





Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Perde Duvarlı ve Çerçevesiz Betonarme Binalarda Deprem Tasarım Sınıflarının Bina Maliyetine Etkisi

 Zehra Şule GARİP ^{a,*},  Erhan EREN ^a

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: zsulegarip@karabuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.937668

Öz

Betonarme binalarda yeterli dayanım için gerekli kaba inşaat maliyetleri farklı deprem tasarım sınıfları dikkate alınarak araştırılmıştır. Mevcut yapı stokunu temsil etmesi amacı ile belirlenen bina modelleri, dikkate alınan parametreler doğrultusunda dört farklı taban devrilme momenti oranı baz alınarak analiz edilmiştir. Bina modellerinin taşıyıcı sistemleri çerçeve sistem ve perde duvar + çerçeve sistem olmak üzere iki grup halinde dikkate alınmış, perde duvar etkilerinin bina maliyetine etkileri incelenmiştir. Perde duvar + çerçeve taşıyıcı sistemlerin tercih edilmesi durumunda kaba bina maliyetinde önemli bir artış olmadığı görülmüştür. DTS2-DTS3-DTS4 de tasarlanan binalarda hesaplanan kaba bina maliyetleri benzer sonuçlar vermiştir. Ancak DTS1 de maliyet artışı ortalama %10 mertebesinde gerçekleşmiştir. Perde duvar + çerçeve taşıyıcı sistemlerin tercih edilmesi ile sağlanacak ciddi dayanım artışı avantajının yanında ortaya çıkan önemsiz maliyet artışlarının göz ardı edilebileceği kanaatine ulaşılmıştır. Bu nedenle tüm deprem tasarım sınıflarında perde duvar + çerçeve sistemlerin tercih edilmesi önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem Tasarım Sınıfı, Betonarme, Perde Duvar, Yapı Maliyeti.

The Effect of Earthquake Design Classes on Building Cost in Shear Walled and Framed Reinforced Concrete Buildings

ABSTRACT

The rough building costs required for adequate strength in reinforced concrete buildings have been investigated by considering different earthquake design classes. Building models, which were determined to represent the existing building stock, were analyzed based on four different base overturning moment ratios in line with the parameters considered. The structural systems of the building models are considered in two groups as framed system and shear walled + framed system, and the effects of shear wall effects on building costs are examined. It is observed that there is no significant increase in the cost of the rough building costs in the case of shear walled + framed structural systems. The rough building costs calculated in the buildings designed in DTS2-DTS3-DTS4 give similar results. However, the cost increase in DTS1 is approximately 10% on average. It is reached the conclusion that, in addition to the serious strength increase advantage to be provided by the choice of shear walled + framed structural systems, the insignificant cost increases that occur can be ignored. For this reason, it is recommended to prefer shear walled + framed structural systems in all earthquake design classes.

Keywords: Earthquake Design Class, Reinforced Concrete, Shear Wall, Building Cost.

I. GİRİŞ

Deprem kuşağında yer alan Ülkemizde yapısal hasarların ciddi boyutlara ulaştığı birçok deprem meydana gelmiştir. Özellikle güncel depremler ile yapılarımızın hedeflenen dayanımı sağlamadığı, dolayısıyla can ve mal kayıplarına neden olduğu görülmüştür. Depreme dayanıklı betonarme binaların inşası ile can ve mal kayıplarının önüne geçilebileceği açıktır. Taşıyıcı sistemlerin tasarımında güvenli tarafta yer almak deprem güvenliği açısından yerinde bir tercih olacaktır.

23 Ekim ve 9 Kasım Van depremlerinde betonarme binaların deprem etkisinde taşıyıcı elemanlarının yanal yüklemelere yeterli direnci gösteremediği ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelen hasarlar nedeniyle katların üst üste çöktüğü belirlenmiştir [1]. Elazığ-Sivrice depreminde şehir merkezinde üç adet binada meydana gelen toptan göçmenin başlıca nedenlerinden biri olarak betonarme perde duvar bulunmayışı gösterilmiştir. Ayrıca orta ve ağır hasarlı binalarda yapılan incelemelerde perde duvarların neredeyse hiç bulunmadığı belirtilmiştir [2].

1992 Erzincan Depremi sonrasında yapılan incelemeler neticesinde 2-10 katlı binalarda her bir yönde bina plan alanının en az %1.5 kadar alana sahip perde duvar ile tasarlanması önerilmiştir [3]. Ayrıca bu kanaati araştıran bazı çalışmalar gerçekleştirilmiş ve perde duvar oranı için ilgili yönetmelik bağıntıları dikkate alınarak kesin bir sonuca varmanın mümkün olmadığı belirtilmiştir [4]. Perde duvarlı yapıların çerçeve sistemlere kıyasla az katlı yapılarda, yapı maliyetinin yüksek olduğu ve daha az sünekliğe sahip olduğu belirtilmektedir. Ayrıca az katlı perde duvarlı + çerçeve sistemlerde deprem yüklerinin büyük bölümünün perde duvarlar tarafından karşılandığı, çok katlı yapılarda perde duvarların yatay yüklerden aldığı payın giderek azaldığı vurgulanmıştır [5]. Birçok araştırmacı geçmiş yönetmeliklerde belirtilen deprem bölgelerinin ve zemin sınıflarının yapı maliyeti üzerindeki etkilerini araştırmıştır [6-13]. Bu çalışmada ise TBDY2019 [14] ile tanımlanan deprem tasarım sınıfları dikkate alınarak perde duvarların kaba yapı maliyetine etkileri incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında çerçeve sistem ve perde duvar + çerçeve sistem olmak üzere iki tip taşıyıcı sisteme sahip az ve orta katlı yapıları temsilen 4 ve 8 katlı konut tipi betonarme binalar incelenmiştir. Betonarme bina modellerin taşıyıcı sistemleri yüksek ve karma süneklik düzeylerinin kritik değerleri için belirlenen dört farklı taban devrilme momenti dikkate alınarak tasarlanmıştır. Ülkemizde genellikle kolon ve kirişlerden oluşturulan çerçeve sistemlerin tercih edildiği ve ekonomik olduğu düşünülmektedir. Deprem riski yüksek olan bölgelerde taşıyıcı sistemlerin perde duvarlar kullanılarak tasarlanması yatay rijitliği artırırken göreceli kat ötelemelerini sınırlandırmaktadır. Yapılan bu araştırma çalışması ile betonarme binalarda taşıyıcı sistemlerin perde duvar + çerçeve sistem olarak oluşturulmasının ciddi bir maliyet ortaya koymadığı belirlenmiştir. Benzer şekilde çerçeve sistem olarak tasarlanan betonarme bina modellerinde de deprem tasarım sınıfları arasında ciddi bir maliyet farkı belirlenmemiştir.

II. YÖNTEM

Çalışmada konut tipi betonarme binalarda başlıca iki taşıyıcı sistem tipi dikkate alınmıştır. Bunlar; deprem etkilerinin tamamının moment aktaran betonarme çerçevelerle karşılandığı Çerçeve Sistem, deprem etkilerinin moment aktaran betonarme çerçeveler ile boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı Perde Duvar + Çerçeve Sistemdir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi DD2 dikkate alınarak mod süperpozisyonu yöntemiyle ve bir paket program aracılığıyla analizler gerçekleştirilmiştir [15].

A. BETONARME BİNA BİLGİLERİ

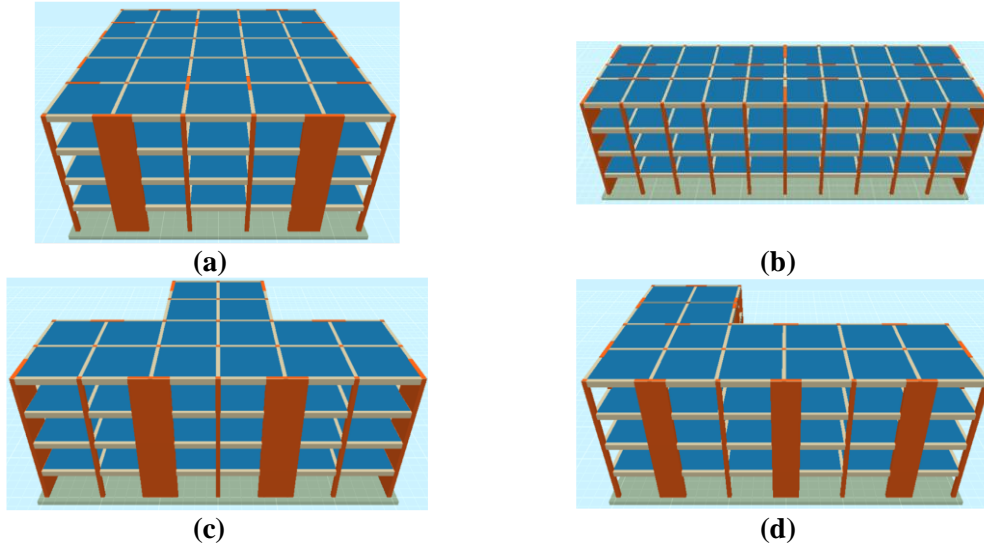
Analizlerde dikkate alınan genel bilgiler Tablo 1’de verilmiştir. Tasarlanan tüm bina modellerinde düşey taşıyıcı eleman olarak TBDY2019 da belirtilen yeterli dayanımı sağlayan minimum kesit boyutları kullanılmıştır.

Tablo 1. Analizlerde kullanılan genel bilgiler

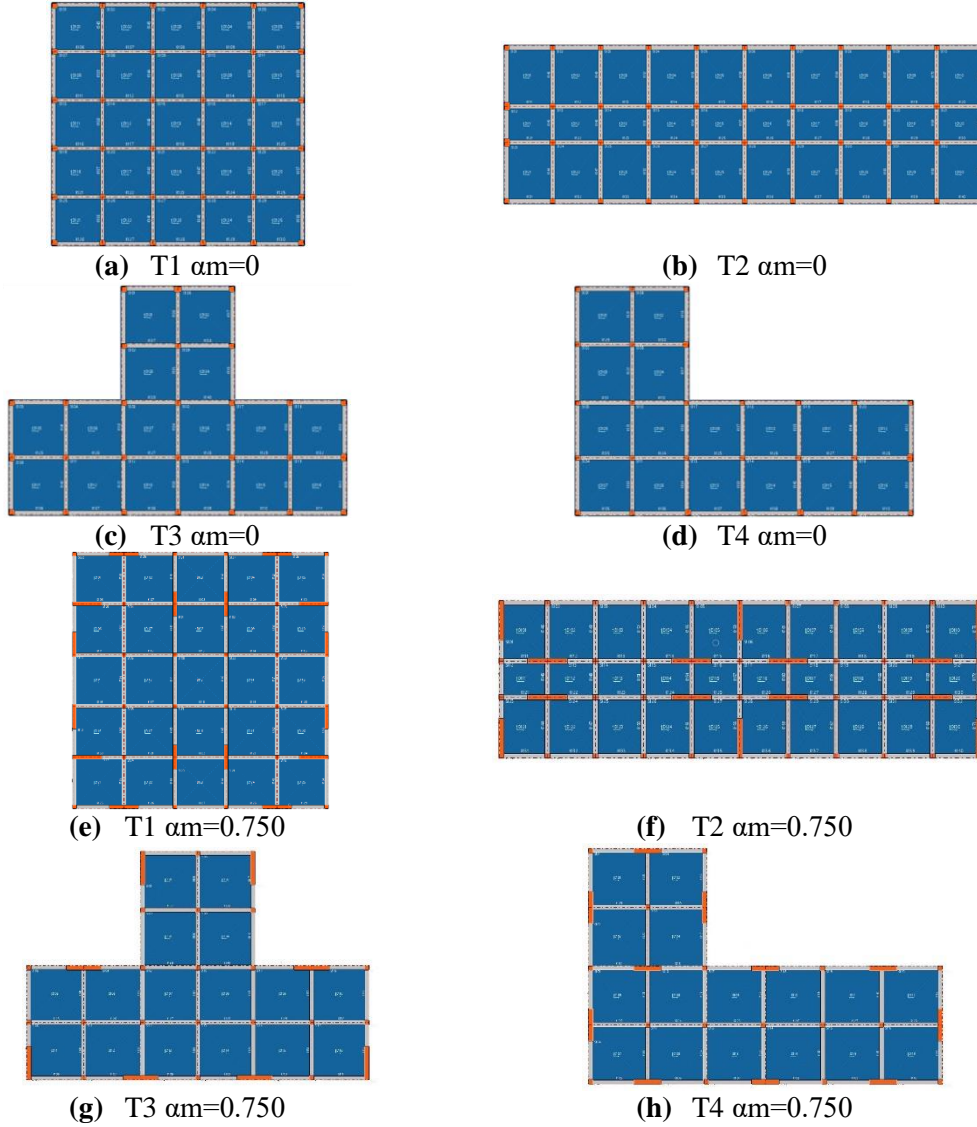
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	3
Bina Önem Katsayısı (I)	1
Zemin Sınıfı	ZC (Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar)
Zemin Taşıma Gücü Tasarım Gerilmesi (kPa)	210
Zemin Yatak Katsayısı (kN/m³)	15000
Beton Sınıfı	C30/37
Donatı Sınıfı	S420
Kiriş Boyutları	300×500 mm
Döşeme Kalınlığı	150 mm
Radye Temel Kalınlığı	4 katlı 400 mm 8 katlı 800 mm

Çalışmada incelenen betonarme bina modellerinin üç boyutlu görünüşleri ve kalıp planları Şekil 1 ve Şekil 2 de verilmiştir. Simetrik kat planına sahip ve rijit diyafram etkisi gösterebilecek 625 m² oturma alanlı T1 tipi, genel olarak okul binalarını temsil etmesi amacıyla 520 m² oturma alanlı T2 tipi, tek simetri eksenine sahip farklı salınımlar yapması muhtemel çıkmalara sahip yapıları temsil etmesi için 400 m² oturma alanlı T3 tipi ve simetri eksenini bulunmayan, yapısal çıkmaları nedeniyle farklı salınım yapabilecek, kütle merkezi ile rijitlik merkezi çakışmayan binaları temsil etmesi amacıyla 400 m² oturma alanlı T4 tipi olmak üzere dört farklı kat planı dikkate alınarak tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Farklı kat planları ile günümüzde inşa edilen veya mevcut yapıların temsil edilmesi amaçlanmıştır [16].

Betonarme binaların taşıyıcı sistemlerinin planda simetrik düzenlenerek deprem kaynaklı olumsuz etkilerin önüne geçilmektedir. Ayrıca perde duvarların kat planında mümkün olduğunca dış akslara yerleştirilmesi ile yapının burulma rijitliği artırılmaktadır [17]. Çalışma kapsamında dikdörtgen geometriye sahip perde duvarlar, burulma düzensizliğinin önüne geçebilmek adına simetrik olacak şekilde yeterli sayıda ve boyutta planda yerleştirilmiştir.



Şekil 1. $\alpha_m=0.750$ için 4 katlı betonarme bina modelleri üç boyutlu görünümü (a) T1 tipi, (b) T2 tipi, (c) T3 tipi, (d) T4 tipi. [16]



Şekil 2. Betonarme bina modelleri kat kalıp planları [16]

Ülkemizde sanayileşmenin yoğun olduğu bölgelerde yüksek binalar tercih edilirken, diğer bölgelerde genellikle az ve orta katlı yapılar inşa edilmektedir. Sismik aktivitelerin yoğun olduğu bölgelerde idareler tarafından ortaya konulan kısıtlamalar nedeniyle az katlı yapıların zorunluluğu bilinmektedir. Ancak az katlı yapılarda deprem güvenliğinden bahsedebilmek için dikkate alınması gereken etkenlerden biri olarak rezonans etkileri karşımıza çıkmaktadır. Zemin periyodu ve bina periyoduna bağlı olarak modellerde rezonans etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında bina yükseklik sınıfı 5 den büyük olacak şekilde binalar 4 ve 8 katlı olarak modellenmiş ve periyotları hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Süneklik düzeyleri arasında kıyaslamaların yapılabilmesi için TBDY2019 de belirtilen sınır değerler dikkate alınmıştır. Bu nedenle yüksek süneklik düzeyi için 3 farklı α_m değeri ($\alpha_m=0$, $\alpha_m=0.405$, $\alpha_m=0.745$) ve karma süneklik düzeyi için tek α_m değeri ($\alpha_m=0.750$) tercih edilmiştir.

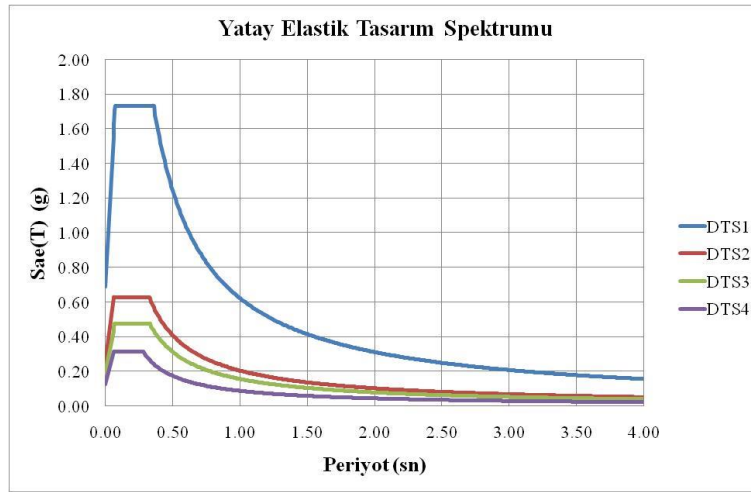
B. DEPREM TASARIM SINIFLARINA AİT SPEKTRAL İVME DEĞERLERİ

Betonarme bina modellerinin analizlerinde kullanılan deprem tasarım sınıfları için gerekli olan spektral ivme katsayıları, sismik aktiviteleri farklı dört ilin koordinatları kullanılarak Türkiye Deprem Tehlike haritasından elde edilmiştir ve Tablo 2 de sunulmuştur [18]. Bu iller için ulaşılan sonuçların benzer diğer iller için de genelleştirilebileceği varsayımında bulunulmuştur.

Tablo 2. Analizlerde kullanılmak üzere seçilen illerin spektral değerleri

DTS	Seçilen İl	Enlem Boylam	S_S	F_S	S_{DS}	P_{GA}	T_A
			S_1	F_1	S_{D1}	P_{GV}	T_B
DTS1	Erzincan	39.74770	1.446	1.200	1.731	0.602	0.072
		39.49786	0.415	1.500	0.622	39.588	0.359
DTS2	Kars	40.45943	0.482	1.300	0.628	0.209	0.065
		42.86464	0.136	1.500	0.204	12.102	0.326
DTS3	Kayseri	38.63420	0.366	1.300	0.477	0.159	0.066
		35.74515	0.104	1.500	0.156	9.512	0.328
DTS4	Konya	37.83619	0.240	1.300	0.312	0.105	0.056
		33.05115	0.058	1.500	0.087	5.365	0.279

Deprem Tasarım Sınıflarına ait Yatay Elastik Tasarım Spektrumları Şekil 3’de verilmiştir. DTS2-DTS3-DTS4 e ait tasarım spektrum eğrileri yakın değerler alırken DTS1 için elde edilen spektral ivme değerinin diğerlerine kıyasla büyük değerler aldığı görülmektedir. Bu nedenle DTS1 de inşa edilecek yapıların maruz kalacağı depremin diğer deprem tasarım sınıflarındaki yapılara göre çok daha şiddetli olacağı açıktır.



Şekil 3. Deprem Tasarım Sınıflarına ait Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

III. DEĞERLENDİRMELER

Çalışma kapsamında farklı parametrelerin dikkate alındığı toplamda 128 adet betonarme bina modelinin deprem tasarım sınıflarına göre dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Betonarme bina modellerinin taşıyıcı sistem özelliklerini yansıtmaları amacıyla Tablo 3 de kolon ve perde alan oranları verilmiştir. Çalışma kapsamında analizleri gerçekleştirilen bina modelleri yeterli dayanımı sağlayacak şekilde minimum kesit boyutlarına göre tasarlanmıştır. Tablo 3 incelendiğinde genel olarak DTS2-DTS3-DTS4 de kolon ve perde alan oranlarının değişmediği ancak DTS1 de bu oranların artış gösterdiği belirlenmiştir. Dolayısıyla bina modellerinin DTS1 de maruz kaldıkları spektral ivme değerlerine yeterli dayanımı sağlamak amacıyla taşıyıcı sistem elemanlarında kesit boyutlarının artırılması gerektiği görülmektedir. Bu artış bina modellerinin periyot değerlerinde değişime neden olmuştur.

Betonarme bina modellerine ait periyot ve yatay elastik tasarım spektral ivme değerleri Tablo 4’te verilmiştir. Periyotlar genel olarak spektrum eğrilerinde yer alan T_B köşe periyot değerlerinden büyük

çıkmiştir. Dolayısıyla bina periyotları azaldıkça elastik spektral ivme değerlerinde artış meydana gelmektedir. Taşıyıcı sistemin perde + çerçevesel tasarlanması durumunda perdelerin yapı rijitliğini arttırması nedeniyle periyot değerleri azalmaktadır. Bu durum yapının maruz kalacağı elastik spektral ivme değerinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca DTS2-DTS3-DTS4 dikkate alınarak tasarlanan betonarme bina modellerinden elde edilen periyot değerleri DTS1 de azalma eğilimi göstermektedir. Bu nedenle DTS1 için belirlenen elastik spektral ivme değerleri diğer deprem tasarım sınıflarındaki değerlerden yüksek bir değer almaktadır. Bu durum yapının rezonans bölgesine girmesine neden olabilmektedir. Ancak perde duvarların sisteme kazandırdığı dayanım, taban kesme kuvvetindeki artışı rahatlıkla karşılayabilmektedir.

Tablo 3. Betonarme bina modellerine ait kolon alan oranları ve perde alan oranları

Model	DTS	$\alpha_m=0$		$\alpha_m=0.405$		$\alpha_m=0.745$		$\alpha_m=0.750$	
		A_c/A_k (%)	A_p/A_k (%)	A_c/A_k (%)	A_p/A_k (%)	A_c/A_k (%)	A_p/A_k (%)	A_c/A_k (%)	A_p/A_k (%)
T1-4K	DTS1	1.058	0	0.802	0.710	0.507	2.016	0.392	1.978
	DTS2	0.706	0	0.693	0.691	0.392	1.978	0.392	1.978
	DTS3	0.706	0	0.693	0.691	0.392	1.978	0.392	1.978
	DTS4	0.706	0	0.693	0.691	0.392	1.978	0.392	1.978
T1-8K	DTS1	1.792	0	1.059	0.989	0.758	3.643	0.566	3.629
	DTS2	1.030	0	0.717	0.931	0.566	3.573	0.566	3.629
	DTS3	1.030	0	0.717	0.931	0.566	3.555	0.566	3.629
	DTS4	1.030	0	0.717	0.931	0.566	3.555	0.566	3.629
T2-4K	DTS1	1.257	0	1.079	0.935	0.707	2.968	0.707	3.063
	DTS2	1.127	0	0.940	0.923	0.707	2.968	0.707	3.063
	DTS3	1.037	0	0.940	0.923	0.707	2.968	0.707	3.063
	DTS4	1.037	0	0.940	0.923	0.707	2.968	0.707	3.063
T2-8K	DTS1	1.446	0	1.233	1.327	0.749	6.212	0.518	6.108
	DTS2	1.354	0	0.940	1.269	0.518	5.933	0.518	6.108
	DTS3	1.166	0	0.940	1.269	0.518	5.692	0.518	5.869
	DTS4	1.037	0	0.940	1.269	0.518	5.692	0.518	5.869
T3-4K	DTS1	1.140	0	1.077	0.735	0.736	2.065	0.582	2.083
	DTS2	0.827	0	0.704	0.653	0.582	1.960	0.582	2.083
	DTS3	0.827	0	0.704	0.653	0.582	1.960	0.582	2.083
	DTS4	0.827	0	0.704	0.653	0.582	1.960	0.582	2.083
T3-8K	DTS1	2.084	0	1.544	1.125	1.193	3.640	0.589	5.158
	DTS2	1.154	0	0.910	1.020	0.842	3.440	0.589	5.158
	DTS3	1.154	0	0.910	1.020	0.842	3.440	0.650	4.944
	DTS4	1.154	0	0.910	1.020	0.842	3.440	0.650	4.944
T4-4K	DTS1	0.936	0	0.735	0.575	0.530	2.244	0.490	2.354
	DTS2	0.827	0	0.674	0.569	0.490	2.244	0.490	2.354
	DTS3	0.827	0	0.674	0.569	0.490	2.244	0.490	2.354
	DTS4	0.827	0	0.674	0.569	0.490	2.244	0.490	2.354
T4-8K	DTS1	1.244	0	0.847	0.930	0.611	3.277	0.546	3.373
	DTS2	0.911	0	0.739	0.923	0.546	3.229	0.546	3.373
	DTS3	0.911	0	0.739	0.923	0.546	3.229	0.546	3.373
	DTS4	0.911	0	0.739	0.923	0.546	3.229	0.546	3.373

Not: A_c/A_k kolon alan oranını, A_p/A_k perde alan oranını ifade etmektedir.

Tablo 4. Betonarme bina modellerine ait periyot ve yatay elastik tasarım spektral ivme değerleri

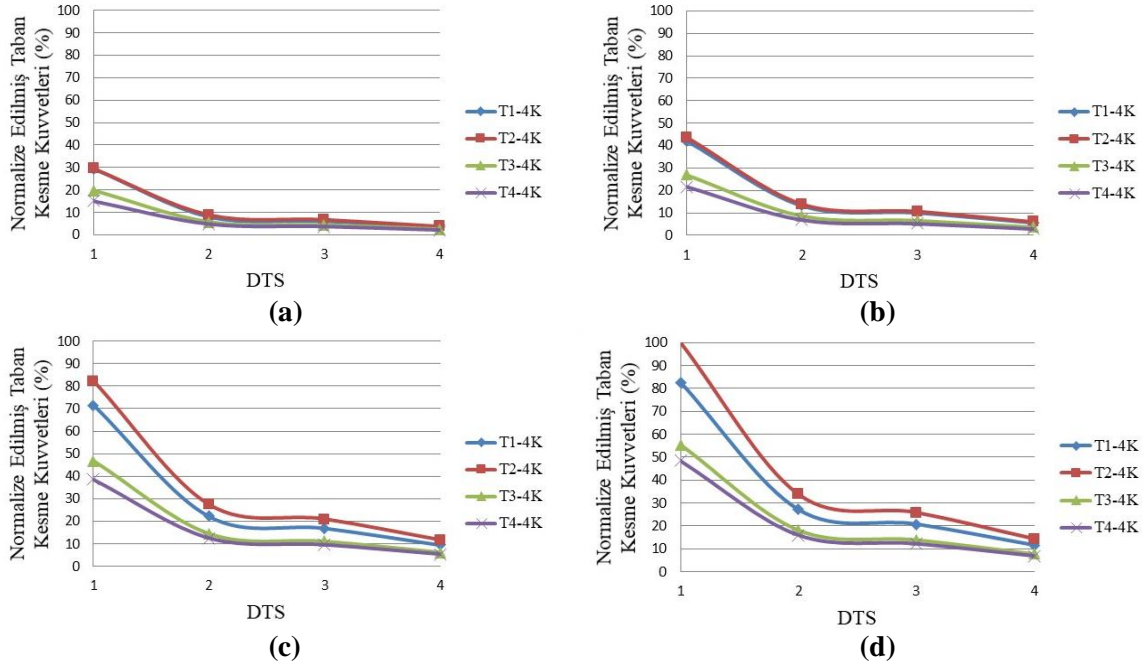
Model	DTS	$\alpha_m=0$		$\alpha_m=0.405$		$\alpha_m=0.745$		$\alpha_m=0.750$	
		T_{x1} (sn)	$S_{ae}(T)$ (g)	T_{x1} (sn)	$S_{ae}(T)$ (g)	T_{x1} (sn)	$S_{ae}(T)$ (g)	T_{x1} (sn)	$S_{ae}(T)$ (g)
T1-4K	DTS1	0.752	0.827	0.607	1.025	0.431	1.443	0.445	1.398
	DTS2	0.889	0.229	0.632	0.323	0.452	0.451	0.445	0.458
	DTS3	0.889	0.175	0.632	0.247	0.452	0.345	0.445	0.351
	DTS4	0.889	0.098	0.632	0.138	0.452	0.192	0.445	0.196
T1-8K	DTS1	1.310	0.475	1.063	0.585	0.780	0.797	0.801	0.777
	DTS2	1.492	0.137	1.063	0.192	0.814	0.251	0.801	0.255
	DTS3	1.492	0.105	1.063	0.147	0.816	0.191	0.801	0.195
	DTS4	1.492	0.058	1.063	0.082	0.816	0.107	0.801	0.109
T2-4K	DTS1	0.671	0.927	0.533	1.167	0.347	1.731	0.338	1.731
	DTS2	0.724	0.281	0.546	0.374	0.347	0.588	0.338	0.526
	DTS3	0.727	0.215	0.546	0.286	0.347	0.450	0.338	0.462
	DTS4	0.727	0.120	0.546	0.159	0.347	0.251	0.338	0.257
T2-8K	DTS1	1.250	0.498	1.012	0.615	0.705	0.882	0.703	0.885
	DTS2	1.256	0.162	1.056	0.193	0.729	0.280	0.703	0.290
	DTS3	1.331	0.117	1.056	0.148	0.734	0.213	0.720	0.217
	DTS4	1.416	0.061	1.056	0.082	0.734	0.119	0.720	0.121
T3-4K	DTS1	0.741	0.839	0.632	0.984	0.442	1.407	0.447	1.391
	DTS2	0.848	0.241	0.632	0.323	0.465	0.439	0.447	0.456
	DTS3	0.848	0.184	0.632	0.247	0.465	0.335	0.447	0.349
	DTS4	0.848	0.103	0.632	0.138	0.465	0.187	0.447	0.195
T3-8K	DTS1	1.250	0.498	1.063	0.585	0.775	0.803	0.748	0.832
	DTS2	1.455	0.140	1.063	0.192	0.808	0.252	0.748	0.273
	DTS3	1.455	0.107	1.063	0.147	0.808	0.193	0.766	0.204
	DTS4	1.455	0.060	1.063	0.082	0.808	0.108	0.766	0.114
T4-4K	DTS1	0.685	0.908	0.565	1.101	0.411	1.513	0.396	1.571
	DTS2	0.713	0.286	0.571	0.357	0.414	0.493	0.396	0.515
	DTS3	0.713	0.219	0.571	0.273	0.414	0.377	0.396	0.394
	DTS4	0.713	0.122	0.571	0.152	0.414	0.210	0.396	0.220
T4-8K	DTS1	1.235	0.504	1.059	0.587	0.790	0.787	0.782	0.795
	DTS2	1.344	0.152	1.063	0.192	0.805	0.253	0.782	0.261
	DTS3	1.344	0.116	1.063	0.147	0.805	0.194	0.782	0.199
	DTS4	1.344	0.065	1.063	0.082	0.805	0.108	0.782	0.111

DTS1 de $\alpha_m=0.745$ ve $\alpha_m=0.750$ olacak şekilde tasarlanan T2-4K tipi binalarda hesaplanan periyot değerleri T_B köşe periyodundan düşük değer almıştır. Maksimum yatay elastik spektral ivmeye maruz kalması yani rezonans bölgesine girmesi sonucu taban kesme kuvvetinde artış gözlemlenmiştir (Tablo 4).

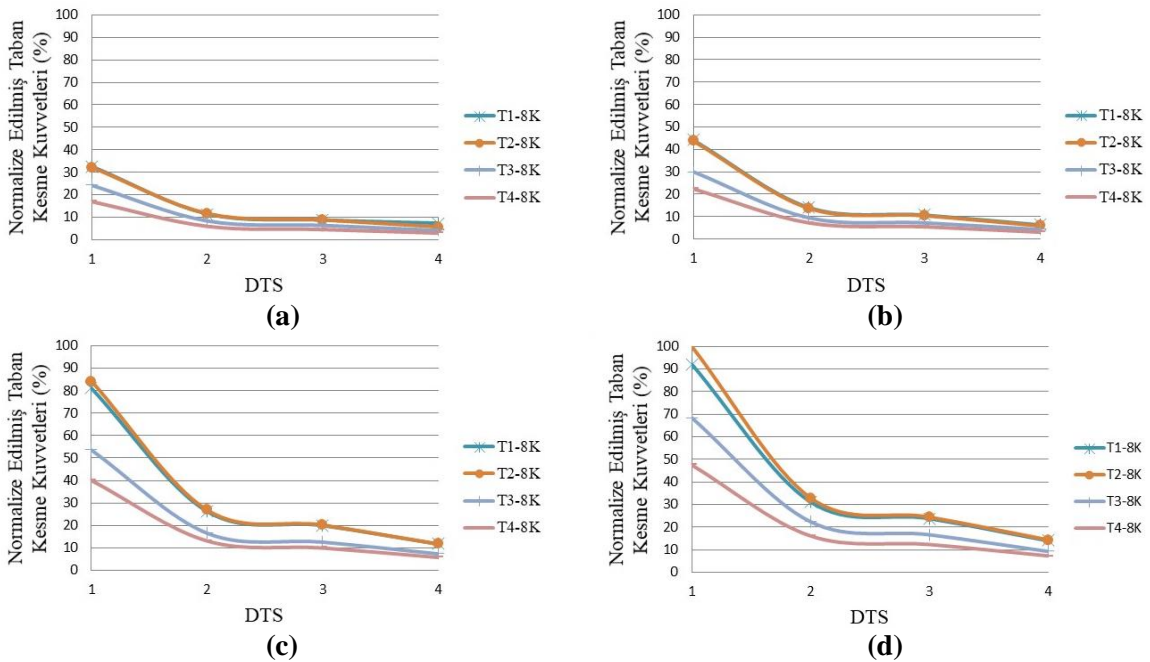
Betonarme bina modellerinin normalize taban kesme kuvvetleri α_m oranlarına bağlı olarak sırasıyla 4 katlı ve 8 katlı modeller için Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. DTS1 de $\alpha_m=0.750$ olacak şekilde modellenen T2-4K ve T2-8K bina modeline ait taban kesme kuvvetleri sırasıyla diğer tüm 4 katlı ve 8 katlı bina modellerinden büyük çıkmıştır. Bu nedenle T2-4K ve T2-8K bina modellerinin taban kesme kuvvetleri maksimum değerler olacak şekilde sırasıyla diğer tüm 4 katlı ve 8 katlı bina modellerine ait taban kesme kuvvetleri oranlanmış ve normalize edilmiştir. DTS1 de spektral ivme değerlerinde

meydana gelen artış taban kesme kuvvetlerinin de artmasına neden olmuştur. 4 katlı ve 8 katlı bina modellerinde DTS2-DTS3-DTS4 de $\alpha_m=0$ ve $\alpha_m=0.405$ olan sistemlerde normalize taban kesme kuvvetleri ortalama olarak %10 bandında oluşurken, DTS1 de %30 bandında meydana gelmiştir. Benzer bir durum $\alpha_m=0.745$ ve $\alpha_m=0.750$ arasında ortaya çıkmıştır. DTS2-DTS3-DTS4 de normalize taban kesme kuvvetleri ortalama olarak %20 bandında oluşurken, DTS1 de %70 bandında meydana gelmiştir.

Taban kesme kuvvetleri dikkate alındığında en büyük etkinin DTS1 de ortaya çıktığı belirlenmiştir. Genel olarak diğer deprem tasarım sınıflarında birbirine benzer değerler gözlemlenmiştir. DTS1 de elde edilen değerler taban devrilme momenti oranına (α_m) bağlı olarak artış göstermiştir (Şekil 4 - Şekil 5).



Şekil 4. α_m oranlarına göre 4 katlı betonarme bina modellerinde normalize taban kesme kuvvetleri (a) $\alpha_m=0$, (b) $\alpha_m=0.405$, (c) $\alpha_m=0.745$, (d) $\alpha_m=0.750$



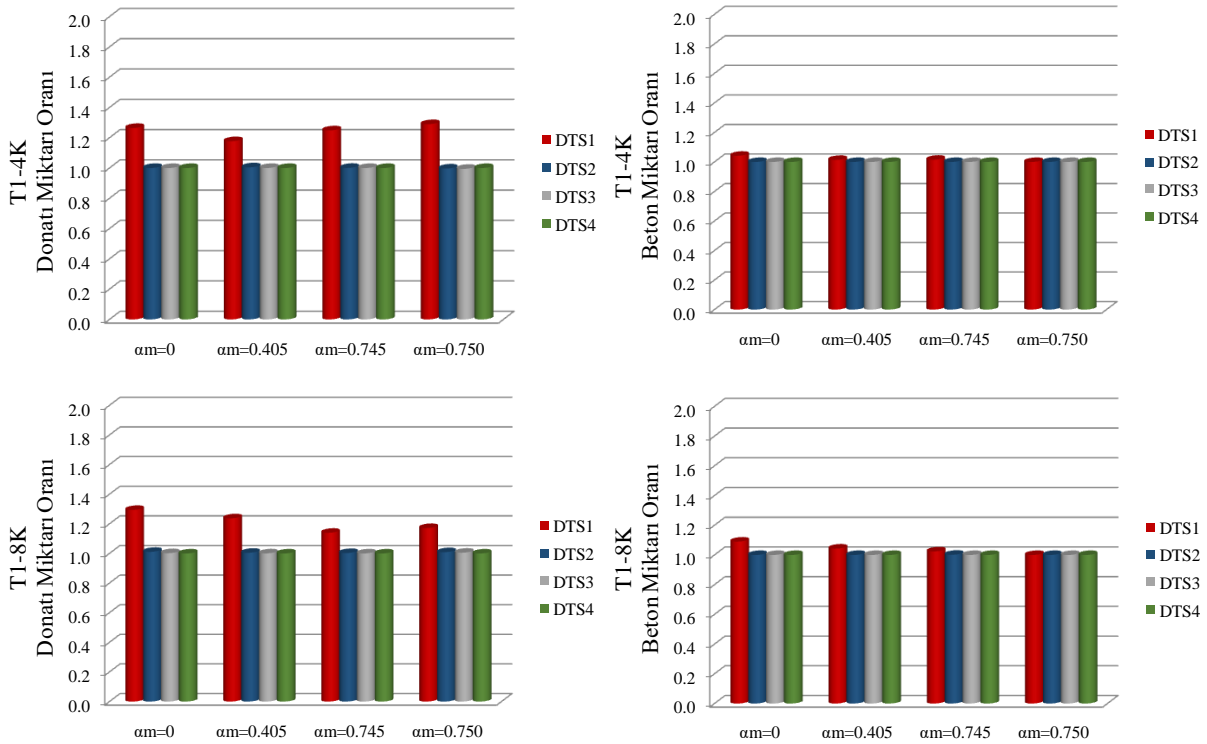
Şekil 5. α_m oranlarına göre 8 katlı betonarme bina modellerinde normalize taban kesme kuvvetleri (a) $\alpha_m=0$, (b) $\alpha_m=0.405$, (c) $\alpha_m=0.745$, (d) $\alpha_m=0.750$

Deprem tasarım sınıfları arasında en düşük spektral ivme değerine sahip DTS4 de inşa edilen binalarda, yeterli dayanım için gerekli donatı ve beton miktarlarının diğer deprem tasarım sınıflarına oranla daha düşük düzeyde kalacağı açıktır. Deprem tasarım sınıflarının bina maliyetleri üzerindeki etkilerini ortaya koyabilmek için donatı ve beton miktarları DTS4 baz alınarak her α_m oranı için kıyaslanmış ve grafikler halinde Şekil 6 - Şekil 7 de sunulmuştur.

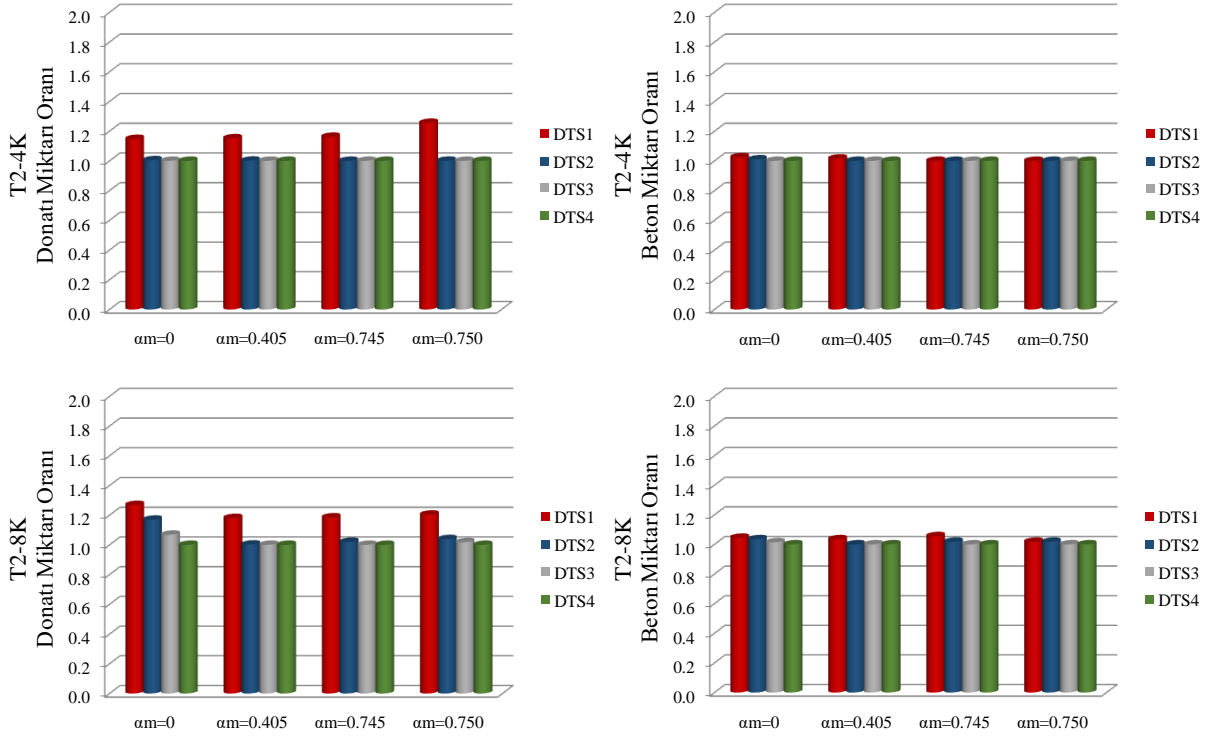
Donatı miktarlarında DTS1 haricinde genel olarak bir değişim ortaya çıkmamıştır. 8 katlı T2 tipi çerçeve sistemlerde ve T3 tipi karma süneklik düzeyli sistemlerde deprem tasarım sınıfları arasında %10 oranında farklar meydana gelmiştir. Tüm bina modellerinde DTS1 de T1 ve T2 tipi binalarda %30, T3 tipi binalarda %40, T4 tipi binalarda %20 bandında değişimler gerçekleşmiştir. DTS1 de kat sayısının artması nedeniyle çerçeve sistemlerde, perde +çerçeve sistemlere kıyasla donatı miktarında ortalama %10 oranında bir artış meydana gelmiştir. Beton miktarlarında dikkate değer bir değişim oluşmazken sadece T3 tipi binalarda DST1 de %10 oranında artış belirlenmiştir (Şekil 6 - Şekil 7).

DTS1 için 4 katlı betonarme bina modellerinde gerekli olan donatı miktarı karma süneklik düzeyinde artış eğilimi gösterirken, 8 katlı betonarme bina modellerinde çerçeve sistemlerde artış eğilimi gözlemlenmiştir. Donatı miktarları, 4 katlı yapılarda α_m oranı ile doğru orantılı davranış sergilerken 8 katlı yapılarda ters orantı söz konusudur (Şekil 6 - Şekil 7).

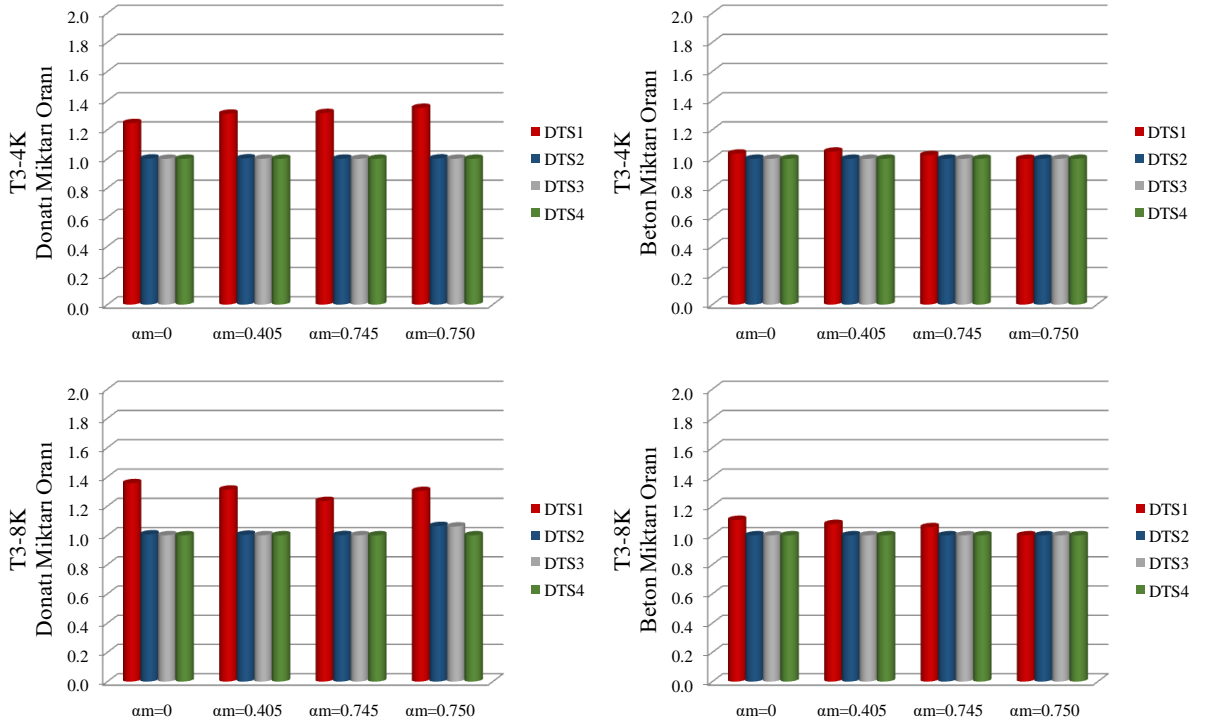
Beton ve donatı miktarlarında meydana gelen bu artış binanın toplam maliyetinde dikkate değer bir yekûn oluşturmamaktadır.



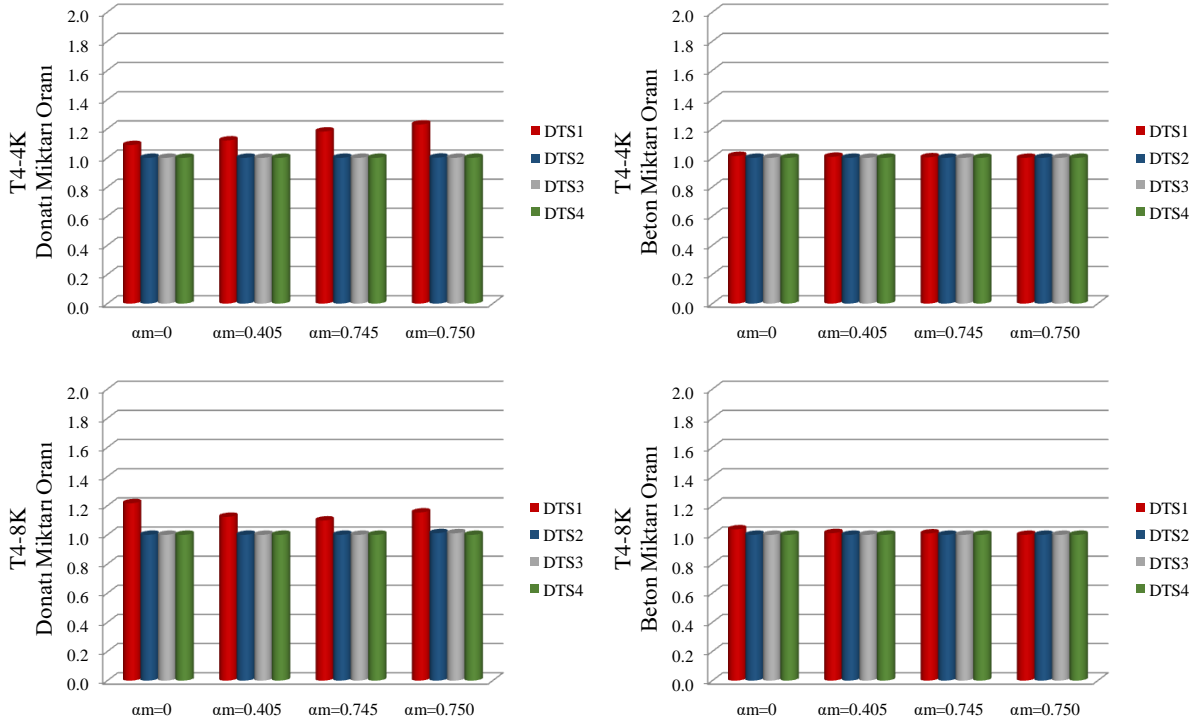
Şekil 6. T1 ve T2 tipi betonarme bina modellerinde DTS4 baz alınarak donatı ve beton miktarları oranları



Şekil 6 (devam). T1 ve T2 tipi betonarme bina modellerinde DTS4 baz alınarak donatı ve beton miktarları oranları



Şekil 7. T3 ve T4 tipi betonarme bina modellerinde DTS4 baz alınarak donatı ve beton miktarları oranları.



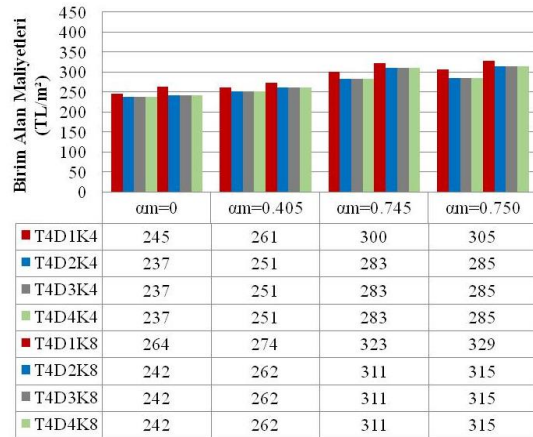
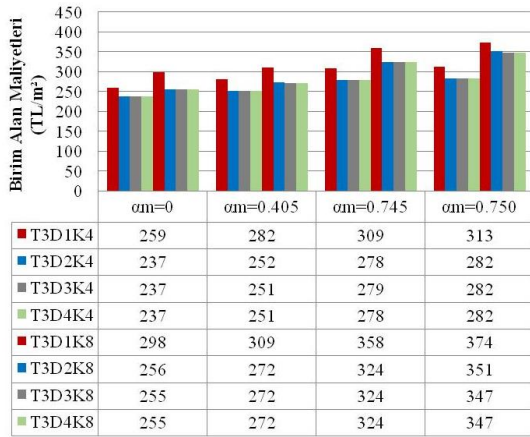
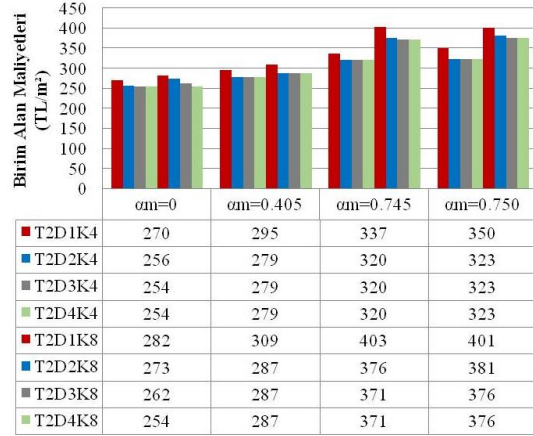
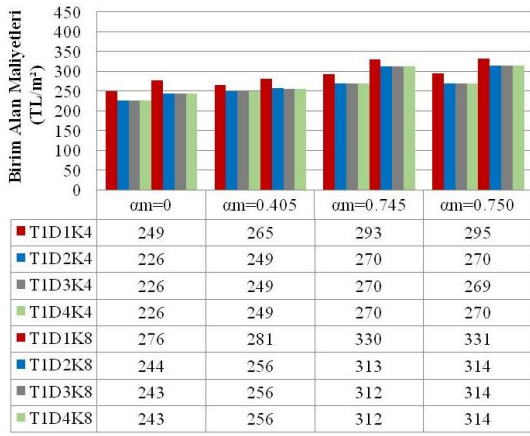
Şekil 7 (devam). T3 ve T4 tipi betonarme bina modellerinde DTS4 baz alınarak donatı ve beton miktarları oranları

Maliyet hesabında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları kullanılmıştır (Tablo 5). Beton sınıfı, ince demir, kalın demir ve kalıp birim fiyatları dikkate alınarak toplam maliyet hesaplanmıştır. [19]

Tablo 5. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2020 yılı inşaat ve tesisat birim fiyatları [19]

Poz No	Poz Açıklaması	Birim	Birim Fiyat (TL)
15.150.1006	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C30/37 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	262.38
15.160.1003	Ø8-Ø12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	ton	4444.21
15.160.1004	Ø14-Ø28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	ton	4362.90
15.180.1002	Ahşaptan düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı yapılması	m ²	63.98

Betonarme bina modellerine ait birim alan maliyetleri tablolar halinde Şekil 8’de sunulmuştur. Çerçevesi veya perde + çerçevesi sistemleri kıyaslayabilmek için kritik değerler olan $\alpha_m=0$ ile $\alpha_m=0.405$ gruplandırılmış ve yüksek süneklilik düzeyli ve karma süneklilik düzeyli perde + çerçevesi sistemleri kıyaslayabilmek için kritik değerler olan $\alpha_m=0.745$ ile $\alpha_m=0.750$ gruplandırılmıştır. Birinci grupta birim alan maliyetleri arasında maksimum %10 oranında bir artışın olduğu belirlenirken ikinci grupta anlamlı bir farkın meydana gelmediği ancak istisna olarak T3 tipi 8 katlı modellerde tüm deprem tasarım sınıflarında %10 oranının altında bir farkın oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 8. Betonarme bina modellerine ait birim alan maliyetleri

Birim alan maliyet değerlerinde meydana gelen artış oranları Tablo 6a da kıyaslanmıştır. Yatay elastik spektral ivme değerleri DTS4 de en düşük değerde olduğundan buna bağlı oluşacak olan birim alan maliyetleri asgari düzeyde kalacaktır. Bu nedenle DTS4 kıyaslama ölçütü olarak tercih edilmiştir. Bina modellerinin α_m oranlarına bağlı birim alan maliyetlerinde DTS2-DTS3 için anlamlı bir fark oluşmamıştır. Sadece $\alpha_m=0$ için T2 tipi modellerde en fazla %7 oranında bir artış gözlemlenmiştir. DTS1 için elde edilen birim alan maliyetlerinde 4 katlı modellerde ortalama %8 artış, T3D1K4 modelinde %12 artış oranı ile maksimum değer ve 8 katlı modellerde ortalama %9 artış, T3D1K8 modelinde %17 artış oranı ile maksimum değer belirlenmiştir.

Kaba yapı inşaat maliyetinin toplam inşaat maliyetine oranının %30 civarında olduğu göz önüne alındığında birim alan maliyetlerinde meydana gelen bu artışların toplam bina maliyetine göre çok daha önemsiz olacağı görülmüştür. Örneğin T3D1K8 bina modelinde ortaya çıkan %17 lik birim alan maliyeti artış oranı toplamda %5 seviyesine inmektedir.

Çerçeve sistemli bina modellerinde hesaplanan bina maliyetlerinin perde + çerçeve sistemli bina modellerinden az çıkması nedeniyle çerçevesiz sistemlerin DTS4 de elde edilen maliyet değerleri kıyaslama ölçütü olarak belirlenmiştir. Birim alan maliyet değerlerinde meydana gelen artış oranları DTS4 de çerçevesiz sistemlerde elde edilen veriler baz alınarak Tablo 6b de kıyaslanmıştır. 4 katlı modellerde DTS2-DTS3-DTS4 için ortalama %13 artış meydana gelirken bu artış DTS1 için ortalama %21 olarak belirlenmiştir. 8 katlı modellerde DTS2-DTS3-DTS4 için ortalama %20 artış meydana gelirken bu artış DTS1 için %29 olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Deprem tasarım sınıflarına göre birim alan maliyetleri artış oranları

Model	a) DTS4 Bazında Birim Alan Maliyet Artış Oranları (%)				b) $\alpha_m=0$ ve DTS4 Bazında Birim Alan Maliyet Artış Oranları (%)			
	α_m				α_m			
	0	0.405	0.745	0.750	0	0.405	0.745	0.750
T1D1K4	10	6	8	9	10	17	29	30
T1D2K4	0	0	0	0	0	10	19	19
T1D3K4	0	0	0	0	0	10	19	19
T1D4K4	0	0	0	0	0	10	19	19
T1D1K8	14	10	6	5	14	16	36	36
T1D2K8	0	0	0	0	0	6	29	29
T1D3K8	0	0	0	0	0	5	29	29
T1D4K8	0	0	0	0	0	5	28	29
T2D1K4	6	6	5	8	6	16	33	38
T2D2K4	1	0	0	0	1	10	26	27
T2D3K4	0	0	0	0	0	10	26	27
T2D4K4	0	0	0	0	0	10	26	27
T2D1K8	11	8	9	7	11	22	58	58
T2D2K8	7	0	1	1	7	13	48	50
T2D3K8	3	0	0	0	3	13	46	48
T2D4K8	0	0	0	0	0	13	46	48
T3D1K4	9	12	11	11	9	19	31	32
T3D2K4	0	0	0	0	0	6	17	19
T3D3K4	0	0	0	0	0	6	18	19
T3D4K4	0	0	0	0	0	6	17	19
T3D1K8	17	14	11	8	17	21	41	47
T3D2K8	0	0	0	1	0	7	27	38
T3D3K8	0	0	0	0	0	7	27	36
T3D4K8	0	0	0	0	0	7	27	36
T4D1K4	3	4	6	7	3	10	26	29
T4D2K4	0	0	0	0	0	6	20	20
T4D3K4	0	0	0	0	0	6	19	20
T4D4K4	0	0	0	0	0	6	19	20
T4D1K8	9	4	4	4	9	13	33	36
T4D2K8	0	0	0	0	0	8	29	30
T4D3K8	0	0	0	0	0	8	29	30
T4D4K8	0	0	0	0	0	8	29	30

IV. SONUC

TBDY2019 ile tanımlanmış olan deprem tasarım sınıflarının betonarme hesaplarda ortaya koyacağı maliyet artışı hakkında değerlendirme yapabilmek için gerçekleştirilen bu çalışmada 4 katlı ve 8 katlı yapılar incelenmiş ve ulaşılan sonuçların Türkiye'de mevcut binaların genelini hakkında fikir verebileceği varsayımı yapılmıştır. Ek olarak kalıp planı tipi ve taban devrilme momenti oranları (α_m) da hesaplarda parametre olarak dikkate alınmıştır.

Güncel depremler dikkate alındığında deprem tehlikesi altında olan Ülkemizde binaların perde + çerçevesi taşıyıcı sistem olarak tasarlanması ile asgari düzeyde kalan bir maliyet artışı ile deprem güvenliği artırılmış olacaktır.

Yapılan çalışma ile herhangi bir deprem tasarım sınıfında binaların taşıyıcı sisteminde perde duvar ilavesinin birim alan maliyetlerinde ciddi farklar ortaya çıkarmadığı belirlenmiştir. Aynı α_m oranına sahip betonarme binalarda DTS1 hariç tüm deprem tasarım sınıflarında benzer maliyetler elde edilmiştir.

Bu çalışma ile DTS2-DTS3 ve DTS4 dikkate alınarak tasarlanan bina modellerinin kaba yapı maliyetlerinde bir fark oluşmadığı belirlenmiştir. Burada ayırıcı etki DTS1 de gözlemlenmiştir. DTS1 de spektral ivme değerlerinin yüksek olması nedeniyle gerekli dayanımın sağlanması için maliyetlerde %10 luk bir artış meydana gelmiştir. Dolayısıyla güvenli tarafta yer almak için DTS1 in ayrı bir grup olarak değerlendirilmesi yerinde olacaktır.

Çalışma kapsamında değerlendirilen tüm sonuçların dikkate alınan parametreler ile sınırlı olduğu unutulmamalıdır. Bilimsel netlikte bir yargıya varmak için parametre havuzunun genişletilmesi ve detaylandırılması yerinde olacaktır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- a) Yapı taşıyıcı sistemi modellenirken yüksek süneklik düzeyinin üst sınırı ($\alpha_m=0.745$) ile karma süneklik düzeyinin alt sınırı ($\alpha_m=0.750$) arasında maliyet açısından önemli bir farkın ortaya çıkmasından yola çıkarak perde + çerçeve sistemli betonarme binaların yüksek süneklik düzeyinde inşa edilmesinin daha anlamlı olacağı kanaati oluşmuştur.
- b) DTS2-DTS3-DTS4 de normalize taban kesme kuvvetleri ortalama olarak sırasıyla 4 katlı ve 8 katlı yapılarda sırasıyla %10 ve %20 bandında oluşurken, DTS1 de sırasıyla %35 ve %70 bandında meydana gelmiştir. Deprem tasarım sınıflarına göre taban kesme kuvvetlerinde artış dikkate alındığında; ortalama %20 bandında meydana gelen normalize taban kesme kuvveti artışının DTS2-DTS3 ve DTS4 de kaba yapı maliyetlerinde herhangi bir artışa neden olmadığı görülmüştür. Ayrıca DTS1 de ortalama %70 bandında meydana gelen normalize taban kesme kuvveti artışının kaba yapı maliyetinin sadece %10 civarında arttırdığı belirlenmiştir.
- c) Çerçeve tipi ($\alpha_m=0$) yapılar ile yüksek süneklik düzeyi alt sınırında ($\alpha_m=0.405$) inşa edilen perde + çerçeve sistemli betonarme binalar arasında oluşan maliyet farkının %10 ile sınırlı kalmasında yola çıkarak betonarme binaların özellikle spektral ivme değeri yüksek bölgelerde inşa edilmesi durumunda perde duvarlı olarak tasarlanmasının deprem güvenliği açısından yerinde olacağı kanaati oluşmuştur.
- d) Betonarme bina modellerinin DTS4 e ait spektral ivme değerleri dikkate alınarak tasarlanması durumunda DTS2 ve DTS3 için de ilave maliyetler getirilmeden güvenli çözümler sunacağı görülmüştür.
- e) Taşıyıcı sistemi perde + çerçeve sistemli betonarme binaların çerçeve sistemlere oranla daha rijit olmaları nedeniyle maruz kaldıkları elastik tasarım spektral ivme değerleri artmaktadır. Ancak perde duvarların karşılayacağı deprem yükü kapasitesi dikkate alındığında yapıda ortaya çıkan maliyet artışı %10 oranından fazla olmamaktadır.
- f) Perde + çerçeve sistemli betonarme binaların periyotları çerçeve sistemlere kıyasla artış göstermiştir. Bu nedenle bazı bina modellerinde rezonans etkileri görülmüş ancak perde duvarlar ile sağlanan dayanım artışı ile güvenli bölgede kalınmıştır.
- g) 8 katlı bina modellerinde deprem tasarım sınıflarına göre birim alan maliyetlerinde DTS4 te tasarlanan 4 katlı modellere kıyasla ortalama %10 oranında bir artış meydana gelmiştir.
- h) Kaba yapı inşaat maliyetinin bir yapının toplam inşaat maliyetinin yaklaşık olarak %30 una tekabül ettiği düşünüldüğünde çalışma kapsamında belirlenen kaba yapı inşaat maliyetlerindeki artış oranlarının önemini kaybedeceği açıktır.
- i) TBDY2019 ile depreme dayanıklı bina tasarımında binanın yapıldığı konuma bağlı spektral ivme değerleri alınmakta ve tasarım buna göre yapılmaktadır. Ancak gerçekleştirilen çalışma

ile DTS2-DTS3 ve DTS4 arasında maliyet açısından bir fark oluşmadığı görülmüştür. Dolayısıyla perde + çerçeve sistemli betonarme binaların yapılacağı konunun bahsi geçen deprem tasarım sınıfları için mikro düzeyde ele alınmasının gerekli olmayacağı kanaatine varılmıştır.

- j) Elde edilen tüm sonuçlar çalışma kapsamında dikkate alınan betonarme bina modelleri ile sınırlıdır. Sonuçlar dikkate alındığında perde + çerçeve sistemli betonarme bina modellerinde deprem tasarım sınıflarının 4 grup yerine 2 gruba indirgenebileceği kanaati hâkim olmuştur. Bu şekilde ortaya çıkacak muhtemel işlem hacmi de azaltılabilecektir. Ancak kesin bir ifade kullanılabilmesi için daha detaylı bir çalışmanın ortaya konulması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma “Betonarme Binalarda Deprem Tasarım Sınıflarının Bina Maliyetine Etkisi” başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. N. Karancı, S. Kalaycıoğlu, B. B. Başbuğ Erkan, A. T. Özden, İ. Çalışkan ve G. Özakşehir, “Tabanlı – Van (23 Ekim 2011) ve Edremit – Van (9 Kasım 2011) depremleri inceleme raporu 25 – 27 Kasım 2011,” Orta Doğu Teknik Üniversitesi Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Türkiye, 2011.
- [2] ODTÜ., “24 Ocak 2020 Mw 6.8 Elâzığ-Sivrice depremi sismik ve yapısal hasara ilişkin saha gözlemleri,” Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Türkiye, Rapor No: ODTÜ/DMAM 2020-01, 2020.
- [3] U. Ersoy, 1992 “Erzincan depreminden alınması gereken dersler,” 2. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 1993, ss. 395-403.
- [4] H. Tekel, “Betonarme yapılarda %1 oranında perde kullanımının değerlendirilmesi,” *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, c. 4-5, s. 444-445, ss. 57-63, 2006.
- [5] A. Doğangün, *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, 15. Baskı, İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, 2018, böl. 4, ss. 144.
- [6] H. Kasap, N. Mert, E. Sevim, ve B. Şeber, “Perdeli-çerçeve taşıyıcı sistemli binalarda taşıyıcı sistem seçiminin yapı davranışı üzerindeki etkisinin incelenmesi,” *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 48-55, 2015.
- [7] M. Türkmen ve H. Tekeli, “Deprem bölgesi ve yerel zemin sınıflarının bina maliyetine etkileri,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 9, s. 3, ss.127-130, 2005.
- [8] K. Nayır, “Perdeli-çerçeve betonarme binaların deprem bölgelerine bağlı olarak tasarımı ve optimum maliyetinin hesabı,” Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trakya Üniversitesi, Çorlu, Türkiye, 2006.
- [9] A. Dorum, Ö. Özkan ve M. Erdal, “Farklı deprem bölgeleri ve farklı zemin sınıflarının kaba yapı maliyetine etkisi,” *Selçuk-Teknik Dergisi*, c. 5, s. 1, ss.1-9, 2006.
- [10] R. Kanit, M. Gunduz and O. Ozkan, “Cost effect of earthquake region and soil type for office buildings in Turkey,” *Building and Environment*, vol. 42, no. 10, pp. 3616-3620, 2007.

- [12] S. Ü. Dikmen ve S. Özek, “Deprem bölgelerinde zemin sınıfının sanayi yapılarının maliyetine etkisi,” *İMO Teknik Dergi*, c. 22, s. 108, ss. 5543-5558, 2011.
- [12] Ş. Gürsoy, R. Öz ve S. Baş, “Investigation of the effect of weak-story on earthquake behavior and rough construction costs of RC buildings,” *Computers and Concrete*, vol.16, no.1, pp. 141-161, 2015.
- [13] S. M. S. Shakeeb, P. B. Bhushan, P. D. P. Maneeth, S. P. Abdulla, “Comparative study on percentage variation of steel in different seismic zones of India,” *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 2, no. 7, pp. 939-949, 2015.
- [14] TBDY2019, Türkiye bina deprem yönetmeliği, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 30364, 18 Mart 2018.
- [15] STA4CAD, *Bilgisayar Programı*, 14 versiyon, İstanbul, Türkiye, STA Bilgisayar Mühendislik ve Müşavirlik San. ve Tic. Ltd. Şti, 2019.
- [16] E. Eren, “Betonarme binalarda deprem tasarım sınıflarının bina maliyetine etkisi,” Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2019.
- [17] Z. Celep, *Betonarme Yapılar*, 9. baskı, İstanbul, Türkiye: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., 2017, böl. 19, ss. 789.
- [18] Türkiye deprem tehlike haritası ve parametre değerleri hakkında karar, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 30364, 18 Mart 2018.
- [19] Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı. (2019, 1 Ocak). *İnşaat ve tesisat birim fiyatları 2019* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/insaat-birim-fiyatları-2019-turkce.pdf>.