

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANALOG SİSMOMETRELERDEN SAYISAL VERİ TRANSFERİ

YÜKSEK LİSANS

Elektronik ve Haberleşme Müh. Süleyman TUNÇ

Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Danışman: Doç.Dr. Sarp ERTÜRK

KOCAELİ, 2006

ANALOG SİSMOMETRELERDEN SAYISAL VERİ TRANSFERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ


Süleyman TUNÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Şubat 2007

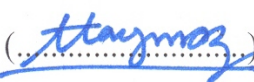
Tez Danışmanı

Doç. Dr. Sarp ERTÜRK


(.....)

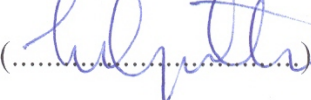
Üye

Prof. Dr. Tuncay TAYMAZ


(.....)

Üye

Yrd. Doç. Dr. Kemal GÜLLÜ


(.....)

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Tarih boyunca birçok deprem felaketi yaşamış ülkemizde deprem çalışmaları, özellikle 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Gölcük Depremi sonrasında hız kazanmıştır. Günümüz teknolojisi ve bilgi birikimi henüz depremlerin önceden belirlenmesi için yeterli değildir. Bu nedenle bir depremin yerinin, oluş zamanının ve büyüklüğünün belirlenmesi hızla yapılarak ilgili kurumlara bilgilerin aktarılması, deprem zararlarını azaltmak açısından çok önemlidir. Analog deprem kayıtçıları ile bir depremin parametrelerinin belirlenmesi uzun bir süre alırken (3-30 dakika), günümüzde yaygın olarak kullanılan sayısal sismometrelerin kayıtları ile birkaç saniyede çözümlene yapılabilmektedir.

Ülkemizin ekonomik durumu göz önüne alınırsa, kurumlarda sağlam halde olup da aktif olarak kullanılmayan analog sismometrelerin sayısallaştırılarak sismik ağdaki boşlukların bu cihazlarla doldurulması deprem parametrelerinin güvenilirliği açısından uygun ve ekonomik bir çözüm olacaktır.

Bu çalışmada, Güralp System'e ait CMG-40V analog sensörün verisi, PIC entegresi ile tasarlanmış sayısallaştırıcı bir devre kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Analog veriler 10 bit olarak sayısallaştırılmış ve sonucun sismolojik çalışmalar için uygun olduğu görülmüştür.

Bilgi ve deneyimi ile çalışmamı destekleyen sayın Hocam Doç. Dr. Sarp ERTÜRK'e, çalışmanın sismoloji bölümünde yardımlarını aldığım sayın hocalarım Prof. Dr. Özer KENAR, Prof. Dr. Mithat Fırat ÖZER ve Prof. Dr. Şerif BARIŞ'a şükranlarımı sunarım. Çalışmam süresince en sıkıntılı anlarımda varlığı ile beni rahatlatan sevgili eşim Arş. Gör. Berna TUNÇ'a, çalışmam süresince maddi ve manevi desteğini aldığım Sentez Mühendislik'ten sayın Samim ADA ve Özlem AYGÜN'e, Güralp System'den Cansun GÜRALP ve Murray McGOWAN'a her zaman yanımda olan ve beni destekleyen Arş. Gör. Deniz ÇAKA'ya, Melda ARPACIOĞLU'na, YUBAM çalışanlarına ve Mustafa HATİPOĞLU'na teşekkür ediyorum.

Fiziki varlığı ile yanımda olmasa da sürekli benimle olduğunu bildiğim ve bu nedenle her zaman ona yakışır bir evlat olmak için çalıştığım, sevgili babam Hasan TUNÇ'a bana hayat verdiği için şükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
ÖZET	vii
İNGİLİZCE ÖZET	viii
1. GİRİŞ	1
2. DEPREM	3
2.1. Deprem Nedir?	3
2.2. Depremlerin Oluş Nedenleri ve Yerkürenin İç Yapısı	5
2.3. Sismik Dalgalar	8
2.4. Deprem Türleri	10
2.5. Deprem Parametreleri	11
2.6. Depremlerin Ölçülmesi	12
3. SİSMOGRAF	13
3.1. Sismografin Tarihçesi	13
3.2. Sismograf ve Bileşenleri	14
3.2.1. Algılayıcı (Sismometre)	15
3.2.2. Kayıtcı	15
3.2.3. GPS	16
4. SİSMOMETRELER	19
4.1. Sismometrenin Tanımı	19
4.2. Sismometrelerin Çalışma Prensibi	20
4.3. Sismometrelerin Sınıflandırılması	23
4.3.1. Yapılarına göre sismometreler	24
4.3.1.1. Mekanik sismometreler	24
4.3.1.2. Elektromanyetik sismometreler	24
4.3.2. Bileşenlerine göre sismometreler	25
4.3.3. Peryodlarına göre sismometreler	26
4.3.4. Yer hareketinin türüne göre sismometreler	30
4.3.5. Algılayıcı teorilerine göre sismometreler	31
5. SİSMOMETRELERİN KALİBRASYON KONTROLÜ	37
5.1. Sinüzoidal Giriş Sinyali ile Kalibrasyon Kontrolü	37
5.2. Rastgele Broad-Band Gürültü Sinyali ile Kalibrasyon Kontrolü	41
6. ANALOG SİSMOMETRELER İÇİN SAYISALLAŞTIRICI TASARIMI	43
6.1. Mikrodenetleyici	43
6.1.1. Mikrodenetleyicinin avantajları	44
6.1.2. PIC mikrodenetleyicilere giriş	44
6.1.3. PIC mikrodenetleyicilerinin tercih sebepleri	44
6.1.4. PIC'in kullanımı için gerekli aşamalar	45
6.1.5. PIC mikrodenetleyicilerinin özellikleri	46
6.1.6. Assembler komut seti	48
6.2. Sayısallaştırıcıya Ait PIC Programı	49
6.3. Paralel Port	51

6.3.1. DATA portu.....	52
6.3.2. STATUS portu.....	53
6.3.3. CONTROL portu.....	53
6.4. Kullanılan Sismometreler.....	54
6.5. Veri Okuma, Kaydetme ve Çizdirme Programları.....	56
6.5.1. Matlab programı.....	56
6.5.2. C # ve Matlab programı.....	57
6.6. Sayısallaştırıcının Gürültü Seviyesi.....	60
6.7. Sayısallaştırılmış Veri Sonuçları.....	60
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	65
EKLER.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kuvvet birikimi yok.	4
Şekil 2.2. Faydan uzak kesimlerde levhalar hareket ediyor, fay bölgesinde şekil bozukluğu yok	4
Şekil 2.3. Fay bölgesinde dayanım aşıp kırılma meydana gelir	5
Şekil 2.4. Yerkürenin iç yapısı ve katmanları	6
Şekil 2.5. Sismik dalgalarının yerküre içinde odaktan çevreye yayılışı.....	9
Şekil 2.6. Cisim ile yüzey dalgaları ve meydana getirdikleri hareketler	9
Şekil 2.7. P, S ve yüzey dalgalarının sismogram kaydındaki izleri.....	10
Şekil 3.1. Sismografin birimleri	15
Şekil 3.2. 15 Haziran 1995 Jan Mayen Adası Depremine ait sismogram kaydı (USGS, 1995)	16
Şekil 3.3. GPS' in çalışma mantığı (Trimble Navigation, 1993)	17
Şekil 4.1. Sismometreler (Güralp Systems)	19
Şekil 4.2. Düşey-sarkaç hareketli-bobin sismometrenin ilkesi. B temel kaya, P sismometrenin üzerine yerleştirildiği, temel kaya üzerine betondan yapılan taban, F çerçeve, M sarkaçın kütlesi, PM mıknatıs, C bobin, S spiral yay, A yer hareketini büyütücü sistem, FL süzgeç. Mıknatıs ve bobin arasındaki göreceli hareket, elektrik sinyal (voltaj) oluşturur.	21
Şekil 4.3. Weichert yatay ve düşey sismografları.	24
Şekil 4.4. L4-3C Mark Product sismometresi	25
Şekil 4.5. 15 Haziran 1985 Güneybatı İsveç'in açıklarında meydana gelmiş ve odak derinliği 15 km (magnitüd $M_L=4.6$) olan depremin 490 km uzaklığındaki Uppsala sismograf istasyonunda genişband sayısal kaydı	25
Şekil 4.6. Bazı sismograf sistemlerinin periyoda bağlı tepki özellikleri: 1) Benioff (SP-WWSSN); 2) Grenet-Coulomb; 3) Wood-Anderson; 4) Kirnos; 5) Wiechert; 6) Press-Ewing (LP-WWSSN); 7) Broad-band. SP= kısa-periyod, LP= uzun-periyod (Kulhanek, 1990)	27
Şekil 4.7. Dört farklı sismograf sistemi ve 75° dışmerkez uzaklığı için bilgisayarda hesaplanan düşey-bileşen yapay sismogramlar.	29
Şekil 4.8. Frekansa bağlı olarak genliğin değişimi.....	31
Şekil 4.9. Bir Broad-band sismometreye ait frekans yanıt grafiği	32
Şekil 4.10. NLNM (New Low Noise Model) - NHNM (New High Noise Model), USGS Technical Summary, US Geological Survey, 25 January 1990	33
Şekil 4.11. (a) Open loop sismometre, (b) Close loop sismometrelerin genel yapısı	33
Şekil 4.12. Open loop sismometre sistem şeması.....	34
Şekil 4.13. Close loop sismometre sistem şeması.	35
Şekil 4.14. Çeşitli Güralp Systems sismometrelerine ait gürültü grafiklerinin NLNM (New Low Noise Model) ile karşılaştırılması.....	36
Şekil 5.1. Güralp Systems tarafından üretilen CMG-3TD sismometre.....	37
Şekil 5.2. 215 saniye periyodlu sinyalin frekans yanıt grafiği	38
Şekil 5.3. 95 saniye periyodlu sinyalin frekans yanıt grafiği	38
Şekil 5.4. 50 saniye periyodlu sinyalin frekans yanıt grafiği	39
Şekil 5.5. 10 saniye periyodlu sinyalin frekans yanıt grafiği	39
Şekil 5.6. 1 Hz frekanslı (1 sn) sinyalin frekans yanıt grafiği	40
Şekil 5.7. 4 Hz frekanslı (0.25 sn) sinyalin frekans yanıt grafiği.....	40

Şekil 5.8. 10 Hz frekanslı (0.1 sn) sinyalin frekans yanıt grafiği.....	41
Şekil 5.9. Rastgele broad-band gürültü sinyali uygulanan cihaza ait üç bileşen kaydı.....	42
Şekil 5.10 Rastgele broad-band gürültü sinyaline ait frekans yanıt grafiği.....	42
Şekil 6.1. Sayısallaştırıcının devre şeması	43
Şekil 6.2. Paralel porta ait pinler	52
Şekil 6.3. 20 sn' lik CMG-V40 sismometresinin frekans yanıt grafiği.....	55
Şekil 6.4. Sayısallaştırıcının giriş uçları boştayken, gürültü seviyesi	60
Şekil 6.5. Program Çıktısı	61
Şekil 6.6. Program Çıktısı	61
Şekil 6.7. Program Çıktısı	62

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Richter Magnitudü ve Şiddet	12
Tablo 4.1. Daha yaygın kullanılan bazı sismografların temel parametreleri (Kulhanek, 1990).....	27

ANALOG SİSMOMETRELERDEN SAYISAL VERİ TRANSFERİ

Süleyman TUNÇ

Anahtar Kelimeler: Deprem, sismik dalga, sismograf, open loop (açık döngü) sismometre, close loop (kapalı döngü) sismometre, analog sensör, sismometre, PIC, sayısallaştırıcı.

Özet: Ülkemizde birçok aktif fay zonu bulunmaktadır. Yerleşim yerlerinin bu faylara yakın olması ve son yıllarda büyük depremlerin meydana gelmesi sonucunda; ülkemizde can ve mal kaybı artmıştır. Bu nedenle depremleri kaydeden, erken uyarı yapabilen, depremlerin yerlerini ve büyüklüklerini hesaplayan cihazlara olan talep artmıştır. Ülkemizde birçok yerel deprem ağı kurulmuş, ulusal ağların ise istasyon sayıları arttırılmaya başlanmıştır. Ülkemizin fay dağılımı, yüzölçümü ve deprem tehlikesi göz önüne alındığında, kurulu olan deprem istasyon adedinin yeterli sayıda olmadığından, yakın gelecekte gerek ulusal deprem ağlarındaki istasyon sayılarının artması, gerekse diğer kurumların lokal ağlar kurmak ve deprem istasyon sayılarını arttırmaları gerekmektedir.

Son yıllarda yarı iletken ve işlemci alanındaki gelişmeler neticesinde (Flash RAM, DSP-Dijital Sinyal İşlemci, 24 bit (A/D)A/S dönüştürücüler), sismometrelerin boyutlarını küçültmüş ve fiyatlarını düşürmüş, kullanımını ve kurulumunu kolaylaştırmış, kayıt kapasitelerini, veri kalitesini ve güvenilirliğini artırmıştır.

Bu çalışmada; ülkemizde birçok kamu kurumunda bulunan fakat kullanılmayarak bir kenara atılmış plan analog sismometrelerin faaliyete geçirilmesi için sayısallaştırıcı tasarlanmıştır. Yer sarsıntılarını gözlemlemek için; Güralp System tarafından üretilen, V4034 ve V4036 düşey bileşen analog sensörlerler kullanılmış olup, sensör çıkışları analog/sayısal dönüştürücü olarak kullanılan PIC 16F819'un girişlerine 2.5 V ilave edilerek uygulanmıştır. PIC den gelen veri bilgisayarın paralel portundan okunmuş ve yazılan programla offseti giderilerek gelen yer sarsıntı verileri yer hareketinin hızına çevrilerek, bilgisayar ekranında gerçek zamanlı olarak gözlenmiş ve kaydedilmiştir. Ayrıca bu tür bir devre kullanılarak herhangi bir analog sismometre ile ucuz deprem kayıtçıları kullanılarak yerel ağlar veya bilimsel amaç için kullanılabilir mobil (hareketli) deprem ağları kurularak artçı deprem, baraj ve volkanik faaliyetlerin mikrodeprem etkinliklerinin izlenmesi kolay ve ekonomik bir şekilde belirlenebilecek hale gelmiştir. Bu tür sistemlerin kolay, ucuz ve ülkemizde üretilmesi, teknik servisin maliyetini ve hizmet süresini de kısıltacaktır.

Digitizer Design of An Analog-Digital (A/D) Converter for Conventional Analog Seismometers

Süleyman TUNÇ

Keywords: Earthquake, seismic wave, seismograph, open loop seismometer, close loop seismometer, analog sensor, seismometer, PIC, digitizer.

Abstract: There are many known active faults producing destructive earthquakes in Turkey, damaging large cities, causing devastating damages and many human losses. Due to these facts the demand to have affordable earthquake recording equipments in order to efficiently register earthquakes is increased. In recent years, it is well known that local networks have been installed and the number of seismic stations has continuously been increased in the Turkish national network. However, when we consider the seismogenic zones, active fault distribution, and seismic hazard of Turkey, the number of installed seismic stations is not yet adequate to cover the entire region. Therefore, responsible agencies should increase the number of seismic stations in national network in the near future. It is also hoped that many other agencies will aim to install local seismic networks increasing the number of seismic stations.

As a results of recent progress and development of technological devices, semi-conductors and processors (e.g. flash RAM, Digital Signal Process, 24 bit A/D Converters) are becoming compact in dimensions and lowering the prices, facilitating usage and installation, and increasing data storage capacity, data quality and security.

In this thesis, a new digitizer system for abandoned analog seismometers is developed that can be implemented into many existing conventional sensors of governmental agencies. Vertical analog sensors of V4034 and V4036 manufactured by Güralp System are used to monitor Earth tremors, and the output of these sensors has been applied to the input of PIC 16F819 Analog/Digital converter by adding 2.5 V. In our new device, the data-stream coming from the PIC is read from the parallel port of the computer and after removing the offset of the data-shift from the Earth tremors, it is converted to the velocity of the Earth displacement; and has been monitored and recorded by using a newly developed computer code. Furthermore, by using this type of digitizer with analog seismometers any seismologist can establish cheap seismograph systems. Thus, these systems can provide a flexible portable local seismic network for scientific purposes (e.g.: aftershocks and micro earthquake studies, monitoring of large engineering constructions and volcanic activities to name a few).

Reproducing such a simple and affordable recording system in Turkey will hopefully also provide reduced technical service and maintenance expenses, and decrease servicing time-lag.

1. GİRİŞ

Üzerinde yaşadığımız yerküre yeraltı ve yerüstü zenginlikleri ile üzerinde yaşayan canlıların yaşamlarını bir taraftan kolaylaştıran özelliklere ve olaylara sahipken, diğer taraftan hayatı zorlaştırıcı ve hatta ölümlere neden olan olaylara sahiptir. Deprem, temel olarak ikiye ayrılan bu olaylardan her ikisine de girmektedir. Deprem, yeraltındaki doğal kaynakların ortaya çıkmasına neden olarak canlıların yaşamlarını kolay hale getirirken, canlıların içinde yaşadıkları yapılara zarar vererek hayatlarını tehdit etmektedir.

Deprem oluşumunu insanoğlu engelleyemediğine göre bu konuda daha fazla bilgi sahibi olarak canlılara verdiği zararı en aza indirerek yaşamını devam ettirmektedir. Bir konu üzerinde çalışabilmek için konu hakkında bilgi edinmek gerekmektedir. İnsanın varoluşundan bu yana meydana gelen deprem, tarihin her döneminde insanların ilgisini çekmiş ve bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. 1900'lü yılların başına kadar bu çalışmalar depremin neden olduğu etkiler üzerine iken, bu tarihten itibaren depremde oluşan yer sarsıntısını kaydeden cihazların (sismometrelerin) yapılması üzerine artık depremin aletsel büyüklüğü gibi kavramlar ortaya çıkmış ve deprem hakkında daha detaylı ve doğru bilgiler elde edilmeye başlanmıştır. Deprem kayıtlarının sayısal olarak alınabilmesi ise yirminci yüzyılın ortalarından sonra başlamış ve bu sayede araştırmacılar daha kısa sürede deprem hakkında bilgi edinebilmiş ve kayıtlar üzerindeki matematiksel işlemleri daha rahat gerçekleştirmeye başlamışlardır. Sayısal veri, sadece işlemlerin kolaylığı açısından değil, kullanma kolaylığı, depolama ve erken uyarı sistemlerinin gelişmesi için de büyük bir adım olmuştur. Doğrudan bilgisayar ortamına aktarılan deprem kayıtları, bilgisayar programları ile değerlendirilerek çok kısa bir sürede gerekli yerlere deprem hakkında bilgiler ulaştırılabilmektedir. Bu sayede depremlerde ikincil etki olan fakat en az depremin verdiği zarar kadar zarar veren yangınlar, kazalar vb. afetler erken uyarı sistemleri ile önlenilmekte ve hatta deprem kaynağına yeterli uzaklıkta olan bölgeler için insanların binaları boşaltmalarına yetecek zaman kazanılabilmektedir.

Bu çalışmada, günümüz teknolojisine uygun, analog deprem kayıtçısından elde edilen veriyi sayısallaştırarak bilgisayar ortamına aktaran analog-sayısal çevirici devre

tasarlanmıştır. Bu evirici düzenek ile ülkemizde halen kurumlarda bulunan fakat sayısal sismometrelerin kullanılmaya başlanması ile kullanım dışı bırakılan analog deprem kayışçılarının, sayısal kayıt alması sağlanabilecektir. Böylelikle sismik ağlardaki boşluklar düşük maliyetli olarak doldurulabilecektir.

2. DEPREM

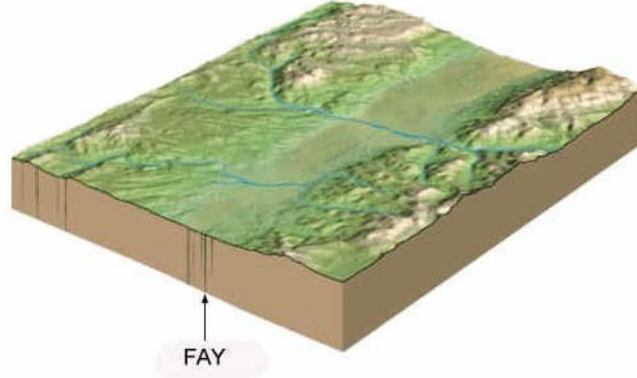
Dünyanın oluşumundan beri, sismik yönden aktif bulunan bölgelerde depremlerin ardışıklı olarak oluştuğu ve sonucunda da milyonlarca insanın ve barınakların yok olduğu bilinmektedir. Bilindiği gibi yurdumuz dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı deprem olduğu gibi, gelecekte de sık sık oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğrayacağımız bir gerçektir. Deprem Bölgeleri Haritası'na göre, yurdumuzun % 92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun % 95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı ve ayrıca büyük sanayi merkezlerinin % 98'i ve barajlarımızın % 93'ünün deprem bölgesinde bulunduğu bilinmektedir. Son 58 yıl içerisinde depremlerden 58000 vatandaşımız hayatını kaybetmiş, 122000 kişi yaralanmış ve yaklaşık olarak 411000 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Sonuç olarak denilebilir ki, depremlerden her yıl ortalama 1000 vatandaşımız ölmekte ve 7000 bina yıkılmaktadır.

2.1. Deprem Nedir?

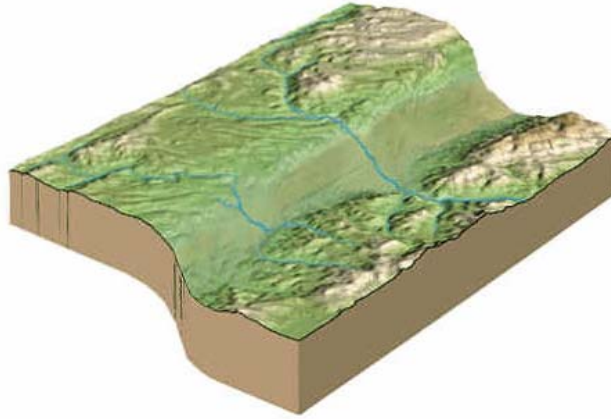
Yerkabuğu içindeki kırılmalar nedeniyle ani olarak ortaya çıkan titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzeyini sarsma olayına "DEPREM" denir. Deprem, insanın hareketsiz kabul ettiği ve güvenle ayağını bastığı toprağın da oynayacağını ve üzerinde bulunan tüm yapıların da hasar görüp, can kaybına uğrayacak şekilde yıkılabileceklerini gösteren bir doğa olayıdır. Depremi nasıl oluştuğunu, deprem dalgalarının yeryüzü içinde ne şekilde yayıldıklarını, ölçü aletleri ve yöntemlerini, kayıtların değerlendirilmesini ve deprem ile ilgili diğer konuları inceleyen bilim dalına "SİSMOLOJİ" denir.

Depremi nasıl oluştuğuna ve gerilmenin nasıl biriktiğiyle ilgili olarak aşağıdaki şekillerde zamanla yeryüzünde nasıl bir etki oluştuğuna dair bilgi verilmiştir. Birinci şekilde yeryüzünün kuvvet birikiminin oluşmadığı zamanki hali gösterilmiştir (Şekil 2.1). Bir sonraki şekilde levhaların hareketi sonucu gerilme birikimi oluşmuş ve yeryüzü şekil değiştirmeye başlamıştır (Şekil 2.2). Gerilme birikimi zamanla öyle bir düzeye gelir ki,

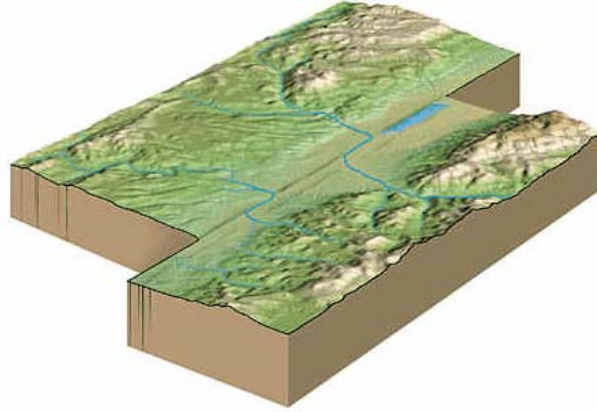
yeryüzü buna dayanamaz ve kırılır; yani iki kara parçası birbirine göre hareket eder (Şekil 2.3). Bu hareketin miktarı biriken enerjinin büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Bu olay çok büyük bir enerji boşalımıdır ve deprem meydana gelerek kırılma noktasından yani odaktan (iç merkez=hiposantr) başlayarak deprem dalgaları yayılmaya başlar. Bu dalgalar sismograf denilen sistemler tarafından kayıt edilerek jeofizikçiler tarafından incelenirler.



Şekil 2.1: Kuvvet birikimi yok.



Şekil 2.2: Faydan uzak kesimlerde levhalar hareket ediyor, fay bölgesinde şekil bozukluğu yok.



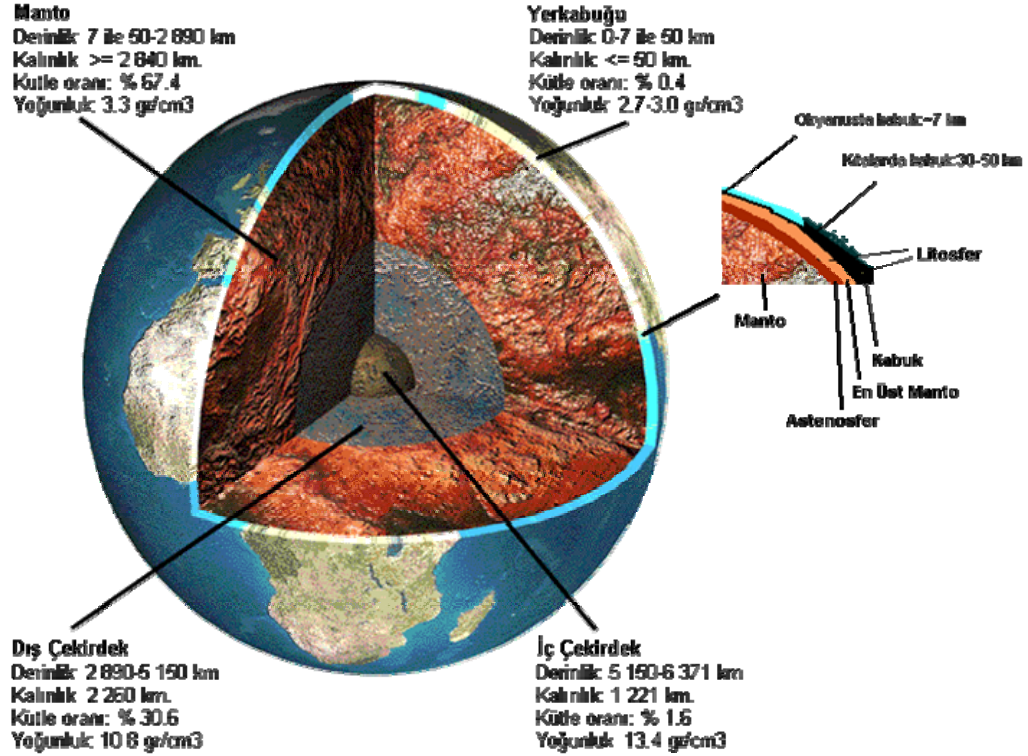
Şekil 2.3: Fay bölgesinde dayanım aşılp kırılma meydana gelir.

2.2. Depremlerin Oluş Nedenleri ve Yerkürenin İç Yapısı

Dünyanın iç yapısı konusunda, jeolojik ve jeofizik çalışmalar sonucu elde edilen verilerin desteklediği bir yerküre modeli bulunmaktadır (Şekil 2.4). Bu modele göre, yerkürenin dış kısmında yaklaşık 100 km kalınlığında oluşmuş bir taşküre (Litosfer) vardır. Kıtalar ve okyanuslar bu litosferde yer alır. Litosfer ile çekirdek arasında kalan ve kalınlığı 2900 km olan katmana manto adı verilir. Manto'nun altındaki çekirdeğin Nikel-Demir bileşiminden oluştuğu kabul edilmektedir. Yer içinde yüzeyden derine gidildikçe sıcaklığın arttığı bilinmektedir. Enine deprem dalgalarının yerin çekirdeğinde yayılamadığı olgusundan giderek dış çekirdeğin sıvı bir ortam olması gerektiği buna karşın iç çekirdeğin de katı olması sonucuna varılmaktadır.

Manto genelde katı olmakla beraber yüzeyden derine inildikçe içinde yerel sıvı ortamları bulundurmaktadır. Litosferin altında Astenosfer denilen yumuşak üst manto bulunmaktadır. Burada oluşan kuvvetler, özellikle de konveksiyon akımları nedeni ile katı kabuk parçalanmakta ve birçok levhalara bölünmektedir. Üst mantoda oluşan konveksiyon akımları, radyoaktivite nedeni ile oluşan yüksek ısıya bağlanmaktadır. Konveksiyon akımları yukarılara yükseldikçe litosferde gerilmelere ve daha sonra da zayıf zonların kırılmasıyla levhaların oluşmasına neden olmaktadır. Halen 10 kadar büyük levha ve çok sayıda küçük levhalar vardır. Bu levhalar, üzerinde duran kıtalarla birlikte, Astenosfer üzerinde sal gibi yüzmekte olup, birbirlerine göre insanların hissedemeyeceği bir hızla hareket etmektedirler.

Konveksiyon akımlarının yükseldiği yerlerde levhalar birbirlerinden uzaklaşmakta ve buradan çıkan sıcak magma, okyanus ortası sırtlarını oluşturmaktadır. Levhaların birbirlerine değdikleri bölgelerde sürtünmeler ve sıkışmalar olmakta, sürtünen levhalardan biri aşağıya, Manto'ya batmakta ve eriyerek yitme zonlarını oluşturmaktadır. Konveksiyon akımlarının neden olduğu bu ardışık olay litosferin altında devam edip gitmektedir. İşte yerkabuğunu oluşturan levhaların birbirine sürtündükleri, birbirlerini sıkıştırdıkları, birbirlerinin üstüne çıktıkları, ya da altına girdikleri bu levhaların sınırları dünyada depremlerin oldukları yerler olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada olan depremlerin hemen büyük çoğunluğu, bu levhaların birbirlerini zorladıkları levha sınırlarında dar kuşaklar üzerinde oluşmaktadır.



Şekil 2.4: Yerkürenin iç yapısı ve katmanları.

Birbirlerini iten, ya da diğerinin altına giren iki levha arasında, harekete engel olan bir sürtünme kuvveti vardır. Bir levhanın hareket edebilmesi için bu sürtünme kuvvetinin aşılması gerekir.

İtilmekte olan bir levha ile bir diğerk levha arasında sürtünme kuvveti aşıldığı zaman bir hareket oluşur. Bu hareket çok kısa bir zaman biriminde gerçekleşir ve şok niteliğindedir. Sonunda çok uzaklara kadar yayılabilen deprem (sismik, elastik) dalgaları ortaya çıkar. Bu dalgalar geçtikleri ortamları sarsarak ve depremin oluş yerinden uzaklaştıkça enerjisi azalarak yayılır. Bu sırada yeryüzünde, bazen gözle görülebilen, kilometrelerce uzanabilen ve fay adı verilen arazi kırıkları oluşabilir. Bu kırıklar bazen yeryüzünde gözlenemez, yüzey tabakaları ile gizlenmiş olabilir. Bazen de eski bir depremden oluşmuş ve yeryüzüne kadar çıkmış, ancak zamanla örtülmüş bir fay yeniden oynayabilir.

Depremlerinin oluşumunun bu şekilde ve "Elastik Yenilenme Kuramı" adı altında anlatımı 1911 yılında Amerikalı bilim adamı Reid tarafından yapılmıştır ve laboratuvarlarda da denenerek kanıtlanmıştır. Bu kurama göre, herhangi bir noktada, zamana bağımlı olarak, yavaş yavaş oluşan deformasyon birikiminin elastik olarak depoladığı enerji, kritik bir değere eriştiğinde, fay düzlemi boyunca var olan sürtünme kuvvetini yenerek, fay çizgisinin her iki tarafındaki kayaç bloklarının birbirine göreli hareketlerini oluşturmaktadır. Bu olay ani yer değıştirme hareketidir. Bu ani yer değıştirmeler ise bir noktada biriken deformasyon enerjisinin açığa çıkması, boşalması, diğerk bir deyişle mekanik enerjiye dönüşmesi ile ve sonuç olarak yer katmanlarının kırılma ve yırtılma hareketi ile olmaktadır.

Aslında kayaların, önceden bir yerdeğıştirme birikimine uğramadan kırılmaları olanaksızdır. Bu birim yer değıştirme hareketlerini, hareketsiz görülen yer kabuğunda, üst mantoda oluşan konveksiyon akımları oluşturmakta, kayalar belirli bir deformasyona kadar dayanıklılık gösterebilmekte ve sonrada kırılmaktadır. İşte bu kırılmalar sonucu depremler oluşmaktadır. Bu olaydan sonra da kayalardan uzun zamandan beri birikmiş olan gerilmelerin ve enerjinin bir kısmı ya da tamamı giderilmiş olmaktadır.

Çoğunlukla bu deprem olayı esnasında oluşan faylarda, elastik yer değıştirmeler (atım), fayın her iki tarafında ve ters yönde oluşmaktadırlar. Faylar genellikle hareket yönlerine göre isimlendirilirler. Daha çok yatay hareket sonucu meydana gelen faylara "Doğrultu Atımlı Fay" denir. Fayın oluşturduğu iki ayrı bloğun birbirlerine göreli olarak sağa veya sola hareketlerinden de bahsedilebilir ki bunlar sağ veya sol yönlü doğrultulu atımlı faya bir örnektir. Düşey hareketlerle meydana gelen faylara da "Eğim Atımlı Fay" denir.

Fayların çoğunda hem yatay, hem de düşey hareket bulunabilir. Bunlara verev (oblik) fay adı verilir.

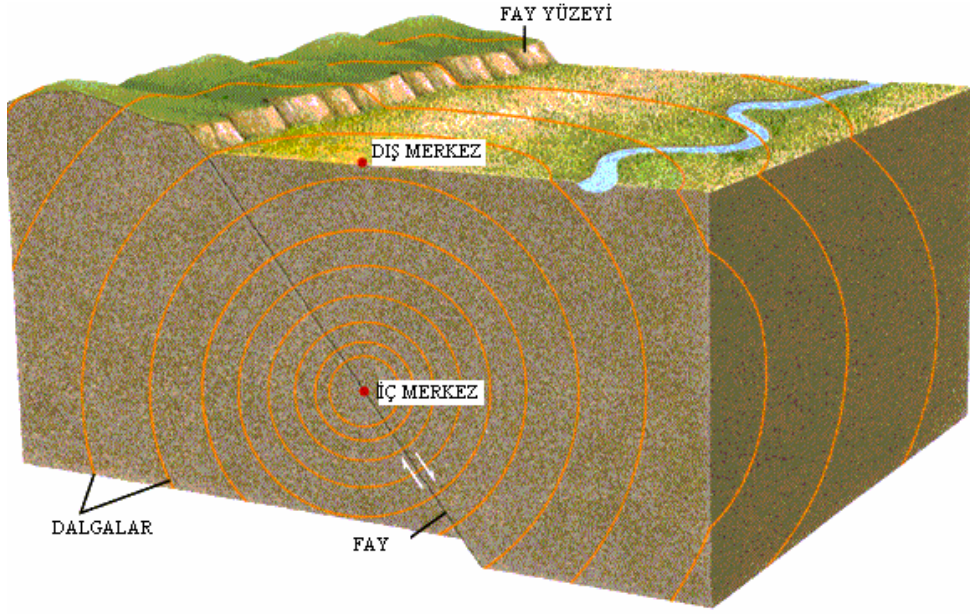
2.3. Sismik Dalgalar

Deprem anında, blokların kırılarak birbirlerine nazaran ani olarak kaymasıyla, sismik dalgalar üretilir ve bunlar kayaçlar içerisinde odaktan çevreye doğru yayılırlar (Şekil 2.5). Sismik dalgalar, cisim dalgaları (P, S) ve yüzey dalgaları olarak iki gruba ayrılır.

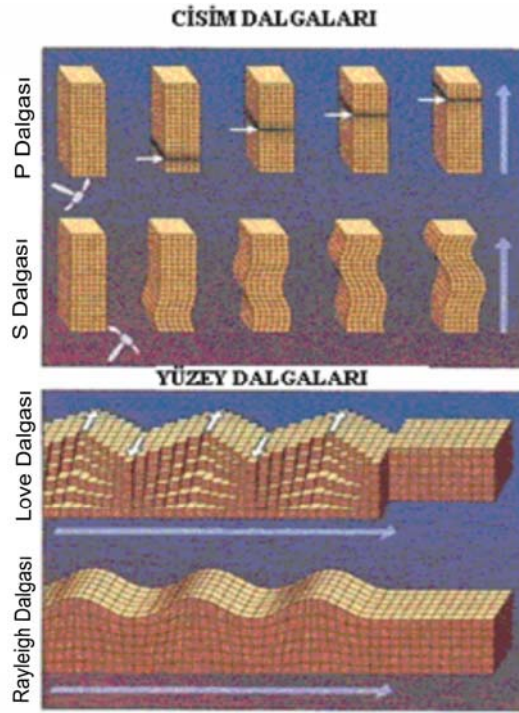
P dalgaları: Kayıtçılara ilk ulaşan deprem dalgalarıdır. Hızı, kabuğun yapısına göre 1.5 ile 8 km/sn arasında değişir. Tanecik hareketleri yayılma doğrultusuna paraleldir. Bu yüzden boyuna dalgalar olarak da isimlendirilirler. Yıkım etkisi düşüktür (Şekil 2.6).

S dalgaları: Kayıtçılara ikincil olarak ulaşan deprem dalgalarıdır. Hızı P dalgası hızının % 60'ı ile % 70'i arasında değişir. Tanecik hareketleri yayılma doğrultusuna dik, ya da çaprazdır. Bu yüzden enine dalgalar olarak da isimlendirilirler. Yıkım etkisi yüksektir (Şekil 2.6).

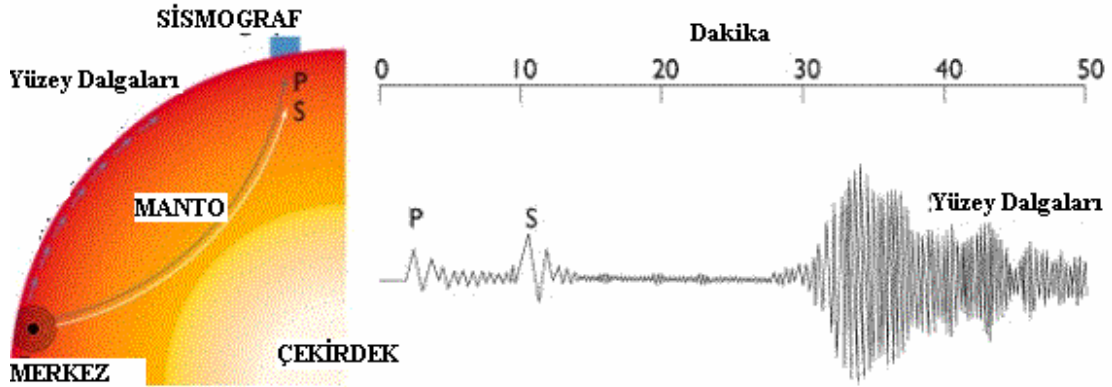
Yüzey dalgaları: Yerkürenin yüzeyi boyunca yayılan, P ve S Dalgaları'ndan sonra kayıtçılara gelen ve depremlerde asıl hasarı yapan dalgalardır. Bu dalgalar Rayleigh ve Love dalgalarıdır (Şekil 2.6).



Şekil 2.5: Sismik dalgaların yerküre içinde odaktan çevreye yayılışı.



Şekil 2.6: Cisim ile yüzey dalgaları ve meydana getirdikleri hareket.



Şekil 2.7: P, S ve yüzey dalgalarının sismogram kaydındaki izleri.

2.4. Deprem Türleri

Depremler oluş nedenlerine göre değişik türlerde olabilir. Dünyada olan depremlerin büyük bir bölümü yukarıda anlatılan biçimde oluşmakla birlikte, az miktarda da olsa başka doğal nedenlerle olan deprem türleri bulunmaktadır. Yukarıda anlatılan levhaların hareketi sonucu olan depremler genellikle "TEKTONİK" depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levha sınırlarında oluşurlar. Yeryüzünde olan depremlerin % 90'ı bu gruba girer ve hasar yapan deprem türleridir. Türkiye'de olan depremler büyük çoğunlukla tektonik depremlerdir. İkinci tip depremler "VOLKANİK" depremlerdir. Bunlar volkanların püskürmesi sonucu oluşurlar. Yerin derinliklerinde ergimiş maddenin yeryüzüne çıkışı sırasındaki fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bunlar yanardağlarla ilgili olduklarından yereldirler ve önemli zarara neden olmazlar. Japonya ve İtalya'da oluşan depremlerin bir kısmı bu gruba girmektedir. Türkiye'de aktif yanardağ olmadığı için bu tip depremler olmamaktadır veya sönmüş volkanik bölgelerde küçük büyüklüklerde meydana gelmektedir. Bir başka tür depremler de "ÇÖKÜNTÜ" depremlerdir. Bunlar yeraltındaki boşlukların (mağara), kömür ocaklarında galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu oluşan boşlukların tavan bloğunun çökmesi ile oluşurlar. Hissedilme alanları yerel olup enerjileri azdır ve zarar oluşturmazlar. Büyük heyelanlar ve gökten düşen meteorların da küçük sarsıntılara neden olduğu bilinmektedir.

Odağı deniz dibinde olan derin deniz depremlerinden sonra, denizlerde kıyılara kadar oluşan ve bazen kıyılarda büyük hasarlara neden olan dalgalar oluşur ki bunlara Tsunami denir. Deniz depremlerinin çok görüldüğü Japonya'da Tsunami'den 1896 yılında 30000 kişi ölmüştür.

2.5. Deprem Parametreleri

Oluşan bir deprem, "Deprem Parametreleri" olarak isimlendirilen odak noktası (hiposantr), dış merkez (episantr), şiddet, magnitüd vb. gibi kavramlarla daha iyi açıklanabilmektedir.

Odak Noktası (Hiposantr): Yer içerisinde deprem enerjisinin ortaya çıktığı noktadır. Aynı zamanda iç merkez olarak da isimlendirilir. Aslında odak noktası bir nokta değil, bir alandır; ancak uygulamalarda nokta olarak varsayılmaktadır.

Dış Merkez (Episantr): Odak noktasının yeryüzündeki izdüşümüdür. Burası aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en şiddetli olarak hissedildiği alandır.

Odak Derinliği: Deprem enerjisinin açığa çıktığı noktanın yeryüzüne olan en kısa uzaklığı, depremin “odak derinliği” olarak adlandırılır. Yani, Odak Noktası (Hiposantr) ile Dış Merkez (Episantr) arasındaki mesafedir. Depremler, odak derinliklerine göre de sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma, tektonik depremler için geçerlidir. Yerin 0-60 km derinliğinde olan depremler sığ deprem olarak nitelenir. Yerin 60-300 km derinliklerinde olan depremler orta derinlikte olan depremlerdir. Derin depremler ise yerin 300 km'den fazla derinliğinde olan depremlerdir. Türkiye'de olan depremler genellikle sığ depremlerdir ve derinlikleri 0-60 km arasındadır. Orta ve derin depremler daha çok bir levhanın bir diğer levhanın altına girdiği bölgelerde olur. Derin depremler çok geniş alanlarda hissedilir, buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Sığ depremler ise dar bir alanda hissedilirken, bu alan içinde çok büyük hasar yapabilirler.

Şiddet: Herhangi bir derinlikte olan depremin, yeryüzünde hissedildiği bir noktadaki yapılar ve insanlar üzerindeki etkisinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Depremin şiddeti, yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür. Şiddet, depremin büyüklüğü,

odak derinliği, odak uzaklığı, yapıların depreme karşı gsterdikleri dayanıklılıklarına g-re değişiklik değişiklikler gsterbilmektedir. şiddet, olçümlere dayalı değil, gözlemsel verilere dayanır.

Magnitüd: Depremde açığa çıkan enerjinin bir ölçüsüdür. Richter (1935), dış merkezden 100 km uzaklıkta ve sert zemine yerleştirilmiş özel bir sismografla (2800 büyütmeli, öz periyodu 0.8 saniye ve % 80 sönümü olan bir Wood-Anderson Torsiyon Sismografı) kaydedilmiş zemin hareketinin mikron cinsinden (1 mikron=1/1000 mm) ölçülen maksimum genliğinin 10 tabanına g-re logaritmasını bir depremin "magnitüdü" olarak tanımlamıştır. Tablo 1.1'de aletsel büyüklük ile şiddet ilişkisi verilmektedir.

Tablo 1.1: Richter Magnitüdü ve şiddet.

şiddet	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Richter Magnitüdü	4	4.5	5.1	5.6	6.2	6.6	7.3	7.8	8.4

2.6. Depremlerin Ölçülmesi

Aletle depremlerin ölçülmesine yönelik ilk aygıt, M.S. 132 yılında Çinli filozof Chang Heng tarafından icat edilmiştir. Günümüzde ise deprem ölçümleri, sismograf denilen modern cihazlarla yapılmaktadır. İlk kullanılabilir sismograflar 19. yüzyılın son çeyreği içinde Filippo Cecchi, James Ewing ve Thomas Gray tarafından geliştirilmiştir.

3. SİSMOGRAF

3.1. Sismografin Tarihçesi

Çeşitli aygıtlar aracılığıyla depremlerin oluşumu hakkında daha fazla bilgi edinme çabamız insanlık tarihi boyunca süren bir uğraş olmuştur. Deprem kayıt aletini yaratan ilk kişi, Chang Heng adlı Çinli bir filozofdur. Heng, "deprem fırlıdağı" adını verdiği bu aleti M.S. 132' de icat etmiştir. Depremi ve geldiği yönü saptamayı sağlayan ve teknik anlamda bir sismoskop olan alet, her biri pusulanın sekiz yönünü temsil eden sekiz ejderha figürünün kenarlarına ilişitirildiği bir seramik vazo görünümündeydi. Her ejderhanın ağzında küçük bir bronz top vardı. Bir deprem olduğunda, toplardan biri yerinden oynuyor ve aşağıda oturur durumdaki kurbağa figürlerinden birinin içine düşüyordu. Böylece ağzı boş ejderha, depremin meydana geldiği yerin karşı yönünü göstermiş oluyordu. Aletin kendi bulunduğu yerde hissedilemeyen yaklaşık 750 km uzaklıklardaki depremleri algılayabildiği söylenmektedir. Kavanozun içinde neyin olduğunu hiç kimsenin bilmemesine karşın, çoğu uzmanın varsayımı bir sarkacın harekete geçerek belirli bir ejderhayı tetiklediği yönündeydi.

17. ve 18. yüzyıllar diğer sismoskop icatlarını getirdi. Luigi Palmieri'nin 1855' teki icadında, deprem anında bir kasedeki civa taşıyor ve sarsıntının yönüne bağlı olarak belirli bir kabın içine dökülüyordu. Bu kapla temas, bir saati durdurarak depremin kesin zamanını saptarken, yer hareketini bir tamburun üstüne kaydetme işlemini başlatıyordu.

Sismometre olarak da bilinen ilk sismograf 1800' lerin sonlarında icat edildi. Sismograf bir depremin şiddeti ve diğer ayrıntıları konusunda, sismoskopa oranla daha geniş bilgi sağlıyordu. Daha sonraları İngiliz araştırmacılar Japonya'daki çalışmalarında bu sismografi geliştirmişlerdir.

Günümüzde gördüğümüz tipik sismograf ise sarkaç teknolojisiyle işler ve bir ucu yere derince oturtulan bir çubuğun öbür ucuna bir ağırlığın eklenmesine dayanır. Ağırlığa ilişitirilmiş bir kalem, etrafına kağıt sarılmış bir döner tambura bastırılmış halde durur.

Hareketsizlik dönemlerinde, kalemin bıraktığı izler düz çizgiler halinde olur ve küçük çentikler geçen her dakikayı belirtir. Çizgilerdeki küçük oynamalara genellikle dışarıdaki gürültü, söz gelimi bir kamyonun paldır küldür geçişi yol açar. Deprem olduğunda, ağırlık ve kalem dışındaki her şey hareket ederek kalemin kaydettiği sivri uçlu çizgiler, depremden kaynaklanan yer devinimini gösterir. Çizgilerin yer aldığı kâğıda sismogram denilir; bir sismolog bunu analiz ederek depremin merkez üssünü, zamanını, odak derinliğini ve büyüklüğünü saptar.

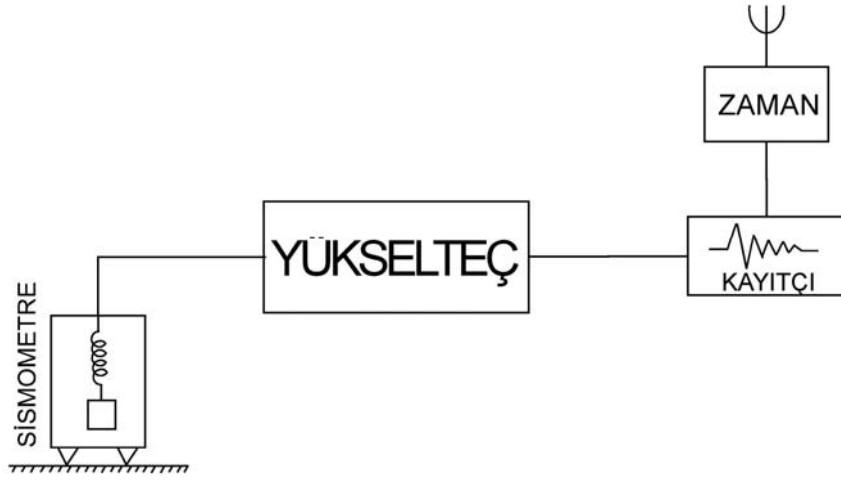
Bu tip sismografların günümüzde hala kullanılmasına karşın, çoğu gözleminde ve araştırmalarda sayısal deprem kayıt araçlarına geçilmiştir. Farklı yerlere konmuş bağlantılı bilgisayarlar deprem anında sayısal sismograflarca derlenen bilgileri hemen işlemde geçirerek internet aracılığıyla sismoloji merkezine iletmektedir. Eskiden günleri, haftaları ve hatta ayları alan analiz işlemlerinin şimdi birkaç dakika içinde yapılması, medyanın ve kurtarma ekiplerinin olabildiğince çabuk davranmasına olanak vermiştir.

3.2. Sismograf ve Bileşenleri

Sismograf, bir deprem sonucu oluşan yer hareketlerini sürekli olarak kaydeden bir düzendir. Sismografin yazdığı sürekli kağıda sismogram denir. Kayıt işleminin özelliğine göre sismogram analog ya da sayısal olabilir. Genel olarak ifade edersek, sismograf çok duyarlı bir zaman bilgisiyle birlikte gelen sismik dalgaların oluşturduğu yer titreşimlerini kaydeden bir alettir. Yer hareketini kaydeden sismograf sisteminin en önemli parçası olan sismometre, gelen sismik dalgaların enerjisini elektrik voltajına dönüştüren algılayıcıdır ve yer hareketinin yer değiştirmesini (displacement), hızını (velocity) veya ivmesini (acceleration) ve yer hareketinin üç bileşenini (düşey, kuzey-güney ve doğu-batı) algılar.

Modern bir sismograf düzeneği Şekil 3.1’de görüldüğü gibi üç temel birimden oluşur:

- Algılayıcı (Sismometre) ve Yükselteç,
- Kayıt Sistemi (Kayıtçı),
- GPS



Şekil 3.1: Sismografin birimleri.

Birbiri ile eşanlımlı gibi görünen sismograf ve sismometre aslında farklı anlam taşırlar. Sismometre, yer hareketlerini algılayıcı aletin adıdır. Sismograf ise sismometre, yükselteç zamam birimi ve kayıt sisteminden oluşan alete verilen addır.

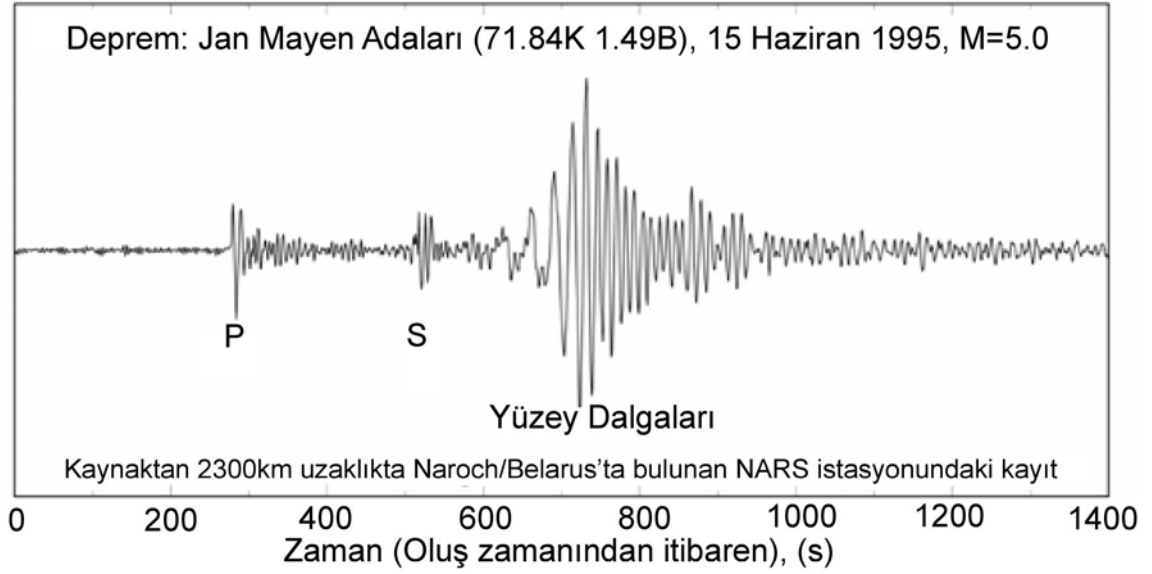
3.2.1. Algılayıcı (Sismometre)

Yer hareketlerini algılayıcı alet, genellikle sismometre diye adlandırılır ve türüne göre düşey ve/veya yatay hareketleri algılar. Mekanik olanları genellikle basit sarkacın çalışma prensibi ile çalışmaktadır. Klasik olanların bir çoğunda kütle çeşitli helezonik yaylarla yer çekimine karşı koyar. Hareketli bobin tipi olanlarda ise gelen sismik dalganın enerjisi elektriksel sinyale dönüştürülür (transducer). Günümüzde sismometreler yer hareketinin 3 bileşenini de algılayacak şekilde imal edilmektedir. Bütün kuvvetli yer hareketi gözlem noktalarında geri beslemeli sismometreler kullanılmaktadır.

3.2.2. Kayıtçı

Sismik dalgalar, elektriksel işarete dönüştürüldükten sonra, bir yükselteçten geçirilerek elde edilen sinyaller, kayıtçı ortamı üzerindeki kağıt üzerine veya manyetik teyp veya kaset, sabit disk gibi saklayıcı ortamlarda tutulmakta ve sonrasında elde edilen bu bilgiler kullanılmaktadır. Günümüzde tüm bu işlemler bir bütündür ve ileri teknoloji ile kolay kayıt

almamız sağlanır. Ayrıca bilgisayar ile veri toplama, eldeki verileri istenilen formatta işleme ve gerektiğinde internet üzerinden herkesin kullanımına açmayı olanaklı hale getirmiştir. İstenildiğinde her türlü yazıcı ile kağıt üzerine çıktı alınabilmektedir (Şekil 3.2).



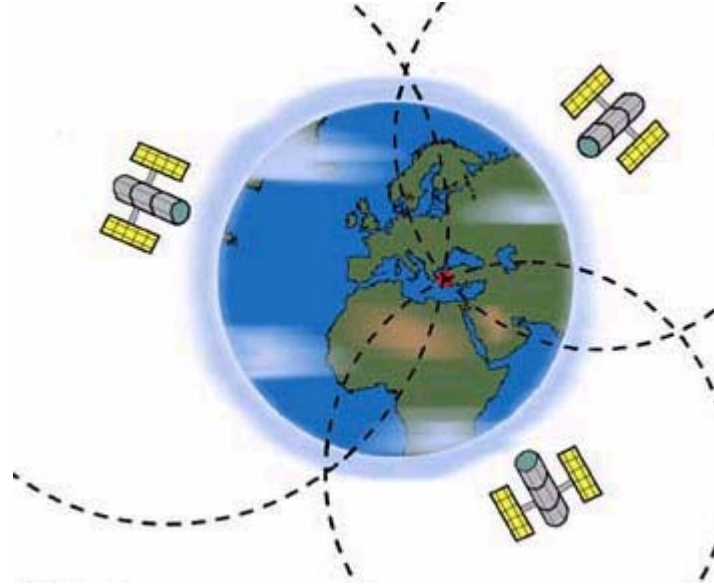
Şekil 3.2: 15 Haziran 1995 Jan Mayen Adası Depremine ait sismogram kaydı (USGS, 1995).

3.2.3. GPS

Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System) veya kısa adıyla GPS, 1970'li yıllarda A.B.D. Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilen bir sistemdir. Dünyanın neresinde olursanız olun, bu sistem sayesinde hangi enlem, boylam ve yükseklikte olduğunuzu kolayca bulabilir, hassas olarak zamanı öğrenebilirsiniz.

GPS sistemi dünyadan 17600 km yükseklikte yörüngeye oturtulan 24 uydudan oluşur. Bu uyduların yörüngesi öyle ayarlanmıştır ki, dünyanın üzerindeki herhangi bir nokta herhangi bir zamanda en az üç uyduyu görebilir. Dünya üzerindeki herhangi bir noktanın kesin yerinin belirlenmesi ancak üç uydudan gelen sinyallerin birleştirilmesiyle mümkündür (Şekil 3.3). Bu işleme üçgenleme (triangulation) denir. Dördüncü uydu ile yükseklik bilgisi alınır. Beşinci uydu ile de diğer uyduların nerelerde olduğu, dolayısıyla ölçüm yapılan uydulardan biri coğrafi yapının zorluğundan veya yörüngesinden dolayı sınırları dışına

çıktığında kullanılacak olan uydunun konum bilgisini üretir. GPS uydularının üzerinde 4 adet atomik saat mevcuttur. Ayrıca her bir uyduda diğer bütün uyduların anlık ve muhtemel buldukları yerlerin konum bilgilerinin bulunduğu veri kütüğü (database) bulunur ve bu veri kütüğünde sık sık yeryüzü istasyonlarından gelen bilgilerle güncellenir.



Şekil 3.3: GPS' in çalışma mantığı (Trimble Navigation, 1993).

GPS, herhangi bir zamanda, her türlü hava koşulunda, gece ve gündüz bulunduğumuz noktayı kesin olarak belirleyebilir. Ayrıca denizcilik ve havacılıkta navigasyon (yol alma) ve konum belirlemede oldukça kolaylık sağlamaktadır. GPS sisteminden faydalanabilmek için kullanıcı herhangi bir ücret ödememektedir. Ancak, bir GPS aletine sahip olmak gerekmektedir

GPS istasyonları yardımıyla aşağıdaki bilgilere ulaşılabilmektedir.

- Jeodezik uygulamalar ve bilimsel kullanımlar için yüksek doğruluklu GPS uydu efemeris bilgileri,
- Hassas duyarlıklı GPS uydu yörünge bilgileri,
- Yeryuvarı dönme parametrelerinin günlük değerleri x, y ve lod (gün uzunluğu),

- İyonosfer ve troposfer tahminleri, iyonosferin izlenmesi için toplam elektron bileşeni hakkındaki bilgi, iklimsel araştırmalar ve akabindeki hava tahminleri için troposferdeki zenit yol gecikme tahminleri,
- Duyarlıklı zaman bilgisi gerektiren uygulamalar için GPS uydu ve izleme istasyonunun saat bilgileri.

GPS verileri ve bu verilerden elde edilen ürünler aşağıda bahsedilen uygulamalarda kullanılabilir için yeterli doğruluklarıdır.

- Uluslararası Yerel Referans Sistemi olan ITRF YY geliştirilmesi, sıklaştırılması ve global olarak erişimin sağlanması,
- Yerkabuğu deformasyonlarının izlenmesi,
- Hidrosferdeki değişimlerin izlenmesi (deniz seviyesi belirleme vb.),
- Yeryuvarı dönme hareketlerinin izlenmesi,
- Bilimsel uydu yörünge bilgilerinin hesaplanması,
- İyonosferin araştırılması ve belirlenmesi,
- Çökebilir su buharı ölçmelerinin düzeltilmesi,
- İklimsel araştırmalar ve devamındaki hava tahminleri.

4. SİSMOMETRELER

4.1. Sismometrenin Tanımı

Sismometre, depremleri algılayan ve ölçen bir aygıttır (Şekil 4.1). Deprem sırasında, kırılan ya da kayan kütlelerden gelen sarsıntılar, yeryüzüne doğru ilerler; sismometre bu sarsıntıları algılayıp yükseltir ve bunları uygun bir ortama kaydeder. Sismometrelerin kayıtlarına sismogram denir.



Şekil 4.1: Sismometreler (Güralp Systems).

Sismometreler, duyarlı oldukları frekans bölgesine göre ikiye ayrılır. Deprembilimi, periyodları büyük olan sismometreleri kullanılır. Mühendislik çalışmalarındaysa çok daha kısa periyodlara duyarlı sismometreler tercih edilir.

Sismometrelerin dinamik duyarlılıkları oldukça önemlidir. Şiddetli bir deprem sırasında kaydedilen en kuvvetli depremsel sinyalin, en hafif sinyale oranı oldukça fazladır. Sismometrelerin, bu kadar geniş aralıkta değişen depremsel sinyallere duyarlı olması gerekir. Sismometrelerin mekanik yapıları bu denli geniş aralıklarda doğrusal olarak çalışmadığı için sismometreler elektronik sistemlerle desteklenir. Öte yandan, sismometrenin depremsel sinyalleri, periyodlarından bağımsız olarak yükseltmesi beklenir. Oysa ki, sismometrelerin frekans tepkileri doğrusal değildir. Sismometrelerin frekans tepkileri, sayısal sinyal işleme yöntemleri kullanılarak doğrusallaştırılabilir.

Dinamik genişliğin (Dynamic Range) ve frekans tepkisinin elektronik sistemlerle desteklenmesi, sismometrelerin maliyetlerini oldukça arttırır. Bu yüzden, duyarlı ve doğrusal karaktere sahip mekanik sistemlerin geliştirilmesi için sürekli araştırmalar yapılmaktadır.

Dünyada halen yüz binlerce sismometre bulunmaktadır. Bu sismometreler, deprem araştırma merkezlerine özel ağlarla bağlıdır. Deprem araştırma merkezleri de kendi aralarında bir ağla birbirlerine bağlıdır. Bu sayede dünyanın herhangi bir yerinde oluşan deprem bilgileri ađ üzerinden tüm deprem merkezlerine ulaşır. Deprem merkezleri ve bu merkezlerin işlettikleri sismometreler, bir karışıklığa yol açmaması için özel olarak kodlanmıştır. Böylece, elde edilen bir sismik verinin dünyanın hangi noktasından geldiği kolaylıkla bulunabilir.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne bağlı Ulusal Deprem İzleme Merkezi (UDİM) Türkiye'nin en büyük deprem araştırma merkezidir ve uluslar arası deprem merkezleri ağına bağlıdır. Merkez, yaklaşık 120 sismometreyi işletmektedir. Diğer merkezler ise; T.C. Bayındırlık Bakanlığı, Afet İşleri Daire Başkanlığına bağlı Deprem Araştırma Dairesi, TÜBİTAK, Kocaeli Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Araştırma Merkezi ve bazı üniversitelerdir. Türkiye'nin fay hatları üzerinde yoğunlaşan ve yurdun dört bir yanında bulunan sismometrelerle, telefon hatları, özel olarak ayrılmış sayısal telefon hatları, radyo-linkler ve uydu modemler aracılığı ile iletişim kurulmaktadır. Bu merkezler, tüm sismometrelerden gelen bilgileri kaydederek, değerlendirir ve sonuçları yayınlarlar.

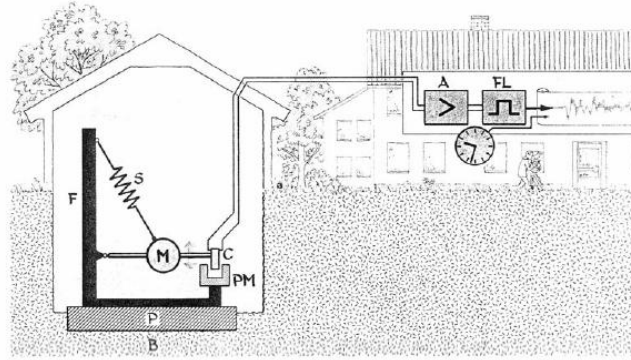
Sismometreler olsun, bunların ürettiği sismogramlar olsun gün geçtikçe gelişen deprembiliminin en vazgeçilmez araçlarıdır. Sayısal elektroniğin kullanılması sayesinde sismometrelerin duyarlılıkları daha da artmaktadır.

4.2. Sismometrelerin Çalışma Prensibi

1906 yılında Galitzin elektrik voltaj üreten sismometreyi galvanometre ile birleştirdi ve galvanometre aynaları kullanarak fotoğraf kağıdı üzerine bunun sapmalarını (deflection)

kaydetti. Kağıt, yavaş bir hızla dönen ve aynı zamanda yanal olarak (dönme eksenini boyunca) da hareket eden bir tambur üzerine yerleştirilir. Yani izler kağıt üzerine helezonik olarak kaydedilir. Uzun-peryod kayıtlarda bir iz 1saat, bir dakika 1.5 cm, bir kağıtta 24 tane iz, kısa-peryod kayıtlarda bir iz 15 dk, bir dakika 6 cm ve bir kağıtta 96 iz bulunmaktadır.

Günümüzde gördüğümüz tipik sismograf/sismometrelerin çoğu sarkaç esasına göre çalışır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Düşey-sarkaç hareketli-bobin sismometrenin ilkesi. B temel kaya, P sismometrenin üzerine yerleştirildiği, temel kaya üzerine betondan yapılan taban, F çerçeve, M sarkacın kütlesi, PM mıknatıs, C bobin, S spiral yay, A yer hareketini büyütücü sistem (yükselteç), FL süzgeç. Mıknatıs ve bobin arasındaki göreceli hareket, elektrik sinyali (voltaj) oluşturur.

Sarkacın kütlesi ana kayaya sıkıca yerleştirilmiş çerçeveye esnek bir askıyla düşey veya yatay duracak şekilde birleştirilir. Kayıt bölgesine gelen sismik dalgalar ana kayaya birlikte çerçevenin hareket etmesine neden olur. Oysa kütle çerçeveye gevşek olarak bağlandığından ve hareketsizliğinden dolayı sabit kalmaya çalışır. Böylece çerçeve ile kütle arasında göreceli bir hareket oluşur ve biz bu hareketi kaydederiz. Çerçeveye göre kütledeki göreceli hareketi mekanik, mekanik-optik, elektromanyetik veya elektrik yükselteçler (amplifier) ile kolayca büyütülerek kaydedilir. Günümüzde yer hareketi elektrik yükselticilerle kolayca 10^6 veya daha fazla büyütülebilmektedir.

Benioff, Press-Ewing veya Grenet-Coulomb gibi daha klasik sismometrelerde kütle değişik helezon yaylarla yerçekimine karşı desteklenir. Oysa, 1970'lerin ortalarında geliştirilen Wielandt-Streckeisen sismometrede yaprak yay (leaf-spring) kullanılmıştır.

Sismologlar tarafından kullanılan diğerk bir önemli alet de deformasyon sismometresi (strainmeter) dir. Deformasyon sismometreleri de sarkaç esasına dayanır. Bu sismometreler 1935 yılında H. Benioff tarafından geliştirilmiştir. Sarkaç sismometrelerin tersine, deformasyon sismometreleri, yerin deformasyonunu ölçer.

Sarkaç olmayan algılayıcıların bir türü piezoelektrik (piezoelectric) sismometrelerdir. Bunlara basınç algılayıcıları da denir.

Wiechert veya Meinka gibi en eski sismograflarda sarkaca bağlanmış kağıda hafifçe dokunan mürekkepli bir kalem veya sivri uçlu bir metalle yakılan kağıt üzerine tamamen mekanik olarak kaydedilirdi. Bu şekilde mekanik olarak yapılan kayıta büyütme küçük olmaktadır.

Milne-Shaw veya Wood-Anderson gibi bazı eski aletlerde de mekanik-optik kayıtçılar kullanıldı. Sarkaç veya diğerk hareket eden bir parça üzerine yerleştirilen bir aynadan yansıtılan bir ışık noktası fotoğraf kağıdı üzerine düşürülerek kayıt alınıyordu.

Daha modern aletlerde elektromanyetik veya elektrostatik kayıtçı kullanılır. Önceden, sabit bir manyetik alan içerisindeki bir bobinin yer değiştirmesi (Galitzin veya Grenet-Coulomb) veya bir bobinin çevrelediği manyetik alandaki değişim (Benioff) nedeniyle bir voltaj oluşur. Her iki durumda da indüklem elektromanyetik kuvvet yer hareketinin zamana göre türevi ile orantılıdır (belirli bir peryod aralığında kaydedilen iz yerin hızıyla orantılıdır).

Elektrostatik sismometreler veya değişken kapasiteli sismometreler iki adet kapasitör levha sistemi kullanırlar. Sistemin birisi çerçeveye, diğerk sarkaçın koluna bağlıdır. Bir elektronik devrenin bir parçası olan kapasitör levhaların göreceli hareketi, değişken bir elektrik sinyal oluşturur. Bu sinyal kayıt için duyarlı bir galvanometreye iletilir.

Wiechert, Meinka, Milne-Shaw veya Wood-Anderson gibi eski aletler herhangi bir sismo-elektrik dönüştürücü (transducer) içermezler. Bu aletlerde kayıt; mekanik, mekanik-optik veya hepsi birlikte kullanılarak yapılır. Diğerk taraftan, Benioff, Grenet-Coulomb, Press-

Ewing vb. modern aletler, sismo-elektrik algılayıcılarla (transducer) çalışır ve değişik kayıt birimleri ile birlikte kullanılır.

4.3. Sismometrelerin Sınıflandırılması

Sismometreler temel olarak; yapılarına, bileşenlerine, periyodlarına ve kaydettikleri yer hareketine göre 4'e ayrılarak sınıflandırılırlar.

1- Yapılarına göre sismometreler

- Mekanik sismometreler
- Elektromanyetik sismometreler

2- Bileşenlerine göre sismometreler

- Düşey bileşen (Vertical component-Z)
- Yatay bileşen (Horizontal component)
 - Kuzey-Güney bileşen (N-S)
 - Doğu-Batı bileşen (E-W)

3- Periyodlarına göre sismometreler

- Kısa periyodlu (Short Period)
- Uzun periyodlu (Long Period)
- Geniş Band (Broad Band)

4- Yer hareketinin türüne göre sismometreler

- İvme sismometreleri (Acceleration)
- Hız sismometreleri (Velocity)
- Yerdeğiştirme sismometreleri (Displacement)

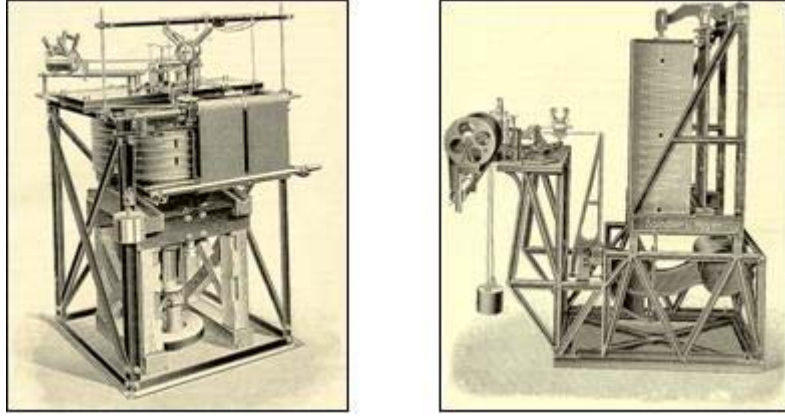
5- Algılayıcı Teorilerine Göre sismometreler

- Open Loop Sensör Sismometreler
- Close Loop Sensör Sismometreler

4.3.1. Yapılarına göre sismometreler

4.3.1.1. Mekanik sismometreler

Temel çalışma ilkesi, mümkün olduğunca hareketsiz tutulan ağır bir asılı kütle ile ilişkilidir. Şekil 4.3’de görüldüğü gibi, ağır kütle, bir yay ya da iple sarkaç gibi asılı tutulur. Yer sarsıntısı sırasında, aygıtın çerçevesi sarsıntıyla birlikte sallanırken, asılı olan kütle eylemsizliği nedeniyle hareketsiz kalır ve böylece yerin hareket miktarı belirlenir. Sismometre kütlesi bu sayede bir referans noktası işlevi görür.



Şekil 4.3: Weichert yatay ve düşey sismografları.

4.3.1.2. Elektromanyetik Sismometreler

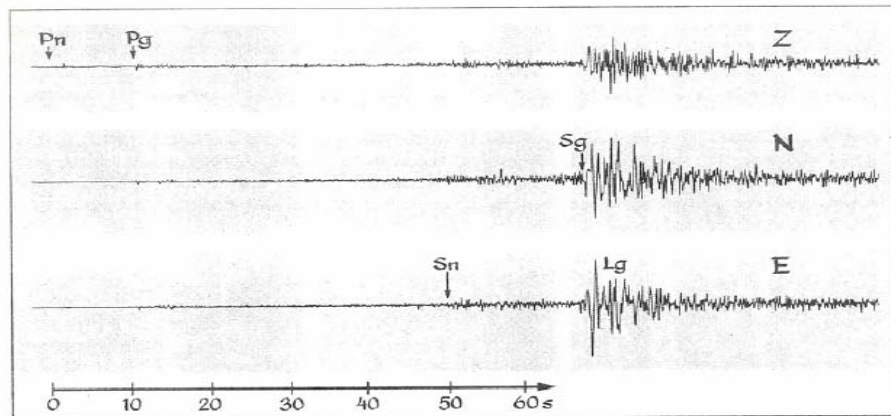
Günümüzde, sismometrelerde elektromanyetik alıcılar kullanılır. Kütleyle bağlanan bir mıknatıs, kutuda bulunan bir bobinin içinden geçer. Deprem sırasında bobin, sabitlenmiş mıknatıs üzerinde hareket eder. Bobini çevreleyen manyetik alan, sarsıntının şiddetiyle orantılı olarak değişir. Bu değişim, bobinde gerilme farkı yaratır. Gerilim farkı da elektronik olarak yükseltilip kaydediciye iletilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4: L4-3C Mark Product sismometresi.

4.3.2. Bileşenlerine göre sismometreler

Sismometre, bir sismografin algılayıcısıdır. Gelen sismik dalgaların enerjisini elektrik voltajına dönüştürür. Yer hareketinin üç bileşenini (düşey, kuzey-güney ve doğu-batı) algılar. Gelen sismik dalgaının yeryüzeyinde oluşturduğu hareketin tam olarak saptanabilmesi için üç yönde yerleştirilmiş üç algılayıcı kullanılır. Şekil 4.5’de, orta büyüklükteki bölgesel bir depremin düşey (Z), ve yatay (N, E) bileşen sismogramları görülmektedir.



Şekil 4.5: 15 Haziran 1985 Güneybatı İsveç'in açıklarında meydana gelmiş ve odak derinliği 15 km (magnitüd $M_L=4.6$) olan depremin 490 km uzaklığındaki Uppsala sismograf istasyonunda genişband sayısal kaydı.

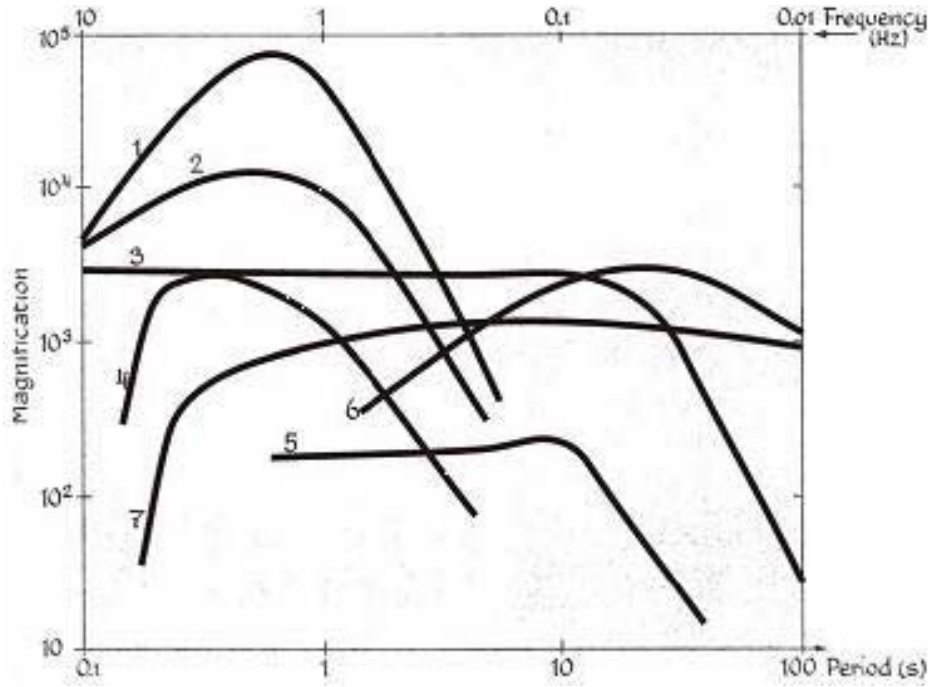
4.3.3. Peryodlarına göre sismometreler

Yer küresinin içerisinde sismik dalgaların yayılımı, optikteki ışık dalgalarının yayılım yasalarına benzer fizik yasaları ile ifade edilir. Yeryuvarı içerisinde dalga hızı, genellikle derinlikle artar ve bunun sonucu olarak sismik ışınlar, yeryuvarı içerisinde doğrusal yollar boyunca değil, geçebileceği en kısa zaman yolunu kullanarak eğrisel yörüngeler boyunca yayılırlar.

Odak ve kayıt istasyonu arasındaki uzaklık $\Delta(^{\circ})$ açısı ile ifade edilir (1 derece =111 km). Kaydedilen depremlerin uzaklıkları 10 dereceden küçükse, lokal olaylar veya bölgesel olaylar, 10 dereceden büyükse uzak alan olaylar veya kısaca telesismik olarak adlandırılırlar.

P ve S dalgaları, kaynaktan yayılmaya başladıklarından, odaktan uzaklaştıkça, dalga genlikleri, soğurma veya sönüm (anelastic attenuation-absorbtion) (kayaçların tam elastik olmayışı), geometrik açılma (yayılım uzaklığının artmasıyla dalga cephesinin genişlemesi) ve ara yüzeylerdeki kayıplar yansıma (reflection), kırılma (refraction), mod dönüşümü (mode conversion), kırınım (diffraction), saçılma (scattering) nedeniyle azalır. Soğurma frekansa bağlıdır (yüksek frekanslı bileşenler yüksek soğrulmaya uğrar). Bu nedenle, yüksek frekanslı sismik sinyaller hızla kaybolur, ancak nispeten kısa dışmerkez uzaklıklarına yerleştirilen uygun kısa-periyod (short-period instruments) veya geniş-band (broadband instruments) aletlerle kaydedilirler.

Çok yaygın olarak kullanılan bazı aletlerin sismometre ve galvanometrenin serbest periyodları ve maksimum büyütme değerleri Şekil 4.6'da, daha yaygın kullanılan bazı sismografların temel parametreleri de Tablo 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.6: Bazı sismograf sistemlerinin periyoda bağlı tepki özellikleri: 1) Benioff (SP-WWSSN); 2) Grenet-Coulomb; 3) Wood-Anderson; 4) Kirnos; 5) Wiechert; 6) Press-Ewing (LP-WWSSN); 7) Broad-band. SP= kısa-periyod, LP= uzun-periyod (Kulhanek, 1990)

Tablo 4.1: Daha yaygın kullanılan bazı sismografların temel parametreleri (Kulhanek, 1990)

Alet Tipi	Serbest Periyot		Büyütme
	Sismometre Ts(S)	Galvanometre Ts(S)	
Benioff, SP(WWSSN)	1.0	0.7	
Grenet-Coulomb	1.4	0.7	-10^4
SKM-3	1.6	0.4	2×10^4 T<0.8s için düz
Willmore	1.0	0.3	
Wiechert, 1000kg	10		10 s'de -200
Milne-Shaw	10		10 s'de -300
SK	10-25	-1.0	1-10s sabit
Benioff, SP	1.0	90	
Pres-Ewing (WWSSN)	15	100	$\approx 10^3$
Galitzin	10-15	10-15	$\approx 10^3$
Kirnos	22	80	$\approx 10^3$

WWSSN=Uluslar arası Standart Sismograf Ağı

Sismik sinyaller çok düzensiz, yani, çok büyük genlik ve geniş frekans aralığına sahip olabilirler.

- Laboratuvar model ölçümlerinde 10 KHz ve daha yukarısı kullanılır.
- Endüstriyel patlayıcılarda kısa uzaklıklarda 100 Hz civarında frekanslara sahip sinyaller kaydedilmiştir.
- Bölgesel depremlerin oluşturduğu cisim dalgalarında 1 Hz ile 10 Hz arasında değişen frekanslar gözlenmiştir.
- Uzak depremlerin cisim dalgaları genel olarak 1-10 Hz frekanslarına sahiptir.
- Okyanusal mikrosismik olayların frekansları da 1-10 Hz arasındadır.
- Kabuk ve Üst Manto'da oluşan yüzey dalgaları 10-100 sn periyodlara sahiptir. Oysa uzun periyod Manto yüzey dalgaları genellikle 1000 sn ve daha büyük periyodludurlar.
- Büyük depremlerin oluşturduğu yerin serbest salınımlarının periyodları 1 saat mertebesinde dir.

Bu kadar geniş frekans aralığında kayıt alabilmek ancak bu frekans bandını algılayabilecek sismometreler ile mümkündür.

Sismometreler günümüzde periyodlarına göre genel olarak üç katagoriye ayrılır:

1. Kısa-periyod (SP Short-Period) sismometreler: Tepe büyütme leri 0.1-1 sn periyodları arasındadır. Yerel ve bölgesel depremlerin oluşturduğu tüm sismik dalgaları ve uzak depremlerin cisim dalgalarını kaydederler. Maksimum büyütme leri genellikle 10^4 veya 10^5 civarındadır.

2. Uzun-periyod (LP Long-Period) sismometreler: Tepe büyütme leri 10 sn veya daha büyük periyodlardadır. Daha çok yüzey dalgalarını kaydetmek için geliştirilmişlerdir. Uzak depremlerin oluşturduğu tüm sismik dalgaları kaydederler. Maksimum büyütme leri genellikle 5000 civarındadır.

3. Geniş-Band (BB Broad-Band) sismometreler: Hemen hemen sabit bir büyütme ye sahiptirler. Saniyenin birkaç kesrinden birkaç yüz saniyeye uzanan bir periyod aralığında kayıt alırlar.

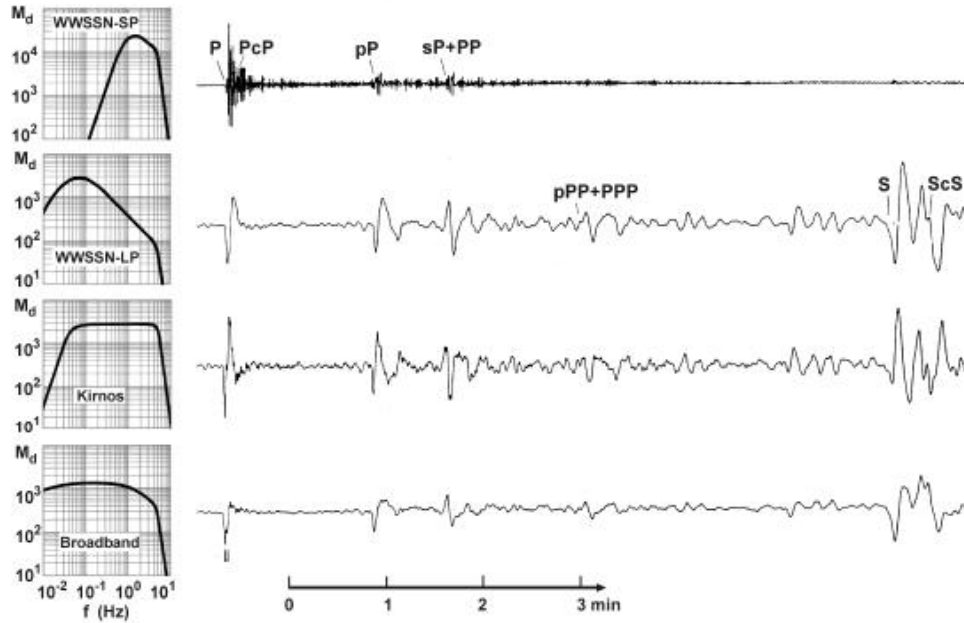
Şekil 4.7’de Dört farklı sismometre sistemi ve bunlara ait bilgisayarda hesaplanan yapay sismogramlar gösterilmektedir.

Depremin oluş tarihi:
Dış merkez
Aletsel büyüklük
Odak derinliği

09.03.1977
Japon denizi
Mb=5.9
570 km.

Kullanılan sismograflar (yukarıdan aşağıya)

- 1) Kısa-peryod WWSSN,
- 2) Uzun-peryod WWSSN,
- 3) Kirnos,
- 4) Geniş-band (Kulhanek, 1990’dan).



Şekil 4.7: Dört farklı sismograf sistemi ve 75° dışmerkez uzaklığı için bilgisayarda hesaplanan düşey bileşen yapay sismogramlar.

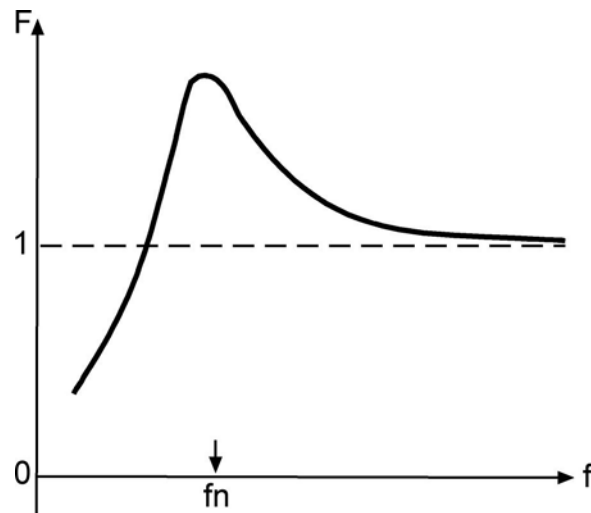
Ayrıca, kaynağın hemen yakınlarında gözlenen yer hareketi, kuvvetli yer hareketi algılayıcıları (accelerometer) ve kayıtçıları (strong ground motion recorder) olarak

adlandırılan ve genliklerin tam olarak kaydedilmesini sağlamak için sağırlaştırılmış (duyarlılığı azaltılmış) aletlerle kaydedilir.

4.3.4. Yer hareketinin t¼r¼ne g¼re sismometreler

Sarkaçların bağlı bulunduğu çerçeveler keyf¼ bir hareketle sarsıldıklarında, kendilerine ¼zg¼ bir frekansla (f_n veya periyodla T_n) salınmaya başlarlar. Bu frekansa doğal frekans (natural frequency), ¼z frekans (eigen frequency) veya serbest frekans (free frequency) denir. Belirli sınırlar i¼erisinde f_n 'nın genliği değişmezdir. Bu ¼zellik, doğal olarak, sarkaç sismometreler i¼in de ge¼erlidir. Yer, f_n frekansından ¼ok k¼c¼k bir frekansla titreşirse, sarkaçın k¼tlesi yerin hareketini tam olarak izler. Dolayısıyla, ¼er¼eve (yani, yer hareketi) ile sarkaçın k¼tlesi arasında g¼receli bir hareket oluşmaz. Diğer bir deyişle, yer hareketinin frekansı f k¼c¼ld¼k¼e genlik F (yani sarkaç ve yer arasındaki g¼receli hareket) sifıra yaklaşır. Eğer yer hareketinin frekansı (f) artarsa F genliği de artar ve f frekansının değer f_n frekansına ulaştığında rezonansa girer ve F genliği en b¼y¼k değerine ulaşır. f frekansının değer f_n frekansının ¼tesinde artırılmaya devam edilirse, sarkaçın k¼tlesi yer hareketinin gerisinde kalmaya başlar ve F genliği tekrar azalır (şekil 4.8).

Yer hareketinin frekansı ¼ok y¼ksek olduğunda, k¼tle hareket etmez. Bu durumda k¼tle ve ¼er¼eve arasındaki hareket (mutlak değer olarak) ¼er¼evenin hareketine eşit ve $F=1$ dir. Yer hareketinin ve sarkaçın g¼receli periyodu bir sismometrenin davranışı i¼in kesindir.



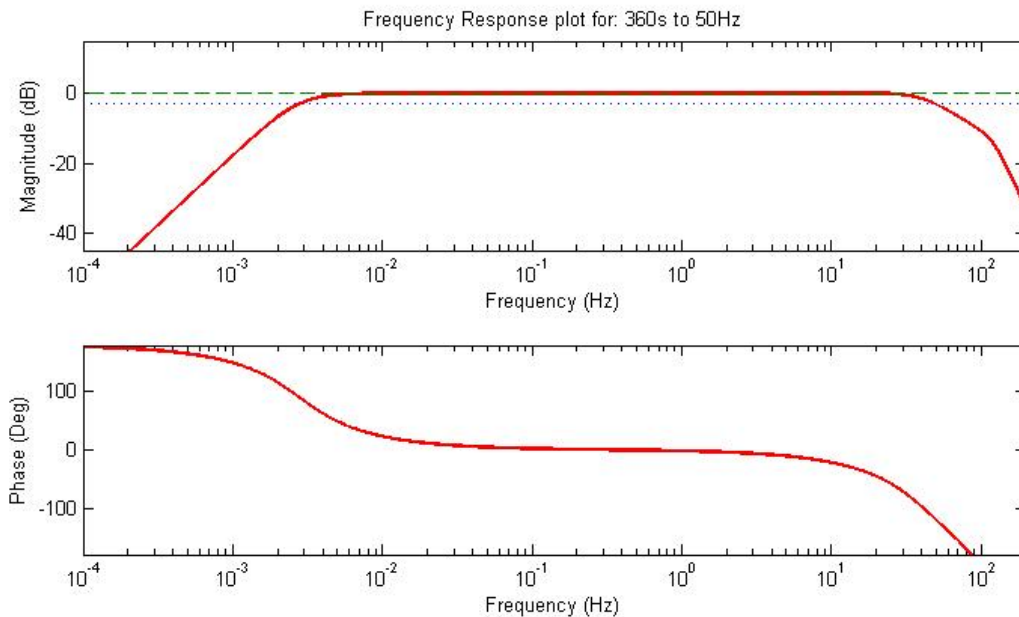
şekil 4.8: Frekansa bağlı olarak genliğin değerimi.

Burada üç farklı durum gözlenir; birincisi, eğer sarkacın periyodu yer hareketinin periyodundan çok daha uzun ise (grafığın sağ tarafı), kaydedilen iz, yer hareketinin yer değiştirmesi ile orantılıdır. İkincisi, her iki periyod yaklaşık aynı ise (grafığın orta kısmı), rezonans oluşacaktır ve iz, yerin hızı ile orantılıdır. Üçüncüsü, sarkacın periyodu yer hareketinkinden çok kısa ise (grafığın sol kısmı) iz, yer hareketinin ivmesi ile orantılıdır. Böylece, sarkacın serbest periyodunu ayarlayarak, yer hareketinin değişik özelliklerini (yer değiştirmesini, hızını ve ivmesini) kaydedebiliriz.

4.3.5. Algılayıcı teorilerine göre sismometreler

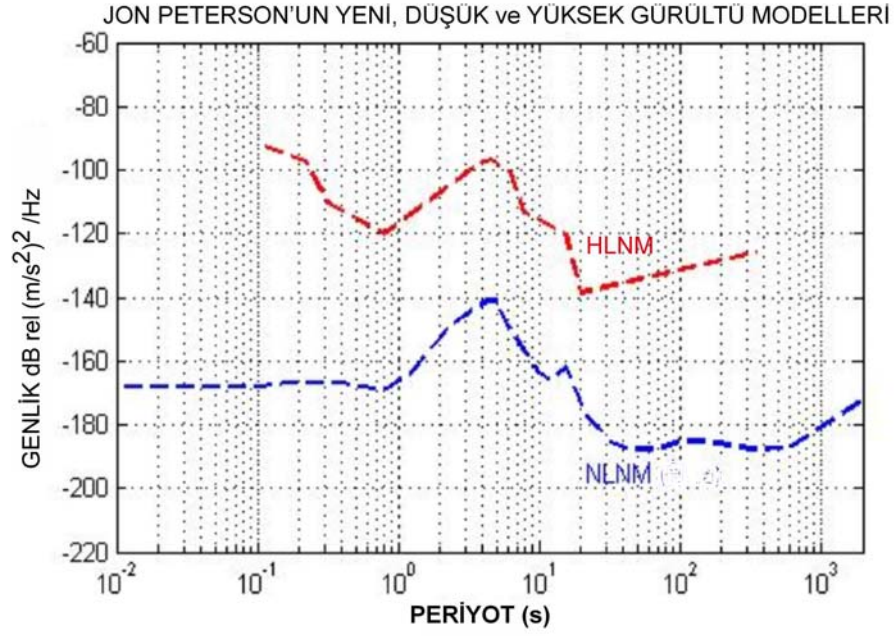
Algılayıcı teorilerine göre sismometreler, Şekil 4.11 (a) daki gibi open loop (açık döngü) ve Şekil 4.11.(b) deki gibi close loop (kapalı döngü) sismometreler olmak üzere ikiye ayrılır. Bunları incelemeden önce broad-band sismometreler ve bunların özelliklerini açıklamak gerekmektedir. Bir broad-band sismometrede aranan özellikler ;

- Frekans yanıtı 0.0027 Hz den en az 50 Hz'e olmalıdır (Şekil 4.9)
- Sensör gürültü seviyesi 0.01 Hz ile 10 Hz arasında ve NLNM (New Low Noise Model) üzerinde olmalıdır (Şekil 4.10).
- Transfer Fonksiyonu tanımlı frekans yanıtı ile doğrusal olmalı,

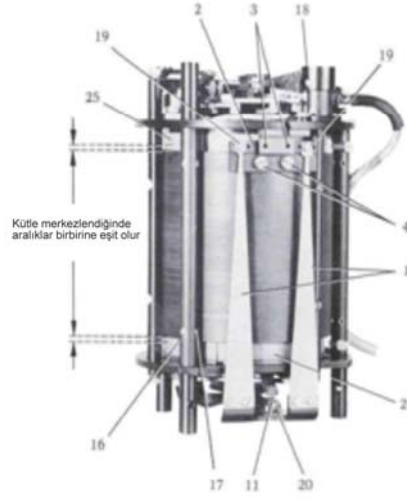


Şekil 4.9: Bir Broad-band sismometreye ait frekans yanıt grafiği.

- Kurulumunun kolay,
- Çalıştırılmasının kolay,
- Sensör kütlesinin uzaktan kilitleyip açılabilir,
- Sensör kütlesinin uzaktan merkezlenebilir,
- Uzaktan kalibre edilebilir,
- Kolay yapılandırılabilir olmalıdır.



Şekil 4.10: NLNM (New Low Noise Model) - NLNM (New High Noise Model), USGS Technical Summary, US Geological Survey, 25 January 1990



(a)



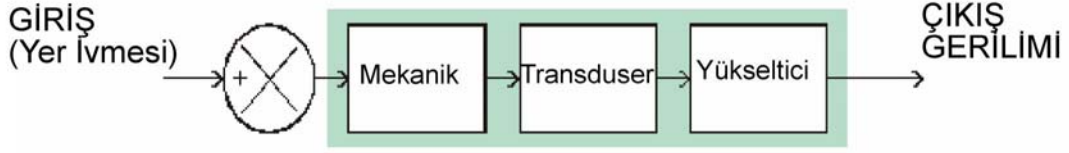
(b)

Şekil 4.11: (a) Open loop sismometre, (b) Close loop sismometrelerin genel yapısı.

Open Loop ve Close Loop sismometrelerin özellikleri ;

1. Open loop sismometrelerde transfer fonksiyonu sensör mekaniği ve transducer (genel olarak enerji dönüştürücü olarak da tanımlanırlar) kazancına bağlıdır fakat close loop sismometrelerde sensör transfer fonksiyonuna geri besleme bileşeni karar verir.
2. Open loop sismometrelerde sensörün geçici yanıtı sönüme bağlı iken close loop sismometrelerde geçici yanıtını geri besleme bileşenleri belirler.
3. Open loop sismometrelerde sistemin doğrusallığına sensör mekaniği ve süspansiyon sistemi karar verirken, Close loop sismometrelerde bu sistem döngü kazancı tarafından belirlenir.
4. Open loop sismometrelerde hissedilebilen en küçük yer hareketi sistemin Brownian hareketi tarafından belirtilir ve bu da sensör kütlesi ve sönüme bağlıdır ki Close loop sismometrelerde de bu böyledir.
5. Open loop sismometrelerde kalibrasyon için yedek bir uyarım bobin gerekli iken Close loop sismometrelerde geri besleme transduceri kalibrasyon amaçlı kullanılabilir.
6. Open loop sismometrelerde farklı frekans yanıtları filtreleme ile yapılabilirken Close loop sismometrelerde farklı geri besleme topolojileri yardımıyla, farklı frekans yanıtları elde edilebilir. Örnek olarak yer değiştirme geri beslemesi, ivme geri beslemesi ve hız geri beslemesi vardır.

Open loop (geri beslemesiz, açık sistem) sismometrelerde sistem özellikleri (Şekil 4.12).

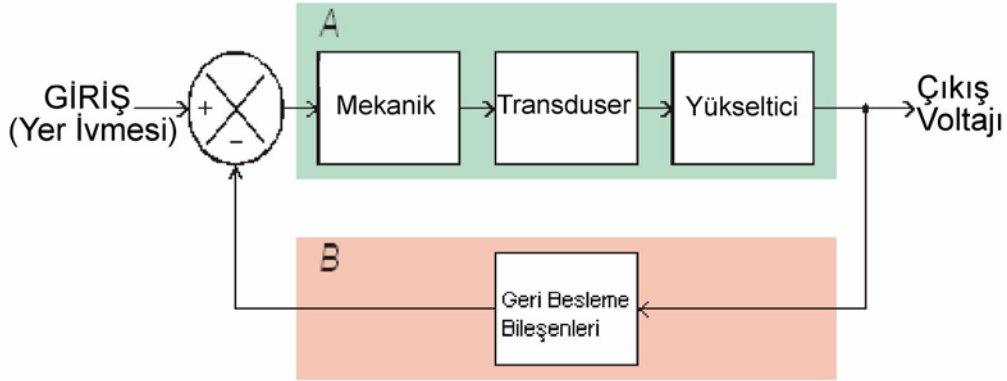


Şekil 4.12: Open loop sismometre sistem şeması.

V_0 çıkış gerilimini, X_i yerdeğiştirmeyi \dot{X}_i hızı, \ddot{X}_i ivmeyi göstermektedir.

$$\frac{V_0}{\ddot{X}_i} = \text{Mekanik} \times \text{Transduser} \times \text{Yükselteç}$$

Close loop (geri beslemeli sistem) sismometrelerde sistem özellikleri (Şekil 4.13).



Şekil 4.13: Close loop sismometre sistem şeması.

A: Sismometrelerde mekaniği, transduser ve yükseltecine ait kazanç,

B: Sismometrelerde elektronik devrelerden oluşan geri besleme kazancı,

$$V_0 = (\ddot{X}_i - BV_0)A \quad (4.1)$$

$$V_0 = A\ddot{X}_i - ABV_0$$

$$V_0 + ABV_0 = A\ddot{X}_i$$

$$V_0(1 + AB) = A\ddot{X}_i$$

$$V_0(1 + AB) = A\ddot{X}_i$$

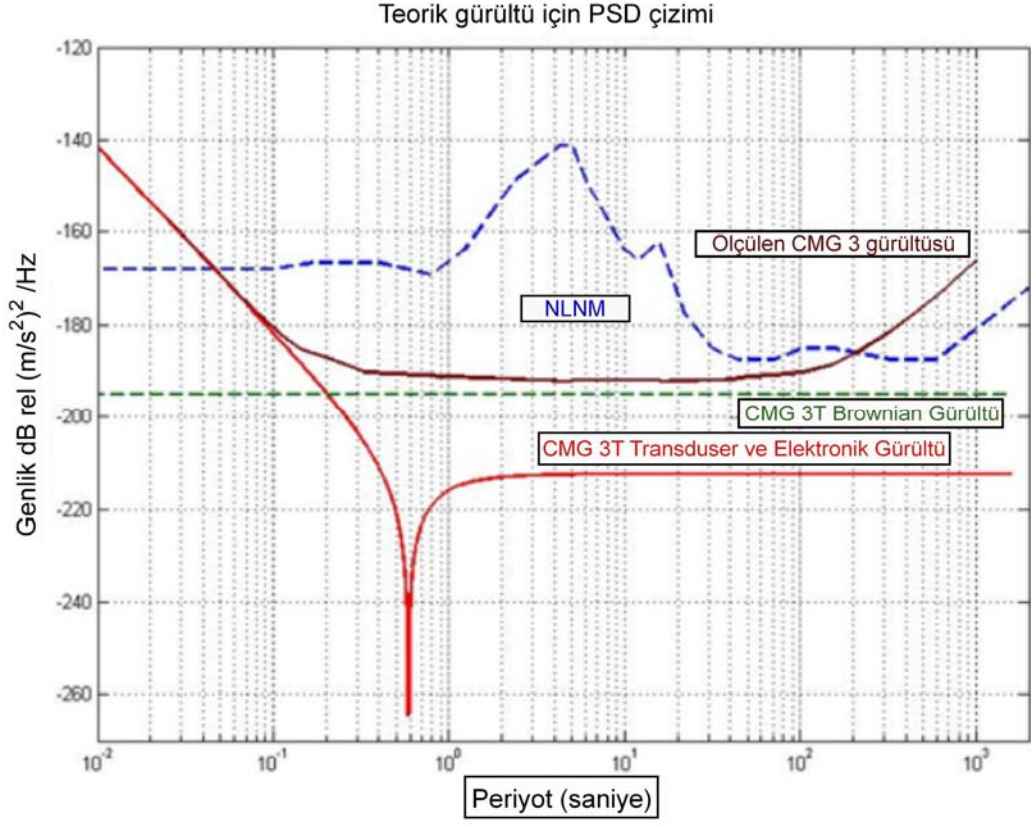
$$\frac{V_0}{\ddot{X}_i} = \frac{A}{1 + AB}$$

$$A \gg 1$$

$$\frac{V_0}{\ddot{X}_i} = \frac{A}{AB}$$

$$\frac{V_0}{\ddot{X}_i} = \frac{1}{B}$$

Formülden de görüldüğü gibi close loop sismometrelerin kesinlikle mekaniğe bağlı bir tranfer fonksiyonu yoktur. Sonuç olarak bu da bize, Close loop sismometrelerin kalibre edilmelerine ve aynı zamanda çalışma frekansları değiştiğinde de mekaniğinin değişmesine gerek olmadığını göstermektedir. Şekil 4.14'de çeşitli Güralp Systems close loop sismometrelerin gürültü düzeylerinin, NLNM (New Low Noise Model) ile karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 4.14: Çeşitli Güralp Systems sismometrelerine ait gürültü grafiklerinin NLNM (New Low Noise Model) ile karşılaştırılması

5. SİSMOMETRELERİN KALİBRASYON KONTROLÜ

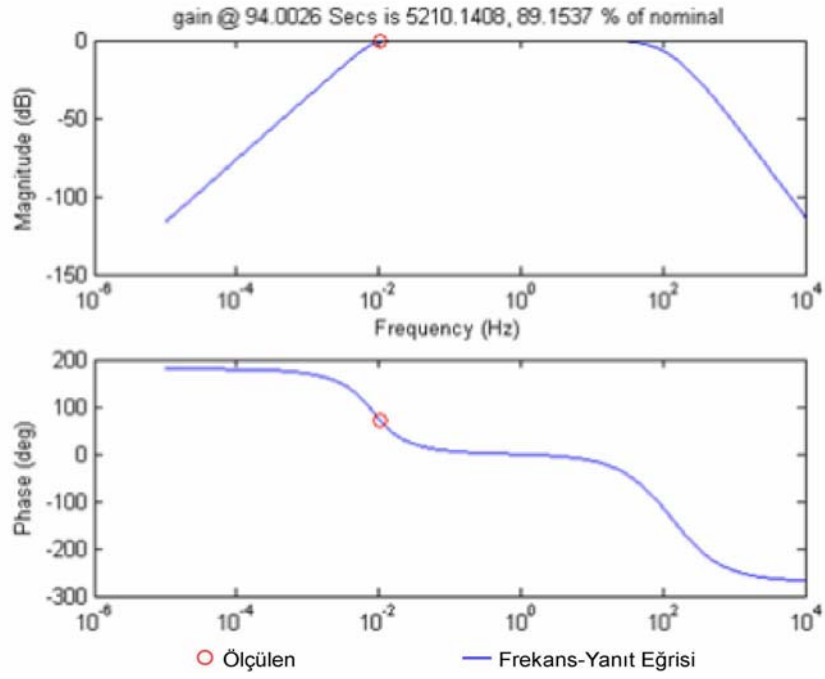
5.1. Sinüzoidal Giriş Sinyali ile Kalibrasyon Kontrolü

Sismometrelerin kalibrasyonu ile ilgili uygulama Güralp System firmasına ait CMG-3TD (120 sec) sismometresi ile yapılmıştır. Uygulamada Scream 4.4 programı ve Matlab scriptleri kullanılarak sismometreye 215 saniye periyoddan 0.1 saniye periyoda kadar değişik sinüzoidal sinyal verilmiş ve frekans yanıt grafikleri kontrol edilmiştir (Şekil 5.2).

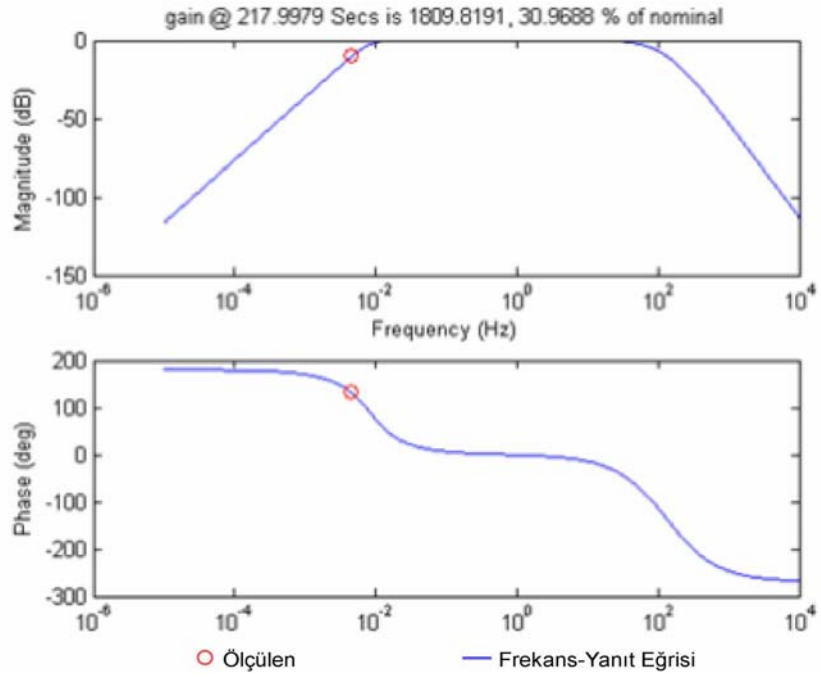


Şekil 5.1: Güralp Systems tarafından üretilen CMG-3TD sismometre.

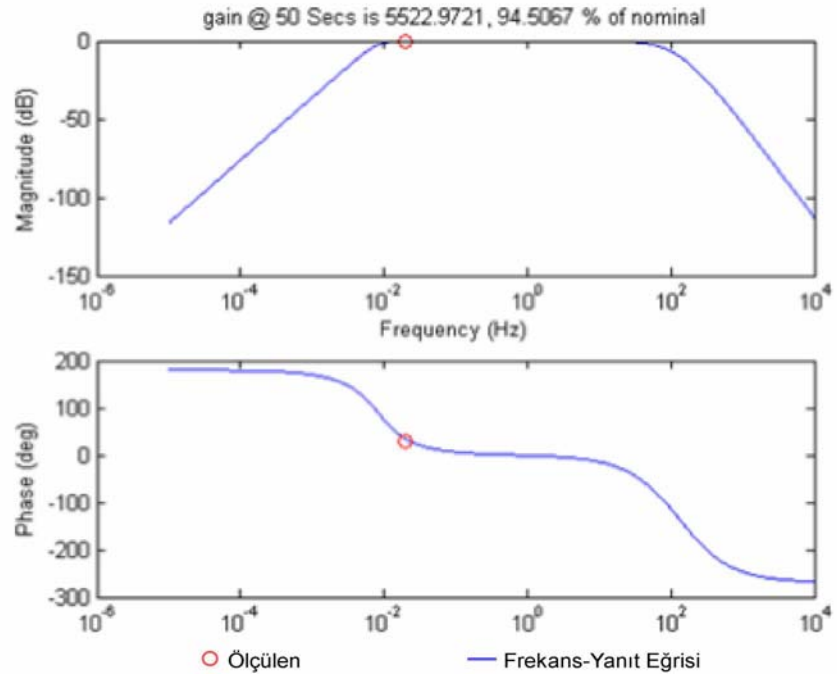
Aşağıdaki grafiklerde periyodu 215 saniyeden başlanarak verilen sinüs sinyallerinin frekans yanıt grafikleri verilmiştir. Sinyaller 215 saniyeden, 0.1 sn' ye kadar belirli aralıklar ile verilmiş ve çizilmiştir. Grafiklerde, cihazın frekans yanıtının normal ve girilen kalibrasyon sinyalinin frekans yanıt eğrisini takip ettiği görülmektedir. Bu grafikler yardımıyla cihazın kalibrasyona ihtiyacı olup olmadığı veya arızalı olup olmadığı rahatlıkla söylenebilir.



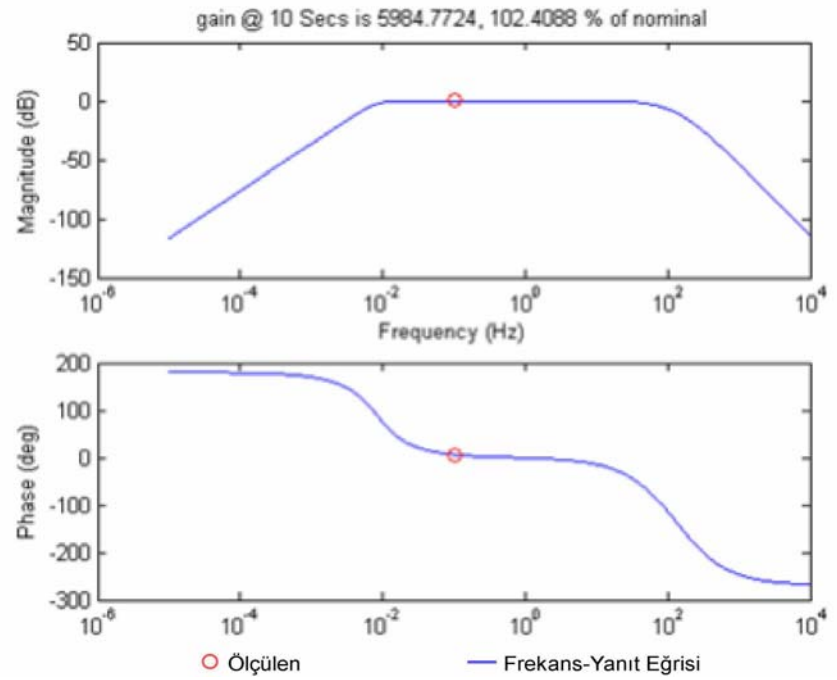
Şekil 5.2: 215 saniye periyodlu sinyalin frekans yanıt grafiği.



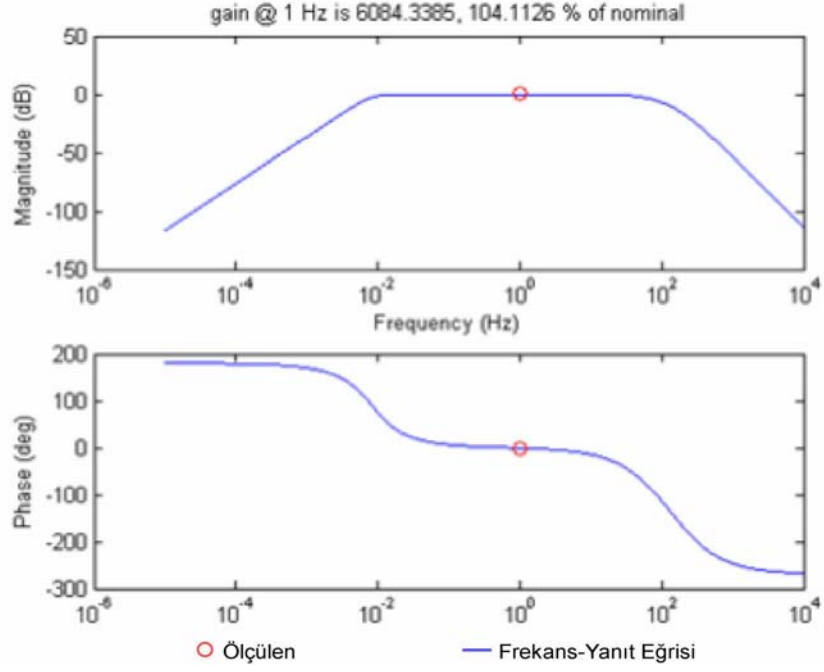
Şekil 5.3: 95 saniye periyodlu sinyalin frekans yanıt grafiği.



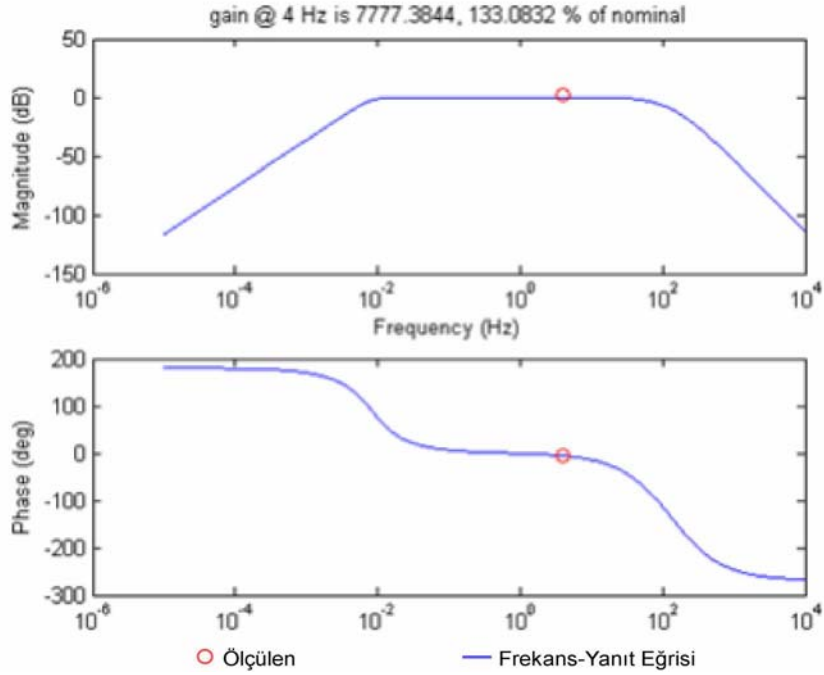
Şekil 5.4: 50 saniye periyodlu sinyalin frekans yanıt grafiği.



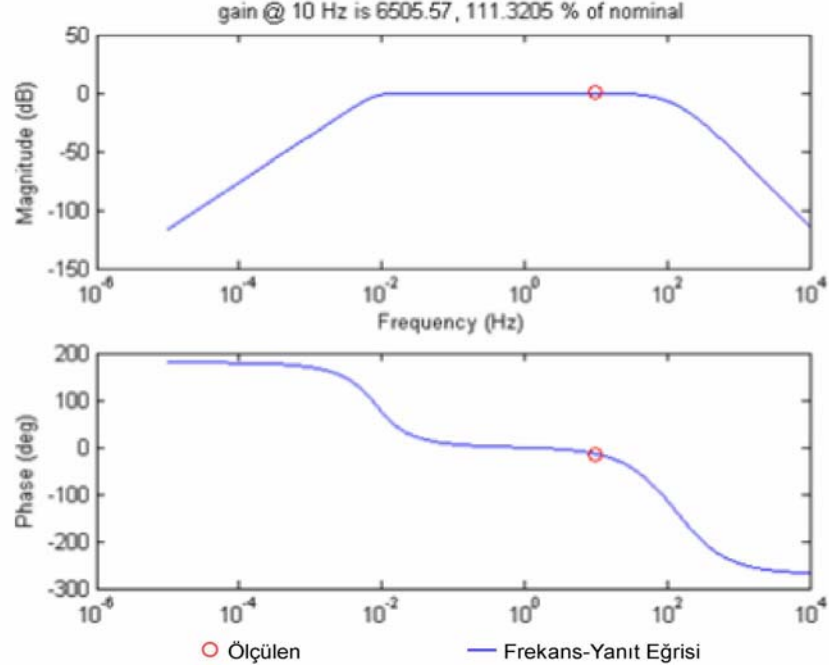
Şekil 5.5: 10 saniye periyodlu sinyalin frekans yanıt grafiği.



Şekil 5.6:1 Hz frekanslı (1 sn) sinyalin frekans yanıt grafiği.



Şekil 5.7: 4 Hz frekanslı (0.25 sn) sinyalin frekans yanıt grafiği.

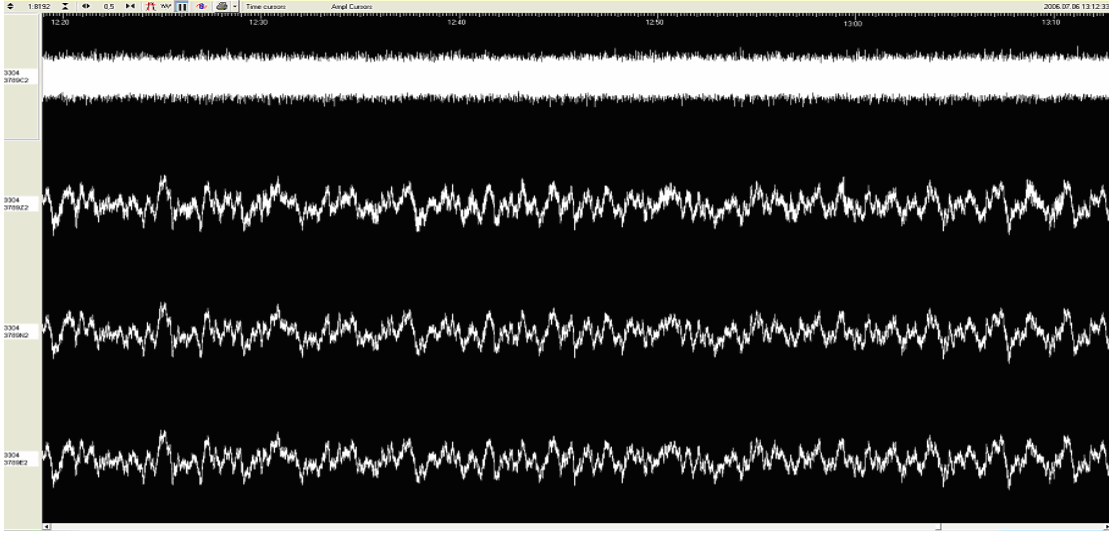


Şekil 5.8: 10 Hz frekanslı (0.1 sn) sinyalin frekans yanıt grafiği.

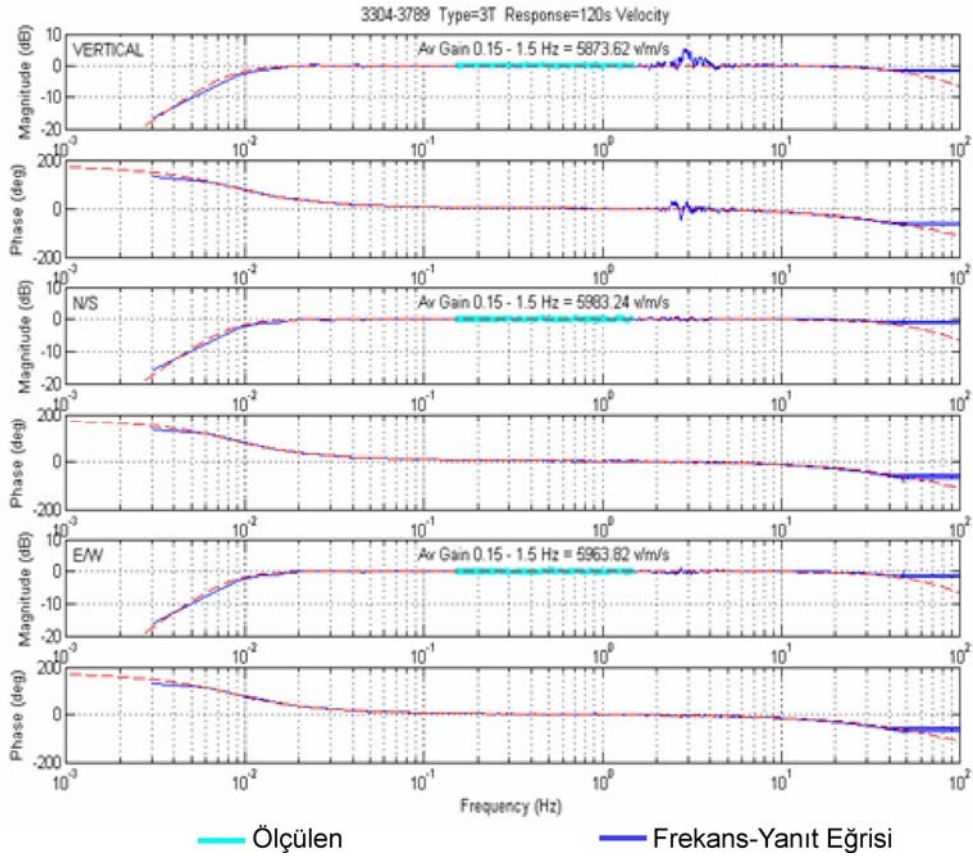
5.2. Rastgele Broad-Band Gürültü Sinyali ile Kalibrasyon Kontrolü

Güralp Systems' in son ürettiği MK III sayısallaştırıcılar; sinus, step kalibrasyon sinyalinin yanı sıra random broad-band gürültü sinyali de üreterek kalibrasyon kontrollerinin yapılmasını sağlamaktadır (Şekil 5.9).

Aşağıda CMG-3TD (120 sn'lik) cihazına uygulanan Random Broad-Band gürültü sinyaline ait frekans yanıt grafiği çizilmiştir (Şekil 5.10).



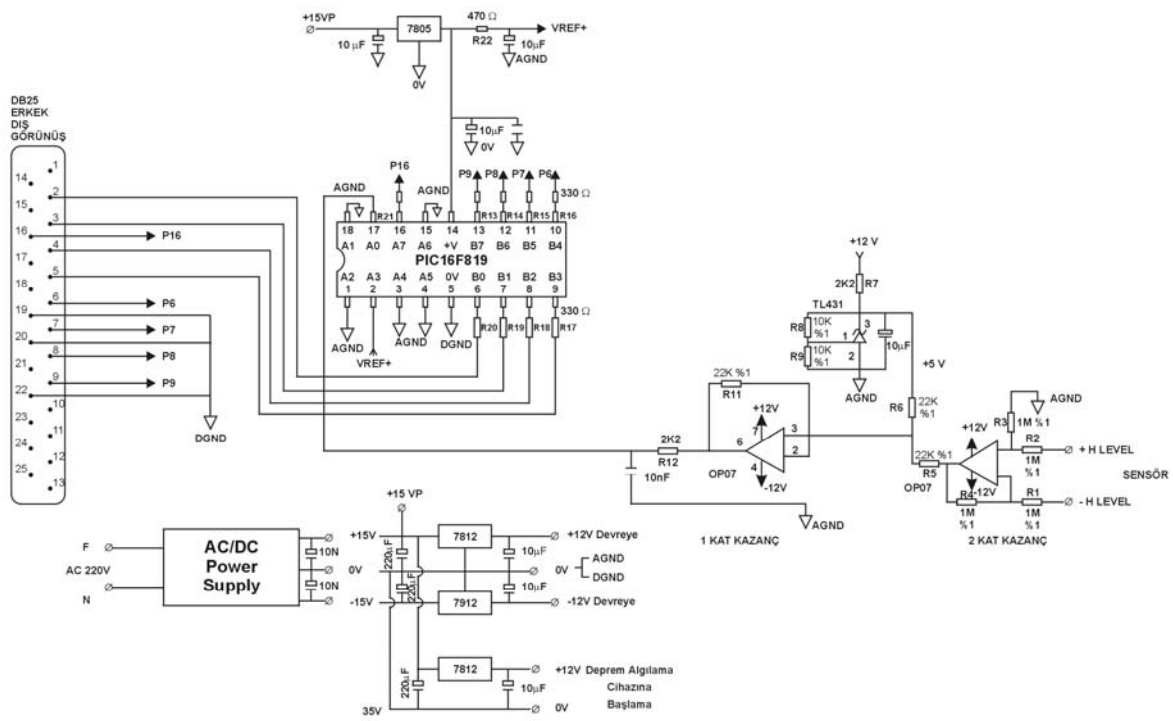
Şekil 5.9: Rastgele broad-band gürültü sinyali uygulanan cihaza ait üç bileşen kaydı.



Şekil 5.10: Rastgele broad-band gürültü sinyaline ait frekans yanıt grafiği.

6. ANALOG SİSMOMETRELER İÇİN SAYISALLAŞTIRICI TASARIMI

Bu tez kapsamında; Güralp Sistem'e ait CMG-40V analog tek bileşen düşey sensor için, 16F819 PIC kullanılarak analog veriler sayısal hale dönüştürülmüş ve bilgisayara parallel port yardımı ile aktarılarak Matlab'da yazılan program sayesinde gerçek zamanlı olarak kullanılabilir hale getirilmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1: Sayısallaştırıcının devre şeması.

6.1. Mikrodenetleyici

Mikrodenetleyici, bir yazılım olmadan hiçbir işe yaramayan bir plastik, metal ve temizlenmiş kum yığıdır. Mikrodenetleyiciyi kontrol eden bir yazılım olduğundaysa, neredeyse sınırsız bir uygulamaya sahiptir.

6.1.1. Mikrodenetleyicinin avantajları

Mikrodenetleyicilerin mikroişlemcilerle olan üstünlükleri oldukça fazladır. Örneğin mikroişlemcili bir sistem yapıldığında mikroişlemcinin yanı sıra hafızalar (RAM, ROM veya EPROM), giriş/çıkış birimi ve buna benzer birçok sistem kullanılmaktadır. Bu karışık sistemin hem tasarlanması ve yapımı zordur, hem de maliyeti oldukça yüksektir. Mikrodenetleyicilerde ise, bir sistemin çalıştırılabilmesi için yalnızca bir mikrodenetleyici ve osilatör devresi yeterli olmaktadır. Sistemde gerekli olan ön bellek ve giriş/çıkış birimi mikrodenetleyiciler içinde bir yonga halindedir.

6.1.2. PIC mikrodenetleyicilere giriş

PIC'in kelime anlamı PERIPHERAL INTERFACE CONTROLLER giriş/çıkış işlemcisidir. İlk olarak 1994 yılında 16 bitlik ve 32 bitlik büyük işlemcilerin, giriş ve çıkışlarındaki yükü azaltmak ve denetlemek amacıyla çok hızlı bir çözüme ihtiyaç duyulduğu için geliştirilmiştir.

6.1.3. PIC mikrodenetleyicilerinin tercih sebepleri

- a) Lojik uygulamalarının hızlı olması,
- b) Fiyatının oldukça ucuz olması,
- c) 8 bitlik mikrodenetleyiciler olması ve bellek ile veri için ayrı yerleşik yolların kullanılması,
- d) Veri ve belleğe hızlı olarak erişiminin sağlanması,
- e) PIC'e göre diğer mikrodenetleyicilerde veri ve programı taşıyan bir tek yol bulunması, dolayısıyla PIC'in bu özelliği ile diğer mikrodenetleyicilerden iki kat daha hızlı olması,
- f) Herhangi bir ek bellek veya giriş/çıkış elemanı gerektirmeden sadece 2 kondansatör ve bir direnç ile çalışabilmeleri,
- g) Yüksek frekanslarda çalışabilme özelliği,
- h) Stand-by durumunda çok düşük akım çekmesi,
- i) Kesme kapasitesi ve 14 bit komut işleme hafızası.

6.1.4. PIC'in kullanımı için gerekli aşamalar

Giriş/Çıkış: Mikrodenetleyicinin dış dünya ile ilişkisini sağlayan, girdi ve çıktı şeklinde ayarlanabilen bir bağlantı pinidir. giriş/çıkış çoğunlukla mikrodenetleyicinin iletişim kurmasına, kontrol etmesine veya bilgi okumasına izin verir.

Yazılım: Mikrodenetleyicinin çalışmasını ve işletilmesini sağlayan bilgidir. Başarılı bir uygulama için yazılım hatasız (bug) olmalıdır. Yazılım C, Pascal veya Assembler gibi çeşitli dillerde veya binary (ikili) olarak yazılabilir.

Donanım: Mikrodenetleyici, bellek, arabirim bileşenleri, güç kaynakları, sinyal düzenleyici devreler, bunları çalıştırmak ve arabirim görevini üstlenmek için bu cihazlara bağlanan tüm bileşenlerdir.

Simülâtör: PC üzerinde çalışan ve mikrodenetleyicinin içindeki işlemleri simüle eden örneğin MPSIM gibi bir yazılım paketidir. Hangi olayların ne zaman meydana geldiği biliniyorsa, bir simülâtör kullanmak tasarımları test etmek için kolay bir yol olacaktır. Öte yandan simülâtör programları tümüyle veya adım adım izleyerek hatalardan arındırma fırsatı sunar. Şu anda en gelişmiş simülâtör programı Microchip firmasının geliştirdiği MPLAB programıdır.

ICE: PIC MASTER olarak da adlandırılır. (In- Circuit Emulator/İç devre takipçisi) PC ve mikrodenetleyicinin yer alacağı soket arasına bağlanmış yararlı bir gereçtir. Bu gereç yazılım PC de çalışırken devre kartı üzerinde bir mikrodenetleyici gibi davranır. ICE, bir programa girilmesini, mikrodenetleyici içinde neler olduğunu ve dış dünya ile nasıl iletişim kurulduğunun izlenmesini sağlar.

Programlayıcı: Yazılımın mikrodenetleyici belleğinde programlanmasını ve böylece ICE'nin yardımı olmadan çalışmasını sağlayan bir birimdir. Çoğunlukla seri porta (örneğin PICSTART, PROMASTER) bağlanan bu birimler çok çeşitli biçim, ebat ve fiyatlara sahiptir.

Kaynak Dosyası: Hem Assembler'in, hem de tasarımcısının anlayabileceği dilde yazılmış bir programdır. Kaynak dosya mikrodenetleyicinin anlayabilmesi için önceden makina diline çevrilmiş olmalıdır.

Assembler: Kaynak dosyayı bir nesne dosyaya dönüştüren yazılım paketidir. Hata ayıklama bu paketin yerleşik bir özelliğidir. Bu özellik makina diline çevrilme sürecinde hatalar çıktıkça programı hatalardan arındırırken kullanılır. MPASM, tüm PIC ailesini elinde tutan Microchip'in makina diline çeviren son programıdır.

Nesne Dosyası (object file): Assembler tarafından üretilen bu dosya; programcı, simülatör veya ICE'nin anlayabilecekleri ve böylelikle dosyanın işlevlerinin çalışmasını sağlayabilecekleri bir dosyadır. Dosya uzantısı makina diline çeviren programa bağlı olarak, .OBJ veya .HEX olur.

6.1.5. PIC mikrodenetleyicilerinin özellikleri

Güvenirlilik: PIC komutları bellekte çok az yer kaplarlar. Dolayısıyla bu komutlar 12 veya 14 bitlik bir program bellek sözcüğüne sığarlar. Harvard mimari teknolojisi kullanılmayan mikrodenetleyicilerde yazılım programının veri kısmına atlama yaparak bu verilerin komut gibi çalıştırılması mümkündür. Bu da büyük hatalara yol açabilmektedir. PIC'lerde bu durum engellenmiştir.

Hız: PIC oldukça hızlı bir mikrodenetleyicidir. Her bir komut döngüsü 1µsn' dir. Örneğin 5 milyon komutluk bir programın 20Mhz'lik bir kristalle işletilmesi yalnız 1sn sürer. Bu süre 386SX33 hızının yaklaşık 2 katıdır. Ayrıca RISC mimarisi işlemcisi olmasının hıza etkisi oldukça büyüktür.

Komut Seti: PIC'in 16C5X ailesinde bir yazılım yapmak için 33 komuta ihtiyaç duyarken diğer 16CXX araçları için bu sayı 35'tir. PIC tarafından kullanılan komutların hepsi kaydedici temellidir. Komutlar 16C5X ailesinde 12 bit, 16CXX ailesinde ise 14 bit uzunluğundadır. PIC'te CALL, GOTO ve bit test eden BTFS ve INCF gibi komutlar dışında diğer komutlar 1 çevrim süre çeker. Belirtilen komutlar ise 2 çevrim süre çeker.

Statik İşlem: PIC tamamıyla statik bir işlemcidir. Yani saat durdurulduğunda da tüm kaydedici içeriği korunur. Fakat, pratikte bunu tam olarak gerçekleştirebilmek mümkün değildir. PIC entegresi programı işletilmediği zaman uyku moduna geçerek, entegrenin çok düşük akım ($1\mu\text{A}$ 'den küçük) çekmesi sağlanır. PIC uyku moduna geçirildiğinde, saat durur ve PIC uyuma işleminden önce hangi durumda olduğunu çeşitli bayraklarla ifade eder (elde bayrağı, sıfır bayrağı vs.).

Sürme Özelliği (Sürücü Kapasitesi): PIC yüksek bir çıkış kapasitesine sahiptir. Tek bacadan 40mA akım çekebilmekte ve entegre toplamı olarak 150mA akım akıtma kapasitesine sahiptir. Entegrenin 4MHz osilatör frekansında çektiği akım, çalışırken 2mA , uyku durumunda ise $2\mu\text{A}$ kadardır.

Seçenekler: PIC ailesinde her türlü ihtiyaçların karşılanacağı çeşitli hız, sıcaklık, kılıf, GİRİŞ / ÇIKIŞ hatları, zamanlama (timer) fonksiyonları, seri iletişim portları, A/D ve bellek kapasite seçenekleri bulunur.

Çok Yönlülük: PIC çok yönlü bir mikrodenetleyicidir ve ürünün içinde yer darlığı durumunda birkaç mantık kapısının yerini değiştirmek için düşük maliyetli bir çözüm bulunur.

Güvenlik: PIC, endüstride en üstünler arasında yer alan bir kod koruma özelliğine sahiptir. Koruma bitinin programlanmasından itibaren, program belleğinin içeriği, program kodunun yeniden yapılandırılmasına olanak verecek şekilde okunmaz.

Geliştirme: PIC program geliştirme amacıyla programlanabilir, tekrar silinebilme özelliğine sahiptir (EPROM, EEPROM). Aynı zamanda seri üretim amacıyla bir kere programlanabilir (OTP) özelliğine sahiptir.

Liste Dosyası: Assembler tarafından oluşturulan ve kaynak dosyadaki tüm komutları hexadecimal (onaltılık) sistemdeki değerleri ve tasarımcının yazmış olduğu yorumlarıyla birlikte içeren bir dosyadır. Bir programı hatalardan arındırırken araştırılacak en yararlı

dosya budur. Çünkü bu dosyayı izleyerek yazılımlarda neler olup bittiğini anlama şansı kaynak dosyasından daha fazladır. Dosya uzantısı .LST'dir.

Diğer Dosyalar: Hata dosyası (error file: uzantısı: .ERR) hataların bir listesini içerir ancak bunların kaynağı hakkında hiçbir bilgi vermez. Uzantısı .COD olan dosyalar emülatör tarafından kullanılırlar.

Bug'lar: Tasarımcının farkında olmadan yaptığı hatalardır. Bu hatalar, basit yazılım hatalarından, yazılım dilinin yanlış kullanımına kadar uzanır. Hataların çoğu derleyici tarafından bulunur ve bir .LST dosyasında görüntülenir.

6.1.6. Assembler komut seti

Ek 1'de assembler dili komut seti gösterilmektedir. En solda komutun adı, sağında bu komut için nelerin girilmesi gerektiği (f data belleğinden gelecek bilgiyi, d sonucun yazılacağı byte'ı, b sonucun yazılacağı biti, k ise dönecek sabit sayıyı ifade eder) ve en sağda komutun anlamı yazılıdır.

PIC16 komut düzeninde 3 ana komut grubu vardır:

- Byte yönlendirmeli komutlar,
- Bit yönlendirmeli komutları,
- Sabit değer ve kontrol komutları.

Her bir PIC16 komutunun 14-bit olmak üzere komut çeşidini ve komutun işlemini belirleyen bir veya daha fazla operanttan oluşan bir opcode açılımı vardır. Byte-yönlendirmeli komutlarda, 'f' bir file registerini; 'd' ise hedef registerini temsil eder. d=0 ise sonuç W akümülatörüne; d=1 ise file registerine yazılır. Bit yönlendirmeli komutlarda 'b', işleme konu olan bit alanını temsil ederken 'f' de bitin bulunduğu file registerini temsil eder. Sabit değer ve kontrol komutlarında 'k' 8 yada 11 bit ivedi değeri gösterir.

Bir komut çevrimi 4 osilatör peryodu kadardır. Mesela 4 MHz.'lik osilatör frekansı için normal bir komut işlemi 1 µsn sürer. Tüm komutlar tek bir komut çevriminde işlenir ancak şartlı bir testin doğru çıkması yada komut sonucunda program sayacı değiştiği durumlarda ikincisi NOP olmak üzere işlem süresi 2 çevrim sürer.

Komut örneklerinde '0xHH' yazımı ile, H bir hexadecimal sayı gösterir.

6.2. Sayısallaştırıcıya Ait PIC Programı;

Bu programda 16F819 mikrodenetleyicisinin, A ve B portu 10 bit analog sayısal dönüştürücü çıkışı olarak kullanılmıştır. A portu, 10 bitlik sayının en anlamlı olan 2 biti, B portu da 10 bitlik sayının kalan 8 biti için kullanılmıştır. Bu portlar, bilgisayarın paralel portunun 16. pininden gelen 1 ya da 0 verisi ile okunmuştur. Paralel portun 16. pini Port A'nın 7. bacağına bağlanmış olup buradaki veri 1 olduğundan en anlamlı 2 bit, 0 olduğunda da kalan 8 bit bilgisayar tarafından yazılan C/Matlab programı ile alınmış, çizdirilmiş ve kaydedilmiştir.

PIC Programı;

```
LIST P=16F819 ;Uses PIC ---> 4 MHz IntRC Clock
#include <P16F819.INC>

        CONFIG (_CP_ALL & _CCP1_RB2 & _DEBUG_OFF & _WRT_ENABLE_OFF & _CPD_OFF
& _LVP_OFF & _BODEN_ON & _MCLR_OFF & _PWRTE_ON & _WDT_OFF & _INTRC_IO)
        ERRORLEVEL -302

w      equ      0
f      equ      1
#define _C      STATUS,C
#define _Z      STATUS,Z
;
BANK0 macro
        bcf      STATUS,6
        bcf      STATUS,5
        endm
;
BANK1 macro
        bcf      STATUS,6
        bsf      STATUS,5
        endm
;*****
```

```

; variable defines
;*****
;
; variable KRAM=0x20
; cblock KRAM
; PORTA_      ; hi 2 bit
; PORTB_      ; lo 8 bit
; endc
; variable KRAM=PORTB_+1
;*****
;
; org 0x00
; goto START
; nop
; nop
; nop
;*****
;
; org 0x04
; goto START
;
;*****
;
; MAIN PROGRAM
;*****
;
; Bellek Sıfırlanıyor
;*****
START
;
; movlw 0x20
; movwf FSR
LPINI clrf INDF
; incf FSR,f
; btfs FSR,7 ;0x80h --> BANK 0 clear
; goto LPINI
;*****
;
; Portlar Sıfırlanıyor
;*****
;
; clrf PORTA
; clrf PORTB
;*****
;
; BANK1
; movlw b'11111111' ; 0 lar çıkış
; movwf TRISA
;
;
; movlw b'00000000' ; 1 ler giriş
; movwf TRISB
;
;
; clrf INTCON ; interrupt kullanılmıyor
;
;
; movlw b'10010111' ; /256-> 15 sample per Sec clock for 4 MHz osc
; movwf OPTION_REG
;
;
; movlw b'10001111' ; Port A0=Analog,A1=Dig,A2=Vref-,A3=Vref+,A4=Dig
; movwf ADCON1
;
;
; movlw b'01100000' ; 4 Mhz internal oscillator activated.
; movwf OSCCON
;
;
; BANK0
; clrf CCP1CON ; Capture,Compare,PWM disabled
;

```

```

;*****
;
;   Analog - Sayısal Dönüştürme işlemi (10 bit)
;*****
REFRESH                               ; Main trace loop
    movlw b'01000001'                ; up 5 MHz osc and A0 sel.
    movwf ADCON0
;*****
;   Okuma işlemi
;*****
    goto    $+1
    goto    $+1
    goto    $+1
    goto    $+1
    nop
    bsf     ADCON0,GO                ; A/D start
    btfsc  ADCON0,GO
    goto    $-1
    movf   ADRESH,w
    movwf  PORTA_                    ; 10 bitin en anlamlı 2 bitini PORT A ya aktarıldı
    BANK1
    movf   ADRESL,w
    BANK0
    movwf  PORTB_                    ; 10 bitin kalan 8 bitini Port B ye aktarıldı
;
    btfss  PORTA,7                    ; Port A nın 7. bacağına PC den 1 gelmesini bekliyor
    goto    $-1                        ;
    movf   PORTA_,w                    ; 1 geldiğine en anlamlı 2 bitini Port B ye yazıyor
    movwf  PORTB                       ;
;
    btfsc  PORTA,7                    ; Port A nın 7. bacağına PC den 0 gelmesini bekliyor
    goto    $-1                        ;
    movf   PORTB_,w                    ; 0 geldiğine kalan 8 bitini Port B ye yazıyor
    movwf  PORTB                       ;
;
    goto   REFRESH
;
Main program end
end

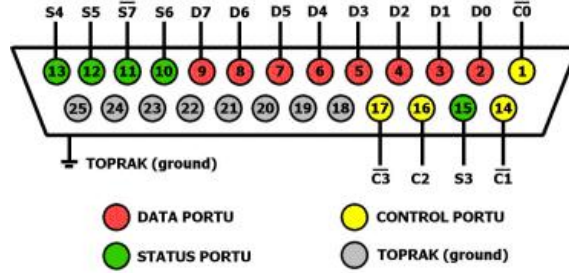
```

6.3. Paralel Port

Paralel port bilgisayarınızın en kolay programlanabilir portudur. 25 pinden oluşmaktadır (Şekil 6.2). Bu pinler üzerinde DATA, STATUS, CONTROL adında 3 tane port vardır. Pinlerden her hangi bir tanesinin "1" yani YÜKSEK olması durumu, o pinden okunacak voltajın +5 Volt olması anlamına gelir. "0" olması ise DÜŞÜK durumunu yani 0 Volt olmasını gösterir.

Paralel porta ulaşılabilmek için bir adres atanmıştır. Bu adresi bulmak için Denetim Masasından Sisteme, oradan da aygıt yöneticisine girilip, Portlar (Bağlantı noktaları)

sekmesine gelinerek, LPT portunun kaynaklarından Giriş-Çıkış aralığındaki değerin ilk kısmındaki değeri yazıcı portunun adresidir, (genellikle 0378 H).



Şekil 6.2: Paralel porta ait pinler

0378 H adresi için bu değeri alt portlara aşağıdaki şekilde dağılır.

DATA portu	h0378
STATUS portu	h0378 + 1 yani h0379
CONTROL portu	h0378 +2 yani h037A olur.

6.3.1. DATA portu

Paralel port üzerinde DATA portuna ait 8 adet (D0-D7) pin vardır. Bu port paralel portunuzun taban adresini kullanır. 8 tane DATA pini olduğundan 8 bitlik veri çıkışı almak mümkündür. Yani bu 8 tane pinin "1" yada "0" değerlerini alması ile veri akışı sağlanmış oluyor. DATA portu veri çıkış/girişi için kullanılmaktadır.

DATA pinine istediğimiz değerleri örneğin; Visual Basic ya da QBASIC altındaki OUT komutunu kullanarak göndermeniz mümkündür. Komutun kullanım şekli aşağıdaki gibidir.

OUT (Adres, Veri)

Burada, Adres değişkeni DATA portunun adresidir, (Örneğin; &h0378). Veri değişkeni ise göndereceğiniz verinin 10 tabanına göre sayısal değerini içermelidir. Örneğin tüm data pinlerini +5 Volt yapmak için porta "11111111" değerine karşılık gelen 255 değerini

göndermeniz yeterli olacaktır. Bu komutu Visual Basic altında kullanabilmeniz için inpout32.dll dosyasının projeniz ile aynı dizinde bulunması gerekmektedir.

C ++ derleyicisinde ise bu komutun adı outportb 'tur ve STDIO.H kütüphanesinde yer alır. Kullanım şekli ise aşağıdaki gibidir.

outportb (Adres,Veri)

6.3.2. STATUS portu

STATUS portu sayesinde, 15, 13, 12, 11, 10 numaralı pinlerden, 5 bit sayısal giriş yapabiliriz. STATUS portu, paralel portunuzun taban adresinin +1 fazlasında bulunmaktadır. Örneğin paralel portunuzun taban adresi h378 ise STATUS portu h379 da bulunacaktır. Bu pinlerden **S7**, donanım tarafından terslenmiştir. Bunun anlamı o pini toprağa çektiğimizde değeri "1" olacaktır.

STATUS portundaki veriyi okumak için Visual Basic ve QBASIC 'teki INP komutunun kullanım şekli aşağıdaki gibidir.

INP(taban_adres+1)

C ++ derleyicisinde ise bu komutun adı *inportb* dir ve STDIO.H kütüphanesinde yer alır. Kullanım şekli ise aşağıdaki gibidir;

inportb (taban_adres+1)

6.3.3. CONTROL portu

CONTROL portunu hem giriş hem de çıkış için kullanmak mümkündür. Paralel port üzerinde CONTROL portununa ait 4 tane pin vardır. Bu pinlerden C0, C1, C3 pinleri terslenmiştir. Yani terslenmiş olan bu pinlere veri göndermediğimiz zaman durumu "1" dir. Bu pinlerden bir tanesine veri gönderdiğimizde o pinin değeri "0" olacaktır. DATA ve

STATUS pinlerinin yetmediği zamanda CONTROL portları ile çıkış, yada giriş almak mümkündür. Programlama şekli STATUS ve DATA portları ile aynıdır.

6.4. Kullanılan Sismometreler

Öncelikle kullanılan sismometrelerin sağlam olup olmadığının kontrolü yapılmalı, sonra da bu sismometreye ait transfer fonksiyonu ile fazlarını hesaplayarak çalışma frekanslarını görmek gerekmektedir. Frekans yanıtı ve fazları hesaplayarak çizen Matlab programı ile bazı sismometrelere ait frekans yanıt grafiği Ek 2 de verilmiştir.

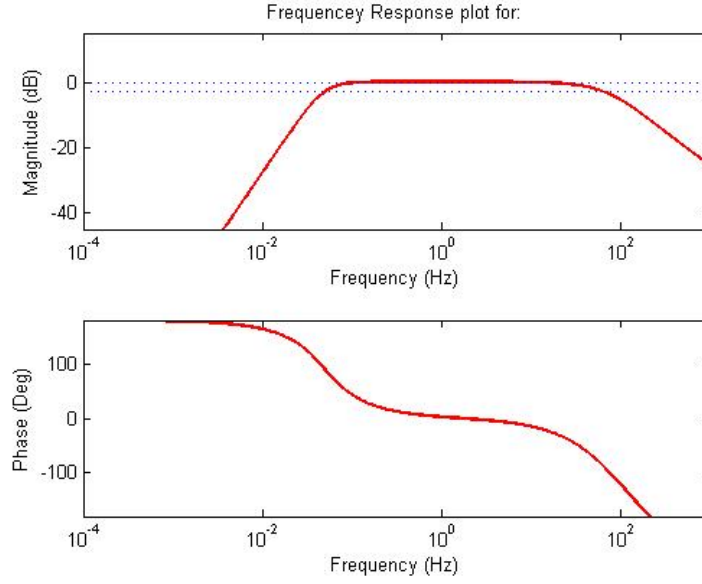
Bu çalışmada, Güralp System' ait 20 sn'lik V4034 ile V4036 seri numaralı düşey bileşen sismometreleri kullanılmış olup, bu sismometrelere ait kalibrasyon bilgileri ve sıfır – kutuplar Ek 2 ve Ek 3 de verilmiştir.

Bu sismometrelere ait hız-voltaj dönüşüm değerleri, V4034 için High Gain Velocity Output 1650 V/m/sn, V4036 için High Gain Velocity Output 1710 V/m/sn olarak verilmiştir. High Gain Velocity Output yada G değeri olarak tanımlanan bu değerler, sismometrenin 1 m/s hızla gelen sinyale karşın çevirdiği voltaj değerini göstermektedir.

Kullandığımız PIC devresi sismometreden gelen 0V - 5V arası diferansiyel gerilimi, 2.5 V orta seviyenin üzerinde ve altında salınmasını sağlamaktadır. Sismometrenin frekans yanıtı düz bir çizgi olmasa da, orta frekans bölgesinde, (20 sn lik bir sismometre için, $5 \cdot 10^{-2}$ Hz ile 100 Hz arası) frekans yanıtında düz bir çizgi (flat) oluşturduğundan, gelen sinyali sayısallaştırdıktan sonra bu bölge için elde ettiğimiz count değerlerini yeniden hız değerlerine dönüştürebiliriz (Şekil 6.3).

Count değerlerini hıza çevirmek için;

$$HIZ = Count \times VPC / G \quad (6.1))$$



Şekil 6.3: 20 sn' lik CMG-V40 sismometresinin frekans yanıt grafiği

formülü kullanılmalıdır. G değeri bize Ek 2 ve Ek 3 de verilmiş olup, V4034 için bu değer 1650 V/m/sn dir. Burada VPC; sayısallaştırıcının count başına düşen gerilimini göstermektedir. Kullandığımız devre için bu değer; $VPC=5V/1024 \text{ count} = 4.9 \cdot 10^{-3} \text{ V/count}$ dur. Fakat sayısallaştırıcı devremiz farksal (diferensiyel) çalıştığından, 512 count etrafında salınmaktadır. Yani; giriş gerilimi +2.5 V olduğunda, bu değer 1024 e, 0 V olduğunda ise, 512'e denk gelmektedir. Devredeki 2.5 V'luk ofset, kullanılan programla kaldırıldığında, elde edilen count değerlerinin 2 ile çarpılması gerekmektedir. Örnek olarak girişe 5 V uygulandığında bilgisayarda bu değer ofset giderildiğinde count olarak 512'ye denk gelmekte ve bunu 2 ile çarparak 1024 olması sağlanmaktadır. Sonuçta bu değerleri formülde yerine konulduğunda,

V4034 için;

$$HIZ = \frac{2 \times \text{Count} \times 4.9 \cdot 10^{-3}}{1650} = 5.9186 \cdot 10^{-6} \times \text{count} \quad (\text{m/s/count})$$

V4036 için;

$$HIZ = \frac{2 \times \text{Count} \times 4.9 \cdot 10^{-3}}{1710} = 5.7310 \cdot 10^{-6} \times \text{count} \quad (\text{m/s/count})$$

olur.

Formülden de görüldüğü gibi gelen count değerlerini $5.9186 \cdot 10^{-6}$ ile çarptığımızda elde ettiğimiz değerler gelen sinyalin m/s biriminden hızı olacaktır.

6.5. Veri Okuma, Kaydetme ve Çizdirme Programları

Analog sensordan gelen veriler sayısallaştırıcıdan geçerek kullanılan bilgisayara birkaç değişik program yardımı ile alınmış ve çizilmiştir. Bunlardan birincisi, sadece Matlab kullanılarak yazılan bir program olmakla beraber, ikinci ise hem Matlab, hem de C # kullanılmıştır. C # veriyi bilgisayara almakta, Matlab ise bu veriyi gerçek zamanlı olarak ekrana çizdirmekte kullanılmıştır.

6.5.1. Matlab programı

```
i=1;k=0;
while (i==1)
    dio = digitalio('parallel','LPT1');
% -----Datapinleri input konumuna getiriliyor-----
    rt=addline(dio,0:7,'in');
% -----Paralel portun 16 nolu pini out konumuna getiriliyor-----
% -----Bu pine ait index kodu 15 dir. Bakınız MatLab Help-----
    rt1=addline(dio,15,'out');
    data = 1;
%-----PIC e 1 gönderilerek 10 bitin en anlamlı 2 biti okunuyor---
    putvalue(rt1,data);
    portval = getvalue(rt);
%-----Bu en anlamlı bitler, datamızın 8 ve 9. biti olduğundan ---
%-----Dönüşüm yaptırılıyor -----
    out1 = binvec2dec(portval)*256;
    data=0;
%-----PIC e 0 gönderilerek 10 bitin kalan 8 biti okunuyor---
    putvalue(rt1,data);
    portval = getvalue(rt);
    out2 = binvec2dec(portval);
%-----10 bitlik data oluşturuluyor-----
    out=out1+out2;
    k=k+1;
%-----Bir diziye toplanıyor-----
    son(k)=out;
```

```

%-----Çizimler yapılıyor-----
subplot(311),plot(son);hold off
ylabel('count');
title('Z Channel V4034 Seismometer','FontSize',12,'FontWeight','bold')
xlim([k-1000 k]);
drawnow;
noofset=son-511;
subplot(312),plot(noofset);hold off
ylabel('remove ofset count');
xlim([k-1000 k]);
drawnow;
hiz=noofset*5.9186e-6;
subplot(313),plot(hiz);hold off
ylabel('Velocity m/s');
xlim([k-1000 k]);
drawnow;
%-----Her 1000 data için yeni bir dosya açılıyor-----
if (k==1000)
    c=clock;
[filesave] = ['hamveri_' num2str(c(1)) '_' num2str(c(2)) '_' num2str(c(3)) '_' num2str(c(4)) '_' num2str(c(5))
'.txt'];
        fid=fopen(filesave,'w');
        fprintf(fid,'%u\n',son);
[filesave1] = ['hiz_' num2str(c(1)) '_' num2str(c(2)) '_' num2str(c(3)) '_' num2str(c(4)) '_' num2str(c(5)) '.txt'];
        fidd=fopen(filesave1,'w');
        fprintf(fidd,'%10.5f\n',hiz);
        k=0;
        fclose (fid)
        fclose (fidd)
        clear son;
        clear noofset;
        clear hiz;
    end
end

```

6.5.2. C # ve Matlab programı

Programın ilk kullanımında; Matlab programı, C# programından önce başlatılmamalıdır. Önce C# programı çalıştırılmalıdır ki, verilerin yazılacağı data dosyası oluşabilsin bu dosya oluşmadan Matlab programı kullanılırsa Matlab hata ile karşılaşacaktır.

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using System.Runtime.InteropServices;
using System.Windows.Forms;
using System.Drawing;
using System.IO;

namespace port2
{
    class port : Form

```

```

{
    Timer t1;
    TextBox text1, text2;
    Button b1, b2;
    StreamWriter wr = new StreamWriter(Application.StartupPath + @"\deneme.txt");
    int baslangic, bitis;
    int deger,deger1,deger2,deger3,deger4;
    [DllImport("inpout32.dll")]
    static extern int Inp32(int adres);

    [DllImport("inpout32.dll")]
    static extern int Out32(int adres, int data);

    static void Main()
    {
        Application.Run(new port());
    }

    public port()
    {
        bilesen_hazirla();
    }
    void bilesen_hazirla()
    {
        t1 = new Timer();
        text1 = new TextBox();
        text2 = new TextBox();
        text2.Location = new Point(120, 20);
        text1.Location = new Point(20, 20);
        b1 = new Button();
        b2 = new Button();
        b1.Size = new Size(60, 20);
        b2.Size = new Size(60, 20);
        b1.Location = new Point(20, 50);
        b2.Location = new Point(20, 80);
        b1.Text = "Start";
        b2.Text = "Durdur";
        this.Size = new Size(250, 250);
        this.Text = "Port";

        this.FormBorderStyle = FormBorderStyle.FixedToolWindow;
        this.Controls.Add(text1);
        this.Controls.Add(b1);
        this.Controls.Add(b2);
        this.Controls.Add(text2);

        this.Load += new EventHandler(port_Load);
        t1.Tick += new EventHandler(t1_Tick);
        b1.Click += new EventHandler(b1_Click);
        b2.Click += new EventHandler(b2_Click);
    }

    private void port_Load(object sender, EventArgs e)
    {
        t1.Interval = 1;
    }
    private void t1_Tick(object sender, EventArgs e)

```

```

{

    //En anlamlı 2 bit isteniyor....
    //Bunun için 16 nolu bacak 36 Decimal sayısı gönderilerek 1 yapıldı
    Out32(0x37A, 36);
    //High veri geliyor....
    for (int i = 0; i < 1000; i++) { }; //Bekleme
    deger = Inp32(0x378);
    deger1 = deger * 256;           //Veri Dönüşümü Yapılıyor
    //Kalan 8 bit isteniyor veri geliyor
    //Bunun için 16 nolu bacak 32 Decimal sayısı gönderilerek 0 yapıldı
    Out32(0x37A, 32);
    for (int i = 0; i < 1000; i++) { }; //Bekleme
    deger2 = Inp32(0x378);
    deger4=deger1+deger2;
    text1.Text = Convert.ToString(deger4); //Veri Text1' e yazılıyor
    text2.Text = Convert.ToString(deger); //En anlamlı 2 bit Text 2 ye yazılıyor
    wr.WriteLine(deger4);           //Sonuç verisi dosyaya yazdırılıyor
    wr.AutoFlush = true;
}
private void b1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    // baslangic = DateTime.Now.Second;
    t1.Start();
}
private void b2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    // bitis = DateTime.Now.Second;
    //text2.Text = Convert.ToString(bitis - baslangic);
    t1.Stop();
    //wr.Close();
    text1.Text = string.Empty;
}
}
}
}

```

Matlab Programı

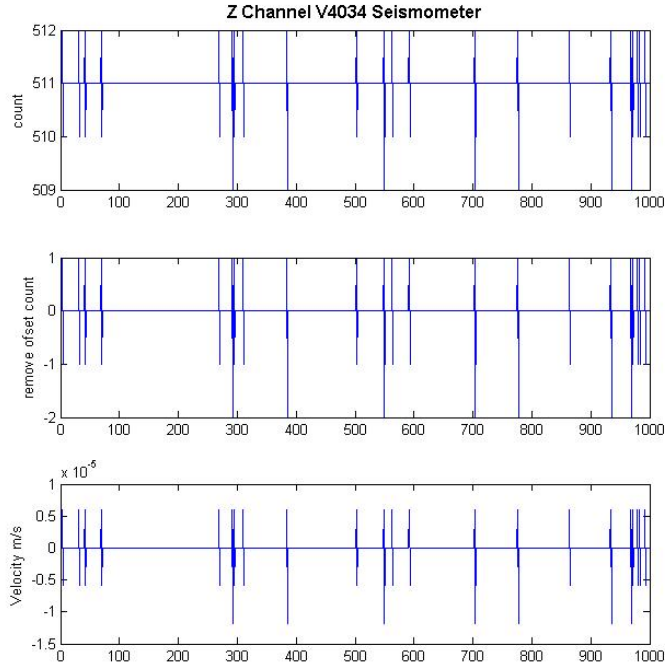
```

i=1;
while(i==1)
    a=load ('deneme.txt'); %Dosya yükleniyor....
    uz=length(a);
    c=a-(mean(a));       %DC ofset gideriliyor
subplot(211),plot (c);hold off
xlim([uz-1300 uz])
drawnow
subplot(212),plot (a);hold off
xlim([uz-1300 uz])
drawnow
end

```

6.6. Sayısallaştırıcının Gürültü Seviyesi

Devrenin gürültüsünü gözlemlemek için giriş uçları çıkartılarak devrenin boştaki durumu kaydedildi ve çizdirildi (Şekil 6.4).

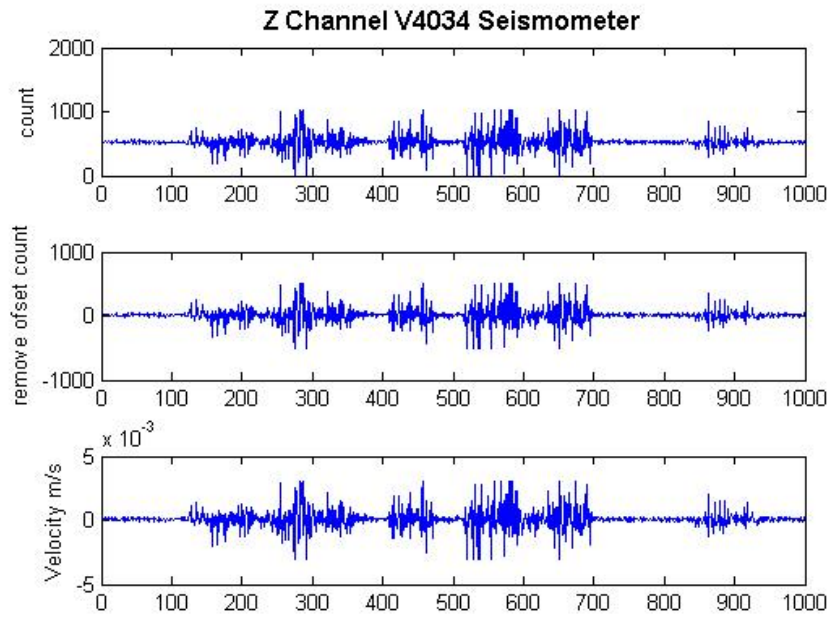


Şekil 6.4: Sayısallaştırıcının giriş uçları boştayken, gürültü seviyesi

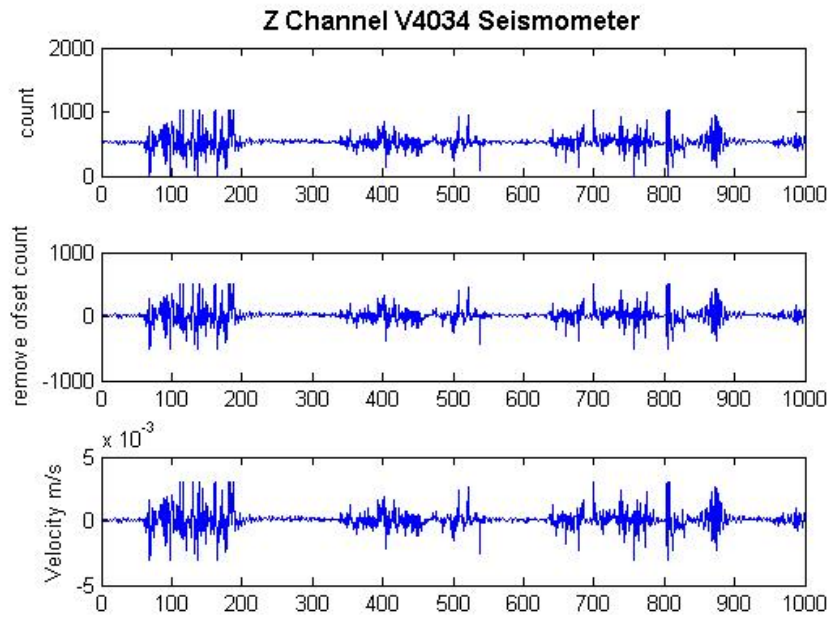
Şekil 6.4.'den de görüldüğü gibi devrenin boştaki gürültü düzeyi ± 1 bitten ibarettir. Bu gürültüyü hem donanım hem de yazılımla, en anlamsız biti ihmal etmek mümkündür.

6.7. Sayısallaştırılmış Veri Sonuçları

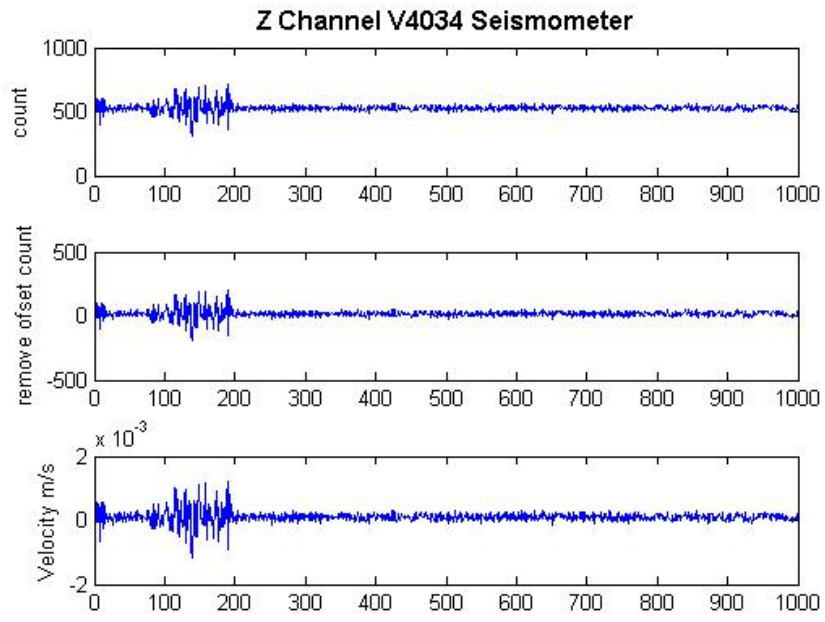
Programaya ait örnek çıktılar Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7 de verilmiştir.



Şekil 6.5: Program çıktısı



Şekil 6.6: Program çıktısı



Şekil 6.7: Program çıktısı

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada diğer deprem sayısallaştırıcı cihazlarda yaygın olarak kullanılan Analog/Sayısal (A/D Converter) dönüştürücü yerine PIC kullanılmasının sebebi, bu entegrelerin programlanabilir olmasının yanı sıra, maliyetinin düşük olması ve birçok kişi tarafından rahatlıkla kullanılabilir olmasıdır.

PIC'in analog/sayısal çıkışının 2 farklı porta (A-B) yazıldığı düşünülduğünde, bu çıkışların 10 bit olarak kullanılabilmesi için mutlaka bilgisayar tarafından PIC'e bir kontrol verisi yollanmalıdır. Paralel portun 16 numaralı C2 pini bu amaçla PIC'e verilmiştir. Bu pin 1 yapılarak PIC den en anlamlı 2 bit, 0 yapılarak da kalan 8 bit alınmaktadır. Eğer böyle bir kontrol yapılmayacak olursa; bu durumda PIC'in ürettiği 10 bitlik değer in en anlamlı 2 biti okunurken, veri hızlı bir şekilde değişeceğinden sonra gelen 8 bit o anki dönüşen veriye ait olmayacağından ve bir sonraki gelen analog veriye ait olacağından doğru bir sonuç elde edilmeyecektir. Bundan dolayı aradaki haberleşmenin kontrolü mutlaka bilgisayar tarafından yapılmalıdır.

Tasarlanan bu devrede gürültü seviyesi, çeşitli denemeler ve devre planlaması sonucu ± 1 bite düşürülmüştür. İstendiği takdirde bu bit, donanımsal ya da yazılımsal olarak 0 yapılarak bu bit ihmal edilebilir.

Geleneksel deprem istasyonlarında kayıt sırasında yaşanan en büyük problem genellikle şehir şebekesinden ileri gelen gürültüdür. Deprem kayıtlarının temiz yani gürültüsüz olması için kullanılan sistemlerin şehir şebekesinden gürültü almaması ve topraklamanın iyi yapılması gerekmektedir. Sismik sinyallerin 0.001 Hz ile 100 Hz arasında olması sonucu, bu sinyallerin dönüştürülmesi için tasarlanılacak devrenin 220V – 50 Hz den etkilenmemesi için mutlaka devrede DC/DC dönüştürücülerin kullanılması gerekmektedir. DC/DC dönüştürücüler kullanılmadığı takdirde, çıkış sinyalinde şebekeye ait gürültüyü görmek mümkün olacaktır, ki bu da çıkış sinyallerini bozacak niteliktedir.

İleride bu çalışmayı genişletmek için yapılması gerekenler; analog/sayısal dönüştürme işleminin hızlandırılması ve çözünürlüğün artırılması, örnek sayısının artırılarak yakın ve küçük depremlere ait daha çok bilgiye sahip olunması ve özellikle DSP (Digital Signal Process) işlemcilerinin kullanılarak farklı örnekleme aralıklarında (20 ile 1000 örnek/saniye) veri alınmasının sağlanmasıyla, sayısallaştırıcının hem uzak hem de yakın depremleri rahatlıkla algılayabilecek duruma -tıpkı broad-band deprem kayıtçılarında olduğu gibi- getirilmesidir. Özellikle artçı deprem kayıtları gibi gerçek zamanlı uygulamalar dışında bu sayısallaştırıcıyı tetiklemeli (trigger) kullanmak için mutlaka DSP gibi bir işlemcinin sayısallaştırıcının tasarımına ilave edilmesi gerekmektedir. Yakın gelecekte bu değişikliklerle ve kullanıcılardan gelen istekler doğrultusunda sistemin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Beutler, G., Astronomical Institute of University of Bern, Lecture, Leica, Heerbrugg, (2000).
2. Buckner, I. W., Design of a Horizontal Component Feedback Seismometer, PhD Thesis, University of Reading, (1975).
3. Bormann, P., IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice, GFZ Potsdam, Vol. 1, 46 pp, (2002).
4. Güralp, C. M., The Design of a Three-component Borehole Seismometer, PhD Thesis, University of Reading, (1980).
5. Pavlis, G. L. & Vernon, F. L., Calibration of seismometers using ground noise, Bull. Seism. Soc. Am., 84(4), 1243 – 1255, (1994).
6. Plesinger, A., Smeskal, M. & Zednik, J., Automated preprocessing of digital seismograms: Principles and software. Prague and Golden, (1996).
7. Rodgers, P. W., Maximizing the signal-to-noise ratio of the electromagnetic seismometer: the optimum coil resistance, amplifier characteristics, and circuit, Bull. Seism. Soc. Am., 83(2), 561-582, (1993).
8. Rodgers, P. W., Martin, A. M., Robertson, M. C., Hsu, M. M. & Harris, D. B., Signal-coil calibration of electromagnetic seismometers, Bull. Seism. Soc. Am., 85(3), 845-850, (1995).
9. Scherbaum, F., Of Poles and Zeros, Fundamentals of Digital Seismology. Kluwer Academic Press, (1996).
10. Usher, M. J., Güralp, C. M. and Burch, R. F., 'The Design of Miniature Wideband Seismometers', Geophys. J.R. astr. Soc, (1978).
11. Willmore, P.L., The Application of the Maxwell Impedance Bridge to the Calibration of Elektromagnetic Seismografy Bull. Seim. Sac. A, Vol.49, 99-114, (1959).

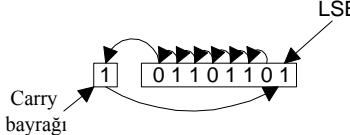
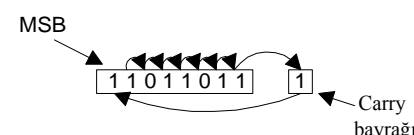
EK:1

14 Bit PIC16xxxx Komutları

Komut kalıbı	Açık yazımı	Türkçe Anlamı	Süre, Cycle	işlem	Etkilenen Status bit.
BYTE- YÖNLENDİRMELİ DOSYA İŞLEMLERİ					
ADDWF f, d	Add W and f	W ile f'i topla	1	W+f→hedef	C,DC,Z
ANDWF f, d	AND W with f	W ile f'i VE işlemine tabi tut.	1	W.AND.f→hdf.	Z
CLRF f	Clear f	f'i sıfırla.	1	0→f, 1→Z	Z
CLRWF	Clear W	W'yi sıfırla.	1	0→W, 1→Z	Z
COMF f, d	Complement f	f'in tersini al.	1	.NOT.f→hedef	Z
DECF f, d	Decrement f	f'teki sayıyı bir azalt.	1	f-1→hedef	Z
DECFSZ f, d	Decrement f, Skip if 0	f'teki sayıyı bir azalt, sonuç 0'sa altındaki komutu atla.	1(2)	f-1→hedef, 0 ise atla	
INCF f, d	Increment f	f'teki sayıyı bir arttır.	1	f+1→hedef	Z
INCFSZ f, d	Increment f, Skip if 0	f'teki sayıyı bir arttırır, sonuç 0'sa altındaki komutu atla.	1(2)	f+1→hedef, 0 ise atla	
IORWF f, d	Inclusive OR W with f	W ile f'i VEYA işlemine tabi tut.	1	W.OR.f→hedef	Z
MOVF f, d	Move f	f'teki sayıyı hedefe taşı.	1	f→hedef	Z
MOVWF f	Move W to f	W'deki sayıyı f'te hedefe taşı.	1	W→f	
NOP	No Operation	Bir periyod boyunca hiçbir şey yapma.	1		
RLF f, d	Rotate Left f through Carry	f'teki 8 biti başa Status,0 bitini ekleyerek sola kaydır, dokuzuncu bitteki değeri sıfırıncı bite ata.	1		C
RRF f, d	Rotate Right f through Carry	f'teki 8 biti başa Status,0 bitini ekleyerek sağa kaydır, dokuzuncu bitteki değeri sıfırıncı bite ata.	1		C
SUBWF f, d	Subtract W from f	W'deki sayıyı f'teki sayıdan çıkart.	1	f-W→hedef	C,DC,Z
SWAPF f, d	Swap nibbles in f	İlk dört bite son dört bitin yerlerini değiştir.	1	f(0:3)→f(4:7)→hdf	
XORWF f, d	Exclusive OR W with f	W ile f'i XOR işlemine tabi tut.	1	W.OR.f→hedef	Z
BİT-YÖNLENDİRMELİ DOSYA İŞLEMLERİ					
BCF f, b	Bit Clear f	f'teki bir biti sıfırla.	1	0→f(b)	
BSF f, b	Bit Set f	f'teki bir biti set et.	1	1→f(b)	
BTFSZ f, b	Bit Test f, Skip if Clear	f'teki sayı 0'sa altındaki komutu atla	1 (2)	f(b)=0 ise atla	
BTFSZ f, b	Bit Test f, Skip if Set	f'teki sayı 1'se altındaki komutu atla.	1 (2)	f(b)=1 ise atla	
SABİT DEĞER VE KONTROL İŞLEMLERİ					
ADDLW k	Add literal and W	Verilen sabit sayıyı W'deki sayıya ekle.	1	W+k →W	C,DC,Z
ANDLW k	AND literal with W	Verilen sabit sayıyla W'deki sayıyı VE işl. tabi tut	1	k.AND.W→hdf.	Z
CALL k	Call subroutine	Alt programı programın içine çağır (enjekte et)	2	PC+1→TOS k→PC	
CLRWDT	Clear Watchdog Timer	WDT'deki değeri sıfırla.	1	0→WDT (ve prescaler)	TO,PD
GOTO k	Go to address	Programda istenilen yere atla.	2	k→PC (9bit)	
IORLW k	Inclusive OR literal with W	Verilen sabit sayıyla W'deki sayıyı VEYA işlemine tabi tut.	1	k.OR.W→W	Z
MOVLW k	Move literal to W	Verilen sabit sayıyı W'nin içine ata.	1	k→W	
RETFIE	Return from interrupt	Kesme sonunda yapılan işlemden normal programa dön.	2	TOS→PC, 1→GIE	
RETLW k	Return with literal in W	Tablolama sırasında sayı değerini W'ye ata	2	k→W, TOS→PC	
RETURN	Return from Subroutine	Call'la çağırılan alt programın sonu.	2	TOS→PC	
SLEEP	Go into Standby mode	Uykud moduna geç.	1	0→WDT, osilatörü durdur	TO,PD
SUBLW k	Subtract W from literal	W'deki sayıyı verilen sabit sayıdan çıkart.	1	k-W→W	C,DC,Z
XORLW k	Exclusive OR literal with W	Verilen sabit sayıyla W'deki sayıyı ÖZELVEYA işlemine tabi tut	1	k.XOR.W→W	Z

PIC ASSEMBLY KOMUTLARININ AÇIKLAMALARI

		Taşıma ve yükleme komutları	
MOVLW	k	(Move literal to W) k sabit sayısını W registerine (akümülatöre) yükle. k→(W)	
İşlem			
Örnek		MOVLW 0x5C, komutu çalıştıktan sonra W=0x5C olur.	
MOVF	f,d	(Move f) f registerinin içeriğini hedef alana taşı. (f)→ (hedef) d=0 için hedef = W d=1 için hedef = f adresi 0 ≤ f ≤ 127	
İşlem			
Örnek		MOVF FSR,0, komut çalıştıktan sonra W=FSR registerindeki değer.	
		Register içeriğini değiştirme komutları	
CLRF	f	(Clear f) f registerinin içeriğini sil (sıfırla) 00h→f 0 ≤ f ≤ 127 1→Z	
İşlem			
Örnek		CLRF TRISA, komutu çalıştıktan sonra , TRIS A←00000000 olur. CLRF FLAG_REG komuttan önce FLAG_REG =0x5A komuttan sonra FLAG_REG =0x00 Z=1	
CLRW		(Clear W) W registerinin içeriğini sil. (sıfırla) 00h →(W) 1→Z	
İşlem			
Örnek		CLRW komuttan önce W=0x4B komuttan sonra W=0x00 Z=1	
COMF	f,d	(Complement f) F registerinin içindeki sayı tersle. Yani tüm 1'ler 0, 0'lar 1 olur. Sonucu W registerine veya f registerine yükle. (f)' → (hedef) d=0 için hedef = W d=1 için hedef = f registeri (kendi üzerinde işlem yapılır.)	
İşlem			
Örnek		COMF SAY,0 SAY=00110110 ise, d=0 W←11001001 d=1 olsaydı, SAY←11001001 COMF REG1,0 komuttan önce REG1=0x13 komuttan sonra REG1=0x13 W=0xEC olur.	
DECF	f,d	(Decrement f) F registerinin içeriğindeki sayıyı "1" eksilt. Registerin içeriği h'00' ise "1" eksiltildiğinde h'FF" olur. Sonuç W veya f registerine yazılır. (f)-1→ (hedef) 0 ≤ f ≤ 127	
İşlem			
Örnek		DECF SAY,1 SAY=h'2C' ise 2C-1=2B d=1 SAY←2B d=0 olsaydı, W←2B DECF CNT, 1 komuttan önce CNT=0x01 Z=0 Komuttan sonra REG1=0x00 Z=1	
INCF	f,d	(Increment f) F registerinin içeriğindeki sayıyı "1" artır. Registerin içeriği h'FF" ise "1"artırıldığında h'00" olur. Sonuç W veya f registerine yazılır (f)+1→ (hedef) 0 ≤ f ≤ 127 d=0 ise, hedef (W) d=1 ise, hedef (f)	
İşlem			
Örnek		INCF SAY,0 SAY=h'2C' ise 2C+1=2D d=0 W←2D d=1 olsaydı, SAY← 2D INCF CNT,1 komuttan önce CNT=0xFF Z=0 Komuttan sonra REG1=0x00 Z=1	
BCF	f,b	(Bit clear f) F registerinin içeriğindeki sayının b.ninci bitini sıfırla. 0→ f 0 ≤ f ≤ 127 0 ≤ b ≤ 7	
İşlem			
Örnek		BCF PORT B,5 komuttan önce PORT B=b'11111111' ise, komuttan sonra PORT B←'11011111' BCF FLAG_REG,7 komuttan önce FLAG_REG=0xC7 =11000111 komuttan sonra FLAG_REG=0x47 =01000111	
BSF	f,b	(Bit Set f) F registerinin içeriğindeki sayının b.ninci bitini bir yap. 1→ f 0 ≤ f ≤ 127 0 ≤ b ≤ 7	
İşlem			
Örnek		BSF PORT A,3 PORT A=b'00000000' ise, PORT A←b'00001000' BSF FLAG_REG,7 komuttan önce FLAG_REG=0xA= 00001010 Komuttan sonra FLAG_REG=0x8A=10001010	
RLF	f,d	(Rotate left f) F registeri içerisindeki sayıyı bir pozisyon sola kaydır. Registerden taşarak carry bayrağına yazılan bit, LSB'ye yazılır. Sonuç W veya f registerine yazılır.	

İşlem	$f \langle n \rangle \rightarrow d \langle n+1 \rangle$, $f \langle 7 \rangle \rightarrow c$, $c \rightarrow d \langle 0 \rangle$	$0 \leq f \leq 127$ $d=0$ ise sonuç W'ye $d=1$ ise sonuç f'ye yazılır.	
Örnek			RLF Kay,0 KAY=b'10110110' ise, d=0 olduğundan W←01101101
			
		d=1 olsaydı, KAY←01101101	
RRF f,d	(Rotate Right f) F registeri içerisindeki sayıyı bir pozisyon sağa kaydır. Registerden taşarak carry bayrağına yazılan bit, MSB'ye yazılır. Sonuç W veya f registerine yazılır.	$f \langle n \rangle \rightarrow d \langle n-1 \rangle$, $f \langle 0 \rangle \rightarrow c$, $c \rightarrow d \langle 7 \rangle$	
İşlem		$d=0$ ise sonuç W'ye $d=1$ ise sonuç f'ye yazılır	
Örnek			RRF Kay,1 KAY=b'10110111' ise, d=1
			
		olduğundan, KAY←11011011 d=0 olsaydı, W←11011011	
SWAPF f,d	(Swap nibbles in f) F registeri içindeki ilk dört biti ile son dört biti yer değiştir. Sonuç W veya f registerine yüklenir.	$f \langle 0:3 \rangle \rightarrow d \langle 4:7 \rangle$ $d \langle 0:3 \rangle \rightarrow f \langle 4:7 \rangle$	
İşlem			
Örnek	SWAPF DEG.1	DEG=b'00101111' ise, d=1 olduğundan DEG←11110010 d=0 olsaydı, W←11110010	
	SWAPF REG.0	komuttan önce REG=0xA5 komuttan sonra REG=0xA5 W=0x5A	
GOTO k	(Go to adress) Program akışı k adresine şartsız dallanır.	$k \rightarrow PC \langle 10:0 \rangle$ $0 \leq k \leq 2048$	
İşlem		(PCLATCH<4:3>) \rightarrow PC<12:11> 11 bitlik k değeri PC (program sayacı)'nın <10:0> bitlerine yüklenir. PC'nin 12 ve 11 bitleri PCLATCH'in 4. ve 3. bitlerinden yüklenir. Bu komut iki cycle (periyod) sürmektedir.	
Örnek	GOTO DONGU	Program DONGU etiketinin yazıldığı yere dallanır ve buradan itibaren devam eder.	
	GOTO YER	komuttan sonra PC=YER'in adresi.	
CALL k	(Call subroutine) Program akışı k etiketinin bulunduğu yerdeki alt programa dallanır.	$(PC) + 1 \rightarrow TOS$ $0 \leq k \leq 2048$	
İşlem		$k \rightarrow PC \langle 10:0 \rangle$ PCLATCH<4:3> \rightarrow PC<12:11> önce dönüş adresi yığına basılır. 11 bitlik k değeri PC (program sayacı)'nın <10:0> bitlerine yüklenir. PC'nin 12 ve 11 bitleri PCLATCH'in 4. ve 3. bitlerinden yüklenir. Bu komut iki cycle (periyod) sürmektedir	
Örnek	CALL TIMER,	komuttan sonra program TIMER etiketinin yazıldığı alt program satırlarının başlangıcına dallanır ve buradan itibaren devam eder.	
	BURA CALL ORAYA	komuttan önce PC=BURA'nın adresi komuttan sonra PC=ORAYA'nın adresi, TOS= BURA' nın adresi	
RETURN	(Return from subroutine) Alt program komutlarının en sonuna yazılan bu komut , program akışını ana programa geri döndürür	$TOS \rightarrow PC$ TOS (top of the stack= yığınin en üstü) çekilerek PC'ye yüklenir. Bu komut işlemesi 2 cycle sürer.	
İşlem		RETURN komuttan sonra PC=TOS	
Örnek			
RETFIE	(Return from interrupt) İnterrupt alt programından ana programa dön.	$TOS \rightarrow PC$ GIE biti (global interrupt enable)(INTCON<7>) bir yapılarak kesmeye müsaade verilir. Bu komut iki cycle sürer. $1 \rightarrow GIE$	
İşlem		RETFIE komuttan sonra PC =TOS, GIE=1	
Örnek			
RETLW k	(Return With literal in W) Program akışını alt programdan ana programa döndür ve W registerine k sabitini yükle.	$K \rightarrow W; TOS \rightarrow PC$ $0 \leq k \leq 255$ 8 bitlik k değeri W registerine yüklenir.dönüş adresi (PC) program sayacına yüklenir.bu komutun işlemesi iki cycle sürer.	
İşlem			

Örnek

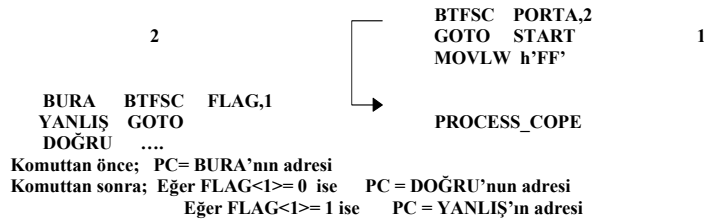
```
RETLW h'2F' Alt program ana programa dön ve W'ye 2F'i yükle.
CALL TABLO;W'de tablonun başlangıç değeri bulunur.
.....;
.....;
.....;
TABLO ADDWF PC,1;W=offset
RETLW k1 ;tablo başlangıcı
RETLW k2;
..
RETLW k7;tablo sonu
Komuttan önce W=0x07
Komuttan sonra W=k7'nin değeri
```

BTFSZ f,b
İşlem

(Bit test f, skip if clear) F registerinin b.ninci bitini test et. Eğer bu bit "0"sa p bir sonraki komutu atla. Eğer (f)= 0 ise atla $0 \leq f \leq 127$ $0 \leq b \leq 7$
Eğer f'in b.inci biti 0'sa normalde işlenecek sıradaki komut devre dışı bırakılır. Atlama komutu yerine bir NOP komutu çalıştırılır. Bu durumda bu komut iki cycle sürer.

Örnek

```
BTFSZ PORTA,2 PORTA=b'00000100'ise,->1
PORTA=b'00000000'ise,->2
```

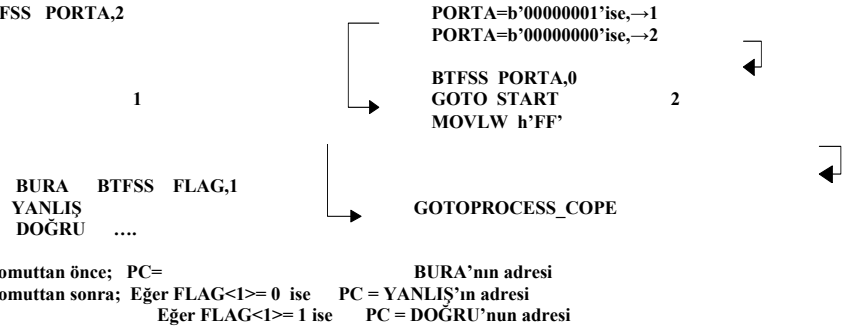


BTFSZ f,d
İşlem

(Bit test f, skip if set) f registerinin b.ninci bitini test et. Eğer bu bit "1"se bir sonraki komutu atla. Eğer (f)= 1 ise atla $0 \leq f \leq 127$ $0 \leq b \leq 7$
F'in b.inci biti 1' ise hem işlenmesi gereken komut atlanarak 1 NOP komutu (işlem yok) işlenir. Bu durumda bu komut iki çevrim sürer.

Örnek

```
BTFSZ PORTA,2
```



DECFSZ f,d

İşlem

(Decrement f, skip if zero) f registerinin içeriğini bir azalt. Register içeriği sıfırda bir sonraki komuta atla. Sonucu W veya f registerine yükle.

(f)-1 → (hedef); eğer sonuç sıfırda atla
d = 0 ise hedef = W akümülatör
d = 1 ise hedef = f registeri

Örnek

Eğer sonuç sıfır olursa bir sonra işlenecek olan komut atlanır. Bir NOP işlemi yapılır. Bu durumda bu komut iki cycle sürer.

```
DECFSZ SAY,1 SAY = h'1A' ise 1A-1=19  
d = 0 olsaydı W ← h'19'  
d = 1 olduğundan SAY ← h'19'
```

```
BURA DECFSZ SAY,1  
GOTO DONGU  
DEVAM .....
```

Komuttan önce; PC= BURA'nın adresi,
Komuttan sonra; SAY=SAY -1
Eğer SAY = 0 ise PC = DEVAM'ın adresi
Eğer SAY ≠ 0 ise PC = BURA+1'in adresi

INCFSZ f,d

İşlem

(Increment f, skip if zero) f registerinin içeriğini "1" artır. Register içeriği "0"sa bir sonraki komutu atla. Sonuç W veya f registerine yüklenir.

(f) + 1 → (hedef), sonuç 0'sa atla
d = 0 ise hedef = W akümülatör
d = 1 ise hedef = f registeri

Örnek Eğer sonuç sıfır olursa bir sonra işlenecek olan komut atlanır. Bir NOP işlemi yapılır. Bu durumda bu komut iki cycle sürer.
 INCFSZ SAY,1 SAY=h'1A' ise 1A+1=1B
 d = 1 olduğundan SAY←h'1B'
 d = 0 olsaydı W←h'1B'
 BURA DECFSZ SAY,1
 GOTO DONGU
 DEVAM
 Komuttan önce; PC= BURA'nın adresi,
 Komuttan sonra; SAY =SAY +1
 Eğer SAY = 0 ise PC = DEVAM'ın adresi
 Eğer SAY ≠ 0 ise PC = BURA+1'in adresi

Mikro denetleyici kontrol komutları

CLRWDT (Clear Watchdog timer) Watchdog timer'ı sıfırlar. Ayrıca Watchdog timer'in prescaler değerinde sıfırlar. Status bitlerinden TO' ve PD' yi "1" yapar.
 İşlem 00h → WDT
 0 → WDT prescaler
 1 → TO'
 1 → PD'
 Örnek CLRWDT komuttan önce WDT counter = ?
 komuttan sonra WDT counter = 0x00
 TO' = 0
 PD' = 0

SLEEP (Go into standby mode) Mikrodenetleyiciyi uyuma moduna geçirerek güç harcamasını azaltır. Mikrodenetleyici uyuma modundan reset, Watchdog timer ve TOCKI girişi vasıtasıyla çıkar.
 İşlem 00h → WDT
 0 → WDT prescaler
 1 → TO'
 0 → PD'
 osilatör durdurulup uyumaya geçirilir.
 (PD)' power down status biti sıfırlanır.
 (TO)' time-out status biti birleşir.

Mantıksal komutlar

ANDLW k (AND literal with W) W registerin içeriği ile 8 bitlik k sabitine AND işlemini uygula. Sonuç W registerine yazılır.
 İşlem (W) AND (k) → W 0 ≤ k ≤ 255 Z biti etkilenir.
 Örnek ANDLW B'00110001'
 W=b'10011101' ise
 b'00110001' sabitin değeri
 b'00010001' AND işlemi sonucu
 W← b'00010001'
 ANDLW 0x5F
 Komuttan önce W = 0xA3
 Komuttan sonra W =0x03

ANDWF f,d (AND W with f) W registeri ile f register içeriğine AND işlemini uygula.
 İşlem (W) AND (f) → hedef 0 ≤ f ≤ 127
 d=0 ise hedef = W akümülatörü
 d=1 ise hedef = f registeri
 Örnek ANDWF TEST,1
 W=b'11111111'ise,
 TEST=b'11011110' ise,
 b'11011110' AND işlemi sonucu
 d=0 ise W←b'1011110' d=1 olduğundan TEST←b'11011110'

ANDWF FSR,1
 Komuttan önce W = 0x17 , FSR = 0xC2
 Komuttan sonra W = 0x17 , FSR = 0x02

IORLW k (Inclusive OR literal with W) W register içeriği ile 8 bitlik k sabitine OR işlemini uygula. Sonuç W registerine yazılır.
 İşlem (W) OR (k) →(W) 0 ≤ k ≤ 255 (8 bit) Z biti etkilenir.
 Örnek IORLW b'00101000' W=b'10000100' ise,
 b'00101000' sabitin değeri
 b'10101100' OR sonucu
 W←b'10101100'
 IORLW 0x35
 Komuttan önce W = 0x9A
 Komuttan sonra W = 0xBF

IORWF f,d (Inclusive OR W with f) W register içeriği ile f register içeriğine OR işlemi uygular. Sonuç W veya f registerine yazılır.
 İşlem (W) OR (f) →(hedef) 0 ≤ k ≤ 127 Z biti etkilenir.
 d = 0 ise hedef = W akümülatörü
 d = 1 ise hedef = f registeri
 Örnek IORWF SAY,1 W =b'10000100' ise,
 SAY =b'00101000' ise,

b'10101100' OR sonucu

d=0 ise W←b'10101100'
d=1 olduğundan SAY←b'10101100'

IORWF SAY,0
Komuttan önce SAY= 0x13
W=0x91
Komuttan sonra SAY= 0x13
W=0x93

XORLW k
İşlem
Örnek

(Exclusive OR literal with W) W registerin içeriği ile 8 bitlik k sabitine XOR işlemi uygula. Sonuç W registerine yazılır.

(W) XOR (k) →(W) 0 ≤ k ≤ 255 Z biti etkilenir.
XORLW b'00101100' W=b'11111111' ise,
b'00101100 sabitin değeri
b'11010011' XOR sonucu
W← b'11010011'

XORLW 0xAF
Komuttan önce W = 0xB5
Komuttan sonra W = 0x1A

XORWF f,d
İşlem
Örnek

(Exclusive OR W with f) W register ile f register içeriğine XOR işlemi uygular. Sonuç W veya f registerine yazılır
(W) XOR (f) →(hedef) 0 ≤ k ≤ 127 Z biti etkilenir.

d = 0 ise hedef = W akümülatör
d = 1 ise hedef = f registeri
XORWF SAY,1
W =b'00100000' ise,
SAY =b'00101100' ise,
b'00001100' XOR sonucu
d=0 ise W← b'00001100'
d=1 olduğundan SAY← b'00001100'

XORWF REG,1
Komuttan önce REG = 0xAF
W = 0xB5
Komuttan sonra REG = 0x1A
W = 0xB5

Aritmetik işlem komutları

ADDWF f,d
İşlem
Örnek

(Add W with f) W registerinin içeriğinin f registeri ile topla. Sonuç W veya f registerine yazılır.
(W) + (f) →(hedef) 0 ≤ k ≤ 127 C,DC,Z bitleri etkilenir.

d = 0 ise hedef = W akümülatörü
d = 1 ise hedef = f registeri
ADDWF EKLE,0 W=h'2A' ise,
EKLE=h'31' ise,
h'2A'+h'31'=h'5B'
d=1 ise EKLE ← h'5B'
d=0 olduğundan W← h'5B'

ADDWF FSR,0
Komuttan önce W = 0x17, FSR = 0xC2
Komuttan sonra W = 0xD9, FSR = 0xC2

ADDLW k
İşlem
Örnek

(Add literal and W) W register içeriğini 8 bit k sabit değeri ile topla. Sonuç W registerine yazılır.
(W) + (k) →(W) 0 ≤ k ≤ 255 C,DC,Z bitleri etkilenir

ADDLW h'2F' W=h'B0' ise,
h'2F'+h'B0'=h'DF'
W← h'DF'

ADDLW 0x15
Komuttan önce W=0x10
Komuttan sonra W=0x25

SUBLW k
İşlem
Örnek

(Subtract W from literal) k sabit değerinden W registerinin içeriğini çıkar. Sonuç W registerine yazılır.
k-(W) = (W) 0 ≤ k ≤ 255 C,DC,Z bitleri etkilenir

W akümülatörü, 8 bitlik k'dan çıkarılır. (2'li komplement yöntemiyle)
SUBLW h'90' W=h'83' ise,
h'90'-h'83'=h'07'
W← h'07'

SUBLW 0x02
Komuttan önce W = 1, C =? olduğunda

Komuttan sonra W = 1, C = 1 sonuç pozitifdir.

Yada;

Komuttan önce W = 3, C = ? olduğunda

Komuttan sonra W=FF,C = 0 sonuç negatifdir.

SUBWF f,d
İşlem

(Subtract W from f) f register içeriğinden W register içeriğini çıkar. Sonuç W veya f registerine yazılır.

(f)-(W) →(hedef) $0 \leq k \leq 127$ C,DC,Z bitleri etkilenir

d = 0 ise hedef = W akümülatör

d = 1 ise hedef = f registeri

W registeri f registerinden ikili komplement yöntemiyle çıkarılır.

Örnek

SUBWF SAY,l W=h'83' ise,
SAY=h'90' ise,
h'90'-h'83'=h'07'
d=0 ise W← h'07'
d=1 olduğundan SAY← h'07'

SUBWF REG,1

Komuttan önce REG1 = 0 ,W = 1, C = ? ,

Komuttan sonra REG1 =FF , W =1 , C = 0 sonuç negatif

Yada

Komuttan önce REG1 = 0 ,W = 0, C = ? ,

Komuttan sonra REG1 =FF , W =0 , C = 1 sonuç pozitif

İşlem yapmayan komut

NOP

(no operation) Bir komut saykılı süresince hiçbir işlem yapmayan bir komuttur. Bir dahili komut süresince çalışır. Bu nedenle zaman geciktirme işlem lerinde kullanılır

EK:2

Sismometrelerin genlik ve faz grafiklerini hesaplayan ve çizen, Matlab programı

```

function [P,Z,A]=scrfft_typedresponse(TYPE,RESPONSE)

% Örnek
% [z,p,k]=scrfft_typedresponse('3t','120s vel');
% plotpz(p,z,k)

TYPE=upper(TYPE);

if isempty(RESPONSE) | strcmp(RESPONSE,'unknown'), RESPONSE='30s'; end
if isempty(TYPE) | strcmp(TYPE,'UNKNOWN'), TYPE='3ESP'; end
[resp,RESPONSE] = strtok(RESPONSE);
[units,RESPONSE] = strtok(RESPONSE);
if isempty(units), units='velocity'; end

Z=[];

switch lower(units(1))
% .....YER DEĞİŞTİRME.....
case 'd'
% put in here the displacement RESPONSE types
switch lower(resp)
case '120'
Z=[0;0;0];
P=[-160.0;-80.0;-180.0;-0.00589+0.00589j;-0.00589-0.00589j];
A=[2304000];
end
% .....HIZ.....
case 'v'
% put in here the velocity RESPONSE types
switch lower(resp)

case 'dc-50'
%DC to 50 Hz flat acceleration
Z=[];
%Z=[130.6-171.5j; 130.6+171.5j];
%Z=[NaN];
P=[ -30.0529+31.1211j;-30.0529-31.1211j; -755.898; -209.656;];
%A=[1944000]
A=[2.96e8];
%P=[-68.6-76.1j; - 68.6+76.1j];
%P=[0;0];
%A=[-0.224];

case 'dc100'
%DC to 100 Hz flat acceleration
Z=[];
%Z=[130.6-171.5j; 130.6+171.5j];
%Z=[NaN];
P=[ -63.7927-90.3864j; -63.7927+90.3864j; -755.898; -209.656; ];
%A=[1944000]
A=[1.9396e9];
%P=[-68.6-76.1j; - 68.6+76.1j];
%P=[0;0];
%A=[-0.224];

```

```

case {'1s', 'cmg-6_1hz_100hz', 'cmg-6_1s_100hz', 'cmg-40_1hz_100hz', 'cmg-40_1s_100hz'}
%1 second to 100 Hz response
Z=[0;0];
P=[-62.3816+135.392j;-62.3816-135.392j;-707e-3+707e-3j;-707e-3-707e-3j;-350;-75];
A=[585.8e6];

case {'2s', 'cmg-6_2s_100hz', 'cmg-40_2s_100hz'}
%2 seconds to 100 Hz response
Z=[0;0];
P=[-62.3816+135.392j;-62.3816-135.392j;-353e-3+353e-3j;-353e-3-353e-3j;-350;-75];
A=[585.8e6];

case '2to200hz'
Z=[0;0];
P=[-174.0108-177.0947j;-174.0108+177.0947j;-1.414+1.414j;-1.414-1.414j];
A=[61250];

case {'10s', 'cmg-6_10s_100hz', 'cmg-40_10s_100hz'}
%10 seconds to 100 Hz response
Z=[0;0];
P=[-62.3816+135.392j;-62.3816-135.392j;-70.7e-3+70.7e-3j;-70.7e-3-70.7e-3j;-350;-75];
A=[585.8e6];

case '1-50'
%1second to 50 Hz response
Z=[0;0];
P=[-160.0;-80.0;-180.0;-707e-3+707e-3j;-707e-3-707e-3j];
A=[2304000];

case '1-80'
%1 sec to 80 Hz
Z=[0;0];
P=[-180.0;-165.0;-130.0;-707e-3+707e-3j;-707e-3-707e-3j];
A=[3870200];

case '10-100'
Z=[0;0];
%Z=[-5.03207;0;0];
P=[-74.0108-77.0947j;-74.0108+77.0947j;-70.7e-3+70.7e-3j;-70.7e-3-70.7e-3j];
%P=[-70.7e-3+70.7e-3j;-70.7e-3-70.7e-3j;-393.011;-7.4904;-53.5979-21.7494j;-53.5979+21.7494j];
%A=[1.983e6];
A=[11450];

case '10-50'
Z=[0;0];
P=[-70.7e-3+70.7e-3j;-70.7e-3-70.7e-3j;-30.0529+31.1211j;-30.0529-31.1211j;-41.2564-114.535j;-
41.2564+114.535j];
A=[27.7e6];

case {'20s', 'cmg-40_20s_50hz'}
%20sec response
Z=[180.076;0;0];
P=[-35.35e-3+35.35e-3j;-35.35e-3-35.35e-3j;-133.115;-72.0764];
A=[-53.52];

case {'30s', 'cmg-3_30s_50hz', 'cmg-40_30s_50hz'}
%30sec response

```

```

Z=[0;0];
%Z=[0;0;189];
P=[-160.0;-80.0;-180.0;-23.56e-3+23.56e-3j;-23.56e-3-23.56e-3j];
%P=[-23.56e-3+23.56e-3j;-23.56e-3-23.56e-3j;-66.0;-159];
A=[2304000];
%A=[-55.89];
%Z=[];

%P=[-30; -80];
%A=[1];

case {'30s50hz', 'cmg-3b_30s_50hz'}
    Z=[0;0];
    P=[-23.56e-3+23.56e-3j;-23.56e-3-23.56e-3j;-30.0529+31.1211j;-30.0529-31.1211j;-41.2564-
114.535j;-41.2564+114.535j];
    A=[27.7e6];

case {'60s', 'cmg-3_60s_50hz', 'cmg-40_60s_50hz'}
    %60sec response
    %Z=[0;0;140];
    %P=[-48.4; -11.78e-3+11.78e-3j; -11.78e-3-11.78e-3j];
    %A=[-0.346];
    Z=[0;0];
    P=[-160.0;-80.0;-180.0;-11.78e-3+11.78e-3j; -11.78e-3-11.78e-3j];
    A=[2304000];

case '90s'
    %90sec response
    %Z=[0; 0; 140];
    %P=[-7.61e-3+7.61e-3j;-7.61e-3-7.61e-3j;-80.5+30.8j;-80.5-30.8j];
    %A=[-52.9];
    Z=[0;0];
    P=[-160.0;-80.0;-180.0;-7.61e-3+7.61e-3j;-7.61e-3-7.61e-3j];
    A=[2304000];

case {'100s', 'cmg-3_100s_50hz', 'cmg-40_100s_50hz'}
    %100sec response
    %Z=[0;0;150.5];
    %P=[-7.07e-3+7.07e-3j;-7.07e-3-7.07e-3j;-80.5+30.8j;-80.5-30.8j];
    %A=[-49.5];
    Z=[0;0];
    P=[-160.0;-80.0;-180.0;-7.07e-3+7.07e-3j;-7.07e-3-7.07e-3j];
    A=[2304000];

case 'hybrid1'
    % hybrid response, FLAT acceleration from 200s to 30sec
    % flat velocity from 30sec, flat acceleration from 1 Hz to 100 Hz

    Z=[0;0;-1];
    P=[-5e-3;-31.5e-3;-74.0108-77.0947j;-74.0108+77.0947j];
    A=[11450];

case 'hybrid2'
    % hybrid response, FLAT acceleration from 200s to 30sec
    % flat velocity from 30sec, flat acceleration from 1 Hz to 50 Hz

    Z=[0;-1];

```

```

P=[-5e-3;-31.5e-3;-30.0529+31.1211j;-30.0529-31.1211j;-41.2564-114.535j;-41.2564+114.535j];
%A=(27.7e6);
A=[991650];

case 'hybridims'
% hybrid response, FLAT acceleration from 30s to 2sec
% flat velocity from 2sec to 50Hz

Z=[0;0];
P=[-33.3e-3;-500e-3;-60.0;-250];
A=[15.12e3];
%A=[14.8e6*750];
%A=[14.8e6];
%A=[14.8e6*1875];
%A=[14.8e6*9375];

case '100s_acc'
Z=[0;0;0];
P=[-7.07e-3+7.07e-3j;-7.07e-3-7.07e-3j;-74.0108-77.0947j;-74.0108+77.0947j];
A=[11450];

case 'highpass'
Z=[0;0];
P=[-5e-3;-31.5e-3];
A=[1];

case '100s50hzacc'
Z=[0;0;0];
P=[-7.07e-3+7.07e-3j;-7.07e-3-7.07e-3j;-30.0529+31.1211j;-30.0529-31.1211j;-41.2564-114.535j;-
41.2564+114.535j];
A=[27.7e6];

case {'100s50hz', 'cmg-3b_100s_50hz'}
Z=[0;0];
P=[-7.07e-3+7.07e-3j;-7.07e-3-7.07e-3j;-30.0529+31.1211j;-30.0529-31.1211j;-41.2564-114.535j;-
41.2564+114.535j];
A=[27.7e6];

case {'120s', 'cmg-3_120s_50hz'}
%120 sec response
%Z=[0;0;146.5];
%P=[-5.89e-3+5.89e-3j;-5.89e-3-5.89e-3j;-73.2+37.6j;-73.2-37.6j];
%A=[-46.19];
Z=[0;0];
P=[-160.0;-80.0;-180.0;-0.00589+0.00589j;-0.00589-0.00589j];
A=[2304000];

case '120s_alt'
Z=[0;0;122.4+116j;122.4-116j];
P=[-35.35e-3+35.35e-3j;-35.35e-3-35.35e-3j;-149;-88];
A=[0.464];

case {'120s50hz', 'cmg-3b_120s_50hz'}
Z=[0;0];
P=[-0.00589+0.00589j;-0.00589-0.00589j;-30.0529+31.1211j;-30.0529-31.1211j;-41.2564-114.535j;-
41.2564+114.535j];
A=[27.7e6];

```

```

case {'360s', 'cmg-3_360s_50hz'}
    %360 sec response
    %Z=[0;0;160];
    %P=[-1.964e-3+1.964e-3j;-1.964e-3-1.964e-3j;-80+30j;-80-30j];
    %A=[-45.63];
    Z=[0;0];
    %P=[-160.0;-80.0;-180.0;-1.964e-3+1.964e-3j;-1.964e-3-1.964e-3j];
    P=[-1.964e-3+1.964e-3j;-1.964e-3-1.964e-3j; -30.0529+31.1211j;-30.0529-31.1211j;-41.2564-
114.535j;-41.2564+114.535j];
    A=[27.7e6];

case '360-100'
    %360 sec response
    %Z=[0;0;160];
    %P=[-1.964e-3+1.964e-3j;-1.964e-3-1.964e-3j;-80+30j;-80-30j];
    %A=[-45.63];
    Z=[0;0];
    P=[-74.0108-77.0947j;-74.0108+77.0947j;-1.964e-3+1.964e-3j;-1.964e-3-1.964e-3j];
    %A=[2304000];
    A=[11450];

case '30-30'
    Z=[0;0];
    P=[-23.56e-3+23.56e-3j;-23.56e-3-23.56e-3j;-45;-60;-80];
    A=[2.154e5];

case '30-100'
    %Z=[0;0];
    %P=[-41.7927-90.3864j; -41.7927+90.3864j; -755.898; -23.56e-3+23.56e-3j;-23.56e-3-23.56e-3j;-350;-
75];
    %A=[1.945e11];
    Z=[-5.03207;0;0];
    P=[-23.56e-3+23.56e-3j;-23.56e-3-23.56e-3j;-593.011;-6.4904;-113.5979-21.7494j;-
113.5979+21.7494j];
    %A=[1.983e6];
    A=[1.013e7];

case '120s-50'
    Z=[-250;0;0];
    P=[-0.00589+0.00589j;-0.00589-0.00589j;-35.3243-35.3243j;-35.3243+35.3243j];
    A=[9.921];

case 'sts1'
    Z=[0;0];
    P=[-1.96416e-3+1.96421e-3j;-1.96416e-3-1.96421e-3j;-3.11749+3.909116j;-3.11749-3.909116j];
    A=[6*(4)];

case 'nsn'
    %with respect to velocity response, this does not include the 1 second reponse option part.
    Z=[0;0];
    P=[-23.56e-3+23.56e-3j;-23.56e-3-23.56e-3j;-60;-150;-200];
    A=[1.82e6];

case 'nsn1sa'
    %with respect to velocity response, includes the 1 second reponse option part.
    Z=[-1.0;0.0;0];

```

```

P=[-33.3e-3;-5e-3;-55;-70;-175;-180;-225;-300];
A=[8.33e12];

%case 'mk2'
% Z=[0/2*pi; 0/2*pi; 0/(2*pi*35); 0/(2*pi*35);-3030/(2*pi*35)];
% P=[(-3.833+4.979j)/2*pi;(-3.833-4.979j)/2*pi;-42.68/(2*pi*35);-0.3953/(2*pi*35)];
% A=[((0.0723*256)/2*pi)]

case 'mk2'
%Z=[0; 0;];
Z=[0;0;0;0];
%P=[-42.68/(2*pi*35);-0.3953/(2*pi)];
%P=[(-3.833+4.979j)/(2*pi);(-3.833-4.979j)/(2*pi)];%;-42.68/(2*pi*35);-0.3953/(2*pi)];
P=[(-3.833+4.979j)/(2*pi);(-3.833-4.979j)/(2*pi);-42.68/(2*pi*35);-0.3953/(2*pi)];
A=[1]

case 'gs13'
Z=[0;0;0];
P=[-0.707+0.707j;-0.707-0.707j;-42.68/(2*pi*35);-0.3953/(2*pi)];
A=[1.4];

case '20sacc'
Z=[0;0];
P=[-250.0; -50e-3; -68.802; -27.656+41.738j;-27.656-41.738j];
% P=[-785.4 ; -216.15;-0.15708;-86.884+131.124j;-86.884-131.124j];
A=[43.22e6];

case '120sacc'
%3TB 120s to 50Hz
Z=[0];
P=[-8.333e-3;-29.0+34.5j;-29.0-34.5j;-180;];
A=[360000];

case {'30s100hz','cmg-3v_30s_100hz'}
Z=[0;0];
P=[-23.56e-3+23.56e-3j;-23.56e-3-23.56e-3j;-120.0;-450.0]
A=[54.005e3];

case {'120s100hz','cmg-3_120s_100hz'}
Z=[0;0];
P=[-0.00589+0.00589j;-0.00589-0.00589j;-74.0108-77.0947j;-74.0108+77.0947j];
A=[11450];

end
% .....IVME.....
case 'a'
% put in here the acceleration RESPONSE types
switch lower(resp)

case 'old_dc100'
Z=[130.6-171.5j; 130.6+171.5j];
P=[-68.6-76.1j; - 68.6+76.1j];
A=[-0.224];

case {'dc100', 'cmg-5_100hz'}
%DC to 100 Hz flat acceleration

```



```

Z=[];
P=[ -63.7927-90.3864j; -63.7927+90.3864j; -755.898; -209.656; ];
A=[1.9396e9];

case 'dc-50'
    %DC to 50 Hz flat acceleration
    Z=[0;0];
    %Z=[130.6-171.5j; 130.6+171.5j];
    %Z=[NaN];
    P=[ -64.8448-97.4889j;-64.8448+97.4889j; -755.898; -209.656; ];
    %A=[1944000]
    A=[1.9396e9];
    %P=[-68.6-76.1j; - 68.6+76.1j];
    %P=[0;0];
    %A=[-0.224];

case '21s'
    %alternative 20s
    Z=[0];
    P=[-785.4 ; -216.15;-0.15708;-86.884+131.124j;-86.884-131.124j];
    A=[43.22e6];

case '20s'
    %CMG-3ESPV CTBTO 20s to 50 Hz accel response
    Z=[0];
    P=[-250.0; -50e-3; -68.802; -27.656+41.738j;-27.656-41.738j];
    % P=[-785.4 ; -216.15;-0.15708;-86.884+131.124j;-86.884-131.124j];
    A=[43.22e6];

case '120sacc'
    %3TB 120s to 50Hz
    Z=[0];
    P=[-0.00589+0.00589j;-0.00589-0.00589j; -8.333e-3;-29.0+34.5j;+29.0-34.5j;-190;];
    A=[360000];

end
end

%if isempty(Z),
% error(['Type "',TYPE,'" is not a recognised sensor type']);
% return;
%end

Z=((Z)*(2*pi));          %convert to Radians / sec
P=((P)*(2*pi));          %convert to Radians / sec
A=A* (((2*pi)^(length(P))) / ((2*pi)^(length(Z)))));
                        %convert to Radians / sec

```

Çizim Programı;

```

function plotpz(b,a,c);
% PLOTPZ(Z,P,K)
% Program to plot Pole and Zero Responses

```

```

%sys=zpk(b,a,c);

%[numa,dena]=tfdata(sys,'v');    %convert from ZPK format to s-domain
[numa,dena]=zp2tf(b,a,c)
lg=logspace(-5, 4, 8192);
lg=lg*(2*pi);

[R,F]=freqs(numa,dena,lg);    %calculate frequency response

hold off
subplot(2,1,1)

lh=semilogx((F./(2*pi)),20*log10(abs(R)), 'r') %plot it
set(lh,'LineWidth',2);
%semilogx((F./(2*pi)),(abs(R))) %plot it
hold on
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('Magnitude (dB)')
title('Frequency Response plot for:')
x=[0.0001 1000];
y=[-3 -3];
lh=line(x,y);
set(lh,'LineStyle',':');
%plot line at -3dB
axis([0.0001 1000 -45 15])
%axis([0.0001 200 -45 15])

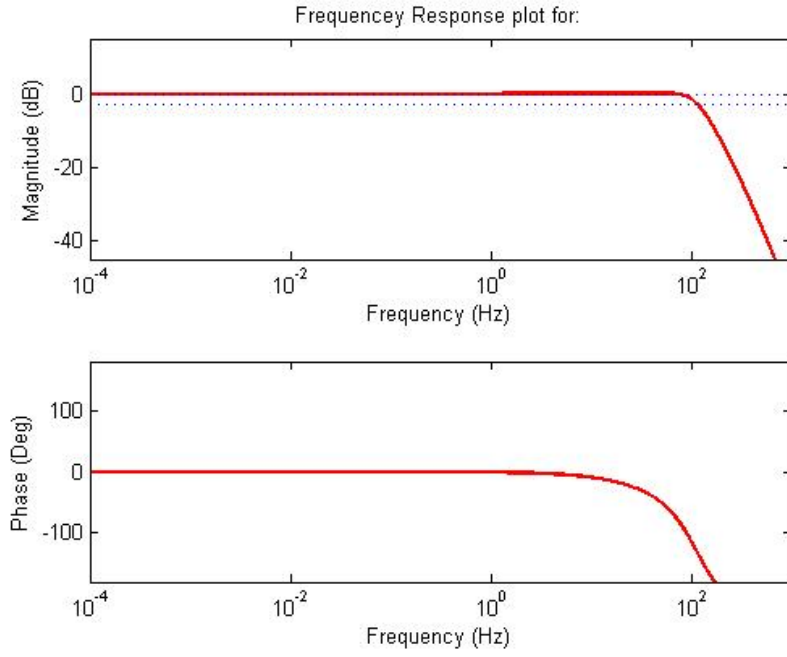
y1=[0 0];
lh=line(x,y1);
set(lh,'LineStyle',':');
subplot(2,1,2)

U=unwrap(angle(R));
phaseR=((U)*(180/pi));
lh=semilogx((F./(2*pi)),phaseR,'r');
set(lh,'LineWidth',2);
axis([0.0001 1000 -180 180])
%axis([0.0001 200 -180 180])
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('Phase (Deg)')

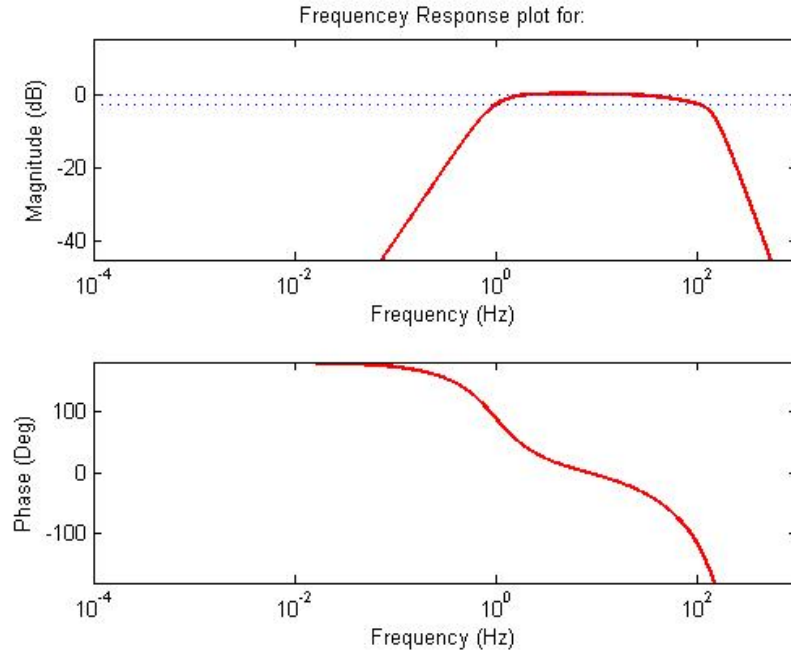
hold on

%clear all

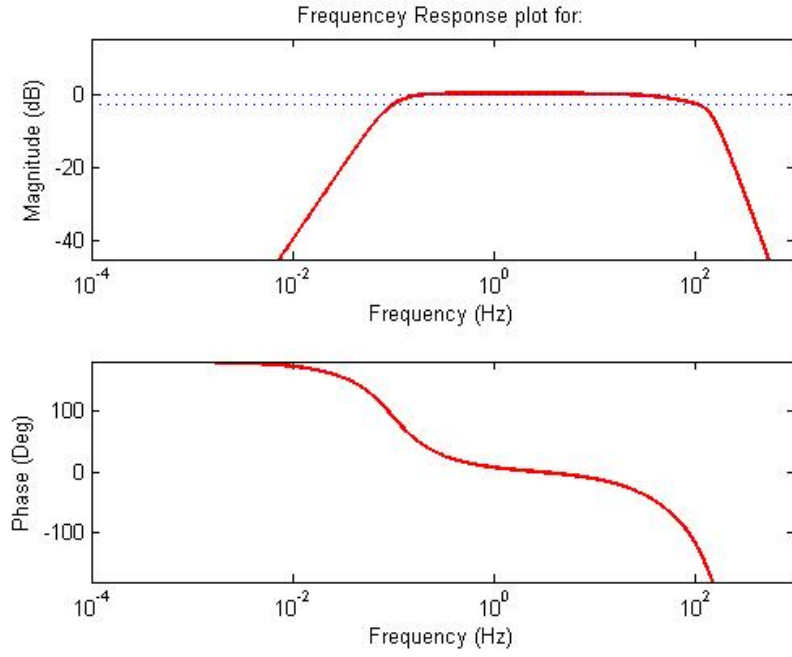
```



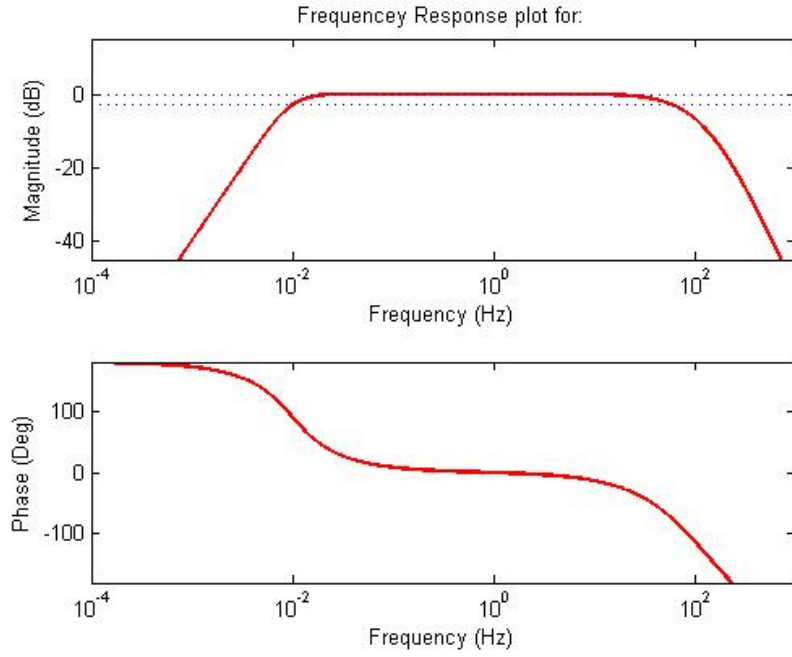
Şekil A: dc-100 Hz CMG-3TD ivme ölçere ait frekans yanıt grafiği.



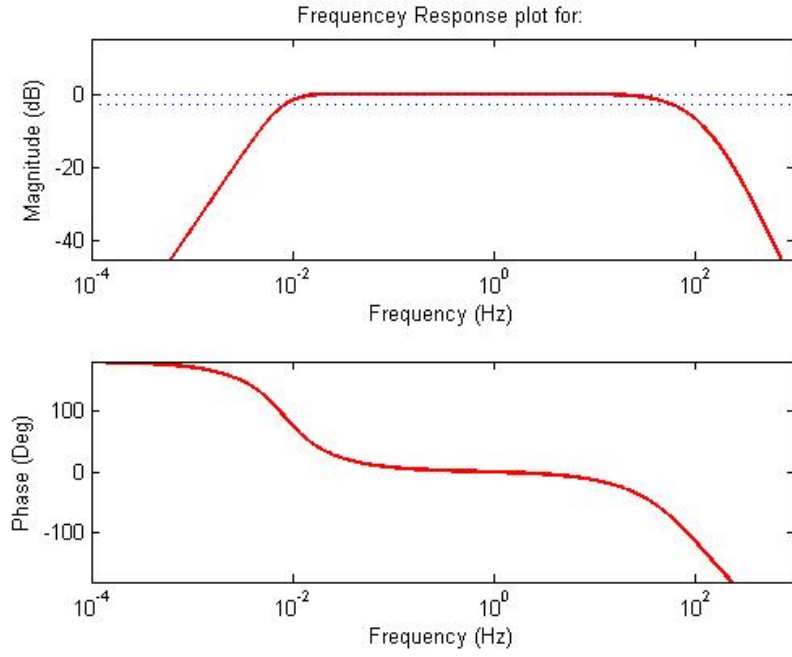
Şekil B: 1 sn' lik CMG-3TD sismometresinin frekans yanıt grafiği.



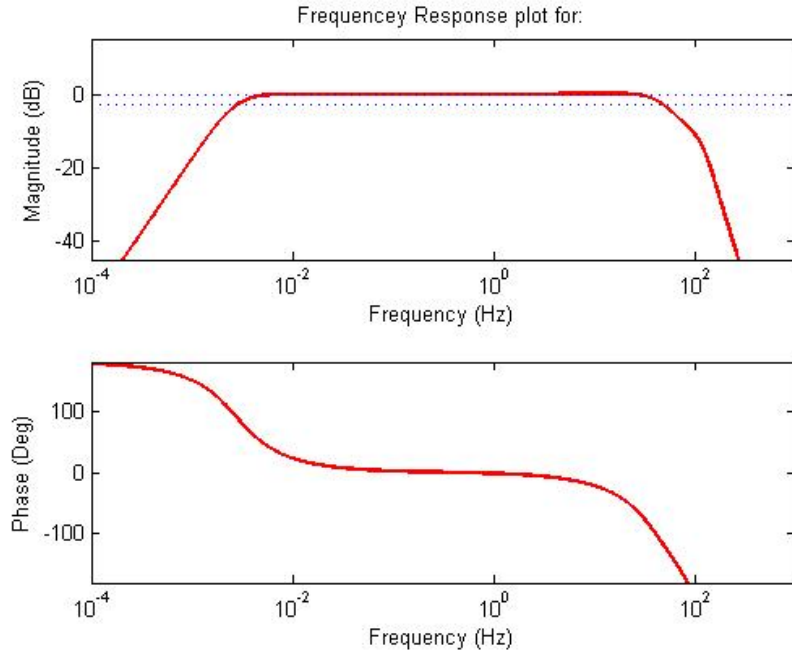
Şekil C: 10 sn' lik CMG-3TD sismometresinin frekans yanıt grafiği.



Şekil D: 100 sn' lik CMG-3TD sismometresinin frekans yanıt grafiği.



Şekil E: 120 sn' lik CMG-3TD sismometresinin frekans yanıt grafiği.



Şekil F: 360 sn' lik CMG-3TD sismometresinin frekans yanıt grafiği.

EK:3

CMG-40V CALIBRATION SHEET

WORKS ORDER: 0150 DATE: 14.01.92

SERIAL NUMBER: V4034 TESTED BY: CJP

	Velocity Output V/m/s (Differential)	High Gain Velocity Output V/m/s (Differential)	Mass Position Output (Acceleration output) V/m/s ²	Feedback Coil Constant Amp/m/s ²
VERTICAL	2 x 165	2 x 1650	10	0.0041

Calibration Resistor: 10K Ω 1%

POLES AND ZERO TABLE

WORKS ORDER NUMBER: 0150

SENSOR SERIAL NO: V4034

Velocity response output, Vertical Sensor:

POLES

$- 35.35 \times 10^{-3} \pm j 35.35 \times 10^{-3}$

ZEROS

0

EK:4

CMG-40V CALIBRATION SHEET

WORKS ORDER: 0150 DATE: 14.01.92

SERIAL NUMBER: V4036 TESTED BY: CJP

	Velocity Output V/m/s (Differential)	High Gain Velocity Output V/m/s (Differential)	Mass Position Output (Acceleration output) V/m/s ²	Feedback Coil Constant Amp/m/s ²
VERTICAL	2 x 171	2 x 1710	10.6	0.0043

Calibration Resistor: 10K Ω 1%

POLES AND ZERO TABLE
WORKS ORDER NUMBER: 0150

SENSOR SERIAL NO: V4036

Velocity response output, Vertical Sensor:

<u>POLES</u>	<u>ZEROS</u>
$- 35.35 \times 10^{-3} \pm j 35.35 \times 10^{-3}$	0

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında İstanbul'da doğdu, İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1989 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi, Kocaeli Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünden 1996 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu. 1996 yılında HBB TV'de bilgi işlem sorumlusu olarak görev yaptıktan sonra, 1997-1999 yılları arasında, T.C. Deniz Kuvvetleri, Çanakkale Onarım Destek Komutanlığı'nda yedek subay olarak askerliğini tamamladı. 1999 Mart ve Kasım aylarında Telsim A.Ş 'de Bakım ve Onarım Mühendisi olarak çalıştı. 1999 Kasım ayından beri Kocaeli Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezinde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Görevi sırasında; Penn State University (Pensilvanya ABD), Güralp Systems (Londra İngiltere), GFZ (Berlin Almanya), CAU (Kiel Almanya) 'da çeşitli çalışmalarda bulundu. 2003 ve 2005 yılları arasında düzenlenen Deprem Sempozyumlarında düzenleme kurulu üyeliği yaptı.