



**T.C.**

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DEPREM YÜKLERİ ALTINDA  
ÇELİK LEVHA PERDE DUVAR SİSTEMLERİNİN  
ANALİZİ İÇİN BİR YAKLAŞIM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YASİN GÜNGÖR**

**Tez Danışmanı**

**PROF. DR. KANAT BURAK BOZDOĞAN**

**ÇANAKKALE – 2022**





T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DEPREM YÜKLERİ ALTINDA  
ÇELİK LEVHA PERDE DUVAR SİSTEMLERİNİN  
ANALİZİ İÇİN BİR YAKLAŞIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASİN GÜNGÖR

Tez Danışmanı

PROF. DR. KANAT BURAK BOZDOĞAN

ÇANAKKALE – 2022



T.C.  
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Yasin GÜNGÖR tarafından Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN yönetiminde hazırlanan ve **17/08/2022** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Deprem Yükleri Altında Çelik Levha Perde Duvar Sistemlerinin Analizi İçin Bir Yaklaşım**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN

(Danışman)

Prof. Dr. Hasan Orhun KÖKSAL

Dr. Öğr. Üyesi Ayten GÜNAYDIN

**İmza**

.....

.....

.....

Tez No : 10487651

Tez Savunma Tarihi : 17/08/2022

.....  
Doç. Dr. Yener PAZARCIK  
Enstitü Müdürü

.././2022

## ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Yasin GÜNGÖR

13/10/2022

## TEŞEKKÜR

Hazırlamıő olduğum bu tez çalışmasında, süreç boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer akademik danışman hocam Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN'a, hayatımın her aşamasında bana destek olan baőta annem Rukiye GÜNGÖR ve babam Sebahetdin GÜNGÖR olmak üzere değerli aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Yasin GÜNGÖR  
anakkale, Ağustos 2022



## ÖZET

### DEPREM YÜKLERİ ALTINDA ÇELİK LEVHA PERDE DUVAR SİSTEMLERİNİN ANALİZİ İÇİN BİR YAKLAŞIM

Yasin GÜNGÖR

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN

17/08/2022, 81

Sismik bölgelerde inşa edilen yapılarda yanal rijitliği sağlamak için taşıyıcı sistem seçimi çok önemlidir. Dinamik yükler altında analiz edilen binaların, kendilerine gelen deprem yüklerine karşı koyabilmeleri için uygun bir taşıyıcı sisteme sahip olmaları gerekmektedir. Bu amaçla alışılagelen yapı elemanlarının haricinde günden güne araştırma ve çalışma alanları artan Çelik Levhalı Perde Duvar (ÇLPD) sistemi bu çalışmada ele alınmıştır. Binaları taşıyıcı sistemin türüne göre ankastre bir kiriş olarak idealize eden sürekli sistem hesap modelinin ÇLPD sistemlerinin analizinde kullanılabilirliği tez kapsamında araştırılmıştır. Yalnızca ÇLPD sistemli 4 katlı ve ÇLPD-çerçeve sisteme sahip 40 katlı iki çelik yapı, sürekli sistem hesap modelleri olan Timoshenko kiriş modeli ve sandviç kiriş modeli ile analiz edilmiştir. Bu tez kapsamında Timoshenko kiriş modelinin dinamik davranışını orijinal olarak temsil eden diferansiyel denklem, ÇLPD sistemlerde kullanılmak üzere diferansiyel dönüşüm yöntemi ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlardan yararlanılarak binaların dinamik analizinin kısa sürede yapılmasını sağlamak üzere pratik tablolar oluşturulmuştur. Hesap sonuçları, SAP2000, ETABS ve literatür sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen periyot, maksimum taban kesme kuvveti, maksimum tepe noktası yer değiştirmesi ve kat ötelenme oranları arasındaki uyum irdelenmiştir. Sürekli sistem verileri ile analiz program sonuçları arasında yeter derecede uyum olduğu gözlenmiştir. Hesap yönteminin ÇLPD yapıların ön tasarımında veya analiz programlarının çıktılarının kontrolünde kullanılmasıyla periyotların, taban kesme kuvvetinin, tepe noktası yer değiştirmelerinin ve depremlerde hasar görebilirliğin önemli bir ölçütü olan görelî kat

ötelemesi oranının pratik şekilde hesaplanabilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca sürekli sistem hesaplarında kullanılan iki modelin de istenilen yapı veya profil özellikleri ile kolayca uygulanması için Python kodları eklerde sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Çelik Levhalı Perde Duvar, ÇLPD, Sürekli Sistem Hesap Modeli, Timoshenko Kiriş, Sandviç Kiriş, Spektral Analiz





## **ABSTRACT**

### **AN APPROACH FOR THE ANALYSIS OF STEEL PLATE SHEAR WALL SYSTEMS UNDER EARTHQUAKE LOADS**

Yasin GÜNGÖR

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Civil Engineering

Advisor: Prof. Dr. Kanat Burak BOZDOĞAN

08/17/2022, 81

The choice of carrier system is very important in order to provide lateral rigidity in structures built in seismic zones. Buildings analyzed under dynamic loads must have a suitable structural system in order to resist the seismic loads coming them. For this purpose, a Steel Plate Shear Wall (SPSW) system, whose research and study areas are increasing day by day, apart from the usual building elements, has been discussed in this study. The usability of the continuous system calculation model, which idealizes the buildings as a fixed beam according to the type of carrier system, in the analysis of SPSW systems has been investigated within the scope of the thesis. Only two steel structures with 4 storeys with SPSW system and 40 storeys with SPSW-frame system are analyzed with the Timoshenko beam model and sandwich beam model, which are continuous system calculation models. Within the scope of this thesis, the differential equation representing the dynamic behavior of the Timoshenko Beam Model was solved with the Differential Transformation Method to be used in SPSW systems, and practical tables were created to enable the dynamic analysis of buildings to be made in a short time by using the results obtained. Calculation results were compared with SAP2000, ETABS and literature results. The compatibility between the obtained period, maximum base shear force, maximum roof displacement and storey drift ratios were examined. It has been observed that there is sufficient agreement between the continuum system data and the analysis program results. By using this calculation method in the preliminary design of SPSW structures or in the control of the outputs of analysis programs; it is aimed to calculate in a practical way the period values, base shear force, roof

displacements and the relative story drift ratio, which is an important measure of vulnerability in earthquakes. In addition, Python codes are presented in the appendices for easy implementation of both models used in continuum system calculations with the desired structure or profile properties.

**Keywords:** Steel Plate Shear Wall, SPSW, Continuum Approximation Model, Timoshenko Beam, Sandwich Beam, Spectral Analysis



# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
<b>BİRİNCİ BÖLÜM</b>	
<b>GİRİŞ</b>	
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	1
1.2. Çelik Levhalı Perde Duvarlar.....	2
<b>İKİNCİ BÖLÜM</b>	
KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
<b>ÜÇÜNCÜ BÖLÜM</b>	
ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM	24
3.1. Sürekli Sistem Hesap Modeli.....	24
3.1.1. Timoshenko Kiriş Modeli.....	25
3.1.2. Sandviç Kiriş Modeli.....	39
<b>DÖRDÜNCÜ BÖLÜM</b>	
ARAŞTIRMA BULGULARI	51
4.1. Deprem Parametreleri.....	51
4.2. Salt Çelik Levha Perdeli Sistem Sayısal Örneği.....	53

4.2.1. Timoshenko Kiriş Modeli ile Çözüm.....	55
4.3. Levhalı Perde Çerçeve Sistem Sayısal Örneği.....	61
4.3.1. Sandviç Kiriş Modeli ile Çözüm.....	64
<b>BEŞİNCİ BÖLÜM</b>	
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER</b>	
5.1. Timoshenko Kiriş Modeli Çalışma Sonuçları.....	72
5.2. Sandviç Kiriş Modeli Çalışma Sonuçları.....	73
KAYNAKÇA .....	74
EKLER .....	I
EK 1. TIMOSHENKO KİRİŞİ HESAP MODELİNİN PYTHON KODU.....	I
EK 2. SANDVIÇ KİRİŞ HESAP MODELİNİN PYTHON KODU.....	VIII
ÖZGEÇMİŞ.....	XIV

## SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Kesit alanı
AISC	American Institute of Steel Construction
$A_{ci}$	Kolon kesit alanı
$A_{fl}$	Profil flanş alanı
$A_w$	Duvar alanı
$A_{web}$	Profil gövde alanı
$\alpha$	Boyutsuz parametre
B-SPSW	Beam-Connected Web Plates
$\beta_1$	Dikey sınır elemanlarının katkısı
$\beta_2$	Dolgu levhasından olan katkı
$\beta_{i1}$	Kat ötelenme oranı için $r^2$ değerine göre seçilen katsayı
CBC	California Building Code
CFRP	Carbon Fiber-Reinforced Polymer
CFS	Cold-Formed Steel
CFS-C-SW	Cold-Formed Steel Center-Sheathed Shear Wall
CFS-S-SW	Cold-Formed Steel Skin-Sheathed Shear Wall
CFS-SPSW	Cold-Formed Steel Plate Shear Wall
CFST	Concrete-Filled Steel Tubular
CIP	Corrugated Infill Plate
CoSPSW	The Corrugated Steel Plate Shear Wall
CSPSW	Composite Steel Plate Shear Wall
ÇLPD	Çelik Levha Perde Duvar
D	Eksenel yer değiştirmelerin katkısını gösteren global eğilme rijitliği
DIP-SSW	Double Infill Plates for SPSW
$d_i$	i. kolonun merkeze olan uzaklığı
$d_H$	Tepe noktası yer değiştirmesi
$d_{maxi}$	Tepe noktası maksimum yer değiştirmesi
$dep_i$	Yatay yer değiştirme
$dr_{ij}$	Katlar arası maksimum ötelenme oranı
$d_{VBE}$	Düşey sınır eleman kesit yüksekliği
E	Elastisite modülü

$EI$	Eşdeğer eğilme rijitliği
$eko_i$	Etkin kütle oranı
$em_i$	Etkin kütle oranı
$\varepsilon$	Denklemleri boyutsuz yapmak için dönüşüm parametresi
$F$	Mod şekil fonksiyonu katsayısı
$F_1$	1 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
$F_s$	Kısa periyot için yerel zemin etki katsayısı
F-S	Flexure-Shear
FEM	Finite Element Method
FEMA	Federal Emergency Management Agency
FRP	Fiber-Reinforced Polymer
$f_b$	Eğilmede deforme olan konsolun döngüsel doğal frekansı
$f_s$	Kesmede deforme olan konsolun döngüsel doğal frekansı
$G$	Kayma modülü
$\Gamma$	Modal katılım faktörü
$H$	Bina yüksekliği
$h$	Kat yüksekliği
$I$	Atalet Momenti
$I_b$	Kiriş atalet momenti
$I_c$	Kolon atalet momenti
$I_{mw}$	Yatay rijitliğe katkılı her duvar için değiştirilmiş ikinci alan momenti
$\mathcal{K}_d$	Sürekli kütleli ayrı kütleye dönüştürmek için düzeltme katsayısı
$\mathcal{K}_i$	Sürekli kütleli ayrı kütleye dönüştürmek için düzeltme katsayısı
$K$	Kesme sabiti
$K_s$	Eşdeğer kayma rijitliği
$K_{s1}$	Duvara bitişik kirişler hariç çerçevenin rijitliği
$K_{s2}$	Duvara bitişik kirişlerin rijitliği
$k$	Boyutsuz parametre
$kGA$	Eşdeğer kesme rijitliği
$\xi$	Verimlilik faktörü
$L_b$	Kiriş uzunluğu
$M_t$	Toplam bina kütlesi
MPFI	Modified Plate-Frame Interaction

MRF	Moment Resisting Frame
$\bar{m}$	Bina yüksekliği boyunca yayılı kütle
$\mu$	Yer değiştirme hesabı için k değerine göre seçilen katsayı
$\omega$	Açısal frekans
P-SPSW	Perforated - SPSW
PC-SPSW	Steel Plate Shear Walls Partially Welded to Columns
PTD	Permanent Tectonic Displacement
plw	Duvar genişliği
ptk	Duvar kalınlığı
$\pi$	Pi sayısı
Q	Alanın nötr eksene göre statik momenti
RSSC-SPSW	Ring-Shaped Self-Centering Steel Plate Shear Wall
$r^2$	Boyutsuz parametre
$\rho$	Birim hacim ağırlığı
$\rho A$	Kat yüksekliğine yayılan kütle
$S_1$	1 saniye periyot için spektral ivme katsayısı
$S_{ai}$	Spektral ivme
$S_{D1}$	1 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
$S_{DS}$	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
$S_{di}$	Spektral yer değiştirme
$S_i$	Periyot hesabı için $r^2$ değerine göre seçilen katsayı
$S_s$	Kısa periyot spektral ivme katsayısı
SC-SPSW	Self Centered Steel Plate Shear Wall
SIP	Solid Infill Plate
SPSW	Steel Plate Shear Wall
SPSW-O	Outriggers Steel Plate Shear Wall
SPSW-SCEDB	Self-Centering Energy Dissipation Braces
SRSS	Square Root of Sum of the Squares
$T_i$	Doğal titreşim periyodu
$T_w$	Duvarın temel doğal periyodu
$t_w$	Profil gövde kalınlığı
V	Toplam yanal yer değiştirme
$V_b$	Eğilme nedeniyle yanal yer değiştirme

$V_{bi}$	Taban kesme kuvveti
$V_s$	Kesme nedeniyle yanal yer değiştirme
$V_T$	Taban kesme kuvveti
VBE	Vertical Boundary Element
$Z_i$	Periyot hesabı için k değerine göre seçilen katsayı
$z$	Yapı yüksekliği boyunca uzanan dikey eksen
2DCIP	Two Diagonally Corrugated Infill Plate





## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo No</b>	<b>Tablo Adı</b>	<b>Sayfa No</b>
<b>Tablo 1</b>	$r^2$ değerine göre dinamik katsayılar	35
<b>Tablo 2</b>	Üç mod şekli için $\mathcal{K}_i$ düzeltme katsayıları	38
<b>Tablo 3</b>	Kat sayısının bir fonksiyonu olarak önerilen $\mathcal{K}_d$ faktörleri	46
<b>Tablo 4</b>	k değerine göre dinamik katsayılar	47
<b>Tablo 5</b>	Deprem parametreleri	51
<b>Tablo 6</b>	4 katlı yapının tasarım parametreleri	54
<b>Tablo 7</b>	4 katlı yapıda kullanılan profil özellikleri	54
<b>Tablo 8</b>	Timoshenko kiriş modeli periyotlarının karşılaştırılması	57
<b>Tablo 9</b>	Taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirmesi ve maksimum ötelenme oranının karşılaştırılması	60
<b>Tablo 10</b>	40 katlı yapının tasarım parametreleri	63
<b>Tablo 11</b>	40 katlı yapıda kullanılan profil özellikleri	63
<b>Tablo 12</b>	Sandviç kiriş modeli periyotlarının karşılaştırılması	68
<b>Tablo 13</b>	Taban kesme kuvvetleri ve tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması	70

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Tipik bir çelik levhalı perde duvar genel görünümü	2
Şekil 2	Bir ÇLPD yapısının saha uygulaması	3
Şekil 3	Sürekli sistem hesap modelinde kullanılan eşdeğer kiriş modelleri a) Euler-Bernoulli kirişi b) Timoshenko kirişi c) Csonka kirişi d) Sandviç kiriş	24
Şekil 4	Timoshenko kirişi olarak idealleştirilmiş ÇLPD yapısı	25
Şekil 5	İlk üç mod için S değerleri	36
Şekil 6	Efektif kütle oranı değerleri	36
Şekil 7	İlk üç mod için yer değiştirme değerleri	37
Şekil 8	İlk mod için $\beta_{i1}$ değerleri	37
Şekil 9	Timoshenko kiriş modeli akış şeması	39
Şekil 10	Sandviç kiriş olarak idealleştirilmiş ÇLPD yapısı	40
Şekil 11	Bir ÇLPD sistemi için nitel kayma gerilimi değişimi	45
Şekil 12	İlk üç mod için Z değerleri	47
Şekil 13	İlk üç mod için $\mu$ değerleri	48
Şekil 14	İlk üç mod için etkin kütle oranı (eko) değerleri	49
Şekil 15	Sandviç kiriş modeli akış şeması	50
Şekil 16	Tasarım spektrum eğrisi	52
Şekil 17	Azaltılmış tasarım spektrum eğrisi	52
Şekil 18	4 katlı bina kesiti	53
Şekil 19	4 katlı bina kat planı	53
Şekil 20	4 katlı bina 3D SAP2000 modeli	55
Şekil 21	Timoshenko kiriş modeli periyotlarının karşılaştırılması	57
Şekil 22	Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	60

<b>Şekil 23</b>	Maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırması	61
<b>Şekil 24</b>	Maksimum kat ötelenmelerinin karşılaştırılması	61
<b>Şekil 25</b>	40 katlı bina plan görünüşü	62
<b>Şekil 26</b>	40 katlı binanın on kata kadar ön cephe görünüşü	62
<b>Şekil 27</b>	40 katlı binanın xz ve yz eksenlerindeki görünüşleri ile 3D SAP2000 modeli	64
<b>Şekil 28</b>	Sandviç kiriş modeli periyotlarının karşılaştırılması	68
<b>Şekil 29</b>	Sandviç kiriş modeli taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	70
<b>Şekil 30</b>	Sandviç kiriş modeli tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması	71

# BİRİNCİ BÖLÜM

## GİRİŞ

Depremesel açıdan aktif alanlarda inşa edilmek istenen yapıların yanal rijitliği, dikkat edilmesi gereken tasarım faktörlerindedir. Bu yüzden yapıya etkiyen deprem ve rüzgâr gibi dinamik yükler, taşıyıcı sistemin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadırlar. Deprem ve rüzgâr yükleri altında yapıda meydana gelebilecek hasar durumunu sınırlamak için kat yer değiştirmeleri ve görelî kat öteleme oranlarının sınır değerleri geçmemesi gerekmektedir. Bu tür yatay kuvvetlerin karşılanması için ilk olarak kullanımını daha yaygın olan betonarme perdeler, çelik çaprazlar ve moment aktaran çerçeveler düşünülmektedir. Bu sistemlere alternatif olarak da adından gün geçtikçe daha çok söz ettiren Çelik Levhalı Perde Duvarlar (ÇLPD) akla gelmektedir. İlk kez 1970 yıllarında Japonya, Amerika ve Kanada gibi ülkelerdeki çelik yapılarda görülmeye başlanan bu sistem, yapılan bilimsel çalışmalar sonunda günümüzde yatay kuvvetlere karşı yeterli dirence sahip sistemler olarak kabul edilmektedir.

Araştırmacılar her geçen gün çeşitli deney ve gözlemlerle ÇLPD'lerin deprem davranışlarının belirlenmesi ve bu sistemlerin daha verimli kullanılması için çalışmalar yapmaktadırlar. Üzerinde yoğunlaşılın bazı çalışma alanları; ÇLPD'nin birtakım yöntemlerle zayıflatılarak ya da güçlendirilerek sistem sünekliğinin ayarlanması, dayanımının artırılmasıyla sistem genelinde mukavemet artışının sağlanması, ardgerme elemanlarının kullanımı ile yeniden merkezleme özelliği kazandırılarak rijitliğin kontrol altında tutulması ve çeşitli boşlukların açılmasıyla kuvvetler altındaki davranışlarının incelenmesi olarak bahsedilebilir. İkinci bölümde literatürde yapılan çeşitli çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

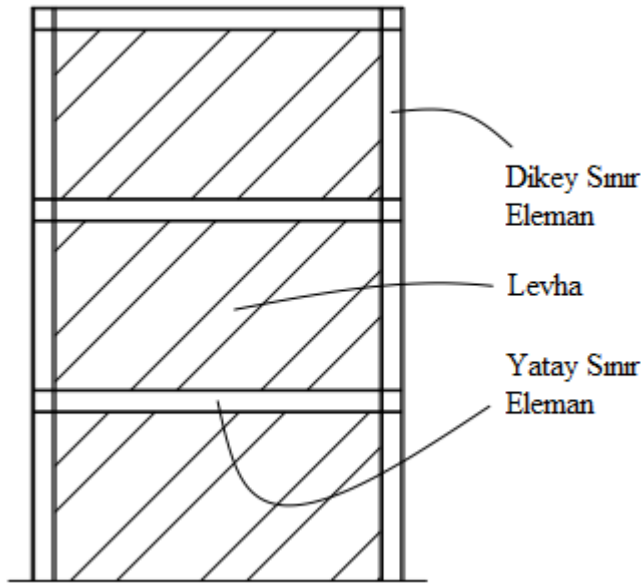
### 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yapıların gerek statik gerekse dinamik analizleri için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan biri de sürekli sistem hesap modelidir. Bu yaklaşım kat bazındaki yapı özelliklerinin, yüksekliği boyunca her katta aynı olan yapılarda kolayca uygulanabilmektedir. Yapıyı taşıyıcı sistemin özelliğine göre temelden ankastre mesnetli bir kiriş olarak idealize eden bu yöntem; periyotlar, tepe noktası yer değiştirmeleri, görelî kat

ötelemesi oranları ve taban kesme kuvvetleri gibi parametrelerin pratik şekilde hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. Bu tez kapsamında daha önce çeşitli yapı sistemleri için literatürde uygulanan sürekli sistem hesap modelinin ÇLPD sistemlere uygulanması amaçlanmıştır. Çalışmada sürekli sistem hesap modelinin ÇLPD sisteme sahip yapıların ön tasarımında kullanılarak yapı davranışı hakkında öngörü ve hesap kolaylığı sağlaması amaçlanmıştır.

## 1.2. Çelik Levhalı Perde Duvarlar

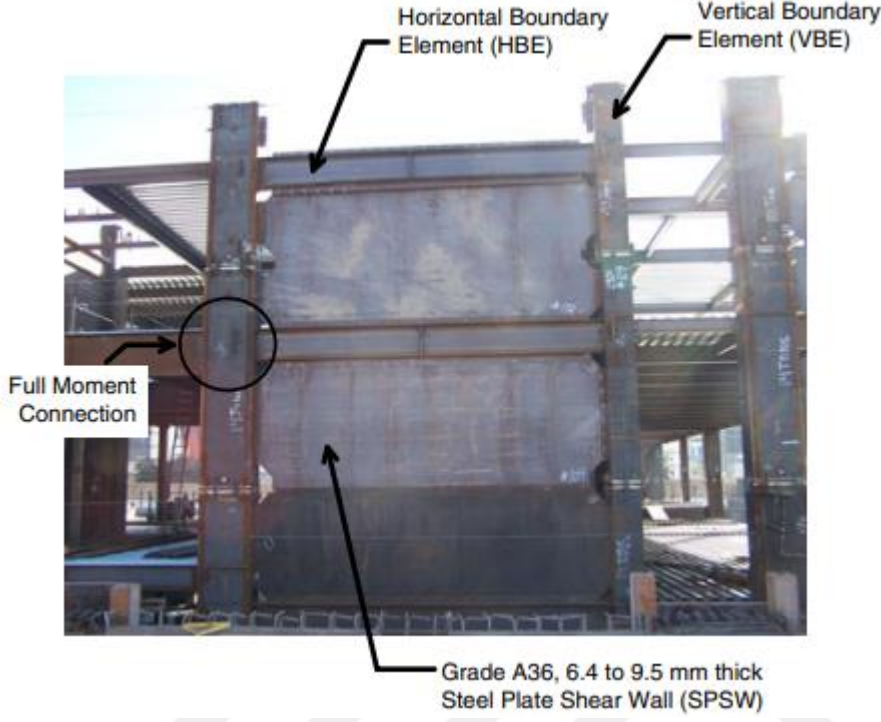
Yapılara etkiyen yatay kuvvetleri karşılamak için kullanılan sistemlerden biri de çelik levhalı perde duvarlardır. Bu sistemler betonarme perdelerden yapı olarak çok farklı olsalar da yatay yükler altında kesme kuvvetlerine ve eğilme momentlerine karşı rijitlik sağlayarak onlarla aynı görevi üstlenirler. Genel tasarımı itibarıyla Şekil 1’de görüldüğü gibi kendilerini sınırlayan dikey ve yatay elemanlara bağlantılı ince bir levhadan oluşmaktadırlar.



Şekil 1. Tipik bir çelik levhalı perde duvar genel görünümü

Tasarım mühendisinin inisiyatifine göre ince dolgu levhasının sınır elemanlarına farklı şekillerde bağlantısı, ÇLPD sisteminin de farklı şekillerde davranış sergilemesine neden olmaktadır. Bu bağlamda yapı tasarımında istenilen hizmet veya sistem davranışına göre ÇLPD’nin de genel yapısı özelleştirilebilmektedir.

Şekil 2’de tipik ÇLPD sisteminin saha uygulamasına yönelik bir örnek görülmektedir.



Şekil 2. Bir ÇLPD yapısının saha uygulaması  
(Kang vd., 2011)

Yatay kuvvete dirençli yapı elemanı olarak ÇLPD kullanmanın bazı avantajları şu şekildedir (Astaneh-Asl, 2001):

- Uygun bir tasarım şekli ile yüksek sünek davranış sergilerler.
- Yüksek başlangıç rijitliklerine sahiptirler.
- Betonarme perdelerle kıyasla çok hafiftirler ve daha düşük deprem kuvvetlerine maruz kalırlar.
- Daha az yer kapladıklarından dolayı mimari avantaj sağlarlar.
- Modüler yapılarından dolayı imalat aşamasında hız kazandırırılar.

Aşağıdaki bölümlerde, iki farklı ebattaki ÇLPD’lerin üzerinde durularak çok katlı perdeli ve perde-çerçeve sistemlerin dinamik analizi için bir yaklaşım sunulmuştur.

## İKİNCİ BÖLÜM

### KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Timler vd., ÇLPD sistemlerin genel tasarımını için kısa ve öz tasarım yönergeleri hazırlamayı üstlenmişlerdir. Yaptıkları çalışmada yapı endüstrisindeki yüksek binaların danışmanlığı için uygun ve basit bir tasarım metodolojisini test etmişler ve gelecekteki tasarımcılar için bazı kılavuzlar önermişlerdir. Çalışmalarının sonucunda yalnızca tam bir çelik çerçeve ile kullanılan ÇLPD sistemlerden makul bir rekabet gücü beklenebileceğini ancak toplam proje finansmanını etkileyen başka hususlar dikkate alınırsa önemli tasarruflar elde edilebileceğini belirtmişlerdir (Timler vd., 1998).

Bruneau, etkili sismik performans sağlayabilen bir dizi yeni yapısal çelik sisteme ait son yenilikleri gözden geçirmiştir. Çalışmasında; hafif dolgu plakalarına sahip ÇLPD'ler, delikli ÇLPD'ler, yapısal sigorta hedeflerini karşılamak için tasarlanmış burkulma sınırlı çapraz çerçeveler, boru şeklindeki eksantrik çaprazlı çerçeveler ve sallanan çaprazlı çerçeveler üzerindeki son gelişmelere odaklanmıştır. Araştırmasının sonucunda elde edilen bulguların sismik performans hedeflerini karşılamak için yapı mühendisinin kullanabileceği araçların çeşitliliğini ve çok yönlülüğünü genişletmeye izin verdiğini vurgulamıştır (Bruneau, 2007).

Love ve çalışma arkadaşları, 1994 Northridge Depremi'nde hasar gören bir çelik moment çerçevesi hastane yapısını rijitleştirmek ve güçlendirmek için ÇLPD sistemi kullanmışlardır. Doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanarak tasarım yapmışlar ve sistemin Kaliforniya Bina Yönetmeliği (CBC) için gerekli olan yüksek standartları karşıladığını doğrulamışlardır (Love vd., 2008).

Topkaya ve Kurban, bina yüksekliği boyunca değişmeyen özelliklere sahip bir ÇLPD sınıfı ele almışlardır. Bu sınıftaki yapıların temel doğal periyotlarını, üç boyutlu geometrik doğrusal sonlu eleman analizleri kullanarak belirlemişler ve sismik tasarım şartnamelerinde sağlanan değerlerle karşılaştırmışlardır. Kıyaslama sonucunda periyot hesabında yaklaşık formül kullanılan tahminlerin tatmin edici olmayan sonuçlara yol açabileceğini ortaya koymuşlardır. Bu gözlemlerine dayanarak bir ÇLPD temel periyodunu tahmin etmek için basit bir el yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri el yönteminden elde

edilen doğal periyot tahminlerini, sonlu eleman çözümleri ile karşılaştırmışlar ve iyi bir uyum olduğunu göstermişlerdir (Topkaya ve Kurban, 2009).

Vatansever ve Yardımcı, yarı rijit kiriş-kolon birleşimlerine sahip düşük kalınlıklı ÇLPD'lerin, tersinir yükler altındaki davranışlarını analiz etmek için deneysel testlere tabii tutmuşlardır. Tek açıklıklı ve tek katlı numuneler üzerinde uyguladıkları testler sonucunda göçmelerin, ince levhanın üst bağlantısı boyunca yırtılması sonucu oluştuğunu, buna rağmen levhanın sönmüleme kapasitesi bakımından etkili performans sağladığını gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak ince levhalı ÇLPD'nin yatay yükleri karşılamak için iyi bir alternatif olabileceğini belirtmişlerdir (Vatansever ve Yardımcı, 2009).

Berman ve çalışma arkadaşları, ÇLPD için önerilen hasar ve onarım durumlarının gelişimine yönelik açıklamalarda bulunmuşlardır. Çalışmaları ilgili verilerin toplanarak bir veri tabanının geliştirilmesiyle sonuçlanmıştır. Elde ettikleri sonuçların gelecekte ÇLPD testleri sırasında yapılan gözlemlere rehberlik ederek, kırılma eğrisi gelişimi için fayda sağlayacağını öngörmüşlerdir (Berman vd., 2010).

Qu ve Bruneau, dikey sınır eleman (VBE) esnekliğini sınırlayan bir esneklik faktörünün türevlerini ve bu faktörün ÇLPD'ler için mevcut yönetmelik tasarım gereksinimlerine nasıl dahil edildiğini gözden geçirmişlerdir. Sonrasında VBE kayma akmasını önlemek ve VBE'nin düzlem dışı burkulma mukavemetini tahmin etmek için analitik modeller geliştirmişlerdir. Bunun ardından VBE'de önemli içe doğru elastik olmayan deformasyon ve düzlem dışı burkulmanın gözlenip gözlenmediğini araştırmak için geçmiş deneysel verilerin incelemesini yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda esneklik faktöründeki limitin, düzlem içi ve düzlem dışı VBE performansı ile ilişkisiz olduğunu göstermişlerdir. Önerdikleri analitik modellerin ise daha önce test edilmiş ÇLPD'lerin performanslarıyla uyumluluk gösterdiğini belirtmişlerdir (Qu ve Bruneau, 2010).

Bhowmick ve çalışma arkadaşları ÇLPD'ler için iyi bir sismik performans elde etmeyi ve sistemin genel ekonomisini iyileştirmeyi amaçlayan bir kapasite tasarım prosedürü sunmuşlardır. Önerilen bu yöntem ile tasarım seviyesindeki depremler sırasında akması beklenen levhaların tanımlanarak diğer yöntemlere göre daha ekonomik bir ÇLPD sistem



çözümünü amaçlamışlardır. Gelecekteki araştırmalar için daha uzun süreli ve büyüklükteki sismik kayıtların kullanılmasını önermişlerdir (Bhowmick vd., 2011).

Clayton ve çalışma arkadaşları yenilikçi bir kendiliğinden merkezlenen çelik levha perde duvar (SC-SPSW) sistemi önermişlerdir. Kirişlerin flanşları etrafında dönmesine izin veren ve sisteme yeniden merkezleme yeteneği sağlayan bu sistemde, ardgermeli kiriş-kolon bağlantıları kullanarak yatay kuvvetleri karşılamayı hedeflemişlerdir. Bir kapasite tasarım yaklaşımına dayalı olarak önerilen bir yatay sınır eleman ve ardgerme bağlantı tasarım prosedürü formüle etmişlerdir. SC-SPSW prototipi üzerinde gerçekleştirdikleri doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre sistemin geleneksel yanal kuvvete dirençli sistemlere uygun bir alternatif olabileceğini öngörmüşlerdir (Clayton vd., 2011).

Clayton ve çalışma arkadaşları bu makalede, SC-SPSW sisteminin döngüsel yüklemeye altındaki davranışını incelemek için bir dizi alt montaj testi gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalarının sonuçlarına göre SC-SPSW sisteminin; yüksek sünekliliğe, yüksek başlangıç rijitliğine, yeniden merkezleme özelliklerine, beklendiği gibi genel bir sistem tepkisine ve beklenenden daha fazla enerji sönmemesine sahip olduğunu belirtmişlerdir (Clayton vd., 2012).

Dowden ve çalışma arkadaşları bu makale ile SC-SPSW sistemlerinde ardgerme ve kiriş-kolon birleşim bölgesindeki titreşim bağlantısının birleşik katkısı hakkında bilgiler sunmuşlardır. SC-SPSW temel davranışını sınır kirişi boyunca moment, kesme ve eksenel kuvvetler için kapalı form denklemleri cinsinden sunmuşlar ve bunları doğrusal olmayan döngüsel itme analizi ile doğrulamışlardır. Elde ettikleri bulgulara göre SC-SPSW sistemlerinin geleneksel yanal kuvvete dirençli sistemlere uygun bir alternatif olabileceğini belirtmişlerdir (Dowden vd., 2012).

Alavi ve Nateghi çalışmalarında, yeni bir takviye yöntemi olan çapraz olarak güçlendirilmiş ÇLPD'ler üzerinde yapılan araştırmanın sonuçlarını sunmuşlardır. Levha kenarlarında berkitmelerin kullanılmasıyla ÇLPD'lerin histerik davranışlarının iyileştiğini ileri sürmüşlerdir. Bunun yanında çapraz olarak rijitleştirilmiş bir ÇLPD'nin kesme mukavemetini tahmin etmek için geliştirdikleri bir formülü önermişlerdir (Alavi ve Nateghi, 2013).

Koppal ve Eatherton plaka çevresi boyunca dairesel delikler veya kelebek şekilli kesikler içeren yeni bir delikli ÇLPD sistemi araştırmışlardır. Çevresel delikler ile sistemin rijitliğini korurken plakanın mukavemetini azaltmayı, böylece daha kalın plaka ve basit kiriş-kolon bağlantıları kullanabilmeyi amaçlamışlardır. Elde ettikleri veriler neticesinde her iki sistemin de mükemmel rijitlik ve enerji yayma yeteneği sergilediğini, bunun da kirişler ve kolonlar arasında moment bağlantılarının kullanılmasını gereksiz kıldığını belirtmişlerdir (Koppal ve Eatherton, 2013).

Nie vd., çok açıklıklı ÇLPD sistemlerin davranışlarını deneysel olarak araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre berkitme levhaları ile güçlendirilmiş ÇLPD'lerin tatmin edici sismik davranış sergilediklerini ve beklenildiği gibi boşluklu ÇLPD'lerde mukavemet ve rijitlik özelliklerinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca kayma mukavemeti azaltma katsayısının belirlenebileceği basitleştirilmiş bir formül elde etmek için kapsamlı sayısal ve parametrik analiz yapmışlardır. Buna ek olarak güçlendirilmiş ÇLPD'lerin yanal rijitliğini ayrıntılı şekilde incelemek için numunelerin karmaşık elasto-plastik sonlu eleman modellerini geliştirmişler ve deneysel sonuçlar ile iyi bir uyum gözlemişlerdir (Nie vd., 2013).

Bhowmick ve çalışma arkadaşları, berkitilmemiş dairesel delikli ÇLPD sistemlerin davranışlarını incelemişlerdir. Bir şerit modeline dayalı olarak, çok sayıda dairesel açıklığa sahip ÇLPD'nin kesme mukavemetini hesaplamak için bir formül önermişlerdir. Doğrusal olmayan itme analizi sonuçları ile önerilen denklem arasında mükemmel bir uyum olduğunu gözlemlemişlerdir. Elde ettikleri analiz sonuçlarına göre dairesel delikli bir ÇLPD'nin kesme mukavemetinin, önerilen formül ile azaltılarak boşluksuz ÇLPD kesme mukavemeti değerleri üzerinden hesaplanabileceğini belirtmişlerdir (Bhowmick vd., 2014).

Webster ve çalışma arkadaşları, çelik levhanın sınır çerçeve elemanları ile etkileşimini ve levha gerilim alanındaki değişimi incelemişlerdir. Bir dizi küçük ölçekli deneyle ince levhaları, yeniden kullanılabilir kare pim bağlantılı bir çerçeveye yüklemişlerdir. Araştırma sonunda ise gerilim alanı oryantasyon açısının değişimini incelemek ve elde edilen verileri çeşitli ÇLPD konfigürasyonlarına genişletmek için deneylerin ve bazı sayısal simülasyonların sonuçlarını sunmuşlardır (Webster vd., 2014).

Gorji ve Cheng yaptıkları çalışmada, dar ÇLPD sistemlerinin eğilme rijitliklerini iyileştirmek için çözüm olarak payanda konfigürasyonuna sahip ÇLPD'nin (SPSW-O) potansiyel kullanımını ele almışlardır. Elde ettikleri doğrusal olmayan statik ve zaman tanım alanı analiz sonuçlarında SPSW-O konfigürasyonunun, özellikle üst katlardaki ÇLPD'lerde eğilme deformasyon modundan kaynaklanan aşırı ötelenmeleri azaltmada oldukça etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Payanda kirişlerinin iki uçta rijit şekilde bağlandığı durumlardaki verimlilik faktörlerinin, bir uçta sabitlenmiş bağlantılara göre iki kat daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Bu bağlamda SPSW-O konfigürasyonunun, devrilmeye karşı direnci etkili bir şekilde artırarak sismik performansı iyileştirdiği sonucuna varmışlardır (Gorji ve Cheng, 2015).

Zirakian ve Zhang ÇLPD sistemlerdeki plakaları ilgili; erken burkulma, eşzamanlı burkulma, akma ve erken akma özelliklerine sahip ince, orta ve kalın olarak kategorilere ayrılabilirliğini belirtmişlerdir. Böylelikle düşük akma noktalı ÇLPD'lerin burkulma ve akma davranışlarının ekonomik tasarımlar adına doğru şekilde değerlendirilebileceğini savunmuşlardır. Berkitilmemiş düşük akma noktalı ÇLPD sistemlerinin yapısal davranışının yanı sıra plaka-çerçeve etkileşim özelliklerini sonlu elemanlar ve analitik yaklaşımlar aracılığıyla değerlendirmişlerdir. Sayısal modellemenin deneysel doğrulamasını takiben, düşük akma noktalı çelik kullanımının geleneksel çeliğe göre avantajlarını göstermişlerdir (Zirakian ve Zhang, 2015).

Dowden ve Bruneau, SC-SPSW sistemlerin sismik davranışlarını araştırmak için 1/3 ölçekli numuneler üzerinde bir dizi sarsma tablası deneyi yapmışlardır. Sundukları deneysel araştırma sonuçları, SC-SPSW sistemleri üzerinde gerçekleştirilen ilk sarsma tablası testleri olmuştur. Elde ettikleri sonuçlara göre dolgu plakası sıkıştırma mukavemetinin, çerçevenin yeniden konumlandırılması üzerinde (literatürde yarı statik testler için bildirilenlerin aksine) önemli bir etkisi olmadığını gözlemlemişlerdir. Bunlara ek olarak kirişten kolona titreşim bağlantıları için dolgu plakası gerilmelerini ve ardgerme talepleri deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında olduğundan fazla tahmin edildiğini belirtmişlerdir. Sunulan sonuçlar ile, çerçevenin yeniden merkezlenmesinin sağlandığını, yerçekimi doğrultusundaki çerçeve bileşenlerinin yapısal hasarını en aza indirdiğini ve SC-SPSW sistemlerinin onarılabilirliğini

göstermişlerdir. Bu sistemlerin gelişmiş yapısal performans sunduklarını ve yüksek sismik bölgelerdeki binalar için uygun olacağını ileri sürmüşlerdir (Dowden ve Bruneau, 2016).

Dowden ve çalışma arkadaşları SC-SPSW sisteminin ilk tam ölçekli deneysel araştırmasını sunmuşlardır. Testlerin sonucunda SC-SPSW sisteminin yüksek sismik alanlardaki binalar için önerilen performans hedeflerini karşılayabildiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca istenen sismik performans seviyeleri korunurken sınır çerçeve eleman boyutlarının azaltılabileceğini ancak bunu doğrulamak için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini belirtmişlerdir (Dowden vd., 2016).

Asl ve Safarkhani, belirli tipte zayıflatılmış kiriş kesitli ÇLPD'ler önermişlerdir. ÇLPD etrafını çevreleyen çerçeve konfigürasyonunun, sistemin sünekliğinde önemli rol oynadığını belirtmişler ve kiriş-kolon bağlantısının gevrek kırılmasını önlemek için kiriş kesitini dört farklı şekilde zayıflatmışlardır. Kiriş gövdesinde dairesel ve eliptik delikler, gövdedeki dikey kesikler ve kiriş flanş alanının azaltılmasını içeren zayıflatma yöntemleriyle bir dizi doğrusal olmayan sonlu eleman analizi gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri analiz sonuçlarına göre kiriş gövdesinde oluklu açıklığı olan modelin ÇLPD sünekliğini diğerlerinin aksine önemli ölçüde arttırabildiğini gözlemlemişlerdir (Asl ve Safarkhani, 2017).

Guo ve çalışma arkadaşları çapraz yarı rijit bağlantıya sahip ÇLPD yapısının statik testini yaparak yapının göçme modunu ve enerji yayılım mekanizmasını analiz etmişlerdir. Ek olarak ek bağlantı biçimlerinin ve güçlendiricilerin düzenlenmesiyle yapının sismik performansı üzerindeki etkisini tartışmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre kiriş-kolon bağlantı rijitliğinin, ÇLPD taşıma kapasitesi üzerindeki etkisinin küçük olduğunu ve nihai taşıma kapasiteleri arasındaki farkların %5'ten az olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda ÇLPD yapısının plastik deformasyon kapasitesinin de iyi olduğunu gözlemlemişlerdir (Guo vd., 2017).

Yu ve çalışma arkadaşları, enine köşebentlerle çapraz tutturulmuş ÇLPD'lerin döngüsel performansı üzerine bir araştırma sunmuşlardır. Dolgu çelik plakalar üzerindeki yatay çapraz berkitmelerin yerini almak için iki kolona bağlanan enine destekler önermişlerdir. 1/3 ölçekli iki katlı ve tek açıklıklı ÇLPD numuneleri üzerinde yarı statik

döngüsel yükleme testleri gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre kullanılan bu yöntemin, ÇLPD yükleme kapasitesini, enerji dağıtma kapasitesini ve sünekliği arttırdığını gözlemlemişlerdir. Bunlara ek olarak gerilme dağılımını homojenize etmek ve dolgu çelik plakaların düzlem dışı deformasyonunu sınırlamak için yöntemin etkili olduğunu, bunun da kolonlara uygulanan ek eğilme momentlerini azalttığını belirtmişlerdir (Yu vd., 2018).

Barua ve Bhowmick, yönetmeliğe uygun tasarlanmış delikli ÇLPD'lerin (P-SPSW) doğrusal olmayan sismik performanslarını incelemişlerdir. Ele aldıkları üç çok katlı P-SPSW sistemi Kanada deprem yönetmeliğine uygun tasarlamışlar ve performanslarını Vancouver bölgesinin tepki spektrumu ile uyumlu yer hareketleri altında değerlendirmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre deprem yönetmeliğine uygun tanımlanmış P-SPSW sistemlerin, yüksek süneklik ve mukavemet ile mükemmel sismik performans sergilediğini belirtmişlerdir. Bunlara ek olarak, P-SPSW sistemlerin temel periyotlarının belirlenmesi için basit kayma-eğilme giriş modelinin uygulanabilirliğini araştırmışlardır (Barua ve Bhowmick, 2019).

Curkovic ve çalışma arkadaşları değişken kolon eğilme rijitliğine sahip ÇLPD'lerin davranışlarını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Üç adet moment aktaran çerçeve (MRF) ve üç adet ÇLPD olmak üzere toplamda altı adet tek katlı ve tek açıklıklı numuneler tasarlayıp test etmişlerdir. Numuneler üzerinde gerçekleştirdikleri döngüsel test sonuçlarına göre kolon eğilme rijitliği azaltılmış ÇLPD'nin %4'e kadar kat ötelemesi oranına kadar tatmin edici bir performansa sahip olduğunu, tüm dolgu plaka üzerinde gerilim alanının gelişmesine izin verdiğini ve ihmal edilebilir kolon çekme deformasyonuna neden olduğunu belirtmişlerdir. Bunlara ek olarak kabuk elemanların kullanıldığı sonlu eleman itme simülasyonları geliştirmişlerdir (Curkovic vd., 2019).

Wang ve Xie, ince ÇLPD sistemlerdeki iki ana sorun olan H-kesitli çelik kolon tabanının burkulması ve histerik eğrilerdeki önemli ölçüde sıkışmayı ele almışlardır. Çözüm olarak beton dolgulu çelik boru kesitli kolon (CFST) ve çapraz berkitme uygulanmış ÇLPD önermişlerdir. Elde ettikleri bulgulara göre CFST kolon kullanılan ÇLPD'nin yanal taşıma kapasitesinde ani bir kayıp olmaksızın olumlu süneklik davranışı sergilediğini ve ÇLPD'lere çapraz berkitme uygulamanın da histerik eğrilerin sıkıştırma etkisini hafifleterek maksimum yanal yer değiştirmeyi önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir (Wang ve Xie, 2019).

Azarafrooz ve Shekastehtband, daha önce kısmen bağlantılı ÇLPD sistemlerinin mukavemetini ve rijitliğini azaltan faktörleri ortaya koymak için tam bağlı ÇLPD'ler ile karşılaştırmalı bir çalışma yapılmadığını belirtmişlerdir. Yazdıkları makalede dolgu plakasının çevre çerçeveye üç farklı bağlantı detayı ile 4 ve 8 katlı ÇLPD'leri ele almışlardır. Analiz sonuçlarına göre sadece kirişe bağlı dolgu plakalı modellerin; başlangıç rijitliği, kesme mukavemeti, enerji dağılımı ve sünekliği, tamamen bağlı dolgu plakalı modellere göre sırasıyla %53, %12, %15 ve %48 daha küçük olduğunu gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte sınır çerçeve mukavemetini azaltıp dolgu plakalarının kalınlığını arttırarak ikincil kolonlar içeren yarı destekli ÇLPD'lerin performans özelliklerini karşılaştırdıklarında, sınır çerçevesi üzerindeki gerilme taleplerinin %35'e kadar önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir (Azarafrooz ve Shekastehtband, 2020).

Bai ve çalışma arkadaşları, performansa göre tasarım doğrultusunda az katlı çift çerçeveli ÇLPD yapıları için basitleştirilmiş bir sismik tasarım yöntemi önermişlerdir. Az katlı yapısal sistemin eşdeğer tek serbestlik dereceli (TSD) sistemin titreşim teorisine uygun olarak idealize edilebileceğini öngörmüşlerdir. Elde ettikleri bulgulara göre TSD titreşiminden elde edilen sismik taleplerin, çerçeve-ÇLPD yapısı ile tutarlı sonuçlar sergilediğini belirtmişlerdir (Bai vd., 2020).

Cui ve çalışma arkadaşları, özellikle akma yükü 3000 kN değerini aşan ÇLPD'ler için yüksek binalarda kullanılan yüksek yük taşıma kapasiteli ÇLPD ile ilgili araştırmaların yetersiz olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada, yüksek katlı binaların tasarımında ve yapımında kullanılan ÇLPD-çerçeve taşıyıcı sisteminde uygulanmak üzere geliştirdikleri bir tür yüksek yük taşıma kapasiteli ÇLPD'den bahsetmişlerdir. Uyguladıkları testlerden elde ettikleri sonuçlara göre geliştirilen sistemin üstün süneklik ve enerji yayma kapasitesine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Ek olarak analiz sonuçlarının test sonuçlarıyla uyumlu olduğunu ve gelecekte etkili bir yanal kuvvete dirençli yapı sistemi olarak kullanılabilceğini öngörmüşlerdir (Cui vd., 2020).

Fathy, moment taşıyan çerçeve-ÇLPD sistemin bir veya iki destek kirişi olmadan sismik performansını ve göçme modlarını incelemiştir. 40 katlı binanın sismik kapasitesi ve plastik mekanizmasını incelemek için sonlu eleman modelleri üzerinde doğrusal olmayan analizler gerçekleştirmiştir. Zaman tanım alanında elde edilen analiz sonuçlarına göre bir ve

iki destek kirişli modellerin, kabul edilen maksimum deprem sırasında iyi performans gösterdiğini, destek kirişi bulunmayan modelin ise bu deprem altında nihai değerine ulaştığını belirtmiştir. En iyi sismik kapasitenin iki destek kirişli modelin lehinde olduğunu; destek kirişlerinin sayısının artırılmasının, yanal yer değiştirmede daha fazla azalma sağlamanın yanı sıra, destek kirişi tabanlarında ince ÇLPD'deki gerilimi de azalttığını gözlemlemiştir (Fathy, 2020).

R. Jiang ve çalışma arkadaşları, mühendislik mekaniğinin temel teorisine dayalı olarak ÇLPD yapılarının periyot tahmini için basitleştirilmiş bir yöntem geliştirmişlerdir. Buna bağlı olarak bir ÇLPD yapısını, çelik çerçeve kesme sistemi ve ÇLPD kesme-eğilme sistemi olarak ayrı ayrı tahmin etmişlerdir. Ayrıca önerilen yöntem ile ÇLPD yapılarının periyot tahmini için mevcut bazı yöntemleri karşılaştırmışlar, önerilen yöntemle elde edilen sonuçların iyi bir yakınlığa sahip olduğunu ve elle hesaplanabileceğini vurgulamışlardır (R. Jiang vd., 2020).

Liu ve çalışma arkadaşları, kendinden merkezlenen iki yaylı enerji dağıtma desteklerine (SPSW-SCEDB) sahip ve bayrak şeklinde histerik davranış sergileyen bir yanal kuvvete dirençli ÇLPD sistem üzerinde durmuşlardır. SPSW-SCEDB sistemindeki desteklerin histerik performanslarını ve sistemin genel histerik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek için bir dizi döngüsel test gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre sistemin mükemmel derecede kendini merkezleme kabiliyeti sergilediğini gözlemlemiştir. Destek yaylarının büyük eğim açısından dolayı oluşan enerji kaybının, sürtünme kuvvetini uygun şekilde artırılarak telafi edilebileceğini belirtmişlerdir. Sistemin %90'a varan kendini merkezleme yeteneğinin daha da artması için dolgu plaka basınç kuvveti kapasitesinin, enerji dağıtma desteklerinin geri yükleme kuvvetinden daha küçük olması gerektiğini savunmuşlardır (Liu vd., 2020).

Bai ve çalışma arkadaşları, sistemin yanal deformasyon özelliklerine dayanan ÇLPD-çerçeve sistemin basitleştirilmiş bir analitik modelini geliştirmişlerdir. Tam olasılık teorisi kullanılarak, iki adet 7 ve 15 katlı ÇLPD-çerçeve yapısının sismik performans değerlendirmesini, basitleştirilmiş eğilme-kayma modeli (F-S) ve sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri analiz sonuçları ile F-S modelinin, FEM ile karşılaştırıldığında neredeyse aynı performans parametrelerini elde edilebileceğini

göstermişlerdir. Ayrıca ÇLPD-çerçeve yapılarının onarım maliyeti ve onarım süresinin esas olarak yapısal olmayan bileşenlerden meydana geldiğini ortaya koymuşlardır (Bai vd., 2021).

Su ve çalışma arkadaşları, yüksek binaların alan kullanım oranını ve sismik performansını iyileştirmek için yeni bir sismik yapısal ÇLPD sistemi önermişlerdir. Bu yeni tip perde duvar sisteminin sismik performansını incelemek adına yatay döngüsel yüke maruz kalan iki numune hazırlayıp test etmişlerdir. Test sonuçlarında iki numunenin de büyük taşıma kapasitesine, iyi süneklığe ve enerji yayma kapasitesine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Ek olarak sonlu eleman modelleri kurarak deneysel sonuçları doğrulamışlar ve yeni sistemin yanal kuvvetlere karşı güvenilir olduğunu belirtmişlerdir (Su vd., 2021).

Ahmadi ve De Matteis, yalnızca kirişe bağlantılı ÇLPD'lerin sünek bir davranış sağladığını ve yatay kesme kuvvetlerine maruz kaldığında kolonların hasarını azalttığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada, iki farklı kiriş-kolon bağlantısına sahip üç katlı perde duvarların göçme modlarında sadece kirişe bağlantılı ÇLPD'nin etkinliğini sayısal olarak incelemişler ve levha narinliği ile kolonlar arasındaki boşluk üzerine odaklanmışlardır. Edindikleri sayısal sonuçlara göre levha narinliği ve kolonlar arasındaki boşluğun değiştirilmesiyle numunelerin maksimum kesme mukavemeti, ilk rijitlik ve enerji dağıtma kapasiteleri gibi parametrelerinin etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Çalışmalarının sonunda ise ÇLPD'lerin göçme modlarını iyileştiren bir model önermişlerdir (Ahmadi ve De Matteis, 2022).

Alshimmeri ve Kontoni, ÇLPD'lerin önemli bir avantaja sahip olmasına rağmen, dolgu levhasından kaynaklanan gerilmelere direnmek için büyük kolonlar gerektirdiğini ve bunun sistemle ilgili ana ikilemlerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca dolgu levhasının artırılmasıyla, sistemin levha ve kiriş yerine kolonlarda plastik mafsallı oluşumuna neden olduğuna dikkat çekmişlerdir. Bu sorunu çözmek için geleneksel ÇLPD tipine alternatif olarak yenilikçi bir ÇLPD modeli yani Çift Dolgu Levhalarının (DIP-SSW) kullanımını önermişlerdir. Parametrik çalışmalarının sonunda bu sistemin yerden tasarruf sağladığını, mükemmel bir süneklik faktörüne ve yanal yükler altında enerji soğurma kabiliyetine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir (Alshimmeri ve Kontoni, 2022).



Basri ve çalışma arkadaşları, ÇLPD kullanımının çelik çerçevelerin davranışı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Döngüsel yükler altında bir ÇLPD ve geleneksel çapraz ile donatılmış iki çelik çerçeveyi simüle ederek sonlu elemanlar analizi uygulamışlardır. Yatay rijitlik, nihai kesme kapasitesi, enerji kaybı ve süneklik dahil olmak üzere önemli sismik parametreleri, laboratuvar numunesinin doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda ÇLPD'nin yanal yük direnci olarak kullanılmasının, geleneksel çapraz çerçeveden daha yüksek rijitlik, süneklik, nihai mukavemet ve enerji emilimi sağladığını gözlemlemişlerdir (Basri vd., 2022).

Cui ve çalışma arkadaşları, çok katlı yapılarda betonarme çekirdek kullanımı yerine sönümleme ve yatay rijitlik sağlayan ÇLPD kullanımı hakkında araştırma sunmuşlardır. Yeni yapısal sistemin yüksek katlı binalardaki uygulama gereksinimleri için iki adet tam ölçekli ÇLPD numunesinin düşük döngüsel yükleme testlerini yapmışlardır. Numunelerin; taşıma kapasitesi, süneklik, rijitlik ve enerji yayma kapasitesilerini sonlu elemanlar analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde ettikleri sonuçlarda yüksek yük taşıma kapasitesine sahip önerilen ÇLPD'lerin, süneklik ve enerji yayma kapasitesinde mükemmel performans gösterdiğini gözlemlemişlerdir (Cui vd., 2022).

Du ve çalışma arkadaşları, ÇLPD'lerdeki tasarım konseptinden bahsetmişler ve yapısı gereği enerji emmeye çalışırken plastik, çerçeve geri yükleme kuvvetini sağlarken elastik davranan ÇLPD'lerde sismik kuvvet sonrası güçlendirme yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Sismik güçlendirme için etkili bir yöntem olan hasarlı çelik levhalara ek nervürlerin takılmasıyla yapının rijitlik ve taşıma kapasitesi kaybını telafi edebileceğini öngörmüşlerdir. Eğik nervürler kullanılarak onarılan ÇLPD'lerin performansını incelemek için bir numune tasarlamışlar ve yüke tâbi tutmuşlardır. Deneysel sonuçlarla çelik levhaların kalıcı deformasyonunun, levha gerilmesindeki artışla birlikte ek nervürler takılarak ortadan kaldırılabileceğini ortaya koymuşlardır. Ek olarak nervür aralığının, çelik levhanın çekme alanı mekanizmasını ve sınır kolonun deformasyonunu etkilediğini saptamışlardır (Du vd., 2022).

Ebadi-Jamkhaneh ve Kontoni, ÇLPD sisteminin yeni bir formu olan kompozit çelik levha perde duvarı (CSPSW) araştırmışlardır. Dolgu levhanın bir veya her iki tarafında fiber

takviyeli polimer (FRP) bulunan bu sistemin avantajlarını; hafiflik, yüksek enerji emilimi ve düşük yer işgali olarak sıralamışlardır. 16 sayısal model üzerinde karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) levhanın yüzey kaplama sayısı ve fiber oryantasyonu gibi çeşitli parametreleri göz önünde bulundurarak sistemin döngüsel yükleme altındaki davranışını incelemişlerdir. Sayısal sonlu eleman sonuçlarına göre CFRP levhaların kullanıldığı sistemlerde güçlendirme yapılmamış modellere kıyasla akma dayanımı ve yanal yük taşıma kapasitesinin arttığını gözlemlemişlerdir (Ebadi-Jamkhaneh ve Kontoni, 2022).

Gürbüz ve Kazaz, literatürde yapılan önceki çalışmalarda ÇLPD ile ilgili önceki çalışmalarda; levha en boy oranı, kolon esneklik parametresi, sınır çerçeve kolonları üzerindeki eksenel yük oranı, levha kalınlığı ve sınır elemanlarının rijitliği gibi tasarım parametrelerinin sadece birkaçının etkileşimli etkisini incelemeye çalıştığını belirtmişlerdir. Bu makalede ise tüm bu parametrelerin etkisini aynı çerçevede incelemişlerdir. Belirli parametreler için tasarlanmış ve rijit giriş-kolon bağlantılı 292 adet 3 katlı ÇLPD'nin sonlu eleman modelleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. ÇLPD'nin tatmin edici kolon performansı, öteleme kapasitesi ve çerçeve-levha arasında dayanım dağılımı için bir kolon esneklik faktörü önermişlerdir. Genel olarak bu çalışma ile tasarımda çeşitli parametrelerin en uygun kombinasyonunu belirlemek için ÇLPD'nin davranışına kapsamlı bir bakış sağlamışlardır (Gürbüz ve Kazaz, 2022a).

Gürbüz ve Kazaz, literatürde yapılan önceki çalışmalarda ÇLPD'nin göçme davranışı ile ötelenme tasarım parametreleri arasındaki ilişkinin aynı çerçevede ele alınmadığından bahsetmişler. Bu çalışmada kolon esneklik parametresi, sınır kolonlar üzerindeki eksenel yük seviyesi, kolon-giriş rijitlik oranı, levha kalınlığı ve levha en boy oranı gibi tasarım parametrelerinin levha kesme deformasyonu ve göçme modları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Tasarım parametreleri kullanılarak ÇLPD'nin nihai ötelenme oranını tahmin etmek için de bir formül geliştirmişlerdir (Gürbüz ve Kazaz, 2022b).

Hamed ve çalışma arkadaşları, rijitleştirilmemiş ÇLPD'lerin düşük kesme yüklerinde erken burkulma yaşadığından ve bu nedenle elde edilen histerik eğrilerde sıkışma meydana gelerek yayılan sismik enerji miktarını önemli ölçüde azalttığından bahsetmişlerdir. Bu sorunu ele almak için bu makalede farklı yükleme koşulları dikkate alınarak berkitilmemiş ÇLPD'lerin performansını optimize etmeyi ve ek burkulma önleyici levhalara gerek

kalmadan basit bir konfigürasyonla optimize edilmiş bir ÇLPD elde etmeyi amaçlamışlardır. Sonlu eleman modelleri ve optimizasyon prosedürleri ile doğruladıktan sonra elde ettikleri değerlerden nihai bir konfigürasyon önermişlerdir. Son olarak berkitilmemiş optimize ÇLPD'lerle donatılmış iki adet 5 katlı bina çerçeve sisteminin performanslarını analiz etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara dayanarak tanıtılan optimize edilmiş ÇLPD performansının, tüm durumlarda halka şekilli ÇLPD'ye kıyasla arttığı ve bu tip ÇLPD'ye güvenilir bir alternatif olabileceği sonucuna varmışlardır (Hamed vd., 2022).

He ve çalışma arkadaşları, ÇLPD'lerin performansını analiz etmek için basit ve birleşik şerit modeli kullanmışlardır. Ayrıca çelik çerçeveyi 5, 10 ve 20 kat için optimize etmek için bir genetik algoritma kurmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlarda boyut optimizasyonunun çelik çerçeve ağırlığına ve katlar arası öteleme oranlarına olan etkisinden bahsetmişlerdir (He vd., 2022).

Kordbegli ve çalışma arkadaşları, halka şekilli kendinden merkezli ÇLPD'lerin (RSSC-SPSW) deneysel ve sayısal çalışmaları üzerinde durmuşlardır. Dolgu levhası kalınlığını, topolojisini ve çelik tipini döngüsel olarak değiştirerek 23 sayısal modeli simüle etmişlerdir. Analiz sonuçlarında RSSC-SPSW örneğinin daha yüksek enerji dağılımı ve kuvvet sağladığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca artan dolgu levhası kalınlığına rağmen numunenin kendi kendine merkezleme davranışını koruduğunu belirtmişlerdir (Kordbegli vd., 2022).

Liqiang ve çalışma arkadaşları, ardgermeli ÇLPD'lerin kolonlarda neden olduğu yüksek gerilimi azaltmak için, kolonlara kısmen kaynaklı ÇLPD'ler (PC-SPSW) önermişlerdir. Ancak bu sistemin sismik performansı hakkında sınırlı sayıda araştırma yapıldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada ÇLPD'li on katlı bir binanın tasarım sürecini tanıtmak, PC-SPSW bulunan bir binanın tasarım yöntemini doğrulamak ve ardgerme ile tüm yapının sismik tepkisini değerlendirmek için sarsma tablası deneyleri yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda, eşdeğer tasarım ilkesinin etkili olduğunu ve PC-SPSW ile tasarlanan prototip binasının hem statik hem de dinamik özelliklerde ÇLPD ile tutarlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Ek olarak PC-SPSW sisteminin yüksek deprem yoğunluklu bölgelerde uygulanmasının muhtemel olduğunu öngörmüşlerdir (Liqiang vd., 2022).

Liu ve çalışma arkadaşları, kendinden merkezli enerji yayılım çaprazları (SF-SCSPSW) yapısına sahip çelik perde-çerçeve sisteminin performans gerekliliklerini özetlemişler ve yapı için doğrudan yer değiştirmeye dayalı sismik tasarım yöntemini sunmuşlardır. Sistemi simüle edip deneysel sonuçları karşılaştırarak, modelin döngüsel yükleme altındaki mukavemetini ve histerik davranışını doğru bir şekilde tahmin edebildiğini göstermişlerdir. Bununla birlikte doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarına göre alt katlarda daha büyük katlar arası deformasyonların meydana geldiğini ve kat sayısı arttıkça katlar arası oranların giderek azaldığını belirtmişlerdir (Liu vd., 2022).

Mamazizi ve çalışma arkadaşları, kiriş bağlantılı gövde levhaya sahip ÇLPD'leri (B-SPSW) göz önünde bulundurmışlardır. Bu kurulumları araştırırken sağlam analitik modeller oluşturmanın öneminden bahsetmişler ve çalışma kapsamında B-SPSW'ler için modifiye edilmiş bir levha çerçeve etkileşim yöntemi (MPFI) önermeyi amaç edinmişlerdir. Ek olarak belirtilen sistemde daha kalın levhaları test etmek için burkulma durumlarını iyice araştırmışlardır. Bu sistemler için çeşitli pratik kullanımları göstermek adına sayısal örnekler yapmışlardır. Elde ettikleri gözlemlere göre MPFI'nın, vaka çalışmalarının gücünü ve rijitliğini doğru bir şekilde tahmin ettiğini, aynı zamanda MPFI diyagramları ile sayısal eğrileri arasında önemli örtüşmeler bulunduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bununla birlikte kalın dolgu levhaların kullanılmasının, çerçevedeki plastik mafsalların erken oluşumuna neden olduğunu ve dolayısıyla kesme kapasitesinin azaldığını tespit etmişlerdir (Mamazizi vd., 2022).

Masoumi ve çalışma arkadaşları, yeni bir ÇLPD sisteminin sismik davranışını incelemişlerdir. Bu ÇLPD'yi, dolgu levhası olarak birbirine bağlanmış iki çapraz oluklu dolgu levhasından (2DCIP) ve sınır elemanı olarak tek bölmeli, tek katlı moment taşıyan çerçeveden oluşturmuşlardır. 2DCIP'li ÇLPD'nin davranışını, yeni ÇLPD'nin avantajlarını ve dezavantajlarını göstermek için bir katı dolgu levhası (SIP) ve bir oluklu dolgu levhası (CIP) ile karşılaştırmışlardır. Sonuçlara göre yeni ÇLPD'nin avantajlarını; kesme mukavemeti artışı (8 mm'den daha kalın dolgu levhalarda), enerji yayılımının artması, uygun bir tepki modifikasyon faktörü, kolona uygulanan kuvvetin azaltılması, dolgu levhasında burkulmanın sınırlandırılması ve direnç düşüşünün önlenmesi (CIP'de) olarak sıralamışlardır. Genel olarak yeni ÇLPD'nin SIP ve CIP'in neredeyse tüm avantajlarına sahip olduğuna vurgu yapmışlardır (Masoumi vd., 2022).

Moradnezhad ve çalışma arkadaşları, ÇLPD'ler için araştırmacılar tarafından kayda değer basitleştirmelerin gerçekleştirildiğini ancak uygulamada pratik bir yöntemin uygulanmasının hâlâ bir zorluk olarak kaldığından bahsetmişlerdir. Yaptıkları çalışmada ÇLPD'lerin doğrusal olmayan analizi için (1D) kafes elemanlarına dayalı basitleştirilmiş bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımda karmaşık sürekli (2D) elemanları, iki düşey eleman ve iki diyagonal çubuk ile değiştirmişlerdir. Bunun yanında takviyeli veya takviyesiz, açıklıklı veya açıklıksız farklı en-boy oranlarına sahip beş ÇLPD numunesi üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçları, önerilen yeni yaklaşımın verileri ve literatürdeki sayısal tahminlerle karşılaştırmışlardır. Önerdikleri yöntemin, ÇLPD'lerin doğrusal olmayan davranışını çok sınırlı hesaplama maliyeti ile tatmin edici doğrulukta tahmin edebildiğini gözlemlemişlerdir (Moradnezhad vd., 2022).

Nayel ve çalışma arkadaşları, ÇLPD'lerin önemli avantajlarının yanında muzdarip olduğu iki eksikliği göz önünde bulundurarak yeni bir tür yarı destekli ÇLPD önermişlerdir. Dolgu levhadan sınır kolonlara uygulanan büyük gerilmeler ve dolgu levhanın düşük elastik eğilme kapasitesi olan bahsettikleri bu iki eksikliği, levhayı ana çerçeveye doğrudan bağlamayarak gidermeye çalışmışlardır. Kat sayısı kadar yükleme modelleri araştırmışlar ve çalışmalarının sonucunda daha ekonomik bir sistem elde etmişlerdir. Üniform yükleme modeli altındaki yapıların üçgen yükleme modeli altındaki yapılara göre daha rijit tepki gösterdiğini belirten yazarlar, ek olarak önerilen sistemin analizi için ÇLPD'nin bir kafes elemanı ile değiştirildiği basit bir model önermişlerdir (Nayel vd., 2022).

Rao ve çalışma arkadaşları optimum boşluk oranını belirlemeye çalışmışlardır. Farklı şekil ve delik konumlarına sahip ÇLPD davranışlarını incelemişler; diyagonal, kısmen sıyrılmış ve tamamen sıyrılmış açıklıklar gibi üç konfigürasyonla karşılaştırmışlardır. Bir bina planının farklı kat yüksekliklerindeki periyodunu, yanal rijitliğini, yanal yer değiştirmelerini ve maksimum kat ötelenmelerini doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yaparak belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlar ve optimum açıklık konfigürasyonunda orta şerit ÇLPD sisteminin sismik yüklere karşı daha iyi performans gösterdiğini ve tam şerit ÇLPD sistemlerinin rüzgâr yüklerine karşı daha iyi bir davranış sergilediğini gözlemlemişlerdir (Rao vd., 2022).

Ridwan, delikli ÇLPD sistemlerin tasarımı üzerinde durmuştur. Üzerinde delikler bulunan levhanın, dolu levha tipine göre mukavemeti azaltıldığında daha küçük kolon ve kiriş boyutları gerektirdiğinden bahsetmiştir. Yaptığı çalışmada ÇLPD deliklerinin, levha diyagonal boyunca yerleştirme yöntemini kullanmıştır. Bu yaklaşımı, ÇLPD köşegeni boyunca dairesel, dikdörtgen ve altıgen delikler dahil olmak üzere delik modelinin üç varyasyonundan oluşturmuştur. Delikli ÇLPD çalışması ile; yük taşıma kapasitesi, üst yer değiştirme, histerik eğriler ve göçme modu açısından en etkili modeli elde etmeyi amaçlamıştır (Ridwan, 2022).

Sabouri-Ghomi ve çalışma arkadaşları, dikdörtgen açıklıklı çelik levha kesme panellerde açıklık kenarları etrafındaki güçlendiricilerin düzlem içi deformasyonunu incelemişlerdir. İlk olarak hesaplar için analitik formüller geliştirmişlerdir. İkinci olarak ise düzlem içi deformasyonu sınırlamak için açıklık etrafına ikinci bir güçlendirici yerleştirilmesini analitik olarak araştırmışlardır. Geliştirilen analitik denklemlerin, güçlendiricilerin düzlem içi deformasyonunu tahmin etmek için mühendisler tarafından kullanılabilceğinden bahsetmişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmaların sonunda ana güçlendiricilerin rol aldığı açıklık etrafındaki maksimum düzlem içi deformasyonunun, onlara dik olan ikincil güçlendiriciler eklendiğinde önemli ölçüde azaldığı sonucuna varmışlardır (Sabouri-Ghomi vd., 2022).

Seifiasl ve Asl, azaltılmış gövde kesitli kirişe sahip yeni bir ÇLPD önermişlerdir. Uzatılmış daire açıklığına sahip bir orta bağlantı kirişi içeren bu modelin; yapı hizmetlerini zemin bölgesi içinde entegre etme kolaylığı, kiriş-kolon bağlantılarına olan talebin azaltılması ve sünekliğin artırılması gibi avantajlarından bahsetmişlerdir. Bu sistemin yapısal performansını araştırmak için 1/3 ölçekli ürettikleri beş numuneye yarı statik döngüsel yükleme testi uygulamışlardır. Analiz sonuçlarında orta bağlantı kirişli numunelere sahip ÇLPD'nin kararlı histerik eğrilere sahip olduğunu ve taşıma kapasitesinde herhangi bir azalma olmaksızın %3 daha fazla ötelenme yaşadığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca deneysel sonuçları, doğrusal olmayan sonlu eleman modelleri ile doğrulamışlardır. Kiriş deliklerinin uygun boyutunu belirlemek için de bir parametrik çalışma ve tasarım algoritması önermişlerdir (Seifiasl ve Asl, 2022).

Shahzad ve çalışma arkadaşları, farklı dolgu levhaların sismik yapısal tepkilere nasıl katkıda bulunduğunu daha iyi anlamak için, farklı ÇLPD türleri üzerinde yürütülen araştırmalardan elde edilen bulguları sunmuşlardır. İlk aşamada döngüsel yükleme altında 1:1 ve 2:1 dolgu levha en boy oranlarına sahip farklı tipteki ÇLPD'leri ele almışlar, ikinci aşamada ise 3:4:2 en boy oranı ve 1:1 dolgu panele sahip 3 boyutlu çerçevelerin yakın alan yer hareketleri altında yapısal tepkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri enerji kaybı, hızlanma ve yatay ötelenme sonuçlarını karşılaştırmışlardır. 2:1 en boy oranıyla güçlendirilmiş ÇLPD'lerin, plastik davranışı %78 azaltırken yanal rijitliği %10 arttırdığını gözlemlemişlerdir (Shahzad vd., 2022).

Sharyatpanahi ve Bhowmick, rijitleştirilmiş kapı ve pencere boyutundaki açıklıklara sahip ÇLPD üzerine araştırmanın çok sınırlı olduğundan bahsetmişlerdir. Bu çalışmada ise dolgu levhasında kapı ve pencere boyutundaki açıklıklara sahip ÇLPD'lerin sismik performansını araştırmışlardır. Standart kapı ve pencere boyutlarındaki açıklıklara sahip iki çok katlı (3 ve 5 katlı) ÇLPD'yi AISC tasarım kılavuzu 20'nin yönergelerini izleyerek tasarlamışlardır. Sismik davranış olarak Kanada deprem yönetmeliğindeki tasarım spektrumu ile uyumlu 8 yer hareketi kullanmışlardır. Tasarlanan rijitleştiricilerin, dikdörtgen açıklıklar etrafındaki hem düzlem içi hem de düzlem dışı deformasyonları sınırlamadaki etkinliğini incelemişlerdir. Bunlara ek olarak rijitleştiricilerin ÇLPD sisteminde önerilen akma değerini değiştirip değiştirmediğini araştırmışlardır (Sharyatpanahi ve Bhowmick, 2022).

Shi ve çalışma arkadaşları, yatay ters çevrimli yükleme altındaki iki tip duvarın sismik davranışını incelemek için 6 tam ölçekli, soğuk şekillendirilmiş ÇLPD (CFS-SPSW) numunesi tasarlamışlardır. Her birinin üç numunesi olan soğuk şekillendirilmiş çelik merkez kaplamalı perde duvarı (CFS-C-SW) ve soğuk şekillendirilmiş çelik kabuk kılıflı perde duvarı (CFS-S-SW) teste tabii tutmuşlardır. Bu kapsamda göçme modları, histerik eğrileri, karakteristik değerleri, enerji dağıtma kapasitesi ve mukavemet kayıplarını analiz etmişlerdir. Test sonuçlarında iki tip duvarın da yüksek kesme kapasitesi ve kararlı mekanik davranış sergilediğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca her iki CFS-SPSW modelinin de kesme ve deformasyon kapasitesinin çeşitli yöntemlerle iyileştirilebileceğinden bahsetmişlerdir (Shi vd., 2022).

Tahai ve çalışma arkadaşları, Kalıcı Tektonik Yer Değiştirme (PTD) etkisine maruz kalan ÇLPD'lerin sismik talebini araştırmak için analitik bir çalışma sunmuşlardır. Orta ve yüksek katlı binalar için güvenilir yapı sistemlerinden biri olan ÇLPD çerçevelerinin 8, 13 ve 18 katlı modeller şeklindeki sismik davranışlarını doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Çalışmalarının sonunda PTD etkisinin varlığının, bu çalışmada tam olarak tartışılan çeşitli parametrelerle ilgili yapısal talepleri artırabileceği veya azaltabileceği sonucuna varmışlardır (Tahai vd., 2022).

Tan ve çalışma arkadaşları, ÇLPD'nin farklı burkulma sınırlamaları ile döngüsel kesme performansını incelemek için burkulma sınırlaması olan ve olmayan altı ÇLPD numunesini mafsallı çerçeve ile test etmişlerdir. Test sonuçlarında şapka kesitli çelik şeritlerin, gömülü çelik levhanın dışa doğru burkulma deformasyonunu önemli ölçüde azaltabildiğini ve taşıma kapasitesi ile sünekliği de iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir (Tan vd., 2022a).

Tan ve çalışma arkadaşları, ÇLPD'nin düzlem dışı deformasyonunu önemli ölçüde azaltan ve taşıma gücünü arttıran Soğuk Şekillendirilmiş Çelik (CFS) üzerinde durmuşlardır. CFS'nin ÇLPD üzerindeki etkisini araştırmak için bir sonlu eleman modeli geliştirmişler ve test sonuçlarını irdelemişlerdir. Çelik çubuk burkulma teorisi kullanılarak, CFS'nin ÇLPD üzerindeki burkulma ve sınırlandırılmış etkisi dikkate alınıp eşdeğer çapraz modelinin basitleştirilmiş bir analiz modelini önermişlerdir. Sonuçlara göre önerilen basitleştirilmiş analiz modelinin doğru ve tutarlı olduğunu gözlemlemişlerdir (Tan vd., 2022b).

Tan ve çalışma arkadaşları, düz duvar levhaları yerine oluklu duvar levhalarının kullanıldığı yeni bir oluklu ÇLPD (CoSPSW) sistemi üzerinde durmuşlardır. Bu yazıda kırılma fonksiyonlarını kullanarak CoSPSW'lerin sismik performansının ve kırılma fonksiyonlarının olasılıksal değerlendirilmesi üzerine bir çalışma sunmuşlardır. İlk olarak CoSPSW'lerin hasar ve ilgili onarım durumlarını deneysel verilerden oluşturmuşlar, ardından artımlı dinamik analizler uygulamışlardır. CoSPSW sisteminin sismik performans ve kırılma fonksiyonlarının elde edildiği, geleneksel ÇLPD'lerle karşılaştırıldığı kırılma fonksiyonları geliştirmişlerdir. Araştırma sonuçlarında ise CoSPSW sisteminin, ÇLPD'den daha düşük hasar potansiyeline ve daha iyi sismik performansa sahip olduğunu gözlemlemişlerdir (Tan vd., 2022c).



Tan ve çalışma arkadaşları beton dolgulu kare elik kolona (CFST) ait kiriş-kolon bağlantısının süneklik ve sismik performans gibi avantajlarından yararlanarak, burkulması nlenmiş LPD'nin sınır erevesi olarak kullanılmasını ele almışlardır. Hazırladıkları iki numuneyi yarı statik döngüsel yüklemeye tabii tutarak göçme modları ve histerik eğri grafiklerini analiz etmişlerdir. Elde ettikleri deney sonuçlarında apraz Şekilli burkulması nlenmiş güçlendiricilerin, elik levhanın düzlem dışı deformasyonunu önemli ölçüde azaltabileceğini ve LPD yapılarının taşıma kapasitesini iyileştirebileceğini gözlemlemişlerdir. Ek olarak yüksek binalarda çapraz güçlendiriciler tarafından burkulması nlenmiş LPD uygulamasını teşvik etmek için, kare CFST kolonlarının esneklik tasarım kurallarını önermişlerdir (Tan vd., 2022d).

Verma ve Sahoo, sabit düşey yüke ve kademeli olarak artan ters çevrimsel yanal yer değiştirmeye maruz kalmış döşeme levhasına sahip tek katlı, tek bölmeli bir LPD'nin deneysel araştırmasını ele almışlardır. Geleneksel indirgenmiş kiriş kesitlerine alternatif olarak kiriş-kolon birleşim yerinin sünek olarak detaylandırmasını önermişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda test numunesinin, yanal mukavemette önemli bir azalma olmaksızın %5,5'e kadar kat ötelenmesine kararlı bir histerik davranış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Önerilen bağlantının LPD numunesine istenen mafsal mekanizmasını ve yüksek sünekliği sağladığımı belirtmişlerdir. Ek olarak, yanal yüklere dayanım kapasitelerini ve göçme modlarını tahmin etmek için kompozit levhalı ve kompozit levhasız LPD sistemlerinin sayısal analizlerini yapmışlardır. Döşeme levhası kullanımının, LPD düşey sınır elemanları üzerindeki eksenel yük talebini ve yatay sınır elemanları üzerindeki kesme deformasyon talebini artırdığımı ileri sürmüşlerdir (Verma ve Sahoo, 2022a).

Verma ve Sahoo, literatürde bulunan ereve yksekliliğinin artmasına karşın dar LPD kullanımının ekonomik olmadığı ve daha geniş muadillerinden daha düşük sismik davranış göstermesi hakkındaki çalışmalardan bahsetmişlerdir. Bu makalede ise FEMA P695 metodolojisi kullanarak 3, 6 ve 9 katlı LPD sistemlerinin sismik çökme performansını değerlendirip bir LPD sistemi için sınırlayıcı en boy oranları önermişlerdir. Bu amaçla doğrusal olmayan modeller geliştirmişler ve geçmiş yarı statik deneysel sonuçlarla doğrulamışlardır (Verma ve Sahoo, 2022b).

Xu ve çalışma arkadaşları geleneksel kaynak işleminin, levhanın inceliği nedeniyle ciddi kaynak deformasyonlarına yol açabileceğini göz önünde bulundurmışlardır. Güçlendiricilerin ve ÇLPD'lerin bir bütün olarak eğilmesini ve kaynak sayısının üçten ikiye düşürülmesini sağlamak için yeni bir kaynak işlemi önermişlerdir. Dört tam ölçekli numuneler üzerinde düşük devirli karşılıklı yük testleri uygulayarak; kesme kırılma modeli, histerezis özellikleri ve yük taşıma kapasitelerini incelemişlerdir. Düşey takviyede kullanılan yeni kaynak işleminin kesme kapasitesi gereksinimlerini karşılayabildiğini belirtmişlerdir. Elde ettikleri analiz sonuçlarında çerçevenin yanal rijitliğinin ve duvarın genişlik-yükseklik oranının, ÇLPD'lerin yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilediğini gözlemlemişlerdir (Xu vd., 2022).

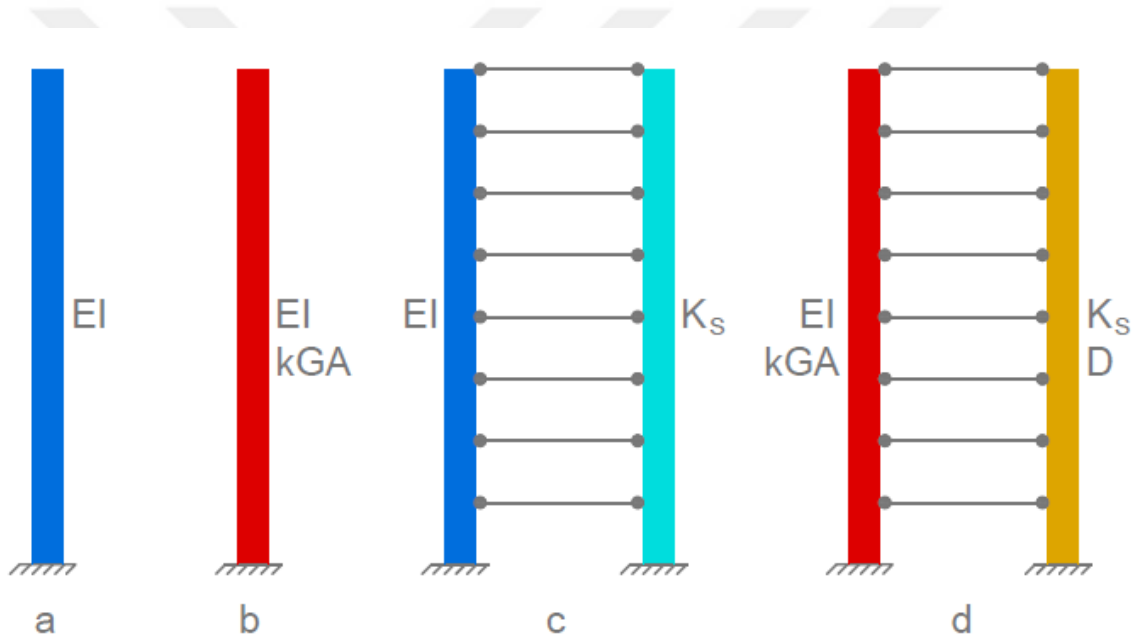
Yu ve çalışma arkadaşları, kaynaklı eğik takviyelerle onarılan iki adet tek açıklıklı iki katlı ÇLPD numunesinin yapısal davranışını araştırmak için iki aşamalı deneysel bir çalışma yapmışlardır. İlk aşamada deprem etkisi altındaki hasarı simüle etmek için numuneleri yarı statik bir yüke maruz bırakmışlardır. Daha sonra levhalarında oluşan hasarı onarmışlar ve kaynaklı eğik takviyelerle güçlendirmişlerdir. Onarılmış ve hasarlı ÇLPD numunelerini, ikinci aşamadaki onarım yönteminin etkinliğini değerlendirmek için döngüsel yüke tâbi tutmuşlardır. İki ÇLPD numunesini sismik performans, başlangıç rijitliği, taşıma kapasitesi, enerji yayma kapasitesi ve düzlem dışı deformasyon açısından karşılaştırmışlardır. Test sonuçlarına göre eğik takviyenin montajından sonra düzlem dışı deformasyonlarının etkili bir şekilde sınırlandırıldığını gözlemlemişlerdir (Yu vd., 2022).

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Sürekli Sistem Hesap Modeli

Yapıların konsol kiriş olarak idealleştirilmesine dayanan sürekli sistem hesap modeli, yapıların statik, dinamik ve stabilite analizlerinde kullanılan yöntemlerden biridir. Sürekli sistem hesap modelinde yapılar, taşıyıcı sistem türüne ve eksenel yer değiştirmelerin önemine bağlı olarak eşdeğer eğilme kirişi, kayma kirişi, eğilme-kayma kirişi, Timoshenko kirişi ve sandviç kiriş olarak idealleştirilebilir.



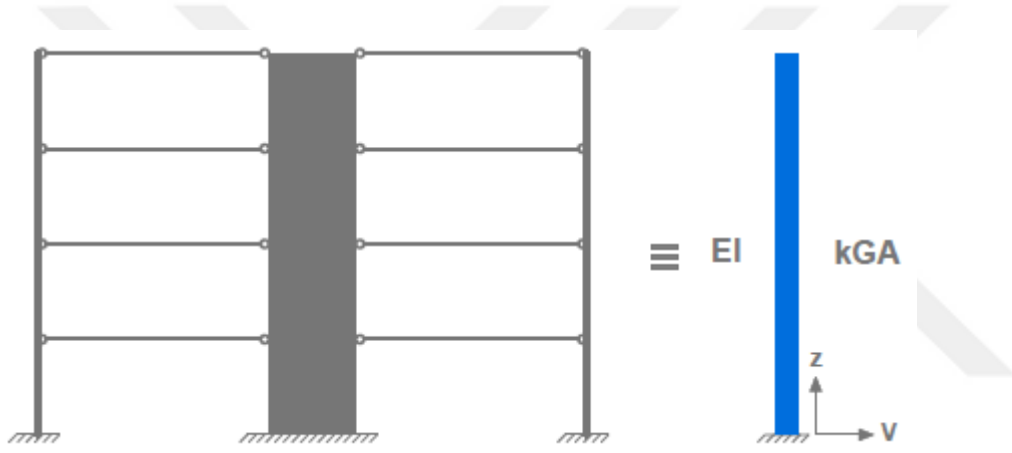
Şekil 3. Sürekli sistem hesap modelinde kullanılan eşdeğer kiriş modelleri a) Euler-Bernoulli kirişi b) Timoshenko kirişi c) Csonka kirişi d) Sandviç kiriş  
(Potzta ve Kollár, 2003; Bozdoğan, 2010)

Burada ankastre kirişler, sistemlerin davranış şekillerine göre birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Örneğin a modeli eğilme kirişini, b modeli Timoshenko kirişini ve c modeli iki ayrı kirişte eğilme-kayma davranışını ifade etmektedir. d modeli ise iki Timoshenko kirişinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş sandviç modeli tanımlamaktadır. Ayrıca c ve d modellerinde ankastre kirişleri bağlayan iki ucu mafsallı bağlantılar da rijit döşemeleri temsil etmektedir.

Taşıyıcı sistem davranışına göre uygun idealize yöntemi seçilerek hesap kolaylığı sağlanabilmektedir. Bu tez kapsamında ÇLPD sistemlerin çözümü için Timoshenko kirişi ve sandviç kiriş hesap modelleri önerilmiştir.

### 3.1.1. Timoshenko Kiriş Modeli

Literatürde binaların eşdeğer Timoshenko kirişleri olarak modellenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda Timoshenko kiriş modelinin düzenli binaların analizi ve tanımlanması için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bu başlık altında yalnızca ÇLPD sistemli binalar, eşdeğer bir Timoshenko kirişi olarak Şekil 4'teki gibi modellenmiştir.



Şekil 4. Timoshenko kirişi olarak idealleştirilmiş ÇLPD yapısı

Literatüre göre Şekil 4'te gösterilen Timoshenko modelinin diferansiyel denklemi aşağıdaki gibi yazılmıştır (Güngör ve Bozdoğan, 2021).

$$(EI) \frac{\partial^4 V_b}{\partial z^4} + \rho A \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = 0 \quad (3.1)$$

$$(kGA) \frac{\partial^2 V_s}{\partial z^2} - \rho A \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = 0 \quad (3.2)$$

Burada  $V_b$  eğilme nedeniyle yanal yer değiştirme,  $V_s$  kesme nedeniyle yanal yer değiştirme,  $V$  toplam yanal yer değiştirme,  $z$  yapı düşey eksenini boyunca uzanan eksen,  $(EI)$  Timoshenko kirişinin eşdeğer eğilme rijitliği,  $\rho$  birim hacim ağırlığı,  $A$  kesit alanı ve  $(kGA)$  eşdeğer kesme rijitliğidir. Toplam yanal yer değiştirme, eğilme ve kesme ile meydana gelen yanal yer değiştirmenin toplamıdır ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$V = V_b + V_s \quad (3.3)$$

Timoshenko kiriş teorisinde kesme kuvveti aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$(EI) \frac{\partial^3 V_b}{\partial z^3} = -(kGA) \frac{\partial V_s}{\partial z} \quad (3.4)$$

Denklem 3.5 harmonik titreşim varsayımı ile yazılabilir. Burada  $\omega$  açısal frekanstır.

$$V(z, t) = y(z) * e^{i\omega t} \quad V_b(z, t) = y_b(z) * e^{i\omega t} \quad V_s(z, t) = y_s(z) * e^{i\omega t} \quad (3.5)$$

3.1, 3.2 ve 3.4 kısmi diferansiyel denklemlerinde Denklem 3.5 uygulanırsa 3.6, 3.7 ve 3.8 adi diferansiyel denklemleri elde edilir (Güngör ve Bozdoğan, 2021).

$$(EI) \frac{d^4 y_b}{dz^4} - \rho A \omega^2 y = 0 \quad (3.6)$$

$$(kGA) \frac{d^2 y_s}{dz^2} + \rho A \omega^2 y = 0 \quad (3.7)$$

$$(EI) \frac{d^3 y_b}{dz^3} = -(kGA) \frac{d y_s}{dz} \quad (3.8)$$

Denklem 3.3'e benzer olarak Denklem 3.9 yazılabilir.

$$y = y_b + y_s \quad (3.9)$$

Denklem 3.9, Denklem 3.6'daki diferansiyel denklemde yerine yerleştirilirse Denklem 3.10 diferansiyel denklemi elde edilir.

$$(EI) \left[ \frac{d^4 y}{dz^4} - \frac{d^4 y_s}{dz^4} \right] - \rho A \omega^2 y = 0 \quad (3.10)$$

Denklem 3.7 denklemi ile verilen diferansiyel denklem  $z$ 'ye göre iki kez türetilirse Denklem 3.11 elde edilir.

$$(kGA) \frac{d^4 y_s}{dz^4} + \rho A \omega^2 \frac{d^2 y}{dz^2} = 0 \quad (3.11)$$

Denklem 3.11 kullanılarak Denklem 3.12 elde edilir.

$$\frac{d^4 y_s}{dz^4} = - \frac{\rho A \omega^2}{(kGA)} \frac{d^2 y}{dz^2} \quad (3.12)$$

Denklem 3.12 bağıntısı Denklem 3.10'da yerine yazılırsa, Denklem 3.13 elde edilir.

$$(EI) \left[ \frac{d^4 y}{dz^4} + \frac{\rho A \omega^2}{(kGA)} \frac{d^2 y}{dz^2} \right] - \rho A \omega^2 y = 0 \quad (3.13)$$

Denklem 3.13'te verilen diferansiyel denklemin her iki tarafı (EI)'ya bölünürse Denklem 3.14 yazılır.

$$\frac{d^4 y}{dz^4} + \frac{\rho A \omega^2}{(kGA)} \frac{d^2 y}{dz^2} - \frac{\rho A \omega^2}{(EI)} y = 0 \quad (3.14)$$

3.14'te verilen lineer dördüncü mertebeden adi diferansiyel denklemin çözülebilmesi için 4 tane sınır koşuluna ihtiyaç duyulmaktadır. Denklem 3.14'ün sınır koşulları:

- a) Tabanda eğilme nedeniyle yer değiştirme sıfırdır.
- b) Taban seviyesinde eğilmeden kaynaklı dönme sıfırdır.
- c) Yapının tepe noktasında eğilme momenti sıfırdır.
- d) Yapının tepe noktasında kesme kuvveti sıfırdır.

Bu ifadeler aşağıda matematiksel olarak listelenmiştir.

$$y(0) = 0 \quad (3.15)$$

$$\frac{dy_b}{dz} = 0 \quad (3.16)$$

$$z = H \text{ için; } (EI) \frac{d^2 y_b}{dz^2} = 0 \quad (3.17)$$

$$z = H \text{ için; } (EI) \frac{d^3 y_b}{dz^3} = 0 \quad (3.18)$$

Denklem 3.16, 3.17 ve 3.18'de gerekli düzeltmeler yapılırsa Denklem 3.19, 3.20 ve 3.21 elde edilir.

$$z = 0 \text{ için; } \frac{dy}{dz} + \frac{(EI)}{(kGA)} \left[ \frac{d^3 y}{dz^3} + \frac{\rho A \omega^2}{(kGA)} \frac{dy}{dz} \right] = 0 \quad (3.19)$$

$$z = H \text{ için; } (EI) \left[ \frac{d^2 y}{dz^2} + \frac{\rho A \omega^2 y}{(kGA)} \right] \quad (3.20)$$

$$z = H \text{ için; } (EI) \left[ \frac{d^3 y}{dz^3} + \frac{\rho A \omega^2}{(kGA)} \frac{dy}{dz} \right] = 0 \quad (3.21)$$

Analizlerde çözümün daha kolay yapılabilmesi için verilen denklemleri boyutsuz hale getirmek için aşağıdaki dönüşüm yapılabilir.

$$\varepsilon = \frac{z}{H} \quad (3.22)$$

Denklem 3.14'te Denklem 3.22 dönüşümü uygulanırsa Denklem 3.23 elde edilir.

$$\frac{1}{H^4} \frac{d^4 y}{d\varepsilon^4} + \frac{1}{H^2} \frac{\rho A \omega^2}{(kGA)} \frac{d^2 y}{d\varepsilon^2} - \frac{\rho A \omega^2}{(EI)} y = 0 \quad (3.23)$$

Denklem 3.23 diferansiyel denklemin her iki tarafı  $H^4$  ile çarpılırsa, Denklem 3.24 diferansiyel denklemi elde edilir.

$$\frac{d^4 y}{d\varepsilon^4} + H^2 \frac{\rho A \omega^2}{(kGA)} \frac{d^2 y}{d\varepsilon^2} - \frac{\rho A \omega^2 H^4}{(EI)} y = 0 \quad (3.24)$$

Denklem 3.24'te gerekli düzenleme yapılırsa Denklem 3.25 diferansiyel denklemi aşağıdaki gibi yazılır (Güngör ve Bozdoğan, 2021).

$$\frac{d^4 y}{d\varepsilon^4} + \frac{(EI)}{(kGA)H^2} \frac{\rho A \omega^2 H^4}{(EI)} \frac{d^2 y}{d\varepsilon^2} - \frac{\rho A \omega^2 H^4}{(EI)} y = 0 \quad (3.25)$$

Denklem 3.25 diferansiyel denklemindeki katsayılara boyutsuz parametreler atanırsa, Denklem 3.26 diferansiyel denklemini yazılır.

$$\frac{d^4 y}{d\varepsilon^4} + r^2 a \frac{d^2 y}{d\varepsilon^2} - ay = 0 \quad (3.26)$$

$r^2$  ve  $a$ , Denklem 3.26'daki diferansiyel denklemin boyutsuz parametreleridir ve aşağıdaki Denklem 3.27 ve Denklem 3.28 ile tanımlanır.

$$r^2 = \frac{(EI)}{(kGA)H^2} \quad (3.27)$$

$$a = \frac{\rho A \omega^2 H^4}{(EI)} \quad (3.28)$$

Benzer şekilde, Denklem 3.15'teki sınır koşulu Denklem 3.28 ile boyutsuz olarak yazılabilir.

$$y(0) = 0 \quad (3.29)$$

Denklem 3.19'daki sınır koşulu Denklem 3.22'de verilen dönüşüm yardımıyla, Denklem 3.30'daki gibi boyutsuz biçimde yazılabilir.

$$\varepsilon = 0 \text{ için; } \left[ 1 + \frac{(EI)^2}{H^4 (kGA)^2} \frac{\rho A \omega^2 H^4}{(EI)} \right] \frac{dy}{d\varepsilon} + \frac{(EI)}{(kGA)H^2} \frac{d^3 y}{d\varepsilon^3} = 0 \quad (3.30)$$

Denklem 3.27 ve 3.28 bağıntılarıyla verilen boyutsuz parametreler Denklem 3.30'da yerlerine yazılırsa Denklem 3.31 elde edilir.

$$\varepsilon = 0 \text{ için; } [1 + r^4 a] \frac{dy}{d\varepsilon} + r^2 \frac{d^3 y}{d\varepsilon^3} = 0 \quad (3.31)$$

Denklem 3.20 ile verilen sınır koşulu Denklem 3.22'de verilen dönüşüm ile boyutsuz halde olarak aşağıdaki gibi yazılır:

$$\varepsilon = 1 \text{ için; } \frac{d^2 y}{d\varepsilon^2} + \frac{\rho A \omega^2}{(EI)} H^4 \frac{(EI)}{(kGA)H^2} y = 0 \quad (3.32)$$



Denklem 3.27 ve 3.28 ile verilen parametreler Denklem 3.32’de yazılırsa Denklem 3.33 elde edilir.

$$\varepsilon = 1 \text{ için; } \frac{d^2 y}{d\varepsilon^2} + r^2 a y = 0 \quad (3.33)$$

Denklem 3.21’de, Denklem 3.22’deki dönüşüm uygulanırsa Denklem 3.34 elde edilir.

$$\varepsilon = 1 \text{ için; } \frac{d^3 y}{d\varepsilon^3} + \frac{\rho A \omega^2}{(EI)} H^4 \frac{(EI)}{(kGA)H^2} \frac{dy}{d\varepsilon} = 0 \quad (3.34)$$

$$\varepsilon = 1 \text{ için; } \frac{d^3 y}{d\varepsilon^3} + r^2 a \frac{dy}{d\varepsilon} = 0 \quad (3.35)$$

Boyutsuz halde yazılan diferansiyel denklemin sınır koşullarına bağlı olarak çözümü için diferansiyel dönüşüm yöntemi uygulanmıştır.

Diferansiyel dönüşüm yöntemine göre  $y$  fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır (Rajasekaran, 2009):

$$y(\varepsilon) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\varepsilon^k}{k!} \left[ \frac{d^k y}{d\varepsilon^k} \right]_{\varepsilon=0} \quad (3.36)$$

Denklem 3.36 aşağıdaki gibi yazılabilir (Rajasekaran, 2009).

$$y(\varepsilon) = \sum_{k=0}^{\infty} \varepsilon^k Y[k] \quad (3.37)$$

Denklem 3.37’de yer alan  $Y[k]$  değeri aşağıda verilen Denklem 3.38 ile ifade edilebilir (Rajasekaran, 2009):

$$Y[k] = \frac{1}{k!} \left[ \frac{d^k y}{d\varepsilon^k} \right]_{\varepsilon=0} ; 0 \leq \varepsilon < 10 \quad (3.38)$$

Yukarıdaki denklemlere dayanarak dönüşüm fonksiyonu, aşağıda verilen Denklem 3.39 ile ifade edilir (Rajasekaran, 2009).

$$DT(\varepsilon^\alpha y^\beta) = \left[ \prod_{i=1}^{\beta} (k - \alpha + i) \right] Y(k - \alpha + \beta) \quad (3.39)$$

Burada  $y$  aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$y^\beta = \frac{d^\beta y}{d\varepsilon^\beta} \quad (3.40)$$

Denklem 3.26 diferansiyel denklemine, Denklem 3.39 ile verilen dönüşüm uygulanırsa Denklem 3.41 elde edilir.

$$Y[k + 4] = \frac{-r^2 a Y[k+2]}{(k+4)(k+3)} + \frac{a Y[k]}{(k+4)(k+3)(k+2)(k+1)} \quad (3.41)$$

Benzer şekilde 3.29, 3.31, 3.33 ve 3.35 numaralı denklemlere diferansiyel dönüşüm uygulanırsa 3.42, 3.43, 3.44 ve 3.45 numaralı denklemler elde edilir.

$$Y[0] = 0 \quad (3.42)$$

$$Y[3] = \frac{-(1+r^4)Y[1]}{6r^2} \quad (3.43)$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} (k)(k-1) Y[k] + r^2 a \sum_{k=0}^{\infty} Y[k] = 0 \quad (3.44)$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} (k)(k-1)(k-2) Y[k] + r^2 a \sum_{k=0}^{\infty} Y[k] = 0 \quad (3.45)$$

$Y[1]$  ve  $Y[2]$  bilinmeyenler olarak seçilip diğer tüm  $Y$  değerleri Denklem 3.41 yardımıyla bunlar cinsinden yazılabilir. Bütün bu işlemlerden sonra Denklem 3.44 ve Denklem 3.45 matris formda aşağıda verilen Denklem 3.46 ile yazılabilir:

$$A \begin{Bmatrix} Y[1] \\ Y[2] \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.46)$$

Denklem 3.46’da verilen matris denklem, Denklem 3.47’de verildiği gibi açık bir şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} A(1,1) & A(1,2) \\ A(2,1) & A(2,2) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Y[1] \\ Y[2] \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.47)$$

Denklem 3.47’de verilen A matrisinin elemanları bilinmeyen  $\alpha$  değerlerinin bir fonksiyonudur. Denklem 3.47 matris denkleminin sıfırdan farklı çözümünün olabilmesi için A matrisinin determinanı sıfır olmalıdır. Determinanı sıfır yapan  $\alpha$  değerleri aranan çözümdür. Denklem 3.28’de yer alan açılal frekans yerine periyot yazılırsa Denklem 3.48 elde edilir.

$$a = \frac{4\rho A\pi^2 H^4}{T^2(EI)} \quad (3.48)$$

Denklem 3.48 bağıntısı kullanılarak doğal titreşim periyodu aşağıdaki gibi bulunur:

$$T_i = \frac{2\pi}{a_i} H^2 \sqrt{\frac{\rho A}{EI}} = S_i H^2 \sqrt{\frac{\rho A}{EI}} \quad (3.49)$$

Denklem 3.49’dan yararlanılarak Denklem 3.50 bağıntısı elde edilir.

$$S_i = \frac{2\pi}{a_i} \quad (3.50)$$

Bu çalışmada Denklem 3.50 bağıntısında yer alan S değerleri farklı  $r^2$  değerleri için Matlab programı yardımıyla hesaplanmış ve Şekil 5 ve Tablo 1’de sunulmuştur.

$\alpha_i$  değerleri hesaplandıktan sonra ilk olarak Denklem 3.41 ile Y katsayıları bulunur. Daha sonra Denklem 3.37 ile mod şekilleri elde edilebilir. Mod şekilleri elde edildikten sonra ise modal katılım faktörü etkin kütle oranı gibi parametreler bulunabilir.

Ayrık (topaklanmış) kütle hesap modelinde kütlelerin kat seviyelerinde toplandığı kabul edilirken, sürekli sistem hesap modelinde kütlelerin bina yüksekliği boyunca yayıldığı kabul edilir. Bu nedenle özellikle az katlı binalarda iki hesaplama modeli arasında önemli

farklılıklar bulunmaktadır. Sürekli sistem hesap modelinin toplu kütle sistem hesap modeline uyarlanması için kat sayısına göre değişen düzeltme katsayısı  $\mathcal{K}_i$  tanımlanmıştır. Buna göre doğal periyot değeri şu şekilde hesaplanabilir:

$$T_i = \frac{S_i H^2}{\mathcal{K}_i} \sqrt{\frac{\rho A}{EI}} \quad (3.51)$$

Düzeltilme faktörlerinin ( $\mathcal{K}_i$ ) hesaplanmasında SAP2000 kullanılmıştır. Bunun için farklı kat sayısına sahip yapıların SAP2000 ile ayırık (topaklanmış) ve yayılı kütle hesaplama modeli kullanılarak çözümü yapılmış, elde edilen sonuçlar üzerinden düzeltme faktörü tanımlanmıştır. İlk üç mod için düzeltme faktörleri Tablo 2’de verilmiştir. Dinamik analizin önemli parametrelerinden olan modal katılım faktörü ( $\Gamma$ ), aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir (Paz ve Kim, 2019):

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^n (m_j y_{ji})}{\sum_{j=1}^n (m_j y_{ji}^2)} \quad (3.52)$$

Etkin kütle oranı ( $em$ ), Denklem 3.53 (Paz ve Kim, 2019) kullanılarak hesaplanabilir. Burada  $M_t$  toplam bina kütleini temsil etmektedir.

$$em_i = \frac{1}{M_t} \frac{[\sum_{j=1}^n (m_j y_{ji})]^2}{\sum_{j=1}^n (m_j y_{ji}^2)} \quad (3.53)$$

İlk üç mod için etkin kütle oranları ( $em$ ) Şekil 6 ve Tablo 1’de sunulmuştur.  $i$ . mod için taban kesme kuvveti aşağıdaki denklem ile hesaplanır (Paz ve Kim, 2019):

$$V_{bi} = em_i * M_t * S_{ai} \quad (3.54)$$

Tepe noktası yer değiştirmesi aşağıdaki ise Denklem 3.55 ile hesaplanabilir (Paz ve Kim, 2019).

$$d_{maxi} = \Gamma_i y_i(1) S_{ai} = dep_i S_{ai} \quad (3.55)$$

Burada  $S_{ai}$  ve  $S_{di}$  sırasıyla spektral ivme ve spektral yer değiştirmeyi temsil eder ve  $i$ . mod için hesaplanır.

Farklı  $r^2$  değerleri için ilk üç moddaki dep değerleri hesaplanmış ve Şekil 7 ve Tablo 1'de sunulmuştur.

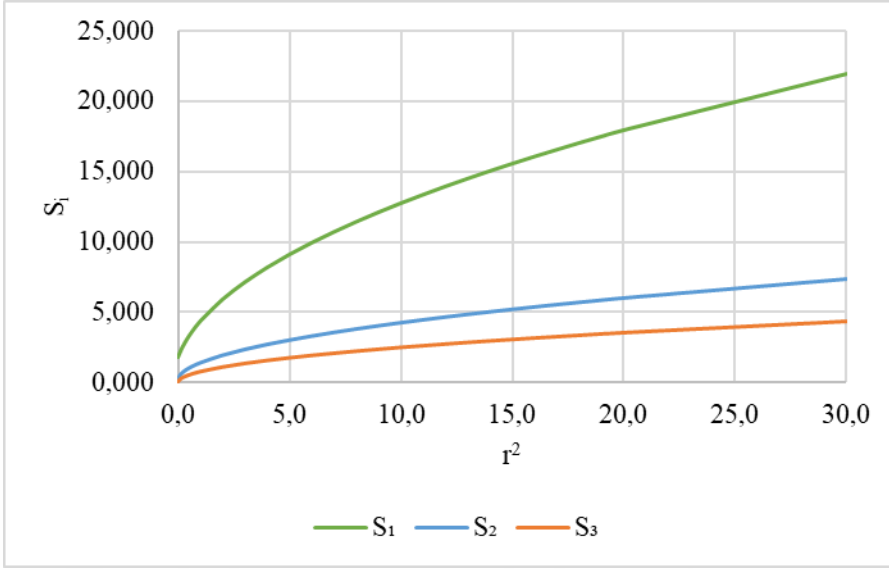
Görelı kat ötelemesi oranının maksimum yeri her modda farklıdır.  $j$ . modda görelı kat ötelemesinin maksimum olduğu yerde diğer modlardaki görelı kat ötelemesi oranları Denklem 3.56 kullanılarak hesaplanabilir.

$$dr_{ij} = \Gamma_i \frac{1}{H} \left( \frac{dy_i(\varepsilon_{jmax})}{d\varepsilon} \right) S_{di} = \frac{\beta_{ij}}{H} S_{di} \quad i = 1,2,3 \quad j = 1,2,3 \quad (3.56)$$

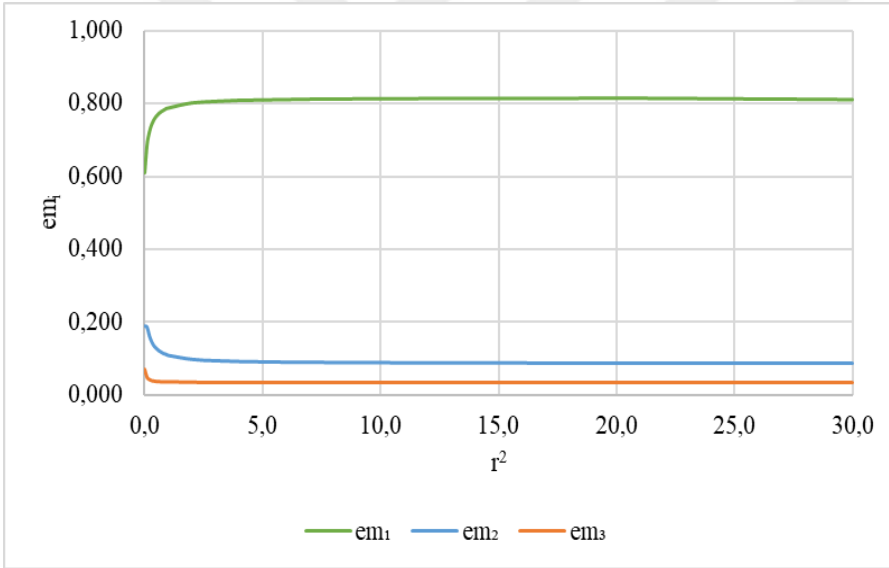
Bu çalışmada pratiklik açısından maksimum görelı kat ötelemesinin en büyük değerinin, birinci modda görelı kat ötelemesi oranının maksimum olduğu yerde gerçekteştiği kabul edilmiş olup birinci modun maksimum olduğu yer esas alınarak bulunan  $\beta_{i1}$  değerleri Denklem 3.56 kullanılarak hesaplanmış ve Şekil 8 ve Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1  
r<sup>2</sup> değerine göre dinamik katsayılar

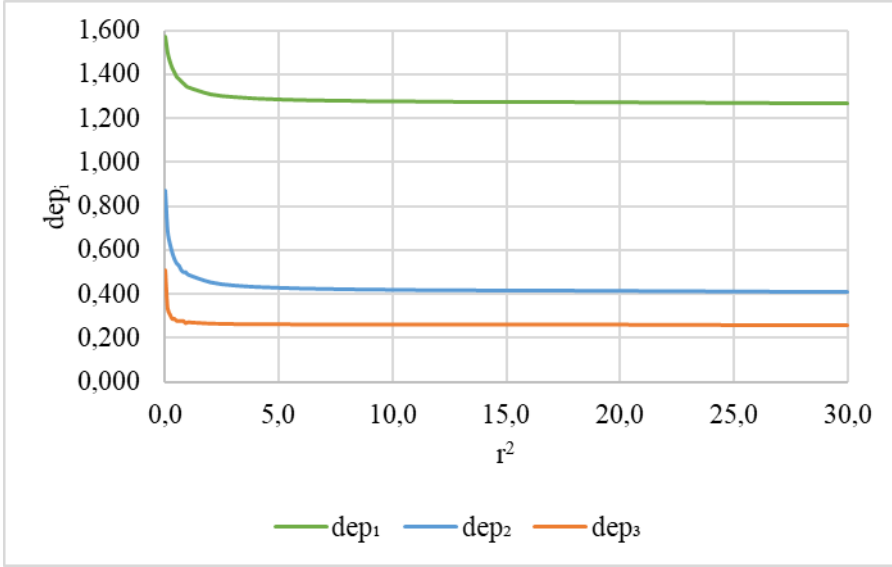
r <sup>2</sup>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	em <sub>1</sub>	em <sub>2</sub>	em <sub>3</sub>	dep <sub>1</sub>	dep <sub>2</sub>	dep <sub>3</sub>	β <sub>11</sub>	β <sub>21</sub>	β <sub>31</sub>
0,0	1,787	0,285	0,102	0,610	0,190	0,070	1,570	0,870	0,510	-	-	-
0,1	2,171	0,575	0,284	0,687	0,187	0,049	1,500	0,690	0,337	1,792	2,330	2,440
0,2	2,504	0,740	0,383	0,722	0,162	0,043	1,460	0,630	0,310	1,686	2,380	2,268
0,3	2,801	0,866	0,460	0,743	0,145	0,040	1,430	0,590	0,290	1,654	2,345	2,202
0,4	3,070	0,971	0,526	0,756	0,134	0,039	1,410	0,560	0,290	1,651	2,230	2,168
0,5	3,319	1,064	0,584	0,765	0,127	0,038	1,390	0,540	0,280	1,660	2,257	2,147
0,6	3,550	1,148	0,637	0,772	0,121	0,038	1,380	0,530	0,280	1,674	2,222	2,132
0,7	3,768	1,226	0,686	0,777	0,117	0,037	1,370	0,510	0,280	1,689	2,194	2,122
0,8	3,974	1,298	0,731	0,781	0,113	0,037	1,360	0,500	0,280	1,704	2,170	2,113
0,9	4,170	1,367	0,774	0,785	0,111	0,037	1,350	0,500	0,270	1,719	2,149	2,106
1,0	4,357	1,431	0,814	0,787	0,108	0,037	1,343	0,489	0,274	1,733	2,132	2,102
2,0	5,913	1,961	1,142	0,801	0,097	0,036	1,311	0,454	0,268	1,827	2,043	2,080
3,0	7,138	2,372	1,395	0,805	0,093	0,035	1,299	0,440	0,266	1,872	2,009	2,072
4,0	8,183	2,722	1,608	0,808	0,091	0,035	1,292	0,433	0,265	1,899	1,991	2,068
5,0	9,108	3,031	1,796	0,809	0,090	0,035	1,288	0,429	0,265	1,916	1,980	2,066
6,0	9,947	3,312	1,966	0,810	0,089	0,035	1,285	0,426	0,264	1,928	1,972	2,064
7,0	10,721	3,570	2,123	0,811	0,089	0,035	1,283	0,424	0,264	1,937	1,967	2,063
8,0	11,443	3,811	2,268	0,811	0,088	0,035	1,282	0,422	0,264	1,944	1,962	2,062
9,0	12,122	4,038	2,405	0,812	0,088	0,035	1,280	0,421	0,263	1,949	1,959	2,061
10,0	12,765	4,252	2,535	0,812	0,088	0,035	1,279	0,420	0,263	1,954	1,957	2,060
11,0	13,377	4,456	2,658	0,812	0,087	0,035	1,279	0,419	0,263	1,957	1,954	2,060
12,0	13,962	4,652	2,776	0,813	0,087	0,035	1,278	0,418	0,263	1,960	1,953	2,060
13,0	14,524	4,839	2,889	0,813	0,087	0,035	1,277	0,418	0,263	1,963	1,951	2,059
14,0	15,065	5,019	2,998	0,813	0,087	0,035	1,277	0,417	0,263	1,965	1,950	2,059
15,0	15,587	5,194	3,103	0,813	0,087	0,035	1,277	0,417	0,263	1,967	1,948	2,058
16,0	16,092	5,362	3,204	0,813	0,087	0,035	1,276	0,416	0,263	1,969	1,947	2,058
17,0	16,581	5,525	3,302	0,813	0,086	0,035	1,276	0,416	0,263	1,970	1,947	2,058
18,0	17,057	5,684	3,398	0,813	0,086	0,035	1,276	0,416	0,263	1,972	1,946	2,058
19,0	17,520	5,838	3,491	0,814	0,086	0,035	1,275	0,415	0,263	1,973	1,945	2,058
20,0	17,971	5,988	3,581	0,814	0,086	0,035	1,275	0,415	0,263	1,974	1,945	2,058
30,0	21,977	7,324	4,385	0,810	0,086	0,035	1,270	0,410	0,260	1,980	1,940	2,060



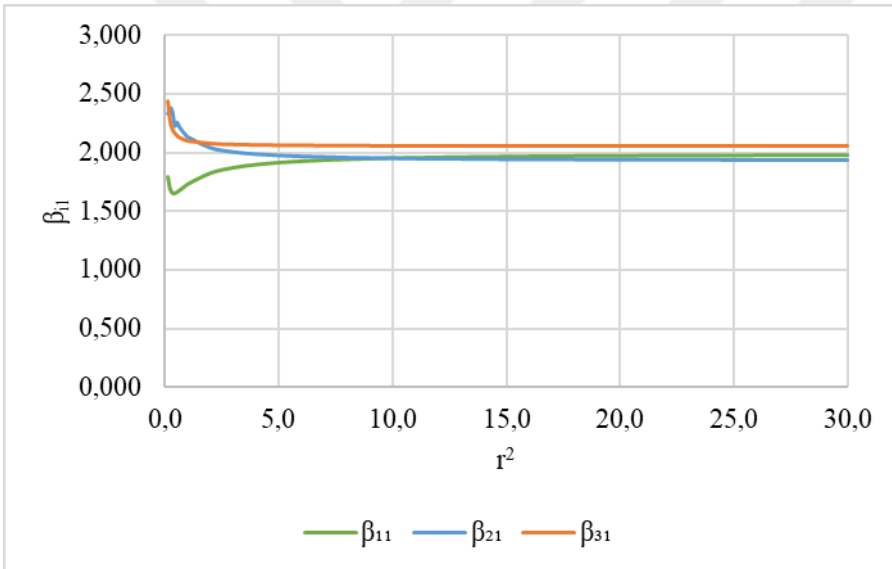
Şekil 5. İlk üç mod için S değerleri



Şekil 6. Etkin kütle oranı değerleri



Şekil 7. İlk üç mod için yer değiştirme değerleri



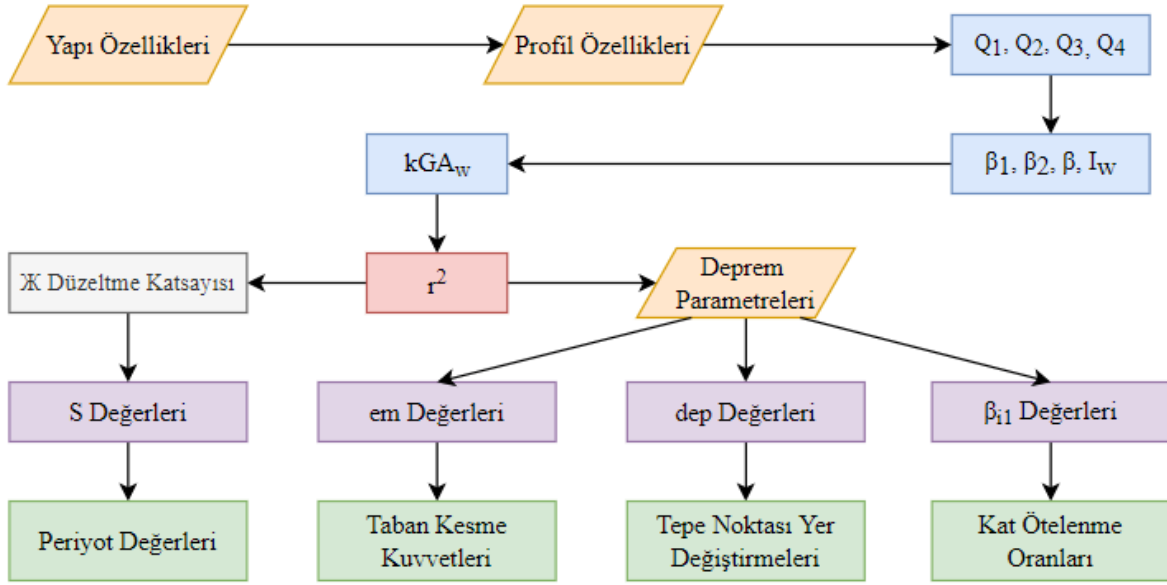
Şekil 8. İlk mod için  $\beta_{i1}$  değerleri



Tablo 2  
Üç mod şekli için  $\mathcal{K}_i$  düzeltme katsayıları

<b>Kat Adedi</b>	<b>1. Mod</b>	<b>2. Mod</b>	<b>3. Mod</b>
1	0,492	-	-
2	0,664	0,704	-
3	0,749	0,781	0,751
4	0,799	0,821	0,829
5	0,833	0,848	0,860
6	0,857	0,868	0,878
7	0,875	0,883	0,892
8	0,889	0,895	0,903
9	0,900	0,905	0,912
10	0,909	0,913	0,919
11	0,917	0,920	0,925
12	0,923	0,926	0,931
13	0,928	0,931	0,935
14	0,933	0,935	0,939
15	0,937	0,939	0,943
16	0,941	0,943	0,946
17	0,944	0,946	0,949
18	0,947	0,948	0,952
19	0,950	0,951	0,954
20	0,952	0,953	0,956
21	0,954	0,955	0,958
22	0,956	0,957	0,960
23	0,958	0,959	0,962
24	0,960	0,960	0,963
25	0,961	0,962	0,965
26	0,963	0,963	0,966
27	0,964	0,964	0,967
28	0,965	0,966	0,968
29	0,967	0,967	0,969
30	0,968	0,968	0,970

Bu bölümde verilen yöntemin işlem adımları Şekil 9’da bir akış şeması ile gösterilmiştir. Ayrıca sunulan bu yöntemin uygulanması için Python programlama dili ile hazırlanmış olan bir kod EK 1’de verilmiştir.



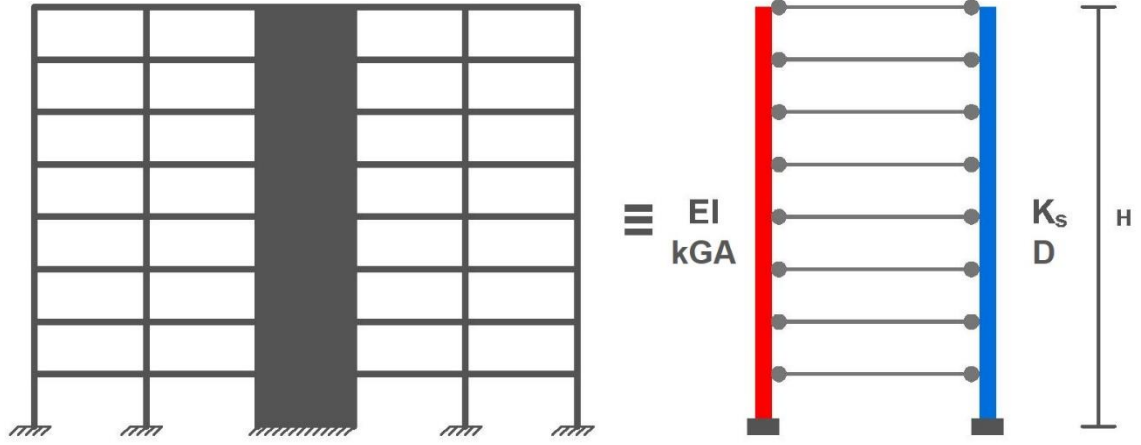
Şekil 9. Timoshenko kiriş modeli akış şeması

### 3.1.2. Sandviç Kiriş Modeli

Bu hesap yönteminde bina yüksekliği boyunca malzeme ve geometri özellikleri aynı olan ve taşıyıcı sistemi ÇLPD-çerçeve sistem olan binalar, sandviç kiriş modeli ile idealize edilmiştir. Modelin esaslı literatürden alınmış olup yöntemin ÇLPD sistemlere uygulanması için bazı değişiklikler yapılmıştır. Yöntemin geliştirilmesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Seçilen malzemenin lineer elastik davranış gösterdiği,
- Doğrusal olmayan geometrik etkilerin ihmal edilebilir olduğu,
- Kolon ve levha perdelerde kayma yer değiştirmelerinin çok küçük olmasından dolayı ihmal edilebilir olduğu,
- Kirişlerde kayma ve eksenel yer değiştirmelerinin çok küçük olmasından dolayı ihmal edilebilecek derecede olduğu,
- Yapı ve profil özelliklerinin, yapı yüksekliği boyunca her katta aynı olduğu,

f) Taşıyıcı yapı elemanlarının plan üzerinde simetrik yerleştirildiği ve yapı dikey eksenini boyunca oluşabilecek burulma etkilerinin ihmal edilebilir olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 10. Sandviç kiriş olarak idealleştirilmiş ÇLPD yapısı

Çelik levhalı perde-çerçeve sistem, sürekli sistem hesap modelinde eşdeğer bir sandviç kiriş olarak Şekil 10'daki gibi modellenmiştir. Burada baskın olarak eğilme tipi davranış gösteren perdeler ile baskın olarak kayma tipi davranış gösteren çerçeve sistem birer ankastre kirişi olarak ifade edilmiş ve bu iki kiriş döşemeleri temsil eden iki ucu mafsallı elemanlarla birleştirilmiştir. Eşdeğer bu sistemin diferansiyel denklemi aşağıda verilmiştir (Baikov ve Sigalov, 1981; Bozdoğan, Öztürk ve Nuhuğlu, 2005).

$$(EI) \frac{d^4 y}{dz^4} - K_s \frac{d^2 y}{dz^2} - \bar{m} \omega^2 \frac{d^2 y}{dt^2} = 0 \quad (3.57)$$

Denklem 3.57'de y yatay yer değiştirme fonksiyonunu, z bina dikey eksenini boyunca uzanan eksenini,  $\bar{m}$  yapı yüksekliği boyunca yayılı kütleyi,  $\omega$  ise açısal frekansı göstermektedir. EI eşdeğer eğilme rijitliğini ifade etmektedir ve levha perdeli sistemin eğilme rijitliği ile kolonların eğilme rijitliklerinin toplanmasıyla elde edilmektedir.  $K_s$  ise eşdeğer kayma rijitliği olarak tanımlanmaktadır ve hesaplanabilmesi için konuyla alakalı literatürde farklı bağıntılar verilmiştir (Baikov ve Sigalov, 1981; Bilyap, 1979; Ertutar ve Arısoy, 1994; Smith ve Crowe, 1986). Kayma rijitliğinin hesabındaki kiriş ve kolonlarda moment sıfır noktalarının ortada olduğu kabul edildiğinden verilen bağıntılar bir yaklaşıklık içermektedir.

Denklem 3.57 diferansiyel denklemi boyutsuz olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$\frac{d^4y}{d\varepsilon^4} - k^2 \frac{d^2y}{d\varepsilon^2} - \alpha y = 0 \quad (3.58)$$

Bu denklemde  $k$  ve  $\alpha$  boyutsuz parametreleri aşağıda verilen Denklem 3.59 ve 3.60 bağıntıları ile tanımlanmıştır.

$$k = H \sqrt{\frac{K_s}{EI}} \quad (3.59)$$

$$\alpha = \frac{\bar{m}H^4\omega^2}{EI} \quad (3.60)$$

Denklem 3.58’de verilen dördüncü mertebeden adi diferansiyel denklemin çözümü için öncelikle sınır koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre sınır koşulları aşağıdaki gibi verilmiştir.

- a) Bina tabanında yer değiştirme sıfırdır.
- b) Bina tabanında dönme sıfırdır.
- c) Bina tepesinde eğilme momenti sıfırdır.
- d) Bina tepesinde kesme kuvveti sıfırdır.

Denklem 3.58’deki diferansiyel denkleminin sınır koşulları dikkate alınarak çözümünden mod şekli fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir (Bozdoğan, Öztürk ve Nuhoğlu, 2005) .

$$y = [\cosh(a_1\varepsilon) - \cos(a_2\varepsilon)] + F[\sinh(a_1\varepsilon) - \frac{a_1}{a_2}\sin(a_2\varepsilon)] \quad (3.61)$$

Bu fonksiyonda  $a_1$ ,  $a_2$  ve  $F$  ifadeleri aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$a_1 = \sqrt{\frac{k^2 + \sqrt{k^4 + 4\alpha}}{2}} \quad (3.62)$$

$$a_2 = \sqrt{\frac{-k^2 + \sqrt{k^4 + 4\alpha}}{2}} \quad (3.63)$$

$$F = -\frac{[a_1^2 \cosh(a_1) + a_2^2 \cos(a_2)]}{[a_1^2 \sinh(a_1) + a_1 a_2 \sin(a_2)]} \quad (3.64)$$

Doğal titreşim periyotları ise aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$T_i = \frac{Z_i H^2}{\mathcal{K}_d} \sqrt{\frac{m}{h(EI)}} \quad (3.65)$$

Periyotların hesaplanması için gerekli olan  $\mathcal{K}_d$  ifadesi, sürekli kütle modelini ayrık kütleye dönüştürmek için tanımlanmış bir düzeltme katsayısıdır ve Denklem 3.66 bağıntısı ile hesaplanabilir (Zalka, 2001). Bu bağıntıda  $n$  kat sayısını ifade etmektedir.

$$\mathcal{K}_d = \sqrt{\frac{n}{n+2.06}} \quad (3.66)$$

Tablolardan ilgili  $k$  değerine karşılık gelen  $Z$ ,  $\mu$  ve eko değerlerini okuyabilmek için bina davranış katsayısı olarak nitelendirilebilecek  $k$  hesaplanmalıdır. (Bozdoğan vd., 2005).

$k$  değerinin sıfır olması salt eğilme davranışının olduğunu ve binanın perdelerden oluştuğu anlamına gelmektedir. Bu değer artmasıyla da yapıyı oluşturan taşıyıcı sistemin salt çerçeve sisteme döndüğü söylenebilir.

Yüksek ve dar binalarda aksenal yer değiştirmelerin önemi artmaktadır. Bu etki  $K_s$  kayma rijitliği değerinde bir düzeltme yapılarak dikkate alınabilir (Smith ve Crowe, 1986; Zalka, 2001; Bozdoğan vd., 2005; Topkaya ve Kurban, 2009).

$$K_s = \xi(K_{s1} + K_{s2}) \quad (3.67)$$

Denklem 3.67'de verimlilik faktörü olan  $\xi$  aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Topkaya ve Kurban, 2009; Zalka, 2001).

$$\xi = \frac{f_{fb}^2}{f_{fb}^2 + f_{fs}^2} \quad (3.68)$$

Denklem 3.68 bağıntısındaki  $f_{fb}^2$  ve  $f_{fs}^2$  ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir. Burada  $\mathcal{K}_d$  Zalka'nın önerdiği ve kat seviyelerindeki kümelenmiş kütlelerin katkısını hesaba dahil eden bir faktördür (Topkaya ve Kurban, 2009; Zalka, 2001).  $\mathcal{K}_d$  değerleri Tablo 3'ten alınacaktır.

$$f_{fs}^2 = \frac{\mathcal{K}_d^2(K_{s1} + K_{s2})}{(4H)^2 m} \quad (3.69)$$

$$f_{fb}^2 = \frac{0,313\mathcal{K}_d^2 D}{H^4 m} \quad (3.70)$$

$D$  ifadesi eksenel yer değiştirmelerle alakalı bir global eğilme rijitliğidir ve Denklem 3.71 bağıntısı ile hesaplanabilir (Bozdoğan vd., 2005; Topkaya ve Kurban, 2009). Bu formülde  $A_{ci}$  i. kolona ait kesit alanını,  $d_i$  ise i. kolonun merkeze olan uzaklığını ifade etmektedir.

$$D = E \sum A_{ci} d_i^2 \quad (3.71)$$

Denklem 3.67'de bulunan  $K_{s2}$ , birleşik çerçeve ya da kombine perde olarak adlandırılan duvara bitişik kirişlerin rijitliğini temsil etmektedir ve aşağıdaki formül ile hesaplanabilir (Smith ve Crowe, 1986; Topkaya ve Kurban, 2009).

$$K_{s2} = \sum \left( \frac{6EI_b}{Lh} [(1+r)(1+2r+s)] \right)_i \quad (3.72)$$

Denklem 3.72'nin hesaplanması için gereken  $r$ ,  $s$  ve  $\eta$  değerleri aşağıdaki gibidir.

$$r = \frac{plw}{2L_b} \quad (3.73)$$

$$s = \frac{\eta - 3r - 1}{\eta + 2} \quad (3.74)$$

$$\eta = \frac{6I_c L_b}{I_b h} \quad (3.75)$$

$K_{s1}$  birleşik çerçeve dışındaki çerçevenin rijitliğini göstermektedir ve Denklem 3.76'daki bağıntı ile hesaplanabilir (Baikov ve Sigalov, 1981; Bilyap, 1979; Smith ve Crowe, 1986; Topkaya ve Kurban, 2009).

$$K_{s1} = \frac{12E}{h \left[ \frac{1}{\Sigma \left( \frac{I_c}{h} \right)_i} + \frac{1}{\Sigma \left( \frac{I_b}{L_b} \right)_i} \right]} \quad (3.76)$$

Sistemin genel atalet momenti aşağıdaki gibidir (Topkaya ve Kurban, 2009).

$$I = I_{mw} + 4I_c \quad (3.77)$$

Yanal yüke dayanıklı sistemin bir parçası olan her duvar için değiştirilmiş ikinci alan momenti  $I_{mw}$  aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$I_{mw} = \frac{mH^4}{0,313\mathcal{K}_d^2 T_w^2 E} \quad (3.78)$$

Denklem 3.78'de kullanılan  $T_w$ , Souhwell-Dunkerley yaklaşımında doğal periyodu ifade etmektedir ve Denklem 3.79'daki gibi bulunur. Denklem 3.80 ile Denklem 3.81'deki gibi hesaplanan  $f_b$  ve  $f_s$  ifadeleri ise biri salt eğilme kirişi, diğeri de salt kayma kirişinin doğal frekanslarını temsil etmektedir (Blevins, 1979; Tarnai, 1995; Topkaya ve Kurban, 2009; Zalka, 2001).

$$T_w \approx \sqrt{\frac{1}{f_b^2} + \frac{1}{f_s^2}} \quad (3.79)$$

$$f_b = \mathcal{K}_d \frac{0.5595}{H^2} \sqrt{\frac{EI_w}{m}} \quad (3.80)$$

$$f_s = \mathcal{K}_d \frac{1}{4H} \sqrt{\frac{KGA_w}{m}} \quad (3.81)$$

Kesme sabiti, kayma modülü ve duvar alanından oluşan bağıntı Denklem 3.82'deki gibi ifade edilebilir.

$$KGA_w = \frac{I_w^2}{\beta} G \quad (3.82)$$

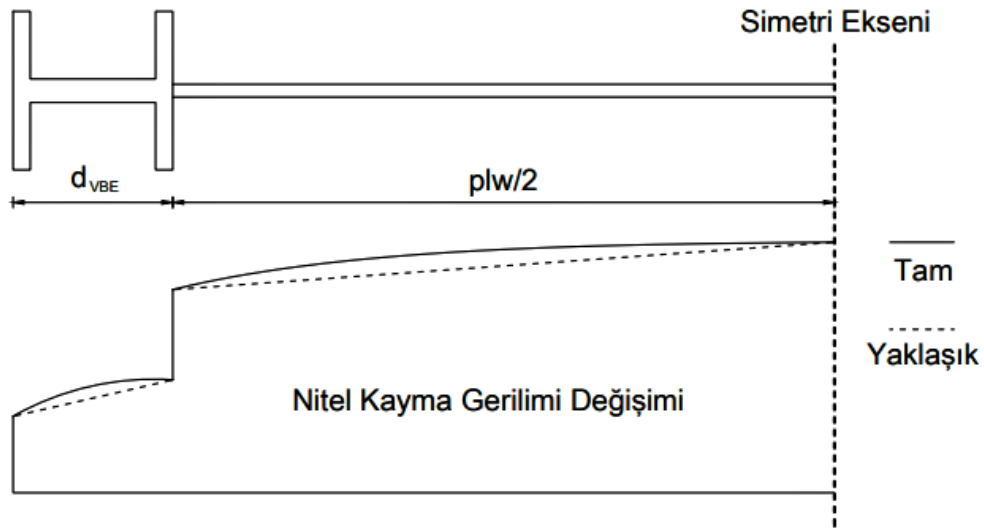
Denklem 3.82'de gerekli olan  $\beta$  değeri Denklem 3.83'te olduğu gibi tanımlanmaktadır.

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 \quad (3.83)$$

Atasoy'un geliştirdiği yaklaşım baz alınarak düşey sınır elemanların katkısı  $\beta_1$  ve dolgu levhasının katkısı  $\beta_2$  aşağıdaki gibidir (Atasoy, 2008; Topkaya ve Kurban, 2009).

$$\beta_1 = \frac{Q_1^2 + Q_2^2}{t_w} d_{VBE} \quad (3.84)$$

$$\beta_2 = \frac{Q_3^2 + Q_4^2}{2ptk} plw \quad (3.85)$$



Şekil 11. Bir ÇLPD sistemi için nitel kayma gerilimi değişimi (Atasoy, 2008)



Denklem 3.84 ve Denklem 3.85'in hesaplanması için gerek duyulan duvar ve düşey sınır elemanlarının kesit özellikleriyle ilgili bağıntılar aşağıda verilmiştir. Burada Q, alanın simetri eksenine göre statik momentidir ve Şekil 11'den faydalanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Topkaya ve Kurban, 2009).

$$Q_1 = A_{fl}(0,5plw + d_{VBE}) \quad (3.86)$$

$$Q_2 = Q_1 + A_{web}0,5(plw + d_{VBE}) \quad (3.87)$$

$$Q_3 = A_{VBE}0,5(plw + d_{VBE}) \quad (3.88)$$

$$Q_4 = Q_3 + \frac{(plw)^2}{8}ptk \quad (3.89)$$

Literatürden alınarak işlemlerde kullanılan ve Denklem 3.66 ile hesaplanabilen düzeltme faktörü  $\mathcal{K}_d$  Tablo 3'te, k değerine bağlı Z, eko ve  $\mu$  değerleri ise Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3  
Kat sayısının bir fonksiyonu olarak önerilen  $\mathcal{K}_d$  faktörleri

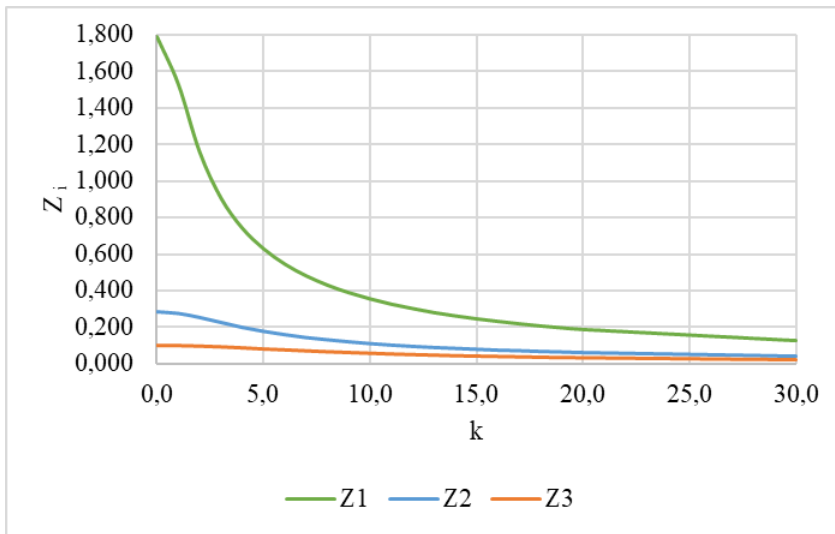
Kat Sayısı	1	2	3	4	5	6	7
$\mathcal{K}_d$	0,493	0,653	0,770	0,812	0,842	0,863	0,879
Kat Sayısı	8	9	10	11	12	13	14
$\mathcal{K}_d$	0,892	0,902	0,911	0,918	0,924	0,929	0,934
Kat Sayısı	15	16	18	20	25	30	50
$\mathcal{K}_d$	0,938	0,941	0,947	0,952	0,961	0,967	0,980

(Zalka, 2001)

Tablo 4  
k değerine göre dinamik katsayılar

k	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	eko <sub>1</sub>	eko <sub>2</sub>	eko <sub>3</sub>	μ <sub>1</sub>	μ <sub>2</sub>	μ <sub>3</sub>
0,0	1,788	0,285	0,102	0,61	0,19	0,07	1,57	-0,87	0,51
1,0	1,529	0,276	0,101	0,62	0,18	0,06	1,55	-0,85	0,50
2,0	1,160	0,254	0,098	0,65	0,16	0,06	1,52	-0,82	0,50
3,0	0,908	0,227	0,094	0,67	0,14	0,06	1,47	-0,77	0,48
4,0	0,744	0,200	0,089	0,69	0,12	0,06	1,43	-0,70	0,47
5,0	0,631	0,178	0,083	0,71	0,11	0,05	1,39	-0,66	0,47
6,0	0,547	0,160	0,078	0,72	0,11	0,05	1,37	-0,62	0,44
7,0	0,483	0,144	0,073	0,73	0,10	0,05	1,35	-0,59	0,42
8,0	0,432	0,132	0,068	0,73	0,10	0,04	1,33	-0,58	0,41
9,0	0,391	0,121	0,064	0,74	0,10	0,04	1,32	-0,56	0,38
10,0	0,357	0,111	0,060	0,75	0,09	0,04	1,31	-0,52	0,37
11,0	0,328	0,103	0,056	0,75	0,09	0,04	1,31	-0,51	0,37
12,0	0,304	0,096	0,053	0,76	0,09	0,04	1,30	-0,50	0,36
13,0	0,282	0,090	0,050	0,76	0,09	0,04	1,30	-0,49	0,35
14,0	0,264	0,085	0,047	0,76	0,10	0,04	1,30	-0,48	0,35
15,0	0,248	0,080	0,045	0,77	0,09	0,04	1,29	-0,47	0,34
16,0	0,234	0,075	0,043	0,77	0,09	0,04	1,29	-0,47	0,33
17,0	0,221	0,072	0,041	0,77	0,10	0,04	1,29	-0,46	0,32
18,0	0,209	0,068	0,039	0,77	0,09	0,04	1,29	-0,45	0,32
19,0	0,199	0,065	0,037	0,77	0,09	0,03	1,29	-0,45	0,31
20,0	0,190	0,062	0,036	0,78	0,09	0,04	1,29	-0,44	0,30
30,0	0,129	0,042	0,025						

(Bozdoğan vd., 2005)



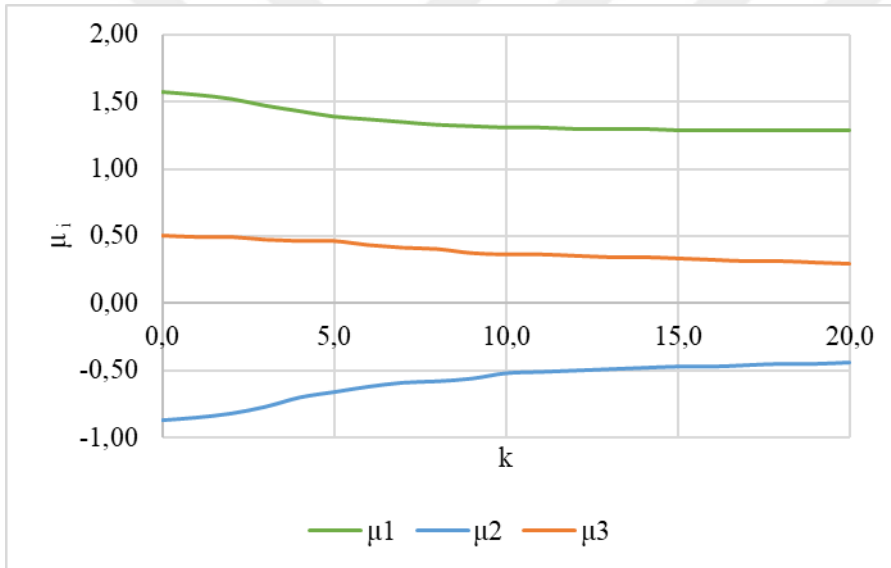
Şekil 12. İlk üç mod için Z değerleri

Denklem 3.65'teki Z değeri, k'ye bağlı olarak ilk üç mod için Tablo 4 ve Şekil 12'de verilmiştir.

Yapının tepe noktası yer değiştirmesi için Denklem 3.90'daki formül kullanılabilir (Bozdoğan vd., 2005). Burada  $S_{di}$  parametresi, i. mod için spektral yer değiştirmeyi ifade etmektedir.

$$dep_i = \Gamma_i \gamma_i(1) S_{di} = \mu_i S_{di} \quad (3.90)$$

Burada geçen  $\mu$  değeri, k'ye bağlı olarak ilk üç mod için Tablo 4 ve Şekil 13'te verilmiştir.

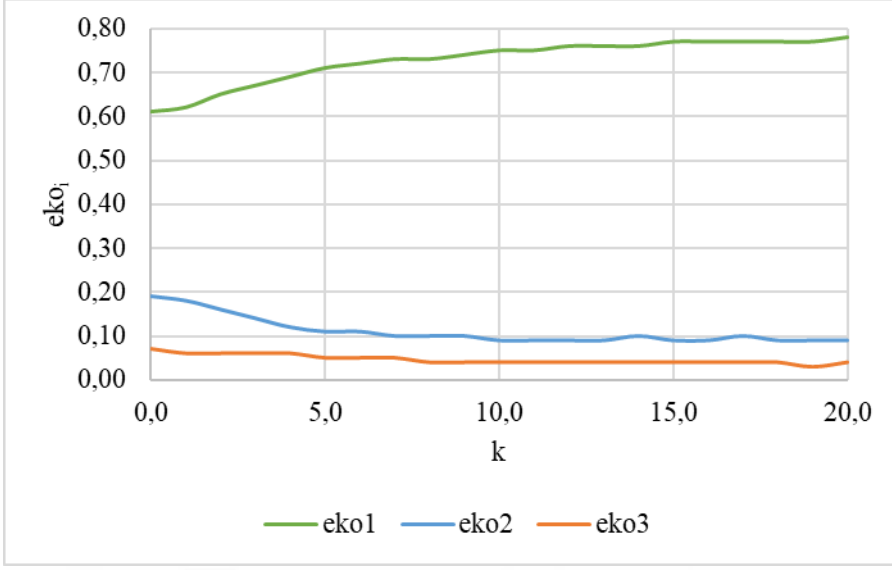


Şekil 13. İlk üç mod için  $\mu$  değerleri

Yapıdaki taban kesme kuvveti Denklem 3.91'deki formül ile hesaplanabilir (Bozdoğan vd., 2005). Burada  $S_{ai}$  parametresi, i. mod için spektral ivmeyi ifade etmektedir.

$$V_{Ti} = M \times e k o_i \times S_{ai} \quad (3.91)$$

Denklem 3.91'deki eko değeri, k'ye bağlı olarak ilk üç mod için Tablo 4 ve Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. İlk üç mod için etkin kütle oranı (eko) değerleri

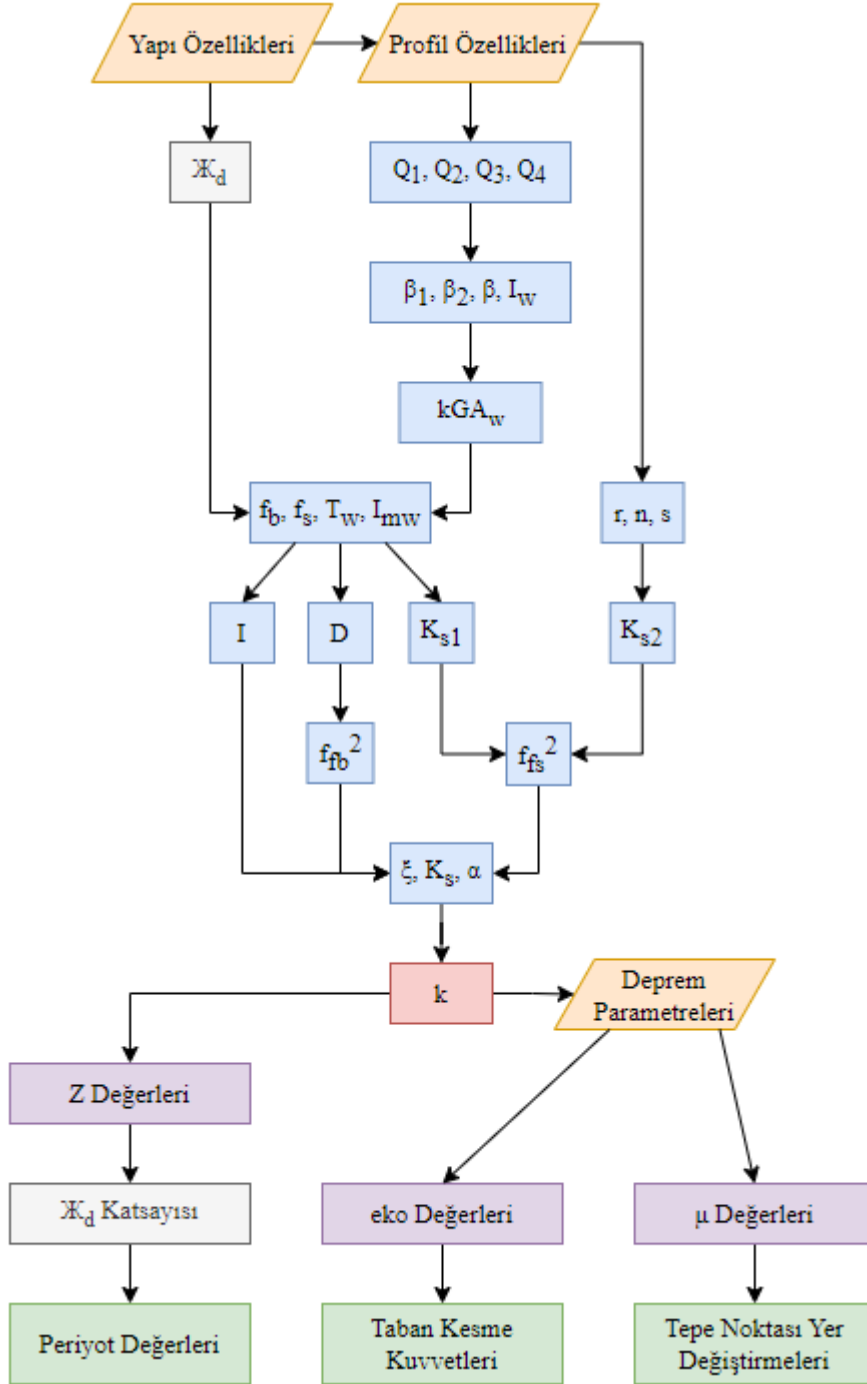
Yapıda meydana gelen esas tepe noktası yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri, karelerinin toplamının karekökü (SRSS) yöntemiyle ilk üç mod dikkate alınarak Denklem 3.92 ve Denklem 3.93'teki gibi hesaplanabilir.

$$d = \sqrt{dep_1^2 + dep_2^2 + dep_3^2} \quad (3.92)$$

$$V_T = \sqrt{V_{T1}^2 + V_{T2}^2 + V_{T3}^2} \quad (3.93)$$

ÇLPD-çerçeve sistemler için önerilen sandviç kiriş modeline göre Python programlama dili ile hazırlanmış olan kod EK 2'de verilmiştir.

Sunulan yöntemdeki tüm bu işlem adımları, akış şeması olarak Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. Sandviç kiriş modeli akış şeması

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### ARAŞTIRMA BULGULARI

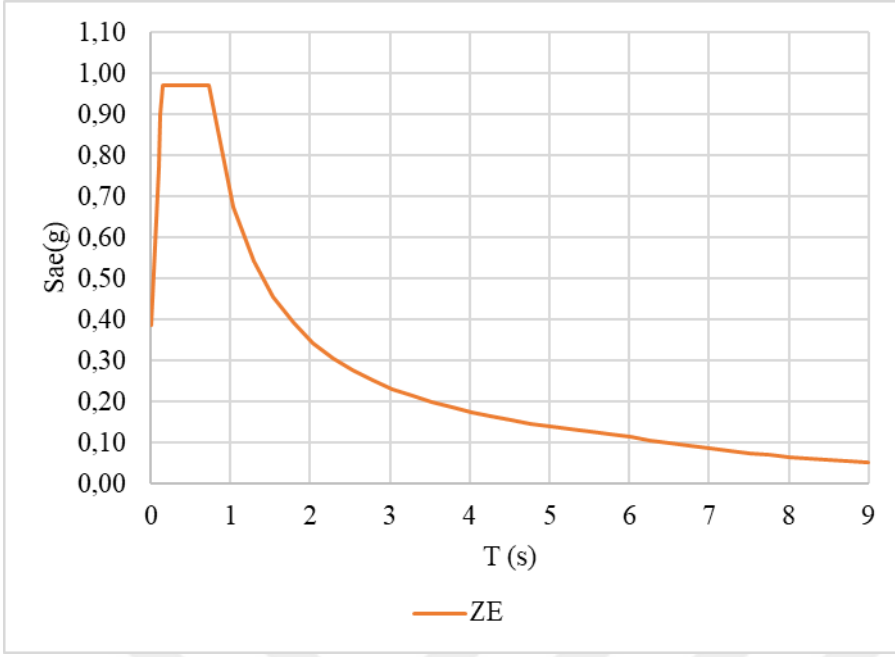
Bu bölümde tez çalışmasında önerilen yöntemlerin sonlu elemanlara uygunluğunu göstermek üzere iki örneğin dinamik analizi, sunulan yöntem ile yapılarak elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Sayısal örneklerde kullanılan deprem parametreleri aşağıdaki başlık altında sunulmuştur.

#### 4.1. Deprem Parametreleri

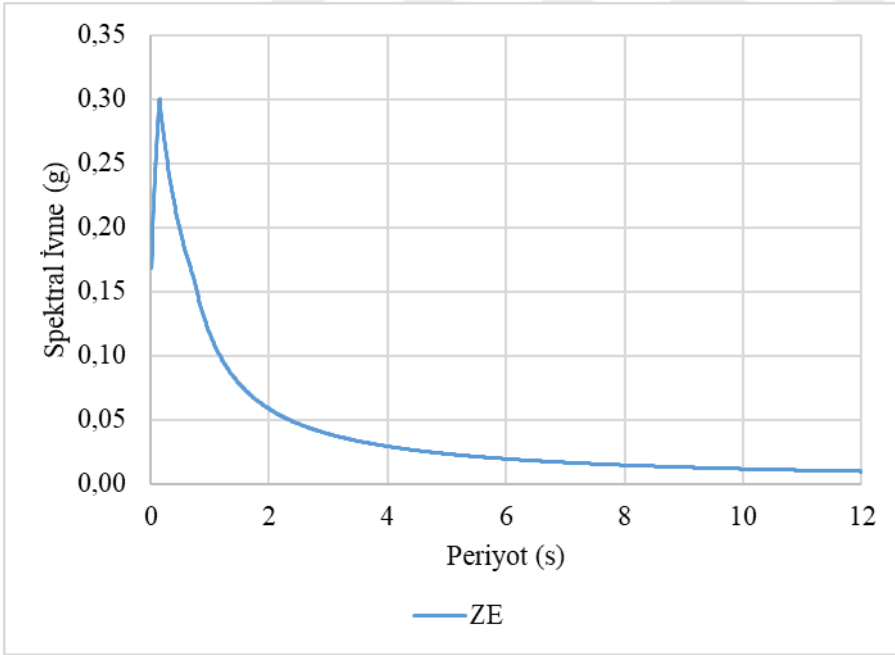
Hesaplarda dikkate alınan deprem parametreleri Tablo 5'te verilmiştir. Bu verilere göre çizdirilen tasarım spektrum ve azaltılmış tasarım spektrum eğrileri ise Şekil 16 ve Şekil 17'deki gibidir.

Tablo 5  
Deprem parametreleri

Şehir	Çanakkale (Türkiye)
Enlem	38,446828°
Boylam	39,309087°
Yerel zemin sınıfı	ZE
Yer hareketi düzeyi	DD-2
S <sub>s</sub>	0,719
S <sub>1</sub>	0,219
F <sub>s</sub>	1,350
F <sub>1</sub>	3,205
S <sub>DS</sub>	0,971
S <sub>D1</sub>	0,702
T <sub>A</sub> (s)	0,145
T <sub>B</sub> (s)	0,723
T <sub>L</sub> (s)	6,000
Sismik yük azaltma faktörü	6
Mukavemet azaltma faktörü	2,5



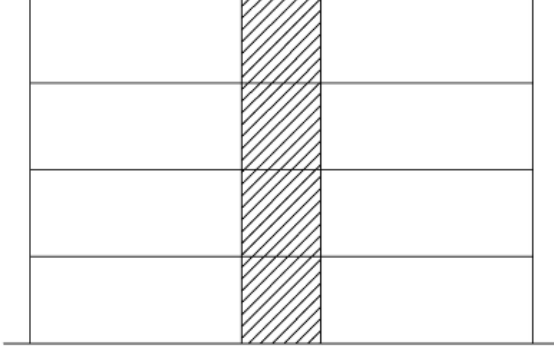
Şekil 16. Tasarım spektrum eğrisi



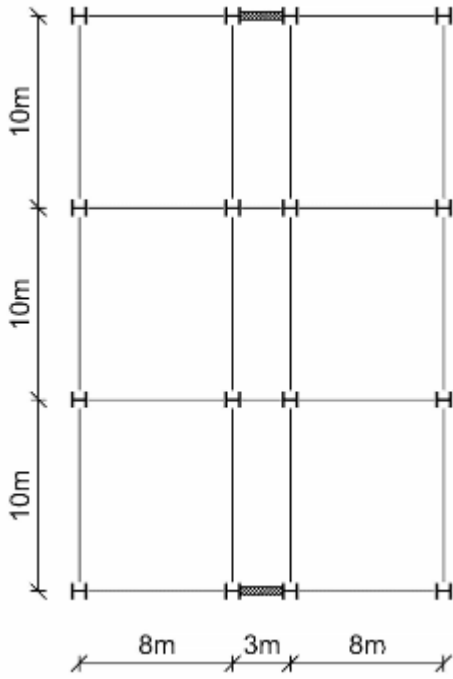
Şekil 17. Azaltılmış tasarım spektrum eğrisi

## 4.2. Salt Çelik Levha Perdeli Sistem Sayısal Örneği

Literatürden (Topkaya ve Kurban, 2009) alınan 4 katlı çelik binanın kesit ve planı Şekil 18 ve Şekil 19’da verilmiştir.



Şekil 18. 4 katlı bina kesiti



Şekil 19. 4 katlı bina kat planı

Bina tasarımında kullanılan parametreler Tablo 6’da verilmiştir.



Tablo 6  
4 katlı yapının tasarım parametreleri

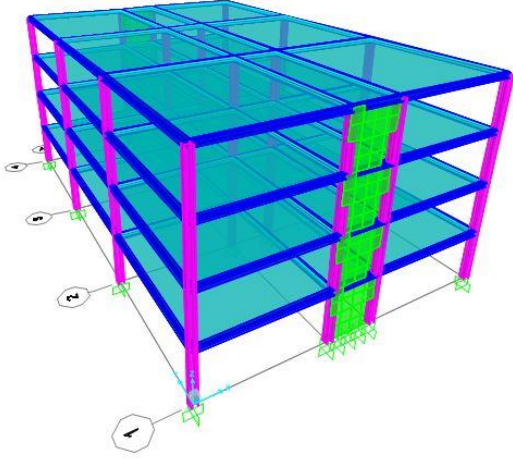
<b>Kat sayısı</b>	4
<b>Kat yüksekliği (m)</b>	3,29
<b>ÇLPD kalınlığı (mm)</b>	3
<b>ÇLPD genişliği (m)</b>	3
<b>Kolonlar (VBE)</b>	HD400x287
<b>Kirişler (HBE)</b>	HE300A
<b>Çerçeve için kat başına kütle (t/kat)</b>	150

Binada kullanılan yatay ve düşey yapı elemanlarının profil özellikleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7  
4 katlı yapıda kullanılan profil özellikleri

<b>Profil Özellikleri</b>	<b>HD400×287</b>	<b>HE300A</b>
<b>Yükseklik (mm)</b>	393	290
<b>Üst Flanş Genişliği (mm)</b>	399	300
<b>Üst Flanş Kalınlığı (mm)</b>	36,6	14
<b>Gövde Kalınlığı (mm)</b>	22,6	8,5
<b>Alt Flanş Genişliği (mm)</b>	399	300
<b>Alt Flanş Kalınlığı (mm)</b>	36,6	14
<b>Alan (cm<sup>2</sup>)</b>	366,3	112,5
<b>Atalet momenti (cm<sup>4</sup>)</b>	99710	18260
<b>Flanş Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	14603,4	4200
<b>Gövde Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	8881,8	2465

Sistemin ilk üç modunun doğal periyotları bu çalışmada sunulan yöntemle (Timoshenko kiriş modeli) hesaplanmıştır. Binanın süneklik düzeyi yüksek çelik taşıyıcı sistemlerden oluştuğu kabul edilerek taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R=6$  ve dayanım fazlalığı katsayısı  $D=2,5$  olarak alınmıştır. Hesaplarda Şekil 17’deki azaltılmış elastik tasarım spektrum grafiği kullanılarak aynı örnek SAP2000 ve ETABS ile modellenmiştir. Bu programlar ile yapılan analizlerde ÇLPD sistemi kabuk eleman olarak modellenmiş ve SAP2000 modelinin görünümü Şekil 20’de verilmiştir.



Şekil 20. 4 katlı bina 3D SAP2000 modeli

#### 4.2.1. Timoshenko Kiriş Modeli ile Çözüm

Binanın tepki spektrum analizi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) kapsamında bu çalışmada sunulan Timoshenko kiriş modeli ile yapılmıştır.

Literatürde (Topkaya ve Kurban, 2009) hesaplanan değerler aşağıda verilmiştir. Sandviç kiriş modelinde anlatılan  $KGA_w$  parametresinin hesaplanmasına kadar olan işlem adımları, Timoshenko kiriş modeli hesapları için de aynıdır. Bu bağlamda alanın tarafsız eksene göre statik momenti, Denklem 3.86, 3.87, 3.88 ve 3.89 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Q_1 = 14603,4 \times 10^{-6} \times (0,5 \times 3 + 0,393) = 0,0276 \text{ m}^3$$

$$Q_2 = 0,0276 + 8881,8 \times 10^{-6} \times 0,5 \times (3 + 0,393) = 0,0427 \text{ m}^3$$

$$Q_3 = 366,3 \times 10^{-4} \times 0,5 \times (3 + 0,393) = 0,0621 \text{ m}^3$$

$$Q_4 = 0,0621 + \frac{3^2}{8} \times 0,003 = 0,0655 \text{ m}^3$$

Düşey sınır elemanlarının katkısı  $\beta_1$  ve dolgu levhasının katkısı  $\beta_2$  Denklem 3.84 ve Denklem 3.85 ile hesaplanarak  $\beta$  değeri aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$\beta_1 = \frac{0,0276^2 + 0,0427^2}{22,6 \times 10^{-3}} \times 0,393 = 0,0450 \text{ m}^6$$

$$\beta_2 = \frac{0,0621^2 + 0,0655^2}{2 \times 0,003} \times 3 = 4,0772 \text{ m}^6$$

$$\beta = 0,0450 + 4,0772 = 4,1222 \text{ m}^6$$

Tarafsız eksene göre duvar alanının ikinci momenti  $I_w$  ağıdaki gibidir.

$$I_w = (ptk \times \frac{plw^3}{12}) + 2 \times A_c \times \left( \frac{d_{VBE}}{2} + \frac{plw}{2} \right)^2 + 2 \times I_c \quad (4.1)$$

Denklem 4.1 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$I_w = 0,003 \times \frac{3^3}{12} + 2 \times 366,3 \times 10^{-4} \times \left( \frac{0,393}{2} + \frac{3}{2} \right)^2 + 2 \times 0,9971 \times 10^{-3} = 0,219595 \text{ m}^4$$

Denklem 3.82 bağıntısındaki  $KGA_w$  ise bu şekilde elde edilebilir.

$$KGA_w = \frac{0,219595^2}{4,1222} \times 77 \times 10^6 = 0,901 \times 10^6 \text{ kN}$$

Denklem 3.27 kullanılarak  $r^2$  aşağıdaki gibi belirlenir.

$$r^2 = \frac{2 \times 10^8 \times 0,219595}{0,901 \times 10^6 \times 13,16^2} = 0,2815$$

Tablo 1'den  $r^2=0.2815$  değeri için  $S_1$ ,  $S_2$  ve  $S_3$  aşağıdaki gibi bulunur.

$$S_1 = 2,746 \quad S_2 = 0,843 \quad S_3 = 0,446$$

4 katlı bir bina için  $\mathcal{K}_i$  değerleri Tablo 2'den aşağıdaki gibi okunur.

$$\mathcal{K}_1 = 0,799 \quad \mathcal{K}_2 = 0,821 \quad \mathcal{K}_3 = 0,829$$

İlk üç modun doğal periyotları Denklem 3.51 yardımıyla aşağıdaki gibi bulunur. Burada  $\rho A$  kat yüksekliği boyunca yayılı kütleyi ifade etmektedir.

$$T_1 = \frac{2,746 \times 13,16^2}{0,799} \sqrt{\frac{45,593}{2 \times 10^8 \times 0,219595}} = 0,606 \text{ s}$$

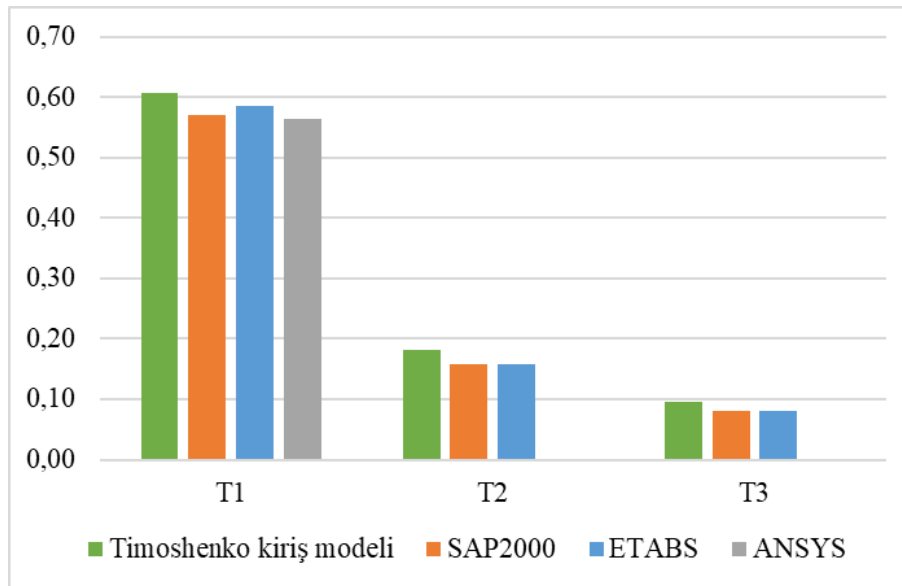
$$T_2 = \frac{0,843 \times 13,16^2}{0,821} \sqrt{\frac{45,593}{2 \times 10^8 \times 0,219595}} = 0,181 \text{ s}$$

$$T_3 = \frac{0,446 \times 13,16^2}{0,829} \sqrt{\frac{45,593}{2 \times 10^8 \times 0,219595}} = 0,095 \text{ s}$$

Hesaplanan periyot değerleri SAP2000, ETABS ve literatürden (Topkaya ve Kurban, 2009) elde edilen ANSYS sonuçlarıyla Tablo 8 ve Şekil 21’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 8  
Timoshenko kiriş modeli periyotlarının karşılaştırılması

	Timoshenko Kiriş Modeli	SAP2000	ETABS	ANSYS
<b>T<sub>1</sub> (s)</b>	0,606	0,569	0,586	0,563
<b>T<sub>2</sub> (s)</b>	0,181	0,158	0,159	-
<b>T<sub>3</sub> (s)</b>	0,095	0,080	0,080	-



Şekil 21. Timoshenko kiriş modeli periyotlarının karşılaştırılması

Tablo 8 ve Şekil 21 incelendiğinde Timoshenko kiriş modeli ile elde edilen periyot değerlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Taban kesme kuvvetinin bulunması için gereken etkin kütle oranları ( $em$ ) Tablo 1'den  $r^2=0,2815$  değeri için aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$em_1 = 0,739122 \quad em_2 = 0,148139 \quad em_3 = 0,040554$$

Hesaplanan doğal periyot değerlerine karşılık gelen spektral ivme değerleri Şekil 17 kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$Sa_1 = 1,7520 \text{ m/s}^2 \quad Sa_2 = 2,8199 \text{ m/s}^2 \quad Sa_3 = 2,5533 \text{ m/s}^2$$

Her üç mod için taban kesme kuvveti değerleri aşağıda Denklem 3.54 kullanılarak hesaplanır.

$$V_{b1} = 0,739122 \times 1200 \times 1,7520 = 1553,94 \text{ kN}$$

$$V_{b2} = 0,148139 \times 1200 \times 2,8199 = 501,29 \text{ kN}$$

$$V_{b3} = 0,040554 \times 1200 \times 2,5533 = 124,25 \text{ kN}$$

Tasarım taban kesme kuvveti sistem burulmasız kabul edildiğinden, karelerin toplamının kareköküne göre (SRSS) aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_b = \sqrt{1553,94^2 + 501,29^2 + 124,25^2} = 1637,52 \text{ kN}$$

Tepe noktası yer değiştirme hesabı için ise  $dep_1$ ,  $dep_2$  ve  $dep_3$  katsayıları,  $r^2=0,287$  değeri için Tablo 1'den aşağıdaki gibi bulunur.

$$dep_1 = 1,43554 \quad dep_2 = 0,59739 \quad dep_3 = 0,29369$$

Hesaplanan doğal periyot değerlerine karşılık gelen spektral yer değiştirme değerleri Şekil 17 ve açılal frekans değerleri kullanılarak aşığıdaki gibi bulunur.

$$Sd_1 = 0,01632 \text{ m} \quad Sd_2 = 0,00234 \text{ m} \quad Sd_3 = 0,00058 \text{ m}$$

Her üç mod için hesaplanan tepe noktası yer değıştirmeleri, Denklem 3.55 yardımıyla aşığıdaki gibi hesaplanır.

$$d_{max1} = 1,43554 \times 0,01632 = 0,0234 \text{ m}$$

$$d_{max2} = 0,59739 \times 0,00234 = 0,0014 \text{ m}$$

$$d_{max3} = 0,29369 \times 0,00058 = 0,00017 \text{ m}$$

Tasarıma esas tepe noktası yer değıştirmesi ise, karelerin toplamının karekökü kuralına (SRSS) göre aşığıdaki gibi hesaplanabilir.

$$d_{max} = \sqrt{0,0234^2 + 0,0014^2 + 0,00017^2} = 0,02347 \text{ m}$$

Görelil kat ötelemesinin maksimum değerinin hesabı için Tablo 1'den  $r^2=0,2815$  değerine karşılık  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{21}$  ve  $\beta_{31}$  aşığıdaki gibi bulunur.

$$\beta_{11} = 1,65991 \quad \beta_{21} = 2,35146 \quad \beta_{31} = 2,21419$$

Birinci modda görelil kat ötelemesinin maksimum olduğu yerde ilk üç moddaki görelil kat ötelemesi oranları ise Denklem 3.56 yardımıyla aşığıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$dr_{11} = \frac{1,65991}{13,16} \times 0,01632 = 2,0585 \times 10^{-3}$$

$$dr_{21} = \frac{2,35146}{13,16} \times 0,00234 = 4,1812 \times 10^{-4}$$

$$dr_{31} = \frac{2,21419}{13,16} \times 0,00058 = 9,7586 \times 10^{-5}$$

Tasarıma esas maksimum görelî kat ötelemesi oranı ise, karelerin toplamının karekökü (SRSS) yöntemine göre aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

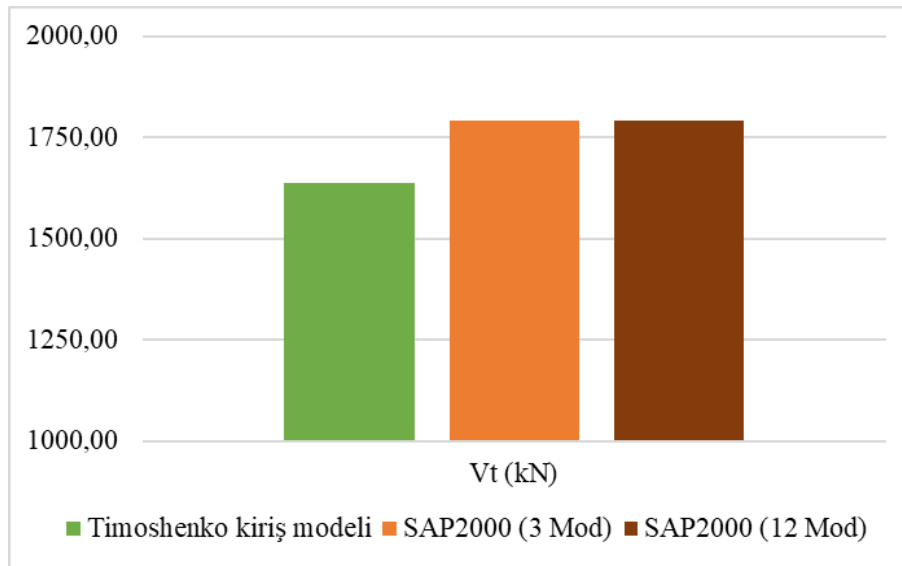
$$dr_{max} = \sqrt{(2,059 \times 10^{-3})^2 + (4,181 \times 10^{-4})^2 + (9,759 \times 10^{-5})^2} = 0,002103$$

Timoshenko kiriş modeli ile elde edilmiş olan taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değıştirmesi ve maksimum görelî kat ötelemesi oranları Tablo 9, Şekil 22, Şekil 23 ve Şekil 24'te SAP2000 ve ETABS ile karşılaştırılmıştır.

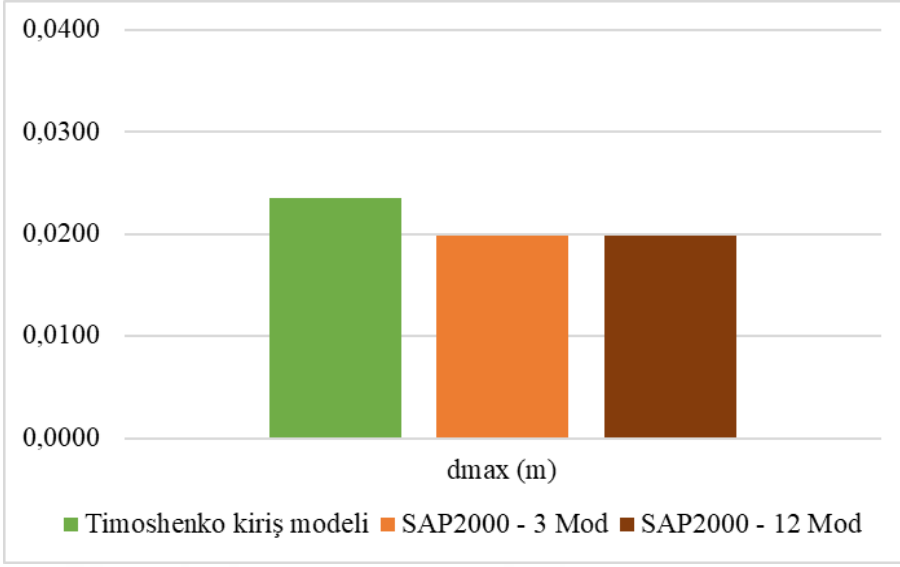
Tablo 9

Taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değıştirmesi ve maksimum ötelenme oranının karşılaştırılması

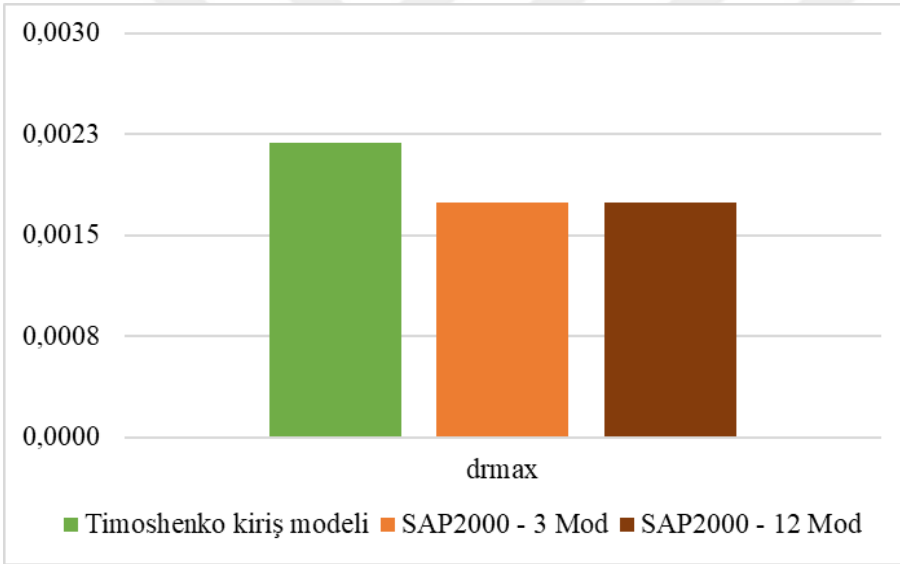
	Timoshenko	SAP2000		ETABS
	Kiriş Modeli	3 Mod	12 Mod	
<b>V<sub>t</sub> (kN)</b>	1637,52	1791,27	1791,86	1607,402
<b>d<sub>max</sub> (m)</b>	0,02347	0,01978	0,01978	0,0268
<b>dr<sub>max</sub></b>	0,002103	0,002322	0,002322	0,002372



Şekil 22. Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması



Şekil 23. Maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırması



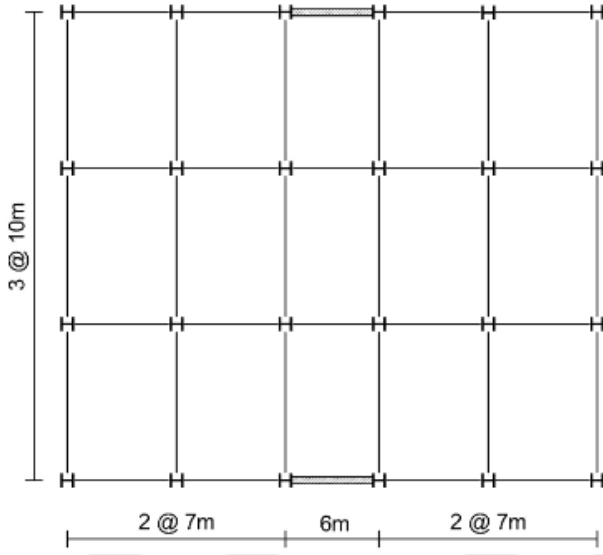
Şekil 24. Maksimum kat ötelenmelerinin karşılaştırılması

Tablo ve şekillerde sunulan sonuçların sonlu elemanlar yöntemi ile uyumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

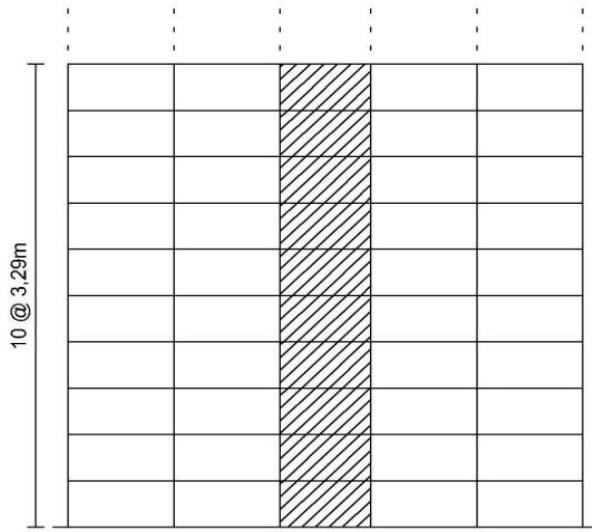
### 4.3. Levhalı Perde Çerçeve Sistem Sayısal Örneği

Bu örnekte ise literatürden (Topkaya ve Kurban, 2009) alınan ve perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip modelin planı ve kesiti Şekil 25 ve Şekil 26'da görülmektedir. Çelik binanın özellikleri Tablo 10'da verilmektedir. Tablo 11'de ise kolon ve kirişlerde kullanılan profillerin özellikleri verilmiştir.





Şekil 25. 40 katlı bina plan görünüşü



Şekil 26. 40 katlı binanın on kata kadar ön cephe görünüşü

Tablo 10  
40 katlı yapının tasarım parametreleri

<b>Kat Sayısı</b>	40
<b>Kat Yüksekliği (m)</b>	3,29
<b>ÇLPD Kalınlığı (mm)</b>	6
<b>ÇLPD Genişliği (m)</b>	6
<b>Kolonlar</b>	HD400×347
<b>Kirişler</b>	HE400A
<b>Çerçeve için kat başına kütle (t/kat)</b>	250

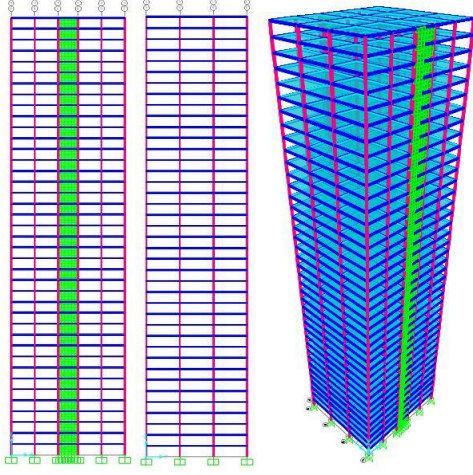
Tablo 11  
40 katlı yapıda kullanılan profil özellikleri

<b>Profil Özellikleri</b>	<b>HD400×347</b>	<b>HE400A</b>
<b>Yükseklik (mm)</b>	407	390
<b>Üst Flanş Genişliği (mm)</b>	404	300
<b>Üst Flanş Kalınlığı (mm)</b>	43,7	19
<b>Gövde Kalınlığı (mm)</b>	27,2	11
<b>Alt Flanş Genişliği (mm)</b>	404	300
<b>Alt Flanş Kalınlığı (mm)</b>	43,7	19
<b>Alan (cm<sup>2</sup>)</b>	442	159
<b>Atalet momenti (cm<sup>4</sup>)</b>	124900	45070
<b>Flanş Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	17654,8	5700
<b>Gövde Alanı (mm<sup>2</sup>)</b>	11070,4	4290

Verilen binanın TBDY (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018) kapsamında mod birleştirme yöntemine göre spektral analizi hem sürekli sistem hesap modeli hem de SAP2000 ile yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Binanın Çanakkale il merkezinde ZE zemin sınıfı üzerinde inşa edildiği kabul edilmiştir. Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulamasından Çanakkale ili için yatay spektrum değerleri elde edilmiş olup, buna ilişkin deprem verileri Tablo 5’te verilmiştir.

Binanın süneklik düzeyi yüksek çelik taşıyıcı sistemlerden oluştuğu kabul edilmiş olup taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R=6$  ve dayanım fazlalığı katsayısı  $D=2,5$  olarak alınmıştır. Hesaplarda dikkate alınan azaltılmış elastik tasarım spektrum grafiği Şekil 17’de verilmiştir.

Verilen binanın serbest titreşim analizi ve TBDY’ye göre spektral analizi SAP2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Modellemede perdeler kabuk elemanlarla, buna karşı kiriş ve kolonlar ise çubuk elemanlarla modellenmiştir. Şekil 27’de SAP2000’de oluşturulan modelin xz ve yz eksenlerindeki görünüşleri ile üç boyutlu görünüşü verilmiştir.



Şekil 27. 40 katlı binanın xz ve yz eksenlerindeki görünüşleri ile 3D SAP2000 modeli

#### 4.3.1. Sandviç Kiriş Modeli ile Çözüm

Sürekli sistem hesap modeline göre çözümlene için gerekli olan parametreler literatürden (Topkaya ve Kurban, 2009) yararlanılarak bulunmuştur. Kat yüksekliği boyunca yayılı kütle 76 ton/m'dir.

Denklem 3.66 ile düzeltme katsayısı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\mathcal{K}_d = \sqrt{\frac{40}{40+2,06}} = 0,975$$

Denklem 3.86, 3.87, 3.88 ve 3.89 kullanılarak alanın tarafsız eksene göre statik momenti aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$Q_1 = 17655 \times 10^{-6} \times (0,5 \times 6 + 0,407) = 0,0602 \text{ m}^3$$

$$Q_2 = 0,0602 + 11150 \times 10^{-6} \times 0,5 \times (6 + 0,407) = 0,0959 \text{ m}^3$$

$$Q_3 = 442 \times 10^{-4} \times 0,5 \times (6 + 0,407) = 0,1416 \text{ m}^3$$

$$Q_4 = 0,1416 + \frac{6^2}{8} \times 0,006 = 0,1686 \text{ m}^3$$

Düsey sınır elemanlarının katkısı  $\beta_1$  ve dolgu levhasının katkısı  $\beta_2$  Denklem 3.84 ve Denklem 3.85 ile hesaplanarak  $\beta$  değeri aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$\beta_1 = \frac{0,0602^2 + 0,0959^2}{27,2 \times 10^{-3}} \times 0,407 = 0,1917 \text{ m}^6$$

$$\beta_2 = \frac{0,1416^2 + 0,1686^2}{2 \times 0,006} \times 6 = 24,2366 \text{ m}^6$$

$$\beta = 0,1909 + 24,2366 = 24,4283 \text{ m}^6$$

Denklem 4.1 kullanılarak tarafsız eksene göre duvar alanının ikinci momenti  $I_w$  aşağıdaki gibi hesap edilebilir.

$$I_w = \left(0,006 \times \frac{6^3}{12}\right) + 2 \times 442 \times 10^{-4} \times \left(\frac{0,407}{2} + \frac{6}{2}\right)^2 + 2 \times (0,1249 \times 10^{-2}) = 1,017695 \text{ m}^4$$

Denklem 3.82 bağıntısındaki  $KGA_w$  hesabı ise aşağıdaki gibidir.

$$KGA_w = \frac{1,017695^2}{24,4283} \times 77 \times 10^6 = 3,2646 \times 10^6 \text{ kN}$$

Salt eğilme kirişi ile salt kayma kirişinin doğal frekansını temsil eden  $f_b$  ve  $f_s$ , Denklem 3.80 ve Denklem 3.81 yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır. Bu sonuçlar kullanılarak doğal periyodu ifade eden  $T_w$  bulunur.

$$f_b = 0,975 \times \frac{0,5595}{131,6^2} \times \sqrt{\frac{2 \times 10^8 \times 1,017695}{75,99}} = 0,05129 \text{ Hz}$$

$$f_s = 0,975 \times \frac{1}{4 \times 131,6} \times \sqrt{\frac{3,2646 \times 10^6}{75,99}} = 0,38195 \text{ Hz}$$

$$T_w = \sqrt{\frac{1}{0,05129^2} + \frac{1}{0,38195^2}} = 19,6729 \text{ s}$$

Yanal yüklerin karşılanmasında katkı sağlayan her duvar için değiştirilmiş ikinci alan momenti olan  $I_{mw}$ , Denklem 3.78 ile aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$I_{mw} = \frac{75,99 \times 131,6^4}{0,313 \times 0,97^2 \times 19,6729^2 \times 2 \times 10^8} = 0,9998 \text{ m}^4$$

Denklem 3.77'deki bağıntı ile sistem genel atalet momenti bu şekildedir.

$$I = 0,9998 + 4 \times 0,1249 \times 10^{-2} = 1,0047946 \text{ m}^4$$

Denklem 3.76 vasıtasıyla duvarla birleşik çerçeve haricindeki çerçevenin rijitliği aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$K_{s1} = \frac{12 \times 2 \times 10^8}{3,29 \times \left[ \frac{1}{\frac{4 \times 0,1249 \times 10^{-2}}{3,29} + \frac{1}{\frac{2 \times 0,4507 \times 10^{-3}}{7}}} \right]} = 86593,52 \text{ kN}$$

$K_{s1}$  hesabında gerekli olan  $r$ ,  $s$  ve  $\eta$  parametreleri Denklem 3.73, 3.74 ve 3.75 yazılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$r = \frac{6}{2 \times 7} = 0,4286$$

$$\eta = \frac{6 \times 0,1249 \times 10^{-2} \times 7}{0,4507 \times 10^{-3} \times 3,29} = 35,3776$$

$$s = \frac{35,3776 - 3 \times 0,4286 - 1}{35,3776 + 2} = 0,88534$$

Denklem 3.72 ile duvara bitişik kirişlerin rijitliği aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$K_{s2} = 2 \times \frac{(6 \times 2 \times 10^8) \times (1 + 0,4286) \times (1 + 2 \times 0,4286 + 0,88534)}{7 \times 3,29} = 184013,95 \text{ kN}$$

$$K_{s1} + K_{s2} = 86593,52 + 184013,95 = 270607,47 \text{ kN}$$

Global eğilme rijitliği Denklem 3.71 ile bulunur ve aşağıdaki gibidir.

$$D = 2 \times 10^8 \times 0,0442 \times [2 \times 3^2 + 2 \times 10^2 + 2 \times 17^2] = 7036640000 \text{ kNm}^2$$

Bir verimlilik faktörü olan  $\xi$ 'nin Denklem 3.68'deki hesabı için gerekli olan ifadeler Denklem 3.69 ve Denklem 3.70 yardımıyla aşağıdaki gibi elde edilir.

$$f_{fs}^2 = \frac{0,97^2 \times 270607,47}{(4 \times 131,6)^2 \times 75,99} = 0,01209 \text{ Hz}^2$$

$$f_{fb}^2 = \frac{0,313 \times 0,97^2 \times 7036640000}{(131,6)^4 \times 75,99} = 0,09093 \text{ Hz}^2$$

$$\xi = \frac{0,09093}{0,09093 + 0,01209} = 0,88262$$

Kayma rijitliği ise Denklem 3.67'deki bağıntıyla aşağıdaki gibi bulunur.

$$K_s = 0,88262 \times 270607,47 = 238843,465 \text{ kN}$$

Tablo 4'ten değerlerin okunması için gerekli olan  $k$  değeri Denklem 3.59'dan hesaplanır.

$$k = 131,6 \sqrt{\frac{238843,465}{2 \times 10^8 \times 1,0047946}} = 4,537$$

Tablo 4'ten  $k=4,537$  değeri için  $Z_1$ ,  $Z_2$  ve  $Z_3$  aşağıdaki gibi bulunur.

$$Z_1 = 0,6833306 \quad Z_2 = 0,1881883 \quad Z_3 = 0,0857786$$

$Z$  değerleri yardımıyla Denklem 3.65'teki bağıntı kullanılarak elde edilen periyotlar aşağıda verilmiştir.

$$T_1 = \frac{0,6833306 \times 131,6^2}{0,975} \sqrt{\frac{75,99}{2 \times 10^8 \times 1,0048}} = 7,46 \text{ s}$$

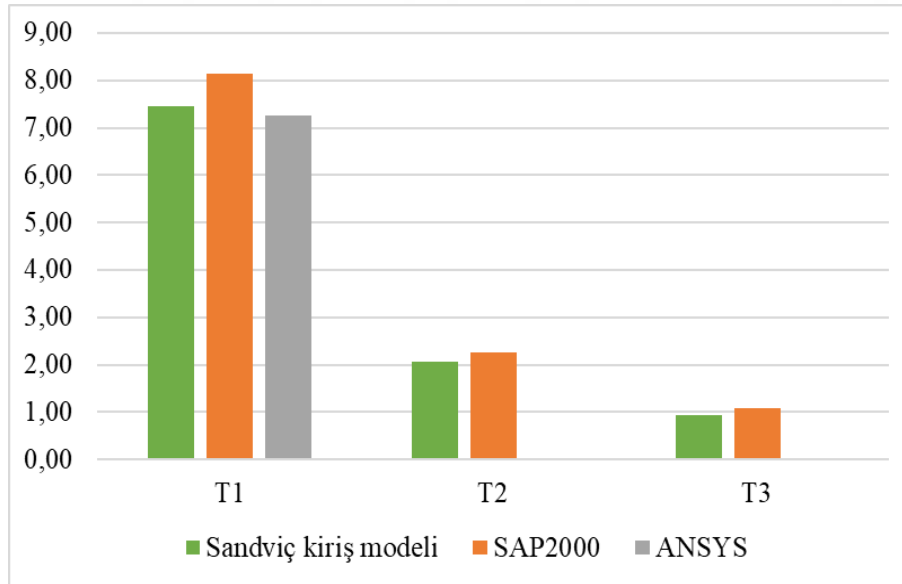
$$T_2 = \frac{0,1881883 \times 131,6^2}{0,975} \sqrt{\frac{75,99}{2 \times 10^8 \times 1,0048}} = 2,06 \text{ s}$$

$$T_3 = \frac{0,0857786 \times 131,6^2}{0,975} \sqrt{\frac{75,99}{2 \times 10^8 \times 1,0048}} = 0,94 \text{ s}$$

Bulunan periyot değerleri SAP2000 ve literatürden (Topkaya ve Kurban, 2009) elde edilen ANSYS sonucuyla Tablo 12 ve Şekil 28’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 12  
Sandviç kiriş modeli periyotlarının karşılaştırılması

Periyotlar (s)	Sandviç Kiriş Modeli	SAP2000	ANSYS
T <sub>1</sub>	7,46	8,14	7,26
T <sub>2</sub>	2,06	2,27	-
T <sub>3</sub>	0,94	1,07	-



Şekil 28. Sandviç kiriş modeli periyotlarının karşılaştırılması

Tablo 4’ten  $k=4,537$  değeri için  $eko_1$ ,  $eko_2$  ve  $eko_3$  aşağıdaki gibi bulunur.

$$eko_1 = 0,70074 \quad eko_2 = 0,11463 \quad eko_3 = 0,05463$$

Hesaplanan doğal periyot değerlerine karşılık gelen spektral ivme değerleri Şekil 17 kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$Sa_1 = 0,1237 \text{ m/s}^2 \quad Sa_2 = 0,5584 \text{ m/s}^2 \quad Sa_3 = 1,2251 \text{ m/s}^2$$

İlk üç mod için taban kesme kuvvetleri Denklem 3.91 ve Denklem 3.93 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_{T1} = 20000 \times 0,70074 \times 0,1237 = 1732,99 \text{ kN}$$

$$V_{T2} = 20000 \times 0,11463 \times 0,5584 = 1280,25 \text{ kN}$$

$$V_{T3} = 20000 \times 0,05463 \times 1,2251 = 1338,58 \text{ kN}$$

Tasarıma esas taban kesme kuvveti ise karelerinin toplamının karekökü (SRSS) yöntemi ile aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_T = \sqrt{1732,99^2 + 1280,25^2 + 1338,58^2} = 2536,55 \text{ kN}$$

Tepe noktası yer değiştirmesinin bulunması için Tablo 4'ten  $k=4,537$  değerine karşılık  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  ve  $\mu_3$  aşağıdaki gibi bulunur.

$$\mu_1 = 1,4085 \quad \mu_2 = -0,6785 \quad \mu_3 = 0,4700$$

Hesaplanan periyot değerlerine karşılık gelen spektral yer değiştirme değerleri Şekil 17 ve açılal frekanslar kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$Sd_1 = 0,1744 \text{ m} \quad Sd_2 = 0,0597 \text{ m} \quad Sd_3 = 0,0272 \text{ m}$$

$$dep_1 = 1,4085 \times 0,1744 = 0,24567 \text{ m}$$

$$dep_2 = -0,6785 \times 0,0597 = -0,04053 \text{ m}$$



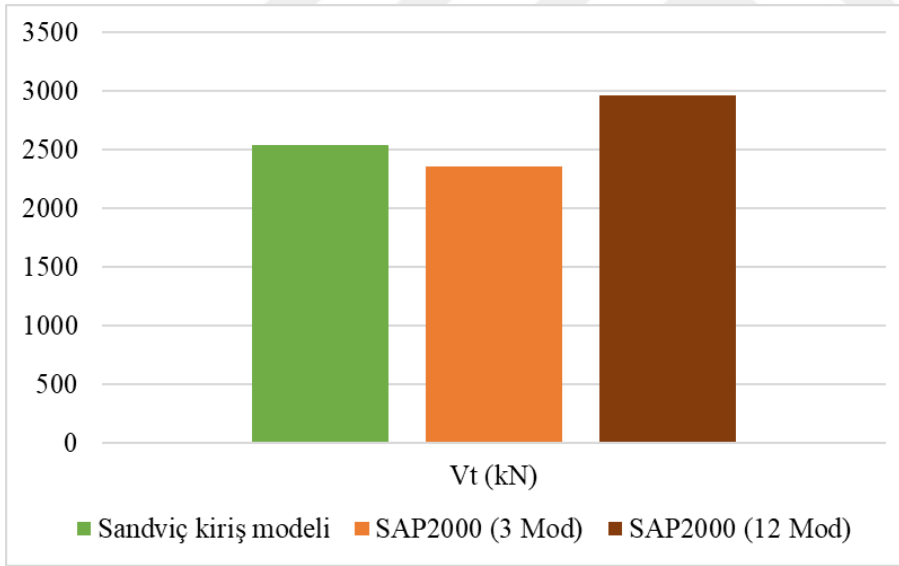
$$dep_3 = 0,4700 \times 0,0272 = 0,012798 \text{ m}$$

$$d = \sqrt{0,24567^2 + (-0,04053)^2 + 0,012798^2} = 0,24932 \text{ m}$$

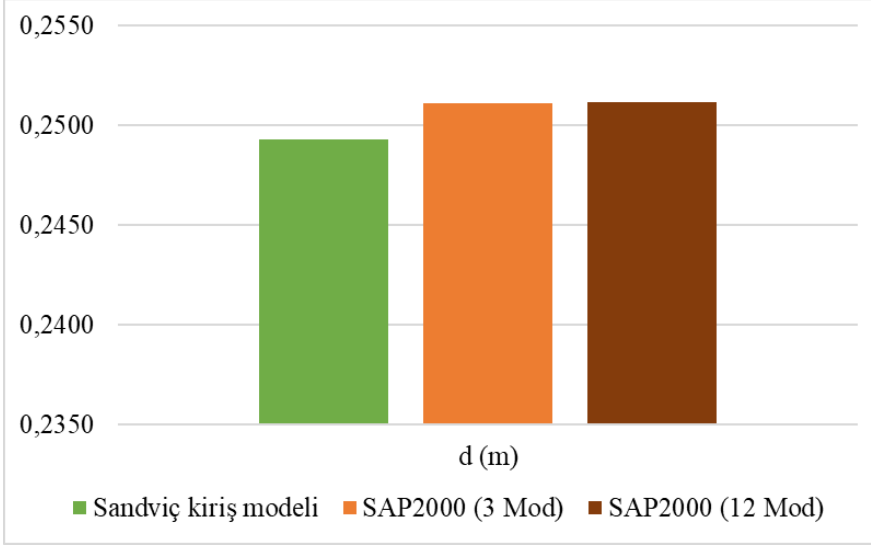
Denklem 3.90, Denklem 3.91, Denklem 3.92 ve Denklem 3.93 bağıntıları kullanılarak hesaplanan taban kesme kuvveti ve tepe noktası yer değiştirmesi sonuçları, SAP2000 ile elde edilen sonuçlarla Tablo 13, Şekil 29 ve Şekil 30'da karşılaştırılmıştır.

Tablo 13  
Taban kesme kuvvetleri ve tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması

Çözümleme	Sürekli Sistem	SAP2000	
		3 Mod	12 Mod
$V_T$ (kN)	2536,55	2359,78	2963,32
$d_H$ (m)	0,24932	0,25110	0,25115



Şekil 29. Sandviç kiriş modeli taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması



Şekil 30. Sandviç kiriş modeli tepe noktası yer değiştirmelerinin karşılaştırılması

Tablo 13'te görüldüğü üzere sürekli sistem hesap modeli ile bulunan tepe noktası yer değiştirmesi değerinin SAP2000 ile bulunan değere uyumlu olduğu, buna karşın sürekli sistem hesap modeli ile bulunan taban kesme kuvveti SAP2000 ile bulunan değerden %14,4 daha az olarak bulunmuştur. Bunun sebebi sürekli sistem hesap modelinde yalnızca 3 mod dikkate alınması olarak değerlendirilmiştir. Taban kesme kuvvetinin elde edilmesinde 4. ve 5. modların katkısı ihmal edilemeyecek mertebededir. Buna karşın tepe noktası yer değiştirmesinde 3'ten yüksek modların katkısı ihmal edilebilecek mertebededir.

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında çelik levhalı perde sistemlerin dinamik analizi için sürekli sistem hesap modeli önerilmiştir. Üçüncü bölümde önerilen yöntemde taşıyıcı sistemi yalnızca ÇLPD'lerden oluşan sistemler için Timoshenko kiriş modeli, taşıyıcı sistemi ÇLPD-çerçevelerden oluşan binalar için ise sandviç kiriş modeli kullanılmıştır. Çalışma kapsamında orijinal olarak Timoshenko kiriş modelini temsil eden diferansiyel denklem sistemi, diferansiyel dönüşüm yöntemi ile çözülerek hesaplarda pratik olarak kullanılmak üzere tablolar oluşturulmuştur. Dördüncü bölümde ise sunulan modellerin uygunluğunu göstermek üzere iki sayısal örnek çözülmüştür. Genel olarak çözülen örneklerde etkin kütle oranı gibi dinamik parametrelere bakıldığında ÇLPD sisteminin dinamik davranışının betonarme perde duvarlardan farksız olduğu, buna karşın özellikle betonarme perdelerle kıyasla çok daha hafif olmalarının büyük avantaj sağladığı değerlendirilmiştir.

#### 5.1. Timoshenko Kiriş Modeli Çalışma Sonuçları

Timoshenko kiriş modelinde taşıyıcı sistemin yalnızca ÇLPD'lerden oluştuğu kabul edilmiştir. Eşdeğer Timoshenko kirişinin matematiksel modeli diferansiyel dönüşüm yöntemi ile çözülmüş ve sonuçlar elde edilmiştir. Sunulan yaklaşımla periyotlar, taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirmesi ve maksimum görelî kat ötelenme oranı hızlı ve pratik bir şekilde elde edilmektedir. Çalışmanın sonunda, çözülmüş örnekte sunulan yaklaşımın sonlu elemanlar yöntemine yeterince yakın sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Sunulan yöntemin sonlu elemanlar yöntemi ile farklılığının özellikle kayma rijitliğinin ( $K_s$ ) hesabındaki kabullerden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak bu tez kapsamındaki yöntem ile sadece birkaç parametre kullanılarak binaların dinamik davranışı hakkında bilgi elde etmek mümkündür. Sunulan yöntem ön tasarım aşamasında kullanılabilir. Ek olarak, hesap başında yapılan kabuller gereği bu haliyle düzenli binalar için uygundur ve düzenli olmayan binalar için uygulanamaz.

## 5.2. Sandviç Kiriş Modeli Çalışma Sonuçları

Sandviç kiriş modeli ÇLPD-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip binaların analizinde kullanılmıştır. Bu hesap yönteminde periyotlar, etkin kütle oranları gibi dinamik karakteristikler pratik bir şekilde elde edilmiştir. Ayrıca bu dinamik parametreler kullanılarak spektral analiz yöntemiyle taban kesme kuvveti, tepe noktası yer değiştirmesi ve maksimum göreceli kat ötelemesi oranları da kolayca hesaplanabilmektedir. Literatürden alınan örnek hem SAP2000 hem de sunulan yöntem ile çözülmüştür. Sürekli sistem ile elde edilen sonuçlar literatür ve SAP2000 ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, sunulan yöntemin yeter derecede uygun sonuçlar verdiği görülmüştür.

Sonuç olarak sunulan yaklaşım ön boyutlandırma aşamasında ve yapısal analiz yapan programların çıktılarının kontrolünde kullanılabilir. Ayrıca çalışma kapsamında sunulan yöntem ile az bir parametreye gereksinim duyularak bina davranışı hakkında fikir edinmek mümkün olmakta ve sonlu elemanlar yönteminde çıktıların fazlalığı nedeniyle gözden kaçan bina davranışı daha iyi anlaşılmaktadır. Tez kapsamındaki bu yöntem burulmalı ve bina özellikleri yüksekliği boyunca değişen binalar için geliştirilebilir. Ayrıca binaların deprem performansının belirlenmesinde kullanılan doğrusal olmayan analiz için de yöntem geliştirilerek kullanılabilir.

## KAYNAKÇA

- Ahmadi, H. M., & De Matteis, G. (2022). "Cyclic Behaviour of Steel Shear Walls with Beam-Only Connection Shear Panels". *International Conference on the Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas* (s. 659-666). Cham: Springer.
- Alavi, E., & Nateghi, F. (2013). "Experimental study of diagonally stiffened steel plate shear walls". *Journal of Structural Engineering*, 139(11), 1795-1811.
- Alshimmeri, A. J., & Kontoni, D. P. (2022). "Improving the Behavior of Steel Plate Shear Wall Using Double Infill Plates". *7th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering*. Lisbon: Avestia.
- Asl, M. H., & Safarkhani, M. (2017). "Seismic behavior of steel plate shear wall with reduced boundary beam section". *Thin-Walled Structures*, 116, 169-179.
- Astaneh-Asl, A. (2001). "Seismic behavior and design of steel shear walls". *SEAONC Seminar* (s. 1-18). San Francisco: Academia.
- Atasoy, M. (2008). *Lateral stiffness of unstiffened steel plate shear wall systems* (Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara).
- Azarafrooz, A., & Shekastehband, B. (2020). "Behavior of fully-connected and partially-connected multi-story steel plate shear wall structures". *Structural Engineering and Mechanics, An Int'l Journal*, 76(3), 311-324.
- Bai, J., Zhang, J., Du, K., & Jin, S. (2020). "A simplified seismic design method for low-rise dual frame-steel plate shear wall structures". *Steel and Composite Structures, An International Journal*, 37(4), 447-462.
- Bai, J., Zhang, J., Jin, S., & Wang, Y. H. (2021). "A simplified computational model for seismic performance evaluation of steel plate shear wall-frame structural systems". *In Structures*, 33, 1677-1689.
- Baikov, V. N., & Sigalov, E. E. (1981). *Reinforced concrete structures*. Moscow: MIR Publishers.
- Barua, K., & Bhowmick, A. K. (2019). "Nonlinear seismic performance of code designed perforated steel plate shear walls". *Steel and Composite Structures, An International*

*Journal*, 31(1), 85-98.

Barua, K., & Bhowmick, A. K. (2019). "Nonlinear seismic performance of code designed perforated steel plate shear walls". *Steel and Composite Structures, An International Journal*, 31(1), 85-98.

Barua, K., & Bhowmick, A. K. (2019b). "Nonlinear seismic performance of code designed perforated steel plate shear walls". *Steel and Composite Structures, An International Journal*, 31(1), 85-98.

Basri, H., Ras, A., Hamdaoui, K., & Alsamawi, A. B. (2022). "Numerical investigation on seismic behavior of steel frame equipped with steel plate shear wall". *International Journal of Advanced Scientific Research and Innovation*, 5(1), 54-66.

Berman, J. W., Lowes, L. N., Baldvins, N. M., & Low, N. A. (2010). "Performance based design tools for steel plate shear walls". In *Structures Congress 2010* (s. 3443-3454). Orlando: ASCE.

Bhowmick, A. K., Driver, R. G., & Grondin, G. Y. (2011). "Application of indirect capacity design principles for seismic design of steel-plate shear walls". *Journal of Structural Engineering*, 137(4), 521-530.

Bhowmick, A. K., Grondin, G. Y., & Driver, R. G. (2014). "Nonlinear seismic analysis of perforated steel plate shear walls". *Journal of Constructional Steel Research*, 94, 103-113.

Bilyap, S. (1979). *Betonarme yüksek yapılarda perde-çerçeve sistemlerinin yatay yüklere göre hesabı*. İzmir: EÜ İnşaat Fakültesi Yayınları.

Blevins, R. D. (1979). *Formulas for natural frequency and mode shape*. Florida: Krieger Publishing Co.

Bozdoğan, K. B. (2010). *Çok katlı yapıların taşıma matrisi yöntemi ile statik dinamik ve stabilite çözümlemesi* (Doktora tezi, Ege Üniversitesi, İzmir).

Bozdoğan, K. B., Öztürk, D., & Nuhoğlu, A. (2005). "A practical method for dynamic analysis of multistorey buildings according to continuum approximation model". *Sigma*, 65-77.

Bruneau, M. (2007). "Recent developments in ductile steel design concepts". *XVI Congreso*

- Clayton, P. M., Dowden, D. M., Purba, R., Berman, J. W., Lowes, L. N., & Bruneau, M. (2011). "Seismic design and analysis of self-centering steel plate shear walls". In *Structures Congress 2011* (s. 748-757). Las Vegas: ASCE.
- Clayton, P. M., Winkley, T. B., Berman, J. W., & Lowes, L. N. (2012). "Experimental investigation of self-centering steel plate shear walls". *Journal of structural engineering*, 138(7), 952-960.
- Cui, J. C., Xu, J. D., Xu, Z. R., & Huo, T. (2020). "Cyclic behavior study of high load-bearing capacity steel plate shear wall". *Journal of Constructional Steel Research*, 172, 106178.
- Cui, J., Huo, T., Xu, J., & Xu, Z. (2022). "Experimental study on seismic behavior of steel plate shear wall with high load-bearing capacity". *Journal of Building Structures*, 43(5), 79.
- Curkovic, I., Jung, K. H., & Ryun, W. (2019). "Seismic performance of steel plate shear walls with variable column flexural stiffness". *Steel and Composite Structures, An International Journal*, 33(1), 1-18.
- Dowden, D. M., & Bruneau, M. (2016). "Dynamic shake-table testing and analytical investigation of self-centering steel plate shear walls". *Journal of Structural Engineering*, 142(10), 04016082.
- Dowden, D. M., Clayton, P. M., Li, C. H., Berman, J. W., Bruneau, M., Lowes, L. N., & Tsai, K. C. (2016). "Full-scale pseudodynamic testing of self-centering steel plate shear walls". *Journal of Structural Engineering*, 142(1), 04015100.
- Dowden, D. M., Purba, R., & Bruneau, M. (2012). "Behavior of self-centering steel plate shear walls and design considerations". *Journal of Structural Eng.*, 138(1), 11-21.
- Du, Y., Shao, Y., & Zhong, L. (2022). "Repairing damaged steel plate shear wall with additional ribs". *Structures*, 41, 222-234.
- Ebadi-Jamkhaneh, M., & Kontoni, D. P. (2022). "Numerical finite element investigation of thin steel shear walls retrofitted with CFRP layers under reversed cyclic loading". *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 7(1), 1-10.

- Ertutar, Y., & Arisoy, B. (1994). "Computation of the shear stiffness for the combined shear wall with multi span systems". *International Journal for Housing Science and its Applications*, 18, 105-112.
- Fathy, E. (2020). "Seismic assessment of thin steel plate shear walls with outrigger system". *Structural Engineering and Mechanics, An Int'l Journal*, 74(2), 267-282.
- Gorji, M. S., & Cheng, J. J. (2015). "Improving Overturning Stiffness of Steel Plate Shear Walls". In *Structures Congress 2015* (s. 2396-2407). Portland: ASCE.
- Guo, H., Li, Y., Liang, G., & Liu, Y. (2017). "Experimental study of cross stiffened steel plate shear wall with semi-rigid connected frame". *Journal of Constructional Steel Research*, 135, 69-82.
- Güngör, Y., & Bozdoğan, K. B. (2021). "An approach for dynamic analysis of steel plate shear wall systems". *Grādevinar*, 73(12), 1195-1207.
- Gürbüz, M., & Kazaz, İ. (2022a). "A Numerical Investigation on the Limitations of Design Equations for Steel Plate Shear Walls". *Teknik Dergi*, 33(5).
- Gürbüz, M., & Kazaz, İ. (2022b). "Numerical Evaluation on the Steel Plate Shear Wall Design Parameters for Improved Cyclic Behavior". *International Journal of Steel Structures*, 22(2), 409-429.
- Hamed, A. A., Samadi, A., & Basim, M. C. (2022). "Topology and shape optimization of steel plate shear walls for enhancing the seismic energy dissipation capacity". *Journal of Building Engineering*, 57, 104828.
- He, J., Lin, S., Li, Y., Dong, X., & Chen, S. (2022). "Genetic Algorithm for Optimal Placement of Steel Plate Shear Walls for Steel Frames". *Buildings*, 12(6), 835.
- Jiang, R., Jiang, L., Hu, Y., Jiang, L., & Ye, J. (2020). "A simplified method for fundamental period prediction of steel frames with steel plate shear walls". *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 29(7), e1718.
- Kang, T. H., Martin, R. D., Park, H. G., Wilkerson, R., & Youssef, N. (2011). "Tall building with steel plate shear walls subject to load reversal". *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22(6), 500-520.
- Koppal, M., & Eatherton, M. R. (2013). "Perforated steel plate shear walls for tunable



- seismic resistance”. In *Structures Congress 2013: Bridging Your Passion with Your Profession* (s. 2884-2894). Pittsburgh: ASCE.
- Kordbegli, S., Haghollahi, A., & Farahbod, F. (2022). “Seismic behavior of a novel RSSC-SPSW: An experimental and numerical study”. *Journal of Constructional Steel Research*, 196, 107376.
- Liqiang, F., Feng, L., Changlin, N., Hongliang, W., Shuyan, J., Pu, Y., & Guojue, W. (2022). “Design and shaking table test of a ten-storey building with steel plate shear walls partially connected to columns”. *Journal of Building Engineering*, 49, 103982.
- Liu, J. L., Xu, L. H., & Li, Z. X. (2020). “Experimental study on component performance in steel plate shear wall with self-centering braces”. *Steel and Composite Structures, An International Journal*, 37(3), 341-351.
- Liu, J., Xu, L., & Xie, X. (2022). “Seismic design and performance of a steel frame-shear plate shear wall with self-centering energy dissipation braces structure”. *Journal of Building Engineering*, 51, 104336.
- Love, R. J., Yu, K., McNeill, S., & Zepeda, D. (2008). “Retrofit of a critical care facility in los angeles with steel plate shear walls”. In *Structures Congress 2008: Crossing Borders* (s. 1-7). Vancouver: ASCE.
- Mamazizi, A., Khani, S., Gharehbaghi, V. R., & Farsangi, E. N. (2022). “Modified plate frame interaction method for evaluation of steel plate shear walls with beam-connected web plates”. *Journal of Building Engineering*, 45, 103682.
- Masoumi, M., Emami, F., & Javadi, P. (2022). “Self-buckling-restrained steel plate shear wall made by two diagonally corrugated infill plates”. *Asian Journal of Civil Engineering*, 23(3), 321-335.
- Moradnezhad, B., Oghabi, M., TahamouliRoudsari, M., & Movahednia, M. (2022). “A novel practical truss-based approach for evaluation the non-linear behavior of steel plate shear walls”. *Structures*, 40, 370-385.
- Nayel, I. H., Broujerdian, V., & Ghamari, A. (2022). “Investigating the Behavior of Semi-Supported Steel Plate Shear Walls Compounded of Two Flat and Two Corrugated Plates: A Numerical and Parametrical Study”. *International Journal of Civil Engineering*, 1-14.

- Nie, J. G., Zhu, L., Fan, J. S., & Mo, Y. L. (2013). "Lateral resistance capacity of stiffened steel plate shear walls". *Thin-Walled Structures*, 67, 155-167.
- Paz, M., & Kim, Y. H. (2019). *Structural Dynamics: Theory and Computation*. Springer International Publishing.
- Potzta, G., & Kollár, L. P. (2003). "Analysis of building structures by replacement sandwich beams". *International Journal of Solids and Structures*, 40(3), 535-553.
- Qu, B., & Bruneau, M. (2010). "Behavior of vertical boundary elements in steel plate shear walls". *Engineering Journal (Chicago)*, 47(2), 109-122.
- Rajasekaran, S. (2009). *Structural dynamics of earthquake engineering: theory and application using MATHEMATICA and MATLAB*. Woodhead Publishing.
- Rao, B. V., Sunanda, K., Alapati, M., & Viswanadh, G. K. (2022). "Structural optimization of steel plate shear wall with different perforation configurations and locations". *Materials Today: Proceedings*.
- Ridwan, M. (2022). "Behavioral study of perforated steel plate shear walls with cyclic loading". *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 4(1), 28-33.
- Sabouri-Ghomi, S., Ahouri, E., Bhowmick, A. K., Asad-Sajjadi, R., & Sabouri-Ghomi, M. (2022). "In-Plane Deformation of Stiffeners Around Opening in Steel Shear Panels". *International Journal of Civil Engineering*, 20(6), 661-689.
- Seifiasl, A., & Asl, M. H. (2022). "Experimental and numerical study on the seismic behavior of steel plate shear wall with reduced web section beams". *Journal of Building Engineering*, 46, 103797.
- Shahzad, M. M., Zhang, X., Wang, X., & Abdulhadi, M. (2022). "Comparative response assessment of different steel plate shear walls (SPSWs) under near-field ground motion". *Journal of Constructional Steel Research*, 190, 107147.
- Sharyatpanahi, N. S., & Bhowmick, A. (2022). "Seismic Behaviour of Steel Plate Shear Walls with Door and Window Sized Openings". *Canadian Society of Civil Engineering Annual Conference 2021*. 241, s. 647-660. Singapore: Springer.
- Shi, Y., Luo, Z., Xu, Y., Zou, Y., Xu, L., & Ma, Q. (2022). "Experimental study on the seismic behavior of high-performance cold-formed steel plate shear walls".

*Engineering Structures*, 251, 113552.

Smith, B. S., & Crowe, E. (1986). "Estimating periods of vibration of tall buildings". *Journal of structural engineering*, 112(5), 1005-1019.

Su, M. N., Wang, K., Wang, Y. H., Tan, J. K., Zhang, H. B., & Guo, J. (2021). "Experimental study on steel plate shear wall with composite frame". *Structures*.

Tahaii, S. M., Hamidi, H., & Amiri, J. V. (2022). "Inelastic Seismic Demand of Steel-Plate Shear Wall Structures: Emphasis on the PTD Effect". *International Journal of Civil Engineering*, 1-19.

Tan, J. K., Su, M. N., Wang, Y. H., Wang, K., Cao, Y. Q., & Li, P. (2022a). "Experimental study on cyclic shear performance of steel plate shear wall with different buckling restraints". *In Structures*, 35, 469-482.

Tan, J. K., Wang, Y. H., Nie, X., Wang, K., & Tian, Z. (2022b). "Numerical modelling and equivalent brace model of cold-formed steel buckling-restrained steel plate shear walls". *Journal of Constructional Steel Research*, 193, 107289.

Tan, J. K., Zhou, X. H., Nie, X., Wang, Y. H., & Wang, K. (2022d). "Experimental and numerical investigation of cross-shaped buckling-restrained SPSWs with composite structure". *Journal of Building Engineering*, 47, 103873.

Tan, Z., Zhao, Q., Zhao, Y., & Yu, C. (2022c). "Probabilistic Seismic Assessment of CoSPSW Structures Using Fragility Functions". *Metals*, 12(6), 1045.

Tarnai, T. (Ed.). (1995). "The Southwell and the Dunkerley Theorems". *Summation Theorems in Structural Stability* (s. 141-185). Springer: Vienna.

Timler, P., Ventura, C. E., Prion, H., & Anjam, R. (1998). "Experimental and analytical studies of steel plate shear walls as applied to the design of tall buildings". *The structural design of tall buildings*, 7(3), 233-249.

Topkaya, C., & Kurban, C. O. (2009). "Natural periods of steel plate shear wall systems". *Journal of Constructional steel research*, 65(3), 542-551.

*Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. (2018). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1.pdf> adresinden alındı

- Vatansever, C., & Yardımcı, N. (2009). “Yarı-rijit kiriş-kolon birleşimli ince levhalı bir çelik perdenin tersinir yükler altında davranışı”. *itüdergisi/d*, 8(5), 129-140.
- Verma, A., & Sahoo, D. R. (2022a). “Influence of composite floor slab on seismic performance of steel plate shear walls”. *Journal of Constructional Steel Research*, 188, 107042.
- Verma, A., & Sahoo, D. R. (2022b). “Aspect ratios of code-designed steel plate shear walls for improved seismic performance”. *Steel and Composite Structures*, 42(1), 107-121.
- Wang, X. T., & Xie, C. D. (2019). “Experimental and numerical investigation of steel beam-to-CFST column frame-thin steel plate shear walls with cross stiffness”. *International Journal of Steel Structures*, 19(6), 1895-1910.
- Webster, D. J., Berman, J. W., & Lowes, L. N. (2014). “Experimental investigation of SPSW web plate stress field development and vertical boundary element demand”. *Journal of Structural Engineering*, 140(6), 04014011.
- Xu, H., Duan, K., Li, C., Qiang, X., & Liu, Y. (2022). “Experimental and Numerical Study on Shear Behavior of Stiffened Thin Steel Plate Shear Walls by New Welding Process”. *Infrastructures*, 7(4), 58.
- Yu, J. G., Feng, X. T., Li, B., & Hao, J. P. (2018). “Cyclic performance of cross restrained steel plate shear walls with transverse braces”. *Thin-Walled Struct.*, 132, 250-264.
- Yu, J., He, L., Li, B., Li, L., Tian, L., & Men, J. (2022). “Structural behaviour of post-earthquake steel plate shear wall repaired by non-welded oblique stiffeners”. *Structures*, 39, 70-85.
- Zalka, K. A. (2001). “A simplified method for calculation of the natural frequencies of wall-frame buildings”. *Engineering Structures*, 23(12), 1544-1555.
- Zirakian, T., & Zhang, J. (2015). “Structural performance of unstiffened low yield point steel plate shear walls”. *Journal of Constructional steel research*, 112, 40-53.

## EKLER

### EK 1

#### TIMOSHENKO KİRİŞİ HESAP MODELİNİN PYTHON KODU

```
import numpy as np
import pandas as pd
from scipy import interpolate

num_f = 4 # Kat sayısı
num_h = 3.29 # (m) Kat yüksekliği
H = num_f * num_h # (m) Bina yüksekliği
E = 200 * 10**6 # (kN/m2) Elastisite modülü
G = 77 * 10**6 # (kN/m2) Kayma modülü
mass = 150 # (t/kat)
Mt = 2 * mass * num_f # (t) Toplam kütle (2 adet perde)
roA = mass / num_h # (t/m) Kat yüksekliğine yayılan kütle

"""### Kolon Özellikleri ###"""
# HD400x287
Ic = 0.9971 * 10**(-3) # (m4) Atalet momenti
Ac = 366.3 * 10**(-4) # (m2) Alan
d = 0.393 # (m) Profil yüksekliği
Afl = 14603.4 * 10**(-6) # (m2) Flanş alanı
Aweb = 8881.8 * 10**(-6) # (m2) Gövde alanı
tweb = 22.6 * 10**(-3) # (m) Gövde kalınlığı

"""### Duvar Özellikleri ###"""
plw = 3 # (m) Levha genişliği
ptk = 0.003 # (m) Levha kalınlığı

"""### Deprem Parametreleri ###"""
Sa1 = 1.752008 # (m/s2) Spektral ivme
Sa2 = 2.819928 # (m/s2) Spektral ivme
Sa3 = 2.553271 # (m/s2) Spektral ivme
Sd1 = 0.016318 # (m) Spektral yer değiştirme
Sd2 = 0.002344 # (m) Spektral yer değiştirme
```

Sd3 = 0.000582 # (m) Spektral yer değiştirme

Q1 = Afl \* (plw \* 0.5 + d)

Q2 = Q1 + Aweb \* 0.5 \* (plw + d)

Q3 = Ac \* 0.5 \* (plw + d)

Q4 = Q3 + plw\*\*2 \* ptk / 8

beta1 = (Q1\*\*2 + Q2\*\*2) \* d / tweb

beta2 = (Q3\*\*2 + Q4\*\*2) \* plw / (2 \* ptk)

beta = beta1 + beta2

Iw = (ptk \* plw\*\*3 / 12) + 2 \* Ac \* ((d + plw)/2)\*\*2 + 2 \* Ic

KGAw = (Iw\*\*2 / beta) \* G

r2 = E \* Iw / (KGAw \* H\*\*2)

data = [[1.787, 0.285, 0.102, 0.610, 0.190, 0.070,  
1.570, 0.870, 0.510, None, None, None],  
[2.171, 0.575, 0.284, 0.687, 0.187, 0.049,  
1.500, 0.690, 0.337, 1.792, 2.330, 2.440],  
[2.504, 0.740, 0.383, 0.722, 0.162, 0.043,  
1.460, 0.630, 0.310, 1.686, 2.380, 2.268],  
[2.801, 0.866, 0.460, 0.743, 0.145, 0.040,  
1.430, 0.590, 0.290, 1.654, 2.345, 2.202],  
[3.070, 0.971, 0.526, 0.756, 0.134, 0.039,  
1.410, 0.560, 0.290, 1.651, 2.230, 2.168],  
[3.319, 1.064, 0.584, 0.765, 0.127, 0.038,  
1.390, 0.540, 0.280, 1.660, 2.257, 2.147],  
[3.550, 1.148, 0.637, 0.772, 0.121, 0.038,  
1.380, 0.530, 0.280, 1.674, 2.222, 2.132],  
[3.768, 1.226, 0.686, 0.777, 0.117, 0.037,  
1.370, 0.510, 0.280, 1.689, 2.194, 2.122],  
[3.974, 1.298, 0.731, 0.781, 0.113, 0.037,  
1.360, 0.500, 0.280, 1.704, 2.170, 2.113],  
[4.170, 1.367, 0.774, 0.785, 0.111, 0.037,  
1.350, 0.500, 0.270, 1.719, 2.149, 2.106],

[4.357, 1.431, 0.814, 0.787, 0.108, 0.037,  
1.343, 0.489, 0.274, 1.733, 2.132, 2.102],  
[5.913, 1.961, 1.142, 0.801, 0.097, 0.036,  
1.311, 0.454, 0.268, 1.827, 2.043, 2.080],  
[7.138, 2.372, 1.395, 0.805, 0.093, 0.035,  
1.299, 0.440, 0.266, 1.872, 2.009, 2.072],  
[8.183, 2.722, 1.608, 0.808, 0.091, 0.035,  
1.292, 0.433, 0.265, 1.899, 1.991, 2.068],  
[9.108, 3.031, 1.796, 0.809, 0.090, 0.035,  
1.288, 0.429, 0.265, 1.916, 1.980, 2.066],  
[9.947, 3.312, 1.966, 0.810, 0.089, 0.035,  
1.285, 0.426, 0.264, 1.928, 1.972, 2.064],  
[10.721, 3.570, 2.123, 0.811, 0.089, 0.035,  
1.283, 0.424, 0.264, 1.937, 1.967, 2.063],  
[11.443, 3.811, 2.268, 0.811, 0.088, 0.035,  
1.282, 0.422, 0.264, 1.944, 1.962, 2.062],  
[12.122, 4.038, 2.405, 0.812, 0.088, 0.035,  
1.280, 0.421, 0.263, 1.949, 1.959, 2.061],  
[12.765, 4.252, 2.535, 0.812, 0.088, 0.035,  
1.279, 0.420, 0.263, 1.954, 1.957, 2.060],  
[13.377, 4.456, 2.658, 0.812, 0.087, 0.035,  
1.279, 0.419, 0.263, 1.957, 1.954, 2.060],  
[13.962, 4.652, 2.776, 0.813, 0.087, 0.035,  
1.278, 0.418, 0.263, 1.960, 1.953, 2.060],  
[14.524, 4.839, 2.889, 0.813, 0.087, 0.035,  
1.277, 0.418, 0.263, 1.963, 1.951, 2.059],  
[15.065, 5.019, 2.998, 0.813, 0.087, 0.035,  
1.277, 0.417, 0.263, 1.965, 1.950, 2.059],  
[15.587, 5.194, 3.103, 0.813, 0.087, 0.035,  
1.277, 0.417, 0.263, 1.967, 1.948, 2.058],  
[16.092, 5.362, 3.204, 0.813, 0.087, 0.035,  
1.276, 0.416, 0.263, 1.969, 1.947, 2.058],  
[16.581, 5.525, 3.302, 0.813, 0.086, 0.035,  
1.276, 0.416, 0.263, 1.970, 1.947, 2.058],  
[17.057, 5.684, 3.398, 0.813, 0.086, 0.035,  
1.276, 0.416, 0.263, 1.972, 1.946, 2.058],  
[17.520, 5.838, 3.491, 0.814, 0.086, 0.035,

```

        1.275, 0.415, 0.263, 1.973, 1.945, 2.058],
        [17.971, 5.988, 3.581, 0.814, 0.086, 0.035,
        1.275, 0.415, 0.263, 1.974, 1.945, 2.058],
        [21.977, 7.324, 4.385, 0.810, 0.086, 0.035,
        1.270, 0.410, 0.260, 1.980, 1.940, 2.060]]

index_r2 = [0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5,
            0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 2.0,
            3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0,
            9.0, 10.0, 11.0, 12.0, 13.0, 14.0,
            15.0, 16.0, 17.0, 18.0, 19.0, 20.0, 30.0]

columns_r2 = ["S1", "S2", "S3",
              "em1", "em2", "em3",
              "disp1", "disp2", "disp3",
              "beta11", "beta21", "beta31"]

df = pd.DataFrame(data, index=index_r2, columns=columns_r2)

x = False
for i in index_r2:
    if i == r2:
        df = df.loc[r2]
        x = True

if x != True:
    # r2 değerine göre bilinmeyen satırı eklenmesi
    df.loc[r2] = np.nan
    # Listenin r2 değeri ile tekrar sıralanması
    df = df.reindex(sorted(df.index), axis=0)
    # 1. derece polinom interpolasyonu
    df = df.interpolate(method="polynomial", order=1).round(4)
    df = df.loc[r2]

S1 = df.loc["S1"]
S2 = df.loc["S2"]
S3 = df.loc["S3"]

```



```

em1 = df.loc["em1"]
em2 = df.loc["em2"]
em3 = df.loc["em3"]

disp1 = df.loc["disp1"]
disp2 = df.loc["disp2"]
disp3 = df.loc["disp3"]

beta11 = df.loc["beta11"]
beta21 = df.loc["beta21"]
beta31 = df.loc["beta31"]

correction = [[0.492, None, None], [0.664, 0.704, None],
              [0.749, 0.781, 0.751], [0.799, 0.821, 0.829],
              [0.833, 0.848, 0.860], [0.857, 0.868, 0.878],
              [0.875, 0.883, 0.892], [0.889, 0.895, 0.903],
              [0.900, 0.905, 0.912], [0.909, 0.913, 0.919],
              [0.917, 0.920, 0.925], [0.923, 0.926, 0.931],
              [0.928, 0.931, 0.935], [0.933, 0.935, 0.939],
              [0.937, 0.939, 0.943], [0.941, 0.943, 0.946],
              [0.944, 0.946, 0.949], [0.947, 0.948, 0.952],
              [0.950, 0.951, 0.954], [0.952, 0.953, 0.956],
              [0.954, 0.955, 0.958], [0.956, 0.957, 0.960],
              [0.958, 0.959, 0.962], [0.960, 0.960, 0.963],
              [0.961, 0.962, 0.965], [0.963, 0.963, 0.966],
              [0.964, 0.964, 0.967], [0.965, 0.966, 0.968],
              [0.967, 0.967, 0.969], [0.968, 0.968, 0.970]]

index_c = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10,
           11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20,
           21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30]

columns_c = ["Mode 1", "Mode 2", "Mode 3"]

df_c = pd.DataFrame(correction, index=index_c,
                    columns=columns_c)

```

```

df_c = df_c.loc[num_f]

mode1 = df_c.loc["Mode 1"]
mode2 = df_c.loc["Mode 2"]
mode3 = df_c.loc["Mode 3"]

T1 = (S1 * H**2 / mode1) * (roA/(E * Iw))**0.5
T2 = (S2 * H**2 / mode2) * (roA/(E * Iw))**0.5
T3 = (S3 * H**2 / mode3) * (roA/(E * Iw))**0.5
print("T1 =", T1.round(3), "s")
print("T2 =", T2.round(3), "s")
print("T3 =", T3.round(3), "s")
print(" ")

Vb1 = em1 * Mt * Sa1
Vb2 = em2 * Mt * Sa2
Vb3 = em3 * Mt * Sa3
print("Vb1 =", Vb1.round(3), "kN")
print("Vb2 =", Vb2.round(3), "kN")
print("Vb3 =", Vb3.round(3), "kN")
print(" ")

Vb = (Vb1**2 + Vb2**2 + Vb3**2)**0.5
print("Vb =", Vb.round(3), "kN")
print(" ")

dmax1 = disp1 * Sd1
dmax2 = disp2 * Sd2
dmax3 = disp3 * Sd3
print("dmax1 =", dmax1.round(4), "m")
print("dmax2 =", dmax2.round(4), "m")
print("dmax3 =", dmax3.round(4), "m")
print(" ")

dmax = (dmax1**2 + dmax2**2 + dmax3**2)**0.5
print("dmax =", dmax.round(4), "m")

```

```
print(" ")

dr11 = beta11 * Sd1 / H
dr21 = beta21 * Sd2 / H
dr31 = beta31 * Sd3 / H
print("dr11 =", dr11.round(6))
print("dr21 =", dr21.round(6))
print("dr31 =", dr31.round(6))
print(" ")

drmax = (dr11**2 + dr21**2 + dr31**2)**0.5
print("drmax =", drmax.round(6))
```

## EK 2

### SANDVIÇ KİRİŞ HESAP MODELİNİN PYTHON KODU

```
import numpy as np
import pandas as pd
from scipy import interpolate

num_f = 40          # Kat sayısı
num_h = 3.29        # (m) Kat yüksekliği
H = num_f * num_h  # (m) Bina yüksekliği
bay1 = 7           # (m) 2. açıklık
bay2 = 7           # (m) 3. açıklık
E = 200 * 10 ** 6  # (kN/m2) Elastisite modülü
G = 77 * 10 ** 6  # (kN/m2) Kayma modülü
mass = 250         # (t/kat)
Mt = 2 * mass * num_f # (t) Toplam kütle (2 adet perde)
m = mass / num_h   # (t/m) Kat yüksekliğine yayılan kütle

"""### Kolon Özellikleri ###"""
# HD400x347
Ic = 0.1249 * 10**(-2) # (m4) Atalet momenti
Ac = 442 * 10**(-4)   # (m2) Alan
d = 0.407             # (m) Profil yüksekliği
Afl = 17655 * 10**(-6) # (m2) Flanş alanı
Aweb = 11150 * 10**(-6) # (m2) Gövde alanı
tweb = 27.2 * 10**(-3) # (m) Gövde kalınlığı

"""### Kiriş Özellikleri ###"""
# HEA400
Ib = 0.4507 * 10**(-3) # (m4) Atalet momenti
Lb = 7                 # (m) Kiriş uzunluğu

"""### Duvar Özellikleri ###"""
plw = 6               # (m) Levha genişliği
ptk = 0.006          # (m) Levha kalınlığı
```

```

"""### Deprem Parametreleri ###"""
Sa1 = 0.123654 # m/s2 (Spektral ivme)
Sa2 = 0.558422 # m/s2 (Spektral ivme)
Sa3 = 1.225113 # m/s2 (Spektral ivme)
Sd1 = 0.174414 # m (Spektral yer değiştirme)
Sd2 = 0.059739 # m (Spektral yer değiştirme)
Sd3 = 0.027230 # m (Spektral yer değiştirme)

correction = [[0.493], [0.653], [0.770],
               [0.812], [0.842], [0.863],
               [0.879], [0.892], [0.902],
               [0.911], [0.918], [0.924],
               [0.929], [0.934], [0.938],
               [0.941], [0.947], [0.952],
               [0.961], [0.967], [0.980]]

index_rf = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,
            8, 9, 10, 11, 12, 13, 14,
            15, 16, 18, 20, 25, 30, 50]

columns_rf = ["rf"]

df_rf = pd.DataFrame(correction, index=index_rf, columns=columns_rf)

x = False
for i in index_rf:
    if i == num_f:
        df_rf = df_rf.loc[num_f]
        x = True

if x != True:
    # Kat sayısına gore bilinmeyen satırı eklenmesi
    df_rf.loc[num_f] = np.nan
    # Listenin tekrar sıralanması
    df_rf = df_rf.reindex(sorted(df_rf.index), axis=0)
    # 1. derece polinom interpolasyonu
    df_rf = df_rf.interpolate(method="polynomial",

```

```

order=1).round(4)
    df_rf = df_rf.loc[num_f]

rf = df_rf.loc["rf"] # Kat seviyelerinde yığılmış kütlelerin
katkısını dikkate alan bir faktör

Q1 = Afl * (plw * 0.5 + d)
Q2 = Q1 + Aweb * 0.5 * (plw + d)
Q3 = Ac * 0.5 * (plw + d)
Q4 = Q3 + plw**2 * ptk / 8

beta1 = (Q1**2 + Q2**2) * d / tweb
beta2 = (Q3**2 + Q4**2) * plw / (2 * ptk)
beta = beta1 + beta2

Iw = (ptk * plw**3 / 12) + 2 * Ac * ((d + plw)/2)**2 + 2 * Ic

KGAw = (Iw**2 / beta) * G

fb = (rf * 0.5595 / H**2) * (E * Iw / m)**0.5
fs = (rf / (4 * H)) * (KGAw / m)**0.5
Tw = ((1 / fb**2) + (1 / fs**2))**0.5

Imw = (m * H**4) / (0.313 * rf**2 * Tw**2 * E)

I = Imw + 4 * Ic # 4 kolon adedi

Ks1 = (12 * E) / (num_h * (1/(4 * Ic / num_h) + 1/(2*Ib / Lb)))

r = plw / (2 * Lb)
n = 6 * Ic * Lb / (Ib * num_h)
s = (n - 3 * r - 1) / (n + 2)
Ks2 = (2*(6 * E * Ib) / (Lb * num_h)) * ((1 + r)*(1 + 2*r + s))

Di=E*Ac*(2*(plw/2)**2+2*((plw/2)+bay1)**2+2*((plw/2)+bay1+bay2)**2)

ffs2 = (rf**2 * (Ks1 + Ks2)) / (m * (4 * H)**2)

```

```

ffb2 = (0.313 * rf**2 * Di) / (m * H**4)
Ksi = ffb2 / (ffb2 + ffs2)
Ks = Ksi * (Ks1 + Ks2)

alpha = round(((Ks / (E * I))**0.5), 9)

k = round((alpha * H), 3)

cc = round(((num_f / (num_f + 2.06))**0.5), 7) # Düzeltme
katsayısı

data = [[1.788, 0.285, 0.102, 1.57, -0.87, 0.51, 0.61, 0.19, 0.07],
        [1.529, 0.276, 0.101, 1.55, -0.85, 0.50, 0.62, 0.18, 0.06],
        [1.160, 0.254, 0.098, 1.52, -0.82, 0.50, 0.65, 0.16, 0.06],
        [0.908, 0.227, 0.094, 1.47, -0.77, 0.48, 0.67, 0.14, 0.06],
        [0.744, 0.200, 0.089, 1.43, -0.70, 0.47, 0.69, 0.12, 0.06],
        [0.631, 0.178, 0.083, 1.39, -0.66, 0.47, 0.71, 0.11, 0.05],
        [0.547, 0.160, 0.078, 1.37, -0.62, 0.44, 0.72, 0.11, 0.05],
        [0.483, 0.144, 0.073, 1.35, -0.59, 0.42, 0.73, 0.10, 0.05],
        [0.432, 0.132, 0.068, 1.33, -0.58, 0.41, 0.73, 0.10, 0.04],
        [0.391, 0.121, 0.064, 1.32, -0.56, 0.38, 0.74, 0.10, 0.04],
        [0.357, 0.111, 0.060, 1.31, -0.52, 0.37, 0.75, 0.09, 0.04],
        [0.328, 0.103, 0.056, 1.31, -0.51, 0.37, 0.75, 0.09, 0.04],
        [0.304, 0.096, 0.053, 1.30, -0.50, 0.36, 0.76, 0.09, 0.04],
        [0.282, 0.090, 0.050, 1.30, -0.49, 0.35, 0.76, 0.09, 0.04],
        [0.264, 0.085, 0.047, 1.30, -0.48, 0.35, 0.76, 0.10, 0.04],
        [0.248, 0.080, 0.045, 1.29, -0.47, 0.34, 0.77, 0.09, 0.04],
        [0.234, 0.075, 0.043, 1.29, -0.47, 0.33, 0.77, 0.09, 0.04],
        [0.221, 0.072, 0.041, 1.29, -0.46, 0.32, 0.77, 0.10, 0.04],
        [0.209, 0.068, 0.039, 1.29, -0.45, 0.32, 0.77, 0.09, 0.04],
        [0.199, 0.065, 0.037, 1.29, -0.45, 0.31, 0.77, 0.09, 0.03],
        [0.190, 0.062, 0.036, 1.29, -0.44, 0.30, 0.78, 0.09, 0.04],
        [0.129, 0.042, 0.025, None, None, None, None, None, None]]

index_k = [0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0,
           11.0, 12.0, 13.0, 14.0, 15.0, 16.0, 17.0, 18.0, 19.0, 20.0, 30.0]

columns_k = ["Z1", "Z2", "Z3",
            "mu1", "mu2", "mu3",

```

```

        "eko1", "eko2", "eko3"]

df = pd.DataFrame(data, index=index_k, columns=columns_k)

y = False
for i in index_k:
    if i == k:
        df = df.loc[k]
        y = True

if y != True:
    # k değerine göre bilinmeyen satırı eklenmesi
    df.loc[k] = np.nan
    # Listenin k değeri ile tekrar sıralanması
    df = df.reindex(sorted(df.index), axis=0)
    # 1. derece polinom interpolasyonu
    df = df.interpolate(method="polynomial", order=1).round(4)
    df = df.loc[k]

Z1 = df.loc["Z1"]
Z2 = df.loc["Z2"]
Z3 = df.loc["Z3"]

mu1 = df.loc["mu1"]
mu2 = df.loc["mu2"]
mu3 = df.loc["mu3"]

eko1 = df.loc["eko1"]
eko2 = df.loc["eko2"]
eko3 = df.loc["eko3"]

T1 = (Z1 * H**2 / cc) * ((m / (E * I)))**0.5
T2 = (Z2 * H**2 / cc) * ((m / (E * I)))**0.5
T3 = (Z3 * H**2 / cc) * ((m / (E * I)))**0.5
print("T1 =", T1.round(3), "s")
print("T2 =", T2.round(3), "s")
print("T3 =", T3.round(3), "s")

```



```

print(" ")

Vt1 = eko1 * Mt * Sa1
Vt2 = eko2 * Mt * Sa2
Vt3 = eko3 * Mt * Sa3
print("Vt1 =", Vt1.round(3), "kN")
print("Vt2 =", Vt2.round(3), "kN")
print("Vt3 =", Vt3.round(3), "kN")
print(" ")

Vt = (Vt1**2 + Vt2**2 + Vt3**2)**0.5
print("Vt =", Vt.round(3), "kN")
print(" ")

dH1 = mu1 * Sd1
dH2 = mu2 * Sd2
dH3 = mu3 * Sd3
print("dH1 =", dH1.round(4), "m")
print("dH2 =", dH2.round(4), "m")
print("dH3 =", dH3.round(4), "m")
print(" ")

dH = (dH1**2 + dH2**2 + dH3**2)**0.5
print("dH =", dH.round(4), "m")

```

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

İsim SOYİSİM :

Doğum Yeri :

Doğum Tarihi :

### EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi :

Yüksek Lisans Öğrenimi :

Bildiği Yabancı Diller :

### BİLİMSEL FAALİYETLERİ

#### a) Yayınlar

1) SCI

2) Diğer

### İLETİŞİM

E-posta Adresi :

ORCID :