

39573

39573

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA ANABİLİM DALI**

**BETON BORULARIN DARBE VURUŞ TESTİ İLE  
TAHRİBATSIZ MUAYENESİNİN SONLU ELEMANLAR  
YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Tez No: MAK.YL.002

Tezi Hazırlayan

**Hakan ARSLAN**

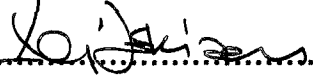
Tez Yöneticisi

**Prof.Dr.Hira KARAGÜLLE**

**KIRIKKALE-1996**

~~Bu Çalışma, Jürimiz tarafından Makina Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.~~

..25..107..1996

Başkan : Prof.Dr.Ali ERİŞEN.....

Üye : Prof.Dr.Hira KARAGÜLLE.....

Üye : Yard.Doç.Dr.Nuri ASLAN.....

ONAY

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

25.1.07.1996

Fen Bil. Enst. Müdürü

  
Prof. Dr. Ali ERİŞEN

## İÇİNDEKİLER

### SAYFA

ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
TABLoların Listesi.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix

### BÖLÜM 1

GİRİŞ.....	1
------------	---

### BÖLÜM 2

DARBE VURUŞ TESTİNİN MEKANİĞİ.....	2
------------------------------------	---

### BÖLÜM 3

BETON BORUDA DARBE VURUŞ TESTİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ.....	4
1. Sonlu Elemanlar Metodu.....	4
2. Vuruş Noktası Direngenlikleri.....	5

### BÖLÜM 4

BORULARIN ANİ DARBEYE VERDİĞİ CEVABIN İNCELENMESİ.....	7
1. Sağlam Borunun Cevabının İncelenmesi.....	7
2. Boşluklu ve Malzeme Kusurlu Borunun Cevabının İncelenmesi.....	10

SONUÇ.....	14
------------	----

KAYNAKLAR.....	15
----------------	----

EK A.....	16
-----------	----

## ÖZET

Bu çalışmada beton boruların darbe vuruş tekniği ile tahribatsız kalite kontrolünün mekaniği sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Bu amaçla önce basit tek serbestlik dereceli model ele alınmış ve vuruşta temas katılığı azaldıkça yapıya iletilen darbe kuvvetinin yüksek frekanslı bileşenlerinin azaldığı görülmüştür. Değişik ebat ve malzeme özelliklerine sahip borular ele alınmıştır. Darbe noktasında bulunan statik yük altındaki statik yerdeğiştirme sonlu elemanlar programı ile hesaplanmış ve temas katılığı, kuvvetin yerdeğiştirmeye oranından bulunmuştur. Tek serbestlik dereceli modelden darbenin kuvvet-zaman ilişkisi bulunmuştur. Borularda üretim esnasında oluşabilecek boşluk ve malzeme hatasının darbe cevabına etkisi incelenmiştir. Boruların değişik noktalarında inceleme yapılarak ivmenin zamana göre değişimi sonlu elemanlar programı ile hesaplanmış ve sonuçlar bir Fourier transformasyon algoritması kullanılarak frekans domain'inde incelenmiştir. R boyutsuz büyüklüğü, ivmelerin genlik spektrumlarında 8-15 kHz frekans bandındaki alanın 0-15 kHz bandındaki alana oranı olarak ele alınmıştır. Bağlı genlik seviyesi R 'nin değeri boşluğun derinliği arttıkça artmakta ve sağlam borunun R değerine yaklaşmaktadır. Bu yüzden yüzeye daha yakın ve büyük boyuttaki boşlukların tespit edilmesi daha kolay olmaktadır. Çalışma beton boruların sonlu elemanlar yöntemiyle analizi yoluyla tahribatsız muayenesinin yapılabileceğini göstermiştir.

## ABSTRACT

In this study, the non-destructive testing of concrete pipes is analysed by using the Coin-Tap technique by finite element method. To reach this aim a simple one degree of freedom model is considered at first and it is observed that, the high frequency components of impact force is transmitted to the structure decrease as the contact stiffness characteristics decreases. Pipes having different dimensions and material properties are considered in this study.

The static displacement under the static load which is at the point of impact is calculated by the finite element program and the contact stiffness is found from the force over to displacement ratio. From the one degree of freedom model the force versus time relationship of the impact is determined. The effect of possible cavity formation in the pipe structure during the production and material defects on the impact response is analysed. On the arbitrary points of pipes, analysis are performed and the change of acceleration with respect to time is determined by the finite element program. The results are analysed in the frequency domain by using a Fourier transformation algorithm. The nondimensional ratio  $R$  is considered as the ratio of the area under the 8-15 kHz frequency band to the area under the 0-15 kHz frequency band in the amplitude of spectrums of accelerations. As the cavity deepens, the relative amplitude level  $R$  increases and closes to the value of a perfect pipe. So it's easier to discover the cavities of larger dimension and closer to the pipe surface. This study shows that, it's possible to perform the non-destructive testing of concrete pipes by using finite element method.

## TEŞEKKÜR

**Çalıőmam süresince benden destek ve yardımlarını esirgemeyen bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocalarım Prof. Dr. Hira KARAGÜLLE ve Yrd. Doç. Dr. Ahmet Nasuhi BERÇİN'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarımnda yardımlarına başvurduğum Yrd. Doç. Dr. Nuri ASLAN'a bana gösterdiği ilgiden dolayı teşekkür ederim.**

**TABLULARIN LİSTESİ****SAYFA****TABLO**

<b>Tablo 1. Çap boyutu <math>d=5\text{mm}</math> ve farklı derinliklerde olan boşluklu borularda farklı alıcı noktaları için R değerleri.....</b>	<b>12</b>
<b>Tablo 2. Farklı boşluk boyutları ve derinlikleri olan boşluklu borularda <math>H=10\text{mm}</math> olan alıcı düğüm noktası için R değerleri.....</b>	<b>12</b>
<b>Tablo 3. <math>H=40\text{mm}</math> olan alıcı düğüm noktasında <math>d=10\text{mm}</math> olan boşluklu borularda farklı vuruş noktası uzaklığı <math>r</math> için R değerleri.....</b>	<b>13</b>
<b>Tablo 2. Farklı boyutta ve derinlikte malzeme kusuru olan borularda <math>H=20\text{mm}</math> olan alıcı düğüm noktası için R değerleri.....</b>	<b>13</b>

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

SAYFA

### ŞEKİL

Şekil 2.1 Vuruş testinde sisteme iletilen kuvvetin zamana bağlı davranışının incelenmesi için kullanılan model.....	2
Şekil 2.2 Kullanılan modelde a) külenin hızının, b) yayın yerdeğiştirmesinin, c) sisteme iletilen kuvvetin zamana bağlı davranışı.....	2
Şekil 2.3 Sağlam ve boşluklu beton borular için zemine iletilen kuvvetin a) zamana bağlı davranışı ve b) spektrumları.....	3
Şekil 2.4 Genlik spektrumunda yüksek frekans bölgesindeki bağıl genlik seviyesinin hesaplanmasında kullanılan alanlar.....	3
Şekil 3.1.1 a) 400 katı elemanla modellenen sağlam beton boru ve b) 600 katı elemanla modellenen disk şeklinde boşluklu beton boru.....	4
Şekil 3.1.2 d çapında ve h derinliğinde disk şekilli boşluklu borunun kesiti ve kullanılan parametreler.....	5
Şekil 3.2.1 Boşluklu ve boşluksuz borularda vuruş noktasına uygulanan statik kuvvetle uzama arasındaki ilişki.....	6
Şekil 3.2.2 Aynı çapta ve farklı derinlikte boşluğu bulunan borularda vuruş noktası uzaklığı ile direngenliğin değişimi.....	6
Şekil 4.1.1 Sağlam boruda $r=10\text{mm}$ için $H=20\text{mm}$ , $30\text{mm}$ , $40\text{mm}$ olan nodların çıktı sinyalleri.....	8
Şekil 4.1.2 Sağlam boruda $r=10\text{mm}$ için $H=20\text{mm}$ , $30\text{mm}$ , $40\text{mm}$ olan nodların ivme spektrumları.....	8
Şekil 4.1.3 Sağlam boruda $r=0\text{mm}$ için $H=10\text{mm}$ , $20\text{mm}$ olan nodların çıktı sinyalleri.....	9
Şekil 4.1.4 Sağlam boruda $r=0\text{mm}$ için $H=10\text{mm}$ , $20\text{mm}$ olan nodların ivme spektrumları.....	9
Şekil 4.2.1 $d=10\text{mm}$ ve $h=10\text{mm}$ olan boşluklu boruda $r=0\text{mm}$ için $H=10\text{mm}$ , $20\text{mm}$ olan alıcı düğüm noktalarının çıktı sinyalleri.....	10



<b>Şekil 4.2.2</b> $d=10\text{mm}$ ve $h=10\text{mm}$ olan boşluklu boruda $r=0\text{mm}$ için $H=10\text{mm}$ , $20\text{mm}$ olan alıcı düğüm noktalarının ivme spektrumları.....	<b>11</b>
<b>Şekil 4.2.3</b> $l=5\text{mm}$ ve $h=10\text{mm}$ olan malzeme kusurlu boruda $r=0\text{mm}$ için $H=10\text{mm}$ , $20\text{mm}$ olan alıcı düğüm noktalarının çıktı sinyalleri.....	<b>11</b>
<b>Şekil 4.2.4</b> $l=5\text{mm}$ ve $h=10\text{mm}$ olan malzeme kusurlu boruda $r=0\text{mm}$ için $H=10\text{mm}$ , $20\text{mm}$ olan alıcı düğüm noktalarının ivme spektrumları.....	<b>12</b>



## GİRİŞ

Darbe Vuruş testinde katı eleman küçük enerjiye sahip darbeye uyarılır. Darbe sonrası katı elemanın titreşimi veya yayılan ses analiz edilir. Bu yöntemle kalite kontrolü, eskiden beri bilinen ve uygulanan bir yöntemdir. Metallerin işlenmesinde metalin değişik noktalarına çekiçle vurularak, çekiğin çıkardığı seslerin dinlenip değerlendirilmesi teknolojinin henüz gelişmediği yıllarda uygulanmıştır. Yöntem ultrasonik ve akustik yollarla kompozit malzemelerde, sfero döküm parçalarda ve beton yapılarda uygulanmıştır [1].

İnce ve esnek yapılarda kusura karşı duyarlılık Mekanik Empedans metoduna göre daha fazladır Bu yöntemin en önemli sakıncası, sadece vuruş yapılan bölgedeki kusurlar tespit edilebilir. Wheel-Tap testinde ise tüm parça için bir noktadan vuruş tatbik edilir. Bulunan doğal frekans ve sönümler sağlam parçanın ki ile karşılaştırılarak kusurlar tespit edilebilir [7]. Darbe Vuruş testinin Ultrasonik metoda göre en önemli avantajı, test çekiçi ile parça yüzeyi arasına bağlayıcı sürmenin gerekmemesidir.

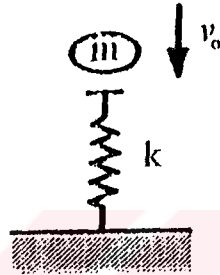
Sonlu Elemanlar yöntemi baz alınarak geliştirilen sonlu eleman programları Darbe Vuruş testinin bilgisayarda uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Katı elemanın ani darbeye verdiği cevabı değişik noktalar için incelenebilmektedir. Bu incelemeler, cevabın alınacağı noktanın önemi ve katı elemanın kusurlu olup olmadığına karar verme konusunda fikir verebilir.

Bu tezde darbe vuruş testinin mekaniği bir sonlu elemanlar programı (ANSYS5.0a) yardımıyla,  $E=33.2\text{MPa}$ ,  $\nu=0.15$ ,  $\rho=2300\text{kg/m}^3$  malzeme özelliklerine sahip boşluklu ve boşluksuz beton borular ve  $E=20\text{MPa}$ ,  $\nu=0.15$ ,  $\rho=2000\text{kg/m}^3$  olan malzeme kusuru bulunan borular için incelenmiştir.

Borunun modellenmesinde kusurlar borunun tam ortasına yerleştirilmiştir. Modellemede kusurun olduğu bölge hassas sonuç elde edebilmek için daha fazla katı elemana bölünmüştür.

## 2. DARBE VURUŞ TESTİNİN MEKANİĞİ

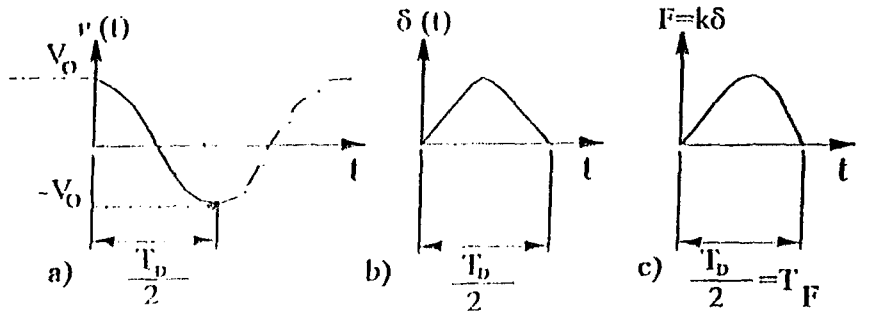
Vuruş testinde sisteme iletilen kuvvetin zamana bağlı davranışı Şekil 1 deki teorik modelle belirlenebilir [1].



Şekil 2.1 Vuruş testinde sisteme iletilen kuvvetin zamana bağlı davranışının incelenmesi için kullanılan model

Modelde  $m$  kütlesi direngenliği  $k$  olan yaya  $V_0$  hızıyla çarpmaktadır. Zemine iletilen kuvvet,  $F$ , sisteme iletilen kuvvet olarak kabul edilebilir.

Şekil 2(a) ve Şekil 2(b) de  $t=0$  kütlenin yayla çarpışma anı olmak üzere, kütlenin hızının ve yerdeğiştirmesinin zamana göre değişimi verilmiştir. Yay ve kütle temasa geçince doğal periyotta titreşime başlar ve kütle ters yönde yaydan uzaklaşır. Doğal periyot ise  $T_D = 2\pi\sqrt{m/k}$  dir.

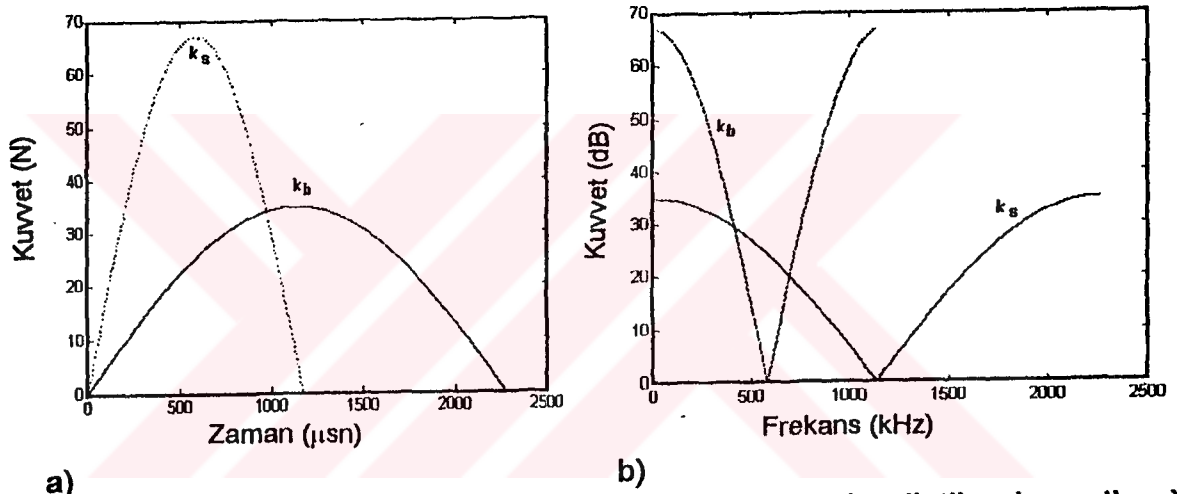


Şekil 2.2 Kullanılan modelde a) kütlenin hızının, b) yayın yerdeğiştirmesinin, c) sisteme iletilen kuvvetin zamana bağlı davranışı

Sisteme iletilen kuvvetin zamana  $F = k\delta$  olup zamana bağlı davranışı Şekil 2.2 (c) de gösterilmiştir. Kuvvetin zamanla değişimi,

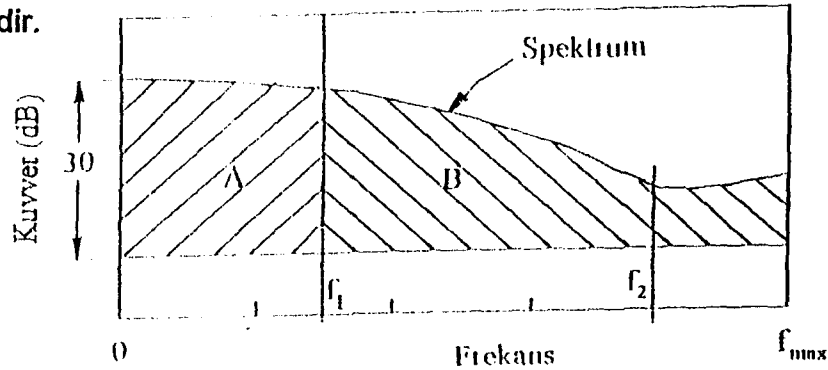
$$F(t) = \sqrt{km} V_0 \sin(\sqrt{k/m} t) \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir. Şekil 2.3 (a) da  $E = 33.2 \text{ MPa}$ ,  $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$ ,  $\nu = 0.15$  olan Şekil 2.4 de gösterilen sağlam ve boşluklu beton borular için ( $k_s > k_b$ )  $F(t)$  nin değişimi, Şekil 2.3 (b) de ise Fourier transformu ile elde edilen spektrumları verilmiştir. Boşluklu beton plakanın spektrumuna bakıldığında, artan frekansla birlikte sisteme iletilen kuvvetin genliğinde daha hızlı bir azalma görülmektedir.



Şekil 2.3 Sağlam ve boşluklu beton plakalar için zemine iletilen kuvvetin a) zamana bağlı davranışı ve b) spektrumları ( $k_s > k_b$ )

Boşluk olan bölgelerde direngenlik azaldığından vuruş ile sistem, yüksek frekans bölgelerinde daha düşük genlikteki darbeye uyarılmaktadır. Bu yüzden sistemin darbe cevabında da yüksek frekans bölgesinde kuvvetin genliği düşmektedir.



Şekil 2.4 Genlik spektrumunda yüksek frekans bölgesindeki bağıl genlik seviyesinin hesaplanmasında kullanılan alanlar

Şekil 2.4 de gösterildiği gibi  $f_1$  ve  $f_2$  frekansları seçilerek genlik spektrumundan A ve B alanları bulunabilir.

$$R=B/(A+B) \quad (2)$$

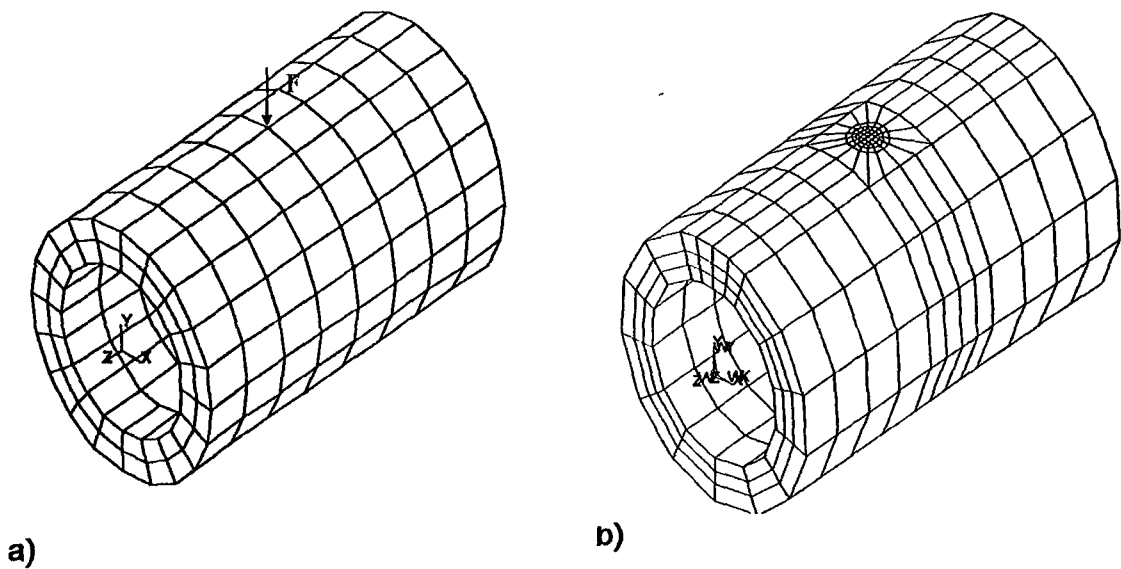
denklemleri ile hesaplanabilir.

### 3. BETON BORUDA DARBE VURUŞ TESTİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

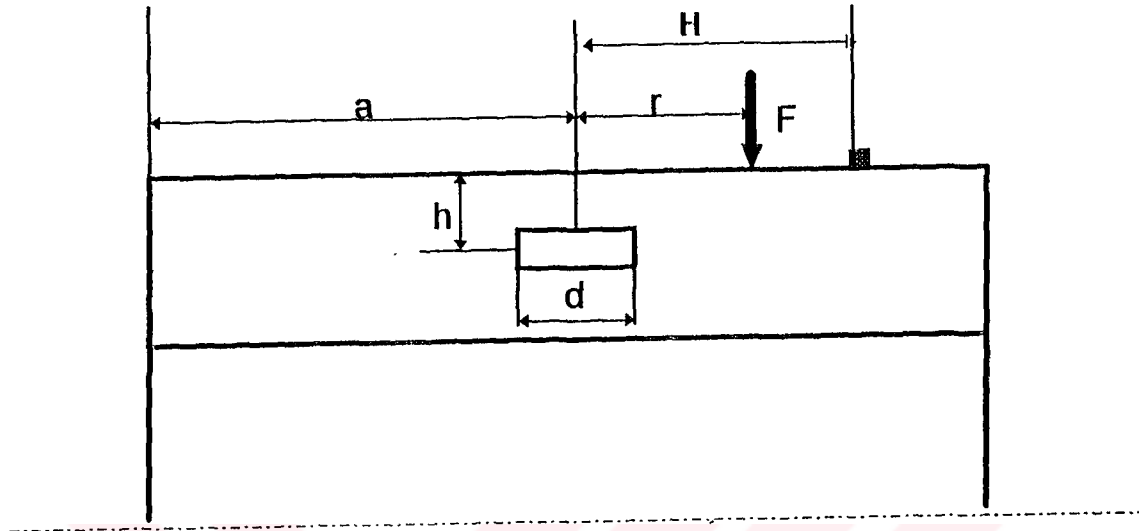
#### 3.1. Sonlu Elemanlar Metodu

Bu çalışmada dış çapı 400mm iç çapı 300mm boyu 1000mm olan Şekil 3.1.1 de gösterildiği gibi 600 elemanla modellenen beton borular ele alınmıştır. Beton borunun bir tarafı ( $z=0$  sol yan) ankastre ve iç yüzeyinden ( $y=150$ mm) y yönünde sabitlendiği kabul edilmiştir. Modellemede gerekli görülen kısımlar (delik çevreleri gibi) daha fazla sayıda katı elemana bölünmüştür. Modelde dörtgen elemanlar kullanılmıştır.

Analizde Şekil 3.1.1 de gösterilen borunun ortasına her farklı boru için denklem 1'den hesapladığımız ani darbe pulsu sonlu eleman programına girdi olarak verilmiştir. Sistem daha sonra belli bir süre serberst salınımına tabii tutulmuştur.



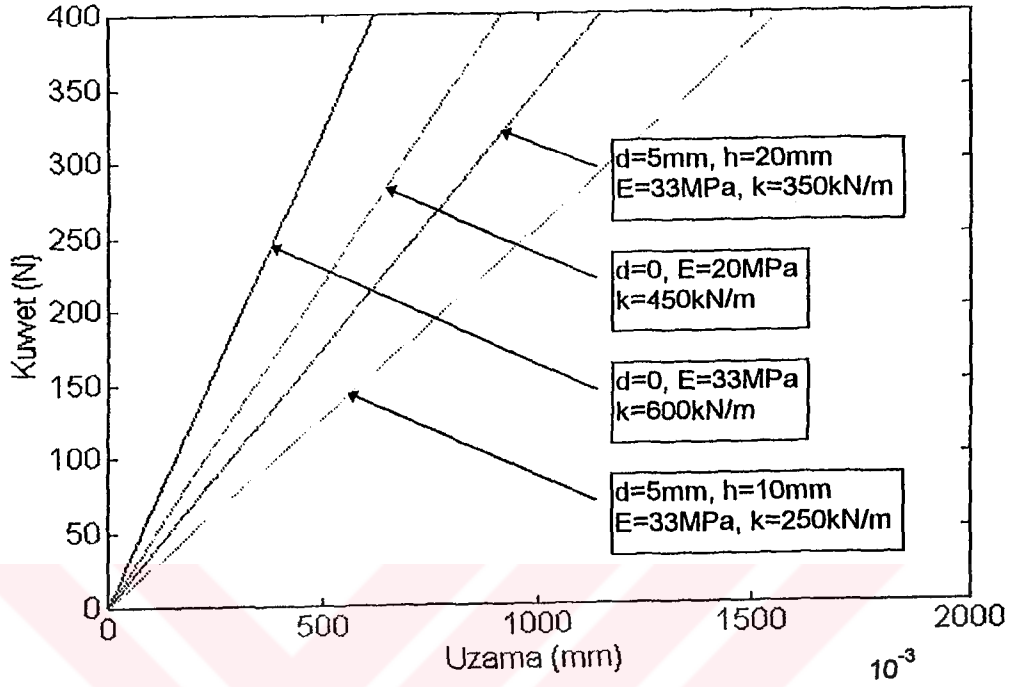
Şekil 3.1.1 a) 600 katı elemanla modellenen beton boru ve b) 600 katı elemanla modellenen disk şeklinde boşluklu beton boru



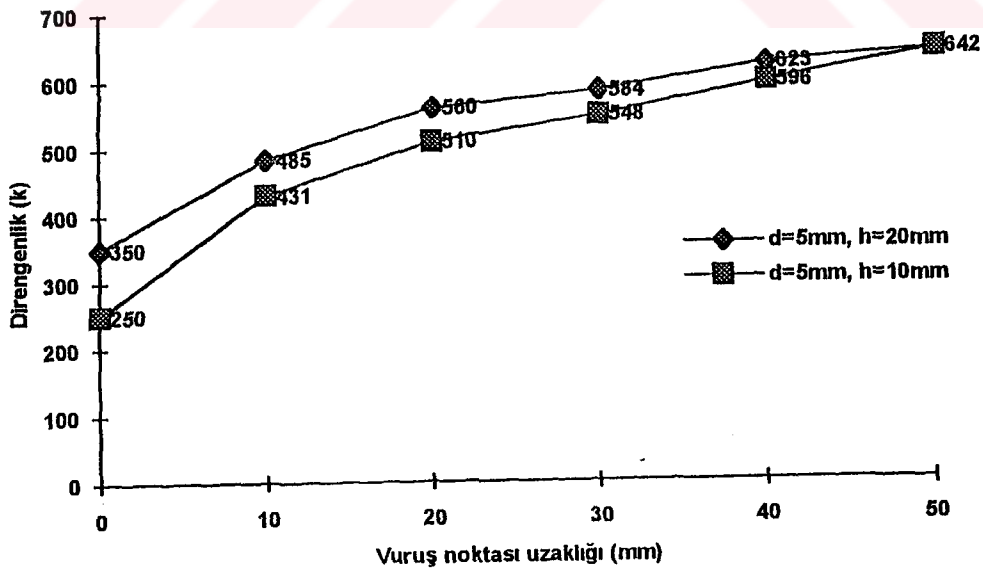
**Şekil 3.1.2** d çapında h derinliğinde disk şeklinde boşluklu borunun kesiti ve kullanılan parametreler

### 3.2. Vuruş Noktası Direngelikleri

Direngelikler bulunurken  $m=0.1$  kg lık kütle ile Şekil 3.1.1 de gösterilen beton boruların üzerine (75.noda)  $V_0=0.25$ m/s hızla negatif y yönünde vuruş yapıldığı kabul edilmiştir. Vuruş yapılan noktadaki yerdeğiştirme miktarı sonlu elemanlar programı ile hesaplanmış, burdan  $k=F/\delta$  formülü ile sağlam ve boşluklu beton borular için k değerleri bulunmuştur. Hesaplamalarda bir sonlu elemanlar paket programı (ANSYS 5.0 a) kullanılmıştır. Şekil 3.2.1 de kusurlu ve kusursuz boruların Kuvvet-Uzama grafikleri verilmiştir. Vuruş noktasının direngeliği k arttıkça grafiğin eğimi artmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi boşluk derinliği arttıkça direngelikte artmaktadır.



Şekil 3.2.1 Boşluklu ve boşluksuz borularda vuruş noktasına uygulanan statik kuvvetle uzama arasındaki ilişki



Şekil 3.2.2 Aynı çapta ve farklı derinlikte boşluk bulunan borularda vuruş noktası uzaklığı ile direngenliğin değişimi

Şekil 3.2.2 de görüldüğü gibi her iki boru içinde vuruş noktası direngenliği, boşluktan uzaklaştıkça artmaktadır. Statik analizler sonucu bulunan direngenlikler beklendiği gibi boşluk derinliği arttıkça yükselmektedir.

#### 4. BORULARIN ANİ DARBEYE VERDİĞİ CEVABIN İNCELENMESİ

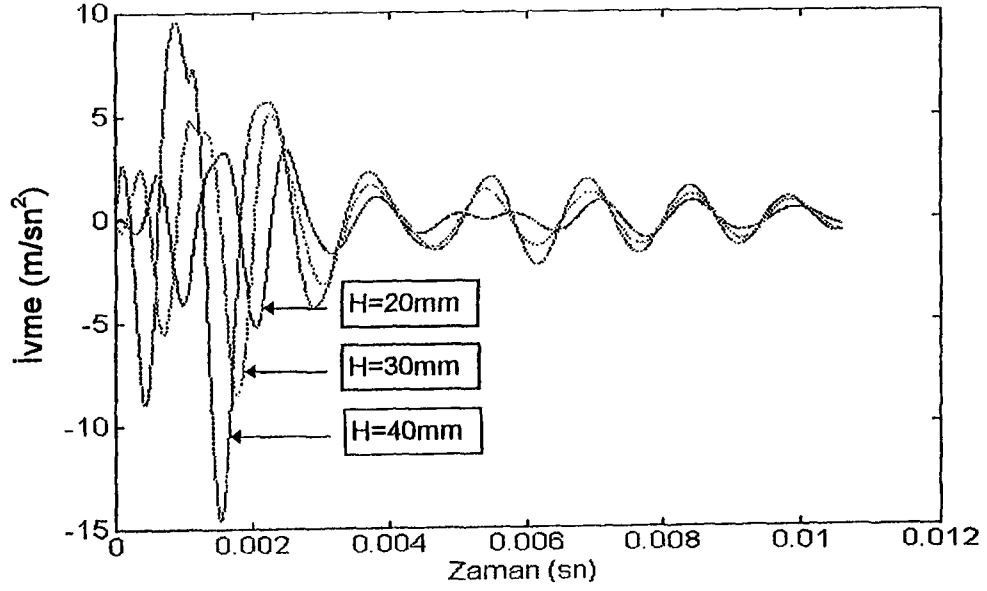
##### 4.1. Sağlam Borunun Ani Darbeye Verdiği Cevabın İncelenmesi

Boruya vuruşun yapılmasıyla boyuna ve enine titreşim dalgaları oluşur. Bu dalgalar belli bir hızla hareket ederek borunun iç yüzeyinden yansıyarak tekrar borunun üst yüzeyine geri dönerler. Bu sırada boyuna dalgaların titreşimleri, enine dalgaların titreşimlerine oranla daha fazladır.[3]

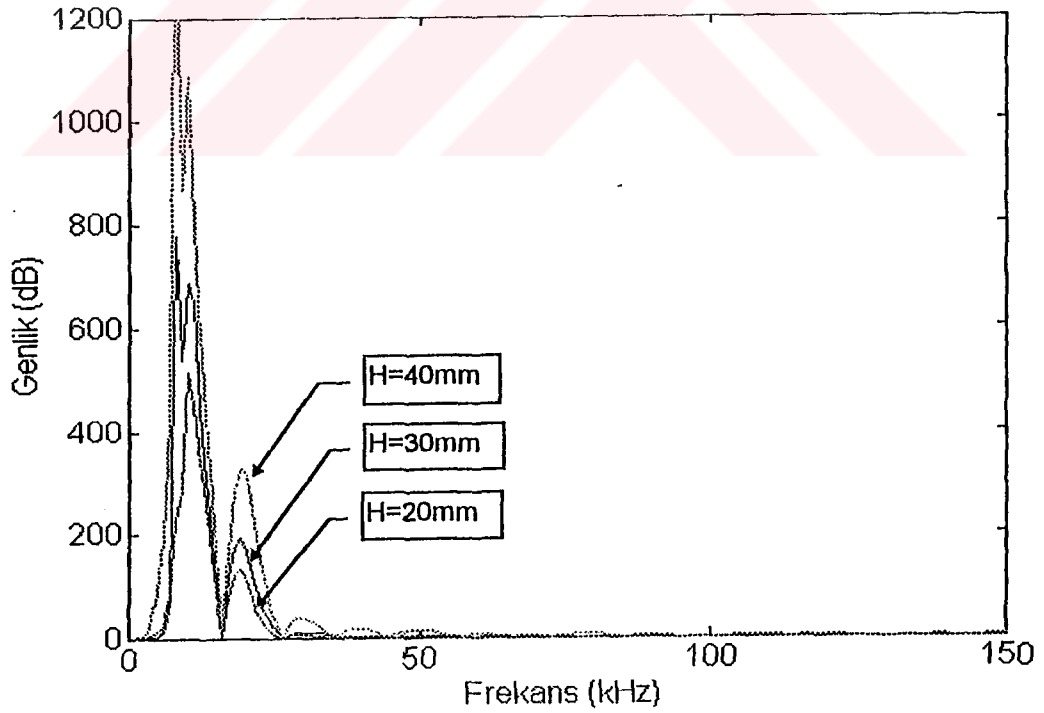
Bu yüzden bu tezde boyuna titreşimler incelenmiştir.Yapılan sonlu eleman analizi sonunda alıcı nodlar için boyuna titreşimlerin dalga şekli ve ivmenin değişimi elde edilmiştir. Bu değerlerin Fourier transformu alınarak bulunan spektrumlarından Denklem 2'deki tanımlanan bağıl genlik seviyesi R hesaplanmıştır. Farklı alıcı noktaların ve vuruş noktası uzaklığının R ye olan etkisi boşluklu ve boşluksuz borular için araştırılmıştır.

Dinamik analizde örnekleme periyodu  $T_s=1/f_s$  ( $f_s =2*f_c$ ,  $w=2*\pi*f_c$ ) her farklı model için hesaplanarak sonlu elemanlar programına girdi olarak verilmiştir. R hesaplanırken tanımlanan  $f_1$  ve  $f_2$  frekansları sırası ile 8 kHz ve 15 kHz olarak seçilmiştir. Dinamik analiz sonucu boyutsuz R büyüklüğü incelendiğinden Denklem 1 de verilen girdi kuvvetin katsayısı 1 alınarak analiz yapılmıştır. Ek A'da Beton 160 malzemesinden yapılmış boruda modelleme ve dinamik analiz için ANSYS 5.0 a programına girilen veriler görülmektedir.

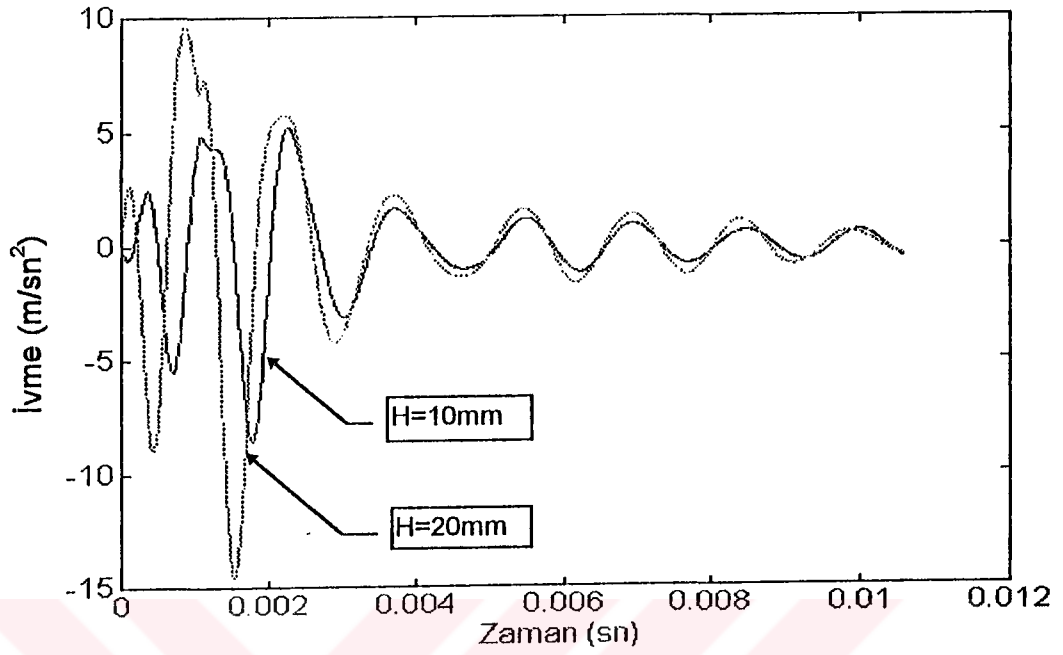




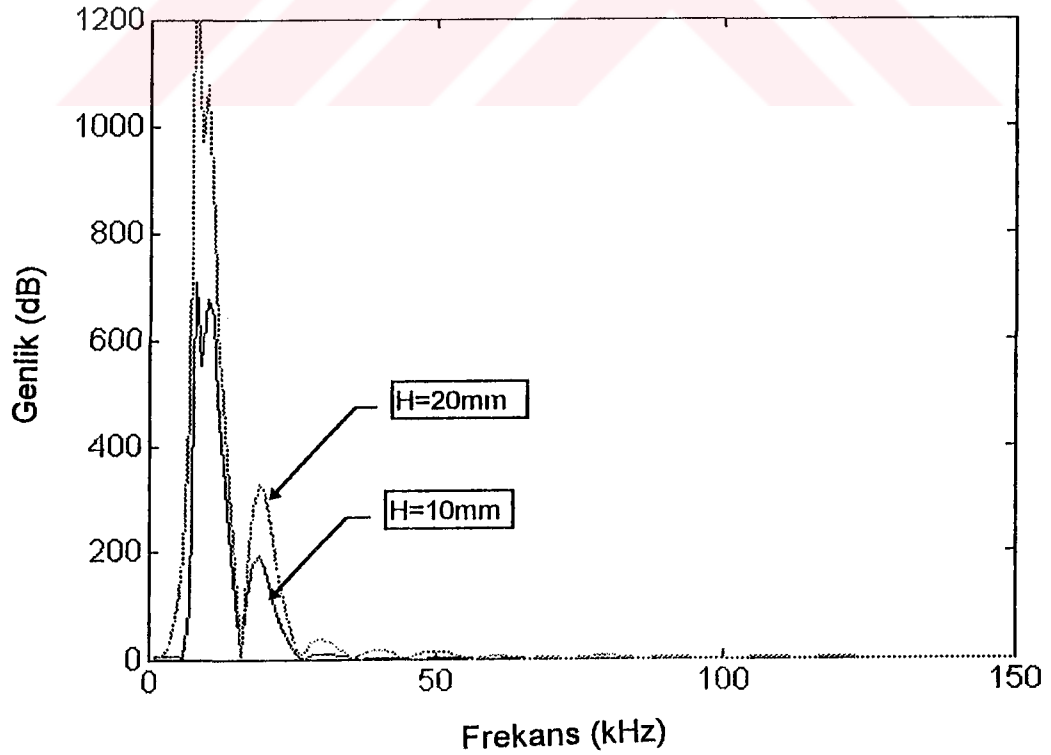
**Şekil 4.1.1** Sağlam boruda  $r=10mm$  için  $H=20mm$ ,  $30mm$ ,  $40mm$  olan nodların çıktı sinyalleri



**Şekil 4.1.2** Sağlam boruda  $r=10mm$  için  $H=20mm$ ,  $30mm$ ,  $40mm$  olan nodların ivme spektrumları



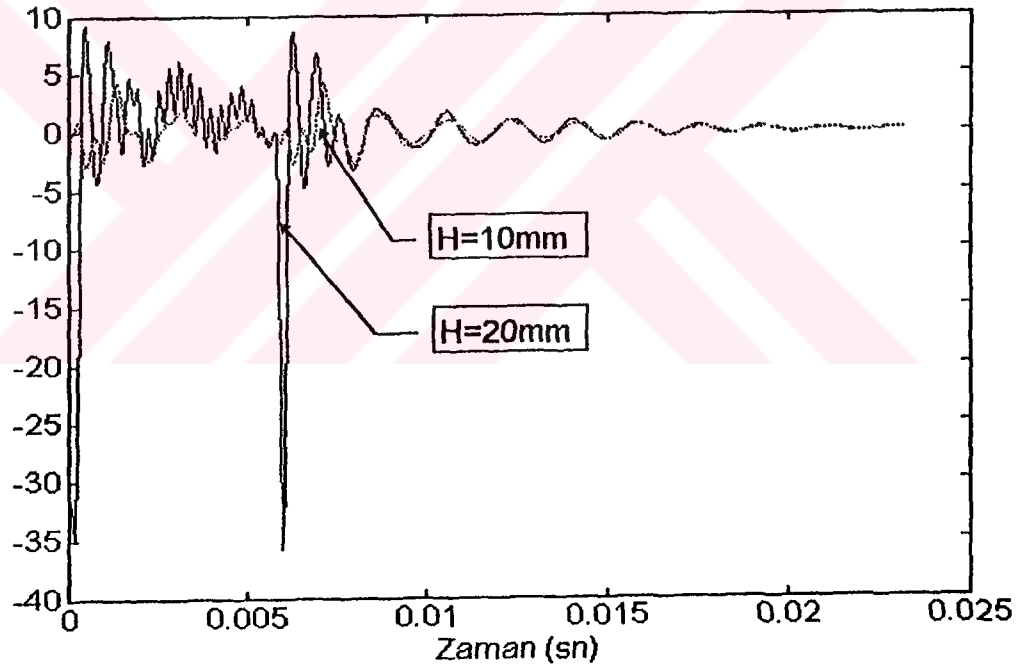
**Şekil 4.1.3** Sağlam boruda  $r=0\text{mm}$  için  $H=10\text{mm}$ ,  $20\text{mm}$  olan nodların çıktı sinyalleri



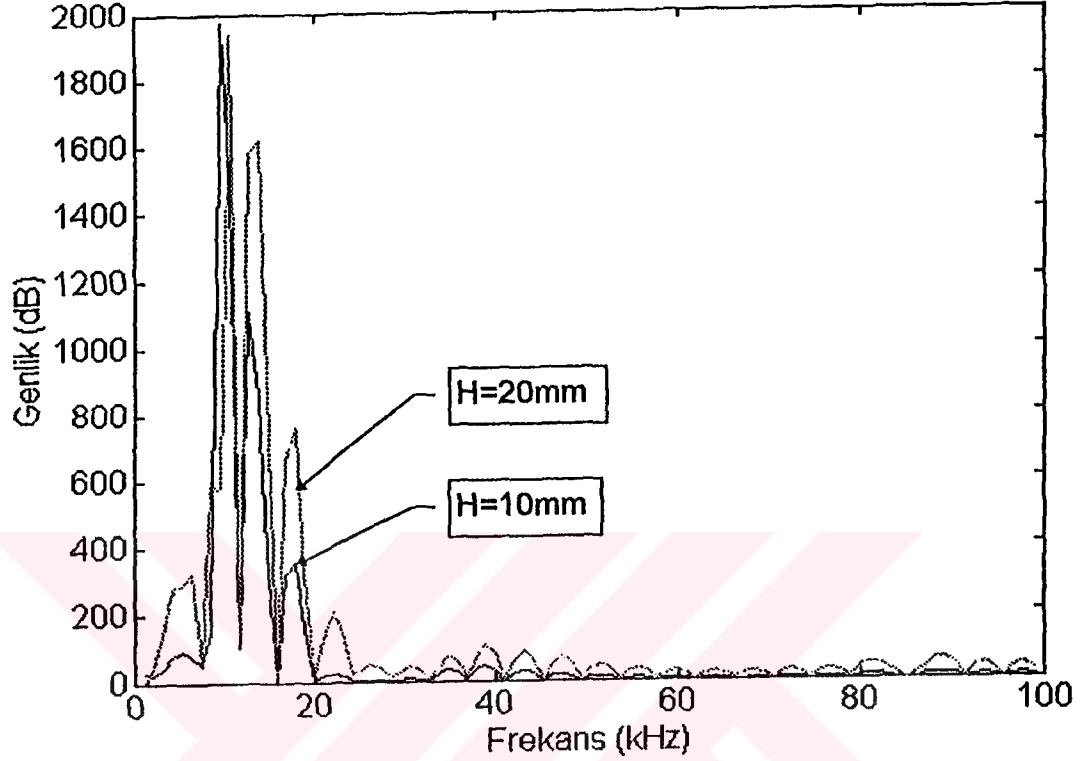
**Şekil 4.1.4** Sağlam boruda  $r=0\text{mm}$  için  $H=10\text{mm}$ ,  $20\text{mm}$  olan nodların ivme spektrumları

#### 4.2. Boşluklu ve Malzeme Kusurlu Borunun Ani Darbeye Verdiği Cevabın İncelenmesi

Boşluklu boruda da sağlam boruda olduğu gibi vuruş noktasından uzaklaştıkça alıcı nodun çıktı sinyalinin genliğinde artma olmaktadır. Boşluklu borudan elde edilen çıktı sinyalleri sağlam ve malzeme kusurlu boruya göre oldukça farklıdır. Sağlam boruya göre çıktı sinyali genliklerinde daha hızlı bir değişim söz konusu olmaktadır. Boşluklu borunun spektrumunda Şekil 4.2.2 de görüldüğü gibi yüksek frekanslarda çok sayıda pik elde edilmiştir.



Şekil 4.2.1  $d=10\text{mm}$  ve  $h=10\text{mm}$  olan boşluklu boruda  $r=0\text{mm}$  için  $H=10\text{mm}$ ,  $20\text{mm}$  olan alıcı düğüm noktalarının çıktı sinyalleri



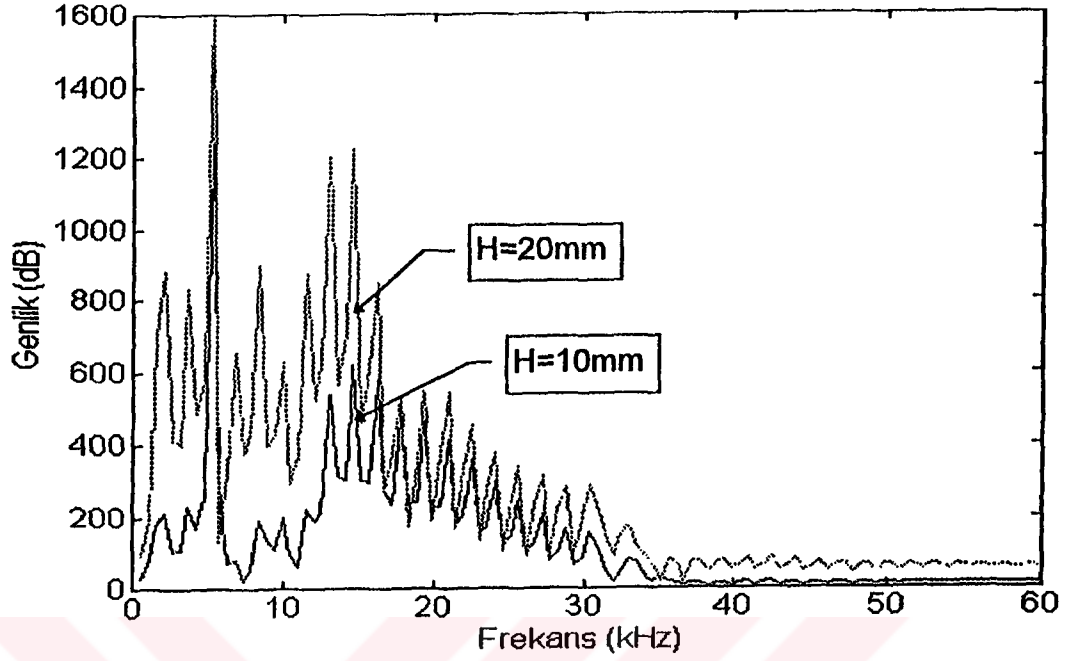
Şekil 4.2.4  $l=5\text{mm}$  ve  $h=10\text{mm}$  olan malzeme kusurlu boruda  $r=0\text{mm}$  için  $H=10\text{mm}$ ,  $20\text{mm}$  olan alıcı düğüm noktalarının ivme spektrumları

Tablo 1. Çap boyutu  $d=5\text{mm}$  ve farklı derinliklerde olan boşluklu borularda farklı alıcı noktaları için R değerleri

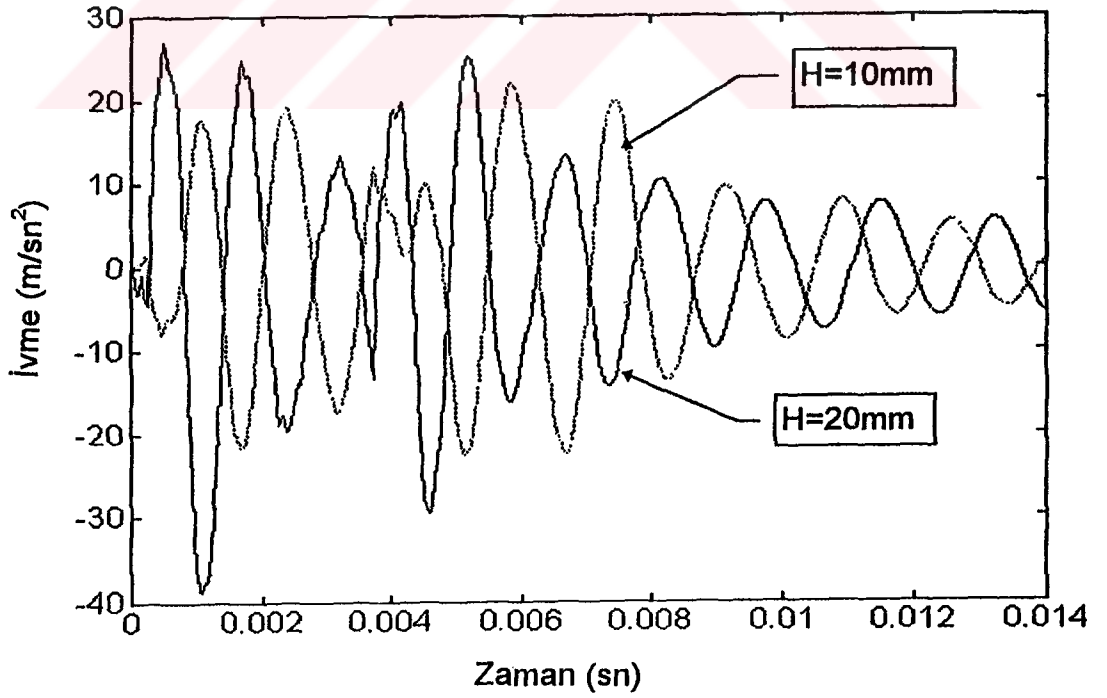
Alıcı noktanın konumu H (mm)	R değerleri		
	$d=5\text{mm}$ $h=20\text{mm}$	$d=5\text{mm}$ $h=10\text{mm}$	$d=0$
10	0.812	0.784	0.835
20	0.783	0.760	0.819
30	0.776	0.748	0.806

Tablo 2. Farklı boşluk boyutları ve derinlikleri olan boşluklu borularda  $H=10\text{mm}$  olan alıcı düğüm noktası için R değerleri

d (mm)	R değerleri		
	$h=10\text{mm}$	$h=20\text{mm}$	$h=30\text{mm}$
5	0.775	0.789	0.812
10	0.763	0.774	0.803
15	0.751	0.768	0.791



Şekil 4.2.2  $d=10\text{mm}$  ve  $h=10\text{mm}$  olan boşluklu boruda  $r=0\text{mm}$  için  $H=10\text{mm}$ ,  $20\text{mm}$  olan alıcı düğüm noktalarının ivme spektrumları



Şekil 4.2.3  $l=5\text{mm}$  ve  $h=10\text{mm}$  olan malzeme kusurlu boruda  $r=0\text{mm}$  için  $H=10\text{mm}$ ,  $H=20\text{mm}$  olan alıcı düğüm noktalarının çıktı sinyalleri

**Tablo 3.** H=40mm olan alıcı düğüm noktasında d=10mm olan boşluklu borularda farklı vuruş noktası uzaklığı r için R değerleri

r (mm)	R değerleri		
	d=10mm h=30mm	d=10mm h=20mm	d=0
10	0.809	0.771	0.816
20	0.826	0.797	0.831

**Tablo 4.** Farklı boyutta ve derinlikte malzeme kusuru olan borularda H=20mm olan alıcı düğüm noktası için R değerleri

l (mm)	R değerleri		
	h=10mm	h=20mm	h=30mm
0	0.835	0.835	0.835
5	0.785	0.803	0.811
10	0.776	0.784	0.806
20	0.758	0.770	0.787

Tablo 1 den de görüldüğü gibi boşluk derinliği arttıkça yüksek frekans bölgesindeki bağıl genlik seviyesi göstergesi R artmakta yani derindeki boşluğun etkisi gözlenememektedir. Ayrıca alıcı nokta, vuruşun yapıldığı noktadan uzakta seçildiği zaman R değeri düşüyor. Buda uzaktaki alıcı noktanın vuruşa daha duyarlı olduğunu gösterir. Bununla beraber alıcı noktanın konumunun fazla önemli olmadığı görülür.

Tablo 3 deki R değerleri incelendiği zaman vuruş noktası uzaklığı arttıkça özellikle derindeki boşluğun R katsayısı sağlam borunun R değerine yaklaşmaktadır. Bu yüzden boşluğun etkisini gözlemek güçleşmektedir.

Tablo 4 de borunun malzeme özelliklerindeki kusurun ( $E=20\text{MPa}$ ,  $\rho=2000\text{kg/m}^3$ ) boyutlarının ve derinliğinin R ye olan etkisi gösterilmiştir. Malzeme kusurunun derinliği arttıkça boşluklu boruda olduğu gibi R değeri artarak kusursuz boru için elde edilen R değerine yaklaşmaktadır. Kusurun büyüklüğünün artması kusurun belirlenmesini kolaylaştırmaktadır. R değerinin azalması bunu göstermektedir.

## SONUÇ

Statik analiz sonucu bulunan  $k$  değerlerine baktığımızda boşluk civarında direngenlik azalmaktadır. Direngenliğin azalması bu noktaya vurulması halinde dinamik kuvvetin genliğini ve frekansını etkilemektedir. Vuruş noktası direngenliği yerine parça üzerinde herhangi bir noktaya darbe uygulanarak elde edilen ivme spektrumuna bakılması ölçme tekniği açısından daha uygundur [5]. Günümüzde bilgisayar kontrollü ölçme sistemleri sayesinde istenen spektrumdaki frekans ve genlikler sayısal olarak belirlenebilir. Buda bize incelenen parçanın standartlara uygun olup olmadığını anlama fırsatı verecektir.

Boşluk büyük ve yüzeye yakın olduğu zaman tespit edilmesi daha kolay olmaktadır. Vuruş noktasına uzakta olan boşlukları tespit etmek için alıcı noktayı değiştirmeden vuruş noktasını değiştirerek parçayı taramamız gerekmektedir. Yöntem bilgisayara uyarlanabildiğinden karmaşık şekilli parçalar bilgisayarda modellenerek boşluk taraması daha kolay ve ekonomik olarak yapılabilir.

Bu çalışmada incelenen beton boruda sonlu elemanlar programı ile yapılan analiz sonuçları beklenildiği gibi çıkmıştır. Çalışmada ele alınan teorik modelde, vuruş yapılırken sistemde sönüm olmadığı varsayılmıştır. Pratikte bu böyle olmamaktadır. Ayrıca statik analizde kuvveti tek bir nokta yerine, yayılı olarak çevresindeki noktalara da uygulamak, yerdeğiştirmeyi hassas bulmak açısından daha faydalı olabilir.

## KAYNAKLAR

1. CAWLEY P., ADAMS R. D., The Mechanics of the Coin-Tap Method of Non-Destructive Testing, Journal of Sound and Vibration, 122(2), 299-316, 1988.
2. KARAGÜLLE H., FİLİK H., Beton Bloklarda Boşlukların Vuruş Testi ile Tahribatsız Muayenesinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Araştırma Fonu, 1995.
3. SANSALONE M., NICHOLAS J.C., NELSON N.H., A Finite Element Study Of Transient Wave Propagation in Plates, National Bureau Standarts Gaithersburg, 92, 267- 287, 1987.
4. CAWLEY P., Low Frequency NDT Tecniques for the Detection of Disbonds and Delemination, British Journal of Nondestructive Testing, 32, 454 -461, 1990.
5. DONALD P., SANSALONE M., Impact -Echo Signal Interpretation Using Artificial Intellıgence, ACI Materials Journal, 89(2), 178-186, 1992.
6. HALMSHAW R., Non-Destructive Testing, Edward Arnold Ltd. USA, 1987.
7. CAWLEY P., ADAMS R. D., Sensivity of the Coin Tap Method of Non-Destructive Testing, Materials Evaluation, 47, 558-563, 1989.
8. LANGE Y. V., The Acoustical Spectral Nondestructive testing Method, NDT International, 20(4), 209-215, 1987.





**BETON 160 Malzemesinden Yapılmış Bıruda Modelleme ve Dinamik  
Analiz için ANSYS 5.0 a Programına Girilen Verilerin Listesi**

```

/COM,ANSYS REVISION 5.0      A      00:45:49  10/06/1994
/input,start ,ans ,ANSYS50A\DOCU\      ,,,,,,,,,,1
ET, 1,solid45
R, 1
MP,EX,1,14.1e6
MP,NUXY,1,.2
MP,DENS,1,2400
FINISH
/UNITS,SI
/PREP7
PCIRC,.3,.2,0,90
PCIRC,.3,.2,90,180
PCIRC,.3,.2,180,270
PCIRC,.3,.2,270,360
/VIEW,ALL, 1, 1, 1
/ANGL,ALL,0
/REPLOT
/REPLOT
/REPLOT
/VIEW,ALL, 1, 1, 1
/ANGL,ALL,0
/REPLOT
aplot
K
K,,-1
kplot
L,P50X
lplot
VDRAG,P50X
VDRAG,P50X
VDRAG,P50X
VDRAG,P50X
nummrg,all
vplot
lplot
LDELE,P50X
ESHAPE,2
LESIZE,P50X,,2
LESIZE,P50X,,2
LESIZE,P50X,,2

```



```

LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
LESIZE,P50X,,,6
VMESH,ALL

```

```
eplot
```

```
finish
```

```
/SOLU
```

```
/VIEW,ALL, 1, 0, 0
```

```
/ANGL,ALL,0
```

```
/REPLOT
```

```
nplot
```

```
NSEL,S,P50X,BOX
```

```
D,ALL,UY
```

```
D,ALL,UX
```

! THE FOLLOWING SELECT COMMANDS WERE GENERATED BY THE  
ALLSEL COMMAND

```
VSEL,ALL
```

```
ASEL,ALL
```

```
LSEL,ALL
```

```
KSEL,ALL
```

```
ESEL,ALL
```

```
NSEL,ALL
```

```
NSEL,S,P50X,BOX
```

```
D,ALL,UX
```

```
D,ALL,UY
```

! THE FOLLOWING SELECT COMMANDS WERE GENERATED BY THE  
ALLSEL COMMAND

```
VSEL,ALL
```

```
ASEL,ALL
```

```
LSEL,ALL
```

```
KSEL,ALL
```

```
ESEL,ALL
```

```
NSEL,ALL
```

```
FINISH
```

```

/Solu
ANTYP,4
TRNOPT,FULL,-999
STAT !-999 above = only method changed,
time,9.0000e-5
F,75,FY,-0.157
deltim,1.8e-5
kbc,0
autots,on
F1=0
F2=500
PI=ACOS(-1)
*DIM,COEFF,,2,2
*DIM,RHS,,2,1
*DIM,X,,2,1
COEFF(1,1)=1/(4*PI*F1),1/(4*PI*F2)
COEFF(1,2)=PI*F1,PI*F2
RHS(1,1)=0.03,0.03
*MOPER,X(1,1),COEFF(1,1),SOLVE,RHS(1,1)
*STAT,X
alphad,X(1)
betad,X(2)
outres,,all
!swrite
time,18.0000e-5
F,75,FY,-0.31
!swrite
time,27.0000e-5
F,75,FY,-0.455
!swrite
time,36.0000e-5
F,75,FY,-0.59
!swrite
time,45.0000e-5
F,75,FY,-0.708
!swrite
time,54.0000e-5
F,75,FY,-0.81
!swrite
time,63.0000e-5
F,75,FY,-0.892
!swrite
time,72.0000e-5
F,75,FY,-0.952
!swrite

```

time,81.0000e-5  
F,75,FY,-0.988  
lswrite  
time,90.0000e-5  
F,75,FY,-1  
lswrite  
time,99.0000e-5  
F,75,FY,-0.988  
lswrite  
time,108.0000e-5  
F,75,FY,-0.952  
lswrite  
time,117.0000e-5  
F,75,FY,-0.892  
lswrite  
time,126.0000e-5  
F,75,FY,-0.81  
lswrite  
time,135.0000e-5  
F,75,FY,-0.708  
lswrite  
time,144.0000e-5  
F,75,FY,-0.59  
lswrite  
time,153.0000e-5  
F,75,FY,-0.455  
lswrite  
time,162.0000e-5  
F,75,FY,-0.310  
lswrite  
time,171.0000e-5  
F,75,FY,-0.157  
lswrite  
time,180.0000e-5  
F,75,FY,0  
lswrite  
time,12.600000e-3  
fdele,all,all  
kbc,1  
lswrite  
lssolve,1,21,1  
finish