

Araştırma Makalesi

Zemin Hakim Periyodu ve Bina Yüksekliği Rezonans İlişkisi

Soil Dominant Period and Resonance Relation of Building Height

Ali KEÇELİ¹, Mustafa CEVHER²

Öz

Bu çalışmada binaların rezonans periyot aralıklarını saptamak için zemin yapı arasındaki hakim periyot ilişkisi incelenmiştir. (0.2 ile 2) saniye arasındaki bina, T ve zemin hakim periyotlarının, T_z , oluşturdukları rezonans bölgelerini saptamak için sinyal analizi uygulanmıştır. Zemin sınıflaması için deprem rezonans bölgesi etkinlik eğrileri elde edilmiştir. Deprem rezonans bölgesi etkinlik eğrilerinin dönüm noktaları karakteristik periyot olarak tanımlanmıştır. Sinyal analizine göre, $T = (0.5-1.5)T_z$ saniyeler arasındaki zemin periyodu aralığı bina kat adedi rezonans risk bölgesi olmaktadır. Bina doğal periyodu ve kat adedi veya bina yüksekliği arasındaki ilişkiler kullanarak zemin hakim periyodu ile değişen rezonans bölgesi kat adetleri eğrileri elde edilmiştir. Aynı özellikleri kullanarak bina rijitlik özellikleri ile değişen rezonans bölgesi kat adetleri eğrileri de elde edilmiştir. Bina kat adedi rezonans risk bölgesi saptamasında; 1-Rijitlik kot değerine göre uygulama, 2- Bina kot yüksekliği ve farklı rijitlik değerlerine göre uygulama, 3-Eski binaların zemin-bina rezonans ilişkilerinin denetimleri için uygulama örnekleri verilmiştir. Sonuç olarak, zemin hakim periyodu bilindiğinde, tasarlanan bina yüksekliği kat adedi rezonans bölgesi eğrilerinden pratik olarak saptanabilmektedir. Bu uygulama depremlerde zemin yapı etkileşimini tahmin etmek için basitleştirilmiş yararlı bir yöntem olmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada deprem zemin hakim periyodu hesabında farklı katman kalınlığı kullanımları ve bina deprem rezonansı ilişkisi üzerine farklı yaklaşımlar tartışılmıştır. Bu bağlamda, zemin hakim periyodu hesaplanması için, zemin toplam derinliğinin yönetmelik düzenlemeleri ve yüzey dalgası aktif derinliğine göre 50 metre kullanılması gerektiği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin hakim periyodu, Rezonans, Building height

ABSTRACT

In this study, the relationship of dominant period between soil-structure interactions was investigated to determine the resonance period intervals of buildings. The signal analysis were applied to determine the resonance regions between building periods, T, and soil periods, T_z with (0 and 2) seconds. Earthquake resonance effectivity curves were obtained for soil classification. Turning points of earthquake resonance effectivity curves were defined characteristic periodes ($T_A - T_B$). According to this signal analysis, soil interval period between $T = (0.5-1.5) T_z$ seconds becomes the building store number resonance risk region. Building store number curves of resonance region which changes as the function of the soil dominant period were obtained by using the relation between the building natural period and the store number or building height. Building store number curves of resonance region which changes as the function of the building rigidity were also obtained by using the same properties. In determination of resonance risk region; 1- application according to rigidity code values, 2- application according to different rigidity code values and building height, 3- Application for the control of soil-building resonance relationship of old buildings were given. In conclusion, if the dominant periods of soils are known, store number and the height of the building designed could be determined as practical from the resonance region curves. This application is useful simple method for the estimation of the soil-structure interaction during the earthquake. Also, in this study, different approaches in the calculations of soils dominant period for different layer thicknesses and the earthquake resonance relationships of buildings were discussed. In this context, for calculation of dominant period, it is shown that total depth of the layer should be used 50 meters according to the disaster regulations and surface wave active depth.

Keywords: Soil Dominant Period, Resonance, Bina yüksekliği

GİRİŞ

Deprem dalgaları zemin ortamında yayılırken zeminler sahip oldukları özelliklere bağlı olarak farklı frekans ve genlikleri içerir ve farklı davranışlar gösterirler. Bu davranışlara bağlı olarak çeşitli hasar türleri oluştururlar. Zeminlerin farklı özellikleri önceden tespit edilerek zeminlerin deprem esnasında nasıl davranabilecekleri belirlenebilmektedir. Deprem dalgaları zeminde yayılırken birçok titreşim frekansları içerirler. Zeminlerin davranışlarını saptamada en önemli faktörlerden biri zeminin deprem sarsıntısında hakim titreşim frekansı veya hakim periyodudur. Deprem hasar türlerinden önemli biri olan rezonans hasar türü zemin hakim periyodu ile bina yükseklik veya kat adetleri arasında oluşan

¹ Salacak Mahallesi, Bestekar Selahattin Pınar Sokak, Deniz Apartmanı, No:130/8, ÜSKÜDAR-İSTANBUL

² Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Zemin Deprem İnceleme Müdürlüğü, İZMİT-KOCAELİ

* İlgili Yazar/Corresponding Author: mcevher_@hotmail.com

Gönderim Tarihi: 26.09.2018

Kabul Tarihi: 25.12.2018

rezonans ilişkisi bilinen bir gerçektir. Zemin hakim periyodu değiştirilemez, fakat bina yüksekliği veya kat adedi ve diğer özellikleri değiştirilebilir. Bu bakımdan, yapılacak bir binanın tüm özellikleri inşaat mühendisleri tarafından saptanır. İnşaat proje tasarımında deprem zemin hakim periyoduna bağlı bina kat adedinin veya bina yüksekliğinin önceden belirlenmesi rezonans hasarlarının en aza indirgenmesi bakımından hem hayati, hem ekonomik önem arz etmektedir. Binaların rezonans olayı inşaat mühendisliği ve jeofizik mühendisliği bilim alanlarında incelenmiş fakat bu iki farklı bilim alanını birlikte değerlendiren literatürde açık bir yayın bulunmamaktadır. Aytun (2001) bildirisinde bina kat adedi ve zemin etkin periyodu ilişkisini irdelemiş ancak, zemin etkin periyodunu 100 metrelere varan derinlikler için saptanması örneğini vermiştir. Aytun tarafından verilen örnek hakim periyot saptanması, aşağıda açıklandığı üzere, kabul edilemeyecek bir uygulamadır. Pratikte 30 ve 50 metre katman derinliği gibi daha farklı uygulamalar yapılmaktadır. Bu çalışma, (Keçeli ve Cevher 2015) deki yayının genişletilmiş olup zemin hakim periyodunun sağlıklı saptanmasını sağlamak ve zeminlerin hakim periyotları ile bina yükseklikleri arasındaki genel ilişkinin sinyal analizi yöntemiyle inceleyerek imar planlamalarına esas teşkil edecek depremde rezonansa girmeyecek bina yükseklik veya kat adetlerinin önceden belirlenebilmesini ve dolayısıyla depremde rezonans hasar türünü asgariye indirmeyi amaçlamaktadır.

ZEMİN İLE BİNA REZONANS İLİŞKİSİ SINYAL ANALİZİ

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) rezonans etkisini spektral ivme katsayısı, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyoduna bağlı olarak saptanan spektrum katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı hesaplamalarıyla azaltabilmektedir. (Arnold, 2013) Bu durumu sağlamanın her zaman mümkün olmayabileceğini ifade etmektedir. Bununla beraber, Arnold, yapımı tamamlanmış veya tasarımdaki yapının yükseklik, kütle, rijitlik ve diğer çeşitli özellikleri değiştirilerek bina rezonans uzaklaştırılabileceğini belirtmektedir. Bu boşluğu doldurmak ve korelasyon sağlamak amacıyla, bina ön tasarım aşamasında kullanılacak alternatif bir yöntem olarak, basit fakat daha gerçekçi ve hızlı bir ön tasarım yöntemi aşağıdaki gibi geliştirilebilir.

Depremlerde zemin-bina etkileşimi ile oluşan bina titreşim genliğinin büyümesi olayı bina rezonansa girmesi olarak adlandırılır. Zemin titreşim frekansı ile bina öz frekansının aynı olması durumunda binayı titreştiren kuvvet aynı doğrultuda olacağından, aynı doğrultudaki iki kuvvetin toplamı büyüyeceğinden bina titreşiminin genliği de büyür, daha büyük salınım yapar, dolayısıyla ivmesi büyür. Deprem esnasında herhangi bir bina rezonansa girerse binanın titreşim genliği büyümesi oranında hasar derecesi de ona göre artar. Örneğin; Şekil 1. 1999 depreminde benzer yapı özelliğine sahip yapılarda farklı hasar meydana gelmiş tipik bir zemin-bina rezonans ilişkisini göstermektedir. Fakat Şekil 2. de minare devrilmiş ve kırılmış ve cami yan yatarak yıkılmış, farklı yükseklikteki yapıda Şekil 1. deki gibi farklı hasar olmadığından deprem hasarı zemin deformasyonu hasarından dolayı meydana geldiği anlaşılmaktadır. Şekil 3. Kocaeli üniversitesi Aslanbey Kampüsü İdari Bilimler Fakültesi Binası 1999 deprem hasarı çeşitli yönlerini göstermektedir. Deprem sarsıntısında 5 katlı binanın yıkılmadığı, fakat çıkmalı ve zayıf kısımların hasara uğradığı fakat bitişik tek ve iki katlı binada hiçbir hasar olmadığı Şekil 3. (b) de görülmektedir.



(a)

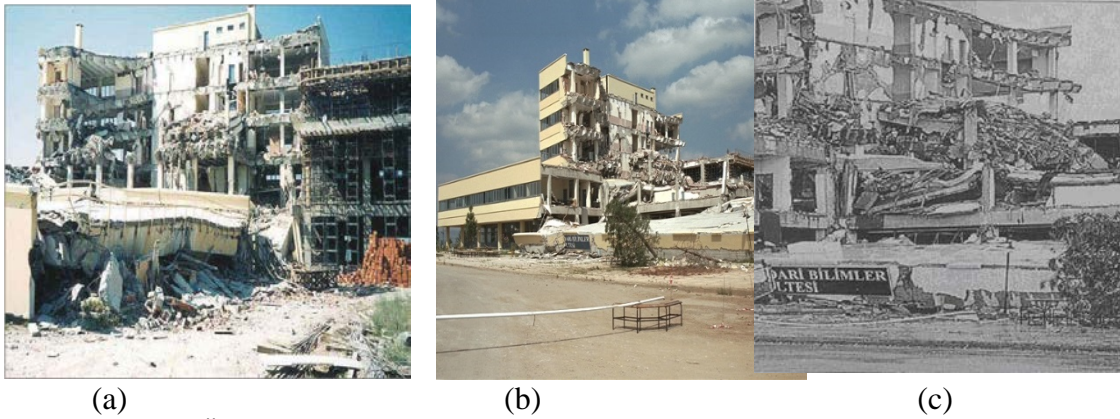


(b)

Şekil 1. Deprem rezonans hasar örnekleri(URL-3).
Figure 1. Examples of earthquake resonance damage (URL-3).

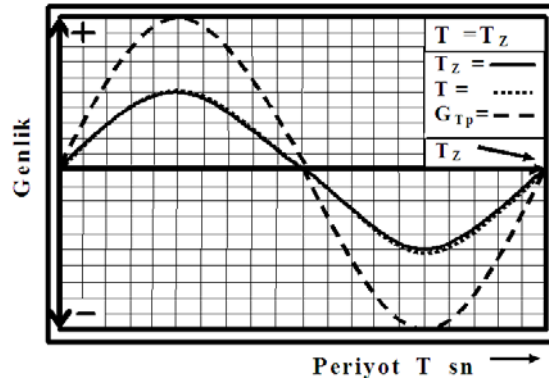


Şekil 2. Minare devrilmiş ve kırılmış ve cami yan yatarak yıkılmış.
Figure 2. The minaret is overturned and broken and the mosque is lying down on its side



Şekil 3. Kocaeli Üniversitesi Aslanbey kampüsü idari bilimler fakültesi binası 1999 deprem hasarı.
Figure 3. Kocaeli University Aslanbey campus administrative sciences faculty building 1999 earthquake damage

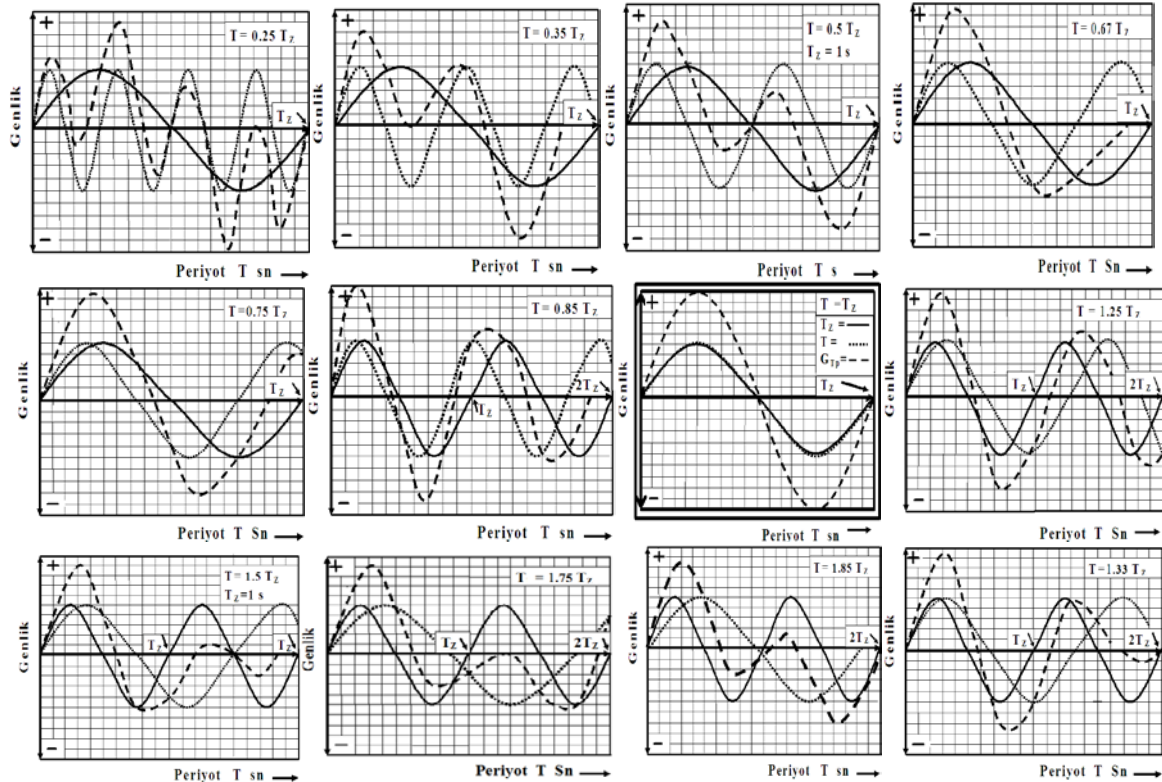
Şekil 1. ve 2. de farklı yükseklikte yapılar farklı hakim periyotlu zemin üzerine inşa edilmiş farklı hasar oluşmuş, şekil 3. de ise; farklı yükseklikte yapılar aynı hakim periyotlu zemin üzerine inşa edilmiş farklı hasar oluştuğu görülmektedir. Doğal periyot farklarının çok büyük olduğu bitişik binalarda en büyük hasar nedeni rezonans olması doğaldır. Bu nedenle, deprem rezonans hasarlarının iç yüzünü anlamada ve binayı rezonanstan uzaklaştırmada yararlı olacağından rezonans olayını sinyal analizi basitleştirilmiş örnekleriyle açıklanabilir. Bunun için, zemin periyodu ile bina periyodu arasında etkileşim konusunu basite indirgenerek aşağıdaki sinyal dalga boyu prensibi izlenmesi tercih edilmiştir. Titreşen herhangi bir cisim veya yapıdal.mod en büyük genlik ve periyoda sahip olması sinyal analizinin temel ilkesidir. Zemin ve bina titreşimlerinin en büyük periyodu olan fundamental veya 1. modları ele alınarak zemin ve bina titreşimlerinin etkileşimi basit olarak aşağıdaki gibi değerlendirilebilir: Gerçekte, zemin periyodu (T_z) genliği bina periyodu (T) genliğinden (G) çok büyük olmakla beraber rezonans analizi temsili bir gösterimi için 1. mod genliklerinin $G = G_z$ eşit olma durumunda sinyal analizi yapılması uygun olmaktadır. T_z titreşim sinyal genliği G_z ile T bina titreşim genliğinin G absis üzerindeki Şekil 4. de $T = T_z$ olduğunda toplam genlik $G_{\text{Toplam genlik}} = G_z + G$ olarak büyümüş olmaktadır.



Şekil 4. Zemin ve bina hakim periyotları ve rezonans oluşumu.

Figure 4. Soil and building dominant periods and resonance formation.

Zeminin hakim periyodu T_z ile orantılı değişebilecek şekilde bina doğal periyodu T , şekil 5. deki gibi, $T = XT_z = (0.25, 0.35, 0.5, 0.67, 0.75, 0.85)T_z$, ve $T = (1.25, 1.33, 1.5, 1.75, 1.85)T_z$ olarak zemin ve bina titreşimlerinin birinci modlarının ortak davranışları için rezonans durumu analizi sinyal analiz yöntemiyle aşağıdaki gibi uygulama yapılabilir. Burada $T = XT_z$ eşitliğindeki (X) T ve T_z arasında herhangi bir periyot oranı değeridir.



Şekil 5. Depremde zemin ve binaların fundamental periyotlarının sinyal analizi uygulaması.

Figure 5. Signal analysis application to the fundamental periods of the soil and building in earthquake.

Deprem rezonans olayında genliği ve periyodu büyük olan titreşimler daha büyük hasarlara sebep oldukları temel ilkedir. Şekil 5. de, bina T hakim titreşim ve zemin hakim titreşim T_z sinyallerin sırasıyla $G_{\text{Toplam genlik}} = G + G_z$ genlik değişimleri bu temel ilkeye göre incelendiğinde;

1- $T = (0.25, 0.35, 0.5)T_z$ periyot değerlerindeki sinyal genliklerinin toplam genliği ($G_T = G + G_z$) zeminin veya deprem periyodundan daha küçük periyotlu genlikler olduğu görülmektedir. G_T değişimi bina zemin periyodu ile birlikte salınmadığını dolayısıyla rezonans etkisinin zayıf olduğunu ifade etmektedir. Sonuç olarak, $T_B < 0.5T_z$ ilişkisinde bina rezonansa girmeyeceğini ifade etmektedir.

2- $T = (1.5, 1.75, 1.85)T_Z$ periyot değerlerindeki sinyal genliklerinin toplam genliği zeminin veya deprem periyodundan büyük periyotlu genlikler göstermektedir. G_T toplam genlik ilk yarım periyotta büyürken diğer ikinci yarım periyotta toplam genlik oldukça küçülmüş olarak aynı değerlerde kalmaktadır. Sonuç olarak, $T > 1.5T_Z$ ilişkisinde bina zemin periyodu ile birlikte salınmadığını, rezonansa girmeyeceğini ifade etmektedir.

3- $T = XT_Z = (0.5, 0.67, 0.75, 0.85, 1, 1.25, 1.33, 1.5)T_Z$ periyot değerlerindeki sinyal genliklerinin toplam genliği $G_{\text{Toplam genlik}} = G_Z + G_B$ grafiğinin değişimine göre; bina zemin periyodu ile birlikte veya ona yakın bir periyot ile büyük genliklerde salınabildiğini göstermektedir. Sonuç olarak, $T = (0.5-1.5)T_Z$ periyot aralığında bina rezonansa gireceğini göstermektedir.

4- $T < 0.5T_Z$, $T > 1.5T_Z$ periyot değerlerindeki sinyal genliklerinin toplam genliği G_T zeminin periyodundan daha küçük periyotlu genlikler $G_T < G_Z$ olduğu görülmektedir. G_T değişimi bina zemin periyodu ile birlikte salınmadığını dolayısıyla rezonans etkisinin zayıf olduğunu veya hiç olmadığını ifade etmektedir.

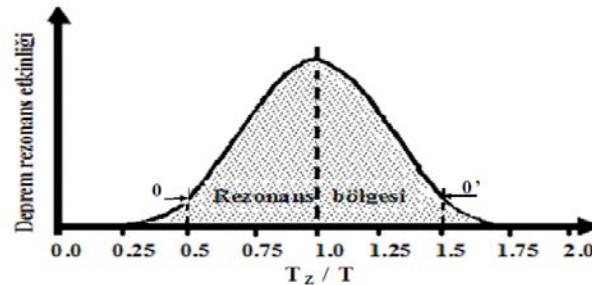
Şekil 4. ve 5. deki $T = XT_Z$ eşitliğinde T bina periyot değeri T_Z zemin periyodunun her hangi bir değerinin katları şeklinde alınmıştır.

$$T_A = (1-0.5)T = 0.5T_Z \quad \text{ve} \quad T_B = (1+0.5)T = (1.5)T_Z$$

olması durumlarında Şekil 5. deki sinyallerin periyot ve genlik değişimleri, seçilen birinci mod sinüs eğrisinin kural gereği simetrik olma zorunluluğu nedeniyle, yukarıdaki 1.,2. ve 3. şıklardaki durumun $T_Z = XT$ durumunda da aynı olmaktadır. Bu nedenle, T , T_Z periyodu ve genliği ne olursa olsun

$$T = (0.5-1.5)T_Z = (T_A - T_B) \quad (1)$$

değerleri arası rezonans bölgesi karakteristik periyot aralığı değerleri olmaktadır. İki sinüzoidal sinyalin şekil 4. deki gibi, birinin artı ve eksi yönde eşit kaydırılması durumunda elde edilecek toplam sinyal şekli simetrik olur. Zemin ve bina titreşim sinyallerinin rezonans etkinliği $(T_Z/T) = 1$ oranına göre de simetrik olmak zorundadır. Zemin ve bina rezonans etkinliğinin T_Z / T periyot oranına göre değişimi şekil 6. da kabaca değişim şekli ile temsil edilebilir. Şekil 6. $T = T_Z$ olduğunda maksimum rezonans, eşitlikten uzaklaştıkça rezonans etkisinin azalarak devam ettiğini göstermektedir.

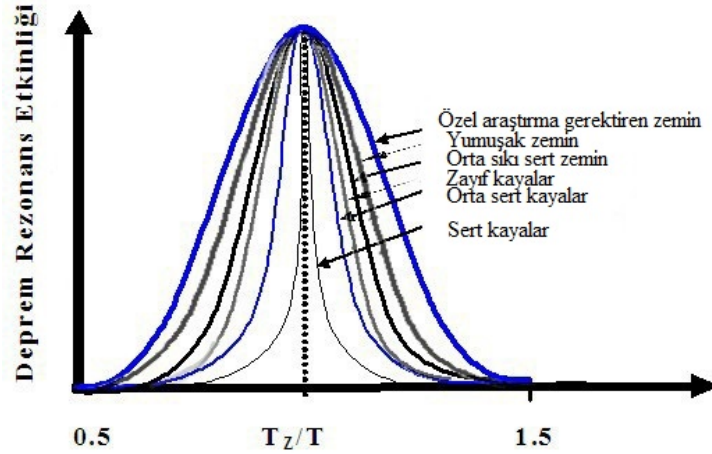


Şekil 6. Zemin ve bina titreşim sinyallerinin rezonans bölgesi değişimi.
Figure 6. Resonance zone change of ground and building vibration signals

Şekil 6. da ki rezonans bölgesi eğrisinde yavaş değişimden hız artışa geçiş noktaları olan 0 ve 0' dönüm noktaları binanın zemin periyoduna bağlı (2) deki T_A ve T_B rezonans karakteristik periyotlarını ifade etmektedir. (1) deki $T = (0.5-1.5)T_Z$ bağıntısı binanın zemin periyoduna bağlı T_A ve T_B rezonans karakteristik periyotlarını ifade etmektedir. Aşağıda Tablo 1. de gösterildiği gibi TBDY, 2018 ' zemin sınıflarına göre spektrum karakteristik periyot değerleri $(T_A - T_B)$ katman kalınlığına ve zemin türüne

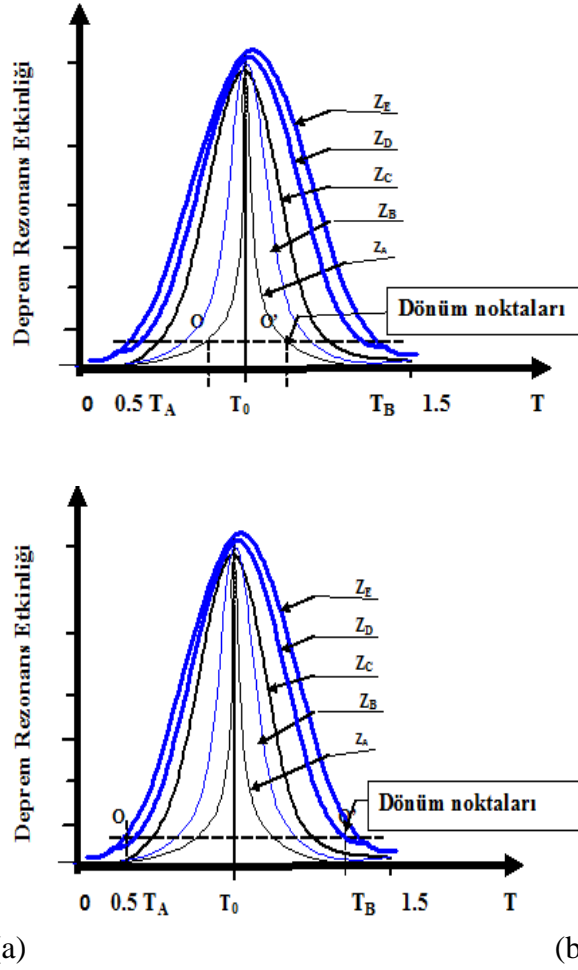
göre tahminsel olarak tanımlanmıştır. Bu bağlamda, sismik yöntemlerle yerinde ölçülerek elde edilen zemin hakim periyodu ile T_A ve T_B rezonans karakteristik periyotları arasında benzer bir ilişki ve tablo aşağıdaki gibi kurulabilir.

Şekil 7. da rezonans bölgesi sınır değerleri içinde $T=(0.5-1.5)T_Z$ zemin özelliklerine göre rezonans bölgesinin değişim şekilleri görülmektedir. Şekil 7. da Z_A türü kaya zeminlerin diğer zemin türlerine göre oldukça dar rezonans bölgesi göstermesi ve gevşek zemin türüne doğru rezonans bölgesinin genişlemesi normal bir sonuçtur. Şekil 8. deki zemin türlerine göre rezonans bölgesi deprem rezonans etki şeklini gösteren eğrilerin dönüm noktaları arasında hızlı bir artış olması ve pik yapması yine doğal bir sonuç olmaktadır. Söz konusu pik değer ait olduğu zeminin hakim periyodu olmaktadır. Dolayısıyla her bir eğrinin dönüm noktaları T_A ve T_B karakteristik periyot değerleri olmaktadır. T_A ve T_B karakteristik periyot değerleri TBDY de verilen Tablo 1. deki zemin sınıflarına göre aşağıdaki gibi elde edilebilir.

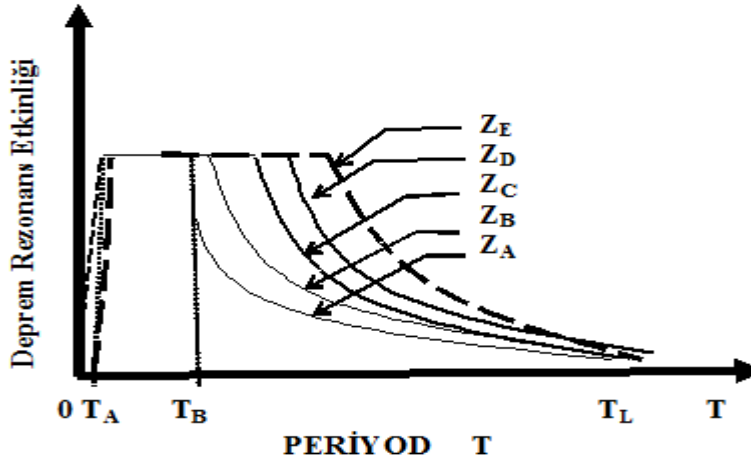


Şekil 7. Zemin guruplarına göre rezonans bölgesi periyot değişimleri.
Figure 7. Period changes of resonance zone according to soil groups.

Pratikte genelde saptanan Z_A türü kaya zeminlerde en büyük periyot değerleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) de Z_A Zemin sınıfında Zemin Hakim Periyodu 1500 m/sn için 0.1 sn olur. Bu değere göre rezonans bölgesi (0.5-1.5) sınır değerlerinden T_A - T_B aşağıdaki tablo 1 deki gibi elde edilebilir. Arazide ölçülecek V_s kayma dalgası hızına göre saptanacak T_A - T_B değerleri inşaat mühendisinin proje tasarımında önemli bir faktör olacaktır. Zemin türleri için rezonans bölgesi eğrileri şekil 8 deki gibi olmak durumundadır. O-O' rezonans bölgesi eğrilerinin dönüm noktasını göstermektedir.



Şekil 8. Rezonans bölgesi dönüm noktaları ve karakteristik periyotları (T_A - T_B).
Figure 8. Resonance region turning points and characteristic periods (T_A - T_B).



Şekil 9. Spektrum katsayısı eğrisi.
Figure 9. Spectrum coefficient curve

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY), de şekil 9. da Şekil 8. deki (T_A OO'1.5) arasındaki ZA eğri gurubunu bir başlangıç noktasından itibaren Tablo 1. deki sismik yöntemler kısmındaki T_A –

T_B değerlerine göre çizilecek olursa Şekil 9. daki spektrum katsayısı eğrisine benzer eğri şekli elde edilir. Benzer işlem diğer zemin guruplarına da uygulandığında Şekil 9. daki $T_A - T_B$ eğri gurubu elde edilir.

Düzenleştirilmiş ivme spektrum eğrisinde görüldüğü gibi, rezonans etkisini spektral ivme katsayısı, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyoduna bağlı olarak saptanan spektrum katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı tasarım hesaplamalarıyla azaltabilmektedir (TBDY, 2018). (Arnold, 2013) bu durumu sağlamanın her zaman mümkün olmayabileceğini ifade etmektedir. Bununla beraber, Arnold, yapımı tamamlanmış veya tasarımdaki yapının yükseklik, kütle, rijitlik ve diğer çeşitli özellikleri değiştirilerek bina rezonansdan uzaklaştırılabileceğini belirtmektedir.

ABD ve AB sınıflamasına göre kayma dalgası hızı $V_S < 100$ (m/s) olan ortamlarda zemin hakim periyodu 2 saniye civarında büyük elde edilebilmektedir (Arnold, 2013). Nitekim, (Salinas ve diğ., 2012) mikrotremör ölçüleriyle gevşek zeminin hakim periyodunu 1.93 saniye mertebesinde elde etmişlerdir. (Alfaro ve diğ., 2001) mikrotremör ölçüleriyle jeolojik özelliklere bağlı olarak zeminlerin hakim periyotlarının 2.1 saniye elde edilebildiğini ifade etmişlerdir.

Tablo 1. Sismik yöntemlere göre yerel karakteristik periyot değerleri.

Table 1. Site soil characteristic period values according to seismic methods.

Zemin sınıfı	Zemin cinsi	T=4h/V _S ve Mikrotremör		T _A - T _B
		V _S (m/s)	T=T _Z x(0.5-1.5)	
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	0,1x(0.5-1.5)	(0.01-0.2)
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760-1500	0.2x(0.5-1.5)	(0.1-0.3)
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	0.3x(0.5-1.5)	(0.2-0.5)
ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	0.5x(0.5-1.5)	(0.2-0.8)
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası () içeren profiller u 25 kPa c □ .	≤180	0.8X(0.5-1.5)	(0.4-1.2)
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.		1.2x(0.5-1.5)	(0.6-1,8)

Şekil 8. zemin ve bina titreşim sinyallerinin rezonans bölgesi $T = (0.5-1.5)T_Z$ değişimi Şekil 9. spektrum katsayısı eğrisindeki ve Tablo 1.deki spektrum karakteristik periyotları ($T_A - T_B$) aralığında eşdeğer periyot değerlerini temsil etmektedir. $T = (0.5-1.5)T_Z$ değerleri rezonans reel değerleri, TBDY de tasarım spektrumunda rezonans etkisi ($T_A - T_B$) köşe periyotları ,spektrum katsayısı $S(T)$ değerleri tasarım ve kabul değerlerdir. Bu bağlamda, binayı rezonans etkisinden uzaklaştırmak amacıyla, Rezonans Bölgesi Yöntemi alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir daha realistik ve hızlı bir Tasarım Yöntemi aşağıdaki gibi geliştirilebilir.

Bina Periyodu ile Yükseklikleri Arasındaki İlişki

Yukarıda sinyal analizinde bahsedilen zemin periyoduna, T_z , bağlı binaların rezonans bölgesi saptanabilirse deprem rezonans hasarlarını azaltmak mümkün olabilir. Binaların titreşim veya salınım periyotları esas olarak binanın kütlesine, sıklığına, sertliğine, mukavemetine ve boyutlarına (yüksekliğine, enine, boyuna) bağlı olup aşağıdaki deneysel bağıntılarla tanımlanmaktadır (Chun ve diğ., 2000), (Chiauszi ve diğ., 2012) ve (Anastasia ve diğ., 2013).

$$T = \frac{0.09H}{\sqrt{D}} \quad T = \frac{C_1 H}{\sqrt{D}} \quad (2)$$

Burada: H, bina yüksekliği, D, yatay kuvvete paralel doğrultuda bina boyutudur. Binaların titreşim veya salınım periyotları ve kat adetleri arasındaki ilişki (3) bağıntısı ile verilir

$$T = CN \quad (3)$$

Burada N, bina kat sayısı, C, orantı kat sayısı veya bina rijitlik değeri olarak adlandırılmaktadır.

Binaların rezonans bölgesini saptamak için zemin periyoduna, T_z , bağlı bina periyot değerleri (1) ifadesinden

$$T = (0.5-1.5)T_z \quad (4)$$

Yazılabilir. (1) ifadesi (3) deki $T_B = CN$ ifadesi ile eşitlenirse, başka bir deyişle bina periyodu T, zemin periyodu T_z cinsinden ifade edilirse

$$T_z (0.5-1.5) = CN \quad (5)$$

arası rezonans alt ve üst sınır periyot değerleri olarak T_1 ve T_2

$$T_1 = 0.5T_z \text{ ve } T_2 = 1.5T_z \quad (6)$$

ayrı ayrı tanımlanabilir. Binaların bina rijitlik durumuna göre (6) bağıntısından rezonans bölgesi alt ve üst periyot değerleri için bina yüksekliği H_1 , H_2 veya kat adetleri, sırasıyla, N_1 ve N_2 hesaplanarak hangi zemin periyodunda hangi yükseklikte veya hangi kat adedine sahip bina rezonansa gireceği aşağıdaki gibi önceden tahmin edilebilir. Betonarme binalarda bir katın ortalama yüksekliği 3 metre kabul edilirse $H=3 \times N$ olması gerekir. T_B, T_z cinsinden ifade edilirse,

$$N_1 = \frac{T_1}{C} = \frac{0.5T_z}{C} \quad H_1 \cong 3N_1 \quad , \quad N_2 = \frac{T_2}{C} = \frac{1.5T_z}{C} \quad H_2 \cong 3N_2 \quad (7)$$

elde edilir. Rezonans alt ve üst sınır periyot değerleri olarak T_1 ve T_2 saptanmasında bina aynı bina olduğu için bina rijitlik C değeri de aynı olur. Betonarme binaların zemin hakim periyodu değişimine göre bina rijitlik değerleri için $T = (0.5-1.5)T_z$ rezonans bölgesi periyot değerleri arası kat adedi rezonans bölgesi değişim grafikleri şekil (7 -11) de verilmiştir. Şekillerdeki grafiklerde zemin hakim periyotlarına, T_z , bağlı bina kat adedi elde edilmesine ait hesaplama örnekleri aşağıda açıklanmıştır:

Bina temelindeki zemin periyodu zemin iyileştirmeleri dışında sabittir. Bina periyodu ve rijidliği yapım özelliklerine bağlı olup değişkendir. Bu bağlamda, (Safina, 1996) (3) ifadesinde verilen $T = CN$ rijitlik, sertlik- periyot ilişkisini (betonarme binaların yapı sönüm oranının %5 olduğu bir durumda aşağıdaki gibi üç grupta toplamıştır.

$$\begin{array}{ll} \text{Esnek (flexible) binalar} & T_1=0.1N \\ \text{Orta (intermediate) sert binalar} & T_2=((T_1+T_3)/2 \\ \text{Rijit (rigid) binalar} & T_3=0.061h^{3/4} \end{array} \quad (8)$$

Esnek betonarme binalarda alternatif olarak $T=CN=0.1N$ ifadesindeki $C=0.1$ eski kot değerinin ancak $N \leq 12$ kat adedine kadar kullanılabileceğini belirtilmektedirler (Wasti, 2015).

(Goel ve diğ. 1997), (Chun ve diğ. 2000), (Chiauzzi ve diğ., 2012) (9), (Anastasia ve diğ. 2013) ve (Magdy, 2014) sırasıyla betonarme yapı yüksekliği H ve periyodu T_B arasında C_t yapı rijiditesine bağlı aşağıdaki European Code Ec:8 kot değerleri içeren

$$T=C_t H^Q=0.075H^{0.75} \quad (9)$$

bağıntıyı vermişlerdir. Burada C_t ve Q Yapı türüne ve ülke kot değerine göre değişen katsayılardır. (Chung ve diğ., 2000), ve (Chiauzzi ve diğ., 2012) yapımı tamamlanmış bina periyodunun binanın boyuna ve enine boyutuna göre ölçülmesi gerektiğini tahminsel değerlendirmelerden farklı elde edildiğini belirtmektedirler. Binaların boyuna periyodu enine ölçülenden bir miktar daha büyük olmaktadır. Bu bakımdan, ölçülen ile bağıntılardan saptanan periyot değerleri farklı görünür değerler olmaktadır. Esasen, sağlıklı rezonans çekincesi elde etmek için binanın deprem doğrultusundaki hakim doğal periyodu tahmin ederek tamamlanmış veya tasarımdaki bina periyodunu saptamak en güvenli yol olmaktadır

Zemin Periyodu ile Bina Yükseklikleri Arasında Rezonans Bölgesi İlişkisi

Binaların maksimum rezonans durumları $T_z=T=CN$ olduğunda meydana geldiğinden maksimum rezonans kat adedi

$$N_{MAK.REZ.KAT.AD.} = \frac{T_z}{C} = \frac{T_B}{C} \quad (10)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir. (8) ve (9) ifadelerindeki bina türüne göre bina katlarının T_B si farklı olduğundan dolayısıyla rijitlik C değeri farklı olup aynı zemin periyodunda farklı $N_{MAK.REZ.AD.}$ olur. Ancak, bu pratik ifade, şekil 6-7. deki zemin ve bina titreşim sinyallerinin rezonans bölgesi değişimine göre söz konusu maksimum kat adedi civarındaki katlarda rezonans hasar etkisi olmayacak anlamına gelmez. Şekil 1,2 ve 3. de görüldüğü gibi, patikte karşılaşılan sonuçlarda bu durumu teyit etmektedir. Bu nedenle deprem-zemin-bina ilişkisinde rezonans bölgesinin saptanması gerekmektedir. Yukarıda açıklanan rezonans bölgesi (8) ve (9) de verilen bina periyodu ile yükseklikleri arasındaki ilişkilere örnek olarak zemin periyodu $T_z= 1$ saniye olan bir mevkide rezonans bölgesi kat adedi hesaplama örnek olarak aşağıdaki gibi yapılabilir.

1- (8) deki esnek (flexible) binalar $T=0.1N$ bağıntısına göre, (7) bağıntısından $T_z= 1$ s olan bir mevkide

$$N_1 = \frac{T_1}{C} = \frac{0.5T_z}{C} = \frac{0.5 * 1}{0.1} = \frac{0.5}{0.1} = 5 \quad N_2 = \frac{T_2}{C} = \frac{1.5T_z}{C} = \frac{1.5 * 1}{0.1} = \frac{1.5}{0.1} = 15 \quad (11)$$

$T=0.1N$ için $T_z= 1$ s olan bir mevkide maksimum rezonansı (10) ifadesine göre $N_{MAK.REZ.AD.}=10$ olan binanın rezonans bölgesi kat adetleri $N_{1,2}=(5-15)$ olmaktadır.

2- (8) deki orta sert binalar Eu. Code:8 $T=0.075H^{0.75}$ bağıntısına göre, (9) bağıntısından

$$H^{0.75} = [3 * N]^{0.75} = \frac{T}{C_t} \quad (12)$$

elde edilen (8) bağıntısından

$$H_1^{0.75} = [3 * N_1]^{0.75} = \frac{T_1}{C_t} = \frac{0.5T_z}{C_t} = \frac{0.5 * 1}{0.075} = \frac{0.5}{0.075} = 7 \quad (13)$$

elde edilir. $H_1^{0.75}=7$ den $H_1=(7)^{1/0.75}= 12.5$ m. Buradan kat adedi $H_1=(3*N_1)$ den $N_1=4$ olarak elde edilir.

$$H_2^{0.75} = [3 * N_2]^{0.75} = \frac{T_2}{C_t} = \frac{1.5T_z}{C_t} = \frac{1.5 * 1}{0.075} = \frac{1.5}{0.075} = 20 \quad (14)$$

elde edilir. $H_2^{0.75}=20$ den $H_2=(20)^{1/0.75}= 54.3$ m. Buradan kat adedi $H_2=(3*N_2)$ den $N_2=18$ olarak elde edilir.

$T=0.075H^{0.75}$ için $T_z= 1$ s olan bir mevkide maksimum rezonansı (10) ifadesine göre $N_{MAK.REZ.AD.}=13$ olan binanın rezonans bölgesi kat adetleri $N_{1,2}=(4-18)$ olmaktadır.

3- (8) deki Rijit (rigid) binalar $T=0.061h^{3/4}$ bağıntısına göre, (9) bağıntısından

$$H_1^{0.75} = [3 * N_1]^{0.75} = \frac{T_1}{C_t} = \frac{0.5T_z}{C_t} = \frac{0.5 * 1}{0.061} = \frac{0.5}{0.061} = 8 \quad (15)$$

$$H_2^{0.75} = [3 * N_2]^{0.75} = \frac{T_2}{C_t} = \frac{1.5T_z}{C_t} = \frac{1.5 * 1}{0.061} = \frac{1.5}{0.061} = 25 \quad (16)$$

$T = 0.061 H^{0.75}$ göre $T_z= 1$ s olan bir mevkide maksimum rezonansı $N_{MAK.REZ.AD.}=16$ da olan binanın rezonans bölgesi kat adetleri $N=(5-24)$ olmaktadır.

Yukarıdaki üç farklı uygulamada zemin hakim periyodu $T_z=1$ saniye aynı olduğu halde C ve C_t değerlerinin değişmesiyle binaların maksimum rezonans değerlerinin değiştiği keza T_z nin değişmesiyle de değişeceği aşikardır. Söz konusu değişimin parametrelere fonksiyonel bağlı olarak nasıl değişebileceği aşağıdaki genişletilmiş uygulamalarla ortaya konabilir.

UYGULAMA

Bu bağlamda zemin-bina rezonans ilişkisinde yeni ve eski yapı olmak üzere aşağıdaki gibi iki farklı uygulama yapılabilir.

1-Yeni yapılacak yapı uygulaması:

- a- Ülke bina rijitlik kot değerine göre uygulama
- b- Plan dışı isteğe bağlı bina kot yüksekliği ve farklı rijitlik değerlerine göre uygulama

2-Eski yapı uygulaması: Eski yapıların zemin-bina rezonans ilişkilerinin denetimleri için uygulama

1- Yeni yapılacak yapı uygulaması:

a) Zemin periyodu T_z bilinen mevkide imar planında bina kot yüksekliği sınırlandırılmamış ise;

$T_z= 0.25$ saniye için rezonans bölgesi bina kat adedi sayısal hesaplama örneği:

Rezonans periyot aralığı (T_1, T_2) $= (0.5-1.5)$ saniyeleri arası olduğundan $T_z=1$ saniye olan bir zeminde rezonansa girmeyecek yapılabilecek bina kat adedi ön görülen projede tasarlanacak bina rijidite (C) değerine bağlı olarak (8) bağıntılarından saptanabilir.

Bu örnekte zeminin periyodu $T_z= 0.25$ saniyedir. Rezonans bölgesi periyot değerleri $T_1 = 0.5T_z = 0.5 \times 0.25 = 0.125$ orantısı nedeniyle alt sınır olarak binanın doğal titreşim periyodu $T_{B1} = 0.125$ saniye olmaktadır. Benzer şekilde üst sınır olarak binanın doğal titreşim periyodu $T_2 = 1.5T_z = 1.5 \times 0.25 = 0.375$ saniye olmaktadır. $T_z= 0.25$ saniyede $T_1 - T_2 = (0.125 - 0.375)$ saniyeye karşılık gelen kat adetlerini saptamak için betonarme binaya ait rijitlik değeri (1) ifadesinden $E_c:8$ rijitlik kot değeri $C=0.075$ olarak alındığında bina rezonans alt ve üst kat adetleri N aşağıdaki gibi elde edilir.

$$N_1 = \frac{T_1}{C} = \frac{0.5T_z}{C} = \frac{0.5 * 0.25}{0.075} = \frac{0.25}{0.075} = 2 \quad N_2 = \frac{T_2}{C} = \frac{1.5T_z}{C} = \frac{1.5 * 0.25}{0.075} = \frac{0.375}{0.075} = 5 \quad (17)$$

ve bina rezonans alt ve üst yükseklikleri $H_1=3N_1=3*2=6$ m ve $H_2=3N_2=3*5=15$ m elde edilir. $T_Z=0.25$ saniye ve $C=0.075$ olması durumunda $N=(2-5)$ arasındaki katlar rezonans risk bölgesi içine girdiğinden yapılacak binanın rezonansa girmemesi için $N=(2-5)$ katlar dışında seçilmesi gerekmektedir.

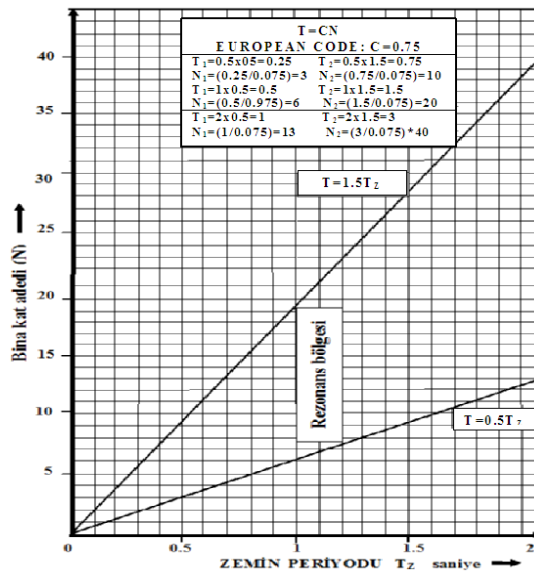
$T_Z=0.5$ saniye için rezonans bölgesi bina kat adedi sayısal hesaplama örneği:

T=CN		C=0.075		$T_Z=0.5$	
$T_1=0.5T_Z$				$T_2=1.5T_Z$	
$T_1=0.5*0.5=0.25$				$T_2=1.5*0.5=0.75$	
$N_1=(T_1/C)$				$N_2=(T_2/C)$	
$N_1=(0.25/0.075)=3$				$N_2=(0.75/0.075)=10$	
$H_1=3*N=9$				$H_2=3*N=30$	
(N ₁ -N ₂)=(3-10), (H ₁ -H ₂)=(9-30) m arası rezonans bölgesidir					

Zeminin periyodu $T_Z=1$ saniye rezonans bölgesi bina kat adedi sayısal hesaplama örneği:

Yukarıda hesaplandığı gibi, $T_Z=1$ saniye ve $C=0.075$ olması durumunda $N=(7-20)$ arasındaki katlar rezonans risk bölgesi içine girdiğinden yapılacak binanın rezonansa girmemesi için $N=(7-20)$ katlar dışında seçilmesi gerekmektedir.

Şekil 10. daki $N=Cf(T_Z)$ grafiğinin elde edilmesi: İnşaat zemin periyodu $T_Z=1$ saniye ise absisteki $T_Z=1$ saniyeden çıkılan doğru üzerinde $T_Z=1$ için elde edilen ordinat $N_1=7$ ve $N_2=20$ noktaları değerlerinin oluşturduğu ortak koordinat üzerinde koordinat noktaları saptanır. Benzer şekilde absis üzerinde $T_Z=0.5$ ve $T_Z=0.25$ saniye periyotlar için de koordinat noktaları saptanır. Saptanan koordinat noktalarının birleştirilmesiyle Şekil 10. $N=Cf(T_Z)$ grafiği, veya N, T_Z nin fonksiyonu olarak elde edilir. Şekil 10. Grafiğinin kullanımı: grafiğin absis deki herhangi bir T_Z değerinden dik çıkılan doğrunun rezonans bölgesi alt ve üst kesişme noktalarının ordinattaki alt ve üst kat adetleri anılan mevki için rezonans bölgesi sınırı olur. Örneğin; zemin periyodu $T_Z=0.5$ saniye olan bir mevkiye EC:8 uyarınca yapılacak bina için absis üzerinde $T_Z=0.7$ saniyeden çıkılan doğru kesim noktaları ordinat üzerinde $N_1=4$, $N_2=13$ bina kat adetlerini göstermektedir. $N=4-13$ arasında olursa rezonansa girer, dışında rezonansa girmeyecektir. $T_Z=1.5$ saniye için $N=9-29$ arasında olursa rezonansa girer, dışında rezonansa girmeyeceği görülmektedir.

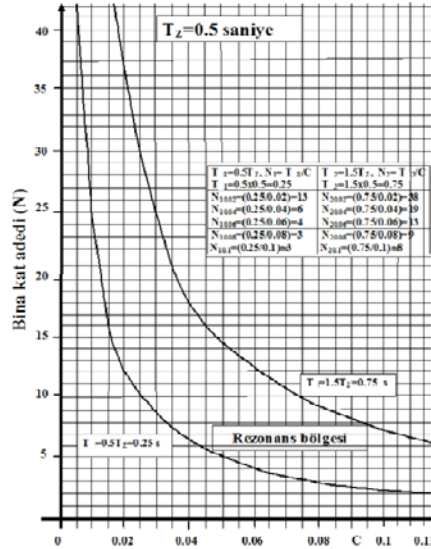


Şekil 10. European Code Ec:8 bina rijitlik kot değerine göre kat adedi saptanması.
Figure 10. Determination of building store number with respect to the rigidity value of EC:8.

b) Zemin periyodu T_Z bilinen herhangi bir mevkide imar planında kot yüksekliği sınırlandırılmış ise;

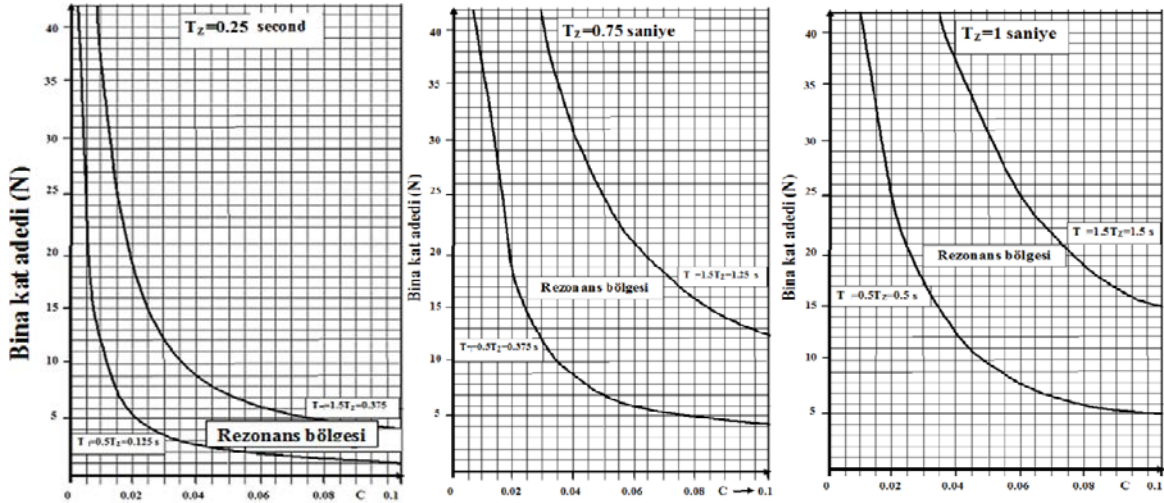
Bilindiği gibi inşaat yapılacak mevkide zemin doğal periyodu T_Z değiştirilemez ve bina kat adedi N değiştirilmek istenmeyebilir. Bu durumda, kat adedi N de sabit olduğuna göre zemin doğal periyodu T_Z binanın yapılacağı farklı zeminlerde farklı olacağından farklı zeminlerde yapılacak binaların rezonansa girmemesi için rijiditelerinin zemin periyoduna göre değiştirilmesi gerekmektedir. Şekil 9. deki grafikler $N=T_Z f(C)$ fonksiyon ifadesine göre farklı zemin hakim periyotları için çizilen rezonans bölgesi kat adedi değişimlerini göstermektedir.

Şekil 10-13. deki grafiklerin kullanımı: imar planı gereği bir mevkide bina yüksekliği dolayısıyla kat adedi sınırlandırılmış ise o mevkide T_Z değerine göre çizilmiş grafikte kaç kat adedi N yapılacaksa ordinattan N değeri seçilir. N değerinin hizasına gelen rezonans bölgesi sınırlarının absis üzerindeki bina rijidite değerleri olmaktadır. Zemin periyodu $T_Z=0.5$ saniye ve imar planında zeminden Bina Kot Yüksekliği $H=18$ metre olduğundan $N=(H/3)=(18/3)=6$ katlı bina yapılması gerekiyor ise; Bu durumda $T_Z=0.5$ saniye olduğundan maksimum rezonans $T=0.5$ saniye olan 5 katlı binada olur. Bina kot yüksekliği $H=18$ m de $N=6$ yapılmak istendiğinde $N=6$ nın rezonans bölgesi dışında kalması için $T_Z=0.5$ zeminde $T_1=0.5T_Z=0.5*0.5=0.25$, $C_1=(T_1/N)==(0.25/6)=0.04$ elde edilir. Bu durumda rijit bir bina yapılması isteniyorsa bina rezonans bölgesi dışında kalması için rijitlik değeri değişmesi gerekmektedir. Alt sınır olarak $C_1 \leq 0.04$ seçilmesi gerekir. Şekil 11. de $T_Z=0.5$ grafiğinin absisi üzerinde seçilen $C_1=0.04$ den çıkılacak dik doğrunun $T_1=0.5T_Z=0.25$ ve $T_2=1.5T_Z=0.75$ eğrilerini kestiği noktalar ordinat üzerinde $N_1=7$ ve $N_2=18$ kat adetlerini belirler. Rezonansa girmemesi için $T_Z=0.5$ saniye olan zeminde yapılacak 6 katlı binanın rijitlik değeri $C_1=0.04$ seçildiğinde kat adedinin $N_1=7$ ve $N_2=18$ rezonans bölgesinin dışındaki katlar seçilmelidir. Veya $T_2=1.5T_Z=0.75$, $C_2=(T_2/N)==(0.75/6)=0.12$ elde edilir. Bu durumda, esnek bir bina yapılması isteniyorsa bina rezonans bölgesi dışında kalması için rijitlik değeri (Safina,1996) göre (8) ifadesinden $N=6$ kat adedi ve T_Z sabit olduğundan üst sınır olarak $C_2 \geq 0.1$ seçilmesi gerekir. Şekil 10. de $T_Z=0.5$ grafiğinin absisi üzerinde seçilen $C_2=0.1$ den çıkılacak dik doğrunun $T_1=0.5T_Z=0.25$ ve $T_2=1.5T_Z=0.75$ eğrilerini kestiği noktalar ordinat üzerinde $N_1=2$ ve $N_2=8$ kat adetlerini belirler. Rezonansa girmemesi için $T_Z=0.5$ saniye olan zeminde yapılacak 6 katlı binanın rijitlik değeri $C_2=0.1$ seçildiğinde kat adedinin $N_1=2$ ve $N_2=8$ rezonans bölgesinin dışındaki katlar seçilmelidir. Rezonansa girmemesi için $T_Z=0.5$ saniye olan zeminde yapılacak 6 katlı binanın rijitlik değeri $C_2=0.12$ seçildiğinde kat adedinin $N_1=2$ ve $N_2=6$ rezonans bölgesinin dışındaki katlar seçilmelidir.

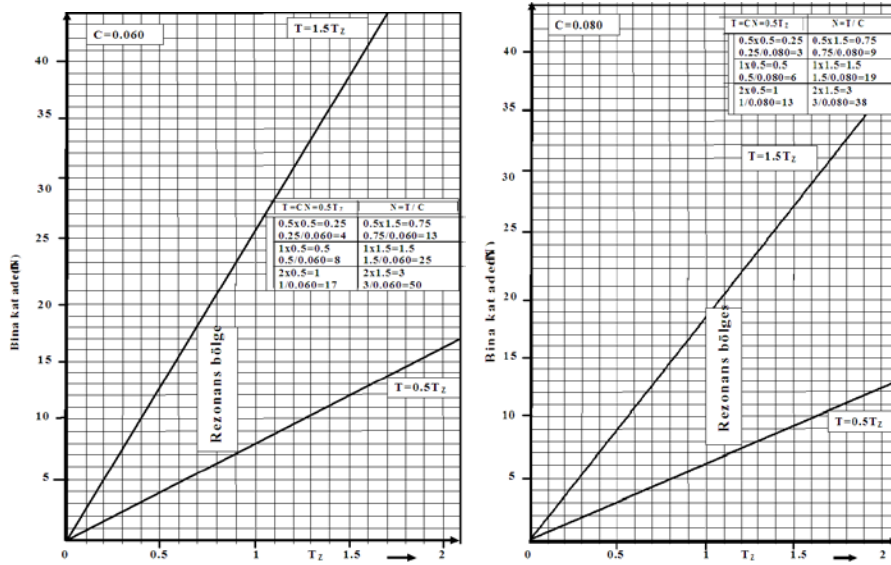


Şekil 11. Rijitlik (C)değerlerine göre zemin hakim periyodu $T_Z=0.5$ saniye için rezonans bölgesi kat adedi.

Figure 11. Resonance region store numbers according to rigidity (C) values for $T_Z=0.5$ $T_Z=0.5$ second.



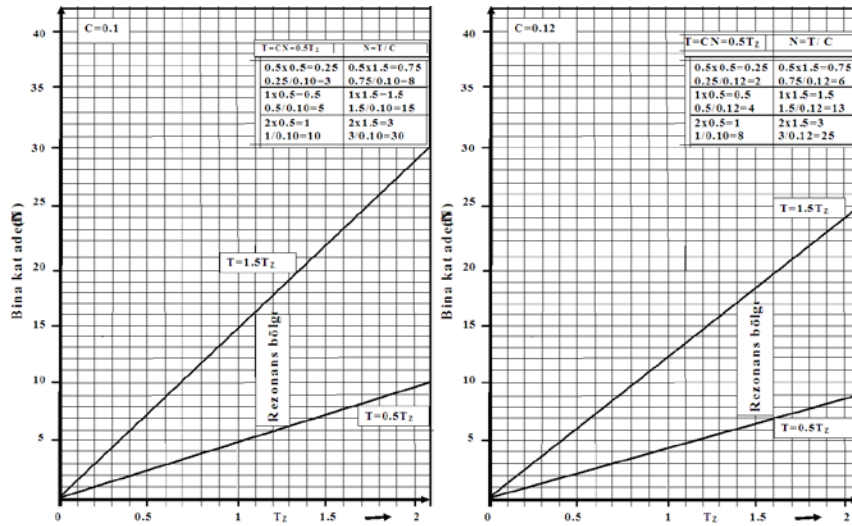
Şekil 12. Farklı zemin hakim periyotları için rijitlik (C) değerlerine göre rezonans bölgesi kat adedi.
Figure 12. Resonance region store numbers according to rigidity (C) values for the different soil periods.



Şekil 13. Farklı rijitlik (C) değerleri için zemin periyotlarına göre rezonans bölgesi kat adedi değişimi.
Figure 13. Resonance region store numbers according to the different soil periods for rigidity (C) values.

2- Eski binaların zemin-bina rezonans ilişkilerinin denetimleri için uygulama:

Yapımı tamamlanmış eski binaların zemin periyotları ve bina kat adetleri sabit değerlerdir. Ancak eski yapılar Safına, 1996 ya göre (8) ifadesiyle verilen esnek yapı sınıfı olarak kabul edilebilir. Bu sebepten rijitlik değerleri $C \geq 0.8$ $C=0.1$ veya $C=0.12$ olarak alınabilir. Şekil 14. Farklı bina rijitlik (C) zemin hakim periyotları değerlerine göre rezonans bölgesi kat adedi değişimini göstermektedir. Yukarıda verilen uygulama örneklerine benzer işlemler yapıldığında, aşağıda örnek uygulamada da gösterildiği gibi, eski binanın kat adedi rijitlik değeri $C=0.1$ ve T_z zemin periyoduna göre rezonans bölgesi içine düşüyorsa olası bir depremde rezonansa girmesi kaçınılmaz olacaktır.



Şekil 14. Farklı rijitlik (C) değerleri için zemin hakim periyoduna göre rezonans bölgesi kat adedi değişimi.

Figure 14. Resonance region store numbers according to the soil periods for different rigidity (C) values.

Şekil 9-14. deki grafikler inşaat projesi tasarımcılarının kolayca yararlanabileceği şekilde çeşitli zemin hakim periyotları, kat adedi ve rijit değerleri için çoğaltılabilir.

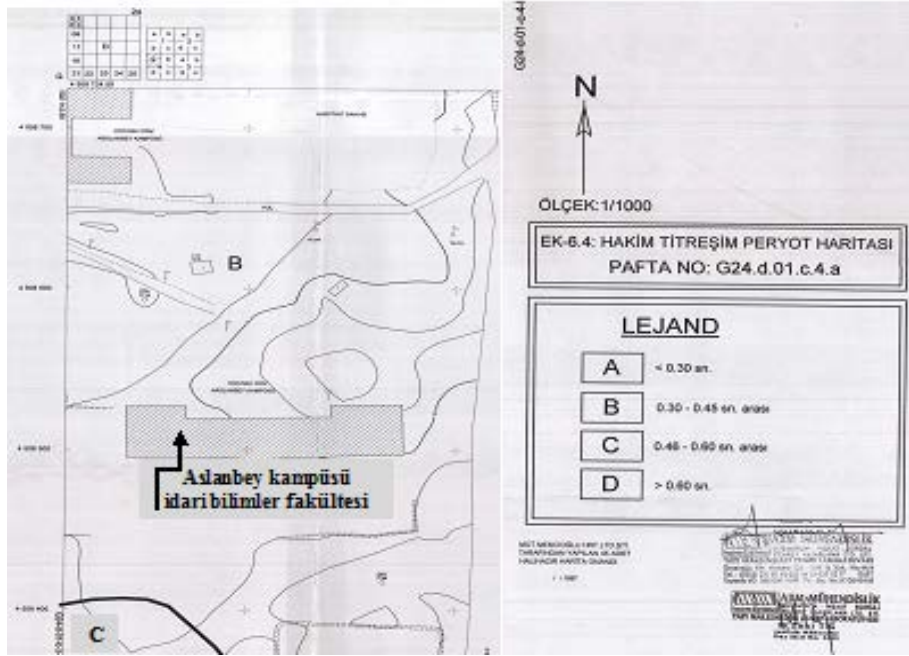
Deprem Rezonans Hasarına Uygulama Örnekleri:

Mexico City 1985 Depremine Uygulama:

Eski bir kurutulmuş göl bataklığı üzerine kurulmuş olan Mexico City’de zeminin hakim periyodunun $T_z=1.5$ saniye olduğu mevkideki 1985 depreminde 6-20 katlı binalarda çok ağır rezonans hasarı oluşmuş bu katların dışındaki daha yüksek katlı binalarda çok az hasar oluşmuştur (Arnold, 2013). Rezonans bölgesi yöntemine göre; Mexico City’deki yapılar yaşlı ve esnek yapılar olduğundan, (Safina, 1996)’ya göre, $C=0.1$ olabileceği kabul edilirse rezonans bölgesi alt sınır kat adedi $N_1=(T_z/C)=((1.5x0.5)/0.1)=7$ ve üst sınır kat adedi $N_2=((T_z/C)=((1.5x1.5)/0.1)=22$ olarak elde edilir ki, bu elde edilen benzer sonuç rezonans bölgesi yönteminin sağlıklı bir yöntem olduğunu açıkça göstermektedir.

Kocaeli 1999 Depremi Uygulaması:

Şekil 3. de Kocaeli Üniversitesi Aslanbey Kampüsü İdari Bilimler Fakültesi binası 1999 deprem hasarı uygulama aşağıdaki gibi yapılabilir. Deprem sarsıntısında 5 katlı binanın yıkılmadığı, fakat çıkmalı ve zayıf kısımların hasara uğradığı fakat bitişik iki katlı binada hiçbir hasar olmadığı şekil 3. (b) de görülmektedir. Aslanbey Belediyesi tarafından ABM firmasına yaptırılan jeolojik ve jeoteknik etüt raporuna göre; Aslanbey kampüs alanında yüzeyde alüvyon ve altında Aslanbey Formasyonu bulunmaktadır. Aslanbey Formasyonu genellikle kumtaşı, kötü tabakalanmalı konglomera, çamurtaşı ve marn aralanmasından oluşan istif içinde bazı düzeylerde beyaz renkli tuf ve yer yer marn, kil, kum, çakıl düzeyleri içeren bir formasyondur. Şekil 15. de görüldüğü gibi, söz konusu hasarlı bina mevkisi zemin hakim periyodu $T_z=0.3-0.45$ içinde ve yerleşime uygunluk haritasında önlemler alanlar içinde yer almaktadır.



Şekil 15. İdari Bilimler Fakültesi mevkiisi zemin hakim periyot haritası.
Figure 15. Soil dominant period map for the administrative sciences faculty site.

Bununla beraber zemin hakim periyodu haritasına göre hasarlı bina $T_z = 0.3-0.45$ bölgesi içinde yer almakla beraber hasarlı binaya en yakın T_z kontur eğrisi $T_z = 0.5$ saniye eğrisi olmaktadır. Bu nedenle, hasarlı bina zemini için $T_z = 0.45-0.5$ saniye alınabilir. Zemin hakim periyodu $T_z \approx 0.45$ saniye alınabilir. Söz konusu bina eski esnek bina olduğundan rijitlik değeri $C=0.1$ veya $C=0.12$ (Wasti, 2015) alınabilir. Bu değerlere göre;

$$\begin{aligned} T_1 &= 0.5 * 0.45 = 0.225 \quad \text{ve} \quad T_2 = 1.5 * 0.45 = 0.675 \\ N_1 &= (0.225 / 0.10) = 2.3 \quad \text{ve} \quad N_2 = (0.675 / 0.10) = 7 \end{aligned} \quad (18)$$

Şekil 3. (b) de deprem sarsıntısında 5 ve 3 katlı binaların yıkılmadığı, fakat çıkmalı ve zayıf kısımların hasara uğradığı fakat bitişik 2 ve tek katlı binalarda hiçbir hasar olmadığı görülmektedir. Bu nedenle Kocaeli Üniversitesi Aslanbey İdari Bilimler Fakültesi binasının 1999 depreminde rezonans hasarı meydana gelmiştir demek isabetli bir değerlendirmedir. Söz konusu fakülte binaları $T_z = 0.45$ saniye hakim periyotlu zemin üzerine farklı kat adetlerinde yapılmış olduklarından $N_1 = 2.3$, $N_2 = 7$ kat adetleri arsında rezonans bölgesinde yer alan $N = 5, 3$, katlı olanlarda rezonans hasarı, $N = 2$ katlı olanda rezonans bölgesi dışında yer aldığı için hasar oluşmamıştır.

ZEMİN HAKİM PERİYODU SAPTANMASI

Deprem-zemin-bina üçlü ilişkisinde rezonans hasarının azaltılabilmesi için ilgili uygulamaların sağlıklı olmasında zemin hakim periyodunun öncelikle sağlıklı saptanması gerekmektedir.

Maksimum değere tekabül eden zemin titreşim periyodu olan zemin hakim periyodu (T_z) veya zemin hakim frekansı,

- 1- İvme kaydı fourier genlik spektrumundan,
- 2- Bağlantı olarak sismik kayma dalgası hızı dalga denkleminin çözümünden,
- 3- Çeyrek dalga boyu prensibinden de elde edilebilmektedir.
- 4- Mikrotremör

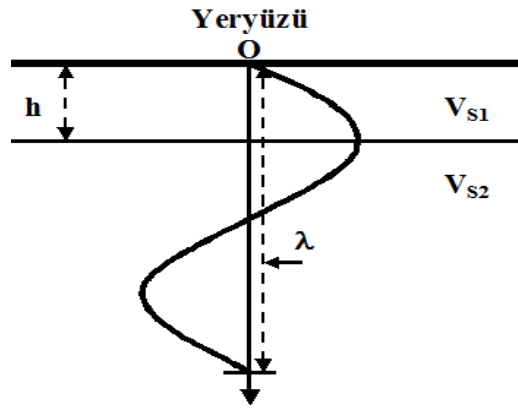
ivme kayıtlarından saptanabilmektedir. Maksimum değere tekabül eden değişimin periyodu olan

zemin hakim periyodu (T_Z) veya hakim frekans Fourier genlik spektrumundan, bağıntı olarak sismik kayma dalgası hızı dalga denkleminin çözümünden veya çeyrek dalga boyu prensibinden de elde edilebilmektedir. Zemin hakim periyodunun kolay elde edilebilmesinin yolu çeyrek dalga boyu prensibidir. İvme spektrumunun en büyük periyoda sahip (temel veya birinci mod) sinüs dalgasının iki katmanlı bir ortamda yayılmasında dalga boyu, λ , birinci katman kalınlığı, h , kayma dalgası hızı, V_{S1} ve T_Z periyodu arasındaki ilişki Şekil 16. den basitçe kurulabilir.

$$\lambda = 4h = V_{S1} T_Z \quad (19)$$

$$T_Z = \frac{4h}{V_{S1}} \quad (20)$$

Zemin hakim periyodu elde edilebilir (Keçeli, 2012)



Şekil 16. Çeyrek dalga boyu ile zemin hakim periyodu saptanması.

Figure 16. Determination of floor dominating period with quarter wavelength.

Bu basit bağıntıdan anlaşılacağı üzere, katman kalınlığı arttıkça veya katmanın kayma dalga hızı küçüldükçe zemin hakim, etkin veya baskın periyodu, yerel ölçümlerde de benzer şekilde saptandığı gibi, büyür. Çok katmanlı ortamlar için zemin hakim periyodu, T_Z ,

$$T_Z = \sum_{i=1}^n \frac{4h_i}{V_{S_i}} \quad (21)$$

Ana kaya üzerinde farklı zemin katmalarının bulunması halinde, her biri için periyotlar ayrı ayrı bulunup $T_0 = T_{01} + T_{02} + T_{03} + \dots$ şeklinde toplama işlemi yapılır. Aytun (2001) ($h_1 + h_2 + h_3 = 120$ metre derinlik için sayısal örnek vererek T_Z saptaması yapmıştır. (20) ifadesindeki h derinliği için herhangi bir sınırlama belirtmemiştir. Deprem ivme kayıtlarından saptanan en büyük zemin etkin periyodu genel olarak alüvyon zeminlerde 1 saniye veya daha küçük, çok nadiren oldukça gevşek suya doymuş zeminlerde 1-2 saniye civarındadır. Aytun'un periyot hesaplaması sismik temel ilkelerine ve pratikte elde edilen değerlerle uyuşmamaktadır.

Keza, bazı uygulayıcılar, sismik kayma dalgası hızlarının 30 metre derinliğe kadar ölçülmesi zorunluluğuna dayanarak ($h_1 + h_2 + h_3 = 30$ metre derinlik için T_Z hesaplaması yapmaktadır. h derinliğinin olması gereken değeri aşağıdaki özelliklere göre saptanabilir:

1. Rayleigh dalgası özelliği,
2. Afet Yönetmeliği,
3. Strong motion kayıtları,
4. Zemin bina periyotları uyumu,
5. Farklı h (kalınlık) periyot değerleri karşılaştırması.

Bilindiği gibi, hasar yaratan deprem sismik dalga türleri enerji yoğunluklarına bağlı olarak Rayleigh Dalgası (yüzeysel dalga) ve kayma dalgası türüdür. Daha büyük genlikli ve daha büyük periyotlu olan yüzeysel dalga etkin genliği yeryüzünden itibaren 40-50 metre civarındaki derinliğe kadar azalarak devam etmektedir. Daha kolay saptanması ve yüzeysel dalga hızı V_R ile kayma dalgası hızı V_S arasında $V_R = 0.92 V_S$ ilişkisinin olması nedeniyle yüzeysel dalga hızı için de kayma dalgası hızının ölçümü yapılmaktadır. Bu bağlamda her iki dalga türünün de etkin periyotları için benzer ilişkinin mevcudiyetinden bahsedilebilir.

Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte verilen Tablo 1. de yerel zemin sınıflamasına göre Z_3 ve Z_4 zemin sınıflarına ait ivme spektrum karakteristik periyot T_A ve T_B değerleri C ve D zemin grupları için katman derinliği 50 metre itibarı ile dikkate alınmaktadır.

Zemin Hakim Periyodu Saptanmasında (h) Derinliğinin Belirlenmesi

Sağlıklı hakim periyot saptanmasında, T_Z 'nin Jeofizik mühendisleri tarafından, T ve C 'nin inşaat mühendisleri tarafından saptanması gerektiğini belirtmekte yarar var. Binaların titreşim veya salınım periyotları esas olarak binanın kütleline, sıklığına, sertliğine, mukavemetine ve boyutlarına (yüksekliğine, enine, boyuna) bağlı olup aşağıdaki deneysel bağıntılarla tanımlanmaktadır. (Chun ve diğ., 2000) 15 katlı ve 40 metre yükseklikli betonarme binanın toplam doğal periyotlarını, $T_{BTOPLAM}$, sırasıyla binanın boyuna 1.92 ve 2.05 saniye ve enine 0.71 ve 0.91 saniye mertebelerinde ölçmüşlerdir. Bu ölçü değerlerine göre bir katın doğal periyodu T_{BRKAT}

$$T_{BRKAT} = \frac{T_{TOPLAM}}{N} = \frac{1.92}{15} = 0.128 \quad T_{BRKAT} = \frac{T_{TOPLAM}}{N} = \frac{2.05}{15} = 0.137 \quad (22)$$

$$T_{BRKAT} = \frac{T_{TOPLAM}}{N} = \frac{0.71}{15} = 0.05 \quad T_{BRKAT} = \frac{T_{TOPLAM}}{N} = \frac{0.91}{15} = 0.06$$

olur. (Goel ve diğ., 2000) bir katın en küçük hakim doğal periyodunu $T=0.035$ saniye ölçmüştür.

(Mario Paz, 1994), 50 metrelik katman kalınlığını dikkate alarak zemin hakim periyodu saptamıştır. Zaho (2011), strong motion ivme sismografi kayıtlarından ve 30 metre derinlik için V_{S30} kayma dalgası hız ölçümünden saptanan zemin hakim periyotlarının karşılaştırmasında $T_Z=0.4$ saniyeden küçük periyotların çok uyumlu olduğunu belirtmiştir.

Yukarıda verilen betonarme binaların ve zeminlerin periyot değişim özelliklerine dayanarak (20) ifadesindeki zemin hakim periyodu (h) derinliği ile bina yüksekliğine bağlı doğal periyodu arasında belirlenmesi için kuramsal bir ilişki aşağıdaki gibi kurulabilir.

Belirliliği hemen hemen kesin doğru olarak bilinen ölçü değerleri sağlıklı ilişkiler elde etmede referans değerler olarak genel bir kullanım tarzıdır. Söz konusu referans değerler burada; ölçülebilen zemin hakim periyodu literatürde verilen en büyük ve en küçük değerler olarak $T_Z = (0.1-2)$ saniyedir, bina doğal periyodu için referans değerler en büyük ve en küçük değerler olarak yukarıda anılan yazarlar tarafından bir kat için verilen $T \cong (0.05 - 0.12)$ saniyedir.

$$T = CN(N=1) = C \quad (23)$$

olacağından bina rijitlik katsayısı $N=1$ için bir katlı bina periyodunu ifade etmektedir. Betonarme binalarda rijitite için $C \cong (0.05-0.12)$ değerleri kullanıldığından

$$T_N = C \{ (3N=H)/3 \} \quad (24)$$

$H=30$ metre yükseklikteki bina için olması gereken en küçük ve en büyük toplam doğal periyodu

$$T_N = 0.05 \times \{ (10=(30/3)) \} = 0.5 \quad (25)$$

$$T_N = 0.12 \times \{ (10=(30/3)) \} = 1.2 \quad (26)$$

Saniye olarak elde edilir. $H=45$ metre yükseklikteki bina için olması gereken en küçük ve en büyük

toplam doğal periyodu

$$T_N = 0.05x \{ (15=(45/3)) \} = 0.75 \quad (27)$$

$$T_N = 0.12x \{ (15=(45/3)) \} = 1.8 \quad (28)$$

saniye elde edilir. Zemin hakim periyodu referans değerleri:

$$V_S > 2000 \text{ m/s için en küçük : } T_Z = 0.1 \quad (29)$$

$$V_S < 100 \text{ m/s için en büyük : } T_Z = 2 \quad (30)$$

Saniye olarak alınabilir. (25) deki 30 metre yükseklikli bina hakim doğal periyodu $T_N = 0.5$, (28) deki $T_{BN} = 0.75$ saniyeye göre (30) deki zemin hakim periyodu $T_Z = 0.1$ saniyeye daha yakın bir değer göstermektedir. (28) daki 45 metre yükseklikli bina hakim doğal periyodu $T_{BN} = 1.8$, (27) daki $T_N = 1.2$ saniyeye göre (29) deki zemin hakim periyodu $T_Z = 2$ saniyeye daha yakın bir değer göstermektedir. Buna göre; rijit, sert zeminlerde $h=30$ m, gevşek, yumuşak zeminlerde $h=50$ m kullanılması daha uygun olduğu sonucu çıkmaktadır. Yukarıda bahsedildiği gibi, Zaho (2011)' nun $T_Z = 0.4$ saniyeden küçük periyoada veya $V_S \geq 500$ m/s den sahip zeminlerin 30 metre derinlik için V_{S30} kayma dalgası hız ölçümünden hesaplanan zemin hakim periyotlarının uyumlu olduğunu belirttiği gibi, burada $T_Z = 0.4$ saniyeden büyük periyoada veya $V_S \leq 500$ m/s den sahip zeminlerin 50 metre derinlik için V_{S50} kayma dalgası hız ölçümünden hesaplanan zemin hakim periyotlarının daha uygun olduğunu belirtmek sağlıklı bir sonuç olmaktadır. Daha açık ifade ile; zemin hakim periyodu hesaplamalarında $V_S > 500$ m/s hızlarına sahip sıkı, sert veya kaya zeminlerde katman derinliği $h=30$ metre alınması, $V_S < 500$ m/s hızlarına sahip gevşek, yumuşak veya çok gevşek zeminlerde katman derinliği $h=50$ metre alınması daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. $V_S > 500$ m/s hızlarına sahip sıkı, sert veya kaya zeminlerde katman derinliği $h=30$ metre alınması ile 50 metre alınması halinde elde edilen hakim periyot değerleri arasında önemli bir fark olmamaktadır. Şöyle ki; Tablo 2. de gösterildiği gibi, $V_S = 1000$ m/s lik bir ortamda, (20) bağıntısına göre, $T_{Z30} = 0.12$ saniye, $T_{Z50} = 0.2$ saniye olur. $(T_{Z50} - T_{Z30}) = (0.2 - 0.12) = 0.08$ saniye. $V_S = 200$ m/s lik bir ortamda $T_{Z30} = 0.6$ saniye, $T_{Z50} = 1$ saniye olur. 20 metrelik derinlik farkı sıkı ve sert zeminlerde önemli bir periyot değişikliği yaratmazken, gevşek zeminlerde 20 metrelik derinlik farkı $(T_{Z50} - T_{Z30}) = (0.1 - 0.6) = 0.4$ saniyelik bir periyot farkı oluşturmaktadır ki, bu eksik fark depremlerde çok önemli rezonans hasarları oluşturabilir. Bu bağlamda, 45 metre yüksekliğindeki rijitliği zayıf bir binanın doğal periyodu ile 45 metre derinliğe sahip gevşek zeminin hakim periyodunun hemen hemen aynı değerlere sahip olması nedeniyle, deprem rezonans hasarlarında gevşek zeminlerin hakim periyotlarının sağlıklı saptanması öne çıktığı için h katman derinliğinin toplam 50 metre olarak kullanılması gerekmektedir.

Zemin hakim periyodunun sağlıklı saptanması, yukarıda açıklanan rezonans bölgesi değerlendirmesine göre, yapı kat adedinin veya yüksekliğinin belirlenmesinde çok önemli olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Bununla beraber, Tablo 2. ye göre $h=50$ metre derinlik değerinin kullanılması $h=30$ metre kullanılmasından daha güvenli olacağı anlaşılmaktadır.

Tablo 2. Zemin derinliklerine göre zemin hakim periyotları.
Table 2. Soil dominant periods according to the soil depths.

V_S	T_{30}	T_{50}	$T_{50}-T_{30}$	T_{50}, T_{30}	T_{50}
100	1.2	2	0.8	50	≥ 50
200	0.6	1	0.4		
300	0.4	0.66	0.26		
400	0.3	0.5	0.2		
500	0.24	0.4	0.16		
700	0.17	0.29	0.12	30	
1000	0.12	0.2	0.08		
1300	0.092	0.15	0.06		
1600	0.075	0.13	0.05		
2000	0.06	0.1	0.04		

Sonuç olarak, Tablo 2. ye göre zemin dinamik davranışında 50 metre derinlik etkin olduğu göz önüne alınırsa (3) bağıntısında zemin hakim periyodunun 50 metre derinliğe göre saptanması gerekmektedir. (31) den üç katman için: T_Z zemin etkin periyodu taban formasyonu üzerinde yer alan zemin tabakası farklı kalınlıkları, h_1 , veya h_2 , h_3 olan tabakaların kalınlıklarının toplamı yüzey dalgası 50 metre etkin derinliğine göre sismik kayma dalgası hızından aşağıdaki gibi saptanır.

$$T_Z = \frac{4h_1}{V_{S1}} + \frac{4h_2}{V_{S2}} + \frac{4(50 - (h_1 + h_2))}{V_{S3}} \quad (31)$$

SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar:

1. Deprem-zemin-bina periyot ilişkisinin rezonans oluşturması sinyal analiz yöntemiyle $T_A - T_B$ karakteristik periyot değerleri daha kolay elde edilmektedir.
2. Zemin hakim periyoduna bağlı olarak binaların doğal periyotlarının, kat adetlerinin ve bina rijitlik katsayı değerlerinin değişimine göre rezonans bölgesi dışında kat adedi seçildiğinde binalar rezonans durumundan kolaylıkla uzaklaşabilmektedir.
3. Rezonans Bölgesi Yöntemi arazi ölçü verilerinin sayısal değerlendirmesine bağlı bir yöntemdir. Rezonans bölgesi uygulaması bina tasarım aşamasında kullanılacak alternatif bir yöntem olarak daha realistik bir tasarım yöntemi olmaktadır.
4. Zemin hakim periyodu saptamasında $T_Z < 0.4$ saniyeler veya $V_s \geq 500$ m/s için katman kalınlığı 30 metre ve $T > 0.4$ saniyeler veya $V_s \leq 500$ m/s için katman kalınlığı 50 metre kullanılması gerekmekte olmakla beraber deprem zemin etkin periyodunun hesaplanmasında zemin derinliği 50 metre olarak kullanılması hem bilimsel ve hem de uygulamalarda uyum sağlaması bakımından gerekli olmaktadır.
5. Belediyelerce revize veya imar planlarına esas yaptırılan jeolojik-jeoteknik-jeofizik raporlarında şehir planlama çalışmalarında kullanılmak üzere zemin hakim periyot haritaları hazırlanmalı, Bina Rezonans tahkikleri yapılarak bina yüksekliklerine yönelik bina rijitlik gruplarına göre öneriler getirilmelidir.
6. Şehir imar planlama çalışmalarında bölgelere bina yükseklikleri verilirken mevcut kriterlerine deprem rezonans etkisini de ekleyerek değerlendirme yapımaları rezonans kaynaklı deprem hasarlarını en aza indireyecektir.
7. Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca, deprem hasarlarını azaltmak amacıyla çıkarılan Afet Riski altındaki alanların dönüştürülmesi hakkında kanun gereği riskli yapıların tespit edilmesinde incelenen her bir yapı için rezonans tahkikleri yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

ABM Müh. Müş. Ltd. Şti., Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Aslanbey Belediyesi Revize Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu, Kocaeli, 2005.

ALFARO, PUJADES L. G., GOULA X., SUSAGNA T., NAVARRO M., SANCHEZ J., CANAS J. A., Preliminary Map of Soil's Predominant Periods in Barcelona Using Microtremors: Pure and Applied Geophysics, 158, 2499-2511, 2001.

ANASTASIA K. E., ATHANASIOS I. K., Correlation of Structural Seismic Damage with Fundamental Period of RC Buildings Open Journal of Civil Engineering, 3, 45-67, 2013.

ARNOLD C., Earthquake Effects on Buildings. Chapter 4, Federal Emergency Management Agency, USA. www.fema.gov/.../fema454_ch...2013.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik: T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.

AYTUN A., (2001), Olası Deprem Hasarını En Aza İndirmek Amacıyla Yapıların Doğal Salınım Periyotlarının Yerin Baskın Periyodundan Uzak Kılınması: Uşak İli ve Dolayı (Frigya) Depremleri Jeofizik Toplantısı, (73-82), 2001.

BASHAR A., Shon, Study on the Fundamental Period of Vibration for Buildings with Different Configurations, 2015.

A Thesis Submitted To The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Atilim University In The Department of Civil Engineering.

CHIAUZZI L., MASÌ A. & MUCCIARELLI M., CASSIDY J. F., KUTYN K., TRABER J., VENTURA C. & YAO F., Estimate of Fundamental Period of Reinforced Concretebuildings: Code Provisions vs. Experimental Measures inVictoria and Vancouver (BC, Canada), 15WCEE, 2012.

CHUN Y.S, YANG J.S., CHANG K.K. and LEE L.H., 200, Approximate Estimations of Natural Periods for Apartmentbuildings with Shear-Wall Dominant Systems:12WCEE.

Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, European Standard EN 1998-1:2004, Comité Européen de Normalisation, Brussels, 2004.

GOEL R. K., and CHOPRA A. K., 1997, Period Formulas for Mo- ment—Resisting Frame Buildings, Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No. 11, pp. 1454-1461.

GOEL R.K., Chopra A. K., Improvements in Code Analysis of Buildings Using Motions Recorded, During Earthquakes, Civil and Environmental Engineering , College of Engineering, Berkeley.

HWEI P. H., Fourier Analysis. Simon and Shuster, NewYork, 1970.

KEÇELİ A. D., Uygulamalı Jeofizik JFMO Eğitim Yayınları NO:9, 2012.

KEÇELİ A. D., Neden Jeofizik Mühendisliği Zemin Etütlerinde Zorunlu Olmalı: Jeofizik, 18, 15-28, 2013.

KEÇELİ A.D., CEVHER M., Soil dominant Period and Resonance Relation of Building Height, JEOFİZİK: Vol. 17 No 1-2, 2015.

LAW K.T. and WANG J.G.Z.Q., Siting in Earthquake Zones: Amazon.co.UK, 1994.

MAGDY I. S., Estimation of Period of Vibration for Concrete Moment-Resisting Frame Buildings, Housing and Building National Research Center HBRC Journal, 2014.

MARİO J. R., Seismic Response of Soil – Structure Systems in the Valley of Mexico: Instituto Mexicano del Petroleo.

SAFİNA S., Relationship Soil-Structure Upon Fundamental Dynamics Properties of Ordinary Buildings. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, 1996.

SALİNAS V., SANTOS –ASSUNCAO S., CASELLES O., PEREZ-GRACİA V., PUJADES LI. G., CLAPES J., Effects on the Predominant Periods due to abrupt Lateral Soil Heterogeneities: 15 WCEE LISBOA,2012.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 2018.

WASTİ TANVİR S., UBC Hesap Esasları ve Yeni Türkiye Deprem Yönetmeliği.

ZHAO J. X, Comparison between VS30 and Site Period as Site Parameters in Ground-Motion Prediction Equations for Response Spectra,4th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, August 23–26, · University of California Santa Barbara, 2011.

<http://ees.elsevier.com/hbrcj> Mario Paz, International Handbook of Earthquake Engineering: Codes, Programs, and Examples: PP.: 545 Springer, 1994.

<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12022.pdf>