



Deprem Derzleri ve Çekiçleme Etkisinin Kentsel Dönüşüm Projeleri ile Yapı Stokları Kapsamında Değerlendirilmesi

Ahmet Yavuz ŞAHİN^{1*}

¹*İnşaat Teknolojisi / Gelişim Meslek Yüksekokulu, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Türkiye*

**(a.yavuzsahin@gmail.com) Başlıca yazarın mail adresi*

Özet – Türkiye’de son yıllarda özellikle birinci derece deprem bölgesi olan şehirler başta olmak üzere bir çok şehirde kentsel dönüşüm projeleri gerçekleştirilmektedir. Kentsel dönüşüm projelerinin uygulanmasında ki başlıca etmen kullanım ömrünü tamamlamış olan yapılar ve çarpık kentleşme sorunsalıdır. Kentsel dönüşüm projelerinin hızla hayata geçirilmesi beklenen İstanbul depremine de hazırlık olarak bazı kaynaklarda ifade edilmektedir. İstanbul’da yapılar genellikle bitişik nizam şeklinde konumlandırılır. Yapının, komşu yapı ile bağımsız çalışabilmesi için deprem derzleri TBDY 2018’de “4.9.3.1 ve 4.9.3.2’ye göre elverişsiz bir sonuç elde edilmedikçe derz boşlukları, her bir kat için komşu blok veya binalarda elde edilen yerdeğiştirmelerin karelerinin toplamının karekökü ile tanımlanan α katsayısının çarpımı sonucu çıkan değerden az olmamak” koşulu bulunmaktadır. Aynı zamanda “mevcut eski bina için hesap yapılmasının mümkün olmaması durumunda eski binanın yerdeğiştirmeleri, yeni bina için aynı katlarda hesaplanan değerlerden daha küçük alınmayacaktır.” ifadesi ile her iki yapı içinde deprem derzlerinin hesaplanarak deprem sırasında binaların bağımsız salınım göstermeleri beklenmektedir. Çalışmamıza konu olan problem yeni ve eski yapıların bitişik nizam olarak yapılması, komşu yapıların veya yapı bloklarının kat döşemelerinin farklı seviyelerde olması, gerekli deprem derzlerinin bırakılmaması ve olası bir deprem yada yapı hareketinde gerçekleşebilecek olan çekiçleme etkisi nedeniyle yapı hasar durumunun değerlendirilmesidir. Çalışmamızda çekiçleme etkisi literatür ile desteklenerek, Sap2000 programında farklı kat yüksekliklerine sahip 3-6-9 katlı yapılar ZB zemin sınıfında bitişik nizam olarak modellenmiş ve sonuçların doğruluğu için tek doğrultuda 11 farklı gerçek depremler zaman tanım alanında yapıya etki ettirilmiştir. Çalışmanın sonucunda modelleme sırasında hesaplanan derz mesafelerinin aşıldığı ve çekiçleme etkisini ivmelendirdiği görülmüştür. Çekiçleme etkisinin önüne geçebilmek için derz mesafelerinin dinamik analiz metodları ile ayrı incelenmesinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

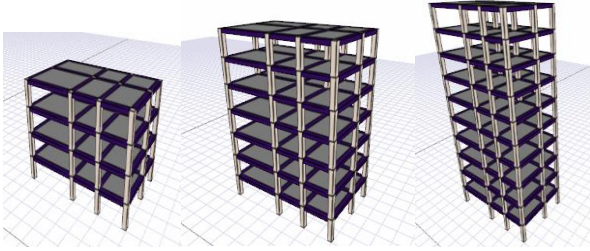
Anahtar Kelimeler – Deprem Derzi, Çekiçleme Etkisi, Kentsel Dönüşüm, Time History, TBDY 2018

I. GİRİŞ

1999 depreminden sonra Türkiye’de deprem yönetmelikleri bağlamında birçok yasal değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Özellikle 1999 depremi sonrası yıkılan yapıların betonu oluşturan malzemeler başta olmak üzere, beton ve donatı analizlerinde dönemin yönetmelik şartları sağlanmadığı tespit edilmiştir. Buradan yola çıkılarak ülke geneli 1999 ve öncesi yapıların kentsel dönüşüm ile revizyonlarına başlanmıştır.

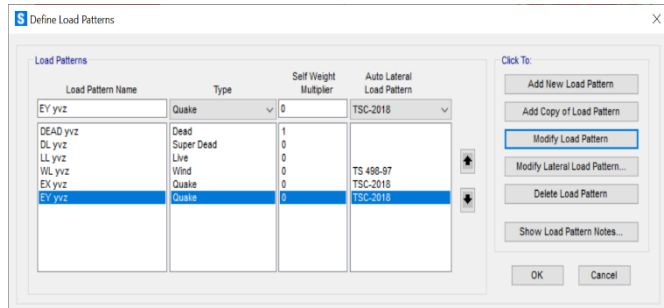
Fakat gerek kentsel dönüşüm projelerinin maliyeti gerekse yapı sahiplerinin veya oturma sahiplerinin anlaşmazlığı neticesinde bu girişimde ülke genelinde zaman zaman sekteye uğramıştır. Kentsel dönüşüm projeleri eski yapıların günümüz şartnamesine ve yönetmeliklerine uygun ve depreme dayanıklı yapılar yapılması başta olmak üzere çarpık kentleşmesinde önüne geçebileceği öngörülen bir projedir. Fakat kentsel dönüşüm uygulamaları da maalesef genel anlamda rant

projeleri durumuna gelmiştir. 1999 öncesi ve sonrası yapılan yapılarda gerek kat yükseklikleri farklı gerek bitişik nizam yapılmaları gerekse deprem derzi mesafeleri açısından bir çok farklılıklar bulunmaktadır. Özellikle bitişik nizam yapılarda kat yüksekliklerinin farklı olması deprem sırasında yapının göstermiş olduğu davranış nedeniyle bir çekiçleme etkisi söz konusu olabilmektedir. Çekiçleme etkisi farklı kat yüksekliklerine sahip yapıların deprem sırasında bir birlerine “hammer” “çekiç” etkisi ile taşıyı elemanlarına zarar vermesi olarak tanımlanabilir. Söz konusu etki çalışmamıza problem olarak görülmüş ve bu kapsam aynı kalıp planına fakat farklı kat yüksekliğine sahip bitişik nizam yapılar TBDY 2018’ göre modellenmiş ve 11 farklı deprem ile analiz edilerek davranışları incelenmiştir.



Şekil 1. Modellenen Yapılar

Modellenen yapıları bitişik nizam durumunda yapılan analizler sonucunda yapısal davranışları incelenerek gerekli tartışmalar yapılmıştır. Yapıların kolon boyutları 40x40cm beton sınıfı C35 3-6-9 kat olarak 280-300-320 cm kat yüksekliklerine sahip olacak şekilde modellenmiştir. Yapıların taban alanı 120m²’dir. Yapıya etkiletirilen yükler ve yükleme kombinasyonları aşağıda verilmiştir.



Şekil 2. Yükler ve Yükleme kombinasyonları

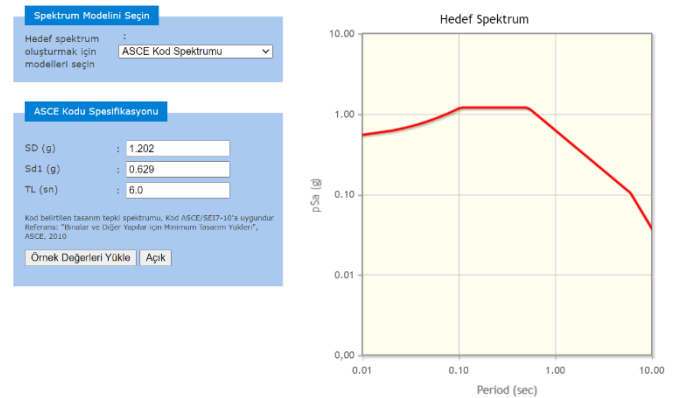
II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmamızın yapısal tasarım ve analiz kısmında SAP 2000 bilgisayar programı kullanılmıştır. Time History analiz sonuçlarının daha gerçekçi

olabilmesi adına deprem kayıtlarının doğru seçilmesi ve spektrum ölçeklendirmesinin yapılması gerekmektedir. Bu analiz metodunda ölçümün alındığı istasyon, istasyonun depreme uzaklığı, zeminin tipi ve yapısı gibi parametreler oldukça önemlidir. Doğal deprem kayıtları “Pacific Earthquake Engineering Research Center” olarak biline veri tabanından seçilmiştir. Yüksek büyüklüğe sahip depremlerin seçimi yapının davranışının zaman tanım alanında daha net görülebilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle seçilen depremler zemin sınıfına uygun olacak şekilde fitrelenmiş, Afad veri tabanı spektrum değerleri göz önünde bulundurularak 6 ile 8 büyüklüğünde ki depremler kayıtları seçilmiştir. Seçilen deprem kayıtları Tablo 1. ‘de verilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği gereği zaman tanım alanında gerçekleştirilecek hesaplamalarda en az 11 deprem verisi ile çalışılması önerildiğinden mevcut tasarlanan yapılara 11 x doğrultusu 11 y doğrultusunda olmak üzere toplam 22 etki ve 11 deprem etkiletirilmiştir.

Mevcut yapıların İstanbul ili Bakırköy ilçesi’nde yapılması planlanmıştır. Bakırköy ilçesinin seçilme nedeni Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF)’nda beklenen İstanbul depremi muhtemel etkilerini yakından görebilme olanağı sağlayabilmektir. Kırılması beklenen faya kuş uçuşu 13,8 km uzaklıkta bulunması Bakırköy ilçesinin seçilmesine bir diğer etmen olarak ifade edilebilir. Yapımın yapılacağı bölgede ki SDS : Kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısı ile, SD1 : 1.0 saniye periyod için tasarım spektral ivme katsayısı ve TL : yatay elastik tasarım spektrum süresi 6,0sn olarak veri tabanına işlenmiştir.

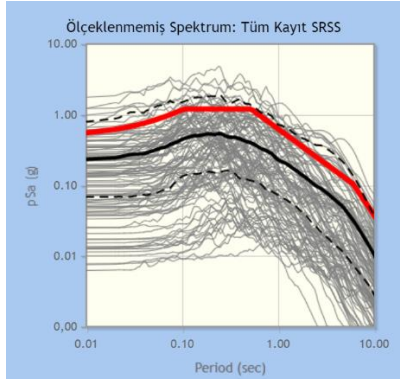
Verilerin işlenmesi sonrası hedef spektrum grafiği aşağıdaki gibidir.



Şekil 3. Bakırköy ilçesine göre hedef spektrum grafiği

Hedef spektrum belirlendikten sonra spektrum grafiğimize ve zemin sınıfımıza en uygun deprem

kayıtları seçilmiştir. Yüksek büyüklükteki depremleri temsil etmesi amacıyla 6-8 büyüklük arasındaki depremler ve proje koşulları gereği 11 adet deprem kaydı seçilmiştir [1].



Şekil 4. Spektrum Grafiği Ve Zemin Sınıfına En Uygun Deprem Kayıtları

$SDS = SS \times FS = 1.161 \times 1.036 = 1.202$, $SD1 = S1 \times F1 = 0.317 \times 1.983 = 0.629$ değerlerini içeren spektrum Şekil 2. de kırmızı olarak görülmektedir. Yapımıza uygulayacağımız depremlerde gerçekçi bir sonuç sağlayabilmek adı hedef spektruma en yakın değerde ki deprem kayıtları seçilmiştir [2].

Tablo 1. Seçilen Deprem Kayıtları

Sıra	Deprem	Tarih	İstasyon	Mag.
1	Morgan Hill	1984	Coyote Lake Dam - Southwest Abutment	6,19
2	Managua, Nicaragua-01	1972	Managua, ESSO	6,24
3	Northern Calif-03	1954	Ferndale City Hall	6,5
4	Kobe, Japan	1995	Abeno	6,9
5	Imperial Valley-02	1940	El Centro Array	6,95
6	Trinidad	1980	Rio Dell Overpass, E Ground	7,2
7	El Mayor-Cucapah, Mexico	2010	MICHOACAN DE OCAMPO	7,2
8	Landers	1992	Baker Fire Station	7,28
9	Manjil, Iran	1990	Abbar	7,37
10	Kocaeli, Turkey	1999	Izmit	7,51
11	Denali, Alaska	2002	TAPS Pump Station	7,9

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamında, Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)'nin belirlenebilmesi amacıyla, ZB zemin sınıfı deprem yer hareketi düzeyinde elde edilen parametreler aşağıda gösterilmektedir [2].

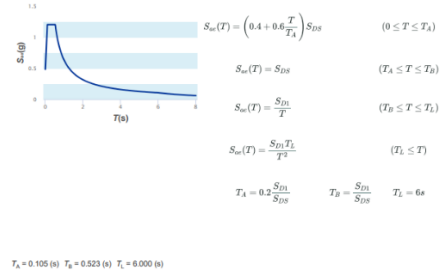
$$S_{DS} = S_S F_S = 1.161 \times 1.036 = 1.202$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.317 \times 1.983 = 0.629$$

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

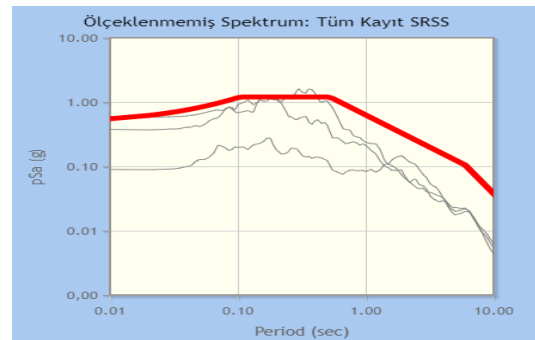
Şekil 5. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kullanılarak elde edilen kısa periyot spektral ivme katsayısı



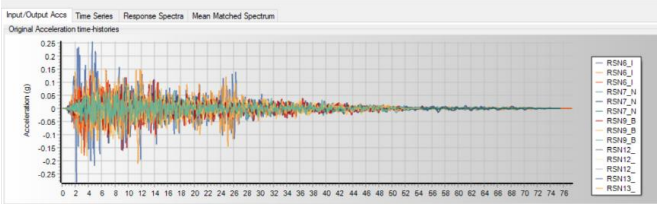
Şekil 6. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, $SS = 1.161$ 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı, $S1 = 0.317$ Yerel zemin etki katsayıları, $FS = 1.036$ ve $F1 = 1.983$ Bu durumda, TBDY 2.3.2.2'ye göre tasarım spektral ivme katsayıları $S_{DS} = S_S \times F_S = 1.161 \times 1.036 = 1.202$, $S_{D1} = S_1 \times F_1 = 0.317 \times 1.983 = 0.629$ olarak elde edilmektedir [2].

Deprem kayıtlarının dönüştürülmesi yönetmelikte belirtilen spektral uyum kuralına göre SeismoMatch 2021 programı kullanılarak yapılmıştır [3]. Öncelikle TBDY 2018'e göre yapıya ait yatay elastik tasarım spektrumu oluşturulmuştur [2]. Her kaydın iki yatay bileşeni de binanın elastik tasarım spektrumuna yakınsayacak şekilde düzenlenmiştir. Akademik lisans kullanımından ötürü sınırlı iterasyon kapasitesine sahip olduğundan hedef olarak basit ölçeklendirmede olduğu gibi seçilmiştir. Tüm seçilen deprem kayıtları bu doğrultuda hedef spektruma göre tanımlanmış ve ölçeklendirilmiştir.



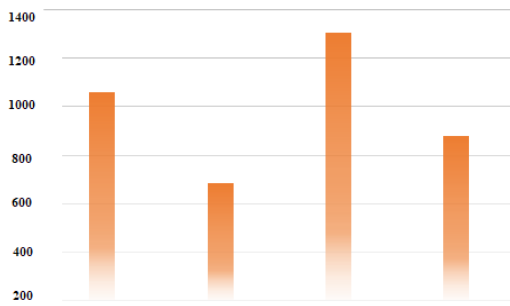
Şekil 7. Ölçeklenmemiş spektrum



Şekil 8. Seçilen deprem kayıtlarının ivme zaman serisi

TBDY’de ifade edildiği gibi “... deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonuna karşı gelir”[2]. Zaman tanım alanında yapılacak doğrusal olmayan hesaplarda en az onbir deprem yer hareketi takımı kullanılacaktır. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin (X) ve (Y) asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilecektir. Daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek hesap tekrarlanacaktır. Bu yöntemle yapılan analizlerin sonuçları, literatürde en güvenilir sonuçların alındığı analiz yöntemi olarak bilinmektedir[4]. Yapıların depremler altındaki davranışları gerçeğe en yakın şekilde incelenebilmektedir. Hiçbir şart gözetmeksizin bütün yapılarda uygulanabilen bir analiz yöntemidir. TBDY ile birlikte yüksek binalar için zorunlu tutulmuştur [2].

III. BULGULAR



Şekil 9. Taban Kesme Kuvveti (x,y 9 katlı yapı)

Her bir deprem doğrultusu için elde edilen en büyük etkin görelî kat ötelemesi değeri, tipik (X) doğrultusu için verilen TBDY Denk.(4.34b) esas alınarak hesaplanan sınır değeri aşmamalı.

$$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.016 \kappa$$

Burada, λ ve κ katsayıları TBDY 4.9.1.4’e uygun olarak elde edilmiştir. Buna göre, $T_p^{(X)}=1,02\text{sn}$ ve $T_p^{(Y)}= 1.68\text{sn}$ olmak üzere, TBDY 2.2’de tanımlanan deprem yer hareketinin TBDY 2.3.4.1’e göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesi değerleri, deprem yer hareketi düzeyi için yapılan benzer hesap adımları ile;

Tablo 2. X (sol) ve Y(sağ) Doğrultusu için etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü (9katlı yapı)

Kat	$\delta_i^{(x)}=R/L\Delta_i^{(X)}$ (m)	$\Lambda x \delta_i^{(x)}/h_i$ (m)	Kat	$\delta_i^{(y)}=R/L\Delta_i^{(Y)}$ (m)	$\Lambda x \delta_i^{(y)}/h_i$ (m)
9	0,0488	0,0073	9	0,0492	0,0074
8	0,0521	0,0078	8	0,0527	0,0079
7	0,0435	0,0065	7	0,0414	0,0062
6	0,0473	0,0071	6	0,0473	0,0071
5	0,0432	0,0065	5	0,0432	0,0065
4	0,0449	0,0067	4	0,0422	0,0063
3	0,0507	0,0076	3	0,0501	0,0075
2	0,0476	0,0071	2	0,0483	0,0072
1	0,0438	0,0053	1	0,0417	0,0050

Tablo’da görüldüğü gibi, $\lambda \delta_i(x) / h_i$ oranlarının en büyük değerleri, (X) ve (Y) doğrultuları için, 0,0078 ve 0,0079 iki değerde $\leq 0,008$ olmakta ve TBDY 4.9.3.1(b)’de öngörülen koşulu sağlamaktadır.

IV. SONUÇLAR

Yapılan analizler sonucunda kat yükseklikleri arttıkça yapının periyod artışının yanı sıra etki eden deprem yükünün de arttığı görülmüştür.

Özellikle kat sayısının artışı yapı ağırlığının etkilediğinden periyodlarda da artış gözlemlenmiştir. Yapıya etkiyen deprem yükleri sonrası TBDY 2018’e göre hesaplanan deprem derzleri yeterli kalmış ve çekiçleme etkisi yaşanmamıştır.

Kat yüksekliği arttıkça etkiyen kesme kuvvetinde artış görülmüştür. Fakat bu kesme kuvvetleri tasarım kapasitesinin altında kalmıştır.

Yapının yüksekliği arttıkça iç kolonlara göre dış köşe kolonlarda burkulmaların daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum iç kolonların dört taraftan giriş ile köşe kolonların ise en az bir yüzeyinin bağlantısız olması ile ilişkilendirilmiştir [6]. Özetle yapının yüksekliği arttıkça köşe kolonlarda dönme artış göstermiştir.

Modellenen yapılarda deplasman değerleri sınır değerinin altında kalmıştır.

3-6-9 katlı farklı kat yüksekliklerine sahip yapılara etkiyen deprem yükleri sonucunda yeterli deprem derzi bırakılması sonucu çekişleme etkisi yaşanmamış ve bina taşıyıcı elamanlarının tamamı performans hedefi olan göçmenin önlenmesi sınır değerini aşmamıştır. Bu durum TBDY 2018' yönetmeliğine uygun olarak modellenmesinden kaynaklanmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] PEER Ground Motion Database (2018). Pacific Earthquake Research Center, University of California, Berkeley, CA.

[2] TBDY 2018. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Mart 2018

[3] Seismomatch, (2018). Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions, Messina, Italy

[4] Fahjan, Y. M. (2008). Türkiye deprem yönetmeliği tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi. İMO Teknik Dergi, 292, 4423-4444

[5] Aksoylu, C. and M. H. Arslan (2019). "Çerçeve Türü Betonarme Binaların Periyod Hesaplarının Farklı Ampirik Bağıntılara Göre İrdelenmesi." Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 8(2): 569-581

[6] Şahin, A.Y., (2023). "İstanbul'da Farklı Kat Yüksekliklerine Sahip Bitişik Nizam Yapılarda Çekişleme Etkisi", 6. Uluslararası Fen Bilimler ve İnovasyon Kongresi.