

## MEVCUT YIĞMA BİR YAPININ DEPREM DAVRANIŞININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Asuman Işıl ÇARHOĞLU<sup>1\*</sup>, Kasım Armağan KORKMAZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çünür, Isparta

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tınaztepe, İzmir

**Özet-**Türkiye’de yığma yapıım teknolojisi yüzlerce yıl eskisine dayanmaktadır. Özellikle büyük çoğunluğu kırsal kesimlerde inşa edilen yığma yapılar deprem yönetmeliğine göre yapılmadığı için deprem etkisi altındaki dayanımları zayıf olup küçük depremlerde bile hasar görebilmekte veya yıkılabilmektedir. Hatta can ve mal kayıpları meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, deprem kuşağında yer alan ülkemizin kırsal kesiminde yapı stoğunun önemli bir kısmını oluşturan yığma yapıların deprem etkisindeki davranışlarının incelenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında, mevcut tuğlalı yığma bir yapının deprem davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla örnek mevcut bir yığma yapı ele alınarak bu yapının sonlu elemanlar yöntemi ile dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapının dinamik analizleri sırasında 20 farklı ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarıyla yığma yapıların deprem etkisi altındaki davranışları değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler-**Yığma yapılar, sonlu elemanlar yöntemi, dinamik analiz

## EVALUATION OF EARTHQUAKE BEHAVIOR OF AN EXISTING MASONRY BUILDING

**Abstract-**In Turkey, masonry building construction history goes back hundreds years from now. Since most of the existing buildings in rural areas have not been designed according to seismic design code, they have poor earthquake resistance and they may get damage or collapse. Moreover, there can be life loose. Therefore, it is very important to determine the earthquake behavior of the existing masonry buildings as an important part of rural areas in Turkey, which is an earthquake prone country. In the present study, an existing masonry building is investigated with finite element analyses in the manner of earthquake resistance of existing masonry buildings. Dynamic analyses of the structures are carried out through 20 different ground motion data. As a result, earthquake behavior of the sample existing masonry building is defined.

**Key Words-**Masonry buildings, finite element methods, dynamic analysis

---

\* [asumancarh@gmail.com](mailto:asumancarh@gmail.com)

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yığma yapıların inşası, insanların yerleşik hayata geçmesiyle başlamıştır. Türkiye’de de az katlı yapıların inşası sırasında yığma yapılar tercih edilmektedir. Özellikle Türkiye’nin kırsal kesiminde yığma yapılar oldukça fazladır. Bu bölgeler çoğunlukla da deprem etkisinde yer almakta olup büyük kısmı depreme karşı güvenli değildir. Bu yapılar mühendislik hizmeti görmeden, deprem etkileri dikkate alınmadan tasarlanan yapılardır [1-2]. Yapıları depreme dayanıklı olarak tasarlamak için deprem sırasında oluşan kuvvetlerin bilinmesi ve bu kuvvetler altındaki yapıların davranışının çok iyi incelenmesi gerekmektedir [3-4]. Depreme dayanıklı yığma yapı kavramı, yığma yapıların dinamik etkiler altındaki davranışının bilinmesi ile ilişkilidir.

Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları Standardı 1978 yılında yürürlüğe girmiş ve yığma yapıların tasarımında hesaptan çok bu kurallar göz önüne alınmıştır. Bu kurallar deneysel ve teorik çalışmalar ve geçmişte meydana gelen depremlerin etkilerinden dolayı oluşmuştur. Yığma yapılarda duvarların taşıyıcı özelliği bulunmaktadır. Ülkemizde yığma yapıların sayısı oldukça fazladır. Yığma yapılar düşey yüklere karşı dayanıklı olup dinamik ve yatay yüklere karşı dayanımları oldukça azdır. Yığma yapılar rüzgâr ve deprem gibi yatay yüklere maruz kalabilen yapılardır [5-6].

Literatürde yığma yapılarla ilgili birçok çalışma mevcuttur. Kanit ve Işık, (2007), yığma yapıların gerçek mekanik davranışlarını araştırmak amacıyla üç ayrı modeli deneysel ve sayısal analizlere tabi tutmuşlar, deneysel ve sayısal sonuçları karşılaştırmışlardır [1]. Budak vd. (1998), kırsal bölgelerdeki yapılaşma özellikleri, davranışları ve hasar türleri üzerinde durmuşlar, bu tür yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanmasına ilişkin esasları sunmuşlardır [2]. Bayraktar vd. (2007), analitik model iyileştirme yöntemini yığma yapılarda uygulayarak yapıların deprem davranışlarını incelemişlerdir [7]. Çöğürçü ve Kamanlı (2007), çalışmalarında düzlem dışı tersinir yüklerle yüklenen yığma duvarların deneysel sonuçlarını sunmuşlardır [8]. Sesigür ve Çelik (2005), 1999 Kocaeli Depremi’nde hasar gören tarihi bir yığma bina olan İzmit Sultan Abdülaziz Av Köşkü binasının onarım çalışmalarını yapmışlardır [9]. Işık (2003), çalışmasında depreme dayanıklı yığma duvar tasarımına veri sağlamak amacı ile alker duvar numunelerine iki eksenli yükleme deneyi uygulanmıştır [10]. Bozkurt (2003), çalışmasında gaz beton bloklar ve tuğla blokları ele alarak aynı yapılarda farklı duvar malzemesi kullanarak karşılaştırma yapmıştır [11].

Bu çalışmada, yığma yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla örnek mevcut bir yığma yapı ele alınarak bu yapı sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve yirmi deprem ivme kaydı kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarıyla mevcut tuğlalı yığma bir yapının deprem etkisi altındaki davranışları değerlendirilerek güvenilirliği incelenmiştir. Yapılan bu çalışma bu tür yapıların depremselliği hakkında genel bir fikir vermektedir.

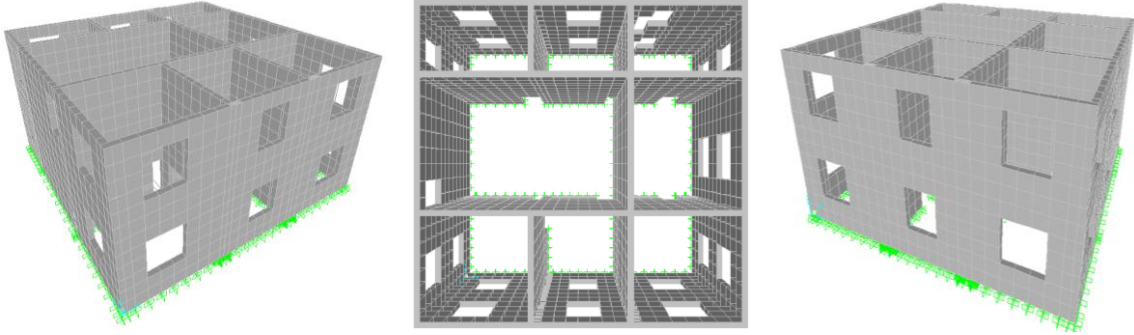
## 2. YÖNTEM (METHOD)

Çalışma kapsamında yığma yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi amacıyla örnek mevcut bir yapı ele alınmış ve bu mevcut yapı sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiştir. Örnek mevcut yapı detaylı olarak incelenmiş ve yapısal detayları tesbit edilerek SAP 2000 bilgisayar programı ile analizler gerçekleştirilmiştir [12]. Yapı 1968 yılı yapımı olup, her hangi bir tasarım yönetmeliği kriteri göze alınarak yapılmamıştır. Şekil 1’de 3 boyutlu görünümü verilen yapı X yönünde 11 m Y yönünde 11 m ve yüksekliği her kat için 3 m olup iki katlıdır. Şekil 2’de X, Y ve Z doğrultuları görülmektedir.

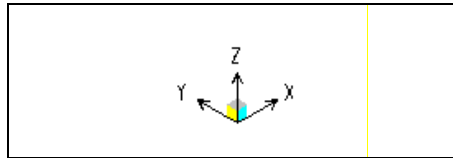
Yığma yapıda hatılların duvarlara oturacak kısmı ile duvar kalınlığı eşit olarak alınmıştır. Hatıl yüksekliğinden döşeme kalınlığı çıkarılarak hatıldan dolayı meydana gelen yükler elde edilerek modele uygulanmıştır [13].

Tuğla malzeme ulaşılabilirliği uygun fiyatından dolayı tüm dünyada kullanımı devam eden bir inşaat malzemesidir. Tuğlalar yığma yapılarda taşıyıcı özelliği bulunan malzemeler olup basınca dayanıklıdır. Tuğlalar çelik ve betonarme gibi yapılarda taşıyıcı olmayan elemanlarda da kullanılmakta ve bu tür yapılarda yapıyı rüzgâr, kar, yağmur gibi etkilerden korumaktadır.

İncelenen yığma yapıda tuğlalar arasında harç olarak sıva malzemesi kullanılarak sıva ve tuğla elemanın malzeme özellikleri sıvalı tuğla olarak alınmıştır. Yığma yapı duvarlarında kullanılan sıvalı tuğlanın malzeme özelliği Tablo 1’de mevcuttur. Yığma duvarlarda kullanılan malzemelerin basınç ve çekme gerilmeleri oldukça önemlidir. Elastisite modülü ile duvar basınç dayanımı arasında  $E_d=200.f_d$  bağıntısı vardır [14]. Bu denklemde  $f_d$ ; duvar basınç dayanımı,  $E_d$ ; duvar yapımında kullanılan kargir birimlerin elastisite modülüdür.



Şekil 1. 1968 Yapımlı Örnek Mevcut Yığma Yapının Farklı Görünümleri (Different Views of Sample Available Masonry Structure Prefabricated in 1968)



Şekil 2. X, Y ve Z doğrultuları (X, Y ve Z directions)

Tablo 1. Analizlerde kullanılan malzeme özellikleri (Material properties used in analysis)

Malzeme Türü	Elastisite modülü (MPa)	Poisson oranı	Birim hacim ağırlığı $kN/m^3$
Tuğla	3000	0.2	20

## 2.1. Örnek Mevcut Yığma Yapının Dinamik Analizi (Dynamic Analysis of Sample Available Masonry Building)

Bir bölgenin depremselliği, depreme maruz kalma derecesi anlamına gelmektedir. Bir bölgenin depremselliğini belirlemede faylardan ve deprem kayıtlarından da faydalanılmaktadır. Depremin meydana geldiği bölgelerde gelecekte de depremin olacağı göz önüne alınmaktadır. Depremlerde yer kabuğunda biriken enerji fay hareketleri ile açığa çıkmaktadır. Deprem

sırasında zemin içinde yayılan cisim dalgaları ve yapıda oluşan yüzey dalgaları basınç-çekme gerilmeleri veya kayma gerilmeleri oluşturmaktadır. Analizlerde kullanılan depremlerde faydaki yırtılma boyu deprem büyüklüğü ile orantılıdır. Enerji zamanla geniş ortamlara yayılmaktadır ve ortamın sönümünden dolayı faydan uzaklaştıkça maksimum ivme azalmaktadır. Bununla birlikte büyük depremlerin büyük genlikli dalgalar ürettiği ve deprem genliğinin uzaklıkla azaldığı bilinmektedir. Deprem hareketinin maksimum ivmesi oldukça önem taşımaktadır. İvmenin yanında depremin süresi de çok önemlidir. Maksimum ivmeleri düşük olmasına rağmen süresi uzun olan depremlerde önemli hasarlar meydana gelmektedir. Depremler yatay yer değiştirme meydana getirdikleri gibi düşey yer değiştirme de meydana getirmektedir [15].

Bu çalışmada zaman tanım alanı yöntemi uygulanmıştır. Yığma yapıya yirmi deprem verisi etkilmiştir. Depremler Tablo 2’de verilmiştir [16]. Bu depremler farklı büyüklük, farklı etkin yer ivmesi ve odak derinlikleri göz önüne alınarak seçilmiştir. Yığma yapıların dinamik analizi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur [17-18-19-20-21-22-23-24]. Paquette (2000) çalışmasında küçük ölçekli tek katlı bir güçlendirilmemiş tuğla yapısının zemin yapı etkileşimini deneysel olarak incelemiş, dinamik testler yapmışlardır [25]. Sucuoğlu (1997), üç katlı güçlendirilmemiş yığma yapının sismik performansını belirlemişlerdir [26]. Analizlerde 1992 Erzincan depremi kullanılmışlardır. Mekanik özellikler deneyler sonucu elde edilmiş doğrusal olmayan dinamik analiz uygulamışlardır.

**Tablo 2.** Analizlerde kullanılan depremler ( Earthquakes used in analysis) [16]

No	Deprem	Tarih	Moment Büyükklük ( $M_w$ )	Kayıt	Yer Hızı (cm/s)	Yer ivmesi (g)	Odak Derinliği (km)
1	<u>Anza</u> (Horse Canyon)	25.02.1980	4.9	AZF315	2.6	0.066	12.1
2	<u>Morgan Hill</u>	24.04.1984	6.2	G01320	2.9	0.098	16.2
3	<u>Landers</u>	28.06.1992	7.3	29P000	3.7	0.08	42.2
4	<u>Parkfield</u>	28.06.1966	5.6	C12320	6.8	0.0633	14.7
5	<u>Morgan Hill</u>	24.04.1984	6.2	G06090	36.7	0.292	11.8
6	<u>Coyote Lake</u>	06.08.1979	5.8	G06230	49.2	0.4339	3.1
7	<u>N.Palm Springs</u>	08.07.1986	6	FVR045	41.2	0.129	13
8	<u>Northridge</u>	17.01.1994	6.7	TPF000	17.6	0.364	37.9
9	<u>Whitter</u> <u>Narrows</u>	10.01.1987	6	ALH180	22	0.333	13.2
10	<u>Kocaeli</u>	17.08.1999	7.4	BLK-UP	2.2	0.007	183.4
11	<u>Victoria Mexica</u>	09.06.1980	6.1	CPE045	31.6	0.62	34.8
12	<u>Coyote Lake</u>	06.08.1979	5.8	SJ3337	7.6	0.124	17.2
13	<u>Imperial Valley</u>	15.10.1979	7	CPEDWN	6.8	0.116	8.3
14	<u>Hollister</u>	28.11.1974	5.2	SG3295	9.3	0.339	14.9
15	<u>Kern County</u>	21.07.1952	7.4	SBA132	15.5	0.127	87
16	<u>Kobe</u>	16.01.1995	6.9	FUK	1.7	0.01	157.2
17	<u>Anza</u> (Horse Canyon)	25.02.1980	4.9	RDA045	6.7	0.097	19.6
18	<u>Cape</u> <u>Mendocino</u>	25.04.1992	7.1	CPM-UP	63	0.754	8.5
19	<u>Düzce</u>	12.11.1999	7.1	1060-E	5.3	0.053	30.2
20	<u>Erzincan</u>		6.9	ERZ-UP	18.3	0.248	20

## 2.2. Analizler Sonucu Elde Edilen Periyot Değerleri (Period values obtained from analysis result)

Yığma yapılarda periyot, kat yüksekliği ve dolu duvar oranlarına bağlıdır. Yığma yapının ilk dört moda ait periyot değerleri Tablo 3' de verilmiştir. Yığma yapıların periyotları küçük olduğundan rijit yapılardır. Yapının rijit olması depreme dayanıklı olduğu anlamına gelmez. Bu nedenle yapının dinamik analizi yapılarak deprem etkisindeki davranışını incelemek gereklidir.

**Tablo 3.** Yapının hesaplanan periyotları ( Calculated periods of Structure)

Mod No	Periyot (sn)
1	0.05432
2	0.05227
3	0.05052
4	0.04877

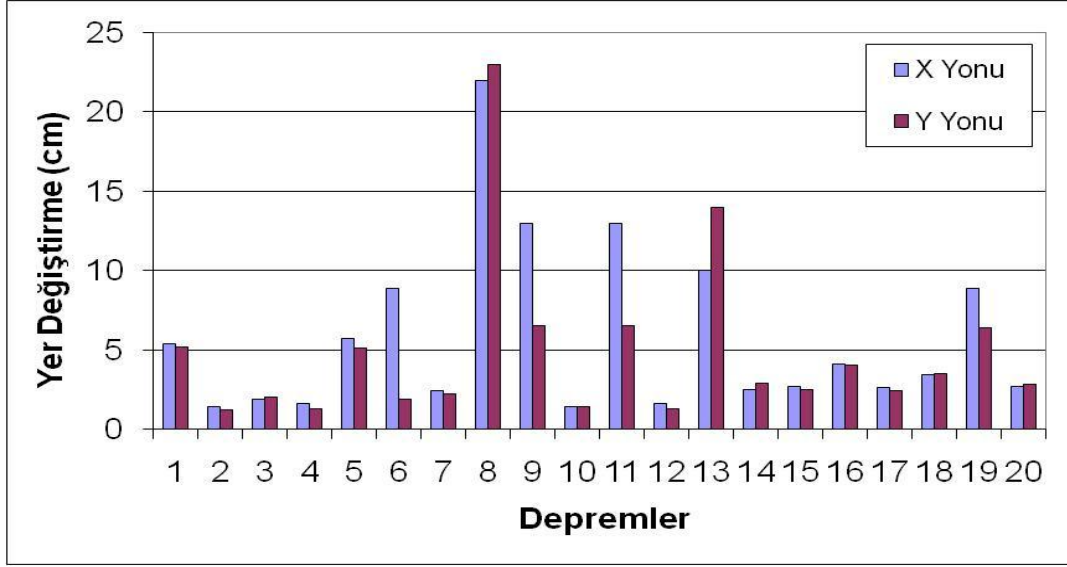
## 2.3. Yer Değiştirme Değişimlerinin Değerlendirilmesi (Assessment of Displacement Changes)

Analiz sonucunda her deprem için en büyük yatay yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Şekil 3'de yığma yapıdaki yerdeğiştirme değerleri verilmiştir. Dinamik analiz sonucunda Z yönündeki yer değiştirme değerleri oldukça az olduğu için bu yöndeki değerler verilmemiştir. Yığma yapılarda duvarın düzlemi doğrultusundaki yer değiştirmelerin yapı stabilitesini olumsuz etkilemediği bilinmektedir. Çatlakların oluşması sırasında duvar düzlemi doğrultusundaki sürtünme, çatlakları sınırlamaktadır. Sismik yüklerin duvarın düzlemi doğrultusunda etkimesi halinde çatlaklar büyümektedir. Depremlerin odak derinliği arttıkça yıkıcılık azalmakta ve buna bağlı olarak da hasar azalmaktadır. Odak derinliği fazla olan deprem daha geniş aralıklara yayılmaktadır. Büyüklükleri aynı olan Kocaeli (BLK-UP) ve Kern Country (SBA132) depremleri incelendiğinde odak derinliği en büyük olan Kocaeli (BLK-UP) depreminde elde edilen x ve y yönündeki yer değiştirmelerin aynı büyüklükteki Kern Country (SBA132) depremindeki yer değiştirmelerden küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca Kern Country (SBA132) depremindeki yer hızı ve yer ivmesinin de Kocaeli depreminden büyük olduğu görülmektedir.

Büyüklüğü 6.9 olan Kobe (FUK) depremi incelendiğinde büyüklüğü 6.7 olan Northridge (TPF000) depremiyle büyüklüğünün yakın olduğu odak derinliğinin yaklaşık 5 kat fazla olduğu ve yer değiştirmenin de yaklaşık 5 kat daha küçük olduğu görülmüştür. Burada da odak derinliği arttıkça yer değiştirmenin azaldığı görülmüştür. Büyüklüğü 7.4 ve odak derinliği 183.4 km olan Kocaeli (BLK-UP) depremi ve büyüklüğü 6 odak derinliği 13.2 olan Whitter Narrow (ALH180) depreminden daha küçük yer değiştirme değerine sahiptir. Yer ivmesine bakıldığında Kocaeli (BLK-UP) depreminin yer ivmesinin daha küçük olduğu görülmüştür. Kocaeli'nin daha fazla büyüklüğe sahip olmasına rağmen büyük odak derinliği ve küçük yer ivmesinden dolayı yer değiştirmenin küçük olduğu görülmüştür. Büyüklüğü 7.3 olan Landers (29P000) depremi büyüklüğü 6.7 olan Northridge depreminden daha fazla büyüklüğe sahip ve Landers depreminin odak derinliği Northridge depreminden 4.3 km daha büyük olmasına rağmen yer hızı ve yer ivmesinin küçük olması sebebiyle yer değiştirmeler küçük elde edilmiştir. Diyebiliriz ki yer hızı ve yer ivmesi odak derinliğinden daha etkilidir. Büyüklükleri 6 ve odak derinlikleri sırasıyla 13.2 ve 13 olan N. Palm Sprins ve Whitter Narrows depremleri incelendiğinde Whitter Narrows depreminin yer hızının N. Palm Springs depreminden küçük yer ivmesinde yaklaşık 2.5-3 kat büyük olduğu ve Whitter Narrows depremindeki yer değiştirmelerin büyük olduğu görülmüştür. Buradan yer ivmesinin yer hızından daha etkili olduğu söylenebilir. Depremler incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin büyüklüğü 6.7 olan Northridge depreminde en küçük

yer değiştirmenin 4.9 olan Anza (AZF315) depreminde elde edildiği görülmüştür. Bu yer değiştirme arası farkı sadece büyüklük değil yer ivmeside etkilemektedir.

Yer hızları yakın olan büyüklüğü 5.6 olan Parkfield depremiyle büyüklüğü 4.9 olan Anza (RDA045) depremi ele alındığında Parkfield depremindeki büyüklüğün Anza (RDA045) depremindeki büyüklükten fazla olmasına rağmen yer değiştirmenin daha küçük olduğu görülmüştür. Odak derinliğine bakıldığında Anza (RDA045) depreminin odak derinliğinin 5 km daha büyüktür. Anza (RDA045) depreminin odak derinliği büyük, büyüklüğü küçük olunca beklenen küçük yer değiştirmedir. Fakat yer ivmesine bakıldığında Anza (RDA045) depreminin yer ivmesinin büyük olmasından dolayı yer değiştirmeler büyük elde edilmiştir.



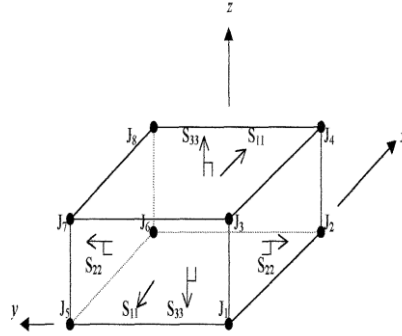
Şekil 3. X ve Y yönü yer değiştirme değerleri (cm) ( Displacement values of X and Y direction)

#### 2.4. Gerilme Değişimlerinin Değerlendirilmesi (Assessment of Stress Changes)

Çalışma kapsamında yapıda meydana gelen gerilmeler de elde edilmiştir. Gerilme grafiği Şekil 4'de verildiği gibidir. Şekil 3'de  $S_{11}$ , x yönünde,  $S_{22}$ , y yönünde,  $S_{33}$ , z yönünde düzleme dik normal gerilmelerdir.  $S_{12}$ , x düzlemi üzerinde y yönündeki,  $S_{13}$ , x düzlemi üzerinde z yönündeki,  $S_{23}$ , y düzlemi üzerinde z yönündeki kayma gerilmeleridir. Şekil 5'de de  $S_{11}$ ,  $S_{13}$ ,  $S_{22}$  gerilme dağılımları verilmiştir.  $S_{11}$ : Yüzeyin normali eksen numarası 1, gerilmenin yönü 1 eksenini doğrultusundaki,  $S_{13}$ : Yüzeyin normali eksen numarası 1, gerilmenin yönü 3 eksenini doğrultusundaki,  $S_{22}$ : Yüzeyin normali eksen numarası 2, gerilmenin yönü 2 eksenini doğrultusundaki gerilmedir.

Tablo 4 ve 5'de X ve Y yönü gerilme değerleri sunulmuştur. Gerilme değerleri incelendiğinde; en büyük  $S_{11}$  ve  $S_{22}$  gerilmelerinin, en büyük yer değiştirme değerinin elde edildiği Northridge depreminde sırasıyla  $5.225 \text{ kN/m}^2$  ve  $6.839 \text{ kN/m}^2$  elde edildiği ve  $S_{33}$  gerilme değerinin de aynı depremde en büyük çıktığı ayrıca gerilmelerin çatı pencere ve kapı bölgesinde yoğunlaştığı görülmüştür.  $S_{12}$  kayma gerilmesinin Northridge depreminin x yönünde  $4.047 \text{ kN/m}^2$   $S_{12}$  gerilmesinin y yönünde  $3.744 \text{ kN/m}^2$   $S_{23}$  gerilmesini  $3.966 \text{ kN/m}^2$   $S_{33}$  gerilme değerleri  $3.966 \text{ kN/m}^2$  elde edildiği görülmüştür. Çatlaklar gerilme yoğunluğu yüksek olan kısımlarda meydana gelmektedir. Kapı ve pencere kenarındaki çatlaklar duvar düzlemine dik eğilme ya da düzlemi doğrultusunda oluşan kayma gerilmelerinden dolayı oluşmaktadır. Duvarın düzlemine dik ve

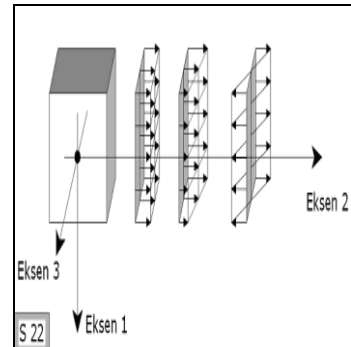
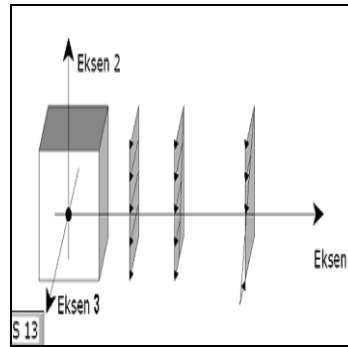
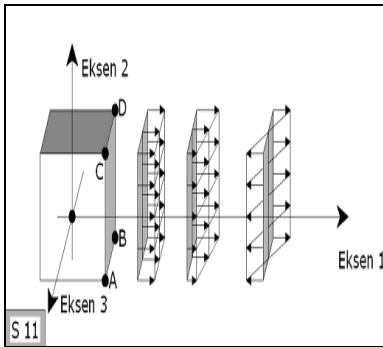
düzlemi doğrultusundaki kuvvetler duvarların birleşim yerlerinde düşey ya da diyagonal çatlakların oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 4. 8 düğüm noktasından oluşmuş üç boyutlu eleman (Three-dimensional element composed of eight nodes)

Tablo 4. X yönü gerilme değerleri (Stres value of X direction) (kN/m<sup>2</sup>)

Deprem No	S11	S22	S33	S12	S13	S23
1	1.017	1.820	1.987	1.049	0.764	0.925
2	0.623	0.279	1.047	0.518	0.422	0.220
3	0.498	0.714	1.019	0.477	0.304	0.386
4	0.319	0.501	0.636	0.293	0.216	0.299
5	1.236	1.652	1.787	0.939	0.824	0.968
6	1.888	2.558	2.788	1.434	1.260	1.521
7	0.499	0.807	0.888	0.468	0.325	0.437
8	3.289	6.839	8.398	4.047	2.795	3.966
9	1.678	2.083	2.339	1.294	1.075	1.234
10	0.279	0.353	0.525	0.238	0.164	0.275
11	0.276	3.618	4.290	2.095	1.788	2.314
12	0.470	0.743	0.841	0.440	0.254	0.421
13	1.498	2.737	4.392	1.671	1.108	1.899
14	0.546	0.880	0.943	0.498	0.408	0.412
15	0.592	0.809	0.855	0.450	0.397	0.468
16	0.974	1.258	1.395	0.747	0.651	0.687
17	0.422	0.854	0.956	0.496	0.352	0.455
18	0.748	1.196	1.299	0.675	0.558	0.549
19	1.890	2.704	3.771	1.892	1.055	1.583
20	1.306	2.117	2.388	1.197	0.536	1.117

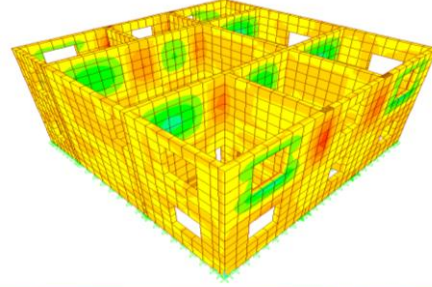
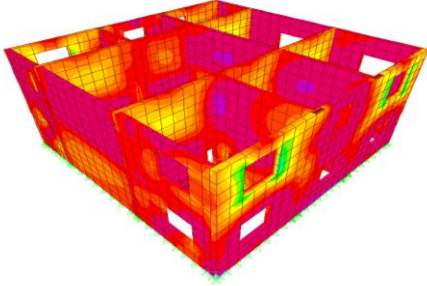


(a)  $S_{11}$  Gerilmeleri.

(b)  $S_{13}$  Gerilmeleri

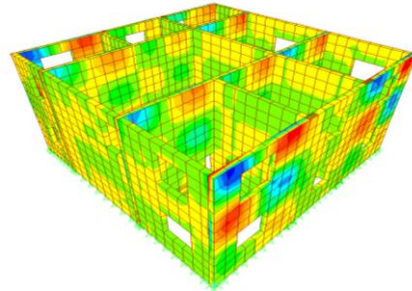
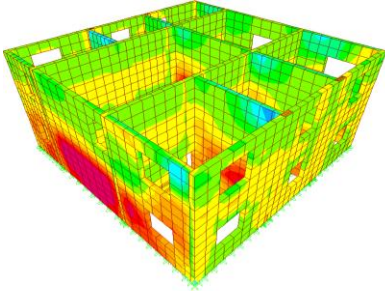
(c)  $S_{22}$  Gerilmeleri

Şekil 5.  $S_{11}$ ,  $S_{13}$ ,  $S_{22}$  Gerilme Dağılımları (  $S_{11}$ ,  $S_{13}$ ,  $S_{22}$  Stress distributions)



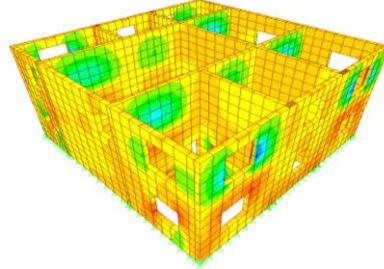
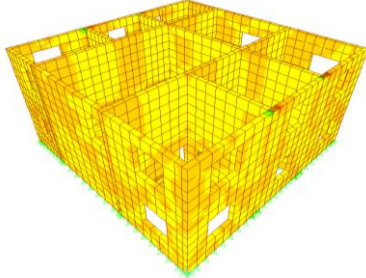
(a) Maksimum gerilme grafiği (Maximum displacement graphic)

(b)  $S_{11}$  gerilme grafiği ( $S_{11}$  stress graphic)



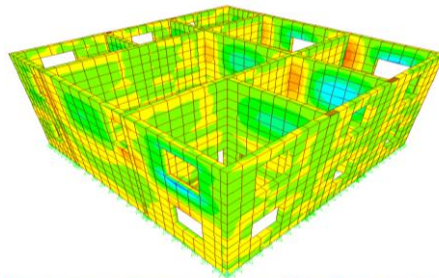
(c)  $S_{23}$  gerilme grafiği ( $S_{23}$  stress graphic)

(d)  $S_{13}$  gerilme grafiği ( $S_{13}$  stress graphic)



(e)  $S_{12}$  gerilme grafiği ( $S_{12}$  stress graphic)

(f)  $S_{33}$  gerilme grafiği ( $S_{33}$  stress graphic)



(g)  $S_{22}$  gerilme grafiği ( $S_{22}$  stress graphic)

Şekil 6. Yığma yapı üzerinde meydana gelen gerilme dağılımları (Stress distributions occurred on masonry)



**Tablo 5.** Y yönü gerilme değerleri (Stress value of Y direction)(kN/m<sup>2</sup>)

Deprem No	S11	S22	S33	S12	S13	S23
1	1.274	0.704	2.160	1.054	0.888	0.453
2	0.377	0.604	0.831	0.347	0.221	0.432
3	0.907	0.481	1.017	0.756	0.546	0.272
4	0.410	0.244	0.685	0.365	0.276	0.156
5	1.618	0.938	1.633	1.483	0.911	0.587
6	2.530	1.461	2.632	2.327	1.469	0.926
7	0.885	0.414	0.866	0.737	0.462	0.239
8	5.225	2.491	9.289	3.555	3.744	1.822
9	2.359	1.294	2.386	2.145	1.266	0.873
10	0.483	0.288	0.699	0.422	0.276	0.181
11	1.547	1.493	1.901	2.425	1.278	0.753
12	0.782	0.349	0.748	0.651	0.401	0.208
13	3.289	1.389	5.898	2.066	2.345	1.144
14	0.707	0.439	1.116	0.631	0.462	0.286
15	0.797	0.454	0.813	0.730	0.454	0.294
16	1.203	0.735	1.380	1.126	0.691	0.499
17	0.540	0.280	0.960	0.431	0.391	0.192
18	0.976	0.533	1.288	0.821	0.548	0.363
19	3.331	1.635	3.287	2.776	1.704	0.910
20	2.169	0.988	2.046	1.805	1.106	0.524

Duvarın kayma emniyet gerilmesi Denklem 1'deki gibi hesaplanmaktadır. Burada,  $\tau_{em}$ : Duvarın kayma emniyet gerilmesi,  $\tau_o$ : Duvarın çatlama emniyet gerilmesi ve  $\mu$ : sürtünme katsayısı olup değeri 0.5 alınmaktadır,  $\sigma$ : düşey gerilme değeridir [13-14].

$$\tau_{em} = \tau_o + \mu \cdot \sigma \quad (1)$$

$\tau_o$  değeri taş duvar malzeme için 0.1 MPa olarak alınabilir. Bu durumda taş duvarlar için kayma emniyet gerilmesi  $\tau_{em} = 0.1 + 0.5 \sigma$  şeklinde hesaplanacaktır. Düşey gerilme değeri kritik kesitler için 0.0092 MPa elde edildiğinde kayma emniyet gerilmesi 0.14 MPa elde edilmektedir. Yapıya uygulanan depremler sonucu elde edilen gerilme değerlerinin kayma emniyet gerilmesi değerinden küçük olmasından dolayı yapının güvenilir olduğu sonucuna varılmaktadır.

### 3. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışma kapsamında mevcut tuğlalı bir yığma yapı değerlendirilerek, üç boyutlu bir yığma yapı modeli üzerinde zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi ile yapının deprem davranışı değerlendirilmiştir. Çalışmalarda yirmi farklı deprem kullanılarak yer değiştirme ve gerilme değerleri karşılaştırılmıştır.

Genel olarak yığma yapı analiz sonucu meydana gelen yer değiştirme değerleri aşağıdan yukarıya doğru artarak çatı katı üst seviyesinde en büyük değeri almıştır. En büyük yer değiştirme Northridge depreminde gerçekleşirken en küçük yer değiştirme Anza depreminde meydana gelmiştir. Depremlerin odak derinliği arttıkça yer değiştirmelerin azaldığı, dolayısıyla yıkıcılığın da azaldığı görülmüştür. Ayrıca yer ivmesinin oldukça etkili olduğu görülmüş yani daha küçük büyüklüğe sahip bir depremin yer ivmesi büyük olması durumunda küçük büyüklüklü depremde daha büyük yer değiştirmeler elde edildiği görülmüştür.

Gerilme dağılımları incelendiğinde en büyük gerilmenin en büyük yer değiştirmenin elde edildiği depremde meydana geldiği görülmüştür. Gerilmeler genellikle pencere ve kapı boşluklarının bulunduğu kısımlarda yoğunlaşmıştır. Duvarın düzlemine dik ve düzlemi doğrultusundaki kuvvetler duvarların birleşim yerlerinde düşey ya da diyagonal çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Gerilmelerden de anlaşılacağı gibi pencere ve kapı bulunmayan kısımlarda diyagonal çatlaklar bulunmaktadır.

İncelenen yığma yapıya ait kayma ve basınç gerilmeleri hesaplanarak analiz sonucunda elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen değerlerin hesaplanan emniyet gerilmelerinden küçük elde edildiği bu durumda yapının güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 4. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Kanit, R., Işık, N., S., (2007). Tuğla Kemerlerin Deneysel Davranışı ve Bilgisayar Modeli Analizleri, *Gazi Üniv. Müh. Mim Fak.* 22(1),13–20.
- [2]. Budak, A., Uysal H., Aydın A.C., (1998). 'Kırsal yapıların deprem davranışı'.
- [3]. Çılı, F., (1978). Yığma yapıların yatay yüklere göre hesabı, *Deprem Araştırma Bülteni*, Yıl:6, Sayı:22, s.7-25.
- [4]. Bayülke N., (1978). Tuğla yığma yapıların depremlerdeki davranışları, *Deprem araştırma enstitüsü bülteni* 22,s. 26-42.
- [5]. Özmen T., (1985). Taş yığma duvarlar üzerine yapılan deney çalışmaları, *Deprem Araştırma Bülteni*, Yıl:12,Sayı:49,s.68-82.
- [6]. Dorrack, D.J., (1992). Earthquake Resistant Design, *John Willey&Sons*, 142-150.
- [7]. Bayraktar A., Türker T., Altunışık A.C., Sevim B., (2007). Analitik model iyileştirmenin yığma binaların deprem davranışına etkisinin belirlenmesi, *Kocaeli Sempozyumu*.
- [8]. Çöğür M.T., Kamanlı M., (2007). Yığma yapıların dinamik ve mühendislik davranışının düzlem dışı kuvvetler altında deneysel olarak incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Teknik-Online Dergi*, Cilt 6, Sayı:2.
- [9]. Sesigür H., Çelik O.C., (2005). Esnek döşemeli tarihi yığma kargir yapıların güçlendirilmesi İzmit Sultan Abdülaziz Av köşkü örneği, *Kocaeli Sempozyumu*.
- [10]. Işık B., (2003). Depreme dayanıklı yapı elde edilmesi için alker duvarın tasarım kriterinin araştırması, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul.
- [11]. Bozkurt H.B., (2003). Depreme dayanıklı yığma ve betonarme binalarda tuğla ve gazbeton bloklar kullanılmasının karşılaştırılması, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı İstanbul Bildiri*, No: AT-103.
- [12]. Wilson, E. ve Habibullah A., (1998). SAP 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis, Kullanım Klavuzu.
- [13]. Batur N., (2006). Yığma yapı tasarımı ve analizi, İstanbul Üniversitesi.
- [14]. DBYYHY 1997, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete 1997, İstanbul, Türkiye.
- [15]. Hart ve Wong, (1999). Structural Dynamics for Structural Engineers, Wiley.
- [16]. PEER (2012). Deprem veri tabanı <http://peer.berkeley.edu/smcat/>
- [17]. Bruneau, M. (1994). State-of-art report on the seismic performance of unreinforced masonry buildings. *J. Struct. Eng.* 120 1, 230–251.

- [18]. Kim SC, White DW. (2004). Nonlinear analysis of a one-story low-rise masonry building with a flexible diaphragm subjected to seismic excitation. *Eng Struct*, 26:2053-67.
- [19]. Lam N.T.K., Griffith M., Wilson J., Doherty K., (2003). Time–history analysis of URM walls in out-of-plane flexure, *Engineering Structures* 25, 743–754.
- [20]. Mistler M, Butenweg C., Meskouris K., (2006). Modelling methods of historic masonry buildings under seismic excitation, *J Seismology*, 10:497–510.
- [21]. Moon FL, Yi T, Leon RT, Kahn LF,(2006). Recommendations for Seismic Evaluation and Retrofit of Low-Rise URM Structures, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 132, No. 5.
- [22]. Priestley MJN., (1985). Seismic behavior of unreinforced masonry walls. Bulletin of the NZ National Society for Earthquake Engineering, 18(2):191–205.
- [23]. Vera C.O., Mc Verry G.H., Ingham J.M., (2008). Ground motion records for time-history analysis of URM buildings in New Zealand–The North Island, *NZSEE Conference Proceedings*, page 25.
- [24]. Yi T, Moon, FL; Leon, RT Kahn, L.F., (2006). Analyses of a Two-Story Unreinforced Masonry Building, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 132, No. 5.
- [25]. Paquette J., Bruneau M., (2000). Pseudo dynamic testing of unreinforced masonry buildings with flexible diaphragm, *12WCEE*, 1-7.
- [26]. Sucuoglu, H., Erberik A, (1997). Performance Evaluation Of A Three-Storey Unreinforced Masonry Building During The 1992 Erzincan Earthquake, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, Vol. 26, 319-336.
- [26]. TS 500-2000. Türk Standartları Enstitüsü (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, T.S.E. Kurumu, Ankara.