

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YIĞMA YAPILARDA
DERZ KALINLIĞI VE DUVAR ÖRME TEKNİĞİNİN YAPIYA ETKİSİNİN
ANİZOTROP BİR MODEL ÜZERİNDE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dişura Samed DEMİRKAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

EYLÜL 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YIĞMA YAPILARDA
DERZ KALINLIĞI VE DUVAR ÖRME TEKNİĞİNİN YAPIYA ETKİSİNİN
ANİZOTROP BİR MODEL ÜZERİNDE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Dişura Samed DEMİRKAN
501101018**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Öğr. Gör. Dr. Bahattin KİMENÇE

EYLÜL 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101018 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Dişura Samed DEMİRKAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YIĞMA YAPILARDA DERZ KALINLIĞI VE DUVAR ÖRME TEKNİĞİNİN YAPIYA ETKİSİNİN ANİZOTROP BİR MODEL ÜZERİNDE İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Öğr. Gör. Dr. Bahattin KİMENÇE**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Alper İLKİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Zafer KÜTÜĞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **28 Ağustos 2014**
Savunma Tarihi : **18 Eylül 2014**

AILEME,

ÖNSÖZ

Öncelikle bu çalışma süresince büyük bir özveriyle bana her konuda destek olan, tez danışmanlığımı yürüten değerli hocam , Sayın Öğr.Gör.Dr.Bahattin KİMENÇE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimi boyunca derslerime giren tüm değerli hocalarıma ve ilk danışmanım Prof.Dr.Pelin Gündeş BAKIR.'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu süreçte her türlü yardımını esirgemeyen değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2014

Dişura Samed DEMİRKAN
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
SEMBOL LİSTESİ	xvii
ÖZET	ixx
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Yığma Yapıların Tarihi Ve Kültürel Mirasa Etkileri	1
1.2 Yığma Yapı Genel Bilgiler	2
1.2.1 Yığma yapı tanımı	2
1.2.2 Yığma yapı davranışı.....	2
1.2.3 Malzeme özellikleri	3
1.2.3.1 Harç.....	4
1.2.3.2 Tuğla	5
1.2.3.3 Taş.....	5
1.2.3.4 Ahşap	5
2. YIĞMA YAPILARIN MODELLENMESİ	7
2.1 Modelleme Yöntemleri	7
2.1.1 Mikro model yöntemi	7
2.1.2 Basitleştirilmiş mikro model yöntemi	8
2.1.3 Makro model yöntemi	9
2.2 Model Oluşturma.....	11
2.2.1 Kullanılan malzemelerin özellikleri	11
2.2.2 Model A	12
2.2.2 Model B	13
2.2.3 Model C	13
2.2.3 Model D	14
3. MODELLERİN İNCELENMESİ	15
3.1 Düşey Yüklemeler	15
3.1.1 Model A için düşey yüklemeler	15
3.1.2 Model B için düşey yüklemeler	17
3.1.3 Model C için düşey yüklemeler	17
3.2 Yatay Yüklemeler.....	18
3.2.1 Model A için yatay yükleme	19
3.2.2 Model B için yatay yükleme	20
3.2.3 Model C için yatay yükleme	21
3.3 Model D Elastisite Modülü Hesabı	22
3.4 Elastisite Modüllerinin Nümerik Hesabı	22
3.4.1 Düşey elastisite modülünün bulunması	22
3.4.2 Yatay elastisite modülünün bulunması.....	23
3.4.3 Elastisite modülü-kalınlık oranları grafiğinin oluşturulması	24

4. ÖRNEK YAPI MODELİ VE ANALİZLER	27
4.1 Yapı Hakkında Genel Bilgiler	27
4.2 Yüklemeler Hakkında Bilgiler.....	29
4.2.1 Zati yükler.....	29
4.2.2 Hareketli yükler	29
4.2.3 Deprem yüklemesi	29
4.3 Modal Analiz	29
4.4 Referans Nokta Seçimi.....	29
4.5 Model A Verilerinin Yapıdaki Sonuçları	30
4.6 Model B Verilerinin Yapıdaki Sonuçları	31
4.7 Model D Verilerinin Yapıdaki Sonuçları	33
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	35
5.1 Sonuçlar	35
5.1.1 Taşıyıcı duvar analizlerinin incelenmesi.....	35
5.1.2 Yapı analizlerinin incelenmesi.....	35
5.2 Öneriler.....	36
KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİŞ.....	39

KISALTMALAR

DBYBHY : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEM : Finite Element Method

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Tuğaların Mekanik Özellikleri	5
Çizelge 1.2 : Taşların Ortalama Mekanik Özellikleri	6
Çizelge 2.1 : Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	12
Çizelge 3.1 : Düşey Elastisite Modülü Hesabı	23
Çizelge 3.2 : Yatay Elastisite Modülü Hesabı	24
Çizelge 3.3 : Elastisite Modülü-Kalınlık Oranları	25
Çizelge 4.1 : Model A Taban Kesme Kuvvetleri Ve Momentler	30
Çizelge 4.2 : Model A Periyod Ve Kütle Katılım Oranları	31
Çizelge 4.3 : Model B Taban Kesme Kuvvetleri Ve Momentler	32
Çizelge 4.4 : Model B Periyod Ve Kütle Katılım Oranları	32
Çizelge 4.5 : Model D taban kesme kuvveti ve momentler	33
Çizelge 4.6 : Model D periyod ve kütle katılım oranları	33
Çizelge 4.7 : Deprem etkisinde yer değiştirmeler	34

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Yığma yapılara örnekler.....	1
Şekil 1.2 : Yığma taş duvarlar.....	2
Şekil 1.3 : Yığma tuğla duvarlar.....	3
Şekil 1.4 : Deneylerde gözlenen çatlaklara örnekler.....	4
Şekil 2.1 : Modelleme yöntemleri.....	7
Şekil 2.2 : Sonlu elemanlara bölünmüş mikro model.....	8
Şekil 2.3 : Basitleştirilmiş Mikro Model.....	9
Şekil 2.4 : Yığma duvarın makro modelle analizi.....	10
Şekil 2.5 : Derz kalınlığına örnek.....	11
Şekil 2.6 : Model A.....	12
Şekil 2.7 : Model B.....	13
Şekil 2.8 : Model C.....	14
Şekil 3.1 : Örnek düşey yükleme.....	15
Şekil 3.2 : Model A düşey yer değişimi.....	16
Şekil 3.3 : Model B düşey yer değişimi.....	17
Şekil 3.4 : Model C düşey yer değişimi.....	18
Şekil 3.5 : Örnek yatay yükleme.....	19
Şekil 3.6 : Model A yatay yer değişimi.....	19
Şekil 3.7 : Model B yatay yer değişimi.....	21
Şekil 3.8 : Model C yatay yer değişimi.....	21
Şekil 3.9 : Hesap yapılan model.....	22
Şekil 3.10: Elastisite modülü-kalınlık oranları.....	25
Şekil 4.1 : Kat modeli.....	27
Şekil 4.2 : İnceleme yapılan bina modeli.....	28
Şekil 4.3 : Referans alınan noktalar.....	30

SEMBOL LİSTESİ

- k** : Elastik yay sabiti
E_t : Taş malzeme elastisite modülü
E_h : Harç elastisite modülü
t_t : Taş kalınlığı
t_h : Harç kalınlığı
G_t : Taş kayma modülü
G_h : Harç kayma modülü
γ : Kayma açısı
F : Kuvvet
A : Kuvvet etkiyen alan
L : Duvar yüksekliği
ΔL : Düşey yer değiştirme
Δx : Yatay yer değiştirme
ν : Poisson oranı
σ : Gerilme
ε : Şekil değiştirme oranı
S(T) : Spektrum katsayısı
R : Deprem yükü azaltma katsayısı
A₀ : Etkin yer ivmesi katsayısı
I : Bina Önem katsayısı
ρ_k : Tuğla ile harç arasındaki sürtünme katsayısı

YIĞMA YAPILARDA DERZ KALINLIĞI VE DUVAR ÖRME TEKNİĞİNİN YAPIYA ETKİSİNİN ANİZOTROP BİR MODEL ÜZERİNDE İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, yığma yapılardaki farklı derz kalınlıklarının ve kullanılan taş boyutlarının yapının davranışına etkileri incelenmiştir. Derz kalınlığı, taş örme tekniği gibi değişkenlere bağlı olarak yapının izotrop ve anizotrop malzeme tanımıyla analizi yapılmıştır.

Bilindiği üzere yığma yapılar taş veya tuğla gibi esas taşıyıcı malzemelerle birlikte, bu malzemeler arasında adeta yapıştırıcı görevi gören harç malzemesinden oluşmaktadır. Harç malzemesinin ayrıca yük aktarımında sürekliliği sağlama vazifesi de vardır.

Genel olarak bahsettiğimiz bu iki malzemenin mekanik özellikleri birbirinden farklıdır. Fakat tarih boyunca beraber kullanılmış ve yığma yapılarda kullanılan değişmez iki malzeme olmuşlardır.

Bahsedildiği üzere mekanik özellikleri farklı iki malzemenin heterojen olarak birleştirilmesi ile taşıyıcı duvarlar oluşmaktadır. Fakat oluşturulan bu heterojen yapı elemanları genel olarak hesap kolaylığı için homojen kabul edilmektedir. Taşıyıcı duvarların yatay ve düşey yönde aynı mekanik özelliklere sahip olduğu kabulü ile yapısal çözümler hız kazanmaktadır.

Bu çalışmada, yapılan kabulün yapıya etkisinin ne ölçüde olacağı hakkında fikir sahibi olabilmek için izotrop ve anizotrop modelleme ile analiz edilen örnek bir yapının analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Ayrıca buna ek olarak aynı yapıda derz kalınlığının değişiminin ve taş diziliminde değişik ebatta malzeme kullanımının yapıya etkisi de incelenmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde, yığma yapılar hakkında genel bilgiler ve yığma yapılarda tarih boyunca kullanılmış bazı malzemeler hakkında bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, yığma yapı modelleme teknikleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Bu tekniklerin olumlu ve olumsuz yönleri anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, örnek taşıyıcı duvar modelleri oluşturulup SAP 2000 programı ile anizotrop malzeme özellikleri bulunmuştur.

Dördüncü bölümde, örnek bir yığma yapıya farklı malzeme bilgileri girilerek yapı davranışındaki değişimler tespit edilmiştir.

Son bölümde bu farklılıklar incelenerek, izotrop veya anizotrop modellemenin sonuca etkisi, derz kalınlığının sonuca etkisi ve kullanılan malzemenin ebatlarındaki değişimin sonuca etkisi birbirleri ile mukayese edilerek, sonuçlar yorumlanmıştır.

ANALYSIS OF THE EFFECTS OF MORTAR THICKNESS AND WALL BUILDING TECHNIQUE IN MASONRY TO STRUCTURE ON AN ANISOTROPIC MODEL

SUMMARY

Humankind has always needed to find a shelter for themselves. This need, starting with the processing the materials found in nature, has brought the development of basic wooden and masonry constructions along with it. Thanks to the developments in science and technology, the constructional materials and the techniques have renewed themselves throughout the time. However until the beginning of the 1900's that reinforced concrete structures started becoming prevalent, basic wooden and masonry constructions had maintained their reign.

Because of the fact that the masonry constructions are more durable and refractory than the wooden constructions, most magnificent structures of that time period, like most artistic structures, places of worships, hospitals, Muslim theological schools, were made by using the masonry construction techniques. With the time the material is being used like stone, brick, adobe and mortar has also changed.

In this study, the effects of different mortar thicknesses and the sizes of the stones used in masonry constructions to the structures were analyzed. The structure was analyzed by the description of isotropic and anisotropic material depending on variables such as mortar thickness and stone weaving technique.

Determining the mechanical characteristics very close to intrinsic value of Load-bearing wall systems is a very important step of the studies on masonry construction.

As well known, masonry structures consist of the main load-bearing materials such as stone and brick and between those another material working as glue, mortar. Mortar also has the job of ensuring continuity at load transferring.

The two materials that we mentioned generally have different characteristics. However they have been used together all throughout the history and become unchangeable in masonry constructions.

As it mentioned, load-bearing walls are made by combining heterogeneously the two materials which have different mechanical properties. But these kind of heterogeneous structures are considered as homogeneous just for the ease of calculations. With the assumption of load-bearing walls have the same characteristics vertically and horizontally, structural solutions would come to life faster.

The method that takes into account of load-bearing walls' heterogeneous characteristics in masonry constructions is called Micro Modelling Method. And the method that considers the wall as homogeneous is called Macro Modelling Method.

The behavior in masonry construction is defined by mortar, even though it is used less than stones and bricks. Therefore to create a healthy model, mortar thicknesses are also modelled without any assumptions. Micro Modelling Method is a method where mortar and the materials are modelled letter-perfect and end results are healthy. However, even the highly advanced computers might not be able to analyze all components of a fairly big masonry construction by using Micro Modelling Method in a reasonable time.

In Masonry Constructions the Macro Modelling Method can be described as the assumption of the characteristics of the stones and mortar in a certain section are the same throughout the whole structure. With this method, structure modelling and solution process would be faster. Although it is still a fact that the materials are used are not homogeneous, load-bearing walls considered homogeneous in the studies done with this method.

In this study, to have an idea about what kind of effect would these assumptions have to a structure; the analysis results of isotropic and anisotropic modelling of a sample structure are compared.

In addition to these, the effect of changes in mortar thicknesses and using different sizes of stones in Wall weaving are studied in the same structure.

In the first part of this study, general information about masonry constructions is given. The information about the materials used in these kinds of structures throughout the history, like stone brick mortar and wood, are also given.

In the second part of this study, information about micro modelling, simplified micro modelling and macro modelling in masonry constructions is given. The positive and negative sides of these methods are also discussed in this part.

In the third part, sample load-bearing wall models are created by using micro modelling and anisotropic material characteristics are found with the help of SAP 2000 program.

In the fourth part, a sample masonry structure is examined and the effects of different joint thicknesses and isotropic and anisotropic modelling are identified.

In the last part, by looking at all these differences, the end result effects of isotropic and anisotropic modelling, mortar thicknesses, the changes of sizes of the materials used are compared and results are interpreted.

1. GİRİŞ

1.1 Yığma Yapıların Tarihi Ve Kültürel Mirasa Etkileri

Barınma, tarih boyunca insanlığın zaruri ihtiyaçları arasında yer almıştır. Doğada bulunan malzemelerin işlenmeye başlanması sayesinde bu ihtiyaç basit ahşap ve yığma yapı oluşumlarını beraberinde getirmiştir. Zamanla gelişen bilim ve teknoloji sayesinde tarihte kullanılan inşaat malzemeleri ve teknikleri durmaksızın kendini yenilemiştir. Fakat çelik yapı kavramının olmadığı 1800'ü yıllara ve betonarme yapıların yaygınlaşmaya başladığı 1900'ü yıllara kadar ahşap ve yığma yapıların egemenliği devam etmiştir.

Yığma yapıların ise ahşap yapılardan daha uzun süre bakım gerektirmeden kullanımda kalabilmesi ve yangınlara karşı dayanıklılığı sebebi ile döneminin en ihtişamlı yapıları, çoğu sanatsal yapılar, ibadethaneler, hastaneler, medreseler, külliyeler ve benzeri birçok yapı yığma yapı tekniğiyle inşa edilmiştir. Bu esnada geçen zamanla birlikte kullanılan taş, tuğla, kerpiç, harç da değişmiştir. Yığma yapı tekniğiyle yapılan bazı önemli eserler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1. 1 : Yığma yapılara örnekler.

Dolayısı ile yığma bir yapı ihtiva ettiği malzemeler ve yapım tekniği ile inşa edildiği dönemi günümüze taşıyabilen tarihi bir elçidir. Aynı şekilde yapının yapılma amacı ve tarih içinde değişen kullanım amaçları da bize o toplumun kültürel değişimini yansıtmaktadır. Sultanahmet Camii'nin iç dekorasyonunda kullanılan çiniler 400 yıl öncesinin sanatının, günümüze kadar dayanmış yığma bir yapı vesilesi ile ulaşımını göstermektedir.

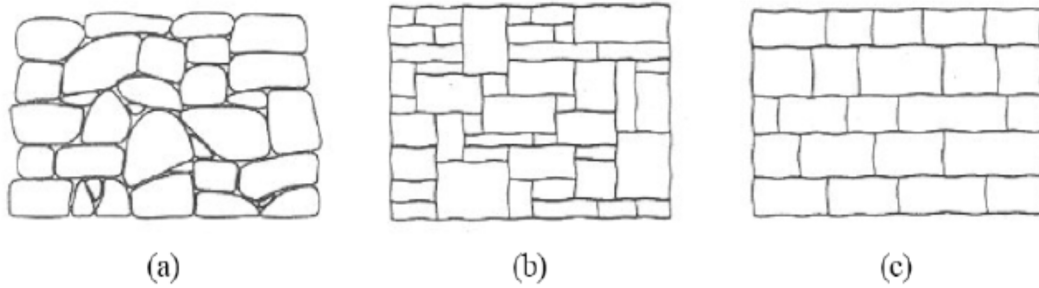
1.2 Yığma Yapı Genel Bilgiler

1.2.1 Yığma yapı tanımı

Yapıya etkiyen hem yatay hem de düşey yüklerin herhangi bir çerçeve sistemi tarafından değil, sadece duvarlar tarafından taşındığı yapılara yığma yapılar diyebiliriz.

Yığma yapılar taş, tuğla, kerpiç ve benzeri malzemelerden harç kullanılarak ya da kullanılmadan oluşturulabilir. Taşıyıcı görevini duvarların yapması yönüyle çelik, betonarme ve ahşap yapılardan ayrılırlar. [1]

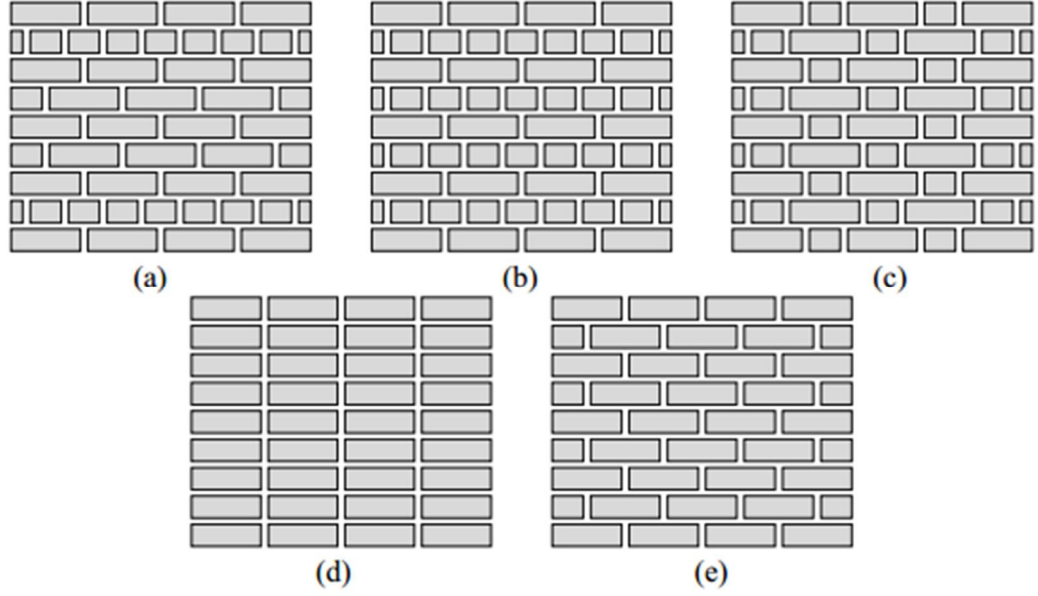
Yığma yapılarda taşıyıcı duvarları yapım tekniklerine, kullanılan malzemenin ebatlarına ve cinsine, kullanılan elemanların dizilimlerine ve benzeri değişkenlere göre isimlendirebiliriz. Birkaç örnek aşağıda gösterilmiştir (Şekil 1.2, Şekil 1.3).



Şekil 1. 2 : Yığma taş duvarlar a) Moloz taş, b) Kesme taş, c) Sıralı Kesme Taş. [2]

1.2.2 Yığma yapı davranışı

Yığma yapılar incelenirken diğer yapılarla aralarındaki bazı farkların bilinmesi gerekmektedir. Örneğin yığma yapılarda oluşan düşey yükler çoğu zaman taşıyıcı duvarın düşey taşıma kapasitesinin sadece %10-15'i mertebesindedir. Yığma yapılarda oluşan hasarlar genelde yatay yüklerden oluşmaktadır. Zemin oturmalarına bağlı çatlaklar, duvarın eksenine dışında yüklenmesi ve hareketleri de sebepler arasında gösterilebilir. [3]



Şekil 1.3 : Yığma tuğla duvarlar a) basit ya da Amerikan b)çapraz ya da İngiliz c) flaman d) şaşırtmasız e) şaşırtmalı. [2]

Yapıda bulunan malzemeler birbirleri ile heterojen bir şekilde birleşerek taşıyıcı duvarı oluşturmaktadır. Dolayısı ile ortaya çıkan duvarın özelliklerini kesin bilmemekle beraber yapılan deneyler ve bilimsel hesaplamalarla elde edilen değerleri kullanarak yapı analizini yapabiliriz.

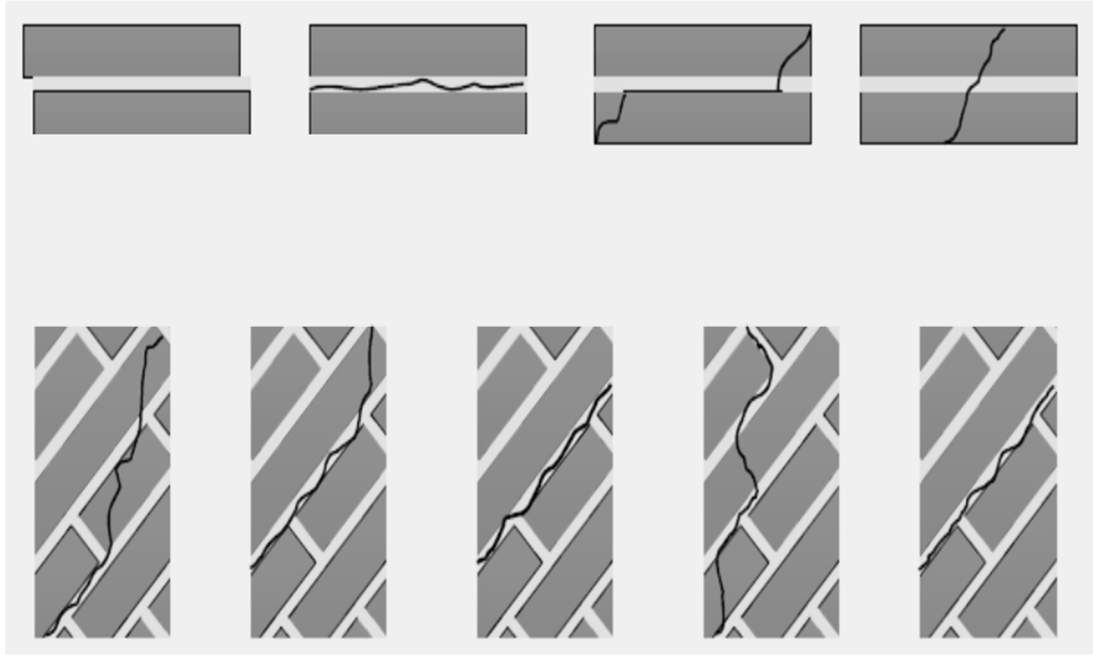
Yığma yapılarda yatay yükler altında taşıyıcı duvarlarda oluşabilecek çatlaklar hakkında fikir yürütülebilmesine rağmen, çatlağın derzde mi yoksa tuğla veya taşa mı oluşacağı kesin olarak bilinemez. Bu belirsizliğin birçok değişik nedeni olabilir. Çatlağın oluşumunu kullanılan derz malzemesi, derz kalınlığı, derz işçiliğinin kalitesi, kullanılan taş malzemesi, ebatları, taşın mekanik özellikleri gibi birçok değişken etkileyebilir. [4]

Elemanlarda oluşan bu değişik çatlakları daha sağlıklı yorumlayabilmek için kullanılan malzemelerin özelliklerine yakından bakmak gerekir. Yapılan bazı deneylerde oluşan çatlaklara örnekler verebiliriz (Şekil 1.4).

1.2.3 Malzeme özellikleri

Yığma yapılarda harç, taş, tuğla, kerpiç ve ahşap gibi malzemeler kullanılabilir. Bu malzemeler mekanik özellikleriyle yapı davranışını etkilerler.

Bu bölümde malzemelerin özellikleri incelenmiştir.



Şekil 1. 4 : Deneylerde gözlenen çatlaklara örnekler.[5]

1.2.3.1 Harç

Harcın muhteviyatına baktığımızda en basit haliyle bağlayıcı malzeme, dolgu malzemesi ve sudan oluştuğu görülmektedir.

Harç malzemesinin kullanım amacı bağlayıcılıkla sınırlandırılmaz. Aynı zamanda yükün üniform bir şekilde aktarılmasını da sağlamaktadır. Özellikle işlem görmemiş moloz taşlardan oluşan duvarlarda bu özelliği daha belirgindir. Bir diğer faydası da yapı malzemelerini dış ortamın olumsuz etkilerinden korumaktır. Ayrıca taşıyıcı elemana hareket kabiliyeti de katmaktadır.[6-7]

Tarih sahnesine harç kavramı kerpiç malzemenin arasına çamur sürülmesi gibi basit bir şekilde çıkmış ve zaman içinde gelişerek horasan harcı haline gelmiştir. Çamurdan sonra Roma döneminde kireç harcı kullanıldığı görülmektedir. Daha sonra pişmiş kilin öğütülmüş hali, kireç, volkanik tüfler ve su karışımına rastlanmıştır.

Horasan harcında ise öğütülmüş ve fırınlanmış kil, kireç, su bulunmaktadır. Bazılarında ince çakıl, taş tozu, mermer tozu, keçi kılı, yumurta akı gibi malzemelere de rastlanmıştır. [8-9]

1.2.3.2 Tuğla

Tuğla basit bir anlatımla kerpiç malzemenin fırınlanmış hali şeklinde tanımlanabilir. Tabii içerik olarak saf kaolin ve kil karışımından oluşması, ayrıca yüksek ısılarda fırınlanma işlemine tabii tutulması sonucunda daha teknolojik bir malzemedir. Tarihte bazı tuğlaların güneş ışığı altında pişirilmiş hallerine de rastlanmıştır.[9]

Aşağıdaki çizelgede tuğlalar için kabul edilebilir mekanik değer aralığı verilmiştir (Çizelge1.1).

Çizelge 1. 1 : Tuğlaların mekanik özellikleri. [10]

Basınç Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
3-10	0.2-0.5	1000-5000

1.2.3.3 Taş

Doğal taş malzemesi, basınç mukavemeti çekme mukavemetinden fazla olan malzemelerdendir. Yapılarda kullanılan taşlar, coğrafi özellikler, ekonomik sınırlar, işlenme kolaylığı gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık gösterebilir. Aşağıdaki tabloda bazı taş cinslerinin mekanik özellikleri gösterilmiştir (Çizelge 1.2).

1.2.3.4 Ahşap

Ahşap basınç ve çekmeye çalışabilen mekanik özellikleri sayesinde yığma yapılarda kendine yer bulmuştur. Geniş açıklıklı döşemelerin yapımında en çok tercih edilen malzeme olmuştur. Ayrıca yapıda hatıl olarak da kullanımına çokça rastlanmaktadır.

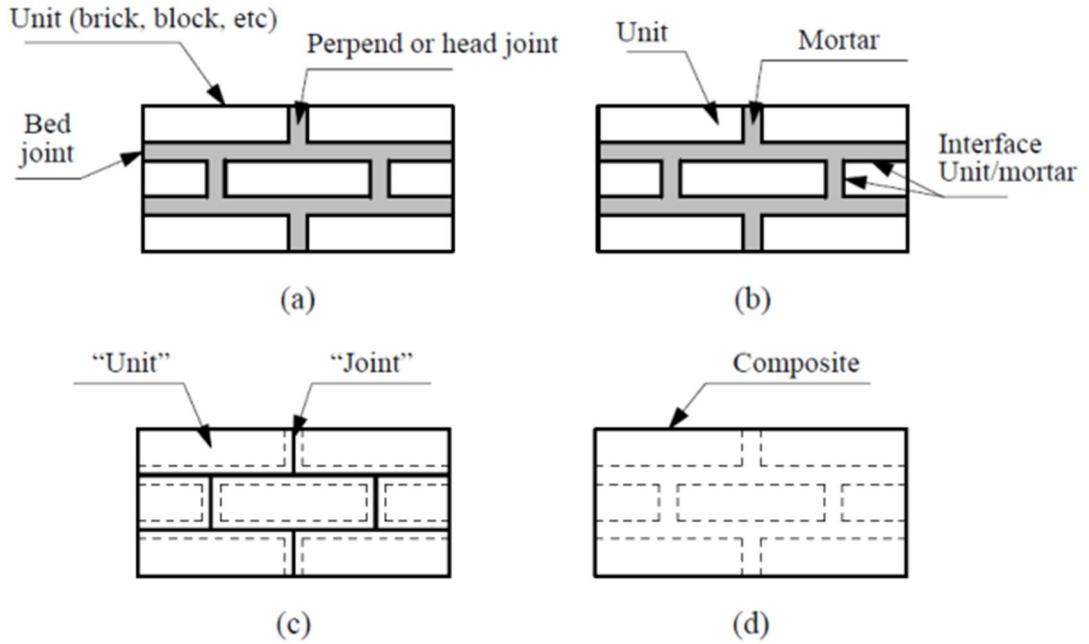
Çizelge 1. 2 : Taşların ortalama mekanik özellikleri. [9]

Taşın cinsi	Basınç mukavemeti	Kayma mukavemeti	Çekme mukavemeti	Elastisite modülü
	MPa	MPa	MPa	GPa
Granit	30-70	14-33	4-7	30-55
Mermer	25-65	9-45	1-15	25-70
Kireç taşı	18-35	6-20	2-6	10-55
Kum taşı	5-30	2-10	2-4	13-50
Kuvars	10-30	3-10	3-4	15-55

2.YIĞMA YAPILARIN MODELLENMESİ

Yığma yapılarda kullanılan malzemeleri izotrop malzemeler olarak kabul etmek yanlış olacaktır. Ayrıca harç ve taşın heterojen olarak karışımı şeklinde kabul edilebilecek bir taşıyıcı duvarın, farklı yönlerden gelen kuvvet altında şekil değiştirmelerinin malzemeye göre farklı olacağı yorumu yapılabilir. Bu özellikleriyle taşıyıcı duvarlar anizotrop ya da ortotrop elemanlardır. [11]

Taşıyıcı duvar sisteminin mekanik özelliklerini gerçek değerlerine yakın bir şekilde saptamak, yığma yapılarda yapılan çalışmaların doğruluğunun en önemli adımıdır. Aşağıda mikro model, basitleştirilmiş mikro model ve makro model olmak üzere üç yöntemin şekli gösterilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2. 1 : Modelleme yöntemleri a) duvar örneği b) mikro model c) basitleştirilmiş mikro model d) makro model. [12]

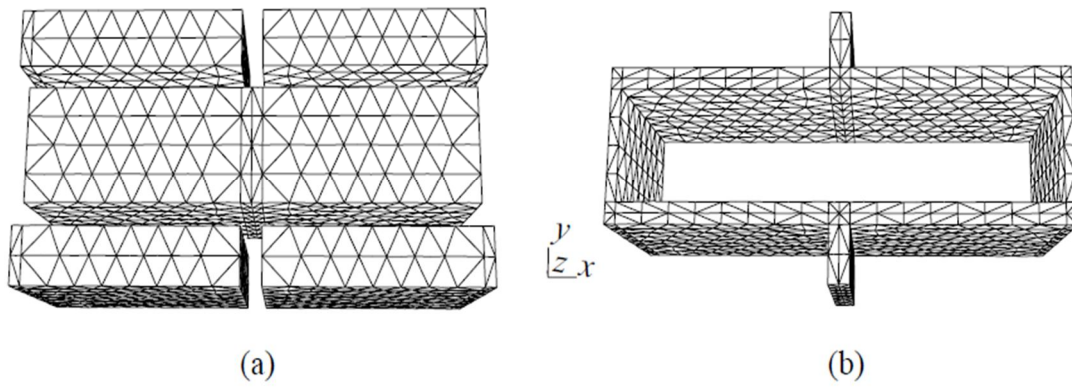
2.1 Modelleme Yöntemleri

2.1.1 Mikro model yöntemi

Yığma yapılarda davranışı, yapıda bulunma oranı taş veya tuğlaya nazaran daha az olmasına rağmen harç belirler. Dolayısı ile sağlıklı bir model oluşturabilmek için

modelleme yapılırken derz araları da herhangi bir kabul yapmadan modellenir. Mikro model yöntemi harç ve malzemenin aslına uygun olarak modellendiği, sonucu sağlıklı bir yöntemdir. [13]

Modelin doğru sonuçlar vermesi sonlu eleman yönteminde oluşturulan eleman sayısı ile orantılıdır. Ne kadar küçük elemanlara bölersek o kadar sağlıklı sonuçlar elde edebiliriz. Öte yandan eleman sayısının artması, yapının bütün olarak modellenmesi imkanını çoğu zaman ortadan kaldırır. Mikro model yöntemi şekil üzerinde gösterilmiştir (Şekil 2.2).



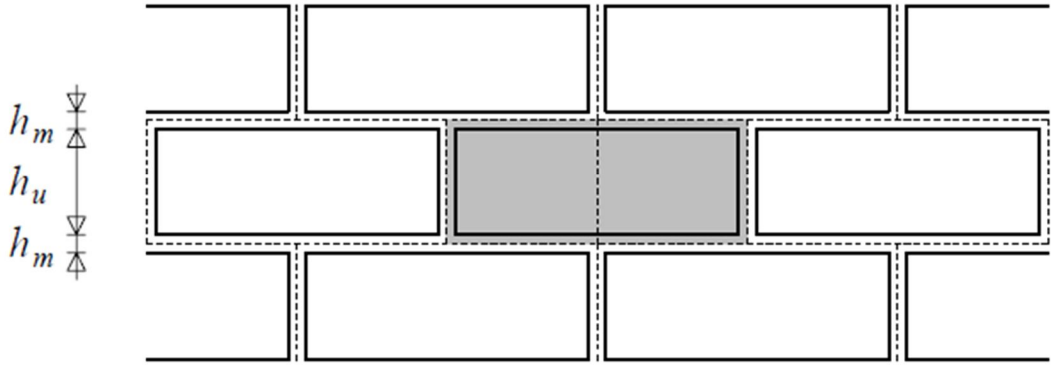
Şekil 2. 2 : Sonlu elemanlara bölünmüş mikro model a) taş b) harç. [12]

Mikro modelleme yöntemi, elemanda oluşan çatlaklarda, harç malzemesinin belli bir kısımda farklılık göstermesinde, harç kalınlığı değişimlerinde ve benzeri eleman bazında etkileri incelenmek istenen durumlarda kullanılabilir.

Ancak günümüz bilgisayar teknolojileri dahi büyük bir yapıya tüm elemanlarının mikro modelleme yöntemi ile analizini makul bir zamanda yapamayabilir.

2.1.2 Basitleştirilmiş mikro model yöntemi

Bu yöntem tuğla veya taşların ebatlarının harç kalınlığı kadar büyütülerek, harç malzemesinin modellemeden çıkarılması ile oluşturulur. Modelde taşlar arasından çıkarılan harç yerine, malzemeye uygun yay sabitleri girilir. Basitleştirilmiş mikro model şekil üzerinde gösterilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Basitleştirilmiş Mikro Model.

Laurenço(1996) yaptığı çalışmada tuğlalar arasında oluşan düğüm noktalarında kullanılabilir yay sabitleri denklem 2.1 de göstermiştir. [12]

$$k_n = \frac{E_t \times E_h}{t_h \times (E_t - E_h)} \quad k_s = \frac{G_t \times G_h}{t_h \times (G_t - G_h)} \quad (2.1)$$

Bu yöntem kullanılarak harç malzemesi olmayan bir model oluşturulabilir. Eleman sayısı düşeceği için çözüme daha hızlı ulaşılabilecektir. Ancak yapıda derz kalınlıklarında değişimler, kullanılan harç veya tuğla malzemesinde değişimler ve bu değişimlerin yapının birçok elemanında mevcut olması durumunda çözüme mikro modelden daha hızlı ulaşabilmemize rağmen, model oluşturma işlemi mikro modelden daha fazla emek isteyebilir.

Dolayısıyla bu yöntem de eleman bazında incelemelerde daha kullanışlı bir yöntem olmakla beraber ihtiyaç duyulması ve yapının karakterinin uygunluğu durumunda bütün yapı modellemesi için de kullanılabilir.

2.1.3 Makro model yöntemi

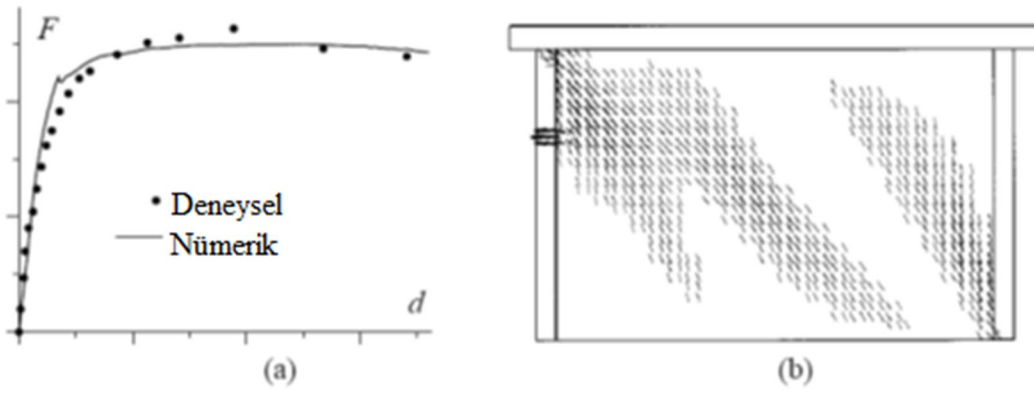
Yığma yapılarda makro modelleme yöntemini, belli bir kesitteki tuğla ve harcın mekanik özelliklerinin, tüm yapının mekanik özellikleriyle aynı olduğu kabulü sonucu oluşturulan kompozit kesitlerle açıklayabiliriz. Bu yöntem ile yapı modellemek ve modelin çözüm işlemi hızlandırılmış olur. Fakat kullanılan malzemelerin bile izotrop olmadığı bir gerçekken bu yöntemde yapılan çalışmalarda taşıyıcı duvarlar izotrop kabul edilmektedir.

Makro modele geçiş yapabilmek için yapılan bazı çalışmalarda ve deneylerde kullanılan elastisite modülü formülü denklem 2.2 de verilmiştir.[10]

$$E_k = \frac{(t_h+t_t) \times \rho_k}{(t_h/E_h)+(t_t/E_t)} \quad (2.2)$$

Bu denklemlerde E_k , kompozit malzeme için eşdeğer elastisite modülü, t_h , harç kalınlığı, t_t , taş kalınlığı, E_h , harç elastisite modülü, E_t , taş elastisite modülüdür. ρ_k ise taş ile harç arasındaki aderans için 0 -1 arasında değişen bir katsayıdır.

Öte yandan yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen değerlerin, modelin sağlıklı çalıştığını kanıtlayan birçok örneği de mevcuttur. Aşağıdaki şekilde bu örneklerden birine yer verilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Yığma duvarın makro modelle analizi a) kuvvet-yer değiştirme diyagramı b) deformasyon Şekli. [14]

Makro modellemede elde edilen değerlerin sağlıklı olabildiği örneklerde, tuğla diziliminin tüm taşıyıcı duvar boyunca aynı devam ettiği, kullanılan tuğla boyutlarının aynı olduğu, derz kalınlıklarının 5-15mm gibi kabul edilebilir boyutlarda olduğu gözlenmiştir. Fakat tarih boyunca yapılan farklı yapılara bir örnek gösterilmiştir (Şekil 2.5). Bu yapıda kullanılan derz kalınlıkları günümüz yönetmeliğinde tavsiye edilmeyen oranda kalındır ve muhakkaktır ki yeni yapılan bir yığma yapıda görülmez. Fakat yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi gerektiğinde yapının mevcut taşıyıcısının aslına uygun modellenmesi, elde edilen değerlerin daha sağlıklı olmasını sağlayacaktır. Özellikle tarihi yığma yapılara yönetmelik kurallarıyla yaklaşmak doğru değildir.

Derz kalınlıklarının artması veya eleman diziliminin değişmesi ile malzemenin anizotrop özelliklerinin yapıya etkisi artmaktadır. Bu sebeple makro model oluşturulurken anizotrop bir model oluşturmak gerçeğe daha yakın değerler verecektir. [15]



Şekil 2. 5 : Derz kalınlığına örnek.

2.2 Model Oluşturma

Bu çalışmada derz kalınlıklarının ve taş örme tekniğindeki değişimlerin, taşıyıcı duvarın yatay ve düşey elastisite değerlerine etkisi incelenmiştir. Elastisite değerlerine ulaşmak için üç ayrı modelin mikro düzeyde modellenmesi yapılacak ve elde edilen elastisite modülleri kullanılarak anizotrop bir makro modele geçiş yapılacaktır.

2.2.1 Kullanılan malzemelerin özellikleri

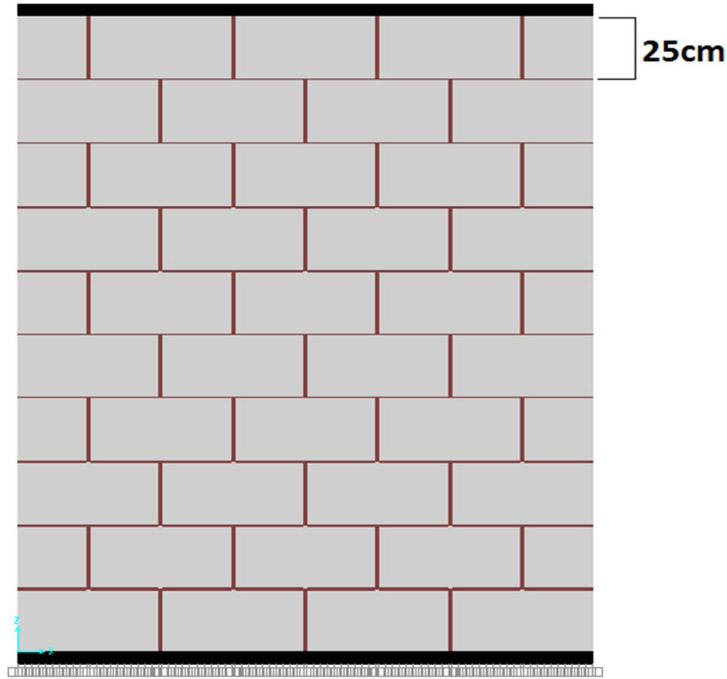
Yapılan modellemede taşıyıcı duvarlar kireç taşının bir çeşidi olan küfeki taşı ve harç malzemesi olarak horasan harcından oluşturulmuştur. Ayrıca modellerin alt ve üst tarafına elastik malzeme konarak yük aktarımı üniform hale getirilmiştir. Ahşap malzemesi ise en son oluşturulacak yapının döşemesi için kullanılmıştır. Malzemelerin özellikleri çizelge ile gösterilmiştir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2. 1 : Kullanılan malzemelerin özellikleri.

Malzeme cinsi	yoğunluk	Poisson oranı	Elastisite modülü
	kN/m ³	--	GPa
Harç	18	0.15	2
Kireç taşı (küfeki)	22	0.15	20
Ahşap	8	0.3	9
Elastik Malzeme	0	0.15	∞

2.2.2 Model A

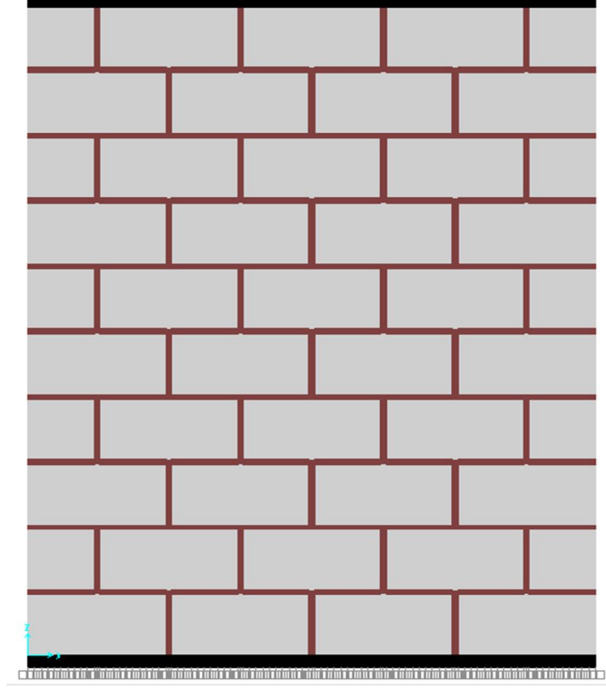
Bu model, 51x25x30mm ebatlarında küfeki taşının 1 cm kalınlığında derz ile şaşırtmalı olarak örüldüğü bir modeldir. Modelin alt ve üst kısımlarına yükü ve yer değiştirmeleri üniform olarak tanımlayabilmek için elastik tabaka girilmiştir. Model boyutları 2.07x2.59 metredir. Şekil üzerinde gösterilmiştir (Şekil2.6).



Şekil 2. 6 : Model A.

2.2.2 Model B

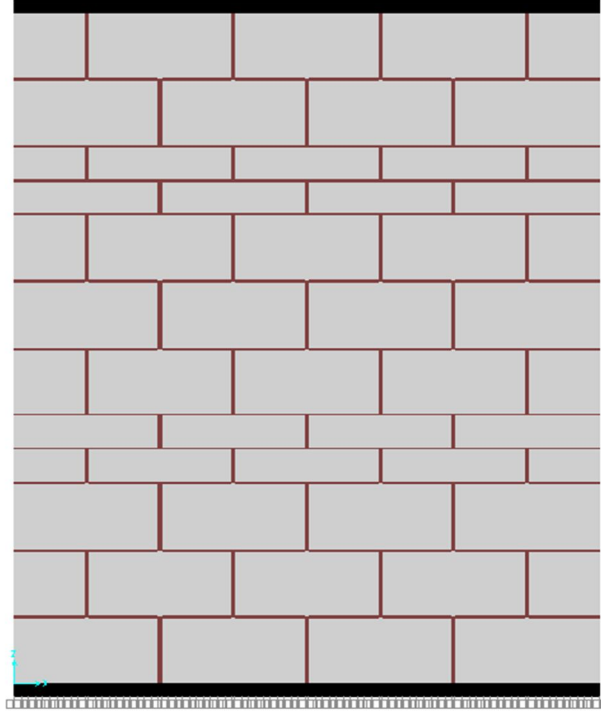
Bu model, 51x25x30mm ebatlarında küfeki taşının 2 cm kalınlığında derz ile şaşırtmalı olarak örüldüğü bir modeldir. Modelin alt ve üst kısımlarına yükü ve yer değiştirmeleri üniform olarak tanımlayabilmek için elastik tabaka girilmiştir. Model boyutları 2.1x2.68 metredir. Şekil üzerinde gösterilmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2. 7 : Model B.

2.2.3 Model C

Bu model, 51x25x30mm ebatlarında taşlardan üç sıra ve 51x12x30mm ebatlarında taşlardan iki sıra olarak 1 cm kalınlığında derz ile şaşırtmalı şekilde modellenmiştir. Modelin alt ve üst kısımlarına yükü ve yer değiştirmeleri üniform olarak tanımlayabilmek için elastik tabaka girilmiştir. Model boyutları 2.07x2.59 metredir. . Şekil üzerinde gösterilmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2. 8 : Model C.

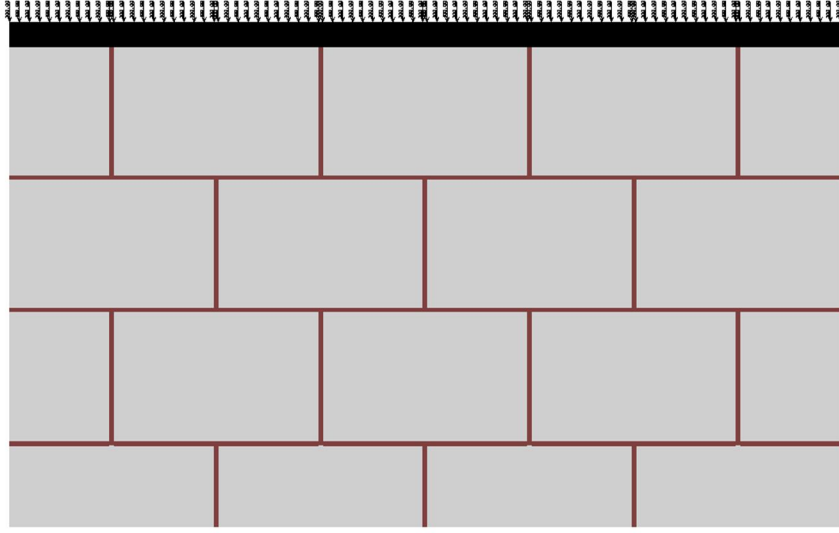
2.2.3 Model D

Bu model, model A ile aynı olup elastisite modülü bulunurken izotrop hesap yapılacaktır.

3. MODELLERİN İNCELENMESİ

3.1 Düşey Yüklemeler

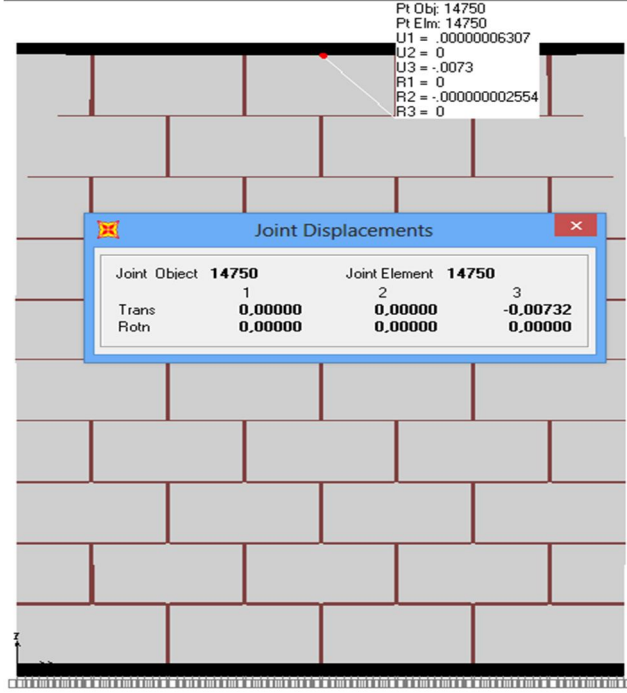
Sonlu elemanlara bölünen modellere tabanda ankastre mesnet tanımlanmıştır. Modelin üst kısmında oluşan nokta sayısı dikkate alınarak tüm noktalardan 300kN düşey yükleme yapılmıştır. Örnek bir yükleme şekilde gösterilmiştir (Şekil 3.1). Bu yüklemeler ile tüm modellerde düşey yüklemeler değişen nokta sayısına bağlı olarak 26400-28500N aralığındadır.



Şekil 3. 1 : Örnek düşey yükleme.

3.1.1 Model A için düşey yüklemeler

Model A finite element method (FEM) kullanılarak 9831 adet sonlu elemana bölünmüştür. Üst kısmında bulunan 88 adet noktadan 300N yükleme yapılarak toplamda 26400N düşey yükleme yapılmıştır. Bu yüklemeler sonucu düşey yer değiştirmesi -0.00732mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2 : Model A düşey yer değişimi.

Bu değerleri hooke yasasında kullanarak modelin düşey elastisite modülü bulunabilir. [16]

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (3.1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (3.2)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.3)$$

Bu denklemlerde E elastisite modülü, σ gerilme, ε şekil değiştirme oranı, ΔL düşey yer değiştirme, L duvar yüksekliği, F kuvvet, A ise kuvvet uygulanan alandır. Yukarıdaki denklemler kullanılarak denklem 3.4 e ulaşabiliriz.

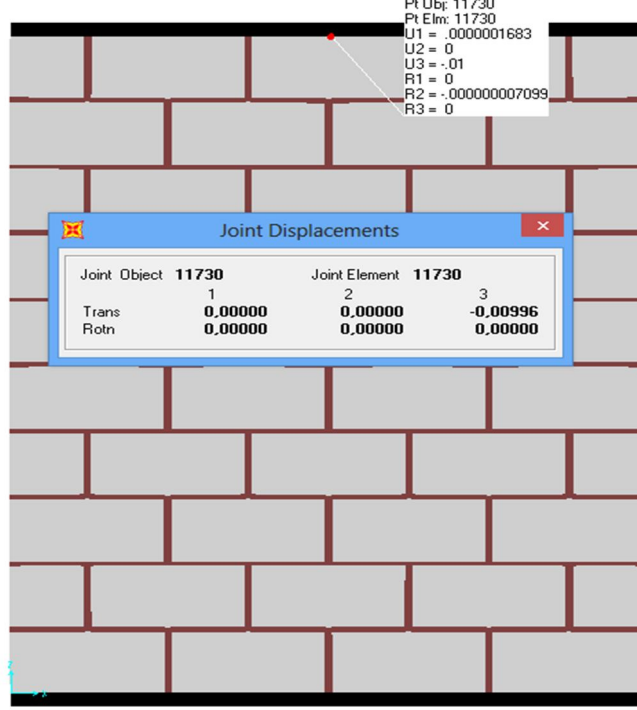
$$E = \frac{FxL}{\Delta LxA} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4 kullanılarak model A için düşey elastisite modülü bulunabilir.

$$E = \frac{26400 \times 2590}{0.00732 \times 300 \times 2070} = 15041.84 \text{ MPa olarak bulunur.}$$

3.1.2 Model B için düşey yüklemeler

Model B 11468 sonlu elemandan oluşmaktadır. Üst kısmında bulunan 95 adet noktadan 300N yükleme yapılarak toplamda 28500N düşey yükleme yapılmıştır. Bu yüklemeler sonucu düşey yer değiştirmesi -0.00996mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.3).



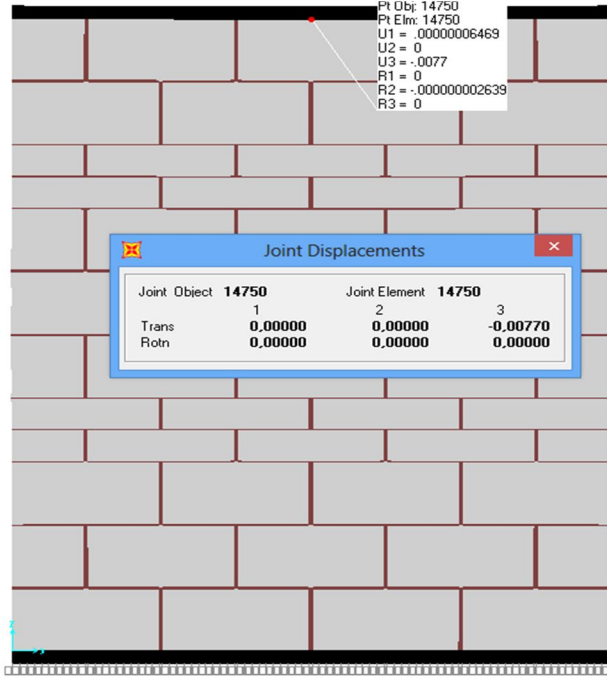
Şekil 3. 3 : Model B Düşey Yer Değişimi.

Denklem 3.4 kullanılarak model B için düşey elastisite modülü bulunabilir.

$$E = \frac{28500 \times 2680}{0.00996 \times 300 \times 2100} = 12172.5 \text{ MPa olarak bulunur.}$$

3.1.3 Model C için düşey yüklemeler

Model C 10353 sonlu elemandan oluşmaktadır. Üst kısmında bulunan 88 adet noktadan 300N yükleme yapılarak toplamda 26400N düşey yükleme yapılmıştır. Bu yüklemeler sonucu düşey yer değiştirmesi -0.0077mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.4).



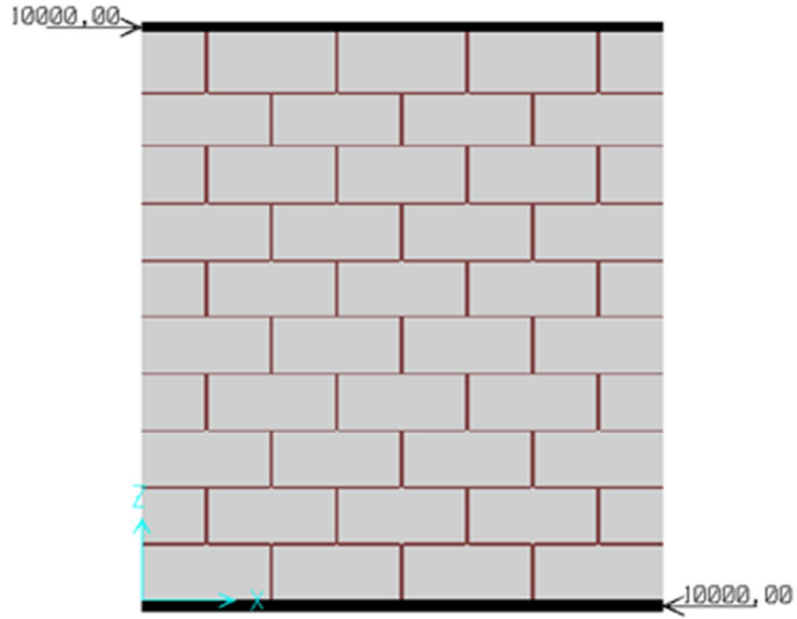
Şekil 3. 4 : Model C Düşey Yer Değişimi.

Denklem 3.4 kullanılarak model C için düşey elastisite modülü bulunabilir.

$$E = \frac{26400 \times 2590}{0.0077 \times 300 \times 2070} = 14299.5 \text{ MPa olarak bulunur.}$$

3.2 Yatay Yüklemeler

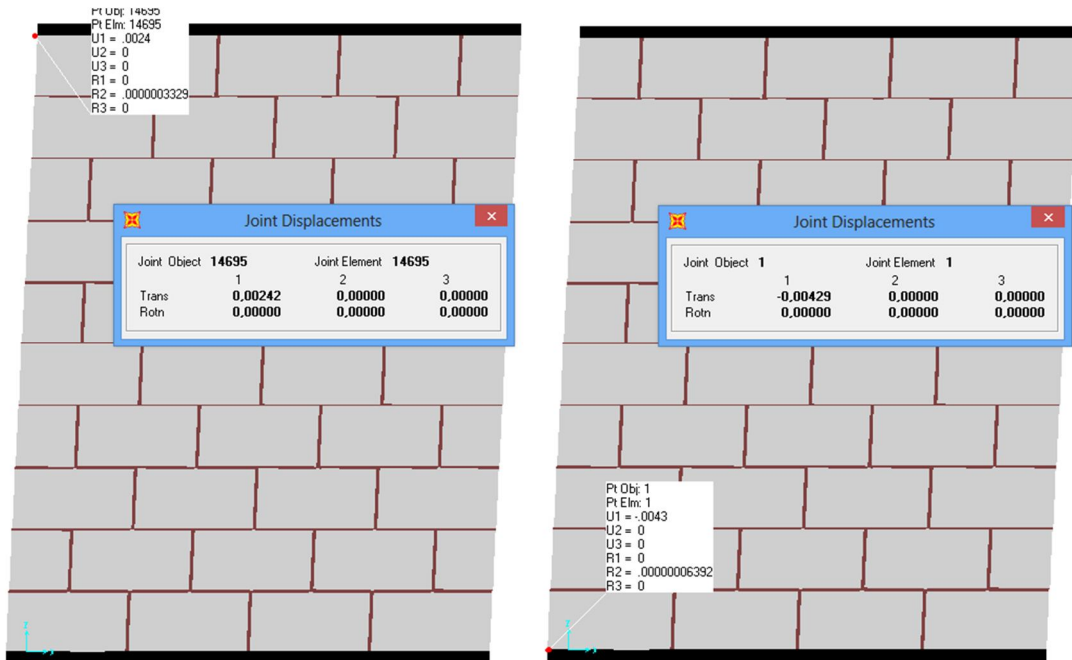
Sonlu elemanlara bölünen modellere aşağıdaki ve yukarıdaki elastik tabakadan yatay yönlü ve birbirine zıt yönlü 10000N yükleme yapılarak yer değiştirmeleri sağlanmıştır. Örnek yükleme şekil üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3.5). Ayrıca elemanlar sadece düşey yönde mesnetlenerek yatay yer değişimleri gözlemlenmiştir.



Şekil 3. 5 : Örnek yatay yükleme.

3.2.1 Model A için yatay yükleme

Model A 9831 sonlu elemandan oluşmaktadır. Üst ve alt kısmında bulunan elastik tabakalara birbirine zıt, yatay yönde 10000N yükleme yapılmıştır. Bu yüklemeler sonucu yatay yer değiştirmesi 0.00671mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3. 6 : Model A Yatay Yer Değişimi.

Yatay yer değişimi değeri kullanılarak yatay elastisite modülü bulunabilir. Bunun için aşağıdaki denklemleri kullanabiliriz.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

$$\gamma = \frac{\Delta x}{L} \quad (3.6)$$

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (3.7)$$

$$E = 2G(1 + \nu) \quad (3.8)$$

Bu denklemlerde τ kayma gerilmesi, F kuvvet, A kayma gerilmesi oluşan alan, Δx yatay yer değiştirme, L duvar yüksekliği, G kayma modülü, γ kayma ağısidır. Yukarıdaki denklemler kullanılarak denklem 3.9 a ulaşabiliriz.

$$E = \frac{2xFxLx(\nu+1)}{\Delta XxA} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9 kullanılarak model A için yatay elastisite modülü bulunabilir.

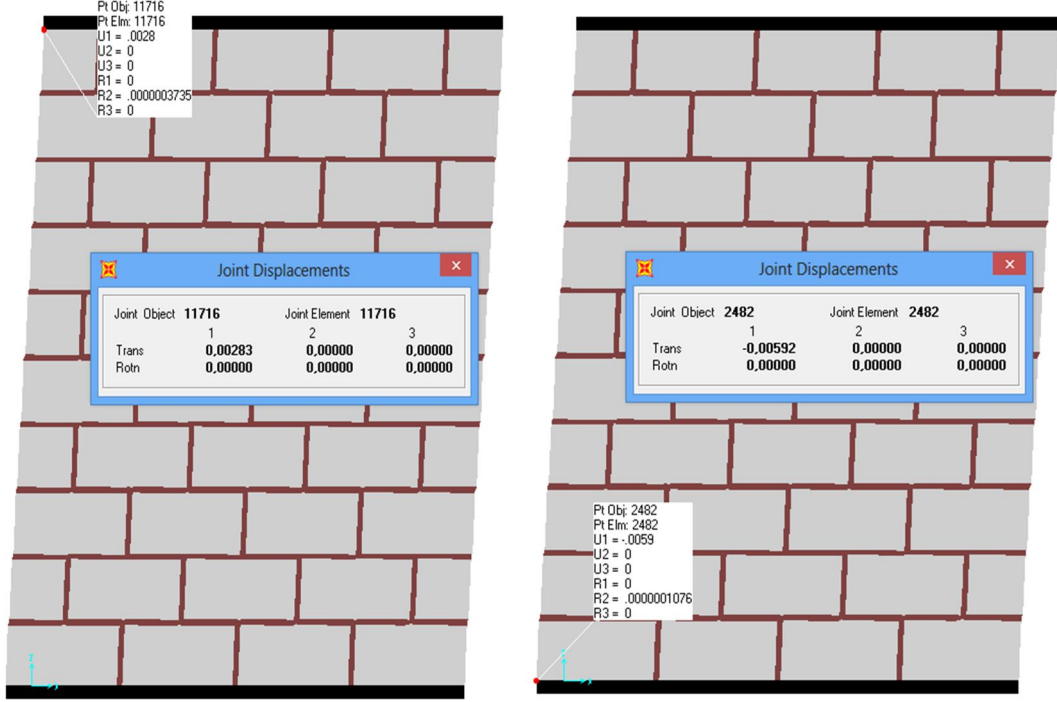
$$E = \frac{2 \times 10000 \times 2590 \times 1.15}{0.00671 \times 300 \times 2070} = 14295.96 \text{ MPa olarak bulunur.}$$

3.2.2 Model B için yatay yükleme

Model B 11468 sonlu elemandan oluşmaktadır. Üst ve alt kısmında bulunan elastik tabakalara birbirine zıt, yatay yönde 10000N yükleme yapılmıştır. Bu yüklemeler sonucu yatay yer değiştirmesi 0.00875mm olarak belirlenmiştir (şekil 3.7).

Denklem 3.9 kullanılarak model B için yatay elastisite modülü bulunabilir.

$$E = \frac{2 \times 10000 \times 2680 \times 1.15}{0.00875 \times 300 \times 2100} = 11181.86 \text{ MPa olarak bulunur.}$$



Şekil 3. 7 : Model B Yatay Yer Değişimi.

3.2.3 Model C için yatay yükleme

Model C 10353 sonlu elemandan oluşmaktadır. Üst ve alt kısmında bulunan elastik tabakalara birbirine zıt, yatay yönde 10000N yükleme yapılmıştır. Bu yüklemeler sonucu yatay yer değiştirmesi 0.007mm olarak belirlenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3. 8 : Model C Yatay Yer Değişimi.

Denklem 3.9 kullanılarak model C için yatay elastisite modülü bulunabilir.

$$E = \frac{2 \times 10000 \times 2590 \times 1.15}{0.007 \times 300 \times 2070} = 13703.7 \text{ MPa olarak bulunur.}$$

3.3 Model D Elastisite Modülü Hesabı

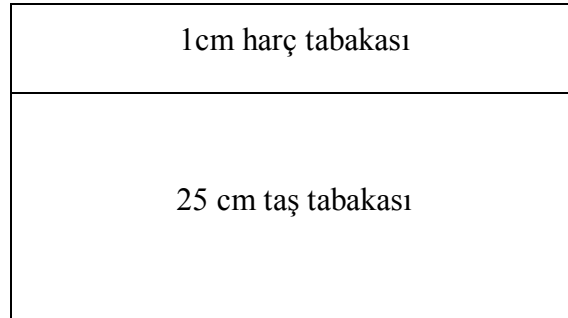
Model D'nin Model A'dan farkı elastisite modülü bulunurken denklem 2.2 kullanılarak izotrop kabul yapılmasıdır. Yani bu modelde yatay ve düşey elastisite modülü eşit kabul edilmiştir.

$$E_k = \frac{(t_h + t_t) \times \rho_k}{(t_h/E_h) + (t_t/E_t)}$$

$$E_k = \frac{(10+250) \times 1}{\left(\frac{10}{2000}\right) + \left(\frac{250}{20000}\right)} = 14857.14 \text{ Mpa olarak bulunur.}$$

3.4 Elastisite Modüllerinin Nümerik Hesabı

Bu bölümde yatay ve düşey elastisite modülleri denklem 3.4 ve denklem 3.9 kullanılarak bulunacak ve denklem 2.2 den elde edilen değerler doğrulanacaktır. Nümerik hesaplamada sadece 50x25x30cm ebatlarında taş ve üzerine 1 cm kalınlığında derz tabakası dikkate alınmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 : Hesap Yapılan Model

3.4.1 Düşey elastisite modülünün bulunması

Bu bölümde düşey yönde etki ettirilen 10000N sonucu derz ve taş tabakasında oluşan düşey şekil değiştirmeler toplanıp tek bir malzeme gibi hesabı yapılacak ve denklem 3.4 yardımıyla kompozit malzemenin düşey elastisite modülü hesabı yapılacaktır. [17](Çizelge 3.1)

Çizelge 3. 1 : Düşey Elastisite Modülü Hesabı

DÜŞEY ELASTİSİTE MODÜLÜ HESAPLAMA			
Taş ebatları en boy yükseklik (cm)=	30	51	25
Harç ebatları en boy yükseklik (cm)=	30	51	1
Taş elastisite modülü MPa=	20000		
Harç elastisite modülü MPa=	2000		
Düşey yönde etkiyen kuvvet N=	10000		
Taşa kuvvetin etkidiği alan (cm ²)	1530		
Harca kuvvetin etkidiği alan (cm ²)	1530		
Taşa gerilme (N/cm ²)	6,536		
Harçta gerilme (N/cm ²)	6,536		
Taşa ϵ	0,000326797		
Harçta ϵ	0,003267974		
Taştaki şekil değişimi	0,008169935		
Harctaki şekil değişimi	0,003267974		
Toplam şekil değişimi	0,011437908		
Taş ve harç beraber en boy yükseklik (cm)	30	51	26
Toplam ϵ	0,00043992		
Düşey Elastisite Modülü Mpa	14857,14		

3.4.2 Yatay elastisite modülünün bulunması

Bu bölümde yatay yönde etki ettirilen 10000N sonucu derz ve taş tabakasında oluşan yatay şekil değiştirmeler toplanıp tek bir malzeme gibi hesabı yapılacak ve denklem 3.9 yardımıyla kompozit malzemenin yatay elastisite modülü hesabı yapılacaktır. (Çizelge 3.2)

Çizelge 3. 2 : Yatay Elastisite Modülü Hesabı

YATAY ELASTİSİTE MODÜLÜ HESABI			
Taş ebatları en boy yükseklik (cm)=	30	51	25
Harç ebatları en boy yükseklik (cm)=	30	51	1
Taş elastisite modülü (Mpa)=	20000		
Harç elastisite modülü (Mpa)=	2000		
Etkiyen kuvvet (N)=	10000		
Taş poisson oranı=	0,15		
Harç poisson oranı=	0,15		
Taşa kuvvetin etkidiği alan (cm ²)	1530		
Harca kuvvetin etkidiği alan (cm ²)	1530		
Taşta kayma gerilmesi (N/cm ²)	6,536		
Harçta kayma gerilmesi (N/cm ²)	6,536		
Taştaki şekil değişimi (cm)	0,01879085		
Harctaki şekil değişimi (cm)	0,00751634		
Toplam şekil değişimi (cm)	0,02630719		
Taş ve harç beraber en boy yükseklik (cm)	30	51	26
Yatay Elastisite Modülü Mpa	14857,14		

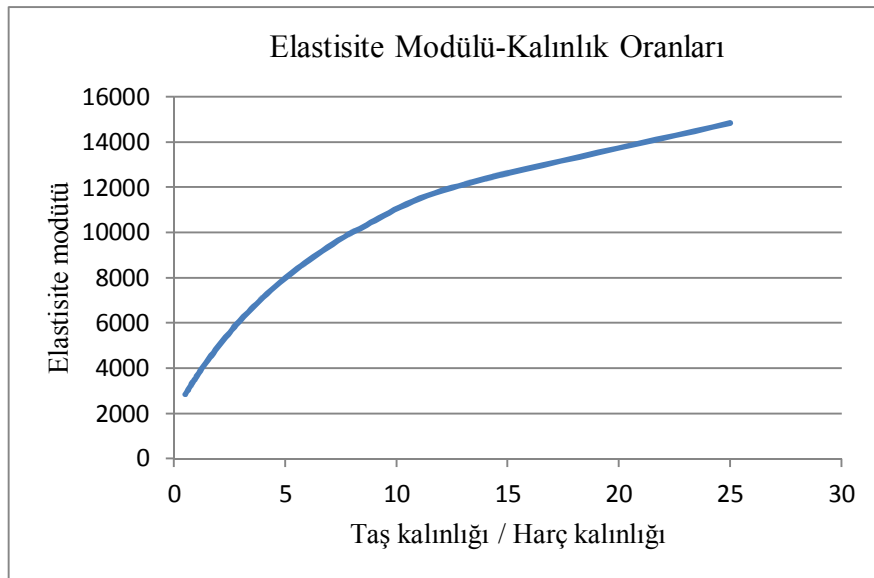
Bölüm 3.4.1. ve 3.4.2. de görüldüğü gibi malzemelerin şekil değiştirmelerini toplayarak oluşturulan yeni malzemenin homojen olduğu kabulü ile yatay ve düşey yönde elastisite modülleri eşit olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu değerler denklem 2.2 de elde edilen sonuca eşittir.

3.4.3 Elastisite modülü-kalınlık oranları grafiğinin oluşturulması

Bu bölümde taş kalınlığı/harç kalınlığının değişimine bağlı olarak oluşacak modelin elastisite modülünün tespiti çizelge üzerinde yapılarak grafik oluşturulacaktır. (Çizelge 3.3) (Şekil 3.10)

Çizelge 3.3 : Elastisite Modülü-Kalınlık Oranları

Taş Elastisite Modülü Mpa		20000	
Harç Elastisite Modülü Mpa		2000	
Taş Kalınlığı t_t (cm)	Harç Kalınlığı t_h (cm)	Kalınlık Oranları t_t/t_h	Elastisite Modülü Mpa
25	1	25	14857,14
25	2	12,5	12000
25	3	8,333	10181,82
25	4	6,25	8923,08
25	5	5	8000
25	6	4,167	7294,12
25	7	3,571	6736,84
25	8	3,125	6285,71
25	9	2,778	5913,04
25	10	2,5	5600
25	15	1,667	4571,43
25	20	1,25	4000
25	25	1	3636,36
25	30	0,833	3384,62
25	40	0,625	3058,82
25	50	0,5	2857,14



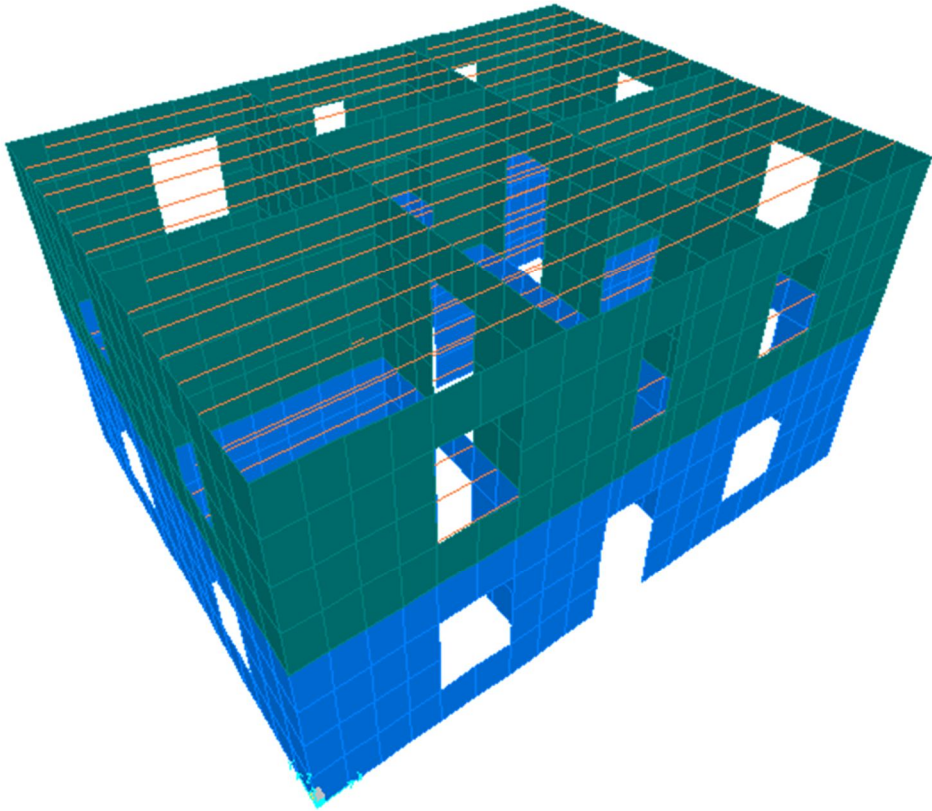
Şekil 3.10 : Elastisite modülü-kalınlık oranları

tanımlanarak temel modeli incelenmemiştir. Yapıda çatı modellenmemiş olup, çatı ağırlığı ve kar yükü döşemeye yayılı olarak etkilmiştir.

Oluşturulan duvar modellerinden model A ile model C'nin elastisite modülleri arasındaki farkın %5 civarında belirlenmesi sebebiyle model C'nin elastisite modülleri ile yapı analizi yapılmamıştır.

Bu kısımda model A, model B ve model D'den elde edilen elastisite modülleri ile analiz yapılacaktır.

Model A ile model B mukayese edilerek, derz kalınlığının yapıya etkisi hakkında fikir sahibi olmak, model A ile model D mukayese edilerek yığma yapıların izotrop ve anizotrop modellenmesi arasındaki fark hakkında fikir sahibi olmak amaçlanmıştır. Oluşturulan model şekilde gösterilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : İnceleme Yapılan Bina Modeli.

4.2 Yüklemler Hakkında Bilgiler

4.2.1 Zati yükler

Zati yükler sap 2000 paket programına hesaplatılmış olup ek olarak sadece döşemelere zemin katta 0,5 kN/m² kaplama ağırlığı, normal kat döşemelerine de 1,5 kN/m² çatı zati ağırlığı girilmiştir.

4.2.2 Hareketli yükler

Hareketli yük olarak zemin katta 3,5 kN/m² girilmiştir. Normal kat döşemesinde kar yükü olarak 0,75 kN/m² tanımlanmıştır.

4.2.3 Deprem yüklemesi

Deprem yüklemesi programa spektrum tanımlanarak yapılmıştır. Spektrum eğrisi 2007 Deprem Yönetmeliği esas alınarak hazırlanmıştır.

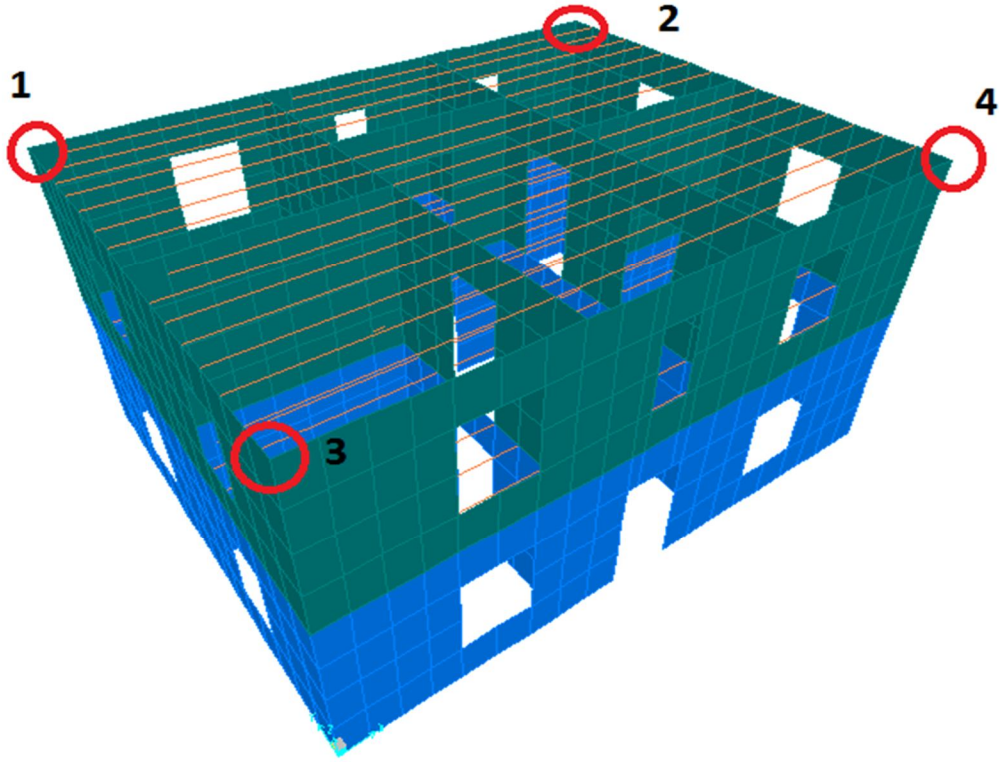
Bina önem katsayısı $I=1.4$ ve deprem bölgesi 1'dir. Dolayısıyla etkin yer ivme katsayısı $A_0=0.4$ tür. Ayrıca zemin cinsi Z2' dir. $S(T_1)=2.5$ ve $R_a(T_1)=2.0$ alınmıştır.

4.3 Modal Analiz

Modal analiz, yapının kütle ve rijitlik matrislerinin kullanılarak yapı periyodu ve mod şekillerinin bulunduğu bir metottür. DBYBHY-2007' ye göre modal analizde kütle katılım oranı %90'dan az olamaz. Fakat bazı binalarda bu oranı yakalamak için hesabı yapılacak mod sayısı bir hayli artırılmalıdır. Örnek yapıda mod sayısını 50 girerek yapılan hesaplamalarda %90 oranını yakaladığımız görülmüş ve bu oran kabul edilmiştir. [19-20]

4.4 Referans Nokta Seçimi

Yapılacak karşılaştırmalar için yapıda 4 adet referans nokta seçilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Referans alınan noktalar.

4.5 Model A Verilerinin Yapıdaki Sonuçları

Bölüm 3'te bulunan elastisite ve kayma modüllerini kullanarak sap 2000 programında anizotrop malzeme tanımlanmış ve analiz yapılmıştır. İlk 20 mod için yapı periyodu verilecek, ayrıca x ve y yönlerinde etkiyen deprem kuvveti ile bu kuvvete bağlı referans noktalarındaki yer değiştirmeler çizelge halinde verilecektir (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.7).

Çizelge 4. 1 : Model A taban kesme kuvvetleri ve momentler.

TABLE: Base Reactions						
OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
DEAD	5,986E-13	-2,9E-13	1249,743	4882,2134	-6123,7393	-3,963E-12
G	8,212E-14	-3,623E-14	137,2	519,99	-672,28	-6,086E-13
Q	6,244E-14	-5,909E-14	291,55	1104,9788	-1428,595	-5,796E-13
Ex	314,845	0,0002216	0,0002235	0,0017	1299,2801	1166,4135
Ey	0,0002872	316,557	6,085	1301,4312	29,8175	1551,1315

Çizelge 4. 2 : Model A periyod ve kütle katılım oranları.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
OutputCase	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	1	0,027159	1,688E-15	0,75362
MODAL	2	0,026538	0,752	0,75362
MODAL	3	0,022186	0,75428	0,75362
MODAL	4	0,019117	0,75428	0,75362
MODAL	5	0,018842	0,75864	0,75362
MODAL	6	0,018304	0,75864	0,7545
MODAL	7	0,017905	0,76838	0,7545
MODAL	8	0,017307	0,76838	0,75608
MODAL	9	0,016471	0,76838	0,79355
MODAL	10	0,016468	0,78886	0,79355
MODAL	11	0,016114	0,78886	0,7948
MODAL	12	0,016064	0,78921	0,7948
MODAL	13	0,015443	0,83053	0,7948
MODAL	14	0,015337	0,83053	0,79485
MODAL	15	0,015229	0,83053	0,7958
MODAL	16	0,015199	0,83466	0,7958
MODAL	17	0,014183	0,83466	0,80539
MODAL	18	0,013834	0,83466	0,84339
MODAL	19	0,013489	0,83466	0,8465
MODAL	20	0,013338	0,83467	0,8465

4.6 Model B Verilerinin Yapıdaki Sonuçları

Bölüm 3'te bulunan elastisite ve kayma modüllerini kullanarak sap 2000 programında anizotrop malzeme tanımlanmış ve analiz yapılmıştır. İlk 20 mod için yapı periyodu verilecek, ayrıca x ve y yönlerinde etkiyen deprem kuvveti ile bu kuvvete bağlı referans noktalarındaki yer değiştirmeler çizelge halinde verilecektir (Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.7).

Çizelge 4. 3 : Model B taban kesme kuvvetleri ve momentler.

TABLE: Base Reactions						
OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
DEAD	-4,357E-13	-3,725E-13	1249,743	4882,2134	-6123,7393	6,219E-14
G	2,067E-15	-2,307E-13	137,2	519,99	-672,28	-1,096E-12
Q	-1,592E-13	-3,345E-13	291,55	1104,9788	-1428,595	-1,093E-12
Ex	323,447	0,0002046	0,0002819	0,0017	1331,7239	1198,5896
Ey	0,0002533	325,244	6,019	1334,539	29,4907	1593,6948

Çizelge 4. 4 : Model B periyod ve kütle katılım oranları.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
OutputCase	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	1	0,030554	1,195E-15	0,75432
MODAL	2	0,029863	0,75298	0,75432
MODAL	3	0,024994	0,75527	0,75432
MODAL	4	0,021455	0,75527	0,75433
MODAL	5	0,021151	0,75951	0,75433
MODAL	6	0,020555	0,75951	0,75518
MODAL	7	0,020109	0,76916	0,75518
MODAL	8	0,019439	0,76916	0,7567
MODAL	9	0,018514	0,76916	0,79394
MODAL	10	0,018502	0,78879	0,79394
MODAL	11	0,018127	0,78879	0,79517
MODAL	12	0,018057	0,78911	0,79517
MODAL	13	0,017361	0,83106	0,79517
MODAL	14	0,017281	0,83106	0,79524
MODAL	15	0,017139	0,83106	0,79617
MODAL	16	0,017103	0,83528	0,79617
MODAL	17	0,015972	0,83528	0,80512
MODAL	18	0,015564	0,83528	0,84521
MODAL	19	0,015096	0,83528	0,84718
MODAL	20	0,014916	0,83528	0,84718

4.7 Model D Verilerinin Yapıdaki Sonuçları

Bölüm 3'te bulunan elastisite modülü sap 2000 programında izotrop malzeme olarak tanımlanmış ve analiz yapılmıştır. İlk 20 mod için yapı periyodu verilecek, ayrıca x ve y yönlerinde etkiyen deprem kuvveti ile bu kuvvete bağlı referans noktalarındaki yer değiştirmeler çizelge halinde verilecektir (Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7).

Çizelge 4. 5 : Model D taban kesme kuvveti ve momentler.

TABLE: Base Reactions						
OutputCase	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
DEAD	-7,781E-13	-4,685E-13	1249,743	4882,2134	-6123,7393	4,577E-13
G	-5,851E-14	-1,546E-13	137,2	519,99	-672,28	-5,896E-13
Q	-1,672E-13	-3,336E-13	291,55	1104,9788	-1428,595	-1,072E-12
Ex	313,661	0,0002496	0,0002061	0,0023	1298,8303	1161,591
Ey	0,0003104	315,362	6,218	1300,5139	30,4693	1545,2731

Çizelge 4. 6 : Model D periyod ve kütle katılım oranları.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios				
OutputCase	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	1	0,026845	2,58E-15	0,75257
MODAL	2	0,026217	0,75102	0,75257
MODAL	3	0,021879	0,75323	0,75257
MODAL	4	0,018945	0,75323	0,75258
MODAL	5	0,018668	0,75771	0,75258
MODAL	6	0,018124	0,75771	0,75347
MODAL	7	0,017726	0,76774	0,75347
MODAL	8	0,017118	0,76774	0,75515
MODAL	9	0,016295	0,76774	0,79297
MODAL	10	0,016283	0,78851	0,79297
MODAL	11	0,015919	0,78851	0,79422
MODAL	12	0,015893	0,78889	0,79422
MODAL	13	0,015264	0,82985	0,79422
MODAL	14	0,01512	0,82985	0,79424
MODAL	15	0,015037	0,82985	0,79523
MODAL	16	0,015008	0,83372	0,79523
MODAL	17	0,013995	0,83372	0,80609
MODAL	18	0,013673	0,83372	0,83901
MODAL	19	0,013424	0,83372	0,84539
MODAL	20	0,013291	0,83374	0,84539

Çizelge 4. 7 : Deprem etkisinde yer değiştirmeler.

Model	Yükleme	Nokta Numarası	Yer Değiştirmeler (mm)		
			X Yönü	Y Yönü	Z Yönü
A	Ex	1	0,06925	0,00431	0,01198
		2	0,06925	0,00431	0,01198
		3	0,07421	0,00431	0,01161
		4	0,07421	0,00431	0,01161
	Ey	1	0,0001	0,07725	0,01395
		2	0,0001	0,07725	0,01395
		3	0,0001	0,07725	0,01358
		4	0,0001	0,07725	0,01358
B	Ex	1	0,0901	0,00559	0,01524
		2	0,0901	0,00559	0,01524
		3	0,09652	0,00559	0,0148
		4	0,09652	0,00559	0,0148
	Ey	1	0,0001	0,1004	0,01775
		2	0,0001	0,1004	0,01775
		3	0,0001	0,1004	0,01728
		4	0,0001	0,1004	0,01728
D	Ex	1	0,06736	0,00419	0,01203
		2	0,06736	0,00419	0,01203
		3	0,07221	0,00419	0,01164
		4	0,07221	0,00419	0,01164
	Ey	1	0,0001	0,07527	0,01402
		2	0,0001	0,07527	0,01402
		3	0,0001	0,07527	0,01364
		4	0,0001	0,07527	0,01364

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Kullanılan modelleri kısaca hatırlatmak gerekirse;

Model A 1 cm derz kalınlığı ile örülmüş olup Tuğla kalınlığı/Harç kalınlığı değeri 25'tir.

Model B 2 cm derz kalınlığı ile örülmüş olup Tuğla kalınlığı/Harç kalınlığı değeri 12,5'tir.

Model D, Model A'nın aynısı olup izotrop hesap yapılmıştır.

5.1.1 Taşıyıcı duvar analizlerinin incelenmesi

Araştırma sonucu elde edilen sonuçları maddeler halinde verebiliriz;

- Model A ile Model B karşılaştırılırsa Elastisite Modülleri A'dan B'ye geçişte düşey yönde % 19.07 azalmıştır.
- Model A ile Model B karşılaştırılırsa Elastisite Modülleri A'dan B'ye geçişte yatay yönde % 21.77 azalmıştır.
- Model A ile Model C karşılaştırılırsa Elastisite Modülleri A'dan C'ye geçişte düşey yönde % 4.93 azalmıştır.
- Model A ile Model C karşılaştırılırsa Elastisite Modülleri A'dan C'ye geçişte yatay yönde % 4.14 azalmıştır.
- Model A ile Model D karşılaştırılırsa Model D'nin tek değer olarak bulunan Elastisite Modülünün, Model A'nın yatay ve düşey Elastisite Modüllerinin değerlerinin arasında kaldığı görülmüştür.

5.1.2 Yapı analizlerinin incelenmesi

Araştırma sonucu elde edilen sonuçları maddeler halinde verebiliriz;

- Model A ile Model B karşılaştırılırsa Taban kesme kuvvetleri A'dan B'ye geçişte X yönündeki depremden dolayı X yönünde oluşan değerler % 2,73 artmıştır.

- Model A ile Model B karşılaştırılırsa Taban kesme kuvvetleri A'dan B'ye geçişte Y yönündeki depremden dolayı Y yönünde oluşan değerler % 2,75 artmıştır.
- Model A ile Model D karşılaştırılırsa Taban kesme kuvvetleri A'dan D'ye geçişte X yönündeki depremden dolayı X yönünde oluşan değerler % 0.376 azalmıştır.
- Model A ile Model D karşılaştırılırsa Taban kesme kuvvetleri A'dan D'ye geçişte Y yönündeki depremden dolayı Y yönünde oluşan değerler % 0.378 azalmıştır.
- Model A ile Model B karşılaştırılırsa yapı periyodları A'dan B'ye geçişte 1. modda %12,5 , ikinci modda %12.52 artmıştır.
- Model A ile Model D karşılaştırılırsa yapı periyodları A'dan D'ye geçişte 1. Modda %0,115 ikinci modda % 0,12 azalmıştır.

Ayrıca referans noktadaki yer değişimleri Çizelge 4.7 de sunulmuştur.

5.2 Öneriler

Görüldüğü gibi derz aralarının 1cm yerine 2 cm yapılmasının duvarın elastisite modülüne etkisi % 20 mertebelerinde, oluşan taban kesme kuvvetine etkileri ise % 3 mertebelerindedir. Bu oranlar üzerinde düşünülmeden yok sayılacak değerler değildir. Hele ki derz kalınlıklarının arttığı bir yapı analiz edilirken önce mikro modelle çalışmanın bize katkısı büyüktür.

Diğer yandan taşıyıcı duvarın izotrop yada anizotrop modellenmesinin gerek duvar mekanik özelliklerine gerekse yapı analizi sonucu bulunan değerlere etkisinin fazla olmadığı saptanmıştır. Fakat tuğla dizilimlerinin değişimi ile birlikte yatay ve düşey elastisite değişimlerinin aynı oranda olmadığı da göz önüne alınmalı ve bu farkın açıldığı modellerde anizotrop modelleme seçeneği üzerine düşünülmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Bayraktar, A.** (2011), Yığma yapı mühendisliğinin gelişim tarihi.
- [2] **Lourenço, P. B.** (1998), Experimental and numerical issues in the modelling of the mechanical behaviour of masonry, Structural Analysis of Constructions II, Barcelona.
- [3] **Arun, G.** (2005), Yığma Kagir Yapı Davranışı, Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştay.
- [4] **Güler, K., Sağlamer, A., Celep, Z., Pakdamar, F.** (2004), Structural and earthquake response analysis of the Little Hagia Sophia Mosque, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada.
- [5] **Schueremans, L.** (2001), Probabilistic evaluation of structural unreinforced masonry, Doctoral Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Heverlee (Belgium).
- [6] **Satongar, Ş.** (1994), İstanbul şehir surları horasan harçları üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [7] **Özen, G.Ö.** (2006), Comparison of elastic and inelastic behavior of historic masonry structures at the low load levels, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.
- [8] **Saraç, M. M.** (2003), Tarihi yığma kagir yapıların güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- [9] **Yılmaz, P.** (2006), Tarihi yapıların modellenmesi ve deprem güvenliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [10] **Dabanlı, Ö.** (2008), Tarihi yığma yapıların deprem performansının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- [11] **Heyman, J.** (2006), The science of structural engineering Imperial College Press, London.
- [12] **Lourenço, P. B.** (1996), Computational Strategies For Masonry Structures, Portugal.
- [13] **Binda, L., Saisi, A.** (2001), Non destructive testing applied to historic buildings: the case of some Sicilian churches, Historical Constructions, P.B.
- [14] **Lourenço, P.B.** (2000), Current experimental and numerical issues in masonry research, Universidade do Minho, Portugal. Lourenço, P. Roca (Eds.), Guimaraes.
- [15] **Kamal, O.A.** (2013), Nonlinear analysis of historic and contemporary vaulted masonry assemblages.
- [16] **Omurtag, M. H.** (2011), Mukavemet, İstanbul.

- [17] **Rots, J.G.** (1989), Numerical simulation of cracking in structural masonry.
- [18] **Celep, Z.** (2010), İmo meslek içi eğitim seminerleri, İstanbul.
- [19] **Celep, Z., Kumbasar N.** (2004), Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, Beta Yayınları, İstanbul.
- [20] **Celep, Z., Kumbasar N.** (2001), Yapı Dinamiği, Beta Yayınları, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Dışura Samed DEMİRKAN

09.11.1987 Amasya'ya bağlı Merzifon ilçesinde dünyaya geldi. İlköğrenimini Sakarya, Lise öğrenimini Ankara Kalaba Anadolu Lisesinde tamamladı. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat mühendisliği bölümüne girerek 2010 yılında mezun oldu. 2010 yılında İTÜ Yapı Mühendisliği Programına kaydoldu. Ayrıca özel sektörde bazı statik projelerde ve bazı konut şantiyelerinde saha mühendisi olarak görev aldı.