YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPI HESAPLARINDA DİNAMİK ETKİLERİN GÖZÖNÜNE ALINARAK İLGİLİ BİLGİSAYAR PROĞRAMLARININ OLUŞTURULMASI

LİSANS - ÜSTÜ TEZİ

YÖNETEN : Öğr.Gör. Mete KARAKOÇ

YAPAN : İnş.Müh. Kemal BEYEN

İSTANBUL - 1989

Bu tezin hazırlanmasında, her aşamada yardımlarını esirgemeyen, değerli görüşleriyle yol gösteren hocam Öğr.Gör. Mete KARAKOÇ'a saygı ve şükranlarımı sunarım.

Büyük katkıları olan meslaktaşım ve arkadaşım Tolga ERGÜNAY'a da teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAHİFE

SAHİFA

Tez Kısa Özeti

Yapı Hesaplarında Dinamik Etkilerin Gözönüne Alınarak İlgili Bigisayar Programlarının Oluşturulması

Bu çalışmanın ilk bölümlerinde dinamik yükler altındaki yapı sistemlerinin davranışı incelenmiş ve tek serbestlik dereceli bir sistemin doğrusal ve doğrusal olmayan tepkisinin teorik ve nümerik analizleri yapılmıştır. Nümerik analizleri için basic dilinde dinamik hareketin diferansiyel denklemlerinin nümerik çözümlerinden yola çıkılarak programları oluşturulmuş ve tek serbestlik dereceli (TSD) yapı dinamiği simülasyon problemlerinin çözümleri ve nümerik sonuçları karşılaştırılarak verilmiştir.

Son bölümlerinde çok serbestlik dereceli sistemlere (ÇSDS) ve spektral analiz metoduna girilerek, yapıdaki deprem hesabı analizi Türk Deprem Yönetmeliğinde yer aldığı şekliyle incelenmiş modal analizin teorisi verilmiştir. Yapıya depremden gelen kuvvetlerin çok modlu spektral analiz yaklaşımı içinde çözen bir nümerik modal analiz algoritması geliştirilerek programı FORTRAN dilinde yazılmış ve uygulama olarak ise deprem spektrumlarından faydalanılarak çok katlı bir binanın çözümü yapılmıştır. Yazılan spaktral (modal) analiz programı sonuçlarıyla el çözümü mukayese edilmiş, sonuçları tartışılmış ve Türk deprem yönetmeliği ile yorumlanmıştır.

Abstract

Developing The Computer Programes For The Dynamic Effects In Computational Structural Analysis

Yapı Hesaplarında Dinamik Etkilerin Gözönüne Alınarak İlgili Bilgisayar Programlarının Oluşturulması

In the first chapter of the study, effects of the dynamic loads on a simplified structural model, which is a single degree of freedom model (SDOF) are briefly explained. Essential parts of the differential equations for SDOF system are detailed, studied and verified based on the results obtained from a writen code for a selected example problem. BASIC is used as a programming language to solve the differential equations. Results inferred from computer program and analytical solutions are compared to check the level of confidence.

Later, multy degree of freedom systems, (MDOF) and spectral analysis method are briefly given. Analysis of a MDOF system to figure out the dynamic responses to earthquake like dynamic loading is explained theorically based on the modal analysis method. FORTRAN is used as a programming language to solve the Eigen Value Problems (equations). In applications, different earthquake spectra are used for a typical multy story building, which is represented by a MDOF model in numeric analysis. Results inferred from computer program and analytical solutions are compared to check the level of confidence.

Results inferred from both studies (SDOF system solutions and MDOF system solutions) are discussed and compared with the current Turkish Earthquake Code's requirements.

HESAPLARDA KULLANILAN NOTASYONLAR

A : Alan, sabit

a : Mesafe

a_n, a_o : Sabitler

b : Mesafe

b_n : Sabit

C : Sönüm sabiti

C_c : Kritik sönüm değeri

C_n : Normal modda genelleştirilmiş sönüm değerleri.

D : Dinamik matris

DYF : Dinamik yük faktörü

E, I : Young modülü, Atalet momenti

f : Frekans

F_A : Atalet kuvveti

f_I : Atalet kuvveti

f_D : Sönüm kuvveti

f_S : Yay kuvveti

$F(t)$: Kuvvet fonksiyonu

g : Yer ivmesi

G : Kayma modülü

h : Eleman kalınlığı, Kat yüksekliği

Hz. : Hertz (frekans ölçüsü, sn.'de bir tur)

I : İmpulse

I : Birim matrisi

J, J_o : Polar atalet momenti

k, k_i : Yay sabitleri

$\bar{k}$: genelleştirilmiş yay sabitleri

$\tilde{k}(t)$: effektif rijitlik

K_n : n'inci normal modda genelleştirilmiş rijitlik

L : Uzunluk

m : Kütle, değişken

m_i : ininci kütle

M_n : Genelleştrilmiş n'inci normal moddaki kütle

M_d : Devrilme momenti

N,n : Eksenel yük, zaman aralığı Δt sayısı, serbestlik derecesi sayısı.

P, P_o : Yük, kuvvet

$P_n(t)$: n'inci normal modda kuvvet fonksiyonu

PSD : Yalancı spektral deplasman değeri

PSV : Yalancı spektral hız değeri

PSA : Yalancı spektral ivme değeri

q, q(t): Her modun mukabeleye katkısını belirleyen amplitud vektör.

R : Yay kuvveti

S : Transfer matrisi

s : Sabit

t, t_i : Zaman, i zaman istasyonu

T : Titreşim periyodu

T_n : n'inci mod titreşim periyodu

U : Deplasman, konum

$\dot{U}, \ddot{U}, U_{st}$: Hız, İvme, Statik deplasman sırasıyla

V : Kesme kuvveti

w_n : Açısal doğal frekans

W : İş, Ağırlık

w	:	Açısal frekans
x,y,z	:	Koordinat elemanları, mesafe, değişken
β	:	Frekans yüzdesi
γ	:	Özgül ağırlık
Δ	:	Delta
ε	:	Deplasman (Şekilde)
λ_n	:	Değişken, n'inci karekteristik (Eigen) değeri
θ	:	Eğim, dönme, açı değişkeni
μ	:	Düktülite sabiti
ν	:	Poizın oranı
ξ, ξ_n	:	Sönüm yüzdesi
σ	:	Gerilme
τ	:	Zaman
ϕ_{ij}	:	Modal deplasman
ϕ_n	:	n'inci mod şekli
Φ	:	Modal şekil matrisi
Ω	:	Açı değeri

-GİRİŞ-

Dinamik bir çok alt bilim dallarını bünyesinde toplayan bir bilim dalıdır. Bu sebeple bu çalışmada yapının dinamiği başlığı altında temel bilgileri içeren bahisden sonra pratiğe yönelik nümerik analizlere ve bazı analizler için kullanılacak bilgisayar proğramlarının oluşturulmasına ağırlık verilmiştir.

En genel manada bir dinamik tesir altında bulunan bir yapı sisteminin incelenmesi, analizi oldukça zordur. Bu zorluk bazı kabüller ile yenilmektedir. Bu kabüller sisteme etkiyen dinamik kuvvetlerin özelliklerinde ve tesir etkisi altında kalan sistemin dinamik karakterinde gerçekleşmektedir. Bu kabüller ve bilhassa inşaat mühendisini ilgilendiren hususlar yeri geldikçe açıklanacakdır.

Bu çalışmada yapıya en büyük hasarı verdiren yönü ve şiddeti tam bilinmeyen, tesadüfi karakterleri olan depremin yapıda doğurduğu iç kuvvetleri spektral analizle incelenmişdir. Tezde amacım mevcut bulunan teorik bilgileri uygulama sahasında bilgisayar destekli bir mühendislik ile uygulamakdır. Bu maksatla belirli problem tipleri için teorik bilgilerin sonunda üçtane bilgisayar programı yapılıp, örnek tip probleme uygulanıp, çözüm çıkışları alınarak, eklenmiştir. Programlar için gerekli bilgiler program içerisinde hatırlatma ve yazma başlıkları altında ne işlemi yaptığı ve çözümü hangi aşamaya getirdiğini belirtmek amacı ile açıklanmıştır

1.1.GENEL

Cisimlerin davranışını, statikde olduğu gibi, tabiatın denge kanunları çerçevesinde inceleyen dinamik, statikte bilinen değişkenlere ilaveten cisimlerin bir takım özellikleri kütleleri, etkiyen kuvvet - zaman değişimleri ile özellikleri bilinen bir yapının dinamik zorlamalar altında davranışını inceler. Bu incelemede alaka konuları ise ; zamana bağlı kuvvetler, yapının özellikleri ve yapının davranışıdır. İnşaat mühendisliğinde ; zamanla değişen dinamik tesirlerin bir taşıyıcı sistemde ihmal edilmeyecek atalet kuvvetlerinin oluşmasına sebeb olacağı durumlarda sistemin dinamik hesapları yapılır. İnşaat alanında kullanılan şartnamelerde bir takım amprik formüller ile belirli sınırlar arasında dinamik yüklerin yapıya tesiri yerine eşdeğer bir statik tesir alınarak veya dinamik tesir katsayısı ile statik yükler büyütülerek veya da emniyet katsayısı yada gerilemesinde dinamik tesiri karşılayacak şekilde değişiklik yapılarak hesaplanmaktadır.

Fakat mühendislik alanındaki gelişmeler ve yeniliklere paralel olarak dinamik tesirlerin daha doğru değerlendirilmesi bilgisayar destekli bir hesap ortamında daha doğru bir yaklaşım olacağı kanaatindeyim.

Bu çalışmada bazı yük ve titreşim altında oluşan yanal deplasmanlar ve bunların neden olduğu eleman uç kuvvetleri incelenecek ve irdelenecektir.

1.1.1. KUVVETLER, YAPININ ÖZELLİKLERİ VE DAVRANIŞI :

Deprem, patlama kuvveti, darbe, rüzgar veya makina ve motorların meydana getirdiği titreşim kuvvetleri zamana bağlı kuvvetlerdir. Kuvvetin zamanla değişmesi yapının mukabelesinin zamanla değişmesine neden olacaktır. Yapı dinamiğinde genellikle kısa süreli (birkaç saniye) kuvvetler önemlidir. Sayılan tesirler dıştan, içten, deplasman cinsinden, kuvvet cinsinden , gibi birtakım sınıflamaların içine sokulabilir.

Yapının oturduğu zeminin durumu, yapının boyutları, malzemesi ve yapının konumu genelde bize yapı özelliklerini verir. Yapının konumu bahsine biraz değinelim. Değişik eksenleri olan bir yapıya etkiyen dinamik yüklerin yönü önemlidir. Öyleki simetrik yapılarda burulmalı titreşim meydana gelebileceği gibi, simetrik bir yapıya, simetri eksenine göre etkimeyen kuvvetlerde burulmalı titreşim oluşturabilir.

Yapı özellikleri ve etkiyen kuvvetlerden yola çıkılarak matematiksel ifadelerle yapı idealize edilerek, titreşim sistemine ait mekanik bir model oluşturulur, sonra kütlelere ait titreşim denklemleri kurularak çözümü yapılır. Burada bazı kabüllere giderek yapının davranışını tanımlanmış sınırlarda irdelemek gerekir. Mesela ; yapının hesaplanan mukabelesinin, yapıyı elastik limit haricinde davranışa maruz bırakıp bırakmıyacağı incelenmelidir. Eğer yapıda bir plastikleşme söz konusu olacaksa yapının rijitliği, mukavemeti ve dolayısıyla mukabeleside değişecekdir. Elastik olmayan davranışları içeren durumlarda, yapıların elastik limit dahilinde kaldığı kabul edilerek yapı tit - reşimi kavramı incelenecektir.

1.1.2. DİNAMİK KUVVET SINIFLANDIRILMASI :

Genliği belirli bir zaman içerisinde tekrar eden kuvvete, periyodik kuvvet denir. Bu tür kuvvetler yapının davranışını belirlemekte çok önemlidir. Herhangi bir dinamik kuvvet aşağıdaki sınıflamadan birine girer.

a - Periyodik kuvvetler

b - Periyodik olmayan kuvvetler

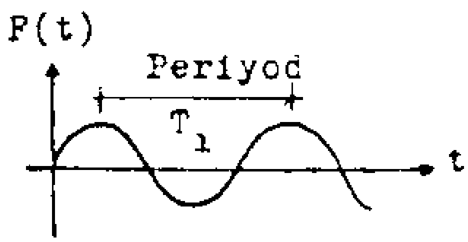
c - Deterministik kuvvetler

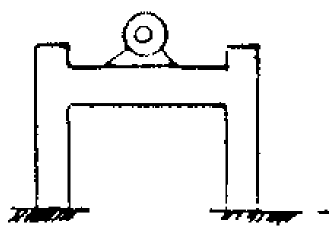
d - Random kuvvetler

Periyodik olmayan kuvvetler genliğe sahip olmayan kuvvetlerdir. Deterministik kuvvetler yapısını, tabiatını tarifleyebildiğimiz kuvvetlerdir. Random kuvvetler, keyfi olup, hiçbir tarif içerisine girmeyen kuvvetlerdir.

Bunların diyagram ve örnekleri aşağıdadır :

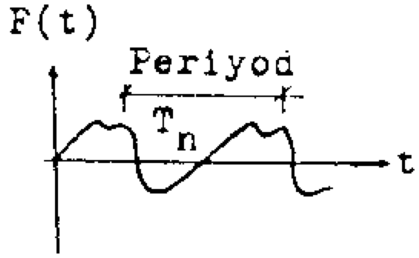
a) Harmonik : Örnek :

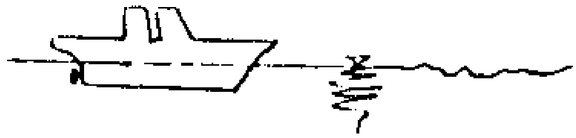




Yapıda dönen bir makina

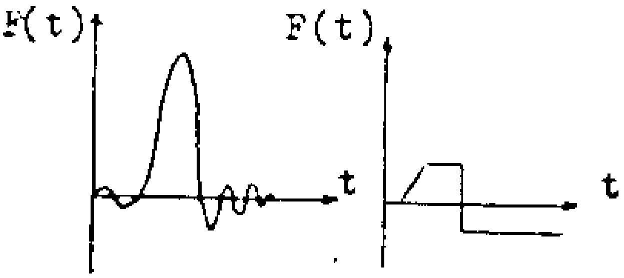
b) Harmonik Olmayan :   Örnek   :

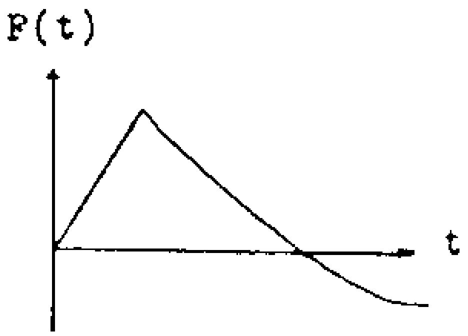


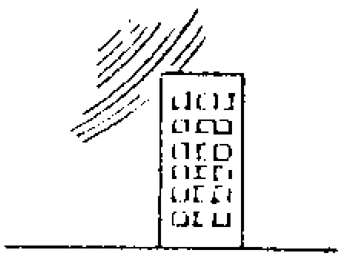


Gemi arka - sındaki pervane gücü itici kuvveti.

c) Periyodik olmayan kuvvetler :   Örnek   :

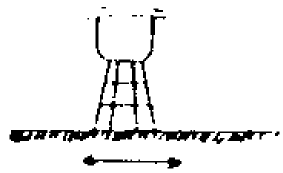






Bomba infilakının binaya te- siri.

Random kuvvetler :   Örnek   :

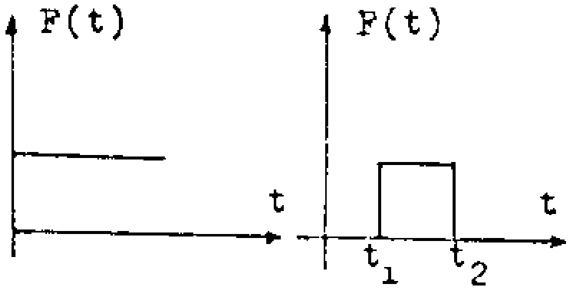


Deprem esnasında su deposu

Dinamik kuvvetleri kuvvet fonksiyonunun tipi ilede tarifleyebiliriz.

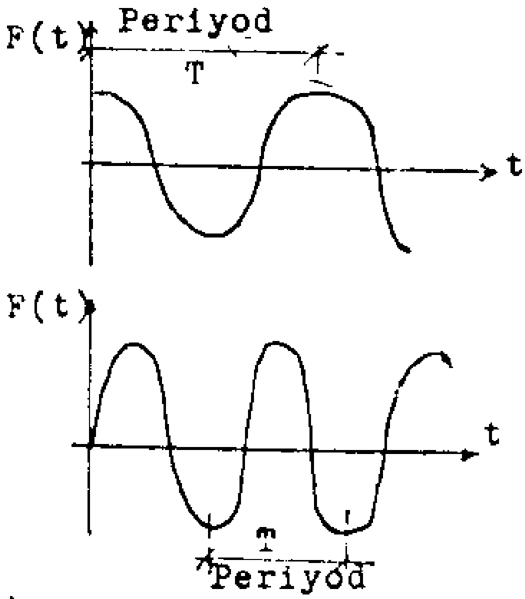
a) Basamak (darbe) kuvvetleri:

Çok kısa zamanda belirli değere erişen kuvvetlerdir.



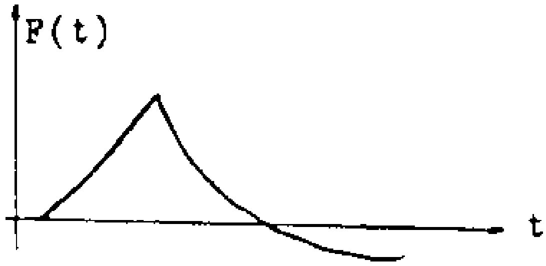
b) Sinusoidal kuvvetler :

Sabit açısal hızla dönen eksantrik bir kütlenin hareketi ile oluşabilir.



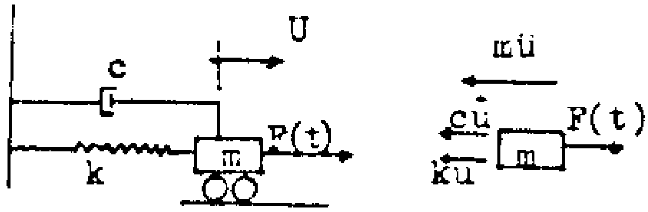
c) Patlama sonucu kuvvetleri :

Diyağramdan görüleceği gibi önce basınç sonra emme olarak yapıya tesir eder.



1.1.3. KÜTLE :

$m = G / g$; pratikte, yapı elemanlarının ağırlıkları ve yükleri yaydı isede, Ağırlıkların ve dolayısıyla kütlelerin münferit noktalarda toplandığı kabül edilir. Kütle, titreşim denkleminde hareketin aksi yönündeki atalet kuvveti teriminde yer alır. (Şekil 1 - b)

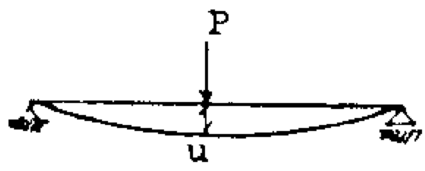


ŞEKİL - 1 (a) (b)

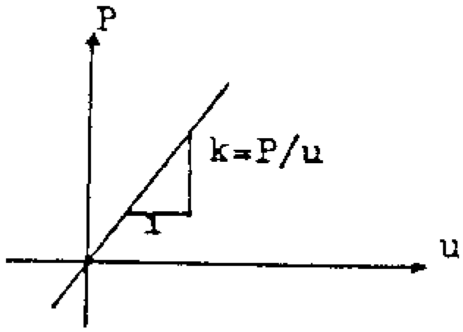
Tek serbestlik dereceli s.

1.1.4. YAY SABİTİ; YAY KUVVETİ VE POTANSİYEL ENERJİ :

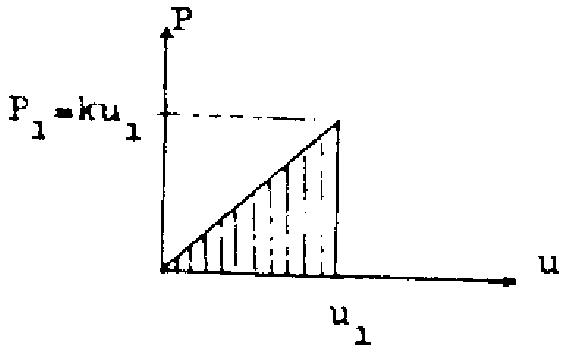
Yanda görüldüğü gibi basit kirişte P kuvveti doğrultusunda u deplasmanı oluşur. Kiriş lineer elastik ve deplasmanlar ufak olduğu sürece P kuvveti ile tatbikinden oluşan dogrultusundaki u deplasmanı arasında bir oran mevcuttur. O halde kirişe tatbik edilen kuvvet doğrultusundaki birim deplasmanı sağlayan kuvvete yay sabiti (k) diyoruz. Kirişin şekil değiştirmesi ile biriken potansiyel enerji kirişden P kuvvetinin kaldırılmasıyla kiriş eski haline hareket ederek kinetik enerjiye dönüşecektir. Böylece biriken potansiyel enerji kirişe "eski şekline dönmesi" veya "yaylanması" yeteneğini vermektedir. Bu esnada yayın kiriş kütlesine tatbik ettiği kuvvete yay kuvveti (k.u) diyoruz. Genellikle yapıda kolonların



Kiriş sehimi



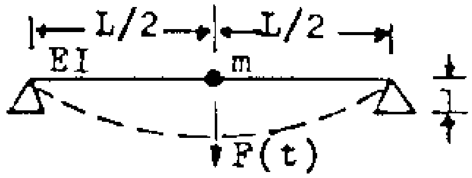
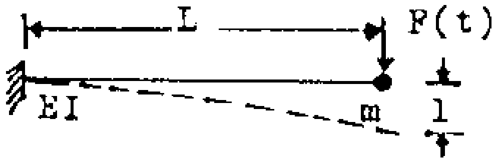
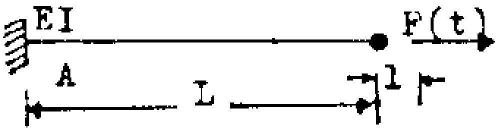
Lineer sistemde yay sabiti

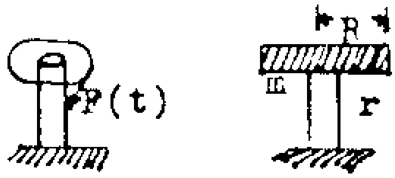


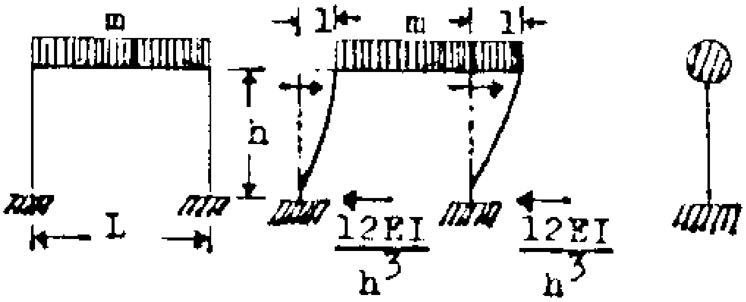
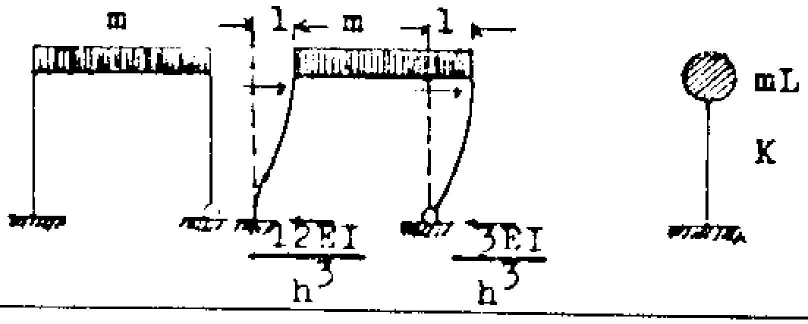
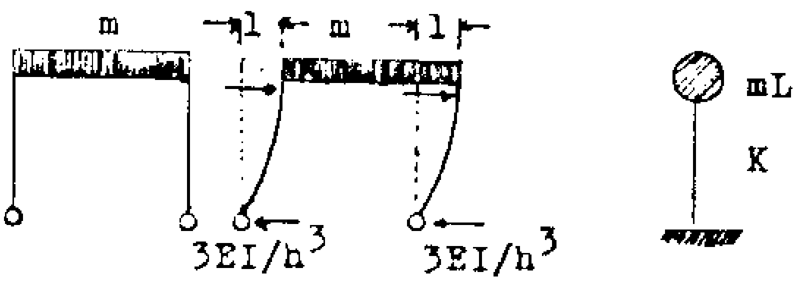
$$\text{Alan} = P_1 U_1 / 2$$

$$= k.U_1^2 / 2$$

ŞEKİL - 2

<table>
<tr><th>İdealize Edilmiş Sistem ve Yük Durumu</th><th>K</th></tr>
<tr><td>
</td><td>$48.EI/L^3$</td></tr>
<tr><td>
</td><td>$\frac{3EI}{L^3}$</td></tr>
<tr><td>

A=Kesit Alanı</td><td>$\frac{AE}{L}$</td></tr>
<tr><td>

J_p=Polar atalet momenti
G =Kayma modülü</td><td>$\frac{GJ_p}{L}$</td></tr>
<tr><td>
</td><td>$\frac{24EI}{h^3}$</td></tr>
<tr><td>
</td><td>$\frac{15EI}{h^3}$</td></tr>
<tr><td>
</td><td>$\frac{6EI}{h^3}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">ŞEKİL-3 İdealizasyon ve Yay Sabitleri</td></tr>
</table>

yay vazifesi gördüğü kabul edilir. Yay sabiti statikten bilinen metotlar ile bulunur. Çeşitli kuvvet - deformasyon durumlarına göre yay sabitleri Şekil - 3 deki tabloda verilmişdir.

1.1.5. SÖNDÜRÜCÜ :

Titreşim halindeki bir sistemde iç ve dış sürtünme ve titreşimi besliyen kuvvet olmasa, potansiyel enerji ile kinetik enerji arasındaki denge hareketi devam edicekdir. Gerçekte ise hareketin titreşim deplasmanları devamlı olarak azalır ve nihayetinde sona erer. Demek ki sistemde bir söndürücü tesir vardır. Bu tesir harekete zıt yöndedir. Sönüm tesiri esas itibarıyla şu üç sebebten ileri gelir.

a) Sistemin molekülleri arasındaki sürtünme.

b) Sistemin içinde bulunduğu ortamdan gördüğü direnim.

c) Sistemin bağlantılarından ve bitişiğindeki yapılarla temas yerlerindeki sürtünme.

Yukarıdaki çıklara bağlı olarak diyebilirizki her malzemenin iç sürtünmesinden ötürü söndürüm kabiliyeti vardır. Bir yapı sisteminde ise söndürüm gücünü çoğaltabilecek elemanlar olabilir. Örneğin dolgu duvarları, yapı elemanlarının bağlantı noktaları, plastikleşme ve betonarme bir yapıda ki, çatlaklar söndürüm gücünün derecesi ile ilgilidir. Söndürümden ötürü, enerji yutulmaktadır. Dolayısıyla deprem mühendisliği açısından enerji yutma özelliği fazla olan yapılar tercih edilebilir.

Sistemin hareketini durdurucu bu sönüm tesiri için her sistemde geçerli olmak üzere bir matematiksel ifade vermek mümkün değildir. Hatta herhangi bir özel sistem için dahi gerçeği yansıtacak bir ifade vermek mümkün değildir. Fakat bu idealizasyona gidilerek titreşim denklemlerinde, söndürüm kuvvetiyle temsil edilir. Bu kuvvetler, coulomb söndürümü olarak tanınan sürtünme kuvveti ve viskoz söndürüm kuvvetidir. Tecrube ve deneyler yapılardaki söndürüm kuvvetinin genellikle viskoz söndürümü tipinde olduğunu göstermiştir. Söndürüm kuvveti titreşim hızı ($\dot{u}$)ile orantılıdır. Söndürüm sabiti C, ve söndürüm kuvveti C.$\dot{u}$ olarak alınır.

1.1.6. SİSTEMLER :

Elemanları inceledikten sonra, sistemlere şöyle bir göz atarsak, sıralama ;

a) Münferit veya sürekli sistemler.

b) Sönümlü veya sönümsüz sistemler.

c) Lineer veya lineer olmayan sistemler.

d) Serbest veya zorlanan sistemler.

a) Münferit veya sürekli sistemler, kütlenin durumu ile ilgili bir sınıflandırmadır. Münferit sistemde kütle belirli sayılı noktalarda toplanır. Genellikle, kiriş üzerinde düşünülen ve sonradan münferit noktalarda toplandığı varsayılan kütle, katlı yapılarda bir kat için, kat ağırlığı ile katta birleşen kolonların ağırlıklarının yarısı olarak kabuledilebilir. Kirişlerin bu titreşimde sonsuz rijitliği bulunduğu, ve sadece kolonların deformasyona uğradığı ka -

bul edilir. Her münferit kütle için bir titreşim denklemi oluşturulacağından çok katlı yapılarda kat sayısı kadar serbestlik derecesi veya koordinatları olduğu kabul edilir Bu şekilde idealize edilen çerçevelere kesme çerçevesi diyoruz.

Sürekli sistemlerde kütleler eleman uzunluğunca yayıktır. Bu sistemlerin titreşim denklemleri kurulurken atalet kuvvetlerininsürekli kütlelerin diferansiyel bir parçasına etkidiği farzedilerek elde edilir. Sürekli sistemlerin sonsuz serbeslik dereceleri vardır.

b) Sönümlü veya sönümsüz sistemler, yapının enerji yutma yeteneğine göre yapılan sınıflandırmada yapının sönümlü veya sönümsüz sistem olabileceği, sönüm sabitleri için deneylerden elde edilen ve eski tecrübelere dayanan neticelerden tesbit edilir. Birçok sistemde sönüm, hesapları kolaylaştırması bakımından ihmal edilir.

c) Lineer veya lineer olmayan sistemler, malzemelerin gerilim birim uzama ($\sigma - \varepsilon$) ilişkileri, dinamik yüklerin şekli veya eksenel kuvvetlerin varlığını yansıtan bir sınıflandırmadır.

d) Serbest veya zorlanan sistemler, sisteme tesir eden dinamik kuvvetin varlığına göre sistemler, serbest veya zorlanan sistemler olarak sınıflandırılabilirler. Dinamik kuvvet, deprem patlama, darbe veya zamana bağlı bir takım kuvvetler olabilir.

1.1.7. GENEL HAREKET DENKLEMİ :

Yukarıda verilen bilgilerin ışığında, genel olarak bir sistemde, kütle atalet kuvveti ve dolayısıyla kinetik enerji, yay, yay kuvveti ve dolayısıyla potansiyel enerji, söndürücü, sönüm kuvveti ve sönüm enerjisi, sistemi dışa - rıdan besleyen besleme enerjisi dediğimiz dinamik kuvvet mevcuttur. Enerjiler arası ilinti nedeniyle, enerjiler a- rasındaki denge titreşimin devamını sağlar. Şimdi sorunumuz bir sisteme etkiyen kuvvetler arasındaki bağlantıların ma- tematiksel ifadesini oluşturmaktadır.

D'Alembert prensibine göre, bir kütleye etkiyen kuv- vetlerin toplamı sıfıra eşittir.Bu prensibi tek serbestlik dereceli bir sistemin hareketine uygulayalım. (şekil- 1)

Genel hareket denklemi;

Atalet kuvveti($m.\ddot{u}$)+Sönüm kuvveti($c.\dot{u}$)+Yay kuvveti($k.u$) -Dinamik kuvvet $P(t) = 0$ ....(I-1)

elde edilecekdir.

II _ TEK SERBESTLİK DERECELİ SÖNÜMSÜZ SİSTEMLER

Yapı dinamiğinde ve deprem mühendisliğinde, ideali- ze edilmiş tek serbest dereceli bir sistem osilatör olarak tanınır.Bu formülasyonu ve çözümü basit olduğundan önce in- celenmiştir. (şekil -3)

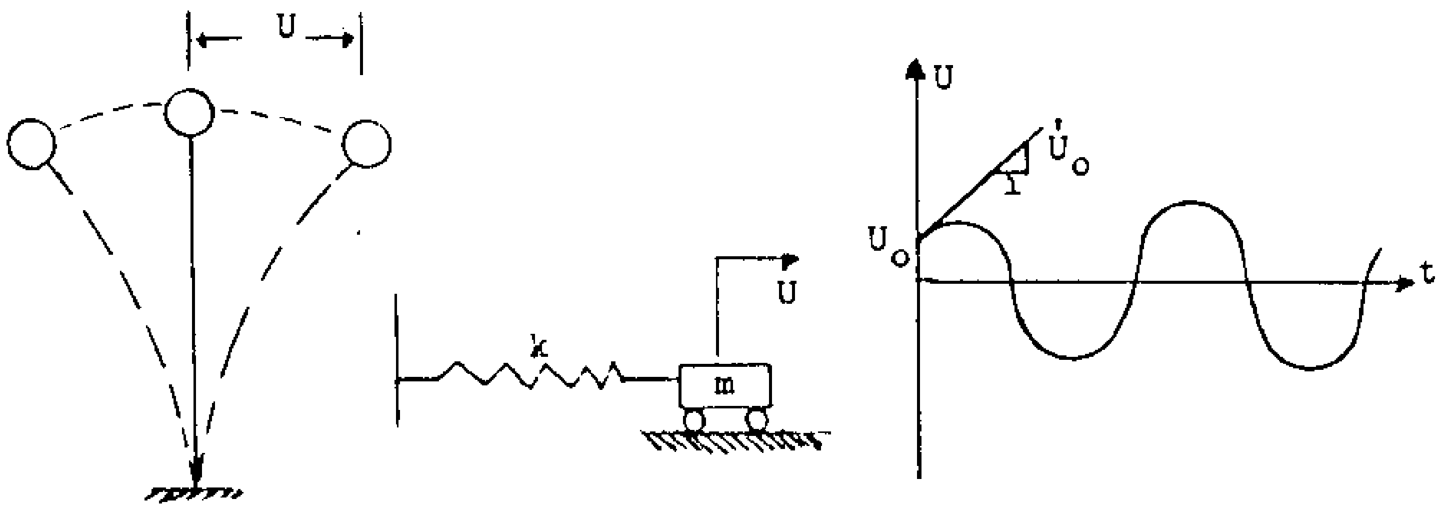
Sistemin sönümsüzlüğünden $c=0$ alınırsa, denklem

$m.\ddot{u} + k.u = P(t)$ .... (II-1) olur.

II - 1 SERBEST TİTREŞİM HALİ

$P(t) = 0$; $m.\ddot{u}+k.u = 0$ (II-2) olur.

Bu denklem basit harmonik hareketin ifadesidir.(şekil-3(c))
Doğal olarak titreşimin meydana gelebilmesi için sistemde önceden bir zorlanma olması gerekir. İvme ile deplasman arasında bir orantı vardır.
$W^2=k/m$ yerine konularak, $\ddot{u} + W^2.u = 0$ (II-2a), Bu ifadenin çözümü ; $U = C_1.Sin(w)t + C_2.Cos(w)t$ 'dir.Başlangıç şartları, deplasman U_o ve hızı $\dot{U}_o$ ise,
$u=(\dot{U}_o/w).Sin(w)t + U_o.Cos(w)t$ (II-3)



a) Sönümsüz osilatör
b) Mekanik model
c) Harmonik hareket

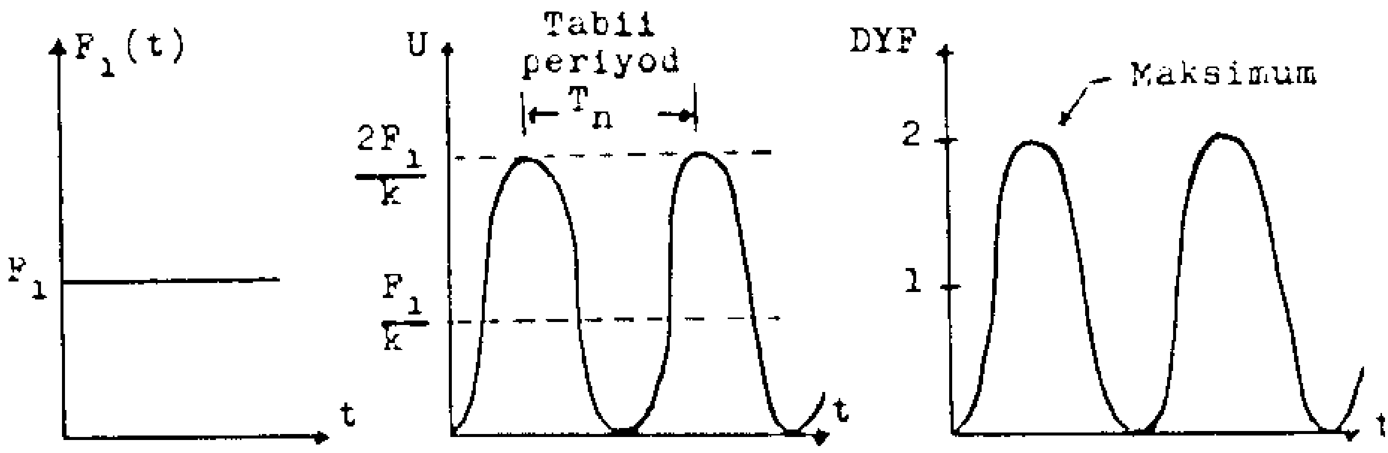
Denklem (II-3)'e analog çözüm olarak,$U=ACos(wt + \theta)$ (II-3a) önerilebilir.A hareketin genliği olmak üzere; $A=\sqrt{C_1^2 + C_2^2}$ ve $\theta = tg^{-1}(C_2/C_1)$ faz açısını ifade eder.Hareketin tabii açısal hızı olan W'nın bir devrin tamamlanması için gerekli zaman olan periyod ile bağıntısı, $T=2.\pi/w = 2.\pi\sqrt{m/k}$ (sn) ve tabii frekans, $f = 1/T = w/2\pi$ (devir/sn) (II-4,5)

II - 2 ZORLANMIŞ TİTREŞİMLER

Titreşime sebeb olan F(t) kuvveti mevcuttur.Sönümsüz olduğundan C=0 dır. Hareketin diferansiel denklemi,
$m.\ddot{u} + k.u = F(t)$ veya $\ddot{u} + W^2.u = F(t)/m$ (II-6) olur.

çözümü ise F(t) fonksiyonlarına bağlıdır.

a) $F(t) = F_1$ sabit kuvveti (darbe kuvveti) ise,



a) Darbe kuvveti   b) Sistem mukabelesi   C) DYF

ŞEKİL - 5 Darbe kuvvetine karşı TSD sistem mukabelesi

Denklem (II-6)'nın çözümü;

$U = C_1 Sin(w)t + C_2 Cos(w)t + F_1/k$ şeklini alır. (II-7)

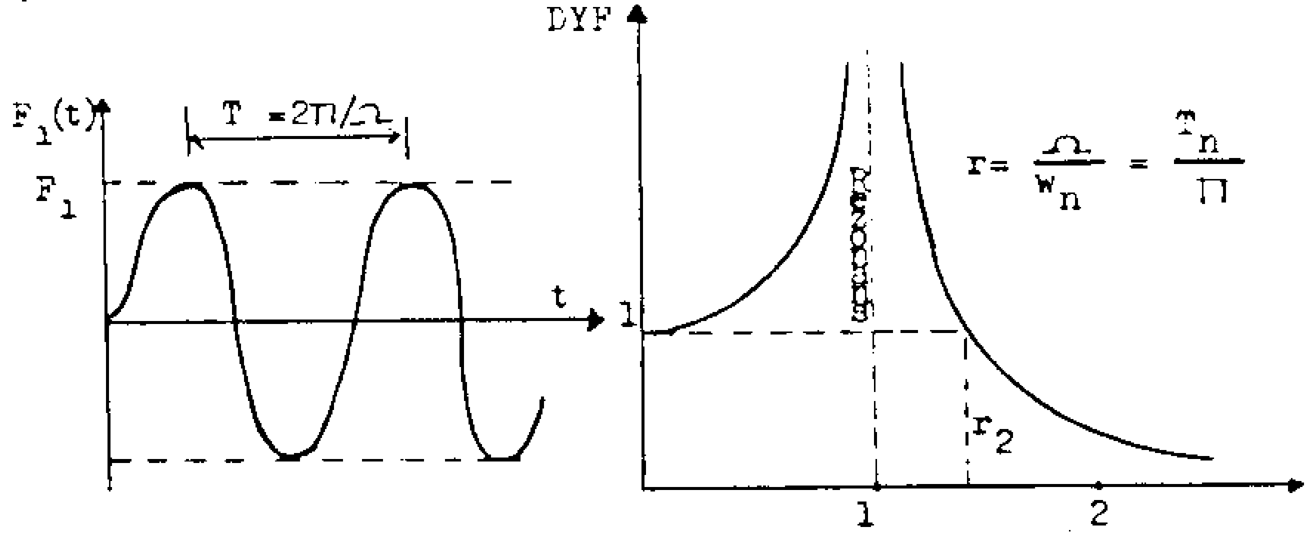
Burada ilk iki terim serbest titreşimden son terim ise zorlama kuvvetine ait özel çözümden gelmektedir. Başlangıç şartlarında, t=0 anında, deplasman U_o ve hız $\dot{U}_o$ ise, $C_2 = -F_1/k$ ve $C_1 = 0$ olarak çözüm: $U = (F_1/k).(1-Coswt)$ veya bir diğer anlatımla, $U = U_{statik}.(1-Cos2nt/T)$ (II-8)

F_1 kuvvetine karşı oluşan mukabelenin (şekil-5(b)) maksimum deplasman $2F_1/k$ oldugu görülmektedir. Dinamikte bir çok halde cisimlerin deplasmanları, statik deplasmana göre daha büyük olmaktadır. Bunları oranlayan ifadeye (DYF) dinamik yük faktörü denir.

$DYF = U_{dinamik} / U_{statik} = 1-Cos(w)t$ (II-9)

olarak F_1 sabit kuvveti için bulunmuştur, değişimleri şekil-5(c)'de gösterilmiştir. (DYF_{max}= 2)

b) Harmonik zorlama :



a) Dinamik Kuvvet b) DYF ve resonans olayı

ŞEKİL - 6 Harmonik Dinamik kuvvet ve DYF

$F(t) = F_1.\text{Sin}\ wt$, harmonik kuvveti, şekil-6'da görülen $T = 2\pi/\Omega$ periyoduyla etkimektedir. Titreşim denklemi ;

$m.\ddot{u} + k.u = F_1.\text{Sin}\Omega t$ (II-10) olur. Başlangıç durumu $t = 0$ anı için $U_o = 0$ ve $\dot{U}_o = 0$ olan sisitem için çözüm;

$$U = (F_1/k).\left(\frac{1}{1-(\Omega/w)^2}\right).(\text{Sin}\,\Omega t - \frac{\Omega}{w}\text{Sin}\ wt) \quad \text{(II-11)}$$

ve sinosiodal kuvvetin her periyodu $T_1 = 2\pi/\Omega$ için titreşim tekrar eder.

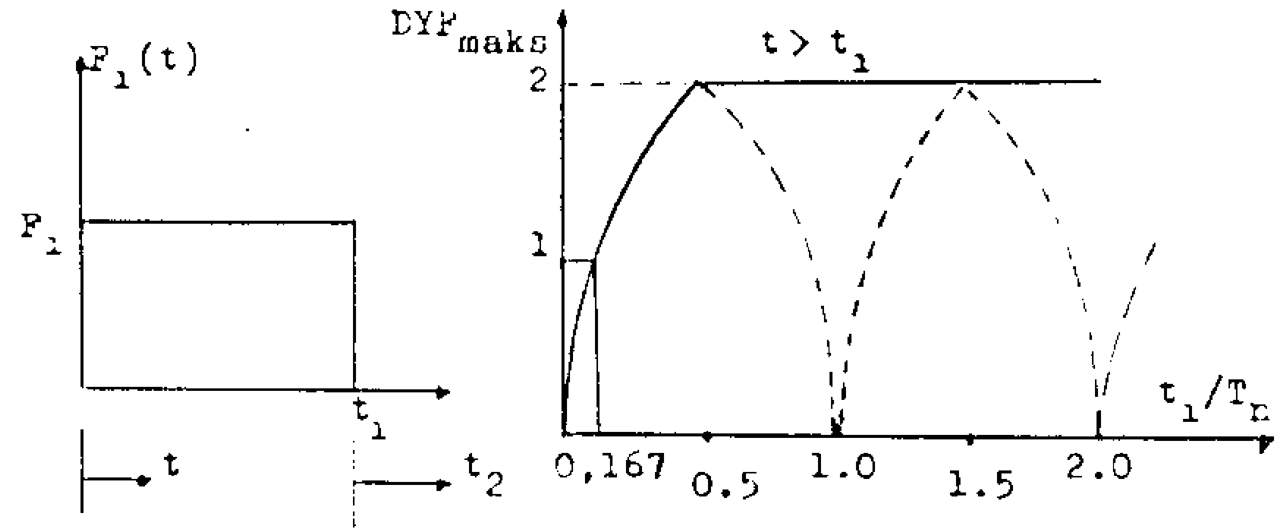
$$DYF = \left(\frac{1}{1-(\Omega/w)^2}\right).(\text{Sin}\Omega t - \frac{\Omega}{w}\text{Sin}\ wt) \quad \text{(II-12)}$$

Mühendislikte DYF' nün zamanla değişmesinden çok onun maksimum değeri mühimdir. Bu değere (II-12)'nin türevi alınıp sıfıra eşitlenerek varılabilir. Bu önemli sonucu şöyle açıklayabiliriz,(şekil-6(b)). Sistem periyodunun harmonik kuvvet periyoduna olan oranı çok büyük olduğu zaman sistemin mukabelesi küçülür. Bu oran küçük olduğu zaman dinamik mukabele statik mukabeleye yaklaşır. Sisteme etkiyen kuvvetinperiyodu sistemin tabii periyoduna yaklaştıkça, sistemin deplasmanları asimtotik değerlere ulaşacaktır,ve REZONANS haline erişilecekdir.Bu hacisenin önlenmesi istenir, aksi yapının çökmesidir.

c) Geçici (kısa süreli) dinamik kuvvetler ve Duhamel denklemi :

Duhamel denklemi, bilinen sistemin, zamana göre değişimi bilinen dinamik kuvvetlere karşı belirli süreler için mukabelesini verir

$$U = \frac{1}{m \cdot w} \int_0^{t_1} F(\tau) . \text{ Sin } w(t-\tau)\, d\tau \qquad \text{(II-14)}$$



a) Dikdörtgen yük b) DYP_{maks} ($t > t_1$ için)

ŞEKİL - 7 Dikdörtgen darbe yükü ve $t > t_1$ için DYP_{maks}

Şekil-7'deki t_1 süreli dikdörtgen darbe kuvvetini inceleyelim.Titreşim durumu iki zaman aralığında incelenecekdir.

1) $t < t_1$ için ;

$$U = \frac{1}{m . w^2} \int_0^{t_1} F_1 . \text{Sin } w(t-\tau) d\tau = (F/mw^2).(1-\text{Cos } wt) \qquad \text{(II-15)}$$

$$mw^2 = k \qquad U = (F_1/k).(1-\text{cos } wt) \qquad \text{(II-16)}$$

tarife göre ise;

$DYP = (1-\text{Cos } wt) = 1-\text{Cos } 2\pi t/T$ bu sonuç daha öncede elde edilmiş idi. (II-17)

2) $t > t_1$ için ;

$t = t_1$ olması durumundaki deplasman ve hız $t > t_1$ süresindeki titreşim başlangıç değerleridir.Bu süre içinde dinamik yük olmadığından, hareket serbest titreşim olarak devam eder.

$t = t_1$ için ;

$U(t_1) = (F_1/k).(1-\text{Cos}\,wt_1)$ (II-18)

$\dot{U}(t_1) = (F_1/k).w.\text{Sin}\,wt_1$ (II-19)

ve $t > t_1$ den ötürü t_2 yi şöyle tarifliyebiliriz. $t_2 = t - t_1$

$$U = \frac{F_1}{k}.\text{Sin}\,wt_1.\text{Sin}\,wt_2 + \frac{F_1}{k}.(1-\text{Cos}\,wt_1).\text{Cos}\,wt_2$$

düzenleyerek ;

$$U = \frac{F_1}{k}.(2.\text{Sin}\,w\frac{t_1}{2}.(\text{Sin}\,wt_2-\alpha)) \quad \text{(II-20)}$$

$$DYF = 2.\text{Sin}(wt_1/2).(\text{Sin}\,wt_2-\alpha) \quad \text{(II-21)}$$

veya

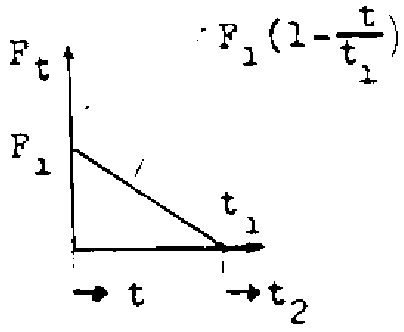
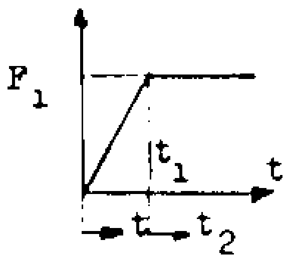
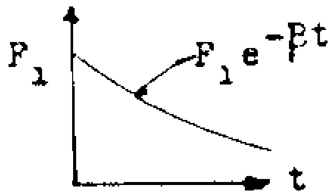
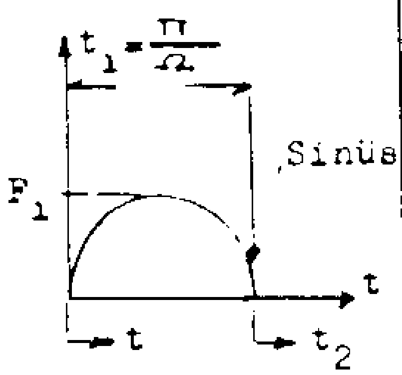
$$DYF = 2\text{Sin}(\pi t_1/T).(\text{Sin}\,wt_2-\alpha) \quad \text{(II-22)}$$

maksimum $DYF = 2\text{Sin}\,\pi t_1/T$ dir. (II-23)

Bu veriler ile $t_1/T = 1/6$ ise, $DYF_{max} \leq 1$ olmaktadır.Bir diğer yorum ile darbe kuvveti süresinin sistemin doğal periyoduna göre oranı küçük ise, sistemin mukabelesi de statik mukabeleden büyük olmamaktadır.

$t_1/T = (2n-1)/2$ $(n=1,2,3,4,.....)$ diğerleri için maksimum mukabeleden elde edilen yük faktörü maksimum 2 olmaktadır. Dolayısıyle mühendislik hesapları için DYF 2 olarak alınır. (Şekil - 7(b))

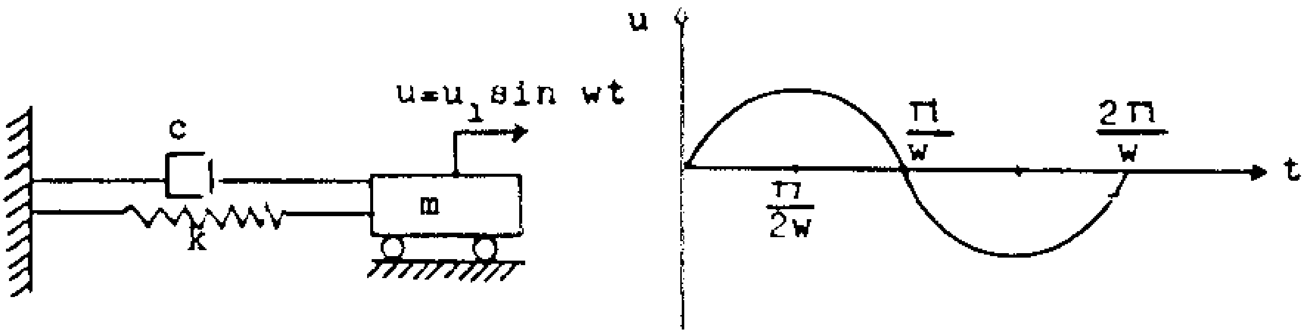
Şekil 8'de diğer kısa süreli dinamik yükler için, Duhamel entegral denklemi ile elde edilen deplasman fonksiyonları verilmiştir.

DİNAMİK KUVVET FONKSİYONU	SÜRE	DUHAMEL ENTEGRALİ $\frac{1}{m w_n}\int_0^{t_1} F(t)\,\sin w_n(t-\tau)\,d\tau$
	$t < t_1$	$\frac{F_1}{m w_n^2}\cdot\left(1-\cos w_n t-\frac{t}{t_1}+\frac{\sin w_n t}{w_n t_1}\right)$
	$t > t_1$	$\frac{F_1}{m w_n^2}\cdot\left(-\cos w_n t-\frac{\sin w_n t^2}{w_n t_1}+\frac{\sin w_n t}{w_n t_1}\right)$
	$t < t_1$	$\frac{F_1}{m w_n^2}\cdot\left(t-\frac{\sin w_n t}{w_n}\right)$
	$t > t_1$	$\frac{F_1}{m w_n^2}\left(1+\frac{\sin w_n t^2}{w t_1}-\frac{\sin w_n t}{w}\right)$
	t	$\frac{F_1 w_n}{w_n^2+\beta^2}\left(e^{-\beta t}-\cos w_n t+\frac{\beta \sin w_n t}{w_n}\right)$
	$t < t_1$	$\frac{(F_1/K)w_n}{w_n^2-\Omega^2}\left(w_n \sin\Omega t-\Omega \sin w_n t\right)$
	$t > t_1$	$\frac{(F_1/K)w_n}{w_n^2-\Omega^2}\cdot\left((1+\cos w_n t_1)\sin w_n t_2+\sin w_n t_1\cdot\cos w_n t_2\right)$

ŞEKİL - 8

III. TEK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLERİN SÖNÜMLÜ TİTREŞİMİ

III-1. SÖNDÜRÜCÜNÜN ENERJİ YUTMASI



ŞEKİL-9 Sönümlü mekanik model ve kütleye verilen deplasman

Söndürüm kuvveti genellikle kütle hızıyla orantılıdır. Şekil-9 daki tek serbestlik dereceli sistem kütlesinin sinusoidal hareketine göre, bir periyodu için yayın ve söndürücünün yaptığı işi hesaplıyalım. Yay için :

$$İş = W_{yay} = \int_0^T F.du = \int_0^T k.u.du = \int_0^T k.u_1^2.(\mathrm{Sin}\ wt).w.(\mathrm{Cos}\ wt)dt$$

$$= \frac{k.u_1^2.w}{2} \cdot \int_0^{2\pi/w} \mathrm{Sin}\ 2wt\ .\ dt = 0$$

Söndürücü için ;

$$İş = W_{söndürücü} = \int_0^T F.du = \int_0^T c(du/dt).du = \int_0^T c.(du/dt)(\dot{u}/dt)dt$$

$$= \int_0^{2\pi/w} c.u_1^2.w^2.\mathrm{Cos}^2 wt.dt = \frac{2\pi^2 cu_1^2}{T} \neq 0$$

görüldüğü gibi söndürücü sisteme verilen enerjinin bir kısmı yutulmaktadır.

III-2 SERBEST SÖNÜMLÜ TİTREŞİM

$$m.\ddot{u} + c.\dot{u} + k.u = 0 \qquad \text{(III-1)}$$

diferansiel denkleminin karekteristik denklemini bulmak için $u = e^{st}$ önerilirse, karekteristik denklemimiz ;

$s^2.m + s.c + k = 0$ (III-2) ve kökleri,

$$s_{1,2} = \frac{-c}{2.m} \pm \left(\left(\frac{c}{2.m} \right)^2 - k/m \right)^{1/2} \qquad \text{(III-3)}$$

s_1 ve s_2 kökleri için sistem diferansiyel denkleminin genel çözümü ;

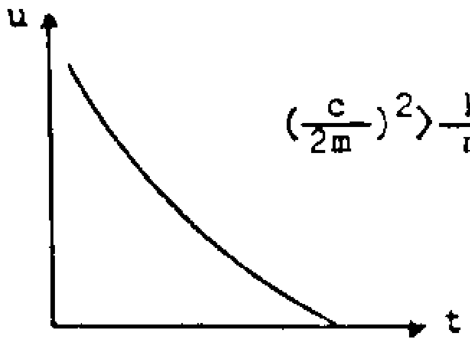
$$u = A.e^{s_1 t} + B.e^{s_2 t} \qquad \text{(III-4)}$$

A ve B başlangıç durumlarından elde edilecek sabitlerdir. Karekteristik denklemin kökleri, sistemin elemanlarına göre değişiklik arzedebilirki bunlar ;

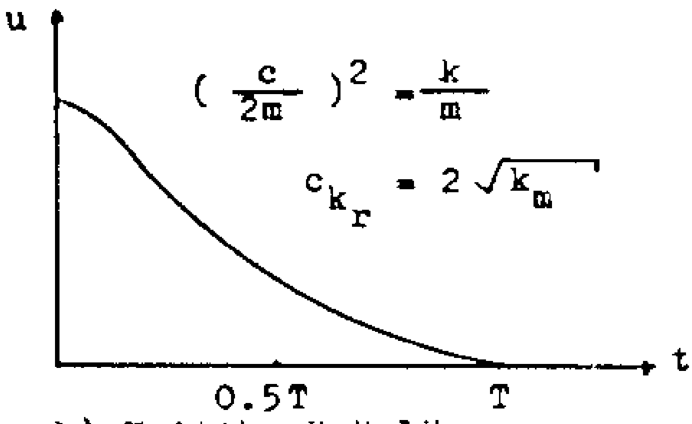
a) $(c/2m)^2 > k/m$; sönümlü büyük hareket

iki kök pozitif ve reeldir.

$u = A.e^{-|s_1|t} + B.e^{-|s_2|t}$ olur. (III-5) Titreşim meydana gelmez, hareket sönümün şiddetine göre belirli bir zamanda sona erer. (şekil-10(a)).



a) Büyük sönümlü



b) Kritik sönümlü

ŞEKİL - 10 Büyük ve Kritik sönümlü hareket

b) $(c/2m)^2 = k/m$ burdan $s_1 = s_2 = s$ denirse,

$u = A.e^{-|s|t} + B.\ t\ .\ e^{-|s|t}$ (III-6) olur. Titreşim oluşmaz hareket söner.(şekil-10(b)).Kritik sönümlü hareketi oluşturan sönüm sabiti, $c_{kr} = 2.(k/m)^{1/2}$ dir. (III-7). Buradan sistemin gerçek sönüm sabiti, kritik sönüm sabitinden küçük ise titreşim meydana gelmeyecekdir. $c < c_{kr}$, kritik sönüm sabiti yüzdesi $h = c/c_{kr}$ olarak ifade edilebilir.(.-8)

c) $(c/2m)^2 < k/m$; s_1 ve s_2 kompleks kökler olacakdır.

$a = c/2m$; $b = ((k/m) - a^2)^{1/2}$ olarakdan

$s_1 = -a + ib$, $s_2 = -a - ib$

$u = A.\ e^{(-a+ib)t} + B.e^{(-a-ib)t}$ ve düzenleyerek

$u = u^{-at}.\ (A.e^{ibt} + B.e^{-ibt})$

$e^{ibt} = \mathrm{Cos}\ (bt) - i.\mathrm{Sin}\ (bt)$ eşitliğiyle oluşturulan düzenlemelerden,

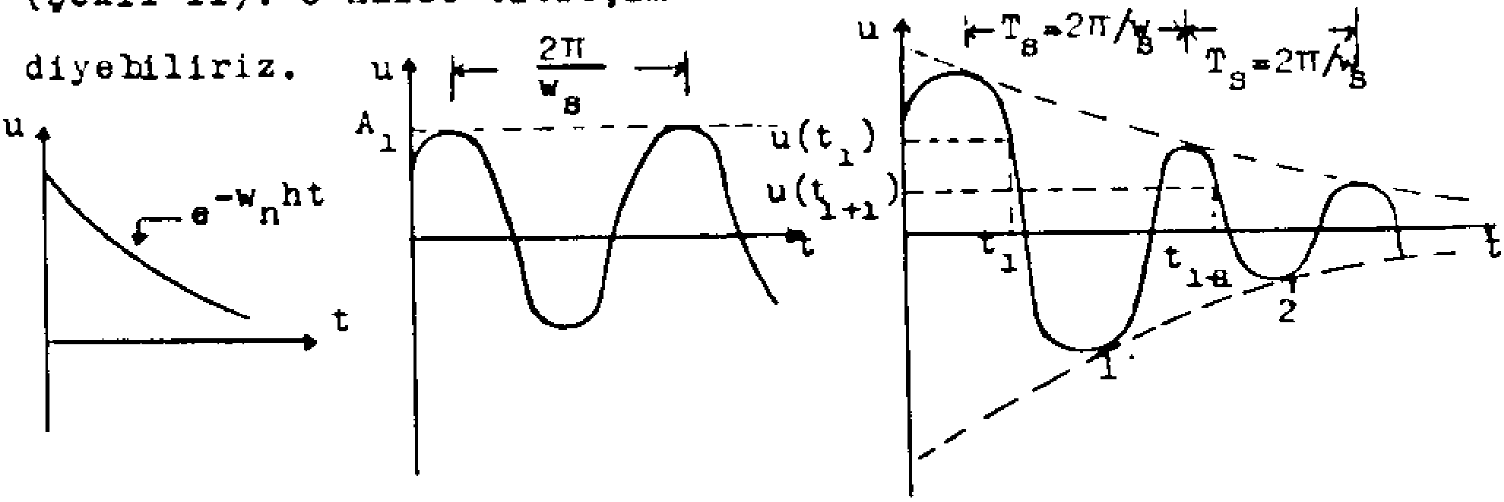
$$u = e^{-wht}.(U_o.\mathrm{Cos}\ (w_s t) + \frac{\dot{U}_o + whU_o}{w_s}\ .\ \mathrm{Sin}\ (w_s t)\ ) \quad \text{(III-9)}$$

denklem eğer maksimum genlik ve faz açısıyla ifadelendirilirse, $u = e^{-wht}.(A_1.\mathrm{Cos}\ (w_s t - \Theta)\ )$ (III-10)

$A_1 = (C^2 - D^2)^{1/2}$ ve $\Theta = tg^{-1}(D/C)$

$C = U_o$, $D = (\dot{U}_o + whU_o)/w_s$ ifadeleri ile bulunabilir.

(şekil-11). O halde titreşim az sönümlü sistemlerde oluşur diyebiliriz.



(a)$U = e^{-wht}$ (b)$U = A_1\mathrm{Cos}(w_s t - \Theta)$ (c)$U = A_1 e^{-wht}.\mathrm{Cos}(w_s t - \Theta)$

ŞEKİL -11 Sönümlü serbest titreşim

Yukarıda verlenleri sönüm yüzdesi ilede sırasıyla $h > 1$,

$h = 1$, $h < 1$ ilede açıklayabiliriz. Yapılarda genellikle sönüm yüzdesi %2'den azdır. Küçük sönüm yüzdeleri için yapının sönümlü açısal hızı yaklaşık olarak yapının tabii açısal hızının aynıdır. $w_s \cong w$ alınabilir.

Betonarme yapılarda h=%1,5 - 2,0

Çelik yapılarda ise h=%0,5 olarak alınabilir.

III - 3 ZORLANMIŞ SÖNÜMLÜ TİTREŞİM

Tek serbestlik dereceli idealize edilmiş bir yapının titreşimi en genel diferansiyel denklemi olarak,

$m.\ddot{u} + c.\dot{u} + k.u = F(t)$ tariflemiştik. Bu diferansiyel denklemin çözümü, $u = e^{-at}(U_o Cos(w_s t) + \dfrac{\dot{U}_o + aU_o}{w_s} . Sin\,(w_s t)) +$

$$U_{statik} . (w^2/2w_s) . \int_0^t f(t) . e^{-(t-\tau)} . Sin\, w_s(t-\tau) . d\tau \quad \text{(III-12)}$$

$f(t) = F(t)/F_1$

Dinamik kuvvetin belirli bir süre için maksimum değerine (F_1) bölünmesiyle elde edilir.

III - 3.1 DARBE KUVVETİ $F(t) = F_1$

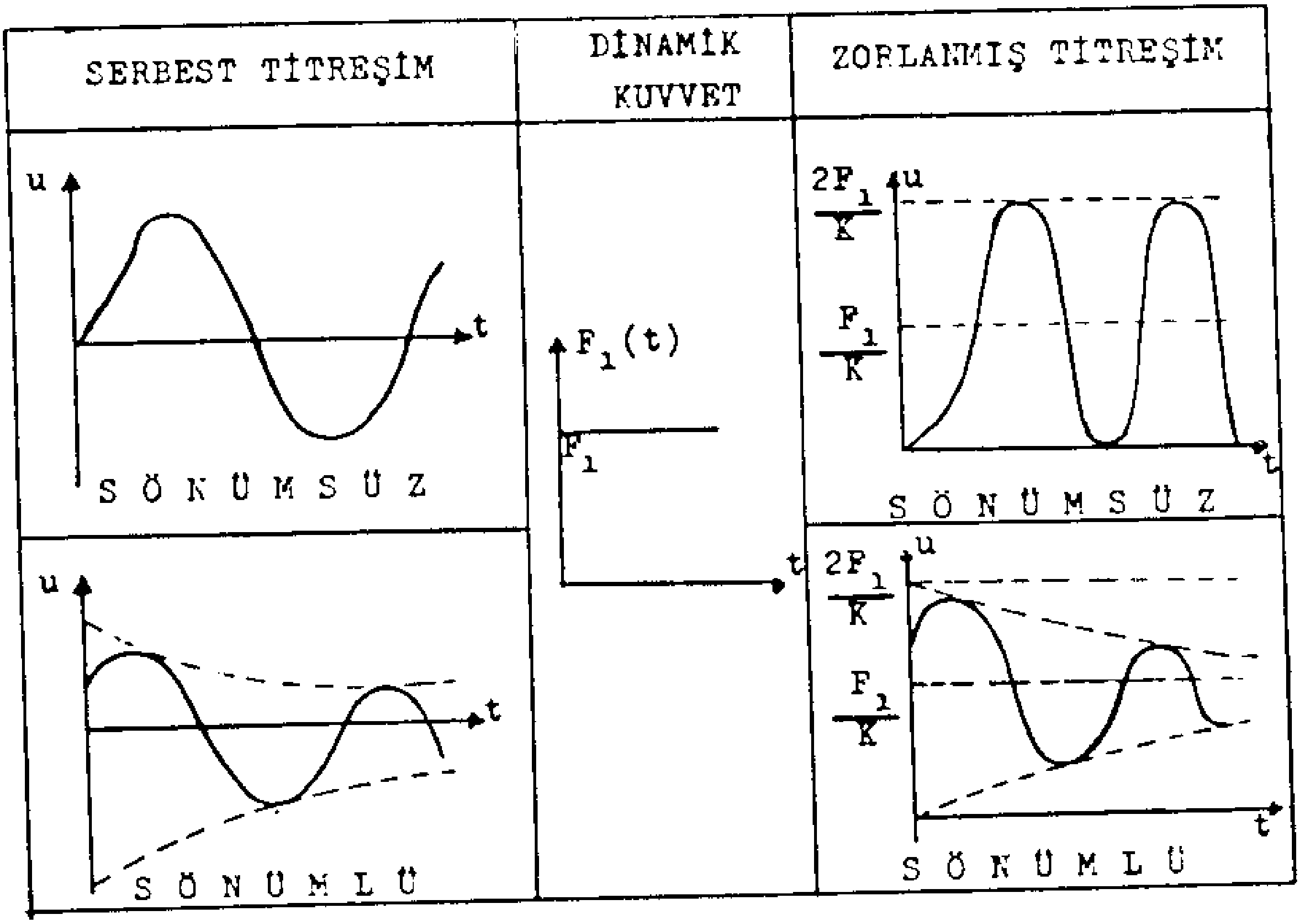
$f(t) = 1$ ve başlangıç durumları için, $t = 0$ anında, $u_o = 0$, $\dot{u}_o = 0$, $u_{statik} = F_1/k$ dan $w_s = w$ kabül ederek,

$$U = (F_1/k) . w . \int_0^t e^{-a(t-\tau)}\ Sin\ w(t-\tau)\ d\tau \quad \text{(III-13)}$$

entegrasyon tablolarından,

$$U = (F_1/k) . (1 - e^{-at} . (Cos\ wt - h . Sin\ wt\ )) \quad \text{(III-14)}$$

elde edilir. Şekil 12 den de görüleceği gibi zorlanmış sistemlerde sönümsüz sistemlerdeki gibi deplasman eksenini F_1/k kadar ötelenmiştir.



ŞEKİL - 12 Darbe kuvveti ile serbest titreşimin mukayesesi

III - 3.2 HARMONİK KUVVET $F(t) = F_1.\text{Cos}\,\Omega t$

Tek serbestlik dereceli sisteme etkiyen bu kuvvet altında hareketin difaransiyel denklemi ;

$m.\ddot{u} + c.\dot{u} + k.u = F_1.\ \text{Cos}\ \Omega\ t$ (III-15)

$c/2m = hw = a$

$\ddot{u} + 2.a.\dot{u} + w^2.u = (F_1/m).\text{Cos}\,\Omega t = (U_{statik}).w^2.\text{Cos}\,\Omega\,t$

ve buradan çözüm olarak,

$U = e^{-at}\ (\text{ACos}\ w_s t + \text{BSin}\ w_s t) + A_1\text{Cos}\,\Omega t + B_1\text{Sin}\,\Omega t$ (III-16)

bulunur. Denklemin zorlanmış titreşime yani özel çözüme ait terimlerinin sistemin diferansiyel denklemini karşılaması gerekir.

$$U_z = A_1 \cdot \mathrm{Cos}\,\Omega t + B_1 \cdot \mathrm{Sin}\,\Omega t \qquad (\text{III-17}),\quad r = \Omega/w$$

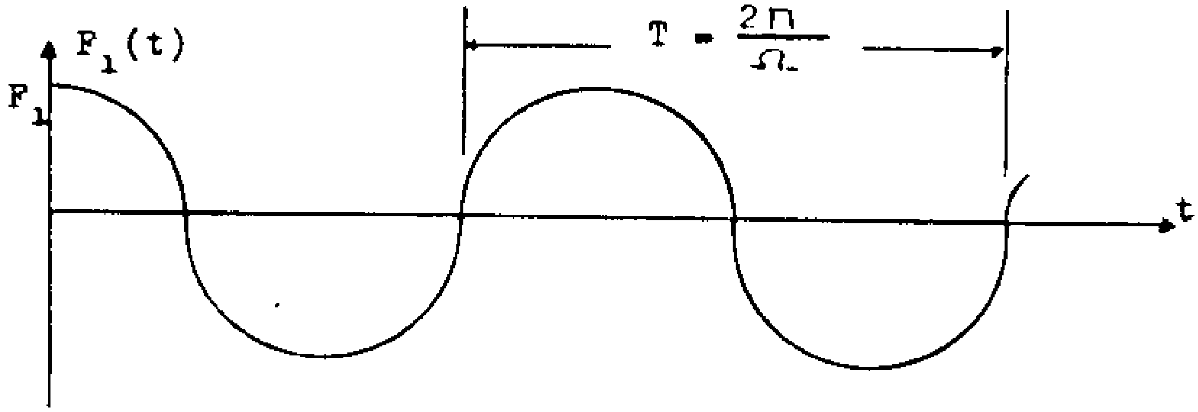
$$A_1 = \frac{F_1}{k} \cdot \frac{1-r^2}{(1-r^2)^2+4h^2r^2}, \qquad B_1 = \frac{F_1}{k} \cdot \frac{2hr}{(1-r^2)^2+4h^2r^2}$$

maksimum genlik $A_2 = (A_1^2 - B_1^2)^{1/2}$

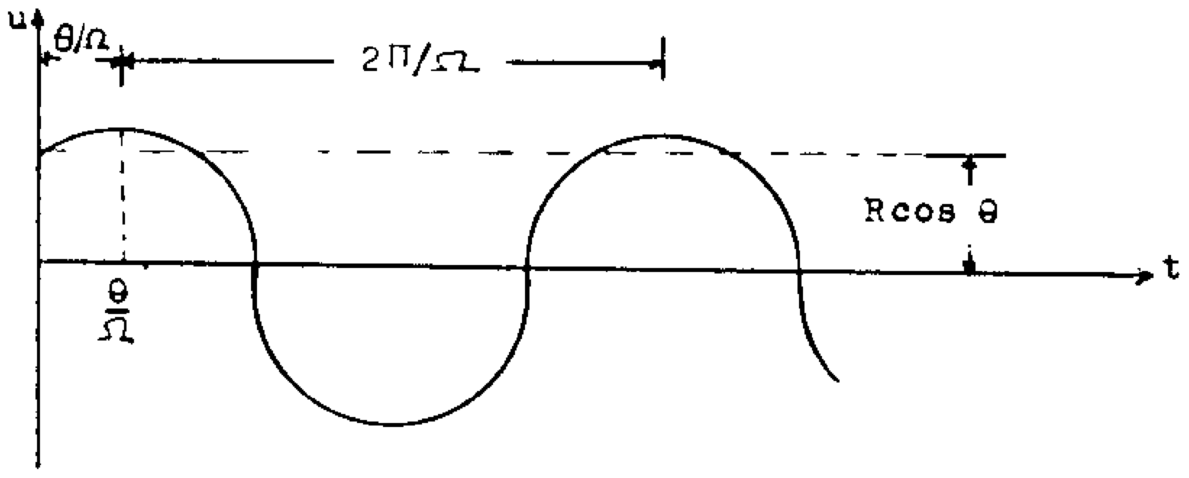
$$A_2 = \frac{F_1}{k} \cdot \frac{1}{((1-r^2)^2+4h^2r^2)^{1/2}}$$ ve mukabele faz açısı

$\theta_2 = tg^{-1}(B_1/A_1)$ özel (zorlama) çözüm ise :

$$U_z = A_2 \mathrm{Cos}\,(\Omega t - \theta) \qquad (\text{III - 18})$$ olur.



(a) Sisteme etkiyen harmonik kuvvet



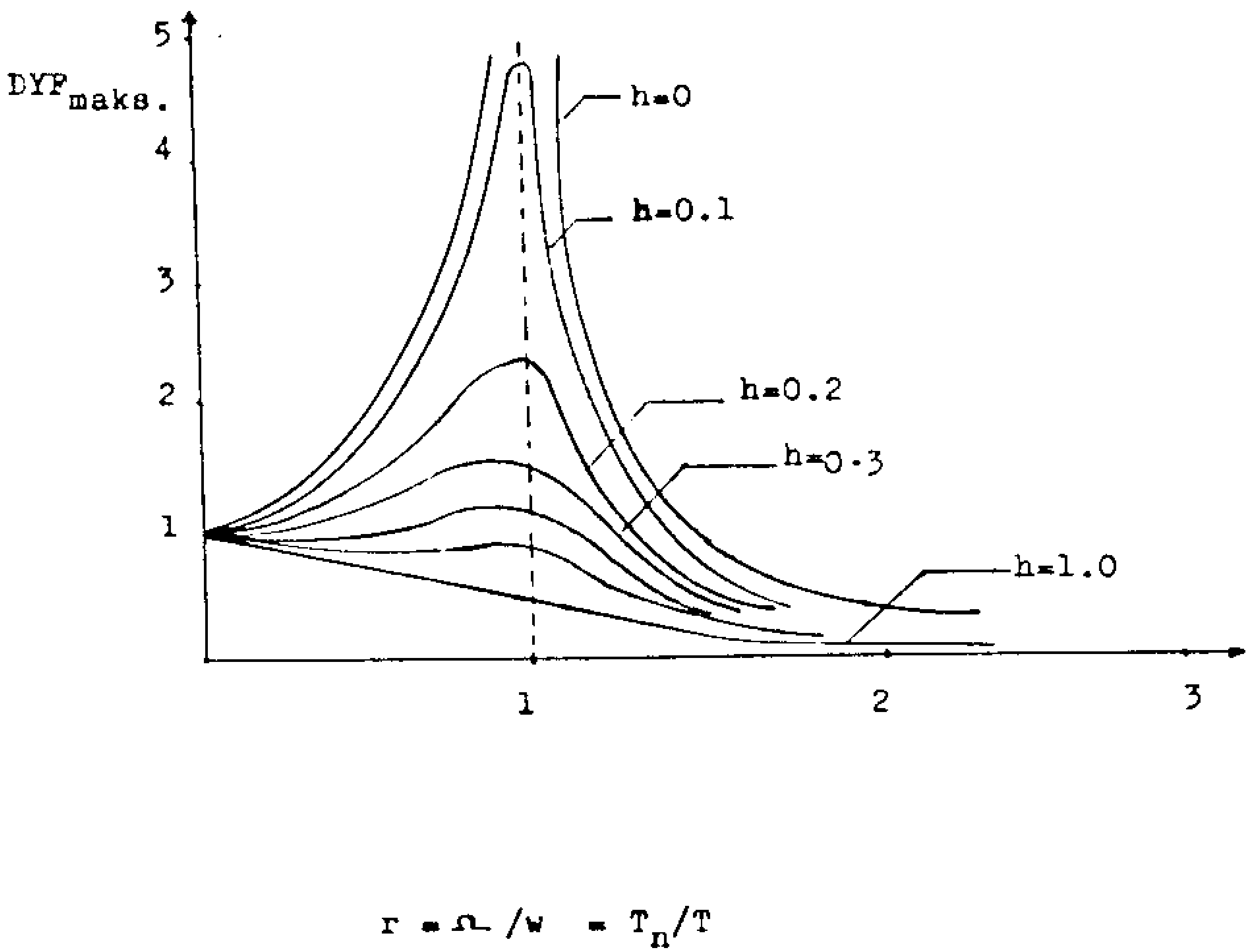
(b) Zorlanmış titreşim

ŞEKİL-13 Harmonik kuvvet, mukabele ve faz açısı θ

Homojen çözüm (komplementer) çözümün A ve B sabitleri ise, başlangıç durumlarına göre tesbit edilecektir. Sönme fonksiyonu e^{-at} ile mevcut olan homojen çözümün toplam deplasmanı artırıcı etkisi azdır, bir kaç devir sonra tesirsiz kalır. Bu sebeble bu hale geçici titreşim denir. (Şekil-13) Bu sebeble, sistemin mukabelesi zorlanmış titreşim olarak alınırsa,

$$U = U_z = U_{statik} \frac{1}{((1-r^2)^2+4h^2r^2)^{1/2}} .Cos(\Omega t-\theta) \quad (III-19)$$

olur. Tabi, amacımız dinamik mukabelenin statik mukabe - leye oranının yani DYF'nin bulunması idi. Harmonik kuv - vetle zorlanmış titreşim için ; DYF'leri,



ŞEKİL -14 Harmonik frekans oranlarına karşı DYF_{max}

$$DYF = \frac{1}{((1-r^2)^2+4h^2r^2)^{1/2}} \cdot \cos(\Omega t-\theta) \qquad (III-20)$$

$$DYF_{max} = \frac{1}{((1-r^2)^2+4h^2r^2)^{1/2}} \qquad (III-21)$$

Denklem (III-21) den açısal hız oranı (r) ve sönüm yüzdesi (h) parametresi için bir grafiklendirmeye gidilirse (Şekil-14) rezonans hadisesi burada da görülecektir. Açısal frekanslar birbirlerine yakın ise (r=1), küçük sönüm değerleri için (h=0,1 $\longrightarrow$ 0) DYF_{max} büyük olacak ve istenmeyen deplasmanlar oluşacaktır. Çok büyük sönüm yüzdeleri için titreşim problemi yoktur. h = 0 gerçek bir durum olmayıp, bütün yapılar için sönüm değeri mevcut olduğundan, sonlu maksimum DYF değerleri elde edilir.

IV - TEK SERBESTLİK DERECELİ TİTREŞEN SİSTEMLERDE DİFERANSİEL EŞİTLİĞİN SAYISAL ÇÖZÜMÜ :

IV - 1. DOĞRUSAL İVME METODU

Tek serbest dereceli titreşen sistemin hareket denklemi; $m.\ddot{u} + c.\dot{u} + k.u = f\ (t)$ (1) dir.

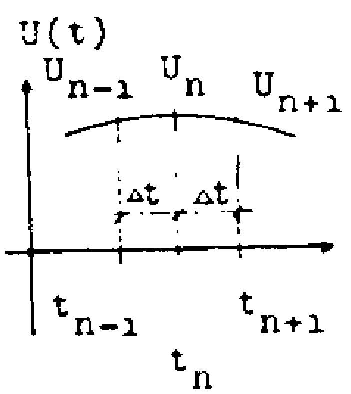
$\ddot{u} + (c/m).\dot{u} + (k/m).u = f(t)/m$ (2) veya

$\ddot{u} + 2.\xi.w.\dot{u} + w^2.u = a(t)$ (3), burada, ξ sönüm yüzdesi değeri, w sistemin açısal frekansı, a(t) uygulanan ivme fonksiyonudur. Tatbik edilen yükleme bir deprem yükü olduğunda, a(t), çok kompleks bir fonksiyon olacağı sebebiyle, (1) numaralı denklem için nümerik integral yerine, büyük yakınsaklıkta bir çözüm elde edilememektedir.

Δt zaman aralıklarında lineer olarak değişen ivme kabülüyle, tek serbestlik dereceli bir sistem için hareketin denklemi adım adım, lineer (doğrusal) ivme metoduyla integre edilebilir.

U(t) hareket (deplasman) fonksiyonunun düzenlenmiş taylor serisi ,

$$U\ (t_{n+1}) = \sum_{k=0}^{\infty} U^k.tn\ .\ \frac{(t_{n-1} - t_n)^k}{K\,!} \qquad (4)$$



ŞEKİL V-1

$\Delta t = t_{n+1} - t_n$ ve (4) eşitliğinden geliştirerek;

$$U_{n+1} = U_n + \dot{U}_n\,\Delta t + \ddot{U}_n\,\frac{\Delta t^2}{2} + \dddot{U}_n\,\frac{\Delta t^3}{6}$$

(5) beş numaralı eşitliğin zamana göre iki kere diferansiyelini alarak,

$$\dot{U}_{n+1} = \dot{U}_n + \ddot{U}_n \Delta t + \dddot{U}_n \frac{\Delta t^2}{2} \quad (6)$$

$$\ddot{U}_{n+1} = \ddot{U}_n + \dddot{U}_n \Delta t \quad (7)$$

(7) numaralı eşitlikten $\dddot{U}_n$ değerini (5) ve (6) denklemlerine uygulayarak aşağıdaki denklemleri elde ederiz.

$$\dot{U}_{n+1} = \dot{U}_n + 1/2 \, (\ddot{U}_{n+1} + \ddot{U}_n) \, \Delta t \quad (8)$$

$$U_{n+1} = U_n + \dot{U}_n \Delta t + (2 \ddot{U}_n + \ddot{U}_{n+1}) \, \Delta t^2/6 \quad (9)$$

(8) ve (9) numaralı eşitlikler (3)'e uygulanıp, düzenlenerek aşağıdaki birbiriyle ilişkili değerler elde edilir.

$$\ddot{U}_{n+1} = (a(t) - 2 \xi w A_n + w^2 B_n) \; / \; e$$

$$\dot{U}_{n+1} = A_n + \ddot{U}_{n+1} \Delta t/2 \quad ; \quad U_{n+1} = B_n + \ddot{U}_{n+1} \Delta t^2/ 2 \quad (10)$$

$$e = 1 + 2 \xi w \Delta t/2 + w^2 \Delta t^2/ 6$$

$$A_n = \dot{U}_n + \ddot{U}_n \Delta t/2 \quad ; \quad B_n = U_n + \dot{U}_n \Delta t + \ddot{U}_n \Delta t^2/3 \quad (11)$$

Herhangi bir t_n anında, sistemin karakteristiklerini ve ivme, hız ve deplasman değerlerini bilmek suretiyle, t_{n+1} zamanında hız, ivme ve deplasman değerleri (9),(10) denklemleri kullanılarak hesaplanabilir. ve yine başlangıç şartları dediğimiz $\dot{U}_o$ ve U_o bilindiği zaman, sistemin başlangıç ivmesi (12) denklemiyle hesaplanabilir.

$$\ddot{U}_o = a \, (t_o) - 2 \xi w \dot{U}_o - w^2 U_o$$

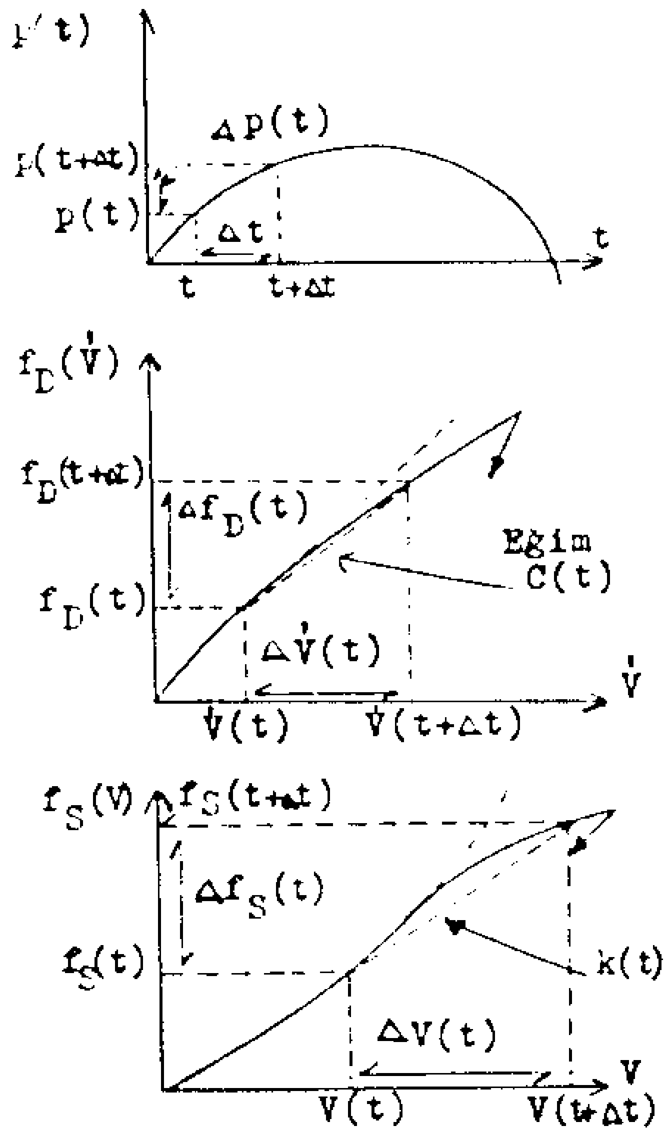
$$\ddot{U}_{n+1} = 1/m \, (f(t) - F - D) = 1/m \, (f_{n+1} - D_{\dot{U}n+1} - F_{Un+1})$$

$$\ddot{U}_{n+1} = 1/m \, (f \, (t_{n+1}) - C \, . \, \dot{U}_{n+1} - k . U_{n+1}) \quad (12)$$

Çözümde doğruluğun sağlanması için zaman adımı, Δt yeteri kadar küçük alınmalıdır. Fakat diğer bir yönden çözüm için t zaman aralığı ihtiyaç duyulandan çok küçük olmamalıdır. Aksi durumda çok uzun süre ve istenen hasaslıktan çok yüksek değerde olacaktır.Yine çok küçük Δt zaman aralığında düşük hasaslıktaki hesaplayıcılarda hataya sebep olabilir.

IV - II DENGENİN EŞİTLİĞİ VE ADIM ADIM İNTEGRAL ALMA :

Rastgele bir yükleme yapılan (Şekil IV-2a) genel olarak bir lineer olmayan tek serbestlik dereceli sistemin yay ve sönüm kuvvetleri; ve davranışları gösterilmiştir. (ŞekilIV-2b,2c) Herhangi bir t zaman anında m kütlesi üzerine etkiyen kuvvetlerin dengesi;



ŞEKİL - IV - 2a,b,c

$$f_I(t)+f_D(t)+f_S(t) = P(t) \quad (1a)$$

bir Δt süresi sonra ise ;

$$f_I(t+\Delta t) + f_D(t+\Delta t) + f_S(t+\Delta t) = P(t+\Delta t) \quad (1b)$$

olucaktır.(1a),(1b) den çıkartılmak suretiyle, Δt zaman aralığında, hareket denkleminin artan formunda, akma denklemi

$$\Delta f_I(t) + \Delta f_D(t) + \Delta f_S(t) = \Delta P(t) \quad (2)$$

artımlı kuvvetler bu eşitlikde şöyle ifadelendirilebilir.

$$\Delta f_I(t) = f_I\ (t+\Delta t) - f_I(t) = m.\Delta\ddot{U}\ (t)$$

$$\Delta f_D(t) = f_D\ (t+\Delta t) - f_D(t) = C(t).\Delta\dot{U}(t)$$

$$\Delta f_S(t) = f_S\ (t+\Delta t) - f_S(t) = k(t).\Delta U(t)$$

$$\Delta P(t) = P\ (t+\Delta t) - P(t) \qquad (3)$$

Şekil-IV - 2b,c de irdelendiği gibi zaman aralığındaki deplasman ve hıza göre c(t) ve k(t) söndürüm ve rijitlik değerlerini ifade eden terimler ve kütlenin sabit olduğu farzedilmektedir. Pratikte gösterilen secant eğimi sadece iterasyon ile elde edilebilir. Çünkü Δt zaman dilimi sonundaki hız ve deplasman bu değerlere bağlıdır.

Bu sebepden Δt zaman aralığının başında tariflenmiş olan tanjant eğimleri aşağıdaki ifadelerin yerine kullanılabilir.

$$C\ (t) = \left(\frac{df_d}{d\dot{U}}\right)_t \qquad k(t) = \left(\frac{df_S}{dU}\right)_t \qquad (4)$$

t zamanı için Δt artımına karşı gelen denge denkleminin son hali (2) ve (3) deki denklemlerin sonucu ;

$$M.\Delta\ddot{U}(t) + C(t).\Delta\dot{U}(t) + k(t).\Delta U(t) = \Delta P(t) \qquad (5)$$

Bu işlemdeki temel kabulümüz t zaman aralığında sistemin tüm değerlerinin sabit olduğu ve her t zaman aralığında ivmenin lineer değiştiğidir. Şekil - IV-3'de Δt zamanı için kütlenin hareketi, hızı ve ivmesi sırasıyla gösterilmiştir.

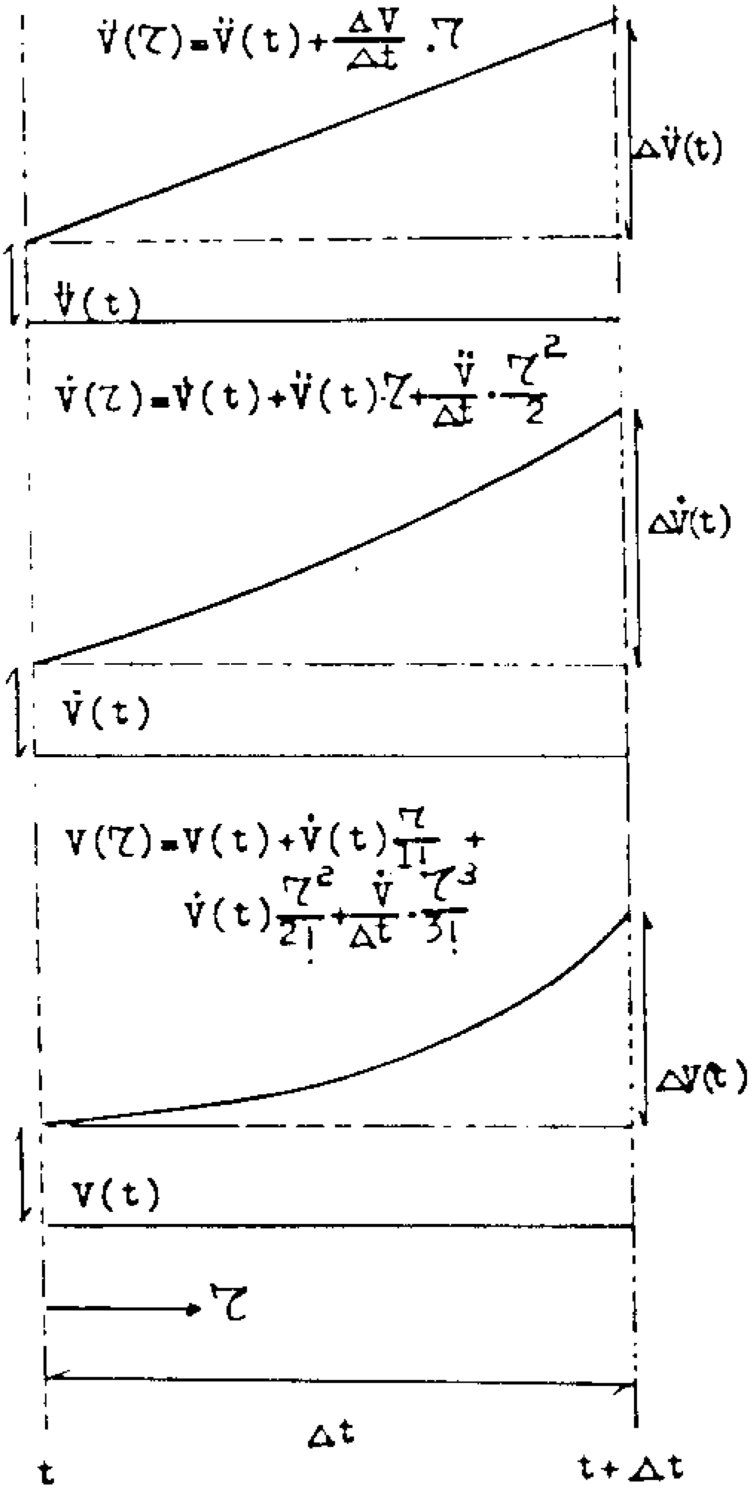
$$\Delta\dot{U}\ (t) = \ddot{U}\ (t).\Delta t + \Delta\dddot{U}(t).\Delta t/2 \qquad (6\text{-}A)$$

$$\Delta U\ (t) = \dot{U}\ (t).\Delta t + \ddot{U}(t).\Delta t^2/2 + \Delta\dddot{U}\ (t).\Delta t^2/6 \qquad (6\text{-}B)$$

(6-A), (6-B) ye uygulanırsa burdan Δt ye karşı gelen ivme artımı ve hız artımı;

$$\Delta \ddot{U}(t) = 6/\Delta t^2 \,.\, \Delta U(t) - 6\dot{U}(t)/\Delta t - 3\ddot{U}(t) \qquad (7\text{-A})$$

$$\Delta \dot{U}(t) = 3/\Delta t \,.\, \Delta U(t) - 3\dot{U}(t) - \Delta t/2 \,.\, \ddot{U}(t) \qquad (7\text{-B})$$



ŞEKİL - IV-3 Doğrusal ivmede Δt anında sistemin durumu.

(7)ler (5)'e uygulanarak bu incelemede temel değer olarak alınan deplasman artımı cinsinden ;

$$M\left(\frac{6}{\Delta t^2}\Delta U(t) - \frac{6}{\Delta t}\dot{U}(t) - 3\ddot{U}(t)\right) +$$
$$C(t)\left(\frac{3}{\Delta t}\Delta U(t) - 3\dot{U}(t) - \frac{t}{\Delta 2}\ddot{U}(t)\right) +$$
$$k(t).\Delta U5t) = \Delta P(t) \qquad (8)$$

bulunur. Son olarakta başlangıç şartları bilinen terimler ile yeniden düzenleyip ifadeleri sağ tarafa geçirirsek;

$$\tilde{k}(t).\Delta U(t) = \Delta\tilde{P}(t) \qquad (9a)$$

$$\tilde{k}(t) = k(t) + 6/\Delta t^2.m + 3/\Delta t \,.\, C(t) \qquad (9\text{-b})$$

$$\Delta\tilde{P}(t) = \Delta P(t) + m\left(\frac{6}{\Delta t}\dot{U}(t) + 3\ddot{U}(t)\right) + C(t)\left(3\dot{U}(t) + \frac{\Delta t}{2}\ddot{U}(t)\right) \qquad (9\text{-C})$$

bulunur. (9-a) eşitliğinin statik eşitliğe denk düştüğü gözlenebilir.

Bu nümerik analiz işlemi iki kabülü içericek şekildedir.

1) İvme lineer olarak değişmektedir.

2) Sönüm ve rijitlik değerleri zaman dilimlerinde sabit kalmaktadır.

Genel olarak bu iki kabülde gerçekte doğru değildir. Fakat Δt zaman aralıkları küçük değerlerde seçilirse, hata yüzdesi çok azalacakdır. Uygulanan problemde C söndürüm katsayısı sabit kabul edilmiştir. Bundan dolayı akıma bölgesinde k rijitliğide farklılık gösterip lineer olmayan değerler verilecektir.

Çerçevenin elastik veya akıma durumuna göre k(t)'nin k veya sıfır olduğu yerde hakiki rijitliği (9-b) ile ve yine gerçek yük artımı (9-c) ile hız farkı ise (7-b) ile bulunabilir. Bu çalışmada bir el hesabı için çok uygun olan bir tabloda hesaplar sunulmuştur.

Adım adım İntegral işleminin tatbik sırasını altı şıkta açıklayabiliriz.

Verilen herhangi bir t zamanı için, Analiz :

1) Başlangıç anında ($\dot{U}(t)$ ve $U(t)$) hız ve deplasman değerleri mevcuttur. Bu değerler ilk artımın sonundan veya problemin başlangıç şartları olarak mevcut olabilir.

2) Bu değerler ile yapının lineer olmayan yapıya ait özel sabit değerleri, söndürüm katsayısı C(t), ve rijitlik k(t) değeri zaman aralıkları için bulunur. Keza söndürme kuvveti f_D, ve elastik kuvvet f_s de bulunur.

3) $\ddot{U}(t) = 1/m \, (P(t) - f_D(t) - f_S(t))$ formülüyle başlangıç ivmesi hesaplanır. Bu sadece t zamanı için denge

denkleminin (diferansiel denklemin) bir düzenlemesidir.

4) $\widetilde{\Delta P}(t)$, $\widetilde{K}(t)$ (9-b) , (9-c) kullanılarak hesaplanır.

5) Deplasman farkı $\Delta U(t) = \widetilde{\Delta P}(t) \,/\, \widetilde{K}(t)$ bulunur.

sonra $\Delta \dot{U}(t) = 3 / \Delta t \,.\, \Delta U(t) - 3\dot{U}(t) - \Delta t/2\, \ddot{U}(t)$ ile hız hesaplanır.

6) Zaman aralıklarının sonunda hız ve deplasman aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\dot{U}(t + \Delta t) = \dot{U}(t) + \Delta \dot{U}(t)$$

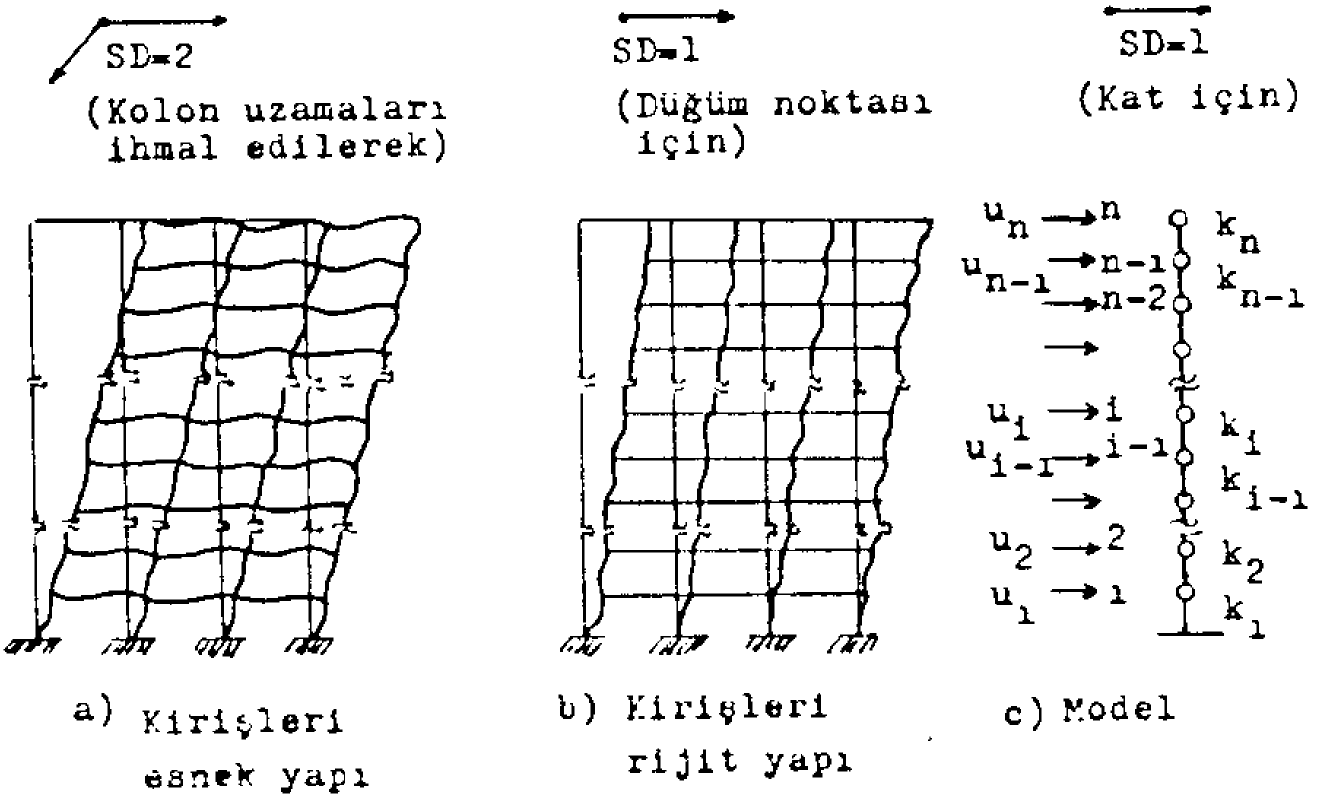
$$U(t + \Delta t) = U(t) + \Delta U(t)$$

V - ÇOK SERBEST DERECELİ SİSTEMLER

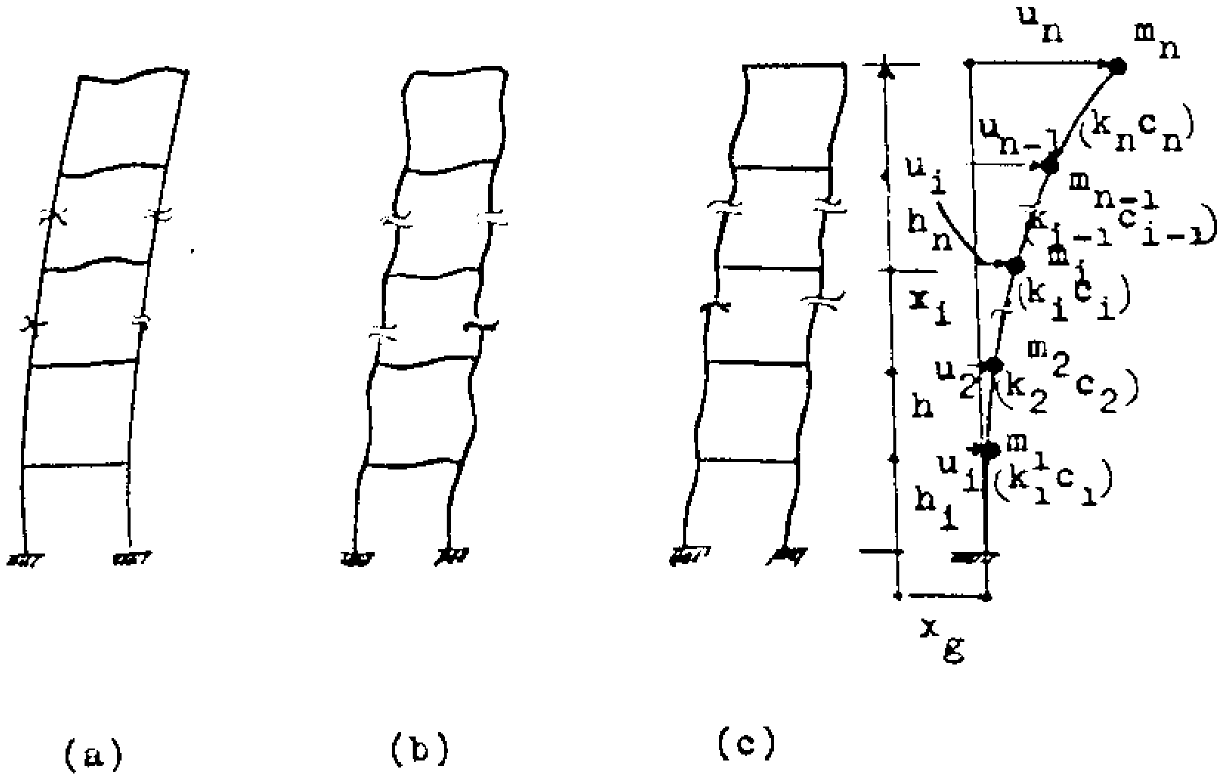
V -1-SİSTEMLERİN İDEALİZE EDİLMESİ

Mühendislik yapılarının çoğu çok serbest dereceli olup bunların serbestlik derecesi hesabı yapana göre farklılık gösterebilir.Basitleştirme ile gerçek çözüm arasındaki bu fark mühendislik hesaplarını etkilemeyecek derecede ise, Bu basitleştirme, serbestlik derecesi sayısını veya hareket denklemi sayısını azaltma bazında uygulanabilir.

Hesaplarımızca; Bir yapı olarak sadece düzlem çerçeveler olarak mukabelesinin hesaplanmasının kabülüyle (simetrik yapı ve simetrik yükler için) düğüm noktası serbestlik derecesi üçe indirgenmiş, kolonların uzama ve kısalmalarının ihmaliyle ikiye, ve kirişlerin sonsuz rijit olduğu kabülü ile her düğüm noktası için serbestlik derecesi sayısını bir olarak buluruz. Bu durumda sonsuz rijitlikli kirişlerin uzama ve kısalmaları ihmal edileceğinden



ŞEKİL-V -1 Çok serbest dereceli bir yapının basitleştirilmesi her kat için bir serbestlik derecesi elde edilmiş olacaktır.Bu şekilde yapılan bir idealizasyon gerçeğe yakın değerler vermektedir.Çok serbestlik dereceli yapıların modellendirilmesine bir açıklama olarak şekil-2 'yi inceleyelim.Birbirlerine kütleleri ihmal edilmiş yay ve söndürücülerle (kolonlar)bağlı toplanmış kütleler düzeni şeklinde olarak :



ŞEKİL -V -2 Çok serbest dereceli yapı modelleri

(a) kolon rijitliği kirişlerinden daha yüksek bir yapıyı, (b) yaklaşık olarak aynı rijitliğe sahip bir yapıyı, (c) çok rijit kirişlerden oluşmuş bir yapının modelini gös - termektedir.Burada bir takım kabuller ile konsol eğilme kirişi gibi davranan yatay yükleri perde duvarlar ile karşılayan yapıları (a) gurubuna, konsol kesme kirişi şeklinde davranan yapıları (b) gurubuna, çok rijit döşeme sis -

temlerden oluşan yapıları (c) grubuna örnek gösterebiliriz.

V - 2. ÇOK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLERDE HAREKET DENKLEMLERİ.

Sistemlerin hareket denklemleri genel olarak her bir toplanmış kütleye ait serbestlik derecesine tekabül eden kütleye etkiyen yatay kuvvetlerin dengesinden elde edilir. Bir i serbest derece için, kütlenin hareket denklemi; genel olarak, ATALET KUVVETİ ($F_{Aİ}$) + SÖNÜM KUVVETİ ($F_{Sİ}$) + YAY KUVVETİ ($F_{Yİ}$) - DİNAMİK KUVVET ($F_{Dİ}(t)$) = 0 veya n serbestlik dereceli bir sistem için;

$$\begin{array}{ccccccc} F_{A1} & + & F_{S1} & + & F_{Y1} & = & F_{D1}(t) \\ F_{A2} & + & F_{S2} & + & F_{Y2} & = & F_{D2}(t) \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ F_{An} & + & F_{Sn} & + & F_{Yn} & = & F_{Dn}(t) \end{array}$$

veya

matris olarak; $\left[F_A\right] + \left[F_S\right] + \left[F_Y\right] = \left[F_D(t)\right]$ (1) olur

V -2.1. KUVVETLERİN İNCELENMESİ

Atalet kuvveti: Çok serbestlik dereceli sistemde toplanmış kütlelerde oluşan D' Ala bert kuvvetleridir. ve

$F_{Ai} = m_{ij}\, \ddot{u}_j$ (i = 1.2......n ve j = 1.2.....n) dir.

m_{ij}, j noktasında takip edilen birim için i noktasında meydana gelen aynı doğrultudaki kuvvete eşdeğerdir.

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

$F_{A2} = m_{21}\ddot{u}_1 + m_{22}\,\ddot{u}_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + m_{2n}\,\ddot{u}_n$ ve n.ci satır n.ci sütün için;

$F_{AK} = m_{n1}\ddot{u}_n + m_{n2}\ddot{u}_2 + \ldots\ldots\ldots + m_{nn}\ddot{u}_n$ veya matris olarak kapalı halde; $\{F\} = [m]\{\ddot{u}\}$ denklemleri ile gösterilebilir. $[m]$ matrisi kütle matrisi olarak adlandırılır.

Sönüm kuvveti : Sönümün genellikle viskoz olarak kabul edildiği, böylece sönüm kuvvetinin kütlenin hızına orantılı olduğu belirtilmiş idi. Bu sebeble; $F_{Si} = C_{iJ}\dot{U}_J$ ile ifadelendirilebilir. C_{ij} , j noktasına uygulanan birim bağıl hızın i noktasında yaratacağı aynı doğrultudaki kuvvetine eşittir.

$$
\begin{array}{lcl}
F_{S1} & = & C_{11}\dot{U}_1 + C_{12}\dot{U}_2 + \ldots\ldots + C_{1n}\dot{U}_n \\
F_{S2} & = & C_{21}\dot{U}_1 + C_{22}\dot{U}_2 + \ldots\ldots + C_{2n}\dot{U}_n \\
\vdots & & \vdots \qquad \vdots \qquad \vdots \\
F_{Sn} & = & C_{n1}\dot{U}_1 + C_{n2}\dot{U}_2 + \ldots\ldots + C_{nn}\dot{U}_n
\end{array}
$$

veya kapalı matris ifadesi olarak, $\{F_S\} = [C]\{\dot{U}\}$ şeklinde gösterilebilir. $[C]$ sönüm matrisi olarak adlandırılır.

Yay Kuvveti : Yapı rijitliğinin esnek-doğrusal elemanlarca sağlandığı varsayımıyla $F_{yi} = k_{ij}U_j$ denklemi ile verilir. k_{ij} , j noktasına uygulanan birim bir bağıl deplasmanın i noktasında aynı doğrultuda oluşturacağı eş kuvvettir.

$$
\begin{array}{lcl}
F_{Y1} & = & k_{11}U_1 + k_{12}U_2 + \ldots\ldots + k_{1n}U_n \\
F_{Y2} & = & k_{21}U_1 + k_{22}U_2 + \ldots\ldots + k_{2n}U_n \\
\vdots & & \vdots \qquad \vdots \qquad \vdots \\
F_{Yn} & = & k_{n1}U_1 + k_{n2}U_2 + \ldots\ldots + k_{nn}U_n
\end{array}
$$

veya kapalı matris formu ile; $\{F_Y\} = [k]\{U\}$, $[k]$ rijitlik matrisidir.

Burdan denklem (1) kullanılarak, titreşim denklemleri en genel haliyle;

$$m\ \left\{\ddot{U}\right\} + c\ \left\{\dot{U}\right\} + k\ \left\{U\right\} = \left\{F\ (t)\right\} \quad (2)\ \text{olur.}$$

Yapı dinamiğinde, çerçevelere ait titreşim denklemleri çerçeve sistemlerinin bağımlı olduğu kabul edilerek, yanal öteleme serbestlik derecelerine sahip sistemlerde

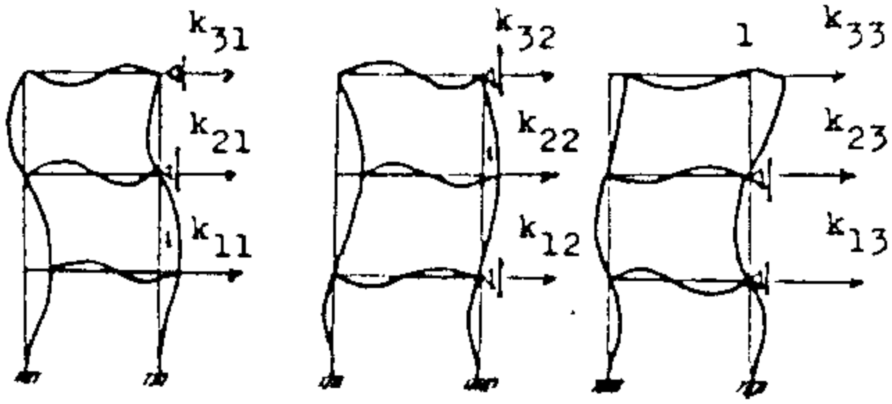
$$\left[m\right] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & m_n \end{bmatrix}$$

bu matris köşegen matrisdir.

V -2.2 RİJİTLİK MATRİSİ ELEMANLARININ TESBİTİ :

Herhangi bir kütleye uygulanan birim öteleme sadece komşu kütlelere etkiyorsa bunlara basit bağlantılı, aksi durumda tüm kütlelere etkiyorsa bu modellere yakın bağlantılı sistemler denir. Şekil-2'de (a),(b) ikinci duruma, (c) ise ilk durumun örneğidir.

Basit bağlantılı bir yapı için rijitlik matrisleri şöyledir.



ŞEKİL-3 3 Serbestlik dereceli yapı modeli rijitlik matrisi

$$
[k] = \begin{bmatrix}
k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \ldots\ldots 0 \\
-k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 & 0 \ldots\ldots 0 \\
0 & -k_3 & k_3+k_4 & -k_4 & 0 \ldots\ldots 0 \\
0 & 0 & -k_4 & k_4+k_5 & -k_5 \ldots\ldots 0 \\
0 & 0 & 0 & -k_5 & \vdots \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
0 & 0 & 0 & 0 & \ldots\ldots\ldots\ldots k_n
\end{bmatrix}
$$

Yapı sönüm matrisini, yapı için doğrudan doğruya belirliyebileceğimiz niteliklere dayanarak yazmak olanaksızdır. Ancak deneysel verilere bağlı olarak belirlenebilir, veya problemin önemine göre sönüm ihmal edilerek çözüm yapılır.

V -3. ÇOK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLERDE SÖNÜMSÜZ SERBEST TİTREŞİM.

Serbestlik derecesi sayısı kadar oluşan titreşim denklemlerinden, yine serbestlik derecesi sayısı kadar tabii mod (karakteristik deformasyon şekilleri) ve her moda tekabül eden tabii periyod veya tabii frekans elde edilecektir. Serbest titreşimin herhangi bir modunda sistemin herhangi bir koordinatına tekabül eden hakiki genlik hesaplanamaz. Sistemin koordinat noktalarının deplasmanlarının birbirlerine oranları serbest titreşimin herhangi bir zamanından sabittir.

Sönümsüz n serbestlik dereceli bir sistemin genel titreşim denklemi; $m_{ij}\,\ddot{U}_j + k_{ij}\,U_j = 0$ (3) olur.

Serbest titreşim için sistem ötelemelerinin

$$U(t) = \emptyset \quad Sin(wt + \theta)$$

denklemi ile verildiği varsayılarak ispatını yapalım.

Bu ifadeyi genelleştirerek;

$$U_j = \emptyset_j \cdot q(t)$$

$$\ddot{U}_j = \emptyset_j \cdot \ddot{q}(t) \text{ ivmesi olup (3)de yerine}$$

konursa; $m_{ij} \cdot \emptyset_j \cdot \ddot{q}(t) + k_{ij} \cdot \emptyset_j \cdot q(t) = 0$

$$\frac{\ddot{q}(t)}{q(t)} = \frac{-k_{ij}\,\emptyset_j}{m_{ij}\,\emptyset_j}$$

Basit harmonik hareketin tarifinden, herhangi bir koordinat noktasına tekabül eden denklemin sağ veya sol terimleri sabittir.

$$\frac{\ddot{q}(t)}{q(t)} = -w^2 \qquad \text{olarak alınırsa,}$$

$\ddot{q}(t) + w^2 q(t) = 0$ (4) olarak basit harmonik hareket denklemi elde edilir. Bu ispat ile ötelemenin bu ifadesinin geçerli olacağı koşulları, $\emptyset$ vektörü, w frekansı ve θ faz açısı ile belirlenen harmonik hareket genliklerinin serbestlik derecelerine göre dağılımını göstermekte ve zamana bağlı olmadığını söyleyebiliriz.

Denklem (4) , (3)'de yerine konulursa:

$$-w^2 \begin{bmatrix} m \end{bmatrix} \{\emptyset\} \, Sin(wt + \theta) + \begin{bmatrix} k \end{bmatrix} \{\emptyset\} \, Sin(wt + \theta) = \{0\}$$

veya $\left[\begin{bmatrix} k \end{bmatrix} - w^2 \begin{bmatrix} m \end{bmatrix} \right] \{\emptyset\} = \{0\}$ (5) karekteristik değer denklemini elde ederiz. Denklem (5) bir simultane lineer denklem sistemini irdeler. Katsayı matrisi determinantının sıfıra eşit olmasıyla bu sistemin sıfırdan farklı çözümü gerçekleşebilmektedir.

$\left[\left[k\right] - w^2 \left[m\right]\right] = 0$ (6) bu denklem sistemin frekans denk - lemi veya karekteristik denklemidir. ve n sayıda kök içerir ve bunlar w'lar ile n adet titreşim modlarının doğal titreşim frekanslarının (modal frekansları) belirler. Sistem doğal frekanslarının en küçüğünü temel frekans olarak alıp büyüklüklerine göre bir sıralamaya gidilir.

$$\left\{w\right\} = \begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ w_n \end{Bmatrix}$$

Her bir modal frekans için denklem (5)'deki katsayı matrisi hesaplanarak bu modal frekansa tekabül eden harmonik titreşim genlikleri elde edilir. Genliklerin kesin çözüm belirsizliği ve ancak bir koordinattaki genlikler cinsinden çözülebilmesinden ötürü, birinci serbestlik derecesine ait koordinatın genliği, bu genliği birim öteleme varsayarak kullanılır. $U(t) = \emptyset \; Sin(wt - \theta)$'ün varsayımı ile çok serbestlik dereceli sistem ancak modları ile belirlenen şekillerde ve frekanslarda basit harmonik titreşim yapabilir. Modal titreşimlerde her bir serbestlik derecesindeki ötelemeler herhangi bir zaman değeri için modla orantılı olup aralarında faz farkı yoktur. i. ve j. doğal titreşim modları arasında ortogonallikler mevcuttur.

$$\left\{\emptyset_i\right\}^T \left[m\right] \left\{\emptyset_j\right\} = 0 \qquad i \neq j$$

$$\left\{\emptyset_i\right\}^T \left[k\right] \left\{\emptyset_j\right\} = 0 \qquad i \neq j$$

bundan faydalanılarak sistemdeki herhangi bir öteleme şekli modal vektörler cinsinden ifadelendirilebilir.

$$\{u\} = q_1\{\phi_1\} + q_2\{\phi_2\} + \dots\dots\dots + q_n\{\phi_n\}$$

burada $\{q\}$ vektörü ;

$$q_i = \frac{\{u\}[m]\{\phi_i\}^T}{\{\phi_i\}[m]\{\phi_i\}^T}$$ ile bulunacakdır.

V -4. ZORLANMIŞ SÖNÜMSÜZ ÇOK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLER

MOD SÜPERPOZİSYON METODU

Serbest titreşimde elde edilen mod vektörler ve tabii frekanslar, zorlanmış titreşim denklemlerinin çözümünde kullanılan en önemli donelerdir.Bu metodda sistem ve elemanların lineer olduğu kabul edilerek, bir kütlenin mukabelesi, her moda tekabül eden deplasmanların toplamından oluşmaktadır.

$$U_i\ (x_i t) = \phi_{ij}\ (x).q_j\ (t)$$
$$\{U\} = [\phi]\ \{q\}$$

$\{U\}$ deplasman vektörü, $[\phi]$ serbest titreşimden elde edilen modlar matrisini, $\{q\}$ ise her modun toplam mukabeleye katkısını belirleyen amplitud vektördür.

$\{\ddot{U}\} = [\phi]\{\ddot{q}\}$ sönümsüz genel denklemde yerine koyarsak;

$$[m]\{\ddot{U}\} + [k]\{U\} = \{F\ (x,t)\}$$

$[m][\phi]\{\ddot{q}\} + [k][\phi]\{q\} = \{F\ (x.t)\}$ve her terim ϕ^T ile çarpılırsa,

$$[\phi]^T[m][\phi]\{\ddot{q}\} + [\phi]^T[k][\phi]\{q\} = [\phi]^T\{F\ (x,t)\}$$

$[M] = [\phi]^T[m][\phi]$ alınan köşegen matrisidir.

$\left[M\right]\{\ddot{q}\} + \left[\phi\right]^T\left[k\right]\left[\phi\right]\{q\} = \left[\phi\right]^T\{F(x,t)\}$ ifadeyi M 'ne bölersek ve $\frac{[\phi]^T[k][\phi]}{[M]} = w^2$; $\frac{[K]}{[M]} = w^2$

Bütün kare matrisler köşegen olduğundan bu ifadelerin n adet bağımsız diferansiyel denklemleri temsil eder. Çözümün n adet tek serbestlik dereceli titreşim denklem - lerinin çözümüne paralel olduğu gözükmektedir. Herhangi bir i modu için genel titreşim denklemi;

$$\ddot{q}_i + w_i^2 = \frac{\{\phi_i\}^T\{F(x,t)\}}{M_i} \quad ; \frac{K_i}{M_i} = w_i^2$$ elde edilir.

M_i genelleştirilmiş kütle, K_i genelleştirilmiş rijitlikdir. Çözüm Duhamel entegraline indirgenmiş olur.

$$q_i = \int_0^t \frac{\{\phi_i\}^T \cdot \{F(x,t)\}}{M_i} \cdot \frac{1}{w_i} \operatorname{Sin} w_i(t-\tau)d \quad \text{veya}$$

$$\{F(x,t)\} = F_s\{F\} f(t)$$

$$q_i = X_i \ (DYF)_i$$

$$X_i = \frac{\{\phi_i\}^T\{F\} F_s}{w_i^2 \ M_i} ,$$ i modunun katkısını belirleyen katılma faktörüdür.

$$(DYF)_i = \int_0^t w_i f(t) \operatorname{Sin} w_i (t-\tau) d$$

yaygın olarak kullanılan normalleştirilmiş $[\phi']$ matrisiyle U deplasmanları bulunur.

$\{\phi'_{ir}\}^T [M] \{\phi_{ir}\} = 1$ ile normalleştirilerek

$\{U\} = [\phi'] \{q\}$ bulunur.

$F(t) = \operatorname{Sin}\Omega t$ ise $(DYF)_i = \frac{1}{1-(\Omega/w_i)^2} \operatorname{Sin}\Omega t$

$$U_i = F/k \left(\frac{1}{1-(\Omega/w_1)^2} + \frac{1}{1-(\Omega/w_j)^2} + \ldots\ldots + \frac{1}{1-(\Omega/w\ )^2}\right).$$

$\operatorname{Sin}\Omega t$

$F(t) = 1$ ise $(DYF)_i = (1 - \cos w_i t)$

$U_i = \phi'_{i1} q_1 + \phi'_{i2} q_2 + \ldots\ldots + \phi'_{in} q_n$ gibi genelleyebiliriz.

V -5 SÖNÜMLÜ SİSTEMLER :

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{F(t)\}$$

$\{U\} = [\phi]\{q\}$ uygulanırsa,

$[M][\phi]\{\ddot{q}\} + [C][\phi]\{\dot{q}\} + [K][\phi]\{q\} = \{F(t)\}$ bu denklemin her iki tarafını $\{\phi_i\}^T$ ile çarpıp, doğal modların ortogonalliğini uygularsak, sönüm matrisine görede doğal modların ortogonalliği tatbik edilirse,

$$\{\phi_i\}^T[M]\{\phi_j\}\ddot{q}_j + \{\phi_i\}^T[C]\{\phi_j\}\dot{q}_j + \{\phi_i\}^T[K]\{\phi_j\}q_j = \{\phi_i\}^T\{F(t)_j\}$$

$\{\phi_i\}^T[C]\{\phi_i\}\dot{q}_j = C_j \cdot \dot{q}_j$ olup. C_j genelleştirilmiş sönüm katsayısıdır. M_j ile bölerek genel denklemi yazarsak; $\ddot{q}_j + 2\xi_j w_j \dot{q}_j + w_j^2 q_j = \phi_i^T F_j(t)$; $\dfrac{C_j}{M_j} = 2\xi_j w_j$

olup, ξ_j her bir titreşim modu için geçerli viskoz sönüm oranıdır. Sönümde ortogonalliğin ancak $[C] = \alpha[M] + \beta[K]$ koşulu ile gerçekleşebilmektedir. Bunun belirli yakınsaklık ile şu amprik matrisden elde edilebilir.

$$[\phi]^T[C][\phi] = [C] = \begin{bmatrix} 2\xi_1 w_1 M_1 & 0 \ldots\ldots\ldots 0 & \\ 0 & 2\xi_2 w_2 M_2 \ldots\ldots 0 & \\ \vdots & \vdots & \\ \vdots & \vdots & \\ 0 & 0 & 2\xi_n w_n M_n \end{bmatrix}$$

düzenlemeyle bu ifade $\left[C\right] = \left[M\right]\left[\emptyset\right]\left[C\right]\left[\emptyset\right]^T\left[M\right]$ dir.

Yapı sönüm matrisi $\left[C\right]$ bazı doğrusal olmayan sistem çözümleriyle ilgili uygulamalar dışında elde edilmesi gerekmez. En genel haliyle düzenlenmiş titreşim denklemimiz;

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \vdots \\ \ddot{q}_n \end{Bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} 2\xi_1 w_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 2\xi_1 w_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & & 2\xi_n w_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \vdots \\ \dot{q}_n \end{Bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} w_1^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & w_1^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & & w_n^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{F}_1 \\ \bar{F}_2 \\ \vdots \\ \bar{F}_n \end{Bmatrix}$$

olmaktadır. Sistem serbestlik derecelerindeki geometrik ötelemeler modal süperpozisyon yöntemiyle,

$\left\{U(t)\right\} = \left[\emptyset\right]\left\{q(t)\right\}$ veya açık ifadeyle

$$\left\{U(t)\right\} = \left\{\emptyset_1\right\} q_1(t) + \left\{\emptyset_2\right\} q_2(t) + \ldots + \left\{\emptyset_n\right\} q_n(t)$$

denklemiyle bulunmaktadır.

Serbestlik derecelerine etkiyen yanal deprem kuvvetleri

$P_i(t)$,

$$\{P(t)\} = [k]\{U(t)\} = [k][\phi]\{q(t)\}$$

$$\{P(t)\} = \sum_{i=1}^{n} [k]\{\phi_i\}\, q_i(t) \qquad \text{ve}$$

$$\left[[k] - w^2[M]\right]\{\phi\} = \{0\} \quad \text{düzenlemesiyle}$$

$P_i(t)$,

$$\{P(t)\} = \sum_{i=1}^{n} [M]\{\phi_i\}\, w_i^2\, q_i(t)$$

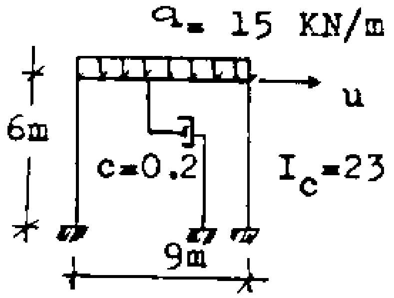
Serbestlik derecelerindeki kat kesme kuvvetleri;

$\{V(t)\} = [S]\{P(t)\}$, $[S]$ birim üst üçgen matrisidir.

her bir katta oluşan devirme momentleri; $Md_i(t)$

$\{Md_i(t)\} = h[S][S]\{P(t)\}$ h : katlar arası mesafe

PROBLEM - 1 :Tek serbest dereceli elastik sistemin adım adım integral metodu ile çözümü.



$I_c = 23.5\times10^6 mm^4$

$k = 12\ EI_c/L^3 = \dfrac{12.2,1x10^6.23,5x10^6}{6000^3}$

$k_c = 2.74166$ KN/mm

$k = 2.k_c = 5.4833$ KN/mm

$m = G/g = q.l/g = 15.9/9.81$

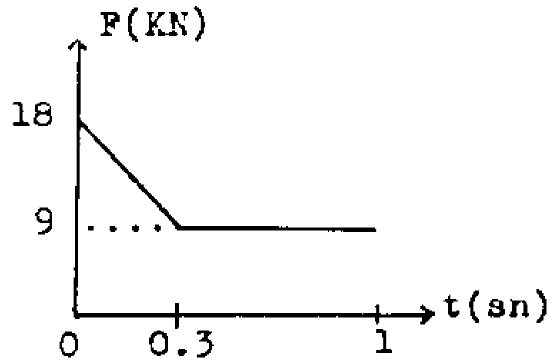
$m = 0.01376$ KN.sn^2/mm

Bir kolonun alabileceği maxmum moment 30 KNm olsun.

Sistemdeki kolonların alacağı M_{max} = F.L = 60 =F.6

F_{max}= 10 KN, $F_{max} = k.V_{max}$ $\quad$ 10 = 5.4833 . V_{max}

V_{max}= 1.8237 mm



$\Delta P(t) = \Delta p(t)+0.01376((6/0.1)\dot{U}(t)+3\ddot{U}(t))+0.2(3\dot{U}(t)+\Delta t/2\ddot{U}(t))$

$\Delta p(t) = \Delta p(t)+1.4256\dot{U}(t)+0.05128\ddot{U}(t)$ $\quad$ $U(t) = \tilde{p}(t)/\tilde{k}$

$\tilde{k}(t) = k(t)+(6/\Delta t^2)m+3/\Delta t.c(t)$ $\quad$ $\tilde{k}(t) = 5.4833+14.256$

Nonlineer sistemde $\tilde{k}(t) = k(t)+14.256$ denklemi plastikleşme durumunda geçerlidir.

$\Delta\dot{U}(t) = 3/\Delta t.\Delta U(t)-3\dot{U}(t)-\Delta t/2.\ddot{U} = 30\Delta U(t)-3\dot{U}(t)-0,05\ddot{U}(t)$

$\ddot{U}(t) = (1/m).(p(t)-f_D(t)\ -f_s(t))$

PROBLEM - 2 :Tek serbest dereceli nonelastik (plastik) sistemin adım adım integral metodu ile çözümü (veriler Pr.2' den)

t	P	U	$\dot{U}$	f_s k.U	f_D c.$\dot{U}$	f_I 2-5-6	$\ddot{U}$ f_I/m	ΔP	1.4256$\dot{U}$	0.05128$\ddot{U}$	$\Delta\tilde{P}$ 9+10+11	k	$\tilde{k}$	$\Delta U = \Delta\tilde{P}/\tilde{k}$	30.ΔU	3.$\dot{U}$	0,05.$\ddot{U}$	$\Delta\dot{U}$ 16-17-18
sn	KN	mm	mm/sn															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	18	0	0	0	0	18	1312,36	-3	0	67,077	64,077	5,4833	19,7393	3,246	97,385	0	65,403	31,982
0.1	15	3,246	31,982	17,799	6,396	-9,195	-668,25	-3	45,594	-34,268	8,326			0,421	12,654	95,947	-33,412	-49,881
0.2	12	3,668	-17,90	20,11	-3,58	-4,532	-329,36	-3	-25,517	-16,889	-45,406			-2,300	-69,009	-53,697	-16,468	1,156
0.3	9	1,367	-16,74	7,50	-3,35	4,849	352,43	0	-23,869	18,072	- 5,796			-0,294	-8,809	-50,229	17,621	23,796
0.4	9	1,074	7,053	5,89	1,41	1,701	123[illegible]	0	10,055	6,339	16,394			0,830	24,915	21,189	6,181	-2,425
0.5	9	1,905	4,628	10,44	0,93	-2,368	-172,14	0	6,598	-8,827	-2,229			-0,113	-3,388	13,885	-8,607	-8,666
0.6	9	1,791	-4,038	9,82	-0,81	-0,016	-1,187	0	-5,756	-0,060	-5,817			-0,295	-8,842	-12,115	-0,059	3,332
0.7	9	1,496	-0,705	8,21	-0,14	0,933	67,826	0	-1,006	3,478	2,472			0,125	3,757	-2,117	3,391	2,483
0.8	9	1,622	1,776	8,89	0,35	-0,249	-18,16	0	2,533	-0,931	1,601			0,081	2,434	5,33	-0,908	-1,988
0.9	9	1,703	-0,210	9,34	-0,04	-0,297	-21,62	0	-0,300	-1,108	-1,408			-0,071	-2,141	-0,632	-1,081	-0,427
1.0	9	1,631	-0,638	8,98	-0,13	0,180	13,12	-9	-0,909	0,672	-9,237			-0,468	-14,04	-1,915	0,656	-12,779
1.1	0	1,164	-13,42	6,38	-2,68	-3,698	-268,8	0	-19,127	-13,78	-32,91			-1,667	-50,01	-40,25	-13,439	3,672
1.2	0	-0,51	-9,743	-2,76	-1,95	4,709	342,25	0	-13,893	17,55	3,658			0,187	5,633	-29,74	17,113	17,755
1.3	0	-0,32	8,013	-1,73	1,60	0,128	9,36	0	11,425	0,48	11,903			0,603	18,089	24,038	0,468	-6,416
1.4	0	0,287	1,596	1,58	0,32	-1,895	-137,71	0	2,275	-7,06	-4,786			-0,242	-7,274	4,788	-6,885	-5,177
1.5	0	0,045	-3,581	0,25	-0,72	0,467	33,96	0	-5,105	1,74	-3,364			-0,170	-5,112	-10,743	1,698	3,933
1.6	0	-0,125	0,352	-0,69	0,07	0,615	44,69											

Problem -2 TSD Elastik çözüm - Adım adım integral metodu

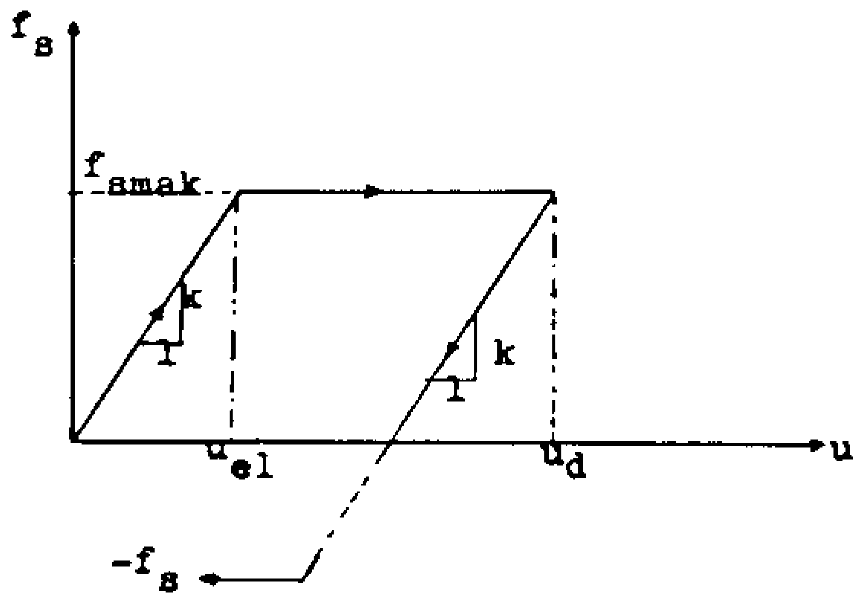
t	p	U	$\dot{U}$	f_s k.U	f_D c.$\dot{U}$	f_I 2-5-6	$\ddot{U}$ f_1/m	ΔP	1.4256$\dot{U}$	0.05128$\ddot{U}$	$\Delta\tilde{P}$ 9+10+11	k	$\tilde{k}$	$\Delta U=\Delta\tilde{P}/\tilde{k}$	30.ΔU	3.$\dot{U}$	0,05.$\ddot{U}$	$\Delta\dot{U}$ 16-17-18
sn	KN	mm	mm/sn															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	18	0	0	0	0	18	1312,36	-3	0	67,077	64,077	5,483	19,74	3,246	97,385	0	65,403	31,982
0.1	15	3,246	31,982	10	6,396	-1,396	-101,47	-3	45,594	-5,204	37,389	0	14,26	2,623	78,681	95,946	-5,073	-12,191
0,2	12	5,869	19,791	10	3,958	-1,958	-142,3	-3	28,214	-7,296	17,918	0	14,26	1,257	37,701	59,373	-7,115	-14,552
0,3	9	7,126	5,239	10	1,048	-2,048	-148,8	0	7,468	-7,632	-0,163	0	14,26	-0,011	-0,3436	15,717	-7,442	-8,619
0,4	9	7,115	-3,381	9,9	-0,68	-0,244	-17 ,7	0	-4,819	-0,909	-5,728	5,483	19,74	-0,29	-8,706	-10,14	-0,886	2,322
0,5	9	6,825	-1,059	8,3	-0,21	0,882	64,08	0	-1,510	3,286	1,776	5,483	19,74	0,09	2,70	-3,177	3,204	2,674
0,6	9	6,915	1,615	8,8	0,32	-0,146	-10,66	0	2,302	-0,547	1,755	5,483	19,74	0,09	2,67	4,84	-0,53	-1,64
0,7	9	7,004	-0,03	9,3	-0,06	-0,305	-22,20	0	-0,041	-1,138	-1,179	5,483	19,74	-0,06	-1,79	-0,09	-1,11	-0,59
0,8	9	6,940	-0,626	8,9	-0,13	0,164	11,92	0	-0,892	0,611	-0,281	5,483	19.74	-0,014	-0,43	-1,878	0,59	0,855
0,9	9	6,926	0,229	8,8	0,05	0,071	5,16	0	0,326	0,265	0,591	5,483	19,74	0,03	0,89	0,687	0,26	-0,05
1,0	9	6,955	0,182	9,1	0,03	-0,083	-6,09	-9	0,26	-0,313	-9,059	5,483	19,74	-0,46	-13,76	0,548	-0,305	-14,0
1,1	0	6,497	-13,819	6,5	-2,76	-3,772	-274,11	0	-19,7	-14,06	-33,76	5,483	19,74	-1,71	-51,30	-41,46	-13,71	3,859
1,2	0	4,787	-9,96	-2,9	-1,99	4,836	351,51	0	-14,199	18,03	3,826	5,483	19,74	0,194	5,815	-29,88	17,576	18,12
1,3	0	4,981	8,16	-1,8	1,63	0,15	10,91	0	11,633	0,56	12,19	5,483	19,74	0,617	18,53	24,48	0,545	-6,49
1,4	0	5,598	1,66	1,6	0,33	-1,94	-140,72	0	2,373	-7,22	-4,84	5,483	19,74	-0,245	-7,36	4,99	-7,04	-5,32
1,5	0	5,353	-3,66	0,3	-0,73	0,47	34,08	0	-5,21	1,75	-3,46	5,483	19,74	-0,175	-5,26	-10,96	1,70	3,99
1,6	0	5,178	0,34	-0,7	0,07	0,63	45,93											

Problem -3 TSD Nonelastik (plastik) çözüm - Adım adım integral metd.

Problemler için açıklamalar :

Tek serbestlik dereceli bir yapının elastik çözü - mü için adım adım integral metodu el hesabına uygun hesap tablosu ve uygulaması shf. 48'e konulmuştur.Yapı rıjıtlığı hesap boyunca değişmemekte ve elastiklik hesap boyunca korunmaktadır.

Tek serbestlik dereceli bir yapının plastik çözümü için oluşturulan tablo bir evvelki problemin tamamen aynıdır. f_s yay kuvveti f_{smak} ile sınırlıdır. $f_{smak}=k.u$ ifadesinden görüleceği üzere yapıda deplasmanları sınırlandırma mümkün değildir.O halde f_{smak} eşitliğini sağlayacak bir k rijitliği oluşmaktadır.Bu her adımda deplasmanların t_n ile t_{n+1} inci istasyonlar arasında kontrolü ile değişmektedir. Burda söz konusu olan deplasman bir önceki noktaya göre bağıl deplasmandır.

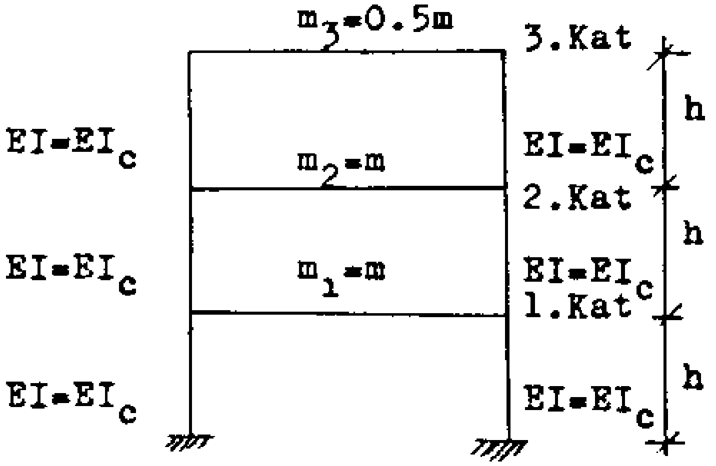


u_{el} = Lineer deplasman sınırı

f_s = Lineer (elastik)yay kuvveti

u_d = Düktil deplasman limiti

PROBLEM - 3 : Çok serbest dereceli sistemlerde bir yapı çözümü.



$EI_c= 35x10^4 KNm^2$

$k_1=12EI_c/ h^3$

$\sum k=k_1+k_2+k_3+...+k_n$

$\sum k= 2x12xEI_c \;/\; h^3 = 2.12.35x10^4/3^3 =31,1x10^4 KN/m$

$m = 500\ KN.sn^2/m \qquad \sqrt{\frac{k}{m}} = 24.939$

$$[k]=\begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} = k\begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[m]=\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} = m\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$$

Eıgen değerleri :

EIGEN(1) = 0.267949

EIGEN(2) = 2.0

EIGEN(3) = 3.73205

Doğal Frekanslar/$\sqrt{\frac{k}{m}}$

w(1) = 0.082384

w(2) = 0.225

w(3) = 0.307

Frekanslar :

$f_I = w_1 \,.\sqrt{k/m}$

f_1 =0.0823 . 24.939= 2.055

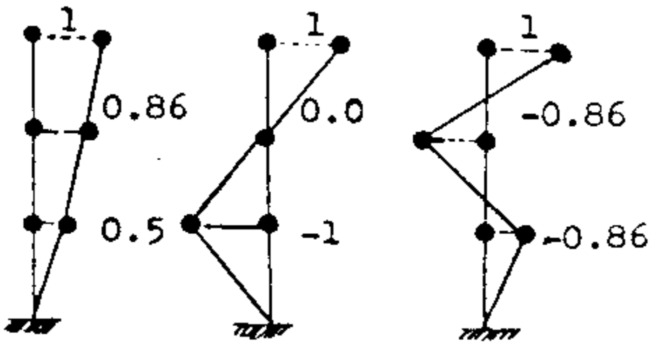
f_2 =0.225 . 24.939= 5.613

f_3 =0.307 . 24.939= 7.668

Normalize etme işlemi vektörde bulunan en büyük elemanın bir alınarak diğerlerinin ayarlanmasıyla yapılmıştır.

$$[\varnothing] = \begin{bmatrix} 0.5 & -1 & 0.5 \\ 0.866 & 0 & -0.866 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$\uparrow$ 1.mod $\quad \uparrow$ 2.mod $\quad \uparrow$ 3.mod



1.mod 2.mod 3.mod

Kütle Matrisi : $MI = KM(I) = \{\varnothing_I\}^T [m] \{\varnothing_I\}$

$M1 = M2 = M3 = 1.5$

qI Katılım Faktörleri : $q_I = \{\varnothing_I\}^T [m] \{I\} / M_I$

$q1 = 1.244$

$q2 = -0.33$

$q3 = 0.089$

Yalancı deplasman PSV değerlerinin sönüm yüzdesine göre okutulması

$\xi_I = 0$ (Sönümsüz sistem çözümü)

$PSV_I \; (f_I \, , \, \xi_I)$

Genelleştirilmiş koordinatların spektral değerleri :

$PSV_1 \; (2.054 \; , \; 0) = 90$

$PSV_2 \; (5.61 \; , \; 0) = 65$

$PSV_3 \; (7.66 \; , \; 0) = 40$

$Y_I = q_I / w_I \; . \; PSV_I$

$Y_1 = 8.673 \qquad Y_2 = 0.614 \qquad Y_3 = 0.074$

Ötelemelerin spektral değerleri :

$\{U_I\} = \{\varnothing_I\} \cdot Y_I$

$$[U] = \begin{bmatrix} 4.336 & 0.614 & 0.037 \\ 7.511 & 0.0 & -0.064 \\ 8.673 & -0.614 & 0.074 \end{bmatrix}$$

Yanal deprem kuvvetlerinin spektral değerleri :

$\{P_I\} = [m] \cdot w_I^2 \cdot \{U_I\}$

$$[P] = \begin{bmatrix} 722.67 & 764.16 & 86.1 \\ 1251.71 & 0.0 & -149.1 \\ 722.68 & -382.1 & 86.1 \end{bmatrix}$$

Kat kesme kuvvetlerinin spektral değerleri :

$$\{V_I\} = [S]\{P_I\}$$

$$[V] = \begin{bmatrix} 2697.06 & 382.08 & 23.06 \\ 1974.39 & -382.08 & -63.00 \\ 722.68 & -382.08 & 86.01 \end{bmatrix}$$

Devirme momentlerinin spektral değerleri :

$$\{MD_I\} = h[S]\{V_I\}$$

$$[MD] = \begin{bmatrix} 16182.4 & -1146.2 & 138.4 \\ 8091.2 & -2292.5 & 69.2 \\ 2168.0 & -1146.2 & 258.2 \end{bmatrix}$$

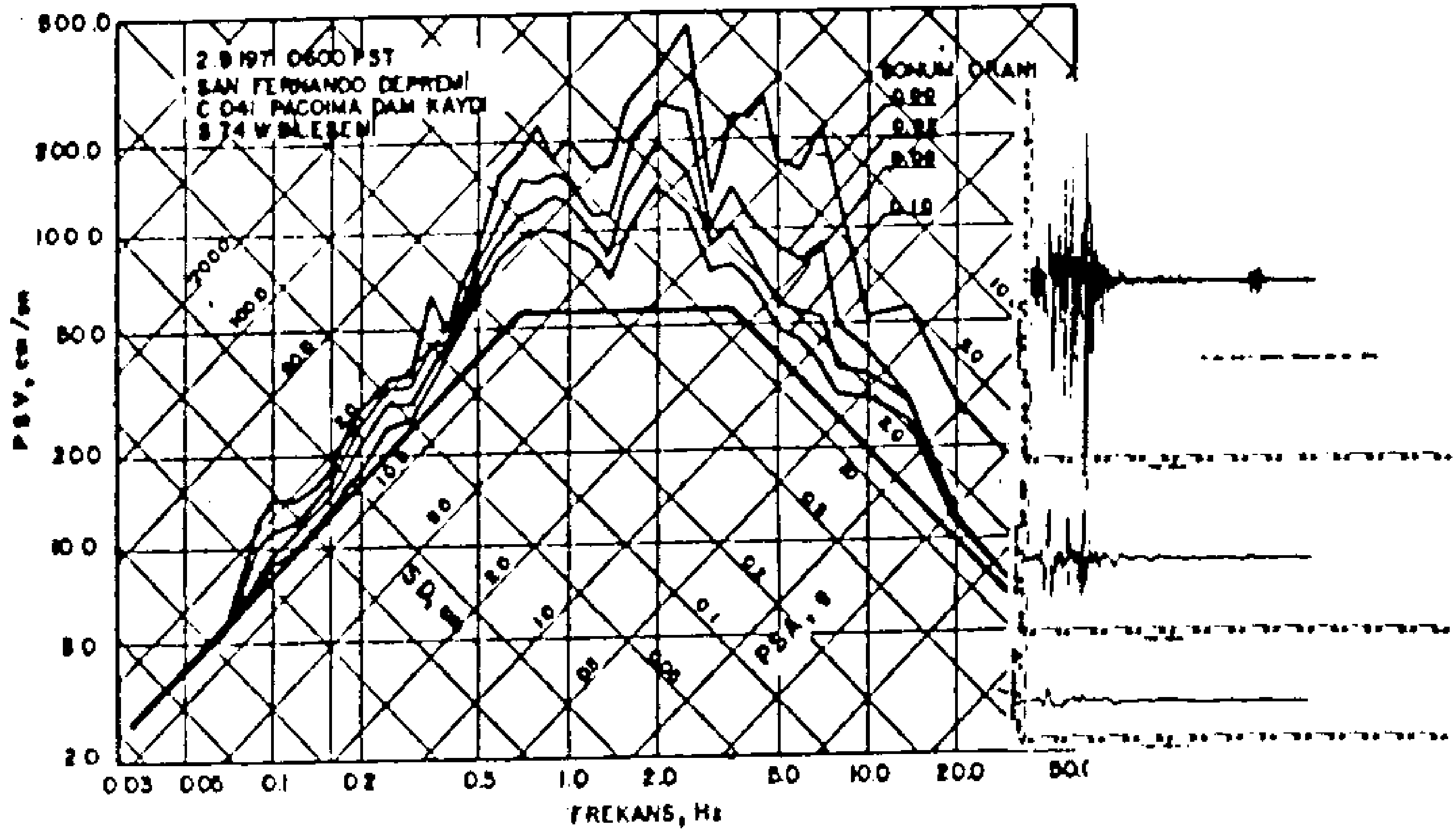
Modal bileşimlerin spektral karelerinin karekökü değerleri :

$$\{U\}_{KKK} = \left[\{U_1\}^2 + \{U_2\}^2 + \ldots\ldots\ldots + \{U_n\}^2\right]^{1/2}$$

$$\{U\} = \begin{Bmatrix} 4.4 \\ 7.5 \\ 8.8 \end{Bmatrix} \quad \{V\} = \begin{Bmatrix} 2724.8 \\ 2009.4 \\ 823.5 \end{Bmatrix} \quad \{MD\} = \begin{Bmatrix} 16225.7 \\ 8411.8 \\ 2463.7 \end{Bmatrix}$$

$$\{V\}_{KKK} = \left[\{V_1\}^2 + \{V_2\}^2 + \ldots\ldots\ldots + \{V_n\}^2\right]^{1/2}$$

$$\{MD\}_{KKK} = \left[\{MD_1\}^2 + \{MD_2\}^2 + \ldots\ldots\ldots + \{MD_n\}^2\right]^{1/2}$$



deprem davranış spektrumu

```
20    OPEN  "O",#1,"D.OUT"
21    REM********TEK SERBESTLIK DERECELI YAPI DINAMIGI PROBLEMI********
22    REM********ELASTIK YAPI SISTEMLERI ICIN COZUM*******************
23    REM********STEP BY STEP/ADIM ADIM INTEGRAL METODU***************
24    REM********K E M A L  B E Y E N****Y . U************************
25    DIM U(800),U1(800),U2(800),P(800),DELU(800),DELU1(800),DELU2(800),DELP(800)
,Z(20),X(20)
30    READ K,C,M,U(0),U1(0),DELT,TF,P(0)
40    FOR  I=1  TO 16
50    READ Z(I),X(I)
60    NEXT I
70    N=TF/DELT
80    A=0
100   I=1
110   T=T+DELT
120   IF T > Z(16)  THEN 230
130   IF T >= Z(I) AND  T <= Z(I+1)  THEN 160
140   I=I+1
150   GOTO  130
160   IF A=0  THEN  180
170   GOTO  220
180   FOR G=1 TO N
190   P(G)=((X(I+1)-X(I))/(Z(I+1)-Z(I)))*(T-Z(I))+X(I)
200   A=A+1
210   GOTO 110
220   NEXT G
230   U2(0)=(P(0)-C*U1(0)-K*U(0))/M
240   KS=K+3*C/DELT+6*M/DELT^2
250   FOR N=0 TO N
260   DELP(N)=P(N+1)-P(N)
270   DELPS=DELP(N)+(6*M/DELT+3*C)*U1(N)+(3*M+C*DELT/2)*U2(N)
280   DELU(N)=DELPS/KS
290   DELU1(N)=3*DELU(N)/DELT-3*U1(N)-U2(N)*DELT/2
300   DELU2(N)=6*DELU(N)/DELT^2-6*U1(N)/DELT-3*U2(N)
310   U(N+1)=U(N)+DELU(N)
320   U1(N+1)=U1(N)+DELU1(N)
330   U2(N+1)=U2(N)+DELU2(N)
340   NEXT N
350   PRINT #1,"    ZAMAN         KONUM            HIZ              IVME
360   PRINT #1,"    (sn)          (mm)           (mm/sn)          (mm/sn²)  "
370   PRINT #1,"  *********    **********    ************    **************"
380   FOR M=0  TO  N
390   L=M/10
400   PRINT #1,USING "      ##.##        ###.##         ###.##          ####.##
";L,U(M),U1(M),U2(M)
410   NEXT M
420   END
430   DATA  5.4833,0.2,0.013716,0.0,0.0,0.1,1.5,18
440   DATA 0.0,18
450   DATA  0.1,15
460   DATA  0.2,12
470   DATA  0.3,9.0
480   DATA  0.4,9.0
490   DATA  0.5,9.0
500   DATA  0.6,9.0
510   DATA  0.7,9.0
520   DATA  0.8,9.0
530   DATA  0.9,9.0
540   DATA  1.0,9.0
550   DATA  1.1,0
560   DATA  1.2,0
570   DATA  1.3,0
580   DATA  1.4,0
590   DATA  1.5,0
```

```
10    REM"***** TEK SERBESTLIK DERECELI YAPI DINAMIGI PROGRAMI ****************"
20    REM"***** ELASTIK OLMAYAN YAPI SISTEMLERI ICIN COZUM ********************"
30    REM"***** STEP BY STEP/ADIM ADIM INTEGRAL METODU ***********************"
40    REM"*********** K E M A L   B E Y E N ***** Y . U **********************"
50    OPEN "O",#1,"D2.OUT"
60    DIM U(800),U1(800),U2(800),P(800),DELU(800),DELU1(800),DELU2(800),DELP(800)
,Z(20),X(20),UI(800),FI(800),FS(800),DELPS(800)
70    READ K,C,M,U(0),U1(0),DELT,TF,P(0),FSMAK,UMAK
80    FOR  I=1  TO 16
90    READ Z(I),X(I)
100    NEXT I
110    R=TF/DELT
120    A=0
130    I=1
140   T=T+DELT
150   IF T > Z(16) THEN 260
160   IF T >= Z(I) AND  T <= Z(I+1)  THEN 190
170   I=I+1
180   GOTO  160
190   IF A=0  THEN  210
200   GOTO  250
210   FOR G=1 TO R
220   P(G)=((X(I+1)-X(I))/(Z(I+1)-Z(I)))*(T-Z(I))+X(I)
230   A=A+1
240   GOTO 140
250   NEXT G
260   U2(0)=(P(0)-C*U1(0)-K*U(0))/M
270   KS=K+3*(C/DELT)+(6*M)/DELT^2
280   Y=0: H=1 : L=0 :B=U(0)
290   FOR N=0 TO R
300   DELP(N)=P(N+1)-P(N)
310   DELPS(N)=DELP(N)+(6*M/DELT+3*C)*U1(N)+(3*M+C*DELT/2)*U2(N)
320   DELU(N)=DELPS(N)/KS
330   U(N+1)=U(N)+DELU(N)
340   IF U(N+1)>UMAK THEN GOTO 420
350   IF L > H THEN GOTO 420
360   DELU1(N)=3*DELU(N)/DELT-3*U1(N)-U2(N)*DELT/2
370   DELU2(N)=6*DELU(N)/DELT^2-6*U1(N)/DELT-3*U2(N)
380   U1(N+1)=U1(N)+DELU1(N)
390   U2(N+1)=U2(N)+DELU2(N)
400   H=H+1
410   GOTO 540
420   FOR J=0 TO N
430   IF B< U(J) THEN B=U(J)
440   NEXT J
450   UI(N+1)=U(N+1)-B+UMAK
460   FI(N+1)=K*UI(N+1)
470   IF FI(N+1)<FSMAK THEN FS(N+1)=FI(N+1) :KS=K+3*C/DELT+6*M/DELT^2:GOTO 500
480   FS(N+1)=FSMAK
490   KS=3*C/DELT+6*M/DELT^2
500   DELU1(N)=3*DELU(N)/DELT-3*U1(N)-U2(N)*DELT/2
510   U1(N+1)=U1(N)+DELU1(N)
520   U2(N+1)=(P(N+1)-FS(N+1)-C*U1(N+1))*1/M
530   Y=Y+1
540   L=H+Y
550   NEXT N
560   PRINT #1,"    ZAMAN        KONUM           HIZ                IVME
570   PRINT #1,"    (sn)         (mm)          (mm/sn)            (mm/sn²)   "
580   PRINT #1," ---------   ----------   ------------      --------------"
590   FOR M=0  TO  N
600   L=M*DELT
610   PRINT #1,USING "     ##.##        ###.##          ###.##             ####.##
";L,U(M),U1(M),U2(M)
```

```
620   NEXT M
630   CLOSE #1:END
640   DATA  5.4833,0.2,0.013716,0.0,0.0,0.1,1.5,18,10,1.8237
650   DATA 0.0,18
660   DATA  0.1,15
670   DATA  0.2,12
680   DATA  0.3,9
690   DATA  0.4,9
700   DATA  0.5,9
710   DATA  0.6,9
720   DATA  0.7,9
730   DATA  0.8,9
740   DATA  0.9,9
750   DATA  1.0,9
760   DATA  1.1,0
770   DATA  1.2,0
780   DATA  1.3,0
790   DATA  1.4,0
800   DATA  1.5,0
```

```
5 CLS:KEY OFF
10   OPEN "O",#1,"D2.OUT"
20 REM *****************YAPI DINAMIGI ANALIZI-SUPERPOZISYON METODU**************
30 REM ******************K E M A L  B E Y E N ***** Y.U **********************
40 PRINT "ND=SERBESTLIK DERECESI - MATRIS BOYUTU":INPUT ND
50 DIM K(10,10),M(10,10),FI(10,10),KD(10,10),KM(10),MA(10,10),TFI(10,10),U(10,10
),P(10,10),V(10,10)
60 DIM MD(10,10),UK(10,10),VK(10,10),MDK(10,10),UKT(10,1),VKT(10,1),MDKT(10,1),U
KTK(10,1)
70 DIM VKTK(10,1),MDKTK(10,1)
80 FOR I=1 TO ND
90 FOR J=1 TO ND
100 READ K(I,J)
110 NEXT J
120 NEXT I
130 FOR I=1 TO ND
140 FOR J=1 TO ND
150 READ M(I,J)
160 NEXT J
170 NEXT I
180 REM EIGEN/KAREKTERISTIK DEGER DENKLEMININ OLUSTURULMASI VE KAREKTERISTIK DEG
ER VE DENKLEMININ BULUNMASI
190 GOSUB 1560
200 PRINT "**********************************************************************"
210 PRINT "NORMALIZE EDILMIS OZ VEKTORLER MODAL MATRIS KOLON NORMUNDA"
220 FOR I=1 TO ND:FOR J=1 TO ND:PRINT  USING "###.######"; FI(I,J),:NEXT J:PRINT
 :PRINT :NEXT I:A$=INPUT $(1)
230 REM FI(Y,I)'LARIN TRANSPOZESININ ALINMASI
240 FOR I=1 TO ND
250 FOR Y=1 TO ND
260 TFI(I,Y)=FI(Y,I)
270 NEXT Y
280 NEXT I
290 REM GENELLESTIRILMIS KUTLE MATRISININ ELEMANLARININ HESABI
300 FOR L=1 TO ND
310 FOR I=1 TO ND
320 FOR Y=1 TO ND
330 MA(L,I)=MA(L,I)+TFI(L,Y)*M(Y,I)
340 NEXT Y
350 NEXT I
360 NEXT L
370 FOR I=1 TO ND
380 FOR Y=1 TO ND
390 KM(I)=KM(I)+MA(I,Y)*FI(Y,I)
400 NEXT Y
410 NEXT I:FOR I=1 TO ND:PRINT KM(I):NEXT I
420 PRINT "******** KUTLE MATRISI ********"
430 FOR I=1 TO ND
440 PRINT USING "###.####";KM(I),:NEXT I:PRINT:A$=INPUT $(1)
450 REM KATILIM FAKTORLERI q(I) HESABI
460 REM BIRIM VEKTOR OKUTMASI
470 FOR I=1 TO ND:FOR J=1 TO ND
480 BIRV(I,J)=1
490 NEXT J:NEXT I
500 FOR I=1 TO ND
510 FOR Y=1 TO ND
520 Q(I)=Q(I)+MA(I,Y)*BIRV(Y,I)
530 NEXT Y
540 NEXT I
550 FOR I=1 TO ND
560 Q(I)=Q(I)/KM(I)
570 NEXT I
```

```
580 PRINT "***********Q(I)KATILIM FAKTOR DEGERLERI***************"
590 FOR I=1 TO ND:PRINT USING "##.#####";Q(I),:NEXT I:A$=INPUT $(1)
600 PRINT "
610 PRINT "YALANCI DEPLASMAN PSD DEGERLERINI SONUM YUZDESINE GORE OKUT"
620 FOR I=1 TO ND:INPUT PSD(I) : NEXT I : CLS
630 REM GENELLESTIRILMIS KOORDINATLARIN SPEKTRAL DEGERLERININ BULUNMASI
640 FOR I=1 TO ND
650 Y(I)=(Q(I)/W(I))*PSD(I):PRINT Y(I)
660 NEXT I
670 PRINT "*********GENELLESTIRILMIS KOORDINATLARIN SPEKTRAL DEGERLERI*******"
680 FOR I=1 TO ND:PRINT USING "###.#####";Y(I),:NEXT I:A$=INPUT $(1)
690 PRINT
700 REM OTELEMELERIN SPEKTRAL DEGERLERI
710 FOR I=1 TO ND
720 FOR J=1 TO ND
730 U(J,I)=U(J,I)+FI(J,I)*Y(I)
740 NEXT J
750 NEXT I
760 PRINT "********* OTELEMELERIN SPEKTRAL DEGERLERI *********"
770 FOR I=1 TO ND:FOR J=1 TO ND
780 PRINT USING "####.######";U(I,J),
790 NEXT J:PRINT :PRINT :NEXT I:PRINT ":A$=INPUT $(1)
800 REM YANAL DEPREM KUVVETLERININ SPEKTRAL DEGERLERI
810 PRINT "KAT YUKSEKLIGI = H = ?":INPUT H : CLS
820 REM S MATRISININ TESKILI
830 FOR I=1 TO ND
840 FOR J=1 TO ND
850 IF J>I OR J=I THEN S(I,J)=1:GOTO 870
860 S(I,J)=0
870 NEXT J:NEXT I
880 PRINT "********* S(I,J) TRANSFER MATRISI *********"
890 FOR I=1 TO ND:FOR J=1 TO ND
900 PRINT USING "#";S(I,J),
910 NEXT J:PRINT :PRINT :NEXT I:A$=INPUT $(1):CLS
920 FOR I=1 TO ND
930 FOR Y=1 TO ND
940 FOR J=1 TO ND
950 P(Y,I)=P(Y,I)+M(Y,J)*U(J,I)*W(I)^2
960 NEXT J
970 NEXT Y
980 NEXT I
990 PRINT "********* YANAL DEPREM KUVVETLERININ SPEKTRAL DEGERLERI *********"
1000 FOR I=1 TO ND:FOR Y=1 TO ND
1010 PRINT USING "####.######";P(I,Y),:NEXT Y:PRINT :PRINT :NEXT I:A$=INPUT $(1)
1020 REM KAT KESME KUVVETLERININ SPEKTRAL DEGERLERI
1030 FOR I=1 TO ND
1040 FOR Y=1 TO ND
1050 FOR J=1 TO ND
1060 V(Y,I)=V(Y,I)+S(Y,J)*P(J,I)
1070 NEXT J
1080 NEXT Y
1090 NEXT I
1100 PRINT "********* KAT KESME KUVVETLERININ SPEKTRAL DEGERLERI *********"
1110 FOR I=1 TO ND:FOR J=1 TO ND
1120 PRINT USING "####.######";V(I,J),
1130 NEXT J:PRINT :PRINT :NEXT I:A$=INPUT $(1)
1140 PRINT "
1150 REM DEVIRME MOMENTLERININ HESABI
1160 FOR I=1 TO ND
1170 FOR Y=1 TO ND
1180 FOR J=1 TO ND
1190 MD(Y,I)=MD(Y,I)+S(Y,J)*V(J,I)*H
1200 NEXT J
1210 NEXT Y
1220 NEXT I
1230 PRINT "********* DEVIRME MOMENTLERININ SPEKTRAL DEGERLERI *********"
```

```
1240 FOR I=1 TO ND:FOR J=1 TO ND
1250 PRINT USING "#####.######";MD(I,J),
1260 NEXT J:PRINT :PRINT :NEXT I:A$=INPUT $(1):CLS
1270 REM MODAL BIRLESIMLERIN SPEKTRAL KARELERI TOPLAMININ KAREKOKU DEGERLERI
1280 FOR I=1 TO ND
1290 FOR J=1 TO ND
1300 UK(J,I)=U(J,I)~2
1310 VK(J,I)=V(J,I)~2
1320 MDK(J,I)=MD(J,I)~2
1330 NEXT J
1340 NEXT I
1350 FOR I=1 TO ND
1360 FOR J=1 TO ND
1370 UKT(I,1)=UKT(I,1)+UK(I,J)
1380 VKT(I,1)=VKT(I,1)+VK(I,J)
1390 MDKT(I,1)=MDKT(I,1)+MDK(I,J)
1400 NEXT J
1410 NEXT I
1420 FOR I=1 TO ND
1430 UKTK(I,1)=UKT(I,1)~.5
1440 VKTK(I,1)=VKT(I,1)~.5
1450 MDKTK(I,1)=MDKT(I,1)~.5
1460 NEXT I
1470 PRINT "OTELEME              KAT KESME KUVVET        DEVIRME MOMENT        "
1480 PRINT "DEGERLERI            DEGERLERI               DEGERLERI             "
1490 PRINT "(CM)                 (KN.CM/SN~2)            (KN.CM~2/SN~2)        "
1500 PRINT "==========           ================        ===============       "
1510 PRINT "                                                                   "
1520 FOR I=1 TO ND
1530 PRINT USING "######.####       #####.######          #####.######    ";UKTK
(I,1),VKTK(I,1),MDKTK(I,1)
1540 NEXT I
1550 END
1560 '*********************************************************************
1570 '
1580 '  BU  PROGRAM GENELLESTIRILMIS EIGEN PROBLEMINI COZMEKTEDIR  [A-B*W**2][Y]
=[0]
1590 '
1600 '  DEGISKENLERIN ATANMASI
1610 '         ND = MATRIS BOYUTLARI
1620 '     A(I,J) = RIJITLIK MATRISI
1630 '     B(I,J) = KUTLE MATRISI
1640 '
1650 '  CIKIS SONUCLARI
1660 '
1670 '    EIGV(I) = ND EIGENDEGERLERI
1680 '     X(I,J) = ND EIGENVEKTORLERI X(I,J)'LER OLARAK KOLON NORMUNDA
1690 '
1700 '
1710 '          *RIJITLIK VE KUTLE MATRISLERININ TESKILI*
1720 '
1730 DIM X(30,30),EIGV(30),A(30,30),B(30,30),D(30),CM(30),JC(30)
1740 REM BU ALTPROGRAMDA A MATRISINE K RIJITLIK MATRISI DATASINI ATAMA
1750 FOR I=1 TO ND
1760 FOR J=1 TO ND
1770 A(I,J)=K(I,J)
1780 NEXT J
1790 NEXT I
1800 REM BU ALTPROGRAMDA B MATRISINE M KUTLE MATRISI DATASINI ATAMA
1810 FOR I=1 TO ND
1820 FOR J=1 TO ND
1830 B(I,J)=M(I,J)
1840 NEXT J
1850 NEXT I
1860 CLS
1870 PRINT:PRINT "        **DOGAL FREKANSLARIN HESABI**    --LUTFEN BEKLEYINIZ--
1880 '
```

```
1890 '
1900 C$="###########.####      "
1910 NMAX=15
1920 RTCL=1E-12
1930 FOR I=1 TO ND
1940 'IF A(I,I)>0 AND B(I,I)>0 THEN GOTO 2430
1950 'PRINT "HATA MATRIS DEGERLERI POZITIF DEGIL" :STOP
1960 D(I)=A(I,I)/B(I,I)
1970 EIGV(I)=D(I)
1980 NEXT I
1990 FOR I=1 TO ND
2000 FOR J=1 TO ND
2010 X(I,J)=0
2020 NEXT J
2030 X(I,I)=1
2040 NEXT I
2050 NSWEEP=0
2060 NR=ND-1
2070 '
2080 '          *DERLEME VE ITERASYON*
2090 '
2100 NSWEEP=NSWEEP+1
2110 EPS=(.01^NSWEEP)^2
2120 FOR J=1 TO NR
2130 JJ=J+1
2140 FOR K=JJ TO ND
2150 AEPTL=(A(J,K)*A(J,K))/(A(J,J)*A(K,K))
2160 BEPTL=(B(J,K)*B(J,K))/(B(J,J)*B(K,K))
2170 IF AEPTL<EPS AND BEPTL<EPS THEN GOTO  2940
2180 AKK=A(K,K)*B(J,K)-B(K,K)*A(J,K)
2190 AJJ=A(J,J)*B(J,K)-B(J,J)*A(J,K)
2200 AB=A(J,J)*B(K,K)-A(K,K)*B(J,J)
2210 CHECK=(AB*AB+4*AKK*AJJ)/4
2220 IF CHECK>=0 THEN GOTO 2240
2230 PRINT "HATA MATRIS DEGERLERI POZITIF DEGIL":STOP
2240 SQCH=SQR(CHECK)
2250 D1=AB/2+SQCH
2260 D2=AB/2-SQCH
2270 DEN=D1
2280 IF ABS(D2)>ABS(D1) THEN  DEN=D2
2290 IF DEN<>0 THEN GOTO 2330
2300 CA=0
2310 CG=-A(J,K)/A(K,K)
2320 GOTO 2380
2330 CA=AKK/DEN
2340 CG=-AJJ/DEN
2350 '
2360 '   *GENELLESTIRILMIS ROTASYON-DIYAGONAL ELEMANLAR*
2370 '
2380 IF (ND-2)=0 THEN GOTO 2770
2390 JP1=J+1
2400 JM1=J-1
2410 KP1=K+1
2420 KM1=K-1
2430 IF (JM1-1)<0 THEN GOTO 2550
2440 FOR I=1 TO JM1
2450 AJ=A(I,J)
2460 BJ=B(I,J)
2470 AK=A(I,K)
2480 BK=B(I,K)
2490 A(I,J)=AJ+CG*AK
2500 B(I,J)=BJ+CG*BK
2510 A(I,K)=AK+CA*AJ
2520 IF IT=2 THEN STOP
2530 B(I,K)=BK+CA*BJ
2540 NEXT I
```

```
2550 IF (KP1-ND)>0 THEN GOTO 2660
2560 FOR I=KP1 TO ND
2570 AJ=A(J,I)
2580 BJ=B(J,I)
2590 AK=A(K,I)
2600 BK=B(K,I)
2610 A(J,I)=AJ+CG*AK
2620 B(J,I)=BJ+CG*BK
2630 A(K,I)=AK+CA*AJ
2640 B(K,I)=BK+CA*BJ
2650 NEXT I
2660 IF (JP1-KM1)>0 THEN GOTO 2770
2670 FOR I=JP1 TO KM1
2680 AJ=A(J,I)
2690 BJ=B(J,I)
2700 AK=A(I,K)
2710 BK=B(I,K)
2720 A(J,I)=AJ+CG*AK
2730 B(J,I)=BJ+CG*BK
2740 A(I,K)=AK+CA*AJ
2750 B(I,K)=BK+CA*BJ
2760 NEXT I
2770 AK=A(K,K)
2780 BK=B(K,K)
2790 A(K,K)=AK+2*CA*A(J,K)+CA*CA*A(J,J)
2800 B(K,K)=BK+2*CA*B(J,K)+CA*CA*B(J,J)
2810 A(J,J)=A(J,J)+2*CG*A(J,K)+CG*CG*AK
2820 B(J,J)=B(J,J)+2*CG*B(J,K)+CG*CG*BK
2830 A(J,K)=0
2840 B(J,K)=0
2850 '
2860 '    *HER ROTASYONDAN SONRAKI EIGEN/OZVEKTORU   *
2870 '
2880 FOR I=1 TO ND
2890 XJ=X(I,J)
2900 XK=X(I,K)
2910 X(I,J)=XJ+CG*XK
2920 X(I,K)=XK+CA*XJ
2930 NEXT I
2940 NEXT K
2950 NEXT J
2960 '
2970 '       *HERDERLEMEDEN SONRAKI EIGEN/OZ DEGERLERI*
2980 FOR I=1 TO ND
2990 'IF A(I,I)>0 AND B(I,I)>0 THEN GOTO  3480
3000 'PRINT "HATA MATRIS DEGERLERI ZAYIF": STOP
3010 EIGV(I)=A(I,I)/B(I,I)
3020 NEXT I
3030 FOR I=1 TO ND
3040 TLO= RTCL*D(I)
3050 DFI=ABS(EIGV(I)-D(I))
3060 IF DFI>TLO THEN GOTO 3910
3070 NEXT I
3080 '
3090 '    *KONTROL-DIYAGONAL ELEMANLAR VE ISTENIYORSA TEKRAR DERLEME*
3100 '
3110 EPS=RTCL^2
3120 FOR J=1 TO NR
3130 JJ=J+1
3140 FOR K=JJ TO ND
3150 AEPS=(A(J,K)*A(J,K))/(A(J,J)*A(K,K))
3160 BEPS=(B(J,K)*B(J,K))/(B(J,J)*B(K,K))
3170 IF AEPS<EPS AND BEPS<EPS THEN GOTO 3190
3180 GOTO 3910
3190 NEXT K
3200 NEXT J
3210 '
```

```
3220 '                  *EIGENVEKTOR DIZIMI TESKILI*
3230 '
3240 FOR I=1 TO ND
3250 FOR J=1 TO ND
3260 A(J,I)=A(I,J)
3270 B(J,I)=B(I,J)
3280 NEXT J
3290 NEXT I
3300 FOR J=1 TO ND
3310 BB=SQR(B(J,J))
3320 FOR K=1 TO ND
3330 X(K,J)=X(K,J)/BB
3340 NEXT K
3350 NEXT J
3360 '
3370 '         *MATRIS USTDEGERI VE YENIDEN DERLEME*
3380 FOR I=1 TO ND
3390 D(I)=EIGV(I)
3400 NEXT I
3410 KX=0
3420 FOR J=1 TO ND
3430 SMALL=1E+20
3440 FOR I=1 TO ND
3450 IF D(I)>SMALL THEN GOTO 3480
3460 KKK=I
3470 SMALL=D(I)
3480 NEXT I
3490 KX=KX+1
3500 JC(KX)=KKK
3510 EIGV(J)=D(KKK)
3520 D(KKK)=1E+20
3530 NEXT J
3540 FOR I=1 TO ND
3550 II=JC(I)
3560 CM(II)=I
3570 NEXT I
3580 FOR J=1 TO ND
3590 FOR JT=1 TO ND
3600 JJ=JC(J)
3610 VV=X(JT,J)
3620 X(JT,J)=X(JT,JJ)
3630 X(JT,JJ)=VV
3640 NEXT JT
3650 KJ=CM(J)
3660 JC(KJ)=JJ
3670 CM(JJ)=CM(J)
3680 NEXT J
3690 '
3700 '                  *CIKIS DEGERLERI*
3710 '
3720 IF NSX=8 THEN 3950
3730 PRINT: PRINT " ******EIGENDEGERLERI****** ":PRINT
3740 FOR IL=1 TO ND
3750 PRINT USING "  .######^^^^   " ; EIGV(IL),
3760 NEXT IL
3770 PRINT:PRINT:PRINT"      DOGAL FREKANSLAR (C.P.S.):"   :PRINT
3780 FOR IL=1 TO ND
3790 IF EIGV(IL)=<0 THEN FRQ(IL)=0 ELSE FRQ(IL)=SQR(EIGV(IL))/6.283185
3800 PRINT USING "  .######^^^^   " ; FRQ(IL),
3810 NEXT IL
3820 PRINT
3830 PRINT:PRINT "EIGEN/OZ VEKTORLERI MODAL MATRIS KOLON NORMUNDA":PRINT
3840 FOR LI=1 TO ND
3850 FOR LJ=1 TO ND
```

```
60 PRINT USING "##.#####"; X(LI,LJ),
70 NEXT LJ
80 PRINT:PRINT
90 NEXT LI
00 GOTO 3950
10 FOR I=1 TO ND
20 D(I)=EIGV(I)
30 NEXT I
40 IF NSWEEP<NMAX THEN GOTO 2100 ELSE GOTO 3240
50 IF NSX=8 OR NIM=11 THEN PRINT "SPM"
60 PRINT :PRINT :PRINT "     DEVAM ETMEK ICIN HERHANGI BIR TUSA BASINI
70 A$=INKEY$ :IF A$="" THEN 3970
80 IF NIM=10 THEN PRINT "SPM"
90 PRINT :PRINT :PRINT " ANA PROGRAMA DONMEK ICIN HERHANGI BIR TUSA B
00 A$=INKEY$ :IF A$="" THEN 4000
05 PRINT "KOK ICINDE KM DEGERINI VER";INPUT KKM:CLS
10 FOR I=1 TO ND
20 FOR J=1 TO ND
40 FI(I,J)=X(I,J):F(I)=FRQ(I):W(I)=SQR (EIGV(I))*KKM
50 NEXT J
60 NEXT I
70 REM NORMALIZE ISLEMI
80 FOR I=1 TO ND
90 BU(I)=0:NEXT I
00 FOR I=1 TO ND
10 FOR J=1 TO ND
20 IF ABS(FI(J,I))>BU(I) THEN BU(I)=ABS (FI(J,I)):GOTO 4130
30 NEXT J:NEXT I
40 FOR I=1 TO ND:FOR J=1 TO ND:FI(J,I)=FI(J,I)/BU(I)
50 NEXT J:NEXT I
60 RETURN
70 REM K RIJITLIK MATRISI DATASI
80 DATA 2,-1,0,-1,2,-1,0,-1,1
90 REM M RIJITLIK MATRISI DATASI
00 DATA 1,0,0,0,1,0,0,0,0.5
```

TEK SERBESTLIK DERECELİ YAPI DİNAMİĞİ PROBLEMİ

ELASTİK YAPI SİSTEMİ BİLGİSAYAR PROGRAMI

SONUÇ ÇIKIŞLARI

A:\>TYPE D.OUT

ZAMAN (sn)	KONUM (mm)	HIZ (mm/sn)	IVME (mm/sn²)
0.00	0.00	0.00	1312.34
0.10	3.25	31.97	-672.95
0.20	3.66	-18.01	-326.60
0.30	1.36	-16.64	353.99
0.40	1.08	7.10	120.80
0.50	1.91	4.54	-172.05
0.60	1.79	-4.04	0.51
0.70	1.50	-0.65	67.17
0.80	1.62	1.76	-18.85
0.90	1.70	-0.23	-21.05
1.00	1.63	-0.62	13.22
1.10	1.16	-13.43	-269.37
1.20	-0.50	-9.72	343.56
1.30	-0.32	7.96	9.99
1.40	0.29	1.59	-137.20
1.50	0.04	-3.56	34.19
1.60	-0.12	0.36	44.19

A:\>KEMAL BEYEN

ELASTİK OLMAYAN YAPI SİSTEMİ BİLGİSAYAR PROGRAMI

SONUÇ ÇIKIŞLARI

A:\>TYPE D2.OUT

ZAMAN (sn)	KONUM (mm)	HIZ (mm/sn)	IVME (mm/sn²)
0.00	0.00	0.00	1312.34
0.10	3.25	31.97	-101.62
0.20	5.87	19.77	-142.42
0.30	7.13	5.21	-148.81
0.40	7.11	-3.40	-17.57
0.50	6.82	-1.05	64.55
0.60	6.91	1.62	-11.05
0.70	7.00	-0.04	-22.19
0.80	6.94	-0.62	10.48
0.90	6.92	0.19	5.77
1.00	6.95	0.19	-5.70
1.10	6.50	-13.82	-274.61
1.20	4.78	-9.93	352.42
1.30	4.98	8.17	9.58
1.40	5.60	1.62	-140.55
1.50	5.35	-3.64	35.28
1.60	5.18	0.38	45.19

A:\>

SÜPERPOZİSYON METODU İLE ÇOKSERBEST DERECELİ BİR SİSTEMİN BİLGİSAYAR PROGRAMI SONUÇ ÇIKIŞLARI

```
******EIGENDEGERLERI******

 .267949E+00      .200000E+01      .373205E+01

     DOGAL FREKANSLAR (C.P.S.):

 .823847E-01      .225079E+00      .307464E+00

EIGEN/OZ VEKTORLERI MODAL MATRIS KOLON NORMUNDA

 0.40825-0.81650 0.40825

 0.70711 0.00000-0.70711

 0.81650 0.81650 0.81650


    DEVAM ETMEK ICIN HERHANGI BIR TUSA BASINIZ

*****************************************************************
NORMALIZE EDILMIS OZ VEKTORLER MODAL MATRIS KOLON NORMUNDA
  0.500000 -1.000000  0.500000

  0.866025  0.000000 -0.866026

  1.000000  1.000000  1.000000

******** KUTLE MATRISI ********
   1.5000   1.5000   1.5000
***********Q(I)KATILIM FAKTOR DEGERLERI***************
 1.24402-0.33333 0.08932
YALANCI DEPLASMAN PSD DEGERLERINI SONUM YUZDESINE GORE OKUT
? 90
? 65
? 40

********GENELLESTIRILMIS KOORDINATLARIN SPEKTRAL DEGERLERI***
  8.67289 -0.61433  0.07415
******** OTELEMELERIN SPEKTRAL DEGERLERI ********
   4.336442   0.614325   0.037077

   7.510938  -0.000000  -0.064220

   8.672885  -0.614325   0.074155


KAT YUKSEKLIGI = H = ?
? 3
```

******** YANAL DEPREM KUVVETLERININ SPEKTRAL DEGERLERI ******
722.676700 764.163300 86.062400

1251.713000 -0.000030-149.064500

722.676800-382.081600 86.062410

******** KAT KESME KUVVETLERININ SPEKTRAL DEGERLERI ********
2697.066000 382.081700 23.060330

1974.390000-382.081600 -63.002080

722.676800-382.081600 86.062410

******** DEVIRME MOMENTLERININ SPEKTRAL DEGERLERI ********
16182.400000-1146.245000 138.362000

8091.199000-2292.490000 69.181000

2168.030000-1146.245000 258.187200

OTELEME DEGERLERI (CM)	KAT KESME KUVVET DEGERLERI (KN.CM/SN^2)	DEVIRME MOMENT DEGERLERI (KN.CM^2/SN^2)
4.3799	2724.093000	16223.530000
7.5112	2012.006000	8409.979000
8.6949	821.981700	2465.944000

Ok

K E M A L   B E Y E N

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Cisimlerin karateristik özellikleriyle tabiatın denge kanunları çerçevesinde cisimlerin davranışını inceleyen dinamike ilk bölümlerinde çok özel veya bizim tanımlayabilğimiz yük-kuvvet tipleri ile ilgili açıklamaların arkasından çözülen yükleme tipi çok genelleştrilmiş özel amaçlı yükleme modeli olup bunu pratikte bir çarpma olayı ile paralellik kurdurabiliriz. Problemdeki incelememizde iterasyon metotlarından sabit doğrusal ivmeli çözümün yanısıra adım adım integral metoduyla bir el çözümü tablosu teşkil edilerek elastik ve elastik olmayan kabüllere göre çözümler verilmişdir. Burada dikkat edilecek husus yapının plastik çözümde deplasmanları alarak rijiditesini düşürüp, yay kuvvetini sabit tutarak, bir enerji emmesine girişip, duktulite limitine kadar bu davranışını sürdürmektedir. Sonra bir geri dönüş ile elastik eğime paralel bir doğru boyunca azalarak eksi yay kuvvetine ulaştığı gözlenebilir. Elastik deplasman noktasına geçişte oluşan plastik mafsalın yapıda bir plastikleşme tesiri bıraktığı malümdür.

Üçüncü örnekte ele alınan çok katlı yapı-çokserbest dereceli sistem çözümünde el hesaplamasına kolaylık teşkil etmesi için üç serbest dereceli, üç katlı yapı çözümü uygulanmışdır. Süperpozisyon metoduyla bir sistemin çözümünde karşılaşılan en büyük sorun oluşan Eigen/Öz denklem takımının bir simultane lineer denklem takımı olup bunun çözümünün bir takım güçlükler içermesidir. Çok serbest dereceli bir sistemde herhangi bir kuvvet veya idealize edilmiş bir tesir kuvvetini uygulamak yerine doğal kuvvetlere müracaat edilmiştir. Yapının maruz kalabileceği depremlerin karekter ve şiddetini evvelden belirtme imkan - sızlığı yanında, son örnekde kullanıldığı gibi hesap bölgesinde, kayda geçmiş olan veya yakın civar noktalarda oluşmuş olan depremin karekteristik özelliklerini içeren spektral değerler ile bir hesaplamaya gidilmiştir. Böylece bu çalışma ile deprem hesapları ile öngörülen çok genelleştirilmiş ve amprikleşmiş şartlar yerine deprem tesiri altındaki yapılarda daha gerçek bir yaklaşıma işaret edil - miştir.

Yapılan bilgisayar programı ile ortaya çıkan Eigen/Öz degerler probleminin on serbestlik dereceye kadar çözümünün süperpozisyon metodu uygulayarak mümkün kılmaktadır.

ÖZGEÇMİŞ

1960 İSTANBUL doğumluyum. Liseyi, İSTANBUL Taksim Atatürk Erkek Lisesinde okudum.

Lisans öğrenimime, 1980-1981 öğretim yılında İSTANBUL Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi İnşaat bölümünde başladım. Mezuniyetimden sonra bir inşaat firmasında çalışmalarımı sürdürürken Fen Bilimleri Enstitüsünün açmış olduğu sınav ile İnşaat/Yapı dalında eğitim almaya başladım. Bunun paralelinde yurt dışında bazı çalışmalar yaptım.

Halen bir şantiyede bilgisayar destekli araştırma gurubu ile çalışıyorum.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

1) CELASUN, H. : "Betonarme Yapılar" I.D.M.M.A./Y.Ü. Yayınları, 1980

2) ERDİK, Mustafa/YÜZÜGÜLLÜ, Özal : "Deprem Mühendisliği Açısından Yapı Dinamiğine Giriş" T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı" 1980

3) GÜNDÜZ, Altay : "Yapı Dinamiği Ders Notları"

4) CLOUGH, W, Ray/PENZİEN Joseph : "Dynamics of Structures" Mc Graw-Hıll Inc, 1975

5) BİGGS, J ,M. : "Introduction to structural Dynamıcs" Mc Graw-Hıll Inc. 1964

6) DEMİR Halit : "Yapı Dinamiği Ders Notları"

7) ÇAKIROĞLU, A./ ÖZDEN, E. / ÖZMEN, G.: "Yapı Sistemlerinin Hesabı için Matris Metodları ve Elektronik Hesap Makinası Programları. Cild I,II" Dizerkonca Matbası, 1970

8) NEWMARK, N.M. / E.Rosenblueth : "Fundamentals of Earthquake Engineering" Prentice Hall Inc. 1971

9) THOMPSON, W.T. : "Theory of Vibration" Prentiec-Hall 1972