

TASARIM EKSANTRİKLİĞİNE YENİ BİR BAKIŞ AÇISI

Osman Akyürek¹

¹*Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Nevşehir, Turkey*

oakyurek@nevsehir.edu.tr

ORCID: 0000-0001-8161-1775

ÖZET

Yapının plandaki burulma düzensizliği, yani kütle merkezi (CM) ile rijitlik merkezi (CR) arasındaki çakışma eksikliği olarak tanımlanabilir ve bu tür binalara da eksantrik binalar denir. Binada iki tür eksantriklik tanımlanabilir; bunlar sırasıyla içsel (geometrik) ve fiktif eksantrikliklerdir. Yapılarda tasarımdan kaynaklı geometrik bir eksantriklik olmasa bile, yapısal belirsizlikler ve deprem yer hareketi belirsizliklerinden dolayı binalar önemli yanal-burulma etkilerine maruz kalabilmektedirler. Bu duruma sebebiyet veren eksantrikliğe fiktif eksantriklik denir. Bu nedenle, birçok bina yönetmeliklerinde bu durum dış merkezliği dikkate almak için varsayıma dayalı bir çözüm sunar. Bu da deprem yönüne dik olan bina boyutunun bir yüzdesi (%5 veya %10) ile burulma düzensizliği katsayısının doğru orantısıyla dikkate alınmaktadır. Ancak bu durum her kat için eşdeğer burulma momentini hesap ederken var olandan çok daha az veya çok daha fazla almamıza sebep olabilmektedir. Bu nedenle, varsayıma dayalı çözüm yöntemi eksantriklik parametrelerini tasarıma dâhil etmek için yeterli olmayabilir. Bu çalışmada, burulma düzensizliğini yeniden dikkate almak için frekans oranı (her yön için burulma frekansı/öteleme frekansı) ve etkili bir dönme yarıçapı tanımını içeren alternatif tasarım eksantriklik formülü önerilmiştir. Bu amaçla; aynı kat planı ve yapı elemanlarına sahip bir, üç ve beş katlı elastik binalar iki yönlü burulma etkisi altında deprem yer hareketinin çift yönlü spektrum analizleri yapıp, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) tasarımına göre incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, TBDY tasarım parametreleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, özet olarak fiktif eksantriklik burulma rijitliği ve dönme ile doğru orantılıdır. Yani, yapının plandaki dönmesi artarsa, depremin yapıya çarptığı yöndeki (x- veya y-) öteleme sertliği ve yanal deplasmanın aksine, fiktif eksantriklikte bir artışa neden olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Burulma Düzensizliği, Kütle Merkezi (CM), Rijitlik Merkezi (CR), Betonarme Yapı, TBDY 2018.*

A NEW DEFINATION FOR DESIGN ECCENTRICITY

ABSTRACT

The torsional irregularity in the plan for the structure can be defined lack of coincidence between the center of mass (CM) and the center of rigidity (CR), called eccentricity. There two types of eccentricities; respectively inherent (geometric) and accidental eccentricity. Even there is no inherent eccentricity that structures might have in design, but they may be exposed to lateral-torsional coupling effects due to the accidental eccentricity because it occurs because of some uncertainties, which may be the structural uncertainty or ground motion uncertainty. For these reasons, many code provisions provide an assumption-based solution to consider for the accidental eccentricity as a percentage (5% or 10%) of the building dimension perpendicular to the earthquake direction. However, even this consideration might not be adequate for taking those eccentricity parameters into the design. In this study, the new design eccentricity formula that including frequency ratio (torsional frequency to translational frequency for each direction), used an effective radius of gyration definition is proposed. One-story; three-story; and five-story elastic system, two-way torsionally coupled buildings, which have all the same slab, column, beam and their orientation and applications in the plane, were investigated according to the design of Turkish Earthquake Building Code (TEBC-2018) under Response Spectrum Analysis (RSA) for bidirectional earthquake ground motion. The obtained results are compared with the TEBC design parameters. In short, according to the results, accidental eccentricity is proportional to torsional stiffness and rotational response. Namely, if the rotational response of the structure increases, then it leads to an increase in accidental eccentricity, as opposed to translational stiffness and translational response in the direction (x- or y-) where the earthquake strikes the structure.

Keywords: *Torsional Irregularity, Center of Mass (CM), Center of Rigidity (CR), RC Building, Turkish Earthquake Building Code (TEBC).*

1. GİRİŞ

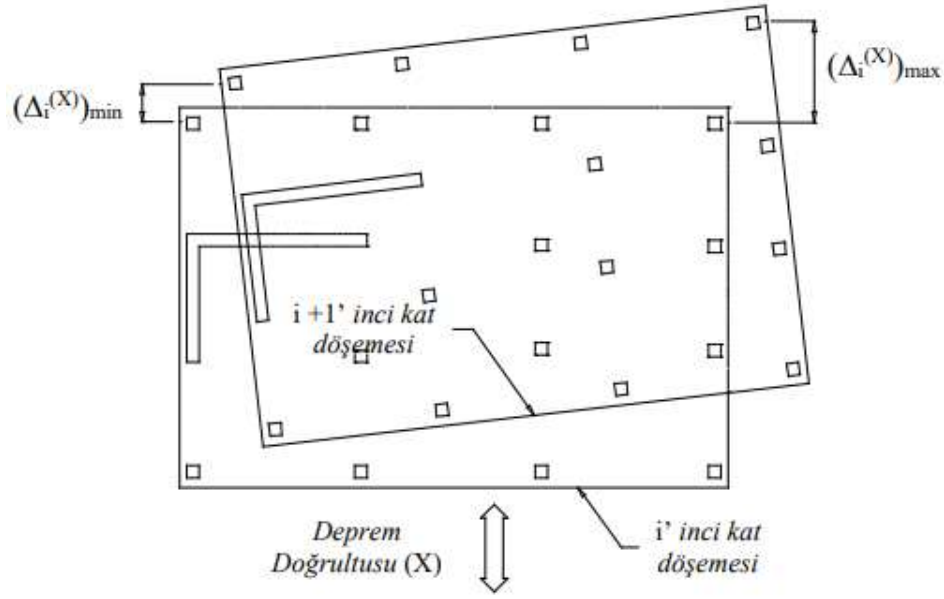
Gelişen yapı teknolojisi ve metotlarıyla, her geçen gün binalar daha yüksek katlı yapılar haline gelmekte ve bu akım da gelişmişliğin bir göstergesi olarak birçok insan tarafından kabul edilmektedir. Modern kontrol sistemler (uyarlı kütle sönümleyiciler, temel sismik izolatörler, vb.) ve daha esnek/dayanımlı malzeme kullanımıyla çok yüksek binaların inşasını mümkün kılmaktadır. Bu binaların ise genellikle sofistike ve düzensiz mimariye görünüş ile çokça

karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, bu tür yüksek katlı binalar için dinamik yüklemeler yani deprem veya rüzgâr yükleri, hayati bir vaziyet almaktadır [1].

Fiktif dış merkezlik, yapısal belirsizliklerden veya yer hareketi belirsizliğinden olabilen yapıya etkiyen ekstra bir burulma etkisidir. Birçok deprem yönetmeliğine göre, fiktif eksantriklik, deprem yönüne dik bina boyutunun bir yüzdesi (%5 veya %10) olarak dikkate alınmıştır ve bu varsayıma dayalı bir çözüm sağlamaktadır. Ancak bu değerlendirme bile, bu eksantriklik parametrelerini dikkate almak için yeterli olmayabilir [2–4]. Bu sebeple bu çalışmada, burulma düzensizliğini yeniden dikkate almak için frekans oranı (her yön için burulma frekansı/öteleme frekansı) ve etkili bir dönme yarıçapı tanımını içeren alternatif tasarım eksantriklik formülü önerilmiştir. Bu amaçla; aynı kat planı ve yapı elemanlarına sahip bir, üç ve beş katlı elastik binalar iki yönlü burulma etkisi altında deprem yer hareketinin tek yönlü spektrum analizleri yapılarak, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) tasarımına göre incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, TBDY tasarım parametreleri ile karşılaştırılmıştır.

2. TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE (TBDY-2018) GÖRE BURULMA DÜZENSİZLİĞİ

Burulma düzensizliği TBDY 2018'e göre döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmalarını durumunda **A1** – burulma düzensizliği şu şekilde tanımlanmıştır: “Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} ’nin 1,2’den büyük olması durumu (Şekil (1)’de görüldüğü gibi). $[\eta_{bi} = (\Delta_i^{(x)})_{max} / (\Delta_i^{(x)})_{ort} > 1,2]$. Görelî kat ötelemelerinin hesabı, \pm %5 ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak, 4.7’ye göre yapılacaktır.”[5].



Şekil 1. Burulma düzensizliği tanımı için ortalama ve maksimum görelî kat ötelenmelerinin gösterimi (Şekil TBDY 2018 yönetmeliğinden alınmıştır. [5])

$$(\Delta_i^{(X)})_{ort} = \frac{1}{2} \left((\Delta_i^{(X)})_{max} + (\Delta_i^{(X)})_{min} \right) \quad (1)$$

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{max}}{(\Delta_i^{(X)})_{ort}} \quad (2)$$

Ortalama görelî kat ötelenmesi Denklem (1)'de ve burulma düzensizliği katsayısı ise yukarıda Denklem (2)' de verilmiştir. Eğer $\eta_{bi} > 1,2$ den büyük ise dış merkezlik eşdeğer deprem yükü yönteminde burulma hesabıyla bölüm 4.7'e veya modal hesap yöntemiyle yapılacaksa 4.8'e göre yapılması TBDY yönetmeliğinde verilmiştir. Eğer dış merkezlik (fiktif eksantriklik) hesabı bölüm 4.7'e göre yapılacak olursa $1,2 < \eta_{bi} \leq 2$ olmak koşuluyla Denklem (3)'te verilen katsayı ile $\pm\%5$ ek dış merkezlik çarpılarak büyütülecektir.

$$D_{bi} = \left(\frac{\eta_{bi}}{1,2} \right)^2 \quad (3)$$

Ek dış merkezlik burulma momenti eş değer deprem yükü yöntemiyle hesap edilerek Denklem (4) görüldüğü gibi hesap edilip, deprem yükünün kaydırılması yerine, kütle merkezine etki ettirilerek ek burulma momenti etkisini dikkate alınmaktadır.

$$M_{ib} = F_{iE}^{(X)} e \quad (4)$$

Burada i 'inci kata ait x-yönündeki eşdeğer deprem yükü ($F_{iE}^{(X)}$), $\pm\%5$ ek dış merkezlik (fiktif eksantlik) (e) ve ek burulma momenti (M_{ib}) olarak verilmiştir. Modal hesap yöntemiyle bölüm 4.8'e göre ek burulma momenti ($\Delta m_{i\theta}$) Denklem (5)'e göre hesap edilmektedir. Burada m_i i 'inci kata ait odaklanmış küttedir.

$$\Delta m_{i\theta} = m_i e^2 \quad (5)$$

Burulma momenti düzensizliği genel olarak iki yöntemle dikkate alınmaktadır. İlk olarak eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesap edilen her bir kat için ek burulma momentleri hesap edilerek her bir kattın kütle merkezine ilave edilir. İkinci yöntemde ise kütle merkezinin konumunu her bir kat için belli bir miktar artırıp veya azaltılarak dikkate alınmaktadır.

3. YAPI DİNAMİĞİ VE MATEMATİKSEL MODELLEME

3.1. Hareket Denkleminin Elde Edilmesi

Yatay yönde tek yönlü veya çift yönlü deprem yüküne maruz kalan iki yönlü burulma düzensizliğine sahip tek katlı binanın hareket denklemi Denklem (6)'da verilmiştir. Bu bina analizlerde iki yönde yanal yer değiştirme ($\delta_x(t)$ ve $\delta_y(t)$) ve dönme ($\theta(t)$) dâhil olmak üzere üç serbestlik derecesine sahiptir. Denklem (6)'da M kütle, C sönüm, K rijitlik matrisini temsil etmektedir. Bunların ayanında $\delta(t)$ yatay yer değiştirme vektörünü bu vektörün zamana göre birinci derece türevi hız vektörünü ikinci derece türevi ise binanın ivme vektörünü, W ise deprem yükü input vektörünü ve $\ddot{x}_g(t)$ ise deprem zamana bağlı ivmesini sembolize etmektedir.

$$M\ddot{\delta}(t) + C\dot{\delta}(t) + K\delta(t) = -W\ddot{x}_g(t) \quad (6)$$

$$M = \begin{bmatrix} m_x & 0 & 0 \\ 0 & m_y & 0 \\ 0 & 0 & J_0 \end{bmatrix}, K = \begin{bmatrix} k_x & 0 & -e_{ny} \cdot k_x \\ 0 & k_y & e_{nx} \cdot k_y \\ -e_{ny} \cdot k_x & e_{nx} \cdot k_y & k_\theta \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$W = \begin{bmatrix} m_x \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ or } \begin{bmatrix} m_x & 0 \\ 0 & m_y \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \delta(t) = \begin{bmatrix} \delta_x(t) \\ \delta_y(t) \\ \theta(t) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$r_x = \frac{L_x}{\sqrt{12}}, r_y = \frac{L_y}{\sqrt{12}}, r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2} \quad (9)$$

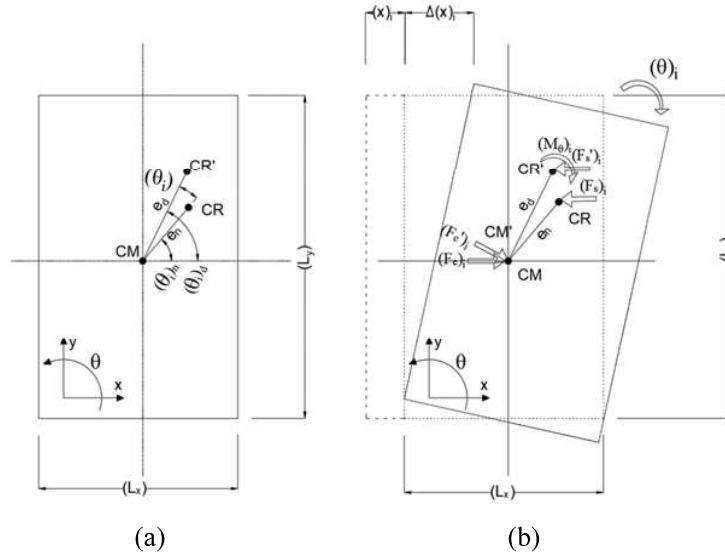
$$J_0 = m \cdot r^2 \quad (10)$$

$$k_\theta = k_x \cdot \frac{L_y^2}{4} + k_y \cdot \frac{L_x^2}{4} + k_x e_{ny}^2 + k_y e_{nx}^2 \quad (11)$$

Denklem (6-11) boyunca kullanılan diğer notasyonlar ise r_x ve r_y x- ve y-yönündeki dönme yarıçapını temsil ederken, r binanın toplam dönme yarıçapıdır. m_x ve m_y x- ve y-yönündeki binanın kütesini temsil ederken, J_0 binanın kutupsal kütle atalet momentini, k_x ve k_y x- ve y-yönündeki binanın rijitliğini temsil ederken, k_θ binanın burulma rijitliğini temsil etmektedir. Bunlara ilaveten e_{nx} ve e_{ny} x- ve y-yönündeki binanın geometrik eksantrikliğini, e_n ise binanın mutlak geometrik eksantrikliğini göstermektedir. Sönümlenme oranı ise TBDY 2018’de de belirtildiği gibi %5 olarak alınmıştır.

3.2. Eksantriklik Hesabı

Bilindiği üzere deprem yükü yapıya kütle merkezden (CM) etki etmekteyken yapı bu kuvvete rijitlik merkezinde (CR) karşılık vermektedir. Bu iki merkez arasındaki çakışma eksikliği yapıda burulma düzensizliğine yani eksantrikliğe yol açmaktadır. Şekil (2)’te x-yönündeki uzunluğu L_x , y-yönündeki uzunluğu L_y olan iki yönlü burulma düzensizliğine sahip olan binaya kat planları verilmiştir. Deprem yükü yapıya uygulanmadan önce, statik olarak stabil dengedir, Şekil (2a)'da görüldüğü gibi. Şekil (2b)'de de görüldüğü gibi yapı, x-yönünde uygulanan deprem yüküyle sonra x-yönünde $(x(t))$ ve dönme $(\theta(t))$ tepkisiyle depreme yanıt vermiştir.



Şekil 2. Tasarım ve geometrik eksantriklik gösterimi; (a) deprem yükü yapıya x-yönünden etmeden önceki durum (b) ise deprem yük etki ettiği andaki durum.

Yapımız bu iki durum içinde dengede olduğu ve elastik limit içerisinde depreme cevap verdiği kabul edilmektedir. Buradaki tasarım eksantrikliğini bulmak için dinamiğin temel kanunu olan Newton ikinci yasası kütle merkezi ve rijitlik merkezi arasında yazacak olursak:

$$\sum F_i = 0 \quad (12)$$

$$F_e = F_s = k_x \cdot x(t) \quad (13)$$

Eğer yapıda burulma düzensizliği olmadığı durum için yapıya kütle merkezinden etkiyen eşdeğer deprem yükü (F_e) toplam o kattaki gerilme kuvvetine (F_s)'ye eşittir. Burada deprem yükü iki yönlü eksantrik olan binaya etki ettiği durumda ise gerilme kuvveti (F_s') ile burulma momenti ise (M_θ) ile gösterilmiştir. Bunlar aşağıda Denklem (14)-(15) ile gösterildiği gibi formüle edilmiştir.

$$F_s' = k_x \cdot (x(t) + \Delta x(t)) \quad (14)$$

$$M_\theta = k_\theta \cdot \theta(t) = \left[\left(k_x \cdot \frac{L_y^2}{4} + k_y \cdot \frac{L_x^2}{4} + k_x e_{ny}^2 + k_y e_{nx}^2 \right) \right] \cdot \theta(t) \quad (15)$$

Burulmadan kaynaklanan y-yönünde oluşan gerilme kuvveti ile burulmadan kaynaklanan eş değer deprem yükünün y-yönünde oluşacak kuvvetleri birbirine eşittir ve birbirini söndürdüğü kabul edildiği için binanın y-yönündeki hareketi dikkate alınmamıştır. Deprem kuvveti yapıya uygulandıktan sonra yapıdaki denge durumuna aşağıdaki diğer bir denge denklemi kullanılarak tasarım burulma düzensizliği elde edilmiştir.

$$\sum M_i = 0 \quad (16)$$

$$F_s' \cdot e_{dy} - M_\theta = 0 \quad (17)$$

$$k_x \cdot (x(t) + L_y \theta(t)) \cdot e_{dy} - k_\theta \cdot \theta(t) = 0 \quad (18)$$

Daha sonra, tasarım eksantrikliği y-yönü için (e_{dy}), Denklem (19)'da görüldüğü gibi elde edilmiştir.

$$e_{dy} = \frac{k_\theta}{k_x} \cdot \frac{\theta(t)}{(x(t) + L_y \theta(t))} \quad (19)$$

TBDY 2018'e göre, burulma düzensizliği katsayısı (D_{bi}) $1.2 < \eta_{bi} \leq 2$ olmak koşuluyla Denklem (3)'te verilen katsayı ile $\pm\%5$ deprem doğrultusuna dik bina boyutu ile

büyütülmektedir. En büyük görelî kat ötelemesi (δ_{max}) minimum kat ötelenmesi ise (δ_{min}) ve o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemesi de (δ_{avg}) ile gösterilmiştir.

$$\delta_{max} = x(t)_{max} + L_y \theta(t)_{max} \quad (20)$$

$$\delta_{avg} = x(t)_{max} + \frac{L_y}{2} \theta(t)_{max} \quad (21)$$

$$\delta_{min} = (x)_i = x(t)_{max} \quad (22)$$

$$\delta_{avg} = \frac{(\delta_{max} + \delta_{min})}{2} \quad (23)$$

$$D_{bi} = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{avg}} \right)^2 \quad (24)$$

Burada, $x(t)_{max}$ and $\theta(t)_{max}$ zaman serisi davranış analiz yöntemi (THA)'da sırasıyla x-yönündeki maksimum yatay yer değiştirme ve maksimum dönmedir. Yatay yer değiştirmeyi dönme cinsinden ifade edecek olursak Denklem (25)'i elde ederiz.

$$x(t)_{max} = \left(\frac{1 - 0.6\sqrt{D_{bi}}}{1.2\sqrt{D_{bi}} - 1} \right) L_y \theta(t)_{max} \quad (25)$$

Rijitlik oranı (k_θ/k_x) efektif dönme yâri capı (r_{ef})'i kullanarak aşağıdaki düzenlemeler yapılarak Denklem (25)'deki gibi yazılabilir. Burada Ω_x ve Ω_y binanın burulma frekansı (w_θ)'nın sırasıyla yanal frekansları (w_x) ve (w_y)'e oranidir.

$$\Omega_x = \frac{w_\theta}{w_x}, \Omega_y = \frac{w_\theta}{w_y} \quad (26)$$

$$r_{ef} = \sqrt{r^2 + e_n^2} \quad (27)$$

$$w_\theta = \sqrt{\frac{k_\theta}{r_{ef}^2 \cdot M}}, w_x = \sqrt{\frac{k_x}{M}} \quad (28)$$

$$\frac{k_\theta}{k_x} = (\Omega_x \cdot r_{ef})^2 \quad (29)$$

Y-yönündeki tasarım eksantrikliğini bulmak için Denklem (19)'da elde edilen Denklem (25) ve Denklem (29) yerine konulursa, y-yönündeki tasarım eksantrikliği Denklem (31)'de bağlantıyla tahmin edilebilir.

$$e_{dy} = \frac{k_\theta}{k_x} \cdot \frac{\theta(t)}{(x(t) + L_y \theta(t))} = (\Omega_x \cdot r_{ef})^2 \frac{\theta(t)}{\left[\left(\frac{1 - 0.6\sqrt{D_{bi}}}{1.2\sqrt{D_{bi}} - 1} \right) + 1 \right] L_y \theta(t)} \quad (30)$$

$$e_{dy} = \frac{(\Omega_x \cdot r_{ef})^2}{L_y} \left(\frac{1.2\sqrt{D_{bi}} - 1}{0.6\sqrt{D_{bi}}} \right) \quad (31)$$

Denklem (31)'te verilen parantez içindeki terime $\gamma = \left(\frac{1.2\sqrt{D_{bi}} - 1}{0.6\sqrt{D_{bi}}} \right)$ lamda ile sembolize edersek yeni basitleştirilmiş bağlantı Denklem (32)'da olduğu gibi verilebilir. Burada bulunacak tasarım eksantrikliği y-yönündeki geometrik eksantrik ile y-yönündeki fiktif eksantriklik olarak tanımlanmıştır. Yani Denklem (32) bulunan tasarım eksantrikliği aynı zamanda $e_{dy} = e_{ny} + e_{acy}$ ' ye eşittir. Tek yönlü deprem yükleme durumu için x-yönündeki eksantriklik geometrik eksantrikliğe eşit varsayılmıştır Denklem (34)'te görüldüğü gibi.

$$e_{dy} = \frac{(\Omega_x \cdot r_{ef})^2}{L_y} \gamma \quad (32)$$

$$e_{dx} \cong e_{nx} \quad (33)$$

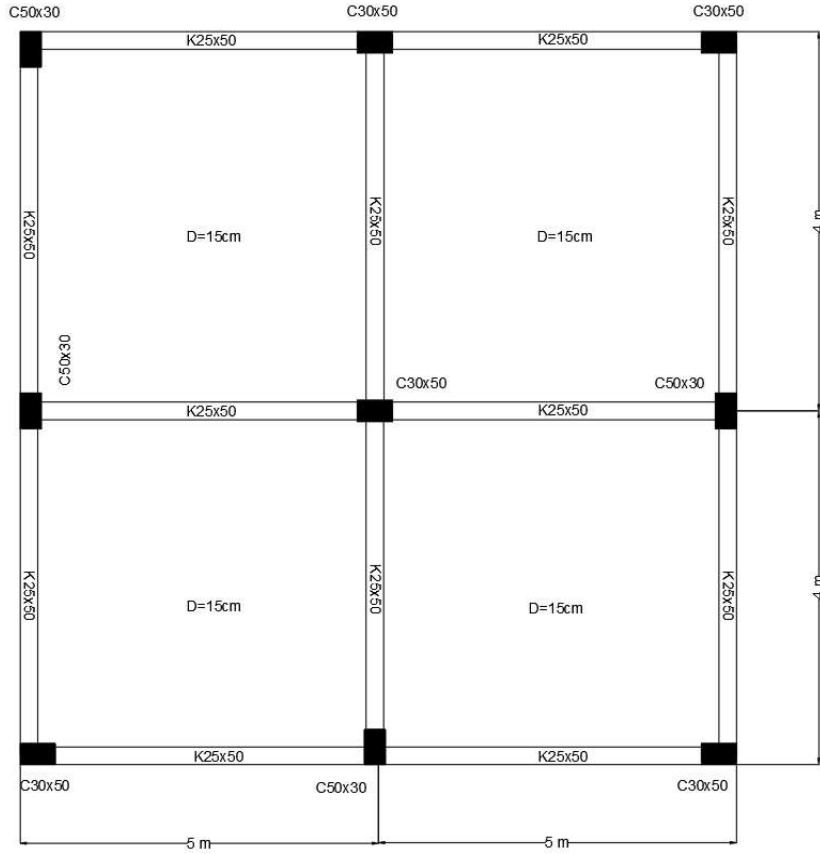
Deprem yükünün sadece y-yönünden etkidiği durumda ise tasarım eksantrikliği x-ve y-yönü için aşağıdaki Denklem (34) ve Denklem (35)'deki gibi ifade edilmiştir.

$$e_{dx} = \frac{(\Omega_y \cdot r_{ef})^2}{L_x} \gamma \quad (34)$$

$$e_{dy} \cong e_{ny} \quad (35)$$

4. MODEL BINALARIN TANITILMASI

Bu çalışma kapsamında yapılacak olan eş değer deprem yükü yöntemi ve spektrum analizlerinde kullanacak aynı kalıp planına sahip Şekil (3)'te görüldüğü gibi konut türünde tek katlı, üç katlı ve beş katlı yapılar Sap 2000'de modellenmiştir [6]. Bu model binalar için x-yönündeki açıklıklar 5 m iken y-yönündeki açıklıklar 4 m olarak belirlenmiştir. Ayrıca birinci kat yüksekliği 3,5 m iken eğer bina biden fazla kata sahipse diğer katların yüksekliği 3 m olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Bir, üç ve beş katlı Model binalara ait kalıp planı

Model binaların beton sınıfı C-20, donatı sınıfı S-420 ve sargı donatısı $\Phi 10/150$ mm olarak dikkate alınmıştır. Plandaki kolanların boyutu (500x300 ya da 300x500 mm) olarak belirlenmiş ve kolon oryantasyonları farklı kullanılarak binada çift yönlü geometrik eksantriklik oluşturulmuştur. Bu yapılardaki bütün kirişler aynı kesite (250x500 mm) sahiptirler ve döşeme kalınlıkları 150 mm olarak belirlenmiştir. Kolon ve kiriş elemanlara %1-1,5 arasında seçilmiştir. Çözümlenelerde kolon elemanlarda PM_2M_3 , kiriş elemanlarda M_3 tasarım durumu dikkate alınmıştır. Bunun yanında TBDY-2018'e göre çatlamış kesit reşitlikleri kolonlar için 0,7; kirişler için 0,35 ve döşemeler için 0,25 ile çarparak azaltılmıştır.

Yönetmelikte de belirtildiği gibi burulma düzensizliği hesabı yapılırken her bir kat için rijit diyafram ataması yapılmıştır. Bunun yanında kütle merkezi taşıyıcı elemanların ağırlıkları ihmal edilerek geometrik merkez olarak belirlenmiştir. Döşemelere atanmış ölü yük katsayısı $G=4,5$ kN/m² ve hareketli yük katsayısı ise $Q=2$ kN/m² olarak atanmıştır. Ayrıca hareketli yük kütle katılım katsayısı da 0,3 olarak alınmıştır. Yapılan analiz ve hesaplamalar sonucu model binalara ait elde edilen geometrik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Model binalara ait hesaplanan geometrik değerler

Model bina	Kat no	Geometrik eksantriklik			Modal frekans (Hz)			Frekans oranı		Etkin dönme yarıçapı			
		e_{nx} (cm)	e_{ny} (cm)	e_n (cm)	x-yönü	y-yönü	Θ -yönü	Ω_x	Ω_y	r_x	r_y	r	r_{ef}
1- Katlı	1. kat	13.70	31.80	34.63	3.21	3.42	4.29	1.34	1.25				4.04
3- Katlı	1. kat	6.06	36.90	37.39									4.07
	2. kat	11.14	24.55	26.96	1.21	1.31	1.66	1.36	1.27				3.96
	3. kat	14.54	17.83	23.01									3.93
5- Katlı	1. kat	6.03	37.00	37.49						2.9	2.3	3.7	4.07
	2. kat	11.06	24.70	27.06									3.96
	3. kat	12.60	19.30	23.05	0.73	0.79	1.01	1.38	1.28				3.92
	4. kat	13.50	16.47	21.30									3.91
	5. kat	15.06	13.89	20.49									3.90

4.1. Spektrum Analizi

Model binaların TBDY-2018'e göre eş değer deprem yükü yöntemi (statik-lineer) ve spektrum (dinamik-lineer) analizleri yapılmıştır. Spektrum analiz bir dinamik analiz olup zaman serisi davranış analiz yöntemi (THA)'nın maksimum değerini referans olarak mühendislerimize hızlı bir işlem yeteneği sunmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada THA yerine spektrum analizi (SA) seçilmiştir. Bu analizde kullanılacak parametreler; harita spektral ivme katsayıları $S_s=0,75g$ ve $S_I=0,33g$ olarak belirlenmiştir. Zemin sınıfı **B** olarak seçilmiştir. Geçiş periyodu $T_L=6$ sn., taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8$, bina önem katsayısı $I=1$, ve dayanım fazlalığı katsayısı $D=3$ olarak belirlenmiştir. İhtiyaç duyulması halinde diğer parametreler bu bilgiler ışığında TBDY-2018'dan türetilmiştir. Bina her iki yatay yönü için periyodu aşağıdaki Denklem (37) ile tahmin edilmiştir. Burada H_n binanın toplam yüksekliği, T_a ise binanın tahmini periyodu simgelemektedir. Belirlenen bu yaklaşık periyoda göre model binaların spektrum analizleri yapılmıştır [7].

$$T_a = 0,0488(H_n)^{0,75} \quad (36)$$

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışma kapsamında seçilen model binaların ilk olarak Eşdeğer Statik Analiz (ESA) yöntemiyle hem x- yönü hem de y-yönü için çözümlenmeler Sap 2000 yardımıyla yapılmıştır. Burada elde edilen taban kesme kuvvetleri spektrum analizlerinde elde edilen taban kesme kuvvetlerine referans olarak alınmıştır. Böylelikle taban kesme kuvvetleri statik ve dinamik yüklemeler için eşitlenmiştir. Bu nedenle spektrum yöntemiyle elde edilen düzlemdeki dönme dizayn eksantriklikten kaynaklanan dönme olarak referans olarak kabul edilmiştir. Önerilen (Ön-ESA) ve eşdeğer deprem yüküne (Es-ESA) TBDY-2018 bölüm 4.7'e göre elde edilen dış merkezlik etkilerini statik yüklemeye kütle merkezine ekstra bir doneme momenti etki ettirilerek bunların performanslarını spektrum analizden (RSA) elde edilen dönemeye kıyasları yapılmıştır Tablo 2 ve Tablo 3' te görüldüğü gibi. Eğer dış merkezlik TBDY-2018 bölüm 4.8'e göre kütle merkezini $\pm\%5$ kaydırarak yapılan yükleme durumuna da M-ESA diye adlandırılmıştır.

Tablo 2. Tek katlı ve üç-katlı yapılara ait yapısal tepkilerin önerilen ve mevcut burulma eksantrikliklerinin karşılaştırılması

Model bina	Kat no	Tasarım Yon.	Tab. Kes. Kuv. (kN)		Yanal ve Burulma Ötelenmeleri			Fark (%)
			T _x	T _y	U _x (m)	U _y (m)	R _z (rad.)	
1-Katlı	1.Kat	Es-ESA	-214.94	-214.94	3.53E-03	3.13E-03	-1.63E-04	5.8
		M-ESA	-214.94	-214.94	3.52E-03	3.09E-03	-4.30E-05	-72.1
		On-ESA	-214.94	-214.94	3.53E-03	3.13E-03	-1.53E-04	-0.6
		RSA	-214.34	-214.16	3.53E-03	3.11E-03	-1.54E-04	Ref.
	1.Kat	Es-ESA	-560.01	-560.01	1.10E-02	9.64E-03	-4.66E-04	27.0
		M-ESA	-560.01	-560.01	1.09E-02	9.53E-03	-1.03E-04	-71.9
		On-ESA	-560.01	-560.01	1.10E-02	9.60E-03	-3.28E-04	-10.6
		RSA	-559.87	-560.83	1.08E-02	9.51E-03	-3.67E-04	Ref.
3-Katlı	2.Kat	Es-ESA			2.24E-02	1.93E-02	-8.93E-04	28.5
		M-ESA	X	X	2.23E-02	1.91E-02	-1.76E-04	-74.7
		On-ESA			2.23E-02	1.92E-02	-6.13E-04	-11.8
		RSA			2.19E-02	1.89E-02	-6.95E-04	Ref.
	3.Kat	Es-ESA			3.00E-02	2.57E-02	-1.16E-03	29.9
		M-ESA	X	X	2.99E-02	2.55E-02	-2.15E-04	-76.0
		On-ESA			2.99E-02	2.56E-02	-7.85E-04	-12.4
		RSA			2.91E-02	2.50E-02	-8.96E-04	Ref.

Tablo (2) ve Tablo (3)'de de görüldüğü gibi tek-katlı, üç-katlı ve beş-katlı binalara ait taban kesme kuvvetleri, her bir kat için dönme ve yanal ötelenmeler verilmiş olup dış merkezlik etkisini farklı yöntemin metotları kullanılarak elde edilen sonuçlarda tablolarda verilmiştir. Tek katlı bina için dış merkezlik etkisi M-ESA yöntemiyle dikkate alınırsa tasarım eksantrikliği RSA'ya göre yaklaşık olarak %72 oranında azımsamaktadır. Es-ESA metodu ise yaklaşık olarak %6 oranında fazla değer vermektedir. Önerilen yöntemde ise (On-ESA) yaklaşık olarak istenilen RSA a değeri ile birbirine çok yakınsaktır. Üç katlı bina için M-ESA

metodu yine yaklaşık %72 ile %76 arasında tasarım eksantrikliğini küçümsemektedir. Es-ESA yönteminde ise dış merkezlik etkisi %27 ile %30 arasında fazla tahmin söz konusu olmakla birlikte M-ESA yöntemine göre güvenli bölgede kalmaktadır. Önerilen metot (On-ESA) ise dönme etkisini tahmin etmede en iyi performansa sahip olmakla birlikte tasarım eksantrikliğini tahmin etmede yaklaşık olarak %10 ile %12 arasında RSA yöntemine kıyasla azımsamaktadır.

Tablo 3. Beş-katlı yapıya ait yapısal tepkilerin önerilen ve mevcut burulma eksantrikliklerinin karşılaştırılması

Model bina	Kat no	Tasarım Yon.	Tab. Kes. Kuv. (kN)		Yanal ve Burulma Ötelenmeleri			Fark (%)
			T _x	T _y	U _x (m)	U _y (m)	R _z (rad.)	
5-Katlı	1.Kat	Es-ESA	-657.62	-657.62	1.36E-02	1.19E-02	-5.62E-04	41.2
		M-ESA	-657.62	-657.62	1.35E-02	1.17E-02	-1.21E-04	-69.6
		On-ESA	-657.62	-657.62	1.35E-02	1.18E-02	-3.46E-04	-13.1
		RSA	-657.61	-658.39	1.32E-02	1.16E-02	-3.98E-04	Ref.
	2.Kat	Es-ESA			5.46E-02	4.65E-02	-2.01E-03	48.7
		M-ESA	X	X	5.43E-02	4.63E-02	-3.38E-04	-75.0
		On-ESA			5.45E-02	4.64E-02	-1.18E-03	-12.8
		RSA			5.09E-02	4.38E-02	-1.35E-03	0.0
	3.Kat	Es-ESA			6.13E-02	5.22E-02	-2.25E-03	50.7
		M-ESA	X	X	6.10E-02	5.19E-02	-3.68E-04	-75.3
		On-ESA			6.12E-02	5.21E-02	-1.31E-03	-12.1
		RSA			5.68E-02	4.87E-02	-1.49E-03	Ref.
	4.Kat	Es-ESA			2.95E-02	2.54E-02	-1.14E-03	43.7
		M-ESA			2.94E-02	2.52E-02	-2.16E-04	-72.8
		On-ESA	X	X	2.94E-02	2.53E-02	-6.85E-04	-13.7
		RSA			2.83E-02	2.45E-02	-7.94E-04	Ref.
	5.kat	Es-ESA			4.37E-02	3.74E-02	-1.63E-03	46.3
		M-ESA			4.35E-02	3.71E-02	-2.87E-04	-74.3
		On-ESA	X	X	4.36E-02	3.72E-02	-9.67E-04	-13.4
		RSA			4.13E-02	3.55E-02	-1.12E-03	Ref.

Beş katlı bina için yine M-ESA metodu dönme etkisini RSA metoduna kıyasla yine yaklaşık %70 ile %75 olması gereken değerden daha düşüktür. Es-ESA yönteminde ise beş-katlı bina için yine fazla tahmin söz konusu iken bu kez bir ve üç-katlı binalara kıyasla artış miktarı önemli miktarda artmaktadır. Es-ESA yöntemindeki fazla tahmin %41 ile %51 arasındadır. Bu yöntem yine güvenli bölgede kalsa bile bu fazla tahmin yüzünde hem gerçeklikten hem de ekonomik olarak bir dezavantaja sebep olmaktadır. Önerilen metot (On-ESA) ise dönme etkisini tahmin etmede yine en iyi performansa sahip olmakla birlikte yaklaşık olarak yine %12 ile %13 arasındadır. Bu değerler bir, üç ve beş-katlı binalar için yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Bu sebeple bu çalışmada önerilen metot farklı katlı binaların dış merkezlik etkisini hesaba katmada daha iyi performansa sahip olmakla birlikte yönetmelikte belirtilen iki yöntemle yani (M-ESA ve Es-ESA) yöntemleriyle kıyasları yapılmıştır. Bu çalışmada görüldüğü gibi M-ESA yöntemi dış merkezlik etkisini önemli derece azımsamakta Es-ESA ise özellikle yüksek katlı binalar için dış merkezlik etkisini önemli derecede abartmaktadır. Bu

sebeple önerilen metodun (On-ESA) %20 artırılarak tasarım eksantrikliğinin dikkate alınması daha güvenli bir yöntem olacağı görülmüştür.

6. SONUÇLAR

Önerilen metot (On-ESA)'nın performans analizi aynı kat planına sahip bir, üç ve beş katlı çift yon geometrik eksantrikliğe sahip binalara uygulanmıştır. Bu çözümlerden elde edilen sonuçlar kısaca aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- TBDY-2018'de dış merkezlik etkisini hesaba katmak için önerilen metotlardan M-ESA metodu ile katlardaki burulma etkisi RSA'ya kıyasla olması gerekenden daha az bulunmuştur. Bu sebeple yönetmelikteki bu yöntem dış merkezlik etkisi tam olarak temsil etmekte eksik kaldığı anlaşılmıştır.
- Es-ESA metodu kullanıldığında ise burulma etkisi önemli derecede olması gerekenden daha fazla bulunmuştur. Özellikle kat sayısı fazla olan binalar için bu durum dikkat edilmesi gereken bir husustur. Çünkü aradaki makas aralığı 2 ve 3 kata kadar çıkabilmektedir. Bu durum her ne kadar güvenli olsa da burulma etkisini tahminde performans açısından düşük seviyededir.
- Önerilen metodun kullanılması durumunda (On-ESA) dış merkezlik etkisi yaklaşık olarak %12-%15 arasında daha az bulunmuştur. Ancak kat sayısının artması durumunda bu aralık hemen hemen sabit kaldığı için tasarım eksantrikliğini %20 artırılarak bu yöntem revize edilip daha sağlam bir metot haline getirilebilir.

7. KAYNAKÇA

- [1] Akyürek O. Lateral and Torsional Seismic Vibration Control for Torsionally Irregular Buildings. Florida Institute of Technology, 2019.
- [2] Chandler AM, Hutchinson GL. Torsional coupling effects in the earthquake response of asymmetric buildings. Eng Struct 1986;8:222–36. doi:10.1016/0141-0296(86)90030-1.
- [3] FEMA 750. NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures (FEMA P-750), 2009 Edition. 2009.
- [4] Moon DS. Integrated Seismic Assessment and Design Of Plan-Irregular Structures. University of Illinois at Urbana-Champaign, 2012.
- [5] AFAD ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. vol. 30364. 2018.

- [6] Computers and Structures Inc. SAP2000 Integrated Software for Structural Analysis and Design 2020.
- [7] American Society of Civil Engineers. Minimum design loads for buildings and other structures. ASCE 7-10 2000:1–330. doi:10.1061/9780872629042.