

624.042.7/.044  
K84b



TÜBİTAK

YAC

Rapor No: a 63

CI/SfB (2-)	(H16)	(14)
UDC : 624.042.7/.046		

Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu  
**YAPI ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ**

TÜRKİYE  
BİLİMSEL ve TEKNİK  
ARAŞTIRMA KURUMU  
KÜTÜPHANESİ

# **BETONARME BİNALARIN DEPREM ETKİLERİ ALTINDA ELASTO-PLASTİK DİNAMİK DAVRANIŞI**

Kâmil KORKUT

624 / 133

624.042.7/046  
K846

---

BETONARME BİNALARIN  
DEPREM ETKİLERİ ALTINDA  
ELASTO - PLASTİK DİNAMİK DAVRANIŞI

---

Kâmil KORKUT

TÜRKİYE  
BİLİMSEL ve TEKNİK  
ARAŞTIRMA KURUMU  
KÜTÜPHANESİ

17409 Bağcı, Aralık 1989

Deprem Davranışı  
Elasto-plastik  
Analiz  
Betonarme Binalar

CI/SFB  
(2-) (H16)(J4)

UDC: 624.042.7/.046

Rapor No: a63  
Eylül 1987

Kâmil KORKUT

BETONARME BİNALARIN DEPREM ETKİLERİ ALTINDA ELASTO-PLASTİK DİNAMİK  
DAVRANIŞI (KESİN RAPOR)

Bu yayın YAE-144 no.lu "Deprem Kuvvetine Eşdeğer Statik Yatay Yüklerin Normal Nitelikli Çerçevelerde Plastik Esaslara Göre Kat Hizalarına Dağıtım İçin Yöntem Araştırması" adlı araştırma projesinin kesin raporudur.

Deprem kuvvetlerine eşdeğer statik yatay yüklerin bina yüksekliği boyunca kat hizalarına dağıtım şeklinin elastik esaslardan hareketle saptandığı bilinmektedir. Bu tür dağıtımın, binanın deprem esnasında plastifikasyona uğraması halinde de geçerli olup olmayacağı sorusuna cevap aramak gayesiyle başlatılmış olan bu projede, başlangıç amacının da ötesinde ilginç yeni bulgular elde edilmiştir.

Bu bulguların ilki, deprem esnasında bina strüktür sistemindeki plastik mafsalların oluşum süreciyle ilgilidir. Bu araştırmayla, plastik mafsalların zamana bağlı olarak hangi tarzda oluştukları açıklığa kavuşmuş ve bu oluşum şeklinin enerji yutum mekanizmasının deplasmanlar ve kuvvetler üzerindeki etkisi ile birleştiğinde, sistemde deprem esnasında bir "kendi kendini kurtarma mekanizması"na yol açtığı ortaya çıkarılmıştır.

İkinci önemli bulgu, bina yüksekliği boyunca kirişlerde meydana gelen düktilite ihtiyacı ile ilgilidir. Bu bulgu ile de elastik hesabın çeşitli noktalarda yanlıtıcı olabileceği vurgulanmış olmaktadır.

ABSTRACT

The lateral load distribution used in the seismic analysis of building structures is based on the elastic behavior displayed by the structures during an earthquake. The initial objective of the present research work was simply to verify the validity of the "lateral load distribution" in the event of having plastic deformations due to seismic effects. However, the analyses conducted have revealed further interesting results.

Due to dynamic analyses conducted in the plastic range a very important aspect of the time-dependent process of the plastic hinge formation during an earthquake has been brought to light. It has been shown that this aspect, combined with the effect of the energy dissipation on forces and displacements, leads to a self-rescue process within the structure during an earthquake.

For structures without shear-walls it has been confirmed that the beams in the middle stories usually require more ductility than those in the lower regions of the building.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ . . . . .	I
1. GİRİŞ . . . . .	1
2. HESAP ESASLARI . . . . .	1
3. İKİ AYRI DEPREMLE YAPILAN İNCELEMELER . . . . .	2
4. DEPREM SIRASINDA STRÜKTÜRÜN KENDİ KENDİNİ KURTARMA SÜRECİ . . . . .	6
5. BİNA YÜKSEKLİĞİ BOYUNCA KİRİŞLERDE EN YÜKSEK DÜKTİLİTEYE İHTİYAÇ DUYULAN BÖLGENİN SAPTANMASI . . .	11
6. PLASTİKLEŞME SONRASINDA YATAY KUVVETLERİN BİNA YÜKSEKLİĞİ BOYUNCA KAT HİZALARINA DAĞILIMI . . .	14
7. SONUÇLAR . . . . .	16
8. ŞEKİLLER . . . . .	18
9. YARARLANILAN KAYNAKLAR . . . . .	58
ÖZGEÇMİŞ . . . . .	60

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ . . . . .	I
1. GİRİŞ . . . . .	1
2. HESAP ESASLARI . . . . .	1
3. İKİ AYRI DEPREMLE YAPILAN İNCELEMELER . . . . .	2
4. DEPREM SIRASINDA STRÜKTÜRÜN KENDİ KENDİNİ KURTARMA SÜRECİ . . . . .	6
5. BİNA YÜKSEKLİĞİ BOYUNCA KİRİŞLERDE EN YÜKSEK DÜKTİLİTEYE İHTİYAÇ DUYULAN BÖLGENİN SAPTANMASI . . .	11
6. PLASTİKLEŞME SONRASINDA YATAY KUVVETLERİN BİNA YÜKSEKLİĞİ BOYUNCA KAT HİZALARINA DAĞILIMI . . .	14
7. SONUÇLAR . . . . .	16
8. ŞEKİLLER . . . . .	18
9. YARARLANILAN KAYNAKLAR . . . . .	58
ÖZGEÇMİŞ . . . . .	60

Ö N S Ö Z

*Buildings, earthquake effects, reinforced concrete*

*Elasto-plastic*

Betonarme binaların deprem esnasında gösterdikleri elasto-plastik dinamik davranışın çeşitli ilginç özellikleri olduğu bilinmektedir. Binada, deprem anında plastik mafsalların oluşmasıyla birlikte, binanın davranışını büyük çapta etkileyen bir enerji yutum mekanizması ortaya çıkmaktadır. Bu mekanizmanın, sistemin maruz kaldığı zorlanmaları önemli ölçüde hafiflettiği bilinen bir gerçektir. Ancak, deprem süresince oluşan plastik mafsalların nasıl bir oluşma süreci izledikleri, bu sürecin kendine özgü birtakım kuralları olup olmadığı ise bugüne dek açıklığa kavuşmamış hususlardan biriydi. İşte bu çalışmayla, özellikle bu konuya ışık tutulmuş ve plastik mafsalların zamana bağlı olarak oluşum süreci ilk defa olarak inandırıcı bir açıklamaya kavuşmuştur.

Bu sürecin anlaşılmasıyla birlikte, sistemin içinde saklı ilginç bir mekanizmanın varlığı da ortaya çıkarılmıştır:

"Sistemin deprem anında kendi kendini kurtarabilme mekanizması". Ancak, bu mekanizmanın en yararlı biçimde kullanılabilmesi için, daha proje safhasındayken yapılması gereken bazı düzenlemeler vardır. Bu düzenlemelere de ayrıca değinilmiştir.

Tamamı DRAIN-2D bilgisayar programı kullanılarak yapılan bu çalışma ile elde edilen başka bir yepyeni bulgu da, binanın hangi bölgesindeki kırışlarda en yüksek duktilite ihtiyacının bulunduğu saptanmasına ilişkindir. Bu bulgu ile, yapıların deprem hesabında kullandığımız elastik statik hesap yönteminin icabında çok yanıltıcı olabileceği hususu vurgulanmış olmaktadır.

Bu çalışmanın sonuçlarını içeren ve yazar tarafından hazırlanmış bir bilimsel makale Batı Almanya'nın ünlü mühendislik dergilerinden BAUINGENIEUR'ün Mayıs 1985 sayısında yayınlanmış ve yurt dışında ciddi bir ilgi görmüştür.

Bu çalışmada kullanmış olduğum DRAIN-2D bilgisayar programını geçmiş yıllarda O.D.T.Ü. Bilgisayarına yükleme çabasını benimle birlikte üstlenmiş olan TÜBİTAK Yapı Araştırma Enstitüsü Strüktür Sistemi Araştırma Bölümü Başkanı Sayın Alkut AYTUN'a ve yine bu yükleme işinde

Önemli yardımlarda bulunan O.D.T.Ü. Öğretim üyelerinden Doç.Dr. Sayın Çetin YILMAZ'a teşekkürlerini sunarım.

Kâmil KORKUT

Mart 1987

## G İ R İ Ő

Betonarme çerçeveslerin deprem etkileri altında elâsto-plastik analizine bir başlangıç teşkil edecek olan bu araştırmada, öncelikle, aşağıdaki soruların cevaplandırılması amaçlanmıştır:

1) Deprem sırasında, malzemenin elasto-plastik davranışa girmesi sonucu meydana gelen enerji yutumu, toplam taban kesme kuvvetinde hangi mertebede azalmalara neden olmaktadır?

2) Elasto-plastik dinamik davranış içinde meydana gelen maksimum kat kesme kuvvetlerine, toplam taban kesme kuvvetinin elastik 1. mod şekline göre kat hizalarına dağıtım vasıtası ile acaba ne derece yaklaşılabılır ?

3) Kirişlerde ve kolonlarda, plastikleşme sonucu, birbirlerine göre hangi oranda enerji yutulmaktadır ?

4) Kiriş uçlarında istenen sık etriyelemenin, bina yüksekliği boyunca belli bir bölgede diğer bölgelere kıyasla daha da etkin bir şekilde yapılması gerekir mi ?

## HESAP ESASLARI

Şekil (1)'de görülen betonarme çerçeve, her defasında biraz daha arttırılan deprem yüklerine maruz bırakılmış ve elasto-plastik olarak incelenmiştir. Çerçevenin elasto-plastik analizi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi bilgisayarına TÜBİTAK Yapı Araştırma Enstitüsü Strüktür Sistemi Araştırma Bölümü'nün girişimi ile yüklenmiş olan DRAIN-2D sonlu elemanlar bilgisayar programı vasıtası ile yapılmış ve böylelikle bu program ülkemizde ilk defa olarak ayrıntılı bir araştırma çalışması içinde kullanılmıştır.

Şekil (1a)'da, söz konusu çerçevenin donatı şeması görülmektedir. Malzeme olarak B 225 ve St I seçilmiştir. Paralel çerçeveler arasındaki açıklık 6,00 m olarak kabul edilmiş ve normal katlarda 1,068 t/m<sup>2</sup>'lik yükler düşünülerek, çerçeve elemanları ebatlandırılmış ve elastik yöntemlerle donatı miktarları hesaplanmıştır.



(12) no.lu düğümde kırış ucunda meydana gelmiş bir plâstik mafsâl görülmektedir. Aynı deprem süresi içinde, sağdan-sola deplasman durumu için değişik bir plastik mafsâl tablosu oluşmakta ve (12) no.lu düğümde kırış ucu elastik kalmaktadır. (Bak. Şekil (7)).

Şekil (7)'de ve daha büyük bir büyütme faktörünün kullanıldığı Şekil (8)'de kırışlarda meydana gelen plastik mafsâlların sayısının kolonlardakinden daha fazla olduğu derhal göze çarpmaktadır. Bu durum, bu sistemde deprem sırasında plastikleşmenin kırışlarda, kolonlara kıyasla daha hızlı yayıldığına göstermektedir. (2) no.lu deprem ile yapılan analizler de benzer sonuçlar vermiştir. Esasen bu, istenen bir durumdur. Böylelikle, kolonların plastikleşmesi gecikeceğinden, sistemin hareketli bir mekanizma haline gelmesi de olabildiğince gecikmiş olacaktır. Deprem literatüründe, bu durumu sağlamak gayesiyle kırışların, kolonlara kıyasla daha kolay plastikleşebilecek bir yapıda seçilmeleri tavsiye edilir. Bu durum, burada seçilmiş olan çerçevede sağlanmış görünmektedir.

Deprem ivme ordinatlarının giderek arttırılan büyütme faktörleriyle çarpılması sonucu elde edilen her bir yeni deprem, çerçeve üzerine etki ettirilmesiyle oluşan plastik mafsâl tabloları Şekil (7) - (11) ve Şekil (13) - (17)'de görülmektedir. Şekiller dikkatle incelendiğinde sistemin Şekil (11)'de oynak bir mekanizma haline geldiği farkedilir. Yani sistem artık yıkılma durumundadır. Ancak, böyle bir yıkılma şeklinin tamamen teorik bir anlam taşıdığı unutulmamalıdır. Çünkü sistem gerçekte, flambaj etkisiyle, yahut da herhangi bir taşıyıcı elemanın düktilite sınırının aşılmasıyla daha önce de yıkılma noktasına gelmiş olabilir. Burada yapılan analizler ise bu etkileri dikkate almamaktadır. Ancak bu araştırmanın, yıkılmanın gerçek şeklinin ve zamanının saptanmasına dönük bir hedefi de yoktur. Araştırmanın hedefi, sistemin elasto-plastik davranışını değişik safhalarda genel olarak izlemektir.

Plastikleşme ile birlikte meydana gelen enerji yutumu, sistemin toplam taban kesme kuvvetinin eşdeğer elastik duruma göre daha küçük çıkmasına neden olmaktadır. Sistemin tamamen elastik bir davranış gösterdiği ve büyütme faktörünün "1,00" olduğu durumdan (Bak.Şekil (6) ve (12)) hareketle, daha yüksek büyütme faktörlerinin kullanıldığı diğer her bir durum için eşdeğer elastik sistemde çıkabilecek maksimum toplam taban kesme kuvvetinin miktarı kolaylıkla hesaplanabilir. Belli bir büyütme faktörü için söz konusu olan bir eşdeğer elastik sistemin toplam

(12) no.lu düğümde kiriş ucunda meydana gelmiş bir plâstik mafsal görülmektedir. Aynı deprem süresi içinde, sağdan-sola deplasman durumu için değişik bir plastik mafsal tablosu oluşmakta ve (12) no.lu düğümde kiriş ucu elastik kalmaktadır. (Bak. Şekil (7)).

Şekil (7)'de ve daha büyük bir büyütme faktörünün kullanıldığı Şekil (8)'de kirişlerde meydana gelen plastik mafsalların sayısının kolonlardakinden daha fazla olduğu derhal göze çarpmaktadır. Bu durum, bu sistemde deprem sırasında plastikleşmenin kirişlerde, kolonlara kıyasla daha hızlı yayıldığını göstermektedir. (2) no.lu deprem ile yapılan analizler de benzer sonuçlar vermiştir. Esasen bu, istenen bir durumdur. Böylelikle, kolonların plastikleşmesi gecikeceğinden, sistemin hareketli bir mekanizma haline gelmesi de olabildiğince gecikmiş olacaktır. Deprem literatüründe, bu durumu sağlamak gayesiyle kirişlerin, kolonlara kıyasla daha kolay plastikleşebilecek bir yapıda seçilmeleri tavsiye edilir. Bu durum, burada seçilmiş olan çerçevede sağlanmış görünmektedir.

Deprem ivme ordinatlarının giderek arttırılan büyütme faktörleriyle çarpılması sonucu elde edilen her bir yeni depremin, çerçeve üzerine etki ettirilmesiyle oluşan plastik mafsal tabloları Şekil (7) - (11) ve Şekil (13) - (17)'de görülmektedir. Şekiller dikkatle incelendiğinde sistemin Şekil (11)'de oynak bir mekanizma haline geldiği farkedilir. Yani sistem artık yıkılma durumdadır. Ancak, böyle bir yıkılma şeklinin tamamen teorik bir anlam taşıdığı unutulmamalıdır. Çünkü sistem gerçekte, flambaj etkisiyle, yahut da herhangi bir taşıyıcı elemanın düktilite sınırının aşılmasıyla daha önce de yıkılma noktasına gelmiş olabilir. Burada yapılan analizler ise bu etkileri dikkate almamaktadır. Ancak bu araştırmanın, yıkılmanın gerçek şeklinin ve zamanının saptanmasına dönük bir hedefi de yoktur. Araştırmanın hedefi, sistemin elasto-plastik davranışını değişik safhalarda genel olarak izlemektir.

Plastikleşme ile birlikte meydana gelen enerji yutumu, sistemin toplam taban kesme kuvvetinin eşdeğer elastik duruma göre daha küçük çıkmasına neden olmaktadır. Sistemin tamamen elastik bir davranış gösterdiği ve büyütme faktörünün "1,00" olduğu durumdan (Bak.Şekil (6) ve (12)) hareketle, daha yüksek büyütme faktörlerinin kullanıldığı diğer her bir durum için eşdeğer elastik sistemde çıkabilecek maksimum toplam taban kesme kuvvetinin miktarı kolaylıkla hesaplanabilir. Belli bir büyütme faktörü için söz konusu olan bir eşdeğer elastik sistemin toplam

taban kesme kuvveti, bu büyütme faktörüyle büyütme faktörünün "1,00" olduğu durumdaki toplam taban kesme kuvvetinin çarpımına eşittir. Örneğin Şekil (7)'de, bu sisteme ait büyütme faktörüyle Şekil (6)'daki elastik durumdan alınan maksimum toplam taban kesme kuvvetinin çarpımından  $10931,84 \times 1,25 = 13664,80$  kg.lık bir kuvvet elde edilmektedir. Bu kuvvet, eşdeğer elastik sistemin toplam taban kesme kuvveti olmaktadır. Yani, Şekil (6)'da kullanılmış olan depremin ivme ordinatlarının 1,25 defa büyütülerek aynı çerçeve üzerine etki ettirilmesi halinde, sistemin tamamen elastik kalacağı varsayılmakta ve bu varsayıma göre oluşması gereken maksimum toplam taban kesme kuvveti hesaplanmaktadır. Oysa Şekil (7)'den, sistemin belli bir plastikleşmeye uğradığı derhal görülmektedir. Bu elasto-plastik sistemde elde edilen toplam taban kesme kuvveti ise, eşdeğer elastik durumdakinin % 93,62 si kadardır. Diğer bir deyişle, plastikleşmenin getirdiği enerji yutumu sonucu maksimum toplam taban kesme kuvvetinde % 6,38 lik bir düşme olmuştur. Plastikleşme oranının artmasıyla, bu düşme oranı da artmaktadır. Örneğin Şekil (8)'de, tamamen elastik durum için beklenen maksimum toplam taban kesme kuvvetinin sadece % 68,24'ü oluşmuştur. Böylelikle, Şekil (8) için toplam taban kesme kuvvetindeki düşme oranı % 31,76 olmuştur. Bu oranın ve bundan sonraki şekillerden elde edilen düşme oranlarının büyüklüğü, deprem sırasında plastikleşme ile birlikte gelen enerji yutununun toplam taban kesme kuvvetini nasıl önemli boyutlarda etkileyebildiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Şekil ((18)-(24)'de, (2) no.lu depremi değişik büyütme faktörleriyle çarparak yapılan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar görülmektedir. Burada da aynı şekilde, plastikleşme ile birlikte eşdeğer elastik toplam taban kesme kuvvetinde meydana gelen düşme oranları izlenebilmektedir.

Şimdi de, plastikleşmenin deplasmanlar üzerindeki etkisi incelenecektir.

Toplam taban kesme kuvveti için yapılan mukayesenin bir benzeri deplasmanlar için tekrarlanacaktır. Plastikleşmiş sistem üzerinde meydana gelen maksimum deplasman yine, eşdeğer elastik sistemin maksimum deplasmanı ile karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırma için Şekil (10)'daki plastikleşmiş sistem seçilmiştir. Bu sisteme ait büyütme faktörü

$\mu = 4,00$ 'dür.

Eşdeğer elastik sistemde meydana gelen maksimum deplasman süperpozisyon kuralı yardımıyla ve Şekil (6)'daki maksimum deplasman miktarı (2,31 cm.) kullanılarak kolayca hesaplanabilir. Bu deplasman

$$S_{el} = 2,31 \times 4,00 = 9,24 \text{ cm.}$$

olur. Diğer taraftan, Şekil (10)'da görülen plastikleşmiş sistemin maksimum deplasmanı ise

$$S_{pl} = 6,37 \text{ cm.}$$

dir.

Böylelikle, ilginç bir sonuç elde edilmiş olmaktadır. (1) no.lu depremin 4,00 katı olan bir depremle Şekil (6)'daki çerçeve sarsılsa ve de bu arada bu çerçevenin tamamen elastik kaldığı kabul edilse, bu durumda meydana gelen maksimum deplasman (9,24 cm.), sistemin plastikleşmiş halinde meydana gelen maksimum deplasmandan (6,37 cm.) çok daha büyük olmaktadır. Halbuki ilk bakışta, plastikleşmiş sistemin maksimum deplasmanının elastik sisteminkine göre daha büyük olması beklenirdi. Bu sürprizli sonucun nedeni yine, plastikleşmeyle birlikte ortaya çıkan enerji yutumu olgusunda aramak gerekir. Aynen toplam taban kesme kuvvetinde olduğu gibi, plastikleşmeyle birlikte enerjinin yutulması sonucu sistemin deplasmanları, elastik eşdeğer sisteminkine göre daha küçük çıkmaktadır. Plastikleşme oranı arttıkça, plastik mafsalların sayısındaki artışa rağmen, sistem deplasmanları elastik eşdeğer sisteminkilere göre daha da büyük bir oranda geri kalmaktadırlar.

## DEPREM SIRASINDA STRÜKTÜRÜN KENDİ KENDİNİ KURTARMA SÜRECİ

Bu bölümde, enerji yutumu olgusu başka bir açıdan ele alınacaktır. Bundan önceki bölümde, bu olgu sayesinde hem kuvvetlerde, hem de deplasmanlarda elastik sisteme göre önemli bir düşme olduğunu gördük. Bu iki hususun, deprem sırasında taşıyıcı sistemin yararına olduğu kolaylıkla anlaşılmaktadır. Ancak diğer taraftan, plastikleşmenin artmasıyla birlikte plastik mafsalların sayısı da artmaktadır. Bu durum ise, sistemin kısa süre içinde oynak bir mekanizma haline gelerek yıkılması tehlikesini içermektedir. O zaman, enerji yutumu sonucu kuvvetlerde ve deplasmanlarda meydana gelen düşmenin sağladığı yararların, plastik mafsalların sayısındaki artış sonucu, kısa süre içinde yokolacağını düşünmek gerekecektir. Acaba, bu gerçekten böyle midir? Yoksa, bütün bu sayılan olgular bir bütün olarak ele alındığında strüktürde deprem sırasında bir "kendi kendini kurtarma süreci"mi oluşmaktadır?

İşte bu bölümde, bu iki soru irdelenecektir. Bu soruların irdelenbilmesi için, deprem hareketi boyunca taşıyıcı sistemdeki plastik mafsalların oluşum sürecinin aydınlatılması gerekmektedir.

Taşıyıcı sistemi meydana getiren tüm kiriş ve kolonların uç noktalarında meydana gelen plastik mafsalların deprem sırasında oluşum ve gelişim sürecini zamana bağlı olarak incelemek, muhakkak ki, çok zahmetli bir iştir. DRAIN-2D gibi bir bilgisayar programı ile bunu yapabilmek için, her bir eleman uç noktasının, zamana bağlı olarak ve çok küçük zaman aralıklarıyla gösterdiği gelişmeyi izlemek gerekecektir. Bu ise, 7-8 katlı bir çerçevede bir hayli büyük bir çıktı (output) hacmi getirecek ve sonuçların da grafiğe dökülmesi ayrıca bir külfet gerektirecektir.

Bütün bu engeller nedeniyle, plastik mafsal oluşum sürecini doğrudan doğruya bir yöntemle değil de, dolaylı olarak incelemenin daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Bu araştırma çalışması içinde şu ana kadar elde edilmiş olan bulgular, böyle bir incelemeyi en azından bu konuda bir hipotez oluşturacak kadar yapabilmek için yeterlidir.

Şekil (25)'deki grafikler, Şekil (1)'deki çerçevede farklı büyütmeye faktörleri için meydana gelen plastik mafsal sayısını bu büyütmeye faktörlerine bağımlı olarak ifade etmektedir. Şekil (25 a) (1) no.lu

deprem için, Şekil (25 b) ise (2) no.lu deprem içindir.

Şekil (25 a) dikkatle incelendiğinde, (1) no.lu deprem 1,25 defa büyütüldüğünde sistemde toplam yedi plastik mafsallık meydana geldiği (A noktası), 2,00 defa büyütüldüğünde ise toplam onbeş plastik mafsallık (B noktası) meydana geldiği görülür. Demek ki, büyütme faktörü 1,25 den 2,00'ye çıkarken, toplam plastik mafsallık sayısı da yediden onbeşe çıkmış, yani 2,14 kat artmıştır.

Aynı şekilde B ve D noktalarını incelediğimizde, büyütme faktörü ilk duruma göre daha kuvvetli bir biçimde artarak iki katına çıktığı halde, toplam plastik mafsallık sayısının sadece onbeşden onsekize çıktığı, yani ilk duruma göre çok daha zayıf bir şekilde arttığı (1,2 kat) görülür. Bundan da anlaşılmaktadır ki, depremin ivme ordinatlarını giderek artan sayılarla çarparak büyüttüğümüzde, sistemde her defasında oluşan plastik mafsallıklar aynı hızla artmamakta, bilakis azalan bir hızla artmaktadırlar. (1) no.lu deprem için söz konusu olan bu durumun, (2) no.lu deprem için de aynen söz konusu olduğu Şekil (25 b)'den bellidir.

Şimdi, giderek artan şiddetteki depremlerden elde edilen yukarıdaki bulgular, aynı çerçevenin yüksek şiddette tek bir depremin etkisi altında kalması halinde meydana gelen plastik mafsallıkların hangi tarzda oluştuğunu açıklamak için kullanılacaktır.

Bu açıklamayı yaparken, deprem hareketinin çok sayıda deprem için varolan bir özelliğinden istifade edilecektir. Bu özellik, deprem akselerogramının önce çok küçük ivmelerle başlayarak, daha sonra giderek artış göstermesi ve daha sonra da yine küçük ivmeler düzeyine düşmesi şeklinde ortaya çıkan özelliktir. Şekil (25)'deki grafikler de, şiddetleri giderek artan ayrı ayrı depremlerden elde edilmiştir.

Şimdi, Şekil (1)'deki çerçevenin yukarıda bahsedilen genel deprem özelliğine sahip yüksek şiddette bir depremle sarsıldığını varsayalım. Bu depremin şiddeti çok küçükten başlayıp giderek artacağına göre, çerçevedeki plastik mafsallıkların oluşumu, şiddetleri giderek artan ayrı ayrı depremlerin meydana getirdiği Şekil (25)'deki grafiklere benzer tarzda olacaktır. Yani, yüksek şiddetteki depremin etkimesi sırasında belli bir zaman bölümü içinde plastik mafsallıkların sayısındaki artış hızı düşme eği-

limi gösterecektir. Bunu daha da açık ifade etmek gerekirse, yüksek şiddetteki depremin etkimesi sırasında başlangıçta tamamen elastik olan sisteme giren enerjinin yutulabilmesi için önceleri çok sayıda plastik mafsalları meydana gelecek; daha sonra ise, yine bu enerji yutulumunun etkisiyle plastik mafsalların sayısı artık pek hızlı artmayacaktır. Deprem süresi içinde plastik mafsal oluşumuna ilişkin bu özellik ilk defa olarak bu kitabın yazarı tarafından keşfedilmiş ve yine ilk olarak yazarın, Batı Almanya'nın BAUINGENIEUR dergisinde yazdığı bir bilimsel makalede yayınlanmıştır. Yazar, daha önce bu özellikten bahsetmiş olan herhangi bir bilimsel yayına rastlamamıştır.

Deprem sırasındaki enerji yutumundan kaynaklanan ve belli bir zaman bölümü içinde ortaya çıkan bu özellikten, kitabın bundan sonraki bölümlerinde kısaca "plastik mafsal sayısı artış hızındaki düşme eğilimi" şeklinde bahsedilecektir.

Bu husus, daha önce bahsedilmiş olan ve yine enerji yutumundan kaynaklanan diğer bir hususla, yani "plastikleşmiş sistemdeki kuvvetlerin ve deplasmanların elastik sisteme göre geri kalması" şeklinde açıklanmış olan hususla birlikte bir bütün olarak ele alındığında, gerçekten de, strüktürün içinde saklı bir "kendi kendini kurtarma mekanizması" olduğuna hükmetmek gerekecektir. Çünkü, "plastik mafsal sayısı artış hızındaki düşme eğilimi" nedeniyle ve de depremin ilk safhalarında meydana gelen plastik mafsalların büyük bir çoğunlukla giriş uçlarında meydana gelmesi koşulu ile, sistemin oynak bir mekanizma haline dönüşmesi gecikecektir. O zaman, sistemin içinde saklı olan "kendi kendini kurtarma mekanizması"nın üç ayrı bileşeni olduğuna hükmetmek gerekecektir. Bu bileşenler aşağıda belirtilmiştir:

1) Enerji yutumu nedeniyle sistemin maksimum toplam taban kesme kuvvetinin ve maksimum kat kesme kuvvetlerinin elastik sisteme göre gösterdiği azalma.

2) Enerji yutumu nedeniyle sistemin maksimum kat deplasmanlarında elastik sisteme göre meydana gelen azalma.

3) Elastik mafsal sayısı artış hızındaki düşme eğilimi.

Enerjinin yutulması ile birlikte beraberce ortaya çıkan bu üç bileşen sayesinde sistem önemli bir avantaja kavuşmaktadır. Ancak, bu

avantajın etkin bir biçimde kullanılması, depremin ilk safhalarında meydana gelen plastik mafsalların çok büyük bir çoğunlukla giriş uçlarında olmasına bağlıdır. Çünkü ilk safhalarda meydana gelen plastik mafsalların çoğunlukla kolon uçlarında meydana gelmesi halinde, söz konusu "Kendi kendini kurtarma olgusu" yine ortaya çıkacak, ancak sistem bu durumda çok kısa bir süre içinde oynak bir mekanizmaya dönüşeceğinden, bu olgunun etkinliği çok düşük bir düzeyde kalacaktır. Bu açıklamadan anlaşılacağı gibi, sistemin içindeki "kendi kendini kurtarma olgusu"ndan en yüksek düzeyde yararlanabilmek için statik proje safhasında bazı bilinçli düzenlemelere gitmek gerekmektedir. Bu düzenlemelerin de en önemlisi, girişleri deprem sırasında kolonlardan daha kolay ve çabuk bir biçimde plastikleşebilecek bir biçimde boyutlandırmak ve donatılandırmaktır. Yani, deprem sırasında öncelikle plastikleşmesi istenen bölgeler proje safhasında tesbit edilecek ve bu hedefe göre düzenlenecektir.

Diğer taraftan, düktilite kavramı, "kendi kendini kurtarma olgu" sunun üç bileşeni açısından irdelendiği takdirde, bu kavramın ne derece önemli olduğu da ortaya çıkmaktadır. Açıkça bellidir ki, bu üç bileşenden her birinin gerektiği gibi verimli olabilmesi için sistemi meydana getiren elemanların hepsinde ve dolayısıyla sistemin tamamında yeterli düktilitenin olması gerekir. Çünkü, sistemin yıkılmaktan kurtulmasını sağlayan enerji yutumundan en yüksek faydayı elde edebilmek, eleman kesitlerinin yüksek düzeyde bir plastikleşmeyi göğüsleyebilmesiyle mümkündür. Diğer bir deyişle, bu kesitlerde yeterli düktilitenin sağlanmasıyla mümkündür.

Demek ki, "kendi kendini kurtarma olgusu" nun başarılı olması, depremin ilk safhalarında meydana gelen plastik mafsalların çok büyük bir çoğunlukla giriş uçlarında meydana gelmesi koşuluna ilaveten, elemanlarda yeterli düktilitenin sağlanmış olmasına da bağlıdır.

Sistemin içerdiği "deprem anında kendi kendini kurtarma olgusu" nu yanlış yorumlamak gerekir. "Yukarıda bahsedilen iki koşul yerine getirildiği takdirde, sistem deprem anında mutlaka kendi kendini kurtaracaktır" şeklinde bir yorum yapmak, muhakkak ki, hatalı olacaktır. Çünkü, bu iki koşul yerine getirilmiş olsa bile, deprem sırasında örneğin bir rezonans etkisinin ortaya çıkması halinde sistemin yıkılması yine kaçınılmaz olacaktır. Yahut da, bu iki koşulu sağladığına inandığımız bir binanın, üzerinde bulunduğu zayıf zemindeki akmalar nedeniyle aşırı büyük deplasmanlar kazanarak yıkılması, veya yine böyle bir binanın deprem



esnasında stabilite ile ilgili nedenlerden ötürü ömrünü yitirmesi söz konusu olabilecektir.

Demek ki, sistemin içindeki "kendi kendini kurtarma olgusu"nun deprem sırasında istenen sonucu vermesi, ancak sistemin yukarıda sayılan türden etkilerin dışında kalmasıyla mümkündür.

## BİNA YÜKSEKLİĞİ BOYUNCA KİRİŞLERDE EN YÜKSEK DÜKTİLİTEYE İHTİYAÇ DUYULAN BÖLGENİN SAPTANMASI

Bilindiği gibi, binaların elastik kabullerden hareketle depreme karşı hesaplanması halinde kirişlerde ve kolonlarda en büyük zorlanmalar alt katlarda çıkmaktadır. Daha derin araştırmalar yapmadan, sadece bu sonuçtan hareket edildiği takdirde, elemanlarda en büyük duktilite ihtiyacının sanık "en alt katlarda ortaya çıkması gerekir" şeklinde bir görüşe saptanmak mümkündür. Böyle bir görüş kirişler açısından doğru mudur, değil midir? İşte bu bölümde, bu soru irdelenecektir.

Bu irdelemeyi yapabilmek için, deprem esnasında kiriş uçlarında ortaya çıkan plastik mafsallarda meydana gelen maksimum kümülatif dönmelerin incelenmesi gerekmektedir. Şekil (26)'da, (1) no.lu depremin etkisi altında,  $\mu = 1,25$  olması halinde elde edilen maksimum kümülatif dönmeler görülmektedir. Soldan-sağa deplasman durumu için elde edilmiş olan bu değerlere bakıldığında, bunların en büyüğünün en alt kat kirişinin sağ ucunda meydana geldiği (0,00028) dikkati çeker. Ancak, büyütme faktörünün 1,25 olduğu bu durum düşük bir plastikleşme oranını yansıtmaktadır. Esasen, sistemin deprem etkisi altında daha yüksek oranlarda plastikleşmesi beklenmelidir. Bu nedenle, incelememizde daha yüksek büyütme faktörleri için elde edilmiş olan maksimum kümülatif dönme değerlerini esas almamız gerekecektir. Şekil (27)'de,  $\mu = 2,00$  için elde edilmiş olan değerlere baktığımızda, maksimum kümülatif dönme dağılımının Şekil (26)'dakinden farklı olduğunu görürüz. Bu defa, maksimum kümülatif dönmelerin en büyükleri aşağıda itibaren dördüncü katta çıkmıştır (0,00247). Bina yüksekliği boyunca maksimum kümülatif dönme miktarlarının değişimini incelersek, bu değerlerin en alt kattan yukarıya doğru çıkarken önce düşme gösterdiğini; daha sonra alttan itibaren dördüncü katta en büyük dönmelerin elde edildiğini ve bundan sonra da hızlı bir düşüş olduğunu farkederiz. Bina yüksekliği boyunca aynen buna benzer bir değişim Şekil ((28)-(30))'da da izlenebilir. (2) no.lu depremin etkisi altında elde edilmiş olan Şekil (31) ve (32)'deki maksimum kümülatif dönme değerlerinin de aynen böyle bir dağılım gösterdiği yine hemen farkedilir.

Maksimum kümülatif plastik dönmelerin binanın en alt katlarındaki

değil de, binanın orta bölgelerindeki kirişlerde meydana gelmesinin nedenini açıklayabilmek gayesiyle, deprem süresince meydana gelen maksimum düğüm dönmelerinin bina yüksekliği boyunca dağılımını incelemek yararlı olacaktır. Şekil (33)'de tamamen elastik durum için elde edilmiş olan sol kolon eksenine ait maksimum düğüm dönmeleri görülmektedir. Dikkatle bakıldığında, bu dönmelerin en alt kat dahil olmak üzere, üç ayrı katta maksimumdan geçtiği; en yukarı katta ise yine daha düşük bir değere indiği görülür. Şekil 34'de ise ( $\mu = 2,00$ ), maksimum düğüm dönmeleri arasında en büyük değer  $0,00136$  olarak alttan dördüncü katta çıktığı görülür. Şekil 35'de ( $\mu = 5,00$ ) ise bu değer  $0,00289$  olarak alttan beşinci kattadır. Şekil (36)'da, (2) no.lu deprem süresince tamamen elastik durum için elde edilen maksimum düğüm dönmeleri görülmektedir. Bunlar arasında en büyük değer alttan altıncı katta olduğu ( $0,00085$ ), en üst katta ise dönme miktarının yine azaldığı görülmektedir. Şekil (37)'de, yine (2) no.lu deprem süresince ve  $\mu = 2,00$  için elde edilen maksimum düğüm dönmelerine baktığımızda, bunlar arasında en büyük değer alttan dördüncü katta  $0,00142$  olarak ortaya çıktığını görürüz. Yine (2) no.lu depremle  $\mu = 5,00$  için elde edilen Şekil (38)'de ise en büyük değer alttan altıncı katta  $0,00500$  olarak gözükmektedir. Bu arada, Şekil (38)'deki sistemin oynak bir mekanizma olduğunu ve çökme durumuna tekabül ettiğini de hatırlatmak gerekir.

Bütün bu incelemelerden görülmektedir ki, maksimum kümülatif plastik dönmelerin ve maksimum düğüm dönmelerinin bina yüksekliği boyunca gösterdikleri dağılımlar arasında önemli bir benzerlik vardır: Her iki dağılımda da en yüksek değerler en alt katta değil, en alt ve en üst kat arasında bir yerde, yani bir ara kat hizasında çıkmaktadır.

Bu benzerlik, maksimum kümülatif plastik dönmelerin niçin bir ara kat hizasında en kuvvetli mertebeye ulaştığı hususuna yeterince ışık tutmaktadır. Bu durum ise, bizlere, elastik hesabın illettiği "en büyük zorlanmalar en alt katların kirişlerinde olur" şeklindeki izlenimle gelişir biçimde, kirişlerde en yüksek duktilite ihtiyacının ara katlar hizasında bir yerde ortaya çıktığını kanıtlamaktadır. Diğer taraftan, gerek kirişlerde gerekse kolonlarda düğüm noktalarına yakın olan yerlerin Deprem Yönetmeliğine göre belli uzunluklar boyunca daha sık bir şekilde etriyelerle sarılması gerektiği de bilinmektedir. Bu uygulamanın amacı, kirişlerde ve kolonlarda düğümlere yakın yerlerde daha iyi bir

düktilite sağlayabilmektedir. Kirişlerde, daha sık etriyelenmesi gereken bölgenin uzunluğu kiriş kesidinin statik yüksekliğine göre tayin edilmektedir. Ancak, elastik hesaba göre bir çözümleme yapıldığında -ki bugünkü hesap tarzı tamamen böyledir- kirişler için en büyük statik yükseklikler en alt katlarda gerekmektedir. Bu nedenle, kirişler için en uzun "dar aralıklı etriyeleme" bölgeleri de en alt katların kirişleri için söz konusu olmaktadır. Halbuki, bu çalışmada gösterildiği ve biraz önce de belirtildiği gibi, kirişlerde en yüksek düktilite ihtiyacı en alt katlarda ortaya çıkmamaktadır. Demek ki, elastik hesap bu konuda yanıltıcı olmaktadır. Kirişlerde en uzun "dar aralıklı etriyeleme" bölgesinin ara katlar hizasında olması gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen bulguların ışığında, bina taşıyıcı sistem yüksekliğinin orta 1/3'ünde kalan tüm kirişlerde, diğer katlardaki kirişlere kıyasla daha uzun ve daha etkili "dar aralıklı etriyeleme" bölgelerinin düzenlenmesi uygun olacaktır ve bu husus Deprem Yönetmeliğine de dahil edilerek, Yönetmelik vasıtasıyla da tavsiye edilmelidir.

Şekil ((27)-(32))'deki maksimum kümülatif plastik dönme miktarlarının incelenmesinden elde edilebilecek bir başka önemli sonuç da, kirişlerin ve kolonların deprem sırasındaki enerji yutumuna katılım oranlarıyla ilgilidir. Bu şekillerden, kiriş uçlarındaki maksimum kümülatif plastik dönme miktarlarının kolon uçlarına göre genellikle çok daha büyük çıktığı bellidir. Bu durum da kirişlerin, deprem sırasında plastikleşmeyle birlikte ortaya çıkan enerji yutum mekanizmasına, kolonlara kıyasla çok daha güçlü bir biçimde katıldığını açıkça ortaya koymaktadır.

Binadaki kirişlerle ilgili en yüksek düktilite ihtiyacının en alt katların kirişlerinde değil de, daha yukarılardaki ara katların kirişlerinde ortaya çıktığını ve bu yüzden de bina yüksekliğinin orta 1/3 lük bölgesindeki kirişlerde daha etkili bir "dar aralıklı etriyeleme" yapılması gerektiğini biraz önce belirtmiştik. Ancak, bu hususla ilgili olarak önemli bir hatırlatma yapmak gerekmektedir. Elde edilen bulgular ve bunlardan hareketle getirilen tavsiye, deprem perdeleri içermeyen ve sürekli bir strüktürel sisteme sahip binalar için geçerlidir. Deprem perdeleri içeren binaların ve taşıyıcı sistemi süreksizlikler gösteren binaların bu açıdan ayrı bir incelemeye tabi tutulması gerekmektedir.

## PLASTİKLEŞME SONRASINDA YATAY KUVVETLERİN BİNA YÜKSEKLİĞİ BOYUNCA

### KAT HİZALARINA DAĞILIMI

Binaların depreme göre statik yöntemlerle hesaplanmasında, bilindiği gibi, itibari bir toplam taban kesme kuvvetinin binanın birinci mod şekline göre kat hizalarına dağıtılması ve daha sonra bu dağıtımdan hareketle kat kesme kuvvetlerinin bulunması gerekmektedir. Bu dağıtım, sürekli bir taşıyıcı sisteme sahip binalarda, genellikle, birinci modun ideal bir doğru olarak kabulüne göre gerçekleştirilir.

Görülüyor ki, statik yönteme göre hesap yaparken, dağıtımda, tamamen elastik bir kavram olan mod şekli kullanılmaktadır. O zaman şu soru ortaya çıkmaktadır:

Deprem sırasında plastikleşeceği bilinen bir taşıyıcı sistemin statik yöntemle hesabında dağıtım için yine de mod şekli kullanılabilir mi?

Bu soru aşağı yukarı tüm taşıyıcı sistemleri kapsamaktadır. Çünkü, hemen hemen tüm taşıyıcı sistemler, şiddetlice bir depremin etkisi altında, belli bir oranda plastikleşeceklerdir.

Şekil ((39)-(42))'nin incelenmesi, bu soruyu cevaplamaya yeterli olacaktır.

Şekil (39)'da, elastik çerçeve üzerinde (1) no.lu depremle yapılan dinamik analizden elde edilen maksimum kat kesme kuvvetleri (Şekil (39a)) ve yine bu analizden elde edilen 10931,84 kg.lık maksimum taban kesme kuvvetinin Deprem Yönetmeliğindeki formüle göre kat hizalarına dağıtımından bulunan kat kesme kuvvetleri (Şekil (39 b)) görülmektedir. (Deprem Yönetmeliğindeki formül birinci modu ideal bir doğru olarak kabul etmektedir.)

Şekil (39 b)'deki kat kesme kuvvetlerinin Şekil (39 a)'dakilerden ne derece farklı olduğunu ifade eden hata oranlarına baktığımızda sadece en üst katta % 20,38'lik yüksekçe bir hata oranı görürüz. Diğer hata oranları düşük düzeydedir. En üst kat hizasına konan  $F_4$  kuvveti bu dağıtımda kullanılmamıştır. Bu kuvvetin de dağıtıma dahil edilmesiyle en üstteki hata oranı azaltılabilir.

Şekil (40)'da, çerçeve belli bir oranda plastikleştikten sonra elde

edilen kat kesme kuvvetlerinin kendi aralarında mukayesesi görülmektedir. Bu durumda elde edilen hata oranları da, birinci mod esasına göre yapılan doğrusal dağıtımın iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Şekil (41)'de aynı dağıtım, bu defa  $F_t$  kuvveti de hesaba katılarak yapılmış ve daha da küçük hata oranları elde edilmiştir.

Şekil (40) ve (41)'den görülmektedir ki, elastik esasa dayalı birinci mod dağıtım sistemde plastikleşme bağladıktan sonra da iyi sonuç vermektedir.

Şekil (42), sistem oldukça yüksek bir oranda plastikleştikten sonra elde edilen hata oranlarını vermektedir. Alttan üçüncü ve dördüncü katlarda % 22,17 ve % 21,39 gibi yüksekçe hata oranları görülmektedir. Bu hataların, alt katlarda olmaları nedeniyle,  $F_t$  kuvvetinin dağıtımına dahil edilmesi yoluyla azaltılması da mümkün değildir. Buradan da anlaşılmaktadır ki, sistemde yüksek oranda bir plastikleşme meydana geldiği takdirde, elastik esasa dayalı dağıtım şekli artık iyi sonuç vermemektedir.

Yukarıdaki açıklamaların akıla getirdiği husus şudur: Binaların deprem hesabında kullandığımız statik hesap yöntemi ancak, bina deprem esnasında belli bir plastikleşme oranını aşmadığı takdirde geçerli olmaktadır. Acaba, daha yüksek plastikleşme oranlarına tekabül edecek statik hesap yöntemleri de bulunamaz mı?

Eğer bu yola gidilirse, o zaman binanın proje safhasında kabul edilecek plastikleşme oranına uygun olan statik hesap yöntemi seçilmiş olacaktır. Bu da muhakkak ki, daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.

## SONUÇLAR

Betonarme binaların deprem esnasında sergilediği elasto-plastik dinamik davranış özelliklerini araştırmak gayesiyle yedi katlı bir betonarme çerçeve farklı şiddette depremlerin etkisi altında DRAIN-2D bilgisayar programı yardımıyla incelenmiştir. İncelemelerde, iki ayrı depremin akselerogramları değişik büyütme faktörleri ile çarpılarak, bu iki depremden, farklı şiddette yeni depremler elde edilmiştir. Bütün bu farklı şiddetteki depremler seçilen çerçeve üzerine ayrı ayrı etki ettirilerek, her bir durum için ortaya çıkan plastik mafsalların yerleri, maksimum kat kesme kuvvetleri, maksimum deplasmanlar ve plastik mafsallarda oluşan maksimum kümülatif dönme miktarları hesaplanmıştır.

Bütün bu bulunan hesapsal değerlerden elde edilen sonuçlar kısaca şu şekilde özetlenebilir:

1) Binanın deprem sırasında plastikleşmesiyle birlikte ortaya çıkan enerji yutumu binanın toplam taban kesme kuvvetini ve maksimum deplasman değerini büyük ölçüde etkileyebilmektedir. Ancak, olumlu yönde olan bu etkinin, en yararlı biçimde kullanılabilmesi için, sistemdeki taşıyıcı elemanların her birinin ve de sistemin tamamının yeterli duktiliteye sahip olması gerekmektedir.

2) Bu çalışmanın en önemli iki bulgusundan biri olarak, binada deprem sırasında meydana çıkan bir "kendi kendini kurtarma mekanizması"nın varlığı keşfedilmiştir. Bu mekanizmanın üç bileşeni olduğu saptanmıştır. Bu bileşenlerin ilk ikisi daha önce de bilinmekteydi. İlk iki bileşenle birleşerek, onlarla bir bütün halinde, söz konusu "kendi kendini kurtarma mekanizması"nın varlığını kanıtlamamıza yarayan üçüncü bileşen ise ilk olarak bu çalışma içinde keşfedilmiştir. Bu üç bileşen aşağıda belirtilmiştir.

a) Deprem esnasında plastikleşme ile birlikte ortaya çıkan enerji yutumu nedeniyle sistemin maksimum toplam taban kesme kuvvetinin ve maksimum kat kesme kuvvetlerinin elastik sisteme göre gösterdiği azalma,

b) Enerji yutumu nedeniyle sistemin maksimum kat deplasmanlarında elastik sisteme göre meydana gelen azalma,

c) Deprem esnasında meydana gelen plastik mafsalların sayısının artış hızındaki düşme eğilimi (İlk olarak bu çalışma ile bulgulanmıştır.)

Söz konusu "kendi kendini kurtarma mekanizması"ndan en iyi şekilde yararlanabilmek için, deprem esnasında plastik mafsal oluşması arzu edilen bölgelerin proje safhasında saptanması ve bu bölgelerin böyle bir oluşuma meydan verecek tarzda düzenlenmesi gerekmektedir.

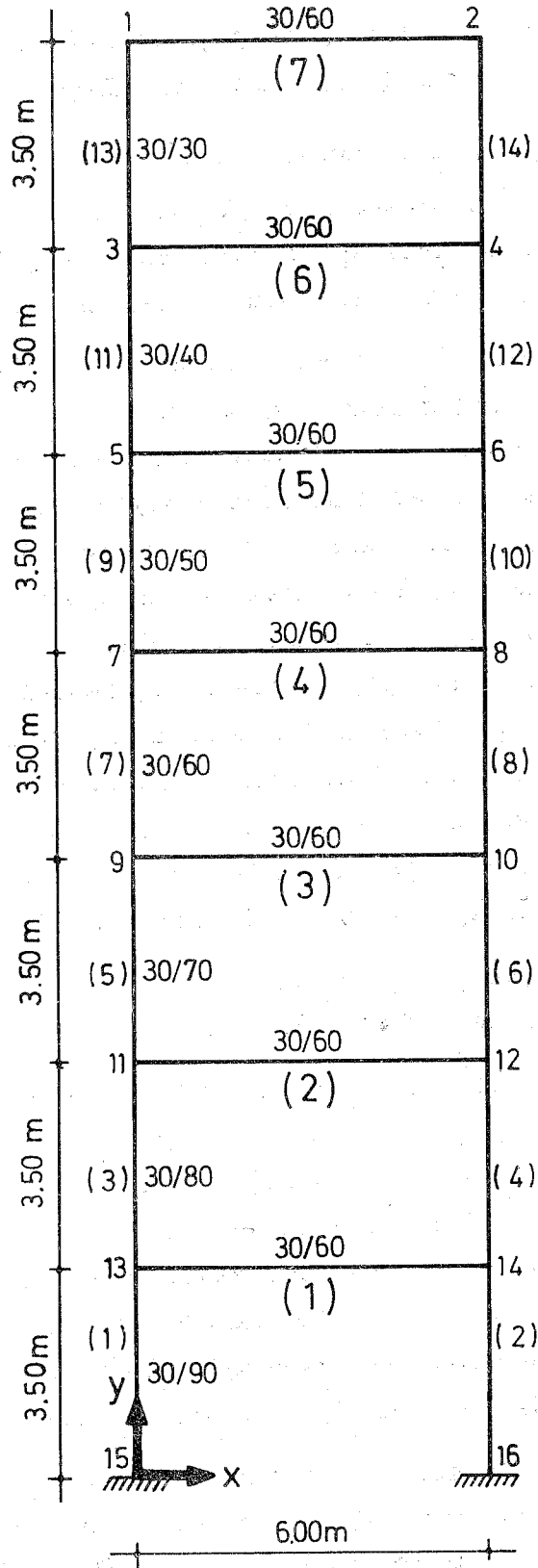
3) Bu çalışmanın ikinci en önemli bulgusu bina kirişlerindeki düktilite ihtiyacı ile ilgilidir. Kiriş uçlarında deprem esnasında oluşan plastik mafsallarda meydana gelen maksimum kümülatif dönme miktarlarından, hangi kirişlerde en yüksek düktilite ihtiyacının ortaya çıktığını saptamak mümkündür. Bu şekilde yapılan saptama, çok ilginç sonuçlar vermiş ve kiriş uçlarındaki en yüksek düktilite ihtiyacı, elastik hesabın verdiği izlenimdeki gibi en alt katların kirişlerinde değil, orta katların kirişlerinde kendini göstermiştir. Perde içermeyen binalar için geçerli olan bu sonuçtan hareketle bu tür binalarda, bina yüksekliğinin orta 1/3'lük bölümüne isabet eden katlardaki kirişlerin uç bölgelerinde, daha uzun bir mesafede ve daha etkili bir biçimde "dar aralıklı etriyeleme" uygulaması yapılması tavsiye edilmiştir. Bu hususun Deprem Yönetmeliğine girmesi gerektiği de ayrıca belirtilmiştir.

Kiriş uçlarındaki düktilite ihtiyacı açısından perdeli binaların ayrıca incelenmesi gerektiği de hatırlatılmıştır.

4) Binaların deprem hesabında kullanılan statik hesap yöntemi de deprem esnasında meydana gelen plastikleşme açısından irdelenmiştir. Bilindiği gibi, bu metodun içinde yer alan, toplam taban kesme kuvvetinin birinci mod şekline göre kat hizalarına dağıtılması hususu tamamen elastik esasa dayalı bir uygulamayı yansıtmaktadır. "Bu tür bir uygulama, bina deprem sırasında ortaya çıkan plastikleşme sonrası için de geçerli olabilir mi?" sorusuna cevap aramak gayesiyle, farklı düzeylerde plastikleşmiş sistemler üzerinde doğrusal dağıtım şekli sınanmıştır.

Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, Deprem Yönetmeliğince de tavsiye edilen doğrusal dağıtım, eğer sistemde yüksek düzeyde bir plastikleşme olmamışsa geçerli olmakta, kuvvetli bir plastikleşme olması halinde ise, büyük hatalara neden olmaktadır. Bu bulgudan hareketle, halen kullanılmakta olan statik hesap yönteminin, farklı plastikleşme safhalarını gözönüne alacak şekilde genişletilmesi gerektiği belirtilmiştir.

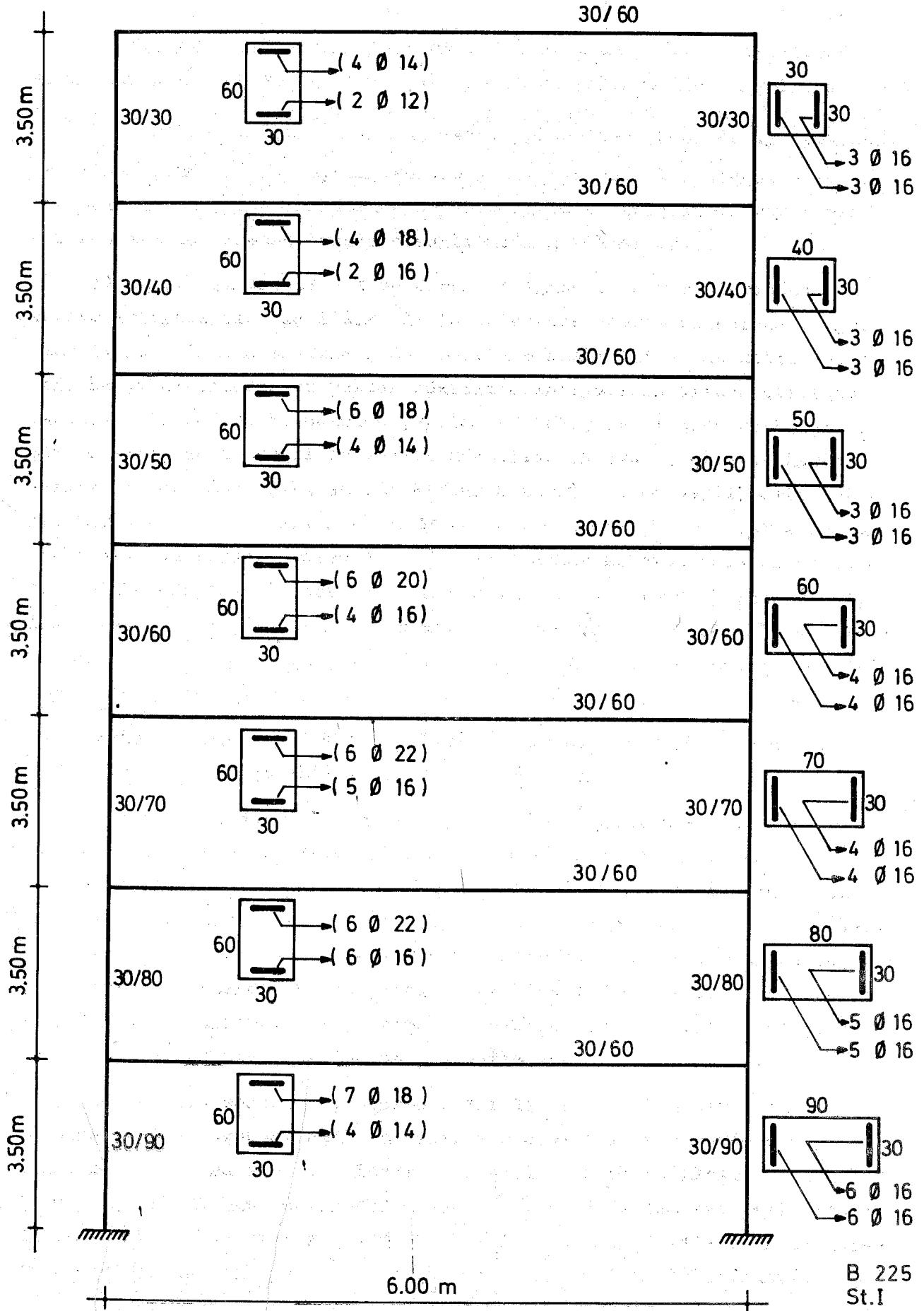




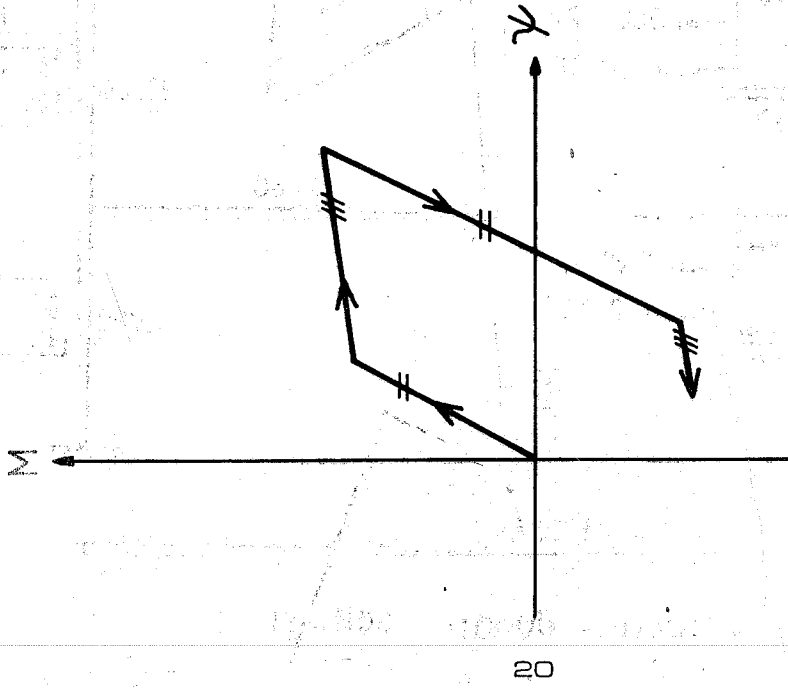
ŞEKİL 1 : Analizlerde kullanılan, sıradan niteliklere sahip betonarme çerçeve .

Kiriş Kesitleri

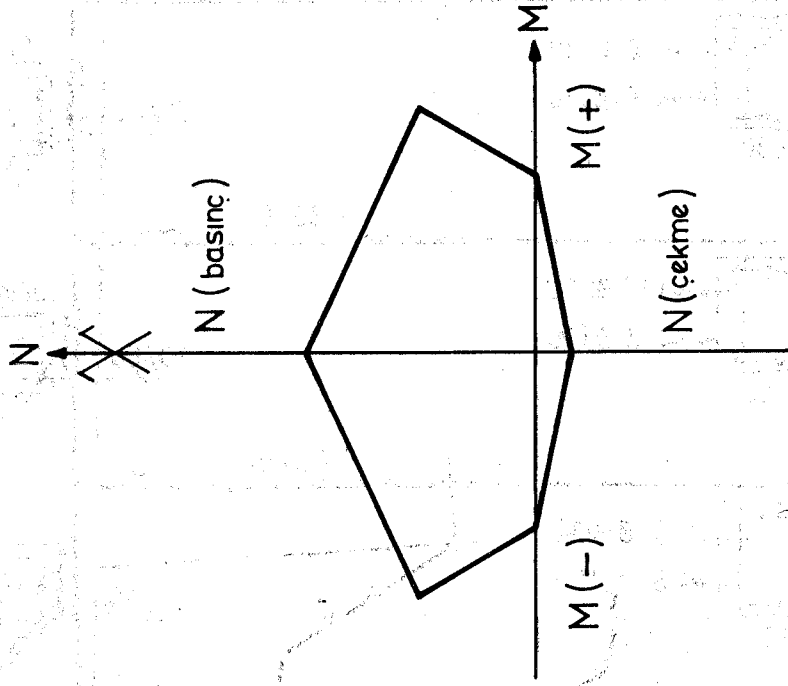
Kolon Kesitleri



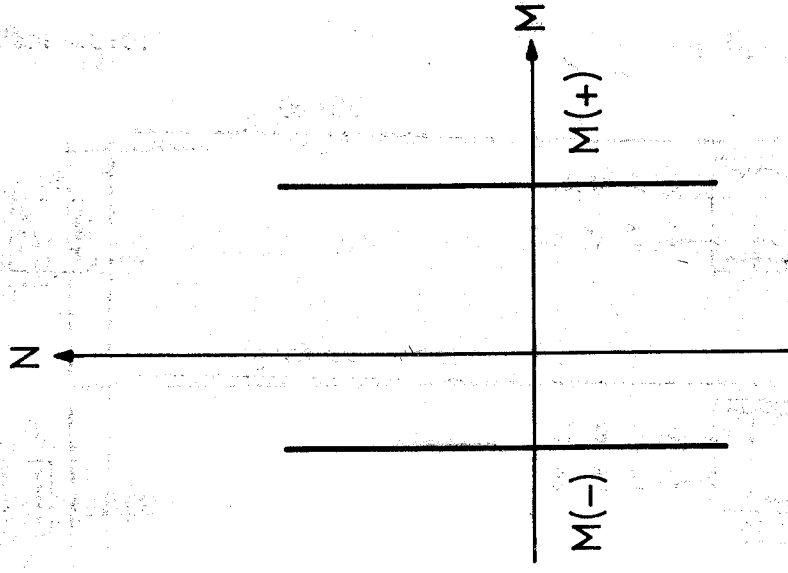
ŞEKİL 1a : Çerçeve donatı şeması .



" Eğilme momenti-egrilik ilişkisi "



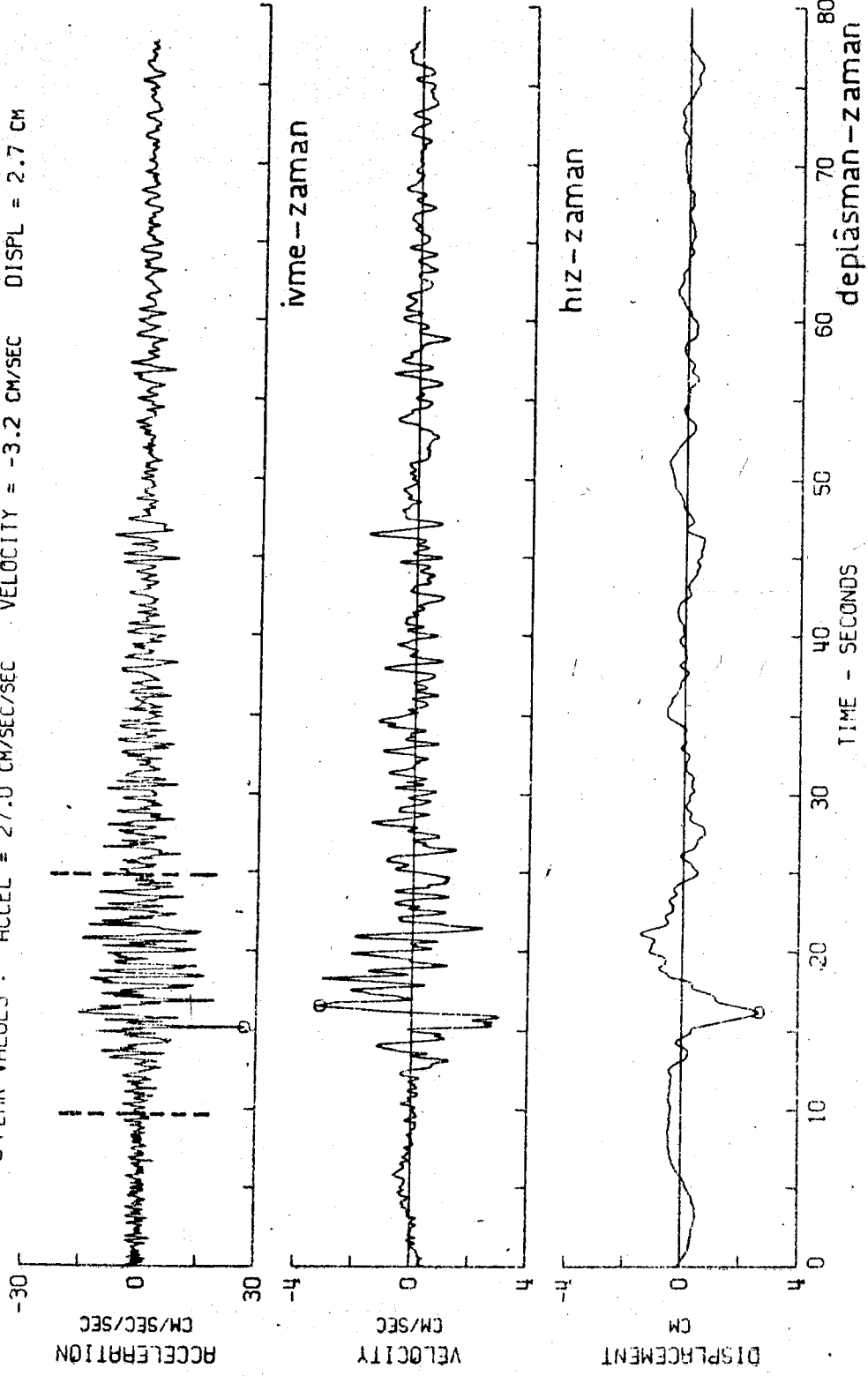
" Kolonlar için " karşılıklı etkileşim " diyagramı "



" Kirişler için " karşılıklı etkileşim " diyagramı "

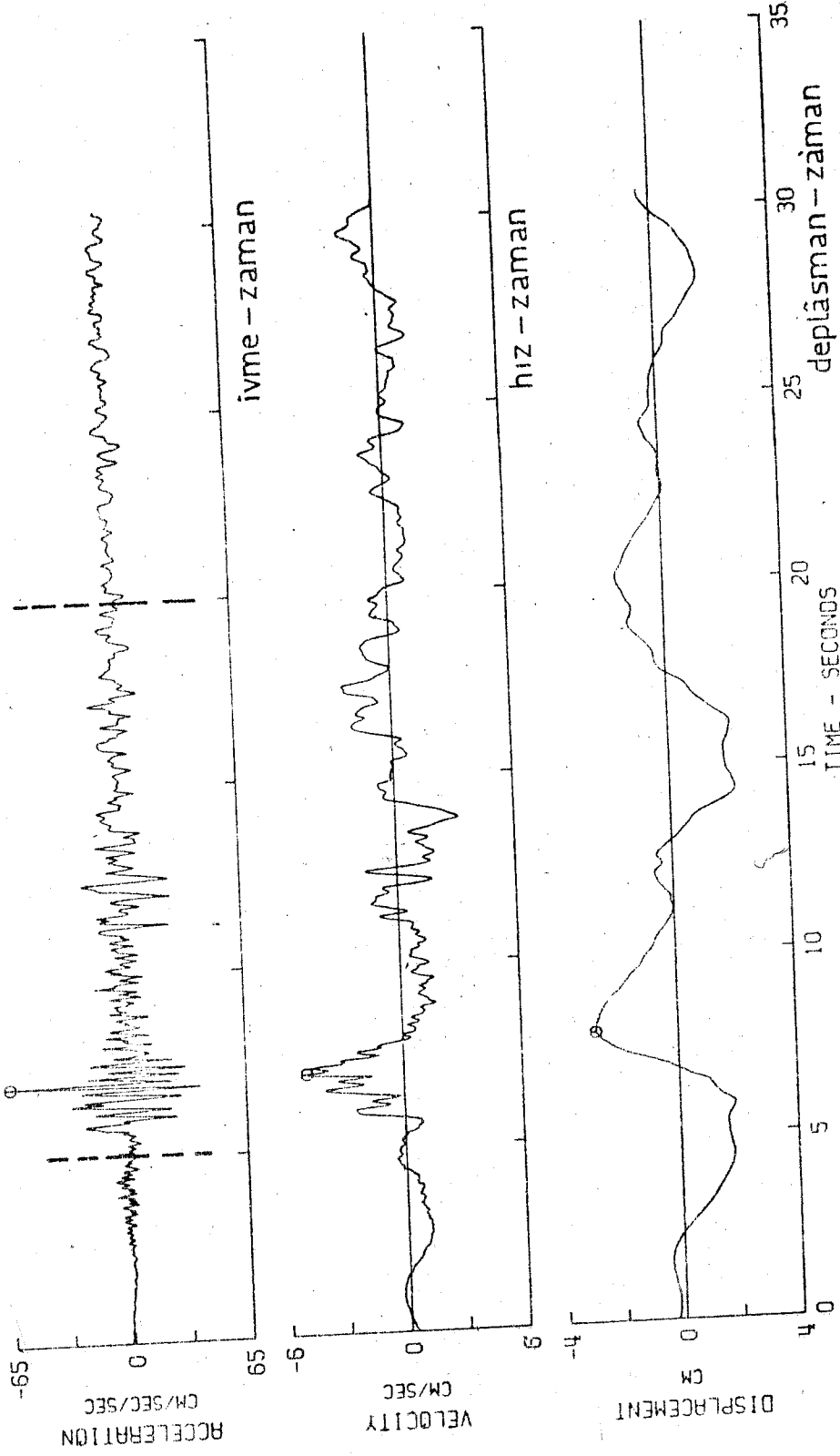
ŞEKİL 2 : Elasto - plastik analizlere esas teşkil eden diyagramlar .

LOWER CALIFORNIA EARTHQUAKE NOV 12, 1954 - 0427 PST  
11T289 54.005.0 EL CENTRO, IMPERIAL VALLEY IRRIGATION DISTRICT COMP EAST  
PEAK VALUES : ACCEL = 27.0 CM/SEC/SEC VELOCITY = -3.2 CM/SEC DISPL = 2.7 CM

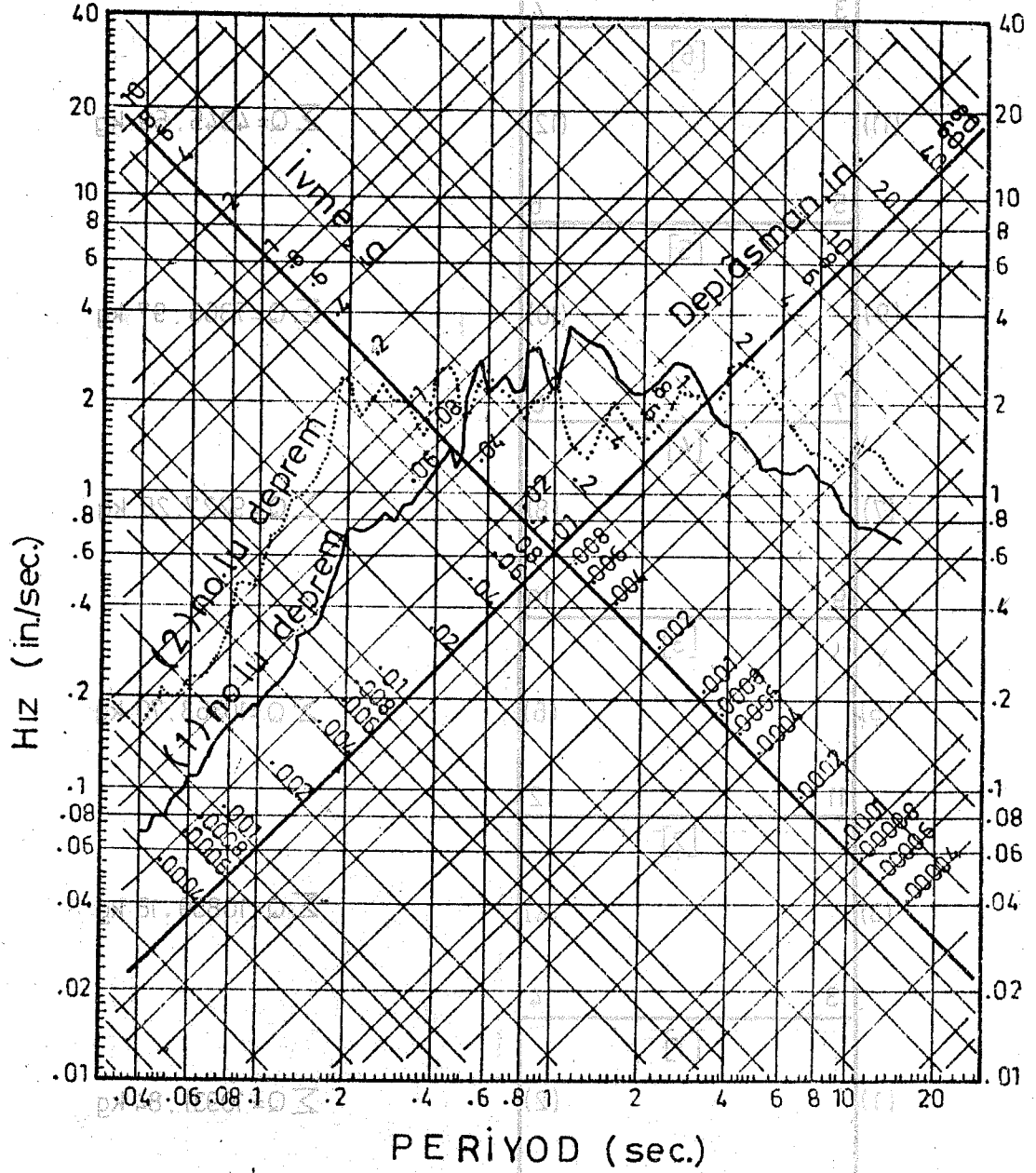


ŞEKİL 3 : (1) no.lu depreme ait ivme-zaman, hız-zaman, hız-zaman ve deplâsman-zaman grafikleri

IMPERIAL VALLEY EQ. AFTERSHOCK MAY 18, 1940 - 2037 PST +242.0 SEC.  
111283 40.001.7 EL CENTRO, IMPERIAL VALLEY IRRIGATION DISTRICT COMP NORTH  
PEAK VALUES : ACCEL = -64.0 CM/SEC/SEC VELOCITY = -4.9 CM/SEC DISPL = -2.8 CM



ŞEKİL 4: (2) no.lu depreme ait ivme-zaman, hiz-zaman ve deplâsman-zaman grafikleri

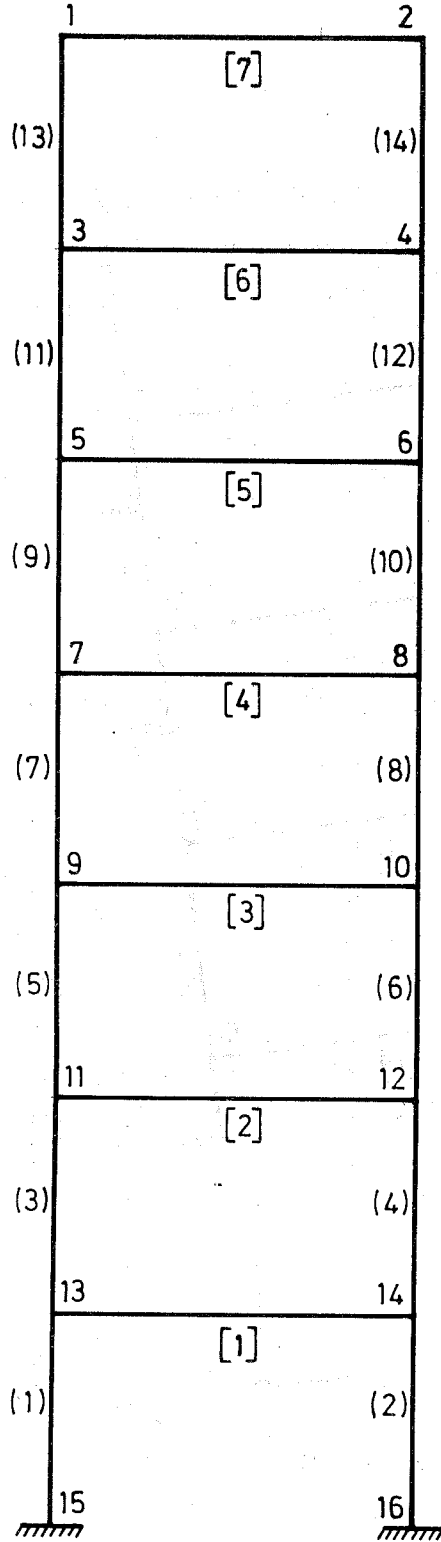


ŞEKİL 5 : (1) ve (2) no.lu depremlerin spektrumları  
(Her iki spektrum da % 5 sonum oranına göre hesaplanmıştır.)

Maksimum deplasman = 2.31 cm

Şekil 5 : Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (1) no.lu depremle yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elastik durum, sağ dan sola doğru deplasman)

MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ



$$\sum Q = 2135.93 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 4945.59 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 7366.97 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 9227.25 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 10363.70 \text{ kg}$$

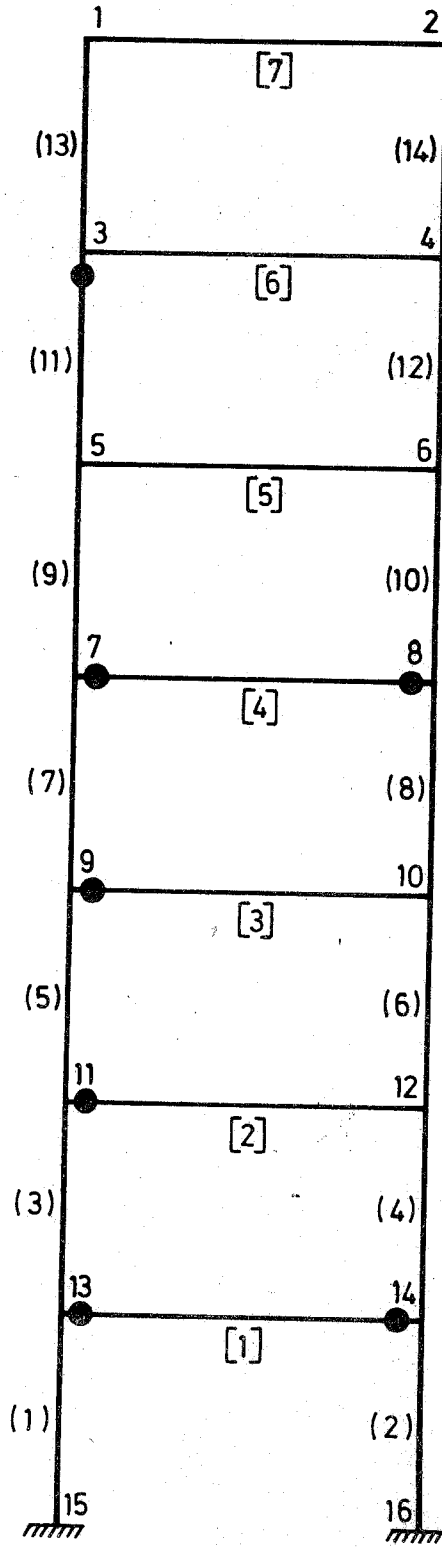
$$\sum Q = 10859.18 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 10931.84 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
( Sağdan sola doğru deplâsman )  
Büyütme faktörü = 1.00

**Maksimum deplâsman = 2.31 cm**

ŞEKİL 5 : Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (1) no.lu depremle yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar ( Elâstik durum, sağdan sola doğru deplâsman )



MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ

$$\sum Q = 2449.61 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 5860.61 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 8695.63 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 10704.03 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 11995.52 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 12602.06 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 12793.66 \text{ kg}$$

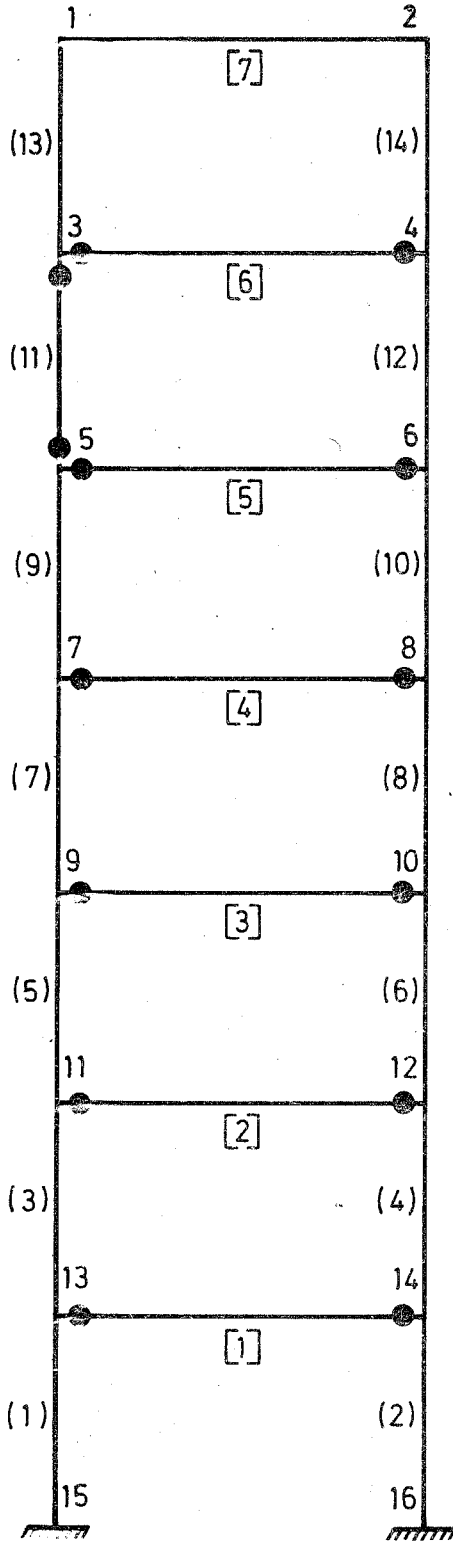
Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
(Sağdan sola doğru deplâsman)  
Büyütme faktörü = 1.25

**Maksimum deplâsman = 2.79 cm**

Elâstik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $10931.84 \times 1.25 = 13664.80 \text{ kg}$   
 $13664.80 \times \%93.62 = 12793.66 \text{ kg}$

ŞEKİL 7 : Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (1) no.lu depremin 1.25 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâsto - plastik durum, plâstik mafsal tablosu, sağdan sola doğru deplâsman)





MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ

$$\sum Q = 3101.09 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 6864.61 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 9723.39 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 11683.28 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 13161.85 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 13950.32 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 14919.47 \text{ kg}$$

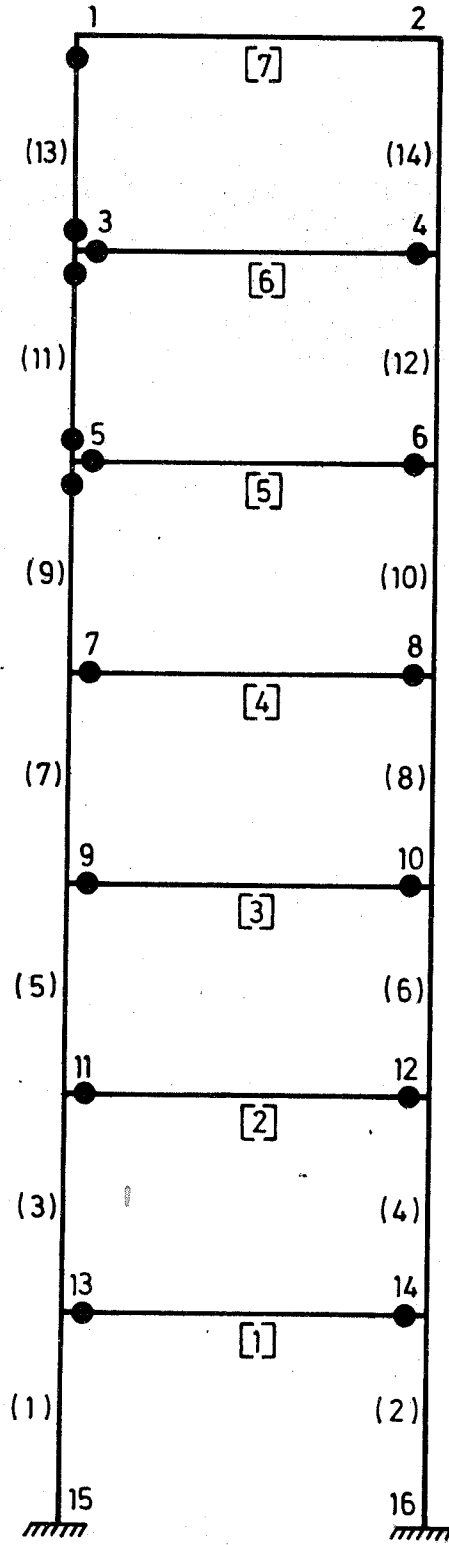
Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
(Sağdan sola doğru deplâsman)  
Büyütme faktörü = 2.00

**Maksimum deplâsman = 3.44 cm**

Elâstik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $10931.84 \times 2.00 = 21863.68 \text{ kg}$   
 $21863.68 \times \% 68.24 = 14919.47 \text{ kg}$

ŞEKİL 8 : Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (1) no.lu depremin 2.00 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâsto - plâstik durum , plâstik mafsals tablosu , sağdan sola doğru deplâsman )

MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ



$$\sum Q = 3631,53 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 7704,44 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 10735,68 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 13328,65 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 15107,77 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 15847,07 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 17243,34 \text{ kg}$$

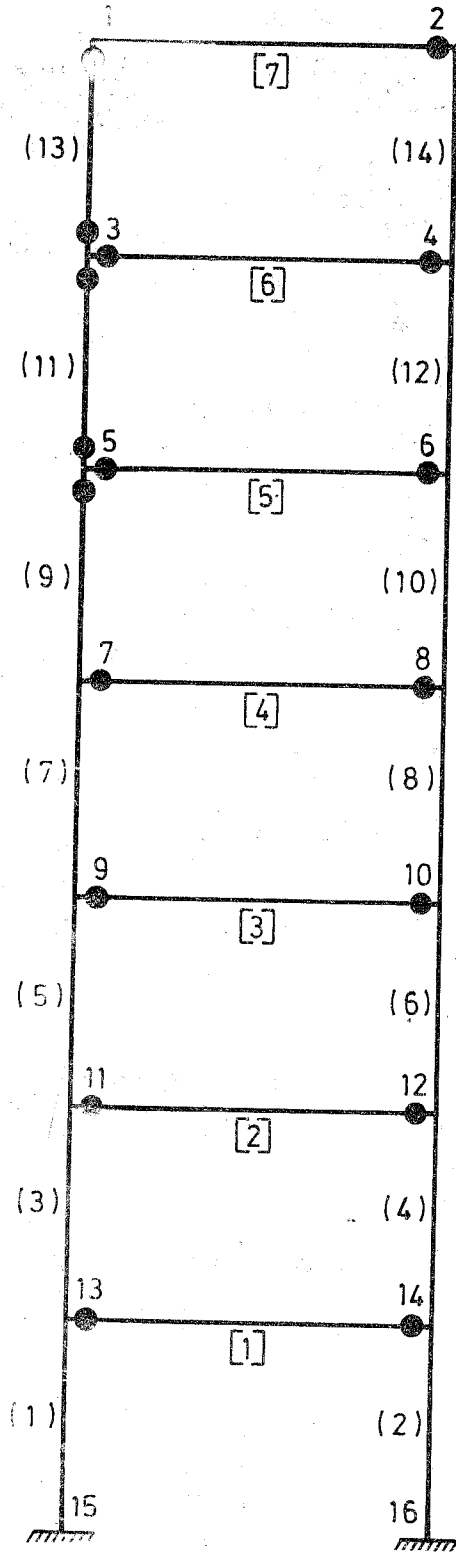
TÜRKİYE  
BİLİMSEL VE TEKNİK  
ARAŞTIRMA KURUMU  
KÜTÜPHANESİ

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
( Sağdan sola doğru deplâsman )  
Büyütme faktörü = 3.00

**Maksimum deplâsman = 5,57 cm**

Elâstik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $10931,84 \times 3,00 = 32795,52 \text{ kg}$   
 $32795,52 \times \% 52,58 = 17243,34 \text{ kg}$

ŞEKİL 9 : Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (1) no.lu depremin 3.00 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâsto - plâstik durum , plâstik mafsals tablosu , sağdan sola doğru deplâsman)



**MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ**

$$\sum Q = 3887.92 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 8203.17 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 11151.03 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 13831.69 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 16267.16 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 16636.24 \text{ kg}$$

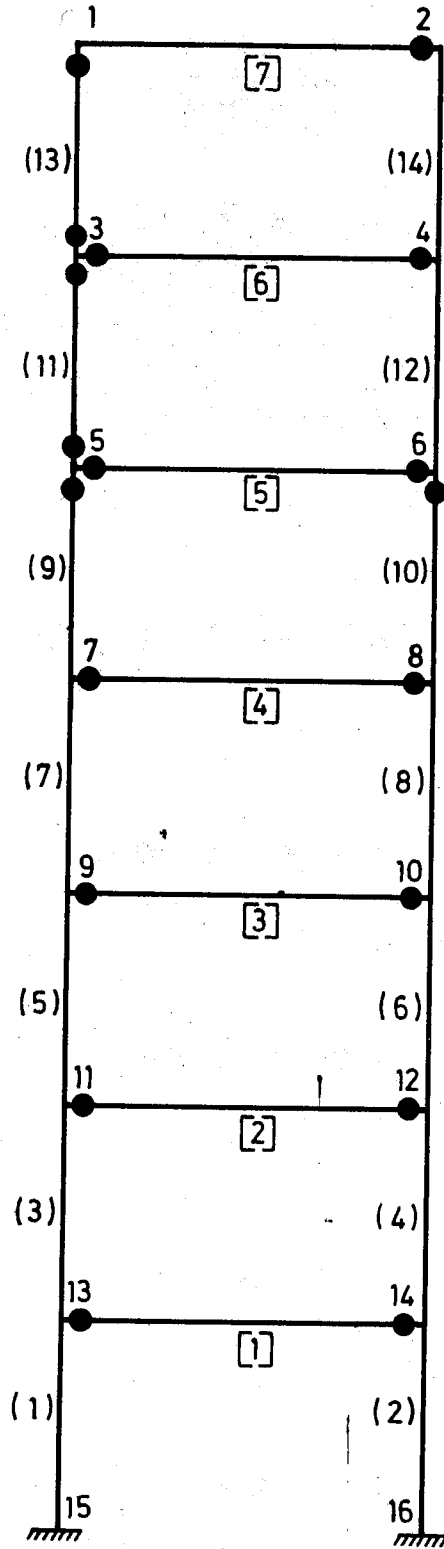
$$\sum Q = 18369.42 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
(Sağdan sola doğru deplasman)  
Büyütme faktörü = 4.00

**Maksimum deplasman = 6.37 cm**

Elâstik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $10931.84 \times 4.00 = 43727.36 \text{ kg}$   
 $43727.36 \times \% 42.01 = 18369.42 \text{ kg}$

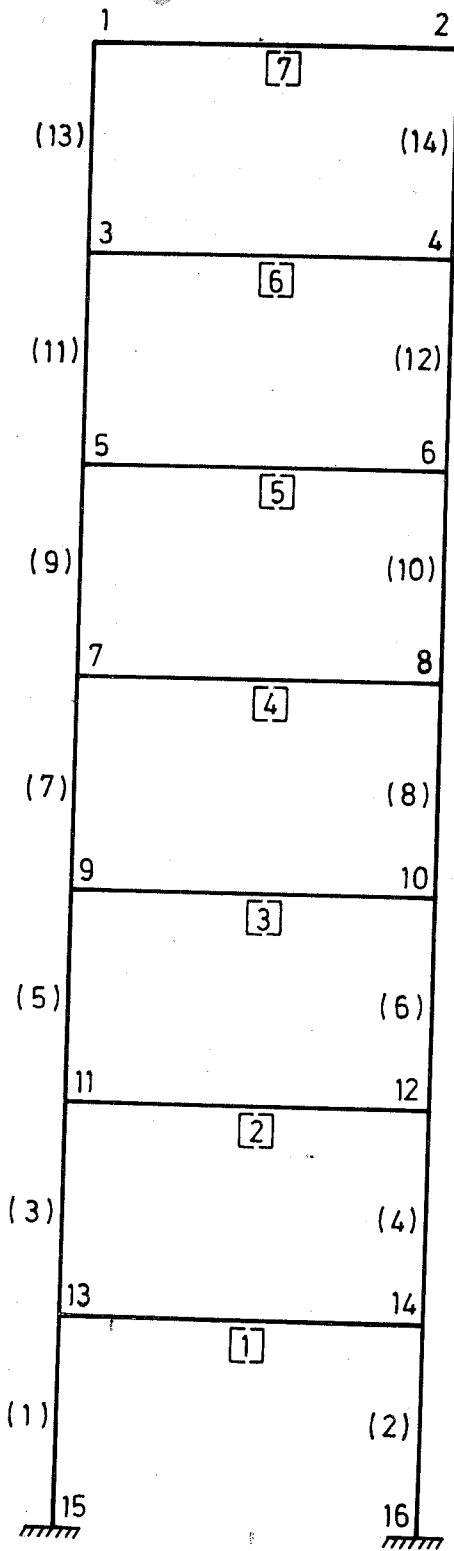
ŞEKİL 10 : Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (1) no.lu depremin 4.00 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâsto-plâstik durum plâstik mafsal tablosu, sağdan sola doğru deplasman)



Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
 (Sağdan sola doğru deplasman)  
 Büyütme faktörü = 5.00

(Oynak sistem)

ŞEKİL 11 : Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (1) no.lu depremin 5.00 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Élâsto - plâstik durum, plâstik mafsal tablosu, sağdan sola doğru deplasman)



MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ

$$\sum Q = 2222.80 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 5234.63 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 7452.53 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 9064.85 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 10085.02 \text{ kg}$$

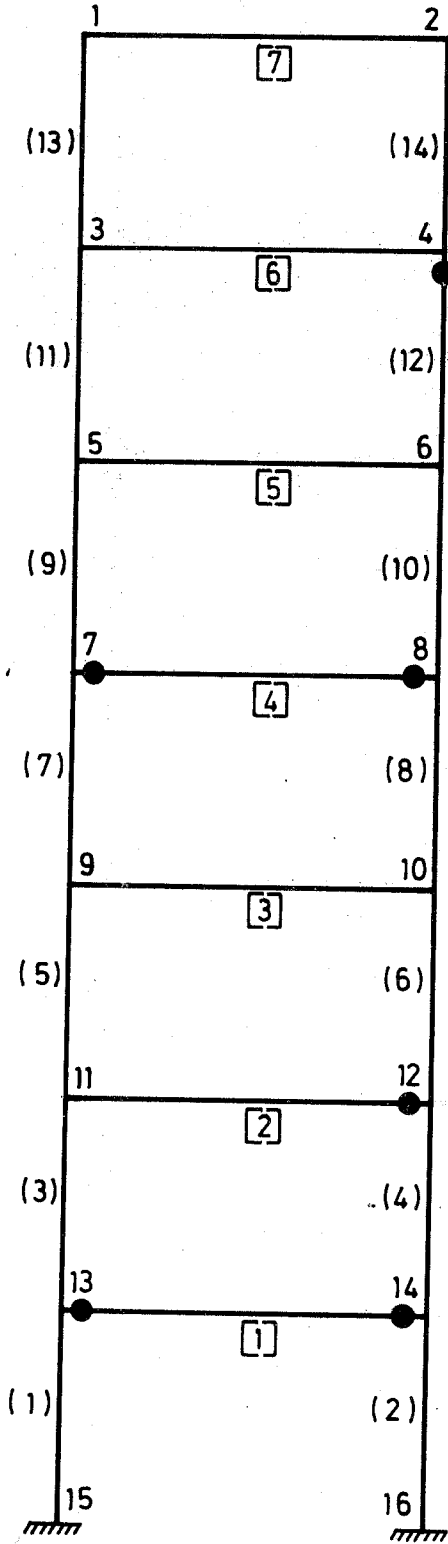
$$\sum Q = 10774.48 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 11211.82 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
(Soldan - sağa doğru deplâsman)  
Büyütme faktörü = 1.00

**Maksimum deplâsman = 2.35 cm**

SEKİL 12 : Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (1) no.lu depremle yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâstik durum , sol - dan - sağa doğru deplâsman )



**MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ**

$$\sum Q = 2598.36 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 5961.44 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 8459.16 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 10331.95 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 11684.64 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 12795.25 \text{ kg}$$

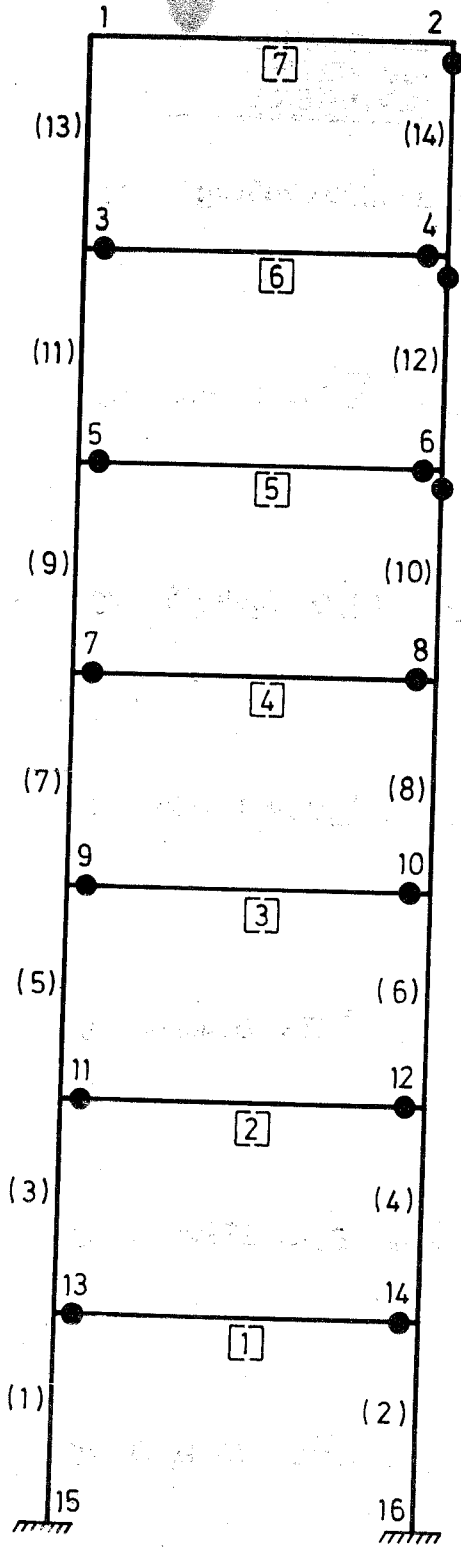
$$\sum Q = 13308.29 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
(Soldan - sağa doğru deplasman)  
Büyütme faktörü = 1,25

Elâstik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $11211,82 \times 1,25 = 14014,78 \text{ kg}$   
 $14014,78 \times \% 94,96 = 13308,29 \text{ kg}$

**Maksimum deplasman = 2.67 cm**

ŞEKİL 13: Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (1) no.lu depremin 1,25 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâsto-plâstik durum, plâstik mafsallık tablosu, soldan - sağa doğru deplasman).



MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ

$$\sum Q = 3281.44 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 6799.27 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 9634.59 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 11584.15 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 13036.85 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 14056.19 \text{ kg}$$

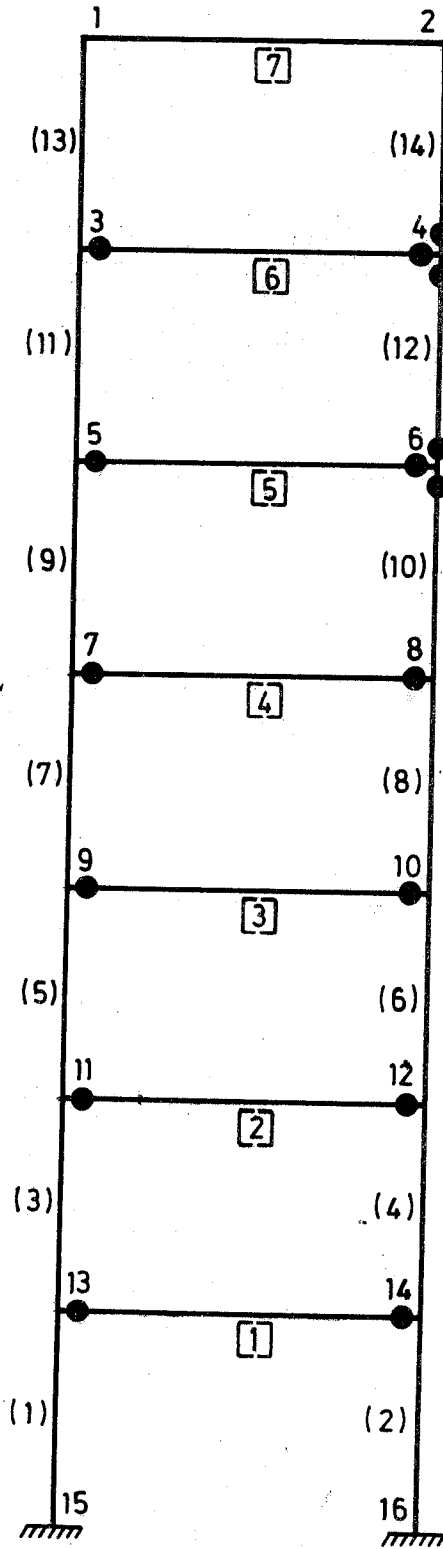
$$\sum Q = 15097.30 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
(Soldan - sağa doğru deplasman)  
Büyütme faktörü = 2.00

**Maksimum deplasman = 3.14 cm**

Elâstik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $11211.82 \times 2.00 = 22423.64 \text{ kg}$   
 $22423.64 \times \% 67.33 = 15097.30 \text{ kg}$

ŞEKİL 14: Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (1) no.lu depremin 200 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâsto - plâstik durum, plâstik mafsal tablosu, soldan - sağa doğru deplasman)



**MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ**

$$\sum Q = 3368.56 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 6922.17 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 9878.91 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 11739.76 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 13351.96 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 15094.39 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 16919.72 \text{ kg}$$

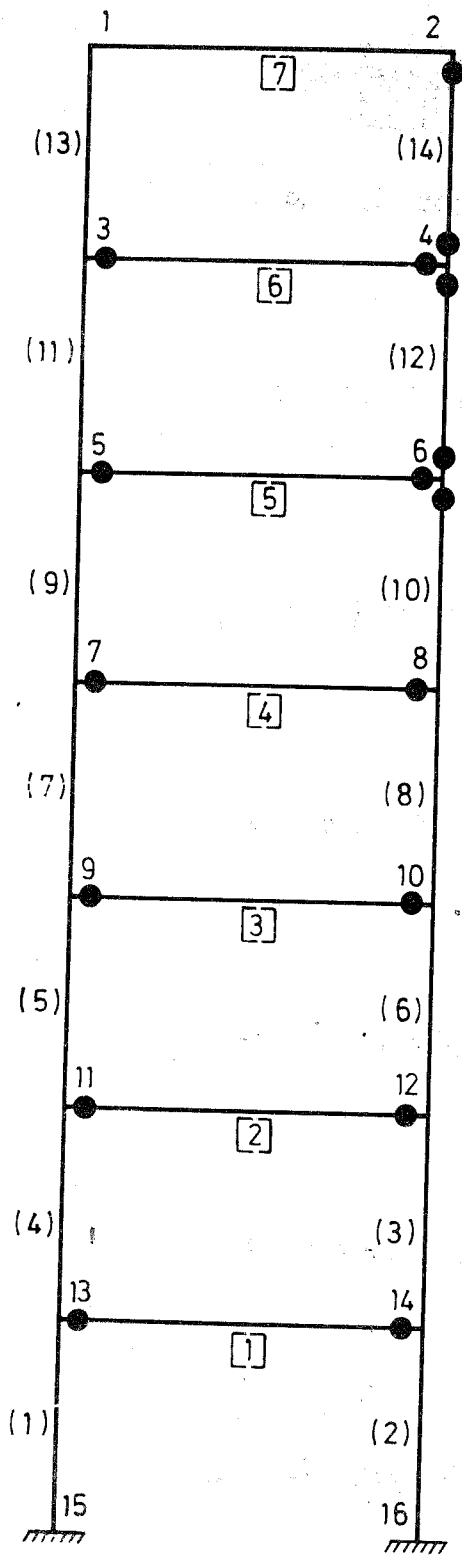
Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
( Soldan - sağa doğru deplâsman )  
Büyütme faktörü = 3.00

Elastik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $11211.82 \times 3.00 = 33635.46 \text{ kg}$   
 $33635.46 \times \% 50,30 = 16919.72 \text{ kg}$

**Maksimum deplâsman = 3.04 cm**

ŞEKİL 15: Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (1) no.lu depremin 3.00 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elasto-plâstik durum, plâstik mafsal tablosu, soldan-sağa doğru deplâsman )





MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ

$$\sum Q = 3443.56 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 7106.28 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 10169.69 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 12089.60 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 13906.76 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 16703.70 \text{ kg}$$

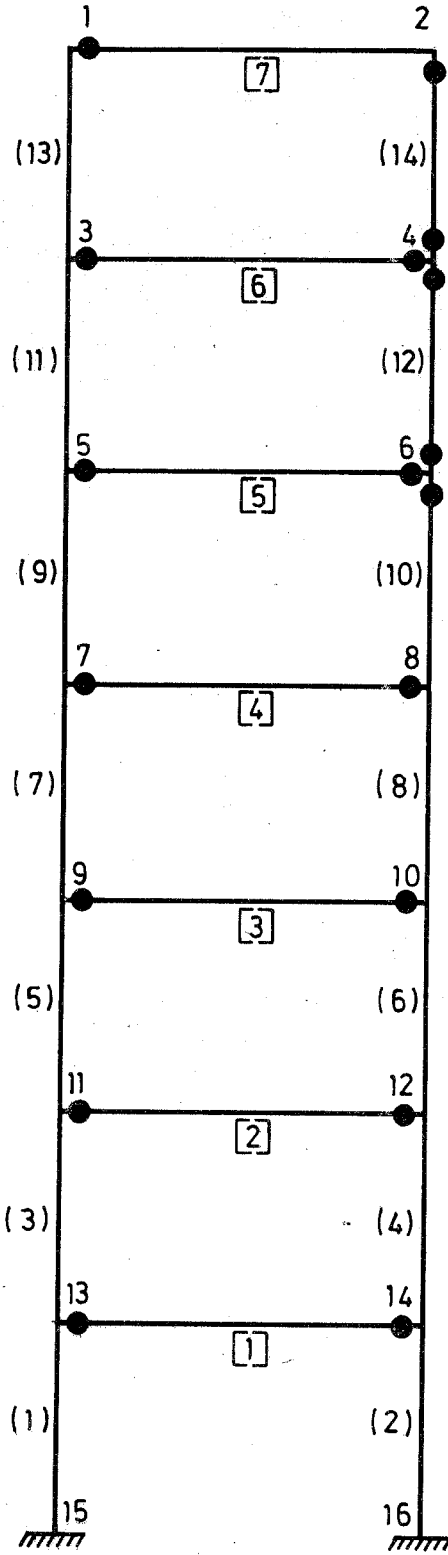
$$\sum Q = 19495.38 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
( Soldan sağa doğru deplâsman )  
Büyütme faktörü = 4.00

**Maksimum deplâsman = 2.65 cm**

Elâstik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $11211.82 \times 4.00 = 44847.28 \text{ kg}$   
 $44847.28 \times \% 43.47 = 19495.38 \text{ kg}$

ŞEKİL 16: Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (1) no.lu depremin 4.00 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar ( Elâsto - plâstik durum, plâstik mafsal tablosu, soldan - sağa doğru deplâsman )



MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUUVETLERİ

$$\sum Q = 3689.17 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 7621.40 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 10825.66 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 13077.54 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 14801.38 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 17647.28 \text{ kg}$$

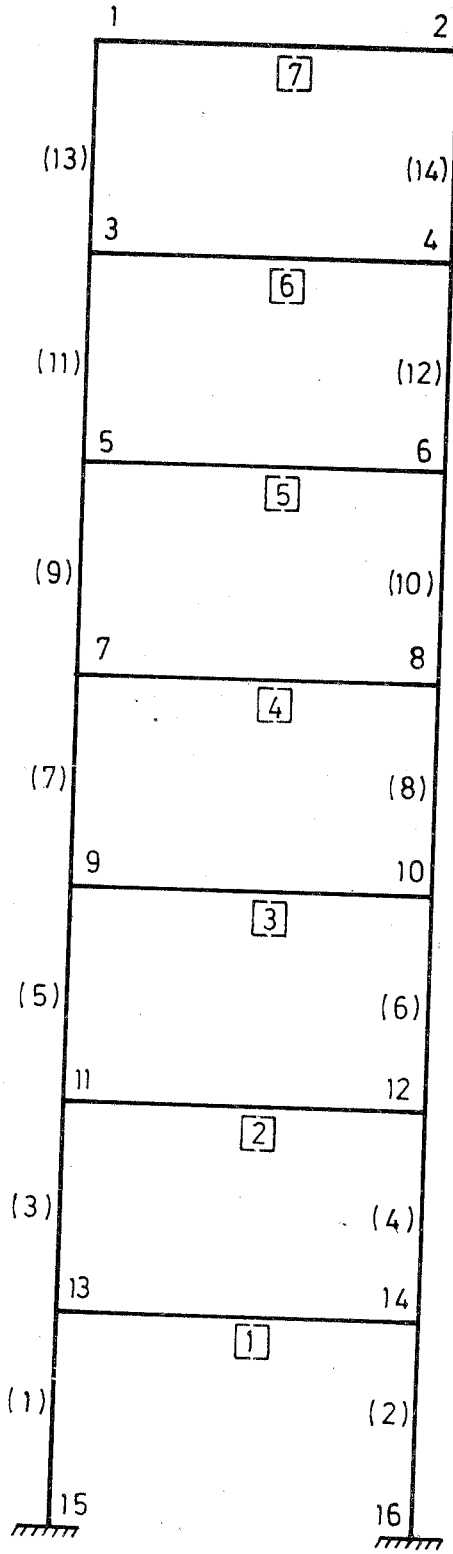
$$\sum Q = 21122.34 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
(Soldan sağa doğru deplâsman)  
Büyütme faktörü = 5.00

Elâstik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $11211.82 \times 5.00 = 56059.10 \text{ kg}$   
 $56059.10 \times \% 37,68 = 21122.34 \text{ kg}$

**Maksimum deplâsman = 4.40 cm**

ŞEKİL 17 : Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (1) no.lu depremin 5.00 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâsto-plâstik durum, plâstik mafsâl tablosu, soldan-sağa doğru deplâsman)



MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ

$$\sum Q = 1989.12 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 4176.31 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 6018.63 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 7277.79 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 8038.30 \text{ kg}$$

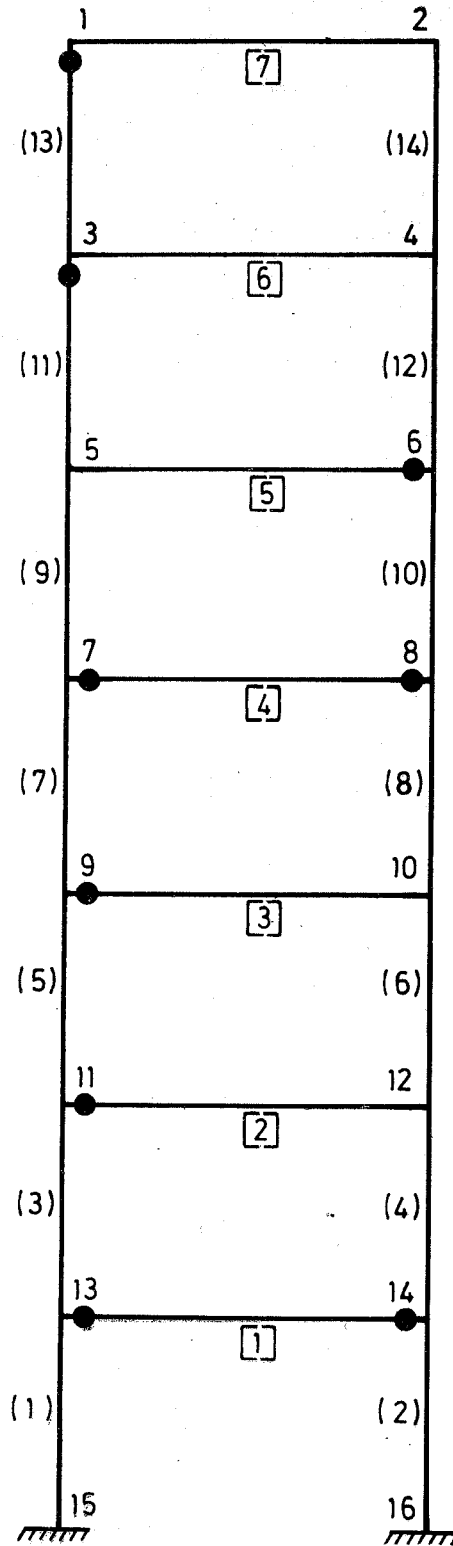
$$\sum Q = 8392.71 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 8471.99 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
(Sağdan - sola doğru deplâsman)  
Büyütme faktörü = 1.00

**Maksimum deplâsman = 1.88 cm**

ŞEKİL 18: Şekil (1) deki çerçeve üzerinde (2) no.lu depremle yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâstik durum , sağdan - sola doğru deplâsman)



MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ

$$\sum Q = 3074.35 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 6198.03 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 8932.91 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 10877.26 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 12165.96 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 12669.16 \text{ kg}$$

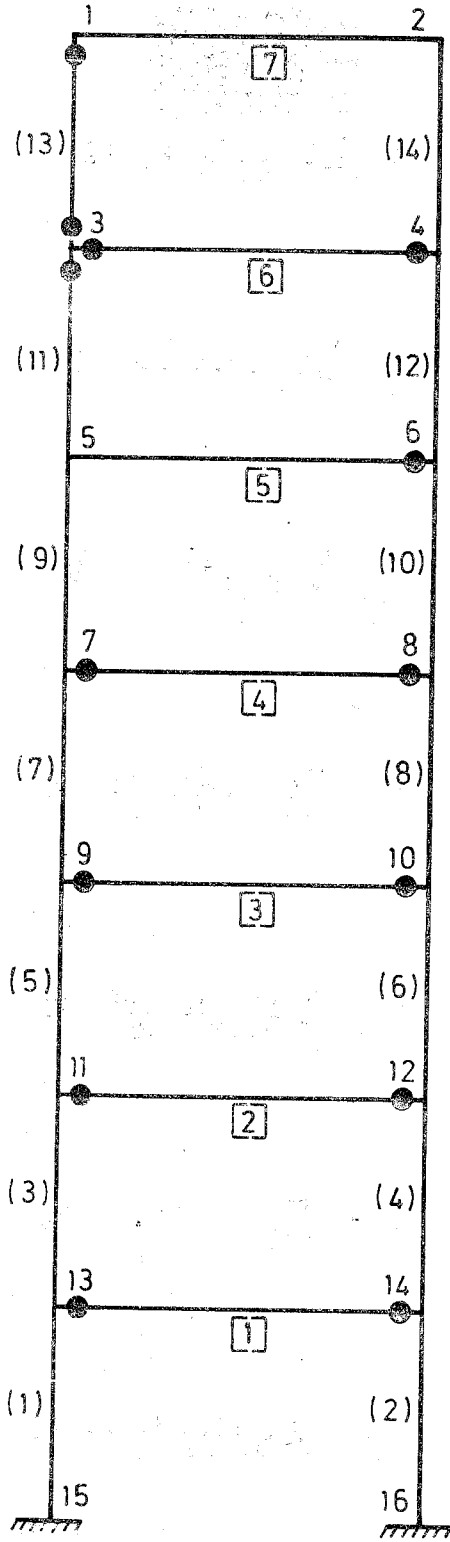
$$\sum Q = 12781.79 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
(Sağdan - sola doğru deplâsman)  
Büyütme faktörü = 1.60

Elâstik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $8471.99 \times 1.60 = 13555.18$  |  
 $13555.18 \times \% 94,29 = 12781.79$  |

**Maksimum deplâsman = 2.93 cm**

ŞEKİL 19 : Şekil (1) deki çerçeve üzerinde (2) no.lu depremin 1.60 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâsto-plâstik durum, plâstik mafsıl tablosu, sağdan-sola doğru deplâsma)



**MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ**

$$\Sigma Q = 3657.96 \text{ kg}$$

$$\Sigma Q = 6724.65 \text{ kg}$$

$$\Sigma Q = 9419.84 \text{ kg}$$

$$\Sigma Q = 11302.37 \text{ kg}$$

$$\Sigma Q = 12592.95 \text{ kg}$$

$$\Sigma Q = 13157.73 \text{ kg}$$

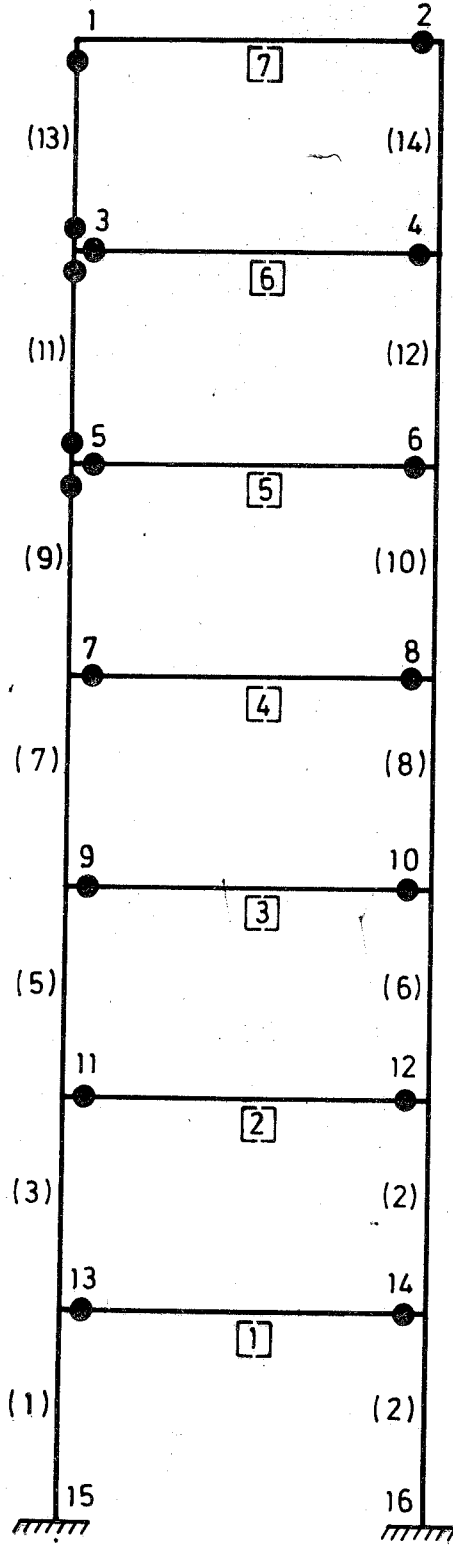
$$\Sigma Q = 13622.50 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
(Sağdan-sola doğru deplâsman)  
Büyütme faktörü = 2.00

Elâstik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $8471.99 \times \%2.00 = 16943.98 \text{ kg}$   
 $16943.98 \times \%80.40 = 13622.50 \text{ kg}$

**Maksimum deplâsman = 3.03 cm**

ŞEKİL 20 : Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (2) no.lu depremin 2.00 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâsto-plâstik durum, plâstik mafsâl tablosu, sağdan-sola doğru deplâsman)



**MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ**

$$\sum Q = 4392.69 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 7464.46 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 11409.63 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 13788.03 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 14406.07 \text{ kg}$$

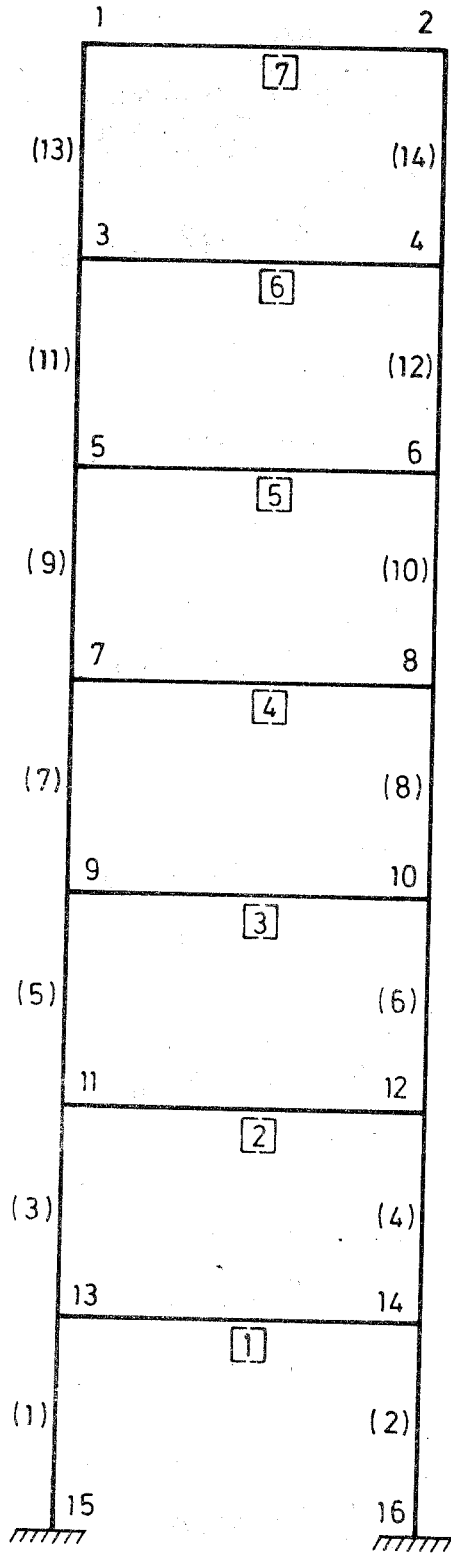
$$\sum Q = 16808.67 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 19505.00 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
(Sağdan-sola doğru deplâsman)  
Büyütme faktörü = 5.00

Elâstik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $8471.99 \times \% 5,00 = 42359.95 \text{ kg}$   
 $42359.95 \times \% 46,05 = 19505.00 \text{ kg}$

ŞEKİL 21: Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (2) no.lu depremin 5.00 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâsto-plâstik durum, plâstik mafsâl tablosu, sağdan-sola doğru deplâsman)



MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUWETLERİ

$$\sum Q = 1876.10 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 4275.71 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 6097.76 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 7449.27 \text{ kg}$$

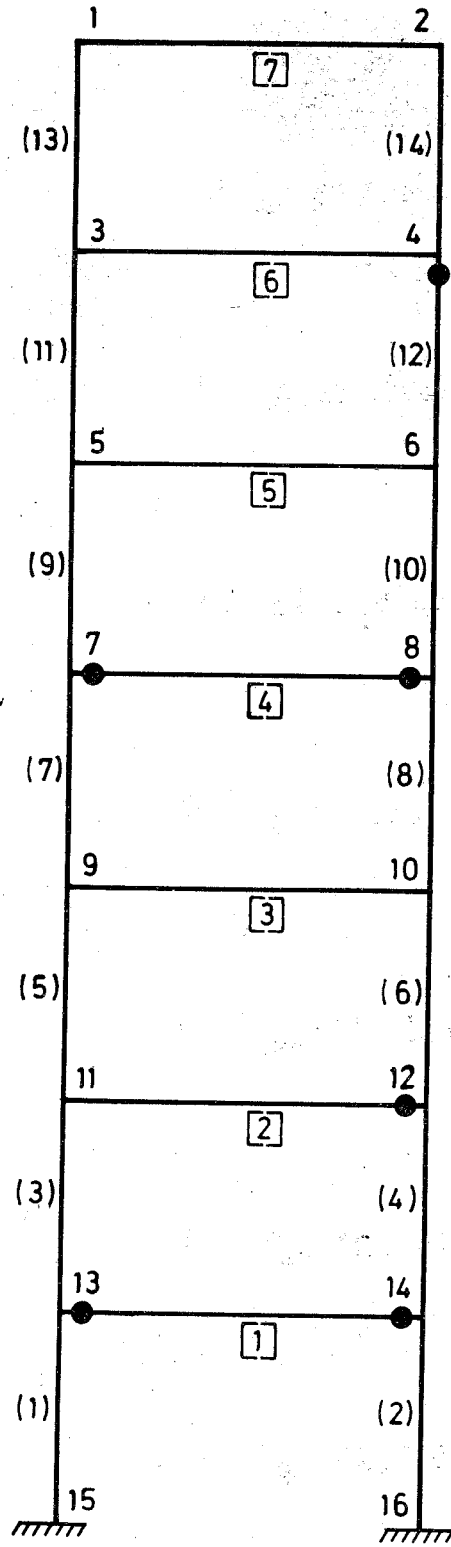
$$\sum Q = 8363.90 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 8831.70 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 8914.26 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
( Soldan - sağa doğru deplâsman )  
Büyütme faktörü = 1.00

ŞEKİL 22 : Şekil (1) deki çerçeve üzerinde (2) no.lu depremle yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâstik durum, soldan sağa doğru deplâsman )



**MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUUVETLERİ**

$$\sum Q = 2840.30 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 6121.82 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 8846.72 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 10615.66 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 11918.90 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 12903.32 \text{ kg}$$

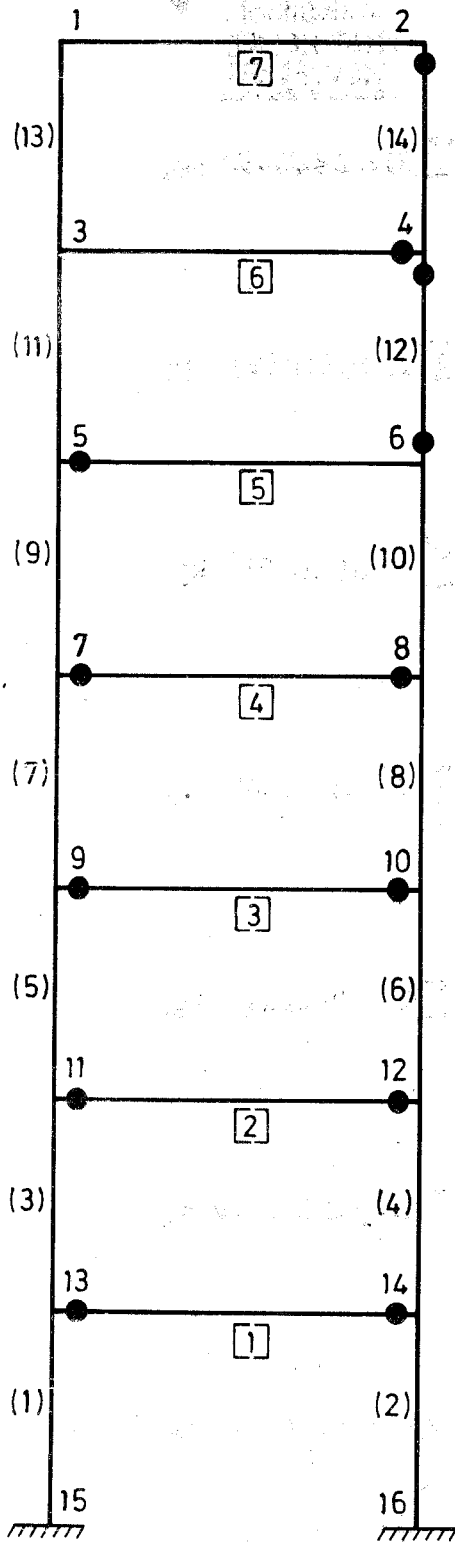
$$\sum Q = 13216.70 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
( Soldan-sağa doğru deplâsman )  
Büyütme faktörü = 1.60

Elâstik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $8914.26 \times \%1,60 = 14262.82 \text{ kg}$   
 $14262.82 \times \%92,67 = 13216.70 \text{ kg}$

ŞEKİL 23 : Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (2) no.lu depremin 1.60 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar ( Elâsto-plâstik durum , plâstik mafsâl tablosu , soldan-sağa deplâsman )





MAKSİMUM  
KAT KESME  
KUVVETLERİ

$$\sum Q = 3233.08 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 6901.48 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 9305.19 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 11448.70 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 13413.13 \text{ kg}$$

$$\sum Q = 14646.14 \text{ kg}$$

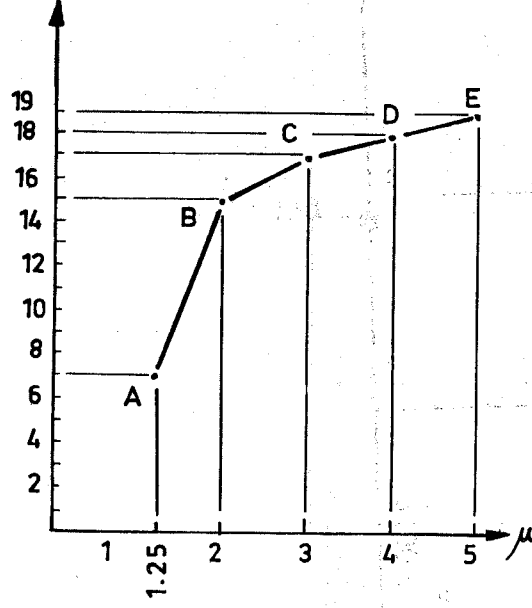
$$\sum Q = 14952.07 \text{ kg}$$

Deprem yükleri ve statik yükler beraber  
( Soldan - sağa doğru deplâsman )  
Büyütme faktörü = 2.00

Elâstik durum için toplam taban kesme  
kuvveti =  $8914.26 \times 2.00 = 17828.52 \text{ kg}$   
 $17828.52 \times \% 83.87 = 14952.07 \text{ kg}$

ŞEKİL 24 C. Şekil (1)'deki çerçeve üzerinde (2) no.lu depremin 200 katı ile yapılan dinamik analizden alınan sonuçlar (Elâsto - plâstik durum, plâstik mafsallık tablosu, soldan - sağa deplâsman )

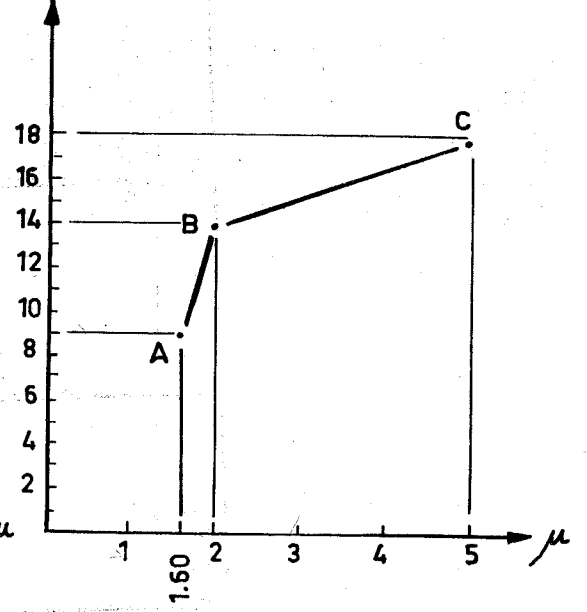
Plastik mafsalların sayısı



DEPREM I

( a )

Plastik mafsalların sayısı



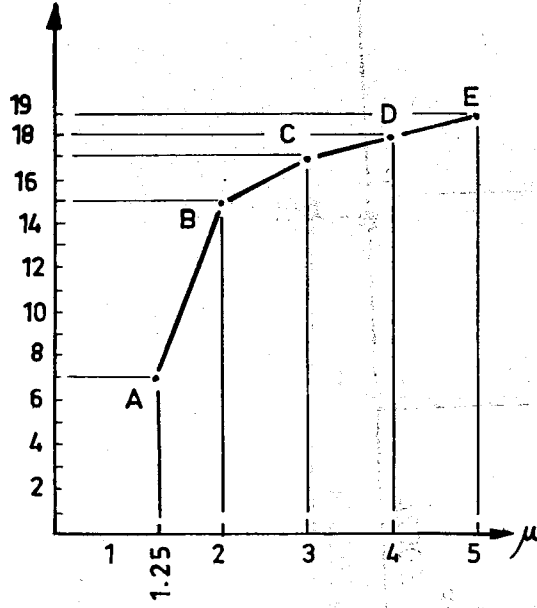
DEPREM II

( b )

$\mu$  = Büyütme faktörü

ŞEKİL 25 : Plastik mafsalların sayısı ve büyütme faktörü arasındaki ilişki.

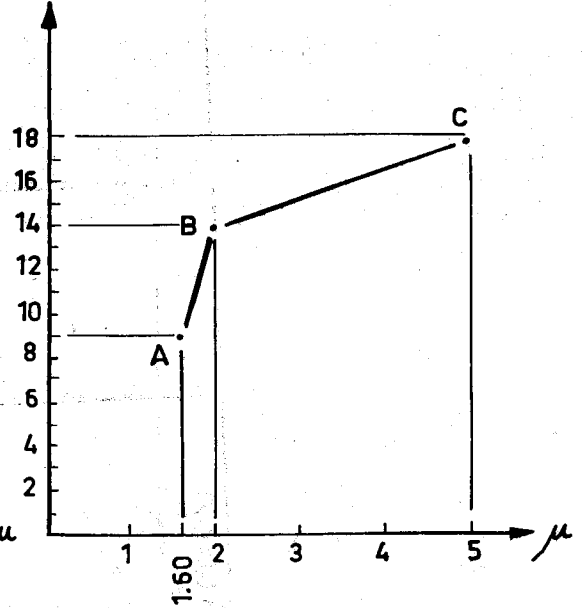
Plastik mafsalların sayısı



DEPREM I

( a )

Plastik mafsalların sayısı

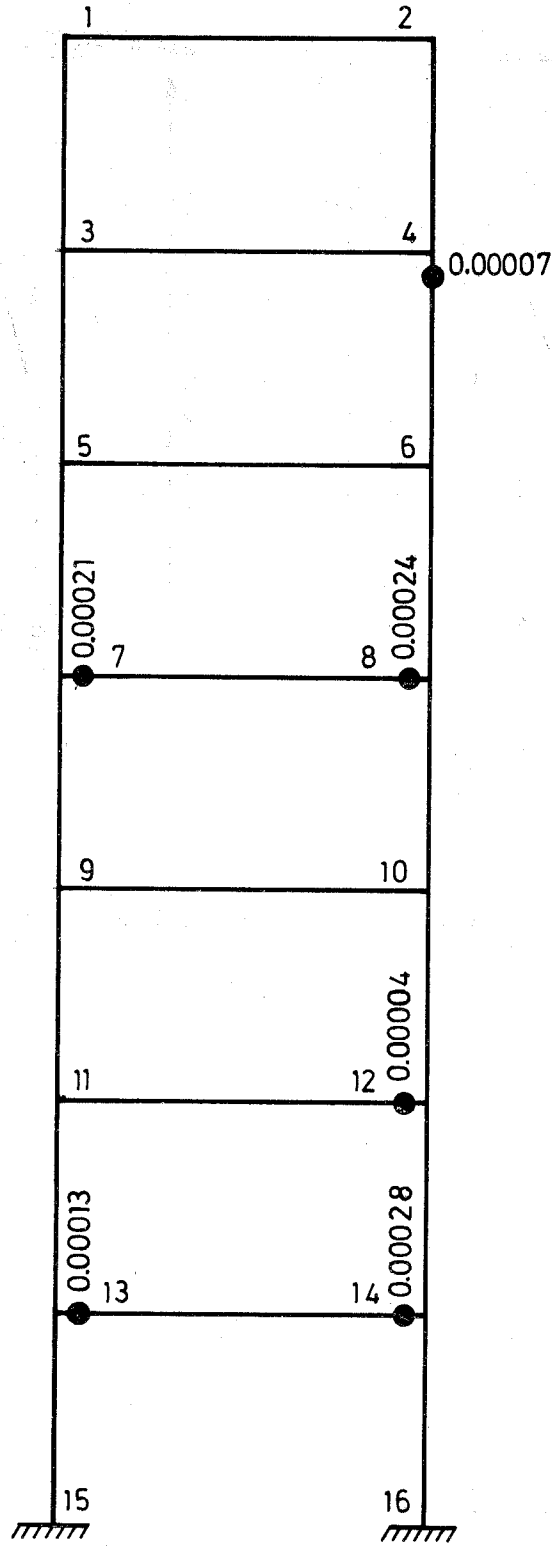


DEPREM II

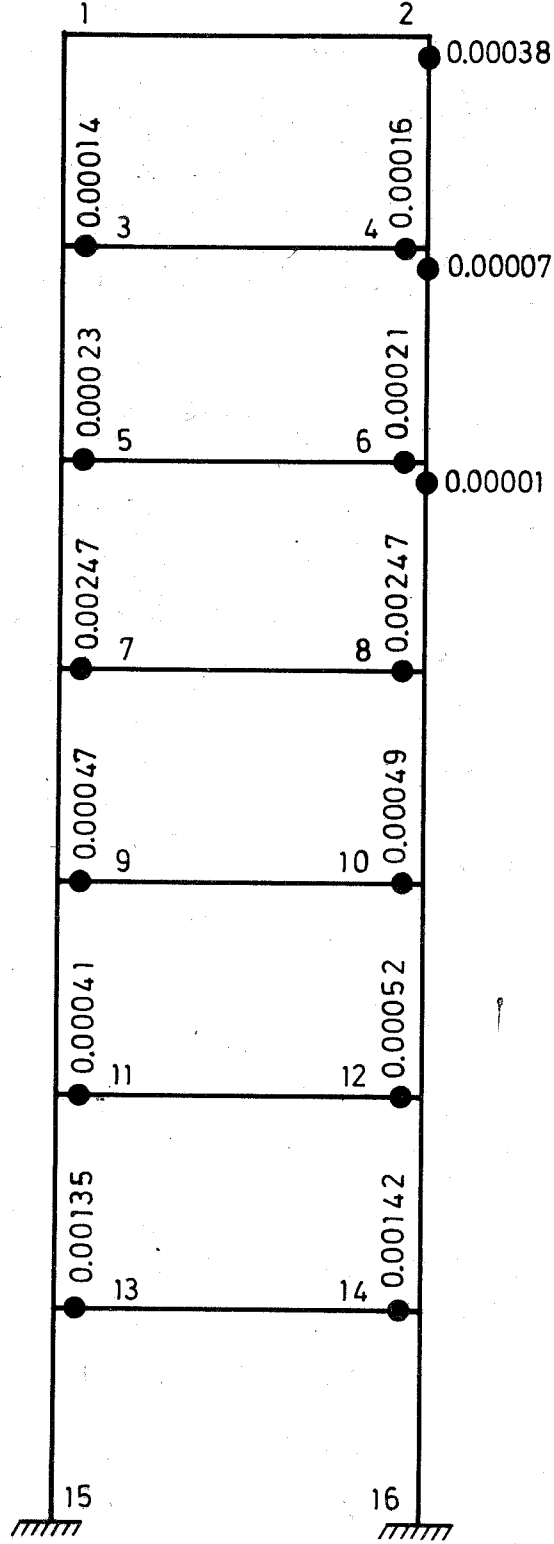
( b )

$\mu$  = Büyütme faktörü

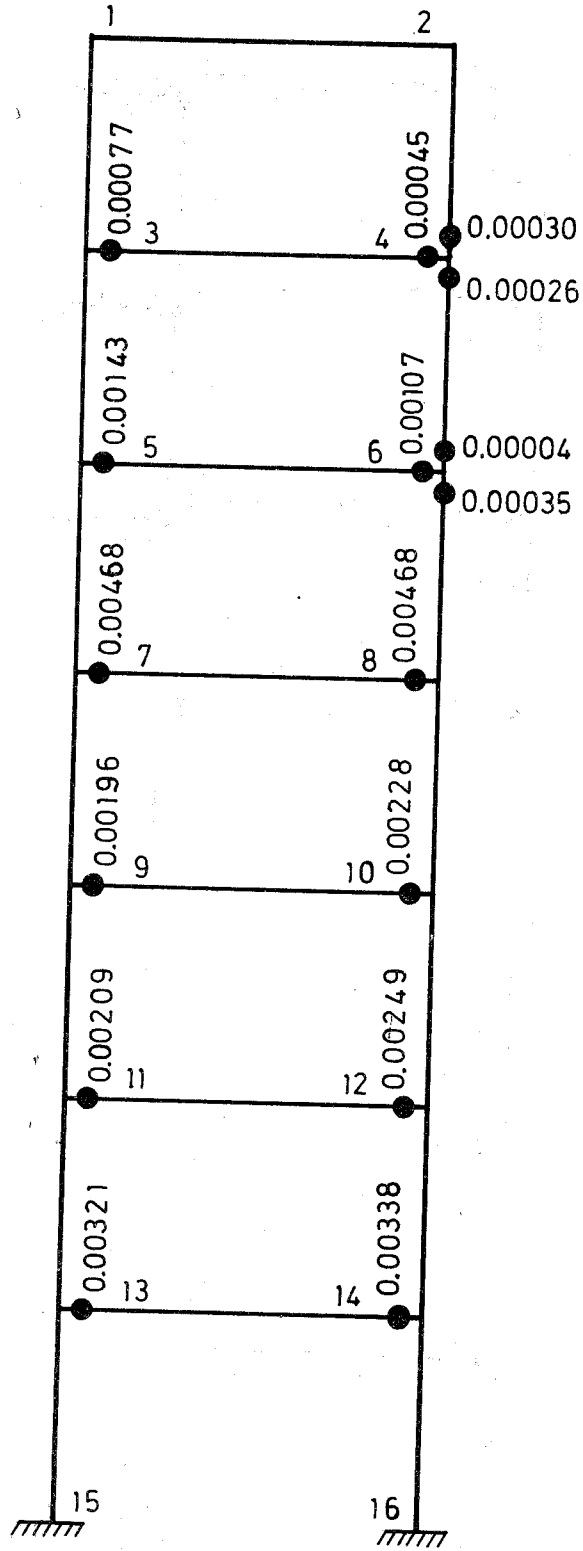
ŞEKİL 25 : Plastik mafsalların sayısı ve büyütme faktörü arasındaki ilişki.



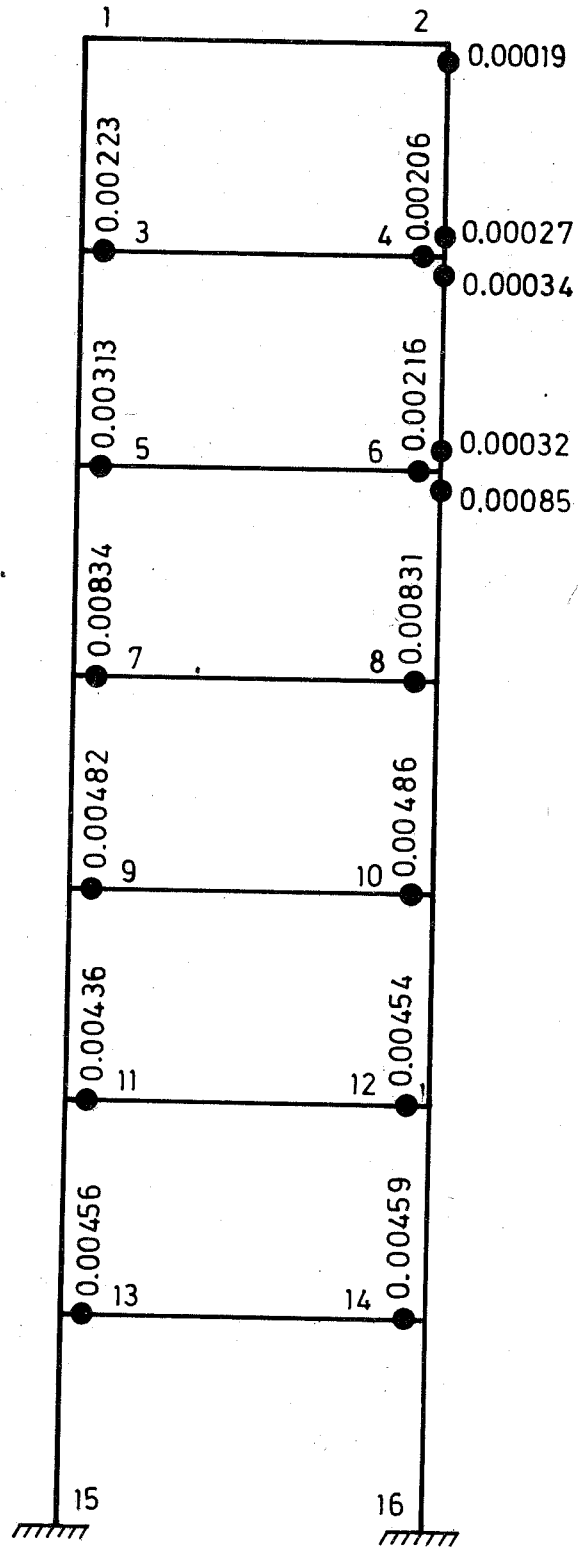
ŞEKİL 26 : Maksimum kümülâtif dönmeler ( (1) no.lu deprem ; büyüme faktörü =1.25 ; soldan - sağa deplâsman )



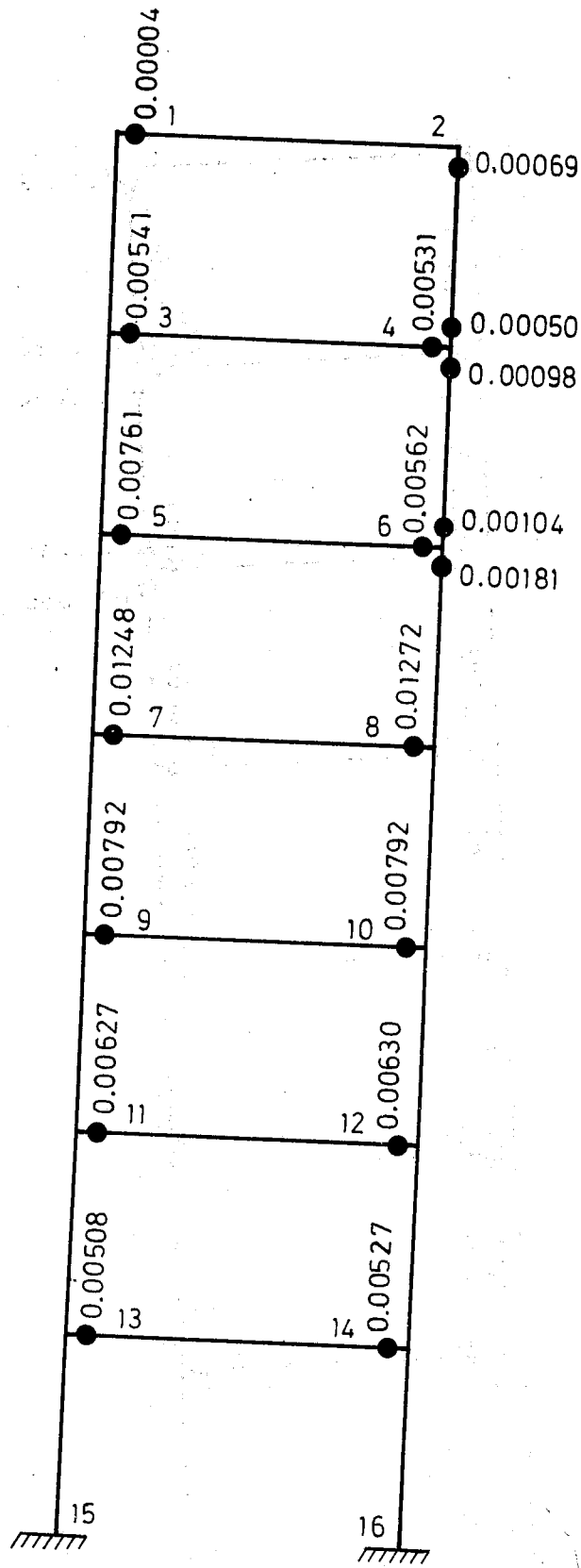
ŞEKİL 27 : Maksimum kümülâtif dönmeler ( (1) no.lu deprem ; büyüme faktörü = 2.00 ; soldan - sağa deplâsman )



SEKİL 28 : Maksimum kümülâtif dönmeler ((1) no.lu deprem ; büyüme faktörü = 3.00 ; soldan - sağa deplâsman )

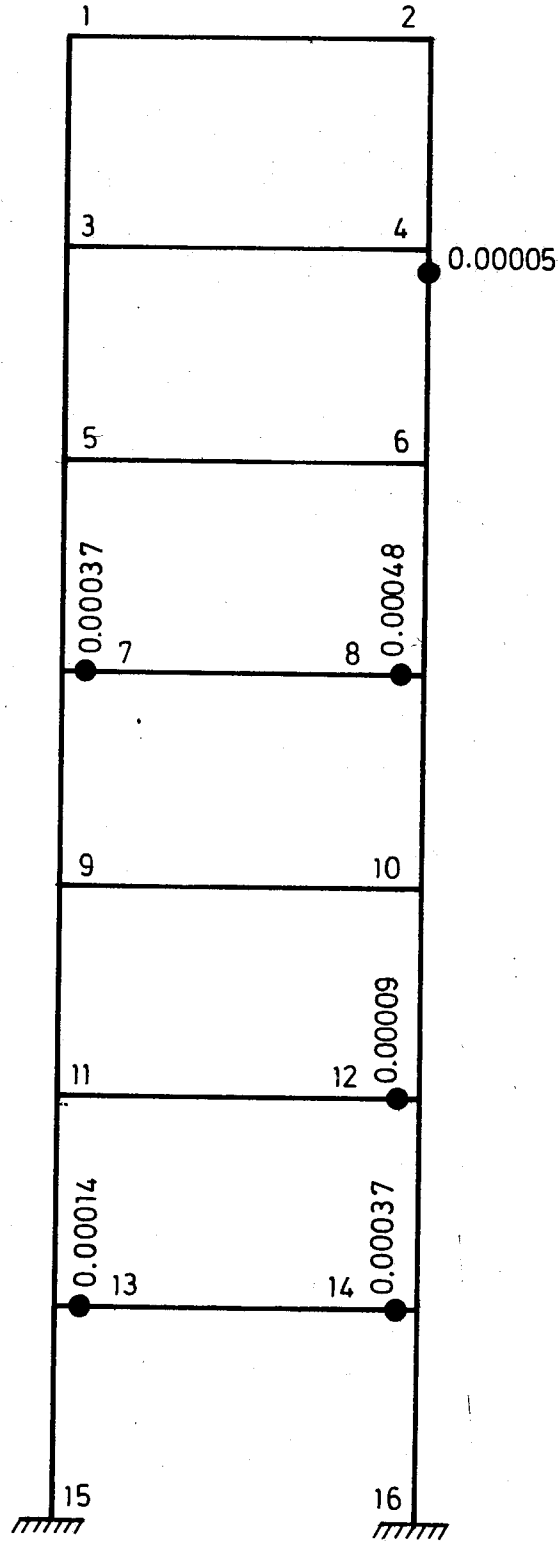


ŞEKİL 29 : Maksimum kümülâtif dönmeler ( (1) no.lu deprem ; büyüme faktörü = 4.00 ; soldan - sağa deplâsman )

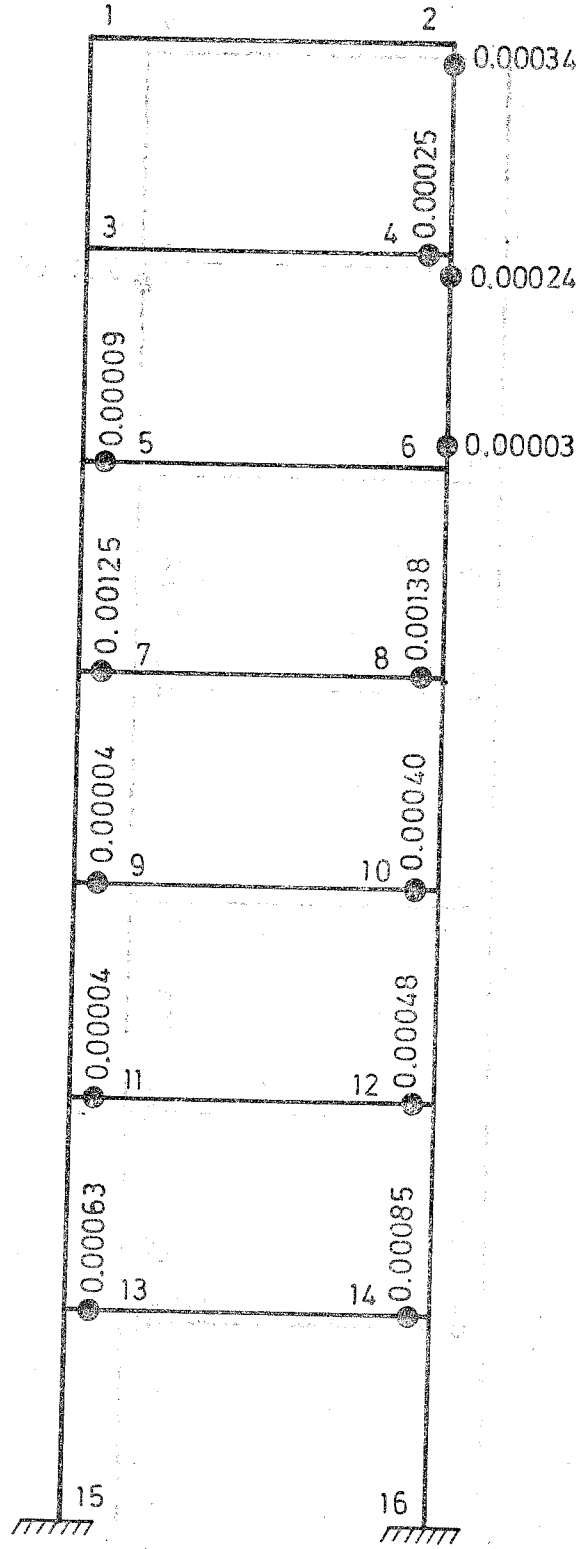


ŞEKİL 30 : Maksimum kümülâtif dönmeler. ((1) no.lu deprem ;  
büyütme faktörü = 5.00 ; soldan-sağa deplâsman )

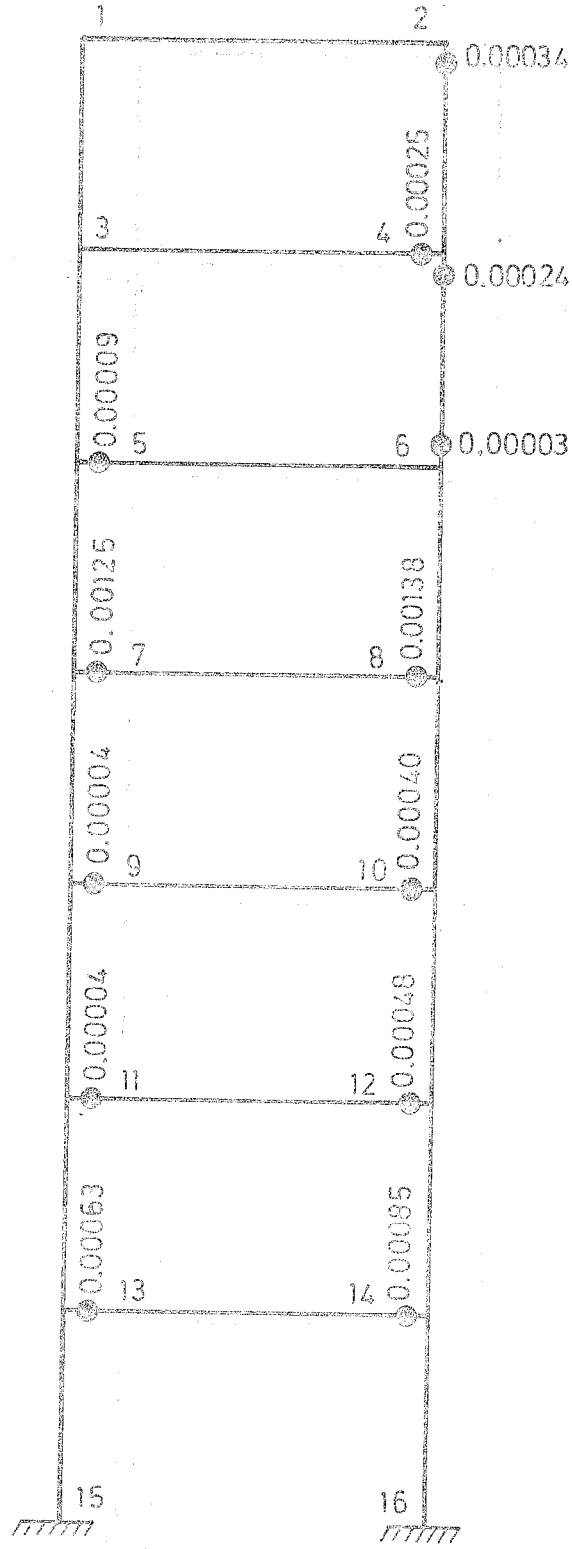




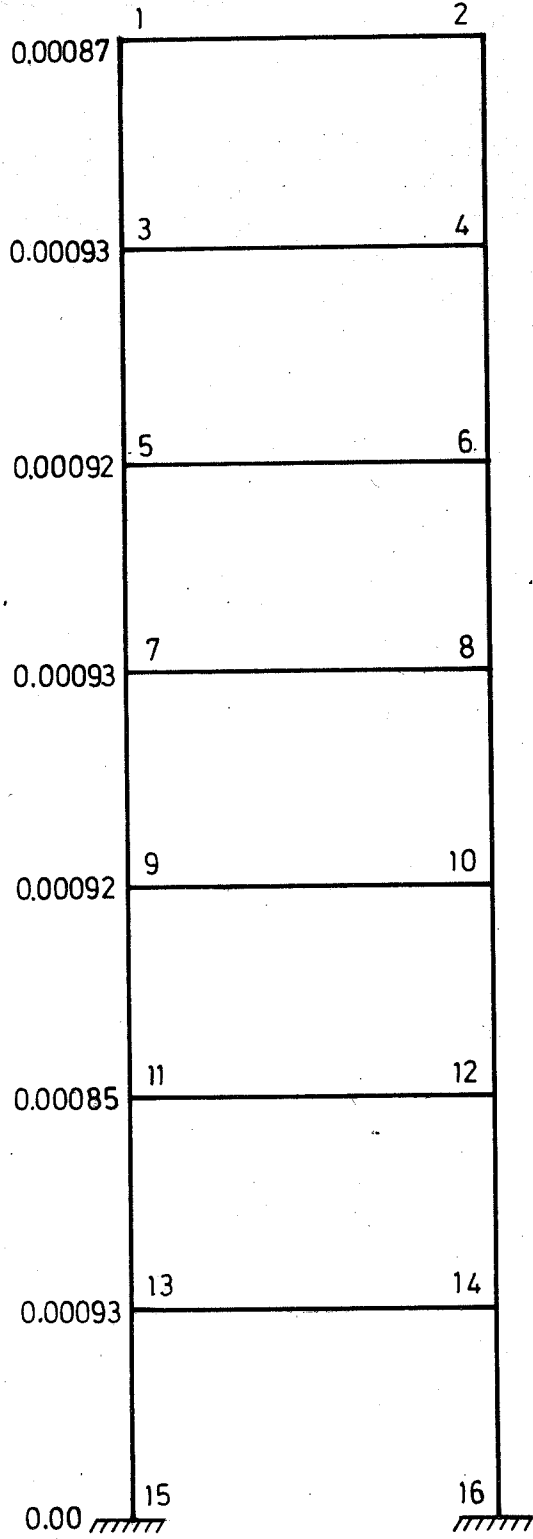
ŞEKİL 31 : Maksimum kümülâtif dönmeler (2) no.lu deprem ;  
büyütme faktörü = 1.60 ; soldan - sağa deplâsman )



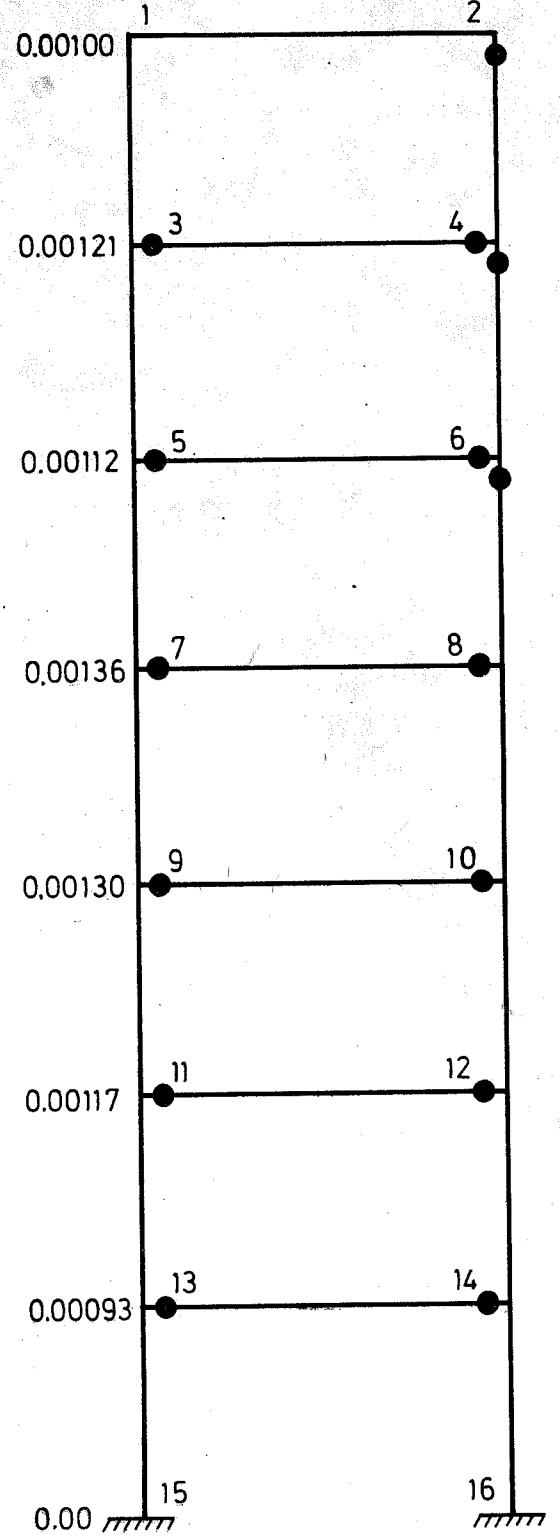
SEKIL 32 : Maksimum kümülâtif dönmeler ((2) no.lu deprem ;  
 ( ) büyütme faktörü = 2.00 ; soldan -sağa deplasman )



SEKIL 32 : Maksimum kümülâtif dönmeler ((2) no.lu deprem ;  
 ( büyüme faktörü = 2.00 ; soldan -sağa deplasman )

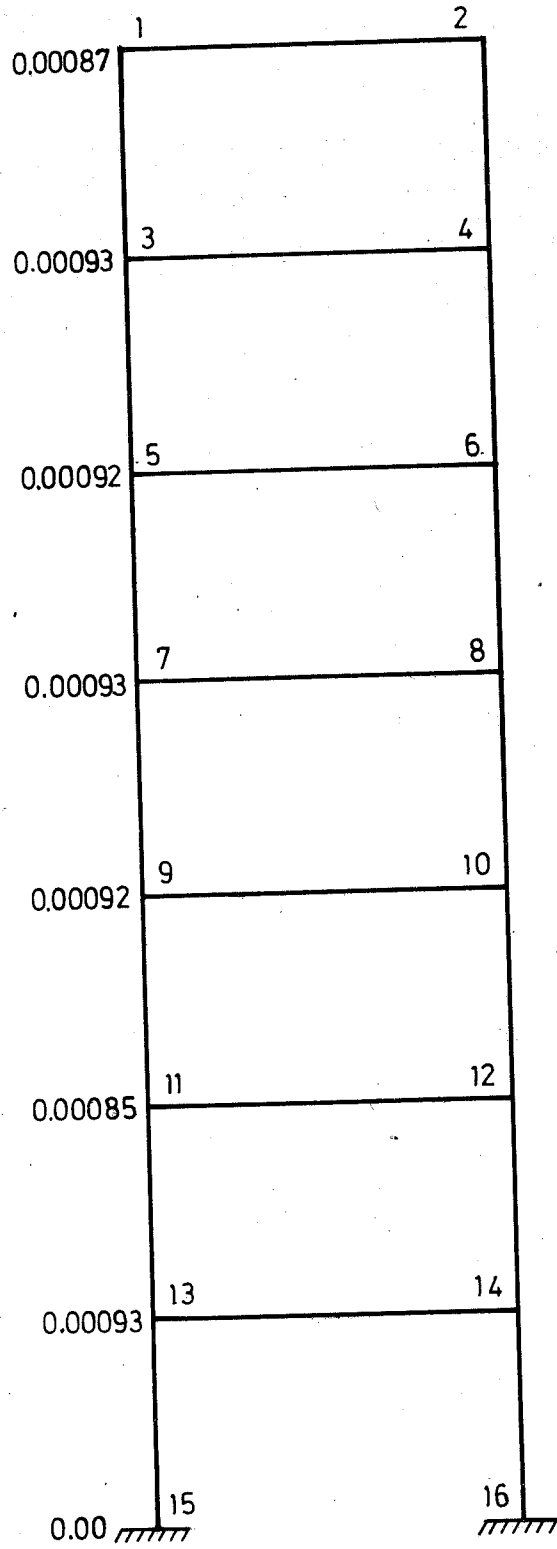


ŞEKİL 33 : 1 no.lu deprem sırasında meydana gelen maksimum düğüm dönmeleri (Elâstik durum )  
Büyütme faktörü=1.00

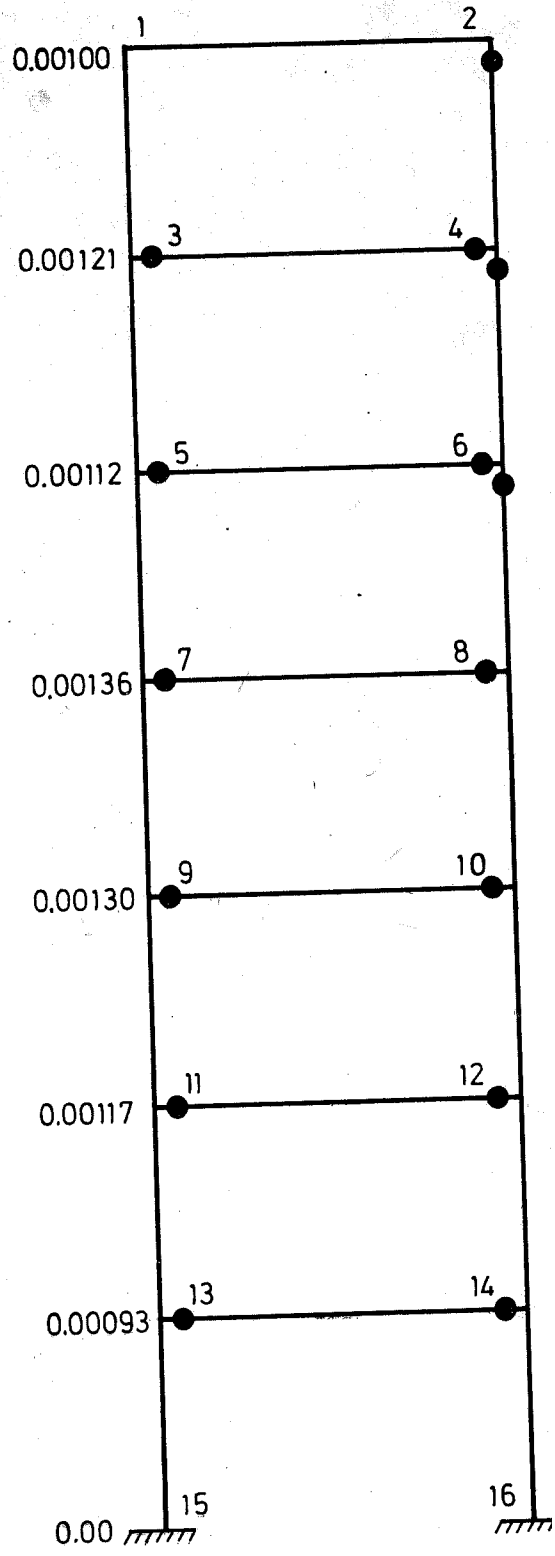


ŞEKİL 34 : 1 no.lu deprem sırasında meydana gelen maksimum düğüm dönmeleri (Elâsto-plâstik durum )  
Büyütme faktörü=2.0

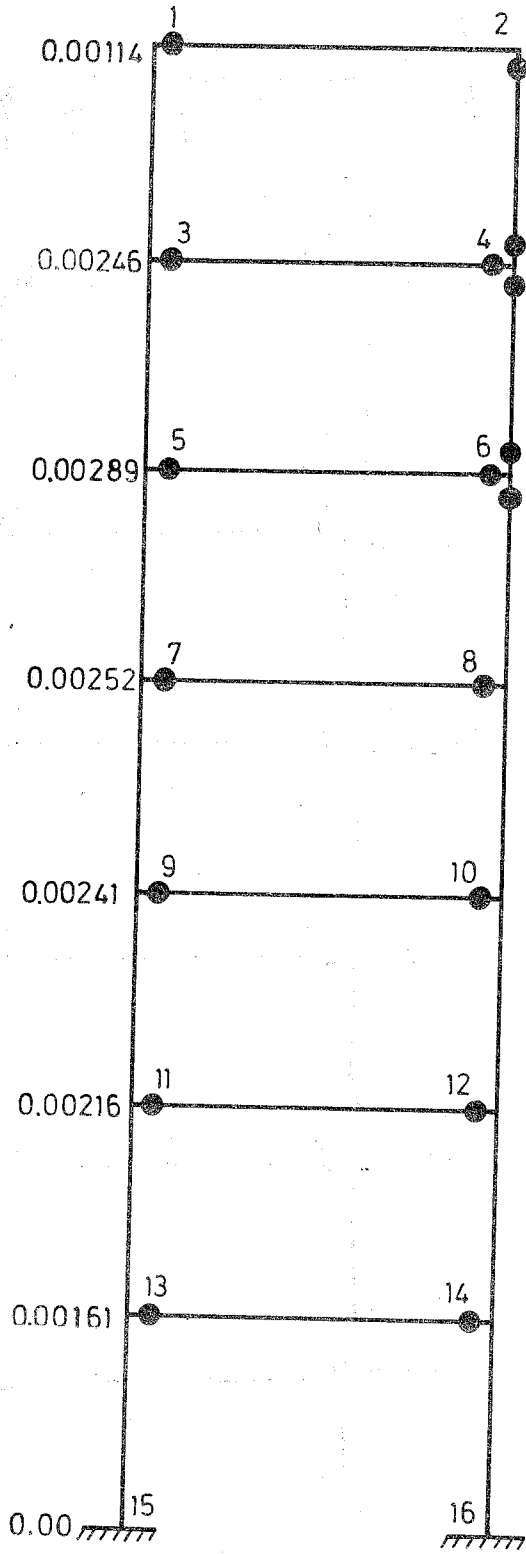
(Soldan -sağa deplâsman)



ŞEKİL 33 : 1 no.lu deprem sırasında meydana gelen maksimum düğüm dönmeleri (Elâstik durum)  
Büyütme faktörü=1.00  
(Soldan-sağa deplâsman)



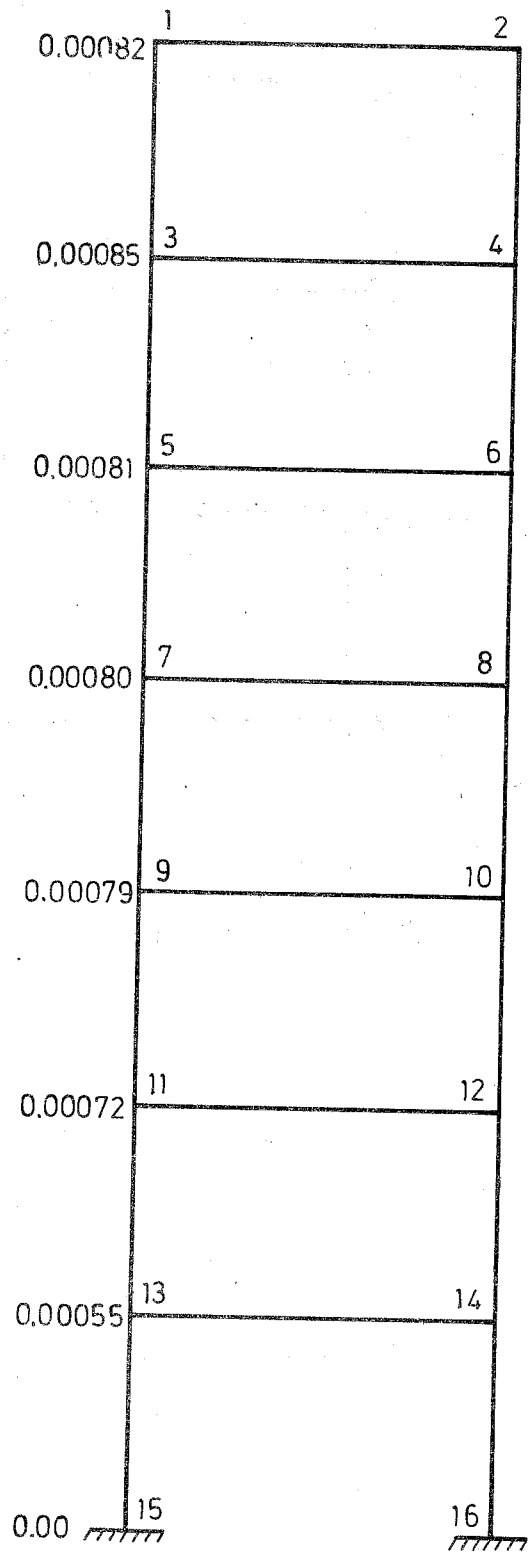
ŞEKİL 34 : 1 no.lu deprem sırasında meydana gelen maksimum düğüm dönmeleri (Elâsto-plâstik durum)  
Büyütme faktörü=?



ŞEKİL 35 : 1 no.lu deprem sırasında meydana gelen maksimum düğüm dönmeleri (Elasto-Plastik durum )

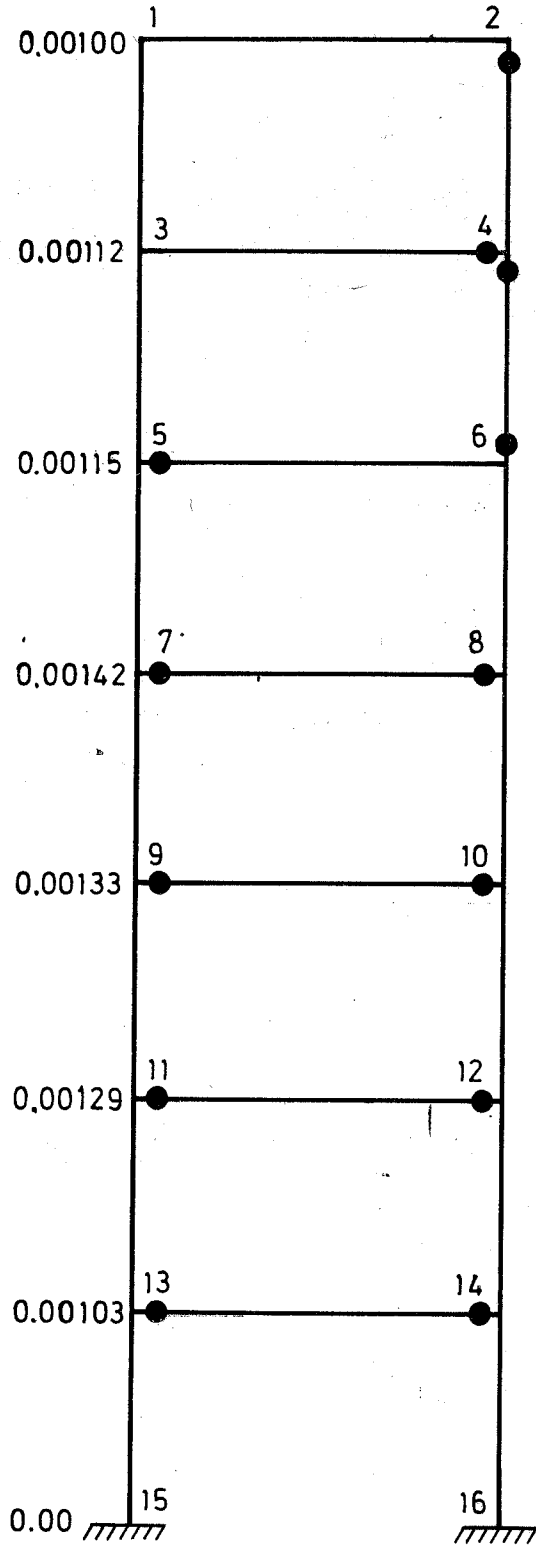
Büyütme faktörü = 5.00

(Soldan -sağa deplâsman )

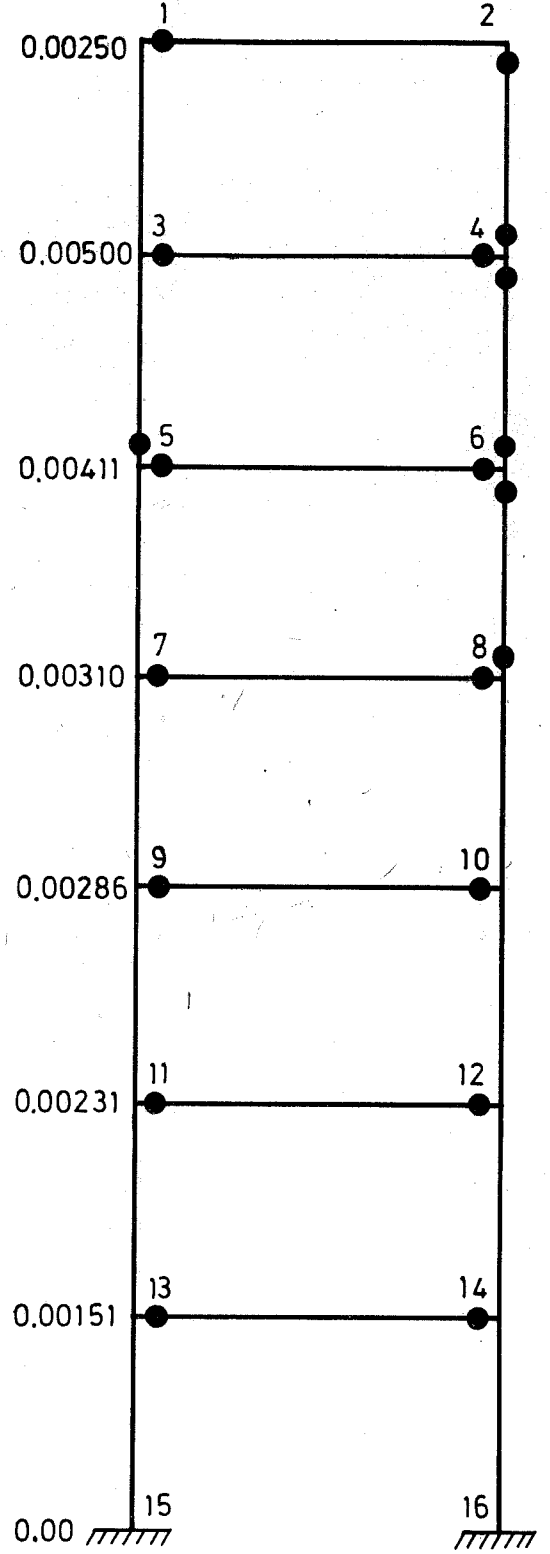


ŞEKİL 36 : 2 no.lu deprem sırasında meydana gelen maksimum düğüm dönmeleri (Elâstik durum )

Büyütme faktörü = 1.00



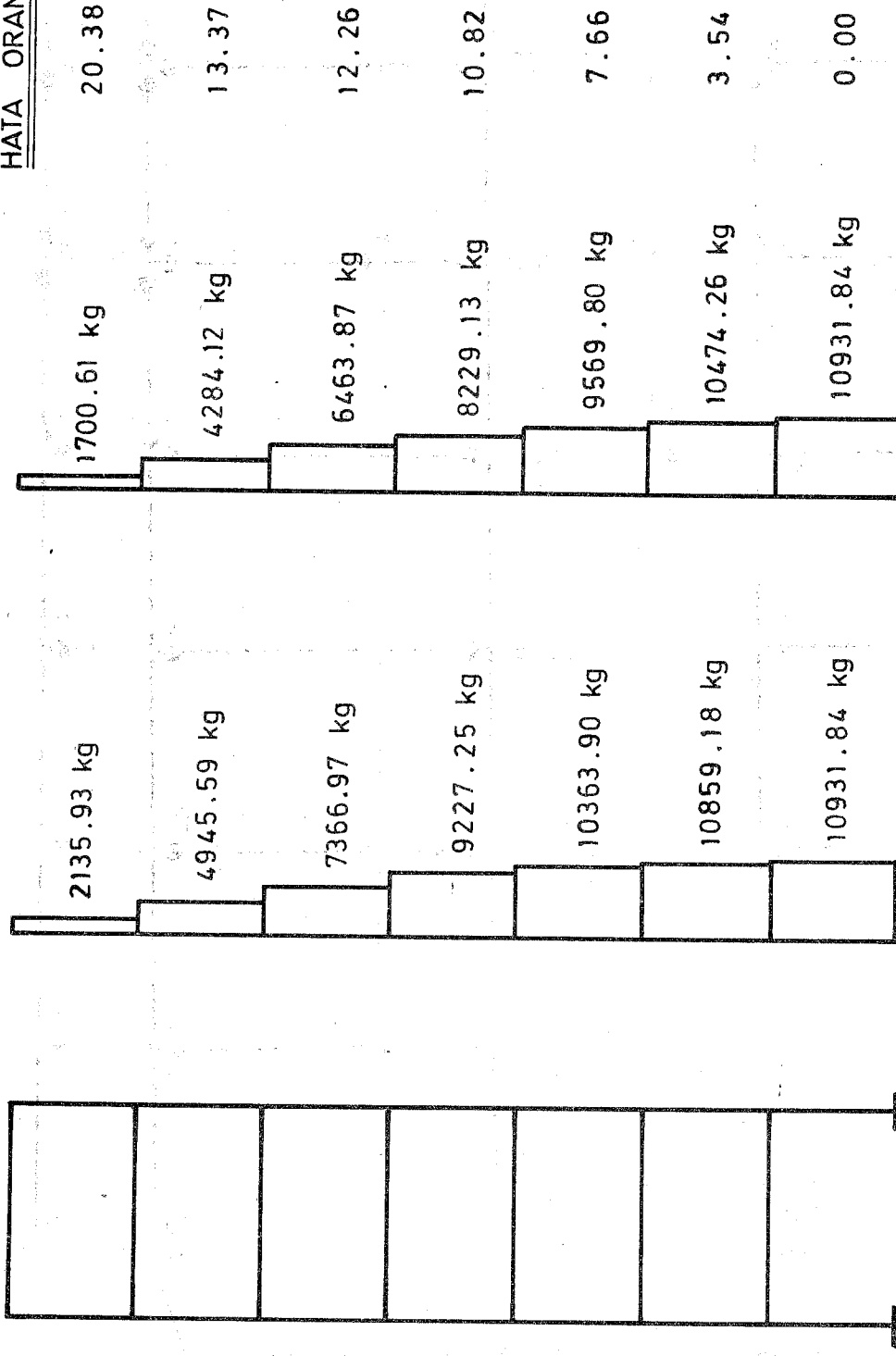
ŞEKİL 37 : 2 no.lu deprem sırasında meydana gelen maksimum düğüm dönmeleri (Elâsto-plâstik durum)  
Büyütme faktörü = 2.00



ŞEKİL 38 : 2 no.lu deprem sırasında meydana gelen maksimum düğüm dönmeleri (Elasto-plâstik durum)  
Büyütme faktörü = 5.00

(Soldan-sağâ deplâsman) (Oynak Mekanizma)

% OLARAK  
HATA ORANLARI



(1) no.lu deprem  
Büyütme faktörü = 1.00  
(Elâstik durum )  
( Sağdan-sola doğru  
deplâsman )

Dinamik analizden  
elde edilen maksim  
um kat kesme  
kuvvetleri

Doğrusal dağıtımdan  
elde edilen kat kesme  
kuvvetleri

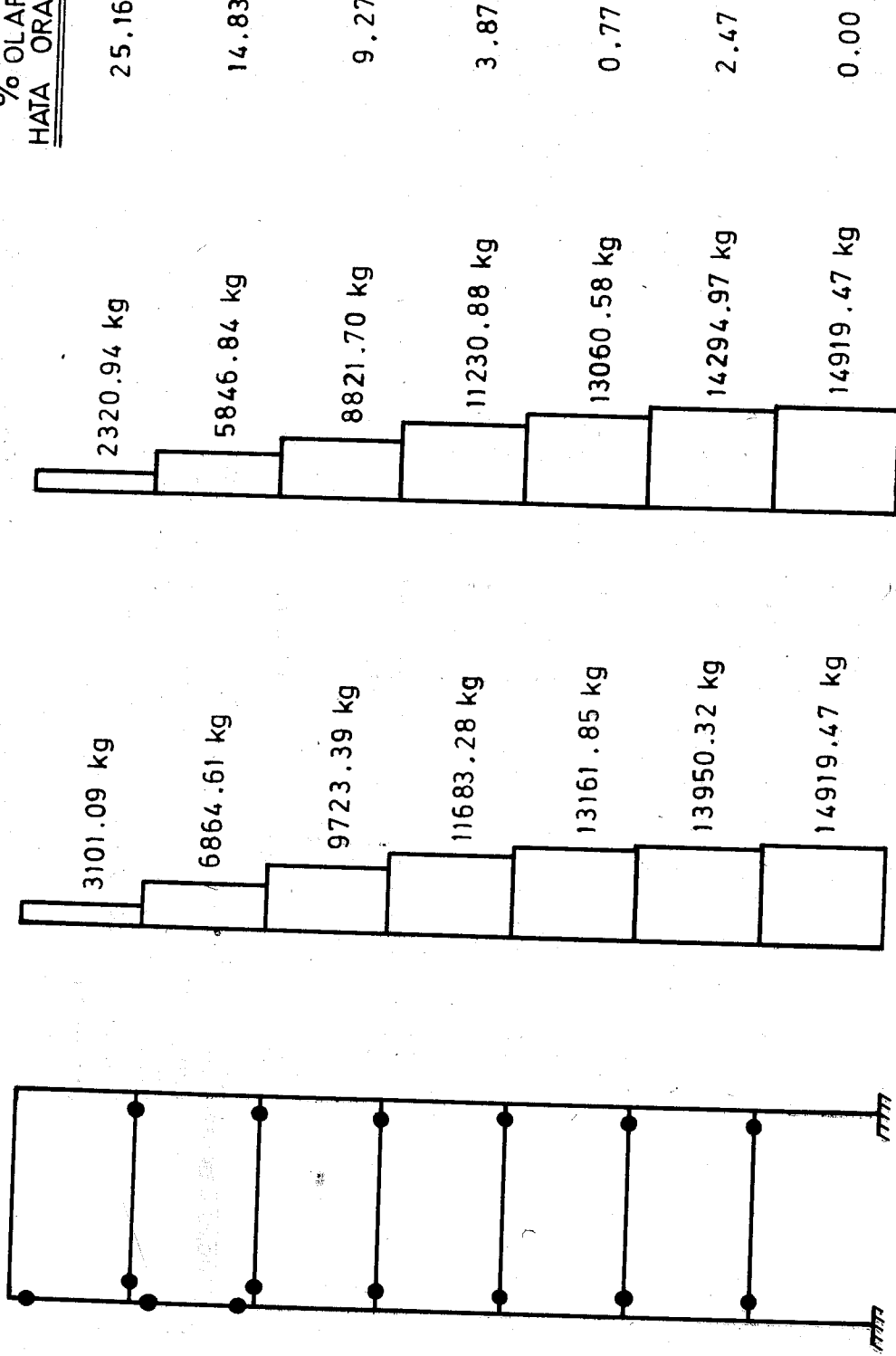
(a)

(b)

ŞEKİL 39 : Dinamik analiz ve doğrusal analiz sonuçlarının karşılaştırılması .



% OLARAK  
HATA ORANLARI



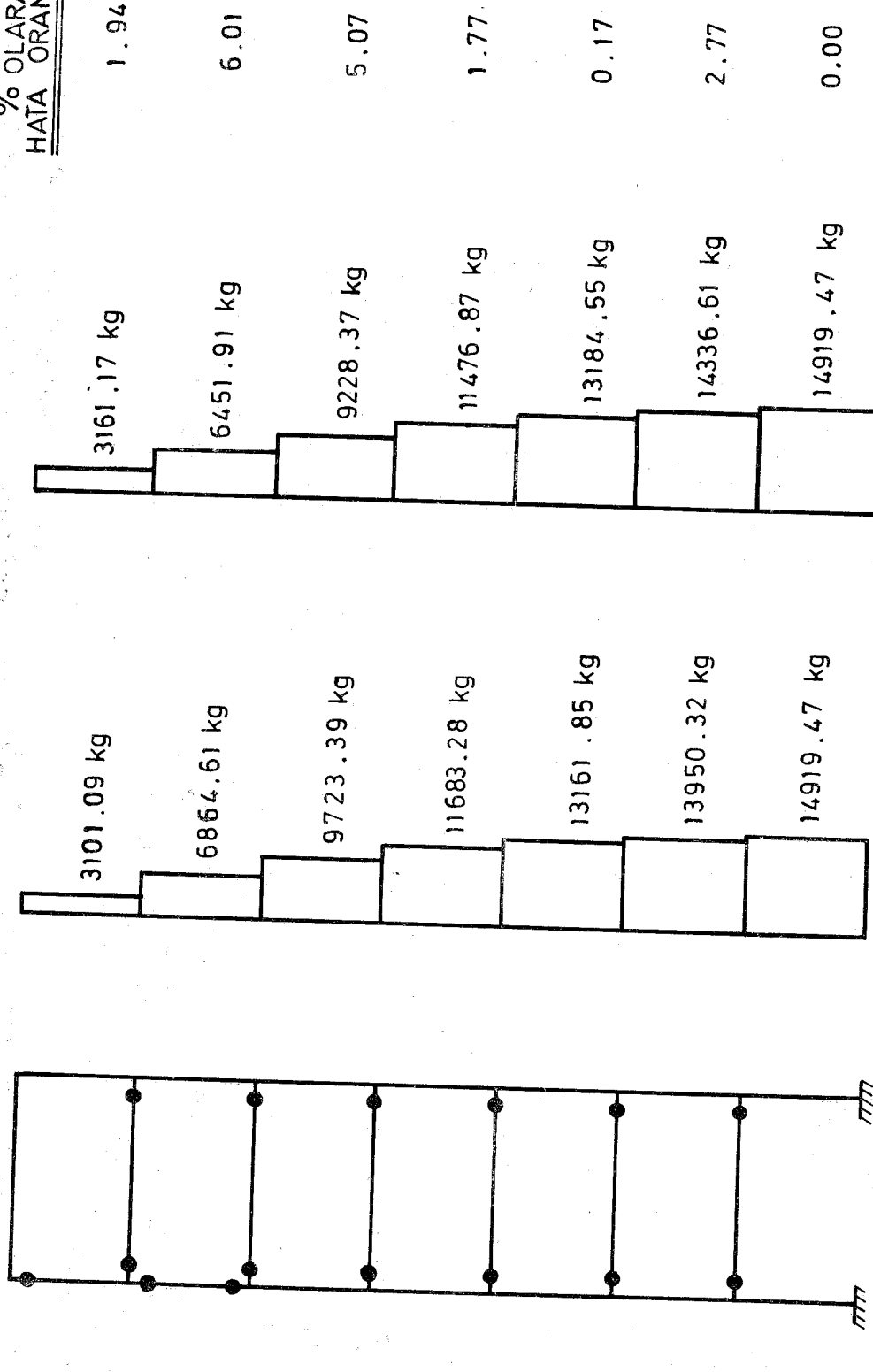
Doğrusal dağıtımdan elde edilen kat kesme kuvvetleri

Dinamik analizden elde edilen maksimum kat kesme kuvvetleri

(1) no.lu deprem  
Büyütme faktörü = 2.00  
( Elâstik durum )  
( Sağdan-sola doğru deplasman )

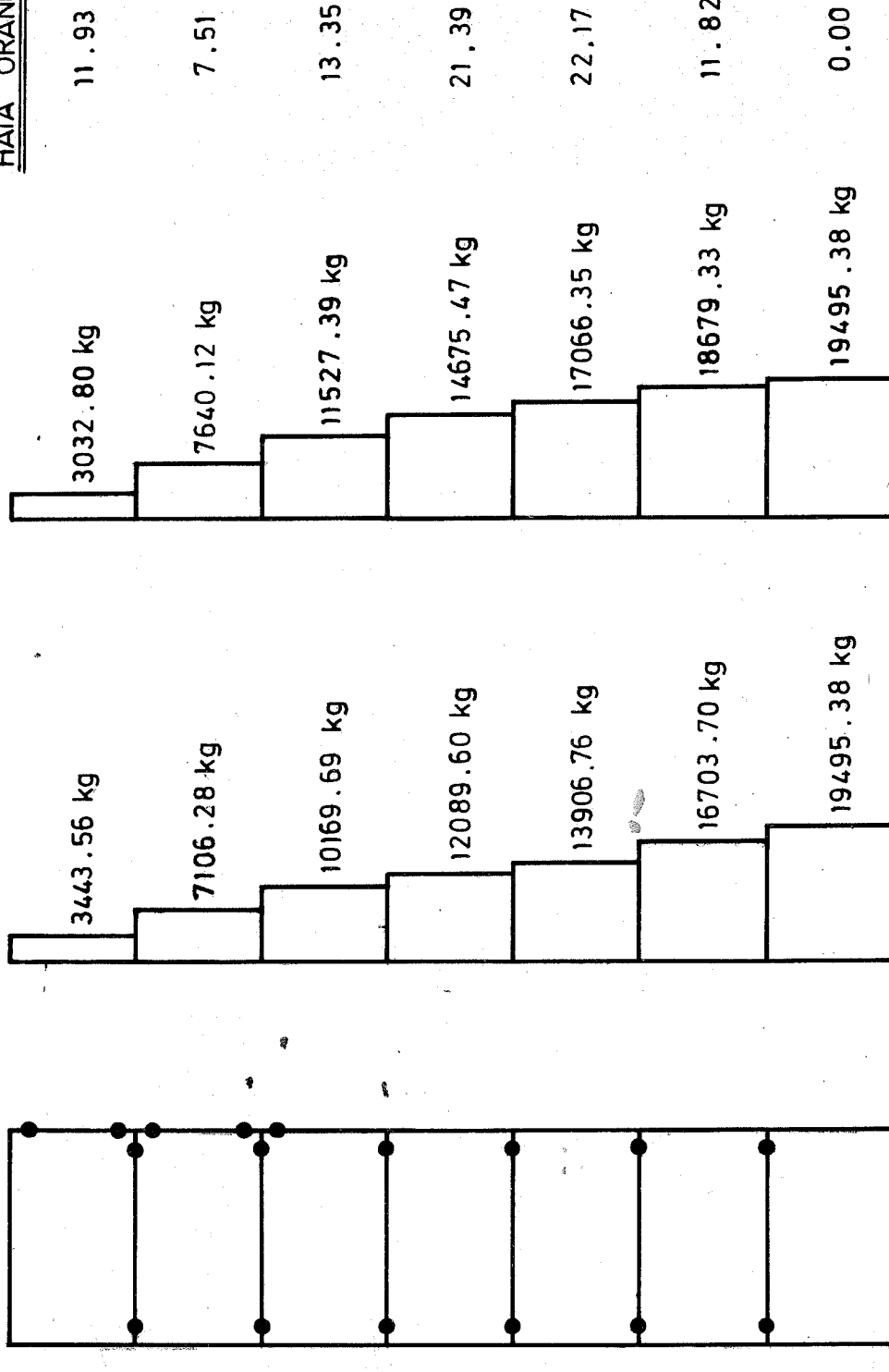
ŞEKİL 40 : Dinamik analiz ve doğrusal dağıtım sonuçlarının karşılaştırılması

% OLARAK  
HATA ORANLARI



ŞEKİL 44 : Dinamik analiz ve doğrusal dağıtım sonuçlarının karşılaştırılması  
(  $F_T$  kuvveti'nde hesaba katılmıştır. )

% OLARAK  
HATA ORANLARI



Doğrusal dağıtımdan elde edilen kat kesme kuvvetleri

Dinamik analizden elde edilen maksimum kat kesme kuvvetleri

(1) no.lu deprem Büyütme faktörü = 4.00 (Elasto-plâstik durum) (Soldan - sağa doğru deplasman)

## YARARLANILAN KAYNAKLAR

- 1) Biggs, J.M.: Introduction to Structural Dynamics. New York: McGraw-Hill 1964.
- 2) Neal, B.G.: The Plastic Methods of Structural Analysis. 2.Ed. New York: Wiley 1963.
- 3) Zienkiewicz, O.C.: The Finite Element Method in Engineering Science. New York: McGraw-Hill 1971.
- 4) Desai, C.S.; Abel, J.F.: Introduction to the Finite Element Method. New York: Van Nostrand Reinhold 1972.
- 5) Ersoy, U.: Betonarme Kesitlerin Taşıma Gücüne Göre Hesabı. Ankara: O.D.T.Ü. Yayınları 1971.
- 6) Aytun, A.: Depremlerin Spektrumlarını Bulmaya Yarayan Bilgisayar Programı. (TÜBİTAK-YAE).
- 7) Korkut, K.: Erdbebenuntersuchungen von Tragwerken mit unstetiger Steifigkeitsverteilung. Bauingenieur 58 (1983) 67-72.
- 8) König, G.; Hosser, D.; Liphardt, S.: Zum Stand der Erdbebenauslegung von Kernkraftwerken. VDI-Berichte, Nr. 355 (1979) 27-37.
- 9) Keintzel, E.: Zähigkeitskriterien für Stahlbetonhochbauten in deutschen Erdbebengebieten. Diss. Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Karlsruhe 1981.
- 10) Hoeflich, S.G.: Nichtlineares Verhalten von Stahlbetonbauten unter Erdbebenbelastung. Diss. Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Karlsruhe, 1983.
- 11) Tichj, M.; Rakosnik, J.: Calcul Plastique des Ossatures en Béton. Paris: Edition Eyrolles 1975.
- 12) Earthquake Resistant Regulations, A World List 1973; International Association for Earthquake Engineering. Tokyo. Gakujutsu Bunken Fukyu-Kai 1973.
- 13) Strong Motion Earthquake Accelerograms, Digitized and Plotted Data, Vol. 2. Pasadena: Calif., Inst. of Technology 1975.
- 14) Analyses of Strong Motion Earthquake Accelerograms, Vol. 3. Pasadena: Calif., Inst. of Technology 1975.

## Ö Z G E Ç M İ Ş

Kamil KORKUT 1943 yılında Manisa'da doğmuştur. Orta ve Lise öğrenimini Bornova Anadolu Lisesi'nde yapmıştır. Yüksek öğreniminin tamamını Batı Almanya'nın BRAUNSCHWEIG TEKNİK ÜNİVERSİTESİ'nde yapmış ve 1969 yılında bu üniversiteden "inşaat yüksek mühendisi" olarak mezun olmuştur. Mezuniyetini takiben birbuçuk yıl süre ile Batı Almanya ve Berlin'de statiker mühendis olarak proje alanında çalışmıştır. Daha sonra, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı Teknik Daire Statik Fen Heyeti Müdürlüğü'nde yaklaşık olarak ikibuçuk yıl süre ile görev yapmıştır. 1975 yılından beri TÜBİTAK Yapı Araştırma Enstitüsü'nde araştırma çalışmaları yapmaktadır. Almanca, İngilizce ve Fransızca bilmektedir.