

DEPREM YÖNETMELİKLERİNDE ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ
SOIL-STRUCTURE INTERACTION IN EARTHQUAKE RESISTANT REGULATIONS

Kadir Güler¹

SUMMARY

In the present paper some analytical and empirical results on the soil-structure interaction are briefly summarized. Furthermore, the treatment of the soil-structure interaction in various codes on the design of earthquake resistant structures is discussed. Within this study the increase in the period of structures based on a semi-infinite elastic medium is given. The dynamic behaviour of a reinforced concrete structure of frame type having 12 story-height is studied by using shear-frame approach under the E-W component of Erzincan 1992 earthquake. The results are given and compared with those of the various codes on earthquake resistant design of structures.

ÖZET

Bu çalışmada zemin-yapı etkileşimi konusunda geliştirilen ve kullanılmakta olan hesap yöntemleri kısaca gözden geçirilmiş ve deprem yönetmeliklerinde konunun nasıl yer aldığı incelenmiştir. Zeminin elastik yarı sonsuz ortam olarak modellenmesi durumunda, yanal ve dönme rijitliği ile yapının rijitliğine bağlı olarak yapının titreşim periyodu artış oranı grafik olarak verilmiştir. Taşıyıcı sistemi çerçeve olan 12 katlı betonarme bir bina ele alınmış ve kayma çerçevesi idealleştirmesi ile, Erzincan 1992 depremi doğu-batı bileşeni etkisinde binanın davranışı elde edilmiştir. Sonuçlar bazı ülkelerin deprem yönetmelikleri ile karşılaştırılmıştır.

GİRİŞ

Deprem hesaplarında genellikle yapıların temele ankastre mesnetlenmiş olduğu kabul edilir. Bu durumda yapının taşıyıcı sisteminin davranışına zeminin etkisi ihmal edilir. Pek çok durumda bu yaklaşım yeterli olmakla beraber, bazı durumlarda özellikle yüksek yapılar, su kuleleri, bacalar, nükleer reaktörler gibi yapıların güvenilir tasarımı için zemin-yapı dinamik etkileşimi gözönüne alınması gereken önemli boyutlara ulaşır.

Sağlam bir zemin üzerine yapılmış bir yapıya etki edecek olan deprem hareketi zeminde hemen hemen hiçbir değişikliğe uğramazken, yumuşak bir zemin üzerindeki yapının deprem hareketinde büyük değişiklikler olmaktadır. Yapı ile zemin arasında

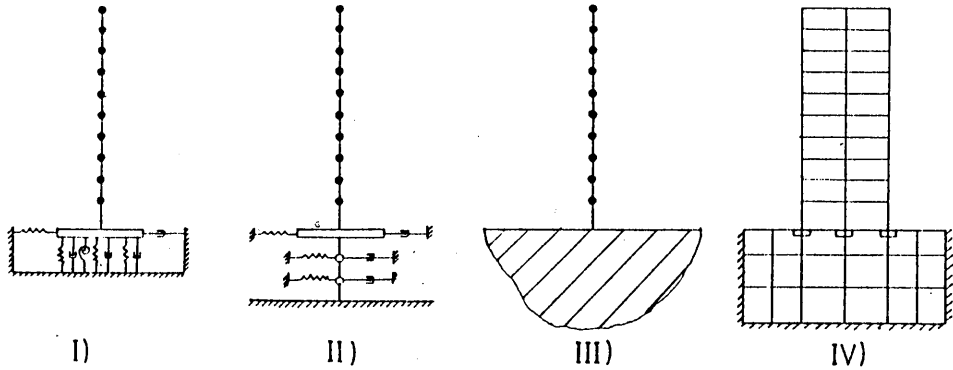
¹Dr.Müh. İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul.

bir etkileşim olduğunda deprem hareketindeki değişiklik daha da büyümektedir. Böyle durumlarda zemin-yapı etkileşimi problemi, yapının deprem hesabının yapılmasıdır. Bu konuda geliştirilen ve kullanılan basit modeller yanında, daha gerçekçi fakat pahalı olan modeller de bulunmaktadır [1-4].

Bu yazıda konu olarak incelenen zemin-yapı etkileşimi probleminin çözüm yöntemleri ve bazı ülkelerin deprem yönetmeliklerinde ne şekilde yer aldığı gözden geçirilmiş ve sayısal örneklerle farklı olan noktalara dikkat çekilmiştir.

ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ HESAP MODELLERİ

Zemin-yapı etkileşimi sonucu, zeminin etkisiyle yapının dinamik özelliklerinde (periyod ve mod şekilleri gibi) değişiklikler olur. Yapı zemine rijit olarak mesnetlenmediğinden, yapının titreşim enerjisinin önemli bir kısmı zemindeki sönüm ve yayılma ile söner. Zeminin dinamik özelliklerinin elde edilmesinde, zemin rijitliği ve sönümü, sonsuz ortama enerji yayılması gibi özellikleri içeren farklı modeller geliştirilmiştir. Bu modeller kısaca aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir. (Şekil 1)



Şekil 1. Zemin-yapı etkileşimi hesap modelleri

I ve II) Zemin düşey ve/veya yatay olarak yerleştirilen yaylarla temsil edilmektedir. Zeminin harekete katılan kısmı olarak belirli bir kütlenin harekete iştirak ettiği kabul edilebilir. Elastik yay ve sönüm kutularını ve harekete katılan kütleleri değişik şekillerde birleştirilerek farklı modeller elde edilebilir.

III) Elastik veya viskoelastik yarı sonsuz ortam yaklaşımı: Zemin elastik veya viskoelastik homogen bir yarı sonsuz ortam olarak kabul edilmekte, zemin rijitliği ve sönümü frekansa bağlı olarak hesaba girmektedir.

IV) İki veya üç boyutlu sonlu eleman modellemesi: Zeminin

en gerçekçi modellemesi sonlu elemanlar kullanılarak yapılabilir, fakat oldukça pahalı bir yöntem olduğunu da gözardı etmemek gerekir.

Zemin-yapı etkileşimi konusunda yapılan çalışmalar sonucu; yapıların titreşim periyodlarının büyüdüğü ve yapı taban kesme kuvvetinin azaldığı görülmüştür. Söz konusu problemin deprem yönetmeliklerine yansması ise esas olarak, yapının periyodunun etkileşim sonucu büyümüş olan değerinin kullanılması ile taban kesme kuvveti ve devirme momentlerinde bir azaltma yapılabilmesi olduğu söylenebilir.

Zemin-yapı etkileşiminin

$$C_s / f h < 20 \quad (1)$$

olması durumunda gözönüne alınmasının uygun olacağı önerilmiştir [5]. Burada C_s kayma dalgasının zemindeki hızı, f yapının tek serbestlik dereceli ve zemine rijit bağlı durumda titreşim frekansı ve h ise yapı yüksekliğidir. Frekansın çerçeveli ve perdeli yapılar için h metre olarak sırasıyla $f \sim 30/h$, $f \sim 45/h$ alınması durumunda zemin-yapı etkileşiminin kayma dalgasının $C_s < 600$ m/s, $C_s < 900$ m/s değerleri için önemli olduğuna işaret edilmiştir [3, 4].

Zemin rijitliği azaldıkça üzerindeki yapının periyodunun arttığı bildirilmiştir. Zeminin yarı sonsuz bir ortam olarak modellenmesi durumunda yapının $\bar{T}$ titreşim periyodunun yapının rijit bağlı T periyoduna oranı

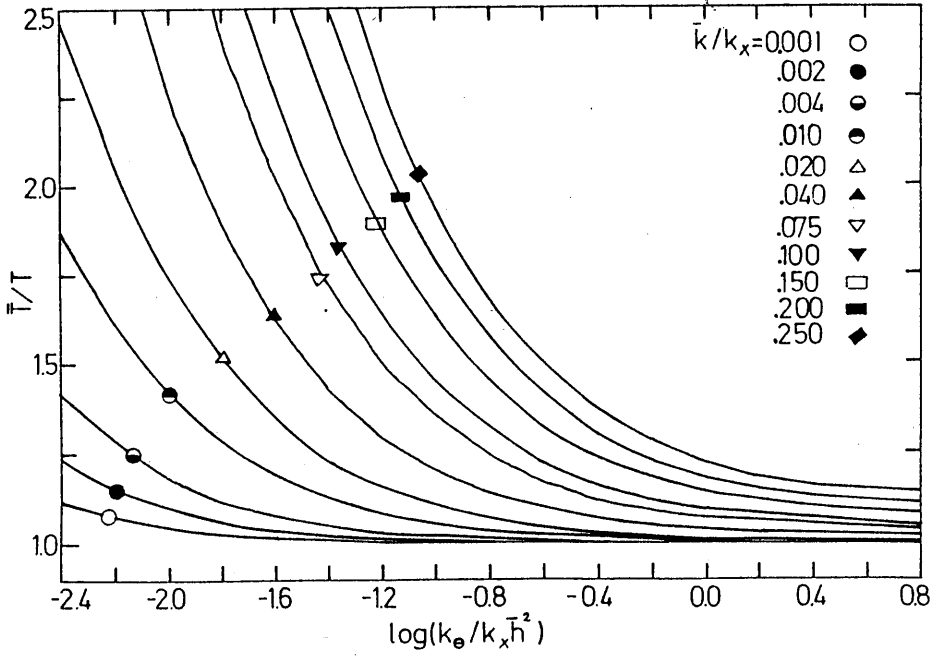
$$\bar{T}/T = \sqrt{1 + \bar{k}/k_x (1 + k_x \bar{h}^2 / k_\theta)} \quad (2)$$

ile verilmiştir [6]. Burada $\bar{k}$ yapının rijitliği, k_x ve k_θ sırasıyla zeminin yanal ve dönme rijitlikleri, $\bar{h}$ yapı yüksekliğini göstermektedir. Yukarıda (2) ile verilen ifadedeki yapı periyodundaki artış oranının zemin ve yapı parametrelerine bağlı olarak değişimi Şekil 2 de gösterilmiştir. Zemin rijitliğinin azalmasıyla periyodtaki artış oranının büyümekte olduğu görülmektedir.

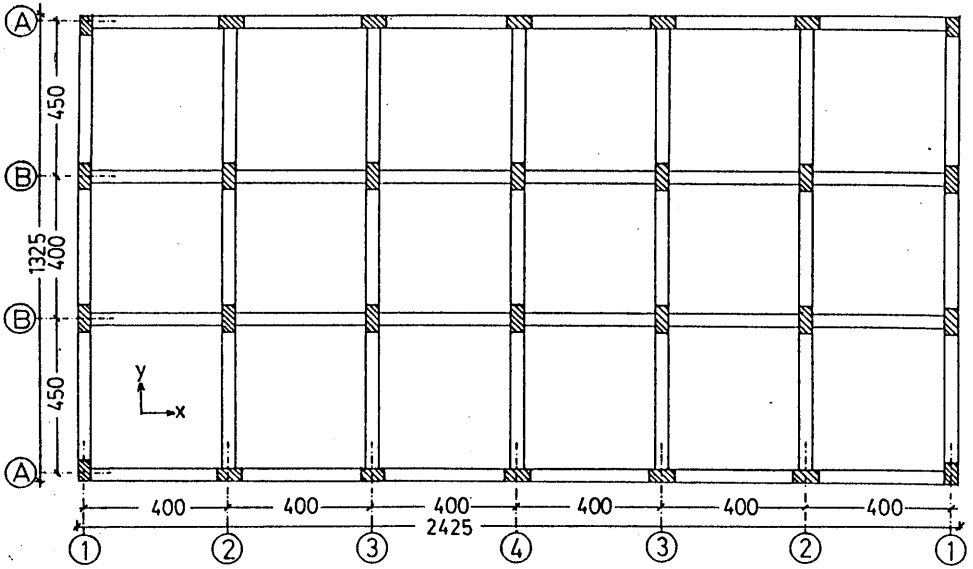
DEPREM YÖNETMELİKLERİ

Zemin-yapı etkileşimi bakımından bazı ülkelerin deprem yönetmeliklerini karşılaştırmak için 12 katlı çerçeve sistem bir bina gözönüne alınmıştır. Bu binaya ait kalıp planı Şekil 3 de binaya ait büyüklükler ise Tablo 1 de verilmiştir.

Binada kayma çerçevesi idealleştirilmesi yapılmasıyla SAP90 paket programı kullanılarak binanın serbest ve zorlanmış titreşimine ait davranışı belirlenmiştir (Şekil 4). Binanın rijit bağlı durumda ilk üç moda ait serbest titreşim periyodları x ve y doğrultuları için sırasıyla 1.246 s, 0.497 s, 0.287 s ve 1.044 s, 0.388 s, 0.229 s olarak elde edilmiştir. Dış etki olarak binaya Erzincan 1992 depreminin doğu-batı bileşeninin spektrum eğrisi etki ettirilmiştir. Sönümün %10 alınmasıyla



Şekil 2. Zemin ve yapı parametrelerine bağlı olarak yapı periyodunun değişimi



Şekil 3. Bina kalıp planı

binanın herbir katında x ve y doğrultusunda depremden oluşan kesme kuvveti ve momentler belirlenmiştir. Yapı sünekliği ile ilgili yapı tipi katsayısı 5 alınarak binanın taban kesme kuvveti ve devirme momentleri y doğrultusu için Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 1. Binaya Ait Büyüklükler

Kat No.		1	2,3	4,5,6	7,8,9	10,11	12
Kolon No. cm/cm	A1	40/80		35/70	30/60		25/50
	A2	40/80		35/70	30/60		25/50
	B1	40/80		35/70	30/60		25/50
	B2	50/80		45/70	40/70		30/60
Kütle, m kg		398.560		360.440			291.960
Rijitlik, K kN/m	x	1.539.713		2.193.947	1.253.644		566.835
	y	2.097.600		2.959.805	2.166.422		1.030.356
Kiriş boyutları : 25/60 Döşeme kalınlığı : 12 cm Kat yükseklikleri : 1. kat 4.0m , diğer katlar 3.0m							



Şekil 4. Binanın kayma çerçevesi modeli

Tablo 2. Binanın Taban Kesme Kuvveti ve Devirme Momentleri

Etki	Deprem Yönetmelikleri			Erzincan Deprem Kaydı
	[7]	[8]	[9]	
Taban kesme kuvveti kN	2766.0	3339.8	5798.0	4159.1
Devirme Momenti kNm	70049.7	84701.7	153382.0	105484.3

Daha sonra 12 katlı binanın taban kesme kuvveti ve devirme momenti yürürlükte olan deprem yönetmeliği [7] ve aynı yönetmelikte değişiklik öngören Mart 1991 taslağına [8] göre birinci derece deprem bölgesi için hesaplanmış ve Tablo 2 de verilmiştir.

Aynı binaya ait taban kesme kuvveti ve devirme momenti [9] ile verilen yönetmeliğe göre de hesaplanmış ve Tablo 2 de sunulmuştur. Taban kesme kuvvetinde yapılacak azaltmanın yapının 1. mod periyoduna göre hesaplanan değerinin %30 undan fazla olmayacağı bildirilmiştir.

Kanada yönetmeliği devirme momentinin yapı periyoduna bağlı olarak $T < 0.5s$ ise azaltılmamasını, $0.5 < T < 1.5 s$ ise $J = (1.1 - 0.2T)$ oranında azaltılmasını, $T > 1.5 s$ durumunda ise 0.8 oranında azaltılabileceğini öngörmüştür.

Şili yönetmeliği h_x yüksekliğindeki devirme momenti azaltmasının, h_n toplam yapı yüksekliği olmak üzere $J_x = 0.8 - 0.2h_x/h_n$ ile, kat adedi dörtten çok olan binalar için yapılabileceğini öngörmektedir.

Meksika'nın 1987 tarihli yönetmeliği ile Almanya yönetmeliği yapının 1.mod periyodunun zemin ve yapının elastikliğine göre hesaplanmasına ilişkin farklı yaklaşık ifadeler vermektedir.

İran'ın 1984 ve Filipinler'in 1972 tarihli yönetmelikleri tabandaki devirme momenti azaltmasını 0.45 ten büyük olmak üzere $J = 0.6 / \sqrt{T}$ formülü ile vermektedir.

Peru yönetmeliği, devirme momenti azaltmasının, binanın 10 kattan fazla olması durumunda, üstten 10.ncu kattan sonraki katlarda her katta %2 artan oranda azaltmaya izin vermekte ancak bu azaltmanın %20 yi geçemeyeceğini bildirirken temel projelendirilmesinde %10 luk ek bir azaltmaya izin vermektedir. Ters sarkaç türü yapılar için ise bir azaltma öngörülmemekte olup, devrilme güvenlik katsayısının 1.5 tan büyük olması istenmektedir.

Arjantin, Yeni Zelanda, Filipinler ve İran'ın 1988 tarihli yönetmelikleri devirme momentlerinde azaltma yapılmasına izin vermemektedir.

SONUÇ

Zemin-yapı etkileşimi konusunda çeşitli ülke yönetmelikleri gözden geçirilmiştir. Ülkemizde yürürlükte olan deprem yönetmeliğinde [7] sözkonusu probleme ilişkin olarak hiç bir kayıt bulunmazken, Mart 1991 taslağında [8] probleme değinilmiş olması olumlu bir gelişmedir. Yapıya etki eden yükler bakımından bu taslak yönetmelik yürürlükte olan yönetmeliğe göre daha büyük taban kesme kuvveti ve devirme momenti değerleri vermektedir.

Çözümü tabanda rijit bağlı ve kayma çerçevesi idealleştirilmesi ile yapılan 12 katlı binada Erzincan 1992 depreminin oluşturduğu taban kesme kuvvetinin, taslak yönetmelikten elde edilen değere göre sünekliği arttırılmış yapı durumunda %20 fazla olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Yapının gerçekte tabanda rijit bağlı olmadığı düşünülürse deprem kaydı uygulanarak elde edilen

taban kesme kuvvetinin değerinin bir miktar azalacağı söylenebilir. Zemin-yapı etkileşimi gözönüne alındığında, etkileşim dolayısıyla yapının artmış olan birinci periyodu ve sönüm ile, rijit bağlı durumdaki taban kesme kuvvetinde yapılabilecek azaltmayı yaklaşık olarak belirlemek mümkündür. Ancak taban kesme kuvvetinin azaltılmış değerinin sönümün %5 ten büyük olması durumunda en fazla rijit bağlı durumdakinin %70 i kadar olabileceği önerilmektedir. Sayısal czm yapılan binada zemin-yapı etkileşimi düşüncesiyle taban kesme kuvvetinde yapılabilecek bir azaltma durumunda elde edilecek değerin taslak yönetmeliğe göre hesaplanan değerle yaklaşık olarak uyuştuğu görülmüştür.

Zemin-yapı etkileşimini czmlemeye dahil etmemek projelendirme açısından güvenli tarafta kalınması anlamına gelmekle beraber, bazı durumlarda ekonomik olmayan czmleri de beraberinde getirebilir.

KAYNAKLAR

1. Wolf, J.P., (1985), Dinamik Zemin-Yapı Etkileşimi, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, (İngilizce).
2. Wolf, J.P., (1988), Zaman Bölgesinde Zemin-Yapı Etkileşimi Analizi, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, (İngilizce).
3. Dowrick, D.J., (1987), Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, John Wiley and Sons, Chichester, (İngilizce).
4. Celep, Z., Kumbasar, N., (1993), Deprem Mühendislięine Giriş ve Depreme Dayanıklı YapıTasarımı, Sema Matbaacılık, İstanbul.
5. Veletsos, A.S., Meek, J.W., (1974), "Bina-Temel Sistemlerinin Dinamik Davranışı", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 3, 121-138, (İngilizce).
6. Veletsos, A.S., Prasad, A.M., Tang, Y., (1992) "Dinamik Zemin-Yapı Etkileşimi İçin Basitleştirilmiş Tasarım Kuralları", Nato Advanced Study Institute, Developments in Dynamic Soil-Structure Interaction, 8-16 July, Antalya, Türkiye (İngilizce).
7. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1975 Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
8. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Taslak), Mart 1991, Ankara.
9. NEHRR, Yeni Binalar İçin Hazırlanacak Deprem Yönetmelikleri Hakkında, (1985), Building Seismic Safety Council. (İngilizce)
10. Çeşitli lkelerin Depreme Dayanıklı Yapı Yönetmelikleri, (1988), International Association for Earthquake Engineering, Tokyo, (İngilizce).
11. Carydis, P.G., (1992) "Çeşitli Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Yönetmeliklerinde Zemin-Yapı Etkileşimi Problemi", Nato ASI, Developments In Dynamic Soil-Structure Interaction, 8-16 July, Antalya, Türkiye (İngilizce).