



2007 VE 2018 TÜRK DEPREM YÖNETMELİKLERİNE GÖRE YEREL ZEMİN SINIFLARININ YAPILARDAKİ BURULMA DÜZENSİZLİĞİNE ETKİSİ

¹Kabil ÇETİN , ²Ali DEMİR , ³Taha Yasin ALTIÖK 

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Turgutlu Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Manisa, TÜRKİYE

^{2,3}Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, TÜRKİYE

¹kabil.cetin@cbu.edu.tr, ²ali.demir@cbu.edu.tr, ³taha.altiok@cbu.edu.tr

(Geliş/Received: 14.06.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 12.11.2019)

ÖZ: Türkiye'nin büyük bir çoğunluğu aktif deprem kuşakları üzerinde yer almaktadır. Bu zamana kadar birçok yapı depremin yıkıcı etkileri nedeniyle hasar görmüş hatta göçmüştür. Depremler büyük oranda can ve mal kaybına neden olmuştur. Kaçınılmaz deprem gerçeği, depreme dayanıklı tasarım kavramını ortaya çıkarmıştır. Yapıların, depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerine göre yeterli rijitlik ve dayanıma sahip olması gerekmektedir. Bu iki yapısal özelliğin dağılımı ve taşıyıcı sistem simetrik ve düzenli bir şekilde oluşturulmalıdır. Ancak mimari nedenlerden dolayı düzensiz yapılar inşa edilmektedir. Yapı geometrisi ve rijitlik dağılımı bakımından düzensiz olan bu yapılarda burulma düzensizliği görülmektedir. Burulma düzensizliği, yapının deprem performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle titizlikle araştırılması gereken bir konu haline gelmektedir.

Bu çalışmada, Türk Deprem Yönetmeliği-2007 ve Türk Bina Deprem Yönetmeliği-2018'e göre farklı yerel zemin sınıflarının yapılardaki burulma düzensizliğine etkisi araştırılmıştır. Modelleme ve deprem analizleri SAP 2000 programında yapılmıştır. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak 5 farklı yapı tipi için 270 adet yapının deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. 4-6 ve 8 katlı yapılar için, farklı zemin sınıflarındaki yapıların burulma düzensizliği katsayıları elde edilmiştir. Sonuçlar, her iki deprem analiz yöntemi ve deprem yönetmeliklerine göre karşılaştırılmıştır. Türk Bina Deprem Yönetmeliği-2018'de düzenli yapıların burulma düzensizliği katsayıları Türk Deprem Yönetmeliği-2007'e göre azalırken, düzensiz yapıların burulma düzensizliği katsayılarında ciddi bir artış olduğu görülmüştür. Yerel zemin sınıflarının hesaplamalara olan etkisi Türk Bina Deprem Yönetmeliği-2018 ile daha gerçekçi hale gelmiştir. Yerel zemin sınıfının Türk Bina Deprem Yönetmeliği-2018'de burulma davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ve burulma düzensizliğine sahip yapıların tasarım ve değerlendirilmesinde yerel zemin sınıfının bu etkisinin dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Burulma düzensizliği, Yerel zemin sınıfı, Deprem analizi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018, Türk Deprem Yönetmeliği-2007.

Effect of Local Site Classes on Torsional Irregularity in Structures According to Turkish Seismic Codes 2007 and 2018

ABSTRACT: A major parts of Turkey is located on the active seismic belts. Until now, many structures have been damaged and even collapsed due to the destructive effects of the earthquake. The earthquakes have caused largely in loss of life and property. The inevitable earthquake fact has revealed the concept of earthquake resistant design. The structures must be had sufficient rigidity and strength according to earthquake resistant structure design principles. Load-bearing system and the distribution of these two structural properties must be formed symmetrically and regularly. However, irregular structures are constructed due to architectural reasons. In these structures which are irregular in terms of structure geometry and distribution of rigidity, is seen torsional irregularity. Torsional irregularity negatively affects

the earthquake performance of the structure. Therefore, it becomes a subject that needs to be meticulously investigated.

In this study, effect of different local site classes on torsion irregularity in structures have been investigated according to Turkish Seismic Code-2007 and Turkish Building Earthquake Code-2018. Modeling and earthquake analyses have been performed in SAP 2000 program. Earthquake analyses of 270 structures for 5 different structure types have been carried out by using the Equivalent Seismic Load Method and Mode Superposition Method. Torsional irregularity coefficients of the structures on different local site classes have been obtained for 4, 6 and 8-storey structures. The results have been compared according to both earthquake analysis methods and Turkish Seismic Codes. In the Turkish Building Earthquake Code-2018, torsional irregularity coefficients of the regular structures have decreased compared to the Turkish Seismic Code-2007, while there has been seen a substantial increase in torsional irregularity coefficients of the irregular structures. The effect of local site classes on the calculations has become more realistic along with the Turkish Building Earthquake Code-2018. It has been concluded that local site class has a significant effect on torsional behavior in Turkish Building Earthquake Code-2018 and this effect must be taken into consideration in the design and evaluation of the structures with torsional irregularity.

Key Words: *Torsional irregularity, Local site class, Earthquake analysis, Turkish Building Earthquake Code-2018, Turkish Seismic Code-2007.*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Nüfus ve şehirleşmedeki artış, inşaat sektörünün hızlanmasına neden olmuştur. Bu süreçte ülkemizde çok sayıda yapı inşa edilmiş ve halen hızlı bir şekilde inşa edilmeye devam edilmektedir. Modern yaşam ve teknolojiye yeni yenilikler, farklı fonksiyonel ve mimari özelliklere sahip yapıların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yapı planları ciddi bir şekilde değişikliğe uğramış ve bu durum yapı içerisinde bir düzensizlik oluşturmuştur. Düzensizlikler, yapı performansını olumsuz yönde etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Bu nedenle, bu tip yapıların deprem performansının yapısal güvenlik açısından araştırılması gerekmektedir.

Plan düzensizliklerinden biri olan burulma düzensizliğiyle yapılarda sıklıkla karşılaşılmaktadır. Burulma problemi, geometri ve rijitlik dağılımı bakımından düzensiz olan yapılarda görülmektedir. Nitekim, 1999 yılındaki Marmara depreminden sonra yapılan saha çalışmalarında, düzensiz yapılarda burulma kaynaklı birçok hasar gözlenmiştir. Dolayısıyla, burulma düzensizliğine sahip yapıların deprem davranışı oldukça önemlidir. Burulma düzensizliği neredeyse tüm deprem yönetmeliklerinde dikkate alınmaktadır. Türk Deprem Yönetmeliğinde de bu düzensizlik için çeşitli önlemler ve yaptırımlar mevcuttur. Mevcut deprem yönetmeliğinde burulma düzensizliği Denklem 1 ile ifade edilir.

$$\eta_{b(i)} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}} \quad (1)$$

Burulma düzensizliği, herhangi bir kattaki en büyük görelî kat ötelemesinin $(\Delta_i)_{\max}$, aynı kattaki ortalama görelî kat ötelemesine $(\Delta_i)_{\text{ort}}$ oranıdır. Bu düzensizliğin kontrolü burulma düzensizliği katsayısı (η_b) ile yapılır. Yapılarda burulma olup olmadığı, bu katsayının değerine bağlıdır. η_b değeri 1,2 ile 2 arasında olduğunda, yapıda burulma düzensizliği olduğu söylenebilir. Türk Deprem Yönetmeliği, bu katsayı değerinin 2'yi aşması halinde, dinamik hesaplama yönteminin tercih edilmesi gerektiğini söylemektedir. Bu düzensizliğin olmadığı yapılarda, her iki deprem doğrultusu için $\pm\% 5$ ek dışmerkezliğe göre deprem hesaplamaları yapılır. Yapılarda burulma düzensizliği varsa, ek dışmerkezlik hesaplanmalıdır. Oluşacak bu ek dışmerkezliliğin değeri, $\pm\% 5$ ek dışmerkezliğin D_i katsayısı ile çarpılmasıyla elde edilir. D_i katsayısı Denklem 2 ile hesaplanır.

$$D_i = \left(\frac{\eta_{b(i)}}{1.2} \right)^2 \quad (2)$$

Burulma etkisi, zemin hareketlerinden kaynaklı yapısal hasarların ana nedenlerinden birisidir. Yapıların göçmesine neden olan bu tehlike karşısında özellikle düzensiz yapıların deprem etkilerine karşı daha savunmasız oldukları görülmüştür. Burulma, kütle ve rijitlik bakımından asimetrik bir dağılıma sahip yapıların göçme modunu ciddi şekilde etkiler. Bu nedenle burulma düzensizliğinin, yapıların deprem yükü altındaki davranışlarına etkisi birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Çetin ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada, yerel zemin sınıflarının yapıların burulma düzensizliği üzerindeki etkisini, Türk Deprem Yönetmeliği-2007 (TDY-2007) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018'e (TBDY-2018) göre araştırmışlardır. 5 farklı yapı modeli oluşturulmuş, Mod Birleştirme yöntemi kullanılarak yapıların deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Her bir yerel zemin sınıfı için yapıların burulma düzensizliği katsayıları elde edilmiştir. TDY-2007 ve TBDY-2018'e göre elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. TBDY-2018'de tüm yapı tiplerinde, yerel zemin sınıflarının η_b katsayılarını etkilediği, TDY-2007'de ise yerel zemin sınıflarının sadece asimetrik yapı tipine ait burulma düzensizliği sonuçlarını etkilediği görülmüştür. Yerel zemin sınıflarının, yapılardaki burulma düzensizliği katsayılarını TBDY-2018'de maksimum 0,16 değerinde etkilediği sonucuna varılmıştır. Tengli ve Hussain (2018), burulmanın çok katlı yapıların deprem performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Plan geometrisi açısından düzenli ve düzensiz şekle sahip iki farklı yapının dinamik analizi yapılmıştır. Yapıların periyot değerleri, katlara gelen kesme kuvvetleri ve katlara ait deplasman değerleri karşılaştırılmıştır. Düzensiz yapılardaki deplasman ve kesme kuvvetlerinin önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır. Ravindra ve Ramya (2018), plak döşemelerin yapıların burulma davranışı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Perde duvarların yerleşimi bakımından asimetrik bir yapının, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Analiz Yöntemi kullanılarak deprem analizleri yapılmıştır. Yapı kat planının en boy oranı değiştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Yapı kat planının en boy oranı büyüdükünde, yapının deplasman ve ivme değerlerinin arttığı görülmüştür. Kardoğan ve Demircan (2016), perde duvarların yapılardaki burulma düzensizliği üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Analizlerde Mod Birleştirme Yöntemi kullanılmıştır. Yapıların burulma düzensizliği katsayıları ve deplasman değerleri karşılaştırılmıştır. Burulma düzensizliğinin, yapıların zayıf eksenlerindeki taşıyıcı elemanlar üzerinde yapılacak düzenlemelerle büyük ölçüde ortadan kaldırılabilceği sonucuna varılmıştır. Öztürk (2013) yapılarda çeşitli nedenlerden dolayı bulunan döşeme boşluklarının yapının deprem davranışına olan etkisini araştırmıştır. Zemin sınıfı, kat adedi, boşlukların yapı içerisindeki konumları ve boyutları gibi birçok parametre kullanılarak yapıların taşıyıcı sistem davranışı incelenmiştir. A2 döşeme süreksizliği için yönetmelikte belirtilen boşluk oranı sınırı kadar, boşluğun simetrik olup olmaması da çok önemlidir. Nitekim bu sınırın aşıldığı ancak boşluğun simetrik düzenlendiği yapı modellerinde döşemenin rijit diyafram davranış sergilediği görülür iken, bu sınırın aşılmadığı ancak boşluğun asimetrik düzenlendiği yapı modellerinde ise döşemenin bu davranışı sergileyemediği görülmüştür. Zemin sınıfının kötüleşmesi, kat adedinin artışı, döşeme boşluğunun yapının deprem davranışına olan olumsuz etkisinin artmasına neden olmaktadır. Simetrik olmayan döşeme boşlukları burulma etkilerini arttırmaktadır. Özmen (2000) yapı tiplerinin burulma düzensizliğine olan etkisini araştırmıştır. Bu kapsamda düzenli ve düzensiz olmak üzere, iki farklı yapı modeli oluşturularak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bazı yapı modellerinde geometri ve rijitlik bakımından simetriklik şartı sağlanmış olmasına rağmen burulma düzensizliği katsayılarının 1.2 sınır değere yaklaştığı görülmüştür. Rijitlik dağılımının, plan geometrisine göre burulma düzensizliği üzerinde daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

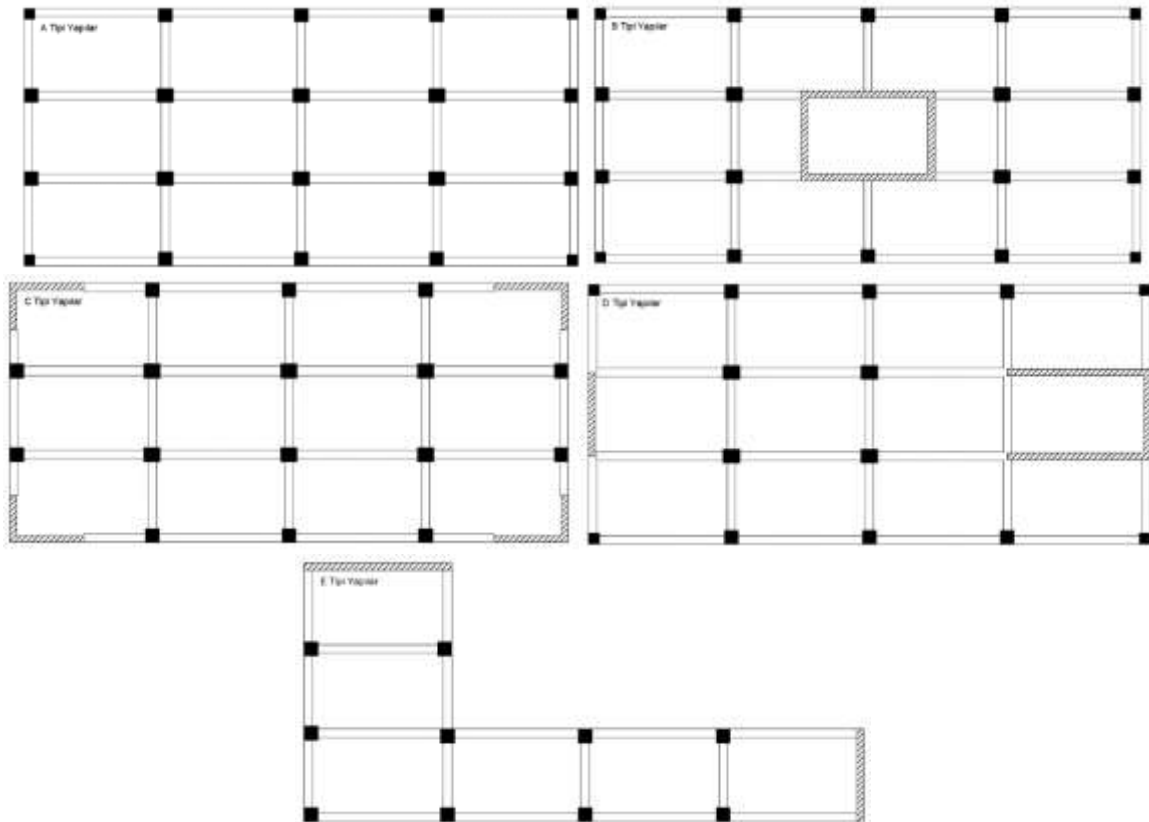
Burulma düzensizliğe sahip yapıların deprem performansı birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Haque ve diğ., 2016, Shajee ve Thaskeen 2016, Akhare ve Maske 2015). Plan geometrisi bakımından düzenli ve düzensiz şekilli yapılar modellenmiştir. Yapılan analizlerde yapılara ait deplasman ve taban

kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Düzensiz yapıların deprem kuvvetlerine karşı normal yapılara göre daha savunmasız olduğu sonucuna varılmıştır. Özmen ve diğ. (2014), çok katlı yapıların burulma düzensizliğini araştırmıştır. Burulma düzensizliği katsayıları ile katlarda meydana gelen dönme sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında, katlardaki dönme değerlerinin burulma davranışını daha gerçekçi olarak yansıttığı belirlenmiştir. Katlardaki dönmenin dikkate alındığı yeni bir burulma düzensizliği katsayısı formülasyonu önerilmiştir. Çok katlı yapılarda yerel zemin sınıflarının burulma düzensizliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılarda maksimum burulma düzensizliğine neden olan faktörler belirlenmiştir (Demir ve Dönmez 2008, Demir ve diğ., 2010).

Bu çalışmada, simetrik ve asimetrik perde yerleşimine sahip beş farklı düzenli ve düzensiz yapı dikkate alınmıştır. Dikdörtgen ve L formunda kat planlarına sahip olan yapıların deprem analizleri Eşdeğer Deprem Yüğü ve Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında farklı değişkenlere sahip 270 adet yapının deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi'ne göre yapıların maksimum burulma düzensizliği katsayıları TDY-2007 ve TBDY-2018 için kat sayısı ve yerel zemin sınıfları değişken olarak kullanılarak incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL and METHOD)

Farklı yapısal geometri ve perde yerleşimine sahip beş yapı tipi modellenmiştir. Modelleme ve analiz işlemi SAP2000 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. A, B, C, D ve E olarak isimlendirilen yapı tiplerine ait kat planları Şekil 1'de gösterilmiştir. A tipi yapılar betonarme çerçeve sistem, diğer yapı tipleri ise betonarme perdeli-çerçevesel sistem olarak tasarlanmıştır. A, B, C ve D tipi yapılar plan geometrisi açısından düzenli, E tipi yapılar ise düzensizdir. Tüm yapısal elemanların yerleşimi A, B ve C tipi yapılarda simetrik olarak düzenlenmiştir. D tipi yapılarda perdeler y yönünde simetrik olarak, E tipi yapılarda ise perde yerleşimi düzensiz bir şekilde oluşturulmuştur (Demir ve Dönmez 2008).



Şekil 1. Yapı tiplerine ait kat planları (Demir ve Dönmez 2008)

Figure 1. Floor plans of structure types (Demir ve Dönmez 2008)

Modellenen yapı tiplerine ait özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Yapı tiplerinin özellikleri (Demir ve Dönmez 2008)

Table 1. Properties of structure types (Demir ve Dönmez 2008)

Yapı Tipleri		A	B	C	D	E
x ve y doğrultusundaki aks açıklıkları		5m, 3m				
Deprem bölgesi		1				
Kat yüksekliği		3 m				
Kiriş boyutları		0,3 m×0,3 m				
Kolon Tipi/Kolon boyutları	Köşe kolon	0,4 m×0,4 m			-	
	Merkez kolon	0,6×0,5 m			-	
	Kenar kolon	0,5×0,5 m			0,5×0,5 m	
Perde kalınlığı		0,25 m				
Malzeme	Beton	C25				
	Çelik	S420				

Yapılardaki burulma düzensizliği sadece geometriden kaynaklı bir problem değildir. Bu düzensizliğin hesaplanması için gerekli olan görelî kat ötelemeleri binaya etki eden deprem kuvvetleri ile ilgilidir. Zemin davranışı bozuldukça zemin periyot değerleri artış göstermektedir. Sağlam zeminden zayıf zemine doğru maksimum deprem ivmesinin görüldüğü periyot aralığı uzar. Bu yapıların deprem kuvvetlerinden daha fazla etkilenmesine neden olur.

İncelenen bu yapıların 1. derece deprem bölgesindeki Manisa'da olduğu varsayılmıştır. TBDY-2018'e göre yapılacak olan hesaplamalar için, yapıların konumu, istenen yerel zemin sınıfı ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası'ndan seçilmiştir. Haritadan elde edilen verilere göre, 4, 6 ve 8 katlı olarak modellenen bu yapıların ZA, ZB, ZC, ZD ve ZE yerel zemin sınıfları için deprem analizleri yapılmıştır. TDY-2007'deki Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları ile birlikte analizlerde toplam dokuz adet yerel zemin sınıfı dikkate alınmıştır.

Perde elemanları kabuk sonlu eleman olarak modellenmiştir. TBDY-2018 için tasarımda etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılmıştır. Bu rijitlik çarpanları, TDY-2007'deki çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliğine benzetilebilir. Bu katsayı, taşıyıcı sistem elemanlarının rijitliğini azaltır. TBDY-2018'de kullanılan etkin kesit rijitliği çarpanları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. TBDY-2018'deki etkin kesit rijitliği çarpanları

Table 2. Effective cross section multipliers in TBDY-2018

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018				
Yapısal Eleman	Modelleme Elemanı	Eğilme	Kesme	Eksenel
Kiriş	Çubuk	0,35	1	-
Kolon	Çubuk	0,7	1	-
Perde	Eşdeğer Çubuk	0,5	0,5	-
Perde (Düzlem İçi)	Sonlu Eleman	-	0,5	0,5
Perde (Düzlem Dışı)	Sonlu Eleman	-	1,00	0,25

Ek dışmerkezlilik, yapının kütle ve rijitlik merkezlerinin üst üste denk gelmemesi sonucu oluşur. İki merkez noktası arasındaki mesafe olarak ifade edilir. Ek dışmerkezlilik yapıda burulma momentine neden olur. Perde yerleşimi ve plan geometrisi açısından düzenli olan A, B ve C tipi yapıların deprem analizleri, TDY-2007 ve TBDY-2018'e göre $\pm\%$ 5 ek dışmerkezlilik için yapılmıştır. D tipi yapılar perde yerleşimi bakımından y eksenine göre simetrik olarak düzenlenmiştir. Bu nedenle bu yapılarda x yönünde ek dışmerkezlilik mevcuttur. Asimetrik olan E tipi yapılarda ise, her iki yöndeki ek dışmerkezlilik hesaplanmıştır. D ve E tipi yapılardaki, x ve y yönlerindeki ek dışmerkezlilik Şekil 2'de gösterilmektedir (Demir ve Dönmez 2008).

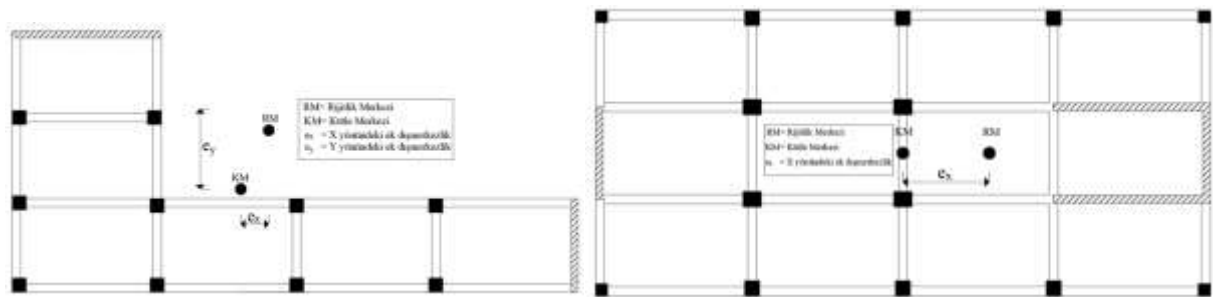
**Şekil 2.** Yapıdaki ek dışmerkezlilik

Figure 2. Additional eccentricity in structure

Bu çalışmada, Eşdeğer Deprem Yüğü ve Mod Birleştirme Yöntemleri kullanılarak yapıların deprem analizleri yapılmıştır. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, deprem yüklerinin yapılarda yatay biçimde tekil yük olarak uygulandığı statik bir analiz yöntemidir. Mod Birleştirme Yöntemi, uygulanan deprem yönündeki deprem tasarım spektrumunu kullanarak her bir titreşim modundaki en büyük davranışsal büyüklüklerin elde edildiği dinamik bir analiz yöntemidir. TDY-2007 ve TBDY-2018'e göre her iki deprem yöntemi kullanılarak yapıların burulma düzensizliği katsayıları hesaplanmış, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

BULGULAR VE SONUÇLARIN İRDELENMESİ (RESULTS and DISCUSSIONS)

Yapıların burulma düzensizliği katsayıları y yönündeki deprem kuvveti için maksimum elde edilmiştir. Yapılardaki burulma düzensizliği katsayılarının değişimi kat sayısı ve yerel zemin sınıfına göre incelenmiştir. Düz ve kesikli çizgiler, sırasıyla Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (EDYY) ve Mod Birleştirme

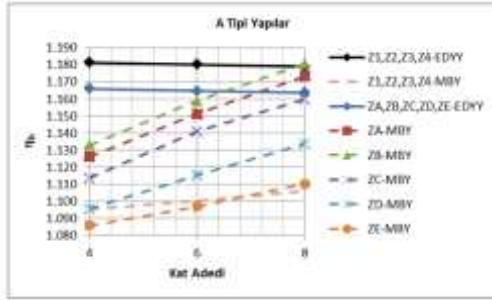
Yöntemini (MBY) temsil etmektedir. Yerel zemin sınıfları Z4 ve ZE için 4 katlı yapılara ait burulma düzensizliği katsayıları Çizelge 3'te açıkça sunulmuştur.

Çizelge 3. Yapı tiplerine göre hesaplanan η_b değerleri

Table 3. Calculated η_b values according to structure types

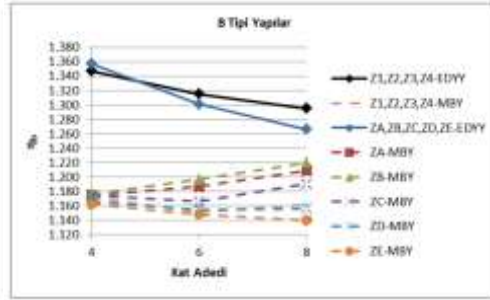
Türk Deprem Yönetmeliği	Analiz Yöntemi	A	B	C	D	E
2007	EDYY	1,181	1,347	1,100	1,5510	1,5673
	MBY	1,095	1,171	1,051	1,67	1,646
2018	EDYY	1,166	1,357	1,059	1,627	1,788
	MBY	1,086	1,162	1,030	1,716	1,834

TDY-2007 ve TBDY-2018'e göre maksimum burulma düzensizliği katsayıları, Şekil 3, 4, 5, 6 ve 7'de verilmiştir.



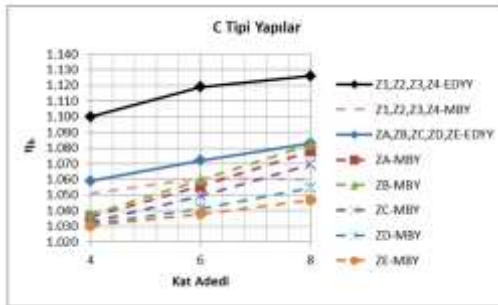
Şekil 3. A tipi yapılar için η_b değerleri

Figure 3. η_b values of A type structures



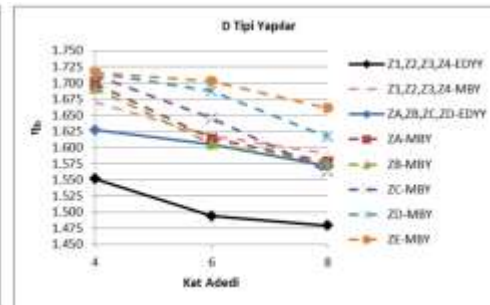
Şekil 4. B tipi yapılar için η_b değerleri

Figure 4. η_b values of B type structures



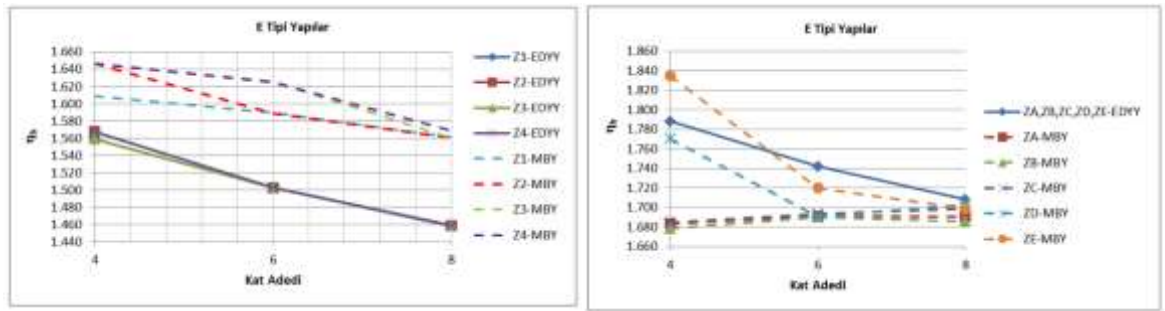
Şekil 5. C tipi yapılar için η_b değerleri

Figure 5. η_b values of C type structures



Şekil 6. D tipi yapılar için η_b değerleri

Figure 6. η_b values of D type structures



Şekil 7. E tipi yapılar için η_b değerleri

Figure 7. η_b values of E type structures

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılardaki kat sayısı, yerel zemin sınıfı, plan geometrisi, perde yerleşimi ve kullanılan deprem analiz yönteminin η_b değerleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Burulma düzensizliği katsayılarının A ve C tipi yapılarda 1,2 sınır değerinin altındayken, B, D ve E tipi yapılarda bu sınır değerini geçtiği görülmektedir. Bu sonuç, perde yerleşiminin ve plan simetrisinin yapısal davranıştaki önemini açıkça göstermektedir. Simetrik olmayan ve perde elemanların yapının merkezine yerleştirildiği yapılarda daha büyük η_b değerleri elde edilmiştir. D tipi yapıların burulma düzensizliği katsayısının B ve C ile kıyaslandığında daha büyük bir değere sahip olduğu görülmektedir. Buradan üç yapı tipinin de plan geometrisi bakımından düzenli olduğu düşünülürse, rijitlik bakımından düzensizliğin burulma düzensizliği üzerinde daha etkili olduğu sonucuna varılabilir (Özmen 2000). Nitekim en büyük burulma düzensizliği değeri her iki düzensizliğin birlikte görüldüğü E tipi yapılarda elde edilmiştir.

Çizelge 3'te sunulan sonuçlar analiz edildiğinde, TBDY-2018'e göre A, B ve C tipi yapıların η_b değerleri, TDY-2007'den daha küçük hesaplanmıştır. D ve E tipi gibi düzensiz yapılarda ise, η_b değerlerinin daha büyük olduğu görülmüştür. TDY-2007 ve TBDY-2018, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre karşılaştırıldığında, A, B, C, D ve E tipi yapıların η_b değerleri sırasıyla % 1,27, % 0,74, % 3,72, % 4,90 ve % 14,08 oranında değişmiştir. Mod Birleştirme Yönteminde sonuçlar arasındaki bu farkın azaldığı gözlemlenmiştir. A, B, C, D ve E tipi yapılarda sırasıyla % 0,82, % 0,76, % 1,99, % 2,75 ve % 11,42 olarak hesaplanmıştır. Sonuçların en çok etkilendiği yapı tipi E'dir. Kat sayısı arttıkça TDY-2007 ve TBDY-2018'e göre hesaplanan η_b değerleri arasındaki fark ta büyümektedir. 8 katlı E tipi yapılarda bu farkın % 20'ye kadar çıktığı görülmüştür. TBDY-2018'e göre, yerel zemin sınıfları Mod Birleştirme Yöntemi için tüm yapı tiplerinde η_b değerlerini etkilerken, TDY-2007'de sadece E tipi yapıların η_b değerlerini etkilemiştir. Sonuçlar, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi için analiz edildiğinde, sadece E tipi yapıların TDY-2007'de yerel zemin sınıflarından etkilendiği ve TBDY-2018'de ise hiçbir yapı tipinin yerel zemin sınıflarından etkilenmediği görülmüştür. Dolayısıyla TDY-2007'de yerel zemin sınıfları plan geometrisi bakımından düzenli olan yapıları etkilememiştir. Çünkü bu yapı tiplerinde rijitlik değişimi olmamıştır. Deprem kuvvetlerinin, yerel zemin sınıflarının değişiminin etkisiyle yapıların her bir katını benzer bir şekilde etkilediği düşünülmektedir (Demir ve Dönmez 2008). Yerel zemin sınıfları, TBDY-2018'de Mod Birleştirme Yöntemine göre D ve E tipi yapılarda burulma düzensizliği katsayılarını 0,015-0,1 değerleri arasında etkilemiştir. TDY-2007'de Mod Birleştirme Yöntemine göre yerel zemin sınıfı değişiminden etkilenen tek yapı tipi olan E tipi yapılarda ise bu değer yaklaşık 0,09'dur. TDY-2007 ve TBDY-2018'e göre Mod Birleştirme Yöntemi için elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, E tipi yapıların η_b değerlerinin yerel zemin sınıflarından eşit miktarda etkilendiği belirlenmiştir. TBDY-2018 ile birlikte, yerel zemin sınıfı etkisinin hesaplamalar üzerinde daha gerçekçi bir şekilde dikkate alındığı görülmüştür. Son olarak,

düzensiz yapıların deprem etkilerinden daha fazla etkilendiği ve TBDY-2018 ile bu etkinin arttığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Akhare, A.R., Maske, A.A., 2015, "Performance Based Seismic Design of R.C.C. Buildings with Plan Irregularity", *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, Cilt 2, ss. 1-6.
- Çetin, K., Altıok, T.Y., Demir, A., "Investigation of Torsional Behaviors of Structures with Mode Superposition Method According to Turkish Seismic Codes 2007 and 2018", 2. Uluslararası Mühendislik ve Mimarlık Kongresi, Muğla, 674-682, 22-24 Nisan 2019.
- Demir, A., Demir, D.D., Erdem, R.T., Bağcı, M., 2010, "Torsional Irregularity Effects of Local Site Classes in Multiple Storey Structures", *International Journal of Recent Research and Applied Studies*, ss. 258-262.
- Demir, A., Dönmez, D., 2008, "Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliğine Etki Eden Faktörler", *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 4, ss. 31-36.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Haque, M., Ray, S., Chakraborty, A., Elias, M., Alam, I., 2016, "Seismic Performance Analysis of RCC Multi-Storied Buildings with Plan Irregularity", *American Journal of Civil Engineering*, Cilt 4, ss. 68-73.
- Kardoğan, P.S.Ö., Demircan, R.K., 2016, "Betonarme Perdelerin Yapılardaki Burulma Düzensizliğine Etkileri", 1. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi, Adana, 647-654, 26-28 Ekim 2016.
- Özmen, G., Girgin, K., Durgun, Y., 2014, "Torsional Irregularity in Multi-Story Structures", *Int. J. Adv. Struct. Eng.*, Cilt 6, ss. 121-131.
- Özmen, G., 2000, "Plan Geometrisinin Burulma Düzensizliğine Olan Etkisi", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 410, ss. 37-41.
- Öztürk, T., 2013, "Binalarda Döşeme Boşluklarının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi", *İMO Teknik Dergi*, ss. 6233-6256.
- Ravindra, P.M., Ramya, S.R., 2018, "Torsional and Seismic Behavior of Shear Wall Dominant Flat Plate Buildings", *International Research Journal of Engineering and Technology*, Cilt 5, ss. 1493-1499.
- SAP2000, *Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual*, Computers and Structures Inc, Berkeley (CA, USA).
- Shajee, S., Thaskeen, R., 2016, "Torsional Irregularity of Multi-Storey Structures", *International Journal of Innovative Research in Science*, *Engineering and Technology*, Cilt 5, ss. 18861-18871.
- Tengli, S.K., Hussain, S.M., 2018, "Study on Torsional Effects of Irregular Buildings Under Seismic Loads", *International Journal of Applied Engineering Research*, Cilt 13, ss. 55-60.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018, Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Ankara.