

Betonarme Çerçeve Sistemlerinde Sistem Akma Parametrelerinin Tespiti

İ. Yüksel

*Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Zonguldak 67100, Türkiye*

Z. Polat

*Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
İstanbul, 80750, Türkiye*

ÖZET: Bu bildiri, az katlı betonarme çerçevelerin kapasite eğrilerinde akma yer değiştirmesinin belirlenmesinde kullanılan klasik yaklaşım ele alınmaktadır. İlk olarak, bu yaklaşımın dayandığı temel ilkeler açıklanmakta ve sistem akma yer değiştirmesi hesabında karşılaşılan belirsizlikler vurgulanmaktadır. Ayrıca, 5-katlı, herhangi bir yapısal düzensizliği olmayan tipik bir bina çerçeve sistemi üzerinde sayısal uygulama yapılmaktadır. Ulaşılan sonuçlar, klasik yaklaşımla elde edilen sistem akma deplasmanı değerlerinin gerçekte sistemin akmasına karşı gelen değerlerden küçük bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle, az katlı betonarme çerçevelerde sistem akma yer değiştirmesinin tespiti için, daha hassas ve kararlı sonuçlar veren yeni yaklaşımların geliştirilmesine ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Betonarme çerçeve, süneklik, akma, yer değiştirme

ABSTRACT: This paper presents the traditional approach for evaluation of system yield displacement on the capacity curve in low-rise reinforced concrete frames. Firstly, the basic principles of this approach are explained. Some uncertainties encountered are stressed as defining system yield displacement in this approach. A numerical application is made on a typical 5-story reinforced concrete building frame system that has not any structural disorder. The results show that system yield displacement by this approach is grossly underestimated. Therefore, new approaches to define system yield parameters should be developed for reinforced concrete frames.

Keywords: reinforced concrete frame, ductility, yield, displacement.

Giriş

Süneklik; bir yapının, yapı elemanının veya bir yapı eleman kesitinin yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan büyük şekil değiştirmeler yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Ersoy ve Özcebe, 2001). Betonarme yapılarda sistem sünekliği deplasman sünekliği cinsinden ifade edilir. Yapının, belirli bir noktasında (genellikle son kat-döşemesi hizasında), limit durumdaki maksimum yanal ötelenmesinin taşıyıcı sistem akmaya başladığı andaki yanal ötelenmesine oranı sistem sünekliği olarak tanımlanabilir. Bu ilişki matematiksel bir ifade ile şöyle yazılabilir:

$$m_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (1)$$

Ne var ki, betonarme binalarda kapasite eğrisinin elastik bölgeden plastik bölgeye geçişi, tekil olarak elemanların moment-eğrilik değişiminde olduğu gibi doğrusal olmadığından, sistemin akma yer değiştirmesi (Δ_y) bu eğri üzerinde açık olarak görülmemektedir. Bu nedenle, sistem akma yer değiştirmesinin tespitinde belirsizlikler mevcut olup, bazı kabuller yapılması gerekmektedir. Oysa, tanımı gereği sistem sünekliği akma yer değiştirmesi ile orantılı olduğundan süneklik oranının doğruluğu akma yer değiştirmesinin isabetli tanımlanmasına bağlıdır. Günümüze kadar çeşitli deneysel ve analitik çalışmalar sonucunda sistem akma yer değiştirmesinin bulunması için bazı yöntemler geliştirilmiştir (Paulay ve Priestley, 1992; Paulay, 1993). Bunlardan en eski ve genel kabul göreni bu çalışmada “klasik yöntem” olarak anılacaktır.

Klasik Yöntemle Sistem Akma Başlangıcının Tespiti

Bu yöntem, elastik-plastik bir sistemin nominal mukavemetinin belirli bir oranına ulaşıldığında sistemin elastik bölgeden plastik bölgeye geçtiğinin kabulü esasına dayanır. Ancak bu oran için kesin bir sayısal değer verilememekte, sadece nominal mukavemetin %70-80'i arasında olduğu kabul edilmektedir. Yapının kapasite eğrisi çizilebilmesi için göçme oluncaya kadar veya göçme kabulü kriterleri sağlanıncaya kadar yüklenmiş ve bir “yük-yer değiştirme” eğrisi elde edilmiş olmalıdır. Bu kapasite eğrisinde ulaşılan maksimum yük değeri sistemin ideal dayanımını verir. İdeal dayanımın ortalama olarak %75'ine ulaşıldığında sistem davranışının artık elastik özelliğini yitirdiği, bundan sonra plastik deformasyonların meydana geldiği kabul edilir. İdeal dayanımın %75'ine karşılık gelen yer değiştirme ise sistemin akma yer değiştirmesi olarak alınır. Bu yaklaşımda sanki sistemin ideal dayanımına ulaşıldığında göçme meydana geldiği anlaşılmaktadır. Oysa, sünek çerçeve sistemlerinde göçme maksimum dayanıma ulaşıldığında değil, süneklik kapasitesi sonuna kadar kullanıldıktan sonra olmaktadır (Priestley, 1997). Mevcut süneklik kapasitesi kullanıldıkça sistemde gittikçe daha fazla sayıda plastik mafsal oluşmakta ve buna bağlı olarak deplasmanlar büyüyerek maksimum deplasmana ulaşılmaktadır. Bundan dolayıdır ki yapılarda, talep ve kapasiteleri yer değiştirmeler cinsinden karşılaştırmak daha anlamlı görülmektedir.

Bir yapının kapasite eğrisini çizmek ve maksimum deplasmanlarını elastik analizle hesaplamak olası değildir. Günümüzde yapıların elastik ötesi evrede de hesaplarını yapabilen bilgisayar programları ve teknikler mevcuttur. Yapıların deprem etkilerine mukabelesini araştırmak için yapılan analizlerden biri de itme (pushover) analizidir. Son yıllarda gittikçe daha fazla ilgi gören bu analizle; yapı dayanımının yeterliliği,

elemanlarının ne zaman ve hangi sıra ile akmaya başladıkları ve göçtükleri, sistemin ve elemanlarının ayrı ayrı potansiyel süneklikleri bulunabilmektedir. Bu yöntemler sayesinde verilen bir yapının uygun malzeme ve davranış modelleri vasıtasıyla elastik ötesi analizleri kısa bir süre içinde yapılabilmektedir.

Bir çerçeve sisteminin akmaya başladığının belirli göstergeleri olmalıdır. Bunların başında, sistem rijitliğinin düşmesi, **esas periyodun sıçrama yaparak büyümesi**, potansiyel plastik mafsal kesitlerinde plastik mafsalların oluşması ve deformasyonların aşırı büyümesi sayılabilir (Yüksel, İ., 2000). Klasik yöntemde akma kriteri doğrudan sistemin ideal dayanımına bağlı olduğundan yukarıda sayılan göstergeler kontrol edilmemektedir. Ancak her zaman ve her koşul altında ideal dayanımın belli bir oranında aynı göstergeler aynı oranda ortaya çıkmamaktadır. Bu nedenle klasik yöntemle sistemin akma noktası hassas olarak tespit edilememektedir. Yukarıda sayılan belirtilerin ortaya çıkması aşağıdaki parametrelere bağlı görülmektedir:

- a) Taşıyıcı sistem türü ve malzeme özellikleri,
- b) Yükleme biçimi ve hızı,
- c) Çerçeve elemanlarının görece rijitlikleri,
- d) Burulma etkisi,
- e) Potansiyel plastik mafsallardaki dönme kapasitesi,
- f) Plastik mafsalların oluşum yeri ve oluşum sırası,
- g) Yapıdaki olası düzensizlikler.

Bu parametrelerin her birinin sistem akma deplasmanına ne düzeyde etkili olduğunun bilinmesi gereklidir. Taşıyıcı sistemin salt kolon, kiriş ve döşemelerden meydana geldiği çerçeve sistemleri ile perdeli çerçeve sistemleri arasında davranış bakımından belirgin farklar vardır. Burulma düzensizliği gibi yapısal düzensizliklerin elemanların ve sistemin süneklik kapasiteleri üzerinde olumsuz etkisi olduğu bildirilmektedir (Paulay, 1998). Öte yandan yapının maruz kalacağı yüklemenin yapıya etkime biçimi, tersinir tekrarlanır olup olmaması ve yüklenme hızı, sistemin bütün olarak akma ve göçme konumlarını etkilemektedir. Ancak sünek davranışı haiz bir sistem kapasite eğrisinin eğimi akma noktasına yaklaştıkça düşer ve yatay bir seyir izlemeye zorlanır. Bunun anlamı, sistemin artık başlangıçtaki rijitlik ve sönüm oranı değerlerini kaybederek daha esnek bir hal almasıdır. Akma başladıktan sonra sistem rijitliği azalmakta, birinci periyodu belirgin bir şekilde büyümektedir. Akma ve göçme arasında kalan sahanlıkta sistem rijitliğini efektif rijitlik ile ifade etmelidir. Çünkü artık sistem tepkisi “substitute-structure” (Shibata ve Sözen, 1976) yaklaşımı ile doğrudan deplasman terimleri ile ifade edilebilir. Yapı periyodu başlangıçtaki elastik rijitlik ile değil maksimum deplasmana karşılık gelen efektif rijitlik ile ilgilidir. Efektif rijitlik ve periyot arasındaki ilişki Bağlantı (2) ile gösterilebilir (Priestley, 1997).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_{eff}}} \quad (2)$$

Bağlantı (1)'den de görüleceği gibi; sistem akma yer değiştirmesindeki sapma aynı oranda sistem süneklik oranına da yansımaktadır. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1997)'de taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) sistem süneklik düzeyine göre değişmektedir. Bu katsayı yapının doğal titreşim periyodu ile birlikte elastik deprem yüklerinin azaltılmasında kullanılan deprem yükü azaltma katsayısını belirlemektedir. Başka bir deyişle, yapıya kazandırılması gerekli süneklik oranı belirlenmektedir. Kazandırılan bu sünekliğin doğru tespit edilmesi için akma deplasmanının hesabında hassas davranmak gerekir.

Sayısal Uygulama

Akma yer değiştirmesinin tespiti ve bu tespitteki küçük sapmaların süneklik oranı üzerindeki etkisini görmek için tipik bir yapı üzerinde sayısal uygulama yapılmıştır. Seçilen yapı 5 katlı bir çerçeve sistem olup herhangi bir yapısal düzensizliği yoktur. Önce yapının yürürlükteki standartlara uygun olarak tasarımı yapılmıştır. Bunun için SAP2000 ve Probrina Orion 2000 adlı bilgisayar programlarından yararlanılmıştır. Sistemin elastik ötesi davranışını ortaya koymak üzere IDARC-2D (Park, Y. J. et all, 1996) programı aracılığı ile statik itme (monotonic pushover) analizi yapılmıştır. Analiz aynı doğrultuda yer alan iki boyutlu çerçevelerin geometrik ve kesit özelliklerinin tanımlanması, kullanılan donatı ve beton için malzeme özelliklerinin tanıtılması ve yapının birinci titreşim moduna uygun tarzda etkiyen yatay yüklerin belirli adım aralıkları ile verilmesi suretiyle kuvvet kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Her adımda sistemin ve elemanların yaptığı Şekil değiştirmeler kontrol edilmiş ve sistem mekanizma durumuna gelinceye kadar yükleme devam etmiştir. Ek 1’de analize konu olan bina ve tasarımda kullanılan önemli parametreler verilmiştir.

Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

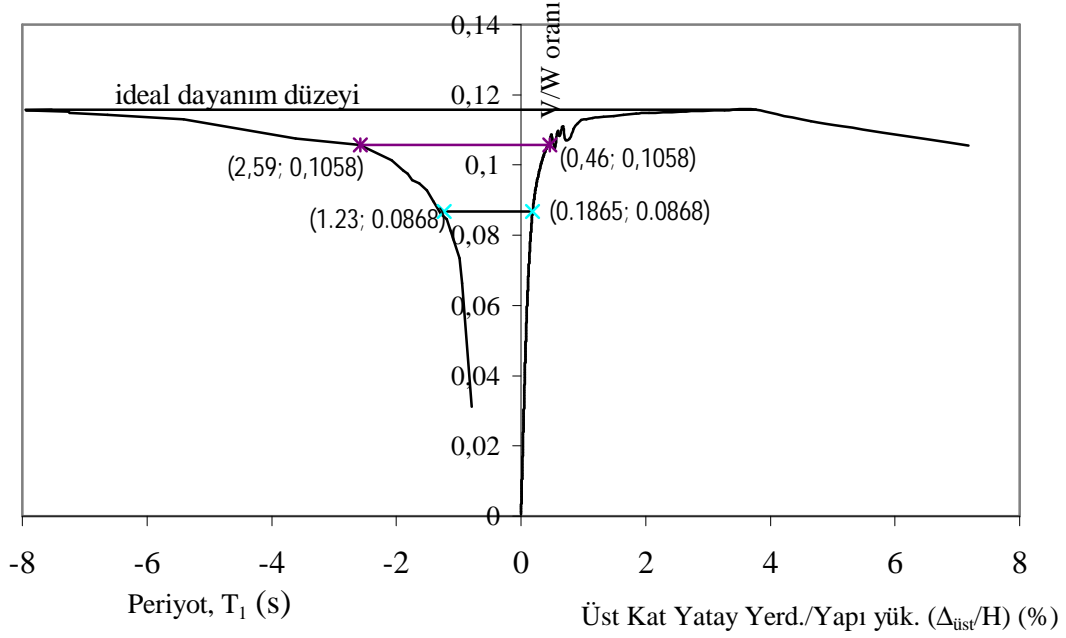
Statik itme analizi çıktılarından elde edilen boyutsuz hale getirilmiş kapasiteler kullanılarak sistemin “taban kesme kuvveti - son kat yatay yer değiştirme” eğrisi çizilmiştir. Kapasite eğrisi adını alan bu eğri üzerinde, klasik yöntemle sistem deplasman süneklik oranı hesaplanmıştır. Bu hesapta sistemin ideal mukavemetine ulaştığı nokta, kullanılabilirlik durumu da dikkate alınarak, göçme noktası olarak kabul edilmiştir. Akma yer değiştirme değerlerinde küçük değişimler için “sistem yer değiştirme süneklik oranları” her seferinde yeniden hesaplanmış ve bunların her biri için sistemin o anki durumu incelenmiştir. Bu incelemeden kolonda çekme donatıları akmaya başlayınca kadar her bir adım arasındaki değişimin çok fark etmediği görülmüştür. Buna karşılık, kolonda donatılar akmaya başladıktan sonraki adımda sistem etkin rijitliğinin azaldığı ve birinci periyodun da sıçrama yaptığı gözlenmektedir. Bu durum gerçekte sistemin bir bütün olarak akmaya yeni başladığına işaret eder. Tablo 1’de taban kesme kuvvetinin %75’inden başlayıp kolonda çekme donatılarının akmaya başladığı ana kadar olan geçiş bölgesi için %2.5’luk artımlarla deplasman sünekliği oranlarının değişimi verilmiştir. Görüldüğü gibi taban kesme kuvvetindeki küçük değişimler bu aralıkta süneklik oranlarını çok etkilemektedir.

Tablo 1. Geçiş bölgesinde deplasman süneklik oranlarının değişimi

V/W oranı (%)	75%	%77.5	%80	%82.5	%85	%87.5	%91
V/W oranı	0,08685	0,0897	0,0926	0,0955	0,0984	0,1013	0,1058
Δ_{top}/H (%)	0,1865	0,2066	0,2308	0,258	0,296	0,3393	0,4377
Süneklik or. (μ_{Δ})	20,2	18,2	16,3	14,6	12,7	11,1	8,6
Azalma oranı %	0	10	19	28	37	45	57

Őekil 1’de sistem kapasite eğrisi alışılan yük-yer değiştirme eksenlerinden farklı bir formda görülmektedir. İki yatay ve bir dūşey ekseninde soldan saęa sırasıyla binanın birinci periyodu, binanın son kat dōşemesinin yatay yer değiştirmesinin bina yüksekliğine oranı ve dūşey ekseninde taban kesme kuvvetinin bina ağırlığına oranı

görülmektedir. Bu gösterim tarzı ile hem yük-yer değiştirme ilişkisi hem de yük-periyot değişimi aynı anda izlenebilmektedir.



Şekil 1. Sistemin yük-yer değiştirme-periyot ilişkisi

Kapasite eğrileri üzerinde binanın ideal mukavemeti ve onun %75'ine karşılık gelen değerler görülmektedir. Klasik yaklaşımla ideal mukavemetin %75'i seviyesinde sistemin akmaya başladığı kabul edilerek binanın akma yer değiştirmesi bina yüksekliğinin %0.1865'i olup sayısal değer olarak 28 mm'ye karşılık gelmektedir. Bu andaki boyutsuz taban kesme kuvveti %8.69'dur. Bu anda çerçevelerin durumuna bakıldığında kiriş uçlarında plastik mafsalların tümüyle oluşmadığı, kolon donatılarında ise henüz akma başlamadığı görülmektedir (Şekil 2). Oysa sistemin akması için kolonlardan birinde donatıların akmaya başlaması beklenmiş olsaydı; bu anda üst kat yanal yer değiştirmesi 66 mm olacaktı. Bu iki durum arasında taban kesme kuvvetleri açısından bakıldığında %23'lük nispeten önemsiz bir fark olmasına rağmen yer değiştirmeler cinsinden %236 gibi büyük bir fark vardır. Sistemin elastik bölgeden plastik davranış bölgesine geçtiği bu aşamada taban kesme kuvveti yerine daha duyarlı olan yer değiştirmelerin kriter olarak alınması uygundur.

Buradan, çerçevede özellikle kiriş uçlarında mevcut süneklik kapasitelerin tümüyle kullanılmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 2 üzerinde plastik mafsalların oluşum yeri ve sırası da takip edilebilir. Plastik mafsalların tasarımın beklenen sonucu olarak öncelikle kiriş uçlarında olması ve alt katlardan üst katlara doğru gittikçe azalma eğilimi göstermesi davranışın beklendiği gibi olduğunu göstermektedir.

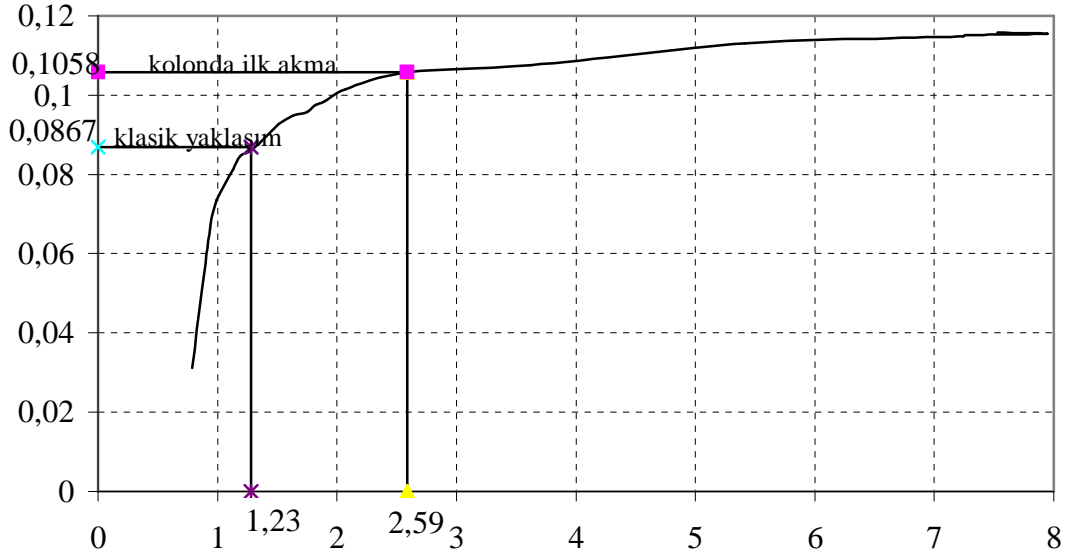
Sistemin birinci periyodunun taban kesme kuvveti ile değişimine bakıldığında ise önemli bir akma göstergesi olan periyottaki sıçramanın henüz gerçekleşmediği, bu olayın kolonlardan birinde akma başlamasıyla ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 3). Ayrıca, sayısal uygulama için seçilen sistemde yapısal düzensizlik olmaması davranışı olumlu yönde etkilemektedir.

Çerçeve no 1						KAT	DEPL. (mm)
+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+5	27.4
!	!	!	!	!	!		
!	!	!	!	!	!		
!	!	!	!	!	!		
+x-----	+x-----	+x-----	+x-----	+-----+	+-----+	+4	25.7
!	!	!	!	!	!		
!	!	!	!	!	!		
!	!	!	!	!	!		
+O-----	+x-----	+x-----	-x+x-----	-x+x-----	-x+x-----	+3	21.9
!	!	!	!	!	!		
!	!	!	!	!	!		
!	!	!	!	!	!		
+O-----	-x+O-----	-x+O-----	-x+O-----	-x+x-----	-x+x-----	+2	15.3
!	x	!	!	x	!		
!	!	!	!	!	!		
!	x	!	!	!	!		
+O-----	-x+O-----	-x+O-----	-x+O-----	-x+O-----	-x+O-----	+1	6.6
!	!	!	!	!	!		
!	!	!	!	!	!		
x	!	!	!	!	x		

Çerçeve no 2					
+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+
!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!
+x-----	+x-----	+-----+	+-----+	+x-----	-x+
!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!
+x-----	-x+x-----	-x+x-----	-x+x-----	+x-----	-x+
!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!
+O-----	-x+x-----	-x+O-----	-x+O-----	-x+O-----	-x+
!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!
+O-----	-x+O-----	-x+O-----	-x+O-----	-x+O-----	-x+
!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!
x	!	x	x	!	x

—=Kiriş !=Kolon x=Betonda Çatlama O=Çekme donatısında akma

Şekil 2. Klasik yöntemle akma deplasmanı anında çerçevenin durumu



Şekil 3. Sistemin taban kesme kuvveti-birinci periyot değişimi

Sonuç

Taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan burulmasız az-katlı bina sistemlerinde sistem akma yer değiştirmesinin bulunmasında ideal mukavemetin belirli bir oranına dayalı hesap yöntemi ile sistemin akma yer değiştirmesi olduğundan küçük bulunmaktadır. Yapı sistemlerinin süneklik kapasitelerinin tespitinde doğrudan kullanılan bu değer yapı davranışını dikkate alan yeni yaklaşımlarla daha gerçekçi ve hassas olarak bulunması sünekliğe dayalı tasarım detaylarının uygulanmasında önem arz etmektedir. Yapı davranışını yönlendiren önemli elemanların akmaya başlaması sistemin akması için önemli bir kriter olarak düşünülmektedir.

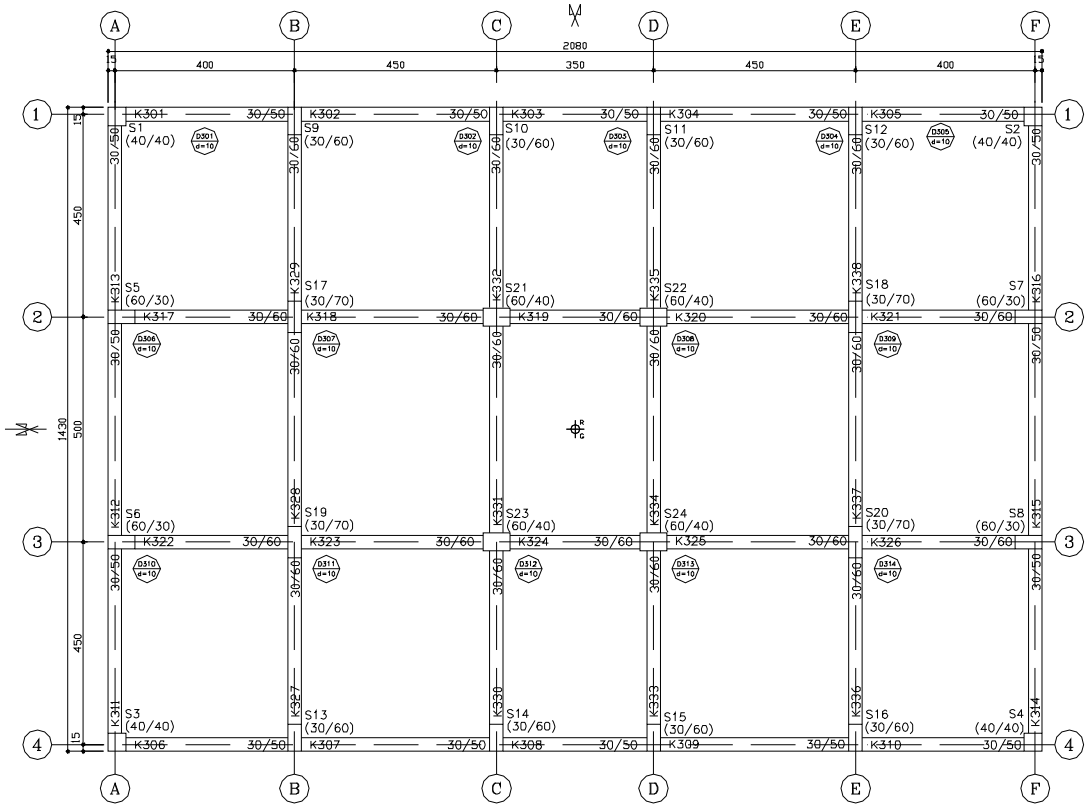
Referanslar

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY), 1997, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ersoy U., Özcebe G. 2001, Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Park, Y. J. et all., 1996, Inelastic Damage Analysis of RC Building Structures-IDARC-2D Computer Program V4.0, , State University of New York.
- Paulay, T., 1998, Torsional Mechanism in Ductile Building Systems, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol:27, pp.1101-1121.
- Paulay, T., 1993, Simplicity and Confidence In Seismic Design, John Wiley & Sons Interscience Publication, West Sussex.
- Paulay, T., Priestley, M.,J., N., 1992, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons Interscience Publication, New York.
- Priestley, M., J., N.,1997, Displacement-Based Seismic Assessment of Reinforced Concrete Buildings”, *Journal of Earthquake Engineering*, Imperial College Press, Vol. 1, No.1, pp. 157-197.

Shibata, A., Sözen, M., 1976, Substitute Structure Method for Seismic Design in Reinforced Concrete, *Journal, Structural Division, ASCE*, Vol.102 No.1.
 Yüksel, İ., 2000, Betonarme Binalarda Sistem Sünekliğinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ekler

Ek-1. Sayısal uygulamada kullanılan bina sistemi ve tasarım bilgileri aşağıda gösterilmiştir.



Malzeme: BS-20/S420	Yerel zemin sınıfı: Z3
Kullanım amacı: Konut, büro	Süneklik Düzeyi: Yüksek (R=8)
1.derece deprem bölgesi	Kat adedi: 5
Döşemeler: 10 cm	Kat Yüksekliği: 3 m