

SİSMOMETRELERİN KALİBRASYONU İÇİN PRATİK YÖNTEMLER

SOME PRATICAL METHOD FOR CALIBRATION OF SEISMOMETERS

Adem SÖMER

Jeofizik Yük. Müh.

Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, ANKARA

Özet: Deprem Araştırma Dairesi'nde bulunan projelerde çeşitli model ve tipte sismometreler bulunmaktadır (Bknz Tablo 1.1). Bazı sismometrelerin özellikleri değişmekte ve gelecekte de değişebilme olasılığı bulunmaktadır. O zaman, onların düzenlenmesine ihtiyaç duyulur. Özellikle de mikrotremor ölçümlerinde kullanılan sismometreler gibi araziye sık sık taşınarak kullanılan cihazlarda bu düzenleme çok daha gereklidir.

Sismometrelerin kalibrasyon yöntemlerini öğrenerek bunları uygulamak çalışmanın başlıca hedefidir. Hareketli bobin tipi sismometreler, doğal periyod, yay sabiti ve hassasiyet gibi fiziksel parametreler ile kontrol edilmektedir.

Çalışma da dört adet kalibrasyon yöntemi anlatılmaktadır. Bunlar; Sarsma tablosu ile , Willmore direnç köprüsü ile, kalibrasyon bobini yardımı ile ve dalga şekli ters çözümü ile sismometrenin kalibrasyonudur. Türkiye şartlarında iki adet yöntem denenmiştir.

Çalışmada L-22D, L-4-3D ve VSE-355JE sismometreleri ile Elektro-Dinamik test Sistemi (Akashi, 1974) kullanılmaktadır.

Ayrıca, sismografların genel tanımları ile kurulma ve düzenleme çalışmaları verilerek, onlar hakkında daha fazla bilgi sahibi olunması amaçlanmıştır.

Abstract: Earthquake Research Department, Ankara has several types of seismometer. The characteristics of these seismometers have been changed and also can be changed in future. Then, it is necessary to calibrate them frequently, specially for the equipment used in moving observation such as microtremor measurement.

The purpose of my individual study is to learn some practical methods for calibration of seismometer. The characteristics of moving coil type seismometer are controlled by such physical parameters as natural period, damping constant and sensitivity combined with the gain of amplifier.

I present the following methods with corresponding experimental results. Calibration on the shaking table, Calibration by means of Willmore impedance bridge, Calibration by means of calibration coil and Calibration by means of the waveform inversion.

I use to same sismometers which are L-22D, L-4-3D and VSE-JE with Electro-Dynamic Test System(Akashi 1974) in this study.

General information of seismograf with installation and compale study are given to understand them very well.

ÖNSÖZ VE BİLGİLENDİRME

Orjinal özellikleri değişmiş bir sismometreyle alınan sismik bilgiler ne kadar doğru olabilir? Belirli bir frekans ve hassasiyete sahip olan sismometreler, doğal peryod ve yay sabitleri ile kontrol edilebilirler. Sağlıklı ve güvenilir çalışmaların yapılabilmesi için, sismik sinyali algılayan cihazların özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla onların kalibrasyonlarının yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmalarımda beni yönlendiren ve bu çalışmanın oluşmasında büyük yardımları olan değerli hocam Doç. Dr. Mithat Fırat Özer'e

Çalışmanın oluşmasında büyük yardımları olan değerli hocam Dr. Toshiaki YOKOI (IİSEE Sismoloji Bölümü Başkanı)

Bu konuyu seçmemde etkin olan ve kurs öncesi vermiş oldukları bilgiler ile daha başarılı olmamı sağlayan Kocaeli Üniversitesi Sismoloji Anabilim Dalı öğretim görevlilerinden Prof. Dr. Özer Kenar'a

JICA (Japon Uluslar Arası İşbirliği Ajansı) ya finans işlerini sağladığı için,

Sismoloji kursuna katılma fırsatını bana tanıdıkları için Afet İşleri Genel Müdürü sayın O. Ergünay , Deprem Araştırma Dairesi başkanı sayın Rüçhan Yılmaz ve Laboratuvarlar Şube Müdürü sayın H. Hüseyin Güler'e,

Japonya ve Türkiye de çalışmalarımı destekleyen Muroran Teknoloji Enstitüsü, Sistem Bölümü Profesörlerinden Prof. Dr. Noritoshi Goto' ya

Proje çalışmalarında bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, Deprem ve Volkan Zararlarını Önleme Laboratuvarı Başkanı Prof. Dr. Shigeo Kinoshita ile sismometrelerin kurulması çalışmalarına katılan Tokyo Sokushin Şirketi Uzmanlarından Tadashi Shimodate'ye

Yardımlarını gördüğüm arkadaşlarım Serkan Irmak, Göktürk Özmenek, Ömer Akbaş, Bekir Tüzel, Metin Aydemir, Hüseyin Gündüz ve Mahmut Semerci'ye

Her zaman desteğini gördüğüm eşim Gülşen Sömer ile kızım İmge Sıla Sömer'e

Yapmış oldukları katkılardan dolayı çok teşekkür ederim.

İçindekiler

Sayfa No

ÖZET.....	II
ABSTRACT	III
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	XI
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	3
1.2. Tezin İçeriği.....	3
BÖLÜM 2. SİSMOGRAFLARIN TANITIMI.....	4
2.1. Algılayıcı.....	4
2.2. Koşullandırıcı.....	9
2.3. Kayıtçı.....	10
BÖLÜM 3. BİR SİSMOGRAF İSTASYONUNUN KURULMASI.....	12
3.1. Projenin Tanıtımı.....	12
3.2. Sismometre Yerinin Hazırlanması.....	18
3.3. Sismometrenin Düzenleme ve Ayar Çalışmaları.....	21
BÖLÜM 4. SİSMOMETRE KALİBRASYON YÖNTEMLERİ TEORİSİ.....	24
4.1. Sarsma Tablası Üzerinde Sismometrenin Kalibrasyonu.....	24
4.2. Willmore Direnç Köprüsü ile Sismometrenin Kalibrasyonu	26
4.2.1. Sinüzoidal Dalga Giriş Sinyali İle.....	29
4.2.2. Step Dalga Giriş Sinyali İle.....	31
4.3. Kalibrasyon Bobini Yardımıyla Sismometrenin Kalibrasyonu.....	33
4.3.1. Sinüzoidal Dalga Giriş Sinyali İle.....	34
4.3.2. Step Dalga Giriş Sinyali İle.....	35

4.4. Dalga şekli Ters Çözümü İle Sismometrenin Kalibrasyonu.....	36
BÖLÜM 5. SİSMOMETRE KALİBRASYONUNUN UYGULAMALARI.....	40
5.1. Japonyadaki Çalışmalar	40
5.1.1. Sarsma Tablası Üzerinde Sismometrenin Kalibrasyonu.....	40
5.1.1.1. Referans Sismometrenin Düzenlenmesi	41
5.1.1.2. Test edilen Sismometrenin ayarı.....	42
5.1.2. Willmore Direnç köprüsü ile Sismometrenin Kalibrasyonu.....	46
5.1.2.1. Sinüzoidal Dalga Giriş Sinyali İle.....	46
5.1.2.2. Step Dalga Giriş Sinyali İle.....	50
5.1.3. Kalibrasyon Bobini Yardımıyla Sismometrenin Kalibrasyonu.....	52
5.1.3.1. Sinüzoidal Dalga Giriş Sinyali İle.....	52
5.1.3.2. Step Dalga Giriş Sinyali İle.....	55
5.1.3.3. Willmore Direnç köprüsü İle Step Dalga Sinyalinin Kullanımı(İlave Çalışma).....	56
5.1.4. Dalga Şekli Ters Çözümü İle Sismometrenin Kalibrasyonu.....	58
5.2. Türkiyedeki Uygulamalar.....	60
5.2.1. Willmore Direnç köprüsü ile Sismometrenin Kalibrasyonu.....	60
5.2.1.1. Sinüzoidal Dalga Giriş Sinyali İle.....	60
5.2.1.2. Step Dalga Giriş Sinyali İle.....	64
5.2.2. Kalibrasyon Bobini Yardımıyla Sismometrenin Kontrolü.....	66
BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	69
BÖLÜM 7. KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	74

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

A	: Genlik değeri
G	: Sismometrenin hassasiyeti
h	: Sismometre yay sabiti
f_0	:Doğal frekans
m	: Sismometre bobininin kütlesi
R_0	: Sismometre bobin direnci
R_s	: Kablonun iki ucu arasındaki direnç(Shunt)
R	: Direnç tanımı
Ω	:Elektrik direnç birimi(ohm)
ω	:Açısal frekans
T_0	:Doğal periyod
X	: Kuzey-Güney Bileşen
Y	:Doğu-Batı Bileşen
Z	: Düşey Bileşen
NAF	:Kuzey Anadolu Fayı (KAF)
EAF	:Doğu Anadolu Fayı (DAF)
AGS	:Ege Graben Sistemi
BSZ	:Bitlis Bindirme Kuşağı
ERD	:Deprem Araştırma Dairesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Türkiye'nin sismotektonik haritası ($M_s \geq 4.0$ ve 1900-1993) (Demirtaş ve Yılmaz, 1996).....	1
Şekil 1.2 Düşey bileşenli hareketli bobin sismometresinin prensibi.....	2
Şekil 2.1 1945'li yıllarda Alman uzmanların yaptıkları yatay bir sismograf.....	4
Şekil 2.2 1970'li Yıllarda üretilen bir sismograf (3 Bileşen, Yerdeğiştirme ölçer)...	5
Şekil 2.3 Üç bileşenli modern bir sismometre(VSE-355JE).....	5
Şekil 2.4 Frekans ortamında sismometrenin genlik tepkisi	7
Şekil 2.5 Bazı sismograf sistemlerinde tepki karakteristikliği.....	8
Şekil 2.6 Farklı genlik ve frekans karakteristikleri ile sismogramlar.....	8
Şekil 2.7 Sismometreden alınan verileri kayıt merkezine gönderen sistemler (Deprem Zararlarının Azaltılması Projesi).....	9
Şekil 2.8 Deprem Zararlarının Azaltılması Araştırma Merkezinde, sismometreden alınan bilgilerin kayıt ortamına kadar olan aşamalar	10
Şekil 2.9 Tambur üzerinde kayıt alma sistemi (1950'li yılların modeli).....	11
Şekil 2.10 Alınan bir deprem kaydı.....	11
Şekil 3.1 Türk – Japon projesinin çalışma alanı.....	13
Şekil 3. 2 Deprem zararlarının azaltılması projesinde iletişim sistemi.....	13
Şekil 3.3 Arazide mikrotremor çalışmaları(Amasya).....	15
Şekil 3.4 İstasyonların gürültü seviyelerine bağlı olarak algılama yetenekleri.....	16
Şekil 3.5 Ölçüm yapılan noktaların gürültü seviyesi değerleri.....	17
Şekil 3.6 İnşa edilen kulube ile sismometre yeri için beton büz (Samsun).....	17
Şekil 3.7 Sismometrenin zemine kurulma planı (Kinoshita 1997).....	19
Şekil 3.8 Sismometre yerinde ilk beton büzün yerleştirilmesi.....	20

Şekil 3.9 Sismometre yerinde üst beton büzlerin yerleştirilmesi.....	20
Şekil 3.10 Sismometreden gelen kabloların rack sistemine bağlanması.....	21
Şekil 3.11 Sismometrenin test işlemlerinden bir görüntü.....	22
Şekil 3.12 Gömülü durumdaki sismometrenin yön tayini.....	23
Şekil 3.13 Sismometrenin bağlı olduğu topraklama direncinin ölçümü.....	23
Şekil 4.1 Willmore direnç köprüsü ile sismometre, fonksiyon üreticisi ve kayıtcı arasında kurulan ilişki.....	27
Şekil 4.2 A ve B uçları arasında gönderilen akım,direnç ve potansiyel fark.....	27
Şekil 4.3 a ve b uçları arasında akım, direnç ve elde edilen potansiyel fark V_{ab}	28
Şekil 4.4 $P(h) - h$, $T_w/T_0 - h$ ile yay sabitinin(h) faz ve frekans ortamındaki görünüşleri (Kitsunezaki ve Goto,1964).....	32
Şekil 4.5 Sismometredeki bobinlerin şekilsel görünümü.....	33
Şekil 4.6 Sismografi oluşturan parçalar dizisi.....	36
Şekil 4.7 Dalga şekli ters çözümünde yapılan işlemlerin akışı.....	39
Şekil 5.1 Electro-dinamik sarsma test sistemi.....	41
Şekil 5.2 Sarsma tablası yöntemiyle elde edilen örnek bir kayıt.....	42
Şekil 5.3 Sarsma tablası yöntemiyle sismometrenin frekans tepkisi	44
Şekil 5.4 Sarsma tablası yöntemiyle sismometrenin faz tepkisi.....	44
Şekil 5.5 Sarsma tablası yöntemiyle yay sabitine h karşılık $1/(R_0+R_s)$ değeriyle sismometreye en uygun shunt direncinin belirlenmesi	44
Şekil 5.6 Çalışmaların yapıldığı test odasında bulunan cihazlar (IISEE).....	46
Şekil 5.7 Willmore direnç köprüsüyle test işleminde elde edilen bir kayıt.....	47
Şekil 5.8 Willmore direnç köprüsü yöntemiyle sismometrenin frekans tepkisi.....	48
Şekil 5.9 Willmore direnç köprüsü yöntemiyle sismometrenin faz tepkisi.....	48
Şekil 5.10 Willmore direnç köprüsüyle yönteminde h ve $1/(R_0+R_s)$ ile elde edilen en iyi doğru	48

Şekil 5.11 Willmore direnç köprüsünde step giriş sinyaliyle alınan bir kayıt.....	50
Şekil 5.12 Sismometredeki bobinlerinin şekilsel görünümü(L-4).....	52
Şekil 5.13 Kalibrasyon bobini yönteminde sismometrenin frekans tepkisi.....	54
Şekil 5.14 Kalibrasyon bobini yönteminde sismometrenin faz tepkisi.....	54
Şekil 5.15 Kalibrasyon bobini yönteminde h karşı $1/(R_0+R_s)$ değeriyle elde edilen en iyi doğru.....	54
Şekil 5.16 Kalibrasyon bobini yönteminde direnç devresi ile kayıtçı, üretici ve sismometre arasındaki bağlantı.....	57
Şekil 5.17 Dalga şekli ters çözümü yöntemiyle elde edilen verilerin görünümü.....	59
Şekil 5.18 Willmore direnç köprüsüyle sismometrenin frekans tepkisi (test-1).....	62
Şekil 5.19 Willmore direnç köprüsüyle sismometrenin faz gecikmesi (test-1).....	62
Şekil 5.20 Willmore direnç köprüsüyle sismometrenin frekans tepkisi (test-2).....	63
Şekil 5.21 Willmore direnç köprüsüyle sismometrenin faz gecikmesi (test-2).....	63
Şekil 5.22 Willmore direnç köprüsü yöntemiyle h ve $1/(R_0+R_s)$ karşılaştırılarak, en iyi shunt direncinin belirlenmesi (test-1).....	64
Şekil 5.23 Willmore direnç köprüsü yöntemiyle h ve $1/(R_0+R_s)$ karşılaştırılarak, en iyi shunt direncinin belirlenmesi (test-2).....	65
Şekil 5.24: Sismometrenin test edilme çalışmalarında devre sistemi.....	67
Şekil 5.25 Yapılan test işlemleriyle alınan sonuçlar (VSE-355JE).....	67
Şekil 5.26 Sismometreye bağlı bulunan kabloların özellikleri (VSE-355JE).....	68

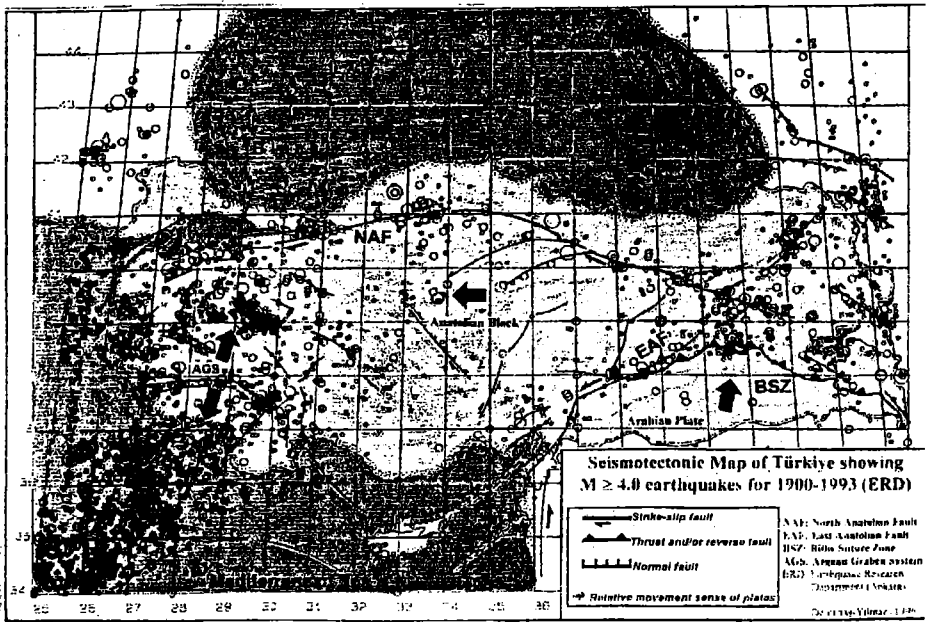
TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1 Deprem Araştırma Dairesinde bulunan sismometrelerin listesi.....	9
Tablo 3.1 Türk-Japon Projesinde, istasyonların koordinatları.....	13
Tablo 3.2:Sismometre yeri hazırlama çalışmalarına ait bilgi tablosu.....	19
Tablo 5.1 Sarsma tablasıyla ilgili test bilgileri.....	43
Tablo 5.2 Willmore direnç köprüsünde sinüzoidal sinyaliyle elde edilen bilgiler.....	49
Tablo 5.3 Willmore direnç köprüsünde step giriş sinyaliyle elde edilen bilgiler.....	51
Tablo 5.4 Kalibrasyon bobini yönteminde sinüzoidal sinyaliyle elde edilen bilgi.....	53
Tablo 5.5 Kalibrasyon bobini yönteminde step sinyaliyle elde edilen bilgiler	56
Tablo 5.6 Kalibrasyon bobini yönteminde willmore direnç devresiyle yapılan test sonucunda elde edilen bilgiler.....	57
Tablo 5.7 Dalga şekli ters çözümü yöntemiyle elde edilen bilgiler.....	59
Tablo 5.8 Willmore direnç köprüsü yöntemiyle elde edilen bilgiler (test-1).....	62
Tablo 5.9 Willmore direnç köprüsü yöntemiyle elde edilen bilgiler (test-2).....	63
Tablo 5.10 Willmore direnç köprüsünde step giriş sinyaliyle elde edilen Test-1 sonuçları	64
Tablo 5.11 Willmore direnç köprüsünde step sinyaliyle elde edilen Test-2 sonuçları.....	65
Tablo 5.12 Sismometre test işleminde kullanılan frekans ve genlikler	66
Tablo 5.13 İstasyonlarda yerleştirilen sismometrenin karakteristik özellikleri.....	68

BÖLÜM 1. GİRİŞ

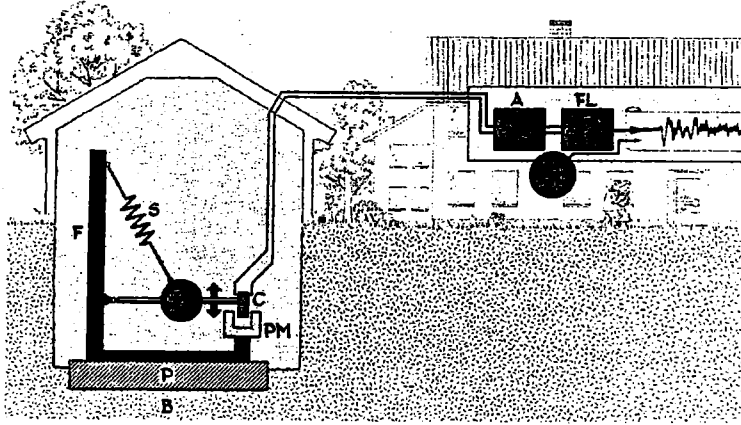
Türkiye, topraklarının çok büyük bir kısmı çeşitli zamanlarda deprem tehlikesine sahip olan ve yeryüzünün bilinen en aktif fay zonlarından birisi üzerinde, Akdeniz-Alp-Himalaya deprem kuşağı içerisinde bulunmaktadır (Şekil 1.1).

Bir çok araştırmacı; depremin büyüklüğü, istasyon-episantr uzaklığı, faz varış zamanları, deprem süresi, polarite, deprem oluş zamanı, P ve S dalgaları ve var ise diğer yüzey dalgalarının belirlenmesi gibi sismogram bilgileriyle çeşitli çalışmalarda bulunmaktadır. Ancak son bilgi durumundaki kayıtların, nasıl ve ne şekilde elde edildiği tam olarak bilinmemektedir. Zeminden deprem verilerini algılayan sismometreler, gerçekten de el kitaplarında yazıldığı gibi mi çalışmaktadır? Araştırmalar, bunun böyle olmadığını göstermektedir. Türkiye’de bu konuda ciddi sıkıntıların bulunduğu düşünülmektedir.



Şekil 1.1 Türkiye'nin sismotektonik haritası ($M_s \geq 4.0$ ve 1900-1993) (Demirtaş ve Yılmaz, 1996). Dairelerin büyüklükleri deprem magnitüdleri ile orantılıdır.

Sismometrelerin nakil ve yerleştirme aşamalarında, ayrıca sismometrelerin kurulmasından sonra geçen zaman içerisinde, bazı fiziksel parametre değerlerinde farklılaşmalar söz konusu olabilmektedir. Bir sismometrenin kütlesi hariç doğal frekansı, hassasiyeti, manyetik alanı ve yay sabiti gibi çok önemli parametre değerleri değişebilmektedir. Bu durumlardan dolayı sismometrelerin bağlı bulundukları şebekelerde, yılda bir veya iki kez periyodik bakımlarla kontrol edilmesi ve problemli olan sismometrelerin tesbit edilerek, gerekli test işlemlerinin uygulanmasıyla elde edilecek yeni parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Böylece sismometre ile zeminden nasıl bir veri alındığı daha iyi anlaşılabilir ve sağlıklı çalışma ortamları sağlanabilmektedir(Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Düşey bileşenli hareketli bobin tipi sismometrenin prensibi.

B Anakaya, P Beton Platform, F Yapısı, M Sarkacın kütlesi, PM Sürekli mıknatıs, C Bobin, S yay, A büyütücü ve FL filtre.

1.1 Çalışmanın Amacı:

Sismometrenin kalibrasyonu ile ilgili bazı pratik yöntemleri öğrenmek, mümkün olabilir ise, bu bilgileri Deprem Araştırma Dairesi'ne fayda sağlayacak şekilde kullanmak çalışmanın başlıca amacıdır. Ayrıca bir sismometrenin yer seçimi, kurulması ve düzenlenmesi çalışmaları uygulamalı olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada sismometrelerin 4 adet yöntemle test edilmesi hedeflenmiştir. Bu yöntemlerden iki tanesi imkanlar doğrultusunda Deprem Araştırma Dairesi'nde uygulanmıştır.

Ayrıca, dairemizde çeşitli nedenler ile kullanılamaz hale gelmiş eski tip sismometreler bulunmaktadır. Bunların test edilerek eğitim ve diğer amaçlar doğrultusunda kullanılmaları sağlanarak, bilime hizmet başlıca hedef teşkil etmektedir.

1.2 Tezin içeriği:

Sismoloji çalışmalarının önemli bir konusu olan ve sismik hareketi algılayan cihazlar (sismometreler) çalışma konusu seçilmiştir. Bu çalışma, Japonya'da sismoloji kursunda başlayıp Türkiye'de devam etmiştir.

Elde edilen 4 adet sismometre kalibrasyon yöntemi ve uygulamaları ile Türk Japon projesinden bilgiler aktarılmaktadır. Özellikle de bir sismometre yerinin seçiminden, son test işlemlerine kadar olan aşamalar ayrıntılı verilmektedir.

Ayrıca, sismograflar hakkında genel bilgiler verilerek, tarihsel akış içerisinde resimli örneklerle sunulmaktadır.

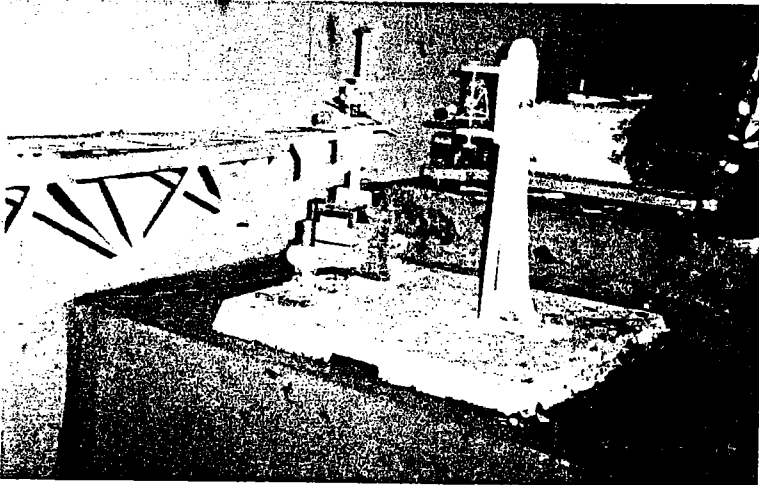
BÖLÜM 2. SİSMOGRAFLARIN GENEL YAPISI

Depremlerin kaydı için kullanılan aletlere sismograf denir. Sismograf, sismometreden elektriksel çıkış voltajı sinyalini kayıt eden alettir. Sismograflar üç ana kısımdan oluşur.

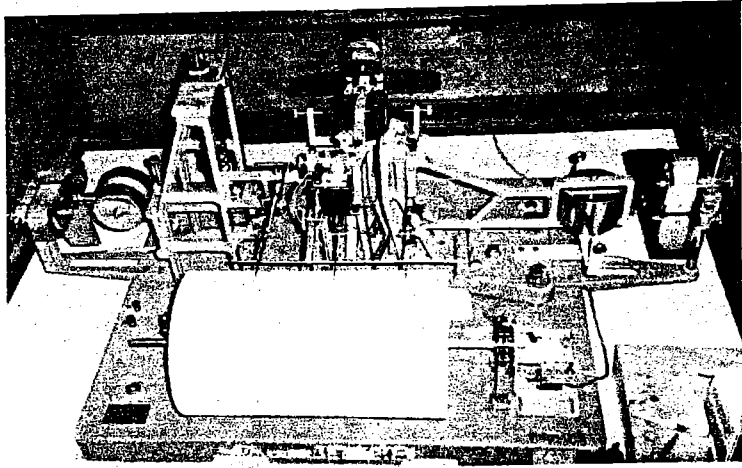
- 1- Algılayıcı (Sismometre)
- 2- Koşullandırıcı
- 3- Kayıtçı

2.1. Algılayıcı

Genellikle; Sismometre olarak tanımlanır ve sismometrenin türüne göre düşey ve yatay hareketleri algılar. Mekanik sismometreler genellikle basit sarkacın çalışma prensibi ile çalışmaktadır (Şekil 1.2). Klasik sismometrelerin bir çoğunda (Benioff, Press-Ewing ya da Grenet-Coulomb) kütle, çeşitli helical yaylarla yer çekimine karşı koyar (Şekil 2.1). Wielandt-Streckeisen sismometreleri ise 1970'li yılların ortalarına doğru parça yay susturucularının kullanımıyla geliştirildi (Wielandt, 1983) (Şekil 2.2).

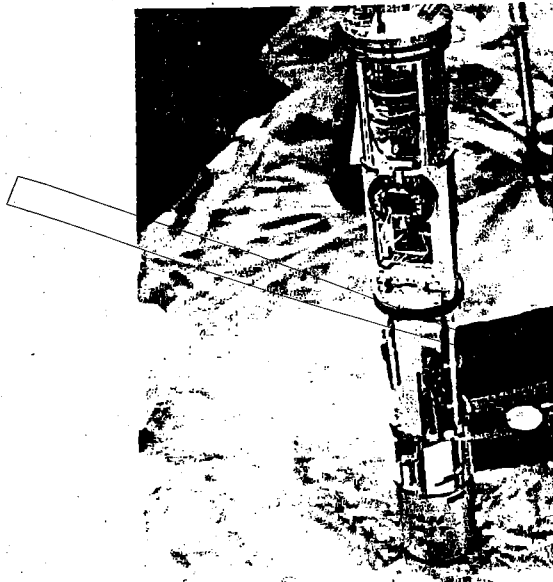


Şekil 2.1 1945'li yıllarda Alman uzmanların yaptıkları yatay bir sismograf



Şekil 2.2 1970'li yıllarda üretilen bir sismograf (3 Bileşen, yerdeğiştirme ölçer)

Hareketli bobin tipi sismometreler, gelen sismik dalga enerjisini elektriksel sinyale dönüştürür (Şekil 2.3). Sismik-elektrik enerji dönüştürücü gibi (sensör, dedektör) çalışmaktadır. Yer hareketinin ivme, hız ya da deplasman gibi koşullarına hassastır. Özellikleri; doğal peryod (ya da frekans), yay sabiti, hassasiyet ve yükseltici değeri gibi fiziksel parametrelerle tanımlanır.



Şekil 2.3 Üç bileşenli modern bir sismometre (VSE-355JE)

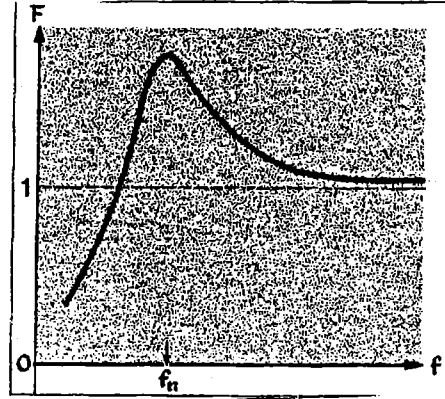
Sismometreler yer hareketinin 3 bileşeninden birini ölçerlerdi (Kuzey-Güney, Doğu-Batı, Düşey). Günümüzde sismometreler 3 bileşeni algılayacak şekilde imal edilmektedir. Bir çok modern sismografik istasyonlar, standart dünya zaman servisleriyle çalışarak zaman sinyali gönderen radyolar ile 1-10 ms hassasiyetteki sinyalleri, günlük karşılaştırarak tutabilen saatler bulundurmaktadır. Zaman sinyali gönderme fikrini Willmore bulmuş olabilir(1979). Sismologlara dünya üzerinde Greenwich yerel saati ile ortak zaman sinyali ve evrensel zaman koordinatı (Universal Time Co-ordinated) (UTC) sağlanır (Kulhanek, 1990).

Standart sismometreler, hareketli bobin tipinden geri beslemeli sismometre tipine geçişi 1970'li yılların başında başlamaktadır. Hareketli bobin tipi sismometreler, sabit manyetik alan içerisinde bobin hareketiyle üretilen voltajı verirler. Bu tip sismometreler dar frekans bandında (0.1-30 Hz) ölçüm yaparlar. Bunlara ilave olarak, maksimum algılama genlik değerleri de belirli bir sınıra (500 gal) kadardır

Günümüzde, bütün kuvvetli yer hareketi gözlem yerlerinde, geri beslemeli sismometreler kullanılmaktadır. Bu tip sismometreler boyutlarının küçük olmasından dolayı sonda borusu içinde çalışmaya çok uygundur. 0.01-100 Hz arasındaki frekansları yakalayabilirler. Şimdilerde geri beslemeli sismometrelerin maksimum algılama genlikleri 2000 gal veya 200 cm/s nin üzerindedir. Günümüzde çok daha modern sismograflar; A/D 24 bitlik dönüştürücülerle sayısal kayıt sistemleri ve geri beslemeli sismometreler kullanılmaktadır. Sismograflarda hafıza kartlarının kullanılmasıyla geniş kapasite elde edilebilir. Örneğin 100 Hz örnekleme aralığı ile 2 saatten daha fazla kayıt alınabilir (Kinoshita, 1997) (Şekil 2.3).

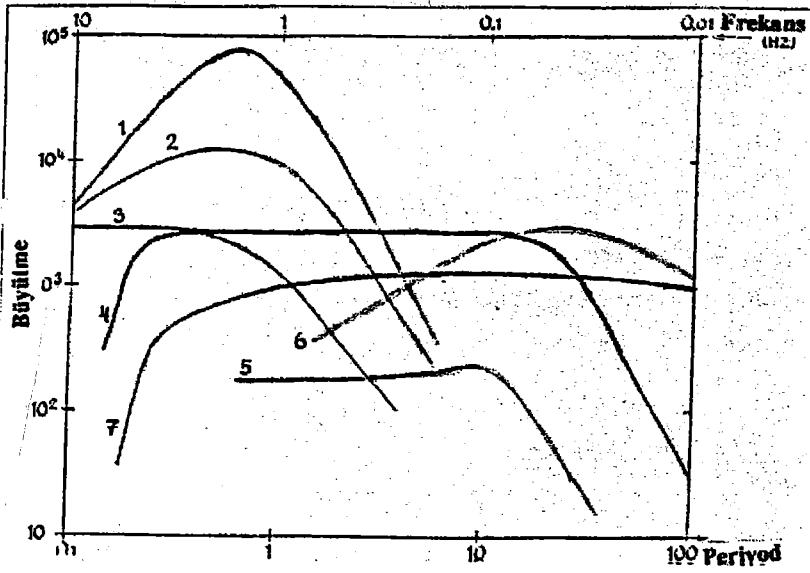
Sismometrelerin frekans karakteristiklerini bilmek çok önemlidir. Her bir sismometrenin bir doğal frekansı f_0 (ya da periyod T_0) bulunmaktadır. Sismometre doğal periyodunda maksimum düzeyde çalışmaktadır (Şekil 2.4). Sismometreler ayrıca bir frekans bandına sahiptir. Alabilecekleri maksimum ve minimum frekans değerleri bulunmaktadır. Sismometrelerin frekans bandı ve doğal periyodu, cihazın çalışma amacına göre düzenlenerek imal edilir. Çalışmanın ana konusu, belirli bir

frekans ve hassasiyete sahip olan sismometrelerde meydana gelebilecek değişiklikleri bularak, onların gerçek durumlarını ortaya çıkarmaktır. Sismometre, doğal frekansında (f_n) çok üst düzeyde hassasiyete sahiptir. Yer hareketinin periyodu ile sarkacın periyodu karşılaştırıldığında sismometrenin davranışını verir. Şekil 2.4 için 3 farklı durum ayırt edilebilir. Birincisi, sarkacın periyodu yer hareketinin periyodundan çok daha fazla ise, (Şekil 2.4'ün sağ kısmı) kayıt izi yerin deplasmanına orantılıdır. İkincisi, her iki periyod aynı ise (Şekil 2.4'ün orta kısmı) rezonans oluşur ve kayıt izi yerin hızı ile orantılıdır. Üçüncüsü, sarkacın periyodu yer hareketinin periyodundan çok az ise, (Şekil 2.4'ün sol kısmı) kayıt izi yer hareketinin ivmesi ile orantılıdır. Sarkaçların doğal periyodlarının ayarlanmasıyla, yer hareketinin çeşitli karakterlerde kayıtları elde edilebilmektedir (deplasman, hız, ivme). Sismometrenin doğal frekans hassasiyeti sistemin **Büyütme Karakteristikliği, Frekans Karakteristikliği** yada **Tepki Karakteristikliği** olarak adlandırılmaktadır (Kulhanek, 1990).



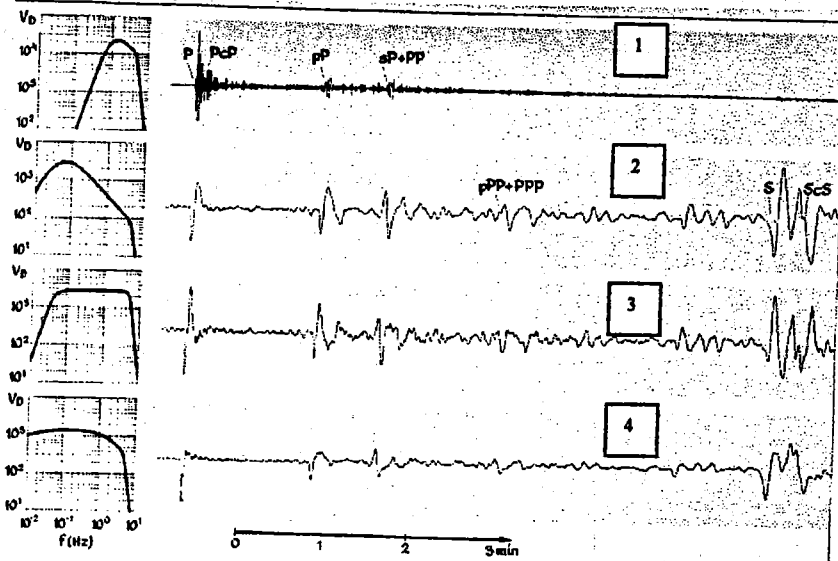
Şekil 2.4 Frekans ortamında sismometrenin genlik tepkisi

Sismometrenin doğal periyodu ve diğer aletsel sabitlerin (yay, bağlantı cisimi) iyi seçimiyle, çok uzun ve çok kısa periyodlu sistemler, ya da geniş frekans aralığı, dizayn edilebilir. Farklı frekans karakteristiklerinin bazı örnekleri Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 da gösterilmektedir. Tablo 2.1 de Deprem Araştırma Dairesi'nde kullanılan sismometreler özellikleriyle birlikte verilmektedir.



Şekil 2.5 Bazı sismograf sistemlerinde tepki karakteristikliği:

- 1) Benioff (SP-WWSSN); 2) Grenet-Coulomb; 3) Wood-Anderson; 4) Kirnos; 5) Wiechert; 6) Press-Ewing (LP-WWSSN); 7) Broad-band.



Şekil 2.6 Farklı genlik ve frekans karekteristikleriyle tanımlanan sismogramlar.

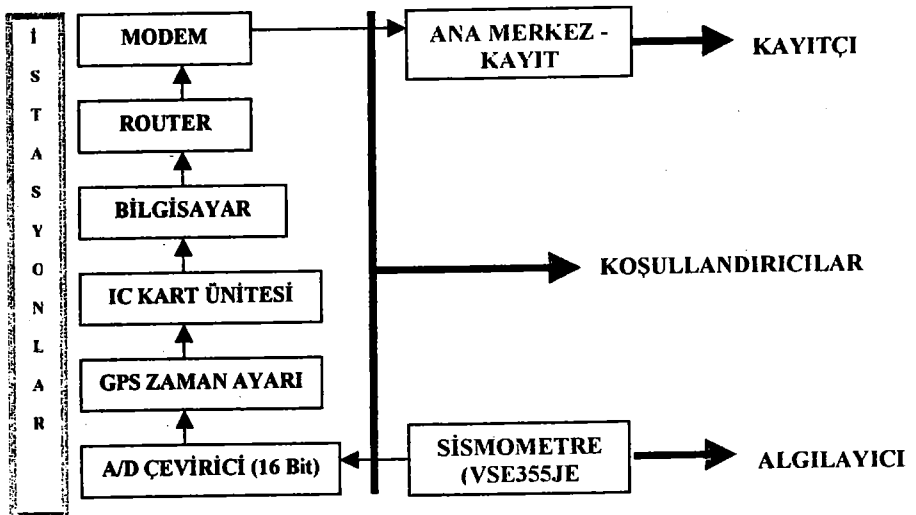
- 1) Kısa Periyod WWSSN Sismograf; 2) Uzun Periyod WWSSN; 3) Kirnos; 4) Broad -Band

Tablo 2.1 Deprem Araştırma Dairesinde bulunan sismometrelerin listesi

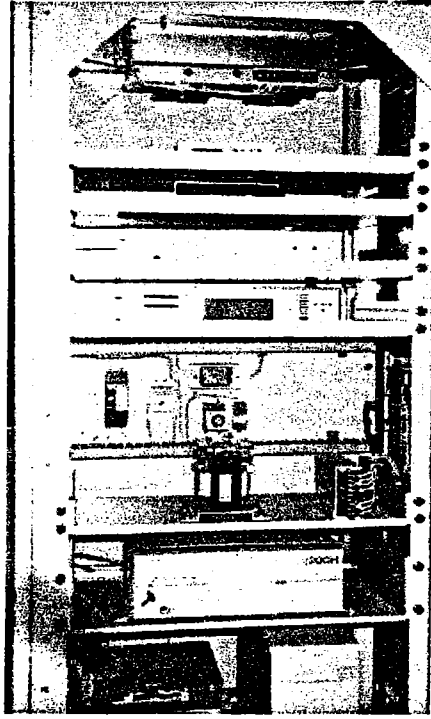
Proje Adı (Deprem Araştırma Dairesi)	Toplam Sayısı	Markası yada Tipi	Doğal Frekans	Bileşen
Türk-Alman Projesi (Bolu Adapazarı Bölgesi)	20	Willmore	1	1
	7	Mark	1	1
	23	Mark	2	1
	15	L-4	1	3
Türkiye'nin Telemetry Ağı	19	S-13	1	1
Aftershock Çalışmaları	5	SSR-1	1	1
	5	SSR-1	1	1
Türkiye'nin Kuvvetli Yer Hareketi Ağı	73	SMA-1	-	-
	19	SM-2	-	-
	1	SSA-2	-	-
	26	GSR-16	-	-
Türk-Japon Projesi (Deprem Zararlarının Azaltılması)	10	VSE-355JE	1	3

2.2. Koşullandırıcı

Sismometrelerden alınan sismik bilgiler, yükseltici ve süzgeçleme gibi birimler ile desteklenmektedir. Bilgisayar ortamında veriler çok daha sağlıklı ve hızlı alınmaktadır. A/D analogtan sayısal hale dönüştürme ve modem gibi ara cihazlar ile iletişim hatları üzerinden ana kontrol merkezine ulaştırma gibi sistemler, günümüzde çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.7, Şekil 2.8).



Şekil 2.7 Algilayıcı, koşullandırıcı ve kayıt ortamlarının ilişkisi (Deprem Zararlarının Azaltılması Proje Dergisi, 1998).



Şekil 2.8 Sismometreden alınan verileri kayıt merkezine gönderen sistem.
(Deprem Zararlarının Azaltılması Projesinde İstasyonlarda bulunan Rack sistemi).

2.3. Kayıtcı

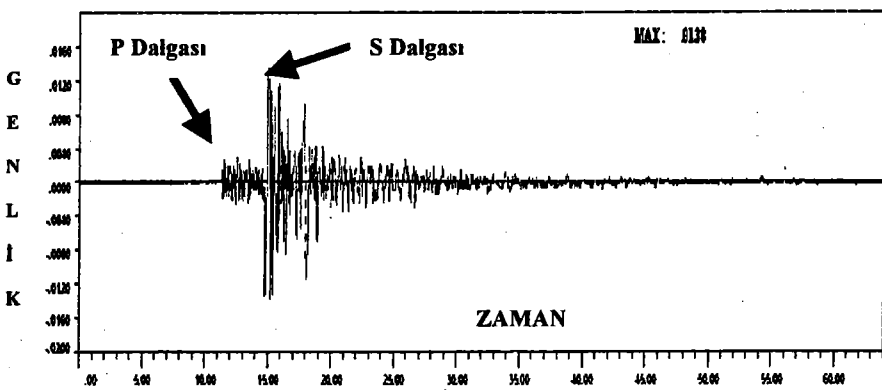
Koşullandırıcılardan çıkan sinyallerin kayıtcı ortamı üzerindeki kağıt üzerine veya manyetik teyp veya disket gibi saklayıcı ortamlarda tutularak elde edilen bilgilerin kullanılmasıdır. Günümüzde yukarıda bahsedilen işlemler bir bütünlük gibi tanımlanmakta, özellikle koşullandırıcılar çok daha ileri teknoloji ile kolay kayıt almamızı sağlamaktadır (Şekil 2.8).

Sismik dalgaların kayıtları farklı yollarla alınabilmektedir. Daha eski sismograflar (Wiechert ya da Mainko), sadece mekanik kayıtcıları kullanarak düşük büyütme sağladılar (Şekil 2.9). Diğer eski aletler Milne-Shaw ya da Wood-Anderson gibi, mekanik optik kayıtcıları kullandılar.



Şekil 2.9 Tambur üzerinde kayıt alma sistemi (1950'li yılların modeli)

Bilgisayarlar ile bilgi depolama ve eldeki bilgileri istenilen formatta işlemeye yeteneği verilebilmektedir. İnternet aracılığıyla herkesin bilgilere ulaşabilme imkanı sağlanmaktadır. Her türlü yazıcılar ile çıkış alınarak, kağıt üzerine aktarılabilmektedir (Şekil 2.10). Elde edilen çıktı üzerinde çalışılarak sismolojik bilgiler elde edilebilmektedir.



Şekil 2.10 Alınan bir deprem kaydı (Deprem Zararlarının Azaltılması Projesi).

BÖLÜM 3. SİSMOGRAF İSTASYONLARININ KURULMASI

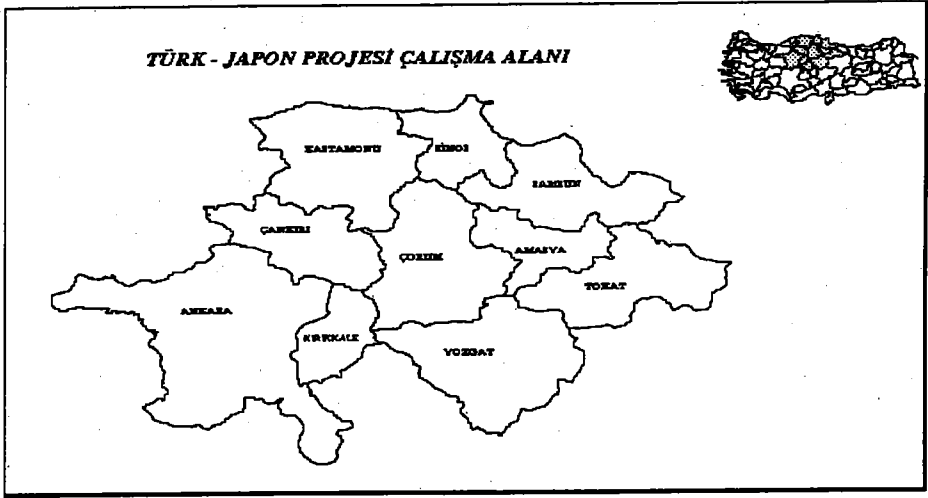
Türkiye gibi, topraklarının çok büyük bir kısmı çeşitli zamanlarda deprem tehlikesine sahip olan ve yeryüzünün bilinen en aktif fay zonlarından birisi üzerinde bulunan ülkelerde, deprem zararlarının azaltılması çalışmaları mutlaka büyük önem ve öncelik verilmesi gereken çalışmalar olmalıdır (Ergünay, 1995).

Ülkemizde meydana gelen depremler çoğunlukla can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Depremlerin yaratacağı zararları en aza indirmek amacıyla gelişmiş ülkelerde çeşitli önlemlere başvurulmaktadır.

Burada, sismograf istasyonlarının kuruluş aşamaları ile bu aşamalarda karşılaşılan güçlükler ve dikkat edilmesi gereken önemli noktaların açıklanması amaçlanmıştır. Bunların açıklanması Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi'nin Japon Uluslar Arası İşbirliği Ajansı (JICA) ile ortaklaşa yürüttüğü 'Deprem Zararlarının Azaltılması Araştırma Merkezi' proje çerçevesinde çalıştırılmakta olan sismograf ağıнын kurulması anlatılarak sunulmaya çalışılmıştır.

3.1. Projenin Tanıtımı (Deprem Zararlarının Azaltılması Araştırma Merkezi)

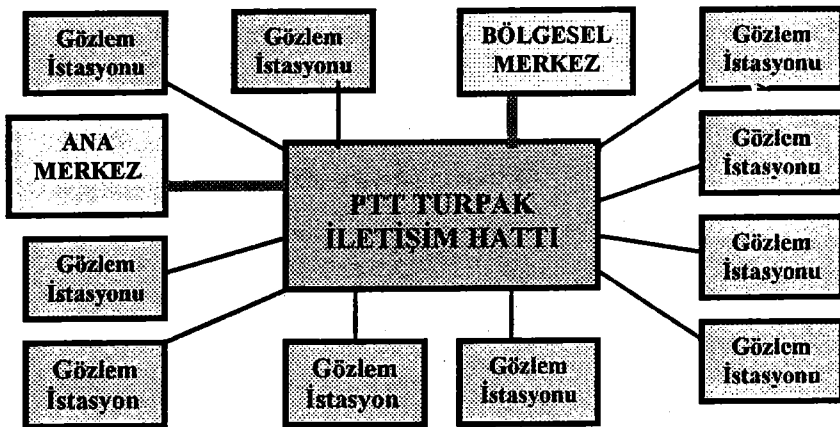
Proje, Kuzey Anadolu Fay hattının orta bölümünde sismik veri toplama, işleme ve sonuçlarını Coğrafik Bilgi Sistemi (GIS) üzerindeki verilerle değerlendirerek deprem sonrası meydana gelebilecek hasar ve kayıpları çok kısa bir sürede belirlemeyi hedeflemektedir (Güler, 1995) (Şekil 3.1). Sistem, Ankara'daki anamerkez ve Samsun bölge merkezinin yanında Çorum, Amasya, Yozgat, Kastamonu, Çankırı, Tokat, Vezirköprü ve Niksar'daki yerel istasyonlardan oluşan bir deprem gözlem ağından oluşmaktadır (Şekil 3.2) (Tablo 3.1). Deprem olduktan hemen sonra, depremin yeri, büyüklüğü, etkilediği bölgenin genişliği, ve muhtemel hasar durumu ile can kaybı hakkındaki tahmini ön bilgileri üretmek, projenin başlıca amacıdır. Sismik bilgileri bilgisayar ağı ile bölgesel ve ana merkeze ileterek, varılan sonuçların değerlendirilmesinden sonra öncelikle üst düzey makamları anında olaydan ve ayrıntılarından haberdar etmektir.



Şekil 3.1 Türk – Japon Projesi’nin çalışma alanı

İstasyonlar	Boylam (D-B)	Enlem (K-G)	Yüksek (metre)	İstasyonlar	Boylam (D-B)	Enlem (K-G)	Yüksek (metre)
Amasya	35°51'.162E	40°40'.092N	520	Samsun	36°22'.100E	41°15'.530N	130
Çankırı	33°36'.120E	40°36'.020N	805	Tokat	36°32'.754E	40°19'.310N	680
Çorum	34°58'.823E	40°34'.719N	894	Vezirköprü	35°26'.130E	41°08'.600N	720
Kastamonu	33°47'.320E	41°24'.480N	694	Yozgat	34°48'.378E	39°48'.697N	1358
Niksar	36°57'.356E	40°34'.833N	460	Ankara	32°45'.169E	39°54'.519N	850

Tablo 3.1 Türk-Japon Projesi’nde, istasyonların koordinatları



Şekil 3. 2 Deprem Zararlarının Azaltılması Projesi’nde iletişim sistemi

***Projede akıllı sistem olarak nitelendirilen sistemin çalışma akışı;**

- 1-Deprem olduğu zaman sistem gözlem istasyonlarından sismik dalga datası alır.
- 2- Aynı anda birçok istasyondan data alınırsa sonrası için depremin önemi belirlenir. Deprem hız datasının maksimum genliğiyle belirlenmiş olur.
- 3- Örneğin, hız değerinin maksimum genliği 100 mkine ya da daha fazla ise bu önemli bir depremdir. Depreme önemli hükmü verilirse, sistem kişisel bilgisayara elektronik mektup ile rapor verir.
- 4- Otomatik geriletici modeli(AR) ve Akaike'nin bilgi kriteri(AIC) kullanılarak P ve S dalgalarının varış zamanları belirlenir.
- 5- Üç ya da daha fazla gözlem istasyonu depremi almayı başarır ise, depremin hiposantır ve oluş zamanı Geiger'in metodu ile belirlenir.
- 6-Üst merkez belirleme işlemi başarılı olursa sistem, yerel magnitüd hesabı yapar. Yerel magnitüd belirlemede M_{JMA} (Japan Meteorological Agency) magnitüdü kullanılmaktadır.
- 7- Sismik şiddet dağılımı yapılır. Hiposantır ve yerel magnitüd belirleme işlemi başarılı olursa, sismik şiddet dağılımı Dr. Okada'nın methodu ile yapılır. Bu method sismik şiddet dağılımını elips şeklinde düşünür.
- 8- Sismik şiddet yoğunluğu ($M \geq 4$ için) yüksek ise sismik şiddet dağılımı başarılı olur ve hasar tahmini yapar. Sistem; mesken hasarı, can kaybı ve yaralı durumu, yol hasarı, köprü hasarı gibi tahminlerde bulunmaktadır(Toshiba, 1997).

Yerel magnitüd hesabı şöyledir;

$$M_{JMA} = \log A_{vi} + 1.64 \log \Delta_i + 0.22 \quad (3.1)$$

Burada A_{vi} düşey bileşende elde edilen maksimum genlik değeri, Δ_i P-S farkından elde edilen uzaklıktır. Bu formül sadece bir istasyon içindir. Magnitüd, depremi algılayan istasyonların tamamı toplanarak ortalamasının alınmasıyla bulunmaktadır. Bu, en sağlıklı magnitüd formülünü vermiş olmaktadır.

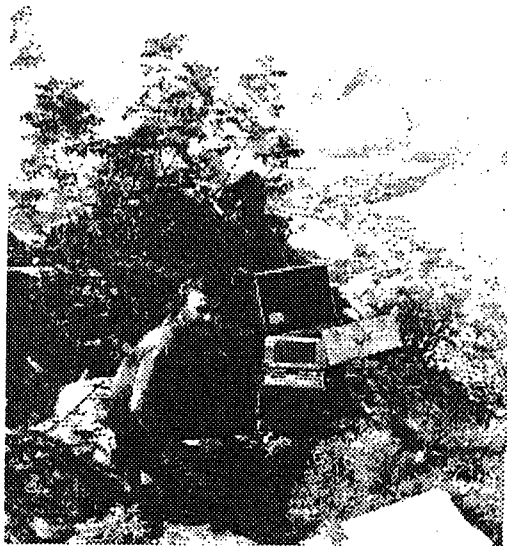
* Toshiba Corporation, 1997, Experimental system of strong earthquake observing network for Earthquake Disaster prevention Center in Turkey, Production Design Specification of Software.

Deprem Zararlarının Azaltılması Araştırma Merkezi'nde kurulan 10 adet istasyon yerinde, öncelikle mikrotremor test çalışmaları yapılmıştır (Şekil 3.3). Sismik istasyonun kurulması düşünülen şehirlerde, şehir merkezine yakın ama mümkün olan en az sismik gürültüye sahip yerlerin tesbiti için yapılan bu çalışmada, her bir şehir için ortalama 5 aday istasyon yeri belirlenmiştir. Belirleme işlemlerinde ısıtma, ulaşım, güvenlik, elektrik ve PTT imkanları gibi koşulların olma şartları da aranmıştır. Mikrotremor çalışmaları sonucunda, tesbit edilen istasyon yerlerinde, elde edilen düşey bileşen gürültü genlikleri(kine), hız-ivme ilişkisi kullanılarak belirli frekans (f), büyüklük(M) ve gürültü seviyesi (n) için Mc Guire's azalım formülüne uyarlanmıştır (Suzuki, 1993).

$$\text{Log } R \text{ (Km)} = -0.84 + 0.325M - 0.84 \text{Log } n(\text{gal}). \quad (3.2)$$

M6000 tipi bir tremor ölçüm cihazı ve PMK 110 tipi (3 bileşen) hız ölçer sismometreler ile yapılan mikrotremor çalışmalarında alınan sonuçlar ile gürültü seviyesi sıralaması yapılmıştır (Şekil 3.4)(Goto, Sömer, Tüzel, Çoruh, 1995).

Bulunan uzaklık değerleri teorik olarak istasyondaki cihazın belirli büyüklükteki bir depremin frekans özelliği de dikkate alınarak algılama mesafesini vermektedir (Şekil 3.5), (Sömer ve Tüzel, 1995).



Şekil 3.3 Arazide mikrotremor ölçüm çalışmaları(Amasya)

3.2. Sismometre Yerinin Hazırlanması

Sismometre yeri hazırlama çalışması, çok özel bir teknik gerektirmektedir. Yapılacak bir yanlış yer seçimi, sistemin verimli olamamasına neden olabilir. Sismometre yer içerisine gömme tipli olduğu için bir platform veya benzeri bir düzenlemeye gereksinimi olmamaktadır (Şekil 3.7).

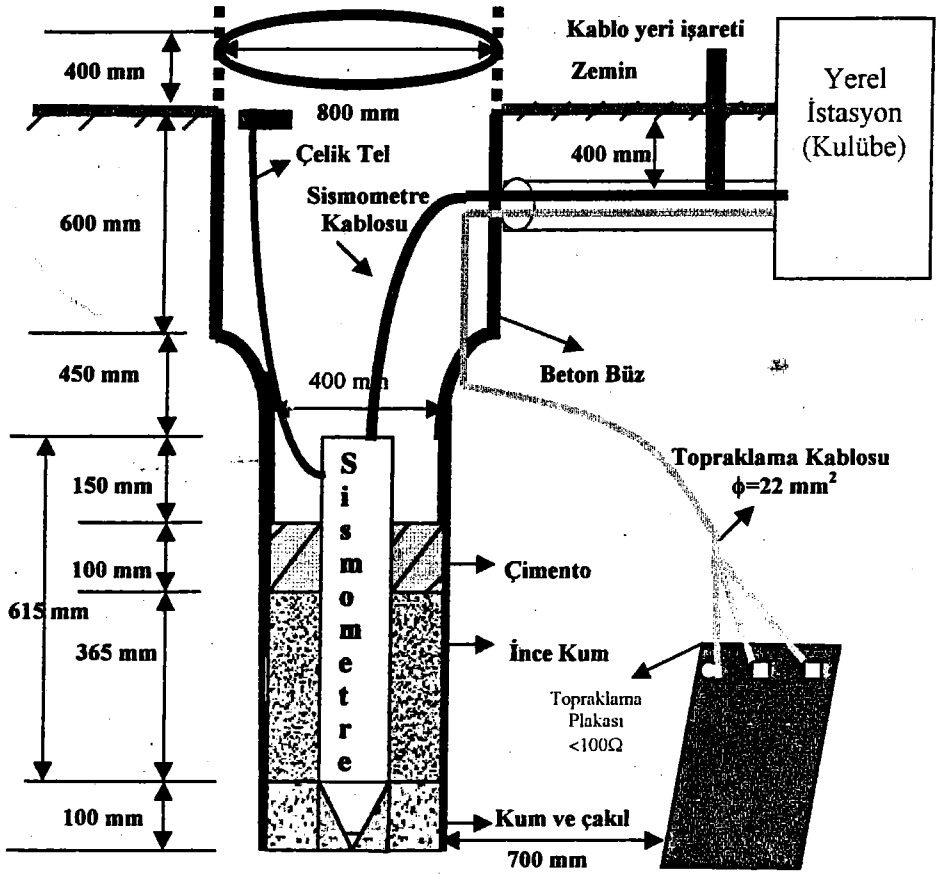
Proje (Kinoshita, 1997) gereğince, gerekli malzemeler alınarak sismometre yerinin hazırlanması çalışması yapılmıştır (Şek 3.7) (Tablo 3.2). Arazi çalışmalarında yapılan işlemler aşağıda verilmektedir:

Boyutları 2 x 2 m ve derinliği 2.5 m olan bir çukur ve bu çukurdan istasyona doğru 30 cm derinliğinde bir kablo hattı açtırılır. Çukurun içerisine 0.5 m² ve 3 mm kalınlığında bakır levha, 25 mm² çaplı topraklama kablosuna bağlantısı yapılarak bırakılır. Bakır levha dik ve kablo bağlantısı yukarıda olacak şekilde zemine çakılır.

Sismometrenin yerleştirileceği yere yaklaşık 50 kg çakıl dökülür. Bu zemin üzerine uzunluğu 1 metre ve iç çapı 40 cm olan beton büz, geniş kısmı yukarıya gelecek şekilde ve yatay ile yaptığı açı 90° olacak şekilde yerleştirilir. Bu beton büzün dışında kalan alan çukurdan çıkarılan aynı malzeme ile doldurulur (Şekil 3.8).

İç çapı 80 cm ve yüksekliği 33 cm olan üç adet beton bilezik, beton büz tam ortada kalacak şekilde üst üste dikkatlice yerleştirilerek araları betonlanır. Beton bileziklerin en üst kısmı, zeminden yaklaşık 30 cm yukarıda bulunmaktadır. Beton bileziğin üzeri beton kapak ile kapatılmaktadır (Şekil 3.9).

Sismometre kablosu ve sistemin topraklama kablosu yaklaşık 30 cm derinlikte plastik (pvc) boru içerisinde, bina yada istasyona ulaştırılır. Sismometre beton büz içerisinde düzenlenmesi için bırakılır (Sömer, 1997). (Tablo3.2).



Şekil 3.7 Sismometrenin zemine kurulma planı (Kinoshita 1997).

Tablo 3.2: Sismometre yeri hazırlama çalışmalarına ait bilgi tablosu

No	Şehir İsimleri	Sism. Yeri Derinliği	Sism. - Kulübe Uzaklığı	Zeminin Yapısı	Kullanılan Malzemeler	Topraklama Direnci, (Ω)
1	Amasya	2.00 m	85.00 m	Yamaç Molozu	Beton Büz(2), Beton Bilezik(3), Beton kapak(1)	55 Ω (24/10/1997)
2	Çankırı	1.80 m	4.00 m	Anakaya	Beton Büz(1), Beton Bilezik(2), Beton kapak(1)	65 Ω (14/10/1997)
3	Çorum	1.70 m	2.50 m	Sert zemin	Beton Büz(2), Beton kapak(1)	98 Ω (30/10/1997)
4	Kastamonu	1.70 m	2.00 m	Anakaya	Beton Büz(1), Beton Bilezik(3), Beton kapak(1)	24 Ω (09/10/1997)
5	Samsun	2.00 m	6.00 m	Sert zemin	Beton Büz(1), Beton Bilezik(3), Beton kapak(1)	45 Ω (17/10/1997)
6	Vezirköprü	2.00 m	7.00 m	Sert zemin	Beton Büz(1), Beton Bilezik(3), Beton kapak(1)	23 Ω (29/10/1997)
7	Tokat	1.70 m	20.00 m	Anakaya	Beton Büz(1), Beton Bilezik(3), Beton kapak(1)	83 Ω (22/10/1997)
8	Niksar	2.00 m	23.00 m	Sert zemin	Beton Büz(1), Beton Bilezik(2), Beton kapak(1)	12 Ω (23/10/1997)
9	Yozgat	2.00 m	5.00 m	Sert zemin	Beton Büz(2), Beton kapak(1)	14 Ω (20/11/1997)
10	Ankara	2.00 m	19.00 m	Gevşek Toprak	Beton Büz(1), Beton Bilezik(3), Beton kapak(1)	4 Ω (07/10/1997)



Şekil 3.8 Sismometre yerinde ilk beton büzün yerleştirilmesi

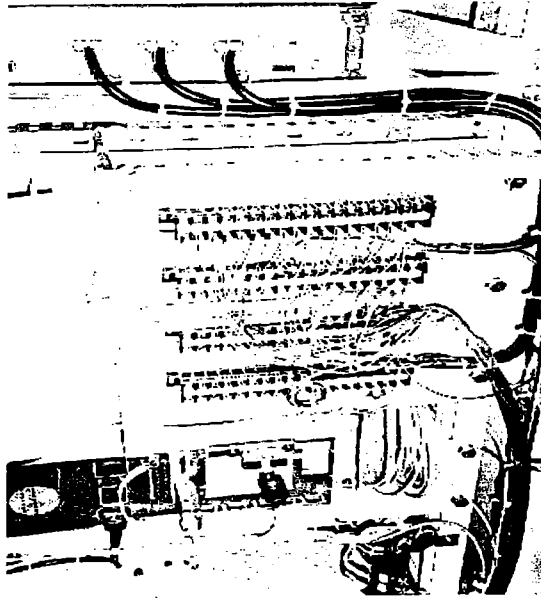


Şekil 3.9 Sismometre yerinde üst beton büzlerin yerleştirilmesi

Yapılan çalışmalar sonucunda sismometre yeri düzenlenmiş olup, sismometrenin kurulma ve düzenlenme çalışmaları için hazır duruma getirilmiştir.

3.3. Sismometrenin Düzenleme ve Ayar Çalışmaları

Sismometre, toprak içerisinde, yaklaşık 20 cm gömüldükten sonra 90° dik duruma getirilmektedir. Rack'a ulaşan sismometre kablosunun ucundaki kablolar açılarak çalışmaya uygun bir şekilde düzenlenmesi sağlanmaktadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Sismometreden gelen kabloların Rack sistemine bağlanması

Toprak içerisine 20 cm kadar gömülü olan sismometre, el ile yerinden çıkartılarak her üç bileşen için ayrı ayrı o yönde hızlı bir şekilde hareket ettirilmektedir. Her bileşenin denenmesi sırasında, o bileşene ait kabloların uçlarına kayıtçı takılarak bu hareketler kağıt üzerine aktarılarak, sismometrenin ilk hareketi (polaritesi) test edilmiş olunur (Şekil 3.11).

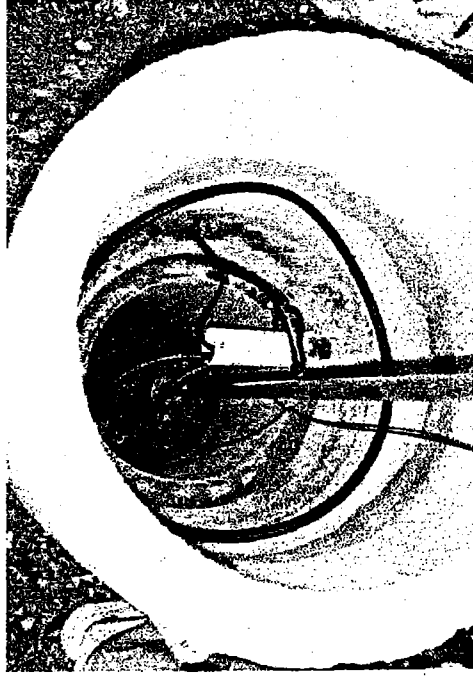
Sismometre, beton büz içerisinde tam ortaya gelecek şekilde dik durumda bırakılmaktadır. Sismometrenin düşey konumu ile yön tayini düzenlenmektedir (Şekil 3.12). Bu durumda iken yaklaşık 10 cm kalınlığında çakıllı kum malzemesi sismometrenin etrafına atılmaktadır. Bu işlem sonrasında 36.5 cm yüksekliğinde ince kum ile beton büz doldurulmakta ve üzerine 10 cm kalınlığında beton atılmaktadır.

Bu arada çalışma esnasında sismometrenin konumunda değişiklik olabileceği göz önünde tutularak yön ve denge durumları yeniden kontrol edilmektedir.



Şekil 3.11 Sismometrenin test işlemlerinden bir görüntü (Polarite tayini)

Bütün bu aşamalardan sonra sismometrede oluşabilecek fiziksel parametre değeri farklılıkları için bir kontrol testi yapılır. Çünkü sismometrenin ulaşım ve tesis etme aşamalarında zarar görme olasılıkları bulunmaktadır. Bu tür durumlara imkan tanımamak için sismometrenin çok yeni de olsa daha önce fabrikasında test edilmiş olan verileri sağlayıp sağlamadığı, basit bir test işlemi sonucunda kolayca anlaşılabilir. Bu aşamada fonksiyon üreticisi kullanılarak sismometreye belirli genlik ve frekanslarda sinüzoidal sinyal gönderilip bunun yanıtının kayıtçı üzerinden alınması şeklinde bir çalışma bulunmaktadır. Ayrıca test işlemlerinde, sismometrenin bağlandığı sistem ile kulübenin topraklama dirençleri Meger ile ölçülmektedir (Şekil 3.13). Kontrol testi ve direnç ölçümü periyodik olarak zaman zaman tekrarlanmalıdır.



Şekil 3.12 Beton büz içerisindeki sismometrenin yön ve düşey konum tayini



Şekil 3.13 Sismometrenin bağlı olduğu sistemin topraklama direnç ölçümü

BÖLÜM 4. SİSMOMETRE KALİBRASYON YÖNTEMLERİ

Tanıtım; Hareketli bobin tipi sismometrede, sarkaca bağlı kütle hareketinin denklemi;

$$\ddot{x}(t) + 2\omega_0 h \dot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) = -\ddot{y}(t), \quad (4.1)$$

Burada $x(t)$ sarkaç kütlelerinin yer değişimi, $\ddot{y}(t)$ yer ivme girişi, ω_0 doğal açısal frekans ($\omega_0 = 2\pi f_0 = 2\pi / T_0$), f_0 doğal frekans, T_0 doğal periyot, h yay sabiti, h_m mekanik yay sabiti ve h_e elektro-magnetik yay sabitidir. Sismometreye eylem yaptıran yer giriş hareketi $y(t)$ kontrol edilebilir ise sismometre, doğrudan kalibre edilebilir (Yokoi, 1996). Giriş yer hareketinin $\ddot{y}(t)$ kontrolü de sismometre kalibrasyonu için kullanılabilir. Bu çalışma sismometre bobini veya kalibre bobinin çıkışına akım verilmesiyle oluşan elektro-magnetik kuvvet kullanılarak yapılmaktadır.

Sismometre kalibrasyonu 4 adet yöntem ile yapılmaktadır. Bunlar; Sarsma tablası üzerinde, Willmore direnç köprüsü ile, Kalibrasyon bobini yardımıyla ve Dalga şekli ters çözümü ile sismometrelerin kalibrasyonudur. Bu yöntemler sırayla ayrıntılı bir şekilde incelenmektedir.

4.1 Sarsma Tablası Üzerinde Sismometrenin Kalibrasyonu

Yerin giriş hareketini $y(t)$ kontrol etme yöntemlerinden birisi Sarsma tablasıyla test işlemidir. Sismometrenin iki ucu arasında bulunan dirence (shunt) R_s paralel bağlı olarak çıkış voltajı formüldeki gibi verilir.

$$e(t) = GR_s / (R_0 + R_s) \cdot \dot{x}(t), \quad (4.2)$$

Burada G elektro-dinamik sabit (hassasiyet) ve R_0 sismometrenin bobin direncidir.

Sarsma tablası sinüzoidal yer değıştirme girişi, açısıl frekans ($\omega=2\pi f$) kuralıyla ($y(t) = y_m \exp(-i\omega t)$) verebilir. Burada f frekanstır. Bu durumda sarkaç kütle hareketi $x(t)$ ile çıkış voltaj değeri $e(t)$ sinüzoidal formda bu şekilde verilir.

$$x(t) = x_m \exp(-i\omega t), \quad e(t) = e_m \exp(-i\omega t)$$

O zaman, sarkaca bağlı kütle hareketi (1) denkleminde yararlanılarak bu formda çözüm yapılabilir.

$$-x_m / y_m = 1 / \{1 - 2ih(\omega_0 / \omega) - (\omega_0 / \omega)^2\} \quad (4.3)$$

Açısıl frekansla (ω) çıkış voltajının giriş yer hızına oranı (4.2) ve (4.3) den sağlanır.

$$\begin{aligned} e_m / (-i\omega y_m) &= \{-e_m / (-i\omega x_m)\} \cdot \{-(-i\omega x_m) / (-i\omega y_m)\} \\ &= -GR_s / (R_0 + R_s) \cdot [1 / \{1 - 2ih(\omega_0 / \omega) - (\omega_0 / \omega)^2\}] \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$-i\{1 + (R_0 / R_s)\} \cdot e_m / (2\pi y_m / T) = G / \{1 - 2ih(T / T_0) - (T / T_0)^2\} \quad (4.5)$$

Her iki denklemin kesin değeri $F_1(T)$ fonksiyonunun tanımını verir.

$$F_1(T) = \left(1 + (R_0 / R_s)\right) \cdot e_m / (2\pi y_m / T) = G / \sqrt{\{1 - (T / T_0)^2\}^2 + 4h^2 (T / T_0)^2} \quad (4.6)$$

Fonksiyonun $F_1(T)$ yüksek frekans asimtotu hassasiyetin (G) kendisini vermektedir.

Her iki denklemin kanıtı yer giriş hızından çıkış voltajı arasındaki faz gecikmesi

$P_1(T)$ fonksiyonuyla verilmektedir. Faz gecikmesi;

$$P_1(T) = \text{Arg}(e_m / y_m) - \pi / 2 = -\tan^{-1} \left[-2h(T / T_0) / \{1 - (T / T_0)^2\} \right] + 2N\pi \quad (4.7)$$

Uygulama bölümünde elde edilecek bilgiler, bu iki formüle uyarlanarak çözüm bulunmaktadır.

4.2 Willmore Direnç Köprüsü Yöntemi ile Sismometrenin Kalibrasyonu

Willmore direnç köprüsü, sismometre bobin direncinin de kullanılmasıyla, sismometreye belirli genlik ve frekansta verilen giriş sinyali sonucu çıkış sinyalinin ölçülmesiyle yapılan bir çalışmadır (Willmore, 1959). Şekil 4.1 de gösterilen devre ile dirençlerden oluşturulan denge verilmektedir (Aoki 1994). A ve B uçları arasında, herhangi bir voltaj (V_{AB}) dengesizliğinin olmadığı için a ve b uçları arasında potansiyel fark (V_{ab}) oluşmaz. Çünkü direnç köprüsü denge halindedir. Sismometrenin sarkacını kilitli kabul edelim, böylece, devrede ikinci bir akım olmayacaktır. Potansiyel fark (V_{ab}) direnç ortamında (R) i akımını, yeterli elektromotive kuvvetle (E) üretir (Şekil 4.1). Akım $I=E/R$ dır.

$$i = E (1 + R_0 / R_s) / \{ R(1 + R_0 / R_s) + R_0 \} \quad (4.8)$$

Eğer sismometre bobindeki direnç R_0 , akım I ise, o zaman shunt direncinde (R_s) akımı $i-I$ olur ve bu iki direnç aynı potansiyel farkı yaratırlar $R_0 I = R_s (i-I)$.

O zaman,

$$I = R_s i / (R_0 + R_s) = E / \{ R(1 + R_0 / R_s) + R_0 \} \quad (4.9)$$

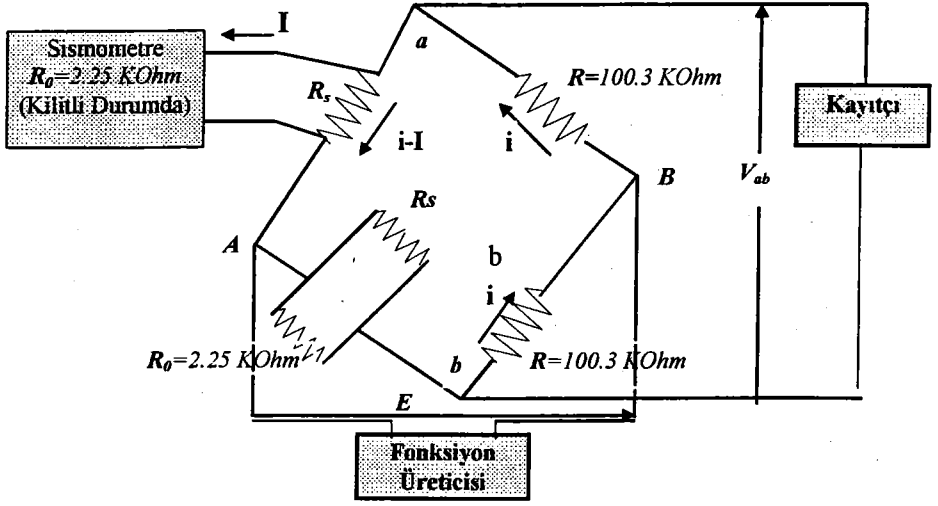
olur. Bu durum fonksiyon üreticisiyle sismometreye ilk giriş akımının verilmesini tanımlar (Şekil 4.2).

Serbest sarkaçta yani sismometrenin salınımı serbest bırakılması durumunda, sarkaçtan dolayı sismometre bobininin neden olduğu elektro-magnetik kuvveti bu akımla tanımlayabiliriz.

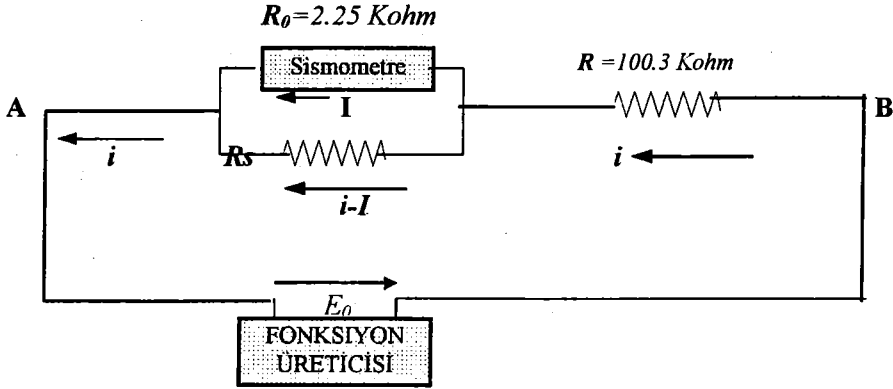
$$F_{em} = G \cdot I = G \cdot E / \{ R(1 + R_0 / R_s) + R_0 \}. \quad (4.10)$$

İzleyen formüldeki gibi hareketin denkleminde bu açıkça görülmektedir.

$$m\ddot{x}(t) + 2m\omega_0 h\dot{x}(t) + m\omega_0^2 x(t) = G \cdot E(t) / \{ R(1 + R_0 / R_s) + R_0 \}.$$



Şekil 4.1 Wiilmore direnç köprüsü ile sismometre, fonksiyon üreticisi ve kayıtcı arasında kurulan ilişki(E : Giriş Voltajı, V_{ab} : Çıkış voltajı).



Şekil 4.2 A ve B uçları arasında gönderilen akım, direnç ve potansiyel fark.

Denklemden yay sabiti bu şekildedir.

$$h = h_m + h_e \quad h_e = G^2 / 2m\omega_0(R_0 + R'_s),$$

Burada h mekanik ve elektro-magnetik yay sabitleri toplamıdır. R'_s sistemdeki toplam direnci tanımlar.

$$R_s' = 1 / \left[(1/R_s) + \{2R + (1/R_0 + 1/R_s)^{-1}\}^{-1} \right] = 1 / \left[(1/R_s) + \{2R + R_s / (1 + R_s / R_0)\}^{-1} \right]$$

$$= R_s \cdot (1 + R_0 / R_s + R_0 / 2R) / \{ (1 + R_0 / R_s) \cdot (1 + R_s / 2R) + R_0 / 2R \} \approx R_s,$$

R_0 Sismometre bobinin direncidir . O zaman,

ise $R \gg R_s > R_0$

$$\ddot{x}(t) + 2\omega_0 \dot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) = G \cdot E(t) / m \{ R_0 (1 + R_0 / R_s) + R_0 \} \quad (4.11)$$

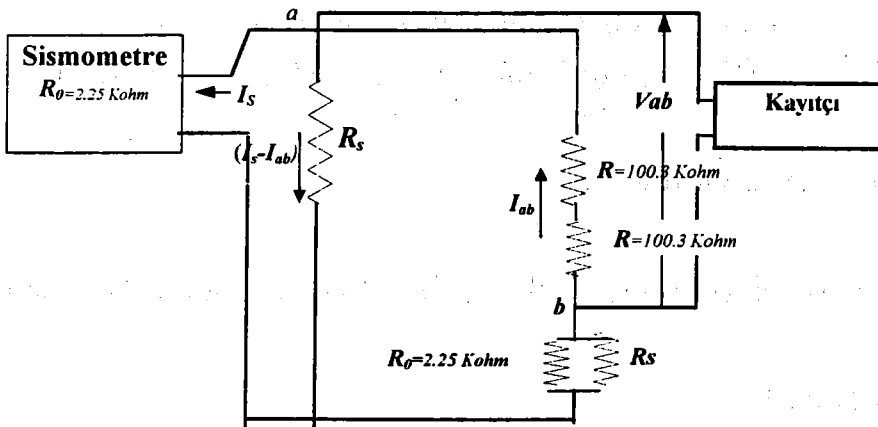
Bu hareket $\dot{x}(t)$ ikinci bir elektro-motive kuvvet üreterek $E^s(t) = G \cdot \dot{x}(t)$, ikinci bir akıma neden olur. Bu durumda sismometreden çıkış yapan akım ise;

$$I^s(t) = E^s(t) / (R_0 + R_s') = G / (R_0 + R_s') \cdot \dot{x}(t), \quad (4.12)$$

olur. Bu akım ile üretilen potansiyel fark V_{ab} izleyen formüldeki gibi hesaplanmaktadır (Şekil 4.3). Eğer iki R direncinde akım I_{ab} ise shunt direncinde de R_s akım $I^s - I_{ab}$ olmalı ve shunt direncin arasında R_s potansiyel farkı iki yolla verilmektedir.

$$\{2R + (1 / 1 / R_0 + 1 / R_s)\} \cdot I_{ab} = R_s (I^s - I_{ab})$$

Bu formülden yararlanılarak I_{ab} ve potansiyel fark V_{ab} bu şekilde bulunur.



Şekil 4.3 a ve b uçları arasında akım, direnç ve elde edilen potansiyel fark V_{ab}

$$I_{ab} = I^s R_s / \{ R_s + 2R + (1 / R_0 + 1 / R_s)^{-1} \} \quad (4.13)$$

$$V_{ab} = -2RI_{ab} = -2RR_s I^s / \{R_s + 2R + (1/R_0 + 1/R_s)^{-1}\} = -R_s'' T^s, \quad (4.14)$$

Burada da R'' , ikinci kez devredeki bütün dirençlerin katılımıyla oluşan toplam shunt direnci tanımlar;

$$\begin{aligned} R_s'' &= R_s \cdot 2R / \{R_s + 2R + (1/R_0 + 1/R_s)^{-1}\} & R \gg R_s > R_0 \text{ ise} \\ &= R_s \cdot (1 + R_0/R_s) / \{1 + (R_s/2R)(1 + R_0/R_s) + R_0/2R\} \cong R_s, \end{aligned}$$

Denklemden verilen şartlar sonucunda R_s 'e eşit sonuç alınır. O zaman,

$$V_{ab} = -G \cdot R_s'' / (R_0 + R_s') \cdot \dot{x}(t) \cong -G / (1 + R_0/R_s) \cdot \dot{x}(t), \quad \text{ise } R \gg R_s > R_0. \quad (4.15)$$

Willmore direnç köprüsü ile teorik olarak, sismometrenin çıkış voltajı bulunmuştur. Şimdi bu teorik değerleri sinüzoidal ve step giriş sinyalleri vererek uyarlıyalım. Anlatılacak olan her iki yöntemde de bu aşamadan sonrası için yapılan çalışmalar anlatılacak, tekrar bu bilgilere değinilmeyecektir.

4.2-1 Sinüzoidal Dalga Giriş Sinyali İle

Bütün sinyallerde açısal frekans (ω) ile sinüzoidal fonksiyonun formunu

$$\begin{aligned} x(t) &= x_m \exp(-i\omega t), \quad y(t) = y_m \exp(-i\omega t), \\ \text{varsayalım,} \quad E(t) &= E_m \exp(-i\omega t), \quad V_{ab}(t) = (V_{ab})_m \exp(-i\omega t), \end{aligned}$$

Denklemden (4.11) dan yararlanılarak

$$x_m / E_m = -G / m \{R(1 + R_0/R_s) + R_0\} \cdot (-1) / \{1 - 2ih(\omega_0/\omega) - (\omega_0/\omega)^2\} \omega^2 \quad (4.16)$$

Denklemden (4.15) den de

$$\begin{aligned} &\text{ise } R \gg R_s > R_0 \\ (V_{ab})_m &= -G \cdot R_s'' / (R_0 + R_s') \cdot (-i\omega) x_m \cong -G \cdot R_s / (R_0 + R_s) \cdot (-i\omega) x_m, \quad (4.17) \end{aligned}$$

O zaman x_m 'e bağılı olarak formül ise $R \gg R_s > R_0$ koşullarına göre düzenlenir ise

$$(V_{ab})_m / x_m = i\omega G R_s'' / (R_0 + R_s') \cong i\omega G R_s / (R_0 + R_s). \quad (4.18)$$

Bu iki denklemle (4.16), (4.18) giriş ve çıkış sinyallerinin oranı formülüne edilir.

$$\begin{aligned} (V_{ab})_m / E_m &= \{(V_{ab})_m / x_m\} \cdot (x_m / E_m) \\ &= -i\omega G R_s / (R_0 + R_s) \cdot G / m \{R(1 + R_0 / R_s) + R_0\} \cdot 1 / \{1 - 2ih(\omega_0 / \omega)(\omega_0 / \omega)^2\} \omega^2 \end{aligned} \quad (4.19)$$

Kesin sonuç ise;

$$|(V_{ab})_m / E_m| = 1 / \omega \{R_s' / R_s'' + R_0 / R_s'\} \cdot G^2 / m \{R(1 + R_0 / R_s) + R_0\} \cdot 1 / \sqrt{\{1 - (\omega_0 / \omega)^2\}^2 + 4h^2(\omega_0 / \omega)^2}. \quad (4.20)$$

bulunur. Bu denklemin kullanılmasıyla $F_2(T)$ fonksiyonunun tanımı yapılarak aşağıdaki gibi formülüne edilir.

$$\begin{aligned} F_2(T) &= \omega (R_s' / R_s'' + R_0 / R_s') \cdot \{R(1 + R_0 / R_s) + R_0\} \cdot |(V_{ab})_m / E_m| \\ &= (G^2 / m) / \sqrt{\{1 - (\omega_0 / \omega)^2\}^2 + 4h^2(\omega_0 / \omega)^2}, \end{aligned} \quad (4.21)$$

Burada, fonksiyonun ($F_2(T)$) yüksek frekans asimtotu için elektro-dinamik sabit (G^2/m) değeri bulunmuştur. Sarkacın kütlesi (m) biliniyor ise sismometrenin hassasiyeti (G) kolayca bulunabilmektedir.

Faz gecikmesi ise aşağıda tanımlanan formülle verilir;

$$Arg((V_{ab})_m / E_m) \cong -\pi / 2 - \tan^{-1} \left[-2h(\omega_0 / \omega) / 1 - (\omega_0 / \omega)^2 \right] + 2N\pi \quad (4.22)$$

Bu denklemin kullanılmasıyla $P_2(T)$ fonksiyonunun tanımı aşağıdaki gibi verilir.

$$P_2(T) = Arg((V_{ab})_m / E_m) + \pi / 2 = -\tan^{-1} \left[-2h(\omega_0 / \omega) / \{1 - (\omega_0 / \omega)^2\} \right] + 2N\pi. \quad (4.23)$$

$P_2(T)$ fonksiyonunda, $\pi/2$ için $T=T_0$ değerlerine eşittir.

Faz gecikmesi bilgileri ile sismometrenin doğal periyodu bulunabilmektedir.

4.2-2 Step Dalga Giriş Sinyali İle

Voltaj değerimizi $E(t) = E_0 \cdot H(t)$, kabul ederek (4.11) formülde $H(t)$ ile Heviside fonksiyonunu tanımlayalım. Zaman ortamında hareketin denklemi;

$$\ddot{x}(t) + 2\omega_0 \dot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) = GE_0 H(t) / m \{ R_0 (1 + R_0 / R_s) + R_0 \}, \quad (4.24)$$

$$\dot{x}(t) = \begin{cases} GE_0 / m \{ R(1 + R_0 / R_s) + R_0 \} \cdot e^{-\omega_0 h t} / \omega_0 \sqrt{1 - h^2} \cdot \sin(\omega_0 \sqrt{1 - h^2} \cdot t) & \text{ise } h < 1, \\ GE_0 / m \{ R(1 + R_0 / R_s) + R_0 \} \cdot t \cdot e^{-\omega_0 t}, & \text{ise } h = 1, \\ GE_0 / m \{ R(1 + R_0 / R_s) + R_0 \} \cdot \sinh(\omega_0 \sqrt{h^2 - 1} \cdot t) & \text{ise } h > 1. \end{cases} \quad (4.25)$$

(4.15)düzenlenerek çıkış voltaj değeri yine h 'a bağlı olarak bu şekilde verilmektedir.

$$V_{ab}(t) = \begin{cases} -(G^2 E_0 R_s) / [m(R_0 + R_s) \{ R(1 + R_0 / R_s) + R_0 \}] \cdot e^{-\omega_0 h t} / \omega_0 \sqrt{1 - h^2} \cdot \sin(\omega_0 \sqrt{1 - h^2} \cdot t) & \text{ise } h < 1, \\ -(G^2 E_0 R_s) / [m(R_0 + R_s) \{ R(1 + R_0 / R_s) + R_0 \}] \cdot t \cdot e^{-\omega_0 t}, & \text{ise } h = 1, \\ -(G^2 E_0 R_s) / [m(R_0 + R_s) \{ R(1 + R_0 / R_s) + R_0 \}] \cdot \sinh(\omega_0 \sqrt{h^2 - 1} \cdot t) & \text{ise } h > 1. \end{cases} \quad (4.26)$$

Doğal periyod ile görünür (açık) periyodun hesaplanması aşağıdaki gibidir.

$$T_d = \begin{cases} T_0 / \sqrt{1 - h^2} & \text{ise } h < 1, \\ T_0 & \text{ise } h = 1, \\ T_0 / \sqrt{h^2 - 1} & \text{ise } h > 1. \end{cases}$$

Yay sabiti (h); şeklindeki değerlerde $h < 1$ ve piklerin genlik değerleri oranının yay sabiti oranıyla ölçülmesiyle bulunabilmektedir. Yay sabiti $h = 1.0$ değerine çok yakın olduğu zaman, eğriler oluşamayabileceğinden yay sabiti oranı değerini zor tanımlanmaktadır. Bu durumda kayıttaki maksimum genlik değerin 0.2 zaman değerinde bulunan periyod (T_w) ile yay sabitinin (h) ilişkisi incelenmektedir (Kitsunezaki ve Goto, 1964). (4.26) denkleminde yararlanılarak birinci pikin genliği;

$$(I_{ab}^*)_{f.p.} = -(G^2 E_0 R_s) / [m \{ R(1 + R_0 / R_s) + R_0 \} (R_0 + R_s')] \cdot 1 / \omega_0 \cdot 1 / P(h), \quad (4.27)$$

burada

$$P(h) = \begin{cases} \left\{ \exp \left\{ h / \sqrt{1 - h^2} \tan^{-1} (\sqrt{1 - h^2} / h) \right\} \right\} & \text{ise } h < 1, \\ 2.718, & \text{ise } h = 1, \\ \left\{ \exp \left\{ h / \sqrt{h^2 - 1} \tanh^{-1} (\sqrt{h^2 - 1} / h) \right\} \right\} & \text{ise } h > 1. \end{cases}$$

Burada $p(h)$ değeri h 'a bağlı olarak Kitsunezaki ve Goto'nun hazırlamış olduğu taslak çizimler yardımıyla bulunabilmektedir (Şekil 4.4). Birinci pikin genliği yay sabitine bağlı olarak verildiği için, G^2/m değeri aşağıda gösterilen formülde ki gibi verilebilmektedir.

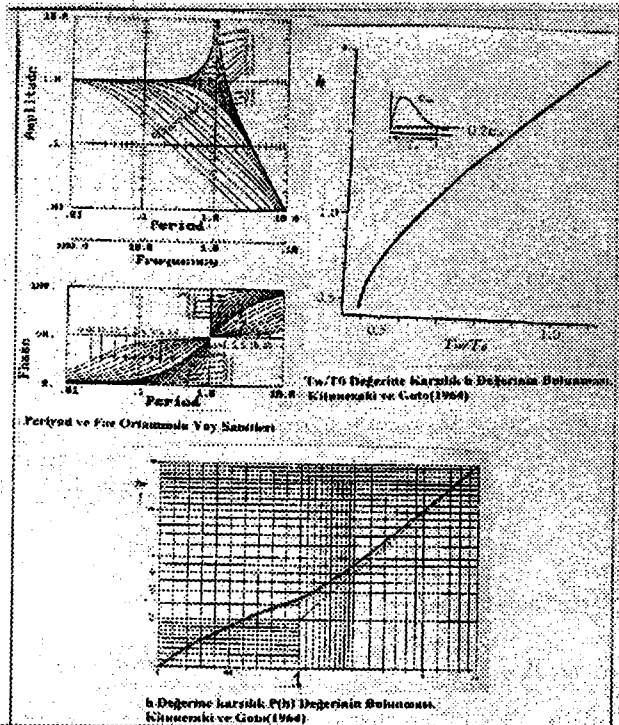
$$G^2 / m = \left\{ (V_{ab})_{f.p.} / E_0 \right\} \cdot \left\{ R(1 + R_0 / R_s) + R_0 \right\} \cdot (R_0 + R_s') / R_s'' \cdot \omega_0 P(h) \quad (4.28)$$

$$\cong \left\{ (V_{ab})_{f.p.} / E_0 \right\} \cdot \left\{ R(1 + R_0 / R_s) + R_0 \right\} \cdot (1 + R_0 / R_s) \cdot \omega_0 P(h).$$

R_s sonsuz ve $R \gg R_0$ durumları için G^2/m değeri aşağıdaki gibi düzenlenerek bulunabilmektedir.

$$G^2 / m \cong \left\{ (V_{ab})_{f.p.} / E_0 \right\} \cdot R \omega_0 P(h) \quad (4.29)$$

Dirençlere bağlı olarak, sismometrenin çıkış sinyalindeki birinci pik ile giriş voltajı, sismometre hassasiyetini kolayca verilmektedir. Burada sismometrenin bobin kütlesinin (m) bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 4.4 P(h) - h, T_w/T_0 - h ile yay sabitinin(h) faz ve frekans ortamındaki görünümleri (Kitsunezaki ve Goto,1964).

4.3 Kalibrasyon Bobini Yardımıyla Sismometrenin Kalibrasyonu

Sismometre de bulunan kalibrasyon bobinine belirli genlik ve frekansta verilen giriş sinyaliyle sismometre bobininde oluşan elektro-magnetik kuvvetin neden olduğu çıkış sinyalinin ölçülmesiyle yapılan bir çalışmadır. Şekil 4.5 da gösterildiği gibi sismometre, kalibrasyon için ikinci bir bobine sahipse, kalibrasyon bobinine verilen giriş akımıyla normal bobinden çıkan akım karışmaz. O zaman, herhangi bir şekilde direnç köprüsüne ihtiyaç olmayacaktır.

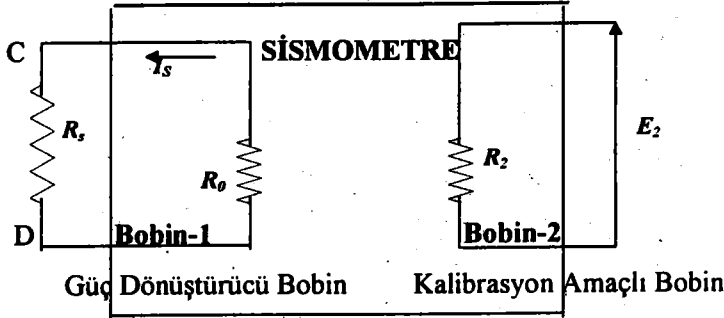
İkinci bobinde giriş akımı I_2 ile üretilen elektro-motor kuvveti E_2 verilebilmektedir.

$$I_2 = E_2 / R_2 \quad (4.30)$$

Burada R_2 kalibrasyon bobin direncidir. Bu akım elektro-magnetik kuvveti,

$$F_{em} = G_2 \cdot I_2, \quad (4.31)$$

Burada G_2 değeri kalibrasyon bobininin elektro-dinamik sabiti ya da hassasiyeti tanımlar.



Şekil 4.5 Sismometre deki bobinlerinin şekilsel görünümü.

Buradaki bobine göre sarkaç kütesinin hareket denklemi;

$$m\ddot{x}(t) + 2m\omega_0 h \dot{x}(t) + m\omega_0^2 x(t) = -G_2 \cdot E_2(t) / R_2$$

Hareket denklemi düzenlenir ise;

$$\ddot{x}(t) + 2\omega_0 h \dot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) = -G_2 \cdot E_2(t) / mR_2 \quad (4.32)$$

$h = h_m + h_e$. Burada h mekanik ve elektro-magnetik yay sabitleri toplamıdır.

Bu esas denklem sonrası çalışma iki farklı giriş sinyalinin kullanılmasıyla devam etmektedir. Giriş sinyallerine göre çalışmalar uyarlanmaktadır.

4.3-1 Sinüzoidal Dalga Giriş Sinyali İle

Bütün bir sinyali, açısal frekans (ω) ile sinisoidal fonksiyon formunda tanımlayalım;

$$\begin{aligned}x(t) &= x_m \exp(-i\omega t), \\y(t) &= y_m \exp(-i\omega t), \\E_2(t) &= E_{2m} \exp(-i\omega t), \\V_{cd}(t) &= (V_{cd})_m \exp(-i\omega t)\end{aligned}$$

(4.32) denkleminde yararlanılarak

$$x_m / (E_2)_m = -G_2 / mR_2 \cdot \{1 - 2ih(\omega_0 / \omega) - (\omega_0 / \omega)^2\} \omega^2 \quad (4.33)$$

(4.15) denkleminde kütle yer değiştirme değeri ve çıkış voltajının oranı verilir.

$(V_{cd})_m = -G_1 R_s / (R_0 + R_s) \cdot (-i\omega) x_m$, Bu denklemleri aşağıdaki formda yazarsak eğer;

$$(V_{cd})_m / x_m = i\omega G_1 R_s / (R_0 + R_s) \quad (4.34)$$

Olur. O zaman,

$$\begin{aligned}(V_{cd})_m / (E_2)_m &= \{(V_{cd})_m / x_m\} \cdot (x_m / (E_2)_m) \\&= -i\omega G_1 G_2 R_s / (R_0 + R_s) mR_2 \cdot 1 / \{1 - 2ih(\omega_0 / \omega) - (\omega_0 / \omega)^2\} \omega^2\end{aligned} \quad (4.35)$$

Kesin sonuç değerini formülüne edildiğinde ise;

$$\begin{aligned}|(V_{cd})_m / (E_2)_m| &= \omega G_1 G_2 R_s / (R_0 + R_s) mR_2 \cdot 1 / \sqrt{\{1 - (\omega_0 / \omega)^2\}^2 + 4h^2 (\omega_0 / \omega)^2} \omega^2 \\&= G_1 G_2 / m \cdot (1 / \omega R_2 (1 + R_0 / R_s)) \cdot 1 / \sqrt{\{1 - (\omega_0 / \omega)^2\}^2 + 4h^2 (\omega_0 / \omega)^2}\end{aligned} \quad (4.36)$$

bulunmaktadır. Bu denklemin kullanılmasıyla $F_3(T)$ fonksiyonunun tanımı yapılarak aşağıdaki gibi formülüne edilmektedir.

$$\begin{aligned}F_3(T) &= \omega R_2 (1 + R_0 / R_s) \cdot |(V_{cd})_m / (E_2)_m| \\&= G_1 G_2 / m \cdot 1 / \sqrt{\{1 - (\omega_0 / \omega)^2\}^2 + 4h^2 (\omega_0 / \omega)^2}\end{aligned} \quad (4.37)$$

Burada fonksiyonun $F_3(T)$ yüksek frekans asimtotu $G_1 G_2 / m$ değerini verir. Burada açısal frekans $\omega = 2\pi/T$ şeklindedir. Faz gecikmesi ise;

$$\text{Arg}(V_{cd})_m / (E_2)_m = -\pi / 2 - \tan^{-1} \left[-2h(\omega_0 / \omega) / 1 - (\omega_0 / \omega)^2 \right] + 2N\pi. \quad (4.38)$$

$$P_3(T) = \text{Arg}((V_{cd})_m / (E_2)_m) + \pi / 2 = -\tan^{-1} \left[-2h(\omega_0 / \omega) / \{1 - (\omega_0 / \omega)^2\} \right] + 2N\pi. \quad (4.39)$$

$P_3(T)$ fonksiyonunda $\pi/2$ için $T=T_0$ eşittir.

Sismometrenin hassasiyeti aşağıdaki formülle tanımlanır;

$$G = l \cdot B \quad (4.40)$$

Burada l magnetik alan içerisindeki bobin telinin uzunluğunu, B magnetik alanı gösterir (Aki and Richard, 1984). Böylece, iki bobinin elektro-dinamik sabitinin oranı diğer dirençlerin oranı ile verilebilir.

$$G_1/G_2 = l_1 B / l_2 B = l_1 / l_2 = R_0 / R_2 \quad (4.41)$$

Burada R_0 birinci bobinin direncini, R_2 ise ikinci bobinin direncini tanımlamaktadır.

Biz sarkaç kütleini (m) bilirsek hassasiyet değerleri (G_1 ve G_2) bulunabilmektedir.

$$G_1 = \sqrt{(R_0 / R_2) \cdot m F_3(0)}, \text{ ve } G_2 = \sqrt{(R_2 / R_0) \cdot m F_3(0)} \quad (4.42)$$

4.3-2 Step Dalga Giriş Sinyali İle

Doğal periyod ve yay sabiti 4.2-2 bölümünde tanımlanan yol gibi düşünülmektedir. Hareket denkleminin zaman ortamında çözümü verilmektedir.

$$\dot{x}(t) = \begin{cases} G_2 E_0 / m R_2 \cdot e^{-\omega_0 h t} / \omega_0 \sqrt{1 - h^2} \cdot \sin(\omega_0 \sqrt{1 - h^2} \cdot t), & \text{ise } h < 1, \\ G_2 E_0 / m R_2 \cdot t \cdot e^{-\omega_0 t}, & \text{ise } h = 1, \\ G_2 E_0 / m R_2 \cdot \sinh(\omega_0 \sqrt{h^2 - 1} \cdot t), & \text{ise } h > 1. \end{cases} \quad (4.43)$$

Shunt direnç ve sismometreden oluşan devreye göre denklem şu şekilde olmaktadır.

$$V_{cd}(t) = -G_1 \cdot R_s / (R_0 + R_s) \cdot \dot{x}(t), \quad (4.44)$$

Böylece,

$$V_{cd}(t) = \begin{cases} -\left(G_1 G_2 E_0 R_s\right) / \left[m R_2 (R_0 + R_s)\right] \cdot e^{-\omega_0 t} / \omega_0 \sqrt{1-h^2} \cdot \sin(\omega_0 \sqrt{1-h^2} \cdot t), & \text{ise } h < 1, \\ -\left(G_1 G_2 E_0 R_s\right) / \left[m R_2 (R_0 + R_s)\right] \cdot t \cdot e^{-\omega_0 t}, & \text{ise } h = 1, \\ -\left(G_1 G_2 E_0 R_s\right) / \left[m R_2 (R_0 + R_s)\right] \cdot \sinh(\omega_0 \sqrt{h^2-1} \cdot t), & \text{ise } h > 1. \end{cases} \quad (4.45)$$

Birinci pikin genliği;

$$(V_{cd})_{f.p.} = -\left(G_1 G_2 E_0 R_s\right) / \left[m R_2 (R_0 + R_s)\right] \cdot 1 / \omega_0 \cdot 1 / P(h), \quad (4.46)$$

$G_1 G_2 / m$ ' nin değeri izleyen formülle verilmektedir.

$$\begin{aligned} G_1 G_2 / m &= \left\{ (V_{cd})_{f.p.} / E_0 \right\} \cdot \left\{ R_2 (R_0 + R_s) / R_s \right\} \cdot \omega_0 P(h) \\ &\equiv \left\{ (V_{cd})_{f.p.} / E_0 \right\} \cdot \left\{ R_2 (1 + R_0 / R_s) \right\} \cdot \omega_0 P(h). \end{aligned} \quad (4.47)$$

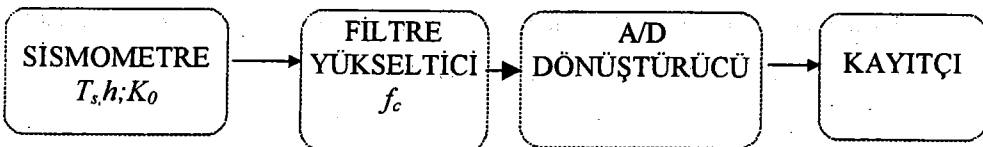
Shunt direncini (R_s) sonsuz kabul edildiğinde ise bu denklem,

$$G_1 G_2 / m = \left\{ (V_{cd})_{f.p.} / E_0 \right\} R_2 \omega_0 P(h) \quad (4.48)$$

olur ve buradan daha önce de gösterildiği gibi sismometre bobininin kütlesi biliniyor ise G_1 ve G_2 değerleri kolayca bulunmaktadır.

4.4 Dalga şekli Ters Dönüşümü İle Sismometrenin Kalibrasyonu

Genellikle en basit sayısal sismograf; algılayıcı, alçak geçişli filtre, sayısallaştırıcı ve kayıtçıdan oluşur (Şekil 4.6). Yerin giriş hareketinin büyüklüğüne göre, küçük alet tepkisi doğrusal sistem teorisi kullanımıyla analiz edilebilmektedir. Şebekenin tepkisi bütün elemanlarının üretimiyle elde edilmektedir.



Şekil 4.6 Sismografi Oluşturan Parçalar dizisi

Sarkaç tipi sismometre basit transfer tepki fonksiyonu ile doğrusal bir sistemdir (Aki and Richards, 1980). Laplace dönüşümü ile transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$F(s) = K_0 (-s^2) / \{s^2 + (2h\omega_0)s + \omega_0^2\}, \quad (4.49)$$

Burada (h) yay sabiti ve (ω_0) sarkaçın doğal açısal frekansıdır. Sarkaç tipi sismometrelerde, bazı parametrelerin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar genlik faktörü K_0 , doğal periyod T_0 , yay sabiti h ve kesme frekanslı f_c alçak geçişli aliaser olmayan filtre gibi ilave olunan bilinmeyen parametrelerdir (Farrell, 1996). Aliaser olmayan filtrenin etkisi basit RC filtreden oluşuyor ise aşağıdaki formülde verilmektedir.

$$F(s) = \omega_c / (s + \omega_c), \quad 1 / RC = 2\pi f_c = \omega_c$$

Yapay dalga şeklinin değişimi, parametrelerin $u(t_n; T_0, h, K_0, f_c)$ yeterli küçük değişikliğine $\Delta T_0, \Delta h, \Delta K_0, \Delta f_c$ göre olmaktadır. Değişen dalga şekli $u(t_n; T_0 + \Delta T_0, h + \Delta h, K_0 + \Delta K_0, f_c + \Delta f_c)$ ikincilden daha yüksek terimlerin ihmal edilmesi ve Taylor serisine açılarak aşağıdaki formül gibi yaklaşık yazılabilmektedir.

$$\begin{aligned} u(t_n; T_0 + \Delta T_0, h + \Delta h, K_0 + \Delta K_0, f_c + \Delta f_c) \approx & u(t_n; T_0, h, K_0, f_c) + \delta u / \delta T_0(t_n; T_0, h, K_0, f_c) \Delta T_0 \\ & + \delta u / \delta h(t_n; T_0, h, K_0, f_c) \Delta h \\ & + \delta u / \delta K_0(t_n; T_0, h, K_0, f_c) \Delta K_0 \\ & + \delta u / \delta f_c(t_n; T_0, h, K_0, f_c) \Delta f_c, \end{aligned} \quad (4.50)$$

Buradaki kısmi türev, Şekil 4.7 deki şemanın adımımda Kernel fonksiyonu tanımlar ve zaman ($n=1 \dots N$) olarak tanımlanır.

İlk değerler sentetik hesaplanan data ile farzedilsin ($T_0^{(1)}, h^{(1)}, K_0^{(1)}, f_c^{(1)}$) bu parametrelerin ($\Delta T_0, \Delta h, \Delta K_0, \Delta f_c$) küçük değişimleri gözlenen $u_{obs}(t_n)$ dalga şekli datasıyla karşılaşması ve geliştirilebilmesidir. Şöyleki;

$$u(t_n; T_0^{(1)} + \Delta T_0, h^{(1)} + \Delta h, K_0^{(1)} + \Delta K_0, f_c^{(1)} + \Delta f_c) = u_{obs}(t_n) \quad n=1 \dots N \text{ için.}$$

(4.50) denklem durumunda üzerindeki sol verilerde

$$\delta u / \delta T_0(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) \Delta T_0 + \delta u / \delta h(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) \Delta h + \delta u / \delta K_0(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) \Delta K_0 + \delta u / \delta f_c(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) \Delta f_c = u(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) - u_{obs}(t_n) \quad n=1 \dots N \text{ için.}$$

Yapay dalga şekli datası parametrelerin doğrusal fonksiyonu olabilirse eğer, bu kısmi türev kolayca onu elde edebilir.

$$\begin{aligned} \delta u / \delta T_0(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) &\equiv [u(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) - u(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)})] / \delta T_0, \\ \delta u / \delta h(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) &\equiv [u(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) - u(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)})] / \delta h, \\ \delta u / \delta K_0(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) &\equiv [u(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) - u(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)})] / \delta K_0, \\ \delta u / \delta f_c(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) &\equiv [u(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) - u(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)})] / \delta f_c. \end{aligned} \quad (4.51)$$

Bunların sağında başta verilen değerlerin %5 kadar olan değerler δT_0 , δh , δK_0 , δf_c ile birlikte nümerik olarak hesaplanabilmektedir. (Young and Ekstrom, 1990). (4.50) denkleminde verilen eş zamanlı denklem matris şekli;

$$Gm=d, \quad (4.52)$$

Burada G matrisi n .inci satırı nümerikçe kernel fonksiyonunun (4.51) denklemiyle verilerek oluşturulmaktadır.

$$[G]_{n\text{-th row}} = [\delta u / \delta T_0(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}), \delta u / \delta h(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}), \delta u / \delta K_0(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}), \delta u / \delta f_c(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)})]$$

Vektör (m) aynı zamanda denklemin bilinmeyenleri olan parametrelerin değişiminden oluşmaktadır.

$$m = [\Delta T_0, \Delta h, \Delta K_0, \Delta f_c]^T$$

Vektör d 'nin bileşenleri n -th gözlenen ve sentetik dalga formları arasındaki farktır.

$$[d]_n = u(t_n; T_0^{(l)}, h^{(l)}, K_0^{(l)}, f_c^{(l)}) - u_{obs}(t_n).$$

(4.52) denklemi direk olarak çözümleyemeyebilir, (4.52) denklemi en küçük kareler yöntemiyle çözümü verilmektedir. (4.52) Denkleminin her iki her iki değerinde matris $(G^*)^T$ sıra çarpımını değiştirilmektedir.

$$(G^*)^T Gm = (G^*)^T d, \quad (4.53)$$

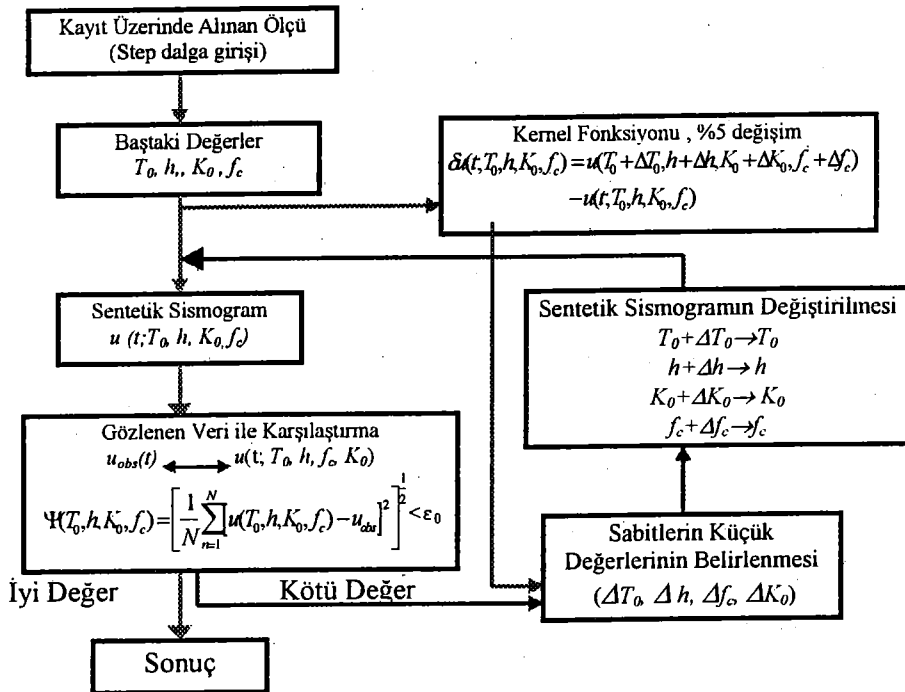
Burada $(G^*)^T$ 4 matris ile G ve $(G^*)^T d$ 4 bileşen vektördür. Parametrelerdeki değişim aşağıdaki formülle verilmektedir.

$$m = [(G^*)^T G]^{-1} (G^*)^T d \quad (4.54)$$

G nin bütün bileşenleri gerçek ise eğer, $G^* = G$ olur. Yukarıdaki işlemde yeterli yaklaşım alınarak biraz değiştirilen dalgaformu datası $u(t_n; T_0^{(l)} + \Delta T_0, h^{(l)} + \Delta h, K_0^{(l)} + \Delta K_0, f_c^{(l)} + \Delta f_c)$ gözlenen datada her zaman çakışma yapamaz. Şöyleki, yukarıda tanımlanan işlemin niçin olduğu, farklı yakınsama kadar adımlarla adlandırılır Alttaki hata fonksiyonu tarafsız bir yaklaşımda kullanılmaktadır (Şekil 4.7).

$$\Psi(T_0, h, f_c, K_0) = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \{u(t_n; T_0, h, K_0, f_c) - u_{obs}(t_n)\}^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (4.55)$$

Burada toplam N , sayısal örnekleme üzerinde verilen ters dönüşümde, kullanılan örnekleme aralığının sayısıdır. Ters dönüşümde elde edilen parametre değişikliği, başlayan modelde ilave edilir ve işlem yakınlaşınca kadar devam edilir. Hata fonksiyonu, verilmiş olan sınır değerlerinden daha küçük olmalıdır.



Şekil 4.7 Dalga şekli ters çözümünde yapılan işlemler akışı

5. SİSMOMETRE KALİBRASYONU İLE İLGİLİ UYGULAMALAR

Yapılan çalışmaların uygulamaları iki farklı yerde yapılmıştır. Teorileri anlatılan çalışmaların uygulamaları japonya'da IISEE(International Institute of Seismology and Earthquake Enginerring) sismoloji kursunda yapılmıştır. Türkiye'de ise Türk-Japon projesinde sismometrelerin kurulma işlemleri ile Deprem Araştırma Dairesinde yapılan kalibrasyon çalışmalarıdır. Bu nedenle uygulamalar iki grupta verilmektedir.

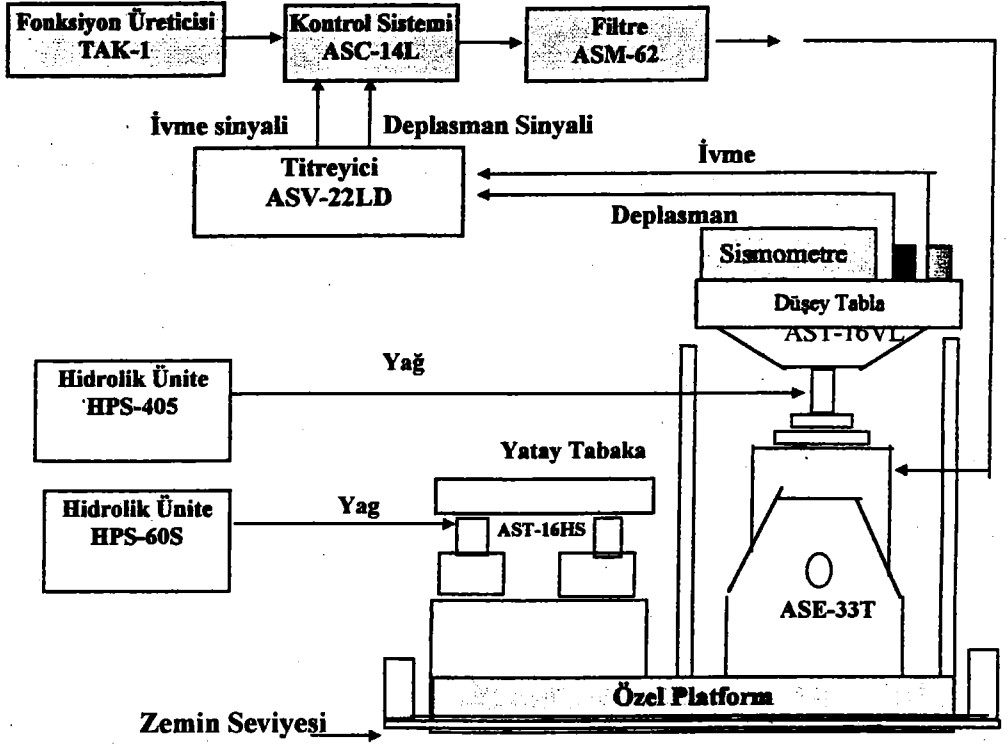
5-1-Japonya'daki Çalışmalar

Uygulamalar Mark Üretim Şirketi tarafından imal edilen L-22D tipi düşey bileşenli, hız tipi sismometre(Jeofon) ve L-4 tipi üç bileşenli hız tipi sismometreler üzerinde yapılmıştır.

5.1.1 Sarsma Tablası Üzerinde Sismometrenin Kalibrasyonu

BRI'in (Building Research Institute) Yapı deneme laboratuvarındaki Elektro-Dinamik Test Sistemi; iki sarsma tablası (yatay ve Düşey), titreştirici ve hidrolik ünite, test edilen sismometrede giriş hareketini veren sarsıcı, band geçişli filtre, kontrol sistemi ve fonksiyon üreticisinden oluşmaktadır. Sarsıcı ve sarsma tablası binadan bağımsız platform üzerine yerleştirilmiştir. (Şekil 5.1, Akashi, 1974).

Fonksiyon üreticisi kontrol sisteminin kullanımıyla sinüzoidal voltaj değişimini üretir. Kontrol sistemi toplam sistemi yönetir. Ac gürültü ve kontrol sisteminin çıkış voltajının Dc dengelemesini band geçişli filtre ile bastırır. O zaman sarsıcının süreceği büyük akım dengesizliğinin üretiminden, temiz sinyal kullanılmış olur. Sarsıcıya bağlı sarsma tablasının hareketi, tablaya bağlı olan referans sismometrenin çıkış voltajı ile belirlenir. Sistem, yatay ve düşey yönde hareket edebilen iki tablaya sahiptir. Bu tablalar ikişer tane referans sismometreye sahip olup, bunlar differansiyel dönüştürücü ve servo tipi ivmedir. Bunlardan başka, sarsıcının hidrolik kaldırıcısına yağ basıncı sağlayan hidrolik üniteler vardır.



Şekil 5.1 Electro-dinamik sarsma test sistemi.

Sarsıcı, sürücü bobinin ve elektro-mıknatıs sorununu giderir. Elektro-mıknatıs, bobin hareketi sürücüsünde manyetik alan sabitini sağlar. Sinüzoidal akım güç kaynağı girişi kullanılarak sağlanır. Bu ve onun etkileşimi ile magnetik alan üretici kuvvetiyle sarsma tablası hareketi yapar. Test edilmesi istenen sismometre, sarsma tablasına konulur. Test sismometre ve referans sismometrenin değişimi aynı anda kayıt edilmektedir.

5.1.1-1 Referans Sismometrenin Düzenlenmesi

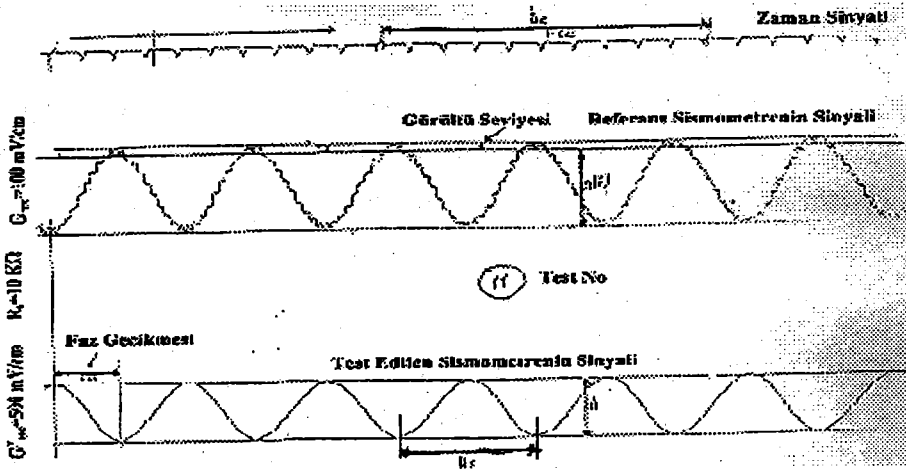
Referans sismometre ayarı, çıkış voltajı ile sarsma tablosunun yer değiştirme hareketinin, sarsma tablosuna bağlanmış olan kalem ve onun temas edeceği kadar yakınındaki bir kağıt kullanımı ile sağlanmaktadır. Kalem sarsma tablası hareket ettiği zaman kağıda yer değiştirme eğrisi çizmektedir. Sonra deplasman genliğinin

kesin değeri referans sismometrenin çıkış voltajıyla karşılaştırılmaktadır. Benzer işlem birkaç frekans için yapılır. Referans sismometrenin hassasiyeti yaklaşık γ v/m olarak değerlendirilmiştir. Bu sonuç çalışmanın ilerleyen adımlarında kullanılmaktadır.

5.1.1-2 Test edilen Sismometrenin ayarı

Test edilmesi istenen sismometreyi sarsma tablası üzerine konularak, kayıtcıdaki kağıt ile ilişkisi sağlanmaktadır. Bu çalışmada hız tipi, düşey bileşen L-22D sismometre kullanılmaktadır.

Referans ve test sismometrelerinin çıkış voltajları olan sinüzoidal eğriler kağıt üzerinde zaman sinyaliyle birlikte çizdirilmektedir. Sonra, çizilen veri üzerinden sinyalin frekansı veya periyodu, genlikleri ve bu sinisoidal sinyallerin arasındaki (zirve) gecikme zamanı belirlenmektedir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Sarsma tablası yöntemiyle elde edilen örnek bir kayıt

Peryod T (s) izleyen formül ile hesaplanır.

$$T = D_s / D_c \quad (5.1)$$

Burada D_s kağıt üzerinde sinyalin uzunluğu, D_c de kağıt üzerindeki zaman sinyali uzunluğudur. Benzer işlem test yapılan sismometre ve referans sismometre için, genlik voltaj değerlerinin bulunmasında uygulanmıştır. Sarsma tablasının genlik yer değiştirmesi $y_m(f)$ (m) aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$y_m(f) = \{A_{ref}(f) \cdot G_{rec}\} / G_{ref}, \quad (5.2)$$

Burada $A_{ref}(f)$ (m) kayıt edilen kağıt üzerinde referans sismometre çıkışının genliği, G_{rec} (v/m) kayıtçının genliği, G_{ref} referans sismometrenin hassasiyeti (0.02 (v/m)).

Test edilen sismometrenin çıkış voltajının genliği $e_m(f)$ verilir,

$$e_m(f) = A(f) \cdot G_{rec}^v \quad (5.3)$$

Burada $A(f)$ (m) kağıt üzerinde test edilen sismometre çıkışının genliği, G_{rec}^v kayıtçının genlik ayarıdır. Faz geçikmesi $P_I(f)$ (derece);

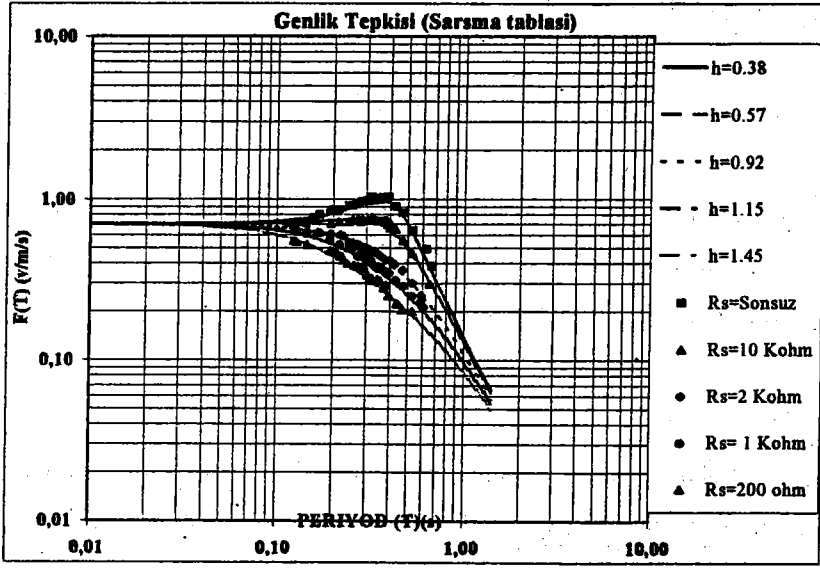
$$P(f) = 360 - \{L(f) / D_s \cdot 360\} + 90. \quad (5.4)$$

Burada $L(f)$ kayıta her iki sinyalin yapmış oldukları maksimum değerlerinin arasındaki mesafe, D_s kayıtçıda her bir eğrisinin ölçümüdür. (5.4) denklemde 90° ilave edilmesinin anlamı referans sismometrenin yer değiştirmeden hıza dönüştürülmesidir.

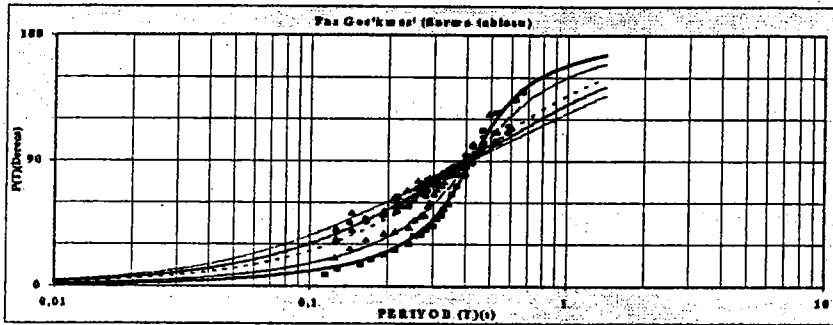
Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 de gösterilen $F_I(T)$ ve $P_I(T)$ birkaç teorik eğriyle karşılaştırılmaktadır. Hassasiyet değeri G_I fonksiyonun $F_I(T)$ yüksek frekans asimtotundan elde edilir ve doğal periyod da fonksiyonda $P_I(T)$ 90 derece ile çıkan değer ile tanımlanır. Sonuçlar Tablo 5.1 de özetlenmiştir. $T_o=0.42$ (s), $G=70$ (v/m/s)).

Tablo 5.1 Sarsma tablasıyla ilgili test bilgileri

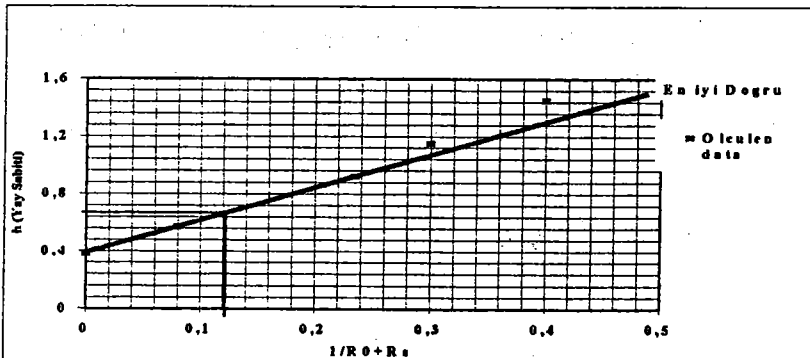
Deney Sayısı	Shunt Direnç Tipi	Test Sayısı	Doğal Periyod T_o	Yay Sabiti h	Sismometre Tipi	Açıklama
Özel	Sonsuz	4	-	-	Differansiyal Dönüştürücü	Referans Sismometrenin Kalibrasyonu
1	Sonsuz	27	0.42	0.38	L22D	Test Sismometresinin Kalibrasyonu
2	10 Kohm	29	0.42	0.57	L22D	Test Sismometresinin Kalibrasyonu
3	2 Kohm	28	0.42	0.92	L22D	Test Sismometresinin Kalibrasyonu
4	1 Kohm	29	0.42	1.15	L22D	Test Sismometresinin Kalibrasyonu
5	200 ohm	30	0.42	1.45	L22D	Test Sismometresinin Kalibrasyonu



Şekil 5.3 Sarsma tablası yöntemiyle sismometrenin frekans tepkisi



Şekil 5.4 Sarsma tablası yöntemiyle sismometrenin faz tepkisi



Şekil 5.5 Sarsma tablası yöntemiyle yay sabitine h karşılık $1/(R_0 + R_s)$ değeriyle sismometreye en uygun shunt direncinin belirlenmesi.

Yay sabiti (h) aşağıdaki formülle verilir.

$$h = h_m + h_e \quad h = h_m + G^2 / 2m\omega_0(R_0 + R_s) \quad (5.5)$$

Burada m sarkacın kütlesidir. Bunun anlamı h ve $1/(R_0+R_s)$ arasında doğrusal bir ilişki vardır. Burada $R_0 = 2.25$ Kohm olarak belirlenmiştir. Şekil 5.5 deki doğrunun iyi seçildiği görülmektedir. Formül olarak;

$$h = 0.38 + 2.4 \times 10^3 / (R_0 + R_s) \quad (5.6)$$

şeklinde verilir. Şekil 5.5 ile değerlendirme sonucu $h=0.64$ e uyumlu shunt(iki uç arasındaki direnç) direncinin değeri bulunmuştur. Bu sayısal değer $R_s=7.37$ Kohm olup iki uç arasındaki en uygun direncin değerini tanımlar.

İkinci çalışmada elde edilen formül ile kütleyi (m) bulmak çok kolaydır. Bu eğilim aşağıda verilir.

$$G^2 / m = 2.4 \times 10^3 \cdot 4\pi / T_0 = 7.18 \times 10^4 (v/m/s). \quad (5.7)$$

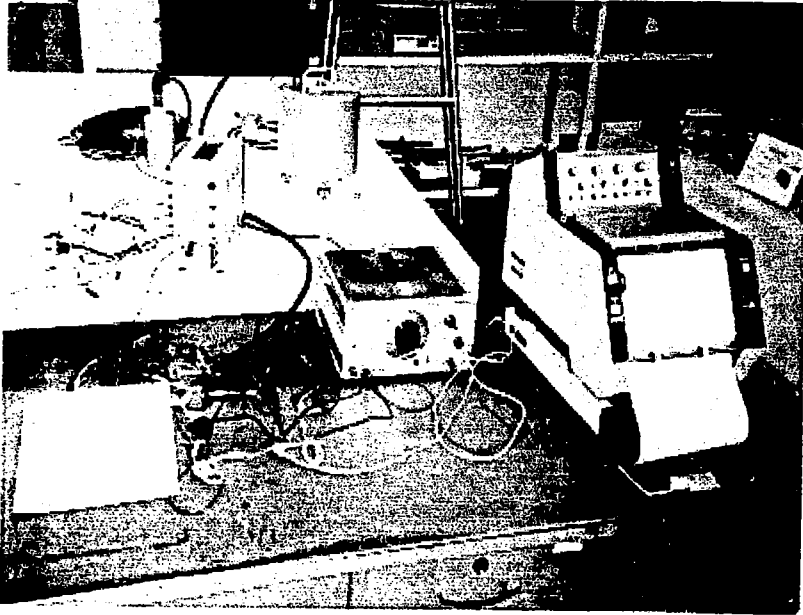
G' nin değerinin değerlendirilmesiyle sarkacın kütlesi m elde edilir.

$$m = 0.068(\text{kg}) = 68(\text{g})$$

İki uç arasındaki dirençin(shunt) beş değeri; sonsuz, 10 Kohm, 2 Kohm, 1 Kohm, 200 ohm ile 0.5 ve 10.0 Hz arasında değişen frekanslardaki davranışları ölçülmüştür.

5.1.2 Willmore Direnç Köprüsü ile Sismometrenin Kalibrasyonu

Bu bölümde de 5.1.1 inci bölümdeki aynı sismometre (L-22D) seçilmiştir. Willmore direnç köprüsü ile yapılan çalışma iki farklı giriş dalga şekli ile yapılmaktadır. Çalışma ISEE(International Institute of Seismology and Earthquake Enginner) sismoloji kursuna ait laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 5.6).

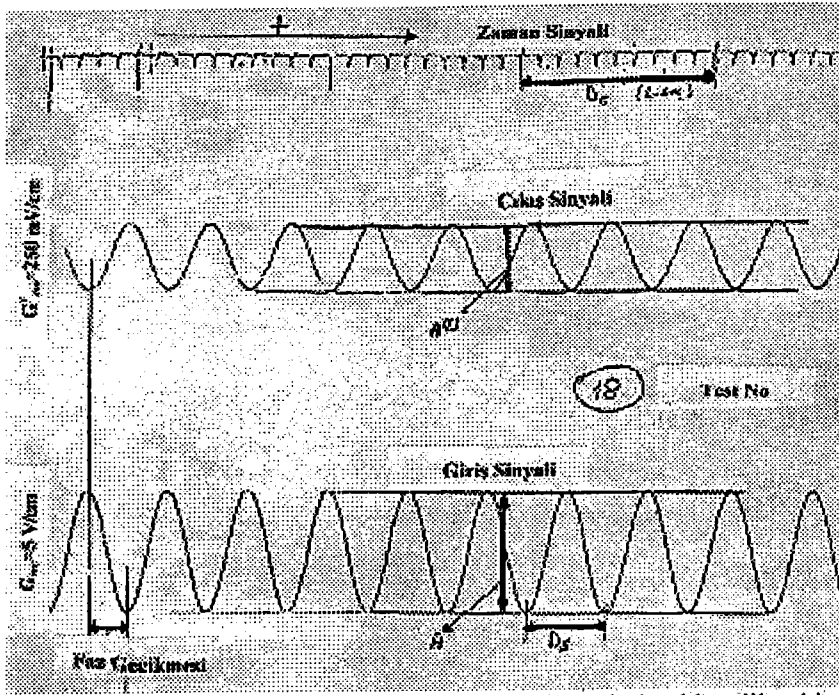


Şekil 5.6 Çalışmaların yapıldığı test odasında bulunan cihazlar (ISEE).

5.1.2-1 Sinüzoidal Dalga Giriş Sinyali İle

İki sinisoidal eğri V_{ab} ve V_{AB} kayıtcı üzerine zaman sinyali ile birlikte çizilmiştir. Böylece, sinyallerin frekansını yada periyodunu, genliklerini ve iki sinyalin pikleri arasındaki gecikme zamanı belirlenir (Şekil 5.7).

Peryod T (s) (5.1) formül ile hesaplanmıştır. Test edilen sismometrenin genlik voltaj değerinin bulunması çalışmaları benzer işlemler ile tekrarlanarak uygulanmaktadır. Çalışmalarda direnç ve frekans verileri değiştirilerek işlemler bir çok kez tekrarlanarak yapılmıştır. Test edilen sismometrenin giriş voltajının genliği,



Şekil 5.7 Willmore direnç köprüsüyle test işleminde elde edilen bir kayıt

$$E_m(f) = A(f) \cdot G_{rec}, \quad (5.8)$$

Burada $A(f)$ (m) kayıtçıda sismometrenin giriş genliği, G_{rec} kayıtçının büyütme değeridir. Test edilen sismometrenin çıkış voltajının genliği $(V_{ab})_m$,

$$(V_{ab})_m = A(f) \cdot G_{rec}^v, \quad (5.9)$$

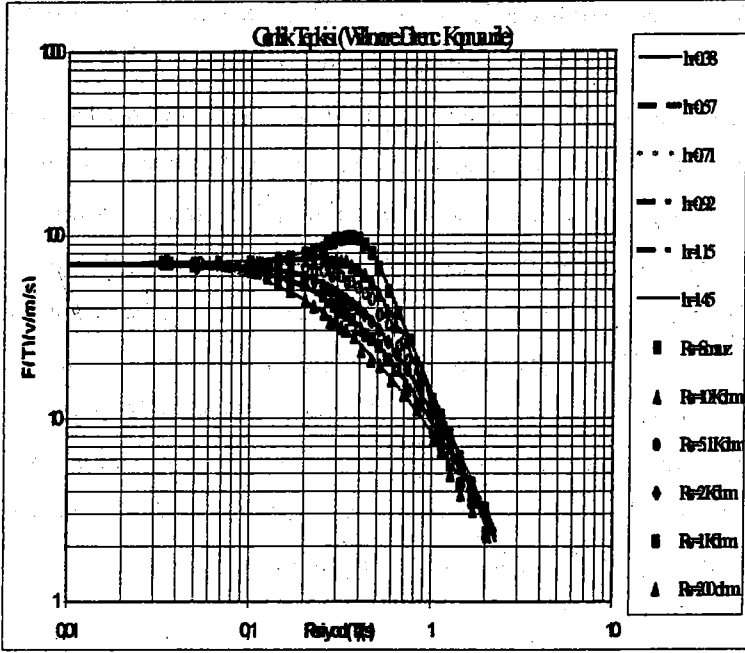
Burada $A(f)$ (m) kayıtçıda test edilen sismometrenin çıkış değerini, G_{rec}^v kayıtçının büyütme değerini verir. Bu değerlerden $F_2(T)$ ve $P_2(T)$ değerleri elde edilir,

$$F_2(T) = \omega(1 + R_0 / R_s) \cdot \{R(1 + R_0 / R_s) + R_0\} \cdot |(V_{ab})_m / E_m| \quad (5.10)$$

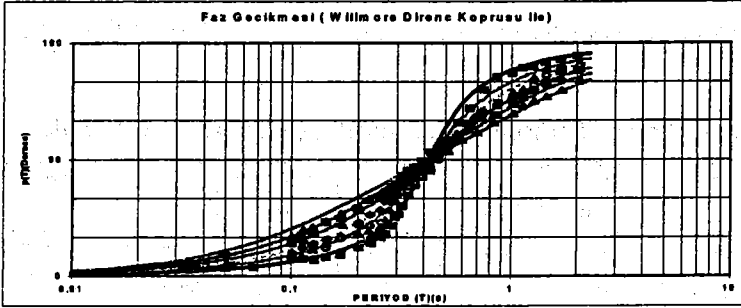
$$P_2(T) = 360 - (L(f) / D_s \cdot 360 + 90) \quad (5.11)$$

Burada $L(f)$ (m) kayıtçı üzerinde giriş ve çıkış voltaj sinyalleri arasındaki farkın gecikme zamanıdır.

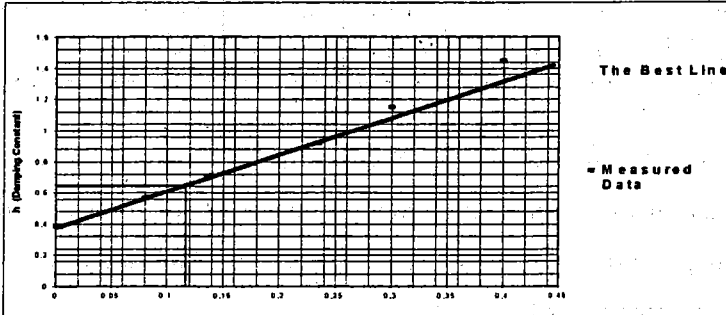
İki uç arasındaki dirençin(shunt) altı değeri; sonsuz, 10 Kohm, 5.1 Kohm, 2 Kohm, 1 Kohm, 200 ohm ile 0.5 ve 30.0 Hz arasında değişen frekanslardaki davranışları değerlendirilmiştir. Düzenlenen altı veri serisi $(T, F_2(T))$ ve $(T, P_2(T))$ denklemler ve bu değerler; E_m , $(V_{ab})_m$, $L(f)$ ile elde edilmektedir(Şekil 5.8, Şekil 5.9).



Şekil 5.8 Willmore direnç köprüsüyle yöntemiyle sismometrenin frekans tepkisi



Şekil 5.9 Willmore direnç köprüsüyle yöntemiyle sismometrenin faz tepkisi



Şekil 5.10 Willmore direnç köprüsüyle yönteminde h ve $1/(R_0 + R_s)$ ile elde edilen en iyi doğru

Şekil 5.9 de ince çizgili eğriler $T_0=0.42$ (s) $G^2/m=7.0 \times 10^4$, $h=0.38, 0.57, 0.71, 0.92, 1.15, 1.45$ için teorik eğrileri tanımlamaktadır. G^2/m 'in bu değeri fonksiyonda $F_2(T)$ çizilen yüksek frekans asimtotuyla değerlendirilir. Doğal periyod T_0 , Şekil 5.9 deki eğrinin zirvesinin pozisyonu ile ve $P_2(T)$ fonksiyonunun 90° de çıkışma değeri ile değerlendirilir. Yay sabitinin h değeri tam logaritmik kağıt üzerine eldeki grafiğin karşılaştırılmasıyla belirlenmektedir (Şekil 4.4). T 'nin fonksiyonu $F_2(T)$ parametrelerin T_0 ve G^2/m farklı değerlerinde bu formu yakalar. G^2/m 'nin değişimi grafiğin düşey kısmıyla ifade edilebilir. Benzer olarak T_0 da yatay kısımla tanımlanır. $P_2(T)$ fonksiyonunda da doğal periyod T_0 'ın değişimi yatay kısımda ifade edilebilir. O yüzden, izlenen yolda çizilen veri serisinde en iyi teorik eğrinin bulunması kolaydır. Birincisinde, bu $G^2/m, =1.0$ ve $T_0=1.0$ parametreler ile yay sabitinin h birkaç değerinde teorik eğri çizilmektedir.

$F_2(T)$ fonksiyonunun data hesaplaması şeffaf kağıt üzerine çizilerek yapılır (Şekil 4.4). Bu asetat kağıdı G , T_0 and h parametreleri ile düzenlenen teoriksel grafik üzerine konularak en iyi uyan eğriyi verir. Sonuçlar Tablo 5.2 de verilmektedir.

Tablo 5.2 Willmore direnç köprüsünde Sinüzoidal giriş sinyaliyle elde edilen bilgiler

Deney Sayısı	Shunt Direnç Tipi	Yapılan Test Sayısı	Doğal Periyod	Yay Sabiti h	Sismometre Tipi	Açıklamalar
1	Sonsuz	34	0.42	0.38	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
2	10 Kohm	30	0.42	0.57	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
3	5.1 Kohm	30	0.42	0.71	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
4	2 Kohm	31	0.42	0.92	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
5	1 Kohm	29	0.42	1.15	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
6	200 ohm	27	0.42	1.45	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu

$$\text{Yay sabiti } h = h_m + h_e, \quad h = h_m + G^2 / 2m\omega_0(R_0 + R_s). \quad (5.5)$$

h ve $1/(R_0+R_s)$ arasındaki doğrusal ilişki vardır. Şekil 5.10 da h karşı $1/(R_0+R_s)$ gösterir ve en iyi doğru çizilir. Burada $R_0 = 2.25$ Kohm olarak kullanılmıştır.

$$h = 0.38 + 2.45 \times 10^3 / (R_0 + R_s). \quad (5.12)$$

Bu eğilim değeri $G^2/m = 7.0 \times 10^4$ (volt/m/s), $T_0 = 0.42$ (s) den oluşmaktadır. (Tablo 5.2).

Burada D_s (m) kayıttaki sinyalin bir salınıminin uzunluğunu, D_c (m) bir saniyeye uyumlu kayıt uzunluğudur. Doğal periyod T_0 (s) ve doğal açısal frekans ω_0 aşağıdaki formülle hesaplandığı gibi yay sabiti h ve T_d değerleriyle bulunur.

$$T_0 = \sqrt{1-h^2} \cdot T_d \quad (5.16)$$

$$\omega_0 = 2\pi/T_0 \quad (5.17)$$

Test edilen sismometrenin $E_0(f)$ giriş voltajının genliği verilir,

$$E_0 = A_0 \cdot G_{rec} \quad (5.18)$$

Burada A_0 kayıtçıda step giriş fonksiyonunun genliği, G_{rec} kayıtçının genlik ayarıdır.

Test edilen sismometrenin çıkış voltajının genliği $(V_{ab})_{f.p.}$ verilir ,

$$(V_{ab})_{f.p.} = A \cdot G_{rec}^v \quad (5.19)$$

Burada A kayıtçadaki test edilen sismometrenin çıkış voltajının birinci pikteki genliği, G_{rec}^v kayıtçının genlik ayarıdır. Sonuçlar Tablo 5.3 de özetlenmiştir.

$$(T_0=0.42 \text{ (s)}, G^2/m=6.97 \times 10^4 (\text{v}^2/\text{Kg m}^2/\text{s}^2)).$$

$h=0.64$ e uyumlu iki uç arasındaki direncin değeri Şekil 5.10 ile değerlendirilebilir.

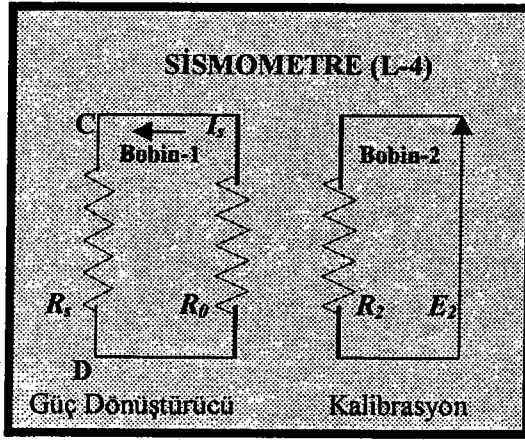
$R_s=7.18 \text{ Kohm}$ iki uç arasındaki direncin sismometreye en uygun direnç değeridir.

Tablo 5.3 Willmore direnç köprüsünde step giriş sinyaliyle elde edilen bilgiler

Sismometre Tipi	L-22D					
Deney Sayısı	1	2	3	4	5	6
Shunt Direnci	Sonsuz	10 Kohm	5.1 Kohm	2 Kohm	1 Kohm	200 ohm
Yay Sabiti h	0.38	0.57	0.71	0.92	1.15	1.45
Mek. Yay Sabiti h_m	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
Elekt. yay Sabiti h_e	0	0.19	0.33	0.54	0.77	1.07
T_w (s)	0.19	0.1986	0.207	0.26	0.297	0.354
T_0 (s)	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
$v=a/a_2$	3.292	5.99	9.316	-	-	-
$1/(R_0+R_d)$ (1/ohm)	0	0.0816	0.136	0.235	0.308	0.408
$P(h)$	1.63	1.95	2.3	2.65	2.92	3.5
e_m (v/m)	0.296	0.25	0.177	0.07	0.0263	0.00175
$T_w T_0$	-	-	-	0.6177	0.7057	0.841
$G^2 \cdot m$ (v/m/s)	65.6	-	-	-	-	-

5.1.3 Kalibrasyon Bobini Yardımıyla Sismometrenin Kalibrasyonu

Yeni üretilen sismometrelerde artık normal bobin dışında birde kalibrasyon bobini vardır. Bu durum bize sismometreyi daha kolay ayarlanmasını sağlamaktadır (Şekil 5.12). Uygulama Mark üretim şirketinin imal ettiği L-4 tipi düşey bileşen sismometresi ile yapılmıştır. Özelliklerini belirten el kitabına göre sarkaçın kütesinin ağırlığı 0.96 (Kg) dır. Güç verici bobin direnci $R_0=5.5$ Kohm ve kalibrasyon bobininin direnci $R_2=19$ ohm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.12 Sismometredeki bobinlerinin şekilsel görünümü(L-4).

Bu çalışmada bir önceki çalışmada olduğu gibi iki şekilde giriş sinyali (sinüzoidal ve step) kalibrasyon bobini yardımıyla kullanılmaktadır. Ayrıca Willmore direnç köprüsünde step giriş sinyali kullanılarak ek bir çalışma yapılmıştır.

5.1.3-1 Sinüzoidal Dalga Giriş Sinyali İle

Sismometrenin girişi (bobin-2) ve çıkışı (bobin-1) olan iki tane sinüzoidal eğriden oluşan sinyalleri V_{cd} ve V_{AB} kayıtcı üzerine zaman sinyali ile birlikte çizilir. Sinyallerin periyodu (yada frekansı), genlik değeri ve sinisoidal kayıтта iki dalga formundan pik değerleri arasındaki geçikme zamanı belirlenmektedir (Şekil 5.7).

Peryod (5.1) ve giriş voltajı genliği (Bobin-2) (5.8) formülleri ile hesaplanır. Sismometrenin çıkış voltajının genliği (Bobin-2) vermektedir.

$$(V_{cd})_m = A(f) \cdot G_{rec}^v$$

Burada da $A(f)$ sismometrenin çıkış voltaj genliği, G_{rec}^v kayıtcının genlik ayarıdır. Bu değerler formüldeki $F_3(T)$ ve $P_3(T)$ nin değerlerinin bulunmasında kullanılmaktadır.

$$F_3(T) = \omega R_2 (1 + R_0 / R_s) \cdot |(V_{ab})_m / E_m| \quad (5.20)$$

$$P_3(T) = 360 - (L(f) / D_s \cdot 360 + 90) \quad (5.11)$$

Bölüm 5.1.2-1 de tanımlanan ölçümler gibi 0.5 ve 30.0 Hz arasındaki frekans değerleri ile sonsuz konumda olan shunt direnç kullanılmıştır (Şekil 5.13, 5.14).

$G_1 G_2 / m = 124.16$ ($v^2 / Kg \ m^2 / s^2$), $m = 0.96$ Kgram ve $h = 0.23$. Bu değer $G_1 G_2 / m$ fonksiyonun $F_3(T)$ da çizilen yüksek frekansta asimtot değerini tanımlar. Ayrıca T_0 fonksiyonda $P_3(T)$ 90 derece de pikin pozisyonuna çakışımıyla Şekil 5.14 değerlendirilmektedir. Yay sabiti değeri h tam logaritmik kağıt üzerinde grafiksel karşılaştırmayla seçilmektedir (Şekil 5.15).

Sonuçlar Tablo 5.4 de özetlenmektedir. Yüksek frekans asimtotu

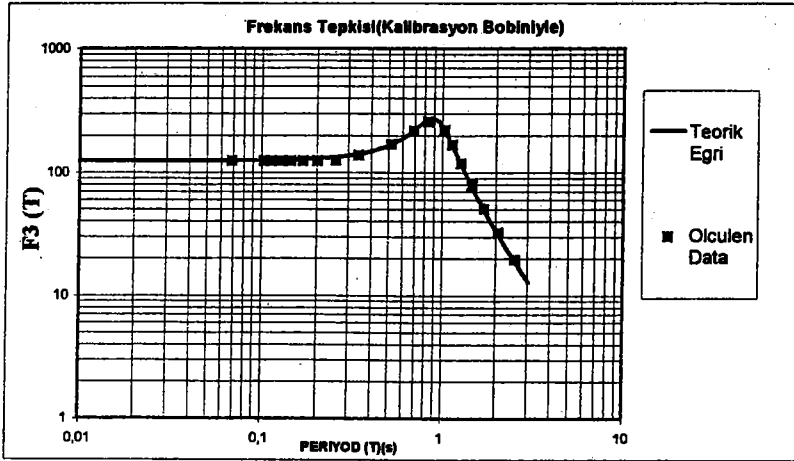
$$F(0) = 124.16$$
 ($v^2 / Kg \ m^2 / s^2$), $R_0 = 5.5$ Kohm, $R_2 = 19$ ohm and $m = 0.96$ Kg.

Bunlar sonuç olarak şu değerleri verir.

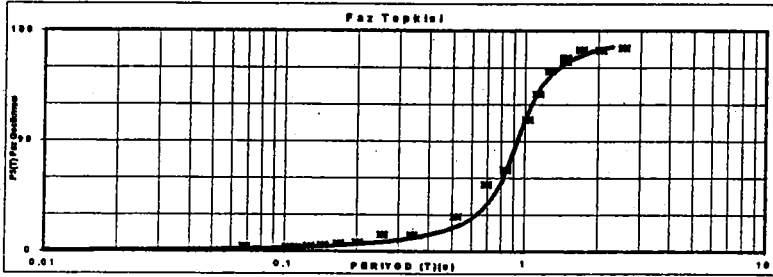
$$G_1 = 185.7$$
 (v/m/s), $G_2 = 0.642$ (v/m/s).

Tablo 5.4 Kalibrasyon bobini yönteminde sinüzoidal giriş sinyaliyle elde edilen bilgiler

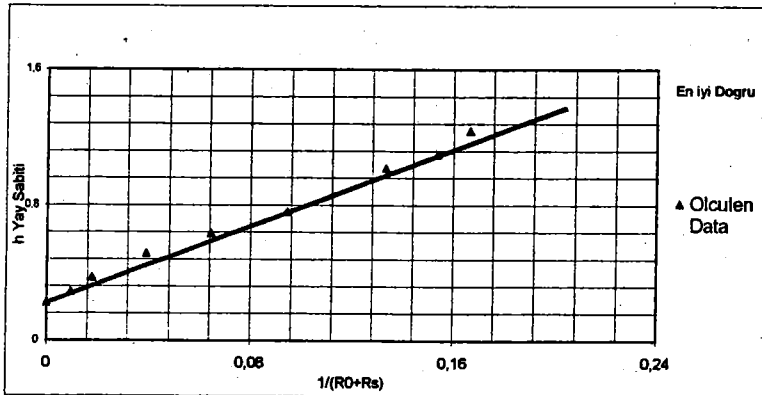
Deney Sayısı	Shunt Direnç	Test Sayısı	Doğal Periyod	Yay Sabiti h	Sismometre Tipi	Açıklamalar
1	Sonsuz	20	0.935	0.23	L-4-3D Hız	Sismometrenin Kalibrasyonu m=0.96 Kgram



Şekil 5.13 Kalibrasyon bobini yönteminde sismometrenin frekans tepkisi



Şekil 5.14 Kalibrasyon bobini yönteminde sismometrenin faz tepkisi



Şekil 5.15 Kalibrasyon bobini yönteminde h karşı $1/(R_0+R_s)$ değeriyle elde edilen en iyi doğru

5.1.3-2 Step Dalga Giriş Sinyali İle

Sismometrenin girişi (bobin-2) ve çıkışı (bobin-1) olan iki tane sinyalden oluşan dalga katarları V_{cd} ve $V_{AB} = E_0$ kayıtcı üzerine zaman sinyaliyle birlikte çizilmektedir. O zaman, daha öncede benzer şekilde ifade edildiği üzere sinyallerin periyodu (yada frekans) ve genlik değerleri belirlenmektedir. Yay oranı ν (5.13) ve yay sabiti h (5.14) ile verilmektedir (Şekil 5.11). Test edilen sismometrenin (Bobin1) giriş voltajının genliği $E_m(f)$ şöyledir.

$$E_m(f) = A(f) \cdot G_{rec}$$

Burada $A(f)$ (m) kayıt üzerinde sismometrenin giriş voltajının genliği (Bobin-1), G_{rec} ise kayıtcının genlik ayarısıdır.

Açık periyod T_d (s); D_s ve D_c değerlerinin ölçülmesiyle hesaplanmaktadır (5.15). Doğal periyod T_0 (s) (5.16) ve doğal açısal frekans ω_0 (5.17); yay sabiti h ve T_d değerleriyle bulunmaktadır.

Birinci pikin genliğinde $E(t)$ zaman 0.2 lik kısmı T_w kayıtcının üzerindeki kağıtta ölçülerek de alınmaktadır. Test edilen sismometrenin $E_0(f)$ giriş voltajının genliği formül (5.18) ile verilir. Test edilen sismometrenin çıkış voltajının genliği $(V_{cd})_{f.p.}$ verilir,

$$(V_{cd})_{f.p.} = A \cdot G_{rec}^{\nu}, \quad (5.21)$$

Burada A kayıtcıdaki test edilen sismometrenin çıkış voltajının birinci pikteki genliği, G_{rec}^{ν} kayıtcının genlik ayarısıdır.

İki uç arası direnç(Kohm) dokuz değeriyle; sonsuz, 100, 51, 20, 10, 5.1, 2, 1, 0.51 tanımlanmıştır. Böylece, E_0 , $(V_{cd})_{f.p.}$ değerleriyle dokuz data serisi elde edilmiştir. (Tablo 5.5). ($T_0=0.935$ (s), $G_1 G_2/m=124.14$ ($v^2/ Kg \ m^2/s^2$)). Şekil 5.15 de h . karşı $1/(R_0+R_s)$ değerinde bir doğru ile gösterilmiştir. Bobin direnci $R_0 = 5.5$ Kohm dur.

$$h=0.23+5.95 \times 10^3/(R_0+R_s) \quad G_1=185.74 \text{ (v/m/s)} \quad G_2=0.642 \text{ (v/m/s)}$$

Tablo 5.5 Kalibrasyon bobini yönteminde step giriş sinyaliyle elde edilen bilgiler

Deney Sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sh. Direnç (Kohm)	Sonsuz	100	51	20	10	5.1	2	1	0.51
Yay Sabiti h	0.23	0.29	0.37	0.516	0.63	0.76	1.02	1.1	1.24
Mek. Yay Sab. h_m	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Elekt.k Yay sabiti h_e	0	0.06	0.14	0.286	0.403	0.53	0.79	0.87	1.01
T_w (s)	0.4	0.42	0.433	0.44	0.482	0.506	0.6	0.63	0.67
T_0 (s)	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
$v=a_1/a_2$	2.04	2.5	3.24	5.05	-	-	-	-	-
$1/(R_0+R_d)$ (1/ohm)	0	9.48E6	1.77E5	3.92E5	6.45E5	9.43E5	0.00013	0.00015	0.00016
$P(h)$	1.38	1.48	1.6	1.83	2.1	2.35	2.78	2.82	3.2
e_m (v/m)	0.0079	0.0073	0.007	0.005	0.004	0.005	0.001	6E-04	3E-04
$T_w T_0$	0.43	0.45	0.46	0.47	0.52	0.54	0.64	0.67	0.72
$G_I G_Y/m$ (v/m/s)	124.1	127.2	136.1	131	133	249	130.2	126.2	129.2

5.1.3-3 Step Dalga Giriş Sinyalini Willmore Direnç Köprüsü İle Kullanımı

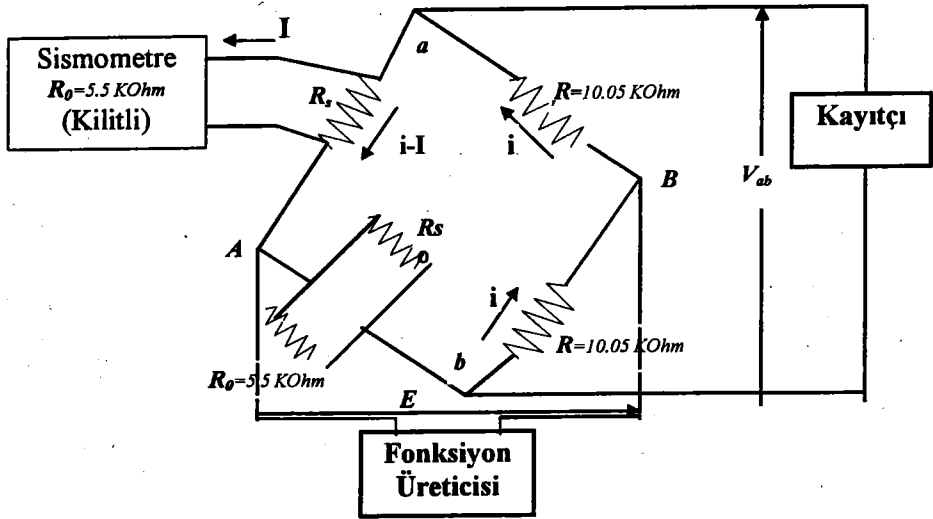
(Bu çalışma, diğer çalışmaları desteklemesi için yapılmaktadır.)

Willmore direnç köprüsü yardımı ile step giriş sinyalini kullanarak, sismometre bobini hakkında ilave bilgiler elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu durumda 5.1.2-2 bölümünde açıkça anlatımın benzeri bir çalışmadır. Giriş sinyali fonksiyon üreticisinden direk alınarak kayıtçıdaki kağıt üzerine aktarılır. Çıkış voltaajı da Bobin-1 e gönderilen sinyalin çıkışını kayıtçı üzerine alımı şeklindedir. Kalibrasyon bobinini bu durumda kullanmamış olmaktadır.

Şekil 5.16 de gösterilen sistemde 11 tane iki uç arası direnç(shunt); sonsuz, 510, 200, 100, 51, 20, 10, 5.1, 2, 1, 0.51 (Kohm) değerleri ile ölçüm yapılmıştır. Böylece, 11 tane veri ile $E_0, (V_{ab})_{f.p.}$ genlik değerleri elde edilmektedir.

Sonuçlar Tablo 5.6 da özetlenmiştir $G_I^2/m=36000$ ($v^2/ Kg m^2/s^2$), $T_0=0.94$ (s) bulunmuş ve buradan $G_I=185.9$ (v/m/s) elde edilmiştir.

$h=0.64$ e uyumlu iki uç arası direnci(shunt) Şekil 5.15 ile değerlendirilmiştir. $R'_s=9$ Kohm ($R_s=14.5$ Kohm) bu değer iki uç arası direnç için en uygun sonuçtur.



Şekil 5.16 Kalibrasyon bobini yönteminde Direnç devresi ile kayıtçı, üreteç ve sismometre arasındaki bağlantı

Tablo 5.6 Kalibrasyon bobini yönteminde willmore direnç devresiyle yapılan test sonucunda elde edilen bilgiler

Deney Sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Shunt Direnç (Kohm)	Sonsuz	510	200	100	51	20	10	5.1	2	1	0.51
Yay Sabiti h	0.42	0.44	0.46	0.48	0.54	0.62	0.69	0.82	1.05	1.15	1.24
Mek. Yay Sab. h_m	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Elekt.k Yay sabiti h_e	0.19	0.21	0.23	0.250	0.31	0.39	0.46	0.59	0.82	0.92	1.01
T_w (s)	0.43	0.43	0.44	0.44	0.48	0.42	0.52	0.56	0.6	0.66	0.8
T_0 (s)	0.94	0.82	0.82	0.98	0.86	-	-	-	-	-	-
$v = a_1/a_2$	3.794	4	4.24	4.51	5.5	-	-	-	-	-	-
$1/(R_0 + R_d) \times 10^3 (1/\text{ohm})$	0.032	0.033	0.036	0.039	0.44	0.06	0.08	0.1	0.13	0.15	0.16
P/h	1.25	1.85	2.05	2.15	2.31	2.53	3.2	3.4	3.6	3.9	4.4
e_m (v/m)	0.03	0.028	0.028	0.028	0.02	0.02	0.01	0.008	0.003	0.001	4E-04
$T_w T_0$	0.52	0.52	0.52	0.53	0.58	0.51	0.63	0.67	0.72	0.79	0.969
G_1^2/m (v/m/s/Kg)	36000										

5.1.2 Dalga Şekli Ters Çözümü İle Sismometrenin Kalibrasyonu

Dalgaformu ters dönüşümü tekniğinin doğruluğu teorik olarak hesaplanmış örnek sentetik data kullanımıyla kontrol edilmektedir. Şöyleki, bu teorik datalar gözlenen dataların yerine kullanılmaktadır. O zaman, doğal frekans ve yay sabiti gibi (f_0 , h) fiziksel parametrelerin belirlenmesi gözlenen datalardan el yöntemiyle bulunmaktadır. Gözlenen datalar ile elde edilmiş değerler ters çözüm işleminde başlangıç değerleri olarak kullanılmaktadır. Başlangıç değeri olarak genellikle aliaser olmayan filtre $f_c = 30.0$ Hz kullanılmaktadır.

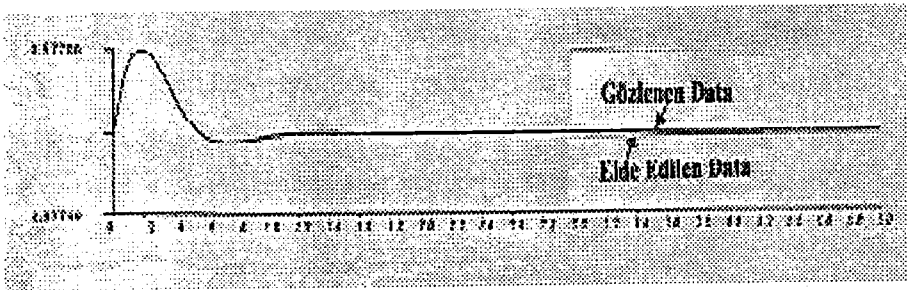
Dalga şekli girişi parametrelerin başlangıç değeriyle hesaplanan sentetik dalgaformu ve onun maksimum değeriyle de normalize edilmektedir. Sentetik dalga şeklinin maksimum değerinin giriş dalga şekline oranıyla, K_0 başlangıç değeri hesaplanmaktadır. Ters çözümün adım işlemi sonrasında, K_0 'nın elde edilen değeri giriş dalga şeklinin maksimum değeriyle pekiştirilir. Bu ürün sentetik dalga şeklinin giriş dalga şekline iyi denk gelmesini (oturması) veren K_0 'nın gerçek değerini vermektedir. Kernel fonksiyonunun, baştaki değerleri, kısmi türevin (f_0 , h , K_0 , f_c) ve onların +5% değişimi ile hesaplanmaktadır (Şekil 4.7). Şekil 5.17 de örnek dataformu datası hesaplanmasında kullanılan parametrelerin orjinal değerleri ile dalgaformu ters dönüşümünün sonucunun karşılaştırılmasını göstermektedir. Sonuçlar Tablo 5.7 de verilmektedir.

Doğal frekans f_0 ve yay sabiti h değerlerinin yanlış olmadığı, (doğrudur) genlik faktörü ve aliaser olmayan kesme frekansında ise çok küçük farklılıkların bulunduğu verilmektedir. Bunun anlamı dalga şekli ters çözümü tekniği transfer fonksiyonu doğrusal ve biliniyor olmasının gözlenen sistemin bileşenlerinin birleşmesinden oluştuğu zaman iyi verimli ve sade bir şekilde gösterebilir (Yokoi 1996).

Tablo 5.7 Dalga şekli ters çözümü yöntemiyle elde edilen bilgiler

(f_0 (Hz)=Doğal frekans, h Yay Sabiti, K_0 =Genlik faktörü, f_c (Hz)= Kesme frekanslı filtre).

No	Dosya Adı	Baştaki Değerler			Sonuç Değerleri				Teorikçe parametreler			
		f_0	h	f_c	f_0	h	K_0	f_c	f_0	h	K_0	f_c
1	Obs1.dat	1.0	0.23	30.00	0.93	0.23	998.3	30.93	0.93	0.23	998.0	31.0
2	Obs2.dat	1.0	0.30	30.00	0.93	0.29	997.7	31.11	0.93	0.29	998.0	31.0
3	Obs3.dat	1.0	0.40	30.00	0.93	0.37	998.6	30.9	0.93	0.37	998.0	31.0
4	Obs4.dat	1.0	0.60	30.00	0.93	0.52	997.7	31.05	0.93	0.516	998.0	31.0
5	Obs5.dat	1.0	0.75	30.00	0.93	0.63	998.6	30.92	0.93	0.63	998.0	31.0
6	Obs6.dat	1.0	0.85	30.00	0.93	0.76	998.7	30.91	0.93	0.76	998.0	31.0
7	Obs7.dat	1.0	1.0	30.00	0.93	1.02	999.5	30.87	0.93	1.02	998.0	31.0
8	Obs8.dat	1.0	1.0	30.00	0.93	1.10	998.4	30.95	0.93	1.1	998.0	31.0
9	Obs9.dat	1.0	1.1	30.00	0.93	1.24	998.4	30.95	0.93	1.24	998.0	31.0



Şekil 5.17 Dalga şekli ters çözümü yöntemiyle elde edilen verilerin görünümü

5.2-Türkiye'deki Uygulamalar

Türkiye'deki uygulamalar iki farklı yöntem ile yapılmaktadır. Birincisi Willmore direnç devresinde, iki farklı giriş sinyalinin kullanılmasıyla yapılmıştır. İkinci çalışma ise sismometrenin kalibrasyon bobininin kullanılmasıyla sismometrenin kalibrasyonu şeklindedir. Bu çalışma aynı zamanda Türk -Japon Projesi'nde sismometrelerin kurulması işlemlerinde de yapılan çalışmadır.

5.2.1 Willmore Direnç Köprüsü Yöntemi ile Sismometrenin Kalibrasyonu

Çalışma konusu olarak iki adet L-22D model sismometre seçildi. Teorisi anlatılan çalışmanın uygulama ve nümerik deneyleri 5.1'de ifade edildiği gibi, benzer yaklaşım ve uygulamalarla yapılmaktadır. Teori kısmında ufak tefek farklılıklar bulunmaktadır (dirençlerde). Bu çalışmada biri yeni diğeri eski olmak üzere iki adet L-22D tipi sismometre kullanılmaktadır. Hiç kullanılmayan ile çok kullanılmış olan sismometrelere, aynı özelliklerde test yapılarak, aralarındaki farklılığın görülmesi düşünülmüştür. Ayrıca aynı sismometre 5.1.1 ve 5.1.2 bölümlerinde de anlatıldığı gibi kullanılmıştır (Japonya'da). Her iki bölümdeki çalışma sonuçlarının kıyaslanabilmesi mümkün olabilmektedir. Çalışma yeri olarak Deprem Araştırma Dairesi'nin bodrum katı seçilmiştir.

5.2.1-1 Sinüzoidal Dalga Giriş Sinyali İle

İki sinüzoidal eğri V_{ab} ve V_{AB} kayıttaki kağıt üzerine çizilmiştir (Şekil 5.7). Periyod T (s) formül (5.1) ile hesaplanmıştır. Uygulamadaki bütün işlemler 5.1.2-1 bölümündeki gibidir. Yalnızca frekans ve direnç değerlerinde farklılıklar bulunmaktadır. Burada 1 nolu test için sismometre bobin direnci $R_0 = 2.05$ Kohm, 2 nolu test için ise $R_0 = 2.18$ Kohm olarak bulunmaktadır.

İki uç arasındaki direncin(shunt) altı değeri; sonsuz, 15 Kohm, 10 Kohm, 6.2 Kohm, 2.2 Kohm, 1 Kohm, ile 0.2 ve 20.0 Hz arasında değişen frekanslardaki davranışları değerlendirilerek çalışma gerçekleştirilmiştir. Böylece, düzenlenen

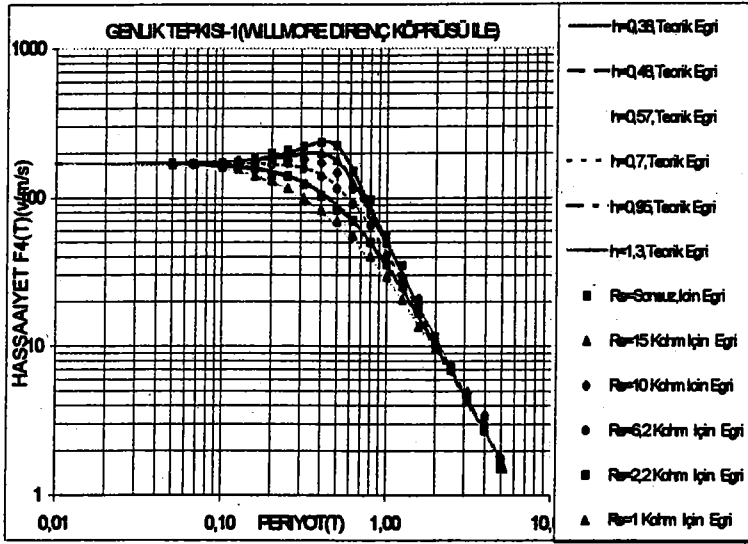
datanın altı serisi $(T, F_4(T))$ ve $(T, P_4(T))$ ile $(T, F_5(T))$ ve $(T, P_5(T))$ denklemleri ve bu değerler $E_m, (V_{ab})_m, L(f)$ ile elde edilmiştir.

Yapılan 1 ve 2 nolu testlerde az da olsa farklı değerler bulunmaktadır. Logaritmik kısmılı kağıt üzerinde sonuçlar Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21 de çizildi. 1 nolu test (yeni sismometre) için grafikteki ince çizgili eğriler $T_0=0.5$ (s) $G^2/m=170.0$, $h=0.38, 0.48, 0.57, 0.7, 0.95, 1.3$ için teorik eğrileri tanımlar. 2 nolu test (eski sismometre) için ise grafikteki ince çizgili eğriler $T_0=0.52$ (s) $G^2/m=164.4$, $h=0.33, 0.46, 0.52, 0.6, 0.89, 1.2$ için teorik eğrileri tanımlamaktadır. G^2/m 'in değeri fonksiyonlar $F_4(T)$ ve $F_5(T)$ de çizilen yüksek frekans asimtotlarıyla değerlendirilmiştir. Doğal periyod T_0 , Şekil 5.19, ve Şekil 5.21 de yapılan eğrilerin zirvesinin pozisyonu ile $P_4(T)$ ve $P_5(T)$ fonksiyonlarının 90° de çakışma değeri ile değerlendirilmiştir. Yay sabitinin h değeri tam logaritmik kağıt üzerinde grafiklerinin karşılaştırılmasıyla belirlenmiştir (Şekil 5.18 ve Şekil 5.20). T nin fonksiyonu $F_4(T)$ ve $F_5(T)$ parametrelerin T_0 ve G^2/m farklı değerlerinde bu şekli yakalamaktadır. G^2/m 'nin değişimi grafiğin düşey kısmıyla ifade edilebilir. Buradakine benzer olarak T_0 yatay kısım ile tanımlanır. $P_4(T)$ ve $P_5(T)$ fonksiyonlarında da doğal periyod T_0 un değişimi de yatay kısımda ifade edilebilir. Sonuçlar Tablo 5.8 ve Tablo 5.9 da sonuçlandırılmıştır. Yay sabiti h :

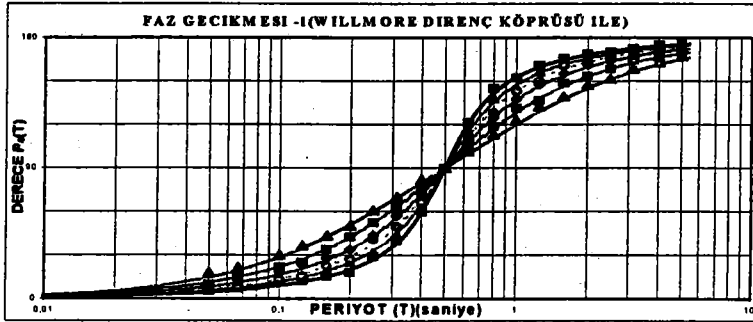
$$h = h_m + h_e, \quad h = h_m + G^2 / 2m\omega_0(R_0 + R_s).$$

Şekil 5.22. ve 5.23 de h karşı $1/(R_0+R_s)$ değerini göstermektedir ve en iyi doğru çizilmiştir. Bu eğilim değeri 1 nolu test için, $G^2/m = 170.0 \times 10^3 (\text{v}^2 / \text{Kg m}^2/\text{s}^2)$, $T_0=0.5(\text{s})$, 2 nolu test için, $G^2/m = 164.4 \times 10^3 (\text{v}^2 / \text{Kg m}^2/\text{s}^2)$, $T_0=0.52$ (s) den oluşmaktadır. Tablo 5.8 ve Tablo 5.9 da verilmektedir.

$h=0.64$ e uyumlu iki uç arasındaki direncin değeri Şekil 5.22 ve Şekil 5.23 ile değerlendirilmiştir.



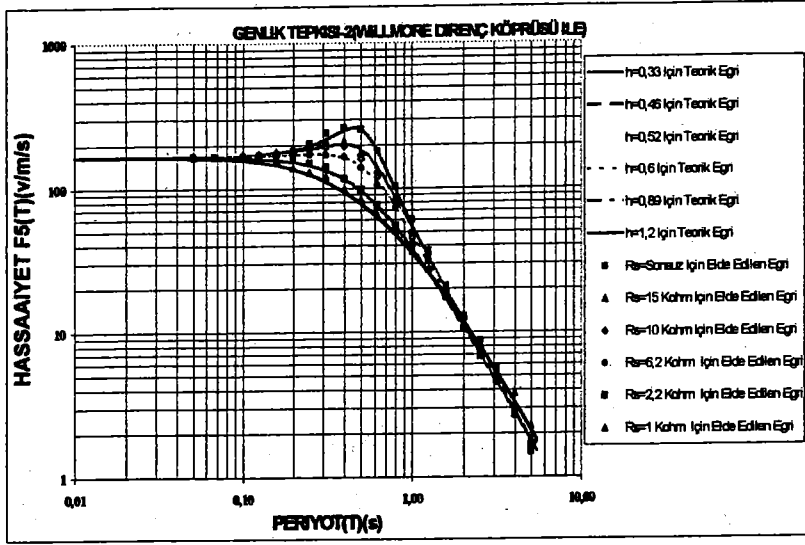
Şekil 5.18 Willmore direnç köprüsüyle sismometrenin frekans tepkisi (test-1)



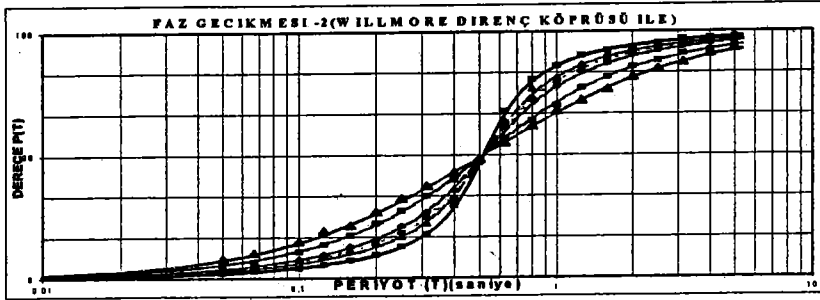
Şekil 5.19 Willmore direnç köprüsüyle sismometrenin faz gecikmesi (test-1)

Tablo 5.8 Willmore direnç köprüsü yöntemiyle elde edilen bilgiler (test-1)

Deney Sayısı	Shunt Direnç Tipi	Yapılan Test Sayısı	Doğal Periyod	Yay Sabiti h	Sismometre Tipi	Açıklamalar 1 nolu test
1	Sonsuz	20	0.5	0.38	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
2	15 Kohm	20	0.5	0.48	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
3	10 Kohm	20	0.5	0.57	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
4	6.2 Kohm	20	0.5	0.7	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
5	2.2 Kohm	20	0.5	0.95	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
6	1 Kohm	20	0.5	1.3	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu



Şekil 5.20 Willmore direnç köprüsüyle sismometrenin frekans tepkisi (test-2)



Şekil 5.21 Willmore direnç köprüsüyle sismometrenin faz gecikmesi (test-2)

Tablo 5.9 Willmore direnç köprüsü yöntemiyle elde edilen bilgiler (test-2)

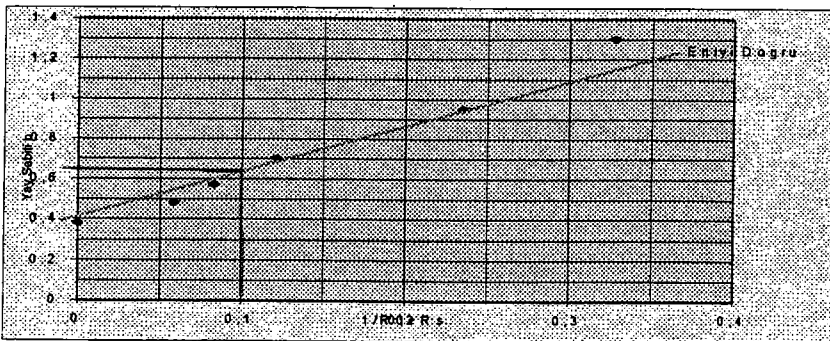
Deney Sayısı	Shunt Direnç Tipi	Yapılan Test Sayısı	Doğal Periyot	Yay Sabiti h	Sismometre Tipi	Açıklamalar 2 nolu test
1	Sonsuz	20	0.52	0.33	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
2	15 Kohm	20	0.52	0.46	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
3	10 Kohm	20	0.52	0.52	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
4	6.2 Kohm	20	0.52	0.6	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
5	2.2 Kohm	20	0.52	0.89	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu
6	1 Kohm	20	0.52	1.2	L-22D	Sismometrenin kalibrasyonu

5.2.1-2 Step Dalga Giriş Sinyali İle

İki dalga şekli(katarı) V_{ab} ve $V_{AB}=E_0$ kayıtcıdaki kağıt üzerine çizdirilmiştir(Şekil 5.11). Uygulamadaki bütün işlemler 5.1.2-2 bölümündeki gibidir. Yalnızca frekans ve direnç değerlerinde farklılıklar bulunmaktadır. Burada 1 nolu test için sismometre bobin direnci $R_0 = 2.05$ Kohm, 2 nolu test için ise $R_0 = 2.18$ Kohm olarak kullanılmaktadır. G^*_{nc} kayıtcının genlik ayarıdır. Sonuçlar Tablo 5.10 ve Tablo 5.11 de özetlenmiştir.

Tablo 5.10 Willmore direnç köprüsünde step giriş sinyaliyle elde edilen Test-1 sonuçları

Sismometre Tipi	L22D			Tek	Bileşen	Test-1
Deney Sayısı	1	2	3	4	5	6
Shunt Dirençleri	Sonsuz	15 Kohm	10 Kohm	6.2 Kohm	2.2 Kohm	1 Kohm
Yay Sabiti h	0.38	0.48	0.57	0.7	0.95	1.3
Mekanik Yay Sabiti h_m	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
Elektro. Yay sabiti h_e	0	0.1	0.19	0.32	0.57	0.92
T_w (s)	0.25	0.26	0.29	0.3	0.34	0.42
T_0 (sc)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
$v=a_1/a_2$	3.3	4.52	-	-	-	-
$1/(R_0+R_s)$ (1/ohm)	0	0.0587	0.083	0.1212	0.2353	0.3279
$P(h)$	1.67	1.81	1.98	2.24	2.67	3.25
e_m (v/m)	0.623	0.5	0.29	0.19	0.073	0.025
$T_w T_0$	-	-	0.58	0.599	0.679	0.839
G^2/m ($v^2/Kg\ m^2/s^2$)	170.054	-	-	-	-	-



Şekil 5.22 Willmore direnç köprüsü yöntemiyle h ve $1/(R_0+R_s)$ karşılaştırılarak, en iyi shunt direncinin belirlenmesi (test-1).

1 nolu sismometre için; ($T_o=0.5$ (s), $G^2/m=170 \times 10^3$ (v²/ Kg m²/s²)).

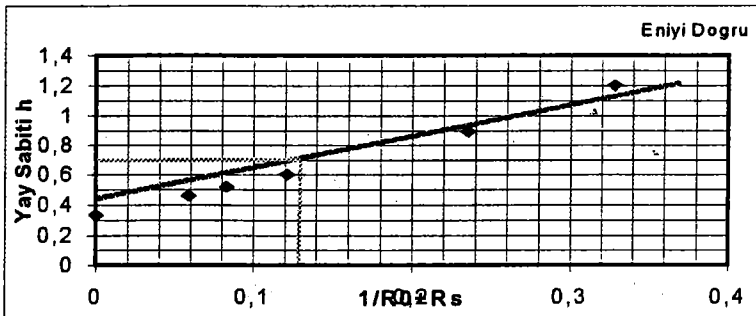
2 nolu sismometre için; ($T_o=0.52$ (s), $G^2/m=164.4 \times 10^3$ (v²/ Kg m²/s²)).

Şekil 5.22 ve Şekil 5.23 h karşı $1/(R_o+R_s)$ gösterir ve en iyi doğru çizilmektedir.

$h=0.64$ e uyumlu iki uç arasındaki direncin değeri Şekil 5.22 ve Şekil 5.23 ile değerlendirilebilir. Birinci sismometre için $R_s=7.66$ Kohm, ikinci sismometre için ise $R_s=5.82$ Kohm dirençleri sismometreye en uygun direnç olarak bulunmuştur.

Tablo 5.11 Willmore direnç köprüsünde step giriş sinyaliyle elde edilen Test-2 sonuçları

Sismometre Tipi	L22D			Tek	Bileşen	2
	1	2	3	4	5	6
Deney Sayısı						
Shunt Dirençleri	Sonsuz	15 Kohm	10 Kohm	6.2 Kohm	2.2 Kohm	1 Kohm
Yay Sabiti h	0.33	0.46	0.52	0.6	0.89	1.2
Mekanik Yay Sabiti h_m	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Elektro. Yay sabiti h_e	0	0.13	0.19	0.27	0.56	0.87
T_w (s)	0.22	0.24	0.25	0.26	0.33	0.44
T_o (sc)	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
$v=a_1/a_2$	2.83	4.25	-	-	-	-
$1/(R_o+R_s)$ (1/ohm)	0	0.059	0.083	0.121	0.235	0.328
$P(h)$	1.58	1.78	1.86	2.01	2.6	3.1
e_m (v/m)	0.66	0.45	0.275	0.2	0.0725	0.025
$T_w T_o$	-	-	0.481	0.5	0.634	0.846
G^2/m (v ² / Kg m ² /s ²)	164.4	126.4	80.64	63.38	29.72	12.22



Şekil 5.23 Willmore direnç köprüsü yöntemiyle h ve $1/(R_o+R_s)$ karşılaştırılarak, en iyi shunt direncinin belirlenmesi (test-2).

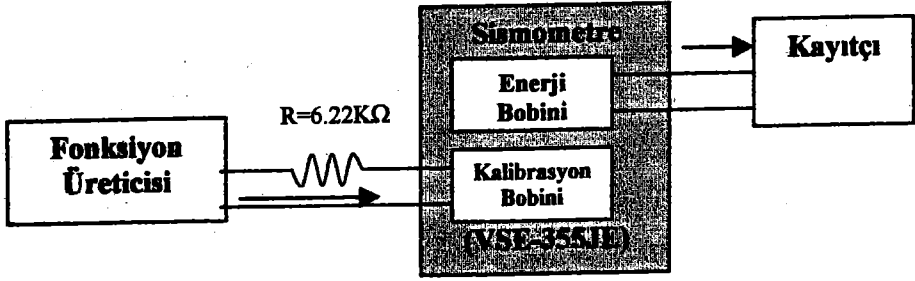
5.2.2 Sismometrenin Kalibrasyon Bobiniyle Sismometrenin Kontrol Edilmesi (Türk-Japon Projesinde Sismometrelerin Kontrolü)

Proje istasyonlarında (Deprem Zararlarının Azaltılması) kurulması düşünülen sismometrelerin test edilme işlemleri bir düzen içerisinde yapılmaktadır. Belirli genlik ve frekansta (0.1 Hz - 10 Hz) sismometrenin her bileşeni için kalibrasyon bobinine sinüzoidal giriş sinyali gönderilmektedir. Ayrıca her bileşen, üç farklı değer verebilir (hız yüksek, hız düşük ve ivme)(Şekil 5.24 ve Şekil 5.25).

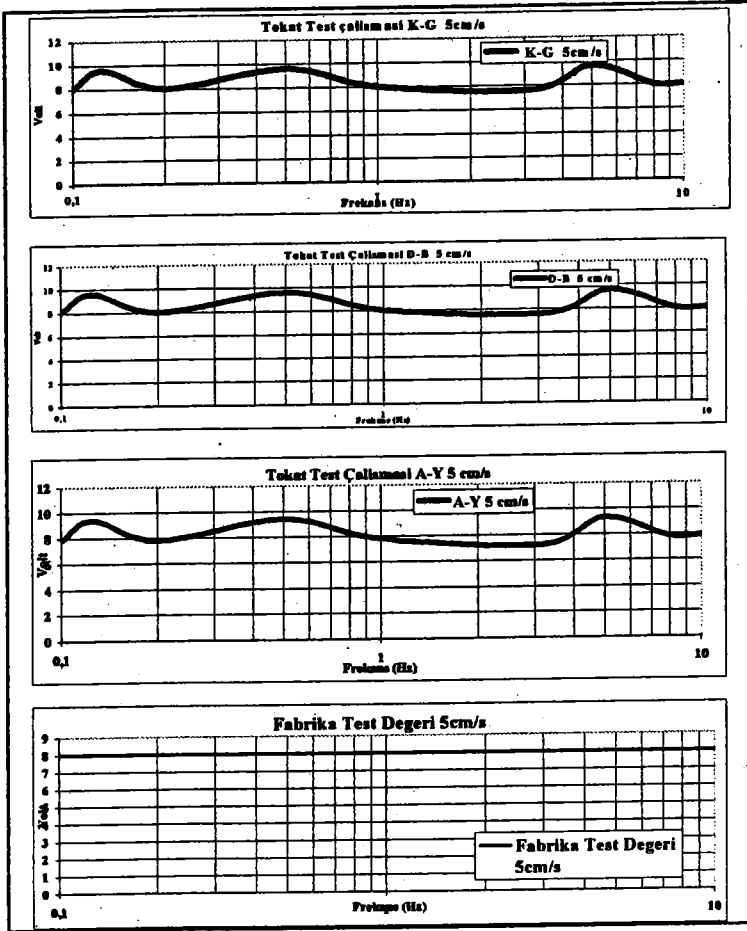
VSE-355JE tipi sismometrenin kalibrasyon bobinlerine gönderilen sinyale normal bobinlerden alınan yanıt ile test işlemi yapılmıştır. Aletin daha önce fabrikada giriş sinyallerine vermiş olduğu yanıtlar ile elde edilen sonuçlar kıyaslanır. 10 adet istasyonda bulunan her bir sismometreye, 20 farklı frekans ile yapılan test işlemleri değerlendirilmiştir (Tablo 5.12). Sismometrenin mekanik ve elektrik elementleriyle kablo özellikleri verilmektedir(Şekil 5.26 ve Tablo 5.13).

Tablo 5.12 Sismometre test işleminde kullanılan frekans ve genlikler (VSE-355JE).

Frekans (Hz)	Giriş Sinyali	Hız Yüksek Çıkışı	Hız Alçak Çıkışı	İvme çıkışı
0.1	251 mV	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	12.56 mV ^{P-P}
0.125	377 mV	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	15.70 mV ^{P-P}
0.16	377 mV	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	20.096 mV ^{P-P}
0.2	502 mV	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	25.12 mV ^{P-P}
0.25	754 mV	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	31.40 mV ^{P-P}
0.32	754 mV	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	40.192 mV ^{P-P}
0.4	1.0 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	50.24 mV ^{P-P}
0.5	1.51 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	62.80 mV ^{P-P}
0.63	1.51 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	79.128 mV ^{P-P}
0.8	2.0 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	100.48 mV ^{P-P}
1	2.51 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	125.6 mV ^{P-P}
1.25	3.77 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	157.0 mV ^{P-P}
1.6	3.77 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	200.96 mV ^{P-P}
2	5.02 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	251.2 mV ^{P-P}
2.5	7.54 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	314.0 mV ^{P-P}
3.2	7.54 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	401.92 mV ^{P-P}
4	10.0 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	502.4 mV ^{P-P}
5	15.1 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	628.0 mV ^{P-P}
6.3	15.1 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	791.28 mV ^{P-P}
8	20.0 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	1004.8 mV ^{P-P}
10	25.1 V	8 V ^{P-P}	200 mV ^{P-P}	1256.0 mV ^{P-P}



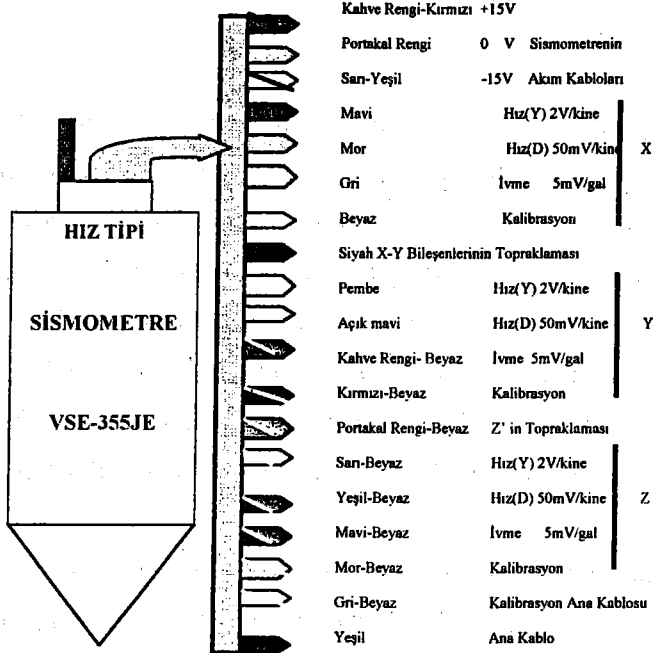
Şekil 5.24: Sismometrenin test edilme çalışmalarında devre sistemi



Şekil 5.25 Yapılan test işlemleriyle alınan sonuçlar (VSE-355JE)

Tablo 5.13 İstasyonlarda yerleştirilen sismometrenin karakteristik özellikleri

Tipi: Servo Tipi Hız ölçer	
Model: VSE-355JE	Fabrika İmal No : 962339-962348 (10 adet)
Frekans Aralığı: 0.018-100 Hz(-3dB)	Gerçek Frekans aralığı : 0.05 – 70 Hz
Çıkış Direnci : 100 Ohm yada daha az	Maksimum Çıkış Voltajı: $\pm 11V$
ÇözümSELLİĞİ: 300 μ kine yada daha az	Çizgiselliği : % 0.05 yada daha az
Çalışma Isı Oranı: -10°C ile +50°C	Su Basınç Direnci: 30 kg/cm ²
Ölçüm Yapan Bileşenleri: 2 adet yatay, 1 adet Dikey (3 adet)	
Maksimum Ölçüm Oranı: Hız ± 200 kine, İvme hızı ± 2000 gal	
Kanal Hassasiyetleri: Hız Yüksek: 2V/kine, Hız Alçak: 50mV/kine, İvme: 5mV/gal	
M=30 gr	C1=10 μ F
R=10K Ω	f _m =1.5 Hz
C2=10 μ F	T0=93°
$\alpha=50V/mm$	R1=1.1M Ω
Tn=0.00063°	G=20N/A
R2=20M Ω	E1/Ü=10 V/200 kine
r=333 Ω	R3=110K Ω
E2/Ü=10 V/2000 gal	
Tesis Eden Yetkili : Tadashi SHIMODATE (Tokyo Sokushin CO. LTD.)	
Tesis Eden Yardımcı Yetkili : Adem SÖMER (Afet İşleri Genel Müdürlüğü)	



Şekil 5.26 Sismometreye bağlı bulunan kabloların renk ve özellikleri (VSE-355JE)

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sarsma Tablası üzerinde eski bir L-22D tipi sismometre ile çalışma yapılmıştır. Fiziksel parametreler $T_0=0.42$ (s), $G=70$ (v/m/s), $h_m=0.38$, $m=0.068$ (Kg) ve ölçülerek bulunan $R_0=2.25$ (Kohm) değerleri sismometre el kitabında verilen $T_0=0.5$ (s) $\pm 10\%$, $G=75.7$ (v/m/s) $\pm 10\%$, $h_m=0.46 \pm 10\%$, $m=0.0728$ (Kg), $R_0=2.2$ (Kohm) $\pm 7.5\%$ parametrelerden çok az da olsa farklılık göstermektedir. Parametreler m ve h_m hariç eğer sismometrede mıknatıs yapısının akış yoğunluğu ya da sismometre yayının sertliği çok az değiştirilebilir. Bu deneyde, referans sismometrenin hassasiyeti kaba bir yaklaşımla 200 (v/cm) varsayılır ve yaklaşık %5 hata vermektedir. Referans sismometrenin hassasiyetini 193.6 (v/cm) varsayalım, hassasiyet $G = 72.3$ (v/m/s) fonksiyonun $F_1(f)$ yüksek asimtotundan elde edilir ve kütle ise bölüm 5.1.1'de bazı ölçüm datalarından $m = 0.0728$ (Kg) bulunur. O zaman, referans sismometrenin hassasiyetinin kabaca düşünülmesi m 'nin değerindeki farklılığa neden olabilir.

Kağıt üzerinde h' ye karşı $1/(R_0+R_f)$ çizilen doğru üzerindeki eğimden sarsma tablasındaki testte $G^2/m = 7.18 \times 10^4$ (v²/Kg m²/s²) ve direnç köprüsü yoluyla sinüzoidal ve step akım girişiyle $G^2/m = 7.3 \times 10^4$ (v²/Kg m²/s²) değerleri elde edilmiştir. Bu fark, datalardan geçen hattın (çizginin) çizilmesiyle ve kabul edilebilir bir hatadır. Fonksiyonun yüksek frekanstaki asimtotundan elde edilen değer $G^2/m = 7.0 \times 10^4$ (v²/Kg m²/s²) şeklindedir ve bu asimtotun okunmasında şüphe gösterir. Buradaki gibi $G^2/m = 6.97 \times 10^4$ (v²/Kg m²/s²) okumayla step tepkisinin birinci pik değerinden elde edilir. Farklılık her iki durumda yeterli küçüklüktedir.

Türkiye'deki uygulamalarda kullanılan iki adet L-22D tipi basit sismometre, 1 nolu sismometre(Yeni): $T_0=0.5$ (s), $G^2/m=170.0 \times 10^3$ (v²/ Kg m²/s²), $h_m = 0.38$, $R_0 = 2.05$ Kohm,

2 nolu sismometre(Eski): $T_0=0.52$ (s), $G^2/m=164.4 \times 10^3$ (v²/ Kg m²/s²), $h_m = 0.33$ $R_0 = 2.18$ Kohm

görüldüğü gibi birbirlerine yakın sonuçlar vermektedir. h karşı $1/(R_0+R_s)$ ile en iyi doğru çizilerek, $h=0.64$ e uyumlu iki uç arasındaki dirençin değeri değerlendirilebilir. Birinci sismometre için $R_s=7.66$ Kohm, ikinci sismometre için ise $R_s=5.82$ Kohm dirençleri sismometreye en uygun direnç olarak bulunmuştur.

Türkiye uygulamalarında elde edilen bu sonuçlar ile Japonya uygulamaları arasında, başta kütleye bağlı hassasiyet olmak üzere önemli bir farklılık olduğunu söyleyebiliriz. Bu sismometrelerin gerçekten de L-22D olup olmadığı tartışmalıdır. Kendi aralarında yapılan kıyaslamada ise hiç kullanılmayan sismometrenin daha hassas olduğu ve doğal peryodunun da bozulmaya uğramadığı görülmüştür. Mekanik yay sabiti değeri de bunu pekiştirmektedir.

Sinüzoidal sinyal girişi kullanımıyla sismometre L-4 ile yapılan deneyde, doğal peryod $T_0=0.935(s)$, yüksek frekansta asimtotdan $G_1G_2/m=124.16$ ($v^2/Kgm^2/s^2$) bulunan değer ile bobin direnci $R_0=5.5$ (Kohm) şeklindedir. Hemen hemen aynı şekilde step giriş akımı kullanımıyla değerler $T_0=0.935(s)$, $G_1G_2/m=124.14$ ($v^2/Kg m^2/s^2$) elde edilmiştir. Özelliklerinin belirtildiği sayfada kütlenin verilmiş olan değeri $m=0.96(Kg)$ ve ölçülerek bulunmuş olan bobin değeri $R_2=19$ (ohm) ile G_1 ve G_2 değerlerinin bulunması mümkün olabilir. Sonuç olarak $G_1=185.7$ (v/m/s), $G_2=0.642(v/m/s)$ bulunur. Yukarıdaki sonucun tutarlılığı gibi ilave olarak direnç köprüsü ile deney güç çevirici bobinde $G_1=185.9$ (v/m/s) verilir.

Bu denemelerin sonuçları sinüzoidal ve step giriş akımları methodu gösterir ki tek bobin durumunda ve çift bobin durumunda sonuçlar hemen hemen aynı şekilde verilir. Onların sonuçları sarsma tablası testi sonuçlarıyla tutarlı bir yaklaşım göstermektedir. Dalgaformu ters çözümü orijinalinde yazılan ölçümlerde esas parametre değerlerinin doğru gelişimi ve sayısal kayıt hareketi başladığı zaman step giriş sinyali methoduyla hesaplanışı kullanılabilir.

Yapılan çalışmalar sonucunda her bir yöntemin özellikleri;

Sarsma tablası testi: Sarsma tablasına ihtiyaç vardır. Bu tabla her yerde bulunamadığı için uygulaması çok zor ve pahalıdır. Frekans ortamında ölçüm çalışması yapıldığı için frekans üreticisine ihtiyaç vardır. Direk olarak hassasiyeti G verebilmektedir.

Willmore direnç köprüsü: Dirençler ile bir devre kurulma işlemi kolay ve çok ucuzdur. Direnç devresinde maksimum $\% \pm 1$ direnç hatası ile devre oluşturulmalıdır.

Sinüzoidal giriş sinyaliyle; frekans ortamında çalışıldığı için fonksiyon üreticisine ihtiyaç bulunmaktadır. Kütleye bağlı hassasiyet değeri G^2/m bulunmaktadır. Bobinin kütlesi m biliniyor ise hassasiyet bulunabilmektedir.

Step giriş sinyaliyle; basit bir pil ile de giriş akımı sağlanabilir. Frekans ortamına ihtiyaç yoktur. Kütleye bağlı hassasiyet değeri G^2/m bulunmaktadır. Bobinin kütlesi m biliniyor ise hassasiyet kolayca bulunabilmektedir.

Kalibrasyon bobiniyle: Sismometrenin kalibrasyon bobini kullanıldığı için giriş ve çıkış sinyalleri birbirine karışmaz. Böylece bir direnç devresine gereksinim olmayacaktır. Bu nedenle ucuz, hızlı ve çok kolaydır.

Sinüzoidal giriş sinyaliyle; frekans ortamında çalışıldığı için fonksiyon üreticisine ihtiyaç bulunmaktadır. Kütleye bağlı hassasiyet değeri G_1G_2/m bulunmaktadır. Bobinin kütlesi m biliniyor ise hassasiyet G_1 ve G_2 bulunabilmektedir.

Step giriş sinyaliyle; basit bir pil ile de giriş akımı sağlanabilir. Frekans ortamına ihtiyaç yoktur. Kütleye bağlı hassasiyet değeri G_1G_2/m bulunmaktadır. Bobinin kütlesi m biliniyor ise hassasiyet G_1 ve G_2 bulunabilmektedir.

Dalga şekli ters çözümü: Sayısal data işlem tekniği gerekmektedir. Datalar zaman ortamındadır. Step yöntemiyle başlangıç değerleri f_0 , h , K_0 , f_c oluşturulur. Çok daha karmaşık gözlem sistemlerinde uygulanabilir.

Bir sismometreyi birden fazla yöntem ve giriş sinyalleri ile test ederek daha sağlıklı bilgi ve kıyaslama olanağı sağlanmıştır.

BÖLÜM 7 AÇIKLAMA VE KAYNAKLAR

- [1] Yokoi T, Local Earthquake Observation, IISSE Lecture Note(1996-1997)
- [2] Willmore, P. L., 1959, The Application of the Maxwell Impedance Bridge to the Calibration of Electromagnetic seismographs, Bull. Seim. Soc.A., Vol. 49,99-114.
- [3] Aoki, H.,1994, An Equalizer for Broad-band seismometry, Zisin,Ser.2, Vol.47,345-346.(in Japanese with English abstract.
- [4] Kitsunezaki, C. and N. Goto, 1964, On the determination of Geophone Characteristics by "Step Force Method", Butri-Tansa, Vol.17, No.4, 1-11.
- [5] Aki, K and P.G. Richard, 1980, Quantitative Seismology: Theory and Method, W. H. Freeman and Co., San Francisco.
- [6] Won-Young and Göran Ekström, Instrument Responses of Digital Seismographs at Borovoye, Kazakhstan, by Inversion of Transient Calibration Pulses, Bull. Seism. Soc. Am. Vol.86, No:1 pp. 191-203, 1996
- [7] W. FARRELL and J. BERGER, 1979, Seismic System Calibration:1. Parametric Models, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.69, No:1,pp.251-170
- [8] Akashi Ltd.,1974 operation Manual of Ase-33T electro-dynamic shaking test system.
- [9] Yokoi T., Data Processing, IISSE Lecture Note (1996-1997)
- [10] Güler H. Hüseyin, Deprem Zararlarının Azaltılması, Türk- Japon Projesi Tanıtım Yazısı, 1995
- [11] Sömer Adem ve Tüzel Bekir, Sismik İstasyon Yerlerinin Tesbiti İçin Sinyal-Gürültü Oranları Araştırması, Türk Haritacılığının Yüzüncü Yılı Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği ve Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Kongreleri Bildiri Kitabı, 942, 1995
- [12] Goto N., Sömer A., Tüzel B ve Çoruh E., Mikrotremor Ölçümleriyle İstasyon Yeri Belirleme Çalışmaları, Seminer Kitabı, 91, 1995

- [13] Yokoi I. Broad velocity type feedback seismometer –VSE of TOKYO SOKUSHIN Co. and STS of Streckeisen Co., 1997
- [14] Toshiba Corporation, Reference Manual Books, 1997
- [15] Deprem Zararlarının Azaltılması Araştırma Merkezi, Deprem Veri Toplama ve Hasar Değerlendirme Alt Merkezi, Proje Tanıtım Dergisi, 1998
- [16] Suzuki Sadomi, Deprem Zararlarının Azaltılması Projesinde, Yer Seçimi Çalışmaları, Teknik Rapor, 1993
- [17] Kinoshita Shigeo, Seismometer Installation, 1997
- [18] Sömer Adem, Sismik İstasyon Yerlerinin Hazırlanması ile Sismometrelerin Kurulması ve Ayarlanması Çalışmaları, Görev Raporu, 1997
- [19] Ergünay Oktay, Deprem Zararlarının Azaltılması Çalışmaları, Seminer Kitabı, Önsöz, 1995
- [20] Demirtaş R. ve Yılmaz R., Türkiye'nin Sismotektoniği, 1996
- [21] Toshiba Corporation, 1997, Experimental system of strong earthquake observing network for Earthquake Disaster prevention Center in Turkey., Production Design Specification of Software.