

**T.M.M.O.B.  
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI  
İZMİR ŞUBESİ**

# **ÇOK KATLI YAPILAR SEMPOZYUMU**

**(21-22-23 Eylül 1989)**

**Doç. Dr. Haluk SUCUOĞLU  
YÜKSEK YAPILARIN SİSMİK ANALİZİ  
VE İSTANBUL'DA 46 KATLI BİR  
BİNADA UYGULANMASI**



YÜKSEK YAPILARIN SİSMİK ANALİZİ  
VE  
İSTANBUL'DA 46 KATLI BİR BİNADA UYGULANMASI

Doç. Dr. Halûk Sucuoğlu  
ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü

1. GİRİŞ

Yüksek binalar büyük mertebelerde yüklere maruz yapılardır. Bu yapılarda en kritik zorlamalar genellikle bina ağırlığının meydana getirdiği düşey yükler ile deprem veya rüzgar gibi doğal nedenlerin oluşturduğu yatay yüklerin birlikte etkisinden ortaya çıkar. Binada düşey yükler etkisiyle oluşan iç kuvvetler hassas bir statik analiz yöntemi kullanarak bilgisayar yardımıyla hesaplanabilir. Ancak yatay yüklerin hesaplanması yüksek yapılarda özel yöntemleri gerektirir. Özellikle deprem analizi için önce yapının dinamik özelliklerinin belirlenmesi, ardından deprem etkilerinin yapının kütle ve rijitlik dağılımlarını göz önüne alan bir yöntemle hesaplanması gerekir.

Bu çalışmada İstanbul TUTİM (Taksim Turizm Ticaret Merkezi) binası için uygulanan yatay yük analizi yöntemi anlatılmakta ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Bina iki asal yönde deprem etkileri altında incelenmiştir. Deprem etkisi İstanbul için tanımlanan bir deprem spektrumu ile ifade edilmiş ve depremin yapıda yarattığı tesirler mod süperpozisyonu yöntemi ile hesaplanmıştır. Ayrıca Türk Deprem Yönetmeliğinde (1) tanımlanan eşdeğer statik analiz yöntemi kullanılarak bağımsız bir hesap yapılmış, iki yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve irdelenmiştir.

2. DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMİ

Binaların deprem etkisi altında analizi için kullanılan yöntemleri 3 grupta toplamak mümkündür:

a) Eşdeğer statik yük analizi, b) modal spektrum analizi, c) zamana göre entegrasyon.

Eşdeğer statik yatay yük analizinde binanın deformasyonlarının dağılımının öngörülen bir şekilde olacağı ve titreşim özelliklerinin tek bir hakim periyodla ifade edilebileceği varsayılmaktadır. Düzgün binalar için hakim periyod ve deformasyon şekli birinci mod değerlerine çok yakın olmaktadır. Zeminde tanımlanan bir maksimum yer ivmesinin yaratacağı atalet kuvvetleri eşdeğer statik yükler olarak yukarıdaki varsayımlar doğrultusunda hesaplanmakta ve binaya kat kütleleri oranında dağılmakta, daha sonra yapının statik çözümü yapılarak iç kuvvetler hesaplanmaktadır.

Modal spektrum analizinde önce yapının özdeğer (eigenvalue) analizi yapılmakta ve modları hesaplanmaktadır. Daha sonra modal periyod, mod şekli ve yer hareketinin tanımlanmış spektrumu kullanılarak yapıya her modunda etkiyen atalet kuvvetleri elde edilip statik yatay yük olarak yapıya uygulanmakta ve iç kuvvetler elde edilmektedir. Toplam iç kuvvetler ise modal değerlerin belirli kombinasyonları kullanılarak hesaplanmaktadır.

Zamana göre entegrasyon yönteminde yapı sisteminin matris formunda elde edilmiş hareket denklemleri deplasmanlar cinsinden sayısal entegrasyonla çözülür. Bu çözümde deprem yer hareketinin ivmesinin zamana göre değişiminin sayısal olarak tanımlanmış olması gereklidir. Denklemlerin çözümü seçilen tüm zaman adımları içinde sırayla deprem süresince yapılar ve her zaman adımında yapıda oluşan deplasmanlar ve içi kuvvetler hesaplanır.

Yukarıda özetlenen yöntemler basitten karmaşığa doğru sıralanmıştır. Ele alınan bir problemin çözümünde kullanılacak yöntemin dikkatle seçilmesi gereklidir. Seçilen çözüm yönteminin geçerli olduğu koşullar, dayandığı varsayımlar ve elde edilen sonuçların hassasiyet derecesi bilinmelidir.

Eşdeğer statik yük analizi kütle ve rijitlik dağılımları ile geometrileri düzgün olan binalar için geçerlidir. Yüksek mod tesirlerini ihmal ettiği için yüksek yapılarda hassas sonuçlar vermez. Modal spektrum analizinde yapının dinamik davranışına katkısı olan modların tümü hesaba katılabilir. Deprem yer hareketi bölgenin sismik özelliklerini ve zemin şartlarını da içeren bir ivme spektrumu şeklinde ifade edilmektedir. İvme spektrumu o bölgede beklenen depremlerin yapıda yaratacağı maksimum tesirlerin bir zarfı olarak tanımlanabilir. (2). Zamana göre entegrasyon yönteminde

ise hesaplarda yapının tüm özellikleri gözönüne alınır. Yapıya etki eden yer hareketinin tanımlanmış olması gerekir. Hesap yöntemi her zaman aralığında yapıda oluşan iç tesirleri hesapladığından çok uzundur. Örneğin 15 saniyelik bir deprem için ortalama 1500 kez çözüm yapmak gereklidir.

Anılan yöntemlerden son ikisi çözüm tekniği olarak oldukça hassastır. Ancak entegrasyon yönteminde hem çözümün çok uzun olması, hem de bir deprem hareketinin tanımına gerek olması kullanımı güçleştirmektedir. Bir bölgede deprem yer hareketi tanımı yapılabilmesi için geçmiş depremlerden elde edilmiş ivme kayıtlarına gereksinim vardır. Böyle bir veri tabanı ülkemizde mevcut değildir. Öte yandan projelendirme için yapıda sadece maksimum tesirlerin bilinmesi yeterlidir. Bu nedenlerle projelendirilen yapılarda oluşması beklenen deprem etkilerinin hesabında modal spektrum yöntemi tercih edilmektedir. İzleyen bölümde bu yöntemin açıklaması yapılacaktır.

### 2.1. Modal Spektrum Analizi

Düzlemsel bir sistemin kütle özellikleri kütle matrisi ile ifade edilir. Binanın kütlelerinin kat seviyelerinde toplandığı varsayımı ile kütle matrisi  $\underline{M}$  diyagonal forma indirgenir ve matrisin boyutu yapıdaki kat sayısına eşit olur. Sistem rijitlik matrisi de statik yoğunlaştırma prensibi uygulanarak aynı boyuta indirgenebilir (3). Eğer yoğunlaştırılmış matrise  $\underline{K}$  denirse yapının karakteristik denklemi  $(\underline{K} - \omega^2 \underline{M})\underline{\phi} = \underline{0}$  çözülerek frekanslar  $\omega_n$  ve mod şekilleri  $\underline{\phi}_n$  elde edilir. Genellikle modal frekans  $\omega_n$  yerine modal periyod  $T_n = 2\pi / \omega_n$  kullanılması yaygındır. Mod şekilleri  $\underline{\phi}_n$  ise kütle matrisine göre normalize edilmiştir. Yani  $\underline{\phi}_n^T \underline{M} \underline{\phi}_n = 1$  eşitliği her modda sağlanır. Deprem ivme spektrumu  $S_a$  modal periyod ve sönüm oranının fonksiyonudur. Bu durumda  $S_a = S_a(T_n, \xi)$  olarak ifade edilir. Verilen deprem spektrumu  $S_a$  altında yapıya etki eden modal kuvvet vektörü  $\underline{f}_n$ , yapıyı n modunda etkileyen maksimum kuvvetleri ifade eder.

$$\underline{f}_n = \underline{M} \underline{\phi}_n L_n S_a(T_n, \xi) \quad (1)$$

Kuvvet vektörünün elemanları olan yatay kuvvetler yapıya kat seviyelerinde uygulanmaktadır. Burada  $L_n = \underline{\phi}_n^T \underline{M} \underline{1}$ , n modunun katılım faktörüdür.

Hesaplanan bu kuvvetler altında yapının statik analizi yapılır ve yapıda oluşan iç kuvvetler ve deplasmanlar hesaplanır. Tüm modların birleşik etkisinin hesabı için CQC : Complete Quadratic Combination yöntemi uygulanır. Bu yöntemde, toplam etki  $\underline{f}$ , modal etkilerdeki işaret değişimleri gözümüne alınarak hesaplanır.

$$\underline{f} = \sqrt{\underline{f}_n^T \underline{C} \underline{f}_n} \quad (2)$$

Burada  $\underline{C}$  matris elemanları modlar arasındaki etkileşimi temsil eder.

### 3. DEPREM KUVVETLERİ

TUTİM binasının inşa edileceği İstanbul kenti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet Yönetmeliğinde (1) 2'nci derece deprem bölgesi içerisinde gösterilmektedir. İstanbul kendinde daha önceden meydana gelmiş olan depremlerin kuvvetli hareket ivme kayıtları mevcut değildir. Bu nedenle dizayn amacıyla kullanılabilen bir tepki spektrumu eğrisinin istatistiksel değerlendirmelerle elde edilmesine olanak yoktur. Afet Yönetmeliğinde spektrum katsayısı adı altında bazı eğriler verilmiştir. Ancak adı geçen yönetmelikte öngörülen hesap yöntemi eşdeğer statik analiz yaklaşımına dayandığından burada aynen kullanılması mümkün değildir.

Bu çalışmada kullanılacak dizayn tepki spektrumu, özel binaların sismik dizaynı konusunda oldukça gelişmiş bir yönetmelik olarak kabul edilen NAVFAC'da (4) önerilen bir yöntemle tanımlanmıştır. Yönetmelikteki yöntem göre belirli bir risk bölgesinde iki ayrı deprem seviyesi saptanmaktadır. Birincisi EQ-1, 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan orta şiddette bir olayı, ikinci deprem EQ-II ise 100 yılda aşılma olasılığı %10 olan yüksek şiddette bir olayı tarif etmektedir. EQ-I yapının servis ömrü sırasında yüksek bir olasılıkla meydana gelecektir ve yapının bu depreme hasarsız veya az hasarla karşı koyabilmesi gerekir. EQ-II olasılığı düşük bir olaydır, ancak meydana gelmesi halinde yapının çökmemesi, can kaybına neden olmaması istenir. Birinci deprem altında yapının hasar görmemesi için elemanlarının elastik sınırlar içinde davranması, ikinci deprem altında çökmemesi için de gerekli sünekliliği sağlayabilmesi gerekir. Dolayısıyla projeci iki farklı proje kriterine uymakla yükümlüdür.

Bir başka gelişmiş deprem yönetmeliği olan ATC 3-06'da (5) yukarıda anılan risk seviyeleri tek seviyeye indirgenerek 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tek deprem olarak tanımlanmıştır. ATC 3-06 yönetmeliğinde deprem şiddetleri dört ayrı risk bölgesi için tanımlanmıştır. Bu bölgeler Kuzey Amerika'daki sismik veriler değerlendirilerek tesbit edilmiştir. Bu bölgeler için belirlenmiş maksimum yer ivmesinden, yukarıda verilen risk seviyelerine tekabül eden birinci ve ikinci depremin maksimum yer ivmelerini elde etmek mümkündür. Risk sıralamasında ikinci olan bölgede EQ-I için saptanan maksimum yer ivmesi değeri 0.08 g, EQ-II için 0.25 g olarak hesaplanmıştır. Yapıların az hasarla karşı koyacakları birinci seviyedeki deprem için verilen 0.08 g değerindeki maksimum yer ivmesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet Yönetmeliğinde 2. derece deprem bölgeleri için verilen deprem bölge katsayısı olan 0.08 ile aynı deprem şiddetini tanımlamaktadır. Bu nedenle ATC 3-06 yönetmeliğinde ikinci derece risk bölgesi için önerilen değerlerin İstanbul için kullanılması uygun görülmüştür.

NAVFAC yönetmeliği uyarınca ikinci derece risk bölgelerinde sert ve sağlam zeminler üzerinde tanımlanan iki farklı seviyedeki deprem dizayn tepki spektrumu eğrileri Şekil 5'de verilmektedir. Birinci deprem altında betonarme bir yapının yaklaşık elastik sınırlar içinde davranacağı düşünülerek sönüm oranı %5 alınmış, ikinci deprem altında hasar göreceği kabul edilerek sönüm %10'a çıkarılmıştır. Binanın projelendirilmesinde, birinci deprem ve diğer yüklerin birleşik etkisi altında yapı elemanlarında akma, kırılma ve ezilme gibi plastik deformasyonların oluşmaması sağlanır. fakat betonda çatlamalara izin verilebilir. İkinci deprem ve diğer yükler altında ise yapı elemanlarının akma kapasitelerinin üzerinde yük alacağı ve elastik ötesi davranış göstereceği kabul edilir. Ancak yapının bu kuvvetlere çökmeden karşı koyabilmesi için plastik mekanizmalar oluşturulması istenir, ve bu mekanizmaların oluşabilmesi için yapı elemanları gerekli sünekliliği sağlayacak biçimde projelendirilir.

#### 4. BİNANIN YAPISAL ÖZELLİKLERİ

TUTİM binası tümüyle betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir. Taşıyıcı sistemin bina tabanında planı Şekil 2'de şematik olarak gösterilmektedir. Kule katlarının izdüşümü planda kesik çizgi ile belirtilmiştir. Taşıyıcı

sistemin ana elemanı temelden kule üstüne kadar sürekli devam eden perde duvar çekirdeğidir. Çekirdek iki adet simetrik tüpten oluşmakta, iki tüp bağ-kirişleri ile kulenin uzun yönünde bağlanarak perde duvar çekirdeğinin yatay rijitliği arttırılmaktadır. Çekirdekteki perde duvar kalınlığı altta 70 cm'den başlayıp üstte kademeli olarak 30 cm'ye inmektedir. Çekirdek perde kule dış çevresinde aralıklı bir kolon sistemi ile sarılmıştır. Kolonlar köşelerde dairesel tüp şeklinde, 2.6 m. çapındadır. Kenar kolonlar ise kare kesitli olup, temelde 1.5x1.5 m.den başlayarak kademeli olarak 0.6x0.6 m'ye kadar azalmaktadır. Kule katlarında döşemeler yan kenar açıklıklarda tek yönlü, köşelerde ise çift yönlü nervürlüdür. Alttaki 12 kat boyunca binanın geniş kısmında ise taşıyıcı sistem kalın ve düz döşemelerden oluşmaktadır.

Binanın 13-46 katlarını içeren kule kısmı için seçilen, nervürlü döşemelerle bağlanan perde-çerçeve sistemi, 50 kat civarındaki yüksek yapılarda oldukça yaygın kabul gören bir taşıyıcı sistem tipidir. Bu sistemde perde ve kolonlar etkili alanları oranında düşey yükleri taşımakta, yatay kesme kuvvetleri ise çekirdek perde duvarları tarafından karşılanmaktadır. Nervürlü döşemelerin rijitliği ile sağlanan perde-çerçeve etkileşimi sayesinde devrilme momentlerine karşı binada yüksek bir dönme rijitliği elde edilmektedir. Böylece çekirdek perde duvarlarda düşey ve yatay yük kombinasyonu altında yüksek eğilme momentlerinin, dolayısıyla da çekme kuvvetlerinin oluşması önlenmiş olmaktadır. Öte yandan elde edilen tipik kat planı mimari açıdan ofis kullanımına çok uygundur. Sabit bölme duvarları olmaması dolayısıyla katlar ofis ihtiyaçlarına göre bölünebilmekte, asansör, merdiven, elektrik telefonu su, havalandırma, ısıtma gibi servis bağlantıları düşey doğrultuda çekirdek içindeki bölmelerden, yatay doğrultularda ise döşeme nervürleri içerisinden sağlanmaktadır. Döşeme altına yerleştirilen asma tavan ile tüm bağlantı aksamaları gizlenebilmektedir.

Binanın toprak seviyesi altında kalan geniş kısmı ön cephede 6 kat yüksekliğinde, yan ve arka cephelerde 12 kat yüksekliğinde bir perde duvar ile çevrilmiştir. Bu duvarların esas işlevi çevrede oluşan toprak itki-sine karşı koymaktır. Dış perde duvarlar Şekil 2'de kabaca işaretlenmiştir. Dış duvarlar kapalı bir çevresel tüp oluşturmakta ve gerek duvar kısımlarının kayma rijitliği ile, gerekse düşey bir temel gibi toprağa yaslanarak tüm binanın yan rijitliğine belirli ölçüde katkıda bulunmaktadırlar.



Alttaki 12 kat boyunca kullanılan 30 cm. kalınlığındaki düz döşemeler toprak itkisi ve deprem gibi yanal etkiler altında dış perde duvarlar, kolonlar ve çekirdek perde duvarların birlikte çalışmalarını sağlamaktadır.

Bina tabanda oldukça sert ve sağlam bir zemine sahiptir. Bu nedenle temel tipi olarak zemin üzerine oturan 3 metre kalınlığında radye yapılması benimsenmiştir. Böyle bir temel sistemi binayı gerek tabanda farklı oturmalar, gerekse öteleme ve devrilme etkilerine karşı oldukça rijit bir duruma getirmektedir. Radye temelin modellenmesi ve çeşitli etkiler altında incelenmesini içeren analitik bir çalışma İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Bülteni 1. sayısında yayınlanacaktır.

## 5. BİNANIN MODELLENMESİ

TUTİM binası dinamik etkilerin olduğu kule katlarında çift eksenli yapısal simetriye haizdir. Bu durumda tüm katların kütle ve rijitlik merkezleri geometrik merkezle çakışmakta ve aynı eksen üzerinde yer almaktadırlar. Böyle bir yapıda yatay kuvvetler hangi doğrultuda etkiseler burulma etkisi yaratamazlar. Dolayısıyla binanın tüm taşıyıcı sisteminin üç boyutlu olarak incelenmesi yerine iki asal yönde düzlemsel modellerle incelenmesi yeterlidir. Asal yönler olarak tipik kule katları planındaki boyut oranlarına uygun olarak kısa ve uzun doğrultular seçilmiş ve çalışmada modeller bu isimlerle anılmıştır. Gerçekte üç boyutlu uzay modelleri hem yapının tanımlanması açısından oldukça karmaşıklık getirmekte, hem de çözümde üretilen çok büyük miktarlardaki sayısal sonuçlar proje mühendisine pratik bir yarar sağlamamaktadır. Üstelik dinamik etkiler altında çözülen problemin hacmi daha da artmaktadır. Bu nedenlerle burulmanın önemli olmadığı durumlarda yüksek binaların düzlem modellerle incelenmesi yaygınlık kazanmıştır.

Düzlemsel modeller binanın kule kısmında tüm yapısal özellikleri içermelerine karşın, binanın alt kısmını çevreleyen dış perde duvarların yapı rijitliğine katkısını gerçekçi bir şekilde nesaba katabilmek için özel bir çalışma yapmak gerekmiştir. Bu çalışmada düz döşemelerle çekirdek perdeye bağlanan dış çevre duvarların kısa ve uzun yönlerde yanal

bina rijitliklerine olan katkıları hesaplanmış ve bu katkılar düzlem modellerde eşdeğer rijitliğe sahip fiktif birer çerçeve ile temsil edilmişlerdir. Diyafram modeli olarak adlandırılan çalışma Bölüm 5.2'-de ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

### 5.1. Kısa ve Uzun Yönlerde Düzlemsel Modeller

Binanın iki asal yönde düzlemsel sistemlere indirgenerek incelenmesi problemin büyüklüğünü pratik sınırlara indirmiş, dolayısıyla yapı davranışının bazı parametrelere olan hassasiyetini ölçmek için çok sayıda çözüm yapabilmek mümkün olmuştur. İncelenen parametrelerin başlıcaları çekerdek perde duvarı kalınlığı, bağ kirişlerinin derinliği ve nervürlerin sıklığı olarak sayılabilir.

Düzlem modellerin dinamik analizi TABS-80 (6) isimli bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. TABS-80 programı yapı analizi alanında doğruluğu kanıtlanmış ve uluslararası düzeyde kabul görmüş, özellikle yüksek binalar için geliştirilmiş oldukça kapsamlı bir programdır. Program yüksek yapılarda ihmal edilmemesi gerekli tüm davranış ve modelleme özelliklerini içermektedir. Bu özelliklerden birincisi düşey elemanların aksel rijitliğinin hesaba katılmasıdır. Geleneksel analiz yöntemlerinde düşey taşıyıcılar aksel yönde sonsuz rijit kabul edilir, ancak yüksek yapılarda bu yaklaşım yanıl yapı rijitliğinin %10-15 kadar yüksek hesaplanması sonucunu doğurur. İkinci özellik rijitlik hesabında yapıyı oluşturan çubuk elemanların aksel aksa açıklıklarının değil, net açıklıklarının kullanılmasıdır. Eleman birleşim yerlerindeki sonsuz rijit bölgeler programa tanımlanmakta ve böylece net uzunluklar hesaplanabilmektedir. Uygulanan dış etkiler altında hesaplanan iç kuvvetlerin eleman uçlarındaki değerleri bu durumda birleşim yerinin dış yüzünde hesaplanmış olmaktadır. Projelendirmede esasen bu verilen gerektiğinden, program proje hesaplarında kullanılacak eleman uç kuvvetlerini doğrudan vermektedir. Üçüncü olarak kiriş ve döşemelerin eğilme rijitlikleri hesaba katılmakta, ancak aksel yönde yatay elemanlar sonsuz rijit kabul edilmektedir. Gerçekte yatay elemanlarda oluşan aksel kuvvetlerin mertebesi çok düşük olduğundan bu kabul çözümde hiçbir hata getirmemekte ve ekonomi sağlamaktadır.

Burada sıralanan özellikler esasında genel amaçlı bir yapı analizi programında (SAP, STRUDL gibi) içerilmektedir. Fakat özel bir probleme uygulanabilmesi için çok fazla data verilmesine ve problemin gereksiz şekilde büyümesine neden olmaktadır. TABS-80 bina sistemleri için kodlandığından asgari miktarda data ile yapı tanımlanabilmekte ve an az sayıda serbestlik derecesi ile sistemin rijitlik ve kütle özellikleri ifade edilebilmektedir.

Binanın kısa yönü kullenin kısa yönü ile belirlenmiştir. Bu yönde kule hizasının dışında kalan binanın alt kısmındaki H, I, J akslarının (Şekil 2) kolonları bina dinamik davranışında etkili olmayacakları için modele dahil edilmemişlerdir. A-F aksları arasında binanın simetri özelliği göz önüne alınmış, bu nedenle kısa yönde binanın yarısını oluşturan ve A, B, C akslarını içeren bir bant modellenmiştir. Modelle tanımlanan bant Şekil 2'de işaretlenmiştir. Böylece elde edilen düzlemsel model Şekil 3'de gösterilmektedir.

Binanın uzun yöndeki modeli kullenin tümünü ve uzun doğrultuda kule hizasında kalan binanın alttaki geniş kısmını içermektedir. Uzun yönde düzlemsel model Şekil 4'de verilmiştir. Modelin içerdiği kısımlar Şekil 2'de işaretlidir.

Hem kısa, hem de uzun yönlerde kat kütlelerini oluşturan ölü ve hareketli yüklere ek olarak binada bulunan su deposu, panoramik asansör, eskalatörler ve uzay kafesinin kütleleri de bina kütlelerine gerektiği şekilde ilave edilmiştir.

## 5.2. Diyafram Modeli

Deprem hareketinden dolayı binada meydana gelen yatay kuvvetlerin önemli kısmını çekirdek perde duvarın aldığı düşünülmektedir. Ancak binanın toprağa gömülü olduğu kısımlarda etrafını çevreleyen perde duvarlar ve bu duvarlara yaslanan toprak kütleleri binanın alttaki geniş kısmının hareketine engel teşkil etmektedir. Deprem kuvvetlerini meydana getiren dinamik atalet kuvvetleri ivmelerin yüksek değerlere ulaştığı kule katlarında yoğunluk kazanacaktır. Atalet kuvvetleri kulede kesme kuvvetlerinin

oluşmasına neden olacak ve bu kuvvetlerin tamamına yakın büyük bir kısmı kule çekirdeği tarafından binanın alt kısmına intikal ettirilecektir. Dış çevre duvarların bina davranışına olan katkısı bu kuvvetlerin döşemeler vasıtasıyla dış duvarlara iletilmesi ile mümkün olacaktır. Bu durumda döşeme ve dış duvarların kulede oluşan kuvvetlere karşı davranışını inceleyen bir analitik modele gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak toprak altında kalan her katın döşemesi düzlem gerilme elemanları ile modellenmiştir. Bu amaçla SAPIV programından (7) yararlanılmıştır. Çevre duvarların iki kat arasındaki kayma rijitlikleri her duvar parçası için duvar yönünde eşdeğer yatay yay katsayıları ile ifade edilmiştir. Çalışmada kullanılan sonlu elemanlar modeli Şekil 6'da gösterilmektedir. Her katta mevcut olan döşeme delikleri ile o kattaki döşeme kalınlığı ve çevre duvar kalınlığı modelde kullanılan parametreler vasıtası ile tanımlanmıştır.

Diyafram modeli vasıtasıyla hesaplanan yanal rijitlikler kısa ve uzun yöndeki düzlem modellerde birer fiktif kayma çerçevesi ile simüle edilmiştir. Bu çerçevelerdeki kolonların her kattaki toplam yanal rijitliği dış çevre duvar-döşeme sisteminin her katta o yönde hesaplanan yanal rijitliğine eşittir. Fiktif çerçevelerin kirişleri bu durumda sonsuz rijit alınmıştır.

## 6. SONUÇLAR

Sunulan çalışmada kullanılan modal spektrum analizi yönteminde önce yapının özdeğer analizi yapılmakta ve dinamik özellikleri hesaplanmaktadır. Daha sonra hesaplanan modal özellikler ve verilen deprem spektrumları kullanılarak yapı elemanlarına etki eden iç kuvvetler ve deplasmanlar hesaplanmaktadır. Sonuçlar bu sıra ile sunulacaktır.

Türkiye Afet Yönetmeliğinde, özel yapılar için yönetmelikte önerilenden farklı bir hesap yöntemi kullanıldığı takdirde hesaplanan taban kesme kuvvetinin, yönetmelik uyarınca hesaplanan değer %70 'inden az olmaması koşulu vardır. Bu koşulu sağlamak amacıyla TUTİM binası hem kısa,

hem de uzun yönlerde Afet Yönetmeliğinde önerilen eşdeğer statik analiz yöntemiyle de incelenmiştir.

### 6.1. Binanın Dinamik Özellikleri

Özdeğer analizi sonucunda hesaplanan dinamik özellikler Tablo 1'de sunulmaktadır. Tabloda ilk 5 mod için kısa ve uzun yönlerde yapının modal peryodları ve katılım faktörleri  $\alpha_n$  verilmektedir. Sonuçlar binanın uzun yönde daha rijit olduğunu göstermektedir. Yapının kısa yöndeki mod şekilleri ise Şekil 7'de sunulmaktadır. Mod şekillerinden binanın alttaki geniş kısmının bir süreksizlik yaratmadığı gözlenmektedir. Sürekliliğin sağlanmasında kule içindeki çekirdek perde duvarın büyük katkısı vardır. Deprem esnasında elastik potansiyel enerjinin sadece kule katlarında depolanmayıp tüm binaya dengeli bir şekilde dağılması davranış açısından olumlu bir özelliktir.

Tablo 1'deki sonuçlar Şekil 5'de verilen spektrumlar göz önüne alınarak değerlendirildiğinde gerek kısa ve gerekse uzun yönlerde yüksek modların katkısının önemi kolaylıkla anlaşılabilir. Her iki yönde de birinci modların spektral değerleri spektrumun en düşük kısımlarına rastlamaktadır. Birinci modların katılım faktörleri diğerlerinden yüksek olmasına rağmen bu fark ilk modu diğerlerinden önemli kılmaya yetecek düzeyde değildir. Bu sonuçlar yüksek yapılarda yüksek modların önemini açık bir şekilde göstermektedir.

### 6.2. Deprem Analizi Sonuçları

Modal spektrum analizinde deprem dolayısıyla yapıya her modda uygulanan yatay kuvvetler kullanılarak hesaplanır. EQ-1 ve EQ-2 altında elde edilen modal taban kesme kuvvetleri ve Denklem 2'den hesaplanan toplam taban kesme kuvvetleri Tablo 1'de verilmiştir. Aynı tabloda ayrıca her modun toplam taban kesme kuvvetine katkısı yüzde olarak belirtilmiştir. Tablodan anlaşıldığı gibi 2. ve 3. modlar her iki yönde hakim durumdadır. Özellikle kısa yönde 1. modun taban kesme kuvvetine katkısı 4. moddan daha düşük çıkması ilginçtir.

Binanın kapasite dizaynına esas olan EQ-I altında taban kesme kuvvetleri kısa yönde bina ağırlığının %4.8'i, uzun yönde 4.3'kadar olmaktadır. Eğer Afet Yönetmeliğinde önerilen yöntem kullanılsaydı bu değerler %4.2 mertebesinde olacaktır (Tablo 1). Taban kesme kuvvetlerinin oldukça yakın çıkmasına karşın devrilme momentlerinde iki yaklaşım oldukça farklı sonuçlara ulaşmakta, eşdeğer statik analiz yüksek değerler vermektedir. Bunun nedeni eşdeğer statik analizde yüksek modların etkisini telafi etmek için binanın tepesine ilave bir yük uygulanmasıdır. İlave yükün toplam yüke oranı TUTİM binası için %10 kadardır ve yüksek bir moment koluyla uygulandığı için devrilme momentlerini gerçekçi olmayan bir şekilde arttırmaktadır.

Uygulanan deprem kuvvetleri altında binada meydana gelen deplasmanlar Şekil 8'de verilmektedir. Eşdeğer statik analizde uygulanan yatay kuvvetler toplamı EQ-I ile aynı düzeyde olmasına karşın sonuçta yarattığı deplasmanlar 2-3 katı kadar fazla olmaktadır. Bu fark gene devrilme momentlerindeki farktan kaynaklanmaktadır. Binada ana yatay yük taşıyıcı eleman olan çekirdek perde duvar esasında bir kayma elemanlarından çok bir ankastre kolon gibi çalışmakta ve yaptığı toplam yatay deplasman kayma deformasyonlarından ziyade eğilme deformasyonlarından oluşmaktadır.

Modal spektrum analizi yöntemiyle EQ-I altında hesaplanan kesme kuvvetlerinin binanın yüksekliği boyunca değişimi ve çeşitli elemanlara dağılımı Şekil 9'da gösterilmektedir. Kesme kuvvetlerinin her iki yönde de %80'den fazla kısmı çekirdek perde tarafından karşılanmaktadır. Bu oran sadece kulenin alttaki geniş kısma saptandığı 12 ve 11 katlarda %65'e kadar düşmekte, bu katlarda toplam kesme kuvvetlerinin kalan kısmı döşemeler vasıtasıyla çevre kolonlara ve dış duvarlara aktarılmaktadır. Dış çevre perde duvarların toplam kesme kuvvetinin karşılanmasına olan katkısı, duvarların kayma rijitliği büyüklüğüne göre oldukça düşük bir mertebede kalmaktadır. Bunun nedeni kesme kuvvetlerini dış çevre duvarlara aktaran döşemelerin düzlem içi aksenal ve kayma deformasyonlarına uğraması ve deplasmanların uygunluğu prensibi uyarınca dış çevre duvarların binanın yatay deprem hareketinden pek fazla etkilenmemesidir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada tanıtılan TUTİM binasının statik ve betonarme projeleri Dizayn Grup Ltd. tarafından hazırlanmıştır, yapımı ise STFA İnşaat A.Ş. tarafından sürdürülmektedir. Her iki firmaya burada sunulan dökümanları sağladıkları için teşekkür ederim.

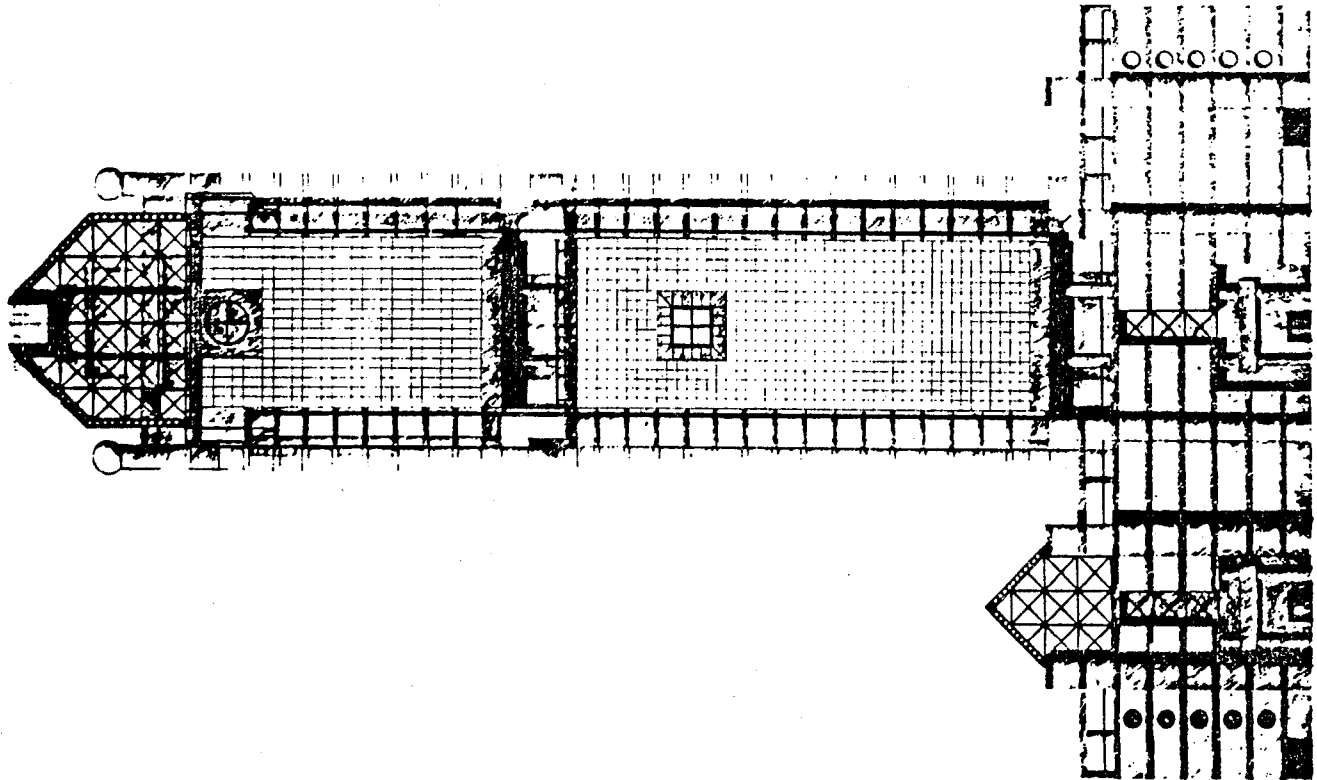
## KAYNAKLAR

1. T.C. İmar ve İskan Bakanlığı, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara, 1975
2. Newmark, N.M. and Hall, W.J., Earthquake Spectra and Design, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California, 1982.
3. Clough, R.W. and Penzien, J., Dynamics of Structures, McGraw-Hill, New York, 1975.
4. Seismic Design Guidelines for Essential Buildings, Technical Manual, TM 5-809-10-1 NAVFAC, Department of the Army, Washington D.C., 1986.
5. Applied Technology Council, Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, NBS Special Publication 510, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1978
6. Wilson, E.L., Dovey, H.H. and Habibullah, A., TABS-80 Theoretical and User's Manual, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi 1980.
7. Bathe, K.J., Wilson, E.L. and Peterson, F.E., SAP-IV, A Structural Analysis Program, EERC 73-11, University of California, Berkeley, California 1973.

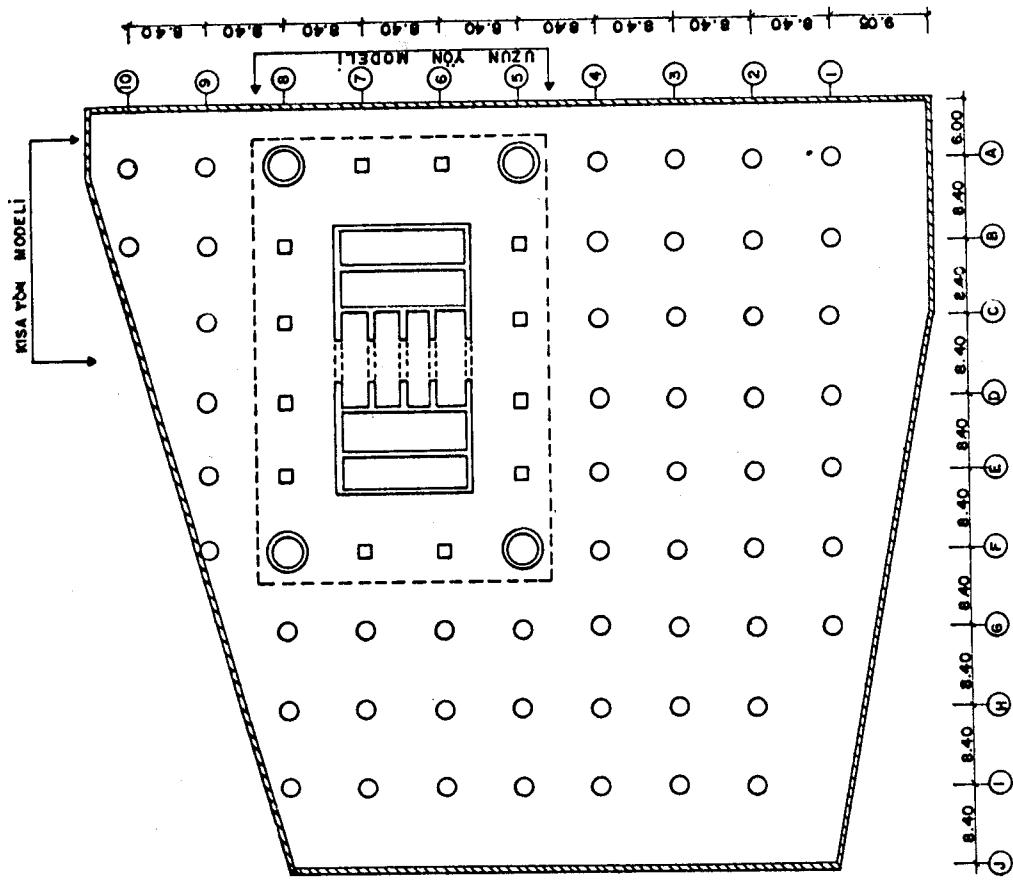
TABLO I BİNANIN DİNAMİK ÖZELLİKLERİ VE ÇÖZÜM SONUÇLARI

MOD Numarası	KISA YÖN ( x )					UZUN YÖN ( y )								
	PERYOD (saniye)	MODEL KÜTLE KATILIMI	MODEL TABAN KUVVETİ (ton)	MODEL TABAN KUVVET ORANI (%)	MODEL TABAN KUVVET ORANI (%)	PERYOD (saniye)	MODEL KÜTLE KATILIMI	MODEL TABAN KUVVETİ (ton)	MODEL TABAN KUVVET ORANI (%)	MODEL TABAN KUVVET ORANI (%)				
1	3.44	-51	1802	6.4	6.4	2.65	-73	4891	23.6	23.6				
2	0.91	-39	4416	38.1	38.1	0.80	-45	6818	45.8	45.8				
3	0.43	-31	4712	43.4	43.4	0.40	32	4931	23.9	23.9				
4	0.25	20	1950	7.4	7.4	0.25	22	2464	6.0	6.0				
5	0.16	-18	1544	4.7	4.7	0.17	19	869	0.7	0.7				
Toplam Taban Kesme Kuvveti = 7652 ton (EQ - II) % 12 W					10809 ton % 11 W									
Toplam Taban Kesme Kuvveti = 3061 ton (EQ - I) % 4.8 W					4323 ton % 4.3 W									
Toplam Taban Kesme Kuvveti = 2668 ton (Eşdeğer Statik Analiz) % 4.2 W					4293 ton % 4.2 W									

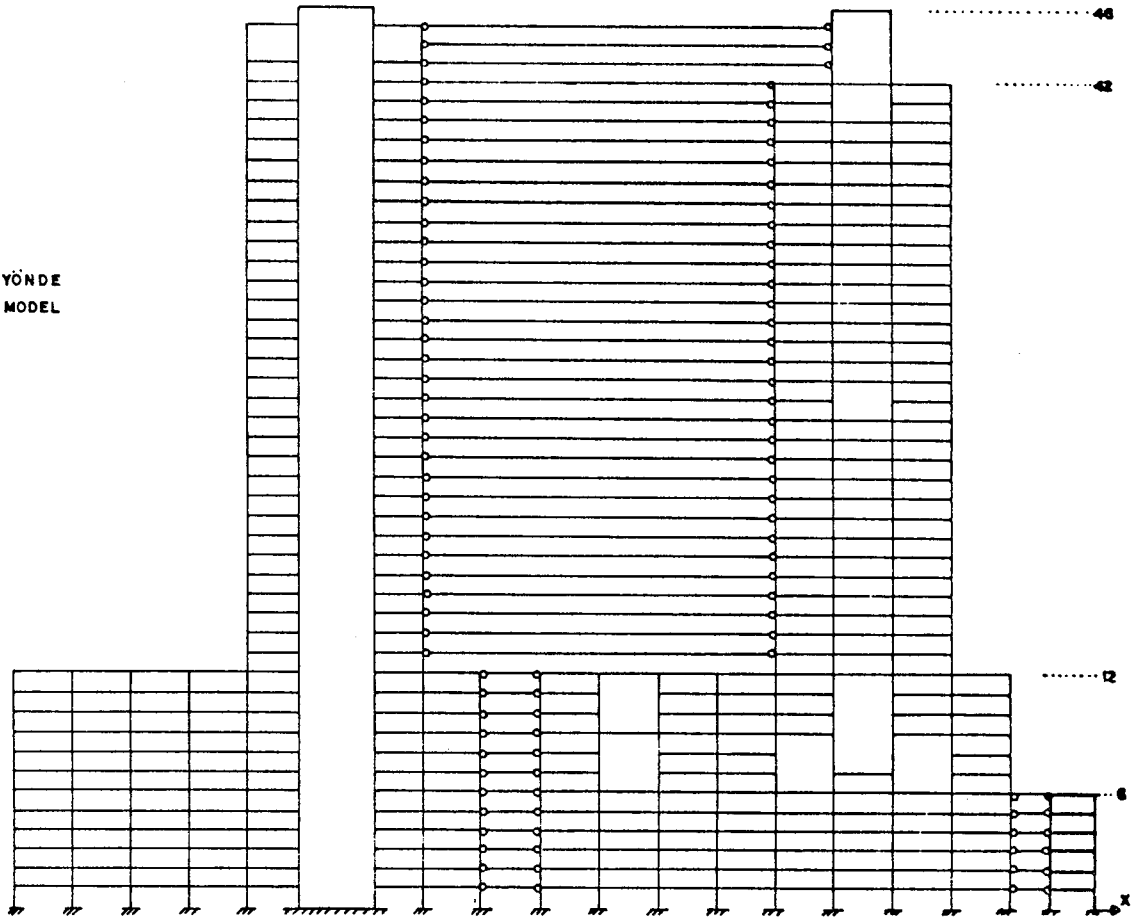




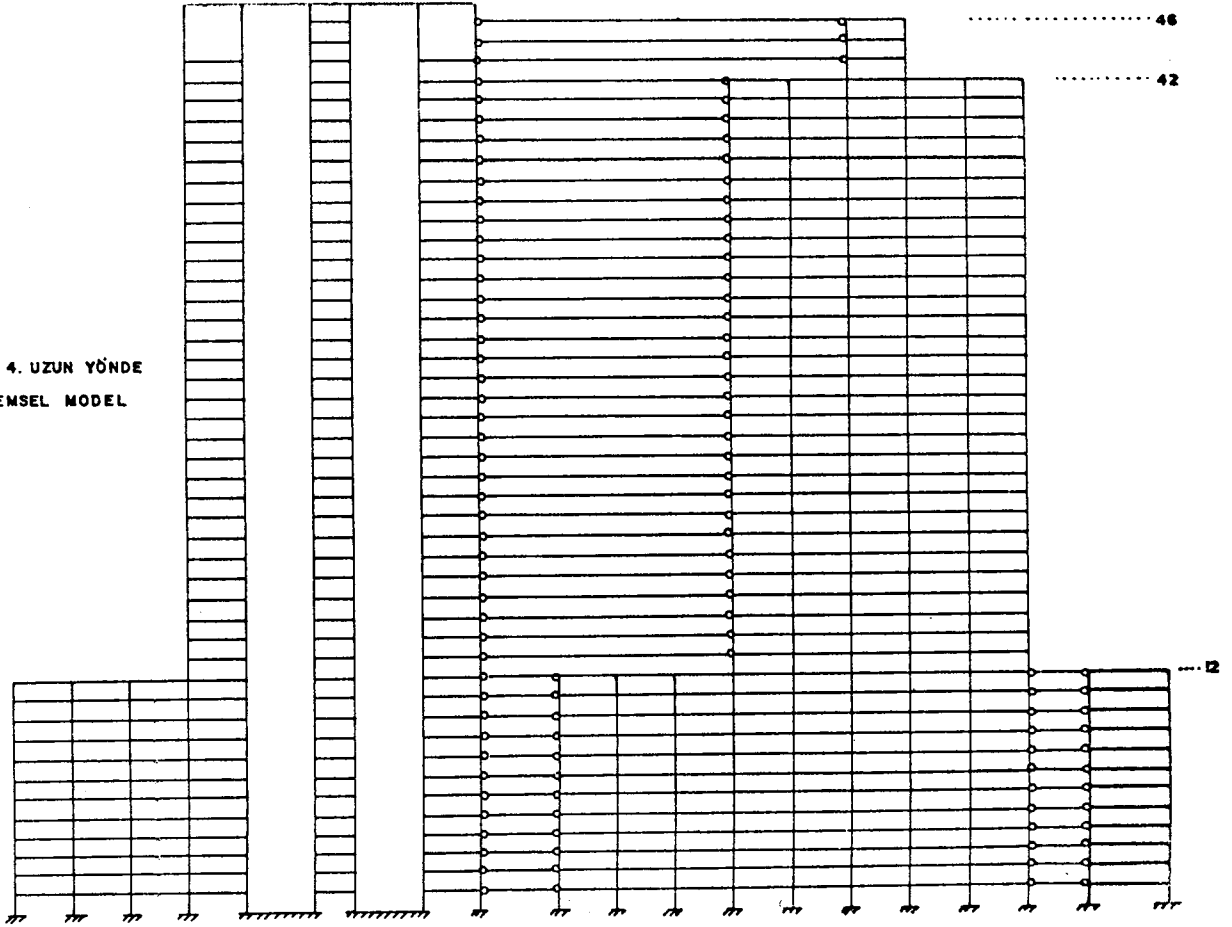
ŞEKİL 1. BİNANIN ÖN CEBHE GÖRÜNÜŞÜ

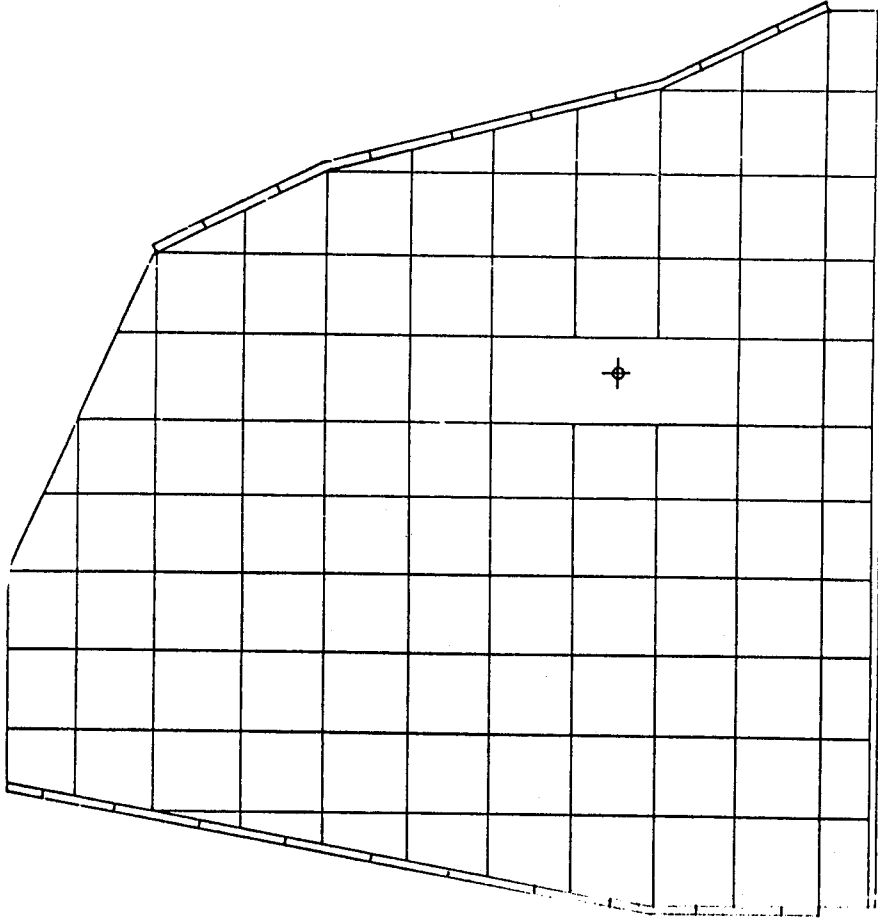


ŞEKİL 3. KISA YÖNDE  
DÜZLEMSEL MODEL

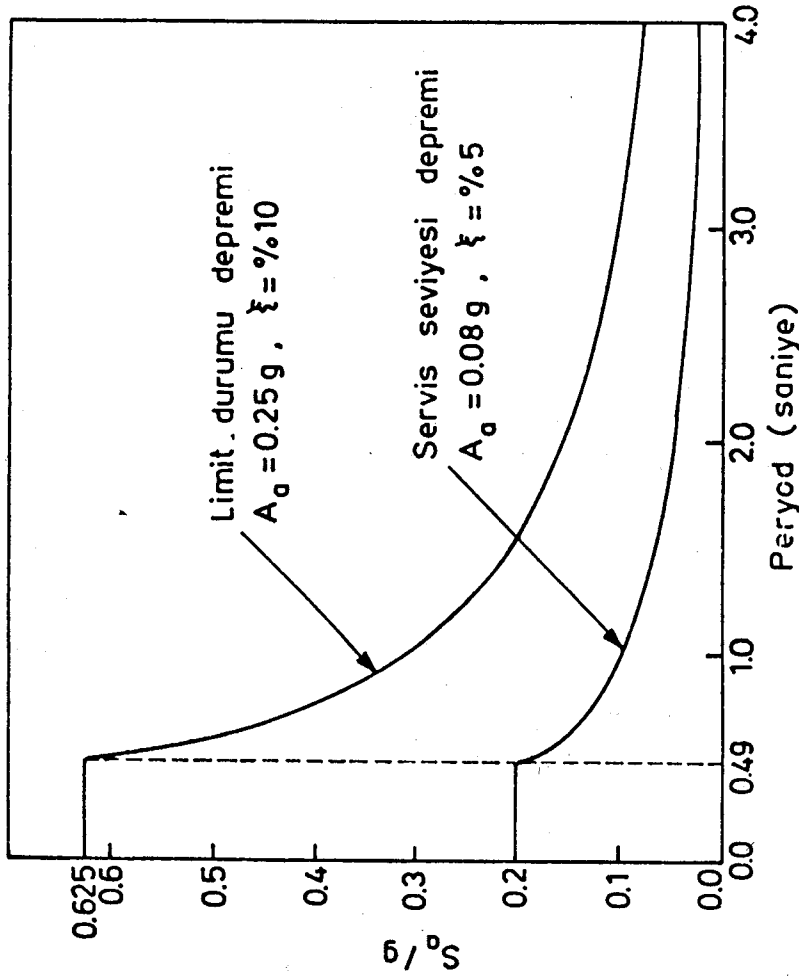


ŞEKİL 4. UZUN YÖNDE  
DÜZLEMSEL MODEL

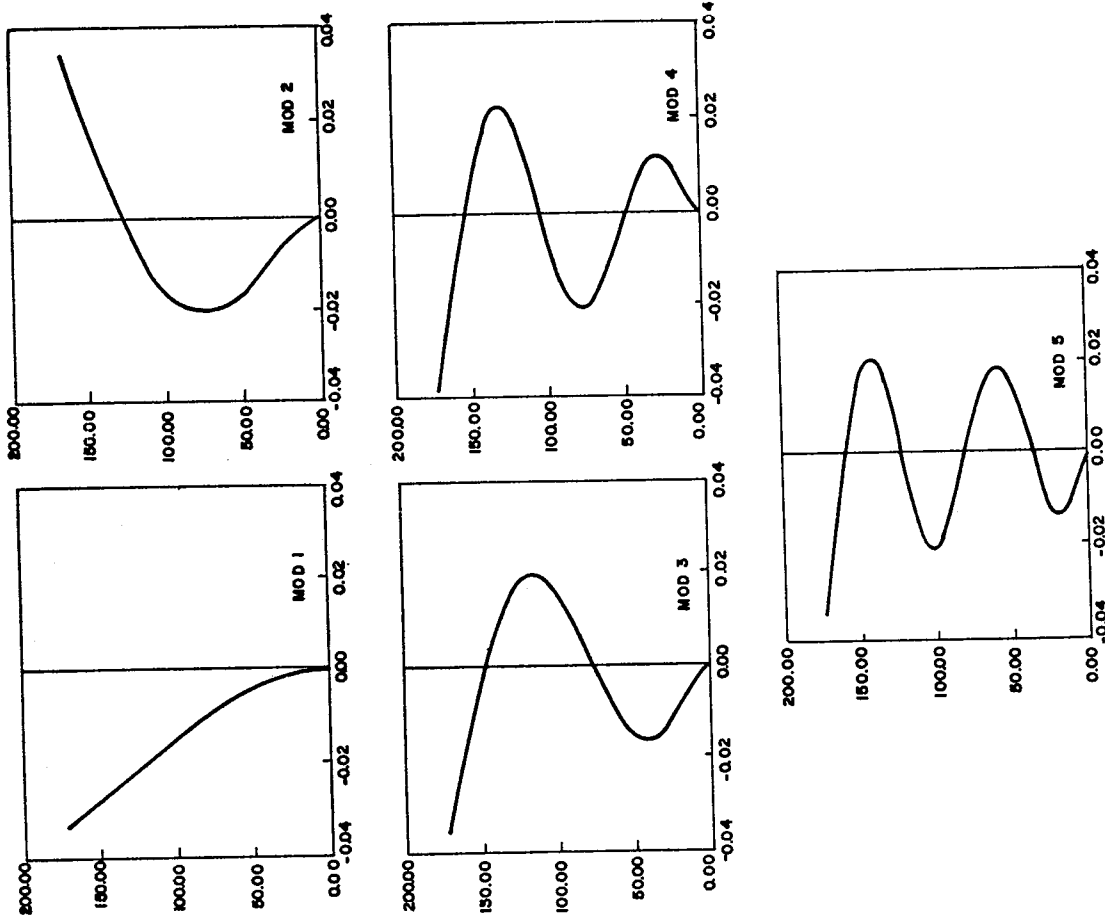




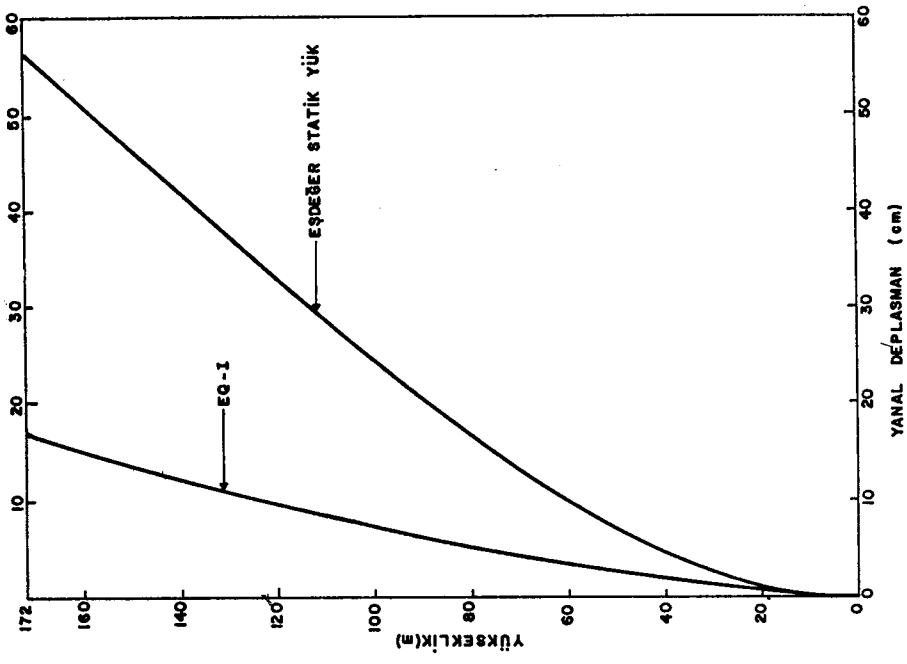
ŞEKİL 6. DİYAFRAM MODELİ



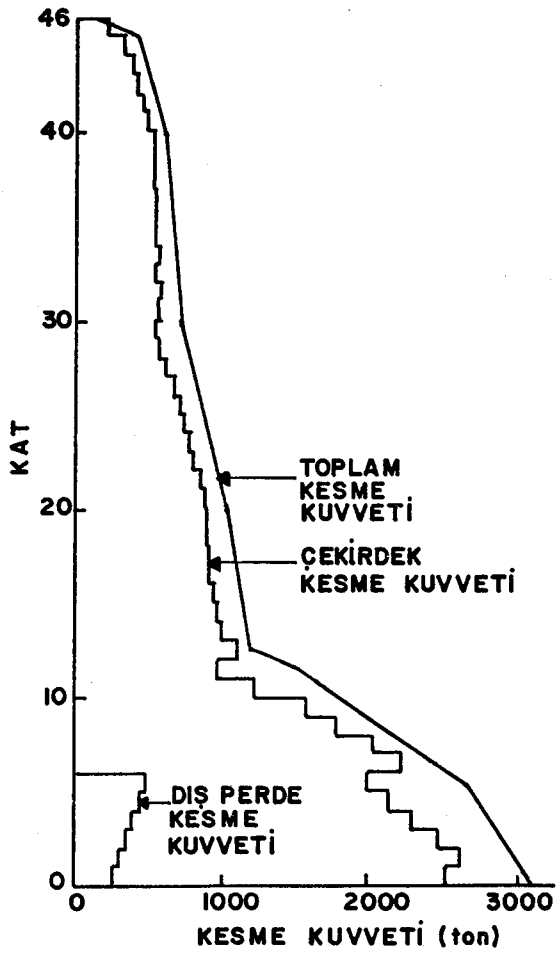
ŞEKİL 5. DEPREM SPECTRUMLARI



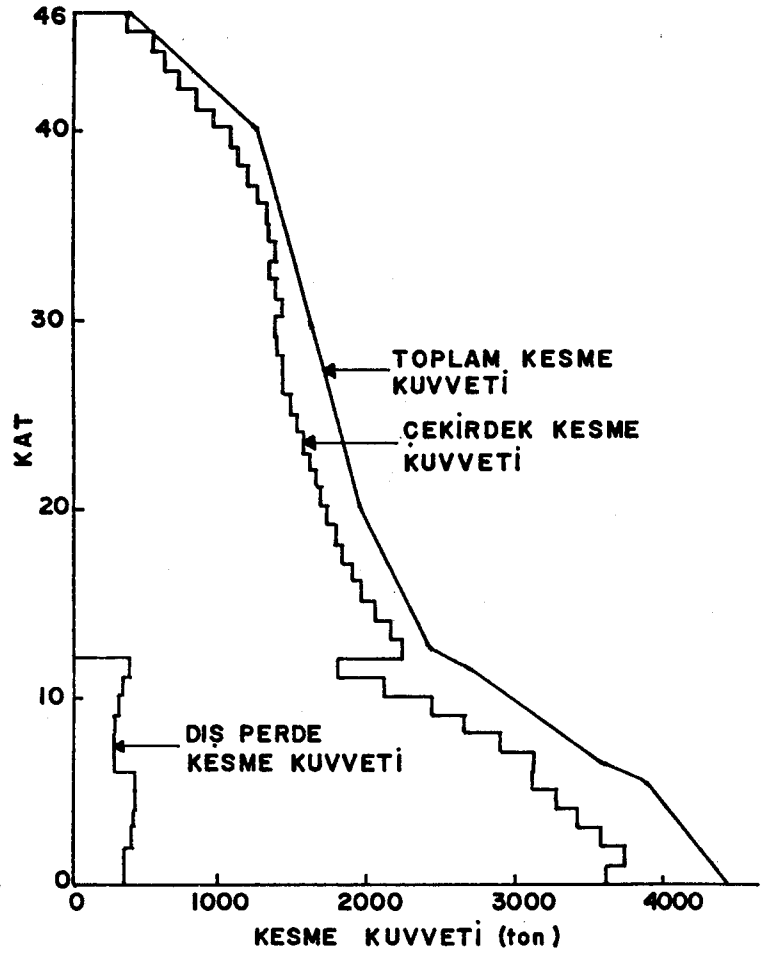
ŞEKİL 7. KISA YÖNDE MOD ŞEKİLLERİ



ŞEKİL 8. KISA YÖNDE YATAY DEPLASMAN DEĞİŞİMLERİ



a) KISA YÖNDE



b) UZUN YÖNDE

ŞEKİL 9. KESME KUVVETLERİNİN KATLARA DAĞILIMI

