

BİNALARIN BİRİNCİ DOĞAL TİTREŞİM PERİYODUNUN YAKLAŞIK OLARAK BELİRLENMESİ*

*Approximate Determination Of First Natural Vibration Period Of Buildings**

Salih İNCETAŞ
Ç.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh.Anabilim Dalı

Kamil TANRIKULU
Ç.Ü.Müh.Mim.Fak.
İnşaat Müh. Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada, binaların birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesi için çeşitli deprem yönetmeliklerinde verilen yaklaşık periyod formülleri irdelenmiştir. Bu amaçla taşıyıcı sistemi birbirinden farklı çok sayıda örnek bina seçilerek, bu binalara ait kesin ve yaklaşık periyod değerleri ile bu değerlere karşılık gelen taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Yaklaşık periyod formülleri ile elde edilen değerlerin kesin değerlere göre, özellikle yüksek yapılarda çok küçük kaldığı görülmüştür. Bu durum, binaların depreme karşı tasarımında ekonomik olmayan, ancak emniyetli yönde sonuçlar elde edilmesine neden olmaktadır.

ABSTRACT

In this study, approximate period formula given in various seismic regulations are examined for determining the buildings first natural vibration period approximately. For this object, by choosing a great deal of sample buildings whose bearing system is different from each other, the definite and approximate period values and base shears of these buildings are compared. It is seen that the values gained by approximate period formulae are very small according to the definite values, especially in high buildings. This attitude causes to obtain results that are not economic but safe while designing buildings against earthquake.

Giriş

Binaların deprem etkisi altında analizi ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, inşaat mühendisliğinin en önemli konularından biridir. Son yıllarda meydana gelen yıkıcı depremler, bu konunun ülkemiz açısından öneminin daha iyi anlaşılmasına neden olmuştur.

Depreme dayanıklı yapı analizi ve tasarımı, her ülkenin kendi koşullarına uygun olarak geliştirdiği deprem yönetmelikleri ile sağlanmaktadır. Söz konusu

*Yüksek Lisans Tezi- MSc.Thesis

yönetmelikler, bilim ve teknolojide meydana gelen gelişmeler göz önüne alınarak zaman zaman yenilenmektedir. Nitekim, Türk Deprem Yönetmeliği (1998) de son gelişmelerin ışığı altında yeniden düzenlenmiş ve Ocak 1998’de yürürlüğe girmiştir.

Bütün çağdaş deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi, Türk Deprem Yönetmeliği’nde de depreme dayanıklı yapı analizi için iki ayrı yöntem öngörülmektedir.

i)Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

ii)Dinamik Analiz Yöntemleri

Bu iki yöntemden genel olarak uygulanması ön görülen yöntem, “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi”dir.

60’lı yıllardan bu yana geliştirilen çağdaş yönetmeliklerde, deprem etkilerini yatay yüklerle temsil etme esasına dayanan Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin fazla güvenilir olmadığı var sayılmakta ve yapı yüksekliğinin belirli değeri aşması veya bazı yapısal düzensizliklerin bulunması gibi özel durumlarda,”Dinamik Analiz Yöntemleri” uygulanması öngörülmektedir. Bu yaklaşım 1998’de yürürlüğe giren Türk Deprem Yönetmeliği’nde de sürdürülmektedir.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde, yapıya etkiyen deprem yükleri, yapının 1. Doğal titreşim moduna ait periyot değeri (T_1) ile belirlenmekte ve toplam yatay yük hesabında kullanılan S spektrum katsayısı, bu değerin bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır ($S=S(T_1)$). Spektrum katsayısı belirli bir küçük bölgenin dışında T_1 periyot değeri ile ters orantılıdır. Yani, T_1 değeri arttıkça spektrum değeri, dolayısıyla yapıya etkiyen toplam yatay yük değeri azalmaktadır.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde en önemli husus, T_1 periyot değerinin hesaplanmasıdır. Bu yöntemin ilk uygulandığı yıllarda T_1 değerinin hesaplanması için yaklaşık formüller verilmiştir. Ancak, çok az sayıda örnek yapı üzerinde yapılmış olan deneysel araştırmalar sonucunda geliştirilmiş olan bu formüller, T_1 için gerçek değere oranla oldukça küçük değerler vermekte, dolayısıyla toplam yatay yükün aşırı derecede artmasına yol açmaktadır. Bu sebeple bir süre sonra yönetmeliklerde verilen yaklaşık formüller yerine, Rayleigh Oranı gibi, kesin değere oldukça yakın değerler veren formüller kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda bilgisayar olanaklarının gelişmesi ile yönetmeliklerde verilen yaklaşık formüller tamamen terkedilmiş, daha kesin sonuçlar veren formül ve yöntemler kullanılır hale gelmiştir. Ancak özellikle Amerika Birleşik Devletleri’nde yapılan çalışmalar, gerçek yapılarda deneysel olarak hesaplanan periyot değeri ile analitik olarak hesaplanan ve “kesin” olarak nitelendirilen periyot değerleri arasında çok önemli farklılıklar bulunduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu farkın en önemli nedeni, analitik hesaplarda göz önüne alınmayan dolgu duvarlarının rijitliği artırıcı etkisidir. Dolayısıyla binanın gerçek özel periyodu analitik olarak hesaplanan değerden küçüktür; yani, analitik olarak hesaplanan periyot değeri güvensiz yönde kalmaktadır. Bu durum yaklaşık özel periyot formüllerini yeniden gündeme getirmiş ve son yıllarda hazırlanan bir çok çağdaş deprem yönetmeliğinde, analitik olarak hesaplanan değere göre oldukça küçük periyot değerleri veren yaklaşık formüller önerilmiştir.

Ancak söz konusu formüller, çok az sayıda örneğe dayanılarak çıkarılmış olup, özellikle yüksek yapılar için aşırı derecede düşük periyod değeri vermekte, dolayısıyla ekonomiden büyük ölçüde uzaklaşmaktadır.

Bu çalışmada, 1998 yılında yürürlüğe giren Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan yaklaşık özel periyod formülleri, çok sayıda örnek yapıya uygulanarak irdelenmekte ve uygulamada karşılaşılabilecek olumsuzluklar üzerinde durularak bazı önerilerde bulunmaktadır.

Yapıların Doğal Titreşim Periyotlarının Yaklaşık Olarak Hesabı

Bugüne kadar bina doğal titreşim periyodunun belirlenmesi için bir çok ampirik formül verilmiştir. Bunlardan biri

$$T = \frac{0.1 \times N}{K} \quad (4.1)$$

formülüdür. Burada N ve K sırasıyla temel düzeyinden itibaren kat adedi ve yapı tipi kat sayısıdır (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2. Baskı, 1989). Diğer bir yaklaşık periyot formülü

$$T = \frac{0.09 \times H}{\sqrt{D}} \quad (4.2)$$

şeklinde. Burada H, toplam yapı yüksekliği ve D, deprem analizi doğrultusundaki yapı derinliğidir (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1967). Sadece kat adedine bağlı olarak yaklaşık periyot hesabı için

$$T = (0.07 \sim 0.1) \times N \quad (4.3)$$

formülü önerilmiştir. Burada N, temel düzeyinden itibaren kat adedidir (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1975 Baskısı ile Karşılaştırmalı Taslak, 1990).

$$T = \frac{R \times N}{100} \quad (4.4)$$

formülü ise yapı davranış katsayısı R'ye ve yapının temel düzeyinden itibaren kat adedi N'ye bağlıdır (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1975 Baskısı ile Karşılaştırmalı Taslak, 1990).

Amerikan Deprem Şartnamesi (UBC)'de yapıların doğal titreşim periyotlarının yaklaşık olarak hesabı için,

$$T_{1A} = C_t.H_N^{3/4} \quad (4.5)$$

formülü yer almaktadır. Formülde geçen C_t katsayısı, taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapılar için,

$$C_t=0.035 \text{ (0.0731)} \quad (4.6)$$

taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve ve perdelerden veya sadece perdelerden oluşan yapılar için,

$$C_t=0.020 \text{ (0.0488)} \quad (4.7)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Parantez içindeki değerler SI birim sistemi içindir. Ayrıca sadece perdeli yapılarda C_t değeri aşağıdaki formülle hesap edilmektedir.

$$C_t=1/\sqrt{A_c} \quad (\text{SI için : } 0.00743/\sqrt{A_c}) \quad (4.8)$$

(4.8) formülünde geçen A_c değeri

$$A_c=\sum A_{wj} [0.2+(l_{wj}/H_N)^2] \quad (4.9)$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

Yeni Deprem Yönetmeliğine (1998) göre, daha kesin hesap yapılmadıkça deprem analizi yapılan binaların doğal titreşim periyodunun Rayleigh Oranı olarak bilinen

$$T_1=2\pi \left[\frac{\sum_{i=1}^N (m_i d_{fi}^2)}{\sum_{i=1}^N (F_{fi} d_{fi})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.10)$$

formülü ile hesaplanması istenilmektedir. Burada m_i , F_i , d_i sırasıyla kat kütleleri, katlara uygulanan fiktif yatay kuvvetler ve bu yüklere karşı gelen kat yer değiştirmeleridir. Formüldeki toplama işlemi tüm katlar üzerinde yapılmaktadır. Formülden de anlaşılacağı gibi, Rayleigh Oranı ile binaların doğal titreşim periyodunun hesaplanması için, binanın fiktif yüklerin etkisi altında üç boyutlu analizinin yapılması gerekmektedir. Bu durum, ilave bir hesap yükü ve bilgisayar kullanımı anlamına gelmektedir. Bu sebeple aynı Türk Deprem Yönetmeliğinde, yapıların doğal titreşim periyotlarının yaklaşık olarak hesabı için, UBC’de verilen

yaklaşık periyot formülünün (Denklem (4.5)) kullanılması önerilmektedir. Ancak formülünün uygulama sınırları ve yapı taşıyıcı sistemine bağlı olarak tanımlanan C_t katsayıları UBC'dekinden farklıdır. (4.6) denkleminde verilen yaklaşık periyot formülünün kullanılabilmesi için,

- i) 1^0 ve 2^0 Deprem bölgelerinde $H_N \leq 25$ m olmalıdır.
- ii) 3^0 ve 4^0 Deprem bölgelerinde tüm yapılarda uygulanabilmektedir.

(4.5) formülünde yer alan C_t katsayısının değeri, taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan yapılar için

$$C_t = 0.07 \quad (4.11)$$

taşıyıcı sistemi betonarme çerçeve ve perdelerden veya sadece perdelerden oluşan yapılar için

$$C_t = 0.05 \quad (4.12)$$

olarak verilmektedir. Taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan yapılar için bir sınır getirilmiş ve

$$C_t = 0.075/A_t^{1/2} \leq 0.05 \quad (4.13)$$

olarak öngörülmüştür.

Burada A_t ,

$$A_t = \sum A_{wj} [0.2 + (l_{wj}/H_N)^2] \quad (4.14)$$

formülü yardımıyla hesaplanmakta olup A_{wj} ve l_{wj} sırasıyla perde kesit alanı ve perde boyunu göstermektedir. Toplama işlemi kattaki tüm perdeler üzerinde yapılmaktadır.

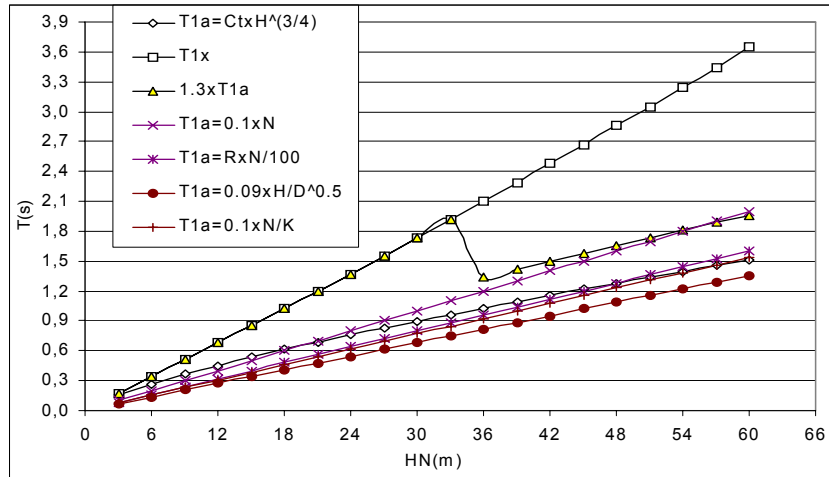
Bu çalışmada, (4.5) formülü ile verilen yaklaşık periyot formülü, Türk Deprem Yönetmeliği çerçevesinde emniyet ve ekonomi yönünden irdelenmektedir. Bu amaçla, bir sonraki bölümde, değişik plan, taşıyıcı sistem ve yüksekliğe sahip çok sayıda örnek binanın, deprem analizine esas doğal titreşim periyodu kesin olarak ve yaklaşık formül yardımıyla ayrı ayrı hesaplanacaktır. Daha önceki Deprem Yönetmeliklerinde yer alan ancak Yeni Deprem Yönetmeliğinden çıkarılan yaklaşık periyot formülleri ile de periyot değerleri hesaplanmıştır.

Araştırma Bulguları

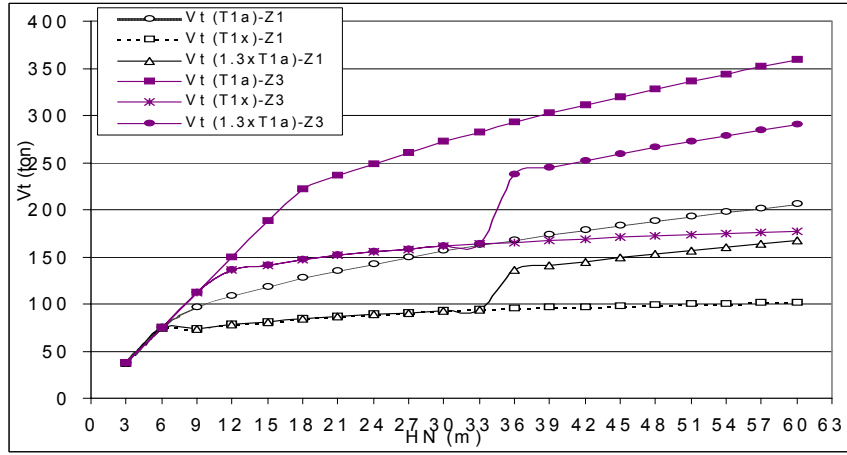
Bu bölümde, değişik plan ve taşıyıcı sistem özelliklerine sahip çok sayıda örnek yapının doğal titreşim periyotları, kesin ve yaklaşık yöntem ile hesaplanmıştır. Kesin hesap için ETABS bilgisayar programı kullanılmıştır. Ele alınan yapılar, taşıyıcı sistem itibarıyla 3 grupta toplanmaktadır.

- i) Sadece çerçevelerden oluşan yapılar (GRUP-1)
- ii) Perdeli ve çerçeve yapılar (GRUP-2)
- iii) Perdeli yapılar (GRUP-3)

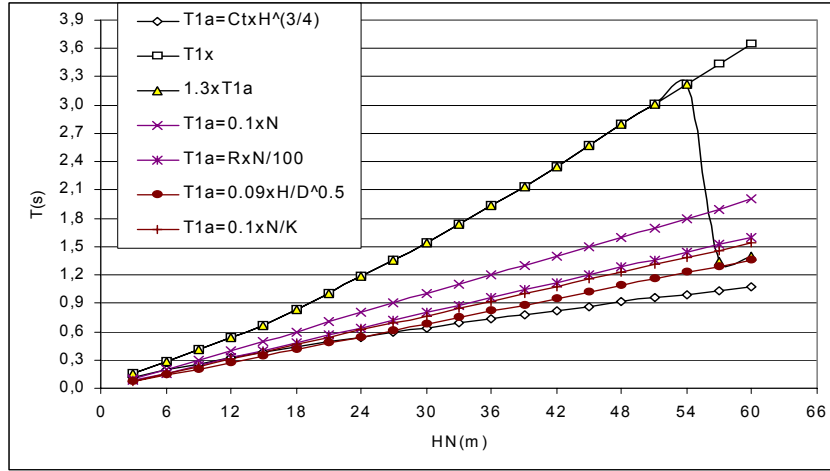
Bu çalışmada farklı yapı planlarına sahip GRUP-1 için 5 adet, GRUP-2 için 10 adet, GRUP-3 için 14 adet bina ele alınmıştır. Ele alınan binalara ait detaylı bilgi İncetaş'a ait tez çalışmasında yer almaktadır (S.İncetaş, 2001). Her bir binanın kat adedi 1-20 arasında değiştirilerek x ve y yönündeki birinci doğal titreşim periyotları, ETABS bilgisayar programı ile gerçekleştirilen serbest titreşim analizleri sonucunda hesaplanmıştır. Ayrıca elde edilen periyot değerlerine bağlı olarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile taban kesme kuvvetleri hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde gösterilmiştir. Şekil 1-6



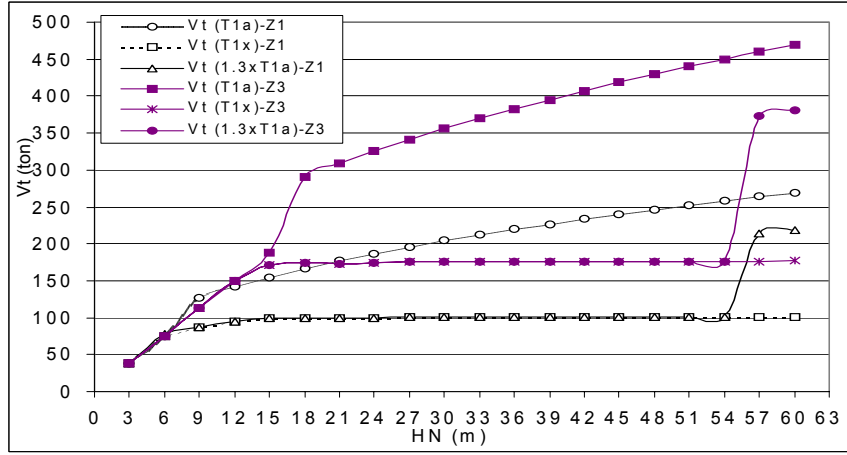
Şekil 1: Çerçeve yapı (GRUP-1) bir yapının (x) yönündeki periyot değeri



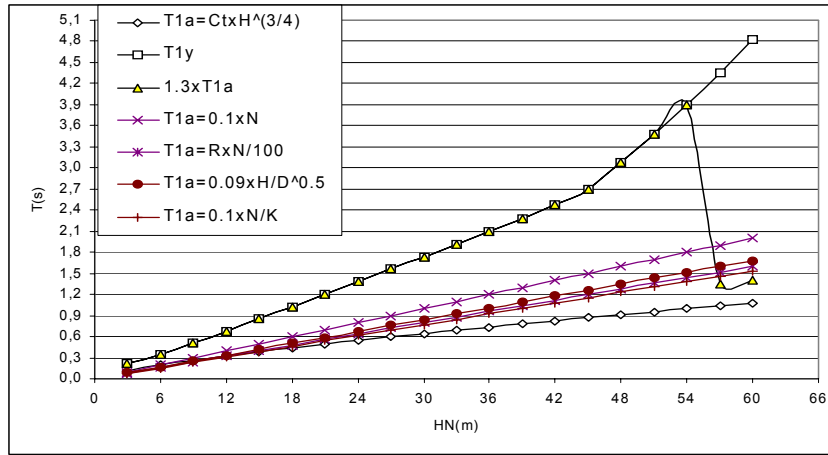
Şekil 2: Çerçeve (GRUP-1) bir yapının (x) yönündeki taban kesme kuvvetleri



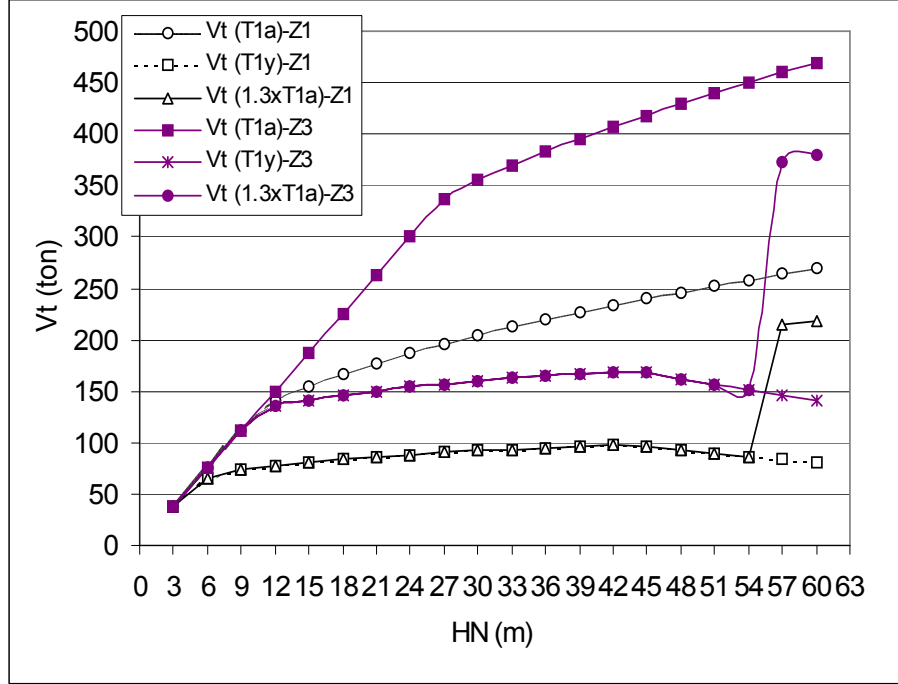
Şekil 3: Çerçeve ve perdeli (GRUP-2) bir yapının (x) yönündeki periyot değerleri



Şekil 4: Çerçevesel ve perdeli (GRUP-2) bir yapının (x) yönündeki taban kesme kuvvetleri



Şekil 5: Perdeli (GRUP-3) bir yapının (y) yönündeki periyot değerleri



Şekil 6 : Perdeli (GRUP-3) bir yapının (y) yönündeki taban kesme kuvvetleri

Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada birbirinden farklı taşıyıcı sistemlerde ve geometride (29) adet örnek bina üzerinde çalışılmıştır. Bu örnekler 1-20 kata çıkarılarak Serbest Titreşim Analizi ile Doğal Titreşim Periyotları bulunmuş (T_1) ve Ampirik bağıntı ile hesaplanan periyot değerleri (T_{1A}) ile grafikler üzerinde kıyaslanmıştır. Yeni Deprem Yönetmeliğinde yer alan yaklaşık yapı periyot formülü ile daha önce yapı yönetmeliklerinde yer alan fakat şuanda kullanımdan kalkmış yaklaşık periyot formülleri birbiri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bulunan periyotlara göre belirli bir deprem bölgesi, Bina Önem Katsayısı, Yerel Zemin Sınıfı, Spektrum Karakteristik Periyodu ve Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı seçilerek Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile; Taban Kesme Kuvvetleri bulunmuş ve Ampirik Yöntemle hesaplanan ile Serbest Titreşim Periyoduna karşılık gelen değerler birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Görölmüştür ki, sadece çerçevelerden oluşan yapı grubunda (GRUP-1) ve hem çerçeve hem de perdelerden oluşan yapı grubunda (GRUP-2) Ampirik Yöntemle hesaplanan (T_{1A}) ile Serbest Titreşim Analizi ile elde edilen (T_1) periyot değerleri, yapı yüksekliği küçük olan yapılarda birbirine yakın (bir iki kat), yapı yüksekliği büyük olan (çok katlı) yapılarda ise birbirinden oldukça uzak (Serbest Titreşimle elde edilen Ampirik yöntemle elde edilenin ortalama 1.5 katı düzeyinde) olduğu anlaşılmıştır. Bunun sebebi Ampirik yöntemde ($T_{1A} = C_t \cdot H_N^{3/4}$) sadece taşıyıcı sistem katsayısı (C_t) ve yapı yüksekliği H_N 'nin yer alması ve yapının (x) ve (y) boyutları yani atalet durumu, yapı kütlesi (m), yapı rijitliği (EI) ve yapının kat

yüksekliği (h)'ın kullanılmıyor olmasıdır. Ayrıca yapı sadece perdelerden oluşuyor (GRUP-3) ise (C_t) için bir üst sınır getirilmiş ve 0.05 veya daha küçük olması istenmiştir ve C_t 'nin hesabında perdelerin kesit alanı A_w , deprem yönündeki perde derinliği l_w kullanılmıştır. Buna rağmen (T_{1A}) Serbest Titreşimle elde edilen (T_1) değerinden oldukça küçük çıkmaktadır. Deprem yönetmeliğinde bu durum için ($T_{1A} > 1.0$) olması durumunda ($1.3 \times T_{1A} \geq T_1$) sınırı getirilmiştir. Bu durum çözülen örneklerde çerçeveli yapılarda yaklaşık 30 m, hem çerçeveli hem perdeli yapılarda veya sadece perdeli yapılarda 54 m yükseklikten sonra başlamıştır.

Yukarıda bulunan Doğal Titreşim Periyotları kullanılarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Taban Kesme Kuvvetleri hesaplandığında Ampirik yöntemin ekonomik olmayan yönde Taban Kesme Kuvvetleri verdiği, buna karşın güvenli yönde kaldığı gözlenmiştir.

Yaklaşık yapı periyodu formülleri ile yapılan çözümlerde yapının taşıyıcı sistem özellikleri fazla etkili olmamaktadır. Yani taşıyıcı sistem çerçeveli ve perdelerden oluşan bir yapı ile taşıyıcı sistemi sadece perdeden oluşan bir yapının taban kesme kuvvetleri aynı çıkmaktadır.

Yeni Deprem Yönetmeliğinde yer alan yaklaşık periyot formülleri az katlı yapılarda hem güvenli hem de ekonomik yönde çözümler verebilmektedir. Ancak çok katlı yapılarda bu durum geçerli olmamaktadır. Bu nedenle dinamik analiz yapan bir bilgisayar programı ile yapının çözümü hem zaman, hem güvenlik ve hem de ekonomi açısından daha uygun olacaktır.

Kaynaklar

- DÜNDAR, C., KIRAL, E., TANRIKULU, K., TOKGÖZ, S., Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Bina Analiz ve Tasarımı, TMMOB İnş. Müh. Odası Adana Şubesi, 1998.
- IAEE, REGULATIONS FOR SEISMIC DESIGN A WORD LIST, Tokyo, 1996
- CELEP, Z., KUMBASAR, N., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul, 1993
- CELEP, Z., KUMBASAR, N., Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş, İstanbul, 1993
- ÖZMEN, G. 1997 Deprem Yönetmeliği ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, İstanbul Bülteni, TMMOB İnş. Müh. Odası İstanbul Şubesi, Sayı: 36, 1998.
- ÇAKIROĞLU, A., ÖZMEN, G. Yapıların Özel Periyotlarının Tayini ve Modların Süperpozisyonu Yöntemi, İstanbul, 1977
- BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 1968
- DEPREM MÜHENDİSLİĞİ TÜRK MİL.KOM.YAYINLARI NO:5, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İstanbul, 1989
- BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 1990
- BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 1997.
- İNCETAŞ, S. Binaların Doğal titreşim Periyodunun Yaklaşık Olarak Belirlenmesi, Adana, 2001.