeler.....	70

Şekil	Sayfa
Şekil 5.8. Tonozların gerçek mesnet şartlarını tanımlamak için yapının duvarları ile birlikte modellenerek farklı etkin yer ivme katsayısı ve zemin gruplarına göre yapılan hesaplar sonucunda elde edilen gerilmeler	71
Şekil 5.9. Farklı elastisite modülü kabulü ile yapılan hesaplar sonucunda elde edilen yer değiştirme ve gerilmeler	72

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Pandantif ve tromplar (Kılıç Ali Paşa Camisi).....	10
Resim 2.2. Kubbe, yarım kubbe ve ağırlık kuleleri (Sultan Ahmet Camisi)	11
Resim 2.3. Tek parça sütun örneği.....	12
Resim 2.4. M.Ö. 1300 yıllarında Mısır'da inşa edilmiş Ramasseum tonozları.....	14
Resim 4.1. Diyarbakır İç Kale Camisi'ne ait genel bir görünüm.....	48
Resim 4.2. Diyarbakır İç Kale Camisi'ne ait genel bir görünüm.....	48
Resim 4.3. Diyarbakır İç Kale Camisi'nin duvarında bulunan bir kitabe örneği	49
Resim 4.4. Diyarbakır İç Kale Camisi'nin avlusunda bulunan kemer ve sütunlar	50
Resim 4.5. Diyarbakır İç Kale Camisi'nin kare planlı minaresi.....	51
Resim 4.6. Diyarbakır İç Kale Camisi'nde bulunan tonoz örtü biçimleri.....	51
Resim 4.7. Diyarbakır İç Kale Camisi'nin hazire bölümünde yer alan sivri kemerli açıklıklar.....	52

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 4.1. Diyarbakır ili deprem haritası	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A(T)	Spektral ivme katsayısı
A_o	Etkin Yer İvme Katsayısı
E	Elastisite Modülü
g	Yer Çekimi İvmesi
H	Yükseklik
I	Bina Önem Katsayısı
L	Açıklık
MPa	Megapascal
R_a (T)	Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
S(T)	Spektrum Katsayısı
S_{ae} (T)	Elastik Spektral İvme
T	Bina Doğal Titreşim Periyodu
T_A, T_B	Spektrum Karakteristik Periyotları
U_z	Düşey Yer Değişirme
Z1, Z2, Z3, Z4	Yerel Zemin Sınıfı
Δ_x, Δ_y, Δ_z	Maksimum yer değiştirme
Kısaltmalar	Açıklama
TNZ	Tonoz
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
SAP	Structural Analysis Program (Yapısal Analiz Programı)
Shell	Genel Kabuk Eleman
S11	Yatay Yöndeki Gerilme
S22	Düşey Yöndeki Gerilme

1. GİRİŞ

Tarihi yapılar toplumların tarihini ve kültürünü yansıtan en önemli unsurlardandır. Tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere ulaştırılması, bu yapıları dikkatle incelemek ve problemlerini tespit edip çözüm önerileri geliştirmek koşuluyla mümkün olabilir. Türkiye, tarihi yapılar bakımından zengin bir ülkedir. Özellikle aktif deprem kuşağında yer alan Türkiye’de, tarihi yığma yapıların korunması için bu yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması kaçınılmazdır.

Kültürel mirasımızın yansıması olan tarihi yığma yapı örneklerine baktığımızda taşıyıcı sisteminde duvar, kemer, kubbe, sütun ve ayaklar, tromp, pandantif, Türk üçgeni, tonoz gibi yapı elemanlarına sıkça rastlanmaktadır. Bu elemanlar aynı zamanda yapının genel biçimini belirler. Bu strüktürel elemanlar; çekme, basınç, kesme, eğilme, burulma gibi kuvvetlerle karşı karşıyadır. Yapı elemanları geometrik biçimleri ve üretilmiş oldukları malzemenin özelliklerine bağlı olarak zorlanmalara karşı dayanıklı olabilirler.

Tarihi yapılar karmaşık geometriye sahiptir. Gelişen teknoloji ve bilgisayar yazılımları sayesinde yapıların analizini yapmak, farklı yük koşulları altında meydana gelebilecek davranış değişikliklerini tespit etmek ve yapı elemanlarında oluşan deformasyonları belirlemek mümkündür. Özellikle bilgisayar analizlerinden elde edilen grafikler, yapının yapısal performansı hakkında yorum yapma olanağı sağlamakta ve yapının davranışının doğru bir şekilde anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır.

Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında tonozların geometrik şekil değişikliğinin yapısal davranışa etkilerinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu hedef kapsamında tez çalışmasının genel amacı, tonozların geometrik boyut ölçülerini değiştirerek bu değişimin yapısal dayanıma etkisini, tonoz kesiti içinde meydana gelen aksenal kuvvetler ve eğilme momentleri yardımıyla incelemektir.

Bu tez çalışmasının özel amacı ise, temel bir tonoz tipinin açıklık, yükseklik, sivrilik ve basıklık gibi özelliklerini ele alıp bu özelliklerin farklı değerleriyle analizler yaparak, yapısal dayanım üzerindeki etkileri test etmektir.

Tez çalışmasının amacı kapsamında öncelikle basit bir tonoz modeli (beşik tonoz) üzerinde irdelemeler yapılmıştır. Daha sonra aynı biçimdeki üç farklı geometrik boyuta sahip tonozun yan yana çalıştığı çok az rastlanan tarihi yığma yapı örneklerinden olan Diyarbakır İç Kale Camisi incelenmiştir. Bu camide yer alan farklı geometrik boyutlara sahip tonozların birbiriyle bağlantısı, nasıl etkileşimde bulunduğu ve yan yana konumlanmasının yapı davranışı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

Çalışmanın Yöntemi

Tarihi yapıların korunması ve onarılması için öncelikle bu yapıların strüktürel davranışlarının tam olarak bilinmesi gereklidir. Yapıların davranışını, gelişmiş hesap yöntemleriyle ayrıntılı bir şekilde incelemek mümkündür.

Bu tez çalışmasında, tonoz modellerinden temel bir tonoz tipi ele alınmıştır. Bu tonozun açıklık, yükseklik, sivrilik ve basıklık gibi özelliklerinin değerleri arttırılıp azaltılarak parametrik testler yapılmıştır. Bu özelliklerin yapısal dayanımı nasıl etkilediği, tarihi yapılarda çok önemli olan moment ve şekil değiştirme değerlerinin nasıl değiştiği belirlenmiştir.

Çoğu eğrisel geometrik biçimde olan yığma taş ve tuğla sistemli tarihi yapıların yük taşıyan elemanlarının 3 boyutlu yapısal davranış sergilemesi, tarihi yapıların incelenmesinde sonlu elemanlar analizini en uygun hesap yöntemi haline getirmektedir. Çalışmalarda sayısal hesap yöntemlerinden biri olan sonlu elemanlar yöntemine dayalı hazır paket programı SAP2000 kullanılmıştır (SAP2000).

SAP2000 programı kullanarak farklı geometrik biçimlerdeki tonozlarla yapılan analizlerden elde edilecek moment ve şekil değiştirme değerleri değerlendirilmiş, yapısal dayanım üzerindeki etkileri tespit edilmiştir.

Yapısal dayanım üzerinde yapıya etki eden kuvvetlerin yanında yapı geometrisi de büyük önem taşımaktadır. Tarihi yapılar birçok araştırmacı tarafından ele alınmış ve analizleri yapılmıştır. Bu analizlerde daha çok yapıya etki eden yükler dikkate alınmıştır. Bu nedenle bu tez çalışmasında örnek olarak seçilen farklı geometrik biçim ve boyuta sahip üç tonozun yan yana çalıştığı bir tarihi yapı örneği olan Diyarbakır İç kale Camisi incelenmiştir. SAP2000 programıyla İç Kale Camisi örneği üzerinde mekân örtülerinin zati ağırlıkları ve deprem yükü altında parametrik bir şekilde statik analizler yapılmıştır. Geometrik şekil değişikliğinin ve farklı geometrik boyutlardaki tonozların bir arada çalışmasının yapısal dayanım üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

Tez kapsamında tarihi yapılarla ilgili verilere; T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü'ne bağlı Diyarbakır Bölge Müdürlüğü'nden, çeşitli internet sayfalarından, makalelerden, kongre bildirilerinden, doktora tezlerinden, bilimsel kitaplardan edinilen bilgilerden ulaşılmıştır. Bu veriler, tarihi yapıların taşıyıcı sistem tasarımı, deprem davranışları ve yapısal analizlerine ilişkindir.

Yukarıda ifade edilen sorunlar ve kısıtlar kapsamında hazırlanan tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır:

Tez çalışmasının giriş bölümünde, tarihi yapıların taşıyıcı sistem tasarımında karşılaşılan sorun ve kısıtlar saptanmış, saptanan sorunlar kapsamında tez çalışmasının amaç ve yöntemi belirlenmiştir.

Belirlenen amaca uygun olarak tez çalışmasının ikinci bölümünde tarihi yapıların taşıyıcı sistemleri ve deprem davranışları irdelenmiştir. Bu irdeleme doğrultusunda tarihi yapı taşıyıcı sistem tasarımı ve depremin tarihi yapılara genel etkisi ve tarihi yapıların strüktürel analizleri konuları incelenmiştir. Taşıyıcı sistem tasarımı kapsamında taşıyıcı sistem çeşitleri, yapıların depreme karşı dayanımı için temel

ilkeler ve tarihi yapıların depreme karşı davranışı ve strüktürel analizinde kullanılan analiz yöntemlerinden sonlu elemanlar yöntemi araştırılmıştır.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde, farklı geometrik boyutlara sahip 10 adet tonoz modeli üzerinde SAP2000 programı kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu analizlerden elde edilen veriler sonucunda ideal bir tonoz modelinin geometrik boyutları belirlenmiştir. Belirlenen modelin boyutları yapısal dayanım açısından değerlendirilmiş ve değerlendirme bulguları yorumlanarak tartışılmıştır.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde örnek olarak ele alınacak Diyarbakır İç Kale Cami'si incelenmiştir. Yapılan incelemeler doğrultusunda Diyarbakır İç Kale Cami'sinin tarihi ve mimari özellikleri araştırılmış. Ayrıca Diyarbakır ilinin sismik özellikleri incelenmiştir.

Tez çalışmasının beşinci bölümünde, aynı biçimde üç farklı geometrik boyuta sahip tonozun yan yana çalıştığı çok az rastlanan tarihi yığma yapı örneklerinden olan Diyarbakır İç Kale Camisi incelenmiştir. Caminin tarihi, mimari ve sismik özellikleri araştırılmıştır. Tonozların farklı geometrik boyutlarda olmasının yapısal dayanım üzerindeki etkilerini ve birbiri ile nasıl etkileşimde olduğunu incelemek için tonozlar üzerinde çeşitli analizler yapılmıştır.

Tez çalışmasının son bölümünde, tonozların yapısal dayanım üzerindeki etkilerinin yapı sektöründeki ilgili disiplinler tarafından anlaşılabilirliği, uygulanabilirliğine yönelik bir rehber niteliği taşıması amacıyla önerilerde bulunulmuştur.

2. TARİHİ YAPILAR

Türkiye, tarihsel zengin bir dokuya sahip bir ülkedir. Tarihi yapılar tarihi izler taşıyan günümüze kadar ulaşmış ve kuşaktan kuşağa aktarılacak kültürel mirasımızın en önemli eserleridir. Geçmişten günümüze kadar gelmiş, ayakta kalmayı başarmış maddi değer biçilemeyen bu eserlerin korunması gerektiği hepimizce bilinen bir gerçektir. Bu nedenle tarihi yapıların bakım onarım ve güçlendirilmesi ayrı bir önem kazanmaktadır. Tarihi yapılar, geçmişi yaşamış ve bugünlere taşımış yapılar olduğundan bu yapıların doğru yorumlanması yeni tasarımlara da yol göstermesi açısından oldukça önemlidir.

Taş veya tuğla ile yığma yapı tekniğine göre yapı inşası on bin yıl geçmişe dayanmaktadır. İlk yığma yapı örneklerinin Mezopotamya'da çamur kullanılarak yapılmış kerpiç barınaklar olduğu tahmin edilmektedir. Bu yapılar son derece basit ve yük taşıma kapasitesi az olan yapılardır. İleriki dönemlerde özellikle ibadet amacıyla daha büyük alanlara gereksinim duyulmuştur. Bunun için çamurdan yapılmış kerpiç malzeme yerine dayanımı daha fazla olan taş malzeme kullanılmaya başlanmıştır. Bunun en başarılı örnekleri de Mısır Piramitleridir. Piramitler kusursuz yapı biçimleriyle deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklere karşı çok iyi bir davranış sergilemektedir (Ünay, 2001).

Yığma yapılar mimari ve yapısal olanakları nedeniyle ilgi çekici yapılar olmasının yanında, ısı yalıtımı, dayanıklılık, sürdürülebilirlik ve estetik açıdan başarılı sonuçlar sunmaktadır. Ayrıca, taş ve tuğla yapı malzemeleri ucuz ve kolay elde edilebilir özelliktedir. Tarihi yapılar genellikle karmaşık yapı formuna sahiptirler. Taş ve tuğla yapı malzemeleri kullanılarak yığma yapı tekniğiyle inşa edilen bir tarihi yapının rijit olduğu söylenebilir. Tarihi yapıların taşıyıcı sistemini oluşturan elemanlar aynı zamanda yapının genel formunu belirleyen duvar, kemer, kubbe, sütun ve ayaklar, tromp, pendantif, Türk üçgeni, tonoz gibi yapı elemanlarıdır (Roca, L'opez-Almansa, Miquel, Hanganu, 2006; Ünay, 2002: 1).

2.1. Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistemler

“Mimari bir yapıyı tasarlayan mimarın mekân tasarımı ile birlikte, ‘Taşıyıcı Sistem’ tasarımını da onun paralelinde geliştirmesi gerekir. Fonksiyonla uyum sağlayan ‘doğru’ bir taşıyıcı sistem mimarın başarısını vurgular ve projenin kolaylıkla uygulanmasını sağlar (...)” (Çamlıbel, 2000, 11).

Bir yapının taşıyıcı sistemi, ekonomik koşullar ve belirli estetik kurallar göz önünde bulundurularak yapının kullanımını aksatmayacak biçimde tasarlanmalıdır. Taşıyıcı sistem tasarlanırken düşey yüklerin iletilmesinin yanında rüzgâr ve deprem yükleri gibi yapıya yatay doğrultuda etki eden yükler de ihmal edilmemelidir. Taşıyıcı sistem tasarımı, disiplinler arası çalışma gerektirmektedir. Yapının mekân ve taşıyıcı sistem tasarımı her zaman birbirine uyumlu olmalıdır. Yapının estetik kurallar içerisinde, ekonomik koşullarda, sağlam ve kullanışlı tasarlanması büyük önem taşımaktadır (Çamlıbel, 2002, 39,40).

Tarihi yapıların taşıyıcı yapı elemanları, dış etkilere karşı dayanıklı malzemelerden üretildikleri için günümüze kadar ulaşan eserler vardır. Tarihi yığma yapılarda kullanılan malzeme, yapı geometrisi ve yığma blokların birleştirilme biçimleri yapı dayanımı üzerinde oldukça etkilidir (Arun, 2005).

Tarihi yığma yapıların taşıyıcı elemanlarını oluşturan sütun, kemer, payanda, kubbe ve tonozlardan oluşan yapı strüktürünün, taş ve tuğla yapı malzemeleri kullanılarak inşa edilen rijit elemanlar olduğu söylenebilir. Tarihi yapı tasarım ustalarının yapısal davranışı ne kadar bildiği cevaplanamayan sorular arasındadır. Araştırmalardan elde edilen bilgilere göre, bu ustalar yapısal güvenliğin sınırlarını tecrübe ve inceleme ile keşfetmişlerdir. Milan’da 1400 kadar uzmanın katıldığı bir araştırmanın raporunda, yapılarda kullanılan geometrik oranlar değerlendirilmiş ve ‘eğer bir yapıda kullanılan geometrik oranlar doğru ise bu yapının taşıyıcı sisteminin de doğru olduğu anlamına gelir’ ifadesi kullanılmıştır (Roca, González, Oñate, Lourenço, 1998).

Bölüm 2’de de ifade edildiği gibi tarihi yapıların taşıyıcı sistemini oluşturan yapı elemanları duvar, kemer, kubbe, sütun ve ayaklar, tromp, pandantif, Türk üçgeni, tonozdur.

2.1.1. Duvar

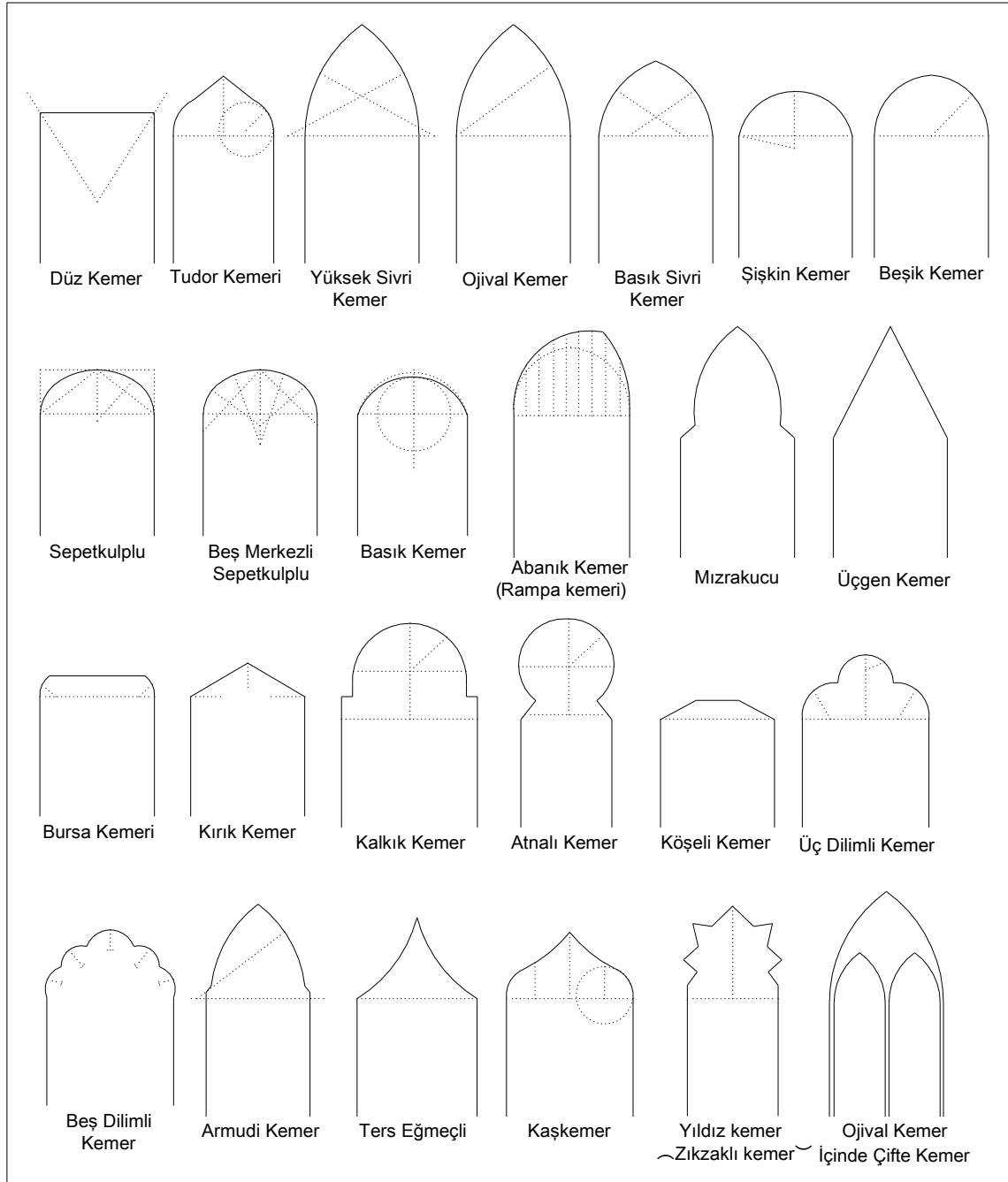
“Duvarlar; yapılarda taş, tuğla, briket, kerpiç ve benzeri gereçlerle yapılan düşey bölme öğeleridir. Yalnız bölücü olmayıp gelen yükleri de taşıyan duvarlar da taşıyıcı duvarlardır” (Hasol, 1988: 165).

Sürekli taşıyıcı olan duvarlar örtüden aldıkları yükleri zemine iletirler. Duvarlar hem kendi ağırlığı hem örtüden gelen düşey ve eğik yükler, hem de deprem, rüzgâr gibi yatay yüklere maruz kalırlar. Duvarların bu yükleri karşılayabilecek biçimde dayanıklı olması ve boyutlandırılması gerekmektedir (Kuban, 1973: 31). Duvarlara etki eden yüklerin dikkate alınmasıyla duvarların boyutları belirlenir. Tarihi yapılarda yapıya etki eden yükler duvarların öz ağırlığı ile karşılandığı için kalınlıkları olabildiğince büyük seçilmiştir. Tarihi yapılarda, duvarların davranışını bağlantı elemanlarının türü ve sağlamlığı belirler. Ayrıca duvarların homojenliği de taşıma gücü üzerinde etkilidir. Duvara etki eden yüklerin yüzeye eşit bir şekilde dağılması için duvarların bir bütün olarak davranması gerekir. Tarihi yığma yapı duvarlarının bir bütün şeklinde homojenliğini sağlamak için taş veya tuğla malzemeler birbirine harç, hatıl ve kenetlerle bağlanmıştır. Bazı durumlarda payandalarla desteklendiği de görülmektedir (Sesigür, Çelik, Çılı, 2007; D’Ayala, ve Speranza, 2003).

2.1.2. Kemer

Açıklıkların tek bir yapı ögesi ile geçilemeyeceği anlaşılınca, araştırmacılar yapı öğelerini yan yana koyarak açıklıkları geçmenin yollarını araştırmaya başlamışlardır. Böylece, bir açıklığı birbirine dayanarak örten iki taş parçasından oluşan ilkel kemerler bulunmuştur. Kemerin bulunmasıyla daha büyük mekânlar tasarlanmaya başlanmıştır (Kuban, 1973: 35,36).

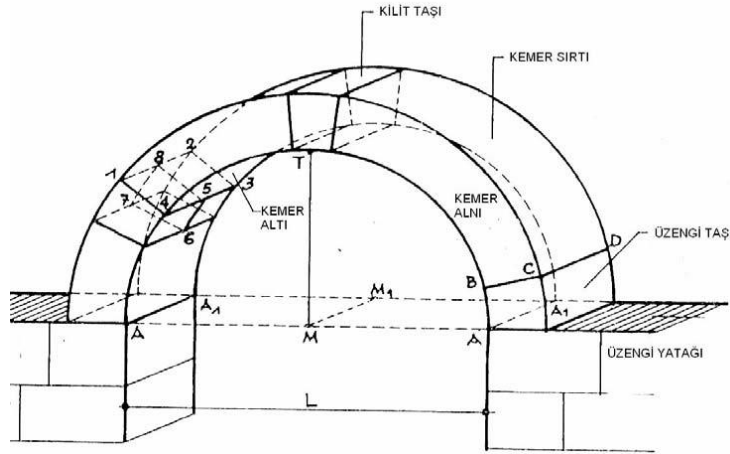
Kemerler, iki sütun veya ayak arasındaki açıklığın üzerini örtmek için yay biçiminde yapılan eğri eksenli yapı parçaları olup ahşap, taş veya tuğla ile inşa edilirler (Hasol, 1988: 282). Şekil 2.1’de ifade edildiği gibi farklı kemer biçimleri vardır.



Şekil 2.1. Farklı kemer biçimleri (Hasol, 1988: 283)

Kültür miras olarak kabul edilen tarihi yapıların birçoğunda büyük açıklıkları geçmek için kemerler kullanılmıştır. Kemer formunun ilk örnekleri M.Ö.3000 yıllarında Mezopotamya'da Sümerlere ait yer altı mezarlarında görülmüştür. Mısırlılara ait olan örnekler, bu uygarlığın da aynı dönemlerde kemer biçiminin yapısal performansı hakkında bilgi sahibi olduklarını göstermektedir. Ancak, kemer formunu bulanlar her ne kadar Sümerler veya Mısırlılar olsa da, en etkin ve göz alıcı şekilde kullanmayı başaranlar Romalılar olmuştur (Toker ve Ünay, 2004).

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi bir kemerde, kemer örgü taşı olarak üzengi, kilit taşı ve kemer taşları olmak üzere üç eleman bulunur. Üzengi taşı, kemerin başlama taşıdır. Kilit taşı, kemerin düşey ekseninde bulunan ve kendisi ile üzengi arasındaki taşları kilitleyen taşıdır. Kemer taşları, kilit taşı ile üzengi taşları arasında kemeri oluşturan taşlardır (Kuban, 1973: 36).

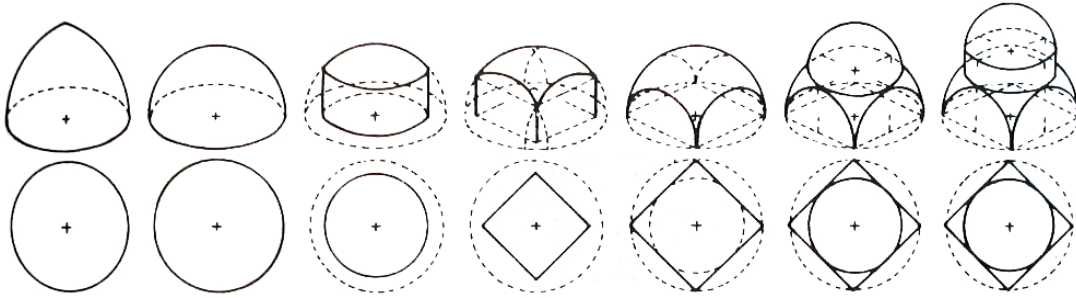


Şekil 2.2. Kemer ve kemerde kullanılan öğeler (Bayülke,1992b)

Kemerler, yerçekiminin etkisiyle düşey yük etkisi altındadır. Kemerler, üzerlerine gelen yükleri basınca çalışan elemanlarıyla taşımaktadır. Kemerin biçimi, kemere gelen tüm kuvvetlerin üzengilerde kemerlerin mesnetlerine iletilmesini sağlar. Bu nedenle mesnet, eğik bir yükte, kendi ağırlığının bileşkesini taşıyabilecek boyut ve biçimde tasarlanmıştır (Çamlıbel, 2000: 28). Kemerler, açıklıklarda kiriş gibi yük taşır ve kiriş gibi davranırlar. Mesnetlerinde gergi çubuğuna (üzengi çubuğu) rastlanabilir. Gergi elemanları kullanılmadığı durumlarda mesnetler kalın güçlü duvarlara oturtulmalıdır (Bayraktar, 2005: 11).

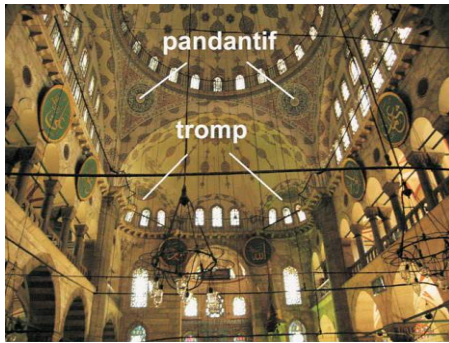
2.1.3. Kubbe

Kubbe, “küre tekkesi, yarım küre veya toparlakça kümbet biçimi verilen yapı örtüsü; bir kemerin, yayının tepe noktasından inen dikin çevresinde dönmesiyle meydana gelen örtü” (Hasol, 1988: 318) olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.3'te farklı kubbe biçimleri sunulmaktadır.

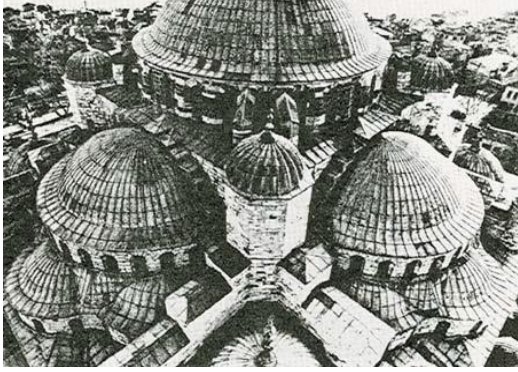


Şekil 2.3. Farklı kubbe biçimleri (Hasol, 1988: 319)

Kubbeler mesnetlerinde sürekli taşıyıcı elemana ihtiyaç duyarlar. Kubbe yapıdaki en ağır küttedir ve geometrik biçimlerinden dolayı taşıyıcı sisteme her yönde eşit etki yaparlar. Bu nedenle kubbelerin oturdukları yapı sistemi simetrik olmalıdır (Bayraktar, 2005). Simetrik olmayan yapılarda ise kubbelerin eğrisel tabanlı olmalarından kaynaklanan düz duvarlara oturma sorunu yani daireden kareye geçiş sorunu vardır. Bu sorun, Kılıç Ali Paşa Camisi'nde pandantif ve tromplar yardımıyla Fotoğraf 2.1'de ifade edildiği şekilde çözülmüştür (Kuban, 1973: 38,39). Benzer şekilde Fotoğraf 2.2'deki gibi ana kubbeyi desteklemek için yarım kubbelerin kullanıldığı çözüm örnekleri de vardır (Sesigür ve diğ., 2007).

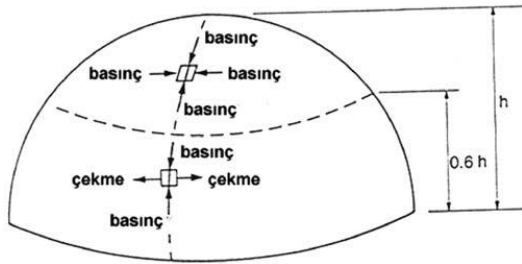


Resim 2.1. Pandantif ve tromplar (Kılıç Ali Paşa Camisi) (Sesigür ve diğ., 2007)

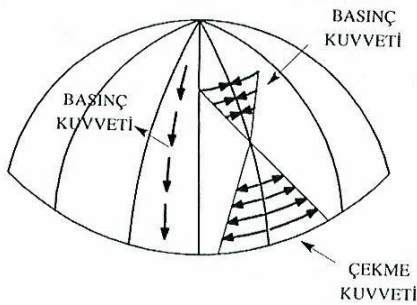


Resim 2.2. Kubbe, yarım kubbe ve ağırlık kuleleri (Sultan Ahmet Camisi) (Sesigür ve diğ., 2007)

Şekil 2.4'te bir kubbede oluşan basınç ve çekme bölgeleri görülmektedir. Ayrıca kubbelerde dairesel mesnedin dış çemberi boyunca da çekme kuvveti mevcuttur. Şekil 2.5'te ise kubbe tabanında çekme gerilmelerinin olduğu görülmektedir. Kubbenin tabanında oluşacak çekme gerilmelerine karşı alınacak en önemli önlem, bölgenin çekme gerilmelerine dayanıklı bir malzemedan yapılmış bir çember ile kuşatılmasıdır. Büyük kubbeli yapılardaki kasnaklar masif ve ağır yapıyla, bu bölgede oluşacak çekme kuvvetlerini etkisiz hale getirirler (Ünay, 2002: 53,54).



Şekil 2.4. Kubbede çekme ve basınç bölgeleri (Sesigür ve diğ., 2007)



Şekil 2.5. Kubbelerde yük taşıma mekanizması (Ünay, 2002: 55)

2.1.4. Sütun ve ayak

'Örtüden gelen yükler tek tek noktalara toplanabildiği zaman, taşıyıcı sistem, tek taşıyıcılardan meydana gelebilir. Bu öğeler biçimlerine göre sütun veya ayak adını alabilir.' (Kuban, 1973: 34). Resim 2.3'te tek parça sütun örneği verilmiştir.

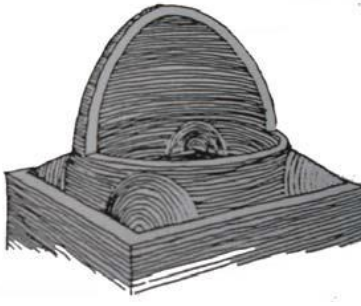
Sütun ve ayaklar çekme kuvvetlerine karşı zayıf olup özellikle ana taşıyıcı ayaklarda meydana gelebilecek mafsal oluşumu veya çatlak, yapının bütün dengesini bozarak yıkılmasına neden olabilir. Bu nedenle sütun ve ayakların büyük en kesit boyutlarına ihtiyaç vardır. Geçmişte hasar gören ve yıkılan yapılardan çıkarılan dersle, Tarihi yapılarda sütun ve ayakların çok büyük kesit boyutlarında yapıldığı görülmektedir (Ünay, 2002: 56,57).



Resim 2.3. Tek parça sütun örneği (Sesigür ve diğ., 2007)

2.1.5. Tromp (Tonoz mesnet)

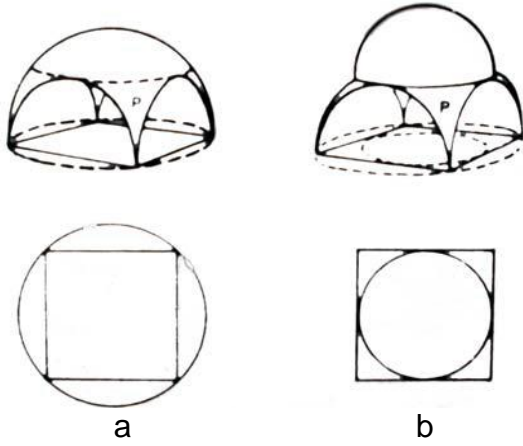
Tromp, "bir bina köşesine bindirmeli olarak örülen tonoz parçası; kare planlı kubbeli bir yapının duvarları arasındaki köşelerin üst bölümüne yapılan ve binanın üstünü sekiz kenarlı bir şekil haline koyarak kubbenin oturmasına elverişli bir kaide meydana getirmek üzere köşeleme örülen tonoz, tonoz bingi, köşe tonozu" (Hasol, 1988: 524) olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.6'da basit bir tromp örneği görülmektedir.



Şekil 2.6. Tromp örneği (Hasol, 1988: 524)

2.1.6. Pandantif (Küresel mesnet)

Pendantif, “bir kubbeyi taşıyan kemerler ile kubbe kaidesinin arasını kapatan ve kare bir plandan kubbenin dairesel kaidesine geçmeyi sağlayan küresel üçgen” (Hasol, 1988: 397) olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.7’de kare planlı ve dairesel planlı pendantif biçimleri verilmektedir.



Şekil 2.7. Kare planlı (a) ve dairesel planlı (b) pendantif biçimleri (Hasol, 1988: 398)

2.1.7. Türk üçgeni

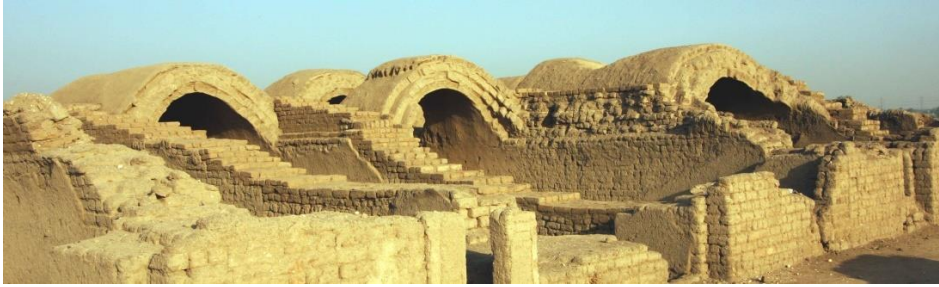
Türk üçgeni, kubbe kasağı kare yapıya oturtulurken kasnakla kare taban arasında kalan boşlukları doldurmak için kullanılan geçiş elemanıdır. Çokgen olan kasnağın kare taban köşesine isabet eden parçalarının her biri bir üçgenin taban kenarı olacak şekilde, üçgenin tepesi kare taban köşesine gelerek duvarların

örülmesiyle Türk üçgeni oluşmaktadır. Osmanlı mimarisinde Türk üçgeni dekoratif ve strüktürel amaçlar için kullanılmıştır (Bayraktar, 2006).

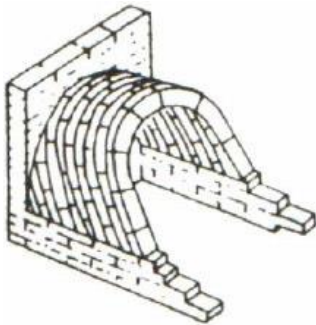
2.1.8. Tonoz

Tonoz, bir kemerin kendi düzleminde, dik doğrultusunda ötelenmesi sonucu meydana gelen; yükleri, kemerlerin yük taşıma prensibi ilkesine göre taşıyan, aynı zamanda da kabuk özelliği gösteren tek eğrilikli yapı elemanıdır (Ünay, 2002).

Tonozların ilk örnekleri, Mezopotamya ve Mısır'da, bir duvara eğri yaslanan birbirinden bağımsız kemerlerden oluşmuştur (Kuban, 1973: 36,37). Mısır'daki tonoz örnekleri Fotoğraf 2.4'de verilmektedir. Şekil 2.8'de ise ilk tonozlara örnek ilkel tonoz modeli görülmektedir.



Resim 2.4. M.Ö. 1300 yıllarında Mısır'da inşa edilmiş Ramasseum tonozları (<http://www.webcitation.org/6VYom4dtL>)

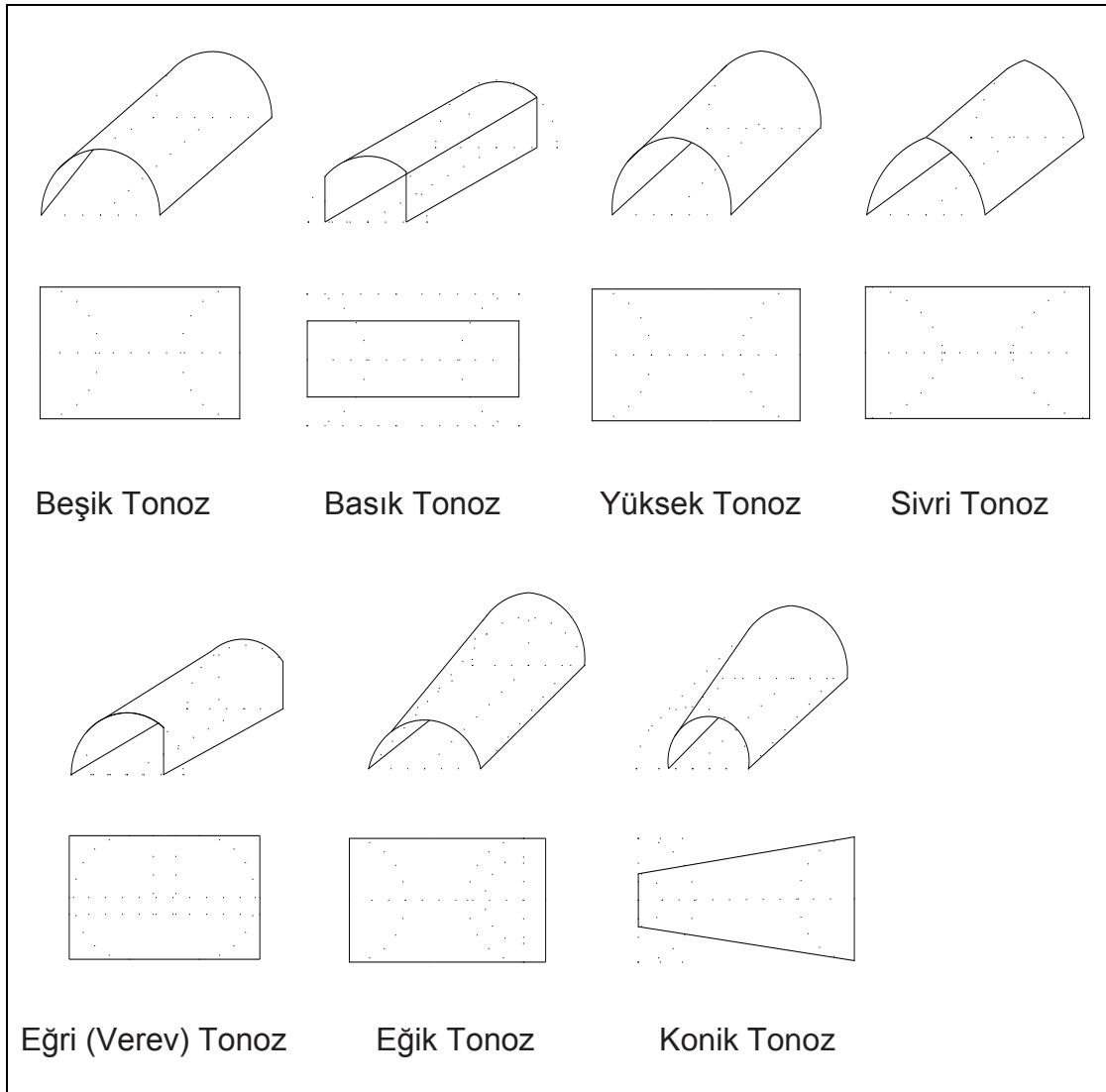


Şekil 2.8. İlkel bir tonoz örneği (Hasol, 1988: 518)

Tarihi yapılarda tonozlar, genellikle dikdörtgen planlı mekânların örtülmesinde kullanılmıştır. Tonozların mesnet noktalarında sürekli taşıyıcı elemanlara ihtiyaç

vardır. Bu nedenle mesnet noktalarında sürekli taşıyıcı duvarlar kullanılmıştır. (Sesigür ve diğ., 2007).

Tonozlarda basınç kuvvetlerinden dolayı basınç gerilmesi oluşur. Tonoz, üzerine gelen yükleri taşıırken kemerle aynı davranışı gösterir. Yanal yükler karşısında kemerlerde stabilite problemi ortaya çıkarken, birbirine yaslanarak örülen kemerlerden oluşan tonozda sürekli biçiminin getirdiği avantajla bu sorun ortadan kalkar. Tarihi yapıların kemer ve tonozlarında kemer/tonoz eksenine veya buna dik doğrultuda az veya çok derz açılması görülebilir (Ünay, 2002: 52,53). Şekil 2.9'da tonoz örnekleri verilmektedir.



Şekil 2.9. Çeşitli tonoz biçimleri (Hasol, 1988: 518)

2.2. Deprem Tarihî Yapılara Genel Etkisi

Modern toplumlar, tarihî yapıların medeniyet ve değişimin simgesi olması nedeniyle, kültürel mirasın sonsuza dek sürmesi ve nesilden nesle bozulmadan aktarılması gerektiğinin farkına varmışlardır. Yıpranmanın yapı ömrünü azaltan bir neden olması bu kültür hareketinin mühendislere olan ihtiyacın artmasına neden olmuştur. Uzun yıllar boyunca, tarihî yapıların restore edilebilir ve yeniden kullanılabilir hale getirilme fikri, hem sosyal hem de ekonomik anlamda ilgi çekici bir hal almıştır (Lourenço, 2004).

Zemin problemleri ve depremlerin tarihî yapıların ömürlerini etkileyen etmenlerin başında yer aldığı söylenebilir. Çevre şartları ve insanların neden olduğu hasarlar da tarihî yapıların ömürlerini etkilemektedir. Türkiye'deki tarihî yapıların büyük bölümü; depremler, zemin kaynaklı problemler, yangınlar ve çevresel faktörlerin oluşturduğu fiziksel ve kimyasal bozulmalar nedeniyle yıpranmışlardır. Ayrıca, taşıyıcı sistemdeki düzensizlik ve süreksizlikler nedeni ile pek çok tarihî yapıda çatlaklar oluşmuştur. Bu sebeple tarihî yapılarda kısmen veya tamamen yıkılma meydana gelmiştir (Yaldız, Yavuz, Yılmaz, 2011).

2.2.1. Yapıların depreme karşı dayanımı için temel ilkeler

Tarihî yapılar, kütle yükü, blok ve harçların çekme mukavemetinin az olması, doğrusal olmayan davranış özelliği göstermesi, homojen olmayan malzeme özellikleri ve sismik güvenlik açığının fazla olması gibi sebeplerle deprem güvenliği düşük olan yapılardır (Giordano, 2002).

Depreme dayanıklı yapı tasarımında deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmeliğe (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik - DBYYHY) uyulması kanunen zorunludur. Bu yönetmeliğe göre depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkeleri, düşük şiddetli depremlerde taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan yapı elemanlarının zarar görmemesi, orta şiddetli depremlerde yapının taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında oluşacak hasarın onarılabilir düzeyde olmasıdır. Şiddetli bir depremde ise asıl amaç can

kaybının önlenmesi olmalı, ayrıca yapının taşıyıcı sistemi hasar görse de yapıda kısmen veya tamamen yıkılma meydana gelmemelidir (DBYYHY, Tuna, 2000: 31).

Depreme dayanıklı yapı tasarımında dayanım koşulu, süneklik koşulu ve rijitlik olmak üzere üç temel koşulun sağlanması gerekmektedir. Dayanım koşulu; 'yapı elemanlarının çeşitli yük etkileri karşısında oluşan iç kuvvetlere karşı koyabilme yeteneğidir.' Süneklik koşulu, 'yapıların ve yapı elemanlarının taşıma kapasitesinde herhangi bir azalma olmadan büyük deformasyon yapabilme özelliğidir.' Rijitlik ise 'yapı elemanlarının yer değiştirme veya dönme şeklinde oluşan deformasyonlara karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir' (Ünay, 2002: 62-64).

2.2.2. Tarihi yapıların depreme karşı davranışı

Taş veya tuğla gibi süneklikleri az, gevrek malzemelerle yığma yapı tekniğine göre inşa edilmiş tarihi yapılar rijit yapılar olup genellikle karmaşık strüktürel biçime sahiptir. Bu nedenle yapının deprem sırasında göstereceği dinamik davranışın belirlenmesi ve anlaşılması zorlaşır. Gelişmiş bilgisayar programları sayesinde bu sorun ortadan kalkmaktadır (Ünay, 2002: 71).

Yığma yapılar rijit olduklarından dolayı periyotları kısa yapılardır. Yapıların dinamik özelliklerini yapının doğal titreşim periyodu ve sönüm oranı belirler. Yığma yapıların doğal titreşim periyotları genellikle küçük olup 0,05-0,20 saniye arasındadır. Yapı periyodu yapının geometrik boyutları ve dolu duvar oranı ile ilgilidir (Bayülke, 1992a, 50).

Yığma yapıların davranışında duvarı oluşturan blokların basınç dayanımı önemlidir. Çünkü bu blokların çekme dayanımı çok küçüktür. Bu nedenle deprem kuvvetleri karşısında duvarın düzlemi doğrultusunda ve düzlemine dik birim ağırlığına gelen eğilme dayanımı çok zayıftır (Arun, 2005).

Tarihi yığma yapıların taşıyıcı elemanları kâgir malzemeden yapılmıştır. Bu nedenle çekmeye karşı dayanıklı değildirler. Yığma yapıları oluşturan duvarların

tamamının taşıyıcı olmasından dolayı, duvarda meydana gelen herhangi bir hasar veya bozulma doğrudan taşıyıcı sistemi etkilemektedir. Duvarlar, depremin oluşturduğu yatay ötelenme ve zemin oturmaları sonucunda çatlarlar. Bunun nedeni, yığma yapıların zemin oturmalarıyla uyumlu olmadıkları için elastik davranış sergileyememeleridir (Çamlıbel, 2000a, 2000b, 12,1).

Yığma yapılarda yapı malzemesi olarak kullanılan elemanlar çeşitli sebeplerden dolayı doğrusal olmayan özelliklere sahiptirler. Bu elemanların şekil değiştirme ve gerilme özelliklerinin iyi bilinmesi önemlidir. Plastisite teorisine göre yapı malzemesinin yükleme karşısında verdiği ilk tepki elastik kabul edilmekte, daha sonra bu tepki sırasıyla yarı elastik, yarı plastik davranış göstererek en son plastik davranış aşamasına ulaşmaktadır (Ural, 2009). Yığma yapılarda plastik teoreme göre yığma yapılar çekme mukavemetine sahip değildir, basınç mukavemetine sahiptir ve kayma meydana gelmez (Heyman, 2003 ,93).

Tarihi yapılara etki eden asıl yük yapının kendi ağırlığıdır. Ayrıca yapılara etkileyen yükler yatay ve düşey yükler olarak sınıflandırılabilir. Bu yükler, yapının davranışıyla doğrudan ilgilidir. Düşey yükler, ölü yükler ve hareketli yüklerden oluşmaktadır. Ölü yükler yapının ömrü boyunca etki eden ve zamana bağlı olarak değişmeyen sabit yüklerdir. Hareketli yükler yapıya zaman zaman etkileyen ve yer değiştiren yüklerdir. Yığma yapıların düşey yüklere ve yatay deprem yüklerine dayanımı; duvar geometrisine, en kesit boyutlarına, kullanılan malzeme dayanımına, yığma blokların birleştirilme şekline bağlıdır (Arun, 2005).

Tarihi yığma yapıların orta şiddette bir depremde bile meydana gelen ağır hasarların en çok görüldüğü bölümleri, o yapının kemer, tonoz, kolon ve geniş cepheleri gibi yapı elemanlarıdır. Deprem riskleri üzerine gerçekçi bir öngöründe bulunabilmek için dinamiksel analizlerin uygulanması gerekir. Büyük tarihi yapılarda depremsel tepkimelerin analizi yapılırken doğrusal olmayan maddesel tepki ve yapı merkezine doğru gelen yer hareketinin neden olduğu sismik enerjinin yayılması ve aktarılmasıyla oluşan etkinin de dikkate alınması gerekir (Casolo, Sanjust, 2009).

2.3. Tarihi Yapıların Strüktürel Analizi

Tarihi yapıların analizi bu yapıların karmaşık geometrisi, sayısal verilerin eksikliği ve kullanılan yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinin belirlenememesi gibi sebeplerle çok zordur. Bu konuda kayda değer bilgiler ancak sayısal analizler yoluyla elde edilir. Tarihi yapıların güçlendirilmesinde ve bu yapılarda meydana gelen hasarların tespitinde sayısal analizlerin kullanılması çok önemlidir. Tarihi yapıların geometrisindeki karmaşıklık, kullanılan yapı malzemelerinin karakteristik özelliklerindeki farklılık, yapının inşa edildiği andan itibaren meydana gelen hareketlerin neden olduğu hasar konusundaki bilgi eksikliği, farklı yapı teknikleri ve yasal düzenlemelerdeki eksiklikler gibi birçok neden yapıların analizinin zor olduğunu göstermektedir. Bunlara ek olarak denetimdeki sınırlamalar, yüksek maliyet ve yapısal sistemdeki bilgi eksikliği de bu zorluğu artırmaktadır. Yığma yapıların modellenmesindeki büyük zorluklar nedeniyle son yıllarda çok sayıda sayısal model geliştirilmiştir. Bu modeller doğruluk seviyesinde, giriş verisinin miktarında, elde edilmesi gereken sonuçlarda, belirli bir hareket sırasında yapıda görülen etkilerde ve hesaplama zamanında birbirinden farklılık göstermektedirler (Smoljanović, Živaljić, Nikolić, 2013; Lourenço, Oliveira, Mourão, 2001).

Yapıların strüktürel analizi, genellikle yapı elemanı tasarımı için ve bu yapı elemanlarının çeşitli yük ve fiziksel dış etkiler altında karşı karşıya kaldığı gerilmeler hesaplanarak taşıma güçlerinin karşılaştırılması için yapılır (Ünay, 2002: 105).

Tarihi yapıların taşıyıcı sistemi genellikle çok karmaşık geometriye sahiptir. Tarihi yapıların analiz edilmesi bu yapıların karmaşık geometrisi ve özellikle yığma yapılarda farklı yapı malzemesi özellikleri nedeniyle oldukça zordur. Yapının bütün geometrik özelliklerinin bilinmemesi, taşıyıcı elemanların kesitleri hakkında yeterli bilgi sahibi olunamaması, yapıyı oluşturan malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinin zor ve pahalı olması, yapıdaki var olan hasarların ve geçirdiği onarımların bilinmemesi gibi birçok neden tarihi yapıların taşıyıcı sisteminin analizinin zor olduğunu göstermektedir (Lourenço, 2001).

Tarihi yapıların çeşitli dış etkilere ve yüklere karşı direnci, bu yapıların yapısal dayanım ve performansını belirler. Bu sebeple, tarihi yapıların yapısal dayanımını belirlerken yapılan analiz modelinin doğru hazırlanması ve yapıya etki eden yüklerin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Tarihi yapıların strüktürel performansını ve dayanımını belirlemek için sistemli bir çalışma yapılması ve bu çalışma kapsamında birtakım adımlara uyulması gerekmektedir. İlk adım olarak tarihi yapıların mevcut durumları dikkate alınarak taşıyıcı sistemlerinde meydana gelmiş olan deformasyon, çatlak, malzeme ve mesnetlerdeki bozulmalar belirlenmelidir. Daha sonraki adımlarda tarihi yapıların sayısal modellemesi ve yapısal analizi için ayrıntılı rölöveler hazırlanmalıdır. Rölöveler hazırlanırken yalnızca mimari detaylar değil taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları ve malzeme özellikleri de dikkate alınmalıdır. Tarihi yapıya etki eden yüklerin ve çevresel etkilerin değerleri doğru olarak hesaplanmalı ve analiz sırasında eksiksiz ve hatasız olarak uygulanmalıdır. Taşıyıcı sistem elemanlarının birleşim noktaları, birbirleriyle etkileşimi ve yük aktarma mekanizmalarının doğru olmasına dikkat edilmelidir. Bir tarihi yapının sayısal modeli söz konusu adımlar dikkate alınarak hazırlanmalıdır. Yapısal analiz, yapının durumunu ve strüktürel davranışını ortaya koyduğu için çevresel etkiler ve yapıya etki eden yükler de dikkate alınarak hesaplamalar yapılmalıdır. Hesaplamalar yapılırken öncelikle yapının kendi ağırlığı ve sabit yükler dikkate alınmalıdır (Can, Ünay, 2012).

Tarihi yapıların karmaşık geometrisi ve bu yapılarla ilgili birçok bilinmeyen olması sebebiyle, elde edilen analiz sonuçlarının yüzde yüz güvenli olması mümkün değildir. Ancak, bu bölümde ifade edilen bilgiler dikkate alınarak hazırlanan modellerin analiz sonuçları ile tarihi yapıların davranışı hakkında yorum yapılabilir.

2.3.1. Sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal modelleme

Tarihi yapıların yapısal analizlerinin en önemli aşaması sayısal modellemedir. Sayısal modelleme yöntemlerinden biri olan sonlu elemanlar yöntemi, genel olarak mühendislikteki sınır değer problemleri için yaklaşık sonuçlar elde etmeye yarayan bir sayısal hesaplama yöntemidir (Hutton, 2004,1). “Sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal modelleme, farklı malzemelerden üretilmiş ve değişken kesit geometrisine

sahip taşıyıcı sistem elemanlarının, mekaniğin temel kurallarına göre doğru ve uyumlu bir şekilde matematiksel terimlere dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir” (Can, Ünay, 2012). Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde, yapıların çeşitli yük ve çevre etkilerine göre şekil değiştirme, eğilme momenti, kesme kuvveti ve burulma momentleri hesaplanabilmektedir.

Tarihi yapıların strüktürel analizi için genellikle sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem ile yapıların üç boyutlu doğrusal ve doğrusal olmayan, statik ve dinamik analizleri, sayısal ve grafik ortamda elde edilebilmektedir (Giordano, 2002). Ayrıca, yöntem yapının tamamının, belli bir bölümünün veya strüktürel elemanların analiz edilmesi olanağı sağlamaktadır (Ünay, 2002: 36). Sayısal modelleme kurallarına dikkat edilmeden yapılan analizlerin sonuçlarında önemli hatalar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, tarihi yapıların sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan hesaplarında modelleme aşaması çok önemlidir (Lourenço, 2002). Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan sayısal analizlerde ilk aşama modelin tanımlanmasıdır. Çizelge 2.1’de bir modelin tanımlanması için gerekli olan adımlar verilmektedir (Hutton, 2004, 10).

Çizelge 2.1. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan sayısal analizlerde modelin tanımlanmasında kullanılan adımlar

Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapılan Sayısal Analizlerde Modelin Tanımlanması	
Adım 1	Geometrik yapının tanımlanması
Adım 2	Kullanılacak eleman türlerinin tanımlanması
Adım 3	Kullanılacak elemanların malzeme özelliklerinin tanımlanması
Adım 4	Kullanılacak elemanların geometrik özelliklerinin tanımlanması (uzunluk, alan vb.)
Adım 5	Kullanılacak elemanların bağlantılarının tanımlanması
Adım 6	Sınır koşullarının tanımlanması
Adım 7	Yüklemelerin tanımlanması

Günümüzde bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler sonucunda çeşitli yapısal analiz programlarının geliştirilmesi, özellikle karmaşık geometriye sahip tarihi yapıların yapısal analizlerine olan ilgiyi artırmıştır. Dünyada yaygın olarak

kullanılan yapısal analiz programlarından biri SAP2000 (Structural Analysis Program) dir (SAP2000).

2.3.2. SAP2000 programı ile sayısal modelleme

Tarihi yapıların strüktürel analizi için bu yapıların geçmişinin araştırılması çok önemlidir. Doğru analiz sonuçlarına ulaşmak için, yapının ömrü boyunca hangi yükler etkisinde kaldığının ve maruz kaldığı depremlerin yapıda bıraktığı hasarların araştırılması gerekir. Sayısal modellemenin amacı, yapının tamamının, belli bir bölümünün veya yapı elemanlarının çeşitli yükler ve fiziksel etkiler altında gerçek davranışının tahminini sağlamaktır (Ünay, 2002: 105). Bu amaca ulaşmak için kullanılan yapısal analiz programlarından biri de Bölüm 2.1’de ifade edildiği gibi SAP2000 yapısal analiz programıdır. Programın genel özellikleri, Çizelge 2.2’de verilmektedir (SAP2000, 2000: 2).

Çizelge 2.2. SAP2000 yapısal analiz programının genel özellikleri

SAP2000 Yapısal Analiz Programının Genel Özellikleri	
1	Statik ve dinamik analiz
2	Doğrusal ve doğrusal olmayan analiz
3	Dinamik sismik analiz ve statik itme analizi
4	Köprü üzerindeki hareketli araçlı yük analizi
5	P-delta analizi
6	Kiriş-kolon, bağ, zar ve plaka davranışını içeren çerçeve ve hücre elemanlar
7	İki-üç boyutlu ve aksi-simetrik katı elemanlar
8	Doğrusal olmayan bağlantı ve esnek elemanlar
9	Çoklu koordinat sistemler
10	Birçok baskı türleri
11	Geniş yükleme çeşitliliği
12	Alpha sayısal etiketler
13	Geniş kapasite
14	Yüksek etkili ve dengeli çözüm algoritmaları

Çizelge 2.2’de SAP2000 programına ilişkin verilen tüm özellikler, yapısal analiz programları arasında SAP2000 programının kullanımını tercih sebebi haline getirmektedir. SAP2000 programı kullanılarak yapılan yapısal analizlerde dikkat edilmesi gereken aşamalar vardır. Öncelikle yapının analiz parametrelerini,

yüklemesini, özelliklerini ve geometrisini sayısal olarak tanımlayan bir model oluşturulmalıdır. Daha sonra, bu modelin analizi yapılmalı, analiz sonuçlarının gözden geçirilmeli ve yapı tasarımı kontrol edilmelidir (SAP2000, 2000: 2).

Tarihi yapıların sayısal modeli oluşturulurken yapı elemanların bireysel davranışı önemlidir. Kusursuz bir model oluşturmak için malzeme davranışı ve elemanların bireysel davranışının belirlenmesi gerekir. Ayrıca tarihi yapılar karmaşık bir geometriye sahip oldukları için analiz yaparken sadeleştirme yapılması zorunludur. En basit modelin, en uygun sonuç veren model olduğu söylenebilir. Amaç dışındaki ayrıntılar gereksiz olup ihmal edilmelidir. Ancak sayısal modellerin sadeleştirilmesi sürecinde bazı önemli noktalar da gözden kaçırılmamalıdır. Örneğin, büyük gerilme ve deformasyon beklenen bölgelerde sonlu elemanlar hassas bir şekilde hazırlanmalıdır. Üst yapı ile temelin zemin koşulları da modellemede dikkate alınmalıdır. Uygun mesnet ve sınır koşulları belirlenmelidir. Çubuk elemanların kesit özellikleri, plak ve kabuk elemanların kalınlıkları ve kritik strüktür detayları doğru modellenmelidir. Elemanların malzeme özellikleri, yüklerin uygulama noktaları ve plak ile kabuk elemanlarına uygulanacak yükler doğru tanımlanmalıdır (Ünay, 2002: 118).

Hazırlanan yapısal modelin doğruluğu belirlenirken elemanların ve mafsalların hangi konumda olduğunu tespit etmek önemlidir. Yapı elemanlarını ve mafsalları tanımlarken, elemanların sayısı yapı geometrisini tanımlamak için yeterli olmalıdır. Eleman sınırları dolayısıyla mafsallar; noktalar, çizgiler ve süreksiz yüzeylerde konumlandırılmış olmalıdır. Büyük gerilmelerin olduğu bölgelerde, yani gerilmelerin ani değiştiği noktalarda, yapı elemanları daha küçük elemanlar kullanılarak düzenlenmelidir. Bilindiği gibi, yapıya etki eden yükler elemanlar tarafından desteklense bile her zaman mafsallarda toplanır. Bu sebeple, dinamik davranışların önemli olduğu herhangi bir mesafenin uzunluğunu modellemek için birden fazla eleman kullanılmış olmalıdır (SAP2000, 2000: 77,78).

3. FARKLI TONOZ GEOMETRİK BİÇİMLERİ ÜZERİNDE ANALİZLER

Bu bölümde tonozların genel özelliklerini yansıtan bir tonoz modeli incelenmiştir. İncelenen model beşik tonoz biçimindedir. Bu tonoz modelinin açıklığı sabit tutulmak şartı ile farklı yüksekliklerde oluşan tonoz geometrik biçimleri üzerinde analizler yapılmıştır. Tonozların analizi yapılırken açıklık (L) / yükseklik (H) oranı sırasıyla 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0; 2,5 ve 3,0 seçilmiştir. Ayrıca analizlerde tonozların mesnetleri; “her iki mesnedin sabit olması”, “bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması” ve “her iki mesnedin de ankastre olması” şeklinde üç farklı duruma göre modelleme yapılarak hesaplar gerçekleştirilmiştir.

Tarihi yapıların geometrik biçimleri ve kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri, yapısal davranışları ve dayanımlarıyla doğrudan ilgilidir. Kemer ve tonoz biçimi yığma yapılarda hem yapım tekniğinin sağladığı avantajlar nedeniyle hem de estetik görünüm bakımından yaygın olarak kullanılmaktadır. Büyük açıklıkları geçmek için oldukça uygun olan bu biçim, geometrisinden dolayı genellikle basınç kuvvetlerinin etkisinde kalır. Bu nedenle taş ve tuğla gibi yapı malzemeleri bu biçimlerin temel yapı malzemeleri olmuşlardır. Taş, tuğla ve harçtan oluşan yapı elemanları çok farklı fiziksel ve mekanik özellikler göstermektedir. Benzer dış görünüme sahip ve aynı tür malzemeden inşa edilmiş yapı elemanlarının kendi ağırlığı veya aynı yükler altında göstermiş olduğu davranış farklılık gösterebilir. Bu davranış farklılığı kullanılan malzemeden ve/veya yapı elemanlarının geometrik boyutlarının farklılığından kaynaklanmaktadır.

Tonozların yapısal davranışı kemer davranışına benzemektedir. Tonozlar mesnetlerinde sürekli bir taşıyıcı elemana ihtiyaç duyarlar. İdeal bir tonoz geometrisi kendi ağırlığı altında sarkıtılmış bir zincirin veya kablonun ters çevrilmesiyle oluşan biçim şeklindedir. Bu şekildeki bir tonozun davranışı basınca çalışarak kendisine etki eden yükleri tepe noktasından mesnetlere basınç kuvvetleriyle iletir. Tarihi yığma yapılarda tonozlar ağırlıklarıyla bu yüklerle karşı durabilmekte, ayrıca mesnet bölgelerinde bu kuvvetleri karşılayabilecek kalın taş duvarlar bulunmaktadır.

Tonoz gibi tarihi yapı örtü elemanlarında oluşacak çekme gerilmeleri, tonozların yük taşıma prensiplerinden dolayı istenmeyen gerilmelerdir. Çekme gerilmelerinin olduğu bölgeler yapısal dayanım açısından zayıf bölgelerdir. Yapıya etki eden herhangi bir kuvvet durumunda yapı öncelikle bu bölgeden hasar görür ve bazı durumlarda bu hasar yapının yıkılmasına da neden olabilir.

Bu bölümde yapılan analizlerde, farklı tonoz geometrileri üzerinde açıklık ve yükseklik gibi geometrik boyutların bir tonozun kendi ağırlığı altında yapısal davranışını nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu analizlerde, tonozların geometrik boyutlarındaki değişikliğin tonoz kesiti içinde meydana gelen aksenal kuvvetler ve eğilme momentleri yardımıyla basınç ve çekme gerilmeleri değerleri incelenmiştir. Bu değerlerin tonoz geometrisiyle nasıl bir ilişki içinde değiştiği tespit edilmiştir.

Tonozların analizi yapılmadan önce SAP2000 bilgisayar programı kullanılarak tonozların on adet üç boyutlu modeli hazırlanmıştır. Bu modeller hazırlanırken tonoz açıklıkları (L) sabit tutularak yükseklik (H) değerleri değiştirilmiştir. Çizelge 3.1'de, söz konusu modellere ilişkin açıklık ve yükseklik değerleri metre (m) cinsinden verilmektedir. Değerler değiştirilerek oluşturulan modellerde farklı sivrilik ve basıklığa sahip tonoz biçimleri elde edilmiştir. Böylece ideal tonoz davranışına en yakın tonoz geometrik şeklinin L/H oranının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 3.1. Tonoz modellemesinde kullanılan açıklık ve yükseklik değerleri

Model No	L (Açıklık) (m)	H (Yükseklik) (m)	L/H
Model 1	10	8,33	1,2
Model 2	10	7,69	1,3
Model 3	10	7,14	1,4
Model 4	10	6,67	1,5
Model 5	10	6,25	1,6
Model 6	10	5,88	1,7
Model 7	10	5,56	1,8
Model 8	10	5	2,0
Model 9	10	4	2,5
Model 10	10	3,33	3,0

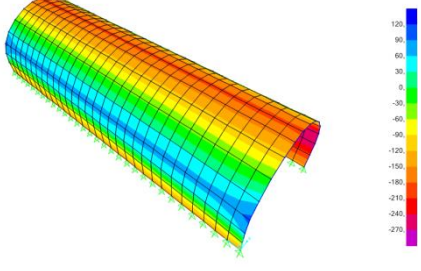
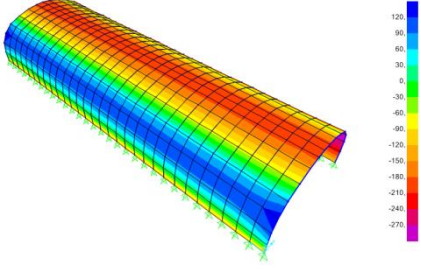
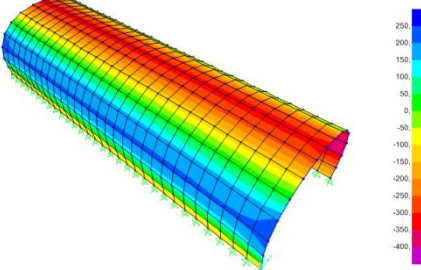
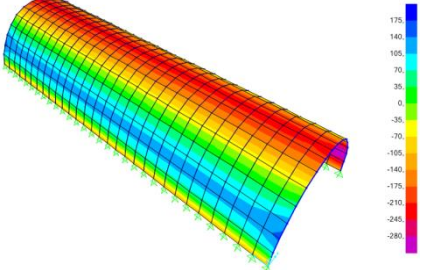
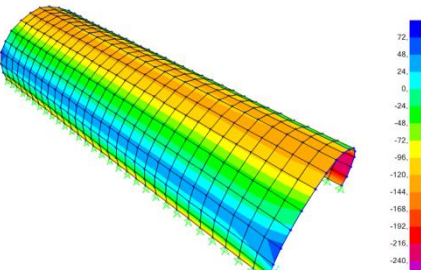
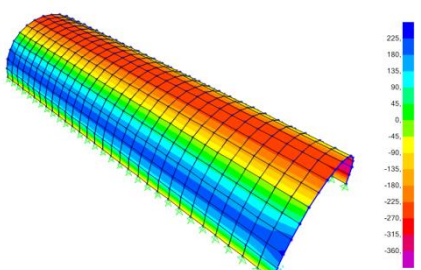
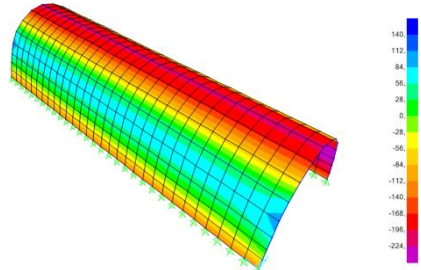
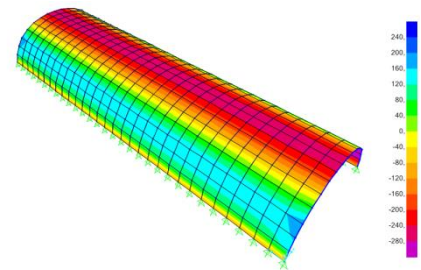
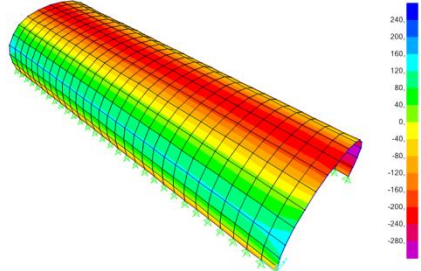
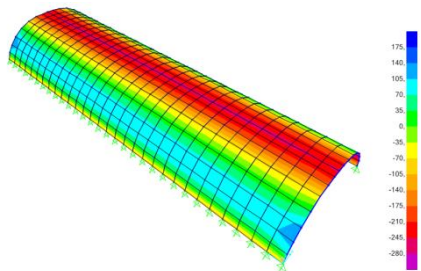
Çizelge 3.1’de de ifade edildiği gibi, hazırlanan tüm modellerde tonozun açıklık değeri 10 m olarak sabit tutulmuştur. Model 1’de tanımlanan tonoz geometrisinin yükseklik değeri 8,33 m alınarak L/H oranı 1,2 olarak belirlenmiştir. Daha sonra her model için Model 1’de alınan yükseklik değeri azaltılarak farklı L/H oranlarına sahip tonoz geometrileri elde edilmiştir (Bkz. Çizelge 3.1). Bu bağlamda, Model 2’de yükseklik değeri 7,69 m alınarak L/H oranı 1,3 olarak; Model 3’de yükseklik değeri 7,14 m alınarak L/H oranı 1,4; Model 4’te yükseklik değeri 6,67 m alınarak L/H oranı 1,5; Model 5’te yükseklik değeri 6,25 m alınarak L/H oranı 1,6; Model 6’da yükseklik değeri 5,88 m alınarak L/H oranı 1,7; Model 7’de yükseklik değeri 5,56 m alınarak L/H oranı 1,8; Model 8’de yükseklik değeri 5 m alınarak L/H oranı 2; Model 9’da yükseklik değeri 4 m alınarak L/H oranı 2,5 ve son olarak Model 10’da yükseklik değeri 3,33 m alınarak L/H oranı 3 olarak belirlenmiştir. Bu hesaplamalardan da anlaşıldığı gibi açıklığı sabit tutulup yükseklik değerleri azaltılarak elde edilen tonoz modellerinin L/H oranlarının arttığı görülmektedir. Bu durumda tonozların sivriliği azalıp basıklığı arttıkça L/H oranının arttığı söylenebilir.

Çizelge 3.1’de ifade edilen tonoz modellerinin mesnetleri, “iki mesnedin sabit olması”, “bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması” ve “iki mesnedin ankastre olması” şeklinde üç farklı duruma göre analiz edilmiştir. Söz konusu analizler SAP2000 programının sonlu elemanlar yöntemiyle yapılmıştır.

3.1. İki Mesnedin Sabit Olması Durumunda Yapılan Analizler

Çizelge 3.2’de iki mesnedin sabit olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmelerin renk konturlarıyla gösterimi verilmektedir. Çizelgeye göre tonozlar eğri yüzeylerinde kiriş gibi davranarak üst kısımlarında basınç gerilmeleri, iç kısımlarında ise çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Tonozlarda meydana gelen gerilmeler incelendiğinde tonoz modelinin simetrik bir davranış sergilediği görülmektedir. İki mesnedin sabit olmasından dolayı tonoz ince bir duvar üzerine oturmuş gibi davranmaktadır. Tüm L/H oranları dikkate alındığında tonoz kesiti içinde herhangi bir birleşim noktasında veya bölgede oluşan gerilmelerde yoğunlaşma görülmemektedir. Mesnet tepkimelerinden dolayı mesnet bölgelerinde dışarı doğru açılma görülmektedir.

Çizelge 3.2. İki mesnedin sabit olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmelerin renk konturlarıyla gösterimi

Model No (L/H)	Her iki mesnedin sabit olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmeler	Model No (L/H)	Her iki mesnedin sabit olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmeler
Model 1 (1,2)		Model 6 (1,7)	
Model 2 (1,3)		Model 7 (1,8)	
Model 3 (1,4)		Model 8 (2,0)	
Model 4 (1,5)		Model 9 (2,5)	
Model 5 (1,6)		Model 10 (3,0)	

Çizelge 3.3'te tonozların bölgelerine göre oluşan maksimum basınç ve çekme değerleri verilmektedir. Tonozun basıklığı arttıkça tonozun tepe noktasında meydana gelen maksimum basınç değerinin her zaman olmasa da genel olarak arttığı görülmektedir. Mesnet bölgesinde oluşan maksimum basınç değerinin tonoz yüksekliği azaldıkça düştüğü görülmektedir. Tonoz eğrisinin orta noktasında meydana gelen maksimum çekme değerinin ise tonoz yüksekliğine göre rasyonel olarak değiştiği görülmektedir. Çekme gerilmesi değerinin 35,26 kN/m² ve L/H oranı 1,4 olan Model 3 ideal tonoz davranışı sergilemektedir. Diğer oranlarda tonoz eğrisinin orta bölgelerinde daha büyük çekme gerilmeleri oluşmaktadır. 1,3 L/H oranına sahip Model 2'de tonoz eğrisinin orta bölgesinde çekme gerilmelerinde yığılma görülmektedir. Bu durum, istenilmeyen bir davranıştır. Tonozun bu bölgelerinde dışarıya doğru bir açılma görülmekte ve tonoz en büyük hasarı bu bölgelerden almaktadır.

Çizelge 3.3. Tonoz modellerinde meydana gelen maksimum basınç ve çekme değerleri

Model No	Tonozun tepe noktasında oluşan maksimum basınç değeri (kN/m ²)	Tonozun eğri yüzeyinin orta noktasında oluşan maksimum çekme gerilmesi (kN/m ²)	Tonozun mesnet bölgesinde oluşan maksimum basınç değeri (kN/m ²)
Model 1	186,91	71,67	141,23
Model 2	313,44	206,09	134,80
Model 3	117,70	35,26	126,82
Model 4	204,58	73,04	124,18
Model 5	232,15	125,50	116,81
Model 6	196,67	112,54	112,03
Model 7	218,91	118,49	106,68
Model 8	269,35	196,55	97,88
Model 9	260,49	154,31	90,57
Model 10	253,28	98,66	91,63

Çizelge 3.4'te iki mesnedin sabit olması durumunda tonozda meydana gelen düşey yer değiştirme, basınç ve çekme değerleri grafik olarak ifade edilmektedir. Çizelgedeki Uz değerleri farklı L/H oranına sahip 10 tonoz modelinin kendi ağırlığı

altında yapılan analizi sonucu meydana gelen düşey yer değiştirmeyi belirtmektedir. Söz konusu Uz değerleri milimetre (mm) cinsinden verilmiştir. Elde edilen değerlerden de anlaşılacağı gibi en az düşey yer değiştirme $Uz=1,3$ mm değeri ile L/H oranı 1,4 olan Model 3'te gerçekleşmiştir.

Tonozun tepe noktasında oluşan basınç gerilmeleriyle düşey yer değiştirme arasında doğru orantı olduğu söylenebilir. Tepe noktasında en büyük basınç gerilmesinin oluştuğu Model 2'de düşey yer değiştirme değeri $Uz=3,3$ mm'dir. Tüm tonoz modelleri arasında maksimum düşey yer değiştirmenin Model 2'de oluştuğu görülmektedir. Tonozun sivriliği ve basıklığı ile düşey yer değiştirme arasında doğrusal bir değişim söz konusu değildir. İki mesnedin sabit olmasından dolayı tonozun tepe noktasının her iki yanında simetrik bir yer değiştirme oluşmuştur.

Çizelge 3.4. İki mesnedin sabit olması durumunda tonozda meydana gelen düşey yer değiştirme, basınç ve çekme değerlerinin grafiksel gösterimi

Model No (L/H)	Düşey yer değiştirme	İki mesnedin sabit olması durumunda tonozda meydana gelen basınç ve çekme değerleri	
Model 1 (1,2)	$Uz=1,9$ mm		
Model 2 (1,3)	$Uz=3,3$ mm		
Model 3 (1,4)	$Uz=1,3$ mm		

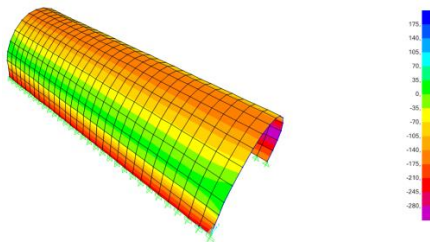
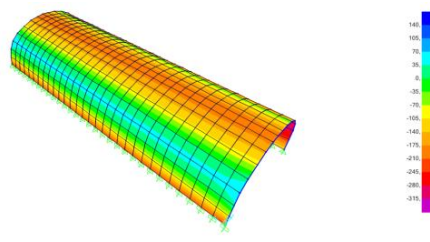
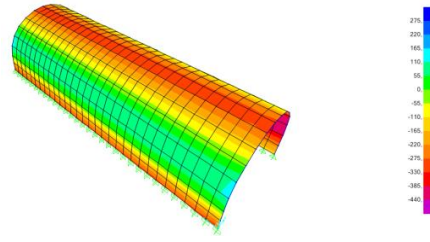
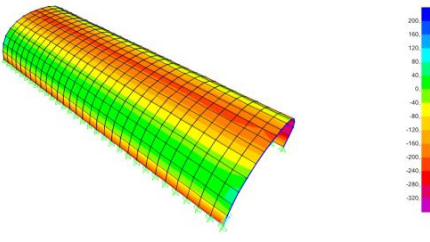
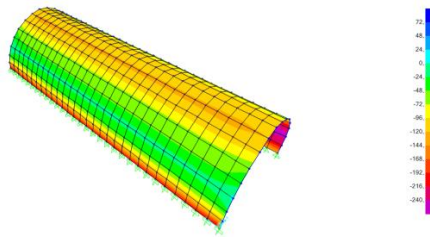
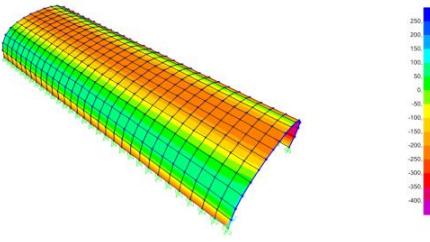
Çizelge 3.4. (devam) İki mesnedin sabit olması durumunda tonozda meydana gelen düşey yer değiştirme, basınç ve çekme değerlerinin grafiksel gösterimi

Model No (L/H)	Düşey yer değiştirme	İki mesnedin sabit olması durumunda tonozda meydana gelen basınç ve çekme değerleri	
Model 4 (1,5)	Uz=1,7mm		
Model 5 (1,6)	Uz=2,0mm		
Model 6 (1,7)	Uz=1,7mm		
Model 7 (1,8)	Uz=1,8mm		
Model 8 (2,0)	Uz=2,3mm		
Model 9 (2,5)	Uz=2,0mm		
Model 10 (3,0)	Uz=1,6mm		

3.2. Bir Mesnedin Ankastre, Bir Mesnedin Sabit Olması Durumunda Yapılan Analizler

Çizelge 3.5'te bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmelerin renk konturlarıyla gösterimi verilmektedir. Çizelgeye göre iki mesnedin sabit olduğu modellerden farklı olarak tonozun kendi ağırlığında oluşan basınç ve çekme gerilmeleri simetrik değildir. Bu durum iki mesnedin birbirinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Sabit mesnet bölgesinde sağ yönde yer değiştirme meydana gelmektedir. Ayrıca mesnet bölgelerinde oluşan basınç gerilmeleri dikkate alındığında, ankastre mesnet bölgesinde oluşan basınç gerilmelerinin, sabit mesnet bölgesinde oluşan basınç gerilmelerinden daha büyük olduğu söylenebilir.

Çizelge 3.5. Bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmelerin renk konturlarıyla gösterimi

Model No (L/H)	Bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmeleri	Model No (L/H)	Bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmeleri
Model 1 (1,2)		Model 6 (1,7)	
Model 2 (1,3)		Model 7 (1,8)	
Model 3 (1,4)		Model 8 (2,0)	

Çizelge 3.5. (devam) Bir mesnedin ankastre bir mesnedin sabit olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmelerin renk konturlarıyla gösterimi

Model No (L/H)	Bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmeleri	Model No (L/H)	Bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmeleri
Model 4 (1,5)		Model 9 (2,5)	
Model 5 (1,6)		Model 10 (3,0)	

Çizelge 3.6'da tonoz modellerinde meydana gelen maksimum basınç ve çekme değerleri verilmiştir. Tonozun tepe noktasında oluşan basınç gerilmesi doğrusal bir değişim göstermemiştir. Ancak tonozun basıklığı arttıkça tepe noktasındaki basınç değerinde bir artış meydana geldiği söylenebilir. Mesnet bölgelerinde oluşan basınç gerilmeleri de birbirinden farklılık göstermektedir. Ankastre mesnet bölgesinde mesnet zorlamalarından dolayı daha büyük basınç gerilmeleri oluşmaktadır. Sabit mesnet bölgesinde ise ankastre mesnet bölgesine göre daha düşük basınç gerilmeleri meydana gelmektedir. Tonozun eğri yüzeyinde ise farklı mesnetlere oturduğu için simetrik olmayan bir davranış söz konusudur. Ankastre mesnede oturan eğri yüzeyde daha düşük çekme gerilmeleri oluşurken sabit mesnede oturan yüzeyde daha büyük çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Bu durum, sabit mesnedin daha zayıf bağlantı ve ince bir duvar gibi davranması, ankastre mesnedin ise daha güçlü bir bağlantı ve kalın bir duvar gibi davranmasından kaynaklanmaktadır. L/H oranının 1,4 olduğu Model 3'te tonozun eğri yüzeyinde çekme gerilmesi oluşmamakta böylece ideal bir tonoz davranışı sergilenmektedir.

Çizelge 3.6. Tonoz modellerinde meydana gelen maksimum basınç ve çekme değerleri

Model No	Tonozun tepe noktasında oluşan maksimum basınç değeri (kN/m ²)	Tonozun eğri yüzeyinin orta noktasında oluşan maksimum çekme gerilmesi (kN/m ²)		Tonozun mesnet bölgesinde oluşan maksimum basınç değeri (kN/m ²)	
		Ankastre mesnet	Sabit mesnet	Ankastre mesnet	Sabit mesnet
Model 1	172,09	12,21	92,43	234,09	142,21
Model 2	288,78	96,79	246,49	298,58	136,29
Model 3	104,86	-	51,92	206,48	126,87
Model 4	191,55	23,82	96,43	214,56	125,12
Model 5	214,93	41,46	152,44	242,59	117,97
Model 6	181,51	48,99	139,70	222,33	113,08
Model 7	202,50	29,82	141,35	230,64	107,76
Model 8	249,99	77,12	228,46	261,66	99,10
Model 9	246,99	81,19	188,91	225,18	91,63
Model 10	245,30	33,39	114,85	188,30	92,66

Çizelge 3.7’de bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması durumunda tonozda meydana gelendüsey yer değiştirme, basınç ve çekme değerleri grafiksel olarak ifade edilmektedir. Çizelgedeki Uz değerleri farklı L/H oranına sahip 10 tonoz modelinin kendi ağırlığı altında yapılan analizi sonucu meydana gelen düşey yer değiştirmeyi belirtmektedir. Elde edilen değerlerden de anlaşılacağı gibi en az düşey yer değiştirme $U_z=1,2$ mm değeri ile L/H oranı 1,4 olan Model 3’de gerçekleşmiştir. Tonozun tepe noktasında oluşan basınç gerilmeleriyle düşey yer değiştirme arasında doğru orantı olduğu söylenebilir. Tepe noktasında en büyük basınç gerilmesinin olduğu Model 2’de düşey yer değiştirme değeri $U_z=3,0$ mm’dir. Maksimum düşey yer değiştirme Model 2’de gerçekleşmiştir. Tonozun sivriği ve basıklığı ile düşey yer değiştirme arasında doğrusal bir değişim sözü konusu değildir. Bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olmasından dolayı tonozun tepe noktasının her iki yanında simetrik bir yer değiştirme oluşmamıştır. Sabit mesnet bölgesinde sağ yönde bir yer değiştirme meydana gelmektedir.

Çizelge 3.7. Bir mesnedin ankastre bir mesnedin sabit olması durumunda tonozda meydana gelen düşey yer değiştirme, basınç ve çekme değerlerinin grafiksel gösterimi

Model No (L/H)	Düşey yer değiştirme	Bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması durumunda tonozda meydana gelen basınç ve çekme değerleri		
Model 1 (1,2)	Uz=1.7mm			
Model 2 (1,3)	Uz=3.0mm			
Model 3 (1,4)	Uz=1.2mm			
Model 4 (1,5)	Uz=1.6mm			
Model 5 (1,6)	Uz=1.8mm			
Model 6 (1,7)	Uz=1.6mm			

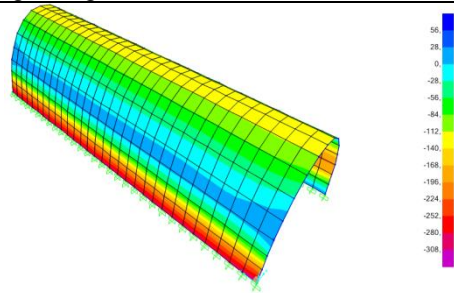
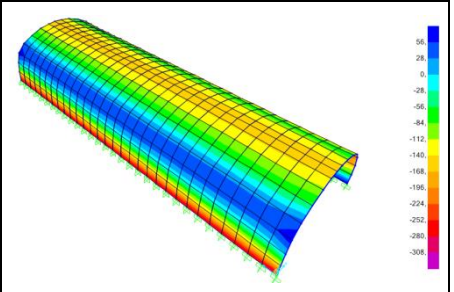
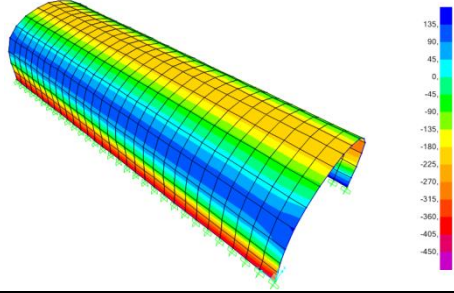
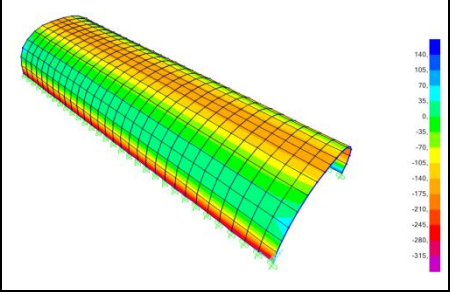
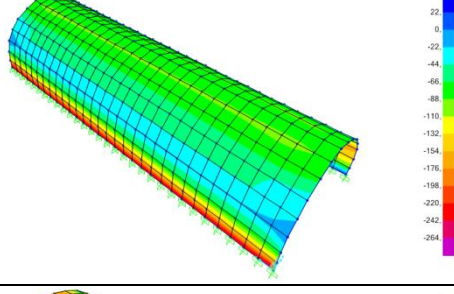
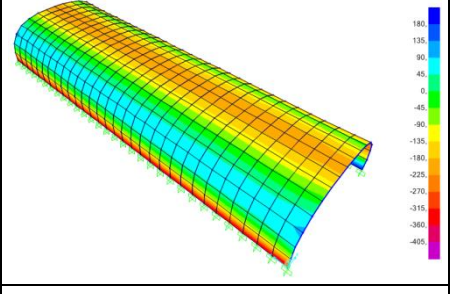
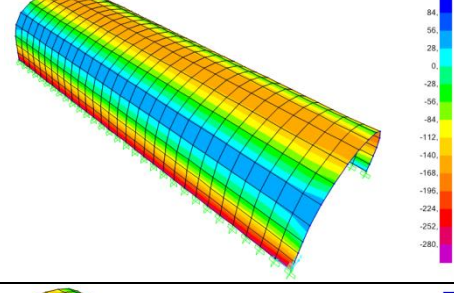
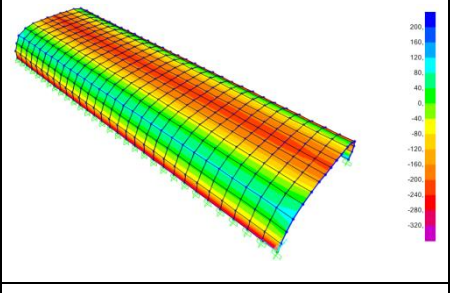
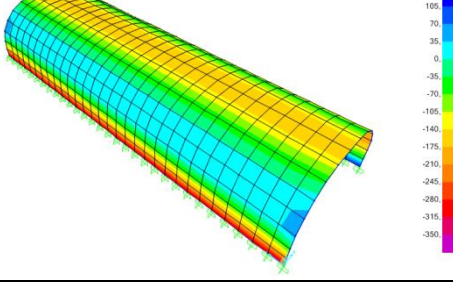
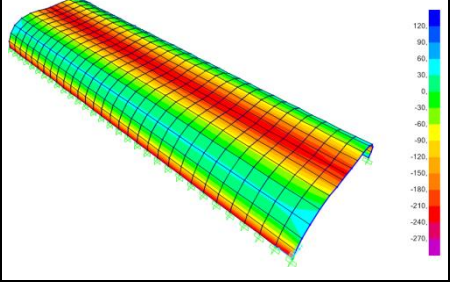
Çizelge 3.7. (devam) Bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması durumunda tonozda meydana gelen düşey yer değiştirme, basınç ve çekme değerlerinin grafiksel gösterimi

Model No (L/H)	Düşey yer değiştirme	Bir mesnedin ankastre, bir mesnedin sabit olması durumunda tonozda meydana gelen basınç ve çekme değerleri		
Model 7 (1,8)	Uz=1.6mm			
Model 8 (2,0)	Uz=2.1mm			
Model 9 (2,5)	Uz=1.8mm			
Model 10 (3,0)	Uz=1.5mm			

3.3. İki Mesnedin Ankastre Olması Durumunda Yapılan Analizler

Çizelge 3.8'de iki mesnedin ankastre olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmelerin renk konturlarıyla gösterimi verilmektedir. Çizelgeye göre iki mesnedin ankastre olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmeler incelendiğinde tonoz modelinin simetrik bir davranış sergilediği görülmektedir. İki mesnedin ankastre mesnet olmasından dolayı tonoz kalın bir duvar üzerine oturmuş gibi davranmaktadır. Tüm L/H oranları dikkate alındığında tonoz kesiti içinde herhangi bir birleşim noktasında veya bölgede oluşan gerilmelerde yoğunlaşma görülmemektedir. Yük mesnetlere düzgün bir şekilde aktarılmaktadır. Mesnet tepkimelerinden dolayı mesnet bölgelerinde dışarı doğru açılma görülmektedir. Bu açılma her iki mesnedin sabit olma durumuna göre daha azdır.

Çizelge 3.8. Her iki mesnedin ankastre olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmelerin renk konturlarıyla gösterimi

Model No (L/H)	Her iki mesnedin ankastre olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmeler	Model No (L/H)	Her iki mesnedin ankastre olması durumunda tonozlarda meydana gelen gerilmeler
Model 1 (1,2)		Model 6 (1,7)	
Model 2 (1,3)		Model 7 (1,8)	
Model 3 (1,4)		Model 8 (2,0)	
Model 4 (1,5)		Model 9 (2,5)	
Model 5 (1,6)		Model 10 (3,0)	

Çizelge 3.9'da tonozların bölgelerine göre oluşan maksimum basınç ve çekme değerleri verilmektedir. Tonozun basıklığı arttıkça tonozun tepe noktasında

meydana gelen maksimum basınç değerinin her zaman olmasa da genel olarak arttığı görülmektedir.

Tonoz eğrisinin orta noktasında meydana gelen maksimum çekme değerinin ise tonoz yüksekliğine göre rasyonel olarak değiştiği görülmektedir. Tonozun eğri yüzeyinin orta bölgelerinde oluşan çekme gerilmelerinin değeri, tonozun başlangıç ve bitiş noktalarında artış göstermektedir. Çekme gerilmesi değerinin oluşmadığı, L/H oranı 1,4 olan Model 3 ideal tonoz davranışı sergilemektedir. Diğer oranlarda tonoz eğrisinin orta bölgelerinde daha büyük çekme gerilmeleri oluşmaktadır. 1,3 L/H oranına sahip Model 2'de, tonoz eğrisinin orta bölgesinde çekme gerilmelerinde yığılma görülmektedir. Bu durum, istenilmeyen bir davranıştır. Tonozun bu bölgelerinde dışarıya doğru bir açılma görülmekte ve tonoz en büyük hasarı bu bölgelerden almaktadır.

Çizelge 3.9. Tonoz modellerinde meydana gelen maksimum basınç ve çekme değerleri

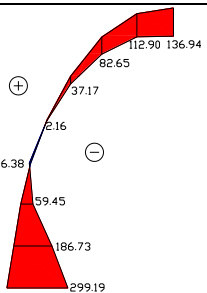
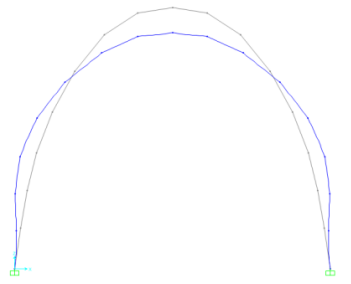
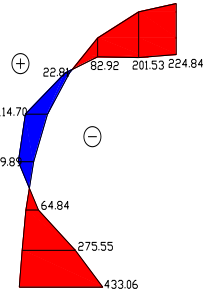
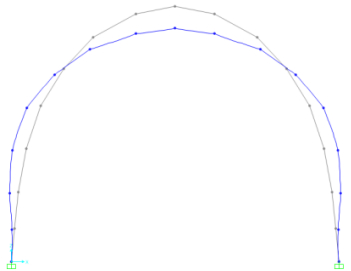
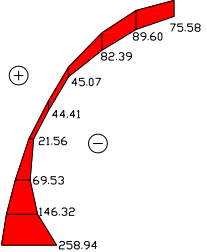
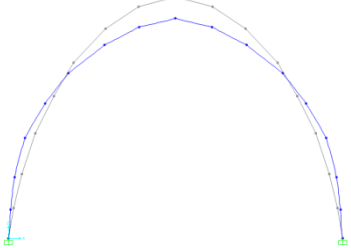
Model No	Tonozun tepe noktasında oluşan maksimum basınç değeri (kN/m ²)	Tonozun eğri yüzeyinin orta noktasında oluşan maksimum çekme gerilmesi (kN/m ²)	Tonozun mesnet bölgesinde oluşan maksimum basınç değeri (kN/m ²)
Model 1	136,94	6,38	299,19
Model 2	224,84	114,70	433,06
Model 3	75,58	-	258,94
Model 4	160,34	32,51	278,80
Model 5	172,69	26,99	335,31
Model 6	145,18	50,75	300,36
Model 7	163,95	27,57	319,83
Model 8	200,19	75,73	391,33
Model 9	212,83	86,54	328,82
Model 10	226,07	34,74	257,12

Çizelge 3.10'da her iki mesnedin ankastre olması durumunda tonozda meydana gelen düşey yer değiştirme, basınç ve çekme değerleri grafiksel olarak ifade edilmektedir. Çizelgedeki Uz değerleri farklı L/H oranına sahip 10 tonoz modelinin

kendi ağırlığı altında yapılan analizi sonucu meydana gelen düşey yer değiştirmeyi belirtmektedir. Elde edilen değerlerden de anlaşılacağı gibi en az düşey yer değiştirme $U_z=0,9$ mm değeri ile L/H oranı 1,4 olan Model 3'te gerçekleşmiştir.

Tonozun tepe noktasında oluşan basınç gerilmeleriyle düşey yer değiştirme arasında doğru orantı olduğu söylenebilir. Tepe noktasında en büyük basınç gerilmesinin olduğu Model 2'de düşey yer değiştirme değeri $U_z=2,2$ mm'dir. Tüm tonoz modelleri arasında maksimum düşey yer değiştirmenin Model 2'de olduğu görülmektedir. Tonozun sivriliği ve basıklığı ile düşey yer değiştirme arasında doğrusal bir değişim söz konusu değildir. İki mesnedin ankastre mesnet olmasından dolayı tonozun tepe noktasının her iki yanında simetrik bir yer değiştirme oluşmuştur.

Çizelge 3.10. Her iki mesnedin ankastre olması durumunda tonozda meydana gelen düşey yer değiştirme, basınç ve çekme değerlerinin grafiksel gösterimi

Model No (L/H)	Düşey yer değiştirme	Her iki mesnedin ankastre olması durumunda tonozda meydana gelen basınç ve çekme değerleri	
Model 1 (1,2)	$U_z=1,3$ mm		
Model 2 (1,3)	$U_z=2,2$ mm		
Model 3 (1,4)	$U_z=0,9$ mm		

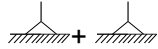
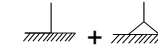
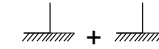
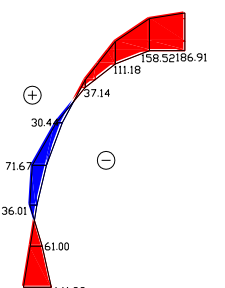
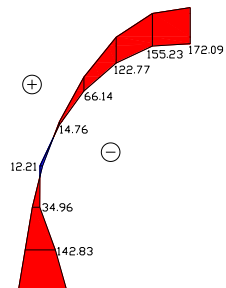
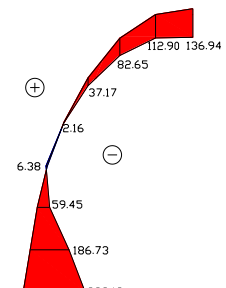
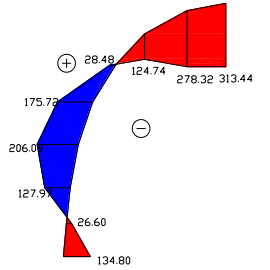
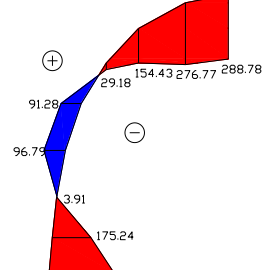
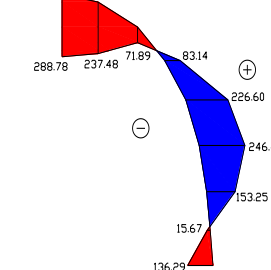
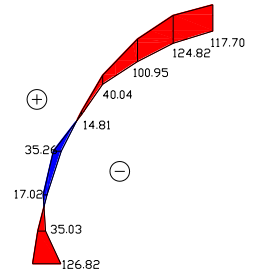
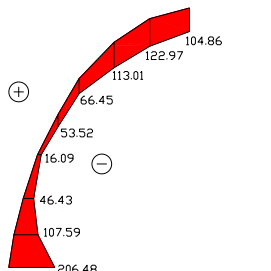
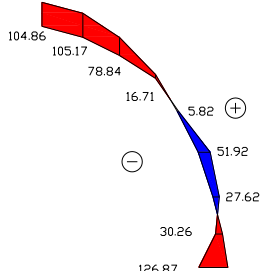
Çizelge 3.10. (devam) Her iki mesnedin ankastre olması durumunda tonozda meydana gelen düşey yer değiştirme, basınç ve çekme değerlerinin grafiksel gösterimi

Model No (L/H)	Düşey yer değiştirme	Her iki mesnedin ankastre olması durumunda tonozda meydana gelen basınç ve çekme değerleri	
Model 4 (1,5)	Uz=1,3mm		
Model 5 (1,6)	Uz=1,3mm		
Model 6 (1,7)	Uz=1,2mm		
Model 7 (1,8)	Uz=1,2mm		
Model 8 (2,0)	Uz=1,5mm		
Model 9 (2,5)	Uz=1,4mm		
Model 10 (3,0)	Uz=1,3mm		

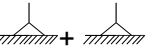
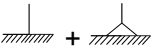
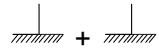
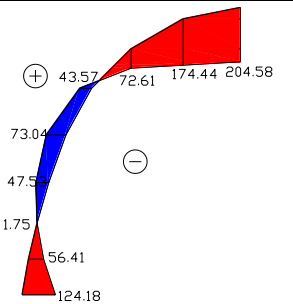
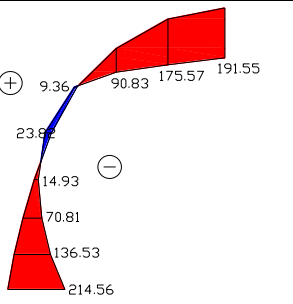
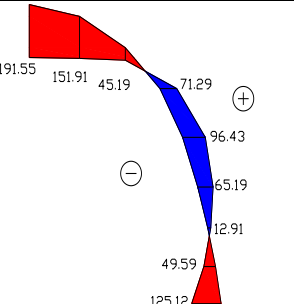
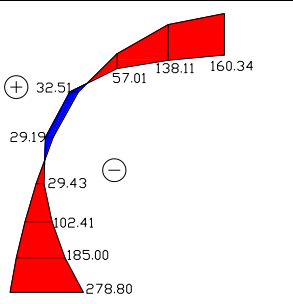
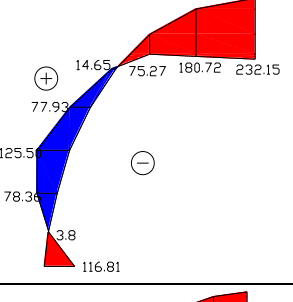
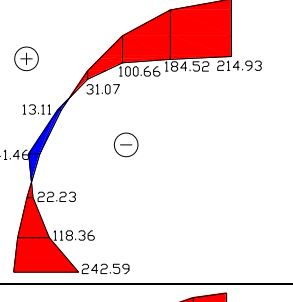
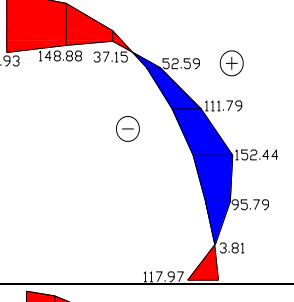
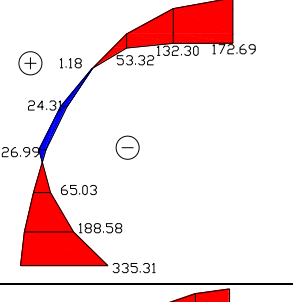
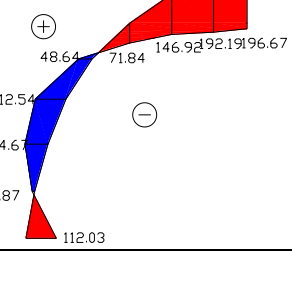
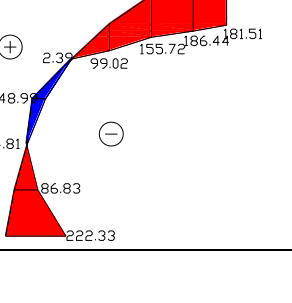
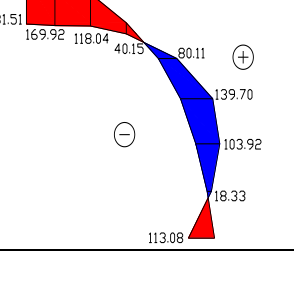
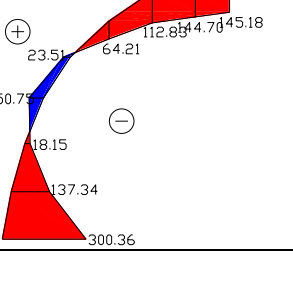
3.4. Üç Farklı Mesnet Durumuna Göre Yapılan Analizlerin Karşılaştırılması

Çizelge 3.11’de üç farklı mesnet tipine göre yapılan hesaplar sonucunda tonozlarda oluşan basınç ve çekme değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen grafikler incelendiğinde bir mesnedi sabit bir mesnedi ankastre olan durumda, ankastre olan mesnet bölgesinde daha küçük çekme değerleri görülürken sabit mesnet bölgesinde daha büyük çekme gerilmeleri görülmektedir. Mesnet durumuna bakılmaksızın tonozun tepe noktasında oluşan basınç gerilmeleri değerlendirildiğinde, en büyük basınç gerilmelerine L/H oranını 1,2 olan Model 2 maruz kalmaktadır. Mesnet bölgesinde oluşan basınç gerilmeleri dikkate alındığında ise ankastre mesnet bölgelerinde daha büyük değerler görülmektedir.

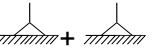
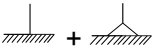
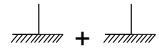
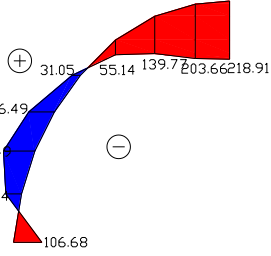
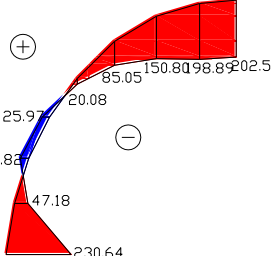
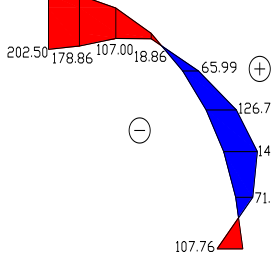
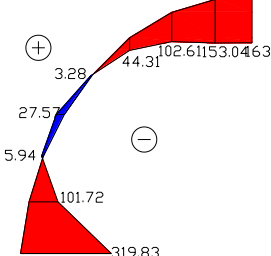
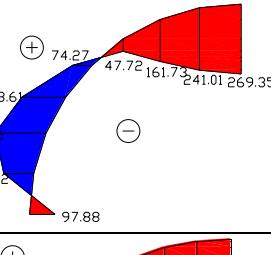
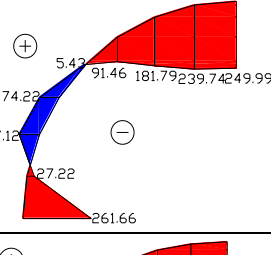
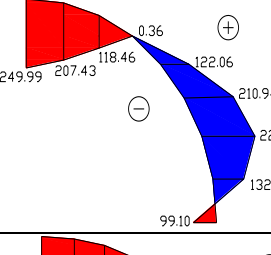
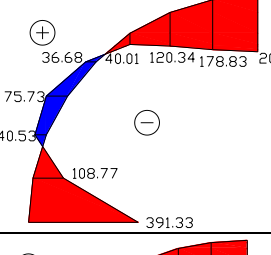
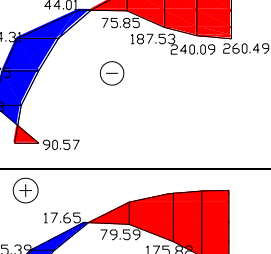
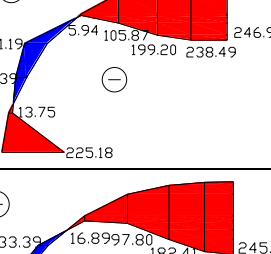
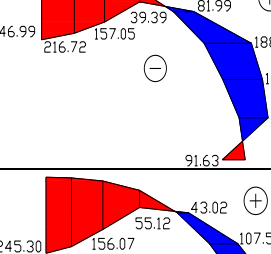
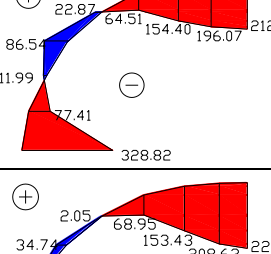
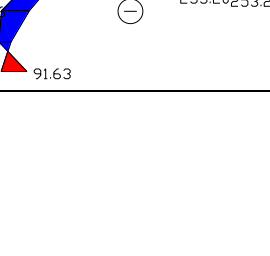
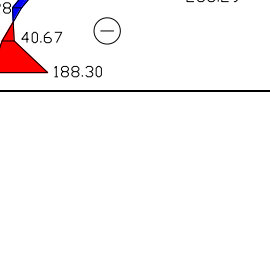
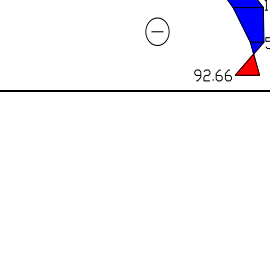
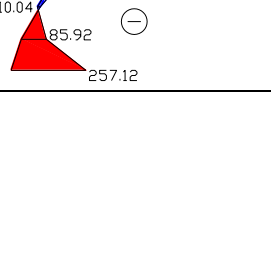
Çizelge 3.11. Üç farklı mesnet durumuna göre tonozlarda oluşan basınç ve çekme değerlerinin karşılaştırılması

Model No (L/H)	 İki mesnet sabit	 Bir mesnet ankastre, bir mesnet sabit	 İki mesnet ankastre
Model 1 (1,2)			
Model 2 (1,3)			
Model 3 (1,4)			

Çizelge 3.11.(devam) Üç farklı mesnet durumuna göre tonozlarda oluşan basınç ve çekme değerlerinin karşılaştırılması

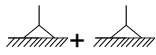
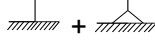
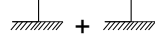
Model No (L/H)	 İki mesnet sabit	 Bir mesnet ankastre, bir mesnet sabit		 İki mesnet ankastre
Model 4 (1,5)	 43.57, 72.61, 174.44, 204.58 73.04, 47.53, 1.75, 56.41, 124.18	 9.36, 90.83, 175.57, 191.55 23.82, 14.93, 70.81, 136.53, 214.56	 191.55, 151.91, 45.19, 71.29 96.43, 65.19, 12.91, 49.59, 125.12	 32.51, 57.01, 138.11, 160.34 29.19, 29.43, 102.41, 185.00, 278.80
Model 5 (1,6)	 14.65, 75.27, 180.72, 232.15 77.93, 125.50, 78.36, 3.8, 116.81	 13.11, 31.07, 100.66, 184.52, 214.93 41.46, 22.23, 118.36, 242.59	 214.93, 148.88, 37.15, 52.59 111.79, 152.44, 95.79, 3.81, 117.97	 1.18, 53.32, 132.30, 172.69 24.31, 26.99, 65.03, 188.58, 335.31
Model 6 (1,7)	 48.64, 71.84, 146.92, 192.19, 196.67 112.54, 84.67, 8.87, 112.03	 2.39, 99.02, 155.72, 186.44, 181.51 48.95, 4.81, 86.83, 222.33	 181.51, 169.92, 118.04, 40.15, 80.11 139.70, 103.92, 18.33, 113.08	 23.51, 64.21, 112.88, 147.04, 145.18 50.75, 18.15, 137.34, 300.36

Çizelge 3.11.(devam) Üç farklı mesnet durumuna göre tonozlarda oluşan basınç ve çekme değerlerinin karşılaştırılması

Model No (L/H)	 İki mesnet sabit	 Bir mesnet ankastre, bir mesnet sabit		 İki mesnet ankastre
Model 7 (1,8)	 31.05, 55.14, 139.72, 203.66, 218.91 96.49, 118.41, 59.34, 106.68	 85.05, 150.81, 198.89, 202.50 25.97, 20.08, 29.82, 47.18, 230.64	 202.50, 178.86, 107.00, 18.86, 65.99 126.75, 141.35, 71.62, 107.76	 3.28, 44.31, 102.61, 153.04, 163.95 27.57, 5.94, 101.72, 319.83
Model 8 (2,0)	 74.27, 47.72, 161.73, 241.01, 269.35 168.61, 196.56, 115.72, 97.88	 5.42, 91.46, 181.79, 239.74, 249.99 74.22, 77.12, 27.22, 261.66	 0.36, 118.46, 122.06, 210.94 249.99, 207.43, 228.46, 132.66, 99.10	 36.68, 40.01, 120.34, 178.83, 200.19 75.73, 40.53, 108.77, 391.33
Model 9 (2,5)	 44.01, 75.85, 187.53, 240.09, 260.49 154.31, 133.75, 102.25, 90.57	 5.94, 105.87, 199.20, 238.49, 246.99 81.19, 39.39, 13.75, 225.18	 39.39, 81.99, 188.91, 158.93, 116.08 246.99, 216.72, 157.05, 91.63	 22.87, 64.51, 154.40, 196.07, 212.83 86.54, 11.99, 77.41, 328.82
Model 10 (3,0)	 17.65, 79.59, 175.82, 235.20, 253.28 85.39, 98.66, 43.44, 91.63	 16.89, 97.80, 182.41, 233.29, 245.30 33.39, 30.28, 40.67, 188.30	 43.02, 55.12, 107.58, 114.85, 51.30 245.30, 221.51, 156.07, 92.66	 2.05, 68.95, 153.43, 208.63, 226.07 34.74, 10.04, 85.92, 257.12

Çizelge 3.12’de tonoz modellerinde meydana gelen düşey yer değiştirmeler verilmiştir. Çizelgedeki Uz değerleri tüm mesnet durumları için farklı L/H oranına sahip 10 tonoz modelinin kendi ağırlığı altında yapılan analizi sonucu meydana gelen düşey yer değiştirmeyi belirtmektedir. Üç farklı mesnet durumunda verilen değerler incelendiğinde; L/H oranına veya mesnet durumlarına göre düşey yer değiştirme değerleri değişiklik göstermektedir. Düşey yer değiştirme değerlerinde doğrusal bir artma veya azalma söz konusu olmamıştır. Tonozlarda istenilen davranış, düşey yer değiştirmenin az olmasıdır. Elde edilen değerlere göre her iki mesnedin ankastre ve L/H oranının 1,4 olduğu Model 3’de ideal tonoz davranışı görülmektedir. Genel olarak tüm modeller incelendiğinde, her iki mesnedin ankastre olduğu durumda düşey yer değiştirme değerlerinin diğer mesnet durumlarına göre azaldığı söylenebilir.

Çizelge 3.12. Üç farklı mesnet durumuna göre düşey yer değiştirme değerleri

Model No (L/H)	Düşey Yer Değiştirme		
	 İki mesnet sabit (mm)	 Bir mesnet ankastre bir mesnet sabit (mm)	 İki mesnet ankastre (mm)
Model 1 (1,2)	Uz=1,9	Uz=1,7	Uz=1,3
Model 2 (1,3)	Uz=3,3	Uz=3,0	Uz=2,2
Model 3 (1,4)	Uz=1,3	Uz=1,2	Uz=0,9
Model 4 (1,5)	Uz=1,7	Uz=1,6	Uz=1,3
Model 5 (1,6)	Uz=2,0	Uz=1,8	Uz=1,3
Model 6 (1,7)	Uz=1,7	Uz=1,6	Uz=1,2
Model 7 (1,8)	Uz=1,8	Uz=1,6	Uz=1,2
Model 8 (2,0)	Uz=2,3	Uz=2,1	Uz=1,5
Model 9 (2,5)	Uz=2,0	Uz=1,8	Uz=1,4
Model 10 (3,0)	Uz=1,6	Uz=1,5	Uz=1,3

3.5. Yapılan Hesapların Değerlendirilmesi

Kendi düzlemine dik doğrultuda kemerlerin yan yana dizilmesiyle oluşan tonozlardan beklenen davranış, ideal kemer davranışına yakın bir davranıştır. Ancak tonozlar açıklık ve yükseklik oranı arttıkça kemer davranışı göstermeyip kiriş gibi davranmaktadır. Tonozlar basınca çalışan yapı elemanları oldukları için çekme gerilmesinin görülmesi istenilen bir davranış değildir.

Üç mesnet durumunun basınç ve çekme değerleri dikkate alındığında, ideal tonoz davranışının her iki mesnedin de ankastre olduğu durumda olduğu söylenebilir. Açıklık ve yükseklik oranları değiştikçe basınç ve çekme değerlerinin de değiştiği görülmektedir. Çizelge 3.10'da her iki mesnedin ankastre olması durumunda Model 3'de hiç çekme gerilmesi oluşmamaktadır. Kendi ağırlığında serbest bırakılmış bir zincir veya kablo şeklinin ters çevrilmesiyle oluşan ideal kemer/tonoz davranışına en yakın tonoz geometrisini Model 3 sergilemiştir. Bu nedenle, istenilen tonoz davranışı için ideal L/H oranının 1,4 olduğu söylenilebilir.

Tez çalışmasının devamında örnek olarak farklı geometrik boyutlara sahip üç tonozun yan yana çalıştığı çok az rastlanan tarihi yapı örneklerinden olan Diyarbakır İç kale Camisi incelenmiştir. Farklı geometrik boyutlara sahip tonozların birbiriyle bağlantısı, nasıl etkileşimde buldukları ve yan yana konumlanmalarının yapı davranışı üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

4. TONOZ DAVRANIŞININ DİYARBAKIR İÇ KALE CAMİSİ ÖRNEĞİNDE İNCELENMESİ

Tonozların geometrik özelliklerine ve boyutlarına göre yapısal davranışı en uygun ve doğru şekilde gerçek bir yapıda incelenebilir. Bu tez çalışmasında, geometrik biçim ve boyutları bakımından üç farklı tonozun yan yana tek bir yapıda bulunduğu çok az rastlanan tarihi bir yapı örneği olan Diyarbakır İç Kale Camisi incelenmiştir. Bu inceleme kapsamında Diyarbakır İç Kale Camisi'nin tarihi özellikleri ve mimari özellikleri ile Diyarbakır ilinin sismik özellikleri yer almaktadır. Ayrıca, T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü'ne bağlı Diyarbakır Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen Diyarbakır İç Kale Camisi'ne ait rölöve çizimleri (kat planları, kesit ve görünüşler) tez çalışmasının ekler bölümünde verilmiştir.

4.1. Diyarbakır İç Kale Camisi'nin Tarihi Özellikleri

Cevat Paşa Mahallesi, Odun İskelesi Sokak'ta bulunan cami, tapuda 41 pafta, 32 ada, 31 parselinde Sultan Süleyman Vakfı adına kayıtlıdır. Cami, halk arasında İç Kale, H.z. Süleyman, Nasırıye, Tahir Paşa isimleri ile de anılmaktadır. Caminin, minaresinde bulunan kitabeden, 1155-1160 yılları arasında Nisanoğlu Kemâleddin Ebu'l Kasım Ali tarafından yaptırıldığı öğrenilmektedir. Cami ve minarenin Mimarı da muhtemelen Hibetullah el Gürgani'dir. Kitabede mimarın adına dair bilgi bulunmamaktadır. Nisanoğulları döneminde yapılan bütün eserlerde adı geçtiğinden cami ve minarenin aynı mimar tarafından yapıldığı tahmin edilmektedir (Boran, 2001; Top ve Koç, 2011; Vakıflar Genel Müdürlüğü). Resim 4.1 ve Resim 4.2'de Diyarbakır İç Kale Camisi'ne ait genel bir görünüm verilmektedir.



Resim 4.1. Diyarbakır İç Kale Camisi'ne ait genel bir görünüm (Yasemin Baran arşivi,2014)



Resim 4.2. Diyarbakır İç Kale Camisi'ne ait genel bir görünüm (Yasemin Baran arşivi,2014)

Cami Osmanlı padişahı Kanuni Sultan Süleyman tarafından genişletilmiş ve vakıfnamesini düzenlenmiştir. IV. Murat döneminde 1631–1633 M. tarihleri arasında Diyarbakır Valiliği yapan Silahtar Mürteza Paşa camide bir takım onarım işlemleri yaptırmış ve camiye yeni bölümler ekletmiştir. Yapıya yoğunlukla 19.

yüzyılın ikinci yarısında ve 20. yüzyılın ilk çeyreğinde eklentiler yapılmıştır. Cami 1960–1961, 1974–1975–1976–1977, 2004 yıllarında onarılmıştır. Caminin inşa ve tamir kitabeleri olmak üzere toplam sekiz adet kitabesi bulunmaktadır (Boran, 2001; Top ve Koç, 2011; Vak. Gen. Müd.). Resim 4.3'te Diyarbakır İç Kale Camisi'nin duvarında bulunan bir kitabe örneği verilmektedir.



Resim 4.3. Diyarbakır İç Kale Camisi'nin duvarında bulunan bir kitabe örneği
(Yasemin Baran arşivi,2014)

4.2. Diyarbakır İç Kale Camisi'nin Mimari Özellikleri

İç Kale Camisi, eğimli arazi üzerinde kurulu yapılar topluluğundan oluşmaktadır. Yapı topluluğunda cami, caminin batısına bitişik türbe ve hazire, avlu batı giriş kapısının sağında sıcak aylarda namaz kılmaya yarayan namazgâh bölümü, solunda revaklı abdest alma yerleri, caminin kuzeyinde yer alan ikinci türbe bölümü yer almaktadır. Yapı topluluğuna iki ayrı cephede yer alan kapıdan girilmektedir. Kapılardan biri batı cephede, diğeri güney cephede yer almaktadır. Batı cephede yer alan kapı basık kemerlidir. Kapının eşik kotu yukarıda kaldığından birkaç taş basamakla avluya inilmektedir. Güney cephede yer alan kapı basık kemerlidir. Kapının eşik kotu avlu kotundan aşağıda kaldığından, avluya taş basamaklarla çıkılmaktadır. Avluda yer alan ve yaz aylarında namaz kılınan namazgâh kısmı güney ve batı cephede duvarla çevrilidir. Namazgâh kısmı avludan bir sıra taş basamaklı seki ile yükseltilmiştir. Batı cephe duvarında bir pencere, güney duvarında iki pencere ile bir mihrap bulunmaktadır. Avlu batı giriş kapısının sağında abdest alma yeri bulunmaktadır. Burası revak şeklinde

düzenlenmiştir. Avluya bakan cephesinde üç adet taş sütuna oturan dört adet sivri kemer bulunmaktadır. Resim 4.4'te Diyarbakır İç Kale Camisi'nin avlusunda bulunan kemer ve sütunlar verilmektedir. Sütun başlıklarının arasına demir gergiler atılmıştır (Boran, 2001; Top ve Koç, 2011; Vak. Gen. Müd.).



Resim 4.4. Diyarbakır İç Kale Camisi'nin avlusunda bulunan kemer ve sütunlar (Yasemin Baran arşivi,2014)

Diyarbakır İç kale Camisi'nde sütunlar kuzey duvarına kemerlerle bağlanmıştır. Abdest alma yerinin üzeri pandantif geçişli dört kubbe ile örtülüdür. Abdest alma yerinin duvarları siyah bazalt taşı ile örülmüştür. Avludan camiye geçiş, avlunun kuzeydoğu köşesinde yer alan basık kemerli kapıdan iki katlı son cemaat yerine geçilerek sağlanmaktadır. Bu son cemaat yerinin kuzeyinde sonradan ilave edilmiş bir türbe yer almaktadır. Türbe pandantif geçişli kubbe ile örtülüdür. Türbenin doğusunda abdest alma yeri bulunmaktadır. Bu kısmın doğu cephesinde yer alan basamaklardan avlunun üst katına çıkılmaktadır. Üst katta bir mihrap bulunmaktadır. Mihrap nişi kemerlidir. Üst katın avluya bakan cephesinde altta dikdörtgen kesitli bir ve üstte sivri kemerli bir penceresi bulunmaktadır. Son cemaat yerinin doğu cephesinde kare planlı taş minare yer almaktadır (Boran, 2001; Top ve Koç, 2011; Vak. Gen. Müd.). Resim 4.5'te Diyarbakır İç Kale Camisi'nin kare planlı minaresi verilmektedir.

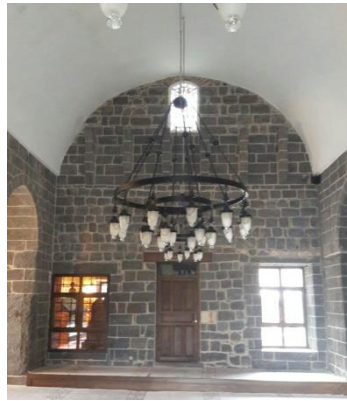


Resim 4.5. Diyarbakır İç Kale Camisi'nin kare planlı minaresi (Yasemin Baran arşivi,2014)

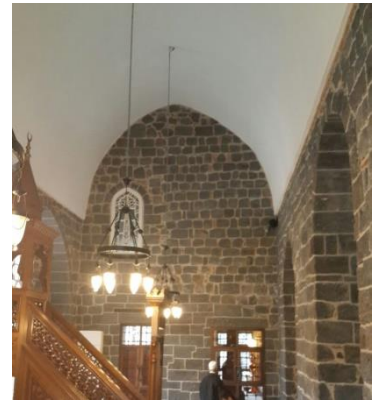
Diyarbakır İç Kale Camisi'nin son cemaat yerinin güney cephesinde yer alan basık kemerli bir kapıdan camiye geçilmektedir. Cami boyuna dikdörtgen planlıdır. İçerdeki dört ayak kible duvarına paralel üç sahına ayrılmaktadır. Sahınların üzeri doğu batı yönünde beşik tonozla örtülüdür (Boran, 2001; Top ve Koç, 2011; Vak. Gen. Müd.). Resim 4.6'da Diyarbakır İç Kale Camisi'nde bulunan tonoz örtü biçimleri verilmektedir. Resim 4.6'da verilen 1. tonoz 3,80m açıklık ve 2,44m yükseklikte, 2. tonoz 6,80m açıklık ve 3,40m yükseklikte ve 3. tonoz ise 6,00m açıklık ve 3,90m yükseklikte.



a) 1. Tonoz



b) 2. Tonoz



c) 3. Tonoz

Resim 4.6. Diyarbakır İç Kale Camisi'nde bulunan tonoz örtü biçimleri (Yasemin Baran arşivi,2014)

Diyarbakır İç Kale Camisi'nin duvarları siyah bazalt taşlarla örülmüş ve duvarlar silme ile nihayetlenmektedir. Silmenin de üzerine kalkan duvarı yerleştirilmiştir. Caminin güney cephe duvarının doğu ve batı köşeleri ile alt kısmı payanda duvarı ile desteklenmiştir. Caminin üzeri dıştan taş kaplanmıştır (Boran, 2001; Top ve Koç, 2011; Vak. Gen. Müd.).

Minare cami önündeki iç avlunun doğusunda yer almaktadır. Minare siyah bazalt taşından yapılmıştır. Minareye iki ayrı kapıdan çıkılmaktadır. Biri avluya diğeri caminin içine açılmaktadır. Merdivenleri taştandır. Mazgal pencereleri güney ve batı cephede yer almaktadır. Kûlah kurşun kaplıdır. Minarenin çeşitli dönemlerde onarım gördüğü derz izlerinden belli olmaktadır (Boran, 2001; Top ve Koç, 2011; Vak. Gen. Müd.).

Türbe ve hazire caminin batı duvarına bitişik vaziyettedir. Türbe kare planlıdır. Kubbeye geçiş Türk üçgenleri ile sağlanmıştır. Türbeye giriş cami içerisine açılan kapılarla sağlanmıştır. Türbenin güney cephede bir, batı cephede iki penceresi bulunmaktadır. Türbenin kuzey tarafında üzeri beşik tonoz örtülü bir mekân bulunmaktadır. Bu mekân caminin içerisine açılmaktadır. Kubbe dıştan üç tarafa eğimli kûlahla kaplıdır. Kûlah dıştan kurşun kaplıdır. Türbenin güney ve batı tarafında hazire yer almaktadır. Hazirenin batı cephesinde iki, güney cephede iki sivri kemerli açıklık bulunmaktadır. Kemer açıklıkları demir parmaklıdır (Boran, 2001; Top ve Koç, 2011; Vak. Gen. Müd.). Resim 4.7'de Diyarbakır İç Kale Camisi'nin hazire bölümünde yer alan sivri kemerli açıklıklar verilmektedir.



Resim 4.7. Diyarbakır İç Kale Camisi'nin hazire bölümünde yer alan sivri kemerli açıklıklar (Yasemin Baran arşivi,2014)

5. DİYARBAKIR İÇ KALE CAMİSİ SONLU ELEMANLAR ANALİZLERİ

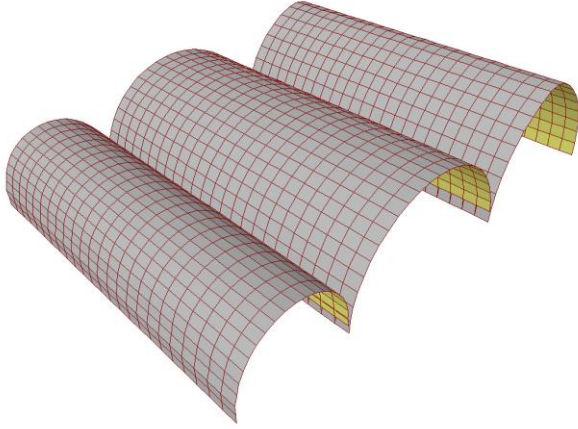
Bu tez çalışmasında tonozlardaki şekil değiştirmelerin yapısal davranışa etkileri incelendiğinden, Bölüm 4'te tarihi ve mimari özellikleri verilen Diyarbakır İç Kale Camisi'nin bitişik bir şekilde yan yana duran üç tonozu ve yapının tamamı sonlu elamanlar hesap yöntemiyle yer değiştirmelere göre analiz edilmiştir. Bu analizler Diyarbakır İç Kale Camisi'nin genel anlamda yapısal davranışını ve performansını belirlemek için yapılmamıştır. Tonozların birlikte davranışını inceleyebilmek için geometrik biçim ve boyut farklılığı ile mesnetlenme tipi ve biçimi açısından en uygun yapı örneklerinden biri Diyarbakır İç Kale Camisi'dir. Bu nedenle tezin asıl araştırma konusu olan tonozların çeşitli yük etkileri altında şekil değiştirmelerini incelemek için yapılan hesaplarda örnek olarak seçilen bu yapının gerçek malzeme özellikleri ve sismik analizler için gerçek coğrafi konumu dikkate alınmamıştır.

5.1. Hesap Modellerinin Tanımı

Tonozların yapısal davranışları geometrik biçimleri, malzeme özellikleri, mesnet şartları, bitişik tonozların birbirlerine bağlantı şekilleri gibi etkenlere göre farklılık gösterir. Bu farklılıkların etkilerini daha iyi değerlendirebilmek için değişik özellikler sergileyen analitik modeller hazırlanmıştır. Farklı geometrik biçim ve boyuttaki tonozların birbirleriyle yapısal ilişkilerini de dikkate alacak şekilde iki ayrı ana hesap grubu oluşturulmuştur. Tonozların davranış özelliklerinin belirlenmesi için elastisite modülü, tepki spektrumu ve farklı mesnet düzenlemesi gibi kriterlere göre parametrik analizler gerçekleştirilmiştir. Parametrik analizlerin sonuçları, ilk üç mod periyotları, en büyük yer değiştirme ve maksimum gerilmelere göre değerlendirilmiştir.

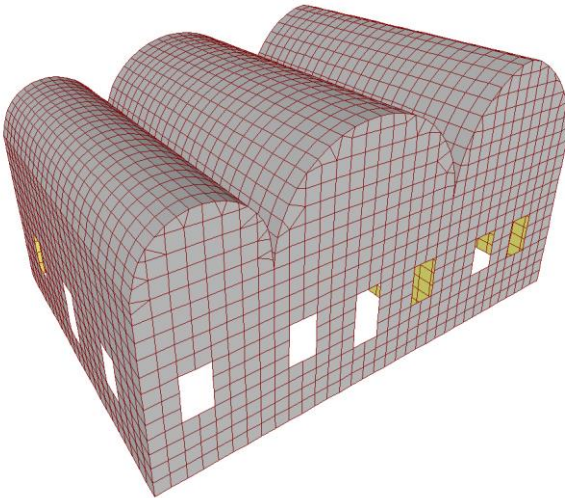
Diyarbakır İç Kale Camisinin genel mimari biçim ve boyutlarına göre yapılan hesaplarda tonozlar ve caminin duvarları SHELL (genel kabuk) elemanları ile modellenmiştir. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi, parametrik hesaplarda kullanılan iki temel modelden ilki olan, farklı açıklık ve geometrik biçime sahip 3 tonozun

matematiksel modeli 1675 düğüm noktası (nodes) ve 1584 genel kabuk elemanı ile oluşturulmuştur. Tonozların mesnet biçimleri, açıklıkları, yükseklikleri ve kalınlıkları değiştirilmiş, farklı analizlerin sonuçlarına göre elde edilen yer değiştirmeler ve gerilme dağılımlarına bakılarak tonoz davranışı hakkında yorumlar yapılmıştır.



Şekil 5.1. Bitişik tonozların davranışlarını incelemek için oluşturulan hesap modeli

Tonozların diğer yapı elemanları ile birlikte, gerçek mesnet koşullarına göre ve sismik yükler altındaki davranışını izlemek için ise, Şekil 5.2’de görüldüğü gibi yapının duvarlarını da içeren diğer bir model 3813 düğüm noktası ve 3808 genel kabuk elemanı ile hazırlanmıştır.



Şekil 5.2. Tonozların gerçek mesnet şartlarına göre davranışını incelemek için oluşturulan hesap modeli

Analitik modellerde doğrusal elastik malzeme özellikleri dikkate alınmıştır. Söz konusu yapının yığma taş yapı malzemesi özellikleri daha önce benzer yapılar için gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen malzeme özellikleri göz önünde bulundurularak, başlangıç hesapları için referans elastisite modülü değeri $E=450000 \text{ kN/m}^2$ (450 MPa), özgül ağırlığı ise 24 kN/m^3 kabul edilmiştir.

Tonozların davranışını belirlemek için gerçekleştirilen parametrik analizlerde yapının kendi ağırlığının neden olduğu düşey yükler ve Türkiye deprem yönetmeliğinin önerdiği spektrum değerleri kullanılmıştır (DBYYHY). Hazırlanan modeller, tonozların mesnet şartlarının, açıklıklarının, yüksekliklerinin, geometrik biçimlerinin ve elastik malzeme özelliklerinin değiştirilmesi sonucunda art arda defalarca analiz edilmiştir.

5.2. Hesap Yöntemi ve Uygulanan Yüklemeler

Hesap modellerinin hazırlanması sırasında Diyarbakır Vakıflar Bölge Müdürlüğünden temin edilen Diyarbakır İç Kale Camisine ait rölöve projeleri kullanılmıştır. Yapının matematiksel modelinin oluşturulması için gerekli olan bütün geometrik boyutlar ve ölçüler, daha önce hazırlanmış olan bu rölöveler kullanılarak elde edilmiştir.

Tarihi yapıların hesaplarında malzemelerin elastik özelliklerini tahmin etmek oldukça zordur. Zaman etkisi, yapıda yıllar boyunca meydana gelen çatlamlar, oturmalar, rölöve bilgilerinin taşıyıcı sistem elemanlarını yeterince ayrıntılı göstermemesi gibi faktörler doğrusal elastik olmayan yöntemlerle hesap yapılmasını gerektiren önemli faktörlerdir (Can, Kubin, Ünay, 2012).

Taş yığma yapı elemanlarının, harç ile birlikte tek bir malzeme özelliği gösterdiği kabul edilerek elastisite modülü ve birim ağırlık kabulleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Parametrik hesaplarda tonozların yapısal davranışını malzemenin elastik özelliklerinin değişimine göre incelemek amacıyla çeşitli kombinasyonlara göre Çizelge 5.1’de gösterilen 3 farklı elastisite modülü değeri kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Parametrik hesaplar için hazırlanan sonlu elemanlar modelinde kullanılan farklı malzeme özellikleri

Eleman Tipi	Elastisite Modülü (E) (kN/m ²)	Özgül Ağırlık (kN/m ³)	Kütle (t/m ³)
Taş Duvarlar (harç ile birlikte) 1. Seri hesaplar için	450000 (450 MPa)	24	2,45
Taş Duvarlar (harç ile birlikte) 2. Seri hesaplar için	225000 (225 MPa)	24	2,45
Taş Duvarlar (harç ile birlikte) 3. Seri hesaplar için	112000 (112 MPa)	24	2,45

Hazırlanan hesap modeli üzerinde, sabit yükler ve deprem spektrumu ile tanımlanan yer hareketinin yol açtığı zorlamaların göz önüne alındığı iki ayrı yükleme durumu uygulanmıştır. Spektrum, EQx ve EQy yüklemesi olmak üzere ayrı ayrı iki asal doğrultuda uygulanmıştır. Deprem yüklerinin tanımlanmasında 2007 Deprem Yönetmeliği esas alınmıştır. 2007 Deprem Yönetmeliği'nde, deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı, A(T) şeklinde ifade edilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan ve $S_{ae}(T)$ ifadesiyle gösterilen Elastik Spektral İvme, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi g'nin çarpımına karşı gelmektedir (DBYBHY, 2007).

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) g \quad (5.1)$$

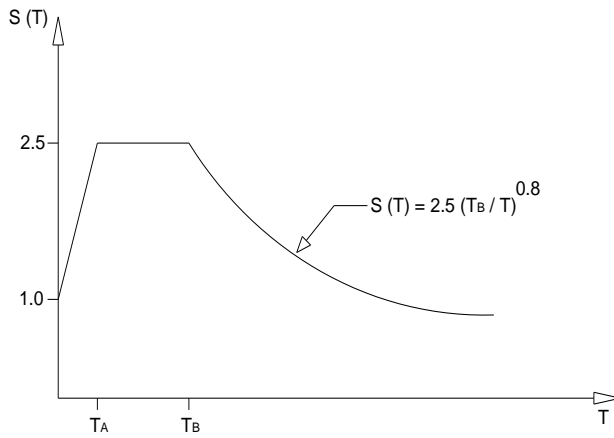
Denklem (5.1)'de yer alan etkin yer ivmesi katsayısı, A_0 olarak tanımlanmıştır (DBYBHY, 2007). Çizelge 5.2'de deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik etkin yer ivme katsayısı verilmiştir.

Çizelge 5.2. 2007 deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik etkin yer ivme katsayısı (DBYBHY, 2007)

Deprem Bölgeleri	Etkin Yer İvme Katsayısı, A_0
1	0,40
2	0,30
3	0,20
4	0,10

Denklem (5.1)'de yer alan spektrum katsayısı, $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak Denk. (5.2) ile hesaplanacaktır. Şekil 5.3'te Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik elastik ivme spektrumu verilmektedir (DBYBHY, 2007).

$$\begin{aligned}
 S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S(T) &= 2.5 & (T_A < T \leq T_B) \\
 S(T) &= 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & (T_B < T)
 \end{aligned}
 \tag{5.2}$$



Şekil 5.3. 2007 deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik elastik ivme spektrumu (DBYBHY, 2007).

Denklem (5.2) 'deki spektrum karakteristik periyotları, T_A ve T_B , yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Çizelge 5.3'te verilmiştir (DBYBHY, 2007).

Çizelge 5.3. Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B) (DBYBHY, 2007)

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0,10	0,30
Z2	0,15	0,40
Z3	0,15	0,60
Z4	0,20	0,90



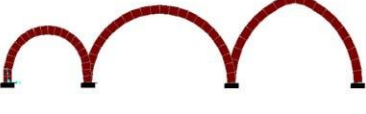



Aynı yönetmeliğin yığma yapılar için depreme dayanıklı tasarım kurallarını açıklayan beşinci bölümünde, yığma yapılarda hesap yapılırken spektrum katsayısının sabit olarak $S(T)=2,5$ ve deprem yükü azaltma katsayısının da $R(T)=2,0$ alınarak hesap yapılması önerilmiştir (DBYBHY, 2007).

Deprem bölgesine bağlı olarak etkin yer ivme katsayısının ve zemin şartlarının tonozların yapısal davranışına etkisini incelemek için parametrik hesaplar yapılmıştır. Bu hesaplar Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları ile $A_0=0,40$, $A_0=0,30$, $A_0=0,20$ ve $A_0=0,10$ etkin yer ivme katsayıları dikkate alınarak düzenlenmiş birleşimlere göre gerçekleştirilmiştir.

5.3. Bitişik üç tonozun davranışını incelemek için gerçekleştirilen hesaplar

Diyarbakır İç Kale Camisi örnek alınarak hazırlanan farklı geometrik biçim ve boyutlara sahip üç adet tonoz (Bkz. Şekil 5.1), Çizelge 5.4'te değişik mesnet kombinasyonlarına göre sonlu elemanlar hesap yöntemi ile hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4. Mesnet tiplerinin değişimine göre düzenlenen hesap modelleri

Hesap Modeli	Mesnet Tipi	Hesap Modeli	Mesnet Tipi
TNZ 201		TNZ 204	
TNZ 202		TNZ 205	
TNZ 203		TNZ 206	

İlk analiz grubunda bu üç tonozun farklı mesnet tipleri göz önüne alınarak düşey yük ve sismik yüklere göre hesapları yapılmıştır. Sismik yükler hesaplara örnek teşkil eden yapının bulunduğu Diyarbakır'ın deprem bölgesine ve Z4 yerel zemin

grubuna göre belirlenmiştir. Bu hesap grubunda malzeme özelliklerini tanımlayan elastisite modülü bütün hesap gruplarında $E=450$ MPa kabul edilmiştir.

Çizelge 5.4'te görüldüğü gibi, TNZ 201 adlı modelde her üç tonozun duvarlara sabit mesnet tipi ile bağlandığı, TNZ 202 adlı modelde ise her üçünün de duvarlarla bağlantısının ankastre mesnet olduğu kabul edilmiştir. TNZ 203 adlı modelde sadece birinci tonozun sol tarafında sabit mesnet, diğer bütün mesnetlerin ise hareketli mesnet olduğu dikkate alınmıştır. Bu modelde tonozları destekleyen duvarların kalınlıklarının yeterli olmadığı ya da rijitlik oranının tonozlara göre çok daha az olduğu varsayımı yapılmıştır. Tonozları destekleyen duvarların yükseklik / kalınlık oranları, duvarlardaki boşlukların varlığı ya da duvarların malzeme özelliklerinin farklı olduğu durumlarını temsilen, sırasıyla TNZ 204 adlı modelde soldan sağa birinci mesnet sabit mesnet, ikinci ve üçüncü mesnet hareketli mesnet, en sağdaki mesnet ise ankastre mesnet şeklinde tanımlanmıştır. TNZ 205 ve TNZ 206 modellerde de Çizelge 5.4'te gösterildiği gibi duvarların ve tonozların farklı konum ve mesnet şartlarına göre mesnet tipleri tanımlanmıştır.

Gerçek bir yapıda bitişik duran, değişik açıklık ve mesnet koşullarına sahip tonozların davranışlarını belirlemek için yapılan bu hesapların sonuçları doğal periyotlar, düşey yük + sismik yük birleşimi sonucunda tonozların tepe noktasında elde edilen maksimum yer değiştirmeler ve maksimum gerilmelere göre Çizelge 5.5'te gösterilmiştir. Çizelge 5.5'te yer alan gerilme değerleri SAP2000 programının hesap sonuçları formatına uygun bir şekilde sunulmuştur. Buna göre; S22 değerleri tonozların meridyen doğrultusundaki (düşey doğrultudaki) gerilmeleri, S11 değerleri tonozların yatay yöndeki gerilmelerini temsil etmektedir. Çizelgelerdeki bütün değerler hesap sonuçlarına göre elde edilen en büyük çekme gerilmelerini göstermektedir. Bu çalışmada örnek olarak seçilen yapının yapısal dayanımı ve performansını belirlemek amacı güdülmendiğinden, elde edilen çekme gerilmelerinin sınır değerleri aşıp aşmadığı hakkında herhangi bir yorum yapılmamıştır.

Çizelge 5.5. Mesnet tiplerinin değişimine göre yapılan hesap sonuçları

Hesap Modeli	Mod	Periyot (saniye)	Max. Yer değiştirme (mm)	Max. Gerilmeler (kN/m ²)					
				1.Tonoz		2.Tonoz		3. Tonoz	
				S22	S11	S22	S11	S22	S11
TNZ 201	1	0,468	$\Delta_x=34,01$ $\Delta_y=44,32$ $\Delta_z=18,24$	571	117	1140	228	1467	301
	2	0,332							
	3	0,206							
TNZ 202	1	0,267	$\Delta_x=06,72$ $\Delta_y=11,64$ $\Delta_z=05,98$	153	36	462	103	435	102
	2	0,261							
	3	0,161							
TNZ 203	1	2,007	$\Delta_x=227,8$ $\Delta_y=549,9$ $\Delta_z=78,48$	3750	758	772	142	311	83
	2	0,820							
	3	0,692							
TNZ 204	1	1,112	$\Delta_x=48,54$ $\Delta_y=117,2$ $\Delta_z=89,08$	3287	669	433	97	2348	487
	2	0,695							
	3	0,299							
TNZ 205	1	1,721	$\Delta_x=188,9$ $\Delta_y=456,2$ $\Delta_z=76,17$	1456	314	1856	394	237	61
	2	0,773							
	3	0,532							
TNZ 206	1	1,139	$\Delta_x=89,60$ $\Delta_y=216,3$ $\Delta_z=136,5$	98	54	2489	511	977	204
	2	0,366							
	3	0,259							

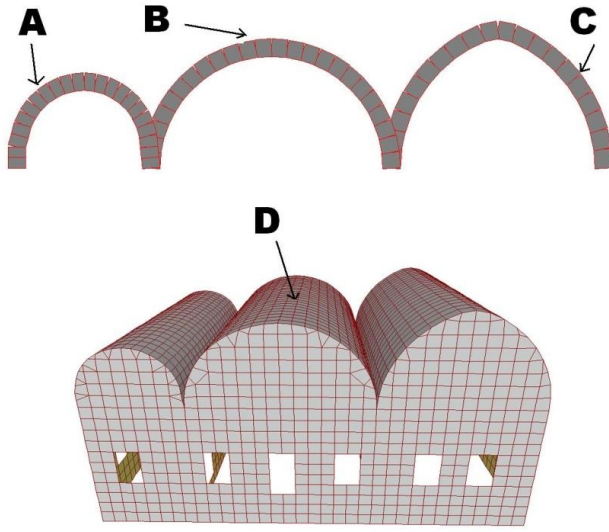
Şekil 5.7’de yürürlükteki deprem şartnamesinde Diyarbakır için belirlenen ivme değerlerine göre hazırlanan sismik yükler ve düşey yüklere göre yapılan hesaplarda elde edilen tipik gerilme dağılımları gösterilmiştir. Daha önce de sözü edildiği gibi bu parametrik analizler farklı ivme değerleri ve zemin koşullarına göre birçok defa tekrarlanmıştır. Ancak üç tonozun gerçek yapıdaki konumlarının neden olduğu (oturdukları duvarların özellikleri) mesnet koşullarının incelendiği bu analiz grubunda farklı ivme değerlerinin ve zemin tiplerinin neden olduğu farklılıklar mesnet tiplerinin neden olduğu farklılıklara göre çok küçük değerlerde olmasından dolayı sonuç ve yorum bölümlerinde sunulmamıştır.

Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi, en büyük doğal periyot, sadece en soldaki mesnedin sabit mesnet, diğer mesnetlerin hareketli mesnet olarak kabul edildiği TNZ 203 adlı modelde $T=2,007$ saniye olarak elde edilmiştir. Bu tip bir mesnetleme düzeninin tonozların rijitlik oranına göre çok daha küçük rijitlik oranına sahip duvarların bulunduğu bir yapıda olabileceği göz önüne alındığında elde edilen sonuçların yeterince anlamlı olduğu düşünülebilir.

Benzer şekilde, bu analiz grubu sonuçlarına göre düşey yük + sismik yükler birleşiminde en büyük düşey deplasman sırasıyla TNZ 206 modelinde 136,05 mm, TNZ 204 modelinde 89,08 mm ve TNZ 203 modelinde 78,48 mm olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar bir önceki durumda yorumlandığı gibi hareketli mesnetlerin tanımladığı zayıf ya da boşluklu duvarları temsil etmektedir.

Çizelge 5.5'te gösterilen maksimum gerilmeler Şekil 5.4'te konumu A harfi ile belirtilen birinci tonozun sol yan duvarında, konumu B harfi ile belirtilen ikinci tonozun tepe noktasında ve konumu C harfi ile belirtilen üçüncü tonozun sağ yan duvarında en büyük çekme gerilmelerinin meydana geldiği yerlerde hesaplanmıştır. Bu hesap serisinde kullanılan analitik modellerde tanımlanan ankastre mesnet ve hareketli mesnetler duvarların rijitlik oranlarına göre belirlenmiştir. Bu tanıma göre bütün mesnetlerin ankastre olarak tanımlandığı TNZ 202 hesap modelinde en küçük gerilme değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi gerilmeler sırasıyla 153 kN/m^2 , 462 kN/m^2 ve 435 kN/m^2 olarak bulunmuştur. Öte yandan üç mesneti hareketli mesnet sadece bir mesneti sabit mesnet olarak tanımlanan TNZ 203 hesap modelinde ise en büyük gerilme değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 5.5'te görüldüğü gibi tüm analiz tiplerinde elde edilen en büyük gerilme değeri 3750 kN/m^2 bu hesap modelinde elde edilmiştir.

Bu tezin asıl amaçlarından biri olan tonozların şekil değiştirmiş halinin yapısal performansına etkisi en somut haliyle bu hesap serisinde görmek mümkündür.



Şekil 5.4. Hesap sonuçlarının gösterildiği çizelgelerdeki karakteristik yer değiştirme ve gerilmelerin hesap modelleri üzerindeki konumları

5.4. Yapının tamamının duvarlarla birlikte tanımlandığı modellerin analizleri

Tonozların diğer yapı elemanları ile birlikte, gerçek mesnet koşullarına göre davranışını belirlemek için tonozları destekleyen duvarları, duvarlardaki kapı ve pencere boşluklarını da göz önüne alan Şekil 5.2'de görünen 3 boyutlu sonlu elemanlar modelleri hazırlanmıştır. Bu parametrik analiz grubunda malzemenin elastisite modülü Çizelge 5.1'de belirlenen üç ayrı malzeme özelliği değerlerine göre, deprem bölgelerinin farkını temsil eden dört ayrı etkin yer ivme katsayısı ve dört farklı ayrı zemin cinsine göre üretilen spektrum değerleri göz önüne alınarak 48 değişik kategoriye göre hesaplar yapılmıştır.

Hesap sonuçları en büyük yer değiştirme ve en büyük çekme gerilmelerine göre Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7'de ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çizelge 5.6'da TNZ 111, TNZ 112, TNZ 113 ve TNZ 114 hesap modeli adı ile tanımlanan, etkin yer ivme katsayısı ve zemin gurubuna göre başlangıç referans değeri olarak kabul edilen $E=450$ MPa elastisite modülü kabulü ile yapılan hesapların sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5.7'de ise en büyük etkin yer ivme katsayısı ile Z4 zemin cinsine göre elde edilen spektrum değeri ile elastisite modülünün 450 MPa'dan 112 MPa'a üç kademe azaltılması ile elde edilen hesap sonuçları gösterilmiştir. TNZ 121,

TNZ122 ve TNZ123 hesap modellerinde Elastisite Modülü sırasıyla $E=450$ MPa, $E=225$ MPa ve $E=112$ MPa olarak kabul edilmiştir. Her iki Çizelgede da karşılaştırmalar aynı referans noktalarına göre yapılmıştır. Şekil 5.4'te model üzerinde D harfi ile gösterilen nokta bütün hesap modellerinde elde edilen yer değiştirme değerleri için referans olarak alınmıştır.

Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi, etkin yer ivme katsayısının değiştirildiği 4 ayrı hesapta doğal olarak yapının ilk üç modunda elde edilen periyotlar değişmemiştir. Zira yapının geometrik boyutları ve malzeme özelliklerine göre belirlenen rijitlik değeri değişmemiştir. Ancak, etkin yer ivme katsayısının neden olduğu, yapının kütlesine bağlı olarak belirlenen deprem kuvvetlerinin artması sonucunda, etkin yer ivme katsayısının 0,1 olarak tanımlandığı TNZ 111 hesap modelinde x yönündeki ötelenme $\Delta_x=3,91$ mm, düşey yöndeki ötelenme ise $\Delta_z=13,03$ mm olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık etkin yer ivme katsayısının $A_0=0,4$ olarak tanımlandığı TNZ 114 hesap modelinde ise x yönündeki ötelenme $\Delta_x=18,76$ mm, düşey yöndeki ötelenme ise $\Delta_z=15,79$ mm olarak hesaplanmıştır. Benzer bir şekilde, gerilme değerlerinde Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi, TNZ 111 hesap modelinde SAP2000 programının sonuç formatına göre S22, düşey yöndeki gerilme değeri 300 kN/m^2 iken TNZ 114 hesap modelinde bu değer 910 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6. Farklı etkin yer ivme katsayısı ve zemin gruplarına göre yapılan hesapların sonuçları

Hesap Modeli	Etkin Yer İvme Katsayısı A_0	Mod	Periyot (saniye)	Elastisite Modülü, E (MPa)	Max. Yer değiştirme (mm)	Max. Gerilmeler (kN/m^2)	
						S22	S11
TNZ 111	0,1	1	0,280	450	$\Delta_x=03,91$ $\Delta_y=09,26$ $\Delta_z=07,60$	300	290
		2	0,241				
		3	0,236				
TNZ 112	0,2	1	0,280	450	$\Delta_x=07,43$ $\Delta_y=17,41$ $\Delta_z=10,30$	500	485
		2	0,241				
		3	0,236				
TNZ 113	0,3	1	0,280	450	$\Delta_x=14,19$ $\Delta_y=24,00$ $\Delta_z=13,03$	710	695
		2	0,241				
		3	0,236				
TNZ 114	0,4	1	0,280	450	$\Delta_x=18,76$ $\Delta_y=31,67$ $\Delta_z=15,79$	910	880
		2	0,241				
		3	0,236				

Çizelge 5.7’de ise elastisite modülünün değiştirilmesine göre gerçekleştirilen hesapların sonuçları sunulmuştur. Tonozların şekil değiştirmeye dayalı davranışının incelendiği bu çalışma için yapılan hesapların doğruluğunu ve güvenilirliğini de ortaya koyacak bir şekilde, yapılan hesaplar sonucunda bu kez aynı yer ivme katsayısına göre ($A_0=0,3$) TNZ 121, TNZ 122 ve TNZ 123 hesap modellerinde değişen modlara göre çok farklı periyotlar hesaplanmıştır.

Elastisite modülünün değiştirilmesi sonucunda yapının rijitliği de değişmiştir. Elastik hesap yöntemin temel kavramlarından biri olan bu sonuç, karmaşık geometrik özellikler ve boyutlara sahip bir yapıda elde edilmiş olmasından dolayı anlamlıdır.

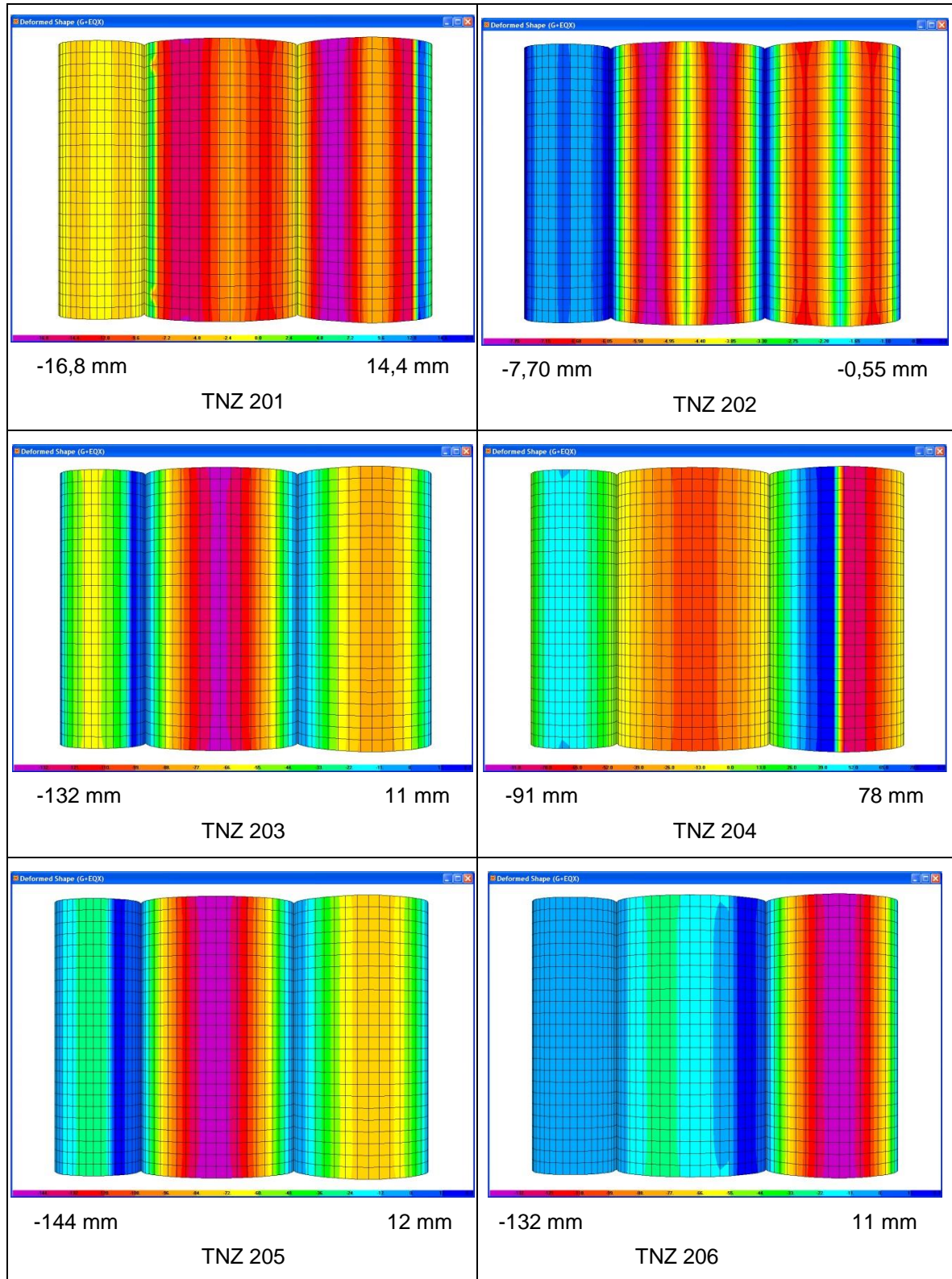
Çizelge 5.7. Farklı elastisite modülü kabulü ile yapılan hesapların sonucunda meydana gelen maksimum yer değiştirme ve gerilme değerleri

Hesap Modeli	Etkin Yer İvme Katsayısı A_0	Mod	Periyot (saniye)	Elastisite Modülü, E (MPa)	Max. Yer değiştirme (mm)	Max. Gerilmeler (kN/m^2)	
						S22	S11
TNZ 121	0,3	1	0,280	450	$\Delta_x=14,19$ $\Delta_y=24,00$ $\Delta_z=13,03$	663	651
		2	0,241				
		3	0,236				
TNZ 122	0,3	1	0,396	225	$\Delta_x=28,40$ $\Delta_y=48,01$ $\Delta_z=26,06$	687	662
		2	0,341				
		3	0,334				
TNZ 123	0,3	1	0,561	112	$\Delta_x=57,06$ $\Delta_y=96,47$ $\Delta_z=52,40$	710	693
		2	0,483				
		3	0,473				

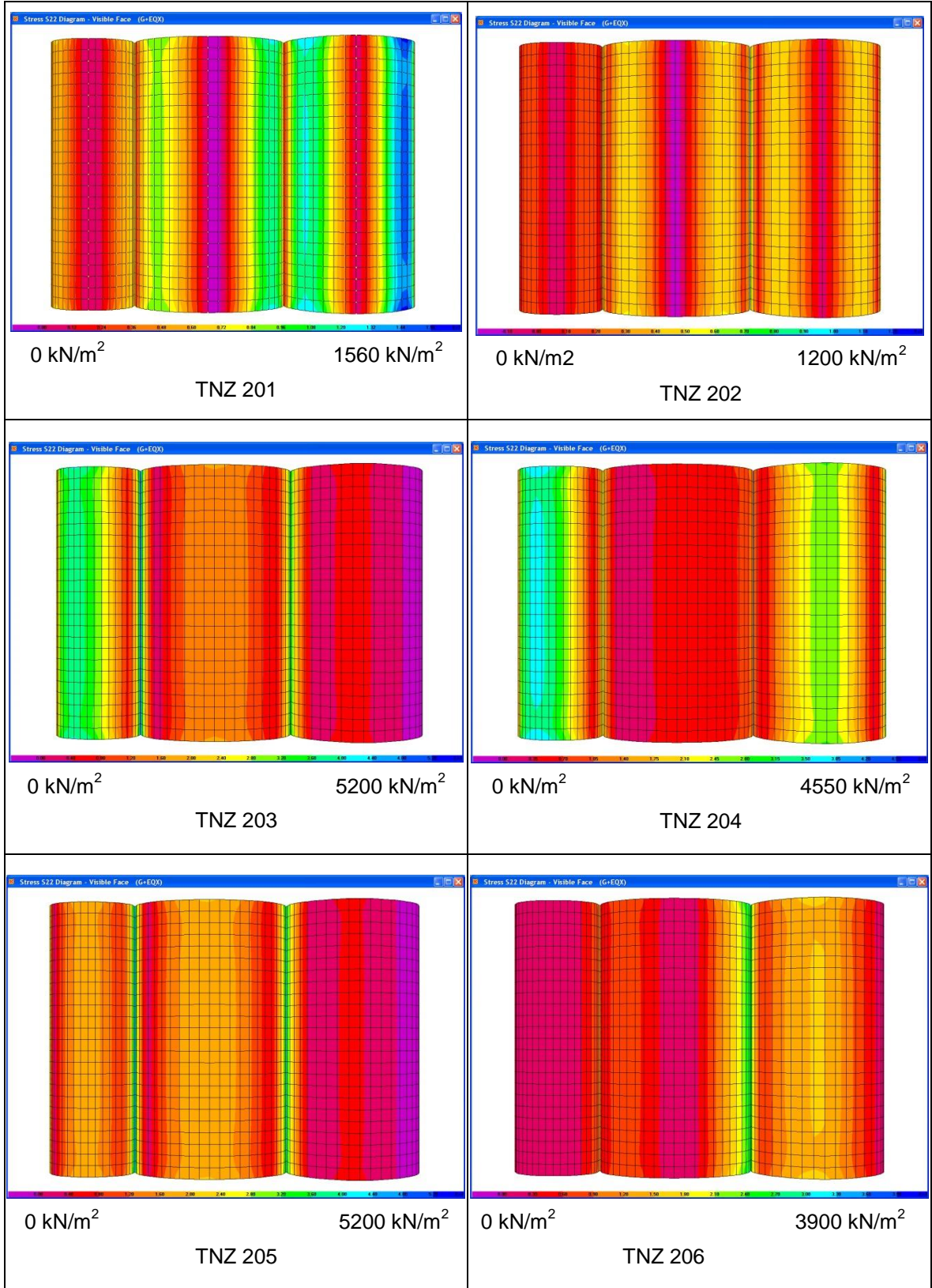
Çizelge 5.7'de gösterilen hesap serisinin sonuçları da yer değiştirme ve gerilme değerleri bakımından tonozların davranışını belirlemeye yönelik bilgiler vermektedir. TNZ 121 hesap modeline başlangıç hesapları için referans olarak alınan $E=450 \text{ kN/m}^2$ lik elastisite modülü, malzeme özellikleri ve taşıyıcı duvar ve tonoz elemanlarının malzeme kaybı veya bozulmalarının olmadığı daha sağlıklı bir ortamı tasvir ederken, TNZ 123 hesap modeli ile tam tersine hasar görmüş, malzeme bozulmasına maruz kalmış taşıyıcı sistem elemanlarını tanımlamaktadır. TNZ 121 hesap modelinde x yönündeki ötelenme $\Delta_x=14,19 \text{ mm}$, düşey yöndeki ötelenme ise $\Delta_z=13,03 \text{ mm}$ olarak hesaplanırken, TNZ 123 hesap modelinde ise x yönündeki ötelenme $\Delta_x=57,06 \text{ mm}$, düşey yöndeki ötelenme ise $\Delta_z=52,40 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.6 ile Şekil 6.10 arasında yapılan bütün parametrik hesapların karakteristik yer değiştirme ve gerilme değerleri karşılaştırmalı olarak renk konturlarıyla ile gösterilmiştir. Bu renk haritalarının incelenmesi bilgisayar ekranında kullanıma yönelik hazırlanmıştır. Şekillerin altında yer alan yer değiştirme ve gerilmeleri gösteren renk ölçeklerinin tek bir sayfada açık ve okunaklı bir şekilde gösterilmesi mümkün değildir. Bu nedenle her bir hesap sonucunda en soldaki mor rengi ve en sağdaki mavi rengi temsil eden yer değiştirme ve gerilme değerleri ilgili grafiklerin altına yazılmıştır. Bu değerler 14 eşit parça halinde en küçükten en büyüğe doğru orantılı bir şekilde değişmektedir.

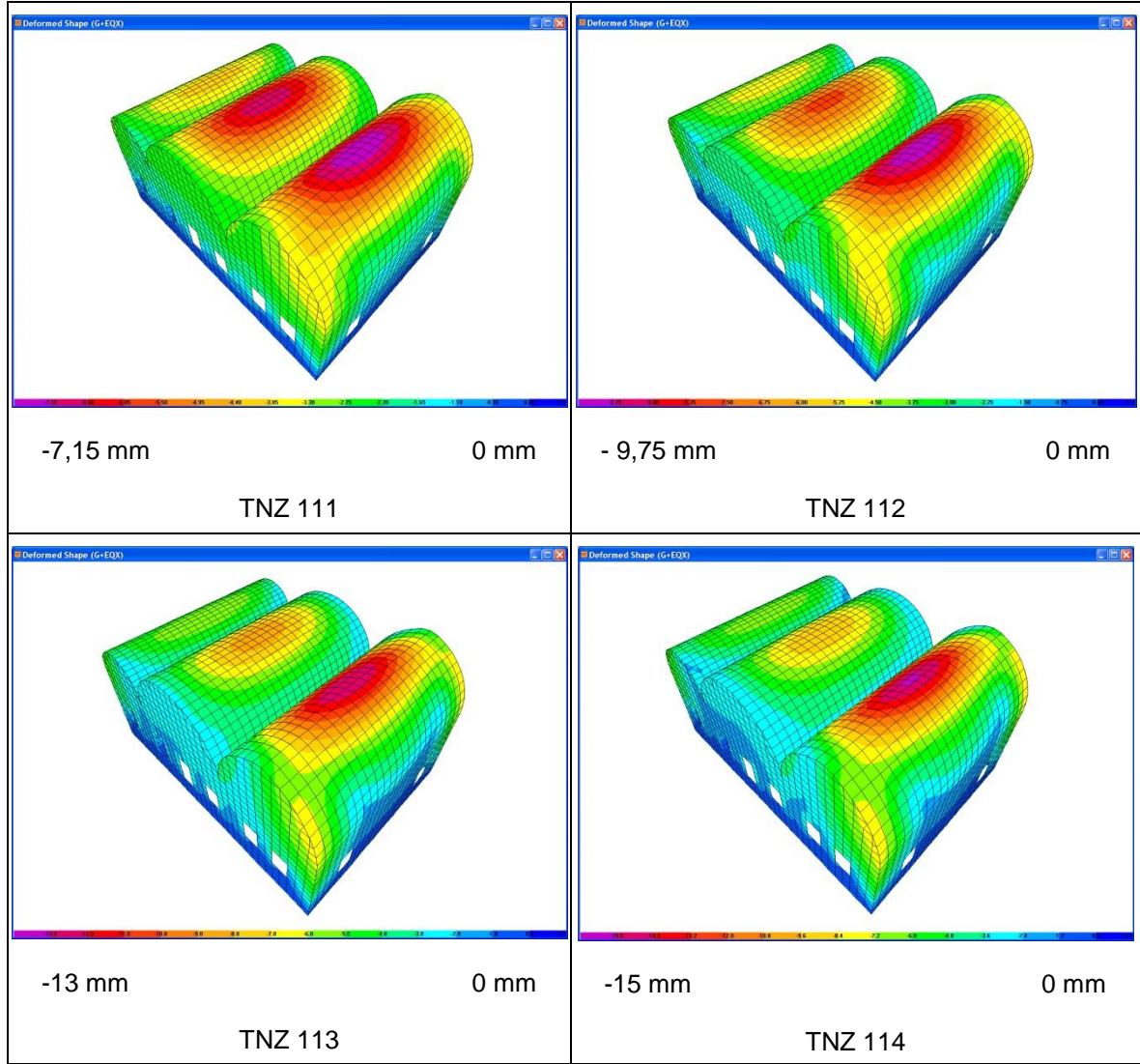
Buna göre, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da sırasıyla, bitişik üç tonozun değişik mesnet durumlarına göre yapılan hesaplar sonucunda elde edilen yer değiştirmeler ve gerilmeler gösterilmiştir. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de sırasıyla, tonozların gerçek mesnet şartlarını tanımlamak için yapının duvarları ile birlikte modellenerek farklı etkin yer ivme katsayısı ve zemin gruplarına göre yapılan hesaplar sonucunda elde edilen düşey yöndeki yer değiştirmeler ve gerilmeler gösterilmiştir. Son olarak, Şekil 5.9'da farklı elastisite modülü kabulü ile yapılan hesaplar sonucunda elde edilen yer değiştirme ve gerilmeler gösterilmiştir.



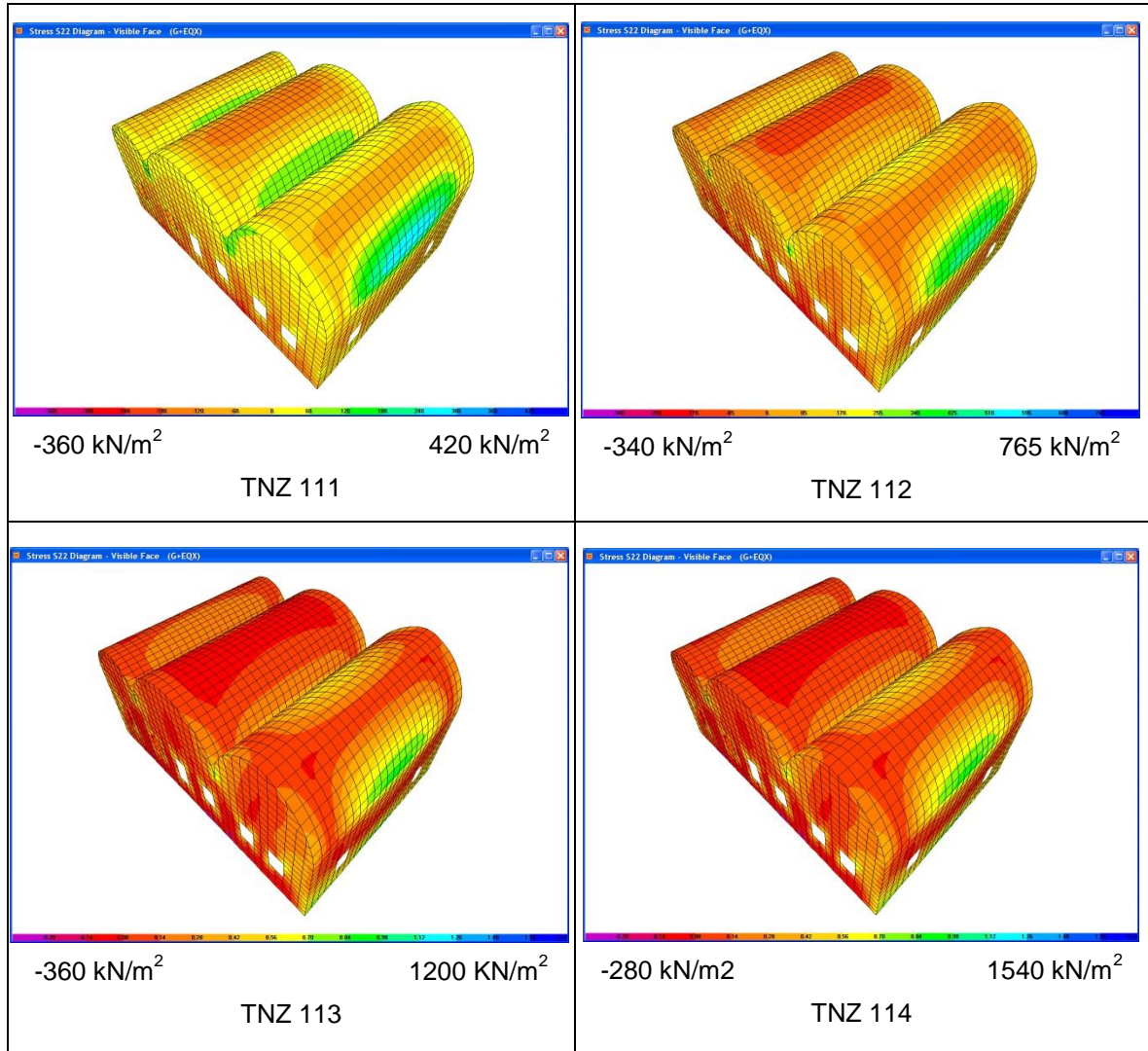
Şekil 5.5. Bitişik üç tonozun değişik mesnet durumlarına göre yapılan hesaplar sonucunda elde edilen yer değiştirmeler



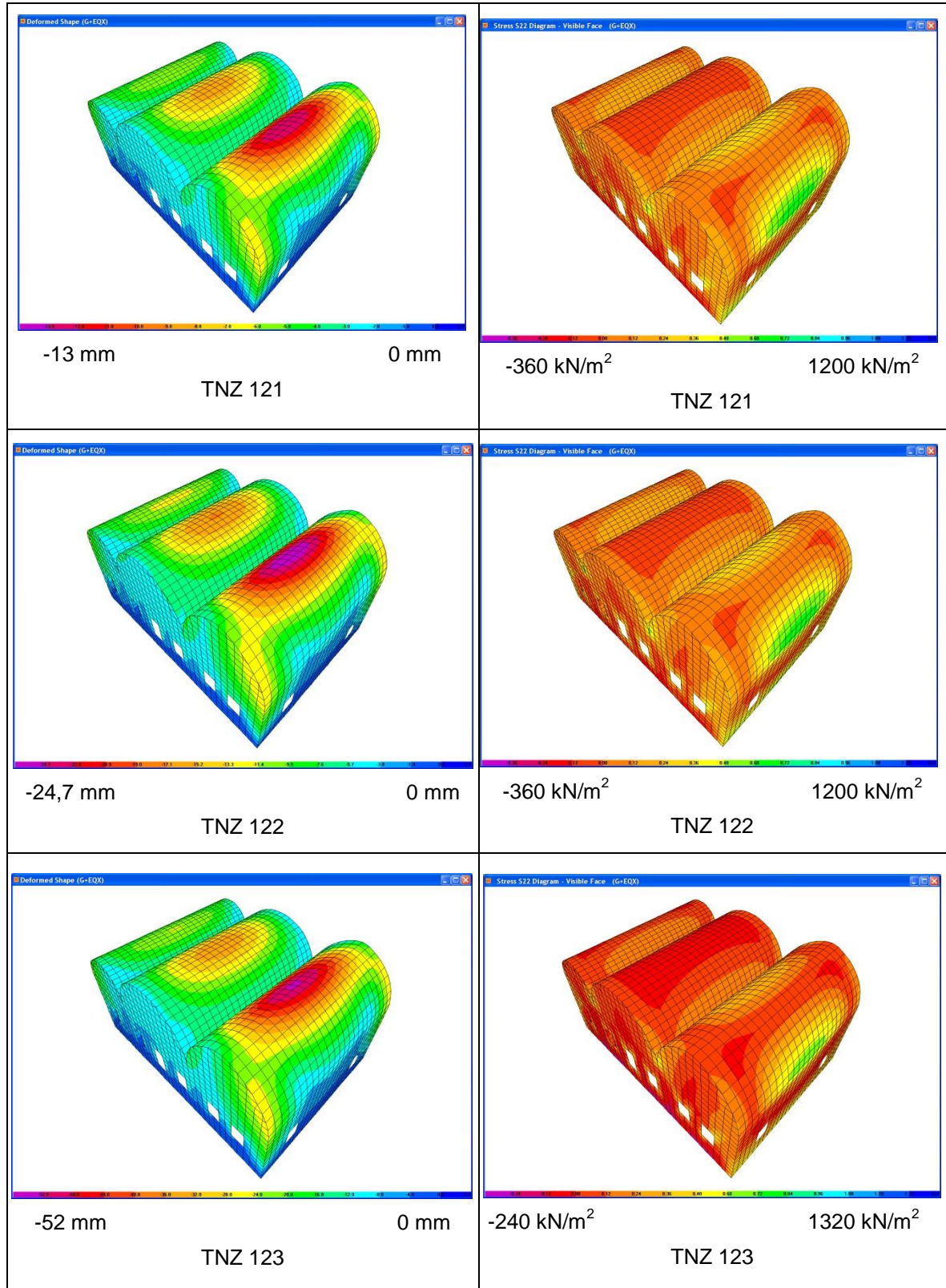
Şekil 5.6. Bitişik üç tonozun değişik mesnet durumlarına göre yapılan hesaplar sonucunda elde edilen gerilmeler



Şekil 5.7. Tonzların gerçek mesnet şartlarını tanımlamak için yapının duvarları ile birlikte modellenerek farklı etkin yer ivme katsayısı ve zemin gruplarına göre yapılan hesaplar sonucunda elde edilen düşey yöndeki yer değiştirmeler



Şekil 5.8. Tonozların gerçek mesnet şartlarını tanımlamak için yapının duvarları ile birlikte modellenerek farklı etkin yer ivme katsayısı ve zemin gruplarına göre yapılan hesaplar sonucunda elde edilen gerilmeler



Şekil 5.9. Farklı elastisite modülü kabulü ile yapılan hesaplar sonucunda elde edilen yer değiştirme ve gerilmeler

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında tarihi yapıların en önemli taşıyıcı sistem elemanlarından biri olan tonozların geometrik şekil değişikliğinin yapısal dayanımlarına etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tonozların geometrik biçimleri, açıklık / yükseklik oranları yapısal davranışı ve dayanımlarının belirlenebilmesi için en önemli ölçütlerden biridir. Bu nedenle tarihi yapı örneklerinden derlenerek belirlenen tonoz biçimleri farklı mesnet tipleri oluşturularak çeşitli yük etkileri altında seri analizlerle etüt edilmiştir. Bu analizler sonucunda genel olarak bilinen ve tanımlanan tonoz davranışı parametrik analitik hesaplarla da kontrol edilmiştir.

Ancak tek bir tonozun kabul edilen mesnet koşullarına göre yapılan hesaplar sonucunda yapısal davranışını tam olarak belirlemek mümkün değildir. Bu nedenle farklı biçimdeki tonozların bir arada bulunduğu çok az rastlanan bir yapı olan Diyarbakır İç Kale Camisi örnek olarak seçilmiştir. Farklı geometrik biçim ve boyutlara sahip yan yana duran tonozların oturdukları duvar, kemer ve sütunların özellikleri dikkate alınarak üç boyutlu sonlu elemanlar modeli hazırlanmış ve çeşitli yük ve mesnet şartlarına göre seri hesaplar yapılmıştır.

Taş veya tuğla örgü sistemi ile inşa edilen tarihi yapıların hesaplarında karşılaşılan en büyük zorluk taşıyıcı sistemi oluşturan malzemenin elastik olmayan mekanik özelliklerinin tam olarak tanımlanamıyor olmasıdır. Bu sorunun giderilmesi için çok daha karmaşık olan doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri vardır. Bu çalışmanın asıl amacı, belirli bir tarihi yapının strüktürel performansının belirlenmesi olmadığından hesaplar doğrusal elastik malzeme özellikleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Beşinci bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılan parametrik hesaplar sonucunda, geometrik biçim ve şekil değiştirmelere dayalı hesaplarda malzeme özelliklerinin sonuçları çok fazla etkilemediği görülmüştür.

Tonozların geometrik biçim ve boyutları göz önüne alınarak parametrik hesaplar yapılmıştır. Bu parametrik hesaplar sonucunda elde edilen tonozların şekil değiştirmiş haline göre tonozların yapısal davranışı hakkında aşağıdaki gözlemler yapılmıştır:

- Tonozların yapısal performansını ve davranışını etkileyen en önemli ölçüt, tonozun açıklık-yükseklik oranına dayalı geometrik biçimidir.
- Tonozları destekleyen diğer taşıyıcı sistem elemanlarının tonozlarla birleşim detayları, yapısal davranışını ve performansını yakından etkiler.
- Mekaniğin temel kurallarına uygun olarak doğrusal elastik hesaplar sırasında değiştirilen elastisite modülü elde edilen yer değiştirmelere de aynı oranda yansımaktadır. Bu nedenle, bu yöntem ile elde edilen sonuçların tonozlarda şekil değiştirmeye dayalı yapısal davranış belirlenmesinde kullanılması uygun değildir.
- Tonozları destekleyen taşıyıcı sistem elemanlarının rijitlik oranları ve birbirleriyle bağlantı detayları, tonozların geometrik şekil değişikliğini doğrudan etkilemektedir. Bundan dolayı, tonozların geometrik biçim ve ölçülerine dayalı yapısal davranış araştırmalarında bu yöntemin uygulanması daha uygundur.
- Tonozların tek başına sadece kendi geometrik biçim ve ölçülerine göre yapısal davranışını incelemek tek bir tonoz için geçerli olsa da tarihi bir yapı üzerinde diğer taşıyıcı sistem elemanlarıyla birlikte yer alan tonozların yapısal davranışı ve performansı diğer elemanlarla bağlantı şekli ile doğrudan ilgilidir. Bu yüzden, karmaşık bir yapı içinde yer alan tonozların yapısal davranışının sadece o tonozun geometrik biçim ve boyutlarına göre belirlenmesi mümkün değildir.
- Teorik olarak sismik hesaplarda dikkate alınan yer ivme katsayısı ve zemin tipi gibi değişkenler doğrusal elastik hesaplarda sonuçlara aynı oranlarda yansımaktadır. Ancak, özellikle tarihi yapılarda taşıyıcı sistem elemanlarının günümüzün modern yapılarına göre oldukça düzensiz olan boyutları ve farklı malzeme özellikleri bu yapıların doğal titreşim periyotlarını etkilediğinden, yukarıda belirtilen birleşim detayları ve mesnet koşullarıyla birleşince sismik davranışlarını büyük ölçüde etkilemektedir.
- Tarihi yapıların çoğunda tonozları destekleyen diğer taşıyıcı sistem elemanları yapım aşamasında ya da birçok nedenden dolayı sonraki zamanlarda gerçekleşen değişikliklerden dolayı geometrik düzensizliğe sahiptir. Tonozları destekleyen düzensiz diğer taşıyıcı sistem elemanlarının sismik davranışından dolayı tonozların davranışlarında da beklenmedik farklılıklar ortaya çıkabilir. Bu yüzden yukarıdaki maddelerde de sözü edildiği gibi tarihi yapılardaki tonozların

yapısal davranışı hiçbir zaman genel tonoz davranışı dikkate alınarak tek başına incelenmemelidir.

Bu tez çalışmasında çeşitli ölçütlere göre gerçekleştirilen parametrik hesaplar sonucunda, tarihi yapılarda çok kullanılan tonozların geometrik biçim farklılıkları ve değişimlerine göre yukarıda sıralanan yapısal davranışları incelenmiştir. Hasar görmüş ya da çeşitli sebeplerden dolayı kısmen yıkılmış tonozların benzer bir şekilde yapılacak çalışmayla yapısal davranışları belirlenebilir. Kültür mirasımızın korunması ve geleceğe güvenle devredilebilmesi için onarım ve güçlendirme yöntemleri geliştirilebilir. Bu çalışma sadece geometrik biçim ve mesnet koşullarının değiştirilmesi sonucunda gerçekleştirilen hesaplara göre elde edilen sonuç ve yorumları içermektedir. Elde edilen sonuçlar kısmen hasar görmüş veya yıkılmış tarihi yapılar için yapılacak hesaplarda yararlı bilgilerin elde edilebileceğini işaret etmektedir. Bu nedenle, gelecekte bu tür bir çalışmanın yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

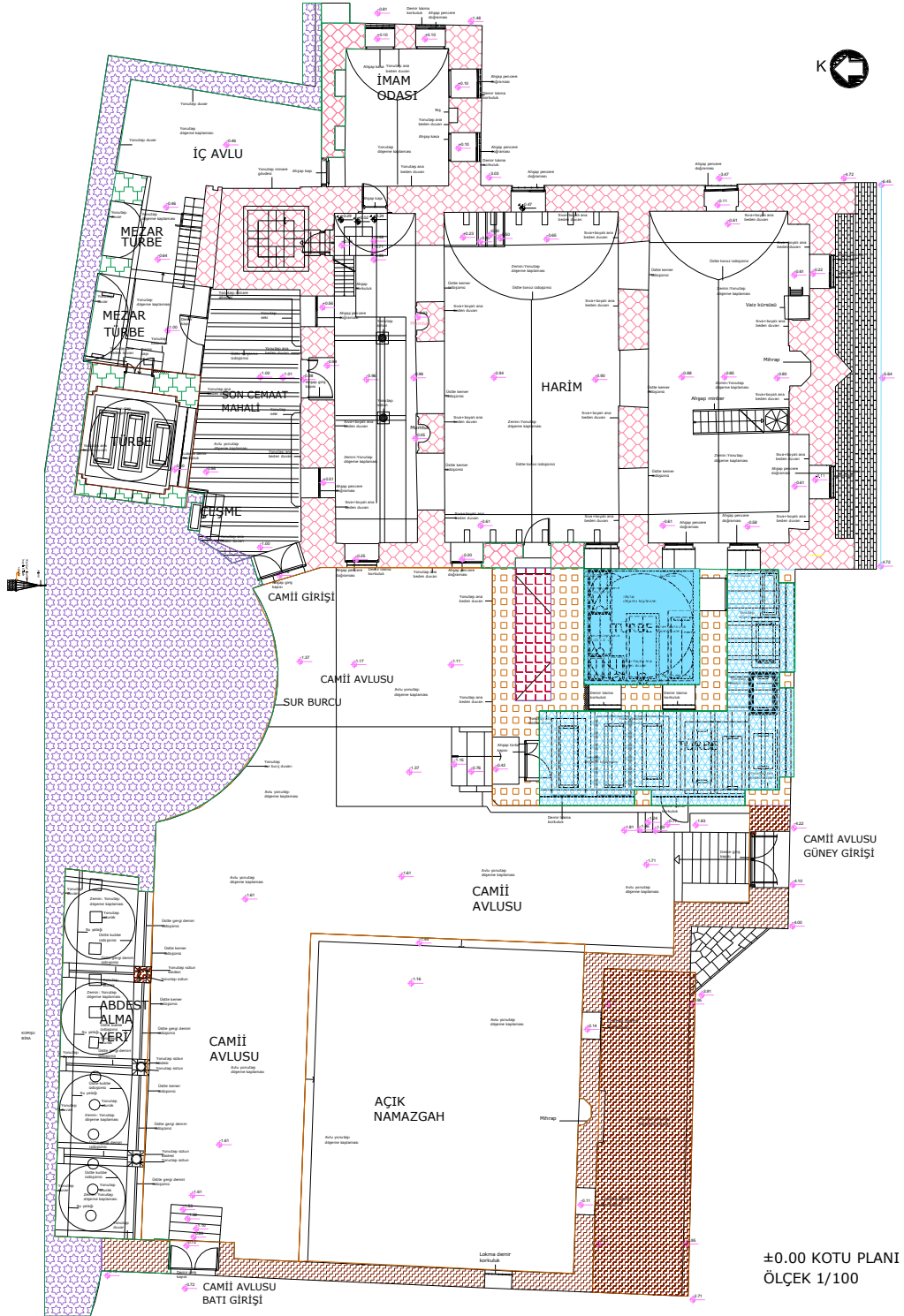
- Arun, G., Yiğma Kagir Yapı Davranışı, (2005). Yiğma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, Ankara
- Ay, Z., Çarıhoğlu, A., I., Korkmaz, K., A., Nuhoğlu, A., Orhon, A., V. (2012). Yiğma Yapıların Yapısal Davranışının İncelenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim Tek. Dergisi*, 2(2), 41-53.
- Bayraktar A., (2005, 17 Şubat). Tarihi Yiğma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi, Yiğma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, Ankara
- Bayraktar, A. (2006). *Tarihi Yapıların Analitik İncelenmesi ve Sismik Güçlendirme Metodları*. İstanbul/Türkiye: beta, 11.
- Bayülke, N. (1992a). *Yiğma Yapılar*.(2). Ankara/Türkiye: Özyurt Matbaacılık, 50.
- Bayülke, N. (1992b). Depremde Hasar Gören Yapıların Onarımı Ve Güçlendirilmesi, Ankara: T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası Basım İşliğı.
- Boran, A., (2001), Anadolu'daki İç Kale Cami ve Mescitleri. Ankara/Türkiye: Türk Tarih Kurumu Yayını, Ankara, 34–42.
- Can, H., Kubin, J., Ünay, A. İ., Düzensiz Geometrik Şekle Sahip Tarihi Yiğma Binaların Sismik Davranışı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(3), 679-686.
- Can, H., Ünay, A. İ. (2012). Tarihi Yapıların Deprem Davranışını Belirlemek İçin Sayısal Analiz Yöntemleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(1), 211-217.
- Casolo, S., Sanjust, C. A. (2009). Seismic analysis and strengthening design of a masonry monument by a rigid body spring model: The "Maniace Castle" of Syracuse. *Engineering Structures*, 1447-1459.
- CSI, SAP2000 V-8, (1998). Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual. Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA.
- Çamlıbel, N. (2000a). *Temellerin Takviyesi*.(1). İstanbul/Türkiye: Birsen Yayınevi, 11, 12, 28.
- Çamlıbel, N. (2000b). *Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi*.(1). İstanbul/Türkiye: Birsen Yayınevi, 1.
- Çamlıbel, N. (2002). *Mimarlıkta Teknik Mekanik Statik Taşıyıcı Sistemlerin Dengesi*.(1). İstanbul/Türkiye: İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları, 39-40.

- D'ayala, D., Speranza, E., (2003), Definition of collapse mechanisms and seismic vulnerability of historical masonry buildings. *Earthquake Spectra*, 19(3), 479-509.
- Giordano, A., Mele, E., & De Luca, A. (2002). Modelling of historical masonry structures: comparison of different approaches through a case study. *Engineering Structures*, 24(8), 1057-1069.
- Hasol, D. (1988). *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*.(3). İstanbul/Türkiye: Yem Yayın, 165, 282, 283, 318, 319, 397, 398, 518, 524.
- Hutton, D.V. (2004). *Fundamentals of The Finite Element Analysis*, London: The Mc- Graw Hill Companies, 10.
- Kuban, D. (1973). *Mimarlık Kavramları*.(1). İstanbul/Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 31, 35-39.
- Lourenço, P. B., (2001), Analysis of historical constructions: From thrust-lines to advanced simulations. *Historical Constructions*, 91-116.
- Lourenço, P. B., Oliveira, D. V., & Mourão, S. (2001). Numerical analysis as a tool to understand historical structures. The example of the Church of Outeiro. *Studies in Ancient Structures*, 355-364.
- Lourenço, P.B. (2002), Computations on Historic Masonry Structures. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 4(3), 301-319.
- Lourenço, P. B. (2004). Analysis and restoration of ancient masonry structures: guidelines and examples, *Innovative Materials and Technologies for Construction and Restoration*, Lecce, Italy, 23-41.
- Roca, P., González, J. L., Oñate, E., & Lourenço, P. B. (1998). Experimental and numerical issues in the modelling of the mechanical behaviour of masonry. *CIMNE, Barcelona*, 57-91.
- Roca, P., López-Almansa, F., Miquel, J., & Hanganu, A. (2007). Limit analysis of reinforced masonry vaults. *Engineering structures*, 29(3), 431-439.
- Sesigür, H., Çelik, O. C., Çılı, F. (2007). Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler, Hasar Biçimleri, Onarım Ve Güçlendirme. *İstanbul Bülten Yapı Dergisi*, 303(89), 10-21.
- Smoljanović, H., Živaljić, N., & Nikolić, Ž. (2013). Overview of the methods for the modelling of historical masonry structures. *Građevinar*, 65(07), 603-618.
- T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü / DİYARBAKIR Bölge Müdürlüğü.Arşivi

- Top, M., Koç, E. (2011), *Diyarbakır'ın Osmanlı Dönemi Öncesi Cami Ve Mescitleri*. YILDIZ, İ. (editör), *Medeniyetler Mirası Diyarbakır Mimarisi*, Diyarbakır Valiliği Kültür ve Sanat Yayınları-3, Diyarbakır, 227-256
- Toker, S., Ünay, A., İ. (2004). Kemerli Taş Köprülerin Matematiksel Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17(2), 129-139.
- Tuna, M. E. (2000). *Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*.(1). Ankara/Türkiye: Ajans-Türk, 31.
- Türk Standartları Enstitüsü (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Ankara.
- Ural, A., (2009), *Yığma Yapıların Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Ünay, A. İ. (2001). Structural wisdom of architectural heritage. In *International Congress organised by UNESCO and COMOS, More Than Two Thousand Years in The History of Architecture, Bethlehem*, 22-25.
- Ünay, A. İ. (2002). *Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı*.(1). Ankara/Türkiye: Odtü Yayınları, 1, 36, 52-57,62-64,71,105,118.
- Yaldız, E., Yavuz, G., Yılmaz, Ü. S., *Tarihi Taş Yığma Konutların Güçlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler: Ürgüp İbrahim Paşa Köyünden Bir Konut Örneği*. *e-journal Of New World Sciences Academy*, 6(4) , 1033-1052.
- Yasemin BARAN fotoğraf arşivi, 2014.
- İnternet: T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Afet Bilgi Bankası. İllerin Afetselliği. Diyarbakır. URL: <http://www.webcitation.org/6VYIOOfxC>, Son Erişim Tarihi: 13.01.2015
- İnternet: T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası. Diyarbakır. URL: <http://www.webcitation.org/6VYoMbrVK>, Son Erişim Tarihi: 14.01.2015
- İnternet: Auroville Earth Institute. An Intro to Earth Architecture. <http://www.webcitation.org/6VYom4dtL>, Son Erişim Tarihi: 14.01.2015

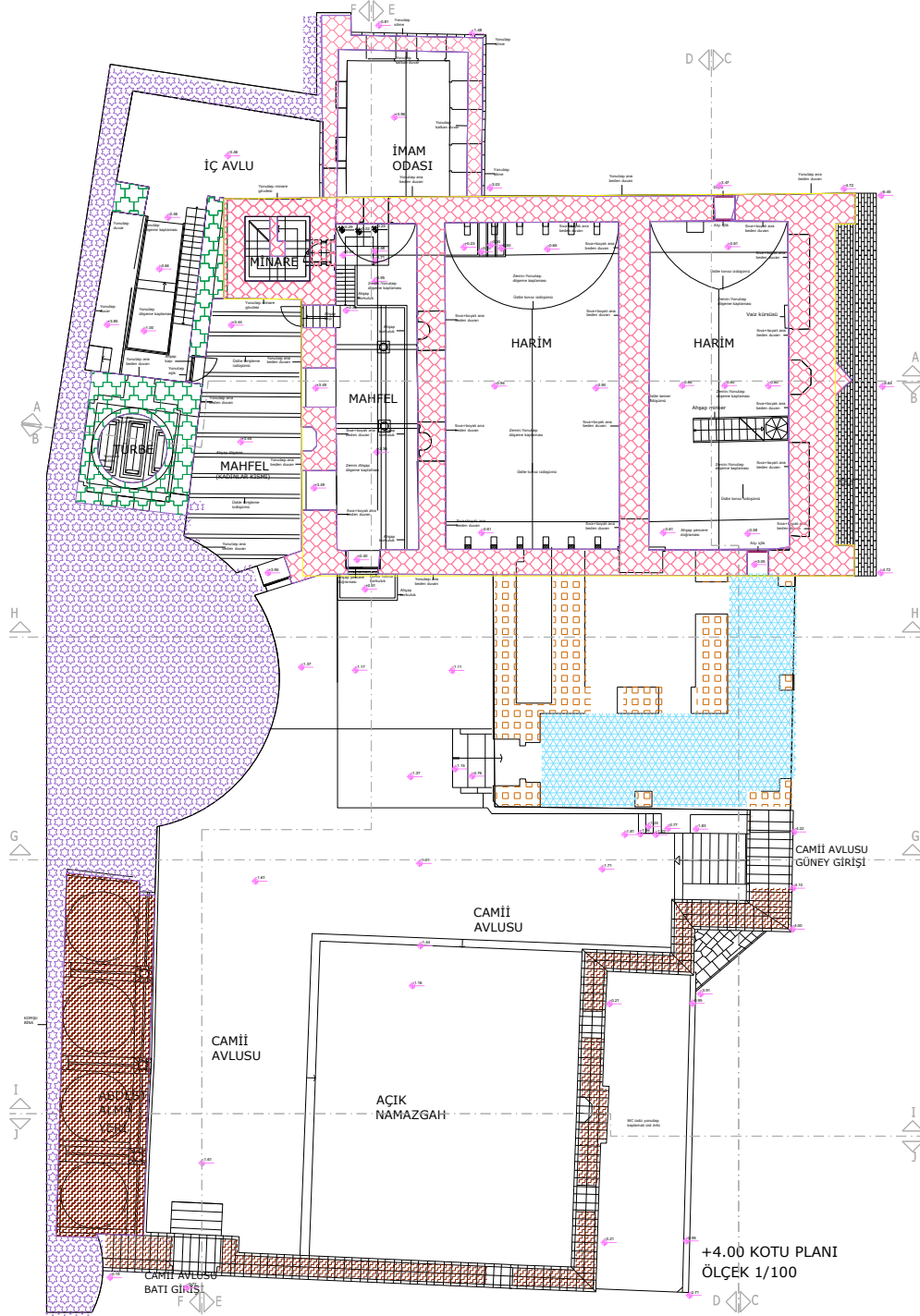
EKLER

EK-1. Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görünüşleri)



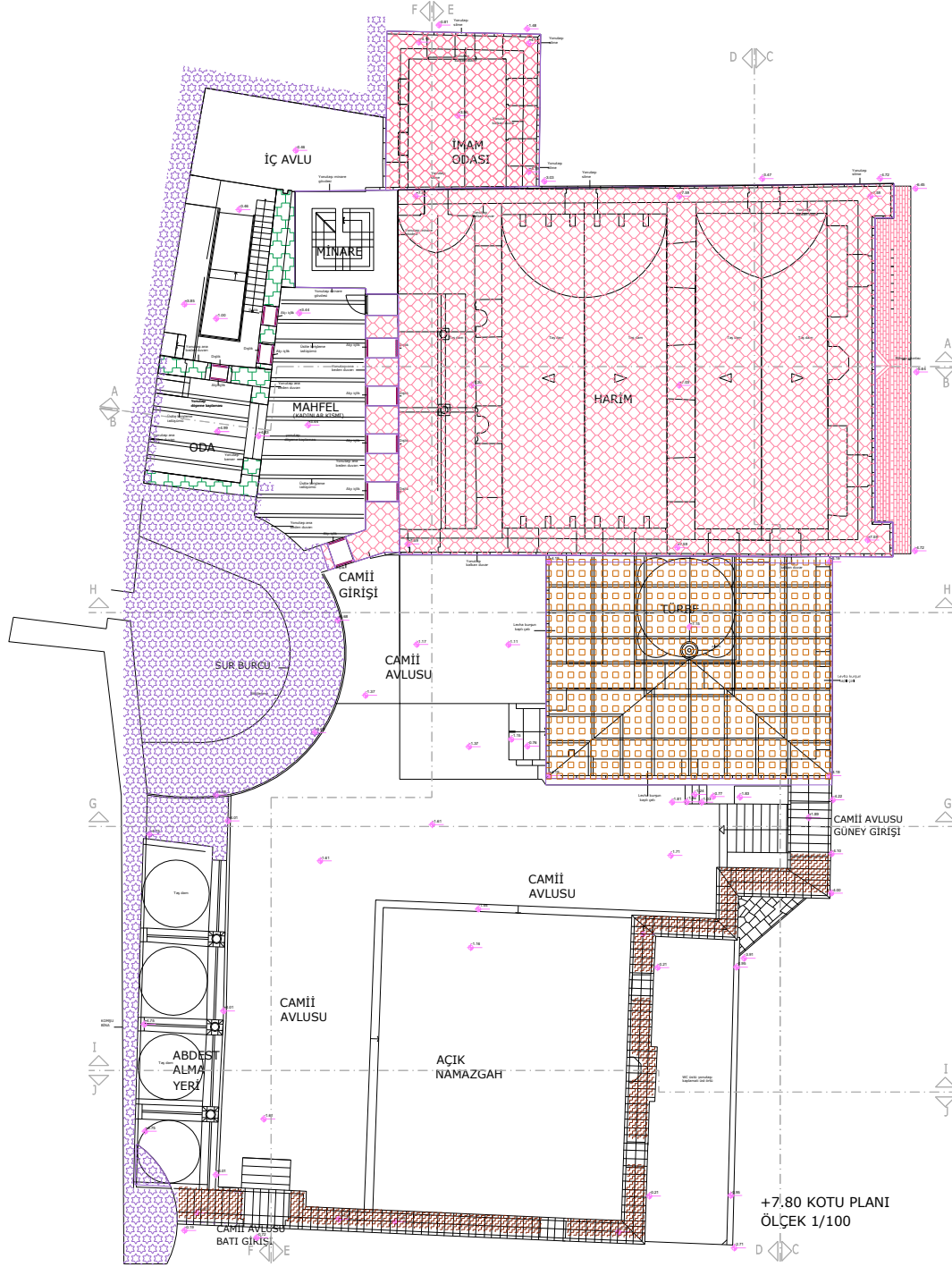
Resim 1.1. ±0.00 kotu planı

EK-1. (devam) Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görüşleri)



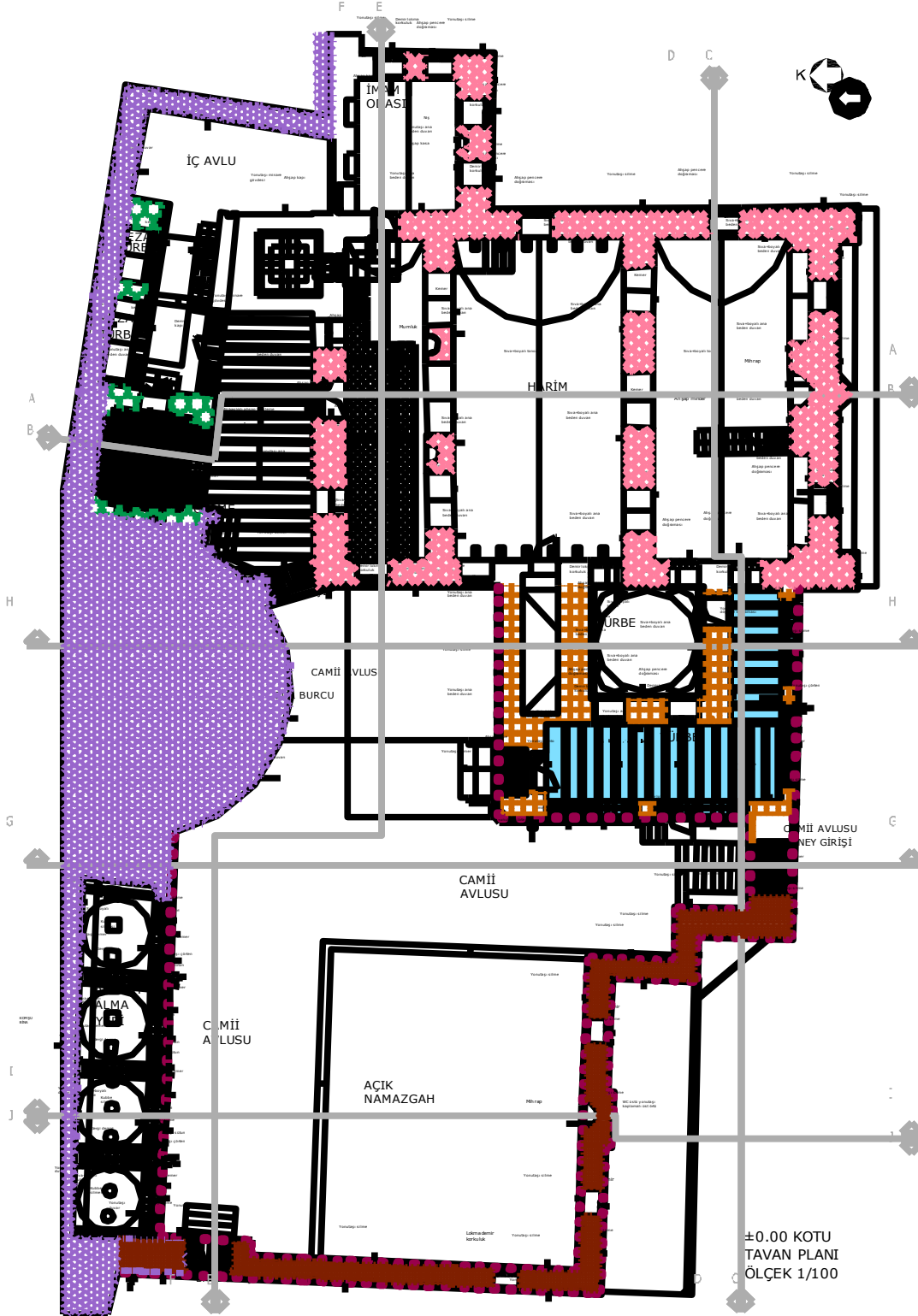
Resim 1.2. +4.00 kotu planı

EK-1. (devam) Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görünüşleri)



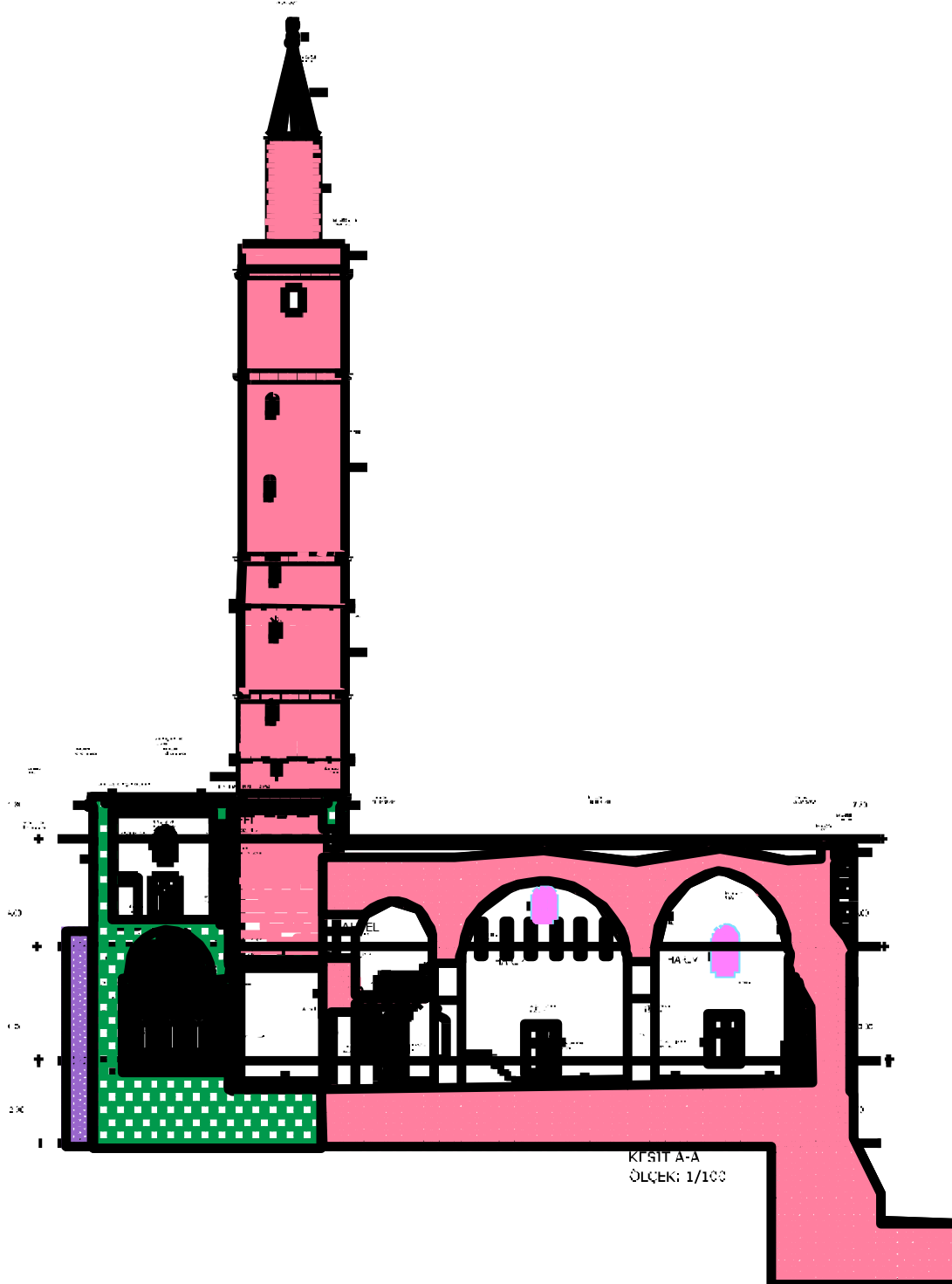
Resim 1.3. +7.80 kotu planı

EK-1. (devam) Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görüşleri)



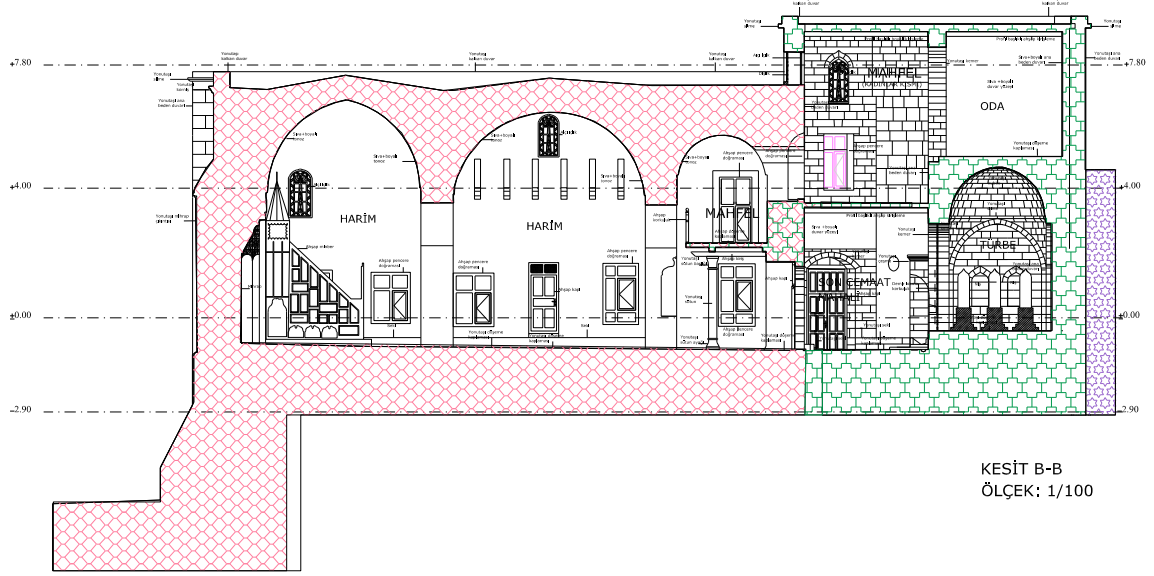
Resim 1.4. ±0.00 kotu tavan planı

EK-1. (devam) Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görüşleri)



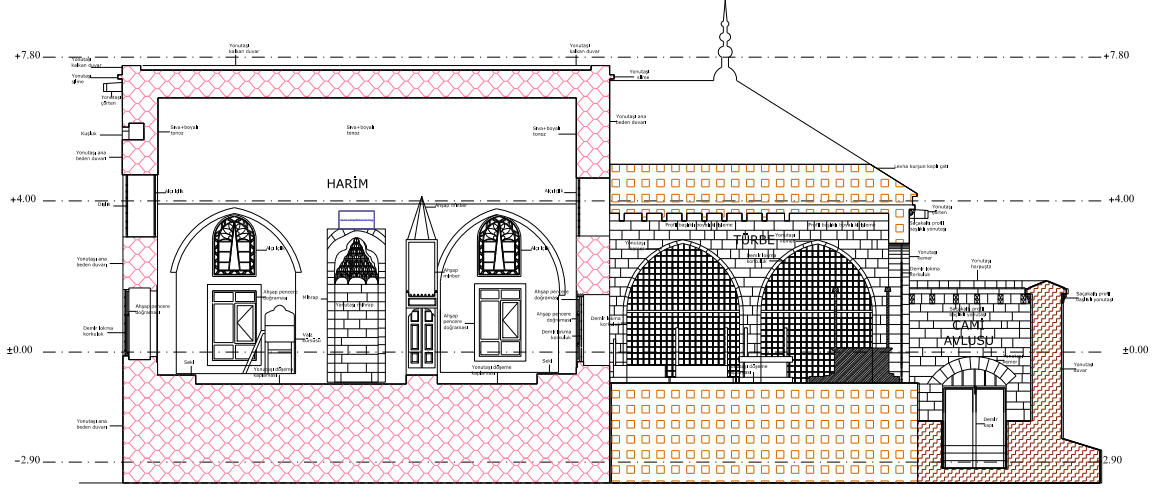
Resim 1.5. A – A kesiti

EK-1. (devam) Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görüşleri)



Resim 1.6. B – B kesiti

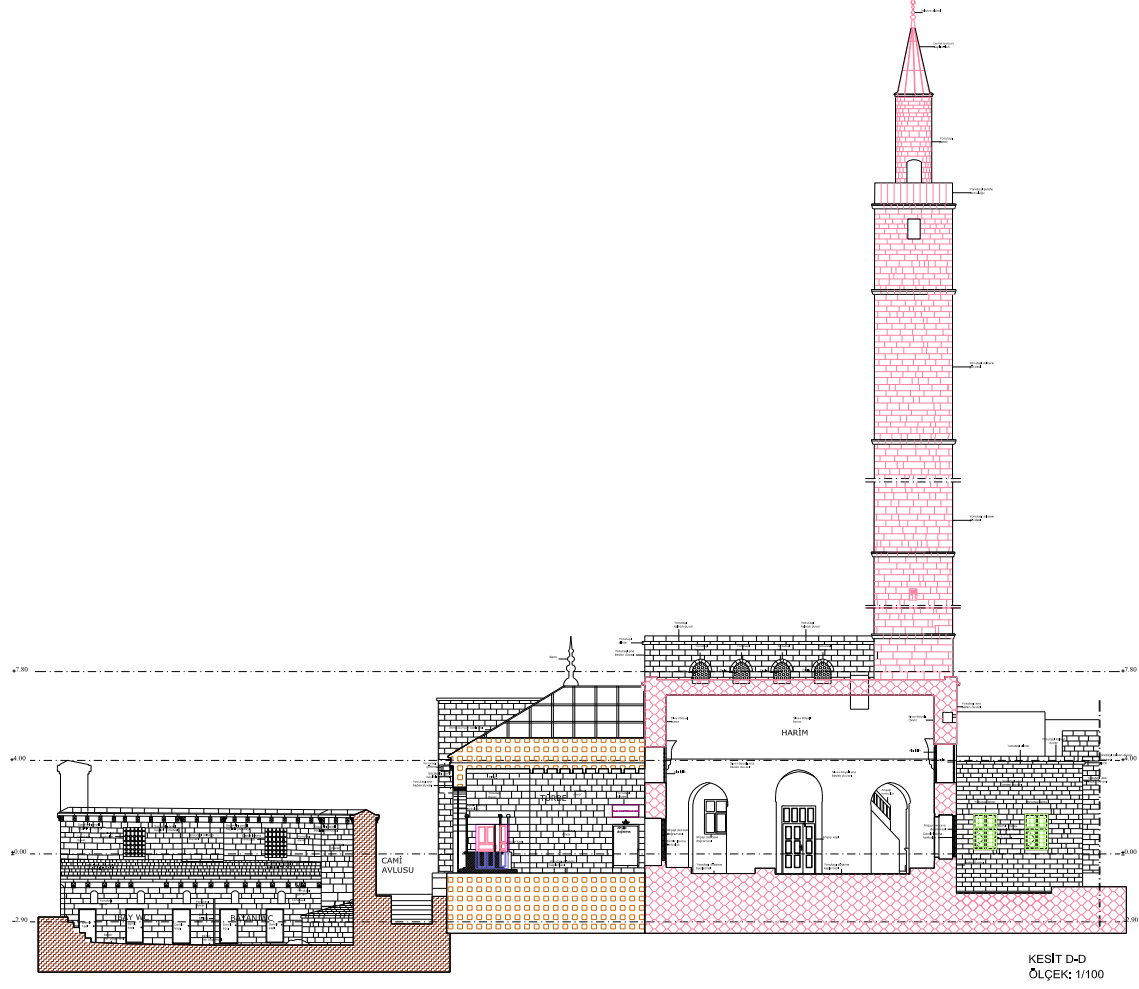
EK-1. (devam) Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görünüşleri)



KESİT C-C
ÖLÇEK: 1/100

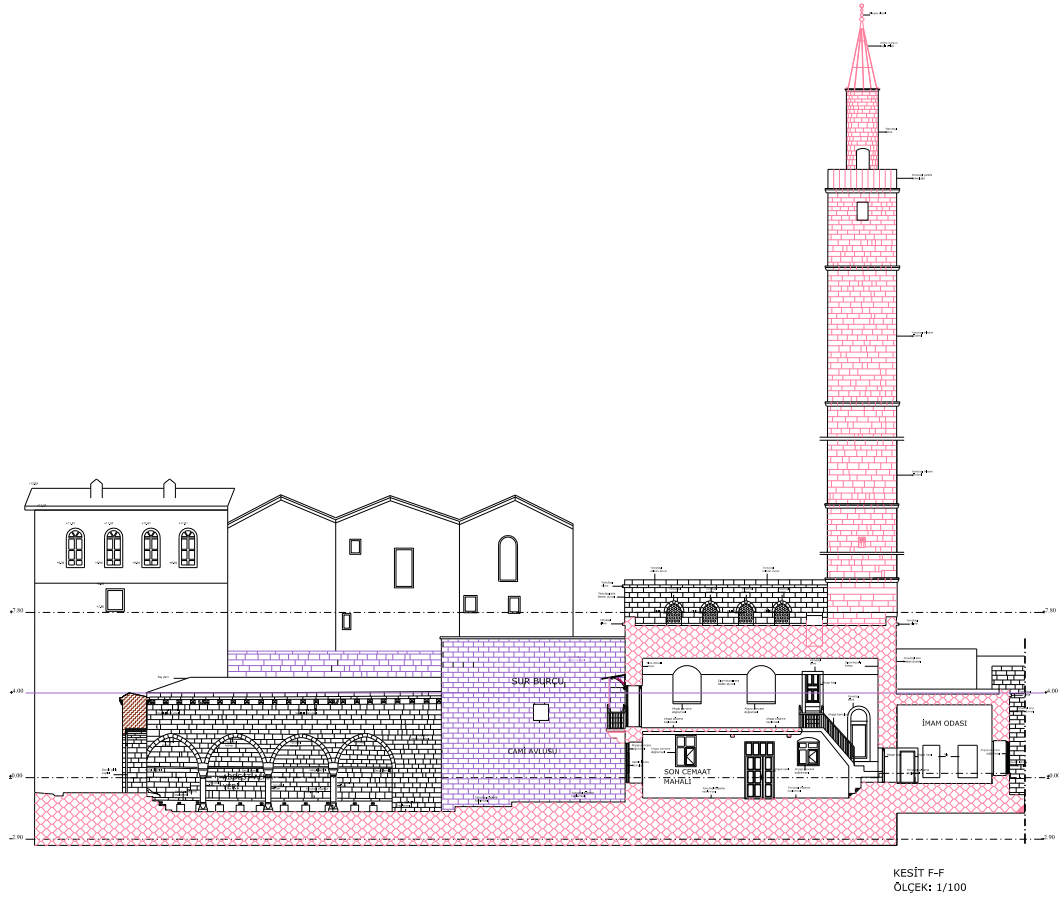
Resim 1.7. C – C kesiti

EK-1. (devam) Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görüşleri)



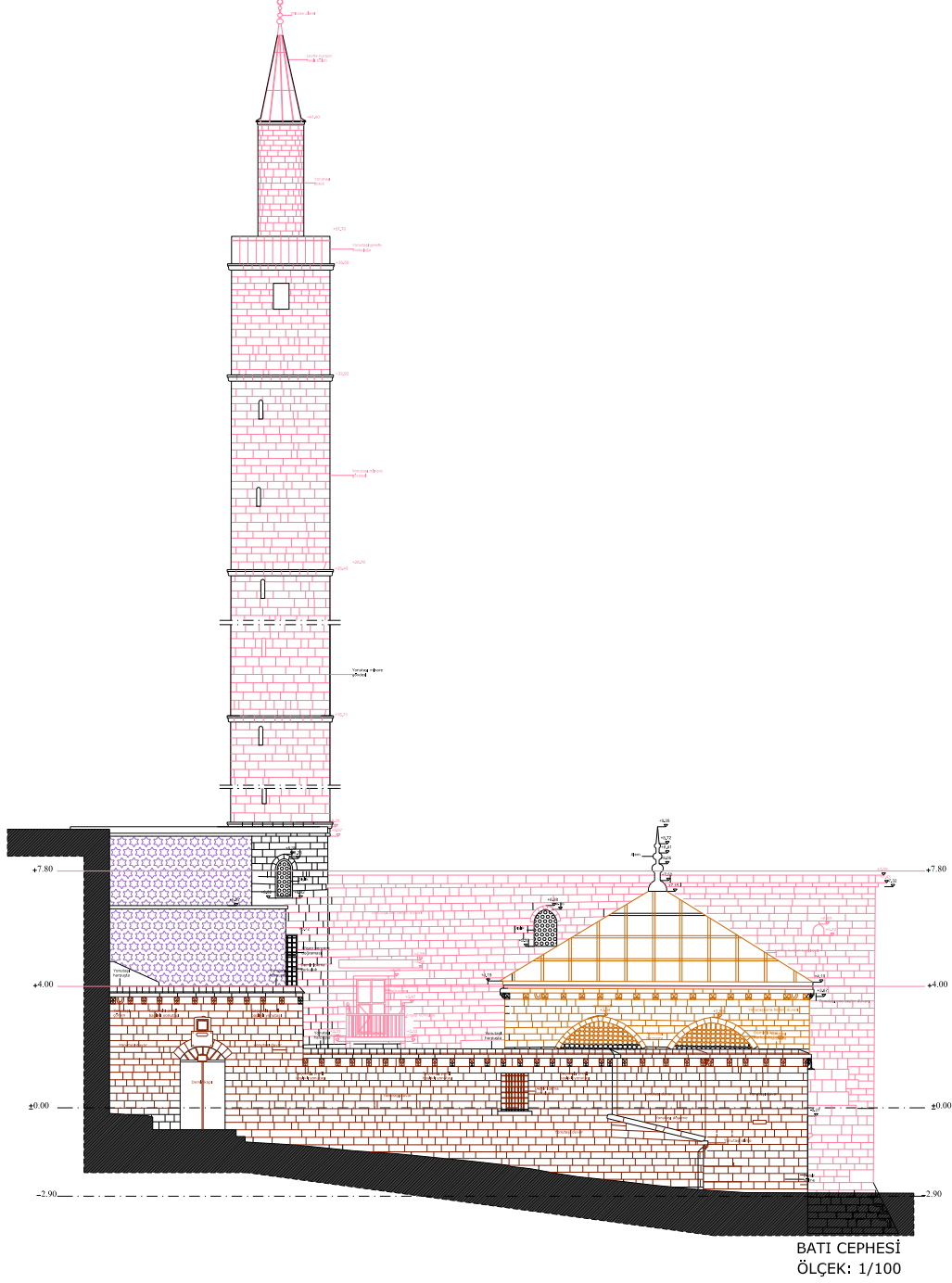
Resim 1.8. D – D kesiti

EK-1. (devam) Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görünüşleri)



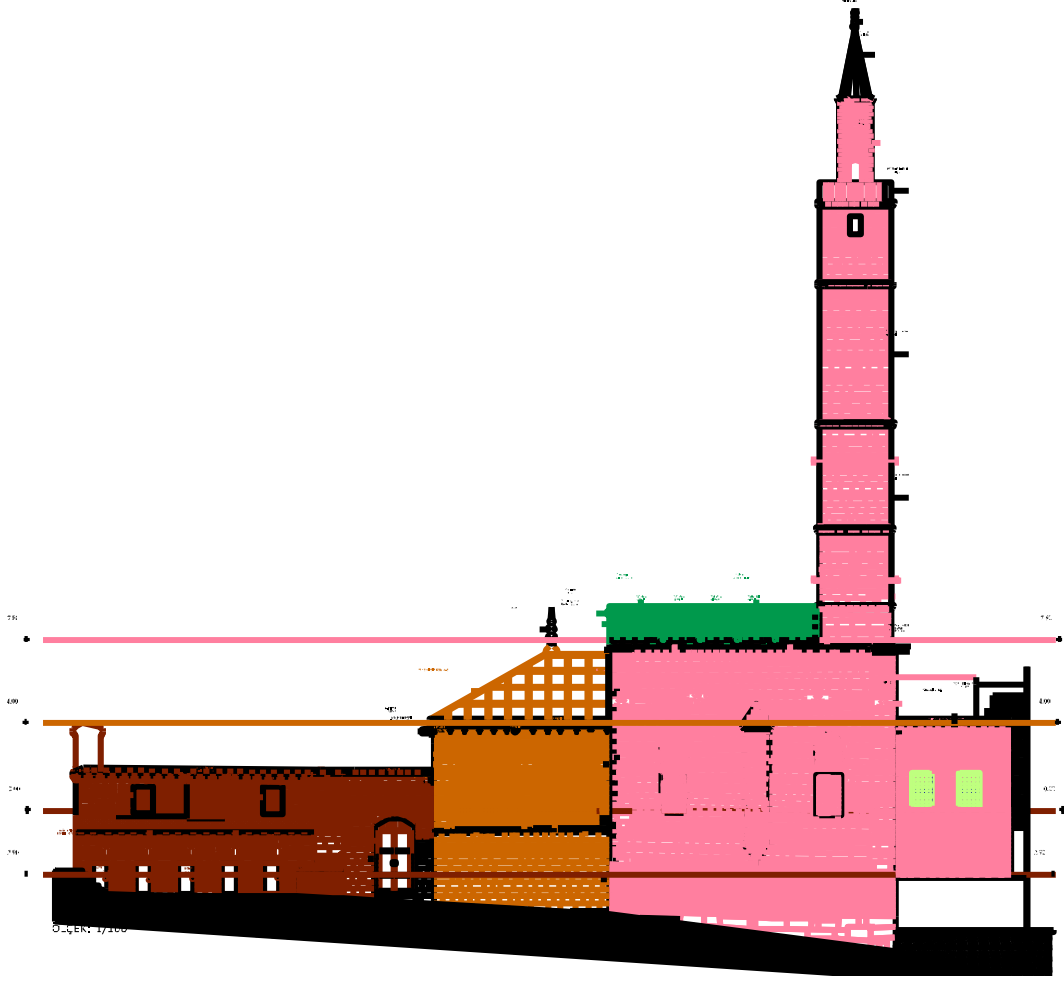
Resim 1.9. F – F kesiti

EK-1. (devam) Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görüşleri)



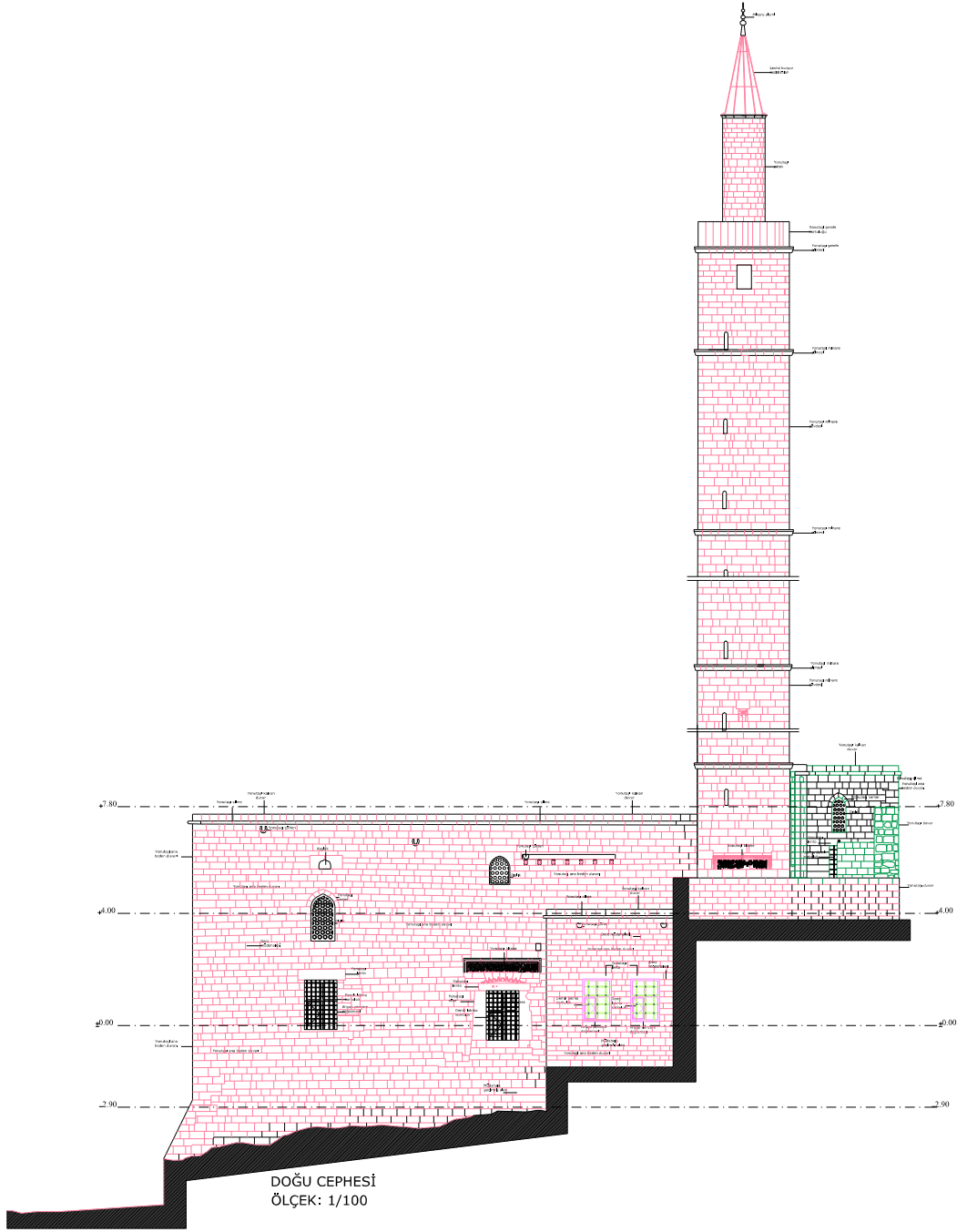
Resim 1.10. Batı cephesi görünüşü

EK-1. (devam) Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görüşleri)



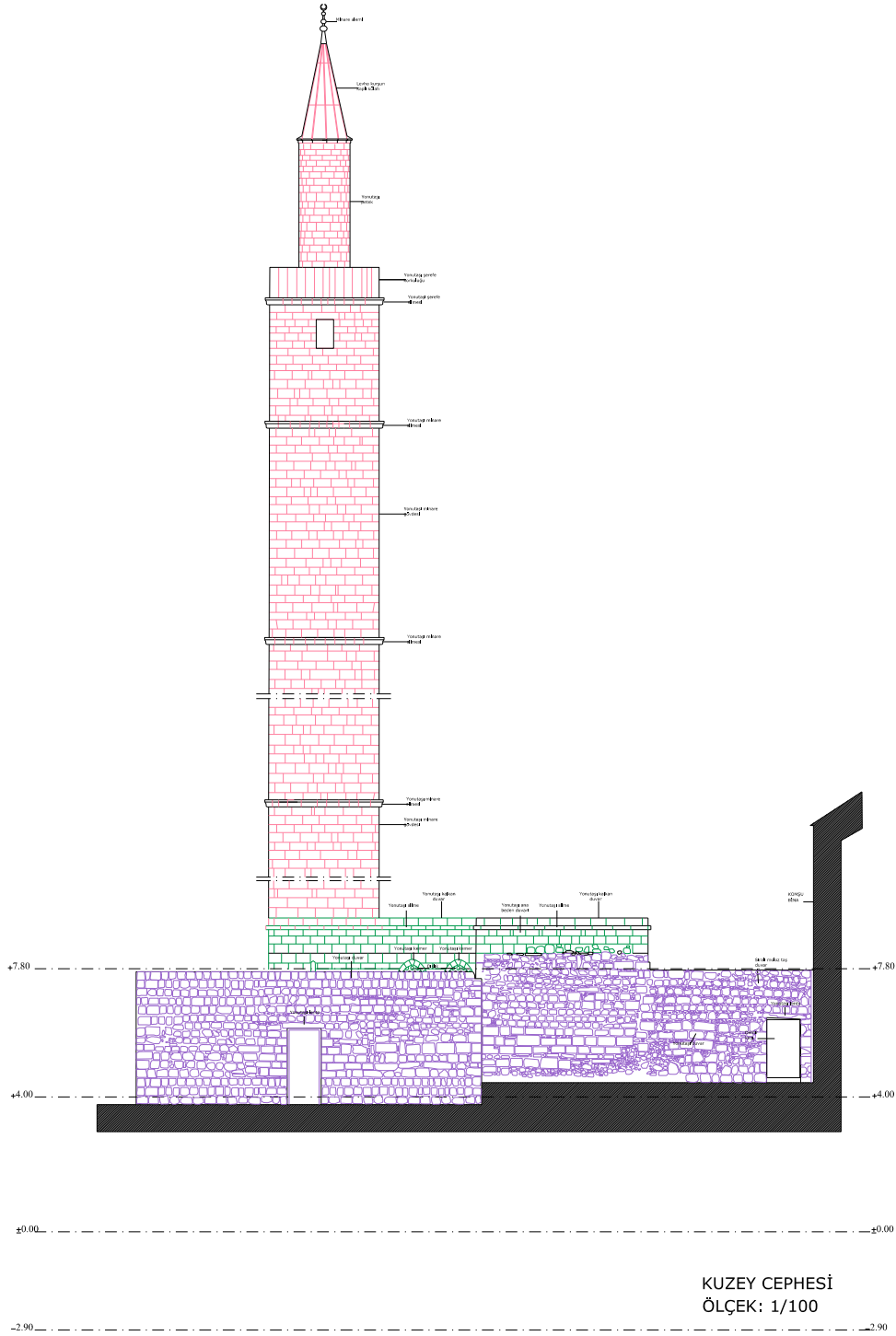
Resim 1.11. Güney cephesi görünüşü

EK-1. (devam) Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görünüşleri)



Resim 1.12. Doğu cephesi görünüşü

EK-1. (devam) Diyarbakır İç Kale Camisi'nin rölöve çizimleri (Kat planları, kesit ve görüşleri)



Resim 1.13. Kuzey cephesi görünüşü

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Yasemin, BARAN
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.03.1985, Refahiye
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (541) 5120506
 Faks :
 E-Posta : yasemin.baran@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Okul/Program	Mezuniyet tarihi
Lisana	Gazi Üniversitesi/Yapı Eğitimi	2008
Lise	Boğaziçi Behçet Kemal Çağlar Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2008-2011	Gazi Üniversitesi	Öğrenci Asistan
2011-2013	Tümaş AŞ.	Teknik Personel
2013-devam ediyor	Giresun Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Koç, Y., Gültekin, A. B., Durmuş, G. ve Dikmen, Ç. B., "Yüksek Yapı Tasarımının Malzeme ve Taşıyıcı Sistem Kapsamında İncelenmesi", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu - IATS'09, Karabük Üniversitesi, Karabük, 13-15 Mayıs 2009.

2. Harmankaya Z. Y., Koç, Y. ve Tuna M. E., "The Importance of Earthquake Resistant Building Design on Architectural Education", *International Earthquake Symposium*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 17-19 Ağustos 2009.
3. Harmankaya Z. Y., Özmen, C., Koç, Y. ve Ünay, A. İ, "Mimarlık Eğitiminde Taşıyıcı Sistemlerinin Çözümü ve Tasarımı", *Mimari Tasarım Eğitimi'09: Bütünleşme Ulusal Sempozyumu*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 24-26 Haziran 2009.
4. Koç, Y. ve Gültekin, A. B., "Yeşil Çatılar ve Türkiye'deki Uygulamaları", 5. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 15 -16 Nisan 2010.
5. Koç, Y., "Yapılarda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı: Güneş Enerjisi Örneği", *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS)*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 26-28 Mayıs 2010.



GAZİ GELECEKTİR..