



## Aynı Koşullar Altında Tasarlanan 12 Katlı Çelik ve Betonarme Bir Yapının TBDY 2018 Esaslarına Göre Karşılaştırılması

### *Comparison of 12-Storey Steel and Reinforced Concrete Structures under the Same Conditions According to the Principles of TBDY 2018*

Ayşenur KUŞU<sup>1,\*</sup> , Kemal BEYEN<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-0173-5231

<sup>2</sup> İnşaat Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-8878-0985

#### Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 24/01/2019

Kabul Tarihi : 03/12/2019

#### Anahtar Kelimeler

Betonarme  
Çelik  
Deprem  
Zaman Tanım Alanında Analiz

#### Research Paper

Received Date : 24/01/2019

Accepted Date : 03/12/2019

#### Keywords

Reinforced Concrete  
Steel  
Earthquake  
Time Domain Analysis

#### Özet

Çanakkale bölgesinde inşa edilecek olan çelik ve betonarme 12 katlı eğilme moment-kayma çerçeve sistem bina, zaman tanım alanında bölgesel olarak kaydedilmiş 11 deprem ivme verisi ile doğrusal analiz edilmiştir. Uzak ve yakın saha kaynaklı depremlerden seçilen bölgesel kayıtlar analizlerde kullanılmış ve sonuçlar TBDY 2018 kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Her iki yapı aynı servis yük koşulları altında analiz edilmiştir. Analize göre, TBDY 2018 çerçevesinde kütle katılım oranları, göreceli kat yer değiştirmeleri, kat ve temel kesme kuvvetleri, ikinci derece etkiler ve maliyet analizleri her iki yapı için karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda kütle katılım oranları her iki yapı için de şartnamenin istemiş olduğu %95 sınır durumunu sağlamış, göreceli kat öteleme kontrolleri ve ikinci merteye etkileri sınır değerlerin altında kalmıştır. Taban kesme kuvvetleri, çelik yapı karkas sistemi daha hafif olduğundan dolayı betonarme yapıya oranla daha küçük çıkmıştır. Maliyet analizlerinde yapı çeliği günümüzde pahalı olduğundan dolayı betonarme yapı daha avantajlı durumdadır. Betonarme olarak inşa edilecek olan yapının karşılaştırılan parametrelerde daha uygun sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. 12 katlı binanın betonarme imalatı daha ekonomik olup, birçok açıdan daha avantajlıdır.

#### Abstract

Steel and reinforced concrete 12-storey bending moment resistant shear frame building to be constructed in Çanakkale region is linear analyzed in time domain with 11 regionally recorded earthquake acceleration data. Records that were chosen from far and near field activities are used and results are compared according to the criteria of the TBDY 2018. Both structures were analyzed under the same conditions. According to the analysis, mass participation ratios, relative story displacements, base shear forces, second order effects and cost analyzes were compared for both structures within the framework of TBDY 2018. As a result of these comparisons, the mass participation ratios provided the %95 boundary condition for both structures, relative story displacement controls and the second order effects remained below the limit values. The base shear forces were smaller than the reinforced concrete structure due to the lighter structure of the steel structure. In cost analysis, reinforced concrete structure is more advantageous since structural steel is expensive today. The fact that the structure to be constructed as a reinforced concrete gives more suitable results in all cases of the comparisons. Reinforced concrete construction for the 12 story building is also cost effective and shows more advantageous in many respects.

\* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): [aysenurcelikoglu93@gmail.com](mailto:aysenurcelikoglu93@gmail.com)



## 1. Giriş

Türkiye dünyanın en önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunmaktadır. Yapıların tasarımında yatay deprem ve rüzgar kuvvetleri özellikle yüksek yapılarda etkin rol oynamaktadır. Günümüzde olan depremlerin tamamının sayısal formda deprem ivme kayıtlarına ulaşmak mümkündür. Bu da bizi yapıları inşa edeceğimiz bölgenin deprem geçmişine bakmamıza fırsat sağlamaktadır. TBDY 2018’de yapı analizlerinde verilen hesap yöntemlerinde zaman tanım alanında analiz bulunmaktadır. Bir veya iki boyutlu hesap için seçilecek deprem kayıtlarının ve üç boyutlu hesap için seçilecek deprem kaydı takımlarının sayısı en az on olacaktır [1].

Deprem yeryüzüne yakın yerlerde biriken mekanik enerjinin aniden serbest kalışıyla meydana gelen, yer kabuğunun sallanma ya da ani hareketidir [2]. Bu deprem ivme kayıtlarının etkilenmesi ile yapı o bölgede daha önce olmuş olan depremlerde nasıl bir davranış göstereceğini bize göstermektedir. Bunun sonuçları ise o bölgeye yapılacak olan bir yapının tasarımında önemli bilgiler vermektedir. Bu analizler ile yapının tasarımı güvenli bir şekilde oluşturulabilir.

Zaman tanım alanında analizlerde, zemin ivme değişiminin yapılardaki maksimum yer değiştirme üzerindeki etkisi sismik olarak aktif bölgelerde yer alan yapılarda gözlenen davranışı temsil ettiği ortaya konulmuştur [3].

Günümüzde yapı emniyet ve yapı konforunun ardından gelen maliyet, yapı tasarımında önemli rol oynamaktadır. Yapı tasarımında DBYBHY 2007 ve ardından en güncel deprem şartnamesi olan TBDY 2018 ile yapılar için can güvenliği tasarımda önceliklidir. Tasarımın ekonomik açıdan karşılanabilir, bakım ve diğer harcamaların sürdürülebilir olması ayrıca önem arz etmektedir.

Bu makalede aynı taşıyıcı sistemler ile oluşturulan, 12 katlı yapılması tasarlanan bir yapının çelik ve betonarme modellemeleri yapılmış, söz konusu bölgeden alınan gerçek deprem kayıtları ile zaman tanım alanında doğrusal analizler yapılmış ve boyutlandırılmıştır. Betonarme yapı, üzerine gelen yükleri moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Çelik yapı ise üzerine gelen yüklerin tamamının süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Betonarme perdeler yapıların çekirdek bölgesine yapılmıştır ve her iki yapı içinde çekirdek bölgesi betonarme olarak tasarlanmıştır. Bu yapıların

tasarımında yapı emniyeti ve yapı konforunun sağlanması amaçlanmıştır. Yapı emniyeti, her bir elemanın gerilme kontrollerini sınırlar altında tutarak, yapı konforu ise büyük deplasmanların önüne geçerek deplasman kontrolleri ile sağlanmıştır. Bu yapının Çanakkale ili, Ayvacık ilçesinde yapılması öngörülmüştür. Deprem kuvvetlerinin etkiltilmesinde zaman tanım alanında analizler yapılmıştır ve bu bölgeden alınan 11 deprem kaydı TBDY 2018’e göre yapıya etkiltilmiş ve bu depremler altında davranışları incelenmiştir. Bu yapıların gerekli kombinasyonlar altında görel kat öteleme kontrolleri, ikinci mertbe kontrolleri TBDY 2018’e göre yapılmıştır. Ayrıca her iki yapı maliyet ekseninde karşılaştırılmış ve hangi yapının maliyet açısından daha uygun olduğu gösterilmiştir.

## 2. Analizler ve Karşılaştırmalar

### 2.1. Betonarme Yapı

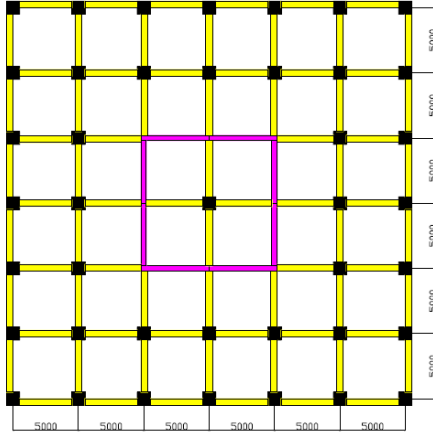
#### 2.1.1. Yapı Taşıyıcı Sistemi

Yapı ana taşıyıcı sistemi planda binanın orta noktasında yer alan çekirdek perdeler ve çerçeve sistem ile oluşturulmuştur. Yapıda binanın deprem yüklerini güvenli ve sürekli bir şekilde zemine kadar aktarabilecek yeterlilikte rijitlik, kararlılık ve dayanım bulunmaktadır. Betonarme yapı planda simetrik, X ve Y yönünde 6 açıklıklı ve her bir açıklık 5 m’dir. Kat alanı 900 m<sup>2</sup>’dir. Yapı 12 katlı ve tipik kat yüksekliği 3,7 m’dir. Yapı konut olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Yapının planı Şekil 1’de, 3 boyutlu modeli Şekil 2’de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

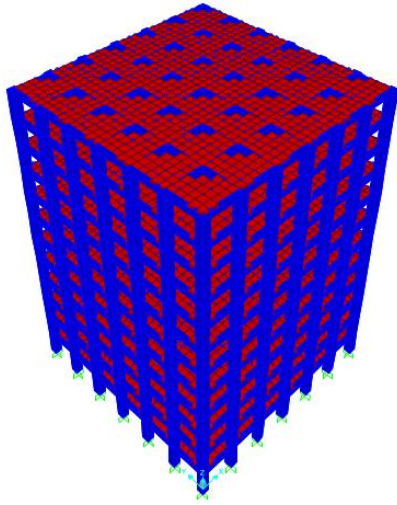
Betonarme yapı taşıyıcı sisteminde döşemeler 18 cm plak döşeme, çekirdek perdeleri ise 40 cm perde olarak oluşturulmuştur. Tipik kolon boyutu 100/100, tipik giriş boyutları 50/60, 60/80, 70/80’dir. Kolon, giriş, perde ve döşemeler için kullanılan beton kalitesi C35’dir.

Yapının yer alacağı zemin ZB – Az ayrışmış, orta sağlam kayalar olarak alınmıştır.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R=7$ , dayanım fazlalığı katsayısı  $D=2,5$ , yapı konut olarak kullanılacağından dolayı bina önem katsayısı  $I=1$ , bina kullanım sınıfı  $BKS=3$  olarak belirlenmiştir. AFAD’ın sayısal bilgi temin edilen sitesinden, yapının yapılacağı bölgenin enlem ve boylam değerleri girilerek bulunan kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı  $S_{DS}=0,96$ , 1,0 saniye periyod için tasarım spektral ivme katsayısı  $S_{D1}=0,217$ , köşe periyod  $T_A=0,045s$ ,  $T_B=0,226s$  olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre deprem tasarım sınıfı  $DTS=1$ , bina yüksekliği 44,4 m olduğundan dolayı bina yükseklik sınıfı  $BYS=3$  olarak karar verilmiştir.



Şekil 1. Betonarme yapı 1. kat planı.



Şekil 2. Betonarme yapı 3 boyutlu modeli.

## 2.1.2. Yapı Yüklemeleri

Betonarme yapı yüklemesinde yapı öz yükleri sonlu elemanlar programı ile profil özgül ağırlıkları otomatik olarak etkilmiştir.

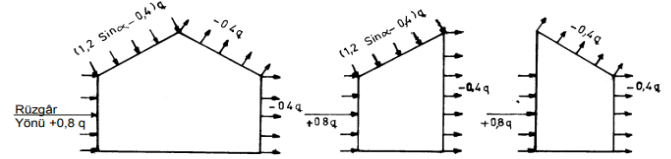
Hareketli yük TS498'e göre yapı konut olarak kullanılacağından dolayı  $2 \text{ kN/m}^2$  olarak döşemelere etkilmiştir.

Rüzgar yükü TS498'de yer alan Tablo 1'deki parametrelere göre hesaplanmıştır.

**Tablo 1.** TS498 yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve emme [4].

Zeminden Yükseklik (m)	Emme (q) (kN/m <sup>2</sup> )
0~8	0,5
9~20	0,8
21~100	1,1
>100	1,3

Rüzgar kuvveti TS498'de verilen Şekil 3'te yer alan katsayılar ile etki ettiği konuma göre azaltılmıştır.



**Şekil 3.** TS498 planda kare kesitli ve eğik çatılı kapalı yapılarda rüzgar yükünün ana taşıyıcı sistem doğrultusunda dağıtımını [4].

**Tablo 2.** Betonarme yapı rüzgar yük değerleri.

KAT	YÜKSEKLİK (m)	GENİŞLİK (m)	RÜZGAR ALANI (m <sup>2</sup> )	CEPHE KATSAYISI	RÜZGAR KUVVETİ		BULUNDUĞU CEPHE KATSAYISI	RÜZGAR KUVVETİ (kN)
					q (kN/m <sup>2</sup> )	(kN)		
BASINÇ	1	3,7	5	18,5	0,8	0,5	7,4	EMME
	2	3,7	5	18,5	0,8	0,5	7,4	
	3	3,7	5	18,5	0,8	0,8	11,84	
	4	3,7	5	18,5	0,8	0,8	11,84	
	5	3,7	5	18,5	0,8	0,8	11,84	
	6	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28	
	7	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28	
	8	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28	
	9	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28	
	10	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28	
	11	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28	
	12	3,7	5	18,5	0,8	1,1	16,28	

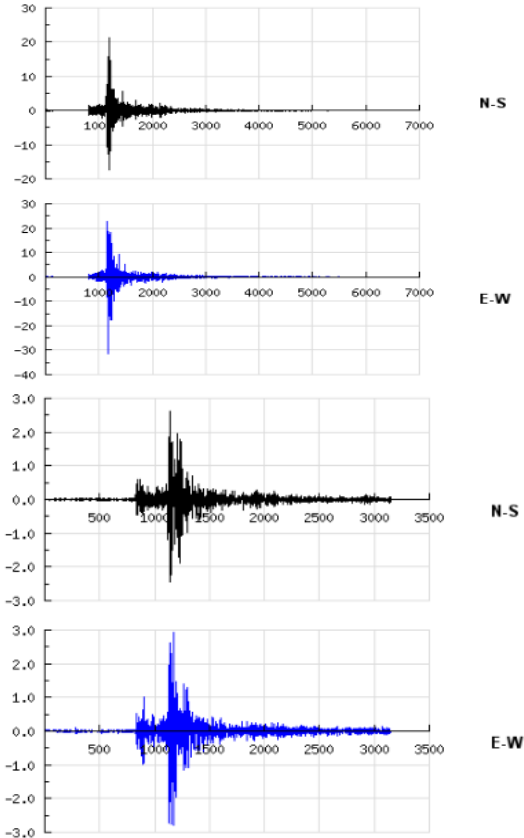
Yapıya etkiye rüzgar yükleri Tablo 2'de sunulmuştur. Deprem yükü zaman tanım alanında analiz yapıldığından

dolaylı AFAD'ın ilgili sitesinden alınan Çanakkale ili Ayvacık ilçesine ait 11 adet deprem yükü etki edilmiştir.

Alınan kayıtların kodları, şiddetleri, derinlikleri ve enlem-boylam değerleri Tablo 3’de sunulmuştur.

**Tablo 3.** Alınan deprem kayıtlarının özellikleri.

OD	TARİH	ŞİDDET	ENLEM-BOYLAM	DERİNLİK
			N-E	km
1	19.01.2015	3,9 Mw	39,40710-26,37510	8,8
2	14.03.2017	3,1 Mw	39,54060-26,20780	7,99
3	06.11.2017	3,5 Mw	38,95580-26,28810	12,5
4	22.06.2018	3,1 Mw	38,90480-25,85900	6,91
5	17.06.2018	3,2 Mw	39,59965-26,40761	7,52
6	02.06.2018	3,1 Mw	39,58480-25,98980	5,9
7	29.05.2018	4,1 Mw	39,59965-26,40761	6,42
8	31.03.2017	3,2 MI	39,55700-26,12230	6,99
9	17.06.2017	3,5 Mw	38,82710-26,43130	6,99
10	13.06.2017	4,0 Mw	38,84450-26,41630	6,83
11	16.06.2017	3,8 Mw	38,84500-26,47010	12,73

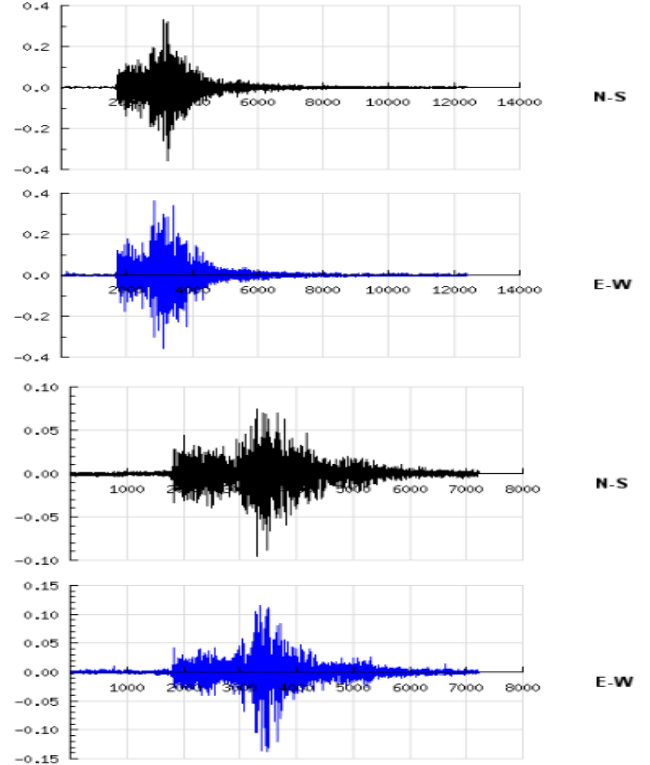


**Şekil 4.** E1 ve E2 deprem ivme grafikleri.

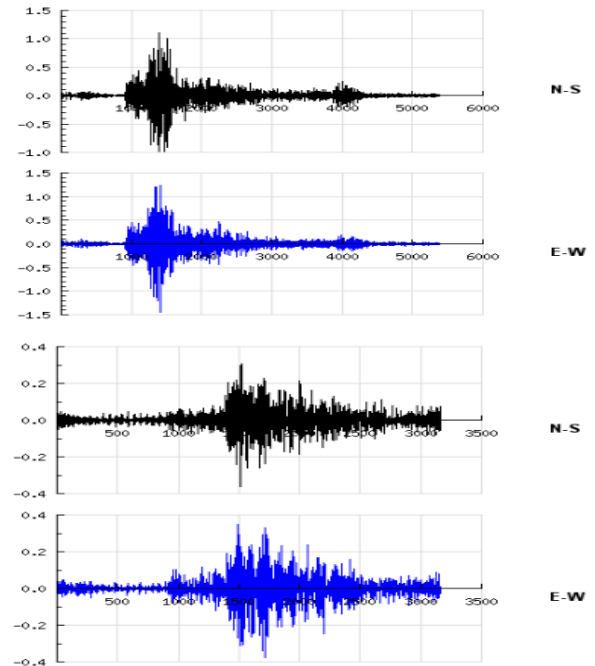
Alınan tüm deprem kayıtlarının spektrumlarının ortalamasının 0,2T ve 1,5T periyotları arasındaki

genliklerinin, tasarım spektrumu genlikleri arasında kaldığından dolayı deprem kayıtlarında bir saçılma söz konusu değildir. Deprem kayıtları bu doğrultuda seçilmiş, ölçeklenmiş ve yapıya etkilmiştir.

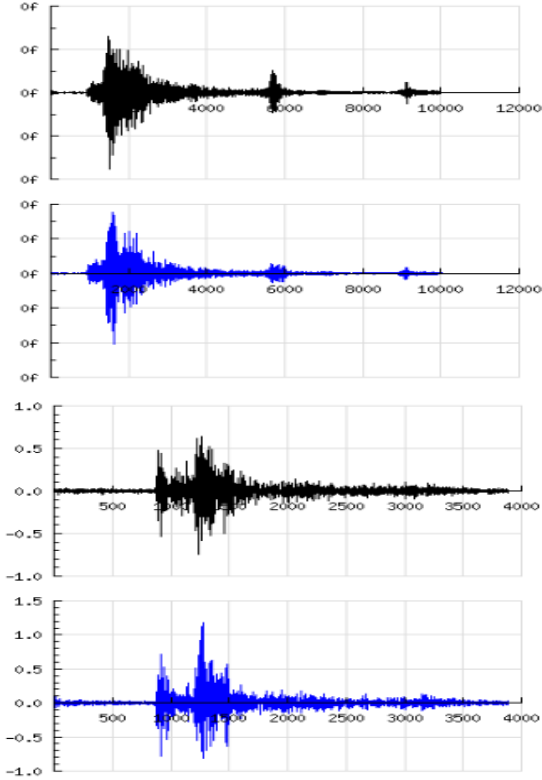
Tüm deprem kayıtların ivme grafikleri Şekil 4 ve Şekil 9 arasında sunulmuştur.



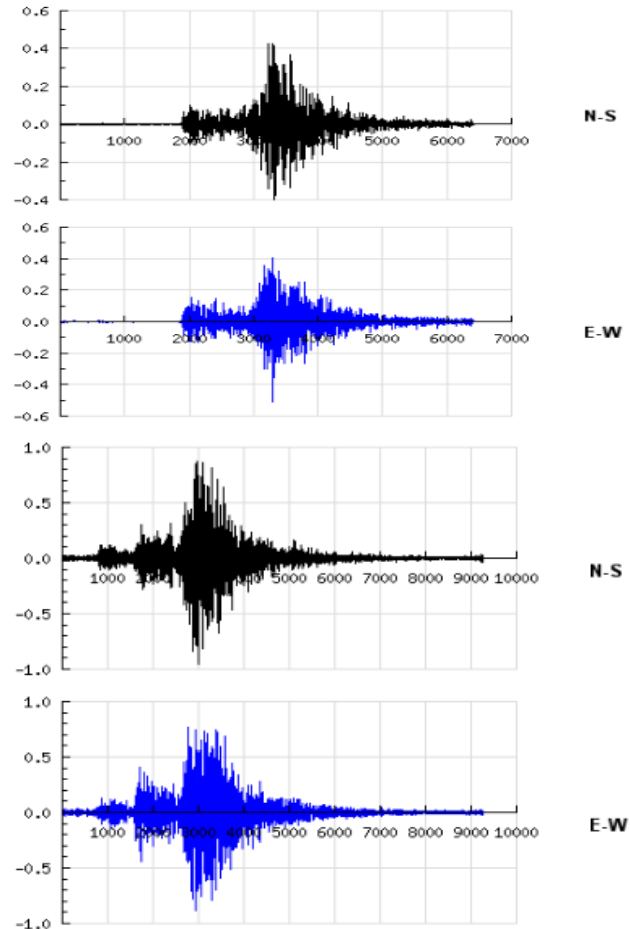
**Şekil 5.** E3 ve E4 deprem ivme grafikleri.



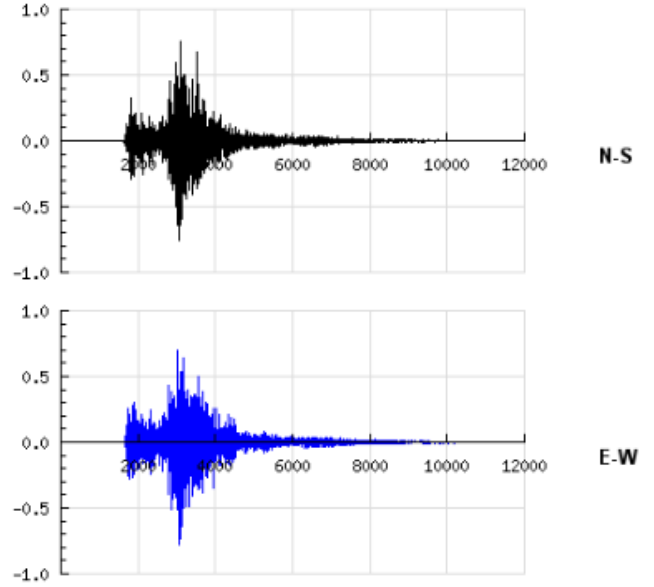
**Şekil 6.** E5 ve E6 deprem ivme grafikleri.



Şekil 7. E7 ve E8 deprem ivme grafikleri.



Şekil 8. E9 ve E10 deprem ivme grafikleri.



Şekil 9. E11 deprem ivme grafiği.

### 2.1.3. Betonarme Yapı Yük Kombinasyonları

Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında kullanılan yük kombinasyonları aşağıdaki gibidir:

- 1)  $1,4D + 1,6Q$
- 2)  $D + L \pm E$
- 3)  $0,9D \pm E$
- 4)  $D + 1,3L \pm W_x$
- 5)  $D + 1,3L \pm 1,3W_y$
- 6)  $0,9D \pm 1,3W_x$
- 7)  $0,9D \pm 1,3W_y$

Yapıya etkitilecek olan her bir deprem kaydı için ayrı kombinasyonlar oluşturulmuştur ve en kritik olan kombinasyona göre yapı elemanları boyutlandırılmıştır.

### 2.1.4. Yapı Analiz Sonuçları

#### 2.1.4.1. Periyot ve Kütle Katılım Oranları

Yapı periyodu  $T = 0,466s$  olarak bulunmuştur. Kütle katılım oranı ise Tablo 4'te görüldüğü gibi TBDY 2018'e göre %95 kütle katılım oranını sağlamıştır.

#### 2.1.4.2. Görelî Kat Ötelemeleri

Yapı bulunduğu yere göre görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı TBDY 2018'de yer alan formüllere göre  $\lambda=0,378$  olarak hesaplanmıştır. İzin verilen görelî kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı, TBDY 2018'e göre yapı betonarme olduğundan dolayı  $\kappa = 1$  olarak alınmıştır. Buna

göre TBDY 2018'e göre görelî kat ötelemeleri kontrolü yapılmış ve Tablo 5'te sunulmuştur. Her bir kat için bulunan deplasman değerleri 0,008 sınırının altında kalmıştır.

Yapı tepe noktasında oluşan maksimum deplasman  $D + L + Ex_5$  kombinasyonuna göre 0,0861 m olmaktadır. Bu deplasman değeri toplam yapı yüksekliğinin 1/500'ünün altında kalmaktadır.

$$0,0861m < 44,4m/500=0,0888m$$

**Tablo 4.** Yapı periyot ve kütle katılım oranları.

Mod	Periyot	Ux	Uy	TOPLAM	
				Ux	Uy
1	0,466	0	74,7	0	74,7
2	0,466	74,7	0	74,7	74,7
3	0,435	0	0	74,7	74,7
4	0,144	0	0	74,7	74,7
5	0,14	13,7	1,3	88,4	76
6	0,14	1,3	13,7	89,7	89,7
7	0,085	0	0	89,7	89,7
8	0,081	0	0	89,7	89,7
9	0,074	1,2	0,9	90,9	90,6
10	0,074	0,9	1,2	91,8	91,8
11	0,071	1,6	1	93,4	92,8
12	0,071	1	1,6	94,4	94,4
13	0,07	0	0	94,4	94,4
14	0,065	0	0	94,4	94,4
15	0,064	0	0	94,4	94,4
16	0,061	0	0	94,4	94,4
17	0,061	0	0	94,4	94,4
18	0,06	0	0	94,4	94,4
19	0,056	0	0	94,4	94,4
20	0,053	0	0	94,4	94,4
21	0,051	0	0	94,4	94,4
22	0,051	0	0	94,4	94,4
23	0,05	0	0	94,4	94,4
24	0,049	1,9	0,2	96,3	94,6
25	0,049	0,2	1,9	96,5	96,5
26	0,047	0	0	96,5	96,5
27	0,046	0	0	96,5	96,5
28	0,046	0	0	96,5	96,5
29	0,046	0	0	96,5	96,5
30	0,046	0	0	96,5	96,5
31	0,044	0	0	96,5	96,5
32	0,044	0	0	96,5	96,5
33	0,044	0	0	96,5	96,5
34	0,042	0	0	96,5	96,5
35	0,042	0	0	96,5	96,5
36	0,04	0	0	96,5	96,5
37	0,039	0	0	96,5	96,5
38	0,039	0	0	96,5	96,5
39	0,038	0	0	96,5	96,5
40	0,038	0	0	96,5	96,5

### 2.1.4.3. İkinci Mertebe Etkileri

İkinci mertebe etkilerinin hesabında kullanılan ampirik katsayı yapı betonarme olduğundan dolayı  $C_h = 0,5$ , dayanım fazlalığı katsayısı  $D = 2,5$ , taşıyıcı sistem davranış katsayısı  $R=7$  olarak belirlenmiştir. Buna göre TBDY 2018'e göre ikinci mertebe etkileri kontrol edilmiş ve sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur. İkinci mertebe gösterge değeri sınır koşulu olan 0,086 değerinin altında kalmıştır. Sonuç olarak iç kuvvetlerin ikinci mertebe büyütme katsayısı ile büyütülmesine gerek duyulmamıştır.

**Tablo 6.** İkinci mertebe etkileri kontrolü.

KAT	hi (m)	$\Delta i, ort$ (m)	wk.i (kN)	$\Delta wk, i$ (kN)	Vi (kN)	$\theta_{1, i}$
1	3,7	0,0065195	12468,817	12468,817	-130638,819	0,000168177
2	3,7	0,0075128	12468,817	24937,634	-129882,501	0,000389856
3	3,7	0,0080837	12648,764	37586,398	-163096,52	0,000503494
4	3,7	0,00838	12738,737	50325,135	-151419,102	0,000752743
5	3,7	0,0084406	12818,714	63143,849	-152230,817	0,000946237
6	3,7	0,0084178	12818,714	75962,563	-125465,161	0,001377442
7	3,7	0,0081204	12738,737	88701,3	-189017,966	0,001029918
8	3,7	0,0076226	12738,737	101440,037	-80874,863	0,002584028
9	3,7	0,0070109	12738,737	114178,774	-51612,285	0,004191837
10	3,7	0,0063202	12738,737	126917,511	-37840,501	0,005729197
11	3,7	0,0054862	12738,737	139656,248	-18699,343	0,011073985
12	3,7	0	12468,817	152125,065	-43894,383	0

### 2.1.4.4. Betonarme Yapı Maliyet Hesabı

Yapı analiz sonucu yapıda toplamda 6086,8 m<sup>3</sup> beton, 956,07 ton donatı ve 28819,52 m<sup>2</sup> kalıp kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 7'de sunulmuştur.

**Tablo 5.** Betonarme yapı görelî kat ötelemeleri kontrolü.

KAT	DEPLASMAN		AZALTI MIŞ GÖRELİ KAT ÖTELEMESİ ( $\Delta i$ )		ETKİN GÖRELİ KAT ÖTELEMESİ ( $\delta i$ )		$\lambda^*(\delta i / h_i)$	
	(14E) D+L-Ex5	(15E) D+L-Ey5	X	Y	X	Y	X	Y
	X	Y						
1	0,0041872	0,0041872	0,0065195	0,0065195	0,0456365	0,0456365	0,004662324	0,004662324
2	0,0107067	0,0107067	0,0075128	0,0075128	0,0525896	0,0525896	0,005372667	0,005372667
3	0,0182195	0,0182195	0,0080837	0,0080837	0,0565859	0,0565859	0,005780938	0,005780938
4	0,0263032	0,0263032	0,00838	0,00838	0,05866	0,05866	0,005992832	0,005992832
5	0,0346832	0,0346832	0,0084406	0,0084406	0,0590842	0,0590842	0,00603617	0,00603617
6	0,0431238	0,0431238	0,0084178	0,0084178	0,0589246	0,0589246	0,006019865	0,006019865
7	0,0515416	0,0515416	0,0081204	0,0081204	0,0568428	0,0568428	0,005807183	0,005807183
8	0,059662	0,059662	0,0076226	0,0076226	0,0533582	0,0533582	0,005451189	0,005451189
9	0,0672846	0,0672846	0,0070109	0,0070109	0,0490763	0,0490763	0,005013741	0,005013741
10	0,0742955	0,0742955	0,0063202	0,0063202	0,0442414	0,0442414	0,004519797	0,004519797
11	0,0806157	0,0806157	0,0054862	0,0054862	0,0384034	0,0384034	0,003923374	0,003923374
12	0,0861019	0,0861019						

**Tablo 7.** Betonarme yapı malzeme listesi.

PROFİL		HACİM	DONATI	KALIP
		m <sup>3</sup>	ton	m <sup>2</sup>
KİRİŞ	50/60	1356	376,29	6147,2
	60/80	211,2	41,514	774,4
	70/80	44,8	8,436	147,2
KOLON	100/100	1820,4	332,997	7281,6
DÖŞEME	18cm	1944	174,195	11059,2
PERDE	40cm	710,4	22,638	3409,92
TOPLAM		6086,8	956,07	28819,52

Betonarme kesitler için 3 farklı poza ait değerler kullanılacaktır. Birinci poz beton, ikinci poz donatı, üçüncü poz ise kalıp için kullanılacaktır. Betonarme pozuna ait(Y.16.050/17) fiyat 196,40 TL/m<sup>3</sup> olarak, donatı pozuna ait(Y.23.016) fiyat 2469,63 TL/ton olarak, kalıp pozuna ait(Y.21.001/03) fiyat 39,63 TL/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Fiyatlar 2017 Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyatlarından alınmıştır.

Beton için hesaplanan maliyet 1195448 TL, donatı için hesaplanan maliyet 2361139 TL, kalıp için hesaplanan maliyet 1142118 TL'dir. Sonuç olarak betonarme yapı malzeme toplam maliyeti 4698704 TL olarak bulunmaktadır.

## 2.2. Çelik Yapı

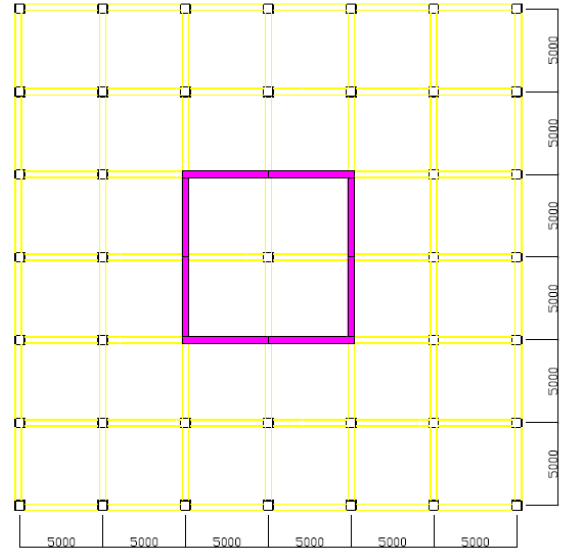
### 2.2.1. Yapı Taşıyıcı Sistemi

Yapı ana taşıyıcı sistemi planda binanın orta noktasında yer alan betonarme perdeler ve çelik çerçeve sistem ile oluşturulmuştur. Yapıda betonarme binada olduğu gibi binanın deprem yüklerini güvenli ve sürekli bir şekilde zemine kadar aktarabilecek yeterlilikte rijitlik, kararlılık ve dayanım bulunmaktadır. Yapı geometrisi betonarme bina ile aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Yapının planı Şekil 10'da, 3 boyutlu modeli Şekil 11'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

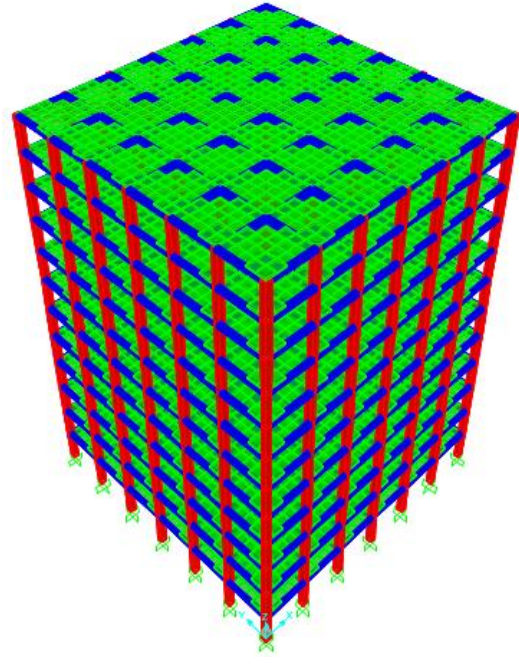
Çelik yapı taşıyıcı sisteminde döşemeler kompozit olarak tasarlanmıştır. Döşemelerde trapez sac ve betonarme birlikte çalışmaktadır fakat aralarında yeterli aderansı sağlamak için kayma kamaları kullanılmıştır. Merkezi betonarme perdeler betonarme yapıda olduğu gibi 40 cm olarak hesaplanmıştır. Tipik kolon boyutu RHS60x60x2,5 kutu profil, tipik ana kiriş boyutları ise RHS40x40x2,5 ve RHS40x40x4 kutu profildir. Kolon ve kirişler için kullanılan çelik kalitesi S355'tir. Perde ve döşemeler için kullanılan beton C35'tir.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=6, dayanım

fazlalığı katsayısı D=2,5 olarak belirlenmiştir.



Şekil 10. Çelik yapı 1.kat planı.



Şekil 11. Çelik yapı 3 boyutlu modeli.

### 2.2.2. Yapı Yüklemeleri

Çelik yapı yüklemesinde yapı öz yükleri sonlu elemanlar programı ile profil özgül ağırlıkları otomatik olarak etkilmiştir. Çelik yapı ve betonarme yapı aynı amaçlar için kullanılacağından dolayı hareketli yük, rüzgar yükü ve deprem yükü betonarme bina ile aynı alınacaktır. Bu yük değerleri betonarme bina yük bölümünde verilmiştir.

### 2.2.3. Çelik Yapı Yük Kombinasyonları

Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında kullanılan yük kombinasyonları aşağıdaki gibidir.

- 1) D + L
- 2) D + L ± W<sub>x</sub>
- 3) D + L ± W<sub>y</sub>
- 4) D + L ± E<sub>x</sub>
- 5) D + L ± E<sub>y</sub>

Yapıya etkilecek olan her bir deprem kaydı için ayrı kombinasyonlar oluşturulmuştur ve en kritik olan kombinasyona göre yapı elemanları boyutlandırılmıştır.

### 2.2.4. Yapı Analiz Sonuçları

#### 2.2.4.1. Periyot ve Kütle Katılım Oranları

Yapı periyodu T=0,477s olarak bulunmuştur. Kütle katılım oranı ise TBDY 2018'e göre %95 kütle katılım oranını sağlamıştır. Sonuçlar Tablo 8'de sunulmuştur.

**Tablo 8.** Yapı periyot ve kütle katılım oranları.

Mod	Periyod	U <sub>x</sub>	U <sub>y</sub>	TOPLAM	
				U <sub>x</sub>	U <sub>y</sub>
1	0,477	56,3	14,2	56,3	14,2
2	0,477	14,2	56,3	70,5	70,5
3	0,373	0	0	70,5	70,5
4	0,13	2,7	15,7	73,2	86,2
5	0,13	15,7	2,7	88,9	88,9
6	0,124	0	0	88,9	88,9
7	0,095	0	0	88,9	88,9
8	0,089	0	0,2	88,9	89,1
9	0,089	0,2	0	89,1	89,1
10	0,085	0	0	89,1	89,1
11	0,08	0	0	89,1	89,1
12	0,075	0	0	89,1	89,1
13	0,074	0	0	89,1	89,1
14	0,074	0	0	89,1	89,1
15	0,071	0	0	89,1	89,1
16	0,064	0	0	89,1	89,1
17	0,064	0,1	5,1	89,2	94,2
18	0,064	5,1	0,1	94,3	94,3
19	0,063	0	0	94,3	94,3
20	0,059	0	0	94,3	94,3
21	0,059	0	0	94,3	94,3
22	0,057	0	0	94,3	94,3
23	0,054	0	0	94,3	94,3
24	0,052	0	0	94,3	94,3
25	0,051	0	0	94,3	94,3
26	0,051	0	0	94,3	94,3
27	0,051	0	0	94,3	94,3
28	0,048	0	0	94,3	94,3
29	0,048	0	0	94,3	94,3
30	0,048	0	0	94,3	94,3
31	0,046	0	0	94,3	94,3
32	0,045	0	0	94,3	94,3
33	0,044	0	0	94,3	94,3
34	0,043	0	0	94,3	94,3
35	0,043	0,9	0,3	95,2	94,6
36	0,043	0,3	0,9	95,5	95,5
37	0,043	0,1	0,6	95,6	96,1
38	0,043	0,6	0,1	96,2	96,2
39	0,042	0	0	96,2	96,2
40	0,042	0	0	96,2	97,5

### 2.2.4.2. Göreli Kat Ötelemeleri

Yapı bulunduğu yere göre göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayı TBDY 2018'de yer alan formüllere göre  $\lambda=0,378$  olarak hesaplanmıştır. İzin verilen göreli kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayı, TBDY 2018'e göre yapı çelik olduğundan dolayı  $\kappa=0,5$  olarak alınmıştır. Buna göre TBDY 2018'e göre göreli kat ötelemeleri kontrolü yapılmış ve deplasmanlar 0,004 sınırının altında kalmıştır. Sonuçlar Tablo 9'da verilmiştir.

Yapı tepe noktasında oluşan maksimum deplasman D+L-E<sub>x5</sub> kombinasyonuna göre 0,072 m olmaktadır. Bu deplasman toplam yapı yüksekliğinin 1/500'ünün altında kalmaktadır.

$$0,072m < 44,4m/500=0,0888m$$

### 2.2.4.3. İkinci Mertebe Etkileri

İkinci mertebe etkilerinin hesabında kullanılan ampirik katsayı yapı çelik olduğundan dolayı C<sub>n</sub>=1, dayanım fazlalığı katsayısı D=2,5, taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=6 olarak belirlenmiştir. Buna göre TBDY 2018'e göre ikinci mertebe etkileri kontrol edilmiş ve ikinci mertebe gösterge değeri sınır koşulu olan 0,05 değerinin altında kalmıştır. Sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir. Sonuç olarak iç kuvvetlerin ikinci mertebe büyütme katsayısı ile büyütülmesine gerek duyulmamıştır.

**Tablo10.** İkinci mertebe etkileri kontrolü.

KAT	h <sub>i</sub> (m)	Δ <sub>i,ort</sub> (m)	w <sub>k,i</sub> (kN)	Δw <sub>k,i</sub> (kN)	V <sub>i</sub> (kN)	θ <sub>ii,i</sub>
1	3,7	0,0050375	7412,105	7412,105	73320,308	0,0001376
2	3,7	0,0062234	7412,105	14824,21	75530,998	0,0003301
3	3,7	0,0061506	7412,105	22236,315	93960,116	0,0003934
4	3,7	0,0062095	7412,105	29648,42	91762,742	0,0005422
5	3,7	0,0062242	7473,991	37122,411	87957,443	0,00071
6	3,7	0,0061017	7473,99	44596,401	79466,902	0,0009255
7	3,7	0,0062151	7473,991	52070,392	98373,452	0,0008891
8	3,7	0,0062384	7473,991	59544,383	45933,226	0,0021857
9	3,7	0,0062199	7473,991	67018,374	37712,384	0,0029874
10	3,7	0,0061807	7473,991	74492,365	24692,647	0,0050394
11	3,7	0,0062353	7473,991	81966,356	13718,523	0,0100689
12	3,7	0	7412,104	89378,46	21820,093	0

### 2.2.4.4. Çelik Yapı Maliyet Hesabı

Yapı analiz sonucu yapıda toplamda 2466,689 ton çelik kullanılmıştır. Bu tonajın %5'i bağlantı elemanları için eklenmiştir. Döşeme ve perdeler için toplam 2654,4 m<sup>3</sup> beton, 196,833 ton donatı, 14469,12 m<sup>2</sup> kalıp kullanılmıştır.



**Tablo 9.** Çelik yapı görel kat ötelemeleri kontrolü.

KAT	DEPLASMAN		AZALTIYIMIS GÖRELI KAT ÖTELEMESİ (Δi)		ETKİN GÖRELI KAT ÖTELEMESİ (δi)		λ*(δi / hi)	
	(4E) D+L-Ex5	(5E) D+L-Ey5	X	Y	X	Y	X	Y
1	0,0052037	0,0052037	0,0050375	0,0050375	0,030225	0,030225	0,0032267	0,0032267
2	0,0102412	0,0102412	0,0062234	0,0062234	0,0373404	0,0373404	0,0039863	0,0039863
3	0,0164646	0,0164646	0,0061506	0,0061506	0,0369036	0,0369036	0,0039397	0,0039397
4	0,0226152	0,0226152	0,0062095	0,0062095	0,037257	0,037257	0,0039774	0,0039774
5	0,0288247	0,0288247	0,0062242	0,0062242	0,0373452	0,0373452	0,0039869	0,0039869
6	0,0350489	0,0350489	0,0061017	0,0061017	0,0366102	0,0366102	0,0039084	0,0039084
7	0,0411506	0,0411506	0,0062151	0,0062151	0,0372906	0,0372906	0,003981	0,003981
8	0,0473657	0,0473657	0,0062384	0,0062384	0,0374304	0,0374304	0,0039959	0,0039959
9	0,0536041	0,0536041	0,0062199	0,0062199	0,0373194	0,0373194	0,0039841	0,0039841
10	0,059824	0,059824	0,0061807	0,0061807	0,0370842	0,0370842	0,003959	0,003959
11	0,0660047	0,0660047	0,0062353	0,0062353	0,0374118	0,0374118	0,003994	0,003994
12	0,07224	0,07224						

**Tablo 11.** Çelik yapı malzeme listesi.

PROFİL	AĞIRLIK ton	PROFİL	HACİM m <sup>3</sup>	DONATI ton	KALIP m <sup>2</sup>		
						KİRİŞLER	RHS40x40x2,5
	RHS40x40x4	126,5894	PERDE	40cm	710,4	22,638	3409,92
KOLON	RHS60x60x2,5	821,5834					
BAĞLANTI ELEMENLARI		117,4614					
TOPLAM		2466,689	TOPLAM		2654,4	196,833	14469,12

Çelik profiller için ilgili poza ait(Y.23.101) fiyat 4689,43 TL/ton olarak alınmıştır. Betonarme pozuna ait (Y.16.050/17) fiyat 196,40 TL/m<sup>3</sup> olarak, donatı pozuna ait (Y.23.016) fiyat 2469,63 TL/ton olarak, kalıp pozuna ait (Y.21.001/03) fiyat 39,63 TL/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Fiyatlar 2017 Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyatlarından alınmıştır.

Kiriş ve kolon profilleri için yapı maliyeti 11567365,4 TL olarak bulunmaktadır. Beton için hesaplanan maliyet 521324,16 TL, donatı için hesaplanan maliyet 486104,68 TL, kalıp için hesaplanan maliyet 573411 TL'dir. Sonuçlar Tablo 11'de verilmiştir.

Sonuç olarak çelik yapı için toplam maliyet 13148205,24 TL'dir.

### 3. Sonuçlar

Bu çalışmaya göre Çanakkale ili Ayvacık ilçesine yapılacak olan 12 katlı bir yapının betonarme ve çelik sistem davranışları ayrı ayrı incelenmiş, zaman tanım alanında doğrusal analizleri yapılmış ve TBDY 2018'e göre kontrolleri yapılmıştır. Yapı sistemindeki tüm kesitler sistem analizlerini kurtaracak en uygun kesitler seçilmiştir. Bu şekilde yapılan yapı tasarımlarında betonarme yapı sistemi çelik yapı sisteminden 6,4 ton daha ağır bulunmaktadır. Bu sonuçlar zemin gerilmelerini etkilediğinden dolayı çelik yapıda daha yüksek katlara çıkma imkanı betonarme yapıya göre daha yüksektir.

Her iki yapı için de 40 mod göz önüne alınmıştır. Betonarme yapı kütle katılım oranı 96,5, çelik yapı kütle katılım oranı 96,2 olarak bulunmuştur. Mod şekilleri göz

önüne alındığında her iki yapının benzer davranışlar gösterdiği görülmüştür.

Betonarme yapı taban kesme kuvveti 130638,82kN, çelik yapı taban kesme kuvveti 69348,32kN olarak bulunmuştur. Bu durumda betonarme yapı üzerine gelen deprem kuvveti çelik yapı üzerine gelen deprem kuvvetine göre daha fazladır.

Betonarme yapı en üst kat uç nokta maksimum deplasmanı 86 mm, çelik yapının ise 72,2 mm olarak bulunmuştur. Her iki değer de deplasman koşullarını sağlamaktadır.

Maliyet hesaplarına göre betonarme yapı yaklaşık maliyeti 4,69 milyon TL, çelik yapı yaklaşık maliyeti 13,15 milyon TL olarak bulunmuştur. Buna göre bu bölgede yapılacak yapılarda çelik kullanılması maliyet açısından ekonomik değildir.

Yapım kolaylığı olarak çelik yapı betonarme yapıya göre yapım kolaylığı oldukça fazladır. Bunun nedeni betonarme yapının tüm aşamalarının sahada, çelik yapının ise çok büyük bir kısmının atölyede gerçekleşecek olmasıdır. Bu şekilde çelik yapı dış etkenlerden etkilenmeyerek yapımı daha hızlı ve kolay olacaktır. Malzeme maliyeti olarak betonarme yapı daha uygun bulursa dahi çelik yapının yapım süresi daha az olacağından diğer giderler (kira kaybı, işçi ücretleri vs.) toplam maliyeti etkileyecektir.

### Kaynaklar

- [1] TBDY, 2018. Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar, Türkiye Bina Deprem

Yönetmeliği.

- [2] Mertol A., Mertol H.C., 2002. Deprem Mühendisliği Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, 1. Baskı, Antalya.
- [3] Ozturk B., 2003. Seismic drift response of building structures in seismically active and near-fault regions. PhD Thesis, Purdue University, Dept. Of Civil Engineering.
- [4] TS498, 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [5] Beyen K., 2005. Hasar tanılama analizlerinde frekans-zaman çözümlemesi. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir, Türkiye, 14-16 Ekim.
- [6] TS-500, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [7] TS-648, 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [8] RYTEİE, 2013. Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [9] Stafford S. B., Coull A., 1991. Tall Building Structures: Analysis and Design, Wiley-Interscience.
- [10] Çakıroğlu A., Özer E., 1983. Eğik Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Dikdörtgen Betonarme Kesitlerde Taşıma Gücü Formülleri. Matbaa Teknisyenleri Koll. Şti., İstanbul.
- [11] Arda T. S., Yardımcı N., 2000. Çelik Yapıda Karma Elemanları Plastik Hesabı. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [12] Odabaşı Y., 2000. Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları. Beta Dağıtım, İstanbul.