

DEPREM ETKİSİNDEKİ YAPILARDA
DİNAMİK YÖNTEMLERLE
ÜÇ BOYUTTA FORM ARAŞTIRMASI

DOKTORA TEZİ

Mehmet Emin TUNA
Aralık 1985

Y. G.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mehmet Emin TUNA tarafından hazırlanan "Deprem Etkisindeki Yapılarda Dinamik Yöntemlerle Üç Boyutta Form Araştırması" konulu bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Hüsnü CAN
Yrd.Doç.Dr.
Danışman

Görevli Sınav Komisyonu

Komisyon Başkanı

Prof.Dr. Hüseyin CELASUN



Üye

Prof.Dr. Hamdi TOPKAYA



Üye

Yrd.Doç.Dr.Hüsnü CAN



SUMMARY

Experiments from the earthquake results show that earthquake resistant structures designs must be begun with architectural projects. While searching the form of structures in three dimension, resistance to earthquake and economy for the structures were taken as a target.

Analysis of earthquake resistance structures carrying systems with dynamic methods had been made by using the program TABS80 (Three Dimensional Analysis of Building Systems) with also using its dynamic options and had been researched suitable solutions for the economy.

In different forms, the relative displacements of column-beam frame systems without any shear wall and the systems with shear wall were compared. In the shear wall systems it's observed that displacements decreases while the number of story increases. In the structures the torsional effects are considered and confirmed that the structures must be made as blocks by using dilatations to reduce the torsional effect.

In this way, it's tried to explain the essence of structure dynamics and the basic philosophy of computer program. Dealing with this, the soil-structure interaction critics which directly effects the structure dynamic, had been explained.

As a result, systematically observed periods and effecting parameters depending on different plan and different story numbers were graphically drawn and determined that in square-form structures, the displacements between the stories decreases if compared with other forms and also determined a relation between the plan and story number, and the soil characteristics.

ÖZET

Depremelerin sonuçlarından elde edilen tecrübeler depreme dayanıklı yapı tasarımının mimari tasarım safhasında başlanması gereğini ortaya çıkarmaktadır. Yapıların üç boyutta formunu araştırırken depreme dayanıklı ve ekonomik olması hedef alınmıştır.

Depreme dayanıklı yapı taşıyıcı sistemlerinin dinamik metodlarla analizi, bilgisayarla TABS80 (Three Dimensional Analysis of Building Systems) programının dinamik opsiyonlar da kullanılarak yapılmış, ekonomi açısından uygun çözümler araştırılmıştır.

Değişik formlarda ve kat adetlerine göre kolon-kiriş perdesiz çerçeve sistemlerle perdeli sistemlerin izafi deplasmanları karşılaştırılmıştır. Perdeli sistemlerde deplasman azalması katlar artıkça hızla azalmakta olduğu gözlenmiş, yapılarda burulma etkisi üzerinde durulmuş burulma etkisini azaltmak için yapıların dilatasyonlarla bloklaştırma gereği teyit edilmiştir.

Bu meyanda yapı dinamiğinin esasları ve bilgisayar programının temel felsefesi açıklanmaya çalışılmıştır. Bununla ilgili olarak yapı dinamiğine doğrudan tesir eden zemin-yapı etkileşim kriterleri açıklanmıştır.

Netice itibarıyla değişik plan ve değişik kat adetlerine bağlı olarak sistematik bir şekilde gözlenen periyot ve etki parametreleri grafikleştirilerek kare formda yapı tasarım halinde katlar arasındaki deplasmanların diğerlerine göre azaldığı saptanmış, plan ve kat adetleri ile zemin özellikleri arasında bir münasebet tesbit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen
Y.Doç.Dr. Hüsnü CAN'a en derin şükranlarımı sunarım.

Mehmet Emin TUNA

İÇİNDEKİLER

Özet	I-II
Teşekkür	III
İçindekiler	IV-VI
Şekil ve Tablo Listesi	VIII-VIII
Semboller	VIII-IX
1.1. Giriş	1
2.1. Titreşim ve ilgili dinamik terimler	8
2.2. Tek serbestlik dereceli serbest titreşim	8
2.3. Tek serbestlik dereceli zorlanmış sönümsüz titreşim	9
2.4. Tek serbestlik dereceli zorlanmış sönümlü titreşim	10
2.5 Çok serbestlik dereceli sistemler	11
3.1. Modların bulunmasında Stodola-Vianelo metodu	13
3.2. Rayleigh metodu	13
3.3. Deprem şartnameleri ile depremin dinamik etkisinin bağlanması	15
3.4. Holzer metodu ile 1. mod periyodların hesaplanması	16
3.5. Deprem spektrumları	16
3.6. Ölçme yoluyla periyod tesbiti	20
4.1. Yapıların burulmaya göre hesabı	21
4.1.1.Eksanstrisitenin tarifi	21
4.1.2.Polar atalet momenti	22
4.1.3.Burulma etkisi	22
4.2. Yapıların yanal burulmalı davranış	23
4.3. Eksantrik yapılarda titreşim denklemleri	24
4.4. Mod analizi	26
5.1. Bilgisayarla peryod tayininde TABS80 metodu	28
5.1.2.Yapısal idealleştirme kabulleri	29
5.1.3.Yapının birimleri	30
5.1.4.Çerçeve rijitlikleri	31
5.1.5.Bütün olarak yapı	40
5.1.6.Statik analiz	43
5.1.7.Düşey yük analizi	44

5.1.8. Yanal yük analizi	44
5.1.9. Dinamik analiz	44
5.1.10.Kütle atalet momenti	45
5.1.11.Dinamik denge denklemleri	47
6.1. Yapı periyodu ve yapı dinamik katsayısı ilişkisi	57
6.2. Periyod hesabı için ampirik formüller	57
6.3. Zemin hakim periyodu	58
6.4. Zemin periyoduna etki eden kriterler	58
7.1. Sistemlerin seçimi	69
7.2. Sistem seçiminde katlar	69
7.3. Sistem seçiminde planda form değişikliği	69
7.4. Formlarda döşemeler	70
7.5. Formlarda kirişler	70
7.6. Formlarda kolonlar	70
8.1. Data ayırımı	96
9.1. Sonuçların tartışılması	98
10.1.Sonuç	104
Literatur	105
Özgeçmiş	107

ŞEKİL VE TABLO LİSTESİ

Şekil-1	Sönümlü serbest titreşim	10
Şekil-2	Sönümlü zorlanmış titreşim	10
Şekil-3	Harmonik frekans oranlarına karşı DYF Maks eğrileri	10
Şekil-4	1940 EL-Centro (N-S) depremi Spektrumları	14
Şekil-5	Kolonlarda deformasyon kuvvet ilişkisi	32
Şekil-6	Kolonlarda deformasyon iç kuvvet ilişkisi	32
Şekil-7	Kirişlerde iç kuvvet deformasyon ilişkisi	33
Şekil-8	Panel de deformasyon iç kuvvet ilişkisi	35
Şekil-9	Panel de deformasyon iç kuvvet ilişkisi	35
Şekil-10	Diyogonal kuşak deformasyon iç kuvvet ilişkisi	36
Şekil-11	Çerçeve referans koordinat sistemi	41
Şekil-12	İvme Diyagramı	53
Şekil-13	A formu kat periyod-etki parametre ilişkisi	73
Şekil-14	B formu kat periyod-etki parametre ilişkisi	73
Şekil-15	C formu kat periyod-etki parametre ilişkisi	74
Şekil-16	D formu kat periyod-etki parametre ilişkisi	74
Şekil-17	E formu kat periyod-etki parametre ilişkisi	75
Şekil-18	F formu kat periyod-etki parametre ilişkisi	75
Şekil-19	G formu kat periyod-etki parametre ilişkisi	76
Şekil-20	H formu kat periyod-etki parametre ilişkisi	76
Şekil-21	I formu kat periyod-etki parametre ilişkisi	77
Şekil-22	J formu kat periyod-etki parametre ilişkisi	77
Şekil-23	K formu kat periyod-etki parametre ilişkisi	78
Şekil-24	Tek katlı yapılarda form etki parametresi diyagram	79
Şekil-25	2 katlı yapılarda form etki parametresi diyagram	79
Şekil-26	3 katlı yapılarda form etki parametresi diyagram	80
Şekil-27	5 katlı yapılarda form etki parametresi diyagram	80
Şekil-28	8 katlı yapılarda form etki parametresi diyagram	81
Şekil-29	10.katlı yapılarda form etki parametresi diyagram	81
Şekil-30	15 katlı yapılarda form etki parametresi diyagram	82
Şekil-31	20 katlı yapılarda form etki parametresi diyagram	82
Şekil-32	Tek katlı yapılarda form peryot ilişkisi	83
Şekil-33	2 katlı yapılarda form peryot ilişkisi	83
Şekil-34	3 katlı yapılarda form peryot ilişkisi	84

Şekil-35	5 katlı yapılarda form periyot ilişkisi	84
Şekil 36	8 katlı yapılarda form periyot ilişkisi	85
Şekil 37	10 katlı yapılarda form periyot ilişkisi	85
Şekil 38	15 katlı yapılarda form periyot ilişkisi	86
Şekil 39	20 katlı yapılarda form periyot ilişkisi	86
Şekil 40	J formu periyot kat ilişkisi	87
Şekil 41	J formu etki kat ilişkisi	87
Şekil 42	K formu periyot kat ilişkisi	88
Şekil 43	K formu etki kat ilişkisi	88
Şekil 44	J,K formu kat periyod ilişkisi	89
Şekil 45	J,K formu etki kat ilişkisi	89
Şekil 46	Tip A kalıp çerçeve planı	90
Şekil 47	Tip B kalıp çerçeve planı	90
Şekil 48	Tip C kalıp çerçeve planı	91
Şekil 49	Tip D kalıp çerçeve planı	91
Şekil 50	Tip E kalıp çerçeve planı	92
Şekil 51	Tip F kalıp çerçeve planı	92
Şekil 52	Tip G kalıp çerçeve planı	93
Şekil 53	Tip H kalıp çerçeve planı	93
Şekil 54	Tip I kalıp çerçeve planı	94
Şekil 55	Tip J kalıp çerçeve planı	94
Şekil 56	Tip K kalıp çerçeve planı	95
Tablo (1)	Form ve katlara göre periyod, etki parametre değerleri	72

SEMBOLLER

m	: Atalet
k	: Yay sabiti
C	: Sönüm sabiti
U	: Deplasman
u'	: Hız vektörü
u''	: İvme vektörü
DYF	: Dinamik yük faktörü
F	: Kuvvet
T	: Yapı periyodu
T_o	: Zemin periyodu
ω	: Açısal frekans
C	: Deprem katsayısı
H	: Yapı yüksekliği
w_i	: Kat ağırlığı
h_i	: Katların temelden yüksekliği
δ_i	: İ inci kat deplasman
t	: zaman
$\emptyset$	: Normal mod
$X_g Y_g$	: Yapı ağırlık merkezi koordinatları
I_x, I_y	: Atalet momentleri
I_p	: Polar atalet momenti
$V_{xi} V_{yi}$	: Kat kesme kuvvetleri
e_x, e_y	: Eksantrisite koordinatları

I_{RM}	: Rijitlik merkezine göre polar atalet momenti
Ψ_i	: Tabii modlar
A	: Eksenel alan
A	: Etkili kesme alanı
E	: Elastikiyet modülü
L	: Eleman ilk boyu
G	: Kayma modülü
N	: Kat adedi
r	: Global deplasmanlar
C	: Sönüm matrisi
k	: Rijitlik matrisi
S	: Yapı dinamik katsayısı
D	: Deprem yönünden yapı genişliği
V_s	: Zemin kayma dalga hızı
g	: Yer çekimi ivmesi
τ	: Kayma gerilmesi
γ	: Birim kayma açısı
G_{max}	: Maksimum kayma modülü
D	: Sönüm oranı
I_p	: Plastisite indisi
e	: Boşluk oranı
I_c	: Kıvam indisi

1.1. GİRİŞ

Bütün yapılarda belirli bir emniyet, yeterli rijitlik altında ekonomik ve amacına en uygun gerçekleştirme çeşitli meslek adamlarından oluşan ekiple sağlanabilir. Ekibi oluşturan mimar, mühendis, şehirci gibi farklı formasyondaki kişilerin çeşitli isteklerine farklı önem ve ağırlık tanımaları gerekir.

Mimarın fonksiyon ve estetiğe mühendisinde emniyet, rijitliğe fazlaca önem vermesi formasyonları gereği normal kabul edilmelidir. Farklı görüşler olumlu işbirliği ile birbirlerini tamamlayarak en elverişli binayı bulmakta yararlı olarak kullanılmaları en önemli sorunlardan birisidir.

Yapı mühendisliğinde yapıyı kullanılamayacak duruma getiren göçme yükünün emniyet katsayısının oranının, işletme yüküne eşit veya ondan daha büyük olması istenir. Kırılma, stabilite yetersizliği, büyük yerdeğiştirme, büyük şekil değiştirme, büyük çatlaklar gibi olayların birine veya birkaçına yapının maruz kalması yeterli bir güvenliğin bulunup bulunmaması lineer olmayan hesap yöntemleriyle tayin edilebilir.

Yapılarda rüzgar ve deprem altında davranışında hafif şiddetteki depremlerden doğan titreşimlerin bina içinde yaşayanlarca hissedilmemesi, orta şiddetteki depremler altında yapıda lineerlik sınırının aşılmaması, büyük şiddetli depremlerde can kaybının olmaması yalnız onarılabilir hasarların bulunması istenir. Bunların sağlanması için yapının yatay yükler altında oldukça rijit bir davranış göstermesi gerekir. Aksi halde büyük yatay yükler altında hızla artan büyük plastik deformasyonların meydana gelmesi gerekir. Bu ise süneklik (düktilite) oranlarının büyük olması demektir.

Yapılar yükseldikçe m² maliyetler yatay yükler sebebi ile alçak yapılara oranla 3-4 kata kadar artmaktadır. Bu sebepten yapıların üç boyutu arasında bir araştırma tezimizin konusu olmuştur.

Depreme dayanıklı yapı felsefesi yapının hafif, orta ve şiddetli depremlerde göstermesi gereken davranışları, hafif depremlerde taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan sistemlerde hiç bir hasar olmamasıdır. Orta şiddetli depremlerde taşıyıcı olmayan sistemlerde kapı, pencere, bölme duvarı gibi yapı elemanlarında önemsiz tamiri mümkün olan hasarlar olabilir.

Şiddetli depremlerde yapının taşıyıcı sistemi önemli tamirler gerektiren hasarlar gösterebilir, taşıyıcı olmayan kısımların tamamen hasar görmesi mümkündür. Ancak yapı yıkmamalı can kaybına sebep olmamalıdır.

Deprem yönetmenlikleri şiddetli depremlerde yapıyı ve eşyayı gözden çıkarmaktadır.

Orta şiddetde bir depremde bir çok binanın taşıyıcı sistemleri önemsiz hasarlar görmüş olabilir. Taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında büyük maddi hasar meydana gelebilir. Yapı maliyetinin topunda taşıyıcı sistemin yüzdesi gittikçe azalmaktadır. Taşıyıcı olmayan yapı elemanları maliyetin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Orta şiddette depremlerde taşıyıcı olmayan kısımların da depremde zarar görmemesini gereği ortadadır. Özellikle su, elektrik, havagazı dağıtım şebekeleri bir çok bakımdan yaşamın devamı için önemli olmaktadır. Enerji üretim tesisleri, nakil tesisleri ekonomik hayatın durmasına yol açabilir. .

Sanayi tesislerinin zarar görmesi üretim araçlarının kaybına ve üretimin durmasına sebep olacaktır. Enerji üretiminin yetersiz olduğu Türkiye'de yurt çapında üretim yapan bir santralin devreden çıkmasının nelere mal olacağı tahminlerden uzak tutulmamalıdır.

Depremden oluşan zarar hasar, taşıyıcı sistemlerin projelendirme ve inşaat sırasında yapılan hata ve kusurlar sonucu olabilmektedir. Mevcut teknoloji ile yönetmenliklere uyulması ve inşai itina gösterilmesi halinde depreme dayanıklı olarak yapılabilirler.

Son yıllarda depremten dolayı yapıların çökmesi ve akılıcı olmayan kent planlamaları nedenleri ile can ve mal kayıpları olmuştur.

Mimarlar ve kent plancıları yapıda hayati emniyetini etkileyen özellikle depreme karşı alınacak taşıyıcı sistem önlemlerini belirleyen tasarım isteklerini göz önüne almamaktadırlar.

Mimari tasarım ve planlama aşamalarında tasarımcılar özellikle mimarlar ve planlamacılar tarafından depreme karşı alınan kararların can emniyeti ve felaketi hafifletmesinde önemi büyüktür.

Yapılarda taşıyıcı sistemin seçimi depreme dayanıklı tasarımda önemli adımlardan birisidir. Mimar ve mühendislerin işbirliğine gerek vardır. Aynı malzeme ve aynı kalite yapıda yapılsa farklı yapı sistemleriyle deprem davranışı farklı olabilmektedir. Depreme dayanıklı tasarımda en uygun taşıyıcı sistemin seçimi çok önem kazanmaktadır.

Optimum depreme dayanıklı yapı sistemi işlevsel, ekonomik ve mimari düşüncelerle belirlenir. Bu seçimde yapı yerinin sismisitesi ve zemin koşulları ile kullanılan yapı malzemesine bağlıdır. Yapıyı hareketsiz bir zemin üzerine inşaa etme gerekliliğine ek olarak yapı yeterli yatay yük taşıma kapasitesine, yüksek deformasyon yeteneğine iyi bir bütünlüğe ve belirli bir yedek güce sahip olmalıdır.

Deprem sırasında dayanıklılık ve sünekliği ile stabilizeyi sağlayıp tüm doğrultulardaki tüm yatay deprem yüklerini zemine aktarabilecek yeterli düşey taşıyıcı elemanları olması gerekir.

Karmaşık şekillerden ve görünüşteki ani değişikliklerden sakınılmalıdır.

Yapı planının olabildiğince basit olması uygun olur. Uygun çözümün dikdörtgen olduğu genel olarak söz edilebilir. Planda düzenli olmayan yapıların dilatasyonlarla bağımsız düzenli bloklara ayrılması uygun olacaktır.

Yatay yükler altında optimum çözüm aranmaktadır. Yatay yüklerin tesiri dinamik etki olarak çözümü gerçekçi yaklaşım olacaktır.

Sistem seçiminden yatay yüklerin taşımak için çerçeve ve sistem kullanılmaktadır. Çok yüksek olmayan yapılarda iyi düzenlenmiş donatı halinde betonarme içinde süneklik oranının büyük olması nedeniyle iç kuvvetleri absorbe etmesi imkanı mevcuttur.

Kat kirişlerinin yükseklikleri sınırlı tutulması, kat kolonlarının büyümesi fonksiyonu bozması faydalı alan kaybı ve özellikle yatay yer değiştirmelerin büyük olması sebepleri ile tam veya yarı ankastre dolu gövdeli veya kafes sistemde düşey perdeler ile çözüme gidilmektedir. Perde sistemlerde süneklik oranı nisbeten küçük olduğundan çoğu kere mimari proje açısındanda perdelerin etrafı çerçeveler ile çevrilerek deprem içinde süneklik özellikleri artırılmaya çalışılmaktadır.

Perdelerin çok büyük rijitlik kazanmaları halinde perde içinde yapılan yarıklar ile süneklik sağlanmaktadır. Çoğu kere yapının asansör, merdiven, tesisat boşlukları çevresinde meydana getirilen çekirdek perdeleri ile yatay yer değiştirmeleri azaltma yoluna gidilmektedir. Bina katları daha da artarsa tüp denilen binanın çevresinde düşey perde kolon kiriş taşıyıcı sistem kullanılmaktadır. Çok daha katlı yapılarda çevre tüpü ile birlikte içeride bazı tüpler ve çekirdekler kullanılmaktadır.

En uzun ve önemli kısım yatay yükler altında dinamik metot veya yarı dinamik metot kullanılsada lineer teoriye göre hesaplamadır. Lineer teoride malzeme lineer elastiktir, yer değiştirmeler hem denge denklemlerinde ve hemde geometrik uygunluk şartlarında küçük alınmaktadır.

Taşıyıcı eleman olan çerçeveler yatay yükler altında yaptığı rölatif kat yer değiştirmeleri aşağıdan yukarıya doğru azalır, perdelerde ise artar. Boşlukla perde tüp çekirdek gibi elemanlarda ise durum ikisi arasında

dır. Döşeme hizalarında elemanlar arasında önemli iç kuvvetler oluşur. Lineer teoride en önemli kabullerden birisi döşemelerin düzlemleri içinde rijitliklerinin sonsuz büyük, düzlemlerine dik rijitliklerinin sonsuz küçük alınmasıdır. Döşemelerin tüp veya perdelere bileşim yerlerinde rijitliklerinin sonsuz küçük kabulüne uymamaktadır. Tüp veya perde birleşim yerlerinde döşemeler yeterince rijitlendirici donatı ile donatılmalıdır.

Lineer veya lineer olmayan sistemler malzemelerin gerilme - (birim uzama) ilişkileri ile aksenel kuvvetlerin varlığı ile ilgili sınıflandırmadır. Kinetik enerji yay, yay kuvveti, potansiyel enerji sönüm kuvveti, dinamik kuvvet ise dışardan etki eden deprem kuvveti rüzgar kuvveti gibi kuvvetler dışardan besleyen besleme enerjisi adı verilir. Enerjiler arasındaki denge titreşimin devamını sağlar. Sisteme etki eden kuvvetlerin matematiksel bağlantısını sağlamak dinamik problemin çözümüne götürür.

Yapılara etki eden dinamik kuvvetler, a)Peryodik ve peryodik olmayan kuvvetler, b)Deterministik ve keyfi kuvvetler olarak tanımlanır. Deprem etkileri keyfi kuvvet olarak yapıya etki ederler.

Münferit ve sürekli sistemler kütlelerin durumu ile ilgili olarak yapılan sınıflandırmadır. Münferit sisteminde kütle belirli sayılı noktalarda toplanır. Çok katlı yapılarda bir kat için kat ağırlığı ile beraber katta birleşen kolonların ağırlıklarının yarısı dahil edilerek hesaplanır. Kirişlerin sonsuz rijit olduğu kolonların deformasyona uğradığı kabul edilerek denklem takımları kurulur. Bu idealize edilmiş çerçevelere kesme çerçevesi denilir.

Esnek çerçeve ile kesme çerçeve arasında ihmal edilebilecek fark vardır. Birçok sistem de sönüm kabiliyeti bilinemiyeceğinden sönüm sabitleri deneylerle tecrübi olarak kabul edilerek alınır. Hesaplarda kolaylık olsun diye sönüm sabiti ihmal edilir.

Yapı dinamiğinde yapıların dinamik zorlamalar deprem, rüzgar tesirleri altında davranışı incelenir. Deprem etkisinin zamana bağlı değişimi, yapının karakteristikleri, ve yapının davranışı bilinmesi gereken hususlar olmaktadır. Genellikle bir kaç saniye içinde değişen kuvvetler önem kazanır.

Yapının karakteristikleri, yapının boyutları malzemesi, zemin durumları olarak belirlenmesi gerekir. Ayrıca yapıda taşıyıcı elemanların konumu önemlidir. Şöyle ki deprem etkisinin yapıda burulma doğurup doğurmayacağıdır. Deprem kuvvetleri yapıda burulmalı deprem titreşimine sebep olabilirler.

Deprem kuvvetleri zamana bağlı kuvvetlerdir. Serbest veya zorlanan sistemlerden kasıt dinamik etki deprem, darbe, patlama, rüzgar gibi tesirlerin etkimesi halinde zorlanan; hiçbir etki olmaması halindeki sistemlere serbest sistem adı verilmektedir.

Genellikle yapıların depreme karşı davranışlarını belirlemek için yapı idealize edilir. Kütlelere ait titreşim denklemleri kurularak çözüm yapılır. Yapının deprem etkisinde davranışının yapıyı elastik limit ötesinde davranışa maruz bırakıp bırakmayacağının incelenmesi önem kazanmaktadır.

Yapılarda işletme yükleri altında lineerlik sınırının pek aşılmaması ve zararlı olabilecek deplasman ve çatlakların meydana gelmemesi istenir. Özellikle yüksek yapılarda yatay yer ve şekil değiştirmelerin sınırlı tutulması bir yanda gevrek dolgu duvarlar kırılmalarını diğer yandan canlıların rahatsız olmalarını önlemek bakımından önem kazanmaktadır. Lineer ve lineer olmayan teorileri birlikte kullanmak gerekiyorsa, uygulamada çok kez teoriler tek tek kullanılmaktadır. Her iki teoride direkt veya endirekt olarak istekleri sağlamaya çalışmaktadır. Yüksek yapılarda dış etkilerin en önemlileri dinamik olan deprem ve rüzgar etkileriyle düşey doğrultuda sünme, sıcaklık rötre değişimleri ve normal kuvvetlerden meydana gelen II.mertebe etkileridir.

Rüzgar ve deprem için uygulanan hesap yöntemleri genellikle üç ana sınıfa ayrılabilir. Bunlardan birinci sınıfa girenler dinamik yöntem adını alan zamana bağlı modların süperpozisyonu metodudur. Zamana bağlı yöntemin özü, bir önceki zaman adımından bilinir.

İç etkilere bağlı olarak bir sonraki zaman adımına ait iç etkileri ard arda tayin etmektir. Malzemenin bünye şartları iç kuvvetleriyle yer değiştirmelere bağlı olarak II.mertebe etkileri hesaba katılabilir. Bu yöntem araştırmalar için kullanılmaktadır.

Modların süperpozisyonu özü ve yapının davranışın, serbestlik derecesi kadar sayıdaki tek serbestlik dereceli sistemlerin davranışının lineer kombinezonu ile tayin etmektir. Burada II.mertebe etkileri ve sönüm kuvvetleri hesaba katılabilirse malzemenin lineer elastik olması zorunludur. Uygulamada bir kaç moda ait maksimum değerlerin sayısal ve geometrik toplamayla doğrudan maksimum değerlerin tayini yoluna gidilmektedir.

İkinci metot yarı dinamik yöntem olup özel haller dışında yeter derecede doğru sonuçlar vermektedir. Bu metotta yapının hakim periyoduna ve sönüm oranına bağlı olarak fiktif statik yatay kuvvetler alınmakta dinamik problemler, statik problemlere dönüştürülmektedir.

Üçüncü metot ise statik metot olup yapının dinamik özelliklerine bağlı olmayan yatay statik kuvvetler kullanılmaktadır. Bu metot artık kullanılmamaktadır. Yapı dinamiği problemleri statik problemlerden farklıdır. Dinamik problemlerde yapıya etki eden yük ve sistemin davranışı zamanın fonksiyonu olmaktadır. Çözümler belirli bir zaman için verilebilir. Dinamik problemlerde sistemdeki kütle dağılışımdan oluşan atalet kuvvetleri sistemin davranışına etki ederler. Dinamik yüklemelerde çeşitli sönüm ve azalan dinamik problemlerde göz önüne alınmalıdır. Atalet ve sönüm kuvvetlerinin ihmal edilebilir ölçekte olmaları dinamik problemleri verilen bir zaman değeri için statik problemine indirger.

Dinamik problemler kütle, yay ve söndürücü olarak isimlendirilen üç ana öğeden oluşurlar. Kütle dinamik etkide kinetik enerjinin depolandığı bir ortamdır. Sistemde dağılımına göre toplu veya sürekli olarak modellenir.

Yay sistemde potansiyel enerjiyi depolayan bir organdır. Sistemin denge konumunda öteye hareketlerini karşı oluşan geriye getirici kuvvetleri temsil eder.

Söndürücüler dinamik sistemlerde iç sürtünmelerden eşdeğer vizkoziteden ve enerji yutucu özelliklerden oluşarak titreşim genliğini azaltıcı yönde etkinlik yaratırlar.

2.1 TİTREŞİM VE İLGİLİ DİNAMİK TERİMLER:

m : Atalet

mü : Atalet kuvveti

k : Yay sabiti

ku : Yay kuvveti

c : Sönüm sabiti

cu' : Sönüm kuvveti

F(t): Deprem kuvveti (Dinamik kuvvetler)

2.2 TEK SERBESTLİK DERECELİ SERBEST TİTREŞİM :

Sisteme etkiyen dış kuvvet $F(t)=0$ olması halinde sistem serbest titreşim halindedir.

Genel titreşim dinamik denklemi :

$$F(t) = mü + cu' + ku$$

$$F(t) = 0$$

Sistem sönümsüz olması

$cu' = 0$ yazılarak

$mü + ku = 0$ denklemi yazılabilir.

$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ olarak yazarsak

Başlangıç deplasmanı u_0 hızı u'_0 ise, denklemin kökleri,

$$u = \frac{u_0}{\omega_n} \sin \omega_n \cdot t + u'_0 \cdot \cos \omega_n \cdot t$$

ω_n açısal hız veya açısal frekansıdır.

Tabii periyod ile açısal hız arasında

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \text{ sn. Tabii frekans ise } f_u = \frac{1}{T_n} \text{ den}$$

$$f_u = \frac{1}{2\pi\sqrt{k/m}} \text{ devir/sn.}$$

2.3 TEK SERBESTLİK DERECELİ ZORLANMIŞ SÖNÜMSÜZ

TİTREŞİM :

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku - F(t) = 0$$

Sönümsüz titreşimde $c\dot{u} = 0$ dır.

$$m\ddot{u} + ku - F(t) = 0 \text{ denklemi}$$

$$u'' + \frac{k}{m} u - \frac{Ft}{m} = 0$$

$$\frac{k}{m} = \omega_n^2 \quad F(t) = F_1 \text{ kuvveti tatbik edilirse.}$$

$$u'' - \omega_n^2 u - \frac{F_1}{m} = 0 \text{ denklemi elde edilir.}$$

Denklemin çözümü

$$u = c_1 \sin(\omega_n t) + c_2 \cos(\omega_n t) + \frac{F_1}{k}$$

$t=0$ anında hız $\dot{u}_0$, deplasman u_0 ise

$$c_1 = 0 \quad c_2 = \frac{-F_1}{k} \quad \omega_n = \frac{2\pi}{T_n}$$

$$u = \frac{F_1}{k} (1 - \cos(\omega_n t)) = \frac{F_1}{k} (1 - \cos(\frac{2\pi}{T_n} t))$$

$$\frac{u_{\text{dinamik}}}{u_{\text{statik}}} = \text{DİNAMİK YÜK FAKTÖRÜ}$$

F_1 statik kuvvetten dolayı birim u deplasmanına k sabiti olarak tariflenirse statik yükten dolayı deplasman $u = \frac{F_1}{k}$ dır.

Dinamik yük faktörü $DYF = 1 - \cos(\frac{2\pi}{T_n} t)$ dir.

$\cos \frac{2\pi}{T_n} t = -1$ için DYF = 2 değerine ulaşır.

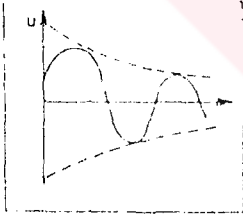
Diğer bir deyişle darbe kuvveti için dinamik etki halinde maximum deplasman statik deplasmanın iki katı kadardır.

2.4 Tek serbestlik dereceli zorlanmış sönümlü titreşimler :

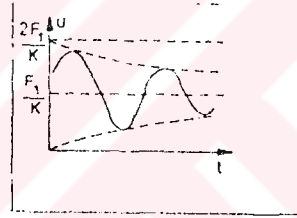
$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku - F(t) = 0$$

Denklemini Dukamel Entegral Denklemini ile elde edilir.

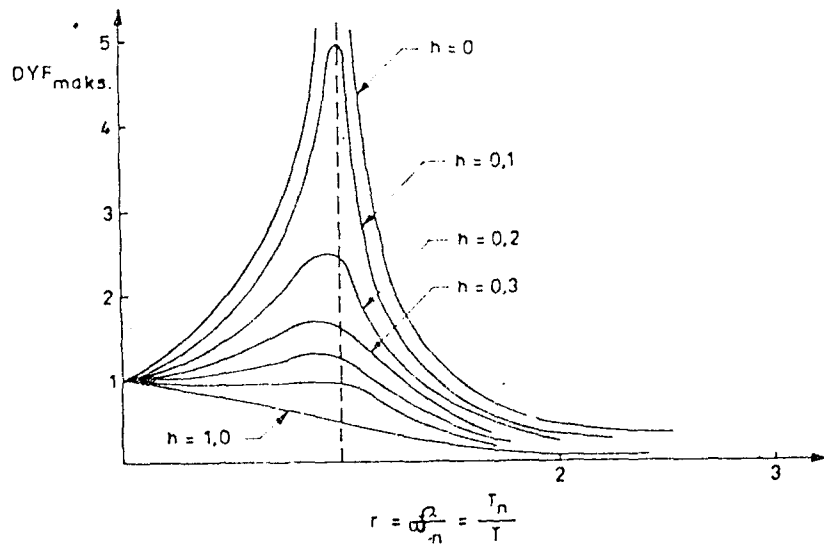
$$u = e^{-at} \left\{ u_0 \cos \omega_s t + \frac{u_0 + a u_0}{\omega_s} \sin \omega_s t \right\} + u_{\text{statik}} \left(\frac{\omega_n^2}{\omega_s^2} \right) \int_0^t f(\tau) e^{-a(t-\tau)} \sin \omega_s (t-\tau) d\tau$$



Şekil I.
Sönümlü serbest titreşim.



Şekil II.
Sönümlü zorlanmış titreşim.



Şekil III Harmonik Frekans Oranlarına Karşı DYF Maks.

2.5 ÇOK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLER :

Bütün yapılar çok serbestlik derecelidir. Yapılarda kütle ve rijitlik bütün yapı üzerinde dağılmıştır. Yapıların dinamik yük altında hareketlerini belirlemek için çok sayıda koordinata veya serbestlik derecesine gerek vardır. Bu tip yapısal sistemleri çok serbestlik dereceli sistemler kısa olarak ÇSD olarak tanımlayabiliriz. Sürekli sistemlerin belirli noktalarında kütlelerin toplanmasıyla gerçekleştirilen idealize edilmiş çok serbestlik dereceli sistemlerle temsili mümkündür. ÇSD modeller yapı davranışının başarı ile temsil edebilmesi sistemdeki fiziksel zorlamalara bağlıdır. Modellemede basitleştirme mühendislik hesaplarını etkilemez ise çözüm kolaylığı getireceğinden yapılabilir. Yapılacak hesapların sıhhati basitleştirmeye bağlıdır.

SONLU ELEMANLAR METODU

Kütleleri her elemanın birkaç noktasında toplamak suretiyle yapılacak sonlu elemanlar metodu ile denklem sayısı çoğaltılacaktır.

Kolonların uzama ve kısalması ihmal edilerek ve kirişlerin sonsuz rijitliği olduğu kabul edilirse her kat için bir SD elde edilecektir.

2.6 Ç.D.S. HAREKET DENKLEMLERİ :

Newton Kanununa göre her kütleye etki eden kuvvetlerin denge denklem takımları yazılarak çözüme gidilir.

Atalet kuvveti+Sönüm kuvveti+Yay kuvvet-Dinamik kuvvet=0

$$F_{Ai} + F_{Si} + F_{Yi} - F_{Di}(t) = 0$$

n adet kütle n SD sistem için

$$F_{A1} + F_{S1} + F_{Y1} = F_{D1}$$

$$F_{A2} + F_{S2} + F_{Y2} = F_{D2}$$

$$F_{An} + F_{Sn} + F_{Yn} = F_{Dn}$$

matris olarak,

$$F_A + F_S + F_Y = F_D(t) \text{ dır.}$$

$F_{Ai} = m_{ij} \cdot \ddot{u}_j$ m_{ij} , i noktasına uygulanan birim ivme için i noktasında meydana gelen kuvvettir.

$$F_{A1} = m_{11} \ddot{u}_1 + m_{12} \ddot{u}_2 + \dots + m_{1n} \ddot{u}_n$$

$$F_{A2} = m_{21} \ddot{u}_1 + m_{22} \ddot{u}_2 + \dots + m_{2n} \ddot{u}_n$$

$$F_{An} = m_{n1} \ddot{u}_1 + m_{n2} \ddot{u}_2 + \dots + m_{nn} \ddot{u}_n$$

$$\{F_A\} = [m] \{\ddot{u}\}$$

Sönüm kuvveti : $F_{Si} = C_{ij} \cdot \dot{u}_j$ sönüm kuvvetinin kütle-
nin hızına orantılı olduğu belirtilmiştir.

$$F_{S1} = c_{11} \dot{u}_1 + c_{12} \dot{u}_2 + \dots + c_{1n} \dot{u}_n$$

$$F_{S2} = c_{21} \dot{u}_1 + c_{22} \dot{u}_2 + \dots + c_{2n} \dot{u}_n$$

$$F_{Sn} = c_{n1} \dot{u}_1 + c_{n2} \dot{u}_2 + \dots + c_{nn} \dot{u}_n$$

$$\{F_S\} = [c] \{\dot{u}\}$$

$$\text{Yay kuvveti } F_{yi} = k_{ij} u_j$$

$$F_{Y1} = k_{11} u_1 + k_{12} u_2 + \dots + k_{1n} u_n$$

$$F_{Y2} = k_{21} u_1 + k_{22} u_2 + \dots + k_{2n} u_n$$

$$F_{Yn} = k_{n1} u_1 + k_{n2} u_2 + \dots + k_{nn} u_n$$

$$\{F_Y\} = [k] \{u\}$$

$|k|$ rijitlik matrisidir. K_{ij} , j noktasına tatbik edilen birim deformasyondan i noktasında meydana gelen kuvvettir.

Titreşim denklemlerinin en genel şekli :

$$|m| \{\ddot{u}\} + |c| \{\dot{u}'\} + |k| \{u\} = \{F(t)\}$$

3.1 MODLARIN BULUNMASINDA :

STODOLA-VIANELLO METODU

Çok serbestlik dereceli sistemler matris metotları kullanılarak elektronik hesaplayıcılarla çözülür. Elektronik hesaplayıcı kullanmadan çözüm yollarından birisi de Stodola - Vianello metodudur. Bu metotla sistemlerin periyotları veya frekansları bulunabilir. Metodun özü matris iterasyonuna dayanmaktadır.

3.2 RAYLEIGH METODU :

Sistemlerin doğal periyodunu veya açısal frekansını bulmak için sistemin maksimum kinetik enerjisini potansiyel enerjisine eşitleyerek bulma metodudur.

Rayleigh önce TSD için bu metodu önermiş 1937 de aynı prensibin ÇSD sine sahip sistemlerde de doğal açısal periyot veya frekansın bulunmasında geçerli olduğunu göstermiştir.

i düğüm noktasında birinci normal moda ait $U_i(t)$ deplasman M_i kitlesi olsun. Yapıda aynı deplasmanı meydana getiren P_i statik kuvvetleri, düğüm noktalarına etkileyen iç kuvvetlere zıt işaretlerle eşit olacağından

$$P_i(t) = -m_i \frac{d^2 u_i(t)}{dt^2} \text{ dır.}$$

Titreşim ise $u_i(t) = \bar{D}_i \sin \omega t$

$$P_i(t) = m_i \omega^2 \bar{D}_i \sin \omega t = \bar{P}_i \sin \omega t \quad \omega \text{ birinci moda ait}$$

açısal frekansı $T = \frac{2\pi}{\omega}$ birinci moda ait doğal periyodu göstermektedir. Kinetik enerjideki değişme $1/2$

$\sum m_i \cdot \dot{u}^2 \cdot (D_i)^2$ dış kuvvetlerin yaptığı iş $1/2 \sum \bar{P}_i \cdot \bar{D}_i$ eşit olacağından,

$$\omega^2 = \frac{\sum_i \bar{P}_i \bar{D}_i}{\sum_i m_i D_i} \quad \text{den } \omega \text{ ve } T = \frac{2\pi}{\omega}$$

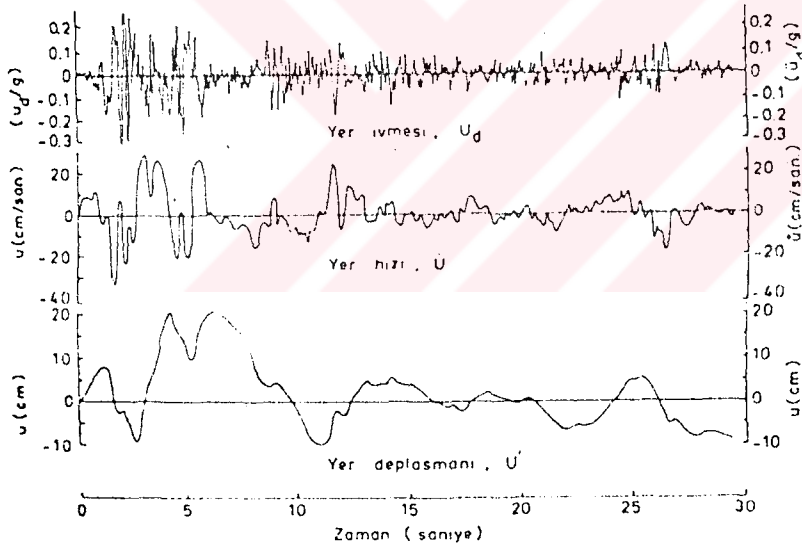
T özel periyot bulunur.

Birinci moda ait P_i kuvvetleri tahmin edilerek D_i deplasmanları bulunur. Ardışık yaklaşım hesap metodu ile P_i ve D_i bulunduktan sonra m_i elde edilir.

P_i i inci kat uygulanan yatay kuvvet

m_i " " kütlesi

D_i " " deplasmanı



Şekil IV.1940 EL Centro (N-S) Aselerografi ve Yer Hız ve Deplesman

Titreşim esnasında kinetik enerjideki değişimin deformasyon enerjisine eşit olduğundan faydalanarak, lineer elastik malzemeden yapılmış bir yapının doğal periyodu ya da frekansını tayinini göstermişlerdir. Sönüm etkisi emniyetli tarafta olduğundan ihmal edilmiştir.

Bu metotla çerçeveler ile kütle merkezi rijitlik merkezine yakın olan yapılardan perde çerçeve karışık yapılarda uygulanacak basit şekile getirilmiştir.

3.3. DEPREM ŞARTNAMESLERİ İLE DEPREMİN DİNAMİK ETKİSİNİN BAĞLANMASI

Tahripkar depremlere ait istatistik bilgilere göre pekaz yapı plastik deformasyon yapmadan dayanabilir. yapıyı elastik dayanacak şekilde boyutlandırmak ekonomik değildir. Zemin hareketinin gayri muntazam ve belirsiz karakterlerinden ötürü depreme karşı yapıların davranışlarının kesin çözümünün pratikte pek mümkün olmayacağı görülmektedir. Yönetmenlikler deprem kuvvetlerinin dinamik dağılımını yaklaşık olarak belirledikten sonra geri kalan hesapların statik yöntemlerle yapılmasını kabul etmektedir.

Yaklaşık çözüm inşai tertip ve düğüm nokta detaylarının depreme karşı emniyeti dayanabilecek tarzda gerçekleştirilmeyi sağlayacak hükümlere uyulması ve ağırlık verilmesi en uygun tutum olacaktır.

Deprem etkisinin yapıya vereceği tesirlerinin bulunmasında mukabele spektrumlarının kullanılması pratik yaklaşım olmaktadır.

$$F_{\max} = \frac{8 \cdot w \cdot H}{\pi^2 \cdot g} \sum_{i=1,3,5} \frac{A_i}{i^2} \cos \frac{i\pi\xi}{2H} \quad (1)$$

Yapının değişik titreşim modlarında T_i periyodlarına tekabül eden A_i değerlerini verilmiş bir ivme spektrumundan alarak mukabil mutlak max kayma kuvveti yukardaki formülle verilmektedir.

1. Modu gözönüne alırsak $A=C.g.$ (max ivme) C .Şartname ivme katsayısı, max kesme kuvveti $F_{\max} = C \cdot w \cdot H = C \cdot w \cdot (\omega \text{ toplam ağırlık})$ i ninci kata tesir F_i , Δx kat yüksekliği

$$F_i = \frac{dF}{dx} \Delta x = F_{\max} \frac{w \cdot \Delta x}{\int_0^H H_w \cdot \xi \cdot \Delta x}$$

$w \cdot \Delta x = w_i$ (i inci kat ağırlığı) $\xi = h_i$ (i inci katın temelden yüksekliği)

$$F_i = F_{\max} \frac{w_i h_i}{\sum w_i h_i} \quad \text{Şartname formülü bulunmaktadır.}$$

3.4 Holzer Metodu ile 1.mod periyotları ve şekillerinin hesaplanması :

Bu yöntemde belirli bir mod şekli seçilerek modun titreşim frekansı tahmin edilerek frekansın ve mod şeklinin sınır şartlarına uygunluğu kontrol edilir. Mesnetteki öteleme sıfır ise seçilen mod şekli ve frekans birbirine uygun demektir.

δ_i i inci kat deplasmanı.

$$\delta_i = \left(\sum_{i=2}^n u_i \cdot m_i \cdot \omega^2 \right) \frac{1}{K_i} \quad \text{olarak verilmektedir. (2)}$$

seçilen ω^2 doğru ise,

$u_0 = u - \delta_1 = 0$ olması zeminde deplasmanın sıfır olması gerekir.

Deneme yoluyla ω^2 bulunur.

$$F_i = m_i \cdot u_i \cdot \omega^2$$

Yatay kuvvetler hesaplanır.

3.5 DEPREM SPEKTRUMLARI :

Deplasman, hız, ivme, DYF nün sistemin tabii periyoduna veya frekansına göre çizilen grafiklere spektrum denir. Deprem etkileri keyfi olduklarından spektrumları da bir fonksiyonun ifadesi olarak yazılamaz. Deprem spektrumları deprem hakkında bilgi verirler. Sönüm deprem problemlerinin en önemli parametresini teşkil ederler. Sönüm deprem sonunda meydana dinamik stres ve deformasyonların azaltma etkisine sahip olduğundan çeşitli

tip yapıların her birinde ne kadar sönümün mevcut olduğu ilginç bir konudur.

Spektrumlar, depremlerden elde edilen kayıtların mühendislikle ilgili önemli özelliklerini karakterize ederler. Sönüm deprem probleminin en önemli parametresini teşkil eder. Sönümde meydana gelen küçük değişiklikler özellikle toplam sönüm küçük olduğunda, mukabele eğri piklerinde büyük değişiklikler yaratır.

Spektrumlarda sönümün kontrol edilmesi gereklidir. Deprem problemlerini bütün olarak detaylı çözmek için derinlemesine araştırmalara ihtiyaç vardır.

Spektrumların pek çoğu tipik modellerine yaklaşık olarak uygunluk gösterirler. Depremlerin meydana geldiği yerin, spektrumun şeklini önemli ölçüde etkilediğine dair herhangi bir araştırma yapılmamıştır.

Spektrumlar zemin hareketlerine ait yüzey şiddetlerinin miktarında tayin için elverişli bir metodun gelişmesini sağlamışlardır. Deprem şiddetinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Spektrumlar ayrıca yapıların mukabelesine göre depremlerin karakterize edilmesini sağlarlar.

Deprem etkisindeki çeşitli tipteki yapıların nasıl davranacaklarını spektrum ile bulmak mümkün olmaktadır. Deprem sırasında yapının bulunduğu zemin değişken ivmeye maruz kalır ve yapı içinde dinamik gerilmeler meydana gelir. Kuvvetli depremlerin tahrip edici etkiler, özellikle dinamik gerilmelere dayanaklı olacak şekilde inşa edilmemiş yapılarda, depreme dayanıklı hesaplama metodlarının önemi meydandadır. Yapıların depreme karşı mukabelesinde esas olan titreşim problemidir. Titreşim problemine etkin parametreler kütle, rijidlik derecesi, yapının sönümü ve yapı temel zeminin doğal özellikleri olması mümkün muhtemel depremlerin şiddetleri ve karakterleri hakkında bilgili olmak mümkün değildir. Ancak muhtemel depremlerin geçmişteki depremlerle yaklaşık olarak aynı özelliklere sahip olacağı düşünülürse geçmişteki depremlerin karakteristiklerini, ve depreme maruz kalmış yapıların dinamik davranışlarını araştırmak ye-

rinde olacaktır. Yapılar çok serbestlik derecesine sahip elastik ve sönümlü bir sistem olarak düşünülürse, tabanına geçici, düzensiz bir kuvvet etkidiğinde mukabelesini araştırmak spektrum analizi için esastır.

y, herhangi bir noktanın deplasmanı (yer değiştirmesi) titreşimin normal modlarının toplamı ile ifade edilir.

$$y = \sum C_i \phi_i e^{-n_i} P_i t \sin p_i t$$

C_i : Katsayı

ϕ_i : Normal mod

P_i : i inci mod titreşiminin frekansının 2π katı

n_i : i inci durumdaki sönmenin kritik sönmeye göre oranı

t : zaman

t=0 başlangıçta deplasman sıfır ise yapının her noktasında hız V_0

C_i katsayısı olan Fourier serisi şeklinde ifade eder

$$C_i = \frac{V_0}{P_i} \frac{\int \phi_i p}{\int \phi_i^2 p} \frac{V_0}{p} \omega_i$$

buna göre serbest titreşim

$$y = \sum \frac{V_0}{P_i} \omega_i \phi_i e^{-n_i} \sin p_i t$$

Eğer yapının tabanı değişken bir ivmeye maruz kalırsa t anındaki deplasman

$$y = \sum \frac{\omega_i}{P_i} \phi_i \int_0^t a \cdot e^{-h_i p_i (t-\tau)} \sin p_i (t-\tau) d\tau$$

$$y = \sum \frac{\omega_i}{P_i} \phi_i X_i$$

$$X_i = \int_0^t \alpha e^{-h_i P_i (t-\tau)} \sin P_i (t-\tau) d\tau$$

Burada $\frac{i}{P_i}$ yapının fiziksel özelliklerinin bir fonksiyonu olduğunu belirtmek gerekir. Bu özellikler ise kütle boyutlar ve rijitlik derecesidir.

ϕ_i faktörü uzay koordinatların bir fonksiyonudur.

X_i ise depremin fonksiyonu yerin ivmesidir.

X sade yer ivmesinin fonksiyonu değildir n_i nin sönme oranı P_i ve t nin fonksiyonudur. 0,1-3 Sn arasında titreşim periyodları ve sönme oranının çeşitli değerleri kullanılarak hesaplar yapılmaktadır.

Her periyot için bir maksimum X değeri bulunur. X in bu değerleri, koordinatlardan biri periyod olmak üzere grafiğe geçirilip düz çizgilerle birleştirilirse depremin zemin ivmesine ait hız spektrumu elde edilir. X in maksimum değerleri koordinatlardan, biri periyod olmak üzere grafiğe geçirilirse depremin zemin ivmesine ait ivme spektrumu elde edilir.

Spektrumlar depremin zemin ivmelerinin etkisi altında olan basit bir osilatörün karşı davranışını izah ederler. Spektrumların esas önemi, depremleri yapılar üzerindeki etkilerini gözönüne alarak karakterize etmelerindendir. Pek çok depremin spektrumları aynı kalıp içinde meydana gelmektedir. El centro depremi en tipik olanıdır.

Spektrumların gerçek karakterlerini ortaya çıkarmak için istasyondan daha fazla kayıt almak gerekir ve zeminin kendine özgü titreşim frekansları ile deprem arasında çıkıntılar ayrıntılı olarak belirlenir. Spektrum üzerinde bu çıkıntıları hakim zemin periyodu olarak isimlendirirler.

3.6. ÖLÇME YOLUYLA PERİYOD TESBİTİ:

Yapı sistemlerinin periyodları deneysel metodlarla tesbit edilebilmektedir. Önemli olan yapının periyodunun proje safhasında hesaplanabilmesidir. Ancak, deneysel metodlarla periyodlarının tesbiti daha sonraki projelendirilmeler için önemli olmaktadır. Yapı periyodunun tayininde en önemli alet vibrasyon jenaratörüdür.

Vibrasyon jenaratörü eksantrik iki kütleli belirli frekanslarla ters yönlerde bir motor vasıtasıyla döndürerek periyodu tayin edilecek yapıda bir yönde salınım verilerek periyot tayin edilmesini sağlar.

Yapı periyoduna yaklaştıkça yapının mukabelesi fazlalır ve yapıda rezonans olayı meydana gelir. İvme ölçerleri ile rezonans olayı değerlerinden elde edilen eğride maksimum ivmeye tekabül eden frekans yapının bir titreşim moduna tekabül eden frekansına aittir. Vibrasyon jenaratörünün frekansının değiştirilmesiyle değişik modlara ait frekanslar bulunur. En küçük frekansa tekabül eden periyod yapının birinci titreşim moduna tekabül eden özel periyod olacaktır.

Sismik bakımdan aktif bölgelerin akselerograflarla incelenmesi günün teknolojisinin gereğidir. Büyük hasarlara sebep olan depremler yüzünden yeni araştırmalara yönelinmesi gereği hasıl olmuştur. Deprem mühendisleri ve sismologların deprem üzerinde arazi çalışmaları yapmaları gereklidir. Arazi çalışmaları depremden hasar görmüş yapılar üzerinde olduğu gibi hasar görmemiş yapılarda da inceleme yapmayı önemli kılmıştır. Bu incelemeler her bölgede tam olarak tesbit edilememesinden dolayı tatminkar olmayabilir.

Aletsel sismolojinin yüz yıllık bir geçmişi olmasına rağmen şimdiye kadar büyük bir depremin merkezinde herhangi bir ivme kaydetme mümkün olmamıştır. Zemin ivmesinin en büyük değeri magnitudü 7 olan 18 Mayıs 1940 tarihinde El Centro depreminde episantrdan 30 mil uzakta kaydedilmiştir.

4.1. YAPILARIN BURULMAYA GÖRE HESABI:

Deprem yönetmenliğinin 1975 değişikliği ile binalar her iki doğrultuda herhangi bir katın kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasında hesaplanarak bulunan eksantrikliği, yatay yük doğrultusuna dik doğrultudaki en büyük bina boyutunun % 5i eklenerek bulunacak burulma momentlerine göre irdelenmesi şart koşulmaktadır. Simetrik binalarda dahi % 5 lik bir eksantriklik kabul edilmesi gerekmektedir. Eksantriklik kolonların simetrik yerleştirilmemesi ve kolon atalet momentlerinin simetriyi bozan değerlere ulaşmasındada yapı burulma tesirine maruz kalır.

Kolon başlarında mafsalların aynı anda teşekkül etmemesi deprem etkisinin yayılışının gayrisimetrik olmasından burulma momenti meydana gelir. Kütle ve rijitlikleri simetrik binalarda deprem anında eksantriklik oluşabilir. İşte bu nedenle ilave % 5 eksantriklik yönetmenliğe konulmuş bulunmaktadır.

4.1.1. EKSANTRİSİTENİN TARİFİ

Kolon ve perdelerin tüm rijitliklerine ait rijitlik merkezi ile toplam kütlenin plandaki ağırlık merkezi arasındaki mesafeye "eksantrisite" denir. Kütlenin plandaki ağırlık merkezini bulmak için kolon ve perde yükleri belirlenmiş olacağından herhangi bir eksen takımına göre X_G , Y_G koordinatlarını bulmak için,

$$X_G = \frac{\sum X_i \cdot N_i}{\sum N_i} \quad (i = 1, \dots, n)$$

$$Y_G = \frac{\sum Y_i \cdot N_i}{\sum N_i} \quad (i = 1, \dots, n)$$

Formülleri ile hesaplanır. N_i i, inci kolonun kat-tan gelen sabit normal yükü, X_i , Y_i i inci kolon ağırlık merkezinin koordinatları, n kattaki kolon sayısıdır.

Rijitlik merkezinin X_G' , Y_G' koordinatları ağırlık

merkezinine benzer şekilde aşığıdaki denklemler ile çözü-
lür.

$$X_G' = \frac{\sum X \cdot I_X}{\sum I_X} \quad Y_G' = \frac{\sum Y \cdot I_Y}{\sum I_Y} \quad \text{hesaplanır.}$$

$$e_x = X_G' - X_G \quad e_y = Y_G' - Y_G$$

4.1.2. POLAR ATALET MOMENTİ

Kolon ve perdelerin eksenlere göre atalet momenti yerine bir noktaya göre ataletine polar atalet momenti denir. Polar atalet momenti alınan noktaya olan uzaklıkların karesi ile eksenlerine göre ataletinin çarpımlarının toplamına eşittir.

I_p = Polar atalet momenti

$$I_p = \sum x^2 \cdot I_x + \sum y^2 \cdot I_y$$

x, y kolon ağırlık merkezinin kat rijitlik merkezine göre koordinatlarıdır.

4.1.3. BURULMA ETKİSİ

Depremi meydana getirdiğı x doğrultusunda kat kesme kuvvetini V_x olarak gösterir ve bu kesme kuvvetinin etkidiğı doğrultuya dik doğrultu üzerindeki eksantrisi-
tete e_y denilirse kat burulma momenti

$$T_x = V_x \cdot e_y$$

Bu burulma momentinin herhangi bir kolonda meydana getireceğı ilave kesme kuvveti burulma gerilmesi formülüne benzer şekilde

$$F_x = -T_x \cdot y \cdot \frac{I_y}{I_p} \quad \text{olarak hesaplanır.}$$

Bir kolona gelen toplam kesme kuvveti

$$F_x = \frac{I_y}{\sum I_y} \cdot V_x \cdot e_y \cdot y \cdot \frac{I_y}{I_p} \cdot V_x$$

$$F_x = \frac{I_y}{\sum I_y} \cdot (1 - e_{y,y} \frac{\sum I_y}{I_p}) V_x$$

Aynı düşünce ile Y doğrultusunda kesme kuvveti

$$F_y = \frac{I_x}{\sum I_x} \cdot (1 - e_{x,x} \frac{x \cdot \sum I_x}{I_p}) V_y$$

x, y işaretleri ile formüle konulmalı kesme kuvvetini azaltan tesir ihmal edilmelidir.

4.2. YAPILARIN YANAL BURULMALI DAVRANIŞI:

Deprem etkisinin yapıya homojen bir kuvvet dağılımı ile etki etmemesi ve yapının kütle merkezi ile rijitlik merkezinin çakışmaması sebepleriyle yapının titreşimlerine ilave burulmalı titreşim yapması tabidir.

Yatay deprem yüklerinin kütle merkezine tatbiki ile rijitlik merkezi etrafında meydana gelecek burulma momentinde doğacak ilave kolon yüklerini göz önüne alarak kolon giriş dizaynının hatalı olduğu araştırmacılarca kabul edilmektedir.

Yapılarda burulmalı titreşimlere

a) Yapıların rijitlik ve kütle merkezlerinin eksantrik oluşu, çakışmayışı

b) Depremi belli bir hızla yayılma özelliğinden dolayı her bir kolon temelini tamamen senkronize zemin hareketlerine maruz kalmaması

c) Doğrusal olmayan yapılarda her bir kolonda senkronize rijitlik değişmesi olmaması,

Sebeptir. Tamamen simetrik olan yapılarda bile temelinde her bir kolon için tamamen senkronize deprem hareketlerine maruz bir yapının varlığı düşünülemez.

Her yapıda yanal deformasyonlara ilaveten bir miktar burulmalı hareket olacaktır.

Deprem yönetmeliği bu hususu değerlendirmiş simetrik olan yapılara bile yüzde beş minimum bir eksantrisite ilavesini gözönüne almıştır.

Yapılarda deprem sonrası hasar incelemelerinde burulma titreşimlerinin meydana getirdiği hasarlara rastlanmaktadır.

4.3. EKSANTRİK YAPILARDA TİTREŞİM DENKLEMLERİ:

Yanal bir kuvvetin yapıda hiçbir burulma yaratmadan yapıya tatbik edebilmesi için gerekli noktaya rijitlik merkezi denir. Her hangi bir yanal deformasyon uygulandığında kolonlarda doğacak kuvvetlerin rijitlik merkezi etrafındaki momentlerin toplamı sıfır olmalıdır.

Δ yanal deformasyonundan ötürü i kolonunda meydana gelen kuvvet $F_{xi} = k_{xi} \cdot \Delta$ k_{xi} : inci kolonda x doğrultusunda yay sabiti, bu kuvvetlerin kitle merkezi etrafındaki momentlerinin toplamı bütün kuvvetlerin rijitlik merkezinden geçen bileşkesinin kitle merkezi etrafından yaratacağı momente eşit olmalıdır.

$$\sum F_{xi} d_{yi} = e_y \cdot \sum F_{xi} \quad \sum k_{yi} \Delta \cdot d_{yi} = e_y \sum k_{xi} \Delta$$

$$e_y = \frac{\sum k_{xi} \cdot d_{yi}}{\sum k_{xi}}$$

Rijitlik merkezi etrafında θ mertebesinde bir burulma uyguladığımızda bu burulmadan dolayı x yönünde (i) kolonunda $\theta d_{yi} k_{xi}$ kuvveti, y yönündeki (j) kolunda ise $\theta d_{xi} k_{yi}$ kuvveti doğacaktır. Bu kuvvetlerin rijitlik merkezi etrafında momentleri, sistemin toplam burulma rijitesi K_θ ile θ dönmesinin çarpımına eşittir. O halde burulma rijiditesi

$$K_\theta \cdot \theta = \sum \theta d_{yi}^2 \cdot k_{xi} + \sum \theta d_{xj}^2 \cdot k_{yj}$$

$$K_\theta = \sum d_{yi}^2 + \sum d_{xj}^2 \cdot k_{yi} \text{ olarak}$$

İki serbestlik dereceli sisteme $\ddot{u}_x$ yer ivmesinin etki ettiği ve yer hareketinde herhangi bir rotasyonun olmadığını farz edersek, x eksenini doğrultusunda kolon kuvvetlerinin toplamı D'Alembert kuvvetine eşittir.

$$m(x + e_y \cdot \theta) + (x - x_G) k_x = 0$$

Bu kuvvetlerin rijitlik merkezi etrafındaki momentlerinin toplamı D'Alembert momentine eşittir.

$$I_{RM} \cdot \ddot{\theta} + m \cdot e_y \cdot x + \theta \cdot k_\theta = 0 \text{ denklemi çıkarılır.}$$

m : Sistem Kütlesi

I_{RM} : rijitlik merkezine göre polar atalet momenti
x ve θ iki serbestlik derecesine sahip sistemler için denklem takımı kurulmakla beraber n katlı yapıların yanal ve burulmalı modlarının gözönüne alınmasıyla yapılacak genel formüller çıkarılabilir.

k_x genelleştirilmiş kitlenin yanal rijiditesi,
 k_θ genelleştirilmiş kitlenin bağlantısız moda ait burulma rijiditesi olarak alınır

$$\ddot{u}_x + \left(\frac{e_y}{r_{RM}} \right) \ddot{u}_\theta + \omega_x^2 \cdot u_x = -x_g''$$

$$\ddot{u}_\theta + \left(\frac{e_y}{r_{RM}} \right) \ddot{u}_x + \omega_\theta^2 \cdot u_\theta = -\left(\frac{e_y}{r_{RM}} \right) x_G'' \text{ denklemler elde}$$

edilir.

$u_x = x - x_G$ sistem rijitlik merkezinin x eksenini yönünde yanal ötelemesini

$$u_\theta = \theta \cdot r_{RM}$$

Rijitlik merkezi etrafındaki θ burulmasının aynı merkeze ait dönme yarıçapına " u_{RM} " eşit bir mesafede kitle merkezinde meydana getireceği deformasyonu bu formülle elde ediyoruz.

$e_y = 0$ olduğu zaman

ω_x doğal burulmalı açısal frekans

ω titreşim frekansı

$$\omega_x = 2\pi f_x = \sqrt{\frac{K_x}{m}}$$

$$\omega_\theta = 2\pi f_\theta = \sqrt{\frac{K_\theta}{I_{RM}}}$$

Genel matris denklemleri sönüm terimlerinin ilavesi ile

$$[M]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}'\} + [k]\{u\} = \{F\} \quad x_g''(t)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & e_y/r_{RM} \\ e_y/r_{RM} & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_x'' \\ u_\theta'' \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 2\xi_x \omega_x & 0 \\ 0 & 2\xi_\theta \omega_\theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_y' \\ u_\theta' \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_x^2 & 0 \\ 0 & \omega_\theta^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_x \\ u_\theta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ -e_y/r_{RM} \end{bmatrix} x_g''(t)$$

denklemleri çıkarılır.

4.4. MOD ANALİZİ:

Titeşim denklemlerinin çözümü standard model analiz yöntemiyle yapılabilir. ω_1, ω_2 doğal açısal frekans ve ϕ_1, ϕ_2 doğal mod şekli elde edilmektedir.

Sistemin deformasyonları ϕ_1, ϕ_2 ω_1, ω_2 ye bağlı olarak

$$U = -\sum_{i=1}^n c_i \{\phi_i\} P.S.V_i(t)$$

denklemleri bulunmaktadır.

i mod numarasını P.S $V_i(t)$ ise hız cinsinden gösterilmektedir.

C_i değeri $C_i = \frac{\{\phi_i\}^T \cdot \{F\}}{\omega_i \{\phi_i\}^T \cdot [M] \cdot \{\phi_i\}}$ olarak verilmektedir.

Modal analiz sonucunda elde edilen bağlantılı tabii frekansların yanal tabii frekansa oranı;

$$(f_{12}/f_x)^2 = (\omega_{12}/\omega_x)^2 \frac{1 + (\omega_\theta/\omega_x)^2 + \sqrt{1 - (\omega_\theta/\omega_x)^2} \cdot 2 + (\omega_\theta/\omega_x)^2 (e_Y/r_{RM})^2}{2 |1 - (e_Y/r_{RM})^2|}$$

denklemleri ile tariflenmektedir.

Tabii modlar aşağıdaki formülleri ile verilmektedir.

$$\psi_1 = \frac{1 - (\omega_1/\omega_x)^2}{(e_Y/r_{RM})^2 (\omega_1/\omega_x)^2}$$

$$\psi_2 = \frac{1 - (\omega_x/\omega_x)^2}{(e_Y/r_{RM})^2 (\omega_2/\omega_x)^2}$$

5.1. BİLGİSAYARLARLA PERİYOT TAYİNİNDE TABS 80 METODU:

Yapıların lineer hesapları konusunda birçok iki boyutlu veya üç boyutlu analiz programı mevcuttur. Bunlardan bazıları sadece statik analiz yapar bırakır. Bazıları için o kadar çok data vermek icapeder ki kullanıcıyı bezdirir veya bazen bir yapının datasını doğru doldurmak onu elle çözmekten daha zor olduğundan, çözümünden vazgeçirir.

Birçok programlar, analiz açısından bakıldığında, bir binanın yapılar içinde özel bir sınıfa dahil bulunduğunu dikkate almazlar. Meselâ aşağıda sıralanmış olan hususları dikkate almamak, gerek işgücü açısından gerekse komputer zamanı açısından ve en önemlisi en doğru davranışa ulaşmamak gibi mahzurlar getirir.

1) Çoğu binalar yatay kirişleri ve düşey kolonları ile basit bir geometriye sahiptir. Bu yüzden dikdörtgen çizgilerle böyle bir geometri kolayca tarif edilir.

2) Yapıda birçok çerçeve ve perde birbirinin aynıdır. Hepsini tek-tek tekrar tarif etmek yorucudur ve hata yapma ihtimalini artırır.

3) Yapıda birçok kiriş, kolon, perde ebadı sabittir veya her bir elemanın farklı bir kesit karakteristiği yoktur. Umumiyetle belli bir kesiti birçok elemanlar aynen kullanır. Bu durumda her bir elemanın kesit özelliklerini tarif ederken aynı kesit değerlerini birçok kere data olarak vermek veya hesaplatmak işlemleri uzatır.

4) Bir yapıda yükler de her bir eleman için her zaman bu sık sık değişmeyen özelliği kullanılarak mükerreren ankastrelik momentleri ve kesme kuvvetlerini hesap etmek komputer zamanı açısından, bunun datasını vermekte kullanıcıyı yormaktadır.

5) Çoğu yapılarda döşemelerin kendi düzlemlerindeki rijitlikleri çok önemlidir. Gerçeği ihmal etmek, çözümü gerçek davranışa göre saptırabilir.

6) Birçok yapılarda elemanlardan birinin boyutu diğerine nazaran çok farkeder. Bu yüzden eleman rijitliklerinde düzeltmeler yapılmaktadır. Çoğu genel maksatlı program bu gerçeği ihmal ederek merkez aksı boyutlarını esas alır ve bu düzeltmeleri yapmazlar.

7) Yapıların dinamik analizinde, bina kütlelerinin döşemelerde yoğunlaştığı haklı olarak kabul edilebilir. Bu yaklaşım özel değer problemlerinin boyutunu küçültür ve çözümünü gerçeğe yaklaştırır.

8) Birçok şartname kayıtları, düşey ve yanal yüklerle (veya dinamik yüklemelerin) değişik kombinasyonlarını önerirler. Aynı zamanda eleman kuvvetlerinin de çıktı da basılması istenir. Bu işlemler çoğu programlarda yapılmaz.

9) Bu programda rahatlıkla uygulanabilen istenen sayıda süperpozisyon yapma imkanı, bir çok program için külfettir.

10) Data yazmak için herbir çerçeve düğüm noktasına ve keza herbir elemana numara vermek gerekir. Birçok programlarda dikdörtgen şekilli bir çerçevede böyle şeylere lüzum yoktur.

Bunlara benzer daha birçok bakımdan, bu program hem pratiktir ve hem de güvenilir neticeler vermesi bakımından uygulamada kullanılmaktadır.

5.1.2. YAPISAL IDEALLEŞTİRME KABULLERİ :

Tam doğru, kesin üç boyutlu bir analiz, çok nadir yapılar için özellikle arzulanır. Yapıların büyük bir çoğunluğu için aşağıdaki yaklaşımlar geçerlidir. Bu yaklaşımlar, veri hazırlanmasında önemli kolaylıklar getirirken, analizle ilgili hesaplamalarda da hissedilir azalmalar getirirler.

1) Bir yapı, düşey düzlemsel çerçevelerin bir araya toplanmasıyla oluşur. Çerçeve m sayıda kolon varsa, (m-1) sayıda kiriş vardır.

2) Bütün çerçevelerde düzlem dışı rijitlikler sıfır kabul edilir. Bu yüzden kolonların her katta biri düşey deplasman diğeri rotasyon (dönme) olmak üzere iki serbestlik derecesi vardır. İlaveten, çerçevelerin kat seviyelerinde de bir serbestlik derecesi vardır.

3) Her çerçeve, yatay bir diyafram olarak modellenir. Bu diyafram düzeni içinde sonsuz rijit olduğu kabul edilir ve düzlem dışı rijitlikler ihmal edilir. Kirişlerde eksenel deformasyonlar kabul edilmez. Döşeme seviyeleri bütün çerçevelerde aynı olmalıdır.

4) Yapılarda tüm çerçeveler yatay döşeme plaklarıyla birbirine bağlıdır. Bu bağlantı sadece yatay anlamdadır. Bu bağlantı, bir ortak (kolon) elemanı müşterek olarak kullanan çerçevelerin aynı deplasmanı yapmalarına sebep teşkil etmez. Yani eksenel deformasyonlar bir kolonda farklı iki çerçeve için aynı olmayabilir.

Bu durum ortak kolon uygunluğunun önemli olduğu veya tüb şekillerince uzun yapılarda program kullanımında yorum gerektirir.

5) Düşey yükler çerçevelere bağlı bir platform (döşeme) üzerinden etki ederler. Bu platform, üzerindeki düşey yükün tesirini başka bir çerçeveye de yansıtmaz.

6) Yanal yükler, her katta döşemeden komple etki ettirilir. Çerçevelerin yer ve rijitlikleri oranında, bu yük her bir çerçeveye dağılır.

5.1.3. YAPININ BİRİMLERİ (Çerçeveler)

Çerçeveler, esas itibarıyla düşey kolon aksları ve yatay döşeme plağı ile dikdörtgen bir geometriye sahiptirler ve kolon, kiriş, panel ve kuşaklama (çaprazlar veya diyagoneller gibi) elemanlarından oluşurlar. Düşey yükler bağımsız çerçevelerin kirişlerine, belirli

(kullanıcının işine geldiği şekilde tertiplenmiş) yük tipleri şeklinde tatbik edilirler.

Kolon ve kiriş elemanları, uçlarında rijitlik bölgelerine sahiptirler ve istenmişse elemanların (ölçülen) boyutlarının sistem rijitliğine olan tesirlerini yumuşatıp ayarlarlar.

5.1.4. ÇERÇEVE RİJİTLİKLERİ :

Herbir çerçevenin komple rijitlik matrisi, direkt rijitlik tekniği ile teşkil edilir. Bu da lokal rijitlik matrisi ($\underline{k}$) nın herbir elemanı için ($\underline{a}$) transmasyon matrisi boyunca hesabı ki, lokal deplasman ($\underline{\phi}$) ve kuvvet ($\underline{S}$) matrislerinin global (genel) deplasman ($\underline{r}$) ve kuvvet ($\underline{R}$) matrislerine dönüşümüyle elde edilir. Yani :

$$\underline{\phi} = \underline{a} \underline{r} , \quad \text{keza: } \underline{S} = \underline{k} \underline{\phi}$$

$$\underline{S} = \underline{a} \underline{R} \quad \text{ve} \quad : \underline{R} = \underline{K} \underline{r}$$

de $\underline{K}$, global (genel) koordinatlarda rijitlik matrisidir.

$\underline{\phi} = \underline{a} \underline{r}$ ve $\underline{S} = \underline{a} \underline{R}$ eşitliklerini $\underline{S} = \underline{k} \underline{\phi}$ de yerine kournursa

$$\underline{a} \underline{R} = \underline{k} \underline{a} \underline{r} \text{ elde edilir.}$$

$\underline{a}^T \underline{a} = \underline{I}$ olduğunu kabul edip de her iki tarafı $\underline{a}^T$ ile

$$\underline{a}^T \underline{a} \underline{R} = \underline{a}^T \underline{k} \underline{a} \underline{r}$$

$$\underline{R} = \underline{a}^T \underline{k} \underline{a} \underline{r} \quad \underline{R} = \underline{K} \underline{r} \text{ ise}$$

$$\underline{K} = \underline{a}^T \underline{k} \underline{a} \text{ elde edilir.}$$

Böylece $\underline{k}$ lokal rijitlik matrisi ve $\underline{a}$ koordinat dönüşüm matrisi bilinirse global rijitlik matrisinin değeri bulunabilir.

Eğilme, kesme ve eksenel deformasyona maruz tipik bir elemanın ana rijitlik matrisi aşağıdaki gibidir.

$$S_a = \frac{2 E I}{L} \left(\frac{2 + \beta}{1 + 2\beta} \right)$$

$$S_b = \frac{2 E I}{L} \left(\frac{1 - \beta}{1 + 2\beta} \right)$$

$$S_c = \frac{A E}{L}$$

$$\beta = \frac{6 E I}{L^2 \bar{A} G}$$

A = Eksenel alan

$\bar{A}$ = Etkili kesme alanı

I = Atalet momenti

E = Elastikiyet modülü

G = Kayma modülü

L = Elemanın ilk boyu

Sembolleri olmak üzere,

$$\begin{Bmatrix} M_i \\ M_j \\ S \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_a & S_b & 0 \\ S_b & S_a & 0 \\ 0 & 0 & S_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_i \\ \phi_j \\ \delta \end{Bmatrix}$$

Şekil 5

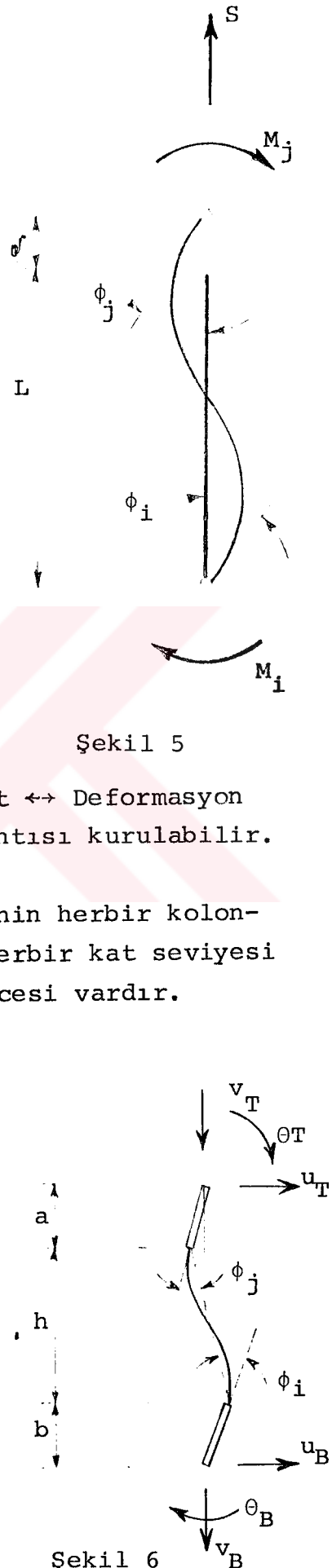
Kuvvet ↔ Deformasyon bağlantısı kurulabilir.

Her çerçevenin komple rijitlik matrisinin her bir kolon-kiriş düğüm noktası için iki adet ve her bir kat seviyesi için de bir adet yatay serbestlik derecesi vardır.

Kolon Kuvvet ↔ Deformasyon Bağlantısı

$$\begin{Bmatrix} M_i \\ M_j \\ S \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_a & S_b & 0 \\ S_b & S_a & 0 \\ 0 & 0 & S_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi \\ \phi \\ \delta \end{Bmatrix}$$

$$S_c = k_c \phi_c$$



Şekil 6

Deformasyon ↔ Deplasman Bağlantısı

$$\begin{Bmatrix} \phi_i \\ \phi_j \\ \delta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\frac{b}{h} & \frac{1}{h} & \frac{a}{h} & -\frac{1}{h} & 0 & 0 \\ \frac{b}{h} & \frac{1}{h} & 1+\frac{a}{h} & -\frac{1}{h} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_B \\ u_B \\ \theta_T \\ u_T \\ v_B \\ v_T \end{Bmatrix}$$

$$\phi_c = \underline{a}_c \underline{r}_c$$

Kolon Rijitlik Matrisi (6x6)

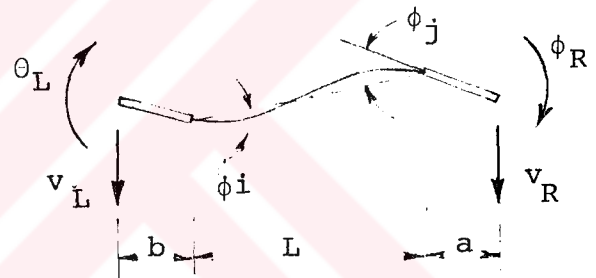
$$\underline{K}_c = \underline{a}_c^T \underline{k}_c \underline{a}_c$$

Kolon uçlarında rijit bölgeler için değerler vardır. 6 adet serbestlik derecesi vardır.

Kiriş Kuvvet ↔ Deformasyon Bağlantısı

$$\begin{Bmatrix} M_i \\ M_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_a & S_b \\ S_b & S_a \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_i \\ \phi_j \end{Bmatrix}$$

$$\underline{S}_b = \underline{k}_b \underline{\phi}_b$$



Şekil 7

Kiriş Deformasyon ↔ Deplasman Bağlantısı

$$\begin{Bmatrix} \phi_i \\ \phi_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\frac{b}{L} & \frac{1}{L} & \frac{a}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{b}{L} & \frac{1}{L} & 1+\frac{a}{L} & -\frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_L \\ v_L \\ \theta_R \\ v_R \end{Bmatrix}$$

$$\underline{\phi}_b = \underline{a}_b \underline{r}_b$$

Kiriş Rijitlik Matrisi (4x4)

$$\underline{K}_b = \underline{a}_b^T \underline{k}_b \underline{a}_b$$

- * Kolona benzer fakat eksenel kuvvet tesiri atılmıştır.
- * Kiriş uçlarında rijitlik bölgeleri vardır.
- * 4 adet serbestlik derecesi

Kuvvet ↔ Deformasyon Bağlantısı

$$\begin{Bmatrix} M_i \\ M_j \\ S \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_a & S_b & 0 \\ S_b & S_a & 0 \\ 0 & 0 & S_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_i \\ \phi_j \\ \phi_c \end{Bmatrix}$$

$$S_c = k_c \phi_c$$

Deformasyon ↔ Deplasman Bağlantısı

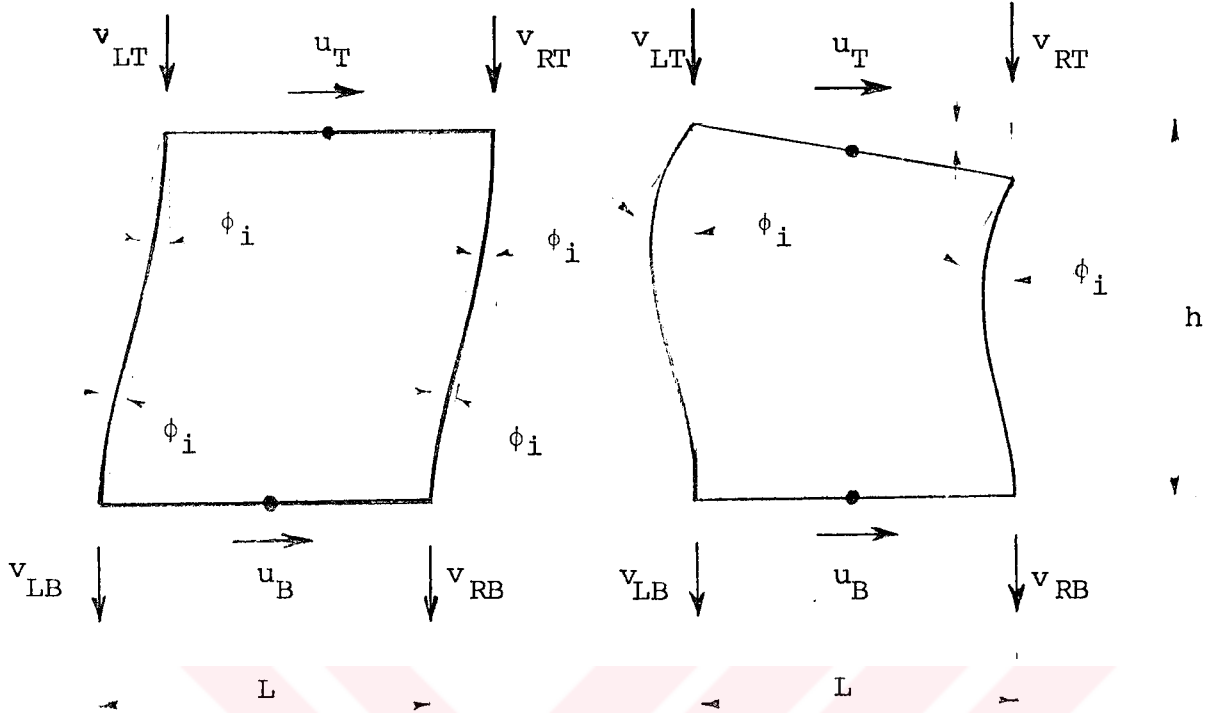
$$\begin{Bmatrix} \phi_i \\ \phi_j \\ \phi_c \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{h} & \frac{1}{h} & -\frac{1}{L} & -\frac{1}{L} & 0 & 0 \\ \frac{1}{h} & \frac{1}{h} & 0 & 0 & -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_B \\ u_T \\ v_{LE} \\ v_{RB} \\ v_{LT} \\ v_{RT} \end{Bmatrix}$$

$$\phi_p = a_p r_p$$

Panel Rijitlik Matrisi (6x6)

$$K_p = a_p^T k_p a_p$$

- * Rijitlik bölgesi kullanılmaz.
 - * Herbir dönme ile ilgili serbestlik derecesi, o katta paneli çevreleyen kolon akslarına iki düşey deplasman olarak transfer edilir.
- Eksenel serbestlik dereceleri de paneli çevreleyen iki kolon aksının düşey serbestlik derecesi ortalaması olarak transfer edilir. Bu yüzden panelli çerçevelerdeki bütün serbestlik dereceli transfer edilebilir cinstendir.



Şekil 8

Şekil 9

Kuvvet ↔ Deformasyon Bağlantısı

$$\begin{Bmatrix} M_i \\ M_j \\ S \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_a & S_b & 0 \\ S_b & S_a & 0 \\ 0 & 0 & S_a \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_i \\ \phi_j \\ \delta \end{Bmatrix}$$

$$\underline{S}_D = \underline{k}_D \underline{\phi}_D$$

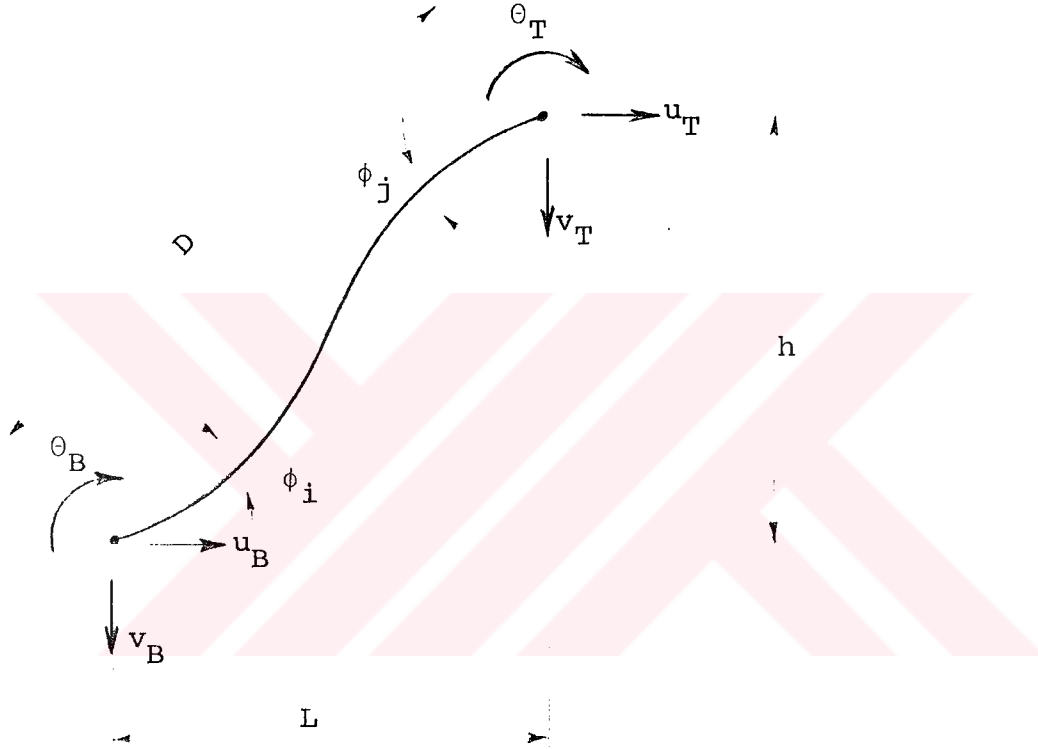
Deformasyon ↔ Deplasman Bağlantısı

$$\begin{Bmatrix} \phi \\ \phi \\ \delta \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{h}{DD} & 0 & \frac{h}{DD} & \frac{L}{DD} & \frac{L}{DD} \\ 0 & -\frac{h}{DD} & 1 & \frac{h}{DD} & \frac{L}{DD} & \frac{L}{DD} \\ 0 & -\frac{L}{D} & 0 & \frac{L}{D} & \frac{h}{D} & \frac{h}{D} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_B \\ u_B \\ \theta_T \\ u_T \\ v_B \\ v_T \end{Bmatrix}$$

$$\underline{\phi}_D = \underline{a}_D \underline{r}_D$$

Diyagonal (Kuşak) Rijitlik Matrisi (6x6)

- * Rijit bölge kullanılmaz.
- * Eleman formülasyonu kolon gibidir. Sadece kuşaklar eğimlidir.



Şekil 10

Çerçeve Yanal Rijitliği

Çerçeve serbestlik dereceleri uygun olarak tesbit edildikten sonra, denge denklemleri aşağıdaki şekli alır.

Burada:

N: Çerçeveadaki kat sayısı,

Bir çerçevenin komple denge denklemi, herhangi bir durumdaki değerler, yukarıda kutu içinde ifade edilmiştir.

Yanal yükler komple yapıya etki ettirilir ve komple yapının da yanal rijitlik matrisi biraraya toparlanmış telakki edilir. Tüm sistem için Gauss eliminasyonu,

$$\underline{R}_N = \underline{C}_{N-1} \underline{r}_{N-1} + \underline{K}_N \underline{r}_N + \underline{E}_N \underline{r}_L$$

denklemleri yapılarak, nihai N denklem ($\underline{r}_L \leftarrow N$ ye bağlı vektör olmak üzere)

$$\underline{R}_L = \underline{K}_L \underline{r}_L \text{ yazılabilir.}$$

Burada $\underline{R}_L$: Çerçevenin yanal yük alt matrisidir ve çerçeve-
vedeki düşey yüklerin durumuna göre eliminasyon usulü ile geliştirilir. Bu terim, düşey yüklerin dolaylı etkisini de temsil etmektedir.

$\underline{K}_L$: Çerçeve yanal rijitlik matrisi, başka bir deyişle yanal kat deplasmanları terimleridir.

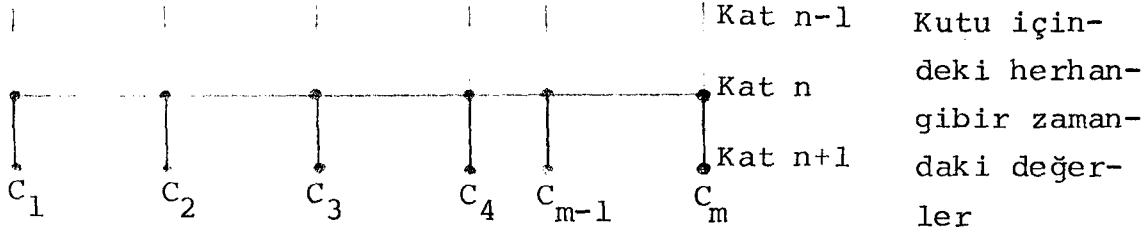
Komputer programında, hafıza ihtiyacını azaltmak için aşağıdaki yaklaşımlar yapılır. İndirgeme ve toplama işlemi kat-kat yapının üst başından başlayarak aşağı doğru yapılır. Herhangi bir n. kat için bunu şöyle gösterebiliriz.

$$\begin{Bmatrix} \underline{R}'_n \\ \underline{R}'_{n+1} \\ \underline{R}'_L \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{K}'_n & \underline{C}'_n & \underline{E}'_n \\ \underline{C}'_n{}^T & \underline{K}'_{n+1} & \underline{E}'_{n+1} \\ \underline{E}'_n{}^T & \underline{E}'_{n+1} & \underline{K}'_L \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \underline{r}_n \\ \underline{r}_{n+1} \\ \underline{r}_L \end{Bmatrix}$$

Matrisdeki (') üssü işareti, alt matrislerin açıklanan eliminasyonlarla geliştirilebileceğini gösterir.

İndirgeme işlemi için aşağıdaki adımlar teşkil edilir.

1) n. kat için eleman kendi rijitlikleri aşağıdaki gibi eklenir



2) Yukarıdaki denklemde, en üstteki ilk eşitlik kısmında eliminasyon yapılır.

3) Elde edilen bu indirgenmiş denklemler, yerine koyma işlemi için saklanır.

4) Alt matrisleri her sonraki kata uygulanmak için aşağıdaki gibi yeniden sıraya dizilir.

$$\begin{Bmatrix} \underline{R}'_{n+1} \\ \underline{0} \\ \underline{R}'_L \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{K}'_{n+1} & \underline{0} & \underline{E}'_{n+1} \\ \underline{0} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{E}'_{n+1,T} & \underline{0} & \underline{K}'_L \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \underline{r}_{n+1} \\ \underline{r}_{n+2} \\ \underline{r}_L \end{Bmatrix}$$

5) Aynı işlemler bir sonraki kat için tekrarlanır. Böylece bütün katlardaki düğüm nokta deplasmanlar için eliminasyonlardan sonra çerçevenin yanal rijitlik matrisi elde edilir.

Kolon ve Kirişlerin Mesnet Rijitlik Bölgeleri :

Kiriş ve kolonların kesiştikleri düğüm noktalarında arakesit olarak sınırlanan alandaki deformasyonlar ihmal edilir. Sonsuz rijit bir dikdörtgen diyafram farzedilir. Bu da kiriş ucunda, kirişin saplandığı kolon genişliğinin 1/2 si kadar rijit bölgeler oluşturmakla sağlanır. Bu durum kolonda ise, kolonun her iki başında ilgili katta her bir yandan saplanan kirişlerin en derin olanının yüksekliği

kadar rijit bölgeler oluşturmakla sağlanır.

Umumiyetle rijitlik bölgelerinin ayarlamasıyla boy-
larda azaltma yapmak, bilhassa eleman boyutlarının heybetli
olduğu durumlarda daha iyi ve savunulabilir neticeler
verir.

Rijitlik bölgesinin boyutları, eleman boyutlarıyla
alakalı bulunmaktadır. Başka bir deyişle, rijitlik böl-
gesi herbir mesnette eleman boyutunun % 25 olarak azaltıl-
ır.

Dolayısıyla, kiriş rijitlik bölgesi kiriş derinliği-
nin % 25 i kadar azaltılır. Kolon rijitlik bölgesi için
ise kolon genişliğinin % 25 kadar azaltma yapılır.

Tabiidir ki rijitlik bölgesi düşülünce kolon değer
negatif olmamalıdır. Zaten bu rijitlik bölgesi tercihe
bağlı bir seçim meselesidir.

5.1.5. BÜTÜN OLARAK YAPI :

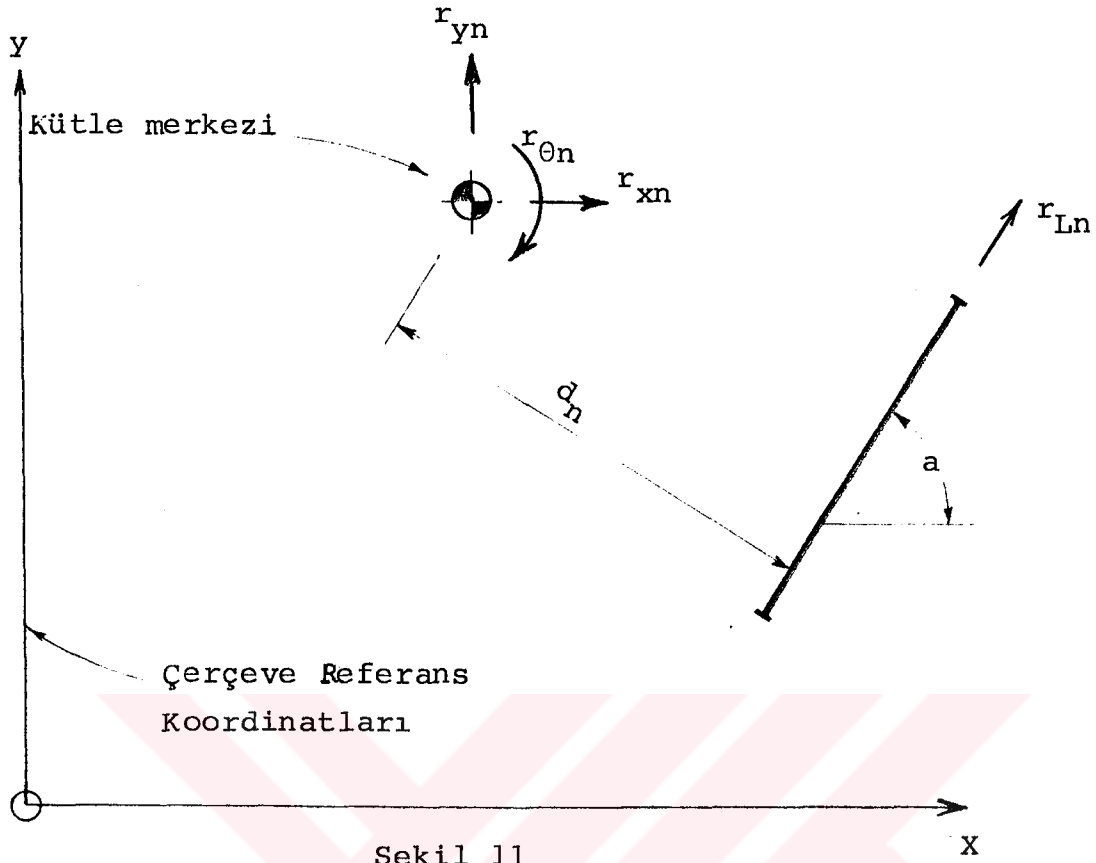
Çerçeve yanal rijitlik matrislerini komple yapı ya-
nal rijitlik matrisinde toparlamak için herbir çerçevenin
rijitlikleri genel deplasman koordinat sistemine (ki biz
ona global sistem diyoruz.) dönüştürülebilmelidir. Global
sistem her katta 2 ötelenme ve 1 dönmeye sahiptir. Bu glo-
bal sistemin orijin noktası her katta katın kütle merkezi
olarak alınır.

Bu durum, kütle matrisini diyagonal forma getirir ve
dinamik hesaptaki özel değer problemleri basitleştirir.

İlk adım olarak, çerçeve yanal deplasmanları global
deplasmanlar olarak ifade edilir.

Herhangi bir n inci kattaki ötelenme, arkadaki şekli
gözönüne alarak,

$$r_{LN} = \langle \cos \alpha \quad \sin \alpha \quad -d_n \rangle \begin{Bmatrix} r_{xn} \\ r_{yn} \\ r_{\theta n} \end{Bmatrix} \quad \text{veya}$$



Yapı global yanal deplasmanlar ve çerçeve lokal yanal deplasmanlar.

Bütün katların şekil değişimlerini bir araya getirerek, Çerçeve yanal deplasmanları ve global deplasmanlar arasında komple şekil değişimini elde ederiz. Yani,

$$\begin{Bmatrix} r_{L1} \\ r_{L2} \\ \vdots \\ r_{LN} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{a}_1 & & & \\ & \underline{a}_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \underline{a}_n \\ & & & & \ddots \\ & & & & & \underline{a}_N \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \underline{r}_1 \\ \underline{r}_2 \\ \vdots \\ \underline{r}_n \\ \vdots \\ \underline{r}_N \end{Bmatrix}$$

veya $\underline{r}_{Li} = \underline{A}_i \underline{r}$ dır. Buradaki $\underline{r}$ global deplasmanlar vektörünün tamamıdır. Çerçeve yanal rijitlikleri komp-
le sisteme dönüştürülerek

$$\underline{K}_i = \underline{A}_i^T \underline{K}_{Li} \underline{A}_i \quad \text{elde edilir.}$$

Buradaki indisi i inci çerçeveyi ifade eder. Yapı yanal rijitliği, bütün çerçevelerden gelen değerlerin toparlanmasıyla elde edilir.

$$\underline{K} = \sum_i \underline{K}_i$$

Çerçeveye yandan etki eden yanal yük vektörü de global sisteme (nakledilmeli) dönüştürülebilmelidir. Bu dönüşüm,

$$\underline{R}_i = \underline{A}_i^T \underline{R}'_{Li}$$

Global yük vektörü, çerçeve (eğilme-sallanma) etkilerinin toplanmasıyla şekillenir ve dışarıdan tatbik edilen yanal F yükü ilavesiyle

$$\underline{R} = \sum_i \underline{R}_i + \underline{F} \quad \text{dir.}$$

Global kuvvetler $\underline{F}$ olarak tarif edilir fakat,

$$\underline{F} = \sum_i \underline{A}_i^T \underline{P}_{Li}$$

diyede verilebilir.

Üçlü matris açıldığında,

$$\underline{K}_i = \underline{A}_i^T \underline{K}_{Li} \underline{A}_i$$

$$\begin{bmatrix} \underline{K}_{11} & \underline{K}_{12} & \dots & \cdot \\ \underline{K}_{21} & \underline{K}_{22} & \dots & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & \underline{K}_{ij} & \cdot \\ \cdot & \dots & \cdot & \underline{K}_{NN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{a}_1^T \\ \underline{a}_2^T \\ \cdot \\ \underline{a}_i^T \\ \underline{a}_N^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & k_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{a}_1 \\ \underline{a}_2 \\ \cdot \\ \underline{a}_j \\ \underline{a}_N \end{bmatrix}$$

elde ederiz.

$\underline{K}_i$ içindeki 3x3 lük $\underline{k}_{ij}$ tipik alt matrisi, $\underline{a}_i^T \underline{k}_{ij} \underline{a}_j$ formundadır.

Aşıkardır ki bu netice bağımsız olarak şekillendirilip direkt olarak terim terim K matrisi içine eklenebilir. Buradan, global denge denklemi :

$$\underline{R} = \underline{K} \underline{r} \quad \text{olarak çıkarılabilir.}$$

Global rijitlik matrisi dolu bir matristir, fakat yapıdaki tüm çerçevelerin toplam serbestlik dereceli adedi ile kıyaslanınca ufak kalır.

5.1.6. STATİK ANALİZ :

Statik analiz için $\underline{R} = \underline{k} \underline{r}$ denklemi Gauss eliminasyonu metodu ile çözülür. Sonra, her çerçeve için $\underline{r}_{Li} = \underline{A}_i \underline{r}$ eşitliği kullanılarak yanal deplasmanlar $\underline{r}_{Li}$ çözülür.

Her çerçeve için çözümü tamamlamak maksadiyle,

$$\underline{R}'_n = \begin{bmatrix} \underline{K}'_n & \underline{C}'_n & \underline{E}'_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{r}_n \\ \underline{r}_{n+1} \\ \underline{r}_L \end{bmatrix}$$

eşitliği kullanılır. Bu denklemler (azaltılmış, indirgenmiş ve çerçevenin her katı için saklanmış denklemlerdir.

Her durumda: $n, \underline{r}_{n+1}$ ve $\underline{r}_L$ bilinir ve $\underline{r}_n$ geriye yerleştirme usulü ile bulunur. İşin başında denilebilir ki $n = N$ (yapıdaki kat adedi için $\underline{r}_{N+1}=0$ dır. Çünkü alt kat kolonları rijit olarak bir temel üzerine (ankastre olarak) oturmaktadır.

5.1.7. DÜŞEY YÜK ANALİZİ :

Düşey yükler her çerçeveye giriş açıklıklarından etki ettirilirler. Üç bağımsız düşey yük şartı için hesap mümkün olup, bunlardan birinci şart zati yüklemeler için düşünülmüştür. Çerçeve elemanlarının zati ağırlıklarından mütevellit yüklerde bu fasılda (arzu edilirse otomatikman) hesaba katılabilir ve yük vektörüne eklenebilir. İkinci ve üçüncü yük şartı hareketli yükler için düşünülmüş olup üçüncüsü daha çok dolu-boş yükleme yapabilmek için kullanılabilir veya arzu edilmezse kullanmadan atlanabilir.

5.1.8. YANAL YÜK ANALİZİ :

Yanal statik yüklerin her katta belli noktalardan etkidiği düşünülür. İki bağımsız yanal yük şartı için hesap yapılabilir. Yanal yükler rüzgâr veya deprem tesirleri olabilir. Bunlardan şayet rüzgâr yükü tesir ediyorsa, o zaman rüzgâr yükü kullanıcı tarafından ayrıca hesaplanmalıdır. Eğer yanal yük deprem tesirleri sebebiyle ise, o zaman ya kullanıcı adı geçen yükü kendisi bilfiil elle şartnamelere uygun olarak hesaplar veya TDY (Türkiye Deprem Yönetmenliği 1975) veya UBC 76 (Uniform Building Code 1976) yönetmenliklerine göre (hangisiyle istenirse onunla) otomatik programca hesaplanır.

Ayrıca, kütle, kütle merkezi ve kütlelesel atalet momenti de isteğe bağlı olarak ya programca otomatik olarak hesaplanır veya kullanıcı tarafından elle hesaplanarak programa verilir.

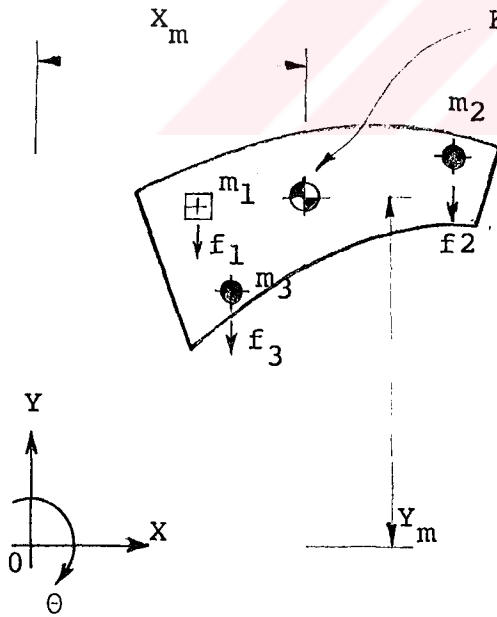
5.1.9. DİNAMİK ANALİZ :

Bir yapıya gelebilecek dinamik etkilerin kesin bir formulasyonu, onun sonsuz sayıdaki serbestlik dereceleri

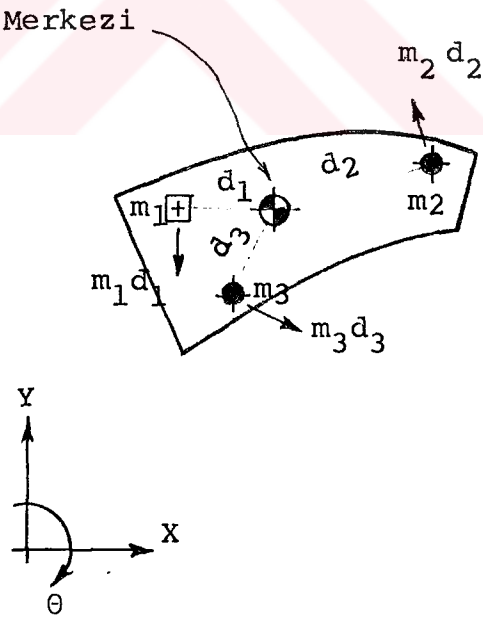
ile yakından alakalıdır. Fakat birçok yapılarda bu sınırsız durum, sistemin bazı noktaları ve düğüm noktaları sayesinde kısmen zaptedilir. Ele alacağımız binalarda (daha önce rijitlik matrisi bahsinde de açıklandığı gibi) sismik tesirler hep her döşeme hizasındaki yanal hareket olarak tanımlanabilir. Zaten yanal rijitlik matrisi oluşturulurken de, kütle merkezini her katta ana sınırlayıcı olarak kullanmaktayız. Her kat seviyesine ait kütle, döşemenin ağırlık merkezinden geçen eksene boyunca kütle atalet momentleri ile birlikte bağımlı olarak her katın ağırlık merkezinde kümelenmiş kabul edilirler. Nihai kütle matrisi köşegen formundadır. Bu kadar yaklaşımla problemin denge denklemleri, ikinci dereceden diferansiyel denklem şekline dönüşür.

5.1.10. KÜTLE, KÜTLE ATALET MOMENTİ :

Bir kat plağında (m_1, m_2, m_n) gibi kütle parçacıkları ve kütle kümeleri varsa aşağıdaki şekillerle kütle, kütle merkezi ve kütle atalet momenti mefhumları izah edilmektedir.



Kütle ve Kütle Merkezinin
tarifi



Kütle Atalet Momentinin
tarifi

Plak Y yönünde bir birim ötelenme ivmesine maruz tutulunca, ivmeye ters yönde atalet kuvvetleri oluşur. Yani :

$$f_1 = m_1 x_1, \quad f_2 = m_2 x_1, \quad f_3 = m_3 x_1, \dots$$

Bütün bu kuvvetlerin bileşkesi ve doğrultusu hesaplanabilir. Bileşke kuvvetin değeri :

$$f_1 + f_2 + f_3 + \dots = m_1 + m_2 + m_3 + \dots = \text{plakla ilgili toplam kütle}$$

Bileşke kuvvet Y yönüne paralel ve "O" dan X_m kadar uzaklıkta bir noktadan geçer. Benzer şekilde X yönünde verilecek birim hareket de aynı değerde ama X eksenine paralel ve "O" noktasından Y_m kadar uzaktan geçer. X_m , Y_m kütle merkezinin koordinatlarıdır. Başka bir deyişle plak kütlesi; bir birim ivmeye tabi tutulduğunda oluşacak kuvvettir. Bu kuvvet ağırlık merkezinden geçerse moment doğurmaz.

$$\text{Kütle} = \sum_{i=1}^n m_i$$

Benzer düşüncelerle, kütle atalet momenti (veya dönel kütle) terimi de: Kütle merkezi, düşey bir eksen etrafında bir birim eksenel ivmeye tabi tutulduğunda meydana gelen momenttir.

$m_1, m_2, m_3 \dots$ kütlelerinin ağırlık merkezinden radyal uzaklığı $d_1, d_2, d_3 \dots$ ise, bu kütleler, düşey eksen etrafında ağırlık merkezinin bir birim dönme ivmesine maruz kalması sebebiyle $d_1 x_1, d_2 x_1, d_3 x_1$ ötelenme ivmelerine sahiptir.

Böylece $m_1 d_1$, $m_2 d_2$, $m_3 d_3$ gibi atalet kuvvetleri oluşur. Bu kuvvetlerin ağırlık merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki momentleri ise:

$$m_1 d_1^2, m_2 d_2^2, m_3 d_3^2, \dots \text{ olur. Böylece:}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kütle Atalet Momenti : KAM} &= m_1 d_1^2 + m_2 d_2^2 + m_3 d_3^2 \dots \\
&= \sum_{i=1}^n m_i d_i^2 \\
&= \text{Ağırlık merkezinden geçen} \\
&\quad \text{düşey eksene göre tüm küt-} \\
&\quad \text{lelerin polar atalet momen-} \\
&\quad \text{ti}
\end{aligned}$$

5.1.11. DİNAMİK DENGİ DENKLEMLERİ :

Yapı için denge denklemleri, şayet dinamik etkiler varsa aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\underline{M} \underline{\ddot{r}}_a + \underline{C} \underline{\dot{r}} + \underline{K} \underline{r} = \underline{P}(t) \dots \dots \dots (a)$$

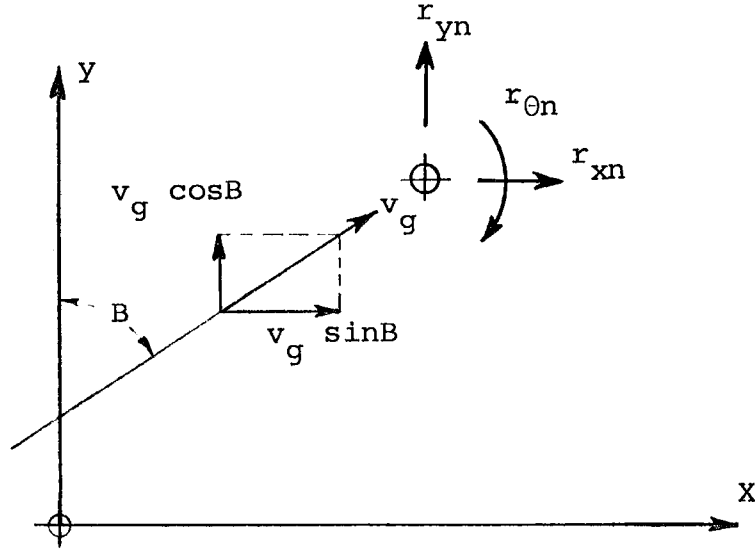
Buradaki : $\underline{M}$: Kütle matrisi
 $\underline{C}$: Sönüm matrisi
 $\underline{K}$: Rijitlik matrisi
 $\underline{P}(t)$: Tatbik edilen yük vektörü (zamana bağlı olabilir)
 $\underline{r}$: Mesnet hareketine bağlı olarak deplasman vektörü
 $\underline{\ddot{r}}_a$: Mutlak ivme vektörü

$\underline{r}$ ve $\underline{\ddot{r}}_a$ arasında şöyle bir bağıntı vardır.

$$\underline{\ddot{r}}_a = \underline{\ddot{v}}_g + \underline{\ddot{r}}$$

Buradaki $\underline{\ddot{v}}_g$ mesnet hareketine bağlı olarak fiktif statik yer değiştirme vektörü keza,

$$\underline{\ddot{r}}_a = \underline{\ddot{v}}_g + \underline{\ddot{r}} \quad \text{dir.}$$



Bu vektörler yukarıdaki şekildeki tipik bir yapı için aşağıdaki formdadırlar.

$$\begin{Bmatrix} r_{xa} \\ r_{ya} \\ r_{\theta a} \end{Bmatrix}_n = \begin{Bmatrix} v_{gx} \\ v_{gy} \\ v_{g\theta} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} r_{xn} \\ r_{yn} \\ r_{\theta n} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sin \beta \\ \cos \beta \\ 0 \end{Bmatrix} V_g + \begin{Bmatrix} r_{xn} \\ r_{yn} \\ r_{\theta n} \end{Bmatrix}$$

ve

$$\begin{Bmatrix} "r_{xa} \\ "r_{ya} \\ "r_{\theta a} \end{Bmatrix}_n = \begin{Bmatrix} \sin \beta \\ \cos \beta \\ 0 \end{Bmatrix} "V_g + \begin{Bmatrix} "r_{xn} \\ "r_{yn} \\ "r_{\theta n} \end{Bmatrix}$$

yani ;

$$\underline{r}_{na} = \underline{B} \underline{V}_g + \underline{r}_n$$

Veya, bütün katlar için:

$$\underline{r}_a = \underline{B} \underline{V}_g + \underline{r}' \text{ dır. Buradaki } \underline{B} \text{ için}$$

$$\underline{B} = \begin{Bmatrix} \underline{b}_1 \\ \underline{b}_2 \\ \underline{b}_3 \\ \vdots \\ \underline{b}_N \end{Bmatrix}; \quad \underline{b}_1 = \underline{b}_2 \quad \text{v.s. yazılabilir.}$$

Sismik analiz durumunda, tatbik edilen dış yük olmadı-
ğından yani $P(t) = 0$ olduğundan (a) denklemi :

$$\underline{M} (\underline{\ddot{r}} + \underline{B} \underline{\ddot{V}}_g) + \underline{C} \underline{\dot{r}} + \underline{K} \underline{r} = 0 \text{ yazılabilir.}$$

veya ;

$$\underline{M} \underline{\ddot{r}} + \underline{C} \underline{\dot{r}} + \underline{K} \underline{r} = -\underline{M} \underline{B} \underline{\ddot{V}}_g \dots\dots\dots (b)$$

Bu denklem çifti, uygun nümerik tekniklerle aynı an-
da çözülebileceği gibi diğer bir yaklaşım da bağımsız
çözümler yapabilmek için denklemleri ayrıştırıcı bir şe-
kil değişikliği bulmak gerekir. Bu dönüşümler tabii ki
özel-vektörler veya yapının mod şekilleri olabilirler.

Mod Şekilleri ve Frekanslar

Titreşim mod şekilleri, sönümsüz serbest titreşim
problemlerinin çözümünü verir.

$$\underline{M} \underline{\ddot{r}} + \underline{K} \underline{r} = \underline{0}$$

Özel-değer problemini çözmek için :

$$\underline{K} \underline{\phi} = \omega^2 \underline{M} \underline{\phi}$$

Buradaki : $\underline{\phi}$ = Mod şekilleri

ω = Frekanslar

Mod şekilleri şöyle standartlaştırılır :

$$\underline{\phi}^T \underline{M} \underline{\phi} = \underline{I} \quad \text{ve keza}$$

$$\underline{\phi}^T \underline{K} \underline{\phi} = \underline{w}^2 \quad \text{yazılabilir.}$$

Keza, sönüm matrisi $\underline{C}$ ' nin mod şekillerinden bağımsız bir formda olduğu kabul edilir. Yani :

$\underline{\phi}^T \underline{C} \underline{\phi} = 2 \lambda_m w_m$ Buradaki λ_m m. mod için sönümü ifade eder. Gerçek deplasmanlar $\underline{r}$, mod şekillerinin bir lineer kombinasyonu olarak açıklanacak olursa ;

$$\underline{r} = [\underline{\phi}_1 \ \underline{\phi}_2 \ \underline{\phi}_3 \cdots \underline{\phi}_n] \begin{bmatrix} z_1(t) \\ z_2(t) \\ \vdots \\ z_n(t) \end{bmatrix}$$

Yani : $\underline{r} = \underline{\phi} \underline{z}$

Ve keza : $\dot{\underline{r}} = \underline{\phi} \dot{\underline{z}}$

Ve : $\ddot{\underline{r}} = \underline{\phi} \ddot{\underline{z}}$ olarak yazılabilir. Buradaki $z_m(t)$ m. mod için mukabeleyi (davranışı) ifade eder.

5.1.12. DEPREM SEYİR ANALİZİ :

(b) ve (c) denklemleri kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\underline{M} \underline{\phi} \ddot{\underline{z}} + \underline{C} \underline{\phi} \dot{\underline{z}} + \underline{K} \underline{\phi} \underline{z} = -\underline{M} \underline{B} \ddot{V}_g$$

$\underline{\phi}^T$ ile çarpınca 2. mertebeden bağımsız denklemler oluşur.

$$\underline{M} * \ddot{\underline{z}} + \underline{C} * \dot{\underline{z}} + \underline{K} * \underline{z} = \underline{p} * \ddot{V}_g$$

ki burada :

$$\begin{aligned}\underline{M}^* &= \underline{\phi}^T \underline{M} \underline{\phi} = \underline{I} \\ \underline{C}^* &= \underline{\phi}^T \underline{C} \underline{\phi} = (2 \lambda_m \omega_m) \\ \underline{K}^* &= \underline{\phi}^T \underline{K} \underline{\phi} = (\omega_m^2) \\ \underline{P}^* \underline{V}_g &= \underline{\phi}^T \underline{M} \underline{B} \underline{V}_g\end{aligned}$$

$\underline{P}^*$ nin formunu bulmak için :

$$\underline{M} \underline{B} = \begin{bmatrix} m_1 & & & & \\ & m_2 & & & \\ & & J_1 & & \\ & & & m_2 & \\ & & & & m_2 \\ & & & & & J_2 \\ & & & & & & \ddots \\ & & & & & & & J_N \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sin \beta \\ \cos \beta \\ 0 \\ \sin \beta \\ \cos \beta \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \text{Kabul edilir.}$$

Burada m_1 : 1.katın kütlesi

J_1 : 1.katın dönel kütle atalet momentidir.

Yani :

$$\underline{M} \underline{B} = \begin{bmatrix} m_1 \sin \beta \\ m_1 \cos \beta \\ 0 \\ m_2 \sin \beta \\ m_2 \cos \beta \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Böylece tipik bir terim olan $\underline{P}^*$ 'nin formu,

$$\underline{P}_m^* = \underline{\phi}_m^T \underline{M} \underline{B} \quad \text{olarak bulunur.}$$

$$P_m^* = \begin{bmatrix} \phi_{1x} \phi_{1y} \phi_{1\theta} \phi_{2x} \phi_{2y} \phi_{2\theta} \dots \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} m_1 \sin \beta \\ m_1 \cos \beta \\ 0 \\ m_2 \sin \beta \\ m_2 \cos \beta \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{Bmatrix}$$

$$P_m^* = \sum_{n=1}^N m_n \{ \sin \beta \phi_{nx} + \cos \beta \phi_{ny} \}$$

m inci mod için karakteristik denklem şu şekli alır.

$$\ddot{Z}_m + 2\lambda_m \omega_m \dot{Z}_m + \omega_m^2 Z_m = P_m^* \ddot{V}_g \dots\dots (d)$$

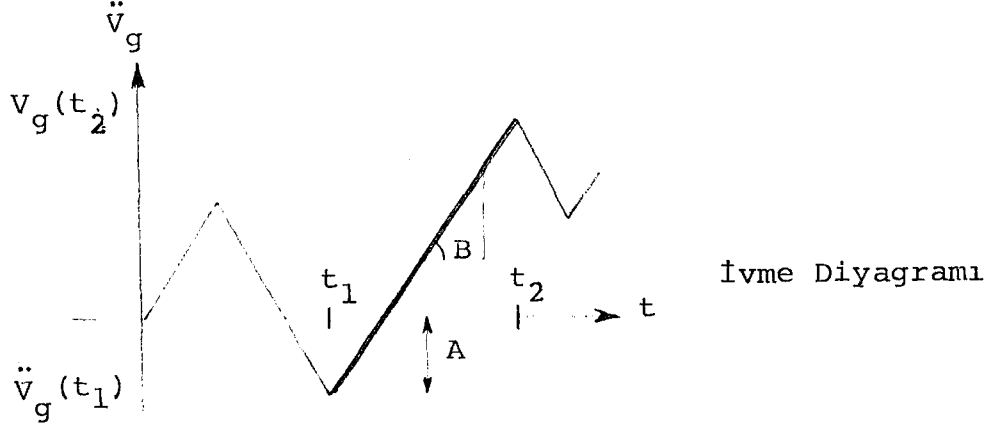
Herhangi bir deprem için yer ivmesi $\ddot{V}_g$, bir grub değişik değerlerle belirtilir ve ara değerler için enterpolasyon yapılır. Herhangi bir lineer kısımda,

$\ddot{V}_g = A + Bt$ olur. Buradaki A ve B ilerideki kapalı formülde tarif edilmektedir.

Başlangıç şartları, birinci lineer kısım için kullanılır. Her lineer kısmın sonundaki (yer değiştirme) deplasman ve hız değerleri bir sonraki kısım için başlangıç değeri olur. İşleme devam edilirse, arzu edilen zaman aralığı içinde bütün çözüm elde edilir. Her mod için yapılan çözümlerle (C) denklemi çeşitli zaman dilimlerinde bir yapı deplasman takım bulmada kullanılır.

Deprem seyir analizi için kullanılan geri yerine koyma işlemi, statik analizin aynıdır. Çerçeve deplasmanları ve çubuk kuvvetleri her zaman diliminde tesbit edilir ve max değerleri dinamik yük şartı = 3 için programca çıktı da basılır.

D.1-Zaman Integrasyonunun kapalı formülü :



Şekil 12

$$\ddot{z}_m + 2\lambda_m \omega_m \dot{z}_m + \omega_m^2 z_m = P_m^* (A + Bt)$$

formülü için herhangi bir t_1 ve t_2 parçacığında çözüm şöyle yazılabilir.

$$z_m(t) = P_m^* e^{-\lambda_m \omega_m t} \left\{ \left| z_m(t_1) - \frac{A}{\omega_m^2} + \frac{2\lambda_m B}{\omega_m^3} \right| \cos \omega_{Dm} t + \frac{1}{\omega_{Dm}} \left| \dot{z}_m(t_1) + \lambda_m \omega_m z_m(t_1) - \frac{\lambda_m A}{\omega_m} + \frac{B(2\lambda_m^2 - 1)}{\omega_m^2} \right| \sin \omega_{Dm} t \right\} +$$

$$P_m^* \left| \frac{A}{\omega_m^2} - \frac{2\lambda_m B}{\omega_m^3} + \frac{Bt}{\omega_m^2} \right| \text{ ve;}$$

$$\dot{z}_m(t) = P_m^* e^{-\lambda_m \omega_m t} \left\{ \left| \dot{z}_m(t_1) - \frac{B}{\omega_m^2} \right| \cos \omega_{Dm} t + \right.$$

$$\left. + \left| A - \omega_m^2 z_m(t_1) - \lambda_m \omega_m \left(z_m(t_1) + \frac{B}{\omega_m^2} \right) \right| \frac{\sin \omega_{Dm} t}{\omega_{Dm}} \right\} + P_m^* \frac{B}{\omega_m^2}$$

ki burada ;

$$A = \ddot{V}_g(t_1)$$

$$B = \frac{\ddot{V}_g(t_2) - \ddot{V}_g(t_1)}{t_2 - t_1}$$

$$\omega_{Dm} = \omega_m (1 - \lambda_m^2)^{\frac{1}{2}}$$

$z_m(t_1)$ ve $\dot{z}_m(t_1)$ değerleri t_1 ve t_2 için başlangıç değerleridir.

Mukabele (Davranış) Spektrum Analizi :

Yapımıza ait deprem için gerçek deplasman ve kuvvetlerin seyir analizi istenmedikçe ekonomik ve daha gerçekçi bir dinamik analiz metodu için "mukabele spektrumu" uygun bir yoldur. Bir yer parçası hareket ivmesi $\ddot{V}_g(t)$ için spektrum eğrisi aşağıdaki gibi tarif edilebilir.

Tek serbestlik dereceli bir sistemin mukabelesi : λ sönümü ile, w dairesel frekans ise ;

$$\ddot{u}(t) + 2^{\lambda} \omega \dot{u}(t) + \omega^2 u(t) = \ddot{V}_g(t) \text{ dir.}$$

$u_{\max}$, $u(t)$ nin olabileceği max mutlak değer olsun. Bu max deplasmanın her λ değeri için frekans w ya göre grafiği, deprem $\ddot{V}_g(t)$ için deplasman davranışspektrumu (PSa) denir. Bu yalancı hız ve ivme spektrumları aynı fiziksel özelliktedirler fakat davranış spektrum analizinin temel bir parçası değildirler.

Tekrar (d) denklemine dönersek; eğer yapı üzerindeki dinamik yükleme yalancı-ivme spektrum cinsinden tanımlanırsa, m mod için maksimum mukabele şöyle verilir :

$$z_{m_{\max}} = p_m^* \frac{PSa(\omega_m, \lambda_m)}{\omega_m^2}$$

Dolayısıyla, m . mod'un yapının tüm üç boyutlu davranışına verebileceği maksimum hisse ;

$$r_{-m} = \sum_{m_{\max}} \phi_{-m} \text{ dir.}$$

Bütün modlar için Sd pozitif tarif edilir. Maksimum modal deplasman r_{-m} , ϕ mod şekli ile orantılıdır ve işareti, P_m^* modal katılma faktörü tarafından verilir. Bu yüzden herbir max modal deplasmanın yalnız bir işareti vardır. Keza max modal (iç kuvvetler) kesit tesirleri de yalnız bir işarete sahiptirler.

Analiz işlemi, tekrar yerine koyma usulü ile herbir münferit mod için yapının max modal deplasmanları ve kesit tesirlerinin bulunması ile tamamlanır.

Her mod için max değerler farklı zamanlarda oluşur. Deplasmanların ve çubuk kuvvetlerinin bileşkeleri aşağıdaki metodlarla bulunur.

1-Kareler Toplamının Karekökü Metodu (SRSS)

$$F_{(1 \times 1)} = \sqrt{\underline{f}_{(1 \times n)}^T \quad I_{(n \times n)} \quad \underline{f}_{(n \times 1)}} \quad \text{Buradaki } I \text{ Özdeşlik matrisi}$$

2-Mutlak Değer Toplama Metodu (ABS)

$$F_{(1 \times 1)} = \underline{f}_{(1 \times n)}^T \quad \text{işaret } \underline{f}_{(n \times 1)} \quad \text{işaret } \underline{f}, \underline{f} \text{ matrisinin ilgili elemanlarının işaretlerini kapsayan birim matristir.}$$

3-Komple Kuadratik (2.dereceden) Kombinasyon Metodu (CQC)

$$F_{(1 \times 1)} = \sqrt{\underline{f}_{(1 \times n)}^T \quad C_{(n \times n)} \quad \underline{f}_{(n \times 1)}} \quad \begin{array}{l} f = \text{Modal bileşen vektörü} \\ F = \text{Kombine edilmiş netice} \\ n = \text{Mod sayısı} \end{array}$$

Buradaki $\underline{C}$ çapraz korelasyon katsayıları matrisi olup ;

$$C_{ij} = \frac{8\lambda^2 (1+r) r^{3/2}}{(1-r^2)^2 + 4\lambda^2 r(1+r)^2} \quad \text{dir.}$$

Formüldeki $r = \omega_i / \omega_j$ mod çiftlerinin dairesel frekanslarının oranıdır ve λ ilgili spektrum eğrilerine ait sönümdür.

SRSS metodu ve ABS metodu modal hisselerin (bileşenlerin) işaretlerini tamamiyle ihmal eder. SRSS metodu, uygun seçilmiş frekanslarla umumiyetle iyi neticeler vermektedir. ABS metodu max değerlerin üst sınırını verdiği için ilgi çeker.

Fakat, SRSS metodu işaretleri ihmal ettiğinden, uzay tipi veya çok frekanslı yapılarda neticeleri ya olduğundan çok fazla veya olduğundan çok az hesaplıyabilmektedir.

CQC metodu, bu pürüzü halletmekte ve en gerçekçi neticeyi verdiği için de üç metodun en iyisi olarak tavsiye edilir.

Programın Dinamik Seçimleri :

Programda şu dinamik seçenekler mevcuttur.

- 1- Mod şekilleri ve periyotların (frekansların) hesabı,
- 2- Aşağıdakileri kullanarak kullanıcı herhangi bir ivme spektrumu için davranış spektrum analizi yapar.
 - a- SRSS modal kombinasyonu (dinamik yükleme şartı 1)
 - b- Modal kombinasyonların mutlak değerleri toplamı (dinamik yükleme şartı 2)
 - c- Komple kuadratik kombinasyonlar (dinamik yükleme şartı 3)

6.1. YAPI PERİYODU YAPI DİNAMIĞI KATSAYISI İLİŞKİSİ:

$$S = \frac{1}{|0.8+T-T_0|}$$

S : Yapı dinamiği katsayısı

Yapının doğal titreşim periyodu ile ilgilidir.

T : Sn. cinsinden yapının birinci normal moduna ait doğal periyodu.

T₀ : Zeminin hakim periyodudur.

Deprem yönetmenliği 35 m. geçmeyen yapılarda güvenilir varsayımlara dayanan deneysel ve teorik ilkelere göre hesabı yapılmadıkça S yapı dinamiği katsayısında kullanılacak bina doğal periyodu için aşağıdaki formüller önerilmiştir.

6.2. PERİYOD HESABI İÇİN AMPİRİK FORMÜL :

Periyod hesabında en yaygın kullanılan formül

$$T = \frac{0,09H}{\sqrt{D}} \quad \text{dir.} \quad (1)$$

T: (Sn) yapının özel periyodunu.

H: (m) yapının temel tabanından yüksekliğini

D: (m) Deprem yönünde yapı genişliğidir.

Ortalama periyod $T=0,10\sqrt{H^2/D}$ formülü ile aynı ölçme neticelerine göre yakıştırılmasına rağmen daha emniyetli olması nedeniyle yukarıdaki (1) formülü şartname- lere girmiş bulunmaktadır. Ancak H. ve D aynı olan farklı rijitlikteki binaların periyodlarının bu formülle aynı olacağı gerçeğe ters düşmektedir. Rijitlikleri farklı binaların periyodlarının aynı olması düşünülemez.

Perdesi uzay çerçevesi sistemlerde periyod

$T=(0,07-0,10)N$ denklemi ile tahmin edilmektedir.

N: Kat adetidir.

perdeli sistemlerde daha doğru neticeler verdiği belirlenen

$T = C_1 N / B$ denkleminin kullanılması gerekmektedir.

C= sabit

B= yapının rijitliğini temsil etmektedir.

6.3. ZEMİN HAKİM PERİYODU ZEMİN GRUPLARI

Zemin cinsi	Zemin hakim periyodu	Tanım
	a	0.20 Masif volkanik kayalar
I	b	0.25 0.25 Çok sıkı kum
	c	0.30 Çok sert kil
	a	0.35 Tüf ayrılmış kayalar
II	b	0.40 0.42 Sıkı kum çakıl
	c	0.50 Sert kil
	a	0.55 Çok ayrılmış kayalar
III	b	0.60 Orta sıkılıkta kum
	c	0.65 Katı kil, siltli kil
	a	0.70 Yumuşak alüvyon tabakası
IV	b	0.80 0.80 Gevşek kum
	c	0.90 Yumuşak kil

6.4. ZEMİN PERİYODUNUN TESBİTİNE ETKİ EDEN KRİTERLER:

Deprem olasılığının bulunduğu bölgelerde yapılacak yapılarda deprem tesirleri altında nasıl davranacaklarının tahmin edilmesinde en başta yapıya dayanak sağlayan temel sisteminin ve bu sistemin bir parçası olan temel zemininin deprem yükleri altında nasıl davranacağını bilmesi gerekir.

İlk önce zemin malzeme özelliklerinin bulunmasına ve daha sonra da arazideki duruma tabakalaşmaya ve sınır şartlarına göre bu özelliklerin yorumlanmasına bağlıdır. Bir yapının zeminin dinamik davranışlarının değerlendirilmesi için temel malzemelerin gerilim birim deformasyon özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Dinamik tasarımda yardımcı olması amacıyla Poisson oranı belirlenmelidir. Refraksiyon sismografi ile jeofizik çalışmalar sismik deneyler yapılmaktadır

Deprem etkisinde yerel zemin koşullarının yapısal hasara önemli rol aldığı bilinen gerçek olmuştur. Ara-zide kaydedilmiş deprem kayıtlarının zeminin dinamik özelliklerine bağlı olarak frekans içeriği ve genlik özellikleri bakımından belirli farklılıklar göstermektedir. Bir çok yönetmenlikte zemin koşullarının etkisi ampirik ve yaklaşık bir şekilde deprem katsayısını de-ğiştiren sabit bir çarpanla ifade edilmiştir.

Zeminin dinamik özellikleri yüzeysel deprem verisini önemli ölçüde etkilemektedir. Zemin ile yapı-nın karşılıklı etkileşim süresince, zemin davranışı yapı ve zeminin relatif ilişkisine bağlıdır. Bu karşı-lıklı ilişki zemin ve yapı ortak sistemindeki frekans içeriğini ve genlik dağılımını etkilemektedir.

Yapının davranışında bina ve zeminin hakim peri-yodlarındaki etkileşimi gözönüne alarak değişik bir etkileşim modeli diyebiliriz. Özellikleri bilinen ze-min koşullarında ortalama ivme spektrumları yapının dav-ranışını büyük ölçüde etkileyebilmektedir.

Kalın ve yumuşak zeminler üzerindeki esnek yapılar aynı yer ivmesi altında kaya üzerindeki benzer yapılar-dan birkaç kat fazla deprem etkisine maruz kalabilmekte-dir.

T yapının T_0 zeminin hakim periyodunun eşit önemi vardır. Her iki periyod da mümkün olduğunca gerçekçi bir şekilde saptanmalıdır.

T_0 zemin hakim periyodunun doğru olarak saptanması gerekmektedir.

Yapı periyodunun 0,7 sn. den küçük olması halinde zemin periyodunun yaklaşık tahmininde sakınca yoktur. $T > 0,7$ Sn olması halinde yüksek betonarme yapılarda periyod etkileşimi önemli ve etkin olmaktadır. Çok kat-lı yapılar için zeminin hakim periyodunun gerçek değere uygun olarak saptanmasıyla önem kazanmaktadır.

Zemin statik ve dinamik özellikleri belirlenmeli buna göre (T_0) zemin hakim periyodu tayin edilmelidir. Zemin statik ve dinamik özellikleri ve bu özellikleri belirleyen zemin sınıflandırmalarında

V_s değerleri gözönüne alınmaktadır.

V_s seçiminde kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin basit ve ayrıntılı tanımını ile gerçekçi tayin yapılabilmektedir.

Deprem yönetmenliğinden $T_o = 4H/V_s$ önerilmektedir. Bu formül tek tabaka zemin için geçerlidir. çok tabakalı zeminlerde $T_o = \sum_{i=1}^n 4H_i/V_{s_i}$ förmülü Zeevart önermektedir.

T_o hesaplanmasında kayma dalga hızlarının ağırlıklı ortalaması düşünülürse

$$V_s = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^h V_{s_i} H_i$$

$$H = \sum_{i=1}^h H_i$$

$$T_o = 4H/V_s \text{ alınabilir.}$$

Bu şekilde hesaplamaların yeterli ve sağlıklı olmadığı büyük T_o değerleri vermektedir.

Çok tabakalı zemin kesitleri için Rayleigh oranı kavramı ile T_o hesaplanması uygun olmaktadır.

$$\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{T_1}{T_o} \right) \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{T_2}{T_o} \right) = \frac{\sigma_2 H_2 T_1}{\sigma_1 H_1 T_2}$$

formülü ile T_o hesaplanabilir.

Killi zeminler üzerinde yapılan ilk dinamik deneyler, ani dinamik yükler altında mukavemet ve gerilme deformasyon modülü değerlerinin statik deney değerlerine oranile yüksek olduğunu ancak tekrarlı yükleme altında mukavemet ve deformasyon modüllerinin azaltıldığını göstermiştir.

Zeminlerin depremler sırasında oluşan boşluk suyu basınçları ile deformasyonları ve dolayısıyla göçmeye karşı stabilitelerinin hesaplanması için zemine ait belirli gerilme şartları altında ve tekrarlı gerilmeler halinde

mukavemet ve gerilme deformasyon özelliklerinin bilinmesi gereklidir.

Killi zeminlerde mukavemet ve gerilme deformasyon bağıntılarının gerçekçi olarak saptanmasının önemi açıkça meydandadır. Bir çok araştırmacı tekrarlı dinamik yükler altında kohezyonlu zeminlerin mukavemeti hakkında araştırmalara konu edinmiş bulunmaktadır.

Dinamik üç eksenli ve dinamik basit kesme deneyleri zemin parametreleri hakkında yeterli bilgileri vermektedir. Deprem sırasında zemin tabakaları, gelişigüzel tekrar eden deprem hareketinin ve ivmesinin yol açtığı yukarı doğru yayılan kayma dalgalarının etkisi ve titreşimine uğramakta ve bu titreşimler zeminin yatay düzlemlerinde gelişigüzel veya periyodik titreşen kayma gerilmelerini oluşturmaktadır.

Depremde zemin tabakaları çok geniş sınırlar içinde kalan kayma birim deformasyonlarına uğramaktadır. Zemin kitlelerinin ve zemin üstüne oturan yapıların değişik deprem koşulları altındaki davranışları zeminin kayma modülüne bağlıdır. Kayma modülü G , zemin içinde kayma dalgasının yayılma hızının (V_s) bilinmesi halinde

$$G = \frac{X_n}{g} \cdot V_s^2$$

X_n : Zeminin birim hacim ağırlığı

g : Yer çekimi ivmesi

G : Kayma modülü

Arazide sismik yöntemler ile küçük genlikli kayma birim deformasyonları altında V_s ölçümü yapılabilmektedir. Laboratuvar deney yöntemleri ile çeşitli parametrelerin saptanmasında yarar sağlamaktadır. Arazide iki sondaj derliği arasında V_s kayma dalgası hızı ölçülerek ortalama V_s değeri bulunabilmektedir. Ayrıca laboratuvar da rezonans frekansı tekniği ile torsiyonel titreşimler uygulanarak V_s ölçülebilmektedir. Gerek arazide tesbit edilen V_s kayma dalga hızı gerekse laboratuvar da bulunan V_s kayma hızı kayma modülü hakkında fikir vermektedir.

Deprem etkisi zemin tabakalarına bağlıdır. Farklı zeminlerde deprem etkisi farklı olmaktadır. Deprem hareketi sırasında yapılar farklı zeminlerde farklı hasarlara maruz kalacaklardır. Zeminin özellikleri gözönüne alınarak yapılarda taşıyıcı sistem projelendirilmeleri gereği ortaya çıkmıştır.

Zeminle ilgili elastik ve sönüm parametrelerinin değişik yükler altında değişik değerler almaktadır. Zemin parametrelerinin statik ve dinamik yükler altında aynı olmadığı bilinen bir gerçektir. Elastik ve sönüm parametreleri derinliğe göre değişmektedir.

Deprem dalgalarının zemin içinden geçerken uğradıkları değişimi inceleyen bir çok analitik metod geliştirilmiştir (Driss v.d. 1969; Schnabel v.d., 1972; Streeter v.d., 1974.) Zeminlerin deprem dalgalarına karşı davranışlarını ve zemin hareketlerinin yüzeye ulaştığı zaman nasıl bir hareket haline dönüşeceği inceleme konusudur.

İstatistik yaklaşımla zemin hareketi analiz edilmektedir. Yer hareketi güç spektrumu cinsinden ifade edilmektedir. Zeminlerin dinamik yük altındaki gerilme birim kayma açısı, kayma modülü, sönüm oranı hiç bir zemin cinsi için sabit değildir. Dinamik zemin parametrelerinin bir çok değişkene bağlı olduğu bir çok araştırmacılarca kabul edilmektedir. (Hardin; 1965, Hardin ve Black 1968; Silver ve Seed, 1968 Hardin ve Drnevich 1972)

Hardin ve Drnevich zeminlerde kayma gerilmesi için aşağıdaki

$$\tau = \frac{\gamma}{\frac{1}{G_{\max}} + \frac{\gamma}{\tau_{\max}}} \quad \text{formülünü ortaya atmıştır.}$$

γ : Birim kayma açısı

$\tau_{\max}$: Kırılma anında kayma gerilmesi

$G_{\max}$: Maksimum kayma modülü

Kayma modülü

$$G = \frac{G_{\max}}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_r}}$$

γ_h = hiperbolik birim kayma açısı

$$D = D_{\max} \frac{\gamma_h}{1 + \gamma_h}$$

D : Sönüm Oranı

Dinamik zemin parametrelerinin tayini çok yönlü problem teşkil etmektedir. En önemli etkenlerden biriside birim kayma açısı olduğu ve zamanın fonksiyonudur.

Sönüm oranı derinlikte artmaktadır. Kayma modülü zemin cinsine göre derinlikle artma azalma göstermektedir. Kum tabakasında derinlikle kayma modülü az da olsa artış göstermektedir. Kil tabakalarda ise derinlikle azalmaktadır. Sönüm oranları kil ve kumlu zeminde kayma oranlarının artışı nedeni ile artmaktadır. Dinamik parametreler muayyen derinlikte bir birine çok yakın değerler olarak alınabilir.

Dinamik yüklemde killi zeminlerin mukavemet kaybettiği deformasyon birikimlerine yol açtığı gözlenmiştir. Killi zeminlerin tekrarlı gerilme ve titreşimler sonunda malzeme ve mukavemet özelliklerinin de titreşimler sırasındaki özellikleri kadar önem ile dikkate alınması gereğini ortaya koymaktadır.

Kuru kumlarda ve drenajın mümkün olduğu daneli zeminlerde titreşimlerin oluşturduğu kayma gerilmeleri danelerin temas olanlarında kayma ve kompaksiyon eğiliminde bir hacimsal değişim meydana getirmektedir. Titreşim sırasında kuru kumlarda oluşan bu "sertleşme-sıklaşma" olayı kayma modülünü artırmakta ve sönüm azaltılmaktadır. Drenajın mümkün olmadığı suya doygun kumlu zeminlerde ise; her titreşim devri sonunda boşluk suyu basıncında bir artım oluşumu, kayma modülünde azal-

ma ve sönüm oranında artım şeklinde ifade edilebi-
len bir yumuşama olayı göstermektedir.

Killi zeminlerde deprem etkisi altında deprem dalgalarının davranışlarının gerçekçi olarak hesaplan-
masında kayma modülündeki değişimlerin dikkate alınma-
sı zorunludur. Kayma modülü "G" ile birim deformasyon
 γ Ramberg-Osgood tarafından ifade edilen

$$\tau = \gamma \frac{1}{\frac{1}{G_{\max}} \left(1 + \alpha \left| \frac{\tau}{G_{\max} \gamma_r} \right|^{R-1} \right)}$$

$$\tau_m = G_{\max} \gamma_r \quad \gamma_r : \text{referans birim deformasyonu}$$

R ve α eğriye ait katsayılarıdır.

$$\frac{G}{G_{\max}} = \frac{1}{1 + \alpha \left| \frac{\tau}{\tau_m} \right|^{R-1}} \quad \text{olarak elde edilen ifadede}$$

Killi zeminler için

$$\begin{array}{lll} \alpha = 1.0 & R = 3.0 & \tau_m = 0,4 S_u \\ \alpha = 1,0 & R = 3,0 & \gamma_r = 0,02 \% \text{ değerleri önerilmek-} \end{array}$$

tedir.

Deprem etkisinde yapı zemin etkileşimini etkin bir faktör olarak belirlemektedir. Zemin içinde herhangi bir dalganın olduğu etki, bu dalgaya ait gelen ve yansıyan dalgalardan oluşan bileşenlerin toplamıdır.

Zemin hakkında ön tasarım aşamasında geniş bakış açısına sahip olabilmek ve ayrıca güvenilir varsayımlar yapabilmek için zeminlerin davranışları ile ilgili tüm bilgilerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Zeminlerin dinamik ve mekanik özellikleri ile endeks özellikleri arasında saptanan bağıntılar ayrı bir önem kazanmaktadır.

Kayma dalgası yayılma hızı (V_s) ile plastisite indisi (I_p) arasında çeşitli araştırmalar (Ref9) ilişki ve araştırma sonuçları verilmektedir.

Plastisite indisi (I_p) aktivite değeri ile birlikte killi zeminlerin minerolojide bileşimini belirleyen önemli bir endeks özelliği olmaktadır. I_p nin değeri zeminlerin değişik davranışlarının izolu şişen zeminlerin tanınması zaman ile davranışlarının tahmininde kullanılan bir araç olmaktadır. I_p değeri ile mukavemet parametreleri ϕ , C_u , P arasında ilişkiler mevcuttur. Ayrıca plastisite indisi ile sünme şişme ve kabarma potansiyelleri arasında çeşitli bağıntılar mevcuttur.

Killi zeminlerde kil iç yapısı, boşluk suyu kimyası ve gerilme ile birlikte mekanik ve dinamik davranışları doğrudan etkilemektedir.

Killi zeminlerde I_p ile ifade edilen hem kil cinsine ve hemde kil miktarı önem kazanmaktadır. Zeminlerin davranışlarının eğilimi mineralojik bileşim faktörlerine çevresel dış etkenlere bağlı olmaktadır. I_p ile mekanik özellikler arasındaki bağıntılar önem kazanmaktadır.

Killi zeminlerin bileşimlerinin ifadesi geoteknik ve geodinamik değerlemede önem kazanmaktadır.

Plastisite indisinin değişik zeminlerin kayma dalgası hızına etkisi (Ref12) araştırılmış bir çok deney sonuçları ile tesbit edilmiştir. Deney sonuçları aynı kıvamdaki killerde yüksek plastisite indisi zeminler daha düşük (V_s) kayma dalga hızı değerini olduğunu göstermiştir. I_p Plastisite indisi ile $\log(V_s)$ arasında doğrusal bağıntı varlığı görülmüştür. I_p ile kolezyonlu zeminlerin enerji yutma kapasiteleri (Sönüm özellikleri) arasında benzer ilişkilerin olduğu görülmüştür.

Ayrıca Plastisite indisi I_p sabit alındığında I_c konsistans (kıvam) indisi azaldıkça V_s değerinin azaldığı görülmüştür. (V_s) kayma dalga hızı ile (e) boşluk oranı arasında deneysel sonuçlar doğrusal bağıntıyı saptamış bulunmaktadır.

Zeminlerin dinamik yükler altında mukavemetlerinin incelenmesi için tekrarlı dinamik yüklerin zeminlerde yol açtığı şekil değişimleri ile birlikte boşluk suyu basıncının oluşturduğu değişimlerin bilinmesi gerekmektedir.

Kohezyonlu suya doymun zeminlerde boşluk suyu basıncı çevre basıncına ulaşarak zeminin taşıma gücü kaybolmakta yani sıvılaşma olmaktadır. Yada kohezyonlu zeminlerde birim şekil değiştirmeler müsaade edilir seviyelerin üzerine çıkmakta göçme olmaktadır.

Zeminlerin çift yönlü tekrarlı gerilme altında mukavemet özellikleri tek yönlü gerilmeye oranla azalım göstermektedir.

Labaratuar tecrübelerinde kohezyonsuz killi zeminlerde dinamik mukavemetlerin tayinine başlangıç çevre basıncı, başlangıç kayma gerilmesi, dinamik gerilme mertebesinin önemi belirliidir.

Labaratuarlarda periyodik yüklemeli basit kesme ve periyodik yüklemeli üç eksenli deneyler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kohezyonlu zeminlerin tekrarlı yükler altında dinamik mukavemetinin tayininde deneylerde titreşim devir sayısı, tekrarlı yükün şiddeti, titreşim frekansı önem kazanmaktadır.

Aşırı konsolide olmuş killi zeminlerin daha yüksek bir dinamik mukavemet gösterdiği (Lee ve Foclit 1975) tarafından saptanmıştır. Bunun sebebinin aşırı konsolide olmuş killerde boşluk suyu basıncının oluşacağı belirtilmiştir.

Kohezyonlu zeminlerde Seed ve Chan (1966) tarafından dinamik yük sonrası mukavemeti tekrarlı yüklemekten sonra zamana bağlı sünme ve kayma olaylarının gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

Kohezyonsuz zeminlerin kayma direnci, permeabilitesi deprem ve titreşimler esnasında göçme ve oturma gibi özelliklere etki eden faktör zeminin sıkılık durumudur.

Kohezyonsuz zeminlerin sululuk durumuna etki eden rölatif sıkılık rölatif kompaksiyon ve maksimum birim ağırlıktır. Kohezyonsuz (kumlu) zeminlerde dinamik yükler altında gerilme şekil değiştirme bağıntılarında dinamik kayma modülü G , sönüm oran D bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler ile zemin tabakalarının V_s hesaplanabilmektedir.

Kumlu zeminlerde dinamik zemin parametrelerine etkiyen faktörlerin en önemlisi bir kayma genliği ortalama efektif asal gerilme boşluk oranı izafi sıkılık, yükleme devir adedi ve zeminin iç yapısıdır. Bu faktörler kayma modülüne etki etmektedir. Kohezyonsuz zeminlerin dane özellikleri sıkılık derecesi izafi sıkılık, boşluk oranı, zeminin dinamik davranışlarına etki etmektedir. Kumlu zeminlerin dane yuvarlaklığının kayma modülüne etkisi olmakla birlikte sönüm oranına etkisi görülmemektedir.

Sönüm oranına ve kayma modülüne ortalama asal gerilme kumun sıkılık derecesi ve birim kayma genliği etki eden önemli parametrelerdir. Titreşim devir adedi sönüm oranını etkilemekte kayma modülünü etkilememektedir.

Yer tabakasının tabi periyodu genlikleri yumuşak yüzey tabakalarda daha fazla olduğu yapılan sismik çalışmalar sonucudur. Yumuşak zemin tabakaları üzerinde inşa edilen fleksibl binalar depremden daha fazla etkilenmesine rağmen, aynı yumuşak zemin üzerinde inşa olunmuş rijit yapılar depremden daha az etkilenebileceği eğilimi depremlerinin spektral değerlerinin etüdü ile belirlenebilmektedir. Ayrıca binanın ilk tabi periyodu zemin tabi periyoduna eşit olunca hasar miktarlarının arttığı, (Tezcan S, ipek M) tarafından saptanmıştır.

Araştırmacılar özellikle zemin özellikleri ile yapılarda oluşan hasarlar arasında daha yakın ilişkiler kurmak için zemin çeşitli parametrelere bağlı olarak sınıflandırmışlardır. Hasar yüzdesinin zemin yumuşaklığı ile genellikle lineer olarak artan bir değer aldığı deprem sonrası, hasar tesbit çalışmalarını ile saptanmıştır. Özellikle farklı zeminlerde oluşan depremlere ait yer sarsın-

tısı ivmelerin kaydı ve bu kayıtlar üzerinde yapılan çalışmalar deprem hasarları ile deprem kayıtları arasındaki bağıntıyı ortaya çıkarmaya yardımcı olmuştur. En büyük deprem ivmesinin değeri yalnız başına deprem hasarlarının potansiyeline ait bir ölçü teşkil etmiyeceği gerçeği görülmüştür. 1966 Meksika depreminde maksimum ivme (0,05-0,1) g gibi küçük bir değer olmasına karşıt deprem süresinin uzunluğu ve ivme spektrumlarının büyüklüğü nedeni ile pek çok binalar hasar görmüştür.

Deprem kaydedici aletlerin modern deprem mühendisliğinde oldukça aydınlatıcı olmuştur. Yapı ile zeminin müşterek oluşturduğu sistemin dinamik davranışları zemin özelliklerinin yanı sıra yapı enerjisinin zemin içindeki kaybında fonksiyonudur. Bu kayıp yapının zemin içine gömülü olup olmamasına yapının rijitliğine yapı ve zeminin temas alanının büyüklüğüne, zemin özelliklerine ve nihayet dinamik kuvvetlerin büyüklüğüne bağlıdır. Enerji kayıpları sönüm kuvvetlerinin artmasına neden olacağından yapı dinamik deplasmanlarının azaltan faktör olarak belirlenir.

Mühendislik sismolojisini tatbikata en uygun olacak şiddetli hareket sismometrelerini ve akselegrafların hazırlanması gerekli olup bunları sismik bölgelere yerleştirip uzun süreli ölçüler almanın faydaları çoktur. Akselerograf vasıtasıyla elde edilen ivme ve onun periyodu zemin hakkında bilgi vermektedir. Deprem esnasında meydana gelen yapısal gerilmeler zemin ivmesine ait relatif deplasmanlardan oluşur. Zamanın fonksiyonu olan zemin ivmesinin ölçülmesi gereklidir. Deplasman, hız, ivme arasında bağıntı mevcuttur. Dolayısıyla ölçülen birimlerin hangisi olduğu önemli olmaktadır.

Depremde çok şiddetli zemin hareketi dolgu zeminlerde zeminde oturmalar, kum fışkırması, zeminin sıvılaşması gibi durumlar ve fay katlarında oluşacak hareketler su ve havagazı borularındaki burulmalara, kopmaları sebeb olabilir. Şehirlerde fay katlarını kesen doğrultularda su ve havagazı ana boruları döşenmemelidir.

7.1.SİSTEMLERİN SEÇİMİ :

Sistemlerin seçiminde pratikte kullanılması mümkün olan sık sık kullanılan 200 m2 alana oturumlu yapılar ele alınmıştır.

Gerek konut talebi gerekse mimari tasarım iki daire üzerine ve genelde 100 m2 lik konutlar vergi konumları ve ihtiyaçların doğurduğu konut alanları olmaktadır.

İki daire üzerine planlama mimari tasarımda daireler arasında eşitlik ve ekonomik konut yapma olgusuna katkı da bulunmaktadır. Ayrıca daireler arasında eşitlik manzara v.b. hususlar açısından iki daire üzerine konut inşaatında rasyonel çözüm olmaktadır.

7.2.YAPI DİNAMİĞİ AÇISINDAN SİSTEMLER SEÇİMİNDE KAT ADETLERİ :

200 m2.lik alana oturan yapılarda kat adetinin artması 1,3,5,8,10,15,20 katlı olarak ele alınmıştır. Katların artması yapı dinamiği açısından yapının periyodu ve etki eden kuvvetleri gözününe alarak kat adetinin saptanması araştırmanın konusu olmuştur.

7.3.YAPI DİNAMİĞİ AÇISINDAN SİSTEMLER SEÇİMİNDE PLANDA FORM DEĞİŞİKLİĞİ :

Yapı dinamiği açısından planda form değişikliği araştırılmasına gidilmiştir. 200 m2 alanlı yapı hangi formlarda yapılmalıdır ki en uygun form olsun.

Yapının en küçük kenarının 5 m. alınarak diğer boyutun artırılarak diğer formlar elde edilmiştir.

A formundan j formuna kadar yapı küçük boyutu 1 er m. artırılarak genişletilmiştir.

A formu ile j formu arasında yapının planda dikdörtgen formdan kare forma yani j formuna kadar değişken formlar incelenmiştir.

J formunda yapı kare forma gelmiş bulunmaktadır. A formundan j form dahil yapı taşıyıcı sistemi kolon giriş olarak planlanmıştır.

K formu ise yapının düşey taşıyıcıları perdeli taşıyıcılarla takviye edilmiştir.

J formu ile K formu planda aynı olmakla birlikte düşey taşıyıcıları farklıdır.

J formu yalnız kolonlu taşıyıcı sistem olarak planlanmıştır. K formunda ise, kolonlarla birlikte yeterince perde taşıyıcılarla takviye edilmiştir.

A formundan J formuna kadar yapının ebatları aşağıda verilmiştir.

<u>Yapının küçük boyutu</u>	<u>Yapının büyük boyutu</u>	<u>Yapının formu</u>
1) 5	40	A
2) 6	33.36	B
3) 7	28.60	C
4) 8	25	D
5) 9	22.24	E
6) 10	20	F
7) 11	18.20	G
8) 12	16.65	H
9) 13	15.39	I
10) 14.13	14.16	J
11) 14.13	14.16	K

7.4. FORMLARDA DÖŞEMELER:

Bütün formlarda bütün döşeme kalınlığı sabit alınmıştır. Döşeme kalınlığı değiştirilmemiştir. Döşeme kalınlıklarının değiştirilmesinin ayrıca önemli bir etken olmadığıda gözönüne alınmıştır.

7.5. FORMLARDA KIRIŞLAR:

Bütün formlarda bütün katlarda kiriş ebatları sabit 20/60 alınmıştır. Kiriş ebatlarının değişken olması problemin ana hedefine uygun olmaktadır.

7.6. FORMLARDA KOLONLAR:

Formlarda kolonlar esasta değişken olarak alınmamıştır. Kolon ebatları uygulama esasları göz önüne alınarak

seçilmiştir. En küçük kolon kesitine 30/30 dan başlanılmıştır. Her üç katta bir kolon kesiti büyütülerek gerçekçi uygulamaya dönük kolon kesiti seçilmiştir. Tek katlı yapılarda bütün kolonlar 30/30 seçilmiştir. İki ve üç katlı yapılarda kolon ebadı değiştirilmesine gidilmemiştir. Dört, beş altı katlı yapılarda kolon kesitleri ilk üç katta 40/40 diğer katlarda 30/30 kesiti seçilmiştir. Yedi, sekiz, dokuz katlı yapılarda,

Kolon kesiti alttan ilk üç katta kolon kesiti 50/50 seçilmiştir. Dördüncü, beşinci, altıncı katlarda kolon kesitleri 40/40; yedinci, sekizinci, dokuzuncu katlarda kolon kesiti 30/30 seçilmiştir.

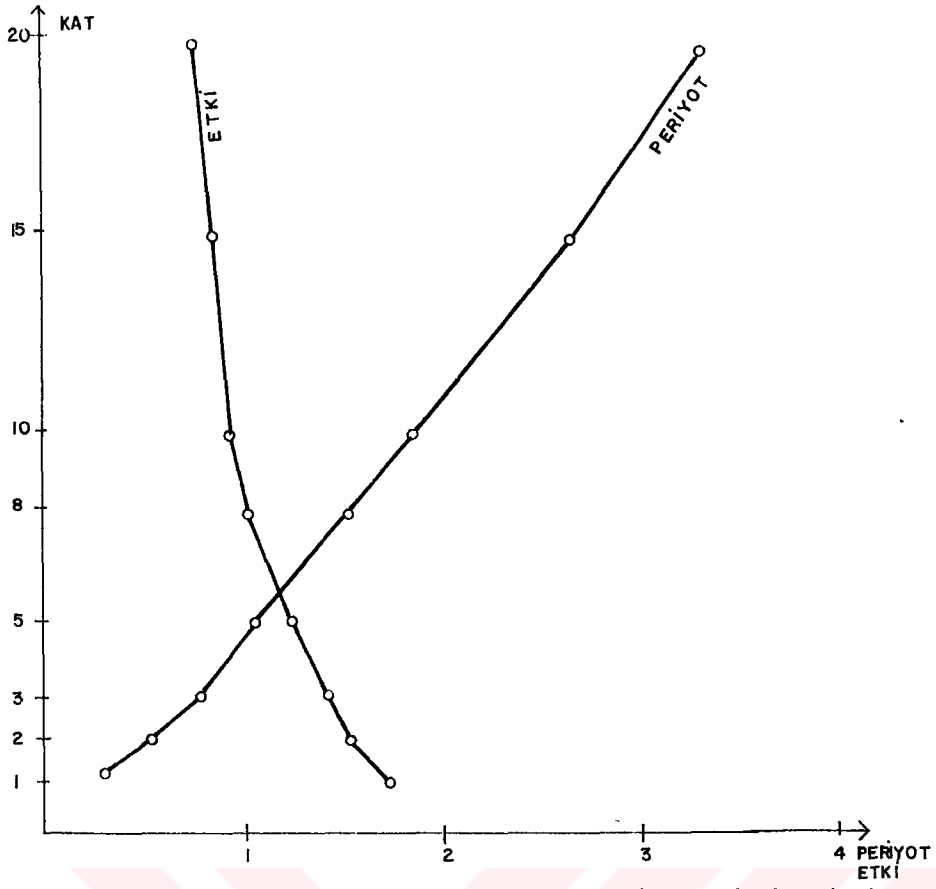
On, onbir ve oniki katlı yapıların birinci, ikinci, üçüncü katlarında kolon kesitleri 60/60; dördüncü, beşinci, altıncı katlarında kolon kesitleri 50/50, yedinci, sekizinci, dokuzuncu katlarda kolon kesitleri 40/40; onuncu, onbirinci, onikinci katlarda kolon kesiti 30/30 olarak seçilmiştir.

Onüç, ondört, onbeş katlı yapılarda alttan ilk üç katta kolon kesitleri 70/70; dördüncü, beşinci, altıncı katlarda kolon kesitleri 60/60 yedinci, sekizinci, dokuzuncu katlarda kolon kesiti 40/40; onüçüncü, ondördüncü, onbeşinci katlarda kolon kesiti 30/30 seçilmiştir.

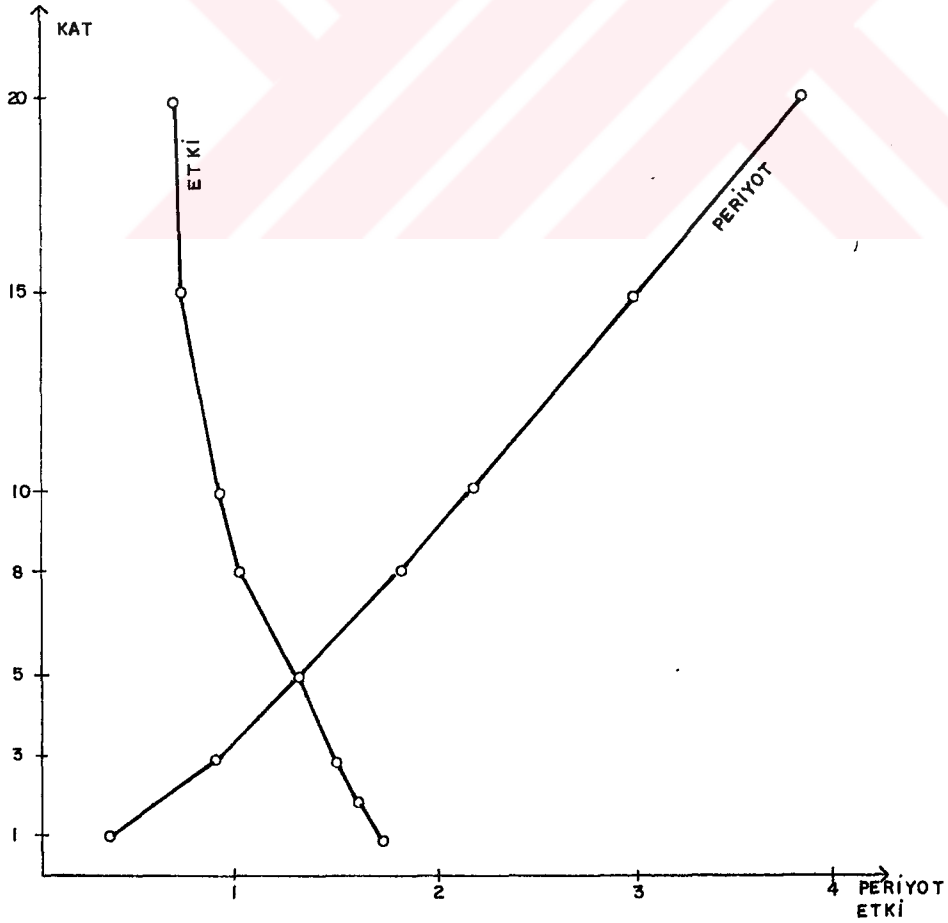
Onaltı, onyedı ve onsekiz katlı yapılarda alttan ilk üç katta kolon kesitleri 80/80, dördüncü, beşinci, altıncı katlarda kolon kesitleri 70/70, yedinci, sekizinci, dokuzuncu katlarda kolon kesitleri 60/60, onuncu, onbirinci, onikinci katlarda kolon kesitleri 50/50, onüçüncü, ondördüncü, onbeşinci katlarda kolon kesiti 40/40, onaltıncı, onyedinci, onsekizinci katlarda kolon kesiti 30/30 seçilmiştir. Ondokuz ve yirmi katlı yapılarda alttan ilk iki katta kolon kesiti 100/100 diğer katlarda üç katta bir yukarı doğru 10 ar cm küçültülerek çerçeve kolon teşkili ile sistem program edilmiştir.

KAT AD.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
I	0.2996 0.1872	0.3462 0.1872	0.3808 0.1872	0.2904 0.1872	0.3209 0.1872	0.3237 0.1872	0.3264 0.1872	0.3680 0.1872	0.3710 0.1872	0.3077 0.1330	0.0960 0.1872
2	0.5309 0.1643	0.6191 0.1648	0.6870 0.1653	0.5018 0.1631	0.5569 0.1633	0.5641 0.1636	0.5713 0.1638	0.6466 0.1641	0.6544 0.1643	0.5317 0.1153	0.2415 0.1765
3	0.7698 0.1426	0.8999 0.1429	1.0016 0.1432	0.7191 0.1414	0.7991 0.1415	0.8105 0.1417	0.8221 0.1418	0.9319 0.1420	0.9446 0.1422	0.7608 0.0998	0.4305 0.1611
5	1.0786 0.1234	1.2717 0.1228	1.4275 0.1234	0.9693 0.1239	1.0826 0.1235	1.1041 0.1232	1.1258 0.1230	1.2829 0.1227	1.3069 0.1226	1.0236 0.0872	0.8597 0.1360
8	1.5497 0.1037	1.8317 0.1023	2.0650 0.1029	1.3387 0.1050	1.4988 0.1042	1.5338 0.1035	1.5700 0.1029	1.7996 0.1024	1.8370 0.1020	1.4030 0.0735	1.5227 0.1104
10	1.8491 0.0952	2.1829 0.0935	2.4625 0.9392	1.5672 0.0967	1.7545 0.0956	1.7969 0.0948	1.8415 0.0940	2.1098 0.0935	2.1609 0.0931	1.6319 0.0673	1.9601 0.0985
15	2.6237 0.0825	3.0849 0.0785	3.4807 0.7801	2.1435 0.0821	2.3967 0.0807	2.4567 0.0795	2.5228 0.0786	0.8980 0.0779	2.9766 0.0773	2.1955 0.0564	3.0504 0.0789
20	3.2964 0.6757	3.8515 0.0704	4.3334 0.6878	2.6471 0.0739	2.9504 0.0723	3.0202 0.0710	3.1003 0.0701	3.5557 0.0686	3.6617 0.0686	2.6729 0.0502	4.0868 0.0680

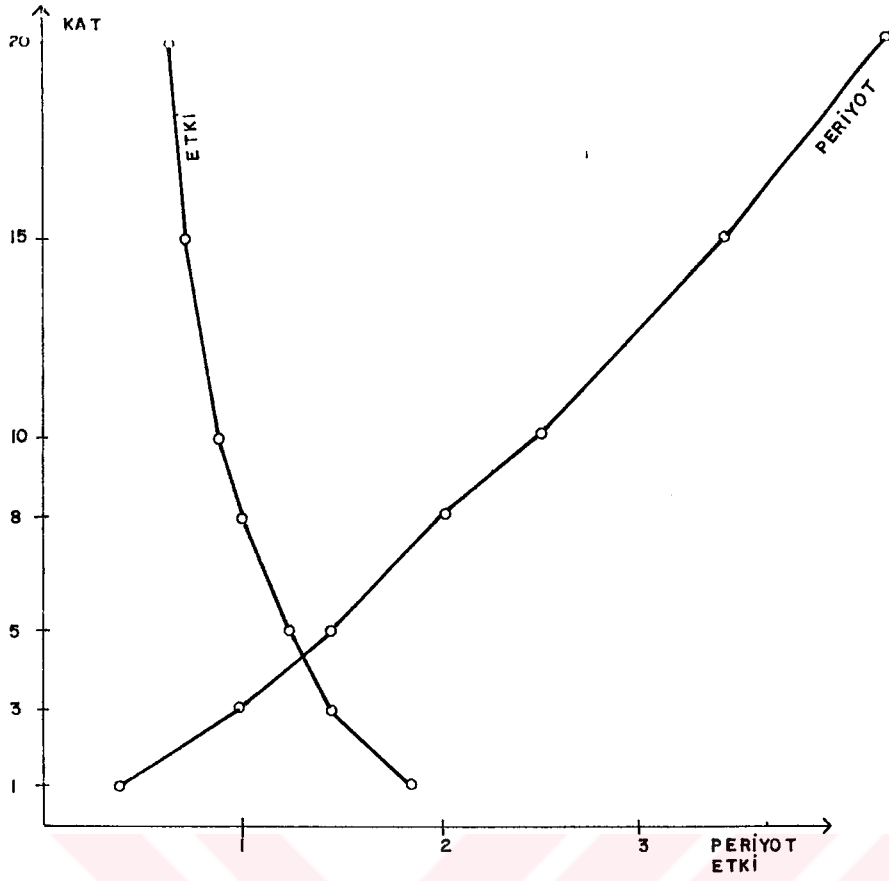
Tablo: 1 Form ve katlara göre periyot, etki parametre değerleri



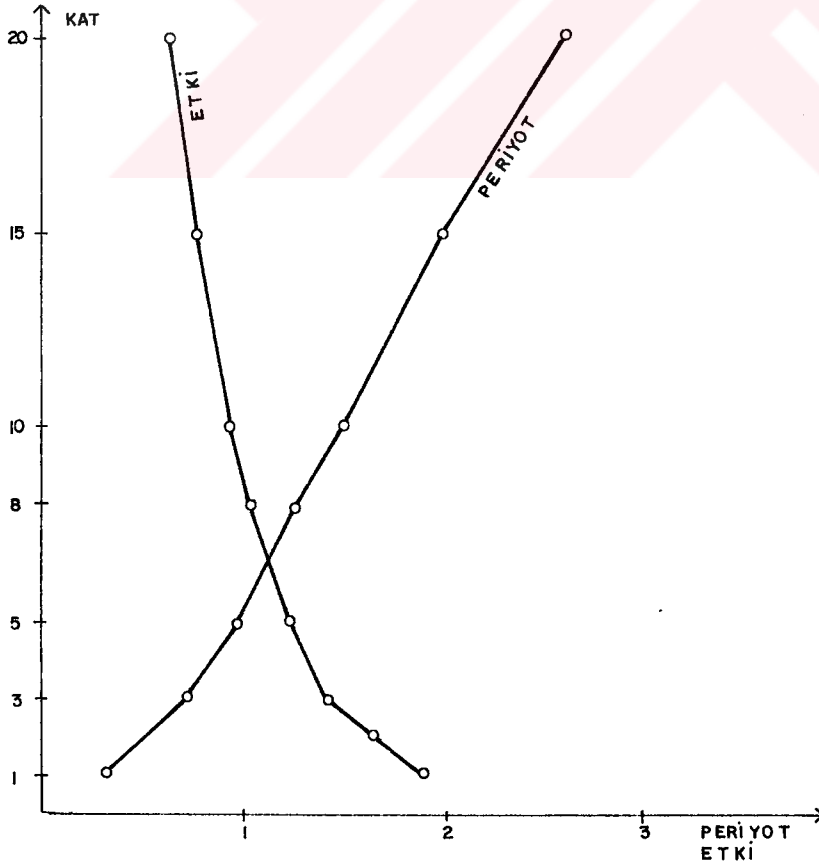
Şekil 13 A FORMU KAT PERİYOT İLİŞKİSİ
A FORMU KAT ETKİ İLİŞKİSİ



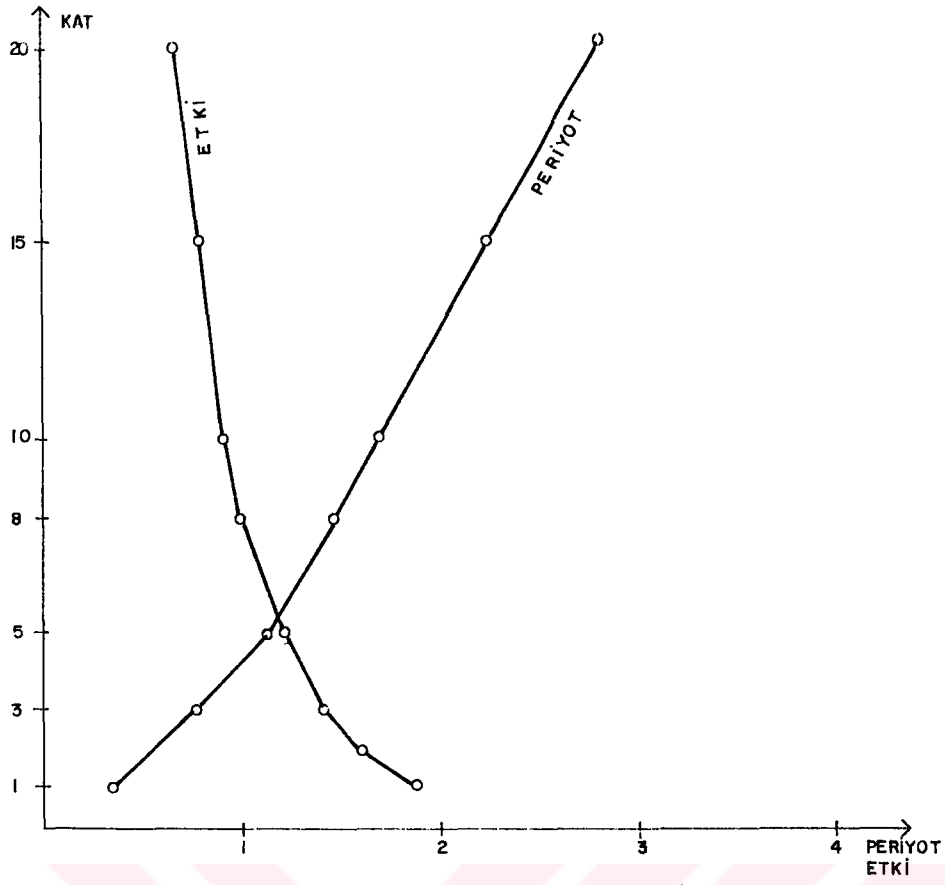
Şekil 14 B-FORMU KAT PERİYOT İLİŞKİSİ
B-FORMU KAT ETKİ İLİŞKİSİ



Şekil 15 C-FORMU KAT PERİYOT İLİŞKİSİ
C-FORMU KAT ETKİ İLİŞKİSİ



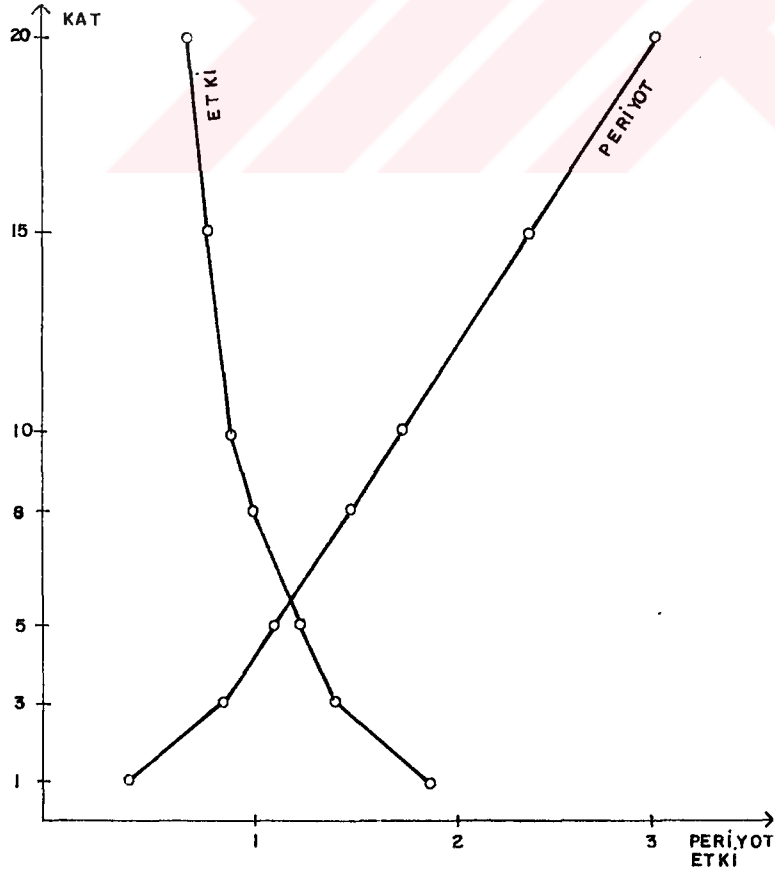
Şekil 16 D-FORMU KAT PERİYOT İLİŞKİSİ
D-FORMU KAT ETKİ İLİŞKİSİ



Şekil 17

E-FORMU KAT PERİYOT İLİŞKİSİ

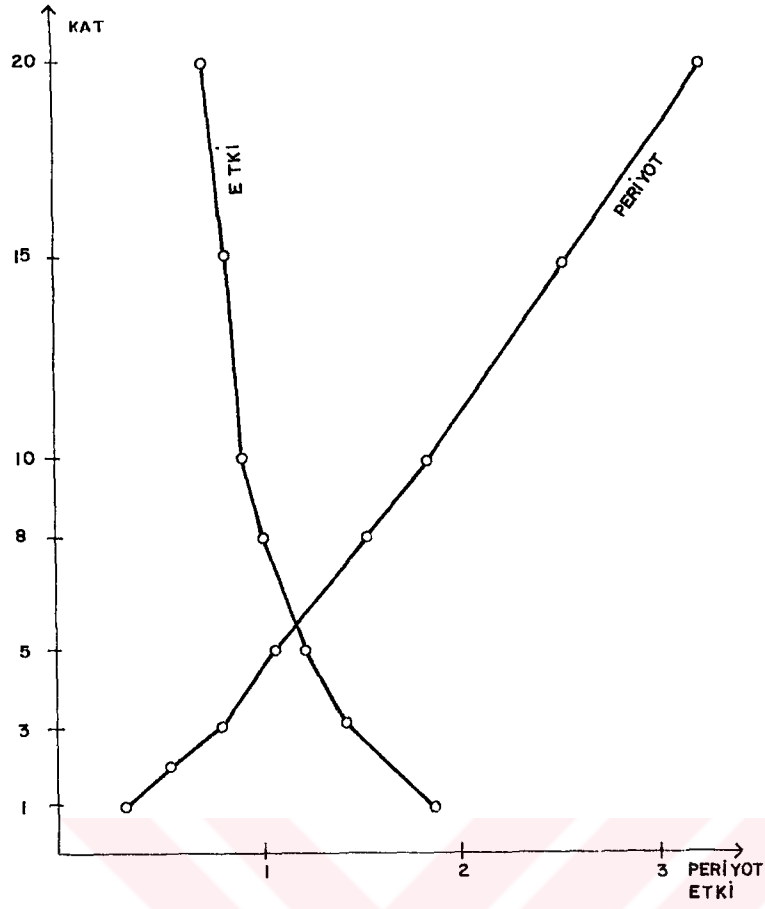
E-FORMU KAT ETKİ İLİŞKİSİ



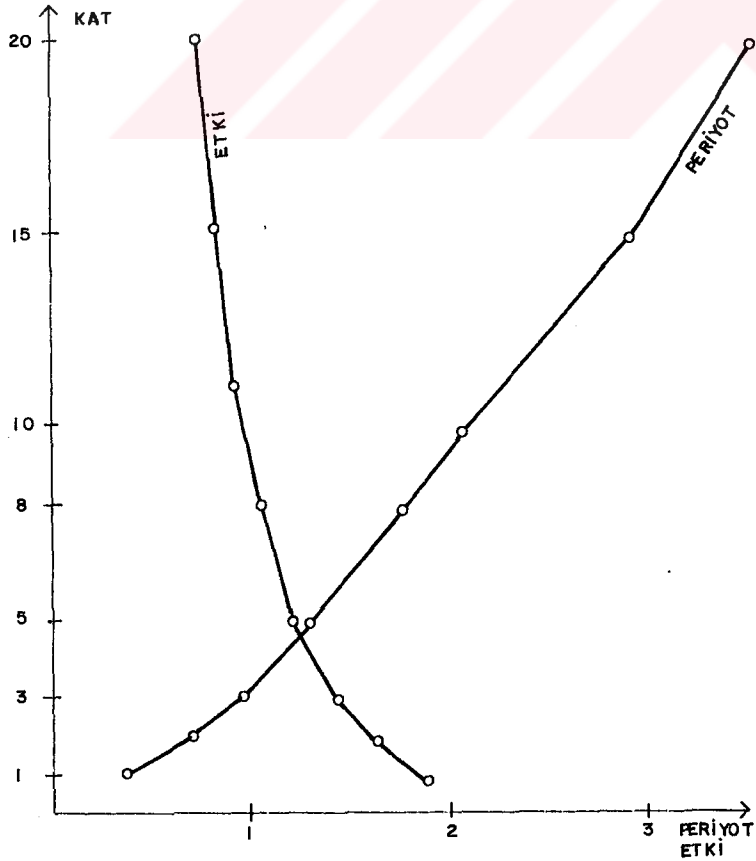
Şekil 18

F-FORMU KAT PERİYOT İLİŞKİSİ

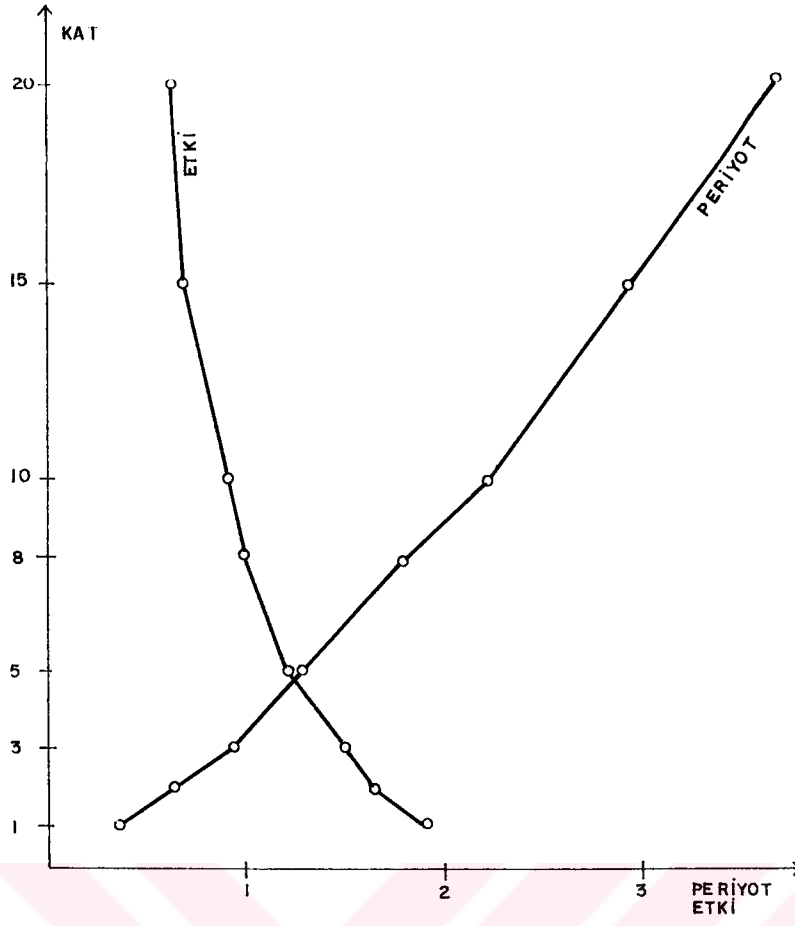
F-FORMU KAT ETKİ İLİŞKİSİ



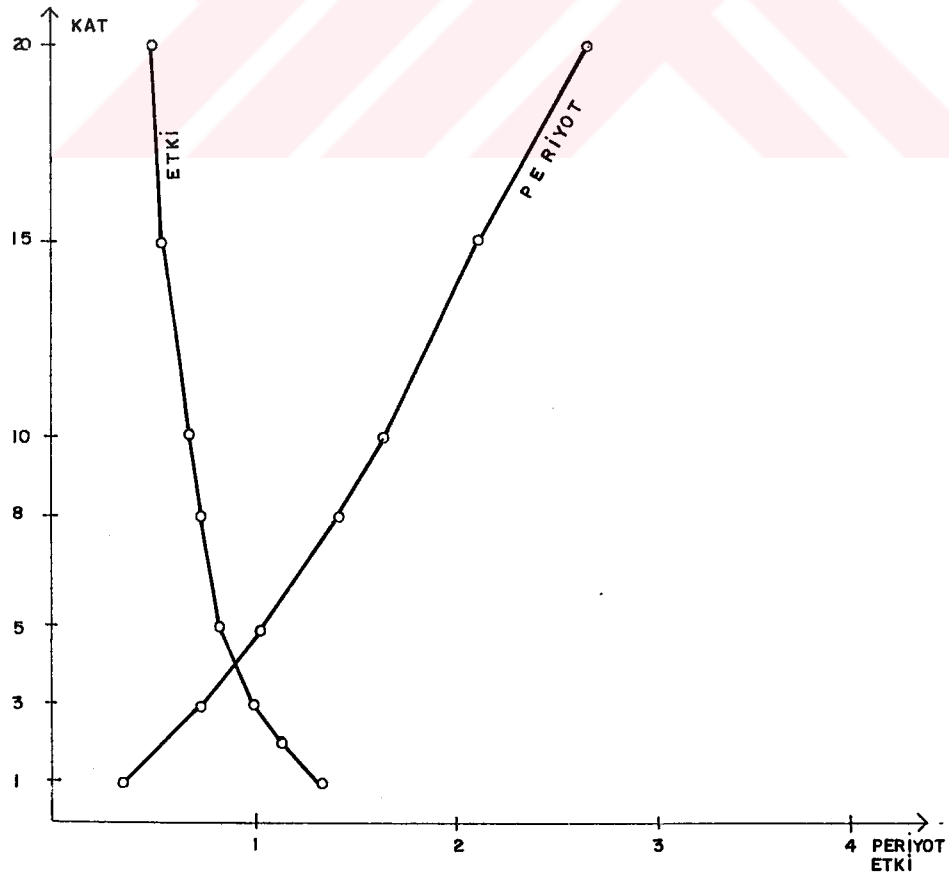
Şekil 19 G-FORMU KAT PERİYOT İLİŞKİSİ
G-FORMU KAT ETKİ İLİŞKİSİ



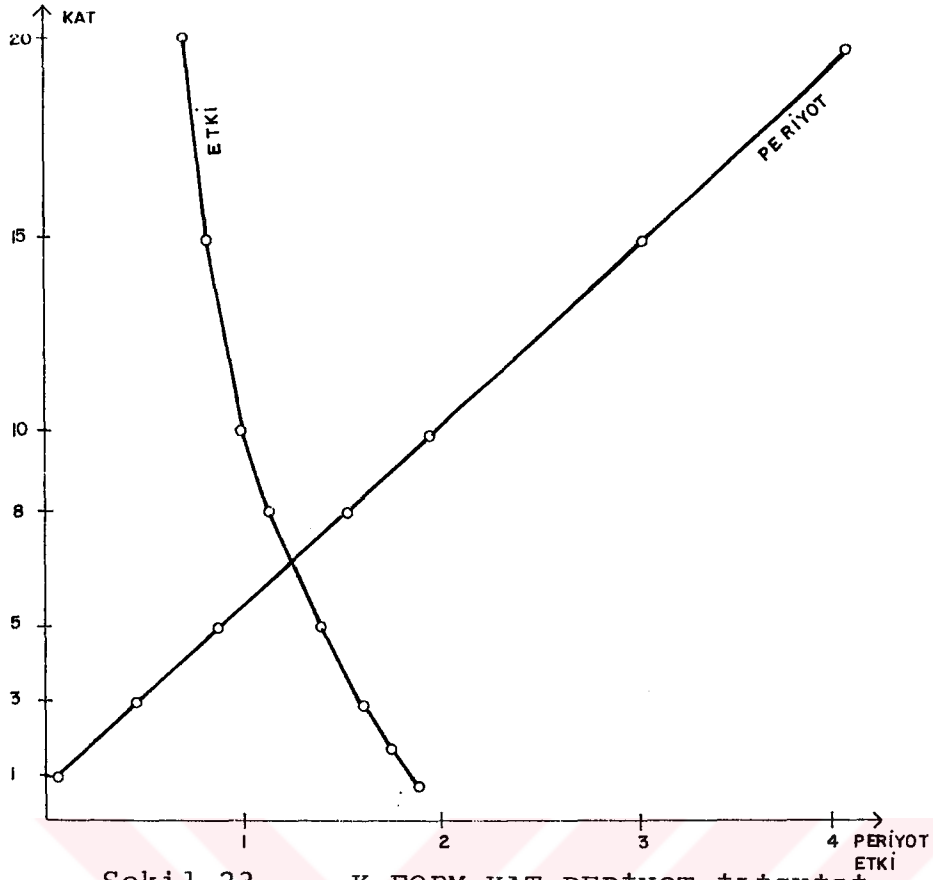
Şekil 20 H-FORM KAT PERİYOT İLİŞKİSİ
H-FORM KAT ETKİ İLİŞKİSİ



Şekil 21 I-FORM KAT PERİYOT İLİŞKİSİ
I-FORM KAT ETKİ İLİŞKİSİ

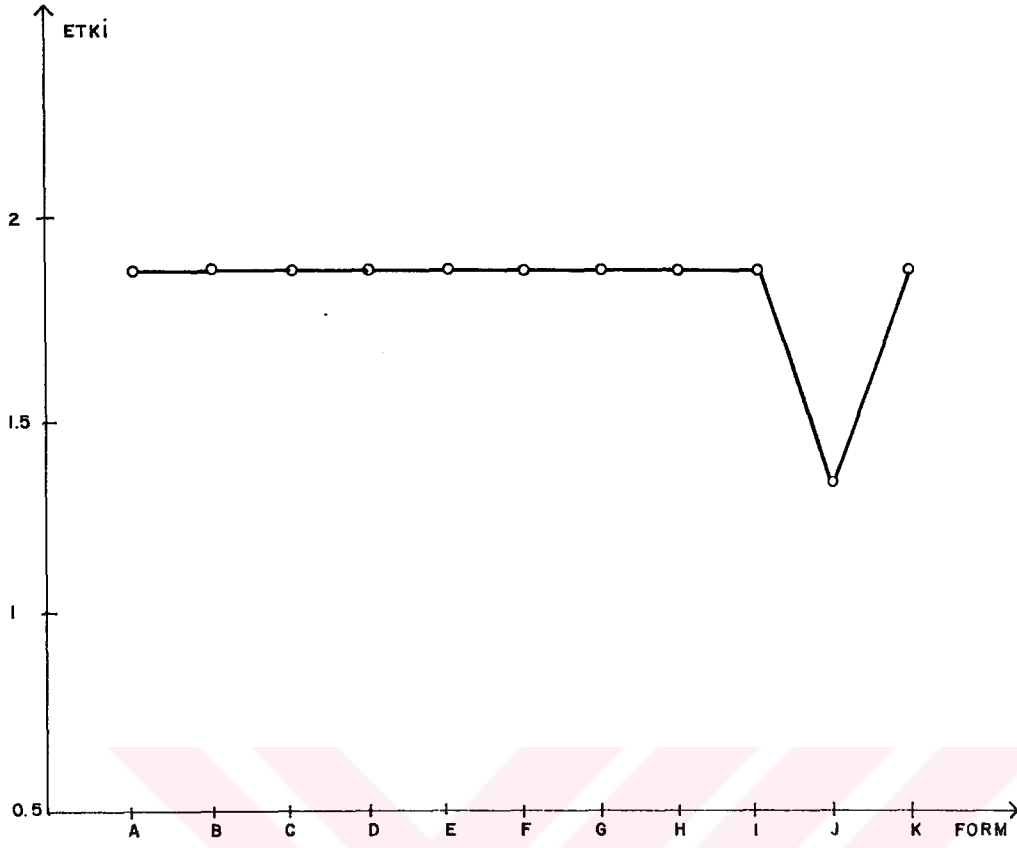


Şekil 22 J-FORM KAT PERİYOT İLİŞKİSİ
J-FORM KAT ETKİ İLİŞKİSİ



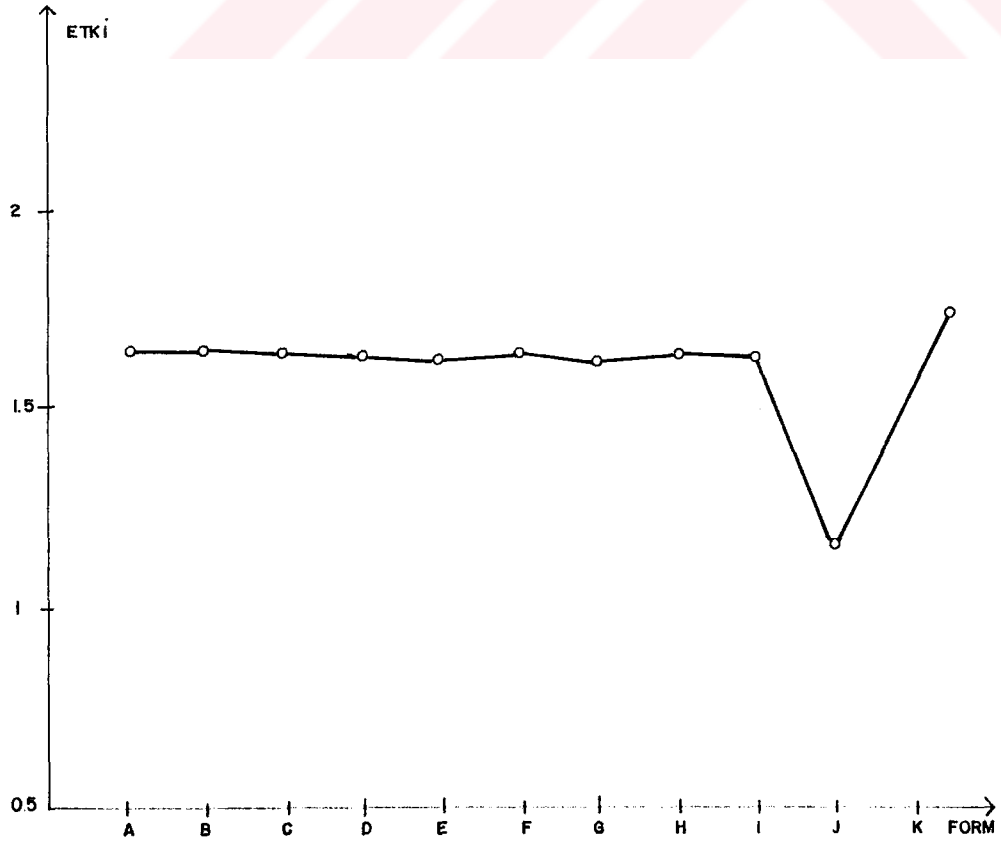
Şekil 23

K-FORM KAT PERİYOT İLİŞKİSİ



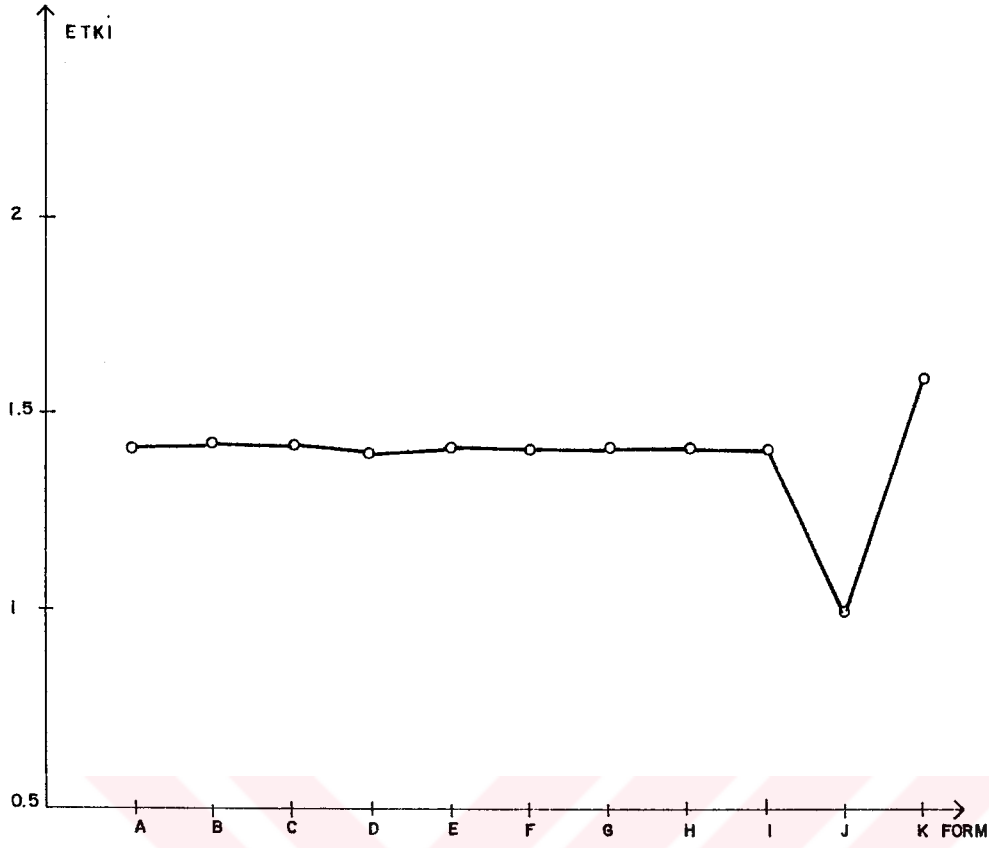
Şekil 24

KAT I FORM ETKİ DİYAGRAMI



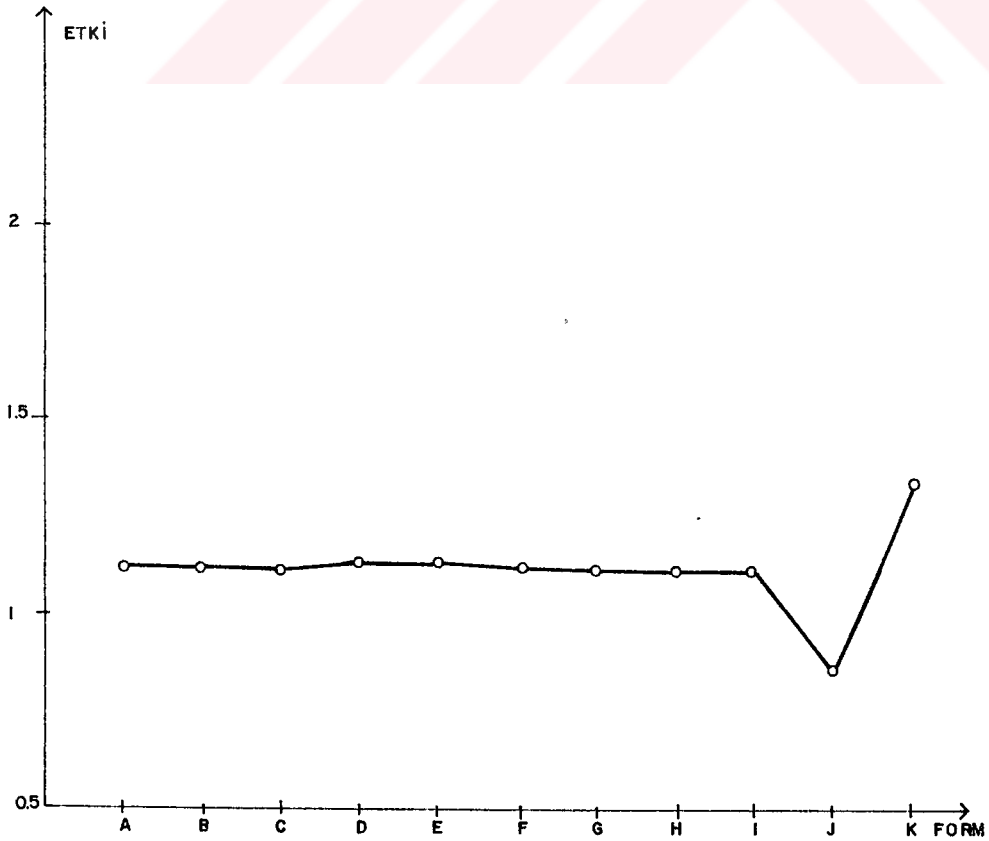
Şekil 25

KAT-2 FORM ETKİ DİYAGRAMI



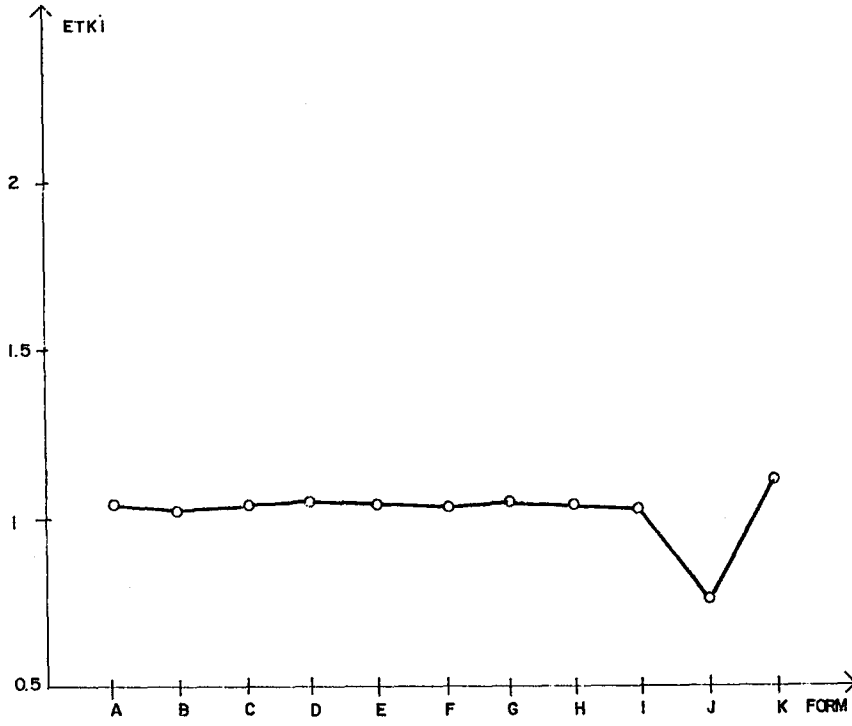
Şekil 26

KAT-3-FORM ETKİ DİYAGRAMI

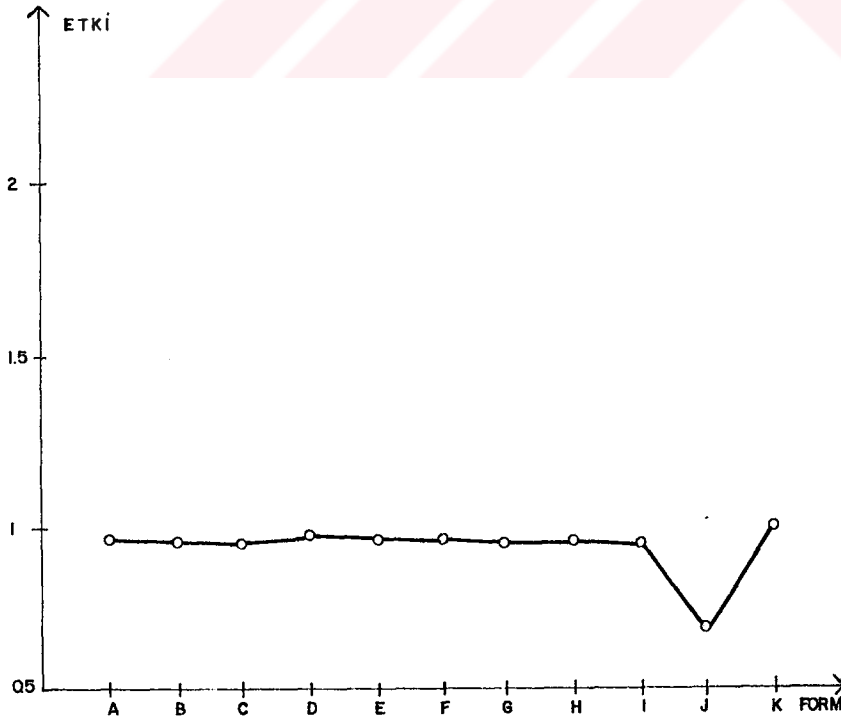


Şekil 27

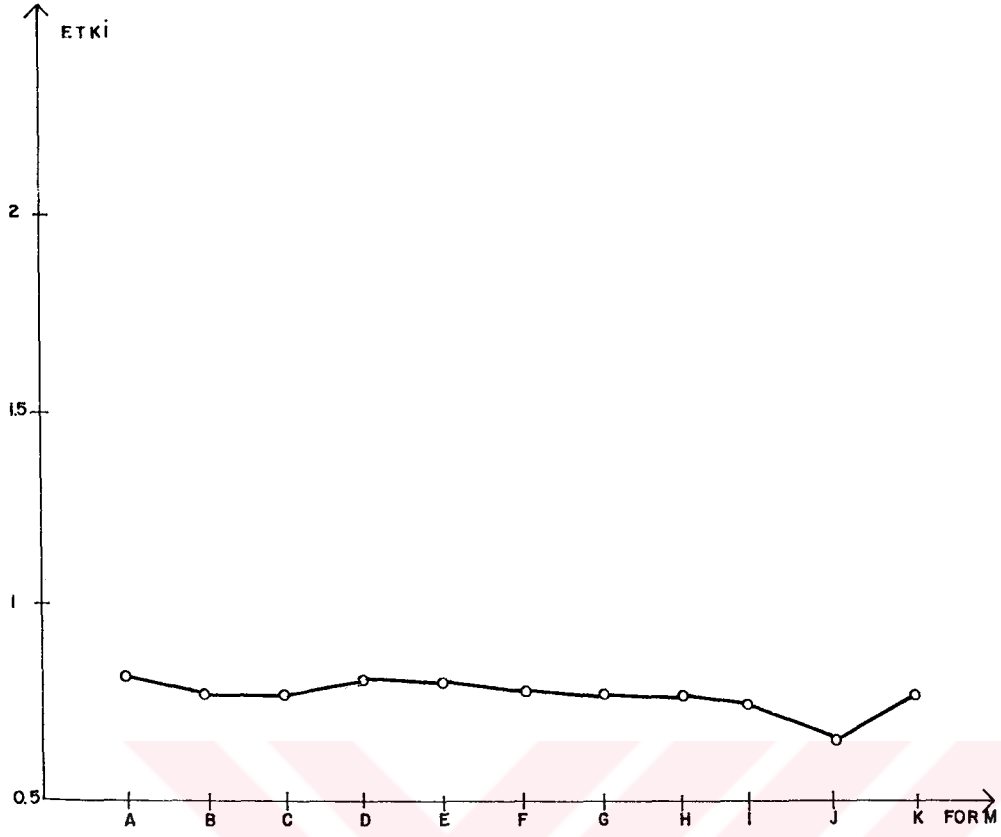
KAT-5-FORM ETKİ DİYAGRAMI



Şekil 28 KAT-8-FORM ETKİ DİYAGRAMI

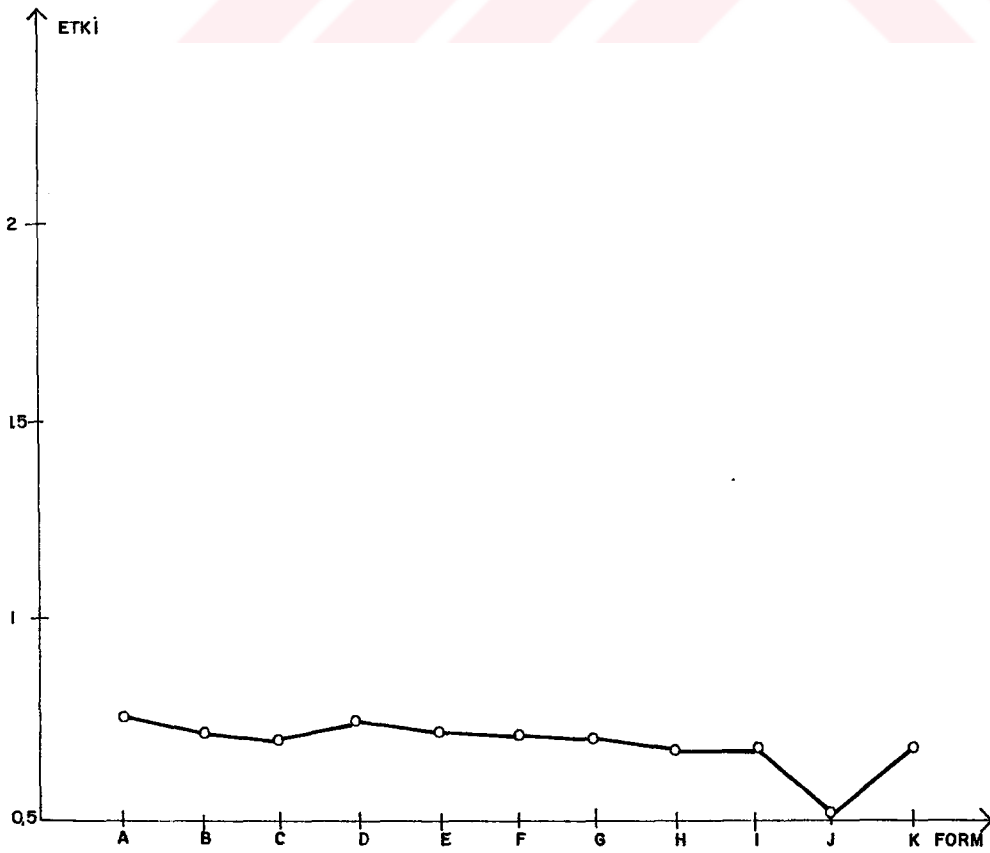


Şekil 29 KAT-10-FORM ETKİ DİYAGRAMI



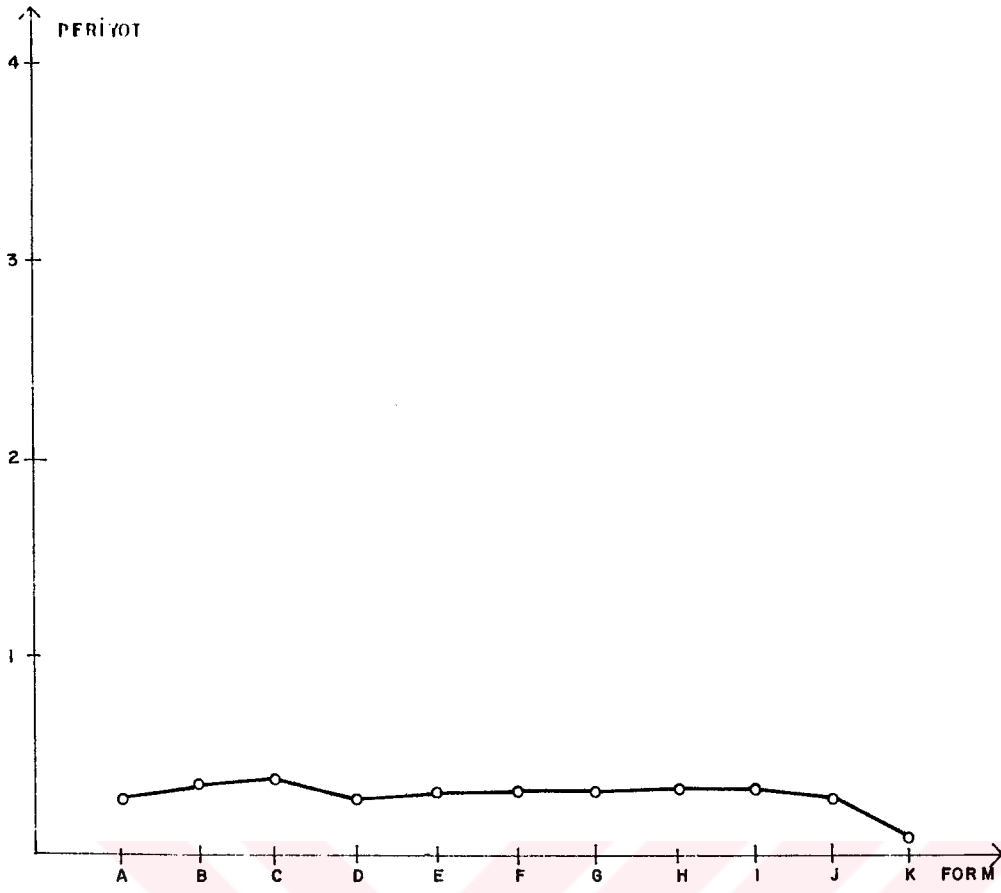
Şekil 30

KAT-15-FORM ETKİ DİYAGRAMI



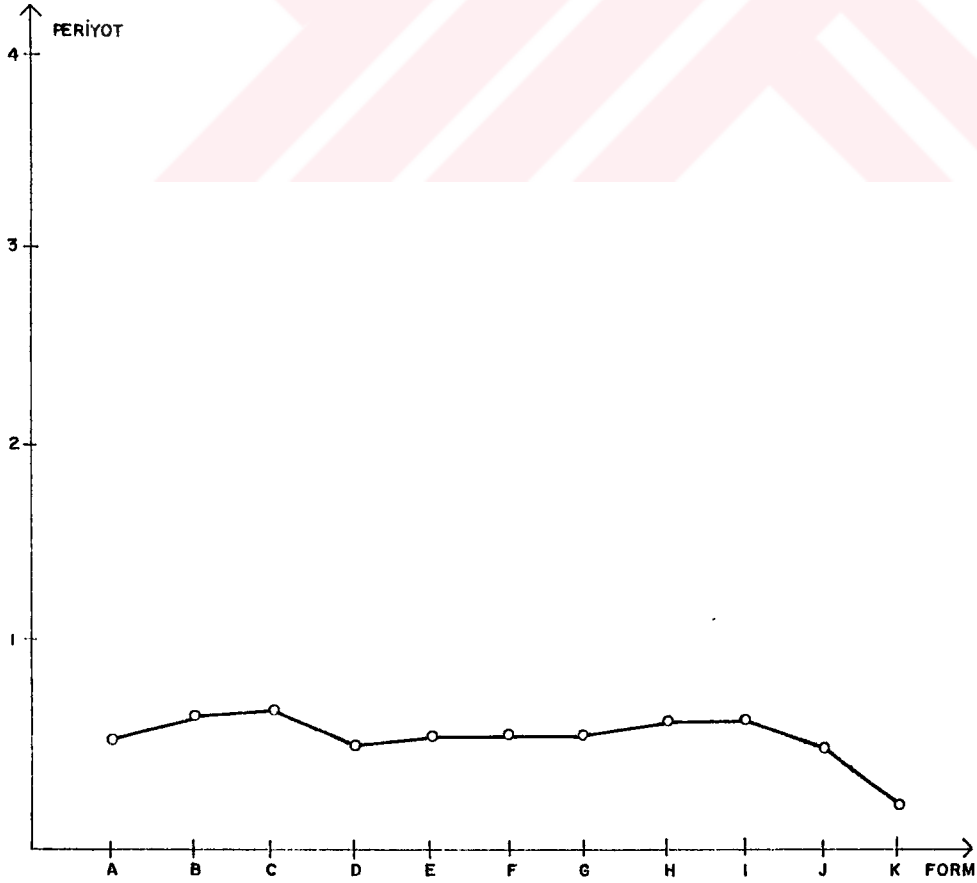
Şekil-31

KAT-20-FORM ETKİ DİYAGRAMI



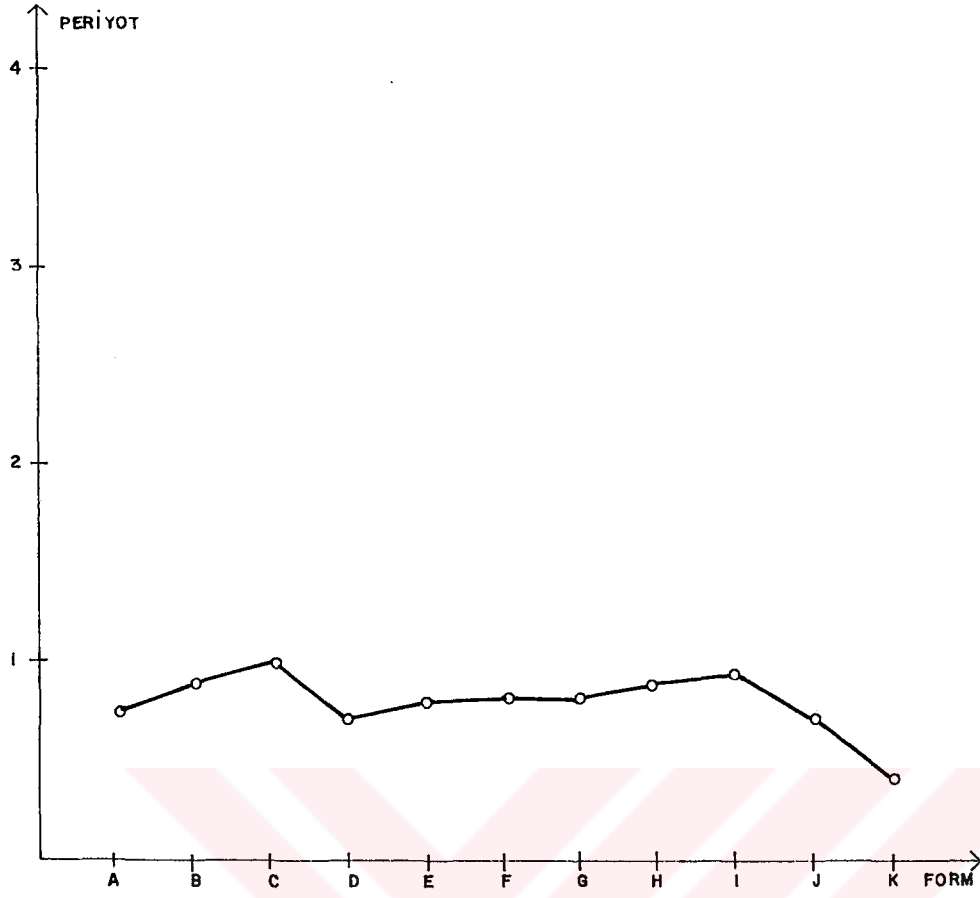
Şekil-32

KAT-I-FORM PERİYOD İLİŞKİSİ



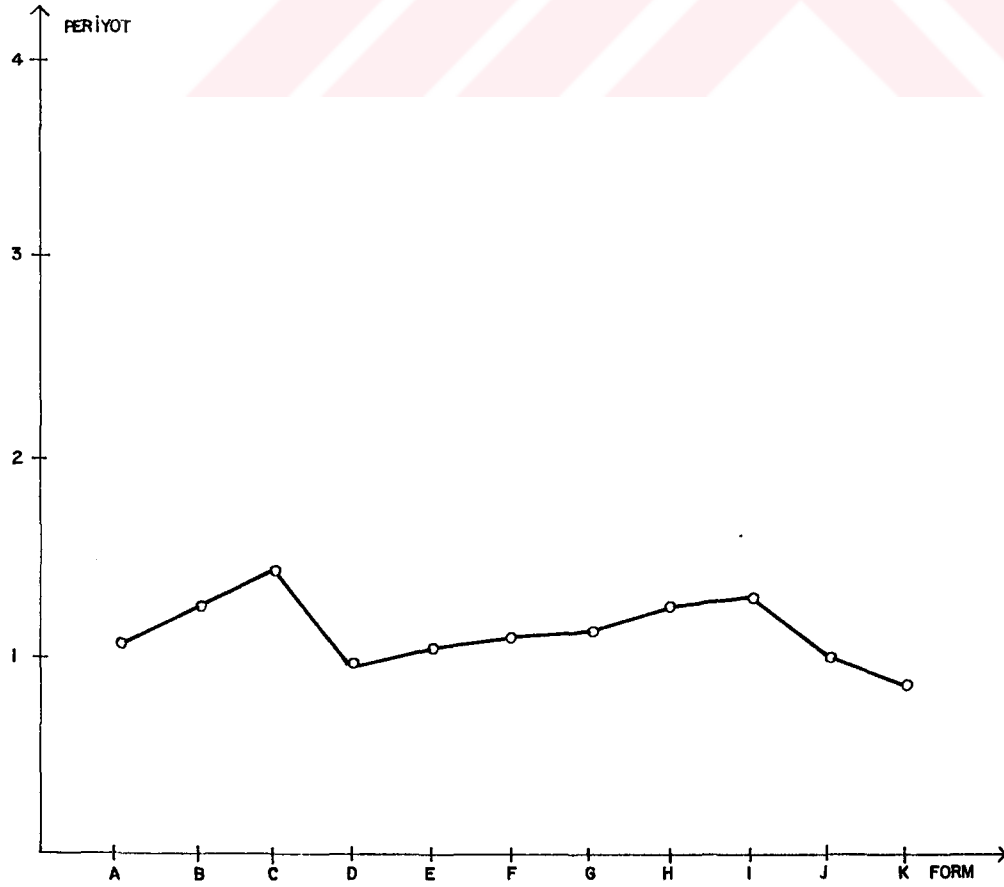
Şekil-33

KAT-2-FORM PERİYOD İLİŞKİSİ



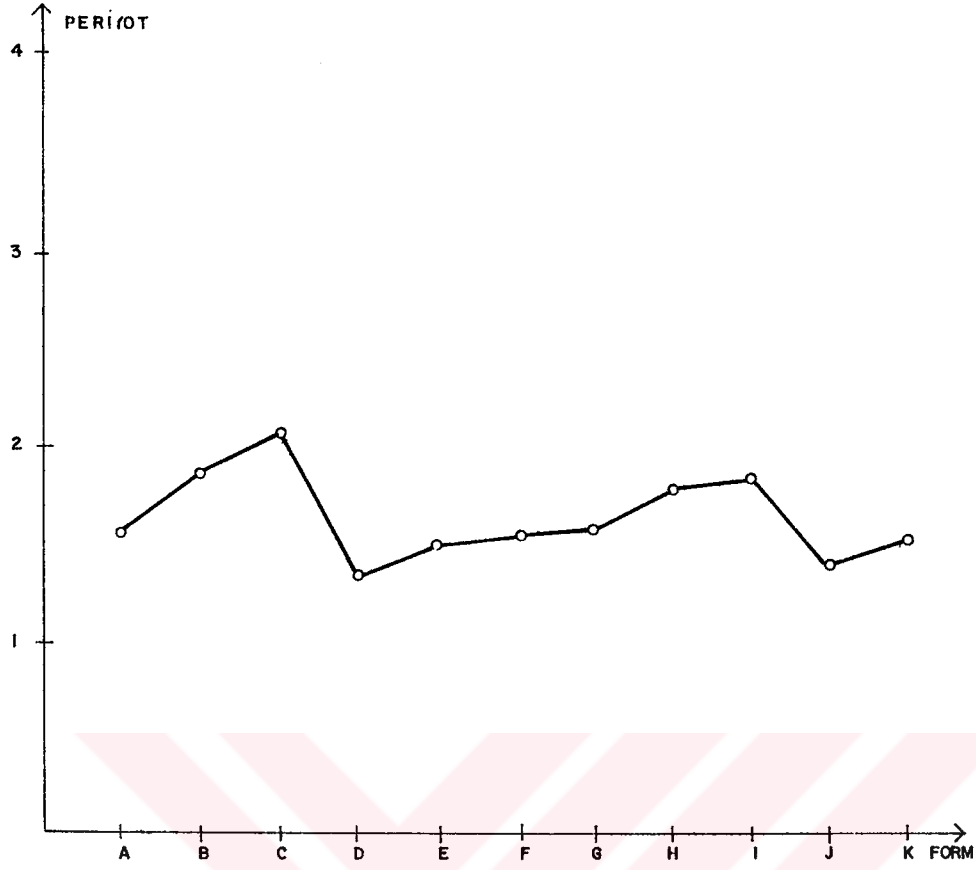
Şekil-34

KAT-3-FORM PERİYOT İLİŞKİSİ



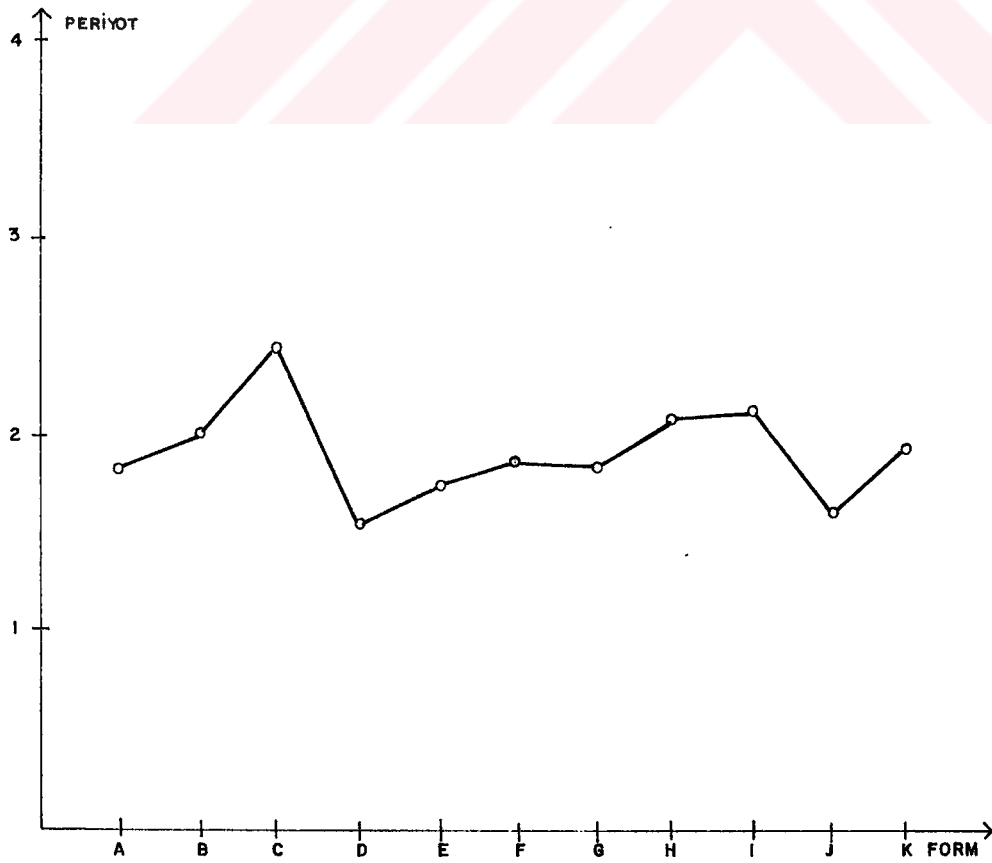
Şekil-35

KAT-5-FORM PERİYOT İLİŞKİSİ



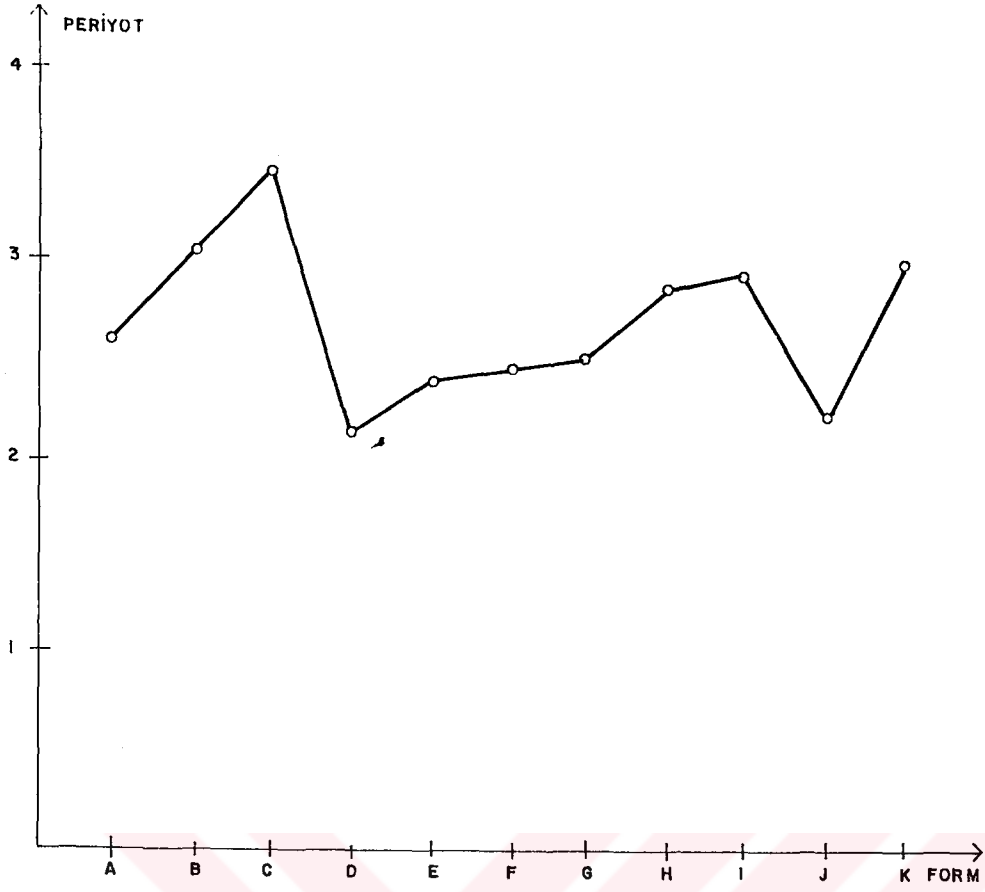
Şekil-36

KAT-8-FORM PERİYOT İLİŞKİSİ



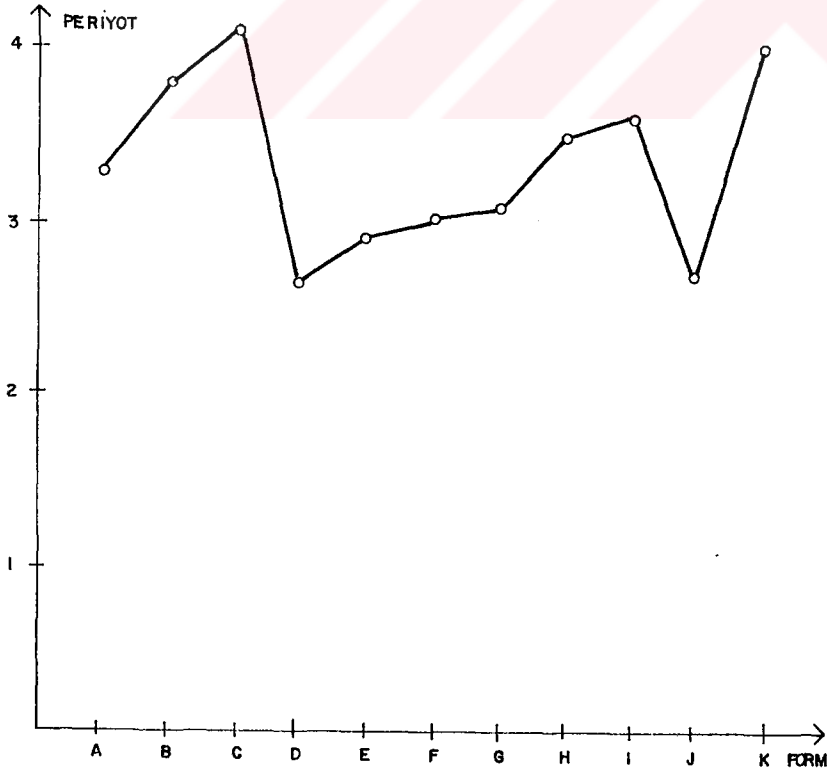
Şekil-37

KAT-10-FORM PERİYOT İLİŞKİSİ



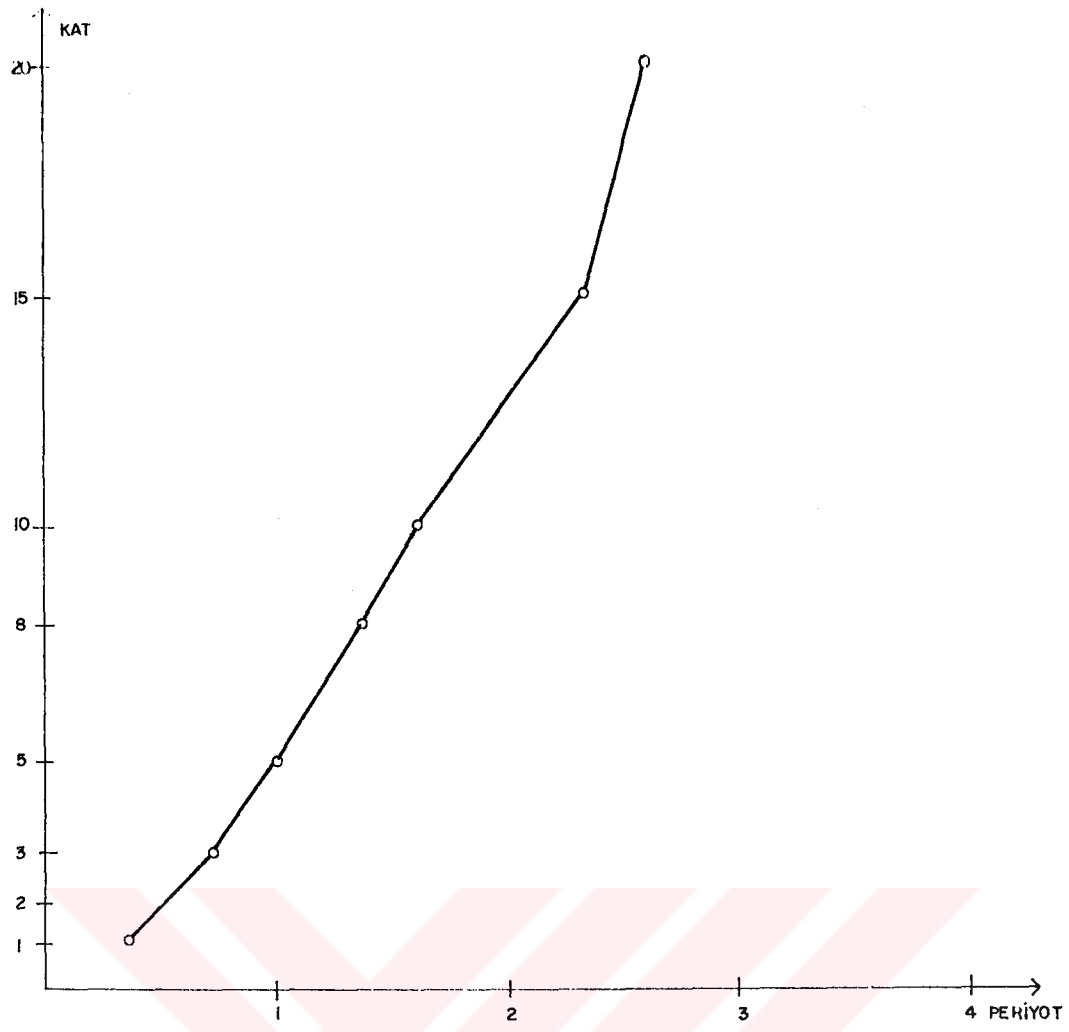
Şekil-38

KAT-15-FORM PERİYOT İLİŞKİSİ



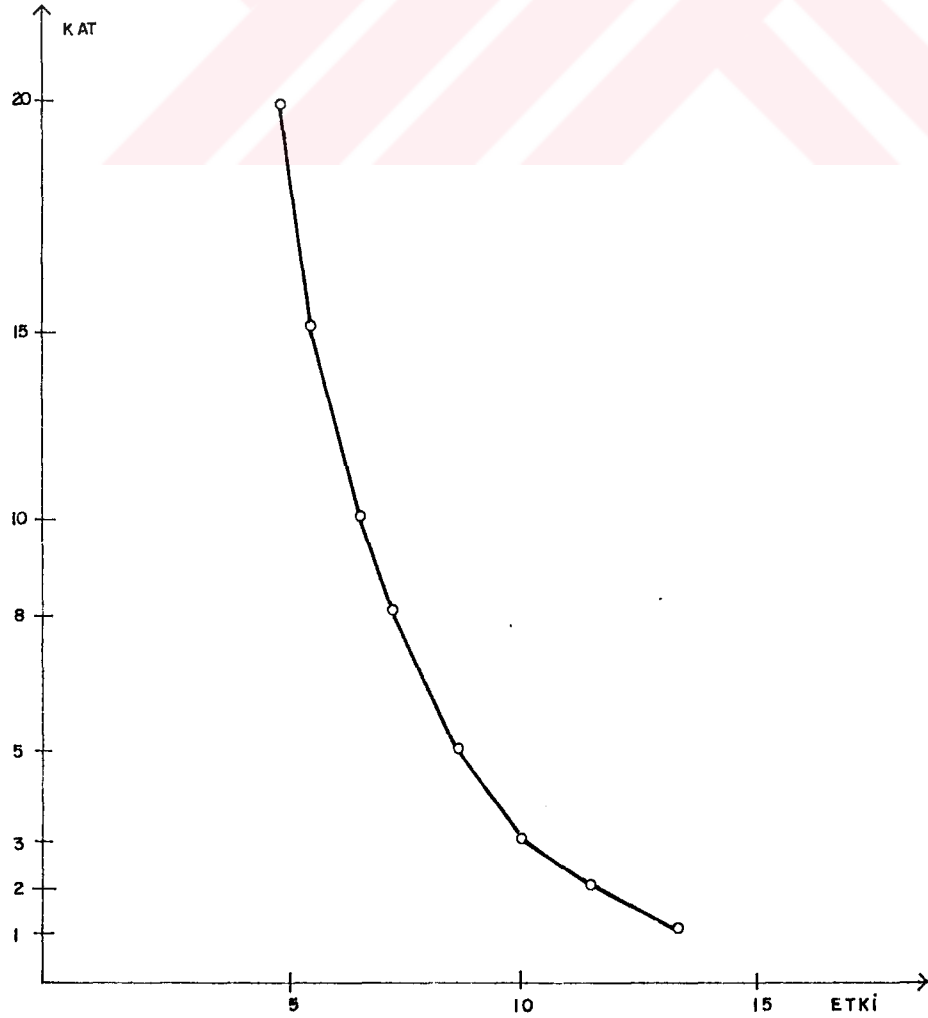
Şekil-39

KAT-20-FORM PERİYOT İLİŞKİSİ



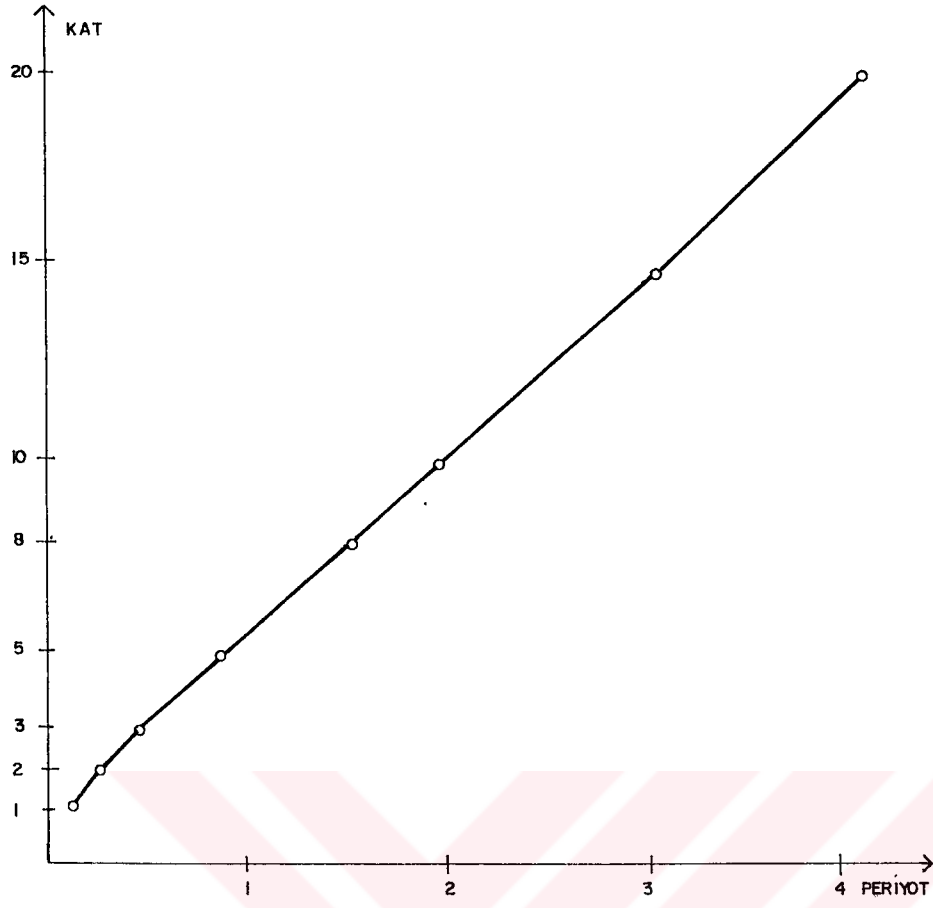
Şekil-40

J-FORMU PERİYOT KAT İLİŞKİSİ



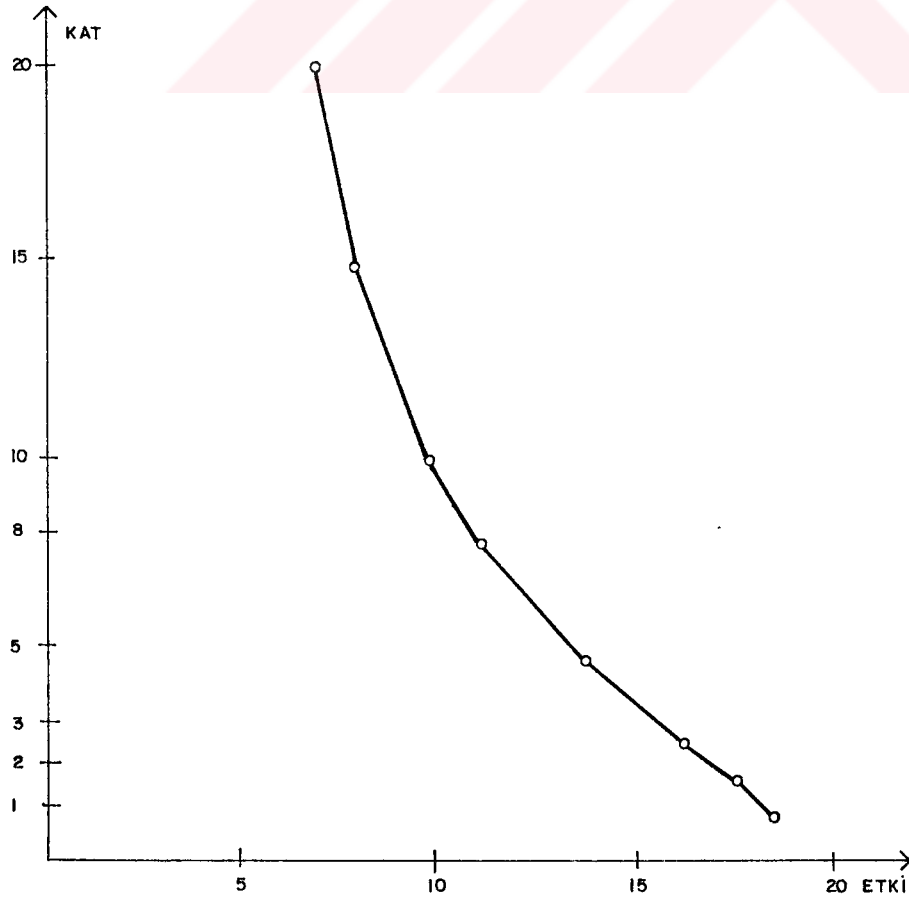
Şekil-41

J-FORMU ETKİ KAT DİYAGRAMI



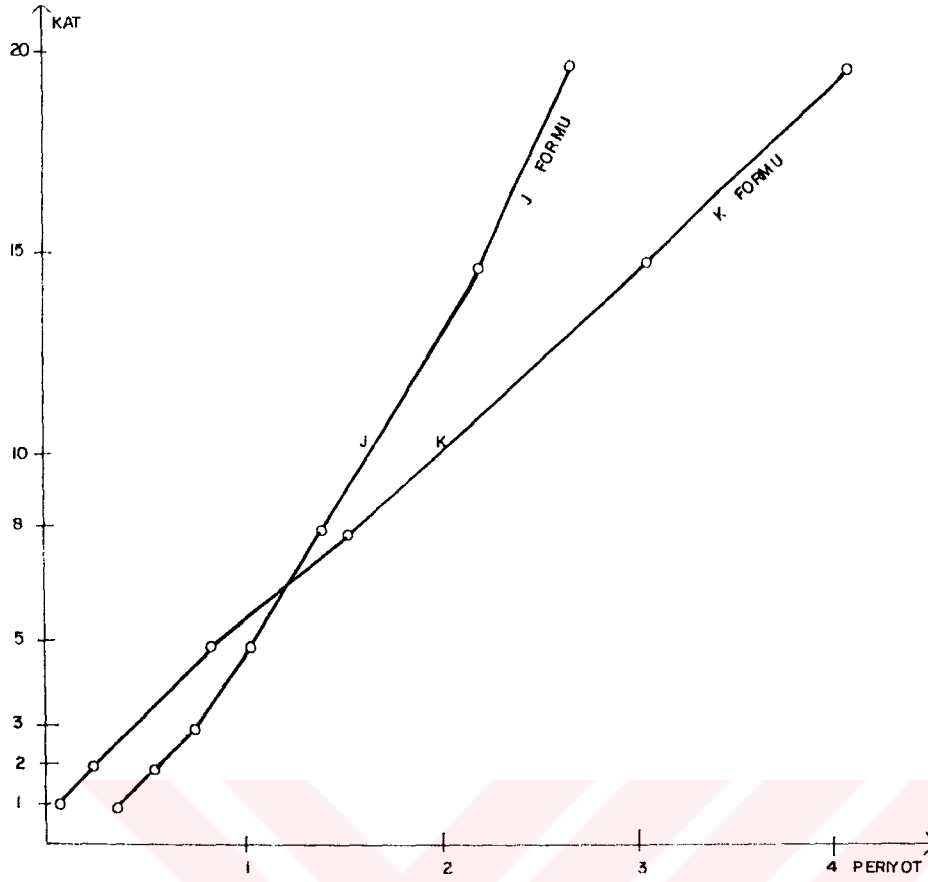
Şekil-42

K-FORMU PERİYOT KAT İLİŞKİSİ

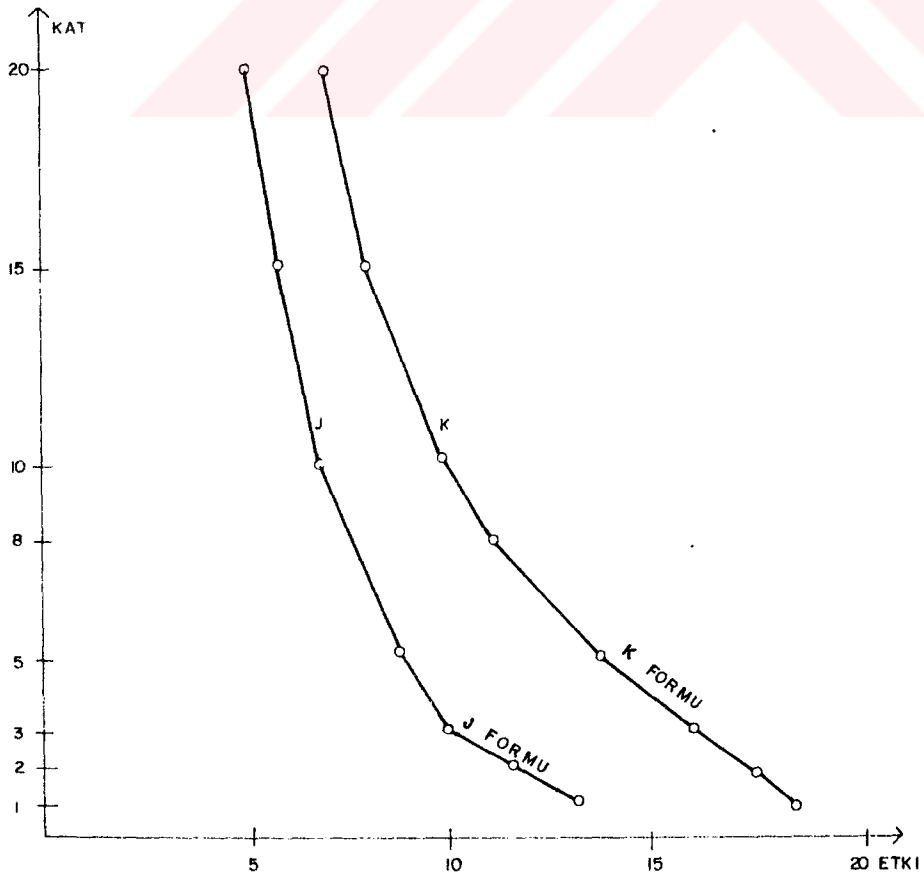


Şekil-43

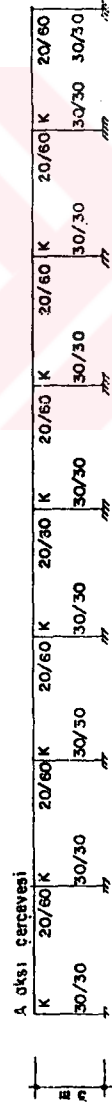
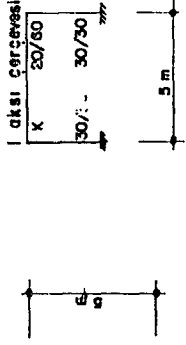
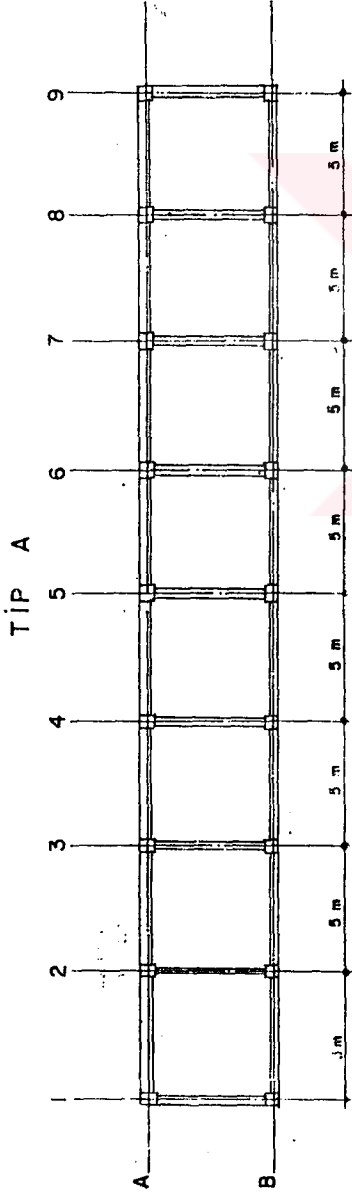
K-FORM ETKİ KAT İLİŞKİSİ



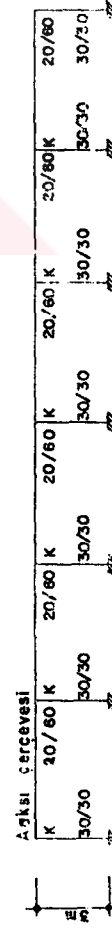
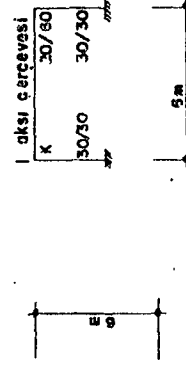
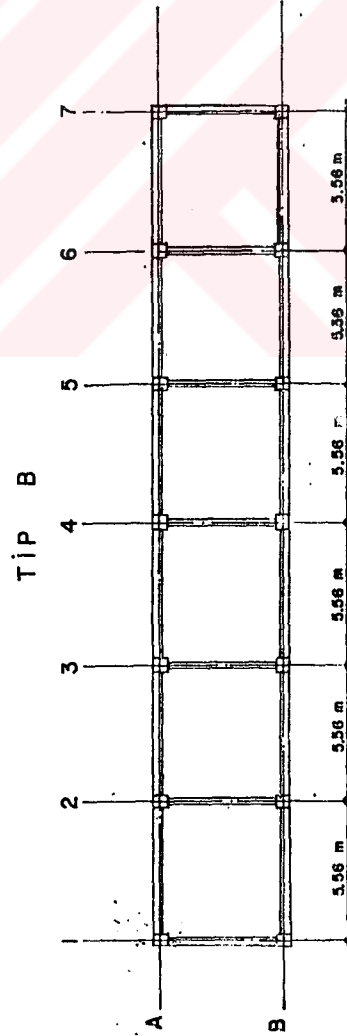
Şekil-44 J-FORM KAT PERİYOT İLİŞKİSİ
K-FORM KAT PERİYOT İLİŞKİSİ



Şekil-45 J-FORMU KAT ETKİ İLİŞKİSİ
K-FORMU KAT ETKİ İLİŞKİSİ

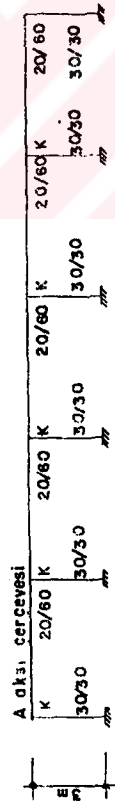
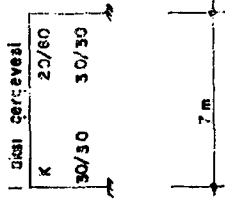
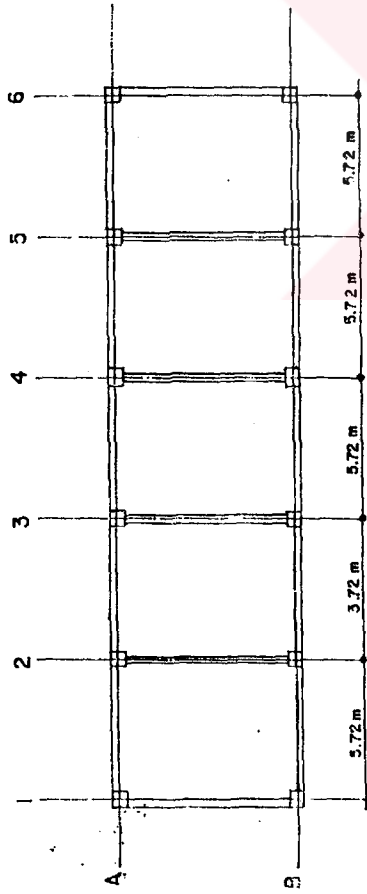


Şekil-46



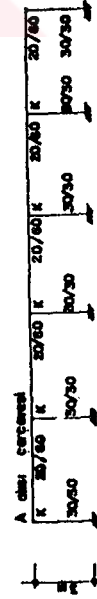
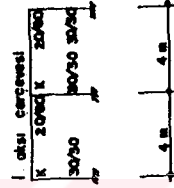
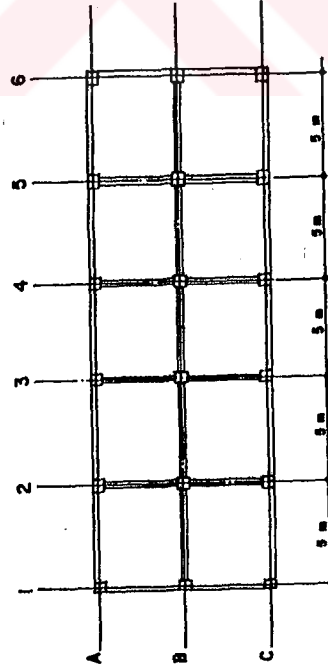
Şekil-47

TİP C

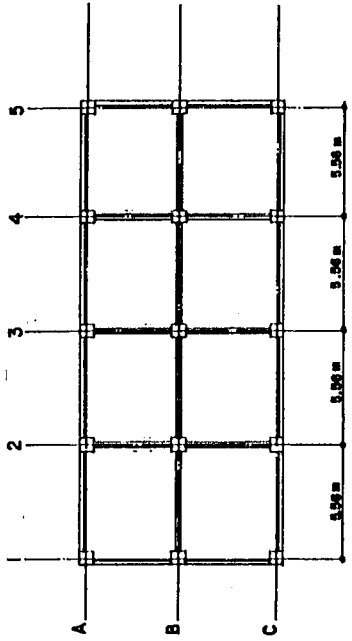


Şekil-48

TİP D



Şekil-49

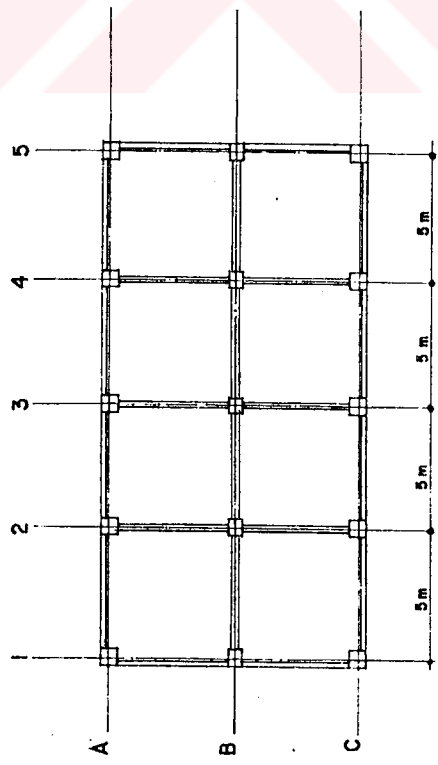


A aksı çerçevesi

K	20/60	K	20/60	K	20/60	K	20/60
30/30	30/30	30/30	30/30	30/30	30/30	30/30	30/30

Şekil-50

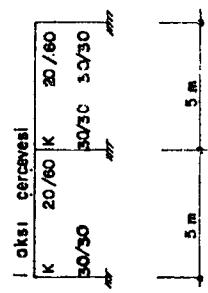
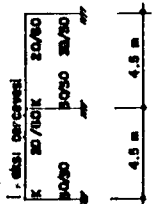
TİP F



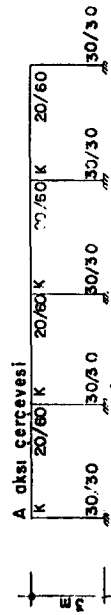
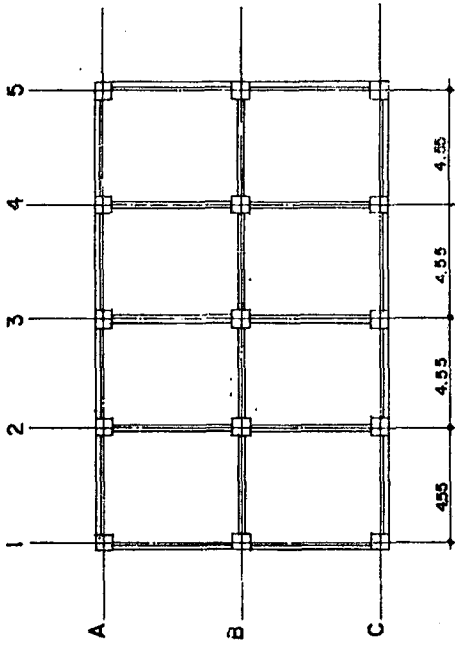
A aksı çerçevesi

K	20/60	K	20/60	K	20/60	K	20/60
30/30	30/30	30/30	30/30	30/30	30/30	30/30	30/30

Şekil-51

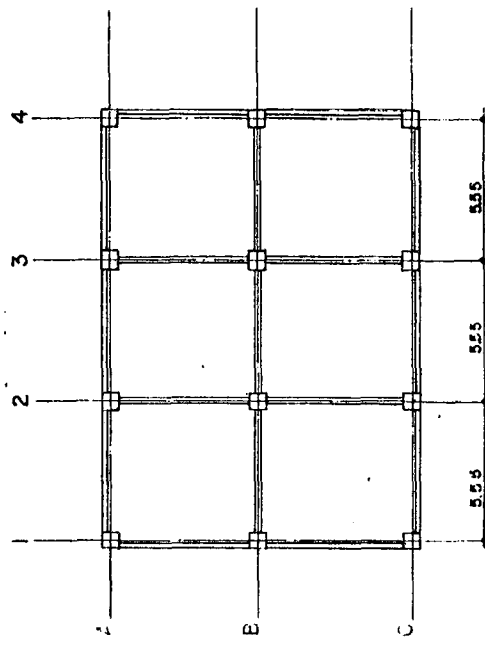


TİP G

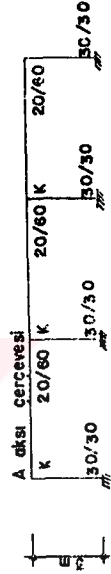
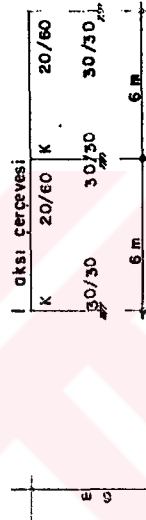
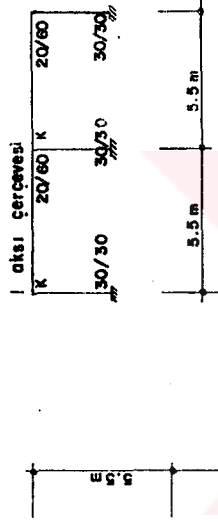


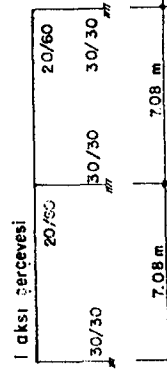
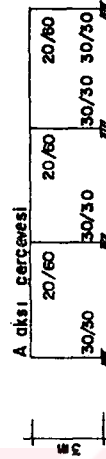
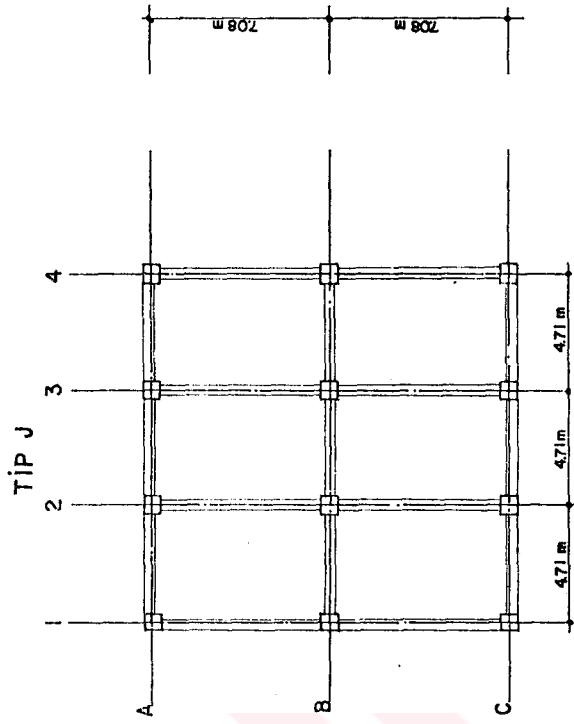
Şekil-52

TİP H

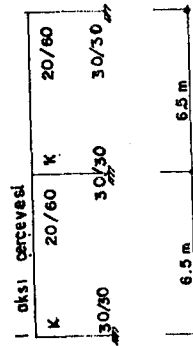
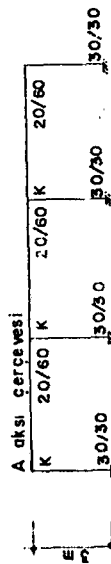
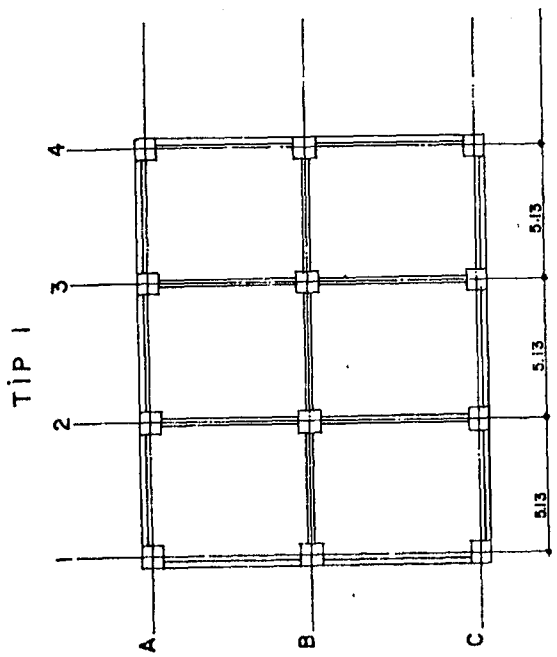


Şekil-53



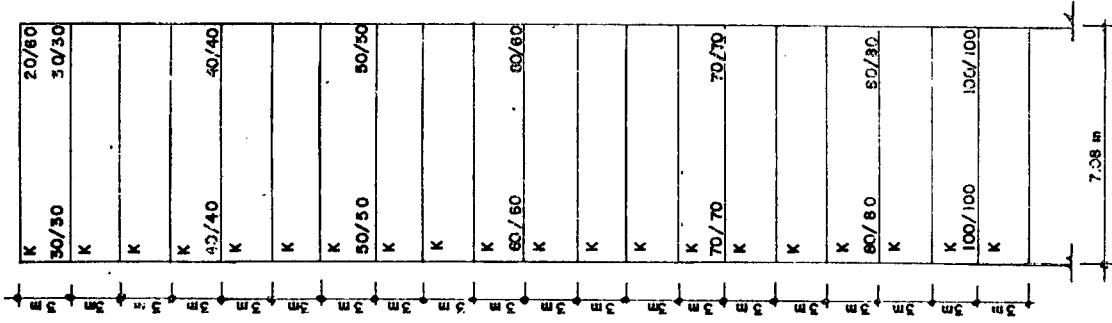
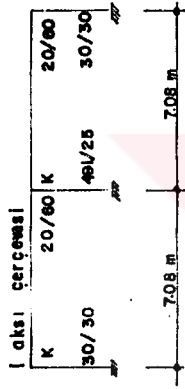
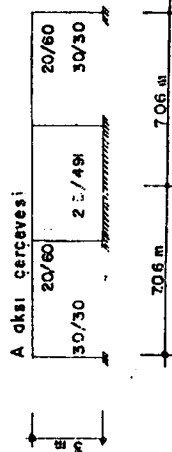
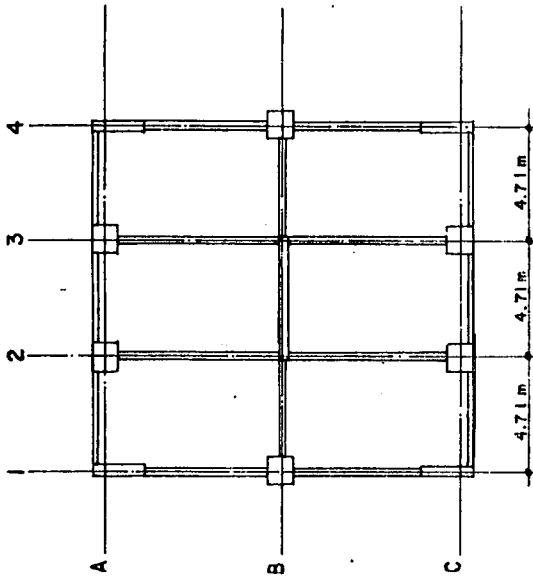


Şekil-55



Şekil-54

TIP K



Şekil-56

8.1. DATA AYIRIMI :

A formundan K formuna kadar tablo I deki bilgisayar çıktıları grafik çizim haline getirilmiştir. Böylece net görünüm elde edilmiştir. Şekil 13'den 23'e kadar yapı formu ne olursa olsun yapının periyodu kat adeti artıkça artmaktadır. Kat adeti artıkça Katların birinin diğerine göre izafi deplasmanları azalmaktadır. Zira etki eğrisinin eğimi artmaktadır.

Şekil 24'den 31'e kadar bütün yapı formları A dan K ye kadar aynı şekil üzerinde gösterilmiş her kat için ayrı şekil düzenlenmiştir.

Şekil 24'de tek katlı yapılarda etkinin (j) kare form dışında değişmediği saptanmıştır. (j) kare formda belirgin ölçüde etkinin azaldığı görülmektedir.

Şekil 25'den 31'e kadar yapılarda formlar arasında (j) ve K formu dışında etki bakımından önemli sapma olmadığı gözlenmiş olmaktadır.

(j) kare formunda kat adeti artmasına karşılık yinede önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Şekil 32 de tek katlı yapılarda A formunda (j) formuna kadar periyodlarında önemli sapma olmamakta ancak K perdeli sistem olması halinde yapı rijitleştiğinden yapı periyodu azalmaktadır.

Şekil 33'den 39'a kadar kat adeti değiştikçe formlarla periyodlar arasında bir kural belirlemek mümkün olmadığı değişik formlar ve değişik sapmalar göstermektedir. Şekil 40 da (j) kare form olması halinde kat adeti artıkça yapının periyodunun lineere yakın bir artış göstermektedir. Şekil 41 de (j) kare formda etkinin kat adeti artıkça katlar arasında izafi deplasmanlar azalmakta olduğu görülmektedir.

Şekil 42 de K formunda yapı periyodu sistemin perdeli olması halinde periyod lineer olarak artmakta olduğu belirgin şekilde görülmektedir.

Şekil 43 de K formunda yapıda etki ve deplasmanların kat adeti artıkça daha az izafi deplasman yaptığı görülmektedir. Eğrinin eğimi artmaktadır.

Şekil 44 de j kare form kolon kiriş çerçeve sistem ile K kare formda perdeli sistemin periyodları karşılaştırılmıştır. Kat adeti artıkça takriben 8 katın altındaki yapılarda perdeli sistem K formunda peryod daha az olmakta 8 katın üzerine çıkıldıkça K perdeli sistemlerde peryod artmaktadır.

Şekil 45 de j kare form çerçeve taşıyıcı sistem ile K kare form perdeli taşıyıcı sistem arasında etkileri kat adeti artıkça katlar arası izafî deplasmanlar azalmakta olduğu K perdeli sistemlerde bu deplasman azalması daha hızla artmaktadır. K form eğrisi j formu eğrisine göre daha hızla dikleşmekte eğimi artmaktadır.



9.1. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI :

Yapıların kullanma amaçları ile mimari sanat anlayışı sonucu ortaya çıkan biçimler taşıyıcı sistem tasarımını genel olarakta yapının formunu büyük ölçüde etkilemektedir. Form gerek yapı malzemesi seçimi gerekse taşıyıcı sistem seçiminde etkili olmaktadır.

Yapılara gelen dış etkiler arasında deprem etkisi çok önemli yer tutmaktadır. Yapılacak her yapıda deprem etkisi üzerinde önemle durulması gereken bir faktördür. Yapıların depreme dayanıklı yapılması mimarın ve mühendisin en önemli amacı olması gerekir. Depremlerden elde edilen deneyimler depreme dayanıklı yapı tasarımının daha mimari tasarım safhasında başladığını ortaya çıkarmaktadır. Biçim ne kadar karmaşık olursa olsun bir yapının yapısal analizinin yapılması taşıyıcı sistem çözümünün ekonomik ve depreme dayanıklı olması gerekmektedir.

Yapıların tasarım sırasında deprem etkilerini göz-önüne alınmasında yapının genel formu dış biçimi önem kazanmaktadır.

Depremlerde yapıya gelen kuvvetler yapının ağırlığı ile orantılıdır. Yapının ağır olması deprem etkisini artıracaktır. Kesitleri küçük tutarak kuvvetin azalması sağlanması halinde yapı esnek olacak yatay yükler altında büyük öteleme deplasman yapmasına sebep olabilir. Büyük ötelemeler ikinci dereceden momentlerin oluşmasına yol açtıklarından yapının göçme olasılığı artacaktır. Betonarme yapılarda bölme ve dolguların hafif olması önem kazanmaktadır.

Yapılar planda basit ve simetrik olmalıdır. Basit ve simetrik olmayan yapılarda ise analizlerin güç olması nedeniyle statik ve dinamik çözümler hassas yapılamamaktadır. Ayrıca simetrik olmayan yapılarda burulma etkisi de ortaya çıkmaktadır. Burulma etkisi yapının kütle merkezi ile rijitlik merkezinin aynı noktaya raslamayışından ileri gelmektedir.

Yapılara deprem anında kuvvetlerin etkilediği noktalar yapının kütle merkezidir. Bir bakıma bu noktalar yapının geometrik merkezidir.

Rijitlik merkezi ise yapının taşıyıcı elamanlarının rijitlikleri merkezidir. Kitle merkezi ile rijitlik merkezlerinin farklı oluşu yapıya gelen deprem kuvvetlerinin yapıyı düşey bir eksen çevresinde burmasına sebep olmaktadır. Rijitlik merkezinden olan uzaklıklarına göre burulma momentlerinin doğurduğu etkileri almaya başlar.

Deprem açısından en uygun biçim planı kare veya daire olan yapılardır. Bunlar simetrik olduklarından her yönde aynı oranda deprem kuvvetine maruz kalırlar. Simetrik olduklarından kare form her doğrultuda aynı ölçüde ataletti direnci vardır. Dairesel yapılar dinamik açıdan en ideal olmakla birlikte analizi güçtür.

Fazla uzun olmamak kaydıyla kare forma yakın formda dikdörtgen yapı planı basitlik ve simetriklik açısından uygun olmaktadır. L, T, H, U gibi plan formunda yapılarda deprem sırasında mutlaka burulma etkisi olacaktır. Zira bu tip yapılarda kitle merkezleri ile rijitlik merkezleri aynı yerde değildir. Düşey taşıyıcı elemanlar burulmaya zorlanacaktır. Burulma etkisini azaltmak için yapıları dilatasyonlarla bloklaştırmak çözüme götürmektedir.

Dilatasyonların şaşırtmalı olarak ayrılmış olması tehlikeli olup blokların birbirine çarpması tehlikesini arz etmektedir. Farklı yükseklikte bloklaşmada çarpmayı kaçınılmaz kılabilir. Dilatasyonların beklenen güvenliği gerçekleştirmediği söylenemez.

Yapıların burulma oluşturduğu formlardan kaçınılması halinde yapının burulma etkisi göz önüne alınarak boyutlanması ve donatılması gerekir. Burulma etkisinin ekonomik olarak karşılanabilmesi mimari tasarımı etkileyebilir. Bazen donatı artırılması çözüme götürmez. Kesin kes boyutları artırmak gerekebilir.

Yapılarda alt kattan başlayarak üst katlara doğru ağırlık ve rijitlikte uyumlu bir azalma olmalıdır. Yapılarda yükseklik genişlik oranı 3-4 den fazla olmamalıdır.

Perde duvarlı yapılar rijit olmakla birlikte düktiliteleri azdır. Düktilite depreme dayanıklı yapılarda aranan en önemli özelliktir.

Yapının plastik olarak enerji tutma gücü ile elastik enerji tutma gücü arasında oranın en önemli özelliktir.

Düktil yapılar plastik enerji yutma güçleri yüksek olurken rijit yapıların ise elastik enerji yutma güçleri yüksektir.

Perdeli sistemler depreme karşı elastik olarak karşı koyabilirler. Limit aşıldınca suratle yıkılmaya doğru giderler.

Kolon kiriş çerçeve yapılar sünek yapılardır. Şiddetli depremlerde kalıcı plastik deformasyon yaparak karşı koyabilirler.

Perdeli kolon kiriş çerçeve karma sistemler hem daha ekonomik ve hem de deplasmanların sınırlı olması sağlandığından çok daha uygun olmaktadır. Yapı gerek perde gerekse kolonlarda simetrik kuralına uyulmalı ve perde çerçeve bağlantılarının yeterli olması gerekmektedir. Kolonlar perdeli sistemlerde perdelerin taşıma gücünü kaybetmesinden sonra süratle ortaya çıkan göçme tehlikesini önler.

Yapılarda cephe şekillerinin depremde ayakta kalma şansının daha fazla olacağını, deprem davranışına plan şeklinden daha etkili olduğunu (Ref20) ileri sürülmektedir.

Cephelerde farklılık gösteren parçalar , geri çekilmiş cepheler ve çatı katları depremde tehlikelidir. Depremde cephelerin farklılık gösteren kısımlarının etkileri derinlemesine araştırılmamıştır. Deprem davranışlarında yapı detayları hakkında bilgimiz çok azdır.

Çatı katlarında, parapetlerde, çatı üstüne çıkan bocalarda deprem hesabında kullanılan yatay kuvveti üç katı alınması yerinde olur denilmektedir. Hatta artırılmış bu üç katsayısı bile bazı durumlarda az olabilmektedir.

Arazi kullanım planlamasının yapı dizayn kuralları ile uyumlu bir çalışmayı sağlamak gerekir.

Sönüm derecelerine tesir eden yapı malzemeleri kullanılmasını önermeli ve buna göre tasarım geliştirilmelidir.

Deprem mühendisliğinin çalışmalarında amacımız mühendislik yapıları için en uygun projelendirmeyi (optimum design) ortaya koymaktadır. En çok ilgilenilen yatay ötelenmeler, frekans aralığı ve dönüş periyotlarıdır.

Arazi kullanımının planlanmasında doğal afetlerin azaltılmasıyla ilgili karar ve planlama çeşitli bilim dallarının önerilerini dikkate almak zorundadır. Bu planlamaya ilk büyük katkıların Mühendislik Mimarlık ve Hukuk'tan gelmektedir. Arazi kullanımının planlanmasıyla önemli bir konu olacak doğal afetlerin etkilerinin azaltılmasının önemi büyüktür. Planlamada öngörülen yönetmelikler ve programlar uygulanabilirse deprem ve diğer doğal afetlerin etkileri azaltılabilir. Doğal afetlerin etkilerinin azaltılmasında tesirli olabilmek için arazi kullanımının planlanmasının uygulama programını ihtiva eden bir yönetim işlemiyle başarılı bir şekilde kaynaşmış olmasıyla gerçekleşebilir.

Arazi kullanımının planlanmasında temel zorluk devletin idarecileri ve uygulayıcıları tarafından işin öneminin kavranmasıdır.

Planlamada başarılı olabilmek için özellikle teknik zümrenin ve diğerlerinin (idareci, halk, politikacı) değişik kararlardaki riskleri ve etkileri anlayabilecek veriler ve bilgiler hazırlamasıyla mümkün olur.

Y. G.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümanizasyon Merkezi

Afet sırasında gereksiz can ve mal kayıpları sosyal kargaşalık genelde uygun olmayan arazinin kullanılmasından doğmaktadır. Devlet üniteleri afetlerin etkilerini azaltacak geniş kapsamlı ve etkin metotların hazırlanmasına yönelmişlerdir.

Şehir planlama programının merkezi, arazi kullanım çalışmalarında toplanır. Şehirler belirli sınırları aşarak büyük medeni yerleşim yerlerinin merkezleri haline gelmişlerdir. (Uydu şehirler, banliyolar, metropoliten merkezleri gibi)

Planlamanın tekniği ve görüş açıları çeşitli bilim dallarının karışımı haline gelmiştir.

Arazinin kullanımı ile ilgili bütün yönetmenlikler bilim dallarının önemleri doğrultusunda gözden geçirilmesine kaideleştirilmesine ayrılmalıdır.

Arazi kullanımının kontrolü bölgelendirme yönetmenlikleri, parselasyon ve yapı yönetmenlikleri bilim ışığında gözden geçirilmelidir.

Üzerinde bina inşa edilecek arsalarda parselasyon yönetmenlikleri, parsellere ayrılacak bir arazinin planının yapılmasında bir takım kısıtlayıcı nizamlar uygulanır.

Parselasyon kontrolleri afete maruz yerleri bölgelendirme kaidelerinden daha önemli ve faydalı olabilir.

Yönetmenlikler belirsizlik ve risk olgusuna yansıtma-
lı, uygulamada dinamik rol oynamak, mühendis ve mimarlara etkili bir şekilde karar verme olgusunun geliştireceği tarzda yapılmalıdır.

Arazi kullanımının planlanması ile oluşan sismik emniyet, yeni yapı ve tesislerin yerleri ve sıklık dereceleri, yapı projelerinin rasyonellik ve kriterleri ile tektonik depremlerin yapabileceği değişik hasarları inceler. Deprem anında meydana gelebilecek çeşitli çökme modları üzerine kriterler tesis edilmesi gereklidir.

Yer titreşimlerinden meydana gelen hasarın derecesi yapının depreme dayanıklılığının ve yer titreşiminin şiddetinin ve süresinin bir fonksiyonudur.

Deprem etkisinde yapıların mukabelelerini elde etmek için bilgisayarlarla bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarla yapıların deprem sırasında dinamik davranışları hakkında geniş ve doğru bilgi edinilmesinde önemli ilerleme kaydedilmiştir. Bu bilgiler depreme dayanıklı yapılar yapmak için tam anlamıyla yeterli kabul edilemezler. Çünkü çeşitli deprem hareketlerinin etkileri karışık ve anında saptanması gibi durumlarda karşı karşıya bulunmaktayız. Deprem etkileri çok tesadüfi olmakta elde edilen mukabele sonuçları rasyonel olmamaktadır.

Depreme dayanıklı projelendirme kriterlerini hesaplaya bilmek için detaylı mukabele fonksiyonlarından hareketle istatiksel yaklaşım düşünülmüştür. Rosenblueth (Ref7) tarafından istatiksel yaklaşımla gerekli deprem yükünün tayin edilebilmesi için bazı kabuller yapılarak bir çalışma ortaya atılmıştır.

İstatiksel yaklaşımda deprem hareketinin süresi depreme maruz sistemin tabii zemin periyodundan çok daha kısa olmasıdır.

Housner'in (REF13) hız spektrumunda kısa periyotlar için doğrusal değişen bir tepki eğrisinden uzun periyotlar için sabit bir tepki eğrisine görünür geçişle karakterize eden bir netice vermektedir. Zeminin hakim periyodu önemli rol oynamaktadır.

Depreme dayanıklı yapı yapmak için yapının titreşimlerinin tesadüfi bir deprem hareketiyle karşılaştırıldığında nasıl büyüdüğünü tayin etmek çok önemlidir. Yapı titreşimlerinin büyümesi depremin frekansına bağlıdır. Deprem hareketinin ortaya çıkışının istatiksel özellikleride dikkate alınmalıdır. Depremin yer kabuğuna ulaşan titreşimleri yer kabuğunun titreşimsel özellikleri ile etkilenecektir.

10.1. SONUÇ :

Yapıların üç boyutta formunu araştırırken depreme dayanıklı ve ekonomik olması amaçlanmaktadır. Yapıları kare formda projelendirmek yapıya etki eden yatay deprem kuvvetine karşı iki doğrultuda rijit yapmak anlamına gelmektedir. Yapı kare formda yapılması halinde katlar arası izafi deplasmanlar önemli derecede azalmaktadır.

Deplasmanlar ile deprem tesirleri orantılı olduğundan tesirler kare formda daha az olmaktadır. Bunun neticesi yapı ekonomik ve depreme dayanıklı olacaktır.

Yapıların üç boyutta formuna etki eden arazi parselizasyonlarında kare formda yapı olacak şekilde parselasyon planlarının yapılması ve arsaya istenilen formda yapılması mümkün olan hallerde kareformda yapı projelendirilmesi deprem açısından dayanıklı ve ekonomik olacaktır.

Yapıların üçüncü boyutta analizinde beş kattan yüksek betonarme yapılarda yapı periyodu zemin periyodundan iyice farklılaştırmak ve rezonans ihtimali ortadan kalkmaktadır.

Gerek Betonarme çerçeve sistemler, gerekse betonarme perdeler ile rijitleştirilmiş perdeli sistemler 2 ~ 5 kat arasında yapılması halinde orta sıklıkta ve gevşek zeminlerde yapı periyodu ve zemin periyodu gerçek ve doğru kabullerle hesaplanması rezonans olayını önlemek için önem kazanmaktadır.

Betonarme tek katlı çerçeve sistemlerde yapı formu ne olursa olsun yapı periyodu 0,30 Sn. civarında kalmaktadır. Sağlam zeminlerde zemin periyodu 0,20~30Sn. arasında değiştiğinden yapıyı rijitleştirmek ve perdeler ilave ederek yapı periyodunu küçültmek gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Bathe K.J.Wilson.F.L. Peterson F.E. Sap.IV.Report N. EERC.
73-11 University of Calif. June 1974
2. Clough R.W. Penzien J. "Dynamics of Structures"
Mc Graw Hill 1975
3. Celasun Hüseyin Deprem Hesapları 1974
4. Çakıroğlu A.Özmen Yapıların Özel Periyotlarının Tayini
İ.T.Ü. Dergisi Cilt 26 1968
5. Erdik M. Çelebi Mehmet Yapı Dinamiğine Giriş 1977
6. Erdik M. Yüzügüllü Özal
Deprem Mühendisliği Açısından Yapı Dinamiğine
Giriş 1980
7. E. Rosenblueth "Some Applications of Probabilty Theory in
Aseismic Design" Proc. World Conf on Earthquake
Engineering; June 1986
8. Erguvanlı A.(1973) Kohozyonlu Zeminlerin Dinamik Özelliklerinin
Deneyisel yöntemler ile saptanması İ.T.Ü. Turkey
9. M. Hardin B.O. ve Black W.L. "Wibration of Normally Consolidated
J.S.M.F.D. ; A.S.C.E. 1968
10. Habibullah A.Wilson E. Three Dimensional static and Dynamic
Analysis 1977
11. Hudson D.E. Dynamic Tests of Full-Scale Structures
Earhquake Engineering 1970
12. Idriss I.M. Seed H.B. Response of Horizontally Soil Layers
During Earthquakes J.S.M.F.D.; A.S.C.E. 1968
13. J.L.Alford; G.W.Housner "Spectrum Analyses of Strang-Motion
Earthqakes Office of Naval Research, Contract
N6 onr-244 Aug.1951
14. K.H. Stokoe Vibrations of Soils and Foundations,
F.E. Richart Jr.Prentice, Hell, New Jersey 414PP.
15. Newmark N.A. and Rosenblueth E-Fundamentals
of Earthquake Engineering Prenticc Hall.
inc.1971

16. Petersson H. SUBWALL Earthquake Engineering Research
Center Berkeley California 1977
17. Powell G.H. Clerco de H. Analysis and Design of Tube-Type
Tall Building Structures Berkeley California 1976
18. Sheldon Cheery "Dynamics of Structures" IISEE Lecture Notes N5
Tokyo-Japon 1968
19. Wilson E.L. Hollings J.P. Dovey H.H. "EtaBS" Report No.75.10
Universtiy of Californic April 1975
20. Ye Yaoxion Damage to Lifeline Systems and other Urban Vital
Facilities from the Tangshan, China Eartquake
of July 28 1976 Proceedings of the 7 th WCEE
Vol, 8, pp 169-176
21. Zienkiewicz O.C. The Finite Element Methot in Structural and
Continium Meechanics Mc Graw Hill 1967
22. Zienkiewicz The Finite Element Method Mc Graw Hill 1971

ÖZ GEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Emin TUNA
Doğum Tarihi: 24.Ocak.1942
Tabiyeti : T.C.
Medeni Hali : Evli 2 Çocuk
Yabancı Dil : İngilizce

ÖĞRENİMİ:

1982- G.Ü.Müh.Mim.Fak.Akademik Öğrenim
1960-1965 İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Betonarme Kolu
1957-1960 Kayseri Lisesi Orta Öğrenim
1954-1957 Kayseri Lisesi Orta Kısmı Orta Öğrenim
1949-1954 İlk Öğrenim

GÖREVİ

1983- G.Ü.Müh.Mim.Fak. Öğretim Görevlisi
1980-1983 A.D.M.M.A. Öğretim Görevlisi
1969-1980 Yükseliş ve Zafer Müh.Mimarlık Yüksek Okulu
Öğretim görevlisi
1968-1970 M.S.B. Tandoğan Öğrenci yurdu Kontrol Amiri
1966-1968 M.S.B. İnşaat Eml.D.Bsk Askerlik Hizmeti
1965-1966 Y.S.E. İçmesuları Proje Şefi
1964-1965 İsviçre Zürih'te Berschinger HochundTief Bau A.G. de
Stajer Proje Mühendisi
1963-1964 Viyana'da O.M.V. Firmasında Stajer Mühendis olarak
Rafineri İnşaatlar Kontrolünde görev almıştır.
1968-1980 Aynı zamanda Serbest Müşavir Mühendis olarak Tosya
Yem Fabrikalar ve Tesisleri B.A. Projeleri, Birko
50 bin iğlik iplik Pabrikası, Karsu 25 bin iğlik
iplik Pabrikası, Uşak 40 bin iğlik iplik Fabrikaları
B.A. Projeleri ve genel proje koordinatörü olarak
Hizmet vermiştir. Taksan A.Ş. Kayseri Fabrikaları
Proje onay Mühendisliği Hizmetlerinde bulunmuştur.

T. C.
İnşaat Bakanlığı Kurul
Dokümantasyon Merkezi