

ÇERÇEVE TÜRÜ BETONARME BİNALARDAKİ TAŞIYICI SİSTEMİN DÜŞEY ELEMANLARININ SÜREKSİZLİĞİ ÜZERİNE BİR İRDELEME

Oğuzhan ÖZTÜRK¹, Ceyhun AKSOYLU¹, Musa Hakan ARSLAN¹

¹Selçuk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, oozturk@selcuk.edu.tr, ceyhunaksoylu@selcuk.edu.tr, mharslan@selcuk.edu.tr

ÖZET

Betonarme yapıların birçoğu yapısal düzensizliklerden dolayı depremlerden sonra daha büyük hasar almakta ya da tamamen yıkılmaktadır. Bu çalışmada literatürde şu ana kadar sınırlı ölçüde ele alınmış olan düşey elemanların süreksizliği ile ilgili bir dizi irdeleme yapılmıştır. İrdeleme, orta katlı betonarme çerçeve türü bir yapının SAP2000 modeli üzerinden gerçekleştirilmiştir. Analiz için belli katlardan ve akslardan seçilen kolonlar kaldırılarak referans modelle beraber toplam yedi taşıyıcı sistem modeli oluşturulmuştur. Farklı modellerde ortaya çıkan düşey eleman süreksizliği durumunda iç kuvvetlerdeki değişim ve rijitlik azalımı karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Çalışmada ayrıca modellerin periyodları ve deplasman oranlarına göre de analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ele alınan modellerden elde edilen sonuçlara göre yönetmeliklerde bu tür düzensizlikler için verilen yaptırımların tutarlılığı ve güvenliği analitik olarak sınıanmıştır. Yapılan analizler neticesinde özellikle Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-2007)'de bu tür yapılar için belirtilen yaptırımların emniyetli olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Deprem, betonarme, düşey düzensizlik, yönetmelik, hasar

AN INVESTIGATION ON VERTICAL DISCONTINUITY IN FRAME TYPE REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

ABSTRACT

Most reinforced concrete buildings sustain significant damage or completely collapse after an earthquake due to structural irregularities. In this study, a set of investigations were conducted on the discontinuity of the vertical elements in building structures, a topic that to date has only been minimally explored. The investigation was carried out using an SAP 2000 model of an average-story height building with reinforced concrete frame. For analysis, by removing columns selected from certain floor and axes, a total of seven load-bearing system models were formed, along with the reference model. In cases of discontinuity of the vertical element appearing in the different models, the variation in the internal forces and decrease of rigidity were comparatively analyzed. The consistency and reliability of requirements given for these kinds of irregularities in the regulations were analytically tested against the results obtained from the models created in the study. As a result of the analysis carried out, it was determined that the necessities specified in the Turkish Earthquake Code (TEC – 2007) for these kinds of constructions were safe.

Keywords: Earthquake, reinforced concrete, vertical irregularity, regulation, damage

1. GİRİŞ

Türkiye nüfusunun büyük çoğunluğu 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde yaşamaktadır. Uzun yıllar meydana gelen orta şiddetli ve şiddetli depremlerde yaşanan kayıplar sadece kırsal alanlarda meydana gelmemiş, yapı stoğunun çoğu betonarme olan kentlerde de önemli zararlar doğurmuştur. Bu zararlara sebebiyet veren başlıca konular yumuşak kat, kısa kolon, güçlü kiriş-zayıf kolon birleşimi, yeterli olmayan yanal rijitlik, düşey ve yatay doğrultudaki düzensizlikler gibi tasarım hatalarıdır. Betonarme yapıların tasarım kararlarının deprem davranışı açısından oldukça önemli olduğu bilinmektedir. Bir yapının deprem yükleri altındaki beklenen tepkiyi vermemesi tasarım süreci ile çok yakından ilişkilidir. Bu nedenle binaların deprem etkisinde istenilen davranışları vermesi bina modellemelerinin erken safhalarında düşünülmelidir.

Depremlerden sonra betonarme yapılarda gözlemlenen hasarlarda özellikle mühendislik hizmeti almamış yapıların ağır hasar gördüğü yada tamamen yıkıldığı bilinmektedir (Arslan ve Korkmaz, 2007, Sezen vd., 2003, Doğançün, 2004, Inel vd., 2008). Bununla beraber deprem yönetmeliklerinde bahsedilen yapısal düzensizliklere sahip binalarda hasarın arttığı ve binanın toptan göçmesinin kolaylaştığı da saha çalışmalarından gözlemlenmiştir (Tezcan ve Alhan, 2001, Arnold ve Reitherman, 2002, Gülay ve Calim, 2003, İnan ve Korkmaz, 2011).

Literatürde yapısal düzensizliklerin deprem performansına olan etkisini inceleyen çok sayıda çalışma mevcuttur. Söz konusu düzensizlikleri inceleyen çalışmalar özellikle, zayıf kat, yumuşak kat ve burulma düzensizliği konuları üzerine yoğunlaşmıştır (İnan ve Korkmaz, 2011, Özmen ve Unay, 2007, Tezcan, 1998). Ayrıca döşeme süreksizliklerini ve planda yer alan çıkıntıları da içeren diğer çalışmalar da mevcuttur (Öztürk, 2013 ve Arslan, 2007).

Taşıyıcı sistemin deprem davranışını zayıflatan düzensizlikler çoğu zaman mimari kaygılar ve arsa düzenlemelerinden dolayı zorunlu hale gelmektedir. Burada önemli olan bu düzensizliklerin taşıyıcı sisteme olan etkisinin iyi analiz edilmesi ve düzensizliklerin oluşturacağı olumsuzlukların bir takım önlemlerle ortadan kaldırılmasıdır.

Deprem yönetmeliklerinde (TDY-2007,2007, EC-8, 1998, UBC-97, 1997, FEMA-356, 2000, FEMA-Japon, 1980, NZS 1170-5 (S1), 2004, IBC, 2006, ABYYHY, 1998) düzensiz binaların depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile bu tür yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar ve yaptırımlar düzensizlik türüne göre gruplandırılarak verilmektedir. Temelde aynı olan düzensizlikler detaylar ve yaptırımlar konusunda yönetmeliklerde farklı şekilde ele alınmaktadır. Yönetmeliklerde bazı düzensizlikler için ise telafi edilememesi durumuna göre kesinlikle izin verilmemektedir. Örneğin betonarme bir perdenin alt katta kolonlara oturması gibi bir düşey eleman süreksizliğine izin verilmemektedir. Düşey elemanların süreksizliğinin taşıyıcı sistem davranışına etkisi konularında yapılan çalışmalarda daha çok yapıların sismik performansı üzerinde durulmuştur (Soni ve Mistry, 2006, Chintanapakdee ve Chopra, 2004, Aranda, 1984, Das ve Nau 2003, Esteva, 1992, Güler 1996, Güler ve Altan, 2004, Fragiadakis vd., 2006). Bu çalışmalarda yönetmeliklerin yaptırımlarının irdelenmesi yerine daha çok genel davranış değişiklikleri irdelenmiştir.

Bu çalışmada literatürde şu ana kadar sınırlı ölçüde ele alınmış olan düşey elemanların süreksizliği ile ilgili bir dizi irdeleme yapılmıştır. İrdeleme orta katlı betonarme çerçeve türü bir yapının modeli üzerinden gerçekleştirilmiştir. Analiz için belli katlardan ve akslardan seçilen kolonların kaldırılmış ortaya çıkan düşey eleman süreksizliği durumunda iç kuvvetlerdeki değişim ve rijitlik azalımı karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Çalışmada ayrıca modellerin periyodları ve deplasman oranlarına göre de analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ele alınan modellerden elde edilen sonuçlara göre yönetmeliklerde bu tür düzensizlikler için verilen yaptırımların tutarlılığı ve güvenliği analitik olarak sınanmıştır.

2. DÜŞEY DÜZENSİZLİKLER VE YÖNETMELİK YAKLAŞIMLARI

Betonarme yapıların birçoğu yapısal düzensizliklerden dolayı depremlerden sonra daha büyük hasar almakta ya da tamamen yıkılmaktadır. Bu yüzden yönetmeliklerde belirtildiği üzere yapısal düzensizliklerin deprem sırasında meydana getirebileceği yıkıcı etkilerin önceden belirlenmesi yapı güvenliği açısından önemlidir. Düzensizliklerin olumsuz etkisinin ortadan kaldırılması amacıyla deprem yönetmelikleri bir dizi yaptırımlar uygulamaktadır.

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-2007) [TDY-2007, 2007] düzensizlikleri iki kısımda incelemektedir. TDY-2007’de [TDY-2007, 2007] belirtildiği gibi depreme karşı olumsuzluklarından dolayı düzensiz binaların planda ve düşey doğrultuda olmak üzere kontrol altına alınması gerekmektedir. Yönetmelikte her bir düzensizlik durumu çözüm önerileri ile birlikte tarif edilmiştir. TDY-2007’de düşey doğrultuda düzensizlik durumu diğer düzensizlikler ile beraber aynı bölümde incelenmiştir. Yönetmelik yatayda düzensizlikleri A, düşeydekileri ise B kısaltması ile gruplandırmıştır (Tablo 1). TDY-2007’de [TDY-2007, 2007] belirtildiği gibi diğer deprem yönetmelikleri de düzensiz yapıları yaklaşık olarak benzer şekilde sınıflamaktadırlar.

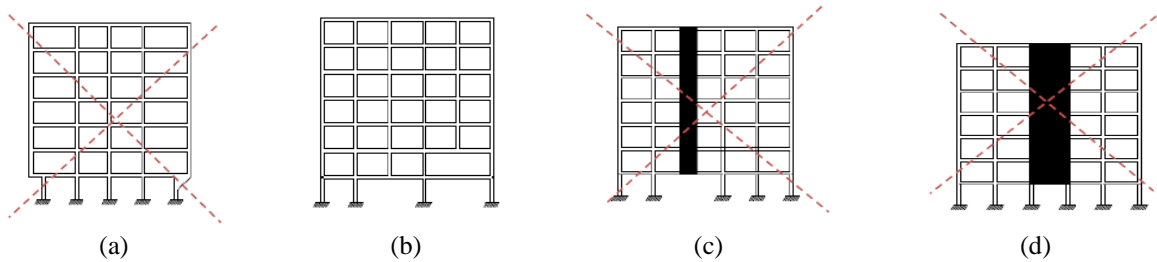
Tablo 1. TDY-2007’ye göre planda ve düşey doğrultuda düzensizlik durumları

Düzensizlik İsimleri	Düzensizlik Durumları
Burulma düzensizliği (A_1)	Planda Düzensizlik Durumları-A
Döşeme süreksizliği (A_2)	
Planda çıktıları bulunması (A_3)	
Kiriş akslarının birbirine paralel olmaması (A_4)	
Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (B_1)	Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları-B
Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (B_2)	
Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (B_3)	

Depremlerden sonra özellikle yumuşak kat ve zayıf kat mekanizmasının çok gözlemlenmesi B_1 ve B_2 düzensizliklerinin literatürde çok fazla irdelenmesine sebep olmuştur. Benzer şekilde planda ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi çakışmayan binalarda oluşan burulmadan dolayı da hasar türü yaygın olduğu için A_1 türü düzensizlikte yaygın olarak irdelene gelen bir düzensizlik türüdür. Literatürde düşey elemanların süreksizliği B_3 olarak belirtilen düzensizlik türü ise sınırlı seviyede irdelenmiştir.

TDY-2007[TDY-2007, 2007], Eurocode 8[EC-8, 1998] ve UBC[UBC-97, 1997] gibi yönetmeliklerinde söz konusu düzensizliklerle ilgili olarak farklı yaklaşımlar mevcuttur. Örneğin Eurocode 8 [EC-8, 1998] yapısal düzensizlik açısından binaların düşeyde düzensiz oluşunda daha çok yığma duvarların düşey düzensizliğine vurgu yaparak, yığma duvarların herhangi bir katta eksilmesi durumunda o kata gelen deprem kuvvetinin 1.0’den büyük bir katsayı ile çarpılarak kat elemanlarına dağıtılmasını istemiştir. UBC[UBC-97, 1997]’de ise düşeyde süreksizlik, deprem etkisine karşı direnç gösteren düşey elemanların düzlemde süreksizliği olarak adlandırmakta ve böyle bir düzensizlik durumunda deprem hesabında en düşük R’nin dikkate alınmasını öngörmektedir.

TDY-2007’de[TDY-2007, 2007]ise düşey elemanların süreksizliği, düşey elemanların (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1). Şekilde a, c ve d durumları TDY-2007[TDY-2007, 2007] tarafından yasaklanmışken b durumu için ise ağır yaptırımlar söz konusudur. Şekil 1b’de yer alan duruma, girişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu girişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer giriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden($G+Q+E$) oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında artırılması ile ancak izin verilmiştir. Burada azaltılan kolonun taşıyacağı deprem kuvvetlerinin diğer elemanlar tarafından paylaşılmasından doğacak artışın varlığı düşünülmektedir. TDY-2007’nin[TDY-2007, 2007] bir önceki versiyonu olan TDY-1998’de[ABYYHY, 1998] c durumuna da %50 artırım şartıyla izin verilmekteydi.



Şekil 1. TDY-2007’de belirtilmiş olan B_3 düzensizliği

Türkiye’de ve diğer ülkelerde düşey süreksizliği bulunan betonarme yapılar yönetmeliklerdeki ağır yaptırımlara rağmen özellikle zemin katta geniş açıklıklar elde etmek gibi mimari kaygılar ve arsa düzenlemelerinden dolayı yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Burada önemli olan düşey süreksizliğin yapısal deprem davranışını ne ölçüde değiştirebileceğini doğru tahmin etmektir. Şekil 2’de Türkiye ve diğer ülkelerden bazı betonarme yapı örnekleri gösterilmiştir.



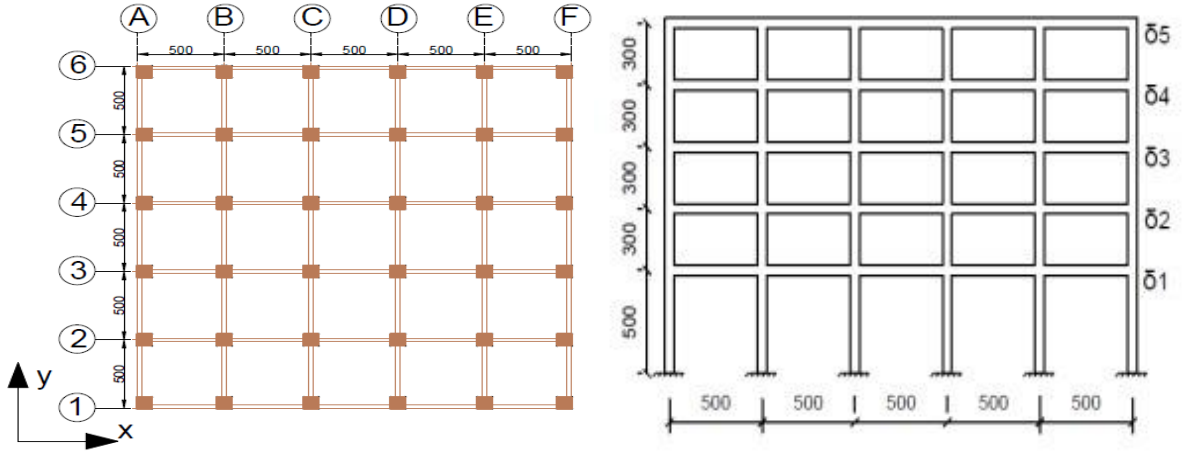
Şekil 2. Düşey süreksizliğe sahip bazı betonarme binalar

3. ANALİTİK ÇALIŞMA

Bu çalışmada B₃ türü düzensizliğin irdelenebilmesi için diğer düzensizlikleri içermeyen taşıyıcı sistemi oldukça sade seçilmiş bir betonarme model oluşturulmuştur. Modelde kat yüksekliği zemin katta 5 metre normal katlarda ise 3’er metre seçilmiştir. Planda her iki yönde toplam uzunluğu 25’er metre olan binanın aks aralıkları 5 metre olarak belirlenmiştir. Tasarlanan beş katlı betonarme bina SAP2000 (v16.1)’ de modellenmiştir.

Bina 1.derece deprem bölgesinde düşünülmüş olup TDY-2007’de [TDY-2007, 2007]belirtilen şekilde etkin yer ivmesi 0.4g olarak hesaba dahil edilmiştir. Binanın bulunduğu zemin TDY-2007’de [TDY-2007, 2007]orta-zayıf zemini temsil eden Z3 türü zemin sınıfı olarak kabul edilmiştir. Bu tür zeminlerde köşe periyodları (spektrum karakteristik periyodları) 0.15 sn ile 0.60 sn. olarak hesaba alınmaktadır.

Taşıyıcı sistemde kesitler kolonlar için 40/40 cm ve kirişler için 25/60 cm olarak belirlenmiştir. Kesitler her katta sabit aynı seçilmiştir. Döşeme kirişli olarak tasarlanmış ve kalınlığı 12 cm alınmıştır. Yapı geometrisi belirlenmiş olan sistemde C25 sınıfı beton ve S420 sınıfı donatı kullanılmıştır. Ayrıca TS-498 [TS-498,1997] ve TS-500-2000 [TS-500,2000]’e göre döşemeden kirişlere gelen yayılı yük üniform olarak $g=0.625$ t/m ve $q=0.25$ t/m olarak kabul edilmiştir. Kirişler üzerinde 20 cm’lik duvar yükü $g_d=0.75$ t/m olacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 3’de ilgili yapının plan geometrisi verilmiştir. Kiriş ve kolonların tahkiki ACI 318’e [ACI 318, 1995]paralel olan TS-500-2000’e [TS-500,2000]ve TDY-2007’ye [TDY-2007, 2007] göre yapılmıştır. Binanın deprem hesabında çerçeve türü yapılar için geçerli olan deprem yükü süneklik düzeyi yüksek sistemler için azaltma katsayısı 8 olarak kabul edilmiştir. TDY-2007’de [TDY-2007, 2007] bina yüksekliği 25 metreyi geçmeyen ve burulma düzensizliği içermeyen binalar için eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabileceğinden bahsedilmektedir. Bundan dolayı deprem yükleri eşdeğer deprem kuvveti hesabına göre üçgen yayılı olarak binaya etki ettirilmiştir. Modellemelerde kolonlar zemine alttan ankastre olarak tanımlanmıştır. Kolon kiriş birleşim bölgeleri ise rijit olarak seçilmiştir. TDY-2007’de[TDY-2007, 2007] düşey yükler ve depremin ortak etkisinden (G+Q+E) oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında artırılması istendiği için bu çalışmada ilgili hükümün tahkiki yapılacağı için sadece (G+Q+E) yüklemesi baz alınmıştır.

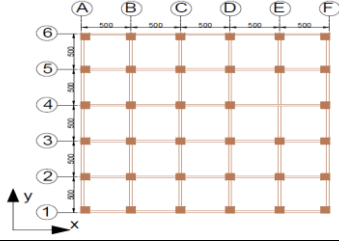
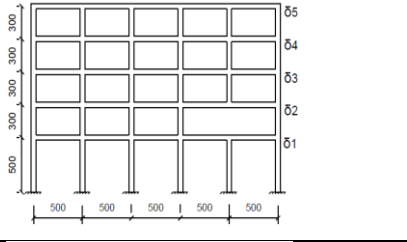
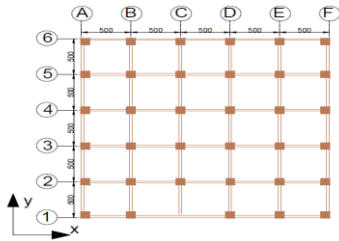
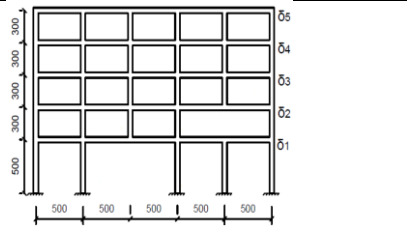
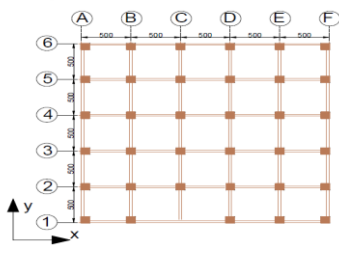
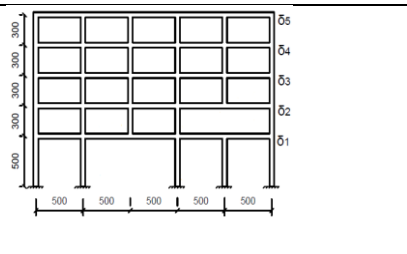


Şekil 3. Modellenen binanın kat planı ve düşey kesit

Çalışmada söz konusu model üzerinden kolonların düşey düzensizliklerine göre altı farklı düzensiz model oluşturulmuştur. Dolayısıyla toplam yedi farklı model üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Modellerin genel görünüşü ve kat planları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Model isimleri ve açıklamaları

Model (Tip) İsmi	Zemin Kat Planı	Düşey Kesit
T₀ (Referans Model, tüm kolonların mevcut olması durumu)		
T₁ (C1 kolonunun ilgili katta bulunmaması durumu)		
T₂ (C4 kolonunun ilgili katta bulunmaması durumu)		
T₃ (E1 kolonunun ilgili katta bulunmaması durumu)		

<p>T₄ (E4 kolonunun ilgili katta bulunmaması durumu)</p>		
<p>T₅ (C1 ve E1 kolonunun ilgili katlarda bulunmaması durumu)</p>		
<p>T₆ (C4 ve E4 kolonunun ilgili katlarda bulunmaması durumu)</p>		

4. ANALİTİK ÇALIŞMA SONUÇLARI

Çalışmada düşey elemanların süreksizliğinin olduğu bir adet referans toplam yedi farklı model üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz için belli katlardan ve akslardan seçilen kolonlar kaldırılmış ve ortaya çıkan düşey eleman süreksizliği durumunda iç kuvvetlerdeki değişim analiz edilmiştir. Modellemelerde SAP2000 (v.16.1)'den elde edilen verilere göre iç kuvvetlerdeki değişim kolon ve kirişler için gruplandırılmıştır. Tablo 3'de kolon kesitlerindeki normal kuvvet (N), kesme kuvveti (V) ve moment (M) değerlerinin referans duruma göre olan artışları oran olarak gösterilmiştir. Analitik çalışmaya göre kolonlarda meydana gelecek olan süreksizlik N değerinde 23.38% - 52.93% , V değerinde 28.32%-50.81% ve M değerinde 27.05%-56.68% arasında artışlara neden olmuştur.

Tablo 3. Kolon kesit tesirlerinde meydana gelen artışın yüzdesel değeri

Kuvvet	T ₁ /T ₀ (%)	T ₂ /T ₀	T ₃ /T ₀	T ₄ /T ₀	T ₅ /T ₀	T ₆ /T ₀	T _{average} /T ₀
N	37.87	23.41	39.43	23.38	52.93	36.88	35.65
V	35.1	28.32	50.81	42.07	37.90	29.16	37.22
M	33.43	27.05	56.68	46.96	40.55	30.83	39.25

Tablo 4'de ise kiriş kesitlerindeki kesme kuvveti (V) ve moment (M) değerlerinin referans modele göre olan artışları oransal olarak gösterilmiştir. Çalışmaya göre kirişlerde V değerlerinde 26.45% - 37.98% , M değerinde ise 35.73%-59.95% arasında artışlara neden olmaktadır.

Tablo 4. Kiriş kesit tesirlerinde meydana gelen artışın yüzdesel değeri

Kuvvet	T ₁ /T ₀ (%)	T ₂ /T ₀	T ₃ /T ₀	T ₄ /T ₀	T ₅ /T ₀	T ₆ /T ₀	T _{average} /T ₀
V	32.26	26.45	33.78	28.33	37.98	32.53	31.88
M	55.32	35.73	57.09	47.18	59.95	49.90	50.86

Kolonların süreksizliği yatay rijitliği azaltacağı için deprem yönetmeliklerinde bahsi geçen yumuşak kat oluşumu (TDY-2007'de B₂ olarak anılmaktadır) içinde tahkik yapılması yerinde olacaktır. TDY-2007[TDY-2007, 2007]'de yumuşak kat oluşumu için Tablo 5'de gösterilmiş olan denkleme göre rijitlik düzensizlik katsayısı (η_{ki}), binanın i'inci katındaki azaltılmış görelî kat ötelemesi Δ_i ve binanın i'inci katının kat yüksekliği (h_i) olarak ifade edilmektedir. Yumuşak kat düzensizliğinin olması içinde rijitlik düzensizlik katsayısının (η_{ki}) 2.0'den büyük çıkması gerekmektedir. Modellerin tümünde bu değerin altında kaldığı için yumuşak kat oluşumundan söz etmek mümkün değildir. Fakat kolonların konumuna göre ve tipe göre bu katsayının en fazla T₃'den elde edildiği gözlemlenmiştir.

Tablo 5. Yumuşak kat kontrolü

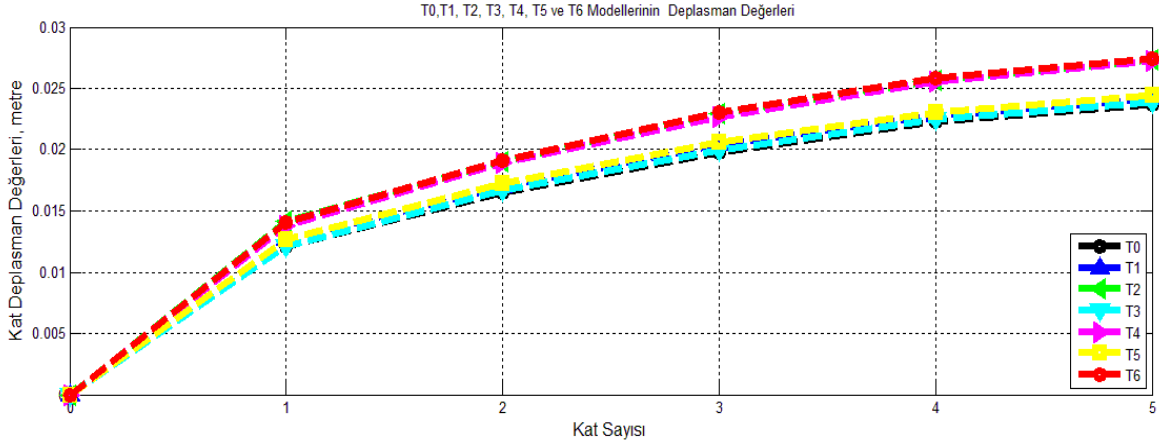
Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği B ₂ (Yumuşak Kat)	Model (Tip) İsmi						
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
$\eta_{ki} = \frac{(\Delta_i)_{ort}}{(\Delta_{i+1})_{ort}} > 2$	0.606	0.564	0.563	0.634	0.616	0.591	0.591

Kolonların kaldırılmasıyla sistemin rijitliği azalacağı için birinci mod periyodunun artması beklenmelidir. Analizlerde diğer modellerin periyodları referans çerçevenin periyoduna göre daha fazla bulunmuştur. Tablo 6'da her bir çerçevenin birinci mod periyodu verilmiştir.

Tablo 6. 1. Mod Periyod Değerleri

Model (Tip) İsmi	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Periyod(saniye)	0.98084	0.99117	0.98964	0.98365	0.98339	0.99451	0.99212

Periyotlara bağlı olarak deplasman değerleri de değişmektedir. Her bir kata karşılık gelen kat deplasman değerleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 4'de de görüldüğü gibi referans yapıya (T₀) göre ötelenme değerleri açısından en fazla deplasmanı T₆ modeli yaparken en az deplasmanı ise T₁ modeli yapmaktadır. Bu durum Tablo 6'da verilen periyot değerlerinden de anlaşılabilir. Periyodu düşük olan yapının daha az deplasman yapması açıktır.



Şekil 4. Her bir model için ötelenme değerleri

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, yapıların deprem esnasında performansını kötü yönde etkileyen, düşey doğrultuda yapı düzensizliğine neden olan B₃ türü düzensizliğin Eurocode 8[EC-8, 1998] ve UBC-1997'de[UBC-97, 1997] ki farklılıkları da belirtilerek TDY-2007'ye [TDY-2007, 2007]göre ne hassasiyette doğru olduğu araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda 5 katlı sade bir betonarme bina model olarak ele alınmıştır. Düşeyde oluşan düzensizlikleri ve bunların yaratmış olduğu iç kuvvet farklılıklarını gözlemlemek sebebiyle düşeyde süreksiz farklı tipte modeller oluşturulmuştur (T₁,T₂,T₃,T₄,T₅,T₆).Tablo 3'de ve Tablo 4'de belirtilen kolon ve kiriş için sonuçlanan analitik çalışmalar incelendiğinde katlardan ve akslardan seçilen kolonların kaldırılmasıyla ortaya çıkan iç kuvvetlerdeki değişim elde edilmiştir. Ayrıca literatürde yapılmış olan çalışmalar detaylı bir şekilde araştırılmış ve yapılan analitik çalışma sonucunda şu sonuçlara varılmıştır;

- Yapılan çalışma sonucunda kolonlar için N, V, M değerlerini referans modele göre ortalama değer bakımından değerlendirdiğimizde (T_{ort}/T_0) sırasıyla %35.65, %37.22 ve %39.25 olarak bulunmuşken, kirişler için V, M değerleri ise sırasıyla %31.88 ve %50.86 olarak hesaplanmıştır. Değerler incelendiğinde G+Q+E_x yüklemesi için B₃ türü düzensizlik için yönetmelikte şart koşulan %50 artış kirişlerde oluşacak olan momentler dışında oldukça altında kalmaktadır.
- Bu çalışmada baz alınan deprem bölgesinin 1. derece deprem bölgesi olması G+Q+E_x yüklemesi içinde E'nin oranı değişeceği için analizin diğer deprem bölgeleri için yapılması durumunda bulunan yüzdesel değişim değerlendirilmelidir. Bu durum özellikle TDY-2007 [TDY-2007, 2007]'de farklı deprem bölgeleri için farklı oranların verilmesinin uygun olacağını da göstermektedir.
- Çalışmada kolonların zemin katta kaldırılması durumunda yumuşak katı tetikleyecek olan deplasman değerlerine bağlı olarak bir miktar artışın olduğu görülmüştür. Fakat elde edilen katsayılar TDY-2007'de [TDY-2007, 2007] yer alan kritik katsayının ($\eta_{ki}>2.0$) oldukça altındadır. Burada özellikle yumuşak kat mekanizmasının diğer temel sebeplerinden olan dolgu duvarların varlığının ihmal edilmesi de bu katsayının çok yükselmemesine sebep olmuştur.
- Bu çalışmada bir parametre olarak yer alan deprem bölgesi, zemin özellikleri kat yüksekliklerinin değişken olması, taşıyıcı sistemde diğer düzensizliklerin bulunması gibi diğer faktörlerin elde edilen sonuçların değişmesine neden olacağı aşikardır.
- Çalışmada baz alınan eşdeğer deprem yükü yönteminin yanında response spectrum analysis, time history analysis ve modal analysis gibi yöntemlerle taşıyıcı sistemin analiz edilmesi ile elde edilen sonuçların değişebileceğini de düşünmek gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- ACI 318-95, Building Code Requirements for Reinforced Concrete.
- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY), 1998. Arnold, C. and Reitherman, R. 2002. Building Configuration and Seismic Design, *John Wiley & Sons, Inc.*, New York, USA.
- Aranda, G.R. 1984. Ductility demands for R/C frames irregular in elevation, *Proceedings of the Eighth World Conference on Earthquake Engineering*, San Francisco, 4, 559-566.
- Arslan, M.H. and Korkmaz, H.H. 2007. What is to be learned from damage and failure of reinforced concrete structures during recent earthquakes in Turkey? , *Engineering Failure Analysis*, 14.
- Arslan, S., Betonarme Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007. TDY-2007 2007, *Turkish Earthquake Code*, Specification for Buildings to be Built in Seismic Zones, Ministry Of Public Works and Settlement, Ankara, Turkey.
- ATC-40, The Applied Technology Council.
- Chintanapakdee, C. and Chopra, A.K. 2004. Seismic response of vertically irregular frames: *Response history and modal push over analyses*, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 130, 8, 1177-1185.
- Das, S. and Nau, J.M. 2003. Seismic design aspects of vertically irregular reinforced concrete buildings, *Earthquake Spectra*, 19, 3, 455-477.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007.
- Dogangun, A. 2004. Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey”, *Engineering Structures*, 26, 841–856.
- EN 1998: Eurocode 8, design of structures for earthquake resistance.
- Earthquake Resistant Design According To 1997 UBC.
- Esteve, L. 1992. Nonlinear seismic response of soft-first-story buildings subjected to narrow-band accelerograms, *Earthquake Spectra*, 8, 3, 373-389.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA 440)
- FEMA-356 2000. Federal Emergency Management Agency, Pre standard and commentary for seismic rehabilitation of buildings. Washington (DC), USA.
- Fragiadakis, M., Vamvatsikos, D. and Papadrakakis, M. 2006. Evaluation of the influence of vertical irregularities on the seismic performance of a nine-storey steel frame, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 35, 12, 1489-1509.
- Gulay, F.G. and Calim, G. 2003. A comparative study of torsionally unbalanced multi-storey structures under seismic loading, *Turkish Journal Engineering Environment Science*, 27, 9-11.
- Güler, K. 1996. Dynamic behavior of a building having vertically irregular structural system, *European Workshop on Seismic Behavior of Asymmetric and Set-Back Structures*, Naples, Italy 267-278.
- Güler, K., Altan, M. 2004. An examination of damages of reinforced concrete consoled buildings in Turkey due to 17 August 1999 Kocaeli Earthquake, *13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver*, B.C., Canada, Paper No:2644.
- IBC, International Building Code, International Code Council, United States of America, 2006. Inan, T. and Korkmaz, K. 2011. Evaluation of structural irregularities based on architectural design considerations in Turkey”, *Structural Survey*, 29, 303-319.
- Inel, M., Ozmen, H.B. and Bilgin H. (2008). Re-evaluation of building damage during recent earthquakes in Turkey”, *Engineering Structures*, 30, 412–427.
- NZS 1170-5 (S1) 2004. Structural design actions
- Ozmen C. and Unay, A.I. 2007. Commonly encountered seismic design faults due to the architectural design of residential buildings in Turkey”, *Building and Environment*, 42, 1406–1416.
- Öztürk T. 2013. Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi, İMO Teknik Dergi, 2013 6233-6256, Yazı 393.
- SAP 2000, Integrated software for structural analysis and design, version 16.
- Sezen, H., Whittaker, A.S., Elwood, K.J. and Mosalam, K.M. 2003. Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey”, *Engineering Structures*, 25, 103–114.
- Soni, D.P. and Mistry, B.B. 2006. Qualitative review of seismic response of vertically irregular building frames, *ISET Journal of Earthquake Technology*, 43, 4, 121-132.

- Standards for Sismic Civil Engineering Construction in Japan, 1980.
- Tezcan, S. 1998. An Architect's Log Book for Earthquake Resistant Design, *Turkish Earthquake Foundation Press*, Istanbul, Turkey.
- Tezcan, S. And Alhan, C. 2001. Parametric analysis of irregular structures under seismic loading according to the new Turkish Earthquake Code, *Engineering Structures*, 23, 600–609.
- TS 498 – Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri.
- TS-500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, 2000.
- URL-1 <http://www.nexus.globalquakemodel.org/gem-building-taxonomy/overview/glossary/change-in-vertical-structure--include-large-overhangs-chv> (Erişim tarihi: 21.08.2014)