

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİKDÖRTGEN PAYANDALI YÜKSEK YIĞMA DUVARLARIN DÜZLEM
DIŞI DEPREM DAYANIMLARI**

Rabia İZOL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2017**

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİKDÖRTGEN PAYANDALI YÜKSEK YIĞMA DUVARLARIN DÜZLEM
DIŞI DEPREM DAYANIMLARI**

Rabia İZOL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2017**

Prof. Dr. M. Arif GÜREL danışmanlığında, Rabia İZOL' un hazırladığı "**Dikdörtgen payandalı yüksek yığma duvarların düzlem dışı deprem dayanımları**" konulu bu çalışma 24/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Prof. Dr. M. Arif GÜREL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ

Üye : Doç. Dr. İdris BEDİRHANOĞLU

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. H. Murat ALĞIN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	v
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	6
3.1. Deprem Yükleme ve Diğer Yükler.....	6
3.2. Payandalı ve Payandasız Duvarların Modellenmesi ve Çeşitli Kabuller.....	7
3.3. Hesap Yöntemi ve Duvarın modellenmesi.....	12
3.3.1. j . Kesitteki dış merkezlik değeri.....	16
3.3.2. j . elemanın eğrilik değeri.....	17
3.3.3. Çözüm işlemi.....	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	25
4.1. Bazı Duvarlar Üzerinde Yöntemin Uygulamaları.....	25
4.2. Parametrik İncelemeler.....	32
4.2.1. Payandanın duvar düzlemine dik boyutunun etkisi.....	32
4.2.2. Payandanın duvar düzlemine paralel boyutunun etkisi.....	33
4.2.3. Duvar malzemesinin elastisite modülünün (E) etkisi.....	34
4.2.4. Düşey yükün etkisi.....	34
4.2.5. Düşey yükün dış merkezliğinin etkisi (e/t).....	35
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	36
KAYNAKLAR.....	38
ÖZGEÇMİŞ.....	40

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİKDÖRTGEN PAYANDALI YÜKSEK YIĞMA DUVARLARIN DÜZLEM DIŞI DEPREM DAYANIMLARI

Rabia İZOL

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. Arif GÜREL
Yıl: 2017, Sayfa: 40

Bu tez çalışmasında payandalı yüksek yığma duvarların deprem dayanımları eşdeğer statik analiz yöntemi ile incelenmiştir. Bu amaçla dikdörtgen kesitli yığma elemanların stabilite (kararlılık) analizleri için geliştirilmiş olan sayısal bir yöntemden faydalanılmıştır. Sayısal yöntem çatlamayı ve ikinci mertebe etkilerini hesaba katmaktadır. Duvarlar üst kesite etki eden tekil düşey ve yatay yükler, yatay deprem yükü ve kendi ağırlıkları altında bir prizmatik konsol eleman olarak modellenmiştir. Bir payandalı referans duvarın ve bir de Süleymaniye Camisinin kible duvarının deprem katsayısına karşı yatay yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca referans duvar üzerinde parametrik analizler yapılarak, payandanın duvar düzlemine dik ve paralel boyutları, duvar malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri, düşey yük ve bu yükün dış merkezliği gibi parametrelerin deprem dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Yığma duvar, payanda, düzlem dışı deprem dayanımı

ABSTRACT

MSc Thesis

OUT - OF - PLANE SEISMIC RESISTANCE OF HIGH MASONRY WALLS HAVING RECTANGULAR BUTTRESSES

Rabia İZOL

**Harran University
Graduate School of Naturel and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. M. Arif GÜREL
Year: 2017, Page: 40**

In this thesis study, the seismic resistance of high masonry walls were investigated by equivalent static analysis method. For this purpose, a numerical model developed for the stability analysis of masonry elements with rectangular cross-section is utilized. The numerical model adds cracking and second order effects and the walls are divided ideally into a sufficient number of elements, each having uniform constant curvature. The walls are modeled as individual prismatic horizontal and vertical loads acting on the upper section, a horizontal earthquake load and a prismatic console element under their own weight. Horizontal displacement curves were obtained for a buttress reference wall and for the kible wall of the Süleymaniye Cami against the seismic coefficient. In addition, parametric analyzes were performed on the reference wall to investigate the effects on the strength of the parameters such as wall fragility, physical and mechanical properties of the material.

ANAHTAR KELİMELER: Masonry wall, buttress, out-of-plane seismic resistance

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma sűresince bilgi ve tecrűbelerinden yararlandıđım Sayın Prof. Dr. M. Arif GÜREL' e ve bana her konuda destek olan deđerli Aileme sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Payandalı yığma yapılara örnekler.....	2
Şekil 1.2. Yığma yapılarıdaki payanda türleri.....	3
Şekil 3.1. Kalınlığı değişmeyen dikdörtgen payandalara sahip duvar ve duvarın bir dilimi.....	7
Şekil 3.2. Hesap için göz önüne alınacak duvar dilimi ve hesaba girecek yükler.....	8
Şekil 3.3. Göz önüne alınan T kesit.....	9
Şekil 3.4 Kesit için varsayılan tarafsız eksen ve gerilme dağılımı.....	10
Şekil 3.5. a-) Payandasız duvar kesiti b-) Payandalı duvar kesiti.....	12
Şekil 3.6. Atalet momenti payandalı duvar kesitinininkine eşit olan dikdörtgen kesit.....	12
Şekil 3.7. a) Sabit kesitli duvarın geometrisi, b) Duvarın hesap için elemanlara bölünmüş hali ve yükleme durumu.....	13
Şekil 3.8. Hesap için elemanlara bölünmüş haldeki duvarın dikkate alınan yükleme altında genel bir şekil değiştirmiş hali.....	15
Şekil 3.9. Çatlamamış bir j. kesitte Şekil değiştirmeler ve eğrilik.....	18
Şekil 3.10. Kısmen çatlak bir j.kesitte değiştirmeler ve eğrilik.....	19
Şekil 3.11. C++ programının genel akış diyagramı.....	23
Şekil 4.1. a-) Payandasız yığma duvar, b-) Payandalı yığma duvar.....	26
Şekil 4.2. Payandalı yığma duvar kesiti.....	26
Şekil 4.3. Atalet momenti payandalı duvar kesitine eşit olan dikdörtgen kesit.....	27
Şekil 4.4. Payandasız ve payandalı yığma duvarların deprem katsayısı-yatay yer değiştirme eğrileri.....	28
Şekil 4.5. Payandasız ve payandalı yığma duvarının toplam deprem kuvveti-yerdeğiştirme eğrileri.....	28
Şekil 4.6. Süleymaniye Camisinin payandalı olan kible duvarının planı (zemin seviyesi).....	29
Şekil 4.7. Süleymaniye Camisinin payandalı olan kible duvarının boy kesiti.....	29
Şekil 4.8. Süleymaniye Camisinin kible duvarı ile eşit atalet momentine sahip olan duvarın kesiti.....	30
Şekil 4.9. Süleymaniye Camisinin kible duvarının deprem katsayısı-yatay yerdeğiştirme eğrileri.....	31
Şekil 4.10. Süleymaniye Camisinin kible duvarının toplam deprem kuvveti-yatay yerdeğiştirme eğrileri.....	31
Şekil 4.11. Payandanın duvar düzlemine dik üç farklı boyutu (t_p) için yığma duvarın deprem katsayısı - yatay yerdeğiştirme eğrileri.....	32
Şekil 4.12. Payandanın duvar düzlemine paralel üç farklı boyutu (b_p) için yığma duvarın deprem katsayısı-yatay yerdeğiştirme eğrileri.....	33
Şekil 4.13. Farklı elastisite modülleri için örnek duvarın deprem katsayısı - yatay yerdeğiştirme eğrileri.....	34
Şekil 4.14. Farklı P/W oranları için deprem kuvveti-yatay yerdeğiştirme eğrileri.....	35
Şekil 4.15. Düşey yükün boyutsuz dış merkezliğinin farklı değerleri için deprem katsayısı-yatay yerdeğiştirme eğrileri.....	35

SİMGELER DİZİNİ

b	Duvar genişliği
c	Deprem katsayısı
c_j	j. kesitteki deprem katsayısı
c_{enb}	En büyük deprem katsayısı
E	Elastisite modülü
e_p	Düşey tepe yükünün dış merkezlik değeri
F	Kesit alanı
f	Toplam deprem kuvveti
h	Duvar yüksekliği
h_e	Sonlu eleman yüksekliği
M	Eğilme momenti
N	Eksenel basınç kuvveti
n	Hesap için duvarın bölündüğü eleman sayısı
I	Atalet momenti
$O(x,y)$	Kullanılan eksen takımı
P	Düşey tepe yükü
r_j	j. elemanın eğrilik yarı çapı
t	Duvar kalınlığı
t'	Eşdeğer duvar kalınlığı
y_j	j kesitinin geometrik merkezinin koordinatı
W	Duvar ağırlığı
α_j	j. elemanla ilişkili açı değeri
β	Duvar üst kesitinin dönme miktarı
δ	Duvar üst kesitinin yatay yer değiştirmesi
γ	Duvar malzemesinin birim hacim ağırlığı
ζ	Boyutsuz eleman yüksekliği (Ayrıklaştırma parametresi)
σ	Basınç gerilmesi
ε	Eksenel - boylal - şekil değiştirme
ϕ_j	Elemanın eğrilik değeri
λ_j	Eleman eğrilik hesabındaki boyutsuz parametre

1. GİRİŞ

Ahşapla birlikte taş, tuğla ve kerpiç insanlık tarihindeki en eski ve en önemli yapı malzemeleridir. Günümüze ulaşan tarihi yapıların birçoğunda malzemenin öncelikle taş ve daha sonra da tuğla olduğu görülmektedir. Bu iki malzeme ve kerpiç ile oluşturulan yapılara yığma (kâgir, kargir) yapılar adı verilir.

İnsanoğlunun çeşitli medeniyet evrelerinde değişik amaçlarla inşa ettiği, bugün insanlık mirası olarak korunup gelecek nesillere güvenle aktarılması gereken yapılara tarihi yapılar adı verilir. Bu yapılar; ibadet yapıları (camiler, katedraller gibi), köprüler, eğitim yapıları, saraylar, hastaneler, idare yapıları, su yapıları, askeri yapılar, surlar ve kuleler olarak sayılabilir.

İnşa edildikleri çağların malzeme ve teknolojisi gereği bu yapıların hemen hemen tamamı taş ve tuğla ile inşa edildiklerinden dolayı yığma yapılardır (Bayraktar, 2006).

Duvarlar bina türü yığma yapıların en önemli kısımlarındandır. Payandasız yüksek yığma duvarların düzlemlerine dik deprem ve rüzgar etkilerine karşı zayıf olacakları açıktır. Bundan dolayı yüksek duvarları olan yapılarda, bu tür duvarların hemen her zaman bir payanda sistemi ile desteklenmiş olduğu görülmektedir. Şekil 1.1. 'de bazı tarihi yapılardaki payandalı duvarlar görülmektedir. Şekil 1.1. a) Süleymaniye Camisini göstermektedir. Caminin özellikle kible duvarı çok iyi bir payanda sistemi ile desteklenmiştir. Şekil 1.1. b) Londra' daki Westminster Manastırının Kilisesinin güçlü payandalarla destekli bir duvarını göstermektedir. Şekil 1.1. c) 'de İspanya' nın Almeria bölgesinde bulunan El Cortijo del Fraile Manastırı ve onun yüksek yan duvarını destekleyen payandaları ve Şekil 1.1. d) de ise Lefkoşa' daki tarihi Selimiye Camisinin uçan payandaları görülmektedir.

Bilindiği gibi payandalar barajlar ve istinat duvarları gibi modern yapılarda da kullanılmaktadır.

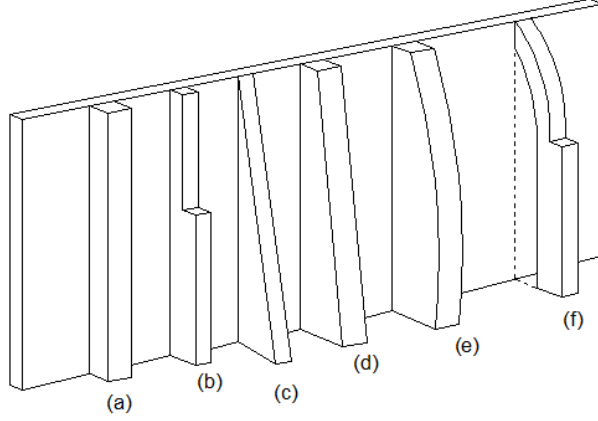
Yığma yapılarda kullanılmış olan payandalar sabit kesitli (dikdörtgen), kademeli, üçgen, trapez, uçan payanda (flying buttress) ya da başka özel bir tipte olabilmektedir. Şekil 1.2. 'de bu payandalar gösterilmiştir.

	<p>a) Süleymaniye Camisi Kible duvarı payandaları (http://eski.istanbulium.net)</p>
	<p>b) Westminster Manastır Kilisesi (Londra) (http://emebis.me/?q=http://emebis.blogspot.com.tr)</p>
	<p>c) El Cortijo del Fraile Manastırı (Almeria, İspanya) (http://spanishshilling.blogspot.com.tr)</p>
	<p>d) Lefkoşe Selimiye Camisi Uçan Payandaları (http://ahsenokyar.com/)</p>

Şekil 1.1. Payandalı yığma yapılara örnekler

Yukarıda belirtildiği gibi payandalar yüksek duvarlar için önemli bir bileşen olmasına karşılık literatürde bu elemanlarla ilgili çalışma sayısı çok azdır. Mevcut olan çalışmaların birçoğu da payandaların üst kısımlarına yakın bir noktada eğik olarak etkiyen tekil bir kuvvet etkisinde davranış ve dayanımlarını araştıran

çalışmalar niteliğindedir. Söz konusu eğik yük payandanın desteklediği duvara bir tonoz ya da kemerden iletilen yükü temsil etmektedir. Deprem bölgelerindeki yapılar için deprem kuvvetleri doğal olarak en önemli yükler arasındadır. Dolayısıyla payandalı yığma duvarların bu tür bir yük etkisi altında da davranış ve dayanım özelliklerinin araştırılması gerekir.



Şekil 1.2. Yığma yapıdaki payanda türleri: (a) dikdörtgen payanda, (b) kademeli payanda, (c) üçgen payanda, (d) trapez payanda, (e) eğrisel değişime sahip payanda, (f) uçan payanda

Bu tez çalışmasında sabit dikdörtgen kesitli payandalı yüksek yığma duvarların düzlemlerine dik deprem davranışları incelenmiştir. Böyle bir çalışmanın literatürde olmadığı görülmüş, bu yüzden mühendislik açısından yararlı bir çalışma olduğu düşünülmektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Giriş kısmında da belirtilmiş olduğu gibi yığma payandalar ve payandalı yığma duvarlar ile ilgili çalışma sayısı çok azdır. Burada literatürde mevcut olan çalışmalar gözden geçirilmiştir.

Ochsendorf ve diğerleri (2004), yığma payandaların göçme davranışını incelemişlerdir. İncelemelerini payandanın üst bölümüne yakın ve yan yüzlerinden birine etkileyen tekil yatay ve düşey yükler etkisindeki sabit dikdörtgen kesitli payandalar üzerinde yapmışlardır. Payanda malzemesini basınçta ezilmeyecek kadar dayanımı yüksek, çekme dayanımı olmayan sürekli bir ortam olarak ele alıp, kayma ihtimalini de yok sayarak tipik payanda formları için göz önüne alınan yüklemeler altında çatlak biçimini elde edip göçme yükünü belirlemişlerdir. Çatlağın genel olarak eğik tekil yük uygulanmış olan payanda yüzünden tabana doğru ilerleyen yaklaşık doğrusal bir biçimde olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca yığma payandaların devrilme analizleri için genel metotlar önerilmiş ve payandaların güvenlik düzeylerinin belirlenmesi için yöntemler sunulmuş ve irdelenmiştir.

Nikolinakou ve diğerleri (2005), erken Gotik dönemi uçan payandalarının (flying buttresses) yapısal işlevlerini ve etkinliklerini klasik limit analiz yöntemini kullanarak ele almışlardır. Uçan payandaların uzunluk, iç kemer eğriliği, kalınlık ve eğilim gibi farklı biçimsel karakteristiklerinin önemi yanında, kayma ve mesnet hareketi gibi muhtemel göçme şekillerini parametrik olarak ve bir dizi Gotik payandası dikkate alınarak incelemişlerdir.

Ochsendorf ve De Lorenzis (2008), dikdörtgen yığma payandaların tekil yüklemeler altında göçmesi üzerinde çalışmışlardır. Modeller üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinin sonuçları bu konuda Ochsendorf ve diğerlerinin (2004) çalışmasındaki analitik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, yığma payandaların güvenliği üzerinde kayma, sınırlı basınç dayanımı ve eğiklik (şakülden ayrılma) gibi parametrelerin etkisini de incelemişlerdir.

Huerta (2010), çalışmasında payanda tasarımının gelişimini tarihsel bir çerçevede ele almıştır. Ayrıca modern yığma payanda analizindeki son durumu özetleyip, payandaların güvenlik belirleme yöntemlerini irdelemiştir.

De Lorenzis ve diğerleri (2012a, b), ilk olarak kademeli daha sonrada trapez biçimli yığma payandaların yapısal analizini oldukça ayrıntılı bir şekilde ele almışlardır. Bu çalışmalarında söz konusu payanda tiplerinin göçme yüklerini, onları çekme dayanımı olmayan sürekli birer ortam gibi düşünerek analitik olarak belirlemeye çalışmışlardır.

Makris ve Alexakis (2015), yığma payandaların ve kulelerin yatay ve düşey (yer çekimi) yükleri altında limit denge analizini yapmışlardır. Payandalar açısından incelemeleri genel olarak yukarıdaki çalışmalara benzerdir. Ancak sıfır çekme dayanımının payandalar için fiziksel olarak anlamlı olup olmadığını irdelemek yanında, bodur yığma payandaların üst kesitinin bir tarafında etkiyen eğik bir tekil yük etkisi altında kayma göçmesini de incelemişlerdir.

Görüldüğü gibi yığma payandalar konusunda yapılmış olan çalışmalar, yığma yapıların bütünü dikkate alındığında yapılmış olan çalışmalara oranla çok çok azdır. Yukarıda belirtilmiş olan çalışmaların tamamı da payandaların eğik bir yük etkisi altında davranışının anlaşılması ve dayanımının belirlenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Halbuki deprem bölgelerinde bulunan payandalı duvara sahip özellikle yüksek yığma yapılar için en önemli yüklemelerden biri depremler esnasında etkiyecek yatay deprem kuvvetleridir. Böyle bir çalışmaya literatürde rastlanamamıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Payandalar yüksek duvarlara sahip yığma yapılarda önemli bileşenlerdir. Bu bölümde payandalı yığma duvarların düzlemlerine dik deprem etkileri altında dayanımlarını belirlemek için kullanılacak hesap yöntemi ele alınacaktır. Yöntemin kullanımı ile payandalı duvar ile birlikte payandasız duvar da dikkate alınıp, dayanımlar arasındaki fark belirlenecektir. Bu sayede payandanın duvarın deprem dayanımına katkısı görülmüş olacaktır. Ayrıca duvar narinliği, duvar malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri gibi parametrelerin de dayanım üzerindeki etkileri araştırılacaktır.

3.1. Deprem Yükleme ve Diğer Yükler

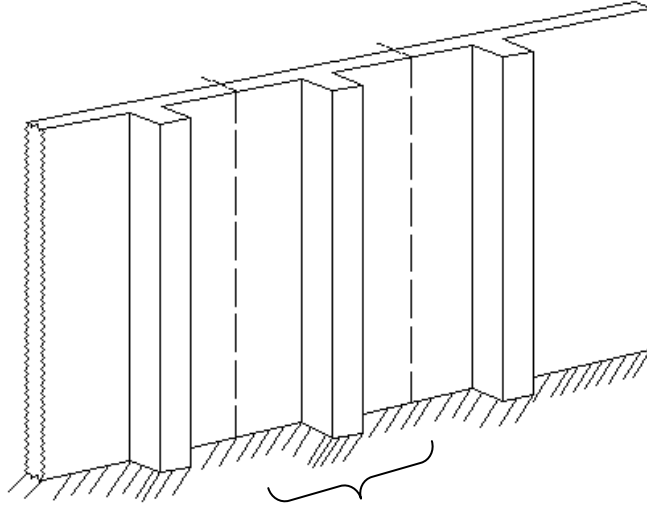
Bilindiği üzere yapıların yatay deprem etkileri altında analizi (çözümlemesi) üç yöntem kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bunlar; Zaman Tanım Alanında Analiz (dynamical time-history analysis), Modal Analiz (modal superposition analysis) ve Eşdeğer Statik Analiz yöntemidir (equivalent static analysis). Bu analiz yöntemleri hakkında ayrıntılı bilgi bazı Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliği kitaplarında bulunabilir. Örneğin Paulay ve Priestley' in (1992), "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings" adlı kitabı bunlara güzel bir örnektir.

Bu tez çalışmasında payandalı ve payandasız yüksek yığma duvarların düzlemlerine dik deprem etkileri altında hesabı, basit ve pratik olmasından dolayı, eşdeğer statik yatay yük analizi ile gerçekleştirilecektir. Bu analiz prosedürü yapının yalnızca birinci titreşim modunu dikkate alıp, daha yüksek modları göz ardı ettiğinden, maksimum atalet etkilerine eşdeğer olan ve yapı yüksekliği boyunca ters üçgen şeklinde değişime sahip bir statik yatay yük dağılımını benimsemiş olur. Eşdeğer statik analiz yöntemi ülkemiz deprem yönetmeliğinde (ABYYHY 1998) olduğu gibi dünyanın deprem riski olan çeşitli ülke yönetmeliklerinde de belli şartlar altında kullanımına müsaade edilen bir yöntemdir.

Göz önüne alınacak payandalı duvar sisteminde dikkate alınacak hesap dilimi üzerinde yukarıda açıklanan deprem yüklemesi yanında başka yükler de doğal olarak bulunacaktır. Bunlar; dilimin yayılı haldeki kendi ağırlığı yanında duvar üst kesitine etki edecek tekil düşey ve yatay yükler olacaktır.

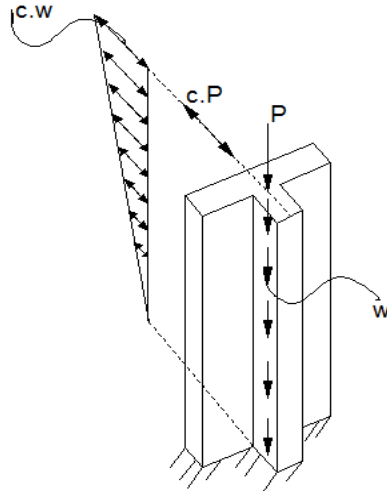
3.2. Payandalı ve Payandasız Duvarların Modellenmesi ve Çeşitli Kabuller

Çalışmada tabandan tepeye kadar boy kesiti ve kalınlığı değişmeyen dikdörtgen payandalara sahip duvarlar incelenecektir. Payandaların birbirlerinden eşit mesafelerde olduğu ve duvar kalınlığının da tabandan tepeye kadar sabit kaldığı düşünülecektir. Bu şekildeki bir payandalı duvarda, Şekil 3.1. 'de görüldüğü gibi bir payandayı içeren bir dilim hesap için ele alınacaktır. Bu dilim ve hesaba girecek yükler Şekil 3.2. 'de gösterilmiştir. Bu şekilde P duvar üst kesitine gelen düşey yükü, w duvarın düşeyde yayılı olan ağırlığını, c deprem katsayısını ve $c.P$ ile $c.w$ duvara etkiyecek yatay deprem yüklerini göstermektedir.



Göz önüne alınacak dilim

Şekil 3.1. Kalınlığı değişmeyen dikdörtgen payandalara sahip duvar ve duvarın bir dilimi



Şekil 3.2. Hesap için göz önüne alınacak duvar dilimi ve hesaba girecek yükler

Şekil 3.2. 'den görüldüğü gibi hesapta göz önüne alınacak dilim bir T kesite sahiptir. Bilinmektedir ki çekme almayan malzemedan (no-tension material) oluşturulmuş ve dikdörtgenden farklı kesite sahip herhangi bir elemanın normal kuvvet ve eğilme momenti tesirleri altında hesabı, genel olarak kolay değildir. Çünkü belirli büyüklükte normal kuvvet ve momente maruz dikdörtgenden farklı bir kesitte tarafsız eksenin konumunun ve maksimum normal gerilmenin belirlenmesi hiç de kolay değildir. Genel olarak bir deneme-yanılma işlemi gereklidir. Hesabın zorluğunu göstermek için aşağıdaki örnek yararlı olacaktır.

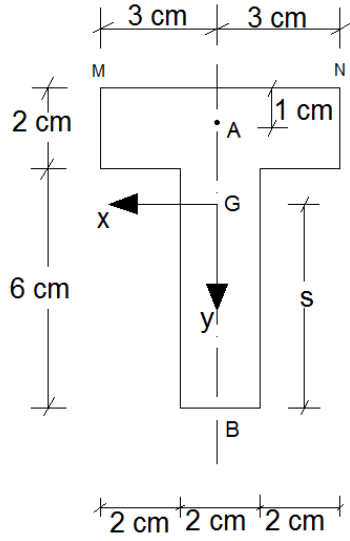
Örnek: Şekil 3.3. 'de verilen kesitte A noktasında P basınç kuvveti etkimektedir. Malzemenin çekme gerilmesi taşınamaması ve basınç güvenlik gerilmesinin 50 kgf/cm^2 olması durumuna göre kesitin taşıyabileceği en büyük P kuvvetini hesaplayalım (Kadıoğlu, Engin ve Bakıoğlu, 2000).

Çözüm:

Kesitin ağırlık merkezinin yeri

$$s = \frac{6.2.7 + 6.2.3}{6.2 + 6.2} = 5 \text{ cm} \quad (3.1)$$

olarak belirlenir.



Şekil 3.3. Göz önüne alınan T kesit

Kesitte tarafsız eksen

$$N = -P \quad (\text{Eksenel normal kuvvet}) \quad (3.2)$$

$$M_x = P \cdot 2 \quad (\text{Eğilme momenti}) \quad (3.3)$$

$$F = 2.6 + 2.6 = 24 \text{ cm}^2 \quad (\text{Kesit alanı}) \quad (3.4)$$

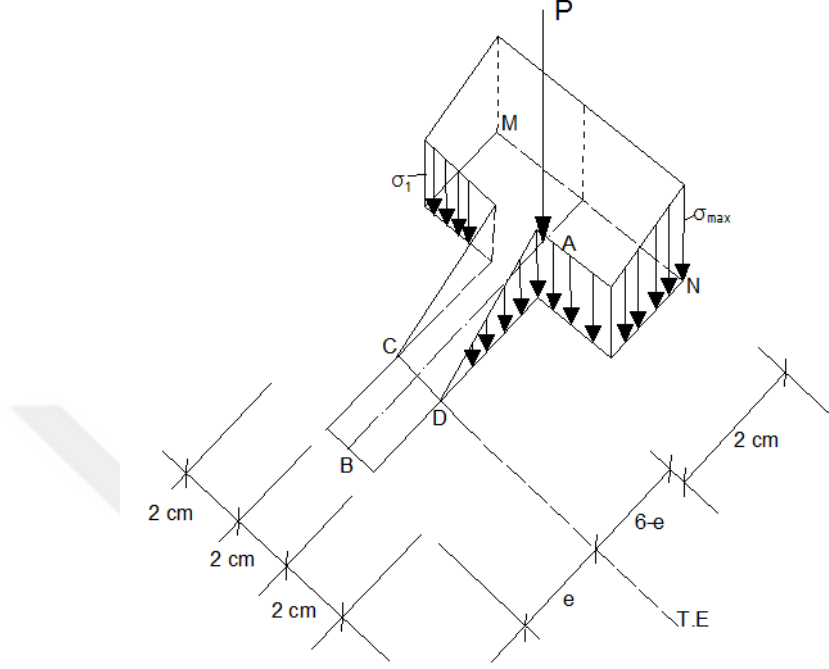
$$\begin{aligned} I_x &= \frac{2 \cdot 6^3}{12} + 2.6(5 - 3)^2 + \frac{6 \cdot 2^3}{12} + 6.2 \cdot (7 - 5)^2 \\ &= 136 \text{ cm}^4 \quad (\text{Kesitin x eksenine göre atalet momenti}) \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\sigma_z = \frac{N}{F} + \frac{M_x}{I_x} y = 0 \rightarrow P \left(\frac{-1}{24} + \frac{2}{136} y \right) = 0 \rightarrow y = 2.83 \text{ m} \quad (3.6)$$

Bu tarafsız eksen G ile B arasından geçtiğine göre kesitte çekme gerilmeleri doğacaktır. Bu durumda yukarıdaki hesap tarzı uygulanamaz ve hesap şöyle yürütülür:

Kesitte gerilme dağılışı y eksenine göre simetrik olmalıdır. Çünkü kuvvet simetri eksenindedir. Şekil 3.4. 'de gösterilen CD doğrusu tarafsız eksen olarak

alınırsa maksimum gerilme MN doğrusu üzerinde meydana gelecektir. Varsayılan tarafsız eksen ve gerilme dağılışı Şekil 3.4. 'de çizilmiştir.



Şekil 3.4. Kesit için varsayılan tarafsız eksen ve gerilme dağılımı

σ_1 gerilmesi

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sigma_1}{6-e} &= \frac{\sigma_{max}}{8-e} = \frac{50}{8-e} \\ \sigma_1 &= 50 \frac{6-e}{8-e} \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

şeklinde hesaplanır.

Gerilme hacminin P ye eşit olması durumundan

$$P = \sigma_1(6-e) \frac{1}{2} 2 + \sigma_1 2.6 + (\sigma_{max} - \sigma_1) 2 \frac{1}{2} 6 \quad (3.8)$$

$$= 50 \frac{6-e}{8-e} [(6-e) + 12] + 50 \frac{2}{8-e} 6 = 50 \frac{1}{8-e} (e^2 - 24e + 120) \quad (3.9)$$

denklemini, gerilme hacminin ve P' nin CD eksenine göre momentlerinin eşit olması da

$$P(7-e) = \sigma_1(6-e) \frac{2}{3}(6-e) + \sigma_1 12(7-e) + (\sigma_{max} - \sigma_1) 6 \left(6-e + \frac{2}{3} 2\right) \quad (3.10)$$

$$P(7-e) = 50 \frac{1}{8-e} \frac{2}{3} [-e^3 + 36e^2 - 360e + 1104] \quad (3.11)$$

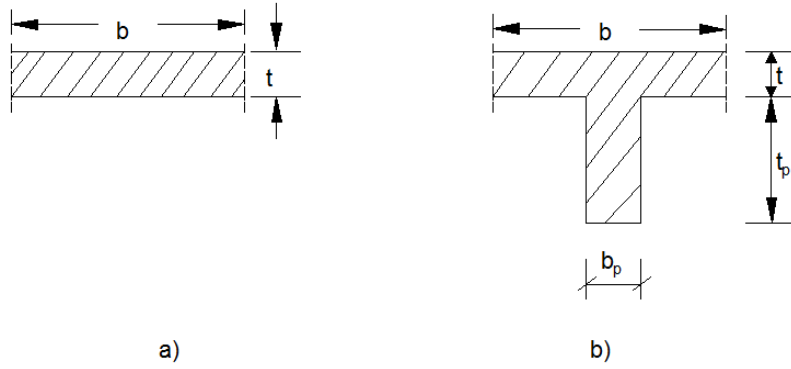
denklemini verir. (3.11) ve (3.9) denklemleri P kuvveti için oranlanarak;

$$\left. \begin{aligned} (7-e)(e^2 - 24e + 120)3 &= 2(-e^3 + 36e^2 - 360e + 1104) \\ e^3 - 21e^2 + 144e - 312 &= 0 \rightarrow e = 4.3871 \text{ m} \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

$$P = 469.93 \text{ kgf}$$

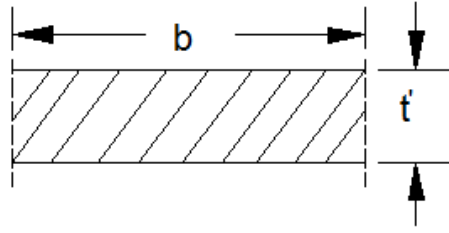
sonucu elde edilir. Görüldüğü gibi çekme almayan malzemeden oluşturulmuş tek bir T kesit için dahi hesap oldukça uzundur.

Yukarıda anlatılanlardan dolayı ve pratik olarak hesap yapabilmek amacıyla T kesitle hesap yapmak yerine atalet momenti (ikinci momenti) bu T kesitinkine eşit olacak bir dikdörtgen kesit dikkate almak oldukça uygun olacaktır. Şekil 3.5.a, b sırasıyla payandasız ve payandalı duvar kesitini, Şekil 3.6. ise payandalı duvar kesiti ile aynı atalet momentine sahip eşdeğer dikdörtgen duvar kesitini göstermektedir.



Şekil 3.5. a) Payandasız duvar kesiti, b) Payandalı duvar kesiti

Aynı I_x' e sahip dikdörtgen kesit:



Şekil 3.6. Atalet momenti payandalı duvar kesitinininkine eşit olan dikdörtgen kesit

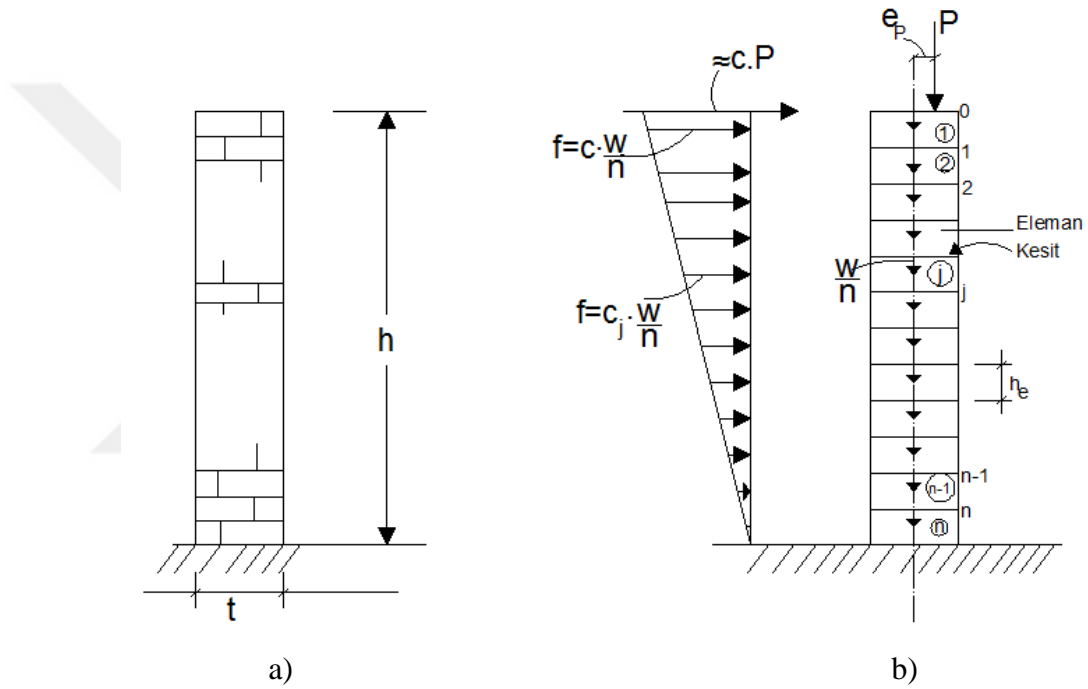
3.3. Hesap Yöntemi ve Duvarın Modellenmesi

Hesap yöntemi açıklanmaya başlamadan önce hemen belirtmelidir ki hesapta duvarın kayma dayanımı ihmal edilecek ve sadece eğilme dayanımı dikkate alınacaktır. Yüksek (narin) duvarlar inceleneceği için bu şekildeki bir hesabın geçerlilik düzeyi oldukça iyi olacaktır. Ancak orta yükseklikte ve özellikle bodur duvarlar söz konusu olduğunda kayma etkilerinin de hesapta önemli olacağı açıktır.

Bu çalışmada La Mendola ve Papia' nın (1993), yığma duvarların kendi ağırlıkları ve dış merkez düşey tepe yükü etkisi altında kararlılık problemlerini incelemek için geliştirdikleri sayısal hesap yöntemi kullanacaktır. La Mendola ve diğerleri (1995), belirtilen yöntemi yığma duvarların yatay deprem etkileri altında hesabı için de kullanmışlardır. Belirtmelidir ki söz konusu yöntemin hemen hemen

aynısı 1957 de Seames ve Conway tarafından elastik çubukların büyük yer değiştirme değerlerinin hesabı yapılırken kullanılmış olduğu literatürden görülmüştür (Frisch-Fay, 1962).

La Mendola ve Papia' nın (1993), yöntemi göz önüne alınan düşey taşıyıcı elemanın hesap için sonlu sayıda alt elemana bölünmesini (ayrıklaştırılmasına) esas alır. Geliştirdikleri hesap yöntemi ise aşağıda bu çalışmadaki probleme uyarlanarak açıklanacağı gibi bir ardışık yaklaşım yöntemidir.



Şekil 3.7. a) Sabit kesitli duvarın geometrisi, b) Duvarın hesap için elemanlara bölünmüş hali ve yükleme durumu

Şekil 3.7.a yüksekliği h ve kalınlığı t olan bir yığma duvarı, Şekil 3.7.b ise bu duvarın hesap için elemanlara bölünmüş halini ve yükleme durumunu göstermektedir. Şekil 3.7.b' den görüldüğü gibi duvar 0 dan n' e kadar numaralandırılmış $n+1$ tane kesit tarafından sınırlandırılmış, her biri eşit $h_e = h/n$ yükseklikli ve 1 den n' e kadar numaralandırılmış olan n tane elemana bölünmüştür.

W duvarın toplam ağırlığı olmak üzere W/n her bir elemanın ağırlığını, P duvar üst kesitine etkimesi muhtemel yükü (örneğin itkisini duvar üst kesitine düşey olarak

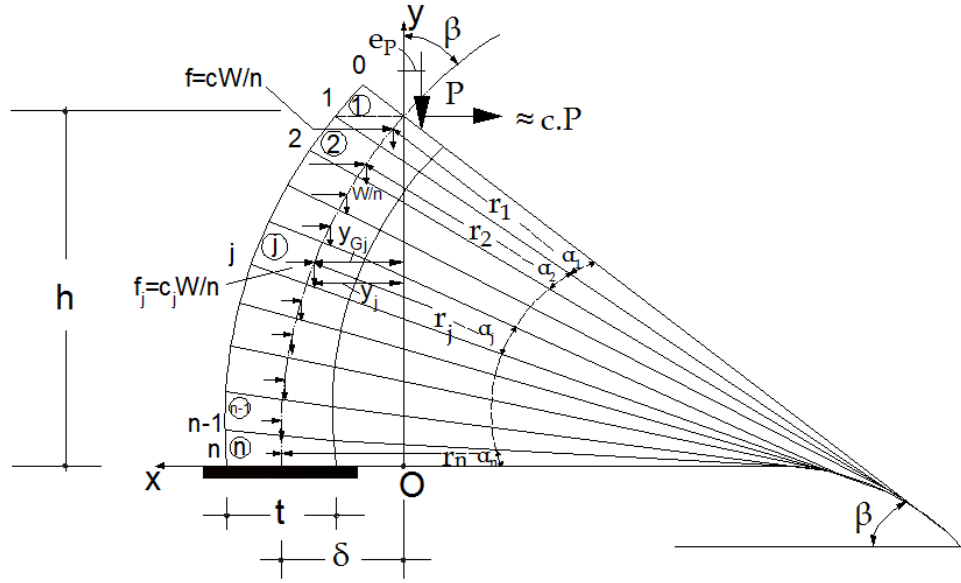
iletken bir tonozdan gelen yükü) ve e_p bu yükün dış merkezlik değerini göstermektedir. W/n ağırlıkları elemanların kütle merkezlerinden etkimektedir. Daha önce belirtilmiş olduğu gibi deprem etkisi Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi benimsenerek göz önüne alınacağından Şekil 3.7.b' den görüldüğü gibi deprem etkisi için ters üçgen şekilli bir yükleme söz konusu olacaktır. Bu yükleme

$$f_j = c_j \frac{W}{n} = c[(n - j + 1/2)/(n - 1/2)] \frac{W}{n} \quad (3.13)$$

fonksiyonu ile ifade edilebilir. Bu ifadedeki c deprem yüklemesinin büyüklüğünü ifade eden "deprem katsayısını" göstermektedir. Duvarın j . elemanı göz önüne alındığında bu elemana etkiyen W/n ve $c_j.W/n$ kuvvetlerinin elemanın kütle merkezine etkidiklerine dikkat edilmelidir. P kuvvetinden dolayı meydana gelen yatay deprem kuvveti iyi bir yaklaşıklıkla $c.P$ değerinde alınabilir, çünkü Şekil 3.7.b' den görüldüğü gibi bu kuvvetin düzeyi duvarın $c.W/n$ yatay deprem kuvveti etkisinde olan en üst elemanının (1. elemanının) kütle merkezine çok yakındır. Böylece yukarıda tanımlanmış olan yükleme, duvarın dayanabileceği en büyük yatay deprem yükü şiddetini ifade eden c_{enb} deprem katsayısının belirlenebilmesine olanak verecektir.

Duvarın dikkate alınmış olan yükleme etkisi altında genel bir şekil değiştirmiş biçimi Şekil 3.8. 'de gösterilmiştir. Bu şeklin bilinçli olarak abartılı çizilmiş olduğu belirtilmelidir.

Duvarın bu şekil değiştirmiş hali n adet çember yayının bir birleşimi olarak göz önüne alınmış olmaktadır. Bu sayede duvarın her bir elemanı içinde eğrilik değeri sabit olacaktır. Bir eleman için sabit alınacak bu eğrilik değeri o elemanın üst kesitindeki eğrilik değerine eşit olarak alınacaktır. Elemanların $\xi = h_o/t = h/n.t$ olarak tanımlanacak boyutsuz yükseklik değerleri (ayrıklaştırma parametresi) yeterince küçük olduğunda, yani n eleman sayısı yeterince çok olduğunda bu kabul yüksek bir doğruluk derecesine sahip olacaktır. Seçilmiş olan $O(x,y)$ eksen takımı duvar üst kesitinin geometrik merkezinden geçmektedir.



Şekil 3.8. Hesap için elemanlara bölünmüş haldeki duvarın dikkate alınan yükleme altında genel bir şekil değiştirmiş hali

Şekil 3.8. 'deki terimler kullanılarak duvarın şekil değiştirmiş halinde j . kesitin geometrik merkezinin koordinatı şu şekilde ifade edilebilir:

$$y_j = y_{j-1} + r_j \left[\cos \left(\beta - \sum_{i=1}^j \alpha_i \right) - \cos \left(\beta - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_i \right) \right] \quad (3.14)$$

$$(j=1,2,\dots,n)$$

Bu ifadede β duvar üst kesitinin dönme miktarını, r_j j . elemanın eğrilik yarıçapını ve $\alpha_j = h_e/r_j$ duvarın hesap modelinde j . elemanla ilişkili açığı göstermektedir. (3.14) ifadesinde kosinüs fonksiyonları Taylor serisine açılıp her birinde sadece ilk üç terim dikkate alındığında (3.14) bağıntısı boyutsuz biçimde (t değerine bölünmüş halde) aşağıdaki gibi olur:

$$\frac{y_j}{t} = \frac{y_{j-1}}{t} + \xi\beta + \frac{1}{2}\xi^2\phi_j t - \sum_{i=1}^j \xi^2\phi_i t \quad (3.15)$$

Burada $\phi_i = 1/r_i$ i . elemanın eğrilik değerini göstermektedir.

Şekil 3.8. 'e göre $y_0 = 0$ olduğundan ve ζ ($\zeta = h_e/t = h/n.t$) seçilecek bir değer olduğu için duvarın β üst kesit dönme miktarı ile uyumlu şekil değiştirmiş hali (3.15) bağıntısının $j = 1$ indisinden başlanarak tekrarlı (yinelemeli) olarak kullanımı ile elde edilir. Ancak bu, duvarın şekil değişimini gösteren boy kesitinde (Şekil 3.8.) elemanların eğrilik değerleri de biliniyorsa yapılabilir.

3.3.1.j. Kesitteki dış merkezlik değeri

Duvarın j . kesitindeki tesirleri ifade etmeden önce şu hususu vurgulamakta yarar vardır. Duvar üst kesitine etkileyen dışmerkez P kuvvetinin duvarın kendi ağırlığı olan W 'nin bir katı olarak dikkate alınması mümkündür. Aşağıdaki bağıntılarda, k bir katsayı olmak üzere $P = k.W$ olarak alınacaktır. Şekil 3.8. 'de görülen duvar şekil değiştirmiş hali dikkate alınarak j . kesitteki basınç kuvveti ve eğilme momenti şu şekilde ifade edilebilir:

$$N_j = P + j \frac{W}{n} = kW + j \frac{W}{n} = W \left(k + \frac{j}{n} \right) \quad (3.16)$$

$$M_j = kW(e_p + y_j) + \frac{W}{n} \sum_{i=1}^j [y_j - y_{Gi}] + cj \frac{h}{n} kW \\ + c \frac{hW}{n} \frac{1}{\left(n - \frac{1}{2}\right)} \sum_{i=1}^j \left(n - i + \frac{1}{2}\right) \left(j - i + \frac{1}{2}\right) \quad (3.17)$$

Bu ifadede y_{Gi} i . elemanın ağırlık merkezinin koordinatıdır. j . eleman için (Şekil 3.8.) bu büyüklüğün ifadesi (3.14) ifadesindekiye tamamen benzer bir yol izlenerek aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{y_{Gj}}{t} = \frac{y_{j-1}}{t} + \frac{1}{2} \xi \beta + \frac{3}{8} \xi^2 \phi_j t - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^j \xi^2 \phi_i t \quad (3.18)$$

Boyutsuz dış merkezliğin j . kesitteki değeri (3.17) ve (3.16) ifadelerinin sağ taraflarının oranı ile aşağıdaki gibi elde edilmiş olur:

$$\begin{aligned} \frac{e_j}{t} = & \frac{y_j}{t} + \frac{k}{k + \frac{j}{n}} \frac{e_p}{t} - \frac{1}{n \left(k + \frac{j}{n}\right)} \sum_{i=1}^j \frac{y_{Gi}}{t} + \frac{kc\xi j}{\left(k + \frac{j}{n}\right)} \\ & + \frac{c\xi}{n \left(k + \frac{j}{n}\right) \left(n - \frac{1}{2}\right)} \sum_{i=1}^j \left(n - j + \frac{1}{2}\right) \left(j - i + \frac{1}{2}\right) \end{aligned} \quad (3.19)$$

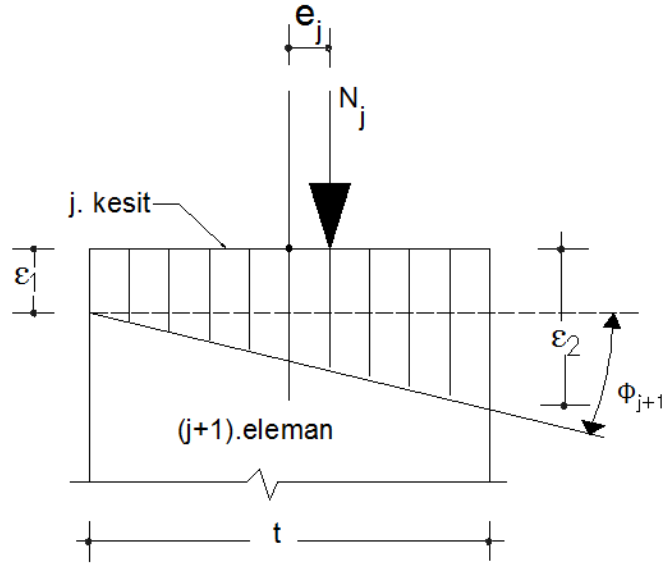
Üst kesit için ($j = 0$) bu son ifade $e_0/t = e_p/t$ olur ki, e_p/t değeri atanacak bir değerdir (Şekil 3.8.).

3.3.2.j. elemanın eğrilik değeri

Yığma yapı malzemeleri (taş, tuğla ve kerpiç gibi), beton hariç öteki inşaat mühendisliği malzemelerinden oldukça düşük olan çekme dayanımları ile ayrılır.

Dolayısıyla yığma yapı malzemeleri için bir "çekme gerilmesi taşımayan malzeme (no-tension material)" kabulü yapılabilir. Bu durumda incelenen duvardaki bir elemanın eğriliği onun üst kesitinin çatlamamış veya kısmen çatlamış olması durumuna bağlıdır. Çünkü bilindiği gibi çekme dayanımı olmayan bir malzemeden oluşturulmuş duvar, kolon ya da baca gibi bir elemanda herhangi bir kesite etkiyen basınç kuvveti o kesitin çekirdek bölgesi içinde ise kesit çatlaksız durumda, aksi halde ise kesit kısmen çatlamış olacaktır. Buna göre genel olarak, (3.19) ifadesindeki boyutsuz dış merkezlik ifadesiyle ilişkili olarak iki farklı moment-eğrilik bağıntısı dikkate alınmalıdır.

$b.t$ boyutlarındaki bir dikdörtgen bir kesitte çekirdek bölgesinin yarı köşegen uzunlukları $b/6$, $t/6$ olan eşkenar dörtgen olduğu bilinmektedir.

Şekil 3.9. Çatlamamış bir j . kesitte şekil değiştirmeler ve eğrilik

$e_j/t \leq 1/6$ olması durumunda (Şekil 3.9.) $(j+1)$. eleman için boyutsuz eğrilik değeri

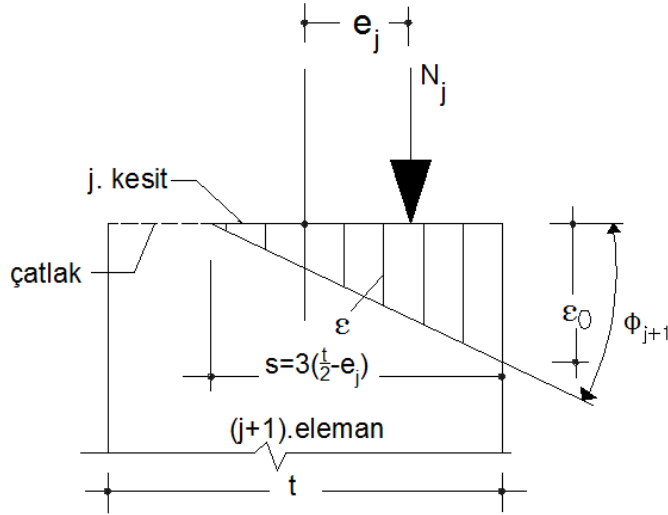
$$\phi_{j+1}t = \frac{N_j e_j}{EI} t \quad (3.20)$$

olarak elde edilir.

Bu ifadede E malzemenin basınç altındaki elastisite modülü ve I kesitin eğilme eksenine göre atalet momentidir. Atalet momentinin değeri $bt^3/12$ olarak yerine yazıldığında ve $A = b.t$ olduğu dikkate alınarak (3.20) ifadesi

$$\phi_{j+1}t = \frac{N_j}{EA} \frac{12e_j}{t} \quad (3.21)$$

haline gelmiş olur.



Şekil 3.10. Kısmen çatlak bir j .kesitte şekil değiştirmeler ve eğrilik

Boyutsuz dış merkezlik değerinin $1/6$ dan büyük olması durumunda ise ($e_j/t > 1/6$) Şekil 3.10. 'da görüldüğü gibi kısmen çatlamış olacaktır.

Bu durumda eğrilik değeri

$$\phi_{j+1} = \frac{\varepsilon_0}{s} = \frac{\varepsilon_0}{3\left(\frac{t}{2} - e_j\right)} = \frac{\sigma_0/E}{3\left(\frac{t}{2} - e_j\right)} \quad (3.22)$$

olarak yazılabilir. Burada σ_0 kesitteki en büyük basınç gerilmesidir ve bu gerilme değeri

$$\sigma_0 = \frac{2N_j}{3A\left(\frac{1}{2} - \frac{e_j}{t}\right)} \quad (3.23)$$

olarak kolayca elde edilir. σ_0 bu ifadesi (3.22) ye yazılarak üst kesiti kısmen çatlamış bir $(j+1)$. eleman için boyutsuz eğrilik ifadesi

$$\phi_{j+1}t = \frac{N_j}{EA} \frac{2}{9\left(\frac{1}{2} - \frac{e_j}{t}\right)^2} \quad (3.24)$$

olarak elde edilmiş olur.

(3.21) ve (3.24) boyutsuz eğrilik ifadeleri tek bir ifade olarak şu şekilde yazılabilir:

$$\phi_{j+1}t = \frac{N_j \lambda_j}{EA} \quad (3.25)$$

Burada λ_j 'nin

$$\lambda_j = \begin{cases} \frac{12e_j}{t} & 0 \leq \frac{e_j}{t} \leq \frac{1}{6} \\ \frac{2}{9\left(\frac{1}{2} - \frac{e_j}{t}\right)^2} & \frac{1}{6} \leq \frac{e_j}{t} < \frac{1}{2} \end{cases} \quad (j=0,1,\dots,n-1) \quad (3.26)$$

olduğu açıktır.

N_j nin (3.16) daki ifadesi (3.25) bağıntısına yazılıp gerekli düzenlemeler yapıldığında ($j+1$). elemanın boyutsuz eğriliği aşağıdaki biçimde ifade edilmiş olur.

$$\phi_{j+1}t = \frac{\gamma t}{E} \xi(nk + j) \lambda_j \quad (j = 0,1,\dots,n-1) \quad (3.27)$$

Bu ifadede $\gamma = W/bth$ duvarın birim hacminin ağırlığını göstermektedir. $\gamma t/E$ 'ye ρ gibi toplu bir ad verilebilir.

3.3.3. Çözüm işlemi

Altta ankastre, üstte serbest durumda olan bir yığma duvar için P/W , e_p/t ve $\gamma t/E$ 'nin (3.27 denklemi) atanacak değerlerine karşı gelen deprem katsayısına karşı üst kesitin yer değiştirmesi eğrisi ($c-\delta$) ve en büyük deprem katsayısı (3.19), (3.26), (3.27), (3.15) ve (3.18) denklemleri sırayla kullanarak elde edilebilir.

Bu amaç için duvar hesap maksadıyla yeterli sayıda elemana (n) bölünür ve böylece ξ ayırıklaştırma parametresi belli olmuş olur. Yapılan hesaplar bu parametre için 0.25 veya daha küçük (0.20 ve 0.15 gibi) değerlerin uygun olduğunu göstermiştir. Daha büyük değerlerde yanılıcı ve hatta yanlış değerler elde edilebilmektedir. Deprem katsayısı c' nin küçük bir başlangıç değeri ile ve üst kesit dönmesi β ya ilk bir tahmini değer atayıp hesaba başlanması, (3.19) ve ardından (3.26) ve (3.27) denklemlerinin $j = 0$ için kullanılmasıyla

$$\phi_{1t} = 12 \frac{\gamma t}{E} \xi n k \frac{e_p}{t} \quad (3.28)$$

olarak elde edilir. Dolayısıyla (3.15) ifadesi 1. kesitin boyutsuz yer değiştirme değerini aşağıdaki gibi vermiş olur

$$\frac{y_1}{t} = \xi \beta - 6 \frac{\gamma t}{E} \xi^3 n k \frac{e_p}{t} \quad (3.29)$$

Daha sonra yukarıda bahsedilmiş olan denklemlerin aynı sırayla, ancak $j = 1$ için kullanılmasıyla y_2/t belirlenir, ve hesaba bu şekilde devam edilir. (La Mendola ve diğ., 1995).

(3.27) ifadesindeki j indisi $n-1$ değerine ulaştığında, altta ankastre kabul edilmiş olan duvar tabanında dönmenin sıfır olmasını ifade eden aşağıdaki yakınsaklık ölçütü kontrol edilir:

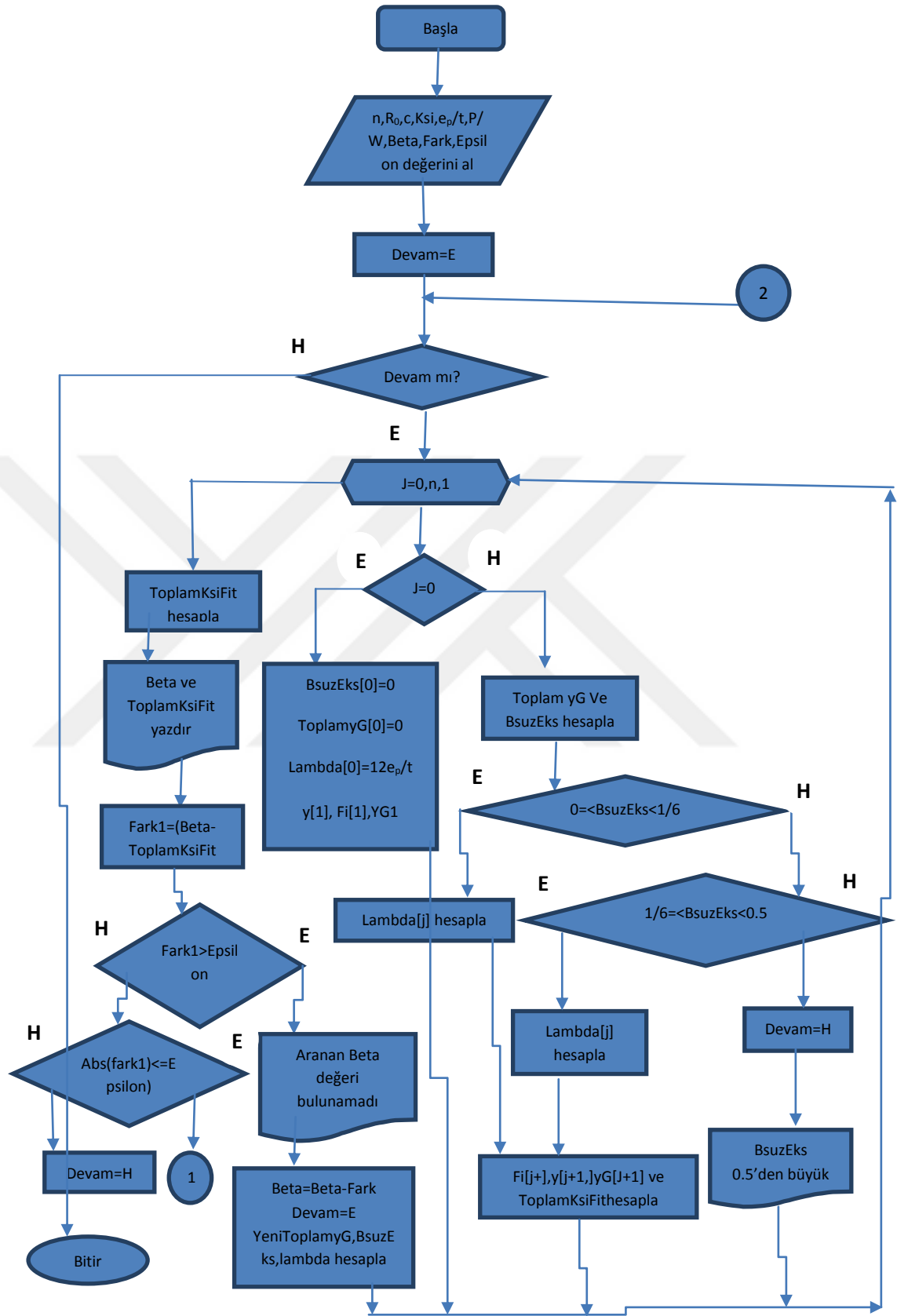
$$\beta = \sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{i=1}^n \xi \phi_i t \quad (3.30)$$

$\beta - \sum_{i=1}^n \xi \phi_i t > 0$ olması halinde başta seçilmiş olan β değeri biraz küçültülerek, aksi durumda ise biraz büyütülerek kriterin sağlanıp sağlanmadığı tekrar kontrol edilir. $\beta - \sum_{i=1}^n \xi \phi_i t$ farkının seçilecek makul derecede küçük bir değer altına inmesi durumunda işlem bitirilir. Bu çalışmada yapılan hesaplarda 0.00005 gibi oldukça küçük bir tolerans değeri kullanılmıştır. Böylece başta atanmış olan c deprem

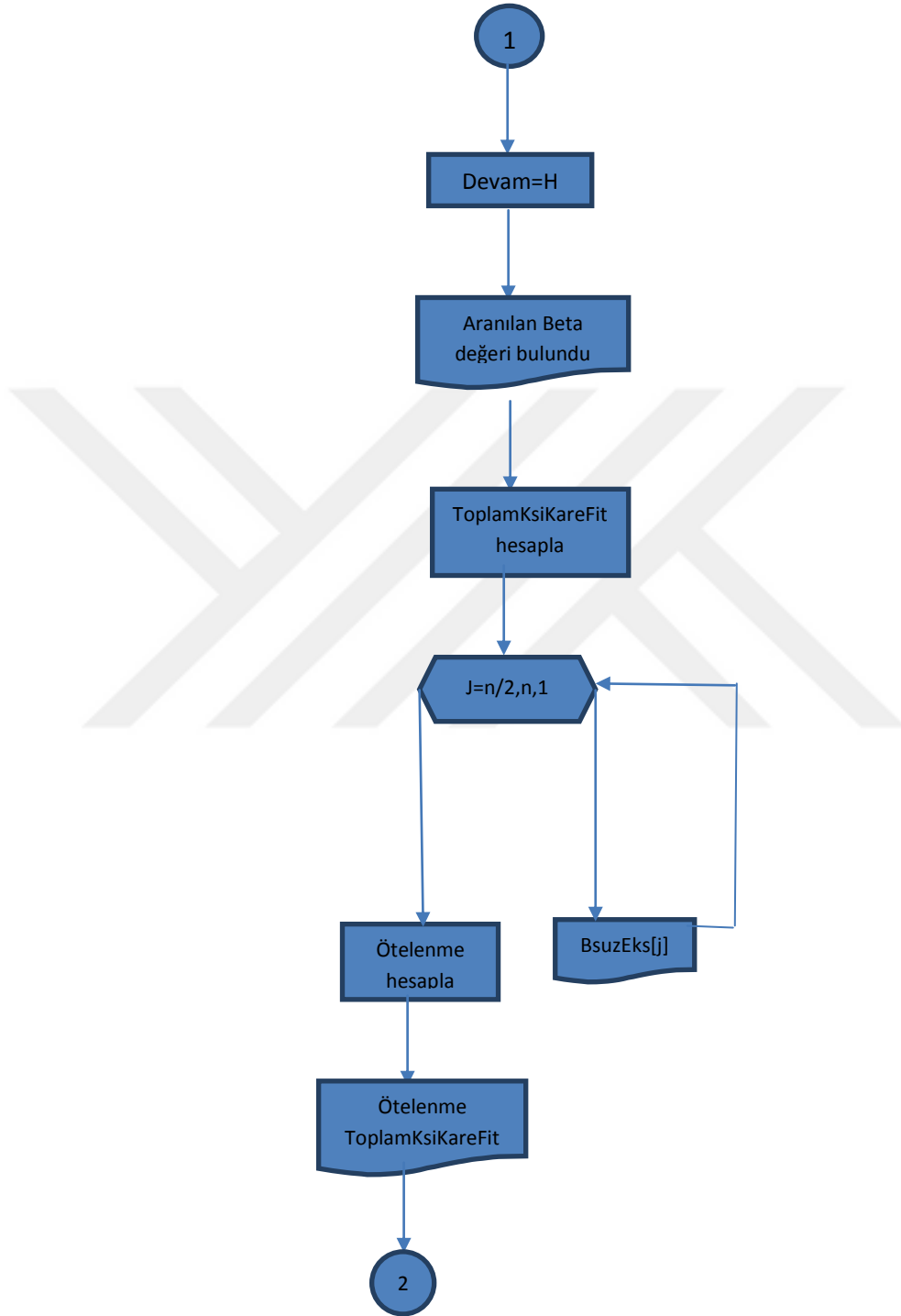
katsayısına karşılık gelen gerçek β üst kesit dönme değeri belirlenince (3.15) denklemiyle $y_n = \delta$ değeri doğrudan belirlenmiş olur.

Hesabı c deprem katsayısında ve β üst kesit dönme değerinde küçük artımlar yapıp tekrarlamak suretiyle duvar için deprem katsayısına karşı yatay yer değiştirme eğrisi (c - δ eğrisi) çizilebilir ve dolayısıyla duvarın dayanabileceği en büyük yatay deprem yükünü temsil eden c_{enb} katsayısı belirlenmiş olur. Sınır duruma (c_{enb} değerine ulaşıldığı durum) duvar taban kesitinde boyutsuz dışmerkezlilik 0.5 olduğunda veya aşırı yatay yer değiştirmeler sonucu duvarın kararlılığını yitirmesiyle ulaşılır.

Bu tez çalışmasının ana amacı payandalı ve payandasız yığma duvarların yatay deprem direncini belirlemek olduğundan, yukarıda anlatılmış olan *kuvvet esaslı* hesap şekli benimsenmiştir. Hesapları yapabilmek için C++ programlama dilinde bir bilgisayar programı yazılmıştır. C++ programlama dili dünyada en yaygın kullanılan genel amaçlı bir programlama dili olup, nesne yönelimli programlamaya olanak sağlamaktadır. Bu programa ait akış diyagramı Şekil 3.11. 'de verilmiştir.



Şekil 3.11. C++ programının genel akış diyagramı



Şekil 3.11. (Devam) C++ programının genel akış diyagramı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Bazı Duvarlar Üzerinde Yöntemin Uygulamaları

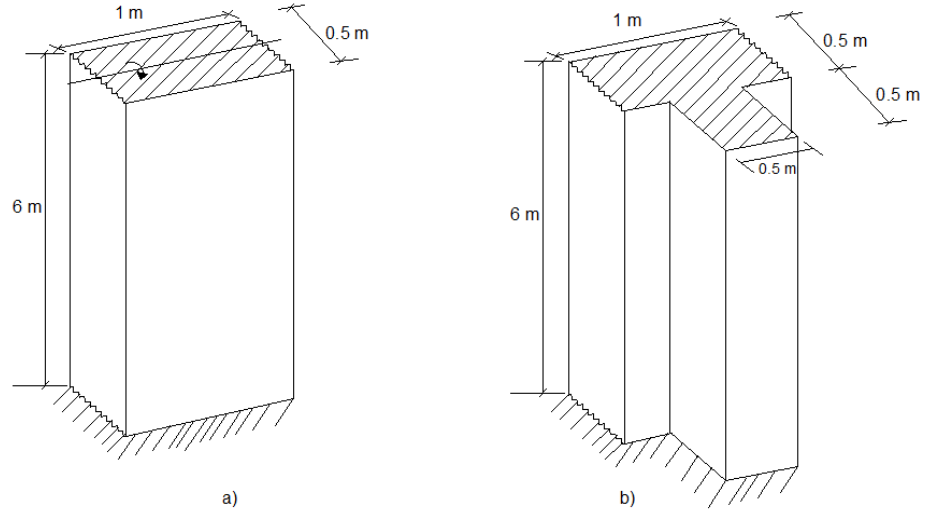
Bu bölümde bir önceki bölümde anlatılmış olan hesaplama yöntemi ile ilk olarak bir yığma duvarın payandalı ve payandasız olması durumlarında dayanabileceği en büyük yatay deprem yükünü temsil eden c_{enb} katsayısı belirlenecektir. İkinci örnek olarak Süleymaniye Camisinin kible duvarı göz önüne alınacaktır.

Uygulama 1: Bu uygulamada ele alınan payandasız yığma duvar Şekil 4.1.(a) 'da görüldüğü gibi 1 m boy, 0.5 m kalınlık ve 6 m yüksekliğe sahiptir.

Payandasız yığma duvar için birim hacim ağırlığı olarak $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ seçildiğinde duvarın toplam ağırlığı $W = 60 \text{ kN}$ olarak elde edilmektedir. Duvarın üst kesitine herhangi bir düşey yükün etkimeydiği varsayılmıştır. Hesaplamalarda duvar ideal olarak 60 sonlu elemana bölünmüştür ve elastisite modülü $E = 5.10^6 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır.

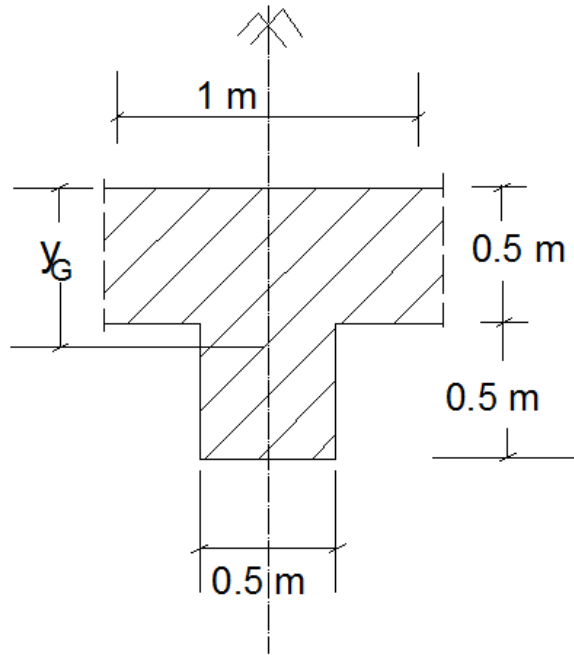
Payandalı yığma duvar ise Şekil 4.1.(b) 'de görüldüğü gibi 1 m boy, 0.5 m kalınlık, 6 m yüksekliğe, payanda ise 0.5 m genişliğe ve 0.5 m kalınlığa sahiptir.

Payandalı yığma duvar için hesaba başlamadan önce Şekil 4.2. 'de görülen payandalı yığma duvar kesiti, aynı atalet momentine sahip bir dikdörtgen kesite dönüştürülmüştür (Şekil 4.3.). Bu işlem sonucunda hesaplar eşdeğer dikdörtgen kesitli yığma duvar göz önüne alınarak yapılacaktır.



Şekil 4.1. a-) Payandasız yığma duvar

b-) Payandalı yığma duvar

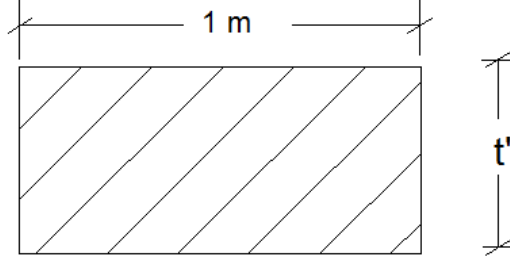


Şekil 4.2. Payandalı yığma duvar kesiti

$$y_G = \frac{1 \times 0.5 \times 0.25 + 0.5^2 \times 0.75}{1 \times 0.5 + 0.5^2} \quad (4.1)$$

$$y_G = \frac{0.3125}{0.75} = 0.4166 \text{ m} \quad (4.2)$$

$$I_{pl} = \left[\frac{1 \times 0.5^3}{12} + 1 \times 0.5 \times (0.4166 - 0.25)^2 \right] + \frac{0.5 \times 0.5^3}{12} + 0.5^2 \times (0.75 - 0.4166)^2 \quad (4.3)$$



Şekil 4.3. Atalet momenti payandalı duvar kesitine eşit olan dikdörtgen kesit

$$I_{pl} = 0.05729167 \text{ m}^4 \quad (4.4)$$

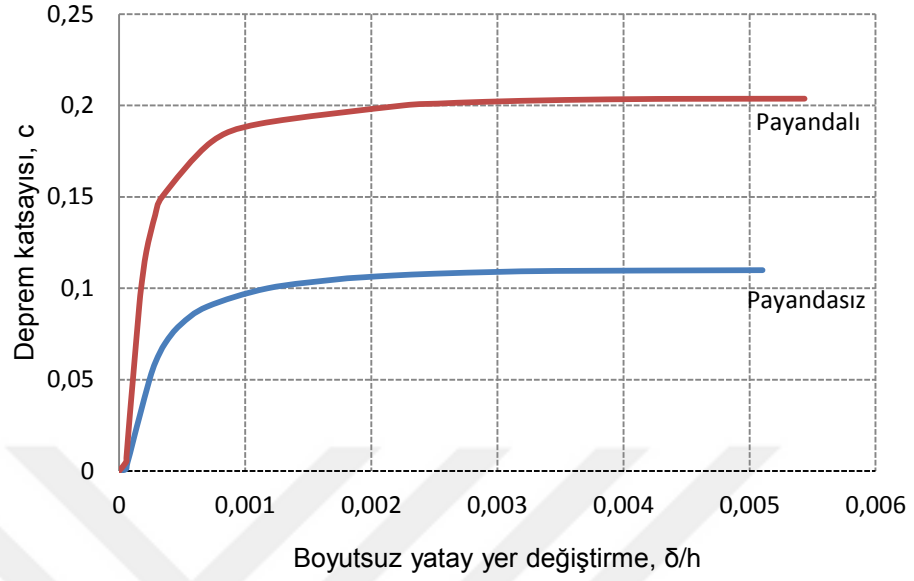
$$I'_{pl} = \frac{1 \times (t')^3}{12} = 0.05729167 \text{ m}^4 \quad (4.5)$$

$$t' \cong 0.8825871 \text{ m} \cong 0.883 \text{ m} \quad (4.6)$$

Eşdeğer dikdörtgen kesitli yığma duvar için birim hacim ağırlığı olarak $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ seçildiğinde duvarın toplam ağırlığı $W = 105.96 \text{ kN}$ olarak elde edilmektedir. Duvarın üst kesitine herhangi bir düşey yükün etkilediği varsayılmıştır. Hesaplamalarda eşdeğer dikdörtgen kesitli yığma duvar ideal olarak 34 sonlu elemana bölünmüştür ve elastisite modülü $E = 5.10^6 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır.

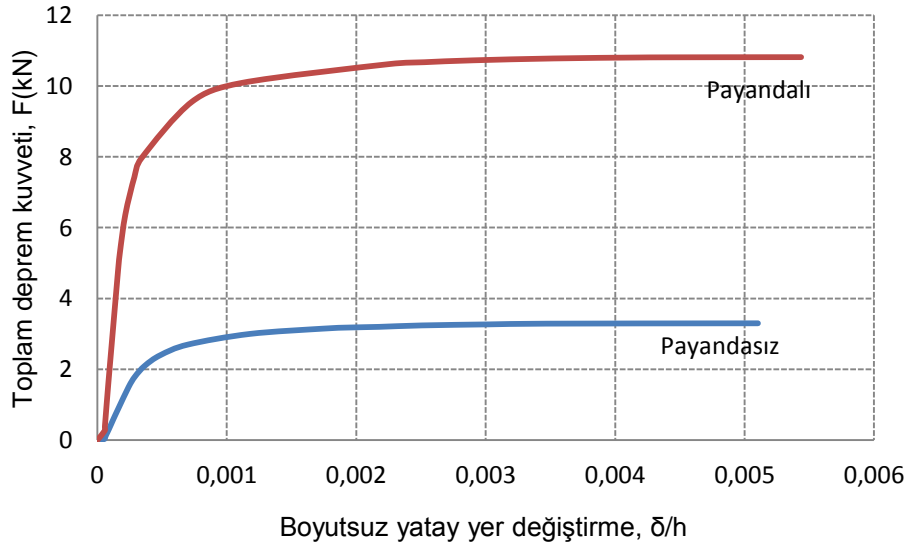
Belirtilen bu değerler doğrultusunda yapılan hesaplama sonucunda payandasız ve payandalı duvarlar için Şekil 4.4. de gösterilen deprem katsayısı-yatay yer değiştirme ($c-\delta$) eğrileri elde edilmiştir. Bu grafiğe göre payandasız duvar için en büyük deprem katsayısı 0.110, buna karşılık gelen yer değiştirme 30.62 mm, payandalı duvar için en büyük deprem katsayısı 0.204, buna karşılık gelen yer değiştirme 32.62 mm olarak hesaplanmıştır. Buna göre payandalı duvarın düzlemine

dik deprem dayanımının payandasız duvara göre yaklaşık % 85 daha yüksek olduğu görülmektedir.



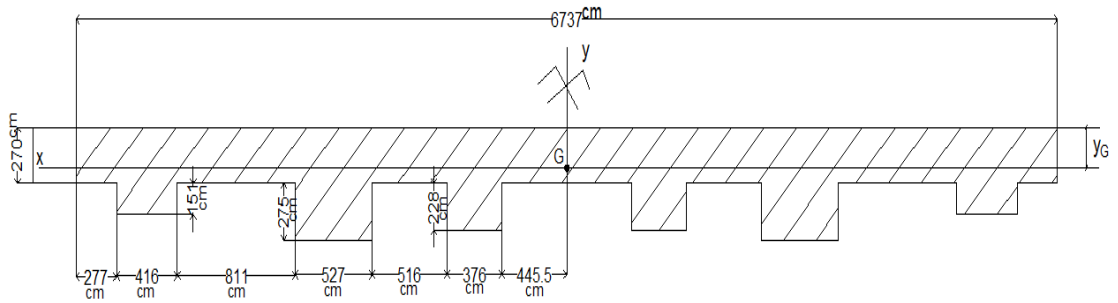
Şekil 4.4. Payandasız ve payandalı yığma duvarların deprem katsayısı-yatay yer değiştirme eğrileri

Örnek yığma duvarlar için toplam deprem kuvveti-yatay yer değiştirme (F- δ) eğrileri ise Şekil 4.5.'de gösterildiği gibidir.

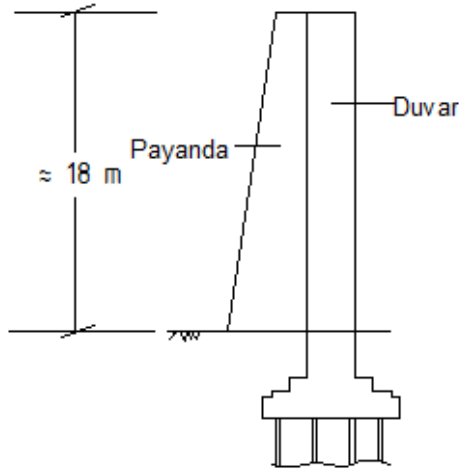


Şekil 4.5. Payandasız ve payandalı yığma duvarının toplam deprem kuvveti-yer değiştirme eğrileri

Uygulama 2: Bu örnekte ele alınacak Süleymaniye camisinin payandalı olan kible duvarının (Şekil 1a) planı Şekil 4.6., boy kesiti ise Şekil 4.7. 'deki gibidir. Duvarın kalınlığı yükseklik boyunca sabit, payandaların kesiti ise aşağıdan yukarıya doğru %5 eğimle azalmaktadır. Şekil 4.6. 'daki boyutlar zemin seviyesindeki boyutlardır. Payanda kesitlerinin değişimi çok küçük olduğundan, yapılacak hesapta doğrudan zemin seviyesindeki boyutlar alınarak, payandalar sabit kesitli kabul edilmiştir.



Şekil 4.6. Süleymaniye camisinin payandalı olan kible duvarının planı (zemin seviyesi)



Şekil 4.7. Süleymaniye camisinin payandalı olan kible duvarının boy kesiti (Arıoğlu ve Anadol, 1973)

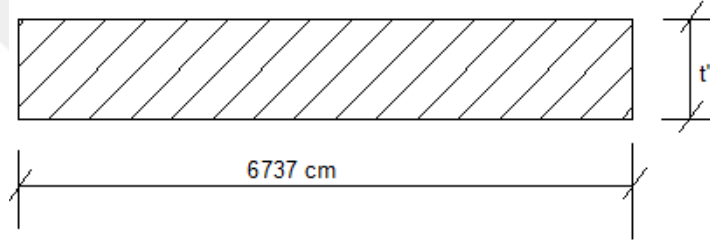
Duvar kesitinin (Şekil 4.6.) y_G ve I_x değerlerinin hesabı:

$$y_G = \frac{(270 \times 6737 \times 135) + (151 \times 416 \times 345.5 + 275 \times 527 \times 407.5 + 228 \times 376 \times 384) \times 2}{270 \times 6737 + 2 \times (151 \times 416 + 275 \times 527 + 228 \times 376)}$$

$$y_G = 196.57 \text{ cm} \quad (4.7)$$

$$I_x = \left[\frac{6737 \times 270^3}{12} + 6737 \times 270 \times (196.57 - 135)^2 \right] + 2 \times \left[\frac{416 \times 151^3}{12} + 416 \times 151 \times \left(\frac{151}{2} + 73.43 \right)^2 + \frac{527 \times 275^3}{12} + 527 \times 275 \times \left(\frac{275}{2} + 73.45 \right)^2 + \frac{376 \times 228^3}{12} + 376 \times 228 \times \left(\frac{228}{2} + 73.43 \right)^2 \right] = 4.25 \times 10^{10} \text{ cm}^4 = 425 \text{ m}^4 \quad (4.8)$$

Atalet momenti yukarıda hesaplanan değere eşit olacak eşdeğer dikdörtgen duvarın t' kalınlık değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur (Şekil 4.8.).



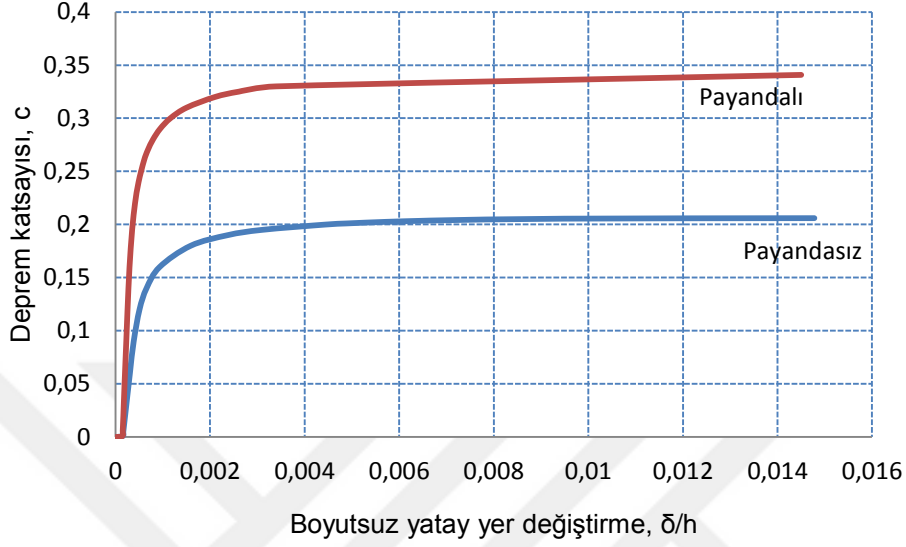
Şekil 4.8. Süleymaniye Camisinin kible duvarı ile eşit atalet momentine sahip olan duvarın kesiti

$$I_x' = \frac{67,37(t')^3}{12} = 425 \text{ m}^4 \rightarrow t' = 4.23 \text{ m} \quad (4.9)$$

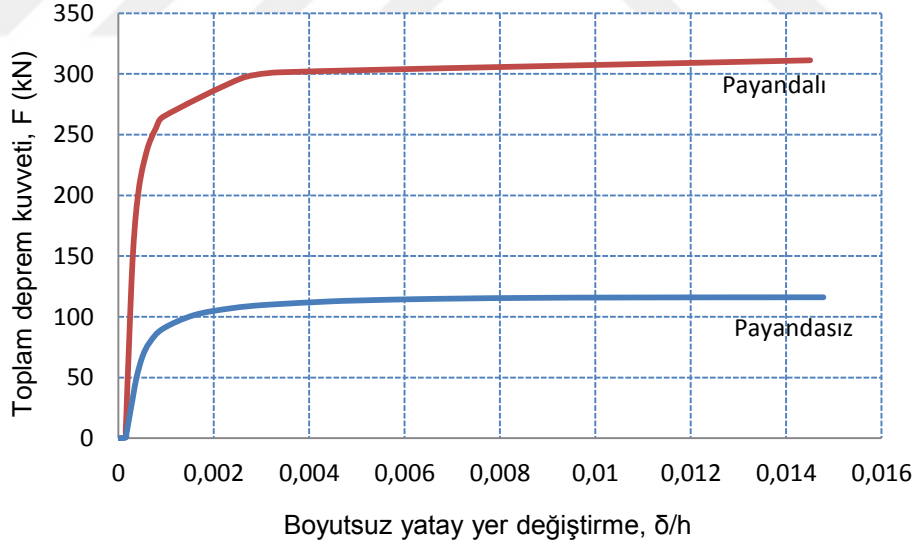
Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen deprem katsayı-yatay yer değiştirme eğrisi ve toplam deprem kuvveti-yatay yer değiştirme eğrisi sırasıyla Şekil 4.9. ve Şekil 4.10. 'da gösterilmiştir. Bu şekillerde caminin duvarı yalın, yani payandasız olsaydı söz konusu olacak eğriler de gösterilmiştir. Bu eğrilere göre payandasız duvar için en büyük deprem katsayısı 0.206, buna karşılık gelen yer değiştirme 92.13 mm, payandalı duvar için en büyük deprem katsayısı 0.321 mm buna karşılık gelen yer değiştirme 87.01 mm olarak hesaplanmıştır.

Şekillerden görüldüğü gibi payandaların mevcudiyeti yığma duvarların düzlemlerine dik deprem dayanımlarını çok belirgin şekilde arttırmaktadır.

Ele alınmış olan bu örnek Mimar Sinan'ın inşa etmiş olduğu yapılarda estetik yanında emniyete de ne kadar önem verdiğini bir kez daha açıkça göstermiş olmaktadır.



Şekil 4.9. Süleymaniye Camisinin kible duvarının deprem katsayısı-yatay yer değiştirme eğrileri



Şekil 4.10. Süleymaniye Camisinin kible duvarının toplam deprem kuvveti-yatay yer değiştirme eğrileri

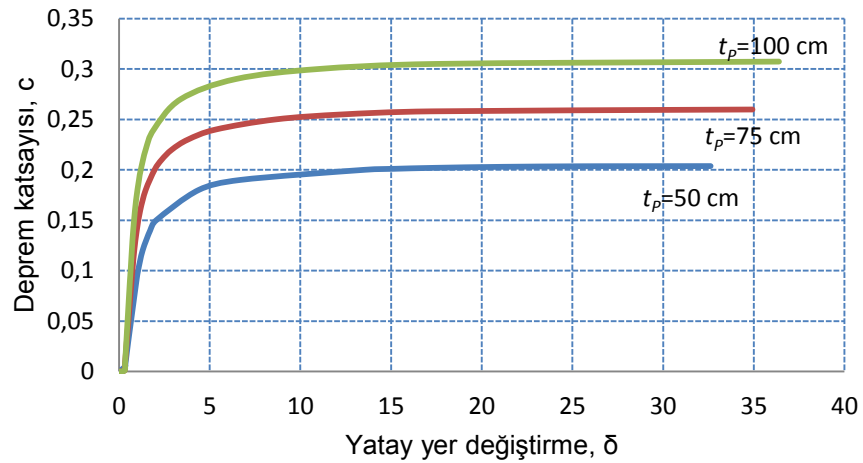
4.2. Parametrik İncelemeler

Bu bölümde yükleme, geometri, fiziksel ve mekanik özelliklere ait bazı parametrelerin payandalı yığma duvar üzerinde etkileri incelenecektir. İncelenen parametreler sırasıyla payandanın duvar düzlemine dik ve duvar düzlemine paralel boyutu, duvar malzemesinin elastisite modülü, düşey yükün dış merkezlik değeri ve üst kısma etki eden düşey yükün duvar ağırlığına oranıdır.

4.2.1. Payandanın duvar düzlemine dik boyutunun etkisi

Bu parametrik incelemede Uygulama 1' de ele alınmış olan örnek payandalı yığma duvarda payandanın duvar düzlemine dik boyutu değiştirilerek elde edilen duvarlar için en büyük deprem katsayıları hesaplanmıştır.

Şekil 4.11. 'de farklı $t_p = 50, 75, 100 \text{ cm}$ duvar düzlemine dik boyutları olan, sabit $b = 100 \text{ cm}$, $e_p/t = 0$, $E = 5.10^6 \text{ kN/m}^2$ $P = 0$ değerlerine sahip üç payandalı yığma duvar için elde edilen deprem katsayısı-yatay yer değiştirme ($c-\delta$) eğrileri gösterilmektedir. Bu şekilden açıkça görülmektedir ki en büyük deprem katsayısı ve en büyük yatay yer değiştirme payandanın duvar düzlemine dik boyutunun büyümesiyle artmaktadır.

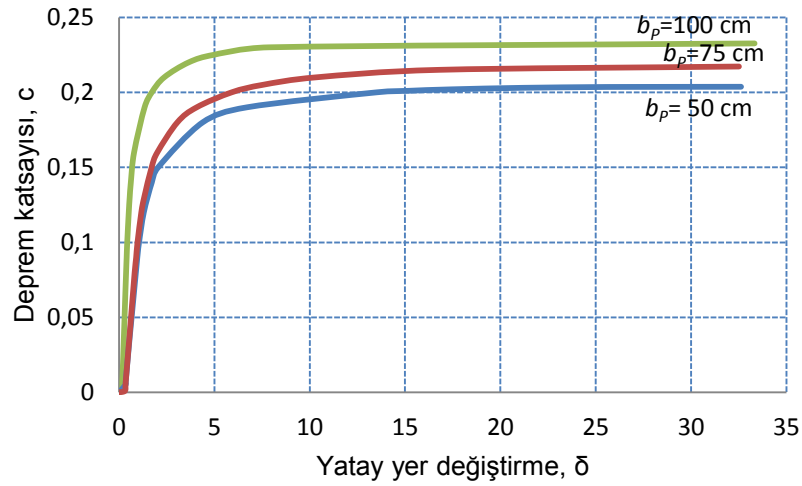


Şekil 4.11. Payandanın duvar düzlemine dik üç farklı boyutu (t_p) için yığma duvarın deprem katsayısı-yatay yer değiştirme eğrileri

4.2.2. Payandanın duvar düzlemine paralel boyutunun etkisi

Payandanın duvar düzlemine paralel boyutun etkisi $b_p = 50, 75, 100 \text{ cm}$ değerleri için incelenmiştir. Değişen bu boyutlara karşılık $t = 50 \text{ cm}$, $e_p/t = 0$, $E = 5.10^6 \text{ kN/m}^2$, $P = 0$ değerleri sabit tutulmuştur. Bu üç farklı değere sahip payandalı yığma duvar için Şekil 4.12.' de deprem katsayısına karşı yatay yer değiştirme ($c-\delta$) eğrileri gösterilmiştir. Eğrilere de görüldüğü üzere en büyük deprem katsayısı payandanın duvar düzlemine paralel boyutunun büyümesiyle artmaktadır. Öte yandan maksimum yatay yer değiştirme paralel boyutun artmasıyla çok küçük bir artış göstermektedir.

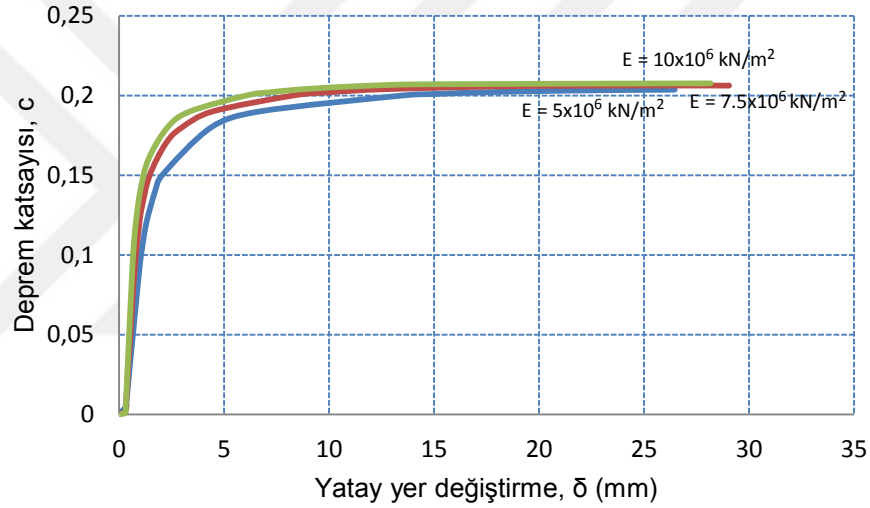
Şekil 4.11. ve Şekil 4.12. karşılaştırıldığında, beklendiği gibi payandanın duvar düzlemine dik boyutunun (t_p) duvarın düzlemine dik deprem dayanımı üzerinde duvar düzlemine paralel boyutuna (b_p) göre çok daha etkili olduğu görülmektedir. Bunun, duvar toplam atalet momenti üzerinde payandanın duvar düzlemine dik boyutunun küpü ile atalet momentine katkısından kaynaklandığı açıktır.



Şekil 4.12. Payandanın duvar düzlemine paralel üç farklı boyutu (b_p) için payandalı yığma duvarın deprem katsayısı-yatay yer değiştirme eğrileri

4.2.3. Duvar malzemesinin elastisite modülünün (E) etkisi

$t = 50 \text{ cm}$, $b = 100 \text{ cm}$, $e_p/t = 0$, $P = 0$ değerlerinin sabit kalması koşuluyla payandalı yığma duvar için 3 farklı elastisite modülü değeri göz önüne alınmıştır. Bu şekilde sistemin malzemesinin maksimum deprem katsayısı c_{enb} ' e etkisi incelenmiştir. Şekil 4.13. üç farklı elastisite modülü değeri için payandalı yığma duvara ait deprem katsayısı-yatay yer değiştirme ($c-\delta$) eğrilerini göstermektedir. Eğrilere bakıldığında elastisite modülünün artışının en büyük deprem katsayısını olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Ancak belirtmek gerekir ki, bu etki beklendiğinden daha düşük çıkmıştır.



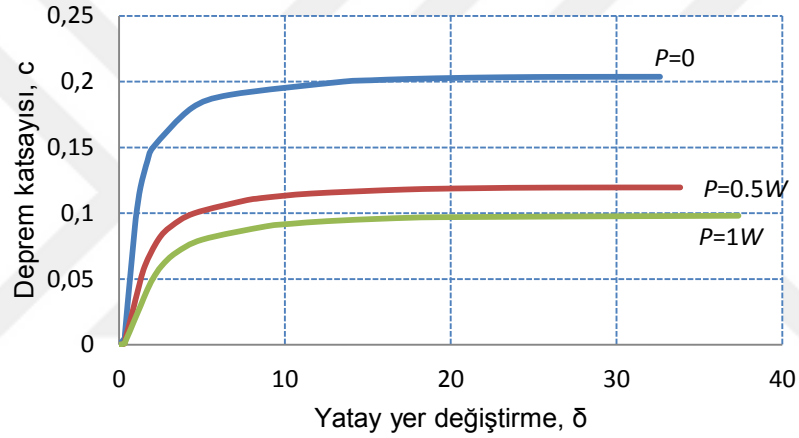
Şekil 4.13. Farklı elastisite modülleri için örnek duvarın deprem katsayısı-yatay yer değiştirme eğrileri

4.2.4. Düşey yükün etkisi

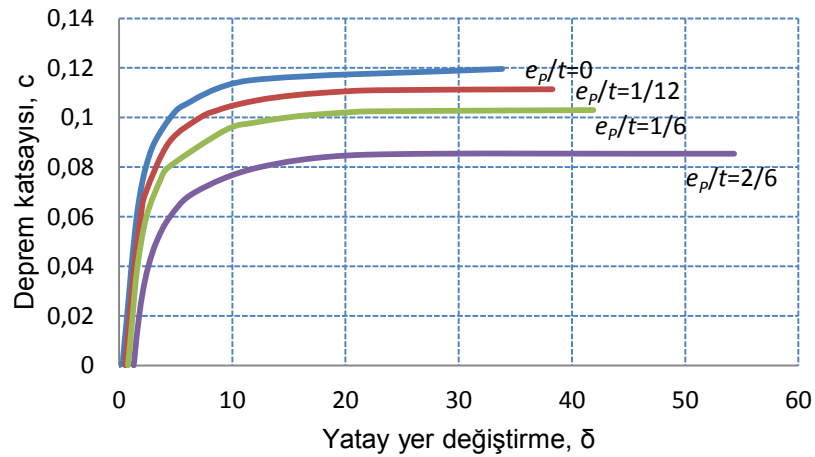
Şekil 4.14. $t = 50 \text{ cm}$, $b = 100 \text{ cm}$, $e_p/t = 0$, $E = 5.10^6 \text{ kN/m}^2$ olan bir dikdörtgen payandalı yığma duvarın düşey yük/ ağırlık oranının $P/W = 0, 0.5$ ve 1 gibi üç farklı değeri için deprem katsayısı - yatay yer değiştirme ($c-\delta$) eğrilerini göstermektedir. Görülmektedir ki P/W oranı arttıkça en büyük deprem katsayısı azalmakta, buna karşılık yatay yer değiştirme artmaktadır. Bu sonucun sebebinin, P arttıkça, üst kesite etkiyen $c.P$ yatay tekil kuvvetinin de artması, bunun ise duvarı daha kolay devrilme durumuna getirmesi olduğu açıktır.

4.2.5. Düşey yükün dış merkezliğinin etkisi (e_p/t)

$t = 50 \text{ cm}$, $b = 100 \text{ cm}$, $E = 5.10^6 \text{ kN/m}^2$ ve $P = 0.5W$ olan dikdörtgen payandalı yığma duvar için tepe düşey yükü P ' nin dış merkezlik değeri e_p ' nin boyutsuz değerleri $e_p/t = 0, 1/12, 1/6, 2/6$ için elde edilen deprem katsayısı-yatay yer değiştirme ($c-\delta$) eğrileri Şekil 4.15. 'de çizilmiştir. Bu şekilden e_p/t nin büyük değerlerine gidildikçe en büyük deprem katsayısının azaldığı, öte yandan en büyük yatay yer değiştirmenin arttığı görülmektedir. Bunun büyük e_p/t değerinin duvar için daha başta P ' nin büyük eğilme momentleri oluşturmasından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 4.14. Farklı P/W oranları için deprem katsayısı-yatay yer değiştirme eğrileri



Şekil 4.15. Düşey yükün boyutsuz dış merkezliğinin farklı değerleri için deprem katsayısı-yatay yer değiştirme eğrileri

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tarihi yapılar insanlığın ortak mirası olarak kabul edilen özellikte yapılardır. Günümüze güvenle ulaşabilmiş olan tarihi yapıların çoğunun malzemesinin taş ve tuğla olduğu görülmektedir. Büyük tarihi camiler ve katedraller gibi bazı özel tarihi yapılarda, o yapıların mimari özelliklerinden dolayı yapı ceplerindeki duvarlar yüksek duvarlar olarak oluşturulmuştur. Bu tür yapılardaki duvarların düzlem dışı (düzlemlerine dik) eğilme ve kesme dayanımlarının yeterli düzeyde olması için çoğunlukla payandalı olarak inşa edilmiş oldukları görülmektedir. Bu nedenle payandalar yüksek duvarlara sahip yığma yapılarda önemli bileşenlerdir.

Payandalı tarihi yapılarda genel olarak duvarlar ile payandalar etkileyen yüklemeler altında birlikte çalışmakta, diğer bir deyişle kuvvetli bir etkileşim içinde bulunmaktadır. Çünkü bu tür yapılarda payandalar yapının duvar dokusu ile birlikte oluşturulmuş, yani örülmüş haldedir. Dolayısıyla, böyle yapılar için yalnızca payandaları değil, duvar-payanda birlikteliğini dikkate alan çalışmaların anlamlı olabileceği söylenebilir.

Bu tez çalışmasında La Mendola ve Papia (1993) tarafından yığma duvarların stabilite (kararlılık) analizleri için geliştirilmiş olan bir hesap modeli ve yöntemi benimsenmiştir. Söz konusu model ve yöntem kullanılıp, bir yük artımı işlemi uygulanarak örnek payandalı ve payandasız yüksek duvarların düzlemlerine dik deprem dayanımları belirlenmiştir. Göz önüne alınmış olan bir örnek duvar (referans duvar) üzerinde yapılan hesaplar, duvarın payandalı olması durumunda düzlemine dik deprem dayanımının, payandasız olması durumundakine göre yaklaşık %85 daha fazla olduğunu göstermiştir.

Çalışmada ayrıca bazı parametrik incelemeler yapılmıştır. Bu incelemeler göstermiştir ki;

- Payandanın duvar düzlemine dik boyutu duvar düzlemine paralel boyutuna göre duvarın düzlemine dik deprem dayanımı üzerinde çok daha etkili olmaktadır. Bu, duvar kesiti atalet momenti üzerinde payandanın duvar düzlemine dik boyutunun küpü ile gelen katkısından kaynaklanmaktadır,
- Duvar üst kesitine etki eden düşey yükün ve/veya bu yükün dış merkezlik değerinin artması duvarın deprem dayanımı azalmaktadır,
- Duvar malzemesinin elastisite modülünün deprem dayanımı üzerinde beklenenden daha az bir etkisinin olduğu görülmüştür.

Trapez payandalı ve kademeli payandalı duvarlar da bazı tarihi yapılarda görülmektedir. Dolayısıyla bu tür payandalı yığma duvarların düzlemlerine dik deprem dayanımlarının araştırılması çalışılabilecek diğer konulardır. Bu konuların ileride ele alınması düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ABYYHY, "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", (1998).
- ARIOĞLU, E., and ANADOL, K., 1973. On the Earthquake Resistance of the Süleymaniye Mosque (Istanbul) in the Historical Perspective (1557-1973). Proceedings of 5th World Conference on Earthquake Engineering, 25-29 June, Rome, p.2309.
- BAYRAKTAR, A., 2006. Tarihi Yapıların Analitik İncelenmesi ve Sismik Güçlendirme Metodları. Beta Basım Yayım Dağıtım A. Ş., İstanbul, 145s.
- DE LORENZIS, L., DIMITRI, R., and OCHSENDORF, J., 2012. Structural Study of Masonry Buttresses: The stepped Form. Structures and Building, ICE Publishing, 165(9): 499-522.
- DE LORENZIS, L., DIMITRI, R., and OCHSENDORF, J., 2012. Structural Study of Masonry Buttresses: The Trapezoidal Form. Structures and Building, ICE Publishing, 165(9): 483-498.
- FRISCH-FAY, R., 1962. Flexible Bars. Butter Worths, London, 220s.
- GUREL, M. A., YENİGÜN, K., and PEKGOKGOZ, R. K., 2010. Out-of-Plane Seismic Analysis of Bozdoğan (Valens) Aqueuct in İstanbul. International Journal of the Physical Sciences, 5(11): 1660-1670.
- GUREL, M. A., and PEKGOKGOZ, R. K., CİLİ, F., 2011. Strength Capacity of Unreinforced Masory Cylindrical Columns under Seismic Transverse Forces. Original Research Paper. 10(2): 587-613.
- HUERTA, S., 2010. The Safety of Masonry Buttresses. Proceeding of the IC-Engineering History and Heritage, 163(1): 3-24.
- KADIOĞLU, N., ENGİN, H., ve BAKİOĞLU, M., 2000. Mukavemet Problemleri, Cilt 2. Beta Yayın evi, İstanbul, 306s.
- LA MENDOLA, L., and PAPIA, M., 1993. Stability of Masonry Piers under Their Own Weight and Eccentric Load. Journal of Structural Engineering, ASCE, 119(6):1678-1693.
- LA MENDOLA, L., PAPIA, M., and ZINGONE, G., 1995. Stability of Masonry Walls Subjected to Seismic Transverse Forces. Journal of Structural Engineering, ASCE, 121(11):1581-1587.
- LA MENDOLA, L., 1996. Influence of Nonlinear Constitutive Law on Masonry Pier Stability. Journal of Structural Engineering, ASCE, 123(10): 1303-1311.
- MAKRIS, N., and ALEXAKIS, H., 2015. Limit Equilibrium Analysis of Masonry Buttresses and Towers under Lateral and Gravity Loads. Archieve of Applied Mechanics, 85(12): 1915-1940.
- NIKOLINAKOU, M. A., TALLON, A. J., and OCHSENDORF, J. A., 2005. Structure and Form of Early Gothic Flying Buttresses. Revue Europeenne de Genie Civil, 9(9-10):1191-1217.
- OCHSENDORF, J., A., HERNANDO, J. I., and HUERTA, S., 2004. Collapse of Masonry buttresses. Journal of Architectural Engineering, ASCE, 10(3): 88-97.
- OCHSENDORF, J., and DE LORENZIS, L., 2008. Failure of Rectangular Masonry Buttresses under Concentrated Loading. Structures and Buildings, ICE Publishing, 161(5): 265-275.

PAULAY, T., and PRIESTLEY MJN., 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. John Wiley and Sons, Inc., USA, 742p.

SEAMES, A. E., and CONWAY, H. D., 1957. A Numerical Procedure for Calculating the Large Deflections of Straight and Curved Beams. Journal of Applied Mechanics Trans. ASME, 79(24):289-94.

Şanlıurfa Vakıflar Genel Müdürlüğü

URL-1, <http://ahsenokyar.com>. Erişim Tarihi: 13.09.2015

URL-2, <http://emebis.me/?q=http://emebis.blogspot.com.tr>. Erişim Tarihi:13.09.2015

URL-3, <http://eski.istanbulium.net>. Erişim Tarihi: 13.09.2015

URL-4, <http://spanishshilling.blogspot.com.tr>. Erişim Tarihi: 13.09.2015



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Rabia İZOL
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Şanlıurfa/Siverek 1992
Telefon : 05071888306
e mail : rabiaizol@harran.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı,	İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Şanlıurfa Kız Lisesi, Merkez, Şanlıurfa		2010
Üniversite	: Harran Üniv., Mühendislik Fak., Şanlıurfa		2014
Yüksek Lisans	: Harran Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü Mekanik Anabilim Dalı		2017

İŞ DENEYİMLERİ :

Yıl	Kurum	Görevi
2017	Harran Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI : Mekanik

YABANCI DİLLER: İngilizce

YAYINLAR :

Dergi Adı: Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi

Makale Başlığı: Payandalı Yüksek Yığma Duvarların Düzlemlerine Dik Deprem Etkileri Altında Yaklaşık Analizi

Kabul Tarihi: 14.04.2017 (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)

Yayın Tarihi: 16.06.2017