Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.
Cilt 28, No 3, 533-544, 2013

Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University
Vol 28, No 3, 533-544, 2013

FARKLI RİJİTLEŞTİRİCİ ELEMANLARA SAHİP BİNALARIN DEPREME GÖRE MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Şenol GÜRSOY
Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 78050-KARABÜK
sgursoy@karabuk.edu.tr

(Geliş/Received: 24.09.2012; Kabul/Accepted: 11.07.2013)

ÖZET

Yerleşim bölgelerinin büyük bir kısmı aktif deprem kuşağında bulunan Türkiye'de meydana gelmiş olan son depremlerde diğer yapılar gibi betonarme binalarda da kabul sınırlarının ötesinde hasarların meydana geldiği görülmüştür. Bu binaların maruz kaldıkları depremlerde yeterli performansı gösterememelerini kendilerinde bulunması gereken rijitlik, süneklik, stabilite, dayanım ve dayanıklılık niteliklerinden birinin ya da bir kaçının eksikliğine bağlamak mümkün olmaktadır. Diğer taraftan, depreme dayanıklı tasarım için seçilen düşey taşıyıcı elemanların söz konusu hasarlar üzerinde önemli olacağı açıktır. Durum böyle olunca bu çalışmada, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte önerilen farklı zemin türleri de dikkate alınarak, depreme göre geleneksel betonarme çerçeve sistem ve farklı rijitleştirici elemanlara sahip çerçeve sistemlerin kaba inşaat maliyetleri ve deprem performansları karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Bu amaçla örnek olarak seçilen farklı rijitleştirici elemanlara sahip betonarme binaların söz konusu maliyetleri (beton ve demir metrajları) ve deprem performansları Sta4-CAD programı yardımıyla elde edilmiştir. Çalışmada dikkate alınan her bir sistemin yapısal çözümlemesinden elde edilen bulgular irdelendiğinde, beklenenin aksine farklı rijitleştirici elemanların kullanılması durumda söz konusu binaların kaba inşaat maliyetlerinin geleneksel çerçeve sisteme göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Çerçeve Sistem, Rijitleştirici Elemanlar, Sta4-CAD.

COMPARISON OF COSTS ACCORDING TO EARTHQUAKE OF BUILDINGS HAVING DIFFERENT STIFFENING MEMBERS

ABSTRACT

The recent earthquakes occurred in Turkey that located in an active seismic zone of a large part of the residential settlements are seen of damages beyond the limits of the acceptable at reinforced concrete buildings as other structures. Not show the enough performance in earthquakes exposed of these buildings are possible to connect to a lack of one or more of stiffness, ductility, stability, strength and durability characteristics having in themselves. On the other hand, vertical structural elements selected for earthquake-resistant design is obvious to be significant on that damages. In this study in the circumstances, the rough construction costs and performances earthquake of frame systems that having different stiffener members and the conventional reinforced concrete frame system according to earthquake considered different soil types the proposed Regulation about Buildings to be Built in Seismic Zones are comparatively examined. With this purpose, the earthquake performances and mentioned costs (concrete and steel quantities) of reinforced concrete buildings having different stiffeners elements selected as the example were obtained with the help of Sta4-CAD program. The findings obtained from structural analysis of each system taken into account in study are examined, contrary to expectations, of the rough construction costs of buildings mentioned in case use of the different stiffness elements were observed lower than the traditional frameworks.

Keywords: Earthquake, Frame System, Stiffness Elements, Sta4-CAD.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünyanın aktif deprem kuşaklarından biri üzerinde bulunan Türkiye'de fasılalarla birçok depremin meydana geldiği bilinmektedir. Bu durum geçmiş depremlerden ders alınmasının dolayısıyla da yapıların depreme dayanımlı olarak tasarlanmalarının önemini ortaya koymaktadır.

Depreme dayanımlı yapı tasarımında taşıyıcı sistem seçimi oldukça önemli olmaktadır. Depreme dayanımlı taşıyıcı sistem seçiminde; a) basitlik ve simetri, b) süreklilik, c) plan ve kesit geometrisi, d) süneklik, e) rijitlik f) temel zemini koşulları gibi hususlar dikkate alınmalıdır. Zira Türkiye'de meydana gelen son depremler bu hususların, depreme dayanımlı yapı tasarımı için, oldukça önemli olduğunu ortaya koymuştur [1-9].

Bazı araştırmacılar depremlerden oluşan yatay yer değiştirmeleri azaltmak için farklı şekillerde rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş taşıyıcı sitemlerin deprem davranışlarını incelemişlerdir [10-18]. Zira yaygın olarak kullanılan geleneksel çerçeve sistemler depremlerden meydana gelen yatay yükler etkisinde büyük yer değiştirmeler yapmakta dolayısıyla kullanım dışı kalmakta hatta göçmektedirler. Bu nedenle geleneksel çerçeve sistemlerin bu dezavantajlarını gidermek için bunlara genellikle betonarme perdeler ve/veya çeşitli şekillerde diyagonal elemanlar ilave edilmektedir. Ancak bu sistemler, bina maliyetini arttıracağı düşüncesiyle ya da kapı ve/veya pencere vb. yerleri için uygulamada fazla tercih edilmemektedirler.

Burada betonarme binaların rijitliği artırmak için kullanılan betonarme perdelerin söz konusu binanın ağırlığı artıracağından depremler esnasında yapının bütünlüğünün emniyetini sağlayamayacağını belirtmek uygun olmaktadır.

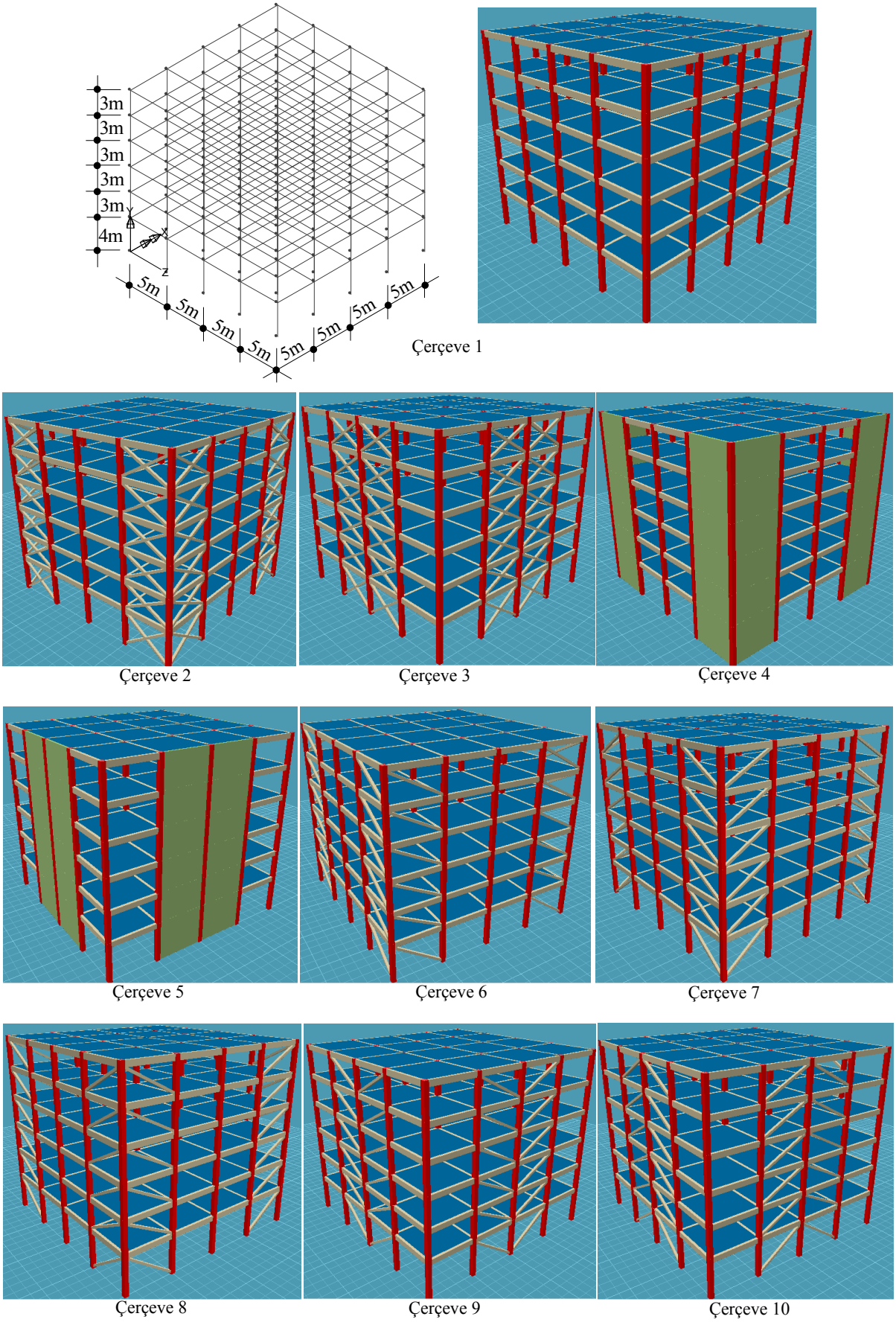
Bu makalede yukarıda bahsedilen farklı rijitleştirilmiş elemanlara sahip taşıyıcı sistemlerin (betonarme perde ilave edilmiş çerçeveler, bir yönlü diyagonal ilave edilmiş çerçeveler ve iki yönlü diyagonaller ilave edilmiş çerçeveler) kaba inşaat maliyetleri (beton ve demir metrajları) matris deplasman yöntemini kullanan yapısal çözümleme programı Sta4-CAD [19] yardımıyla incelenmiştir. Bu inceleme, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte (TDY) [20] önerilen farklı zemin türleri de dikkate alınarak, yukarıda bahsedilen farklı rijitleştirilmiş elemanlara sahip çerçeveler üzerinde karşılaştırmalı olarak yapılmaktadır. Böylece yapısal çözümlemelerden elde edilen bulguların irdelenmesiyle araştırmacılara ve uygulamacılara söz konusu taşıyıcı sistemlerin deprem performansları ve maliyetlerine ilişkin sonuçların verilmesi hedeflenmiştir.

2. ÇALIŞMA YÖNTEMİ (STUDY METHOD)

Bu çalışmada dikkate alınan rijitleştirici elemanların düzenlemesinde, yapısal burulmanın oluşmaması için yapıda simetrinin korunmasına ve yapı yüksekliği boyunca rijitlik değişimi oluşturmamak için elemanların sürekli olmasına hassasiyet gösterilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçeveler Şekil 1'de verilmektedir. Bu şekillerden görüldüğü gibi bunlardan birincisi geleneksel çerçeve sistem (Çerçeve 1), ikincisi çarpı şeklinde diyagonal elemanlar ilave edilmiş çerçeve sistemler (sırasıyla Çerçeve 2 ve Çerçeve 3), üçüncüsü betonarme perde duvar ilave edilmiş çerçeve sistemler (sırasıyla Çerçeve 4 ve Çerçeve 5) ve son olarak bir yönlü diyagonal elemanlar ilave edilmiş çerçeve sistemlerdir (sırasıyla Çerçeve 6, Çerçeve 7, Çerçeve 8, Çerçeve 9 ve Çerçeve 10). Ayrıca, şekillerden de görüleceği üzere, bütün çerçeveler dört açıklı ve 6 kattan oluşmaktadır. Diğer taraftan bu çalışma kapsamında dikkate alınan bütün çerçevelerin açıklıkları (iç ve dış açıklıklar) 5m, zemin kat yüksekliği 4m, diğer katların yüksekliği 3m ve döşeme kalınlıkları ise 12cm olarak seçilmiştir. Yukarıda bahsedilen farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerde kullanılan her bir elemanın en kesit boyutları Tablo 1'de özetlenmektedir.

Tablo 1. Dikkate alınan yapısal elemanların en kesit boyutları (The cross-sectional dimensions of considered structural elements)

Kat Numarası	Kolonların en kesit boyutları (cm)	Kirişlerin en kesit boyutları (cm)	Diyagonal elemanların en kesit boyutları (cm)	Perde duvarların kalınlıkları (cm)
Zemin Kat	40x40	25x50	25x25	20
1. Kat	40x40	25x50	25x25	20
2. Kat	40x40	25x50	25x25	20
3. Kat	40x40	25x50	25x25	20
4. Kat	40x40	25x50	25x25	20
5. Kat	40x40	25x50	25x25	20



Şekil 1. Bu çalışmada kullanılan taşıyıcı sistemlerin görünümleri (Views of load-bearing systems used in this study)

Burada dikkate alınan bütün çerçevelerde; kolon boyutları, kiriş boyutları, diyagonal eleman boyutları, perde duvar ve döşeme kalınlıklarının bütün katlarda aynı olduğunu, TDY'e göre minimum perde kalınlığı değerinin (20 cm) alındığını ve kolonların enkesit boyutlarının perde kalınlığının iki katından az olmayacak şekilde seçildiğini belirtmek uygun olmaktadır.

Bu makalede kapsamında dikkate alınan farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerde kullanılan beton ve donatının betonarme yapıların tasarım ve yapım kurallarına (TS-500) göre sırasıyla C25 ve S420 sınıfına girdiği, daha öncede bahsedildiği gibi Türkiye'deki yapıların büyük çoğunluğunun 1. derece deprem bölgesinde olması nedeniyle deprem bölgesi sabit tutularak 1. derece deprem bölgesinde inşa edileceği dolayısıyla TDY'e göre, etkin yer ivmesi katsayısının (A_o) 0,4, taşıyıcı sistem davranış katsayısının (R) 4 ve konut türü yapılar için bina önem katsayısının 1 olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca tasarımlar yürürlükteki TDY, TS-500 [21] ve TS-498'e [22] uygun olarak yapılmıştır.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDIRMELER (FINDINGS AND EVALUATIONS)

Yapıların deprem davranışları inşa edildikleri zemin durumuna göre değişebilmekte, diğer bir ifadeyle deprem yükleri altında yapının davranışı temel zemininden bağımsız olmamaktadır. Bu nedenle TDY-2007'de yerel zemin sınıfları dört sınıfta (Z1-Z4) toplanmıştır. Bu zemin sınıflarına ilişkin tanımlar ve spektrum karakteristik peryotları Tablo 2'de verilmektedir.

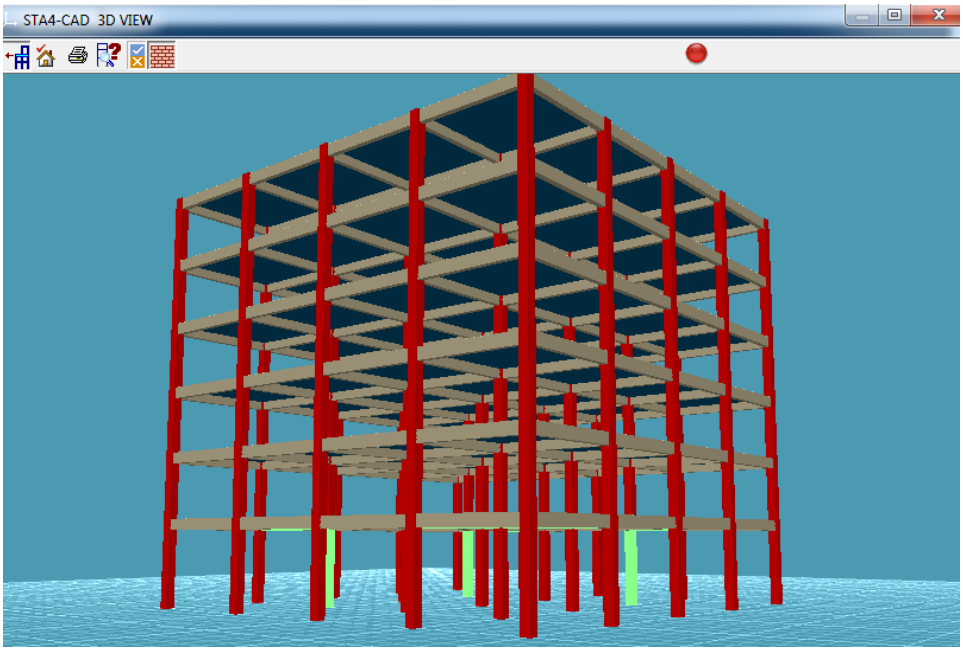
Bu çalışmada dikkate alınan farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerin matris deplasman yöntemini kullanan ticari amaçlı Sta4-CAD programıyla, TDY'de önerilen dört farklı yerel zemin sınıfı için, gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerden elde edilen donatı (demir), beton metrajları ve söz konusu yapılara ilişkin doğal titreşim periyotları Tablo 3'de verilmektedir. Tablo 3'den görüldüğü gibi yerel zemin sınıfı Z1'den Z4'e arttıkça diğer bir ifadeyle zemin esnekleştikçe dikkate alınan taşıyıcı sistemlerde demir metrajı genellikle artmaktadır. Bu bulgu temel zemini türünün yapıların tasarımında maliyet açısından da önemli olduğunun dolayısıyla da depreme göre yapısal çözümlemelerde temel zeminine ilişkin parametrelerin doğru seçilerek yapılmasının önemini ortaya koymaktadır. Ayrıca yapı rijitliği arttıkça söz konusu yapıların geleneksel çerçeve sisteme (Çerçeve 1) göre peryotlarının azaldığı görülmektedir. Diğer taraftan TDY'de önerilen dört farklı yerel zemin sınıfı için gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerden Çerçeve 1'in Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları için zemin kat bazı kolon ve kirişlerinin boyutlarının yetersiz olduğu (Şekil 2), Çerçeve 9'un Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları için zemin kat bazı kolon boyutlarının yetersiz olduğu (Şekil 3) ve Çerçeve 3'ün ise Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları için zemin kat bazı kolonlarında süneklik alanının yetersiz olduğu görülmüştür (Şekil 4). Bu sonuç, bunların diğer seçilen taşıyıcı sistemlere göre emniyetsiz olduğunu ortaya koymaktadır. Durum böyle olunca bundan sonra verilecek olan şekil ve tablolarda Çerçeve 3 ve Çerçeve 9'a ilişkin sonuçlar verilmeyecek, ancak geleneksel çerçeve sisteme (Çerçeve 1) ilişkin sonuçlar diğer seçilen taşıyıcı sistemlerle karşılaştırma için verilmektedir.

Tablo 2. TDY'de verilen yerel zemin sınıfları ve spektrum karakteristik peryotları (Local site classes and spectrum characteristic periods given in TDY)

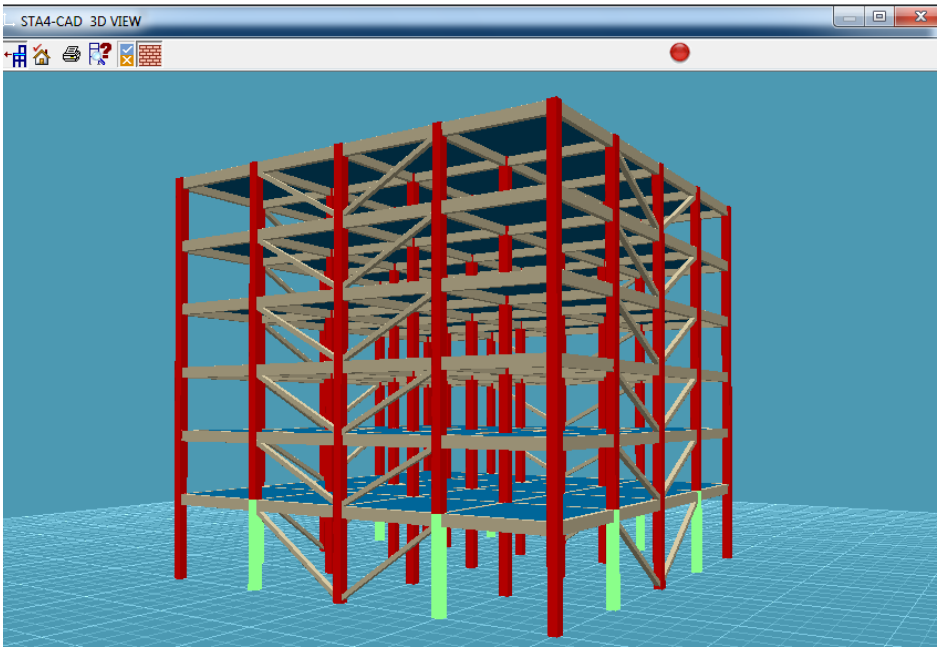
Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Yerel Zemin Sınıfı	Üst Tabaka Kalınlığı (h_1)	Spektrum Karakteristik Peryotları	
				T_A (s)	T_B (s)
A	1) Masif volkanik kayaçlar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayaçlar, sert çimentolu tortul kayaçlar 2) Çok sıkı kum, çakıl 3) Sert kil ve siltli kil	Z1	**A** grubu zeminler	0,10	0,30
			$h_1 \leq 15$m olan **B** grubu zeminler		
B	1) Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayaçlar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayaçlar 2) Sıkı kum, çakıl 3) Çok katı kil ve siltli kil	Z2	$h_1 > 15$m olan **B** grubu zeminler	0,15	0,40
			$h_1 \leq 15$ m olan **C** grubu zeminler		
C	1) Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayaçlar ve çimentolu tortul kayaçlar 2) Orta sıkı kum, çakıl 3) Katı kil ve siltli kil	Z3	$15\text{m} < h_1 \leq 50$m olan **C** grubu zeminler	0,15	0,60
			$h_1 \leq 10$m olan **D** grubu zeminler		
D	1) Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları 2) Gevşek kum 3) Yumuşak kil, siltli kil	Z4	$h_1 > 50$m olan **C** grubu zeminler	0,20	0,90
			$h_1 > 10$m olan **D** grubu zeminler		

Tablo 3. Bu çalışmada dikkate alınan farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerin kaba inşaat metrajları (The rough construction quantities of frames added to different stiffeners elements considered in this study)

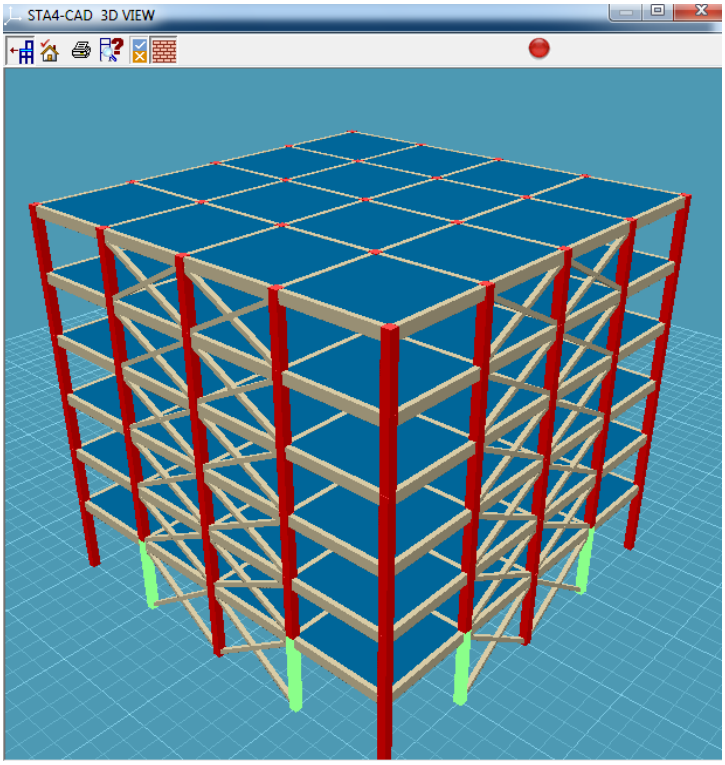
Taşıyıcı sistemler	Malzeme	Yerel zemin sınıfa göre malzeme metrajları				Periyot (T)
		Z1	Z2	Z3	Z4	
Çerçeve 1	Demir (kg)	46514,5	49474,7	56040,4	64135,2	0,82
	Beton (m^3)	473,92	473,92	473,92	473,92	
Çerçeve 2	Demir (ton)	46529,9	47737,3	47843,6	47844	0,42
	Beton (m^3)	501,52	501,52	501,52	501,52	
Çerçeve 3	Demir (ton)	49182	49916,1	49916,1	49916,9	0,38
	Beton (m^3)	501,52	501,52	501,52	501,52	
Çerçeve 4	Demir (ton)	51505	51544,1	51544,1	51544,5	0,30
	Beton (m^3)	586,82	586,82	586,82	586,82	
Çerçeve 5	Demir (ton)	51611,2	51611,2	51611,2	51611,2	0,26
	Beton (m^3)	586,82	586,82	586,82	586,82	
Çerçeve 6	Demir (ton)	45006,3	46587,5	47860,5	47862,4	0,49
	Beton (m^3)	487,72	487,72	487,72	487,72	
Çerçeve 7	Demir (ton)	48129,8	49821,9	51044,6	51046,5	0,49
	Beton (m^3)	487,72	487,72	487,72	487,72	
Çerçeve 8	Demir (ton)	48020,1	49125,6	50246,7	50247,3	0,48
	Beton (m^3)	487,72	487,72	487,72	487,72	
Çerçeve 9	Demir (ton)	47996,1	49476,3	50332,3	50386,4	0,47
	Beton (m^3)	487,72	487,72	487,72	487,72	
Çerçeve 10	Demir (ton)	47596,7	48342,2	48846,9	48846,9	0,44
	Beton (m^3)	487,72	487,72	487,72	487,72	



Şekil 2. Çerçeve 1'in Z3 yerel zemin sınıfı için zemin kat yetersiz yapısal elemanlarından görünüm (View from the ground floor inadequate structural elements for Z3 local soil class of frame 1)

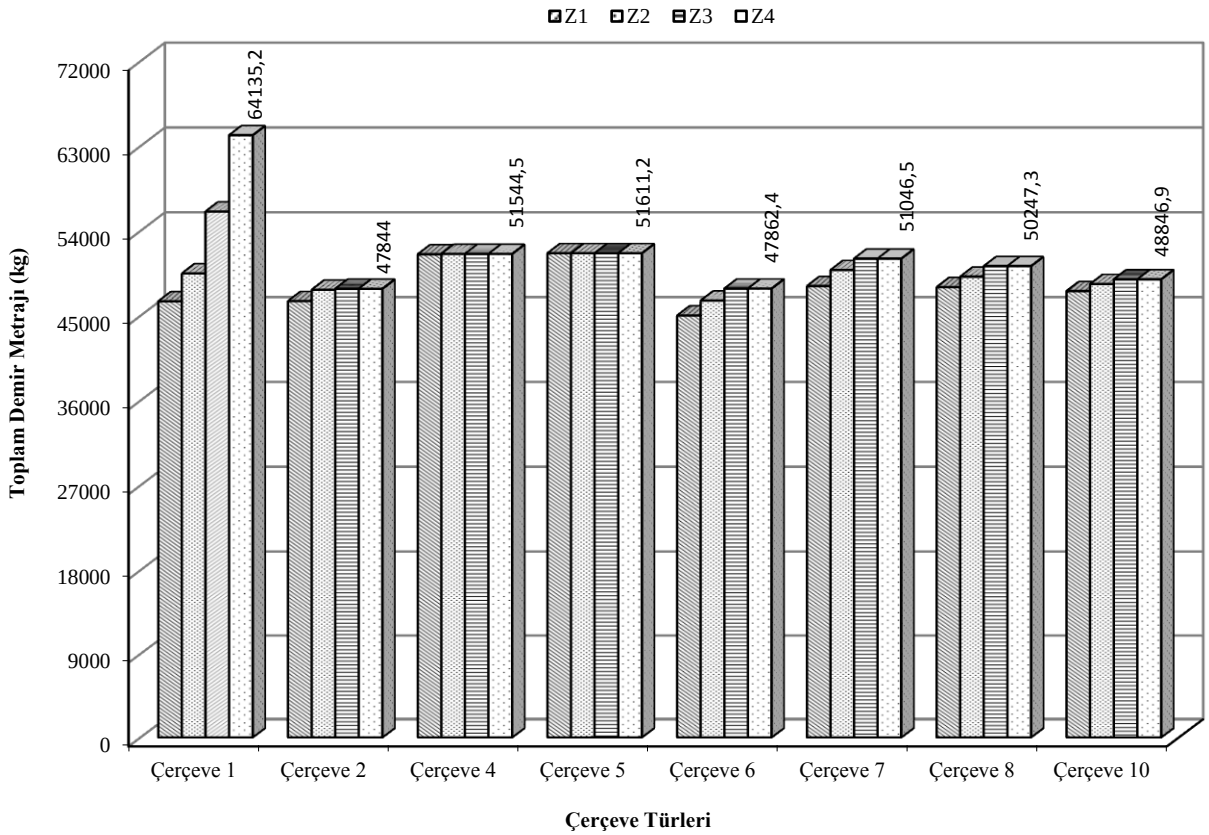


Şekil 3. Çerçeve 9'un Z3 yerel zemin sınıfı için zemin kat yetersiz yapısal elemanlarından görünüm (View from the ground floor inadequate structural elements for Z3 local soil class of frame 9)



Şekil 4. Çerçeve 3'ün Z2 yerel zemin sınıfı için zemin kat süneklik alanı yetersiz kolonlarından görünüm (View from the ground floor ductility area inadequate columns for Z2 local soil class of frame 3)

TDY'de önerilen yerel zemin sınıflarına göre bu çalışmada dikkate alınan farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerin yapısal çözümlemesinden elde edilen toplam demir ve beton metrajlarının grafik olarak değişimleri de sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmektedir.

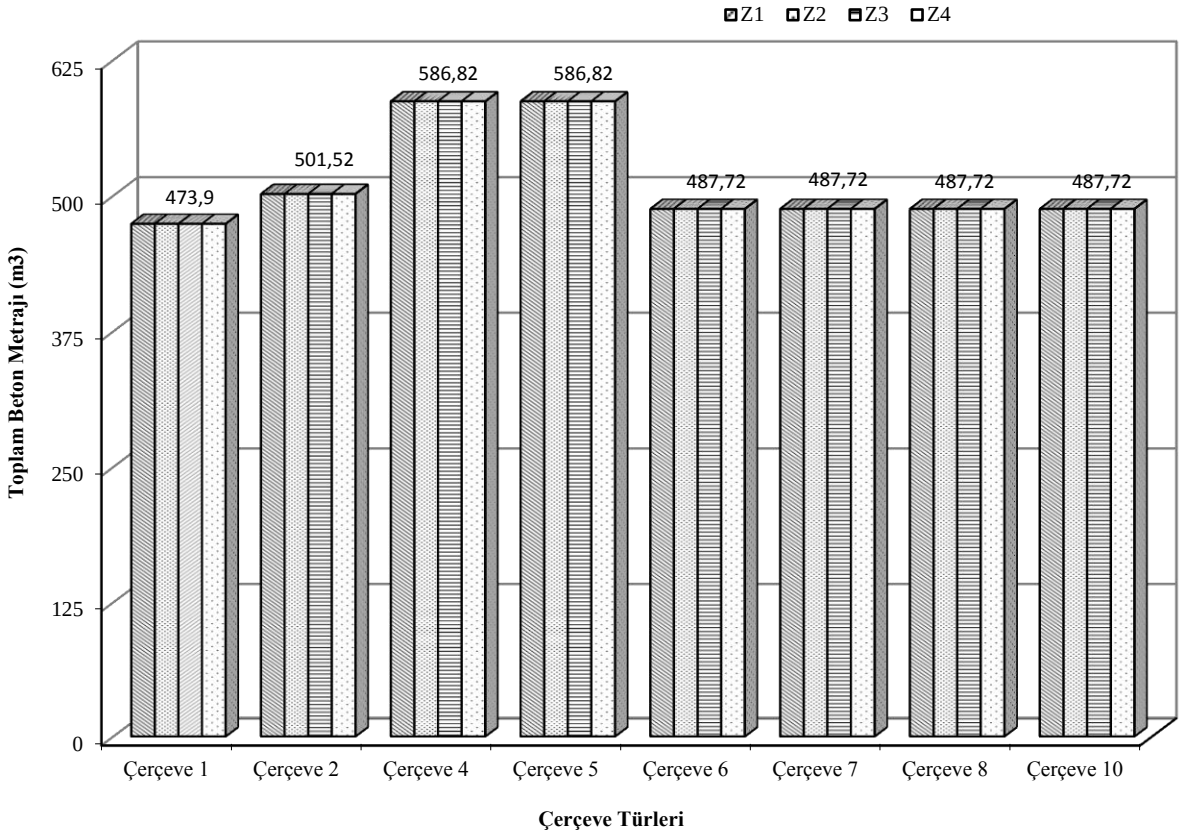


Şekil 5. Farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerin toplam demir metrajlarının TDY'de önerilen yerel zemin sınıflarına göre dağılımları (Distributions according to local soil classes proposed in the TDY of total steel quantities of frames that added to the different stiffeners elements)

Şekil 5'den görüldüğü gibi bu çalışmada dikkate alınan farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerde, betonarme perde duvarların ilave edilerek rijitleştirilmiş çerçeve sistemler hariç, en büyük toplam demir metrajı değerleri Z4 yerel zemin sınıfında elde edilmekte ve Z1 yerel zemin sınıfı ile Z4 yerel zemin sınıfı arasındaki maksimum fark sırasıyla Çerçeve 1 için %37,88, Çerçeve 2 için %2,82, Çerçeve 4 için %0,08, Çerçeve 5 için %00, Çerçeve 6 için %6,35, Çerçeve 7 için %6,06, Çerçeve 8 için %4,64 ve Çerçeve 10 için %2,62 kadar olmaktadır. Diğer bir ifadeyle en büyük toplam demir metrajı değeri Z4 yerel zemin sınıfı için geleneksel çerçeve sistemde (Çerçeve 1), en düşük toplam demir metrajı değeri ise Z4 zemin sınıfı için çarpı şeklinde diyagonal elemanların ilave edildiği çerçeve sistemde (Çerçeve 2'de) elde edilmektedir. Bu bulgu çarpı şeklinde diyagonal elemanların ilave edildiği çerçeve sisteminin (Çerçeve 2) diğer rijitleştirilmiş sistemlere göre bu yönüyle, Z1 zemin sınıfı hariç, genellikle daha ekonomik olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu şekilden betonarme perde duvarların ilave edildiği çerçeve sistemlerden elde edilen toplam demir metrajı miktarlarının yerel zemin sınıfına bağlı olarak değişmediği, dikkate alınan diğer çerçeve sistemlerde ise zemin esnekleştikçe diğer bir ifadeyle yerel zemin sınıfı Z1'den Z4'e arttıkça hesaplanan toplam demir metrajı miktarının arttığı görülmektedir. Şekil 6'dan da en düşük toplam beton metrajı miktarı, beklenildiği gibi, geleneksel çerçeve sistemde (Çerçeve 1) ve en büyük toplam beton metrajı miktarı ise betonarme perde duvarların ilave edildiği çerçeve sistemlerde hesaplanmıştır. Ayrıca, bu şekilden toplam beton metrajlarının yerel zemin sınıfına göre değişim göstermediği ortaya çıkmıştır.

Burada Çerçeve 10 için Z1 yerel zemin sınıfı ile Z4 yerel zemin sınıfı arasında %2,62 maksimum fark elde edilmesine rağmen Z1, Z2, Z3 ve Z3 yerel zemin sınıfları için sırasıyla 47596,7, 48342,2, 48846,9 ve 48846,9 demir metraj değerleri hesaplanmakta dolayısıyla bu demir metraj değerlerinin hepsinin Çerçeve 2'kilerden daha büyük olduğunu belirtmek uygun olacaktır.

Bu çalışmada dikkate alınan farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerin Sta4-CAD yapısal çözümleme programıyla elde edilen peryot değişimleri TDY'de verilen yerel zemin sınıfları için önerilen tasarım spektrumlarıyla birlikte Şekil 7'de verilmektedir.



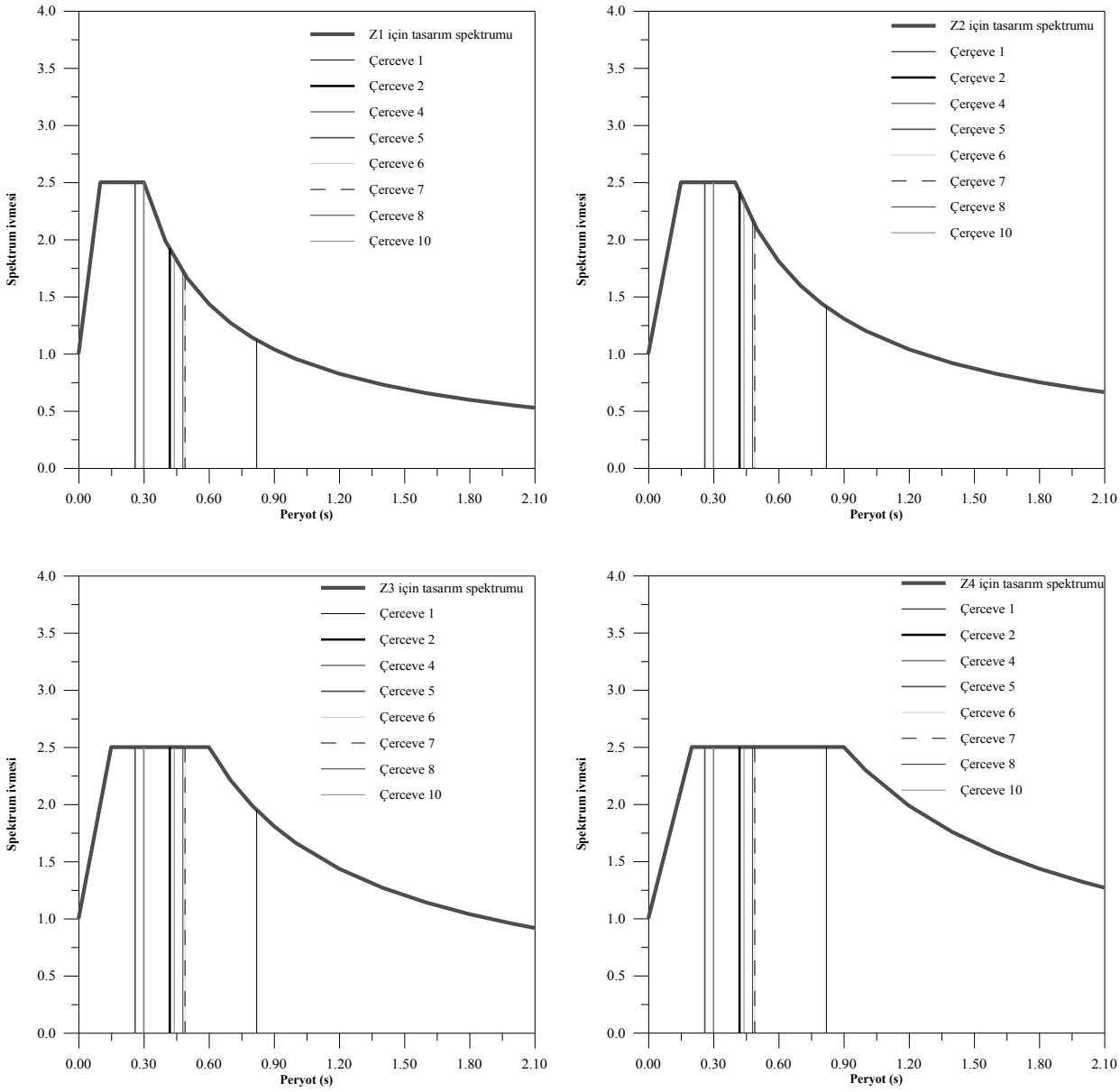
Şekil 6. Farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerin toplam beton metrajlarının TDY'de önerilen yerel zemin sınıflarına göre dağılımları (Distributions according to local soil classes proposed in the TDY of total concrete quantities of frames that added to the different stiffeners elements)

Bu şekillerden de görüleceği üzere perde duvarlar eklenerek rijitleştirilmiş çerçevelerin peryotları dikkate alınan diğer çerçevelerin peryotlarından daha düşük olarak elde edilmiştir. Diğer bir ifadeyle TDY'de verilen yerel zemin sınıfları için önerilen tasarım spektrumlarının maksimum olduğu bölgede elde edilmiştir. Bu bulgu dikkate alınan yerel zemin peryodu ile perde duvarlar eklenerek rijitleştirilmiş çerçevelerin peryotlarının çakışabileceğini dolayısıyla rezonans oluşabileceğini göstermektedir. Diğer taraftan yerel zemin sınıfı Z1'den Z4'e arttıkça diğer bir ifadeyle zemin esnekleştikçe, çalışmada dikkate alınan taşıyıcı sistemlerin doğal titreşim peryotları genellikle TDY'de önerilen tasarım spektrumlarının maksimum olduğu bölgede elde edilmiştir. Bu bulgu da temel zemini türünün yapıların tasarımında oldukça önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca Türkiye deprem yönetmeliğinin hem rijitlik hem de süneklik koşulu bakımından en iyi davranışı, bu çalışmada dikkate alınan çerçevelerden, Çerçeve 2'nin gösterdiği anlaşılmaktadır.

Bu makale kapsamında dikkate alınan farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerin (bkz. Şekil 1) temel tasarımında, ön görülen temel zemini emniyet gerilmesini aşmayacak (Tablo 4) ve zımbalama meydana gelmeyecek ve/veya zımbalama donatısı gerektirmeyecek, kirişsiz radye plak kalınlığı dolayısıyla da temel plağı demir ve beton metrajları da araştırılmıştır. TDY'de önerilen Z1, Z2 ve Z3 yerel zemin sınıfları için Sta4-CAD programıyla gerçekleştirilen yapısal çözümlemelerden elde edilen, farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelere ilişkin, kirişsiz radye temel kalınlıkları, temel demir ve beton metrajları da Tablo 5'de verilmektedir.

Tablo 4. TDY'de önerilen Z1, Z2 ve Z3 yerel zemin sınıfları için dikkate alınan temel zemini emniyet gerilmeleri ve yatak katsayıları (Considered foundation soil allowable bearing and bedding values for Z1, Z2 and Z3 local soil classes proposed in the TDY)

Yerel zemin sınıfları	Zemin emniyet gerilmesi (t/m^2)	Yatak katsayısı (t/m^3)
Z1	100	20000
Z2	50	10000
Z3	15	1500



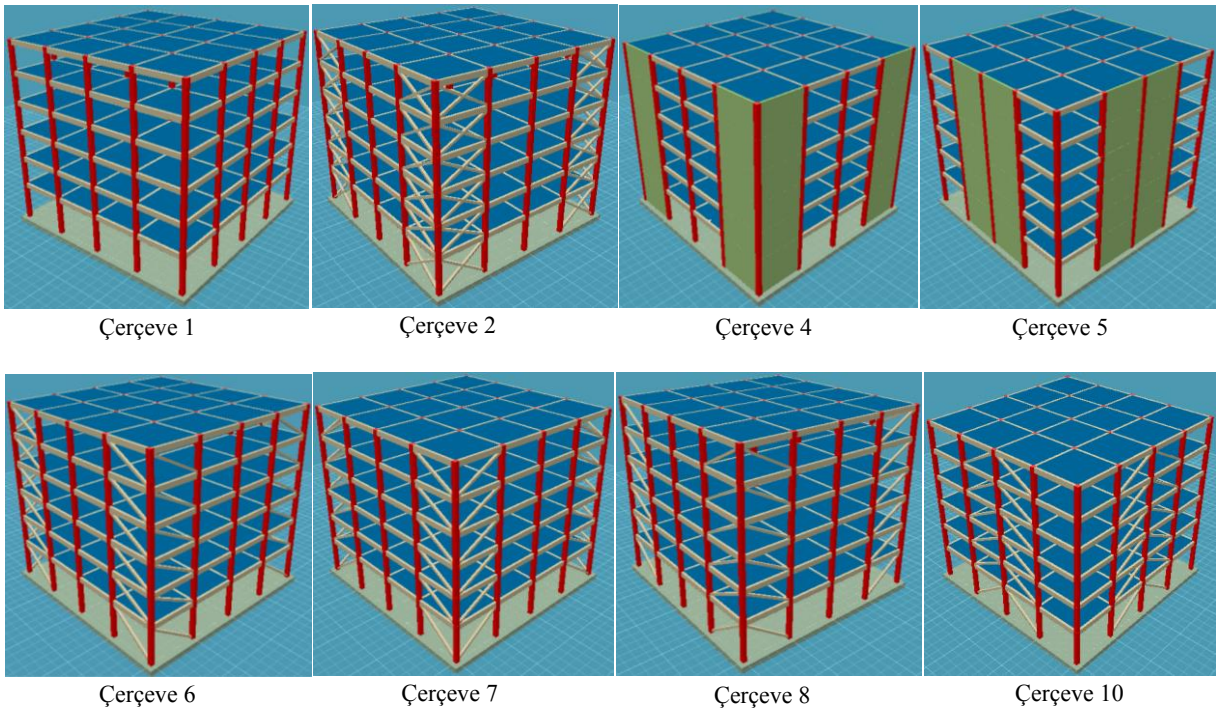
Şekil 7. TDY'de önerilen yerel zemin sınıfları için tasarım spektrumları ve farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerin peryot değişimleri (Design spectrums for local soil classes proposed in the TDY and period variations of frames that added to the different stiffeners elements)

Tablo 5'den de görüldüğü gibi yerel zemin sınıfı Z1'den Z3'e arttıkça radye plak kalınlığı sabit kalmasına rağmen demir metrajı önemli miktarda artmaktadır. Diğer taraftan zemin esnekleştikçe zımbalama emniyeti açısından radye plak kalınlığının arttığı dolayısıyla plak kalınlığına bağlı olarak beton metrajının da arttığı görülmektedir. Bu bulgu temel zemini türünün, yapı temeli tasarımında da, maliyet açısından önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Burada TDY'de göre Z4 yerel zemin sınıfı için deprem azaltması yapılamayacağından yapısal çözümlemelerde Z4 zemin sınıfının dikkate alınmadığını ve dikkate alınan tüm çerçevelerde kenarlarından 50 cm ampatman alındığını (Şekil 8) belirtmek uygun olmaktadır.

Tablo 5. Farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerin minimum radye temel plak kalınlığı ve temel demir ve beton metrajları (The minimum mat foundation slab thickness, and foundation steel and concrete quantities of frames added to different stiffeners elements)

Taşıyıcı sistemler	Malzemeler ve radye temel plak kalınlıkları	Yerel zemin sınıfa göre malzeme metrajları		
		Z1	Z2	Z3
Çerçeve 1	Temel Demir (kg)	12868,1	14639,5	19739,7
	Temel Beton (m^3)	249,52	249,52	249,52
	Radye plak kalınlığı (cm)	55	55	55
Çerçeve 2	Temel Demir (kg)	13727,2	16077,6	25131,3
	Temel Beton (m^3)	249,52	249,52	317,58
	Radye plak kalınlığı (cm)	55	55	70
Çerçeve 4	Temel Demir (kg)	23668,4	24872,2	39468,5
	Temel Beton (m^3)	272,21	272,21	453,68
	Radye plak kalınlığı (cm)	60	60	100
Çerçeve 5	Temel Demir (kg)	19164,9	22862,29	30931,3
	Temel Beton (m^3)	272,21	272,21	317,58
	Radye plak kalınlığı (cm)	60	60	70
Çerçeve 6	Temel Demir (kg)	13737,09	15770,4	26515,1
	Temel Beton (m^3)	249,52	249,52	385,63
	Radye plak kalınlığı (cm)	55	55	85
Çerçeve 7	Temel Demir (kg)	13338,1	15655,1	24874,6
	Temel Beton (m^3)	249,52	249,52	294,89
	Radye plak kalınlığı (cm)	55	55	65
Çerçeve 8	Temel Demir (kg)	13559,3	15757,29	25474,8
	Temel Beton (m^3)	249,52	249,52	362,95
	Radye plak kalınlığı (cm)	55	55	80
Çerçeve 10	Temel Demir (kg)	12924,2	14324,49	18436,69
	Temel Beton (m^3)	249,52	249,52	249,52
	Radye plak kalınlığı (cm)	55	55	55



Şekil 8. Radye temel ilave edilmiş taşıyıcı sistemlerin görünümleri (Views of the load-bearing systems added to mat foundation)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada farklı rijitleştirilmiş elemanlara sahip betonarme taşıyıcı sistemlerin kaba inşaat maliyetleri (beton ve demir metrajları), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte önerilen farklı zemin türleri de dikkate alınarak, yapısal çözümleme programı Sta4-CAD yardımıyla incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilebilen başlıca sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmektedir:

TDY'de önerilen yerel zemin sınıfı Z1'den Z4'e arttıkça diğer bir ifadeyle zemin esnekleştikçe, bu çalışmada dikkate alınan, farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerin demir metrajı artmaktadır.

Betonarme perde duvarların ilave edildiği çerçeve sistemlerden elde edilen toplam demir metrajı miktarının yerel zemin sınıfına bağlı olarak değişmediği görülmektedir.

Toplam demir metrajı geleneksel çerçeve sistemde (Çerçeve 1) Z4 yerel zemin sınıfında en büyük değeri almasına karşın, bu zemin sınıfı için çarpı şeklinde diyagonal elemanların ilave edildiği çerçeve sistemde (Çerçeve 2) en düşük değeri almaktadır. Bu durum Çerçeve 2'nin diğer rijitleştirilmiş sistemlere göre daha ekonomik olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, beklenildiği gibi, en düşük toplam beton metrajı geleneksel çerçeve sistemde (Çerçeve 1) ve en büyük toplam beton metrajı ise betonarme perde duvarların ilave edildiği çerçeve sistemlerde elde edilmiştir. Ayrıca, toplam beton metrajlarının yerel zemin sınıfına göre değişim göstermediği de görülmektedir.

Farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilerek rijitleştirilmiş çerçevelerin doğal peryotları geleneksel çerçeve sisteme (Çerçeve 1) göre daha küçük olarak elde edilmiştir. Bu sonuç seçilen (kullanılan) rijitleştirici elemanların tür ve/veya düzeninin önemini ortaya koymaktadır.

Perde duvarlar eklenerek rijitleştirilmiş çerçevelerin doğal peryotları dikkate alınan diğer çerçevelerin doğal peryotlarından daha küçük olarak hesaplanmakta ve TDY'deki yerel zemin sınıfları için önerilen tasarım spektrumlarının maksimum olduğu bölgede yer almaktadır. Ayrıca TDY'de önerilen yerel zemin sınıfları Z1'den Z4'e arttıkça farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilerek rijitleştirilmiş çerçevelerin doğal titreşim peryotları TDY'de önerilen tasarım spektrumlarının maksimum olduğu bölgede bulunmaktadır.

Yerel zemin sınıfı Z1'den Z3'e arttıkça diğer bir ifadeyle zemin esnekleştikçe farklı rijitleştirici elemanlar ilave edilmiş çerçevelerin kirişsiz radye temel kalınlıkları, zımbalama emniyetinin sağlanabilmesi için, artmaktadır. Diğer taraftan zemin esnekleştikçe radye plak kalınlığı sabit kalmasına rağmen demir metrajının önemli miktarda arttığı görülmektedir.Bu bulgu yerel zemin türünün temel tasarımında da maliyet açısından önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın bulgularının tartışılması Türkiye gibi aktif deprem kuşağında bulunan ülkelerde inşa edilen yapıların tasarımında yerel zemin özeliklerinin dikkate alınmasının yapı maliyeti açısından da önemli olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın bulguları dikkate alındığında, Türkiye Deprem Yönetmeliğinin hem rijitlik hem de süneklik koşulunu sağlayan çarpı şeklinde diyagonal elemanların ilave edildiği çerçeve sistemlerin (Çerçeve 2) geleneksel çerçeve sistemlere tercih edilebileceğini görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan Sta4-CAD programının lisansı Karabük Üniversitesi Rektörlüğü tarafından alınmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Çelebi, M., **The Adana-Ceyhan Earthquake of June 27, EERI Special Earthquake Report**, Earthquake Engineering Research Institute Newsletter, 32 (9), 1998.
2. Sezen, H., Whittaker, A.S., Elwood, K. J., Mosalam, K. M., "Performance of Reinforced Concrete Buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, and Seismic Design and Construction Practise in Turkey", **Engineering Structures**, v 25, 103-114, 2003.
3. Gülkan, P., Özcebe, G., Sucuoğlu, H., Bakır, S., Çetin, Ö., Tankut, T., Akyüz, U., Yılmaz, T., Peköz, A., Bayılı, S., Aydoğan, V., Baran, M., Yazgan, U., **3 Şubat 2002 Sultandağı ve Çay Depremleri Mühendislik Raporu**, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Ankara, 2002.
4. Erdik M., **Report on 1999 Kocaeli and Düzce (Turkey) earthquakes**, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute/TURKEY, available at http://www.koeri.boun.edu.tr/ depremmuh/eqspecials/kocaeli/Kocaelireport.pdf, 2004.
5. Spence, R., Bommer, J., Del Re, D., Bird, J., Aydınoğlu, N., Tabuchi, S., "Comparing Loss Estimation with Observed Damage: A Study of the 1999 Kocaeli Earthquake in Turkey", **Bulletin of Earthquake Engineering**, v 1, 83-113, 2003.
6. Arslan, M. H., Korkmaz, H. H. "What Is to Be Learned From Damage And Failure of Reinforced Concrete Structures During Recent Earthquakes in Turkey?, **Engineering Failure Analysis**, v 14, 1-22, 2007.

7. Doğangün, A., "Performance of Reinforced Concrete Buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey",**Engineering Structures**, v26, 841–856, 2004.
8. Durmuş, A., "Yapıların Erzincan (1992) Depreminde Kullanım Dışı Kalma Nedenleri", **Prof. Dr. Rıfat Yarar Sempozyumu**, İTÜ Türk Deprem Vakfı, İstanbul, 531-544, 10 Aralık 1997.
9. Celep, Z., Erken, A., Taşkın, B., İlki, A., "Failures of Masonry and Concrete Buildings during the March 8, 2010 Kovancılar and Palu (Elazığ) Earthquakes in Turkey", **Engineering Failure Analysis**, v 18, 868-889, 2011.
10. Tekeli, H., Demir, F., Atımtay, E., "Çerçeveli ve Perdeli-Çerçeveli Betonarme Binaların Ötelenmesi: Analitik Çözümler", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University,** v 23(1), 9-19, 2008.
11. Lee, S.L., Basu, P.K., "Bracing Requirements of Plane Frames", **Journal of Structural Engineering**, v 118 (6), 1527-1545, 1992.
12. Özdemir, Y. I., Ayvaz, Y., "Earthquake Behavior of Stiffened RC Frame Structures With/Without Subsoil", **Structural Engineering and Mechanics**, v 28(5), 571-585, 2008.
13. Gürsoy, Ş., Doğangün, A., "Comparative Study of Earthquake Behaviour of 3D Frame Structures with Different Stiffening Members", **8thInternational Congress on Advances in Civil Engineering (ACE2008)**, Eastern MediterraneanUniversity, Famagusta/North Cyprus, 151-158, 15-17 September2008.
14. Popov, E. P., "Seismic Behavior of Reinforced Concrete Moment/Resisting Frames", **Proc. 7thWCEE**, İstanbul, v 6, 355-361, 8-13 September1980.
15. Durucan, C., Dicleli, M., "Analytical Study on Seismic Retrofitting of Reinforced Concrete Buildings Using Steel Braces with Shear Link", **Engineering Structures,** v 32, 2995-3010, 2010.
16. Ayvaz Y., Doğangün, A., Durmuş, A. "Farklı Rijitleştirici Elemanlara Sahip Yapıların Deprem Yüklerine Göre Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi", **Türkiye İnşaat Mühendisleri 14. Teknik Kongresi**, İzmir, 905-916, 1997.
17. Arısoy, B., Arel, H. Ş., "Yapısal Özellikleri Farklı BA Binaların Performansa Dayalı Analizi", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University,** v 25(3), 431-439, 2010.
18. Amil, A. P., **Betonarme Yapılarda Kullanılan Başlıca Taşıyıcı Sistemler ve Dolgu Duvarlarının Olumlu Etkilerini Arttıran Köşegen Elemanların Betonarme Perdelerle Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi**, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
19. Sta4-CAD, ver.13.1, Structural Analysis for Computer Aided Design, www.sta.com.tr
20. **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
21. TS-500,**Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları**, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
22. TS-498,**Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri**, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.