
Araştırma Makalesi / Research Article

Çerçeve Türü Betonarme Binaların Periyod Hesaplarının Farklı Ampirik Bağıntılara Göre İrdelenmesi

Ceyhun AKSOYLU, Musa Hakan ARSLAN*

*Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya
(ORCID: 0000-0002-1574-4251) (ORCID: 0000-0002-5410-9218)*

Öz

Deprem etkisi altında bir yapının göstereceği davranış genel olarak yapının kütlesi ve yatay rijitliğine bağlıdır. Yapının dinamik karakterinin elbette sadece iki parametreye bağlı olmayacağı açıktır. Fakat diğer etmenlerle beraber periyod hesabın zorlaşması nedeniyle literatürde yaklaşık yöntemler verilmiştir. Bunlardan en çok kabul göreni ise Rayleigh'in önermiş olduğu birinci doğal titreşim periyodu denklemdir. Bu çalışmada 1998, 2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmelikleri başta olmak üzere 9 farklı ülkenin 16 farklı periyod formülleri kullanılarak analitik bir çalışma ile periyod karşılaştırması yapılmıştır. Karşılaştırmanın yorumlanabilir sonuçlar vermesi için bünyesinde herhangi bir düzensizlik bulunmayan çerçeve türü bir model bina seçilmiştir. Seçilen model için kat sayısı 2-3-5-7-9-11 olarak değiştirilmiştir. Çerçeveler ETABS programında modellenmiş ve programdan elde edilen sonuçlara göre periyod hesapları yapılmıştır. Karşılaştırmalarda deprem yönetmeliklerinde verilen periyod bağıntuları ve Rayleigh yöntemi kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırmaya göre çatlama kesit kabulü ile 5 kata kadar Rayleigh formülüne göre elde edilen sonuçların 2018 yönetmeliğinde verilen yaklaşık periyod formülüne 0.82-1.09 oranlarında yaklaştığı fakat yaklaşık formülün daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Bununla beraber kesitlerin çatlama olduğu düşünülecek olursa Rayleigh formülüne göre elde edilen sonuçların yaklaşık yöntemle göre 1.16-1.62 kat daha fazla sonuç verdiği görülmektedir. 5 kattan sonra ise söz konusu oranların sırasıyla 1.21-1.39 ve 1.82-2.10 oranlarında değiştiği gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Betonarme Bina, Periyod, Dünya Yönetmelikleri, 2018 Türk Deprem Yönetmeliği, Çatlama Kesit

Investigation of Periods of Frame Type Reinforced Concrete Buildings According to Different Empirical Approach

Abstract

The behavior of a structure under the effect of an earthquake is generally dependent on the mass and lateral stiffness of the structure. Apparently, the dynamic character of the structure will obviously not depend on just two parameters. However, due to the difficulty of calculating the period together with other factors, approximate methods have been given in the literature. The most widely accepted method of these is the first natural vibration period equation that is proposed by Rayleigh. In this paper period comparisons were made with 16 different period formulas of 9 different countries such as 1998, 2007 and 2018 Turkish Earthquake Code with an analytical study. In order to give explainable results of the comparison, a model frame type building without any irregularity was chosen. The story number for the selected model has been changed as 2-3-5-7-9-11. The frames were modeled in the ETABS program and period calculations were made according to the results that get from the program. In comparison, empirical period formulation in earthquake codes and Rayleigh method were used. According to the comparison made, the results obtained according to the Rayleigh formula up to 5 stories with the cracked section acceptance approach to the approximate period formula given in the regulation of 2018 at the ratio of 0.82-1.09, but the approximate formula gives higher results. However, if the cross-sections are thought to be cracked, the results obtained according to the Rayleigh formula show 1.16-1.62 times more results than the approximate method. After the 5 stories, the proportions changed into the ratios of 1.21-1.39 and 1.82-2.10 respectively.

Keywords: Reinforced concrete building, Period, World Earthquake Codes, 2018 Turkish Earthquake Regulations, Cracked Section

*Sorumlu yazar: mharslan@selcuk.edu.tr
Geliş Tarihi: 30.10.2018, Kabul Tarihi: 13.03.2019

1. Giriş

Bir binanın deprem etkisi altında analizi için yapının doğal titreşim periyodunun bilinmesi gerekmektedir. Çok karmaşık olmayan yapıların deprem hesabında kullanılan eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapıya gelecek olan deprem yükü yapının doğal titreşim periyodu (ya da birinci mod periyodu) ile direkt ilgilidir. Tüm yapı ve deprem yönetmeliklerinde periyod değerinin hesaplanması için yaklaşık formüller verilmiştir. Bununla beraber yönetmeliklerde ayrıca yaklaşık formüller yerine, temelde yapının hareketi sırasında potansiyel enerjinin kinetik enerjiye olan eşitliği prensibinden ortaya çıkan Rayleigh oranı gibi, kesin değere oldukça yakın değerler veren formüller kullanılmaya da başlanmıştır. Yapılar üzerinde yapılan yapı sağlığı izleme çalışmaları gerçek yapılarda deneysel olarak hesaplanan periyod değeri ile analitik olarak hesaplanan ve “kesin” olarak nitelendirilen periyod değerleri arasında çok önemli farklılıklar bulunduğunu ortaya çıkarmıştır. Bunun en önemli nedeni ise hesaplarda kabul edilen kütle ve rijitlik değerleri ile bu değerlerin yapı içinde dağılımının kabul edilenden oldukça farklı olmasıdır. Ayrıca yapıda bulunan bölme duvar gibi rijitliği artıran elemanlarda çoğu zaman analitik hesaplamalarda ihmal edilmektedir. Örneğin literatürde doğal titreşim periyodunun hesabı için yapılan çalışmalardan [1-4] yapı doğal titreşim periyodunun dolgu duvarların varlığı ile önemli olarak azaldığı görülmüştür. Yapının sönüm oranı, yapının türü, rijitliğin yapı içinde dağılımı da yine yapının periyodunu değiştiren diğer parametrelerdir.

Yapıların deprem analizi için izlenen prosedür deprem yönetmeliklerinde tarif edilmiştir. Deprem yönetmeliklerinde tanımlanan prosedüre göre çok yüksek olmayan ve düzenli yapıların deprem hesabında öncelikle yapının doğal titreşim periyodu bulunur. Ardından depreme verdiği bir cevap olan periyoda bağlı olarak yapıya gelecek olan tasarım ivme değeri ile yapının kütlelerinin çarpılmasıyla yapıya etkiyecek elastik deprem kuvveti hesaplanmış olur. Görüldüğü gibi yapıya gelecek olan deprem kuvveti periyodun bir fonksiyonudur. Bu nedenle deprem kuvvetinin belirli bir doğrulukta hesaplanabilmesi ancak periyodun belirli bir doğrulukta tahmin edilebilmesine bağlıdır.

Periyod hesabında temel ve etkili iki parametrenin doğru tespit edilmesi çok önemlidir. Bunlardan birisi salınım sırasında yapının etkin külesidir. Yönetmeliklerde deprem sırasında baz alınacak olan kütle ile ilgili çeşitli yaklaşımlar vardır. Bir diğer parametre olan yapının yatay rijitliği ise kütleyle göre daha karmaşık bir yapıdadır. Yapıda artan deformasyonlarla beraber yapı elemanlarında meydana gelen çatlama ve elemanların rijitlik tanımlamalarındaki zorluklar bu parametrenin hesabını zorlaştırmaktadır. Örneğin Türk deprem yönetmeliğinde 1998 ve 2007 versiyonlarında [5, 6] tasarım için periyod hesabında elemanların rijitlik hesaplarında kesitlerde meydana gelen çatlama düşünülmez iken 2018 deprem yönetmeliğinde [7] elemanların türüne göre değişik oranlarda çatlama ve rijitlik kayıpları önerilmektedir. Bu durum yapının hesaplanan periyodunda değişikliğe ve dolayısıyla tasarım kuvvetlerinin ve deplasman değerlerinin değişmesine neden olmaktadır. Bununla beraber yönetmeliklerde periyod hesabı için farklı bağıntıların da verilmiş olması yine yapının periyod hesabında önemli farklılıklara neden olmaktadır.

Deprem yönetmeliklerinde verilen yaklaşık bağıntılar birbirinden farklı sonuçlar verebilmektedir. Çoğu zaman aynı ülkede kullanılan yönetmeliklerde bile periyod hesapları birbirinden farklı olabilmektedir. Örneğin ABD’de ASCE 7-16 [8] ve UBC-1997 [9] standartlarındaki periyod hesaplarında farklı denklemler önerilmiştir. Benzer durum Türkiye’de 1998, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinde de vardır.

Deprem yönetmeliklerinde kullanılan yaklaşımlar aynı teorik altyapıya bağlı olarak çıkarılmış olduğu için periyod hesabında kalıp ampirik yaklaşım aynıdır. Örneğin tüm yönetmeliklerde [9-12] yapı doğal titreşim periyodu Eşitlik 1’deki gibi ifade edilmektedir. Burada, yapı türüne bağlı olarak kullanılan katsayı (α), bina yüksekliğini ifade eden katsayı (H) ve tüm yönetmeliklerde değeri $\frac{3}{4}$ olan sabit bir kat sayı (β) kullanılmaktadır.

$$T = \alpha \cdot H^\beta \quad (1)$$

Yönetmeliklerde verilen bu bağıntılardan bulunan periyod değerleri yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı gerçekte hesaplanandan daha büyüktür. Örneğin Hong ve Hwang[13] ile Goel ve Chopra [14] yapmış oldukları çalışmada bunu ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada ise betonarme çerçeve türü yapıların periyodlarının hesabında kullanılan periyod hesaplarının örnek olarak seçilen bir plan türü üzerinden irdelemesi yapılmıştır. Çalışmanın temel

motivasyonunu 2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmeliklerinde verilen periyod formüllerinin karşılaştırması oluştursa da çalışmada ASCE ve EC8 [15] gibi yönetmelikler ile Rayleigh yöntemi ile bulunan sonuçlar da karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda karşılaştırmanın daha kolay yorumlanabilir sonuçlar vermesi için bünyesinde herhangi bir düzensizlik bulunmayan çerçeve türü bir model bina seçilmiştir. Seçilen model için kat sayısı 2-3-5-7-9-11 olarak değiştirilmiştir. Çerçeveler ETABS programında modellenmiş ve programdan elde edilen sonuçlara göre periyod hesapları yapılmıştır.

2. Yönetmeliklerde Yer Alan Periyod Denklemleri

Yapıların eşdeğer deprem yükü yöntemine göre tasarımında 1.mod hâkim periyod olarak dikkate alınmaktadır. Bu periyodun hesabında farklı yönetmelikler yaklaşık formüller önermektedir. Literatürde gerçek yapılar üzerinde yapılan dinamik deneylerin yönetmeliklerde verilen formüllerden oldukça farklı periyod değerleri verdiği bilinmektedir [1, 3]. Periyodun doğru hesaplanmasının eşdeğer deprem yükü yöntemine göre önemi çok büyüktür. Zira yönetmeliklerde deprem sırasında yapıya etki edecek olan elastik ivme değeri yapının periyoduna bağlı olarak bir spektrum grafiği üzerinden hesaplanmaktadır. Bu önemden dolayı yönetmeliklerde yaklaşık formüllerin yanında Rayleigh&Ritz tarafından 1877 ve 1909 yıllarında önerilen [16] literatürde Rayleigh metodu olarak geçen formül kullanılmaktadır. Rayleigh metodu birinci mod titreşimi için oldukça tutucu sonuçlar vermektedir. Yönetmeliklerde yer alan yaklaşık formüller genellikle Rayleigh tarafından önerilen formüllere göre daha küçük sonuçlar vermektedir. Bu farkın en önemli nedeni, analitik hesaplarda göz önüne alınmayan dolgu duvarların rijitliği artırıcı etkisidir. Dolayısıyla binanın gerçek özel periyodu analitik olarak hesaplanan değerden küçüktür; yani, analitik olarak hesaplanan periyod değeri güvensiz yönde kalmaktadır. Bu durum yaklaşık özel periyod formüllerini yeniden gündeme getirmiş ve son yıllarda hazırlanan birçok çağdaş deprem yönetmeliğinde, analitik olarak hesaplanan değere göre oldukça küçük periyod değerleri veren yaklaşık formüller önerilmiştir.

Bu çalışmada, sırasıyla aşağıdaki yönetmeliklerde yer alan yaklaşık özel periyod formülleri, farklı kat sayısına sahip örnek yapıya uygulanarak irdelenmekte ve uygulamada karşılaşılabilecek olumsuzluklar üzerinde durularak bazı tavsiyelerde bulunmaktadır. Aşağıda detayları açıklanan yönetmelik formüllerinden ilk üçü Türkiye’de son yirmi yıldır yürürlükte kalmış ve 2018 yılında yayımlanmış deprem yönetmelikleridir. Diğer formüller ise Amerika, Avrupa, İran, İsrail, Yunanistan ve Hindistan yönetmeliklerinden alınarak irdeleme yapılmıştır.

Türkiye’de 1998 yılında Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY 1998) adıyla yürürlüğe giren bu yönetmelikte Eşdeğer Deprem Yükü yönteminin (EDYY) uygulandığı tüm binaların 1.mod titreşim periyodu Eş.2’de verilen Rayleigh formülüne göre hesaplanmaktadır. Ancak, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde $H_N \leq 25m$ koşulunu sağlayan binaların, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ise EDYY’nin uygulandığı tüm binaların birinci doğal titreşim periyodunun Eş.3’de verilen yaklaşık yöntemle hesaplanmasına izin verilmiştir. Ancak birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde bulunan yapıların yüksekliklerinin 25m’den büyük olması durumunda ise Rayleigh formülünün kullanılması zorunluluğu bildirilmiştir. Burada, her bir katın kütlesi (m_i), ilgili katın deplasmanı (d_{fi}) ve ilgili kata gelen fiktif yük (F_{fi}) kullanılarak periyot hesabı yapılmaktadır.

$$T_1 = 2\pi * \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{m_i * d_{fi}^2}{F_{fi} * d_{fi}}} \quad (2)$$

$$T_1 \approx T_{1A} = C_t * H_N^{3/4} \quad (3)$$

Burada H_N değeri tabi zemin üzerinden olan toplam bina yüksekliğini temsil ederken, C_t değeri binanın taşıyıcı sistemine bağlı olarak tanımlanan bir katsayıdır. Taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden veya dış merkez çaprazlı çelik perdelerden oluşan binalarda $C_t=0.07$, taşıyıcı sistemi sadece çelik çerçevelerden oluşan binalarda $C_t=0.08$, diğer tüm binalarda ise $C_t=0.05$ alınacağı belirtilmiştir. Bu çalışmada betonarme çerçeveli yapılar incelendiğinden $C_t=0.07$ olarak dikkate alınmıştır.

- a. Türkiye’de 2007 yılında kapsamlı bir değişiklikle yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’de kullanılan hesap ve tasarım kurallarının birçoğu ABYYHY-1998 esas alınarak oluşturulmuştur. Bu iki yönetmelik incelendiğinde, aralarında bazı farkların olduğu bilinse de TDY-2007 yönetmeliğinin temelini ABYYHY-1998 yönetmeliği oluşturmaktadır. 2007 yönetmeliğinde periyod hesabında 1998 yönetmeliğinde var olan Rayleigh formülü olduğu gibi kullanılmaktadır. Ancak 2007 yönetmeliğindeki değişimlerden biri de amprik olarak hesap edilen periyod formülündeki değişimdir. 2007 yönetmeliği ile bodrum katlar hariç kat sayısı $N > 13$ olan binalarda doğal periyod, $0.1N$ ’den daha büyük alınmayacağı belirtilmiştir. Bununla beraber bu yönetmeliğin mevcut yapıların performansının belirlenmesi kısmında kolon, kiriş ve perdelerin rijitliklerinin çatlamış kesit kabulü ile düşürülmesi gerektiğinden bahsedilmektedir.
- b. TDY-2007 yönetmeliği yayımlandıktan 11 yıl sonra 2019 yılı Ocak ayında TBDY yönetmeliği köklü değişiklikler ile yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik ile ABYYHY-1998 ve TDY-2007’de var olan Rayleigh formülü, yapıların doğal titreşim periyodunun hesabında kullanılmaya devam edilecektir. Ancak TDY-1998’de var olan amprik formül katsayısı değiştirilerek bu yönetmeliğe dönüş yapılmıştır. Burada amprik formülün kullanılabilmesi için ayrıca şartlar da getirilmiştir. Deprem tasarım sınıfı ($DTS=1, 1a, 2, 2a$) ve bina yükseklik sınıfı ($BYS \geq 6$) olan binalarda ve $DTS=3, 3a, 4, 4a$ olan tüm binalarda hâkim doğal titreşim periyodu Rayleigh formülünden hesaplanmaksızın, doğrudan Eş.4’de verilen amprik T_{PA} olarak alınabileceği belirtilmiştir.

$$T_{PA} = C_t * H_N^{3/4} \quad (4)$$

Burada taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden oluşan binalarda $C_t=0.1$, çelik çerçevelerden veya çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan binalarda $C_t=0.08$, diğer tüm binalarda ise $C_t=0.07$ alınacağı belirtilmiştir. Bu çalışmada betonarme çerçeve yapılar incelendiğinden $C_t=0.1$ olarak alınmıştır. Bununla beraber TBDY-2018’de en radikal farklılığın yeni yapılacak ve mevcut yapıların periyod hesabında kolon, kiriş ve perdelerin rijitliklerinin çatlamış kesit kabulüne göre yapılmasının olduğu görülmektedir.

- c) Mevcut Amerikan yönetmeliği olan ASCE 7-16, daha önceki versiyonları olan ASCE 7-02, 7-05, 7-10 yönetmeliklerinde olduğu gibi Rayleigh periyodunu kullanmamaktadır. Yaklaşık periyod hesabı 2 farklı amprik formül ile gerçekleştirilmektedir. Birincisi Eş.5’de verilen ve aynı zamanda TDY-2007’de kullanılan formülün aynısıdır. Ancak burada kat sayısının $N < 12$ olması şartı getirilmiştir. İkincisi ise Eş.6’da ifade edilen ve diğer yönetmeliklerde de olan amprik formülün benzeridir.

$$T = 0.1N \quad (5)$$

$$T_a = C_t * H_N^x \quad (6)$$

Burada yapının türüne bağlı olarak ASCE 7-16 yönetmeliğinde toplam beş adet C_t ve x değerleri tablo halinde verilmektedir. Bunlardan bazıları, moment aktaran çelik çerçeve sistemler için $C_t=0.0724$ $x=0.8$ verilmişken, betonarme çerçeve sistemlerde $C_t=0.0466$ $x=0.9$ olarak dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. İlgili tablodaki sınıfa girmeyen diğer tüm yapılar için ise $C_t=0.0488$ $x=0.75$ alınması gerektiği ifade edilmiştir. Bu çalışmada betonarme çerçeve yapılar incelendiğinden $C_t=0.0466$, x ise 0.9 olarak alınmıştır.

- d) Bir diğer Amerikan bina yönetmeliği olan ve 1997 versiyonundan sonra yürürlükten kalkan Uniform Building Code [9]’de de Rayleigh formülüne benzer doğal titreşim periyodunu hesaplama metodu kullanılmaktadır. Eş.7’de kullanılan periyod formülü verilmiştir.

$$T_1 = 2\pi * \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{w_i * \delta_i^2}{F_i * \delta_i * g}} \quad (7)$$

Burada her kata uygulanan yatay kuvvet (F_i), uygulanan yatay kuvvete bağılı oluşan deplasman (δ_i), yapının depreme esas ağırlığı (w_i), yer çekimi ivmesi (g) olarak ifade edilmektedir. Bunun yanında tüm binalarda uygulanabilecek yaklaşık periyod hesabında kullanılacak ampirik formül verilmektedir. Eş.8 diğer yönetmeliklerdeki ampirik formüllere bezerdir.

$$T = C_t * H_N^{3/4} \quad (8)$$

Burada çelik çerçevesel yapılar için $C_t=0.0853$, betonarme çerçevelerden oluşan binalarda ve eksantrik takviyeli çerçevelerde $C_t=0.0731$, diğer tüm binalar için ise C_t 'nin 0.0488 alınabileceği ifade edilmiştir. Bu çalışmada betonarme çerçevesel yapılar incelendiğinden C_t değeri 0.0731 olarak alınmıştır.

e) Avrupa yönetmeliği olan Eurocode 8 [15]'in güncel hali olan 2004 versiyonunda da doğal titreşim periyodu tayininde Rayleigh formülü kullanılmaktadır. Yaklaşık ampirik formül için ise bina yüksekliğinin 40 m'ye kadar olan kısmı için Eş.9'da verilen formülün kullanılacağı ifade edilmiştir. Formüldeki H değeri, temelden ya da rijit bodrum seviyesi üzerinden hesaplanan toplam yüksekliği belirtmektedir. C_t değeri moment aktaran çelik çerçevesel sistemlerde 0.085, betonarme çerçevelerde ve eksantrik takviyeli çerçevelerde 0.075, diğer tüm yapılarda ise 0.050 alınabileceği belirtilmiştir.

$$T = C_t * H^{3/4} \quad (9)$$

f) İran yönetmeliğinde [17]'de UBC-1997'deki Rayleigh formülü doğal titreşim periyodunu hesaplamada kullanılmaktadır. Eş.10 ve Eş.11'de dolgu duvarın çerçeve sisteme bitişik ve ayrı olması durumu için iki farklı ampirik formül verilmiştir. Eğer moment aktaran çerçeve sistemlerde dolgu duvarlar çerçeveye bitişikse, aşağıdaki formülden elde edilen periyod değerinin %80'inin alınacağı belirtilmektedir.

$$T = 0.07 * H^{3/4} \quad (10)$$

Eğer moment aktaran çerçeve sistemlerde dolgu duvarlar çerçeveye bitişik değilse

$$T = 0.07 * H^{3/4} \quad (11)$$

Geriye kalan diğer tüm binalarda ise kullanılacak periyod formülü Eş.12'deki gibi verilmiştir.

$$T = 0.05 * H^{3/4} \quad (12)$$

Burada H metre cinsinden temel seviyesinden itibaren toplam bina yüksekliği olarak ifade edilmektedir. Ayrıca eğer çatı katının ağırlığı kat ağırlığının %25'inden fazlaysa çatı katı yüksekliği de toplam yüksekliğe dâhil edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada betonarme çerçevesel yapılar incelendiğinden $C_t=0.07$ olarak alınmıştır.

g) Yunanistan yönetmeliğinde [18]'de doğal titreşim periyodu hesabında Rayleigh formülü kullanılmaktadır. Dikdörtgen plan görüntüsüne sahip binalar için aşağıdaki Eş.13 kullanılarak temel periyodun bulunabileceği belirtilmektedir.

$$T = 0.09 * \frac{H}{\sqrt{L}} * \sqrt{\frac{H}{H + \rho * L}} \quad (13)$$

Burada, H: Toplam bina yüksekliğini, L: Deprem analizi yapılan doğrultudaki bina uzunluğunu ve ρ : Deprem hesabı yapılan doğrultudaki toplam duvar en kesit alanının, toplam kolon ve duvar en

kesit alanları toplamına oranıdır. Bu çalışmada binada dolgu duvarların olması durumu ve ihmal edilmesi durumuna göre iki farklı analiz yapılmıştır. Dolgu duvarın olması durumunda $\rho=0.4$ olarak alınmıştır.

h) İsrail Yönetmeliğinde [19] eşdeğer deprem yükü hesabının uygulanabileceği yapılarda yapının doğal titreşim periyodu için aşağıdaki eşitlikler kullanılabilir. Eğer yapı, betonarme veya eksantrik sertleştirilmiş çelik çerçevelerden oluşuyorsa Eş.14, yalnızca çelik çerçeveli bir sistem ise Eş.15, bunların dışındaki yapılar için ise Eş.16'nın kullanılabilceği belirtilmektedir. H, metre cinsinden ifade edilmektedir. Bu çalışmada betonarme çerçeveli yapılar incelendiğinden periyod hesabındaki ilgili çarpan 0.075 olarak alınmıştır.

$$T = 0.075 * H^{3/4} \quad (14)$$

$$T = 0.085 * H^{3/4} \quad (15)$$

$$T = 0.050 * H^{3/4} \quad (16)$$

ı) Hindistan yönetmeliği [20]' de İsrail ve Eurocode 8 yönetmeliklerinde olduğu gibi yapıların yaklaşık doğal titreşim periyodlarının hesabında aynı formülleri kullanılmaktadır. Ancak Hindistan yönetmeliğinde yaklaşık periyod hesabında moment aktaran çerçeve binalarda dolgu duvarın olmaması durumu düşünülerek aşağıdaki iki ampirik formül önerilmiştir. Eş.17 betonarme binalar için, Eş.18 ise çelik çerçeveli binalar için önerilmektedir. Burada moment aktaran tuğla dolgulu tüm binalar için diğer yönetmeliklerden farklı bir formül Eş.19 ile önerilmektedir. Burada h, binanın metre cinsinden yüksekliğini, d ise binanın deprem yönüne bağlı olarak dikkate alınan plan düzlemindeki metre cinsinden uzunluğunu temsil etmektedir. Hesaplamalarda 0.075 katsayısı kullanılmıştır. Deprem doğrultusundaki uzunluk(d) olarak ise 15m alınmıştır.

$$T_a = 0.075 * h^{3/4} \quad (17)$$

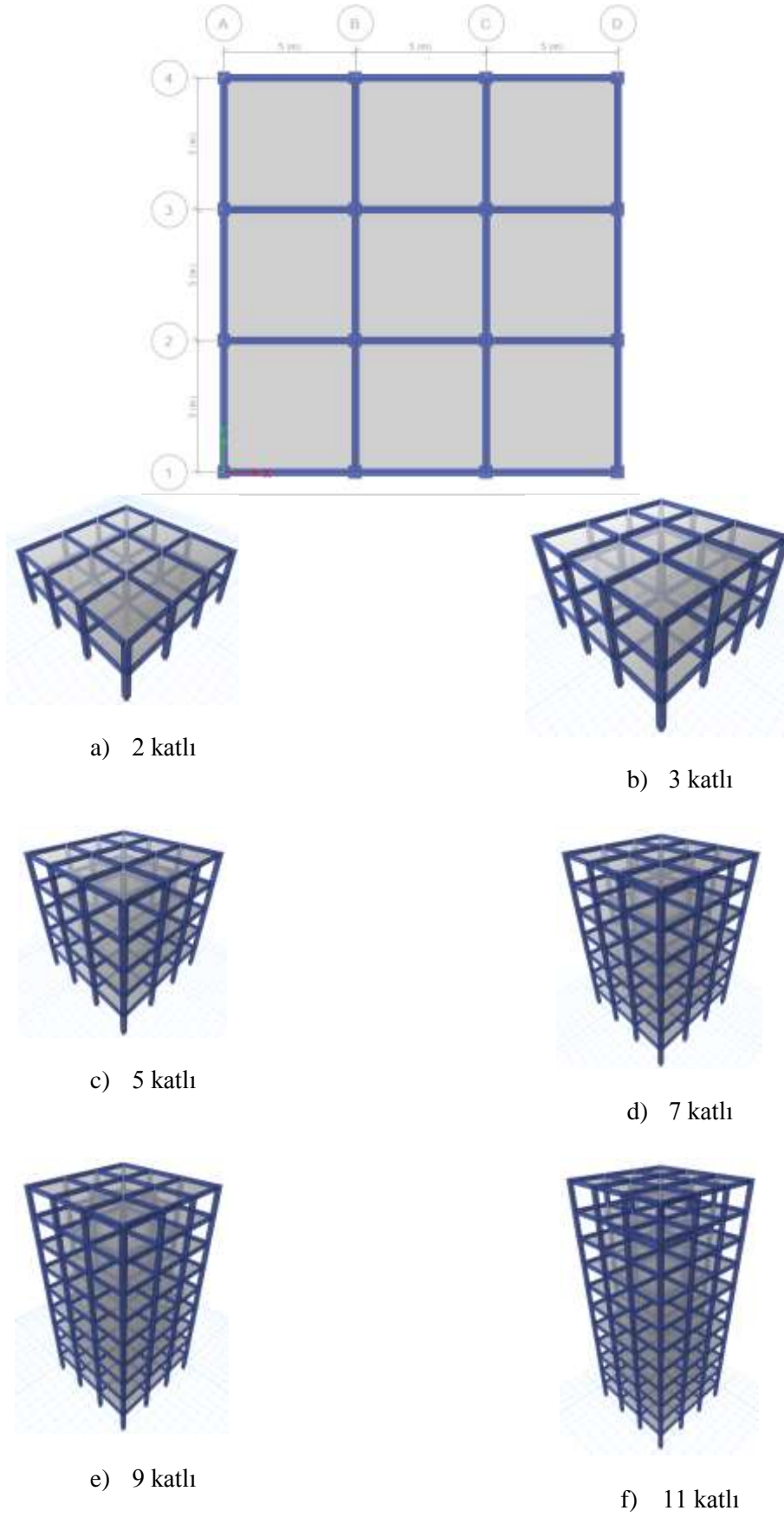
$$T_a = 0.085 * h^{3/4} \quad (18)$$

$$T_a = \frac{0.09}{\sqrt{d}} * h \quad (19)$$

Yukarıda belirtilen tüm yönetmeliklerde yapının doğal titreşim periyodu yapı yüksekliğinin bir fonksiyonudur. Bununla beraber yapının taşıyıcı sistem türüne göre formüllerdeki katsayılar değişmektedir. Hindistan ve Yunanistan yönetmeliklerinde yapıda bulunan dolgu duvara göre formül değişmektedir.

3. Analitik Çalışma

Bu çalışmada Deprem Yönetmeliklerinde verilen ve yukarıda özetlenen periyod formülleri ve periyod hesabına etkin parametreler analitik bir çalışma yapılarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha rahat yorumlanabilir sonuçlar vermesi için bünyesinde herhangi bir düzensizlik bulunmayan çerçeve türü bir model bina seçilmiştir. Seçilen model için kat sayısı 2-3-5-7-9-11 olarak değiştirilmiştir. Çerçeveler ETABS programında modellenmiş ve programdan elde edilen sonuçlara göre periyod hesapları yapılmıştır. Tasarlanan modelde kat yüksekliği 3.5 metre seçilmiştir. Planda her iki yönde toplam uzunluğu 15'er metre olan binanın aks aralıkları 5 metre olarak belirlenmiştir. Şekil 1'de modellenen binaların kat planı ve 3D modelleri verilmiştir.



Şekil 1. Modellenen binanın plan ve 3D görünümü

Taşıyıcı sistemde kesitler kolonlar için 50/50 cm ve kirişler için 25/50 cm olarak belirlenmiştir. Kolon ve kiriş kesitleri her katta sabit aynı seçilmiştir. Temel ankastre olarak modellenmiş ve döşeme kalınlığı ise 15 cm alınmıştır. Yapı geometrisi belirlenmiş olan sistemde C30 sınıfı beton ve S420 sınıfı donatı kullanılmıştır. Binanın taşıyıcı sistemi, deprem yüklerinin süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle birlikte taşındığı sistem olarak dikkate alınmıştır. Kat planında düzenli bir taşıyıcı eleman yerleşimi yapılarak düzensizliklerin etkisi göz önünde bulundurulmamıştır.

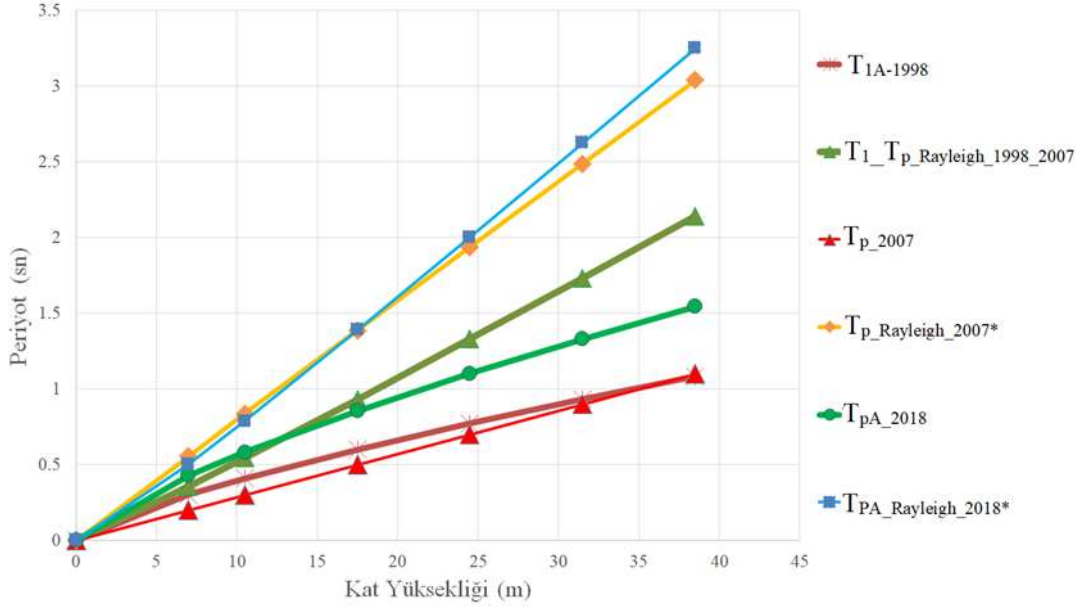
Döşeme üzerindeki ölü ve hareketli yükler sırasıyla $g=2.2\text{kN/m}^2$ ve $q=2.0\text{kN/m}^2$ olarak her katta sabit olacak şekilde alınmıştır. Ayrıca binada 20cm'lik duvar yükü ve 10cm'lik iç duvar yükü sırasıyla $g_d=12\text{kN/m}$ ve $g_d=9\text{kN/m}$ olacak şekilde hesaba katılmıştır. Yapılan analizlerde, dolgu duvarların betonarme çerçeve sisteme temas etmediği düşünülmüş olup hesaplamalarda yalnızca ölü yük olarak dikkate alınmıştır.

Modelleme sonucunda elde edilen periyod değerleri Tablo 1-Tablo 3 ve Şekil 2-Şekil 5 olacak şekilde verilmiştir. Tablo 1'de 1998, 2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmeliklerine göre hesaplanmış yapı periyodları yer almaktadır. Tablodan görüleceği gibi Rayleigh yöntemine göre periyod hesabı 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinde iki farklı şekilde yapılmıştır. * ile işaretlenmiş olan periyod kesitlerde deprem sırasında meydana gelecek olan çatlama göre bulunmuştur. Kesitlerde çatlama ile oluşacak atalet kayıpları TDY-2007 ve TBDY-2018'de verilmiştir. Genel olarak çatlamanın kirişler ataletlerinde daha büyük bir azaltıcı etki yapacağı yönetmeliklerde belirtilmiştir. TDY-2007'de kirişler için kesit atalet kaybının %60 kolon ve perdelerde ise eksenel yüke bağlı olarak %20~%60 aralığında olması gerektiği söylenmektedir. TBDY-2018'de ise kirişlerde kaybın %65 kolonlarda %30 perdelerde ise %50 olması gerektiği söylenmektedir. Özellikle Rayleigh yöntemine göre yapılan çatlama kesit varsayımı ile yapılan hesapların diğer ampirik yöntemlere göre 2.5-3.0 kata yakın daha büyük değer verdiği görülmektedir. Gerçek yapılarda dolgu duvarların varlığı ve bitişik nizam etkisi ile yapının salınım sırasındaki kütesinin hesap edilen teorik kütle göre daha az olma ihtimali gerçekte periyodun daha az olacağı anlamına gelmektedir. Bu durumda yönetmelikte verilen yaklaşık denklemlerin Rayleigh formülüne göre daha tutucu sonuçlar vermesi doğaldır.

Tablo1. Türk Deprem Yönetmeliklerine göre bina birinci mod periyodları

Bina	ABYYHY-1998		TDY-2007			TBDY-2018	
	$T_{1A}=C_t \cdot H_N^{3/4}$	Rayleigh	$T_p=0.1N$	Rayleigh	Rayleigh*	$T_{PA}=C_t \cdot H_N^{3/4}$	Rayleigh*
7	0.301	0.355	0.200	0.355	0.555	0.430	0.501
10.5	0.408	0.544	0.300	0.544	0.838	0.583	0.788
17.5	0.598	0.933	0.500	0.933	1.388	0.855	1.389
24.5	0.770	1.329	0.700	1.329	1.936	1.101	2.003
31.5	0.930	1.731	0.900	1.731	2.486	1.329	2.624
38.5	1.081	2.139	1.100	2.139	3.04	1.545	3.249

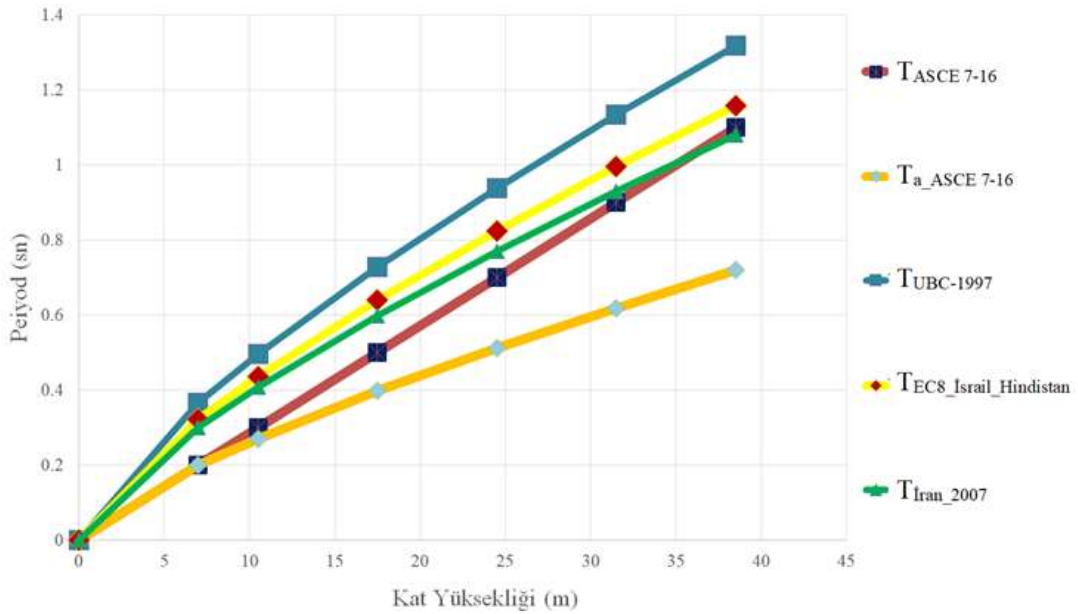
Tablo 2 ve Tablo 3'de diğer yönetmeliklerin yaklaşımları verilmiştir. Tablo 2'de verilen yönetmelik formüllerinde dolgu duvarların varlığı düşünülmemektedir. Bu sonuçlara göre en tutucu periyod formülünün ASCE 7-16 tarafından önerildiği görülmektedir.



Şekil 2. Periyotların yapı yüksekliğine göre değişimi

Tablo2. Dolgu duvarın dikkate alınmadığı yönetmeliklere ait periyot hesapları

Bina Yüksekliği (m)	ASCE 7-16		UBC-1997	EC-8/ İsrail ve Hindistan	İRAN-2007
	$T=0.1N$	$T_a = C_t * H_N^x$	$T=C_t * H_N^{3/4}$	$T = C_t * H^{3/4}$	$T = C_t * H^{3/4}$
7	0.200	0.200	0.367	0.322	0.301
10.5	0.300	0.271	0.497	0.437	0.408
17.5	0.500	0.398	0.729	0.641	0.598
24.5	0.700	0.513	0.939	0.825	0.770
31.5	0.900	0.619	1.134	0.997	0.930
38.5	1.100	0.720	1.318	1.159	1.081

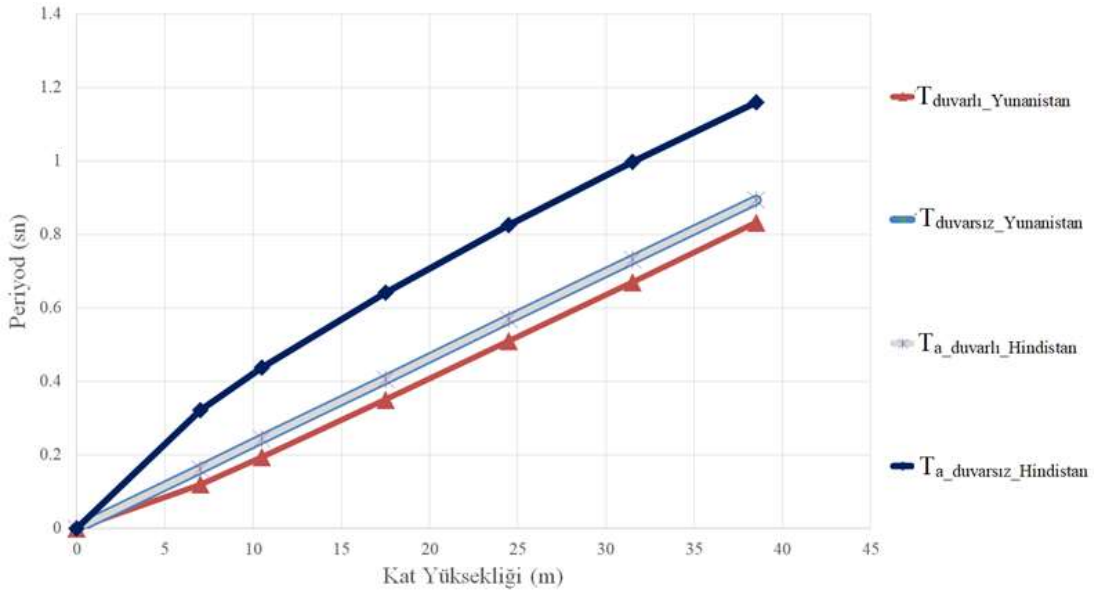


Şekil 3. Periyotların yapı yüksekliğine göre değişimi

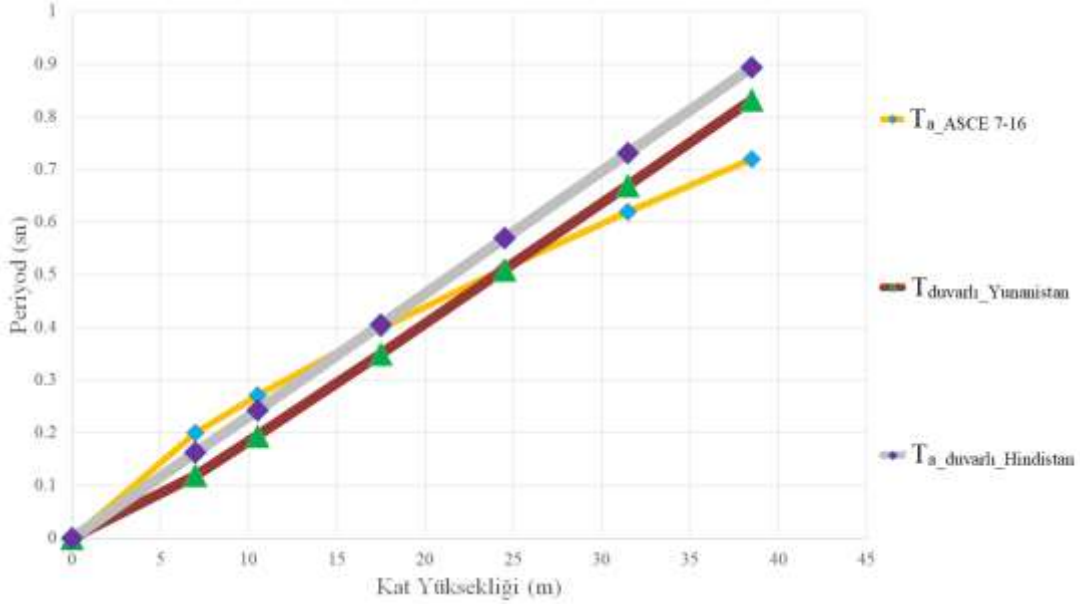
Tablo 3’de ise dolgu duvar varlığını düşünerek hazırlanmış olan Yunanistan ve Hindistan yönetmeliğine göre elde edilen değerler duvarlı ve duvarsız olmak üzere verilmiştir. Yunanistan yönetmeliğinin vermiş olduğu bağıntıya göre yapı yüksekliği arttıkça dolgu duvarın periyoda olan etkisi azalmaktadır. Tabloya göre 38.5 metre yükseklik için fark %7 iken 7 metre yüksekliğe sahip olan binada fark %36’dır. Ama her hâlükârda dolgu duvar periyodu düşürücü etkiye sahiptir. Hindistan yönetmeliğinde de yine dolgu duvar periyodu düşürücü etkiye sahip olduğu görülmektedir fakat oranlar %30~98 arasında değişmektedir. 38.5 metre yükseklik %30 olan fark 7 metre yüksekliğe sahip olan binada %30’a düşmektedir.

Tablo3. Yunanistan ve Hindistan Yönetmeliği

Bina Yüksekliği (m)	Yunanistan Yönetmeliği		Hindistan Yönetmeliği	
	Tuğla Duvarsız $T = 0.09 * \frac{H}{\sqrt{L}}$	Tuğla Duvarlı $T = 0.09 * \frac{H}{\sqrt{L}} * \sqrt{\frac{H}{H + \rho * L}}$	Tuğla Duvarsız $T_a = C_i * h^{3/4}$	Tuğla Duvarlı $T_a = \frac{0.09}{\sqrt{d}} * h$
7	0.162	0.119	0.322	0.162
10.5	0.243	0.194	0.437	0.243
17.5	0.406	0.350	0.641	0.406
24.5	0.569	0.510	0.825	0.569
31.5	0.731	0.670	0.997	0.731
38.5	0.894	0.832	1.159	0.894



Şekil 4. Periyodların yapı yüksekliğine göre değişimi



Şekil 5. ASCE 7-16 ($T_a = C_t \cdot H_N^x$) ile Dolgu duvarlı Yunanistan ve Hindistan Periyodlarının Yapı Yüksekliğine Göre Değişimi

4. Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan bu çalışma ile 9 farklı yönetmelikte betonarme yapılar için verilen 16 farklı periyod yaklaşımı kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslamalara göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

a) 1998, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinde ampirik periyod hesapları önemli oranda değişmektedir. Özellikle 2018 yönetmeliğinde bu değişimin etkisi daha fazla görülmektedir. Bunun temel sebebi periyod hesaplamalarında yönetmelikte yer alan çatlama kesit kabulüdür. Örneğin 7 katlı bir betonarme bina için 1998 yönetmeliğine göre 1.081 sn olarak elde edilen periyod değeri, 2018 yönetmeliğinde 1.545 sn olarak bulunmaktadır.

b) 1998, 2007 ve 2018 yönetmeliklerinde verilen ampirik bağıntılar ile Rayleigh yöntemine göre bulunan periyod değerleri arasında çok önemli farklılıklar vardır. Rayleigh yöntemine göre bulunan periyod ile 1998 ve 2018 yönetmeliklerine göre bulunan periyod arasında bina yüksekliği arttıkça artan ve 1.17~1.98 arasında değişen bir oran vardır. Bulunan periyodlar farklı olsa bile 1998 yönetmeliği ile 2018 yönetmeliğine göre hesaplarda bu oran aynı olmaktadır.

c) 2018 yönetmeliğinde bahsedilen Rayleigh yöntemine göre bulunan periyod değeri ampirik $C_t \cdot H_N^x$ formülüne göre bulunan periyod değerinin 1.4 katını aşamaz denilmektedir. Şu durumda 4 ve daha fazla katlı yapılarda (Yüksekliği 14 metreyi geçen) bir yapıda Rayleigh formülü devre dışı kalmaktadır.

d) Rayleigh yöntemine göre bulunan periyod ile 2007 yönetmeliklerine göre bulunan periyod arasında bina yüksekliği arttıkça artan ve 1.78~1.94 arasında değişen bir oran vardır. 2007 yönetmeliğinde verilen çatlama kesit oranlarına göre yapılan modelleme ile elde edilen Rayleigh periyodu ile 0.1N bağıntısından bulunan periyod arasında tüm yükseklikler için 2.78 olarak belirlenen sabit bir oranı bulunmaktadır.

e) ASCE 7-16'de verilen 0.1 N yaklaşımı $C_t \cdot H_N^x$ yaklaşımına göre bina yüksekliği arttıkça daha fazla artan bir seyir göstermektedir.

f) EUROCODE 8-2004, İsrail Yönetmeliği ve Hindistan Yönetmeliğinde verilen bağıntılar aynı olduğu için bulunan sonuçlarda aynıdır.

g) Tüm yönetmelikler içinde en katı değerlerin ASCE 7-16'da verilen $C_t \cdot H_N^x$ yaklaşımı vermektedir. Bu durum özellikle Amerika'da yapılan alan çalışmaları ile elde edilen periyod değerlerine göre yönetmeliğin yapmış olduğu bir kalibrasyon olduğunu düşündürmektedir. Ayrıca tuğla duvarın varlığı düşünüldüğü zaman ASCE'nin önerdiği denklemin daha gerçekçi olduğu ortaya çıkmaktadır.

h) Yunanistan ve Hindistan yönetmeliklerine tuğla dolgu duvar olması ya da olmaması durumuna göre iki farklı çözüm yapılmıştır. Yönetmeliklere göre özellikle az katlı yapılarda tuğla dolgu duvarın rijitliğe olan etkisi daha fazladır. Tuğla dolgu duvar rijitliği önemli oranda artırmaktadır. Yunanistan

yönetmeliğine göre 38.5 metre yükseklik için fark %7 iken 7 metre yüksekliğe sahip olan binada fark %36'dır. Benzer şekilde Hindistan yönetmeliğinde de oranlar 38.5 metre yükseklik için %30, 7 metre yükseklik içinse %30'a düşmektedir. Bu azalma oranları tartışmaya açıktır. Köse ve Karşlıoğlu [21]'de 26.6 metre ile 42 metre arasında değişen binalarda tuğla duvar varlığı düşünülerek ve düşünülmeden yapılan modellemelere göre dolgu duvarlar %2.86 ila %5.20 arasında değişen azalmalara sebep olmuştur. Yapıların 10-13 katlı olması sebebiyle periyoddaki değişikliğin daha az olması normal karşılanabilir.

Çalışmadan elde edilen bulgular ışığında nihai olarak şu sonuca ulaşılmıştır. Rijitlik ve kütle gibi tahmini kolay olmayan yapısal parametreler kullanılarak yapının doğal titreşim periyodunu gerçek davranışa yakın olarak hesaplamak oldukça iddialı bir yaklaşımdır. Bu nedenle yönetmeliklerin vermiş olduğu periyod hesaplarının mümkün olduğunca basitleştirilmesi karmaşık bir problemin rahat anlaşılması adına normal karşılanmaktadır. Bununla beraber binanın doğal titreşim periyodunun hesabı her ne kadar oldukça basit ampirik yaklaşımlarla ifade edilmiş olsa da elde edilen sonuçların farklılığı deprem hesabında baz alınan tasarım depremlerinin çok farklı seviyede olmasına da neden olmaktadır. Özellikle tuğla duvarların yapı periyoduna önemli etki yaptığı önerilen ampirik yaklaşımlarda da görülmektedir. Bu nedenle ileriki çalışmalarda betonarme yapılarda meydana gelen çatlama etkisi mutlaka düşünülmelidir. Ayrıca dolgu duvar uzunluğun yanında, duvarın rijitlik, düşeyde ve yatayda (planda) kat içinde dizilimi vs. gibi etmenlerin periyod hesabında yerinin olması ve yapıda bulunan perde elemanlarının da bir parametreye bağlı olarak periyod formülünde ifade edilmeleri gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] Crowley H., Pinho R. 2004. Period-Height Relationship for Existing European Reinforced Concrete Buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 8: 93-119.
- [2] Crowley H, Pinho R. 2006. Simplified equations for estimating the period of vibration of existing buildings. *First European conference on earthquake engineering and seismology*.
- [3] Kose M.M. 2009. Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls. *Engineering Structures*, 31 (1): 93-102.
- [4] Masi A., Vona M. 2009. Estimation of the Period of Vibration of Existing RC Building Types Based on Experimental Data and Numerical Results. *Increasing Seismic Safety by Combining Engineering Technologies and Seismological Data*, 207-225.
- [5] ABYYHY. 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Deprem Afetinden Korunma. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/07/20070714-7.htm>. (Erişim Tarihi: 10.09.2018).
- [6] TDY. 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi (Erişim Tarihi: 10.09.2018).
- [7] TBDY. 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2-1.pdf>. (Erişim Tarihi: 10.09.2018).
- [8] ASCE7-16. 2017. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures in Seismic Design Requirements for Building Structures Structural Engineering Institute. <https://www.asce.org/asce-7/>. p. 89-121 (Erişim Tarihi: 10.09.2018).
- [9] UBC-1997. Structural Design Requirements Earthquake Design. p. 9-22. (Erişim Tarihi: 10.09.2018)
- [10] ATC-3-06. 1982. Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings. <https://www.atcouncil.org/pdfs/atc306.pdf>. (Erişim Tarihi: 10.09.2018).
- [11] CEN. 2004. Design of concrete structures, Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1992.1.1.2004.pdf>. (Erişim Tarihi: 10.09.2018).
- [12] NBCC. 2005. National Building Code of Canada. https://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/doc/solutions-solutions/advisory-consultatifs/codes_centre_centre_codes/revisions_erratarevisions_errata/HC_ER/1990/NBC1990_1st_revision_errata.pdf. (Erişim Tarihi: 10.09.2018).

- [13] Hong L.L., Hwang W.L. 2000. Empirical formula for fundamental vibration periods of reinforced concrete buildings in Taiwan. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29 (3): 327-337.
- [14] Goel, R.K., Chopra A.K. 1997. Period Formulas for Moment-Resisting Frame Buildings. *Journal of Structural Engineering*, 123 (11): 1454-1461.
- [15] EC8. 2004. Design of structures for earthquake resistance in Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS_335/report/EC8_Seismic_Design_of_Buildings-Worked_examples.pdf. (Erişim Tarihi: 10.09.2018).
- [16] Leissa A.W. 2005. The historical bases of the Rayleigh and Ritz methods. *Journal of Sound and Vibration*, 28 (4): 961-978.
- [17] ICPSRDB. 2007. Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings. http://iisee.kenken.go.jp/worldlist/26_Iran/Iran%20National%20Seismic%20Code_2007_3rd%20Version_English.pdf. (Erişim Tarihi: 10.09.2018).
- [18] EAK. 2000. Greek code for Seismic Resistant Structures in Organization for Earthquake Resistant Planning and Protection, Ministry of Environment Planning and Public Works, Greece http://iisee.kenken.go.jp/worldlist/21_Greece/21_Greece_Overall.pdf. (Erişim Tarihi: 10.09.2018).
- [19] SI-413. 2009. Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures. <https://www.iec.co.il/Suppliers/101862470/Amendment%20No%20to%20SI%20413.pdf>. (Erişim Tarihi: 10.09.2018).
- [20] Indian-Code. 2002. Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures, in Design of Structures. http://iisee.kenken.go.jp/worldlist/24_India/24_India_Code.pdf. (Erişim Tarihi: 10.09.2018).
- [21] Köse M.M, Karşlıoğlu Ö. 2007. Dolgu Duvarların Bina Doğal Modal Periyot ve Mod Şekline Olan Etkileri. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, pp. 261-270, 16-20 Ekim, İstanbul.