

# MİKRODENETLEYİCİ TABANLI P DALGASI ESASLI DEPREM ERKEN UYARI SİSTEMİNİN GELİŞTİRMESİ

**Ahmet BÖBREK<sup>1</sup>, İsmail KIRBAŞ<sup>2</sup>, Tayyar GÜNGÖR<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Burdur, Türkiye  
abobrek@mehmetakif.edu.tr

<sup>2</sup>Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye  
ismailkirbas@mehmetakif.edu.tr

<sup>3</sup>Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Burdur, Türkiye  
tgungor@mehmetakif.edu.tr

## ÖZET

Yer kabuğunda meydana gelen titreşimlerin dalgalar halinde yayılarak geçtikleri ortamları ve yeryüzünü sarsmasıyla depremler meydana gelmektedir. Depremın merkez üssü (epicenter) ilk kırılmanın yaşandığı yerin üstü olarak tanımlanmaktadır. Depremler oluşurken yer tabakaları arasındaki kırılmalardan dolayı sismik dalgalar meydana gelir. Bu dalgalar cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar ve cisim dalgaları yüzey dalgalarından daha önce etki ederler. Cisim dalgaları da kendi arasında P (primary wave) dalgası ve S dalgası (secondary wave) olmak üzere ikiye ayrılır. P dalgasının her ortamda yayılabilme, S dalgasına göre daha az yıkıcı etki gösterme ve yıkıcı olan S dalgalarından daha hızlı olma gibi üç önemli özelliği vardır. S dalgaları ise yıkıcıdır, su ve havada ilerleyemezler ancak kayalar üzerinde kayacın özelliklerine göre ilerler.

Bu çalışmada yıkıcı olmayan öncü deprem dalgalarının piezo sismik algılayıcı ve mikrodenetleyici kullanılarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda mikrodenetleyici modül olarak arduino nano sürümü ve algılayıcı olarak da minisense 100 piezo sismik algılayıcı kullanılmıştır. Labview bilgisayar yazılımıyla algılayıcıdan elde edilen veriler USB port üzerinden okunmakta ve grafiksel olarak değerlendirilebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, depremler sırasında meydana gelebilecek can ve mal kayıplarının azaltılması amacıyla mikrodenetleyici kontrollü bir P dalgası detektöründen oluşan düşük maliyetli bir erken uyarı cihazı prototipi geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** P dalgası detektörü, deprem erken uyarı sistemi, Arduino nano, Minisense 100.

## DEVELOPING A MICROCONTROLLER-BASED EARTHQUAKE EARLY WARNING SYSTEM BASED ON P WAVE DETECTION

## ABSTRACT

An earthquake occurs when the crustal vibrations shake and spread in waves the crustal and the media they pass through. The earthquake epicenter is defined as a place on earth the first break appears. Seismic waves are originated from the break between the ground layers during the earthquake is happen. These waves are divided into the body waves and the surface waves. Body waves reach faster than the surface waves. They consist of two different waves those are called primary wave (P) and secondary wave (S). P wave has three special attributes such as it can spread in any environment, faster and less harmful than S wave. S wave is destructive and proceeds through the rocks according to the characteristics of the media but it cannot pass through the water and the air.

In this study, we aimed to detect harmless primary earthquake waves using a piezo seismic sensor and a microcontroller. Accordingly, an Arduino nano board is used as a microcontroller module and Minisense 100 is also chosen for the piezo seismic sensor.

The Labview software gathers the data from the piezo sensor via USB port connector and evaluates them graphically. In the scope of this study, a low-cost earthquake early warning device consists of a microcontroller based P wave detector prototype is developed to reduce the loss of life and property that may occur during earthquakes.

**Keywords:** P wave detector, earthquake early warning system, Arduino nano, Minisense 100

## 1. GİRİŞ

Deprem, yer tabakaları arasında birikmiş olan enerjinin aniden boşalması olayıdır. Yer tabakaları hareket ederken birbirlerine kuvvet uygularlar. Kayaçların bu kuvvete direnç göstermesi nedeniyle belirli bölgelerde enerji birikir. Bu enerji kayaçların kırılma sınırlarını aşarsa kırılma (faylanma) meydana gelir. Tabakalardaki kırılmalar, enerjinin açığa çıkmasına neden olurlar (Alçık, 2011).

Deprem erken uyarı sistemleri, depremi meydana gelmeden önce tespit ederek bir uyarı sinyalinin üretilmesi böylece depremden kaynaklanan zararların azaltılmasını sağlarlar. Depremi nerede ve ne büyüklükte gerçekleşeceğini tespit edilmesi ve ilgili kurumlara haber verilmesi, enerji santrallerinin faaliyetlerinin durdurulması, yüksek kapasiteli enerji hatlarında akımın kesilmesi, toplu taşıma yapan raylı araçların durdurulması gibi önemli tedbirlerin alınmasını sağlamaktadır. Literatürde erken uyarı sistemleri ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır (URL-1, 2015).

Rounak ve arkadaşları piezoelektrik malzeme ile deprem dalgalarının mikrodenetleyicili bir algılama sisteminin yapılabileceğinden bahsetmişler ve bu yönde çalışmalar yapmışlardır (Rounak et al., 2013). Youssef et al. (2007) depremlerin yıkıcı dalgalarının oluşmasından önce meydana getirdikleri manyetik değişimlerden yola çıkarak kablosuz algılayıcı ağlar ile depremin tespitine dayanan erken uyarı sistemi geliştirmişlerdir. Zhang et al. (bt) Akaike bilgi toplama kriterleri ile deprem verilerinin toplanması ve dalgacık analizinin yapılması ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Kuyuk et al. (2008) depremiyle ilgili çalışmalar yapmış deprem dalga süreleri arasındaki farkı incelemişlerdir. Sonuçta erken uyarı sisteminin depremin merkez uzaklığına göre 70 saniye kadar önce tespit edilebileceğini göstermişlerdir. Alçık (2011) çalışmada deprem erken uyarı sistemleri kullanılarak oluşturulan sensör ağlarının dünyadaki örneklerini incelemiştir. Ülkemizin yerleşimi ve deprem bölgesi olması nedeniyle bu sistemlerin kullanımının gerekliliğini vurgulamıştır. Faulkner et al. (2011) da ivme sensörlerinin bulunduğu cep telefonları ve mobil cihazlar gibi aygıtlardan ortak bir ağ oluşturulması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Wu ve Kanamori (2008) yaptıkları çalışmada, Niigata Chuetsu depremine ait P dalgasına yüksek geçiren Butterworth filtresi uygulayarak hız, ivme ve yer değiştirme grafiklerini çıkarmışlardır. Buradan yola çıkarak ilk 3 saniyede P dalgasının tespitiyle beraber erken uyarı ile yıkıcı sarsıntı öncesi kısa bir zamanın kazanılabileceği sonucuna varmışlardır. Lin ve arkadaşlarının yaptıkları çalışma ise depremde öncül dalga olan P dalgasının algılanması için gerekli erken uyarı sistemi ve depremin yapısal özelliklerinin bulunmasıyla hasar tespit çalışmalarının yapıldığı iki bölümden oluşmaktadır. Sensör verileri ve diğer verileri yapay sinir ağları kullanarak analiz etmişler, depremin yapısal özelliklerinin tespitinde bu analizlerden faydalanılabileceğini işaret etmişlerdir (Lin et al., 2012).

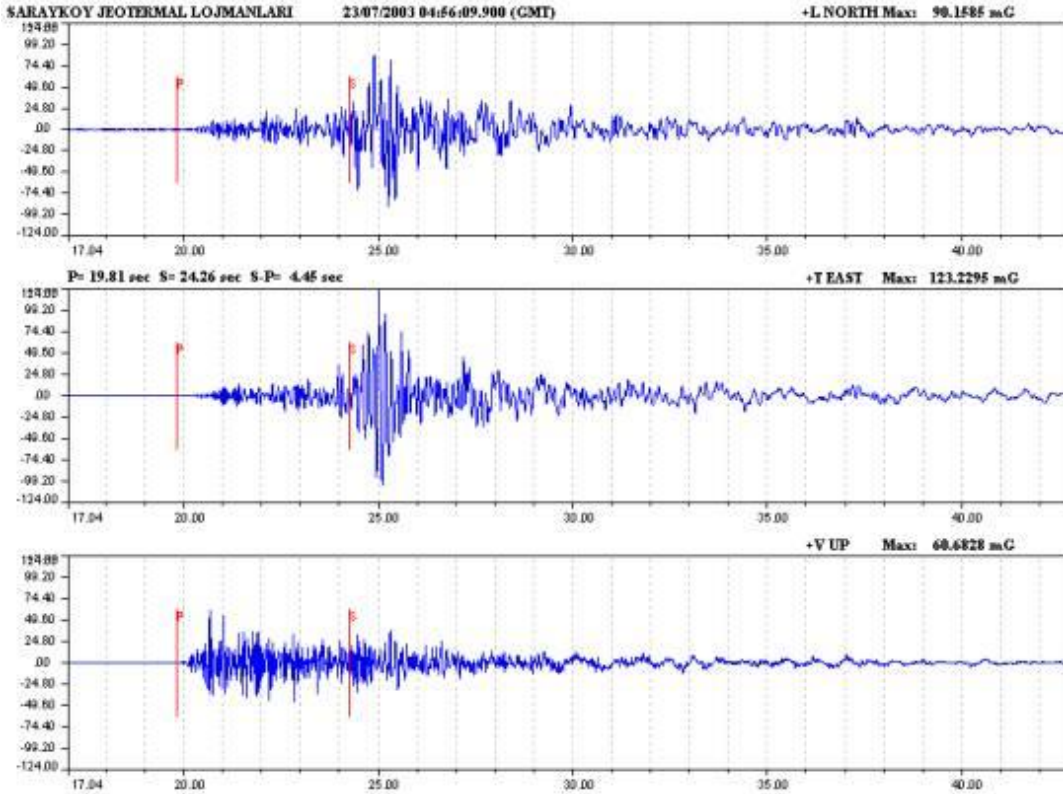
Deprem dalga çeşitleri incelendiğinde P dalgasının geliş zamanı deprem analizinde önemli bir kriterdir. Bu bildiride sunulan çalışmanın amacı mikrodenetleyici kullanarak düşük maliyetli bir piezoelektrik titreşim algılayıcısı ile P dalgasının tespitinin sağlanmasıdır. Çalışma kapsamında deprem üzerine akademik ve deneysel çalışmalar yapılırken başarımlarının seviyelerinin ölçümlerle gözlenebilmesi amacıyla yüksek kapasiteli ve düşük maliyetli bir algılayıcı prototipi geliştirilmiştir.

## 2. DEPREM DALGA ŞEKİLLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Depremler, dalgalar oluşturarak yeryüzünün sarsılmasına neden olur. Depremin büyüklüğü binlerce kilometre uzaklıktan hassas algılayıcılar kullanılarak tespit edilebilir. Deprem dalgaları, yerkabuğunun iç kısımlarında veya yüzeyde hareket ederler. Yüzeyde hareket eden dalgalar yüzey dalgaları, iç kısımlarda hareket eden dalgalarda cisim dalgaları olarak isimlendirilir. Dört temel deprem dalgasından P ve S dalgaları cisim dalgaları, Rayleigh ve Love dalgaları ise yüzey dalgaları olarak adlandırılırlar. Dalga hızları hareket edilen ortamın yoğunluk ve elastiki özelliklerine göre değişmektedir. Dalgalar, deprem merkezi uzaklığına ve dalga hareket şekline bağlı olarak bir yapı oluştururlar. Dalgaların birleşimi, yansıma ve kırılma gibi faktörler nedeniyle yeni ve farklı dalgalar oluşabilir. Bu dalgalar genellikle deprem bilimciler tarafından göz ardı edilirler.

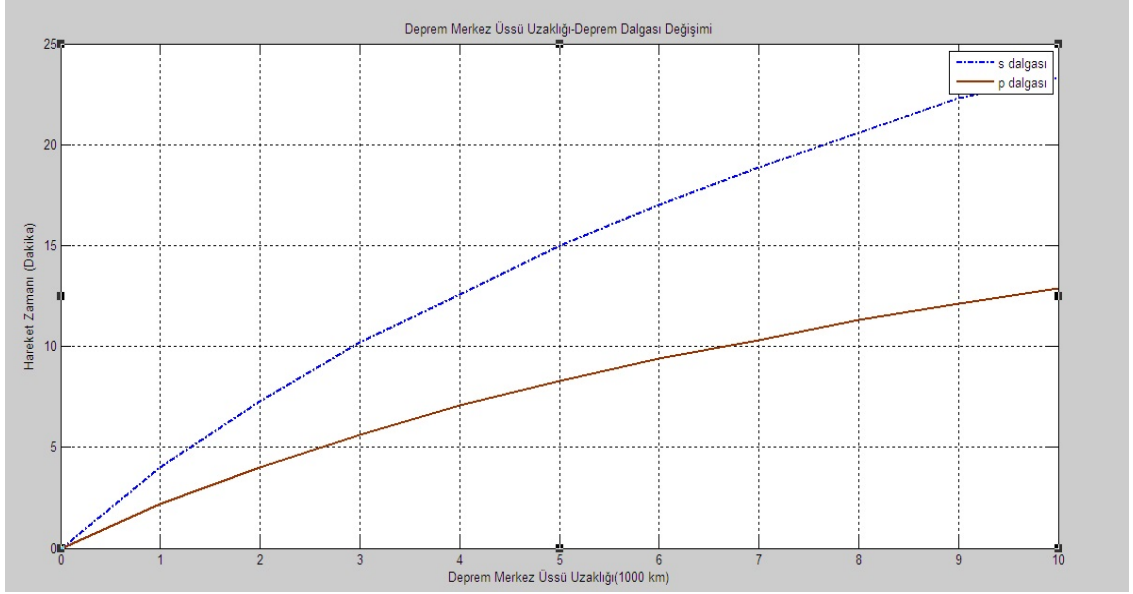
Cisim dalgalarının en hızlı ilerleyeni P dalgası (primary wave-birincil dalga) olarak adlandırılır. P dalgası, sıkıştırıcı ve boyuna ilerleyen bir dalgadır ve tüm ortamlarda ilerleyebilir. İlerlerken bir ses dalgası gibi ileriye ve geriye doğru hareket ederek sıkıştırma yapar. S dalgası (secondary wave-ikincil dalga) ise belirli bir açıyla etki eden ve kesme etkisi oluşturan bir enine dalgadır. S dalgasının hızı, P dalgasından daha yavaştır. Su ve hava ortamında ilerleyemez. Sismograf tarafından P dalgasından sonra algılanır. S dalgasının dikey ve yatay hareket sağlaması ve genliğinin daha yüksek olması nedeniyle yıkıcı etkisi vardır. Love dalgası ise S dalgasından sonra görülür ve benzer şekilde hareket eder. Ancak hareketi yatay düzlemindedir. Rayleigh dalgası ise hem yatay hem de dikey hareket gösterir ve son derece yıkıcıdır. Yüzey dalgalarının genliklerinin azalması cisim dalgalarına göre daha yavaştır ve daha uzak mesafelere ilerleyebilirler (URL-2, 2015).

P dalgasının genliği küçük ve yıkıcı etkisi azdır. P dalgasının gelmesi ile daha yıkıcı olan S dalgasının geliş süreleri arasındaki zaman farkından yararlanılarak birerken uyarı sistemi gerçekleştirilebilir. P dalgalarının hızı 5-8 km/s değerlerine kadar çıkabilir. S dalgasının hızı ise 3-4 km/s hızlara ulaşabilmektedir (Kuyuk ve Motosaka, 2008). Şekil 1'de 23 Temmuz 2003'de Denizli Buldan'da meydana gelen depreminin sismograf kayıtları gösterilmiştir. P dalgası ile S dalgası arasında yaklaşık 5 saniyelik fark görülmektedir. Deprem merkezi ile istasyon arasındaki mesafe yaklaşık 22 km'dir (Deprem Dairesi Başkanlığı, 2015).



Şekil 1. Denizli-Buldan Depremi Sismograf Kayıtları

Depremin merkez üssüne olan uzaklık ile P ve S dalgalarının geliş süreleri arasındaki zaman birbiriyle doğru orantılıdır. Depremin merkez üssüne uzaklığın artmasıyla, dalgalar arasındaki düşey mesafenin arttığı Şekil 2’de grafik üzerinde görülmektedir. Örneğin depremin merkez üssünden 5000 km uzaklıktaki bir yerde P ve S dalgaları arasındaki zaman farkı yaklaşık 7 dakikadır. Yine deprem merkez üssünden 6500 km mesafedeki bir noktada S dalgası, P dalgasından 8 dakika sonra gelmektedir (URL-3, 2015).



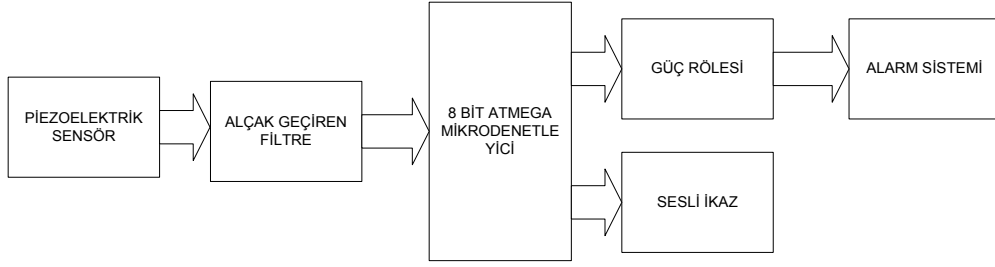
Şekil 2. Deprem merkez üssü uzaklık-Deprem dalgası zamanı değişim grafiği

### 3. MİKRODENETLEYİCİ TABANLI P DALGASI ALGILAMA CİHAZI PROTOTİPİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Bu çalışmada 16 MHz hızında çalışabilen Atmega mikrodenetleyici merkezli bir elektronik erken uyarı sistemi prototipi tasarlanmıştır.

#### 3.1 Geliştirilen Prototipe İlişkin Genel Sistem Mimarisi

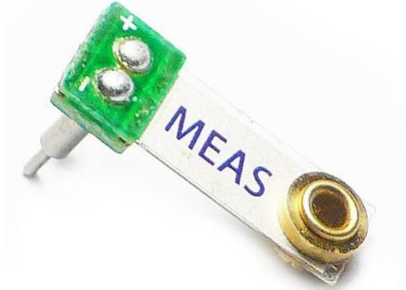
Algılama sisteminin yapısı Şekil 3’te gösterilmiştir. Bloklar halinde ifade edilmiş olan sistemde; titreşim algılayıcı tarafından algılanan fiziksel titreşimler, elektrik enerjisine çevrilmektedir. 8 bitlik mikrodenetleyici analog giriş üzerinden meydana gelen titreşimi potansiyel fark olarak ölçer. Ölçülen değer, başlangıçta tespit edilen eşik değeri ile sürekli karşılaştırılmaktadır. Denetleyici eşik değerinin geçilip geçilmediğine bakarak karar alır. Alçak geçiren filtre, sistemin deprem titreşimlerini daha doğru yorumlama kullanılmaktadır. Mikrodenetleyicinin çıkışında sesli ve ışıklı ikaz için led ve buzzer bağlanmış, bir başka sistemin sürülebilmesi amacıyla da röle kullanılmıştır.



Şekil 3. Geliştirilmiş olan P dalgası algılama cihazının blok diagramı

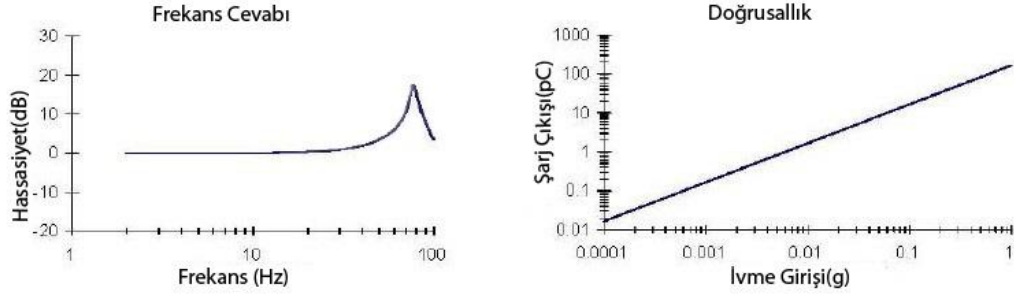
### 3.2 Titreşim Sensörünün Belirlenmesi

Aktif ve pasif olmak üzere iki grupta incelenen algılayıcılar, genellikle fiziksel büyüklere elektrik enerjisine çevirirler. Aktif sensörler, sinyal göndererek aldıkları dönüş sinyaline göre çıkış verirler. Mesafe algılayıcılar bu gruba örnek verilebilir. Pasif sensörler ise fiziksel büyüklüğü doğrudan elektrik sinyaline çevirirler. Bu gruba Mini Sense 100 ivme sensörü örnek verilebilir. Şekil 4'te gösterilen algılayıcı piezoelektrik kristaller vasıtasıyla titreşimlerin algılanmasında kullanılmıştır. Kuarz ve lityum sülfat gibi doğal malzemeler ile baryum titanat ve polisitalin gibi yapay malzemeler gibi piezoelektrik özelliği gösteren birçok malzeme bulunmaktadır. Piezoelektrik malzemeye dışarıdan uygulanacak basınç, malzeme yüzeyinde elektriksel yüklenmeye sebep olur. Basınç kuvvetinin yönü değişirse elektrik yüklerinin işareti değişir. Elektrik yükü ve basınç orantılı olarak değişmektedir (Öktem, 2002). Piezoelektrik sensörler, iki ince metal plaka arasında özel kristallerin yerleştirilerek üretilir. Piezoelektrik etki, tersine de çevrilebilmektedir. Çakmıklarda ateşleyici olarak kullanılan manyetolarda ters piezoelektrik kısmına örnek verilebilir. Sensör, alternatif frekans ve hassasiyet elde edebilmek için de modifiye edilebilir. Mini Sense 100 Cantilever-beam ivmeölçer olarak çalışır. Eğer algılayıcıyı dikey olarak monte edersek, algılayıcının ucundaki ağırlığın atalet faktörü dolayısıyla ivme yatay doğrultuda olur. Algılayıcıdaki titreşimin oluşturduğu gerilim, piezoelektrik alan oluşturur ve bu da sensördeki elektrotlar tarafından yük veya voltaj olarak algılanır.



Şekil 4. MiniSense 100 Piezoelektrik Titreşim Sensörü

Geliştirilen cihazda kullanılan sensörle ilgili karakteristik ölçüm grafikleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Sensörün titreşim frekansının altında olan frekanslar için cihaz sabit bir tepki üretir. 75 Hz rezonans frekansına sahiptir ve rezonanstaki hassasiyet önemli derecede yüksektir. Deprem frekansının 20 Hz civarında olduğu düşünülürse deprem frekansının iki katından daha fazla bir hızda örnekleme yapılması ölçüm için yeterli olacaktır. Bu da Nyquist kriterlerine göre devrenin kararlılığını ifade eder. Minisense 100 sensörü 1V/g hassasiyete sahiptir ve 5 V/g değerinin üzerinde rezonanstadır. Algılayıcı kısım yönlendirilerek hem yatay hem de dikey olarak algılama yapılabilir. Minisense100, mevcut özellikleri ile araçlarda ve makinelerde hareket ve yön algılama uygulamalarında da kullanılabilir (URL-4, 2015).



Şekil 5. MiniSense 100 Frekans Cevabı ve Doğrusallık Grafikleri

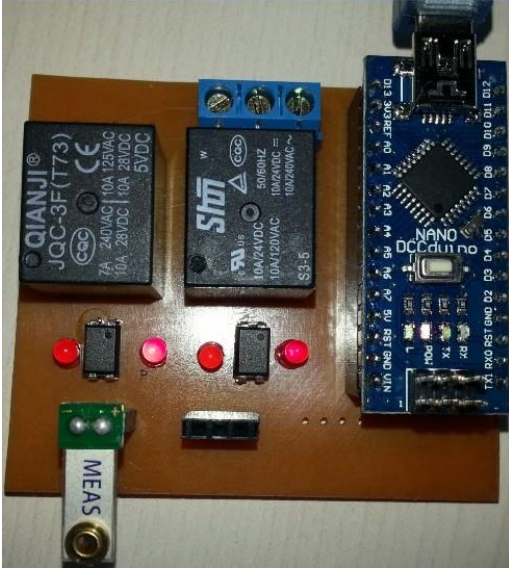
### 3.3 P dalgası algılama cihazı için mikrodenetleyici belirlenmesi

Arduino, Processing/Wiring dilini kullanarak çevre elemanları ile temel giriş çıkış uygulamalarını gerçekleştiren açık kaynaklı fiziksel programlama platformudur. Çalışmada, açık kaynak kodlu olması ve Labview ve Matlab gibi yaygın kullanılan yazılımlarla kolay entegre edilebilmesi nedeniyle, Arduino modül tercih edilmiştir. Tablo 1’de Arduino nano modülüne ait özellikler belirtilmiştir (URL-5, 2015).

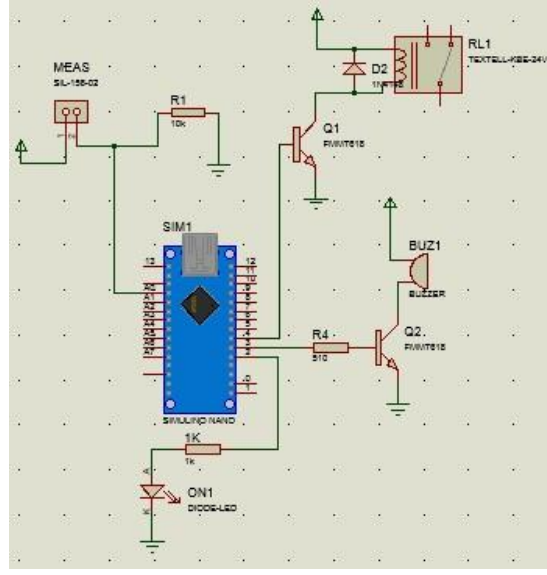
Tablo 1.ArduinoNano Modülünün Donanım Özellikleri

Özellik	Değer
Mikrodenetleyici	Atmega 328
Çalışma Gerilimi	5 V
Besleme Voltajı(Önerilen)	7-12 V
Besleme Voltajı(Limit)	6-20 V
SayısalGiriş/Çıkış Sayısı	14 (6 adet PWM)
Analog Giriş Sayısı	8
Çıkış maksimum akım değeri	40 mA
Flaş Bellek	32 KB
Statik RAM Bellek	2 KB
EEPROM	1 KB
Çalışma Frekansı	16 MHz
Haberleşme Protokolleri	SPI,I2C,UART, TTL

Çalışma çerçevesinde gerçekleştirilen prototipe ait donanım Şekil 6’da, devre açık şeması da Şekil 7’de gösterilmektedir. Geliştirilen prototip içerisinde üç farklı çıkış bulunur. Kullanıcının sesli uyarılması için buzzer, ışıklı ikaz için kırmızı led ve deprem tehlikesi anında açılması veya kapatılması gereken elektrik kontrollü cihazlar için iki adet röle çıkışı bulunmaktadır.



Şekil 6. Titreşim Algılayıcı Prototip



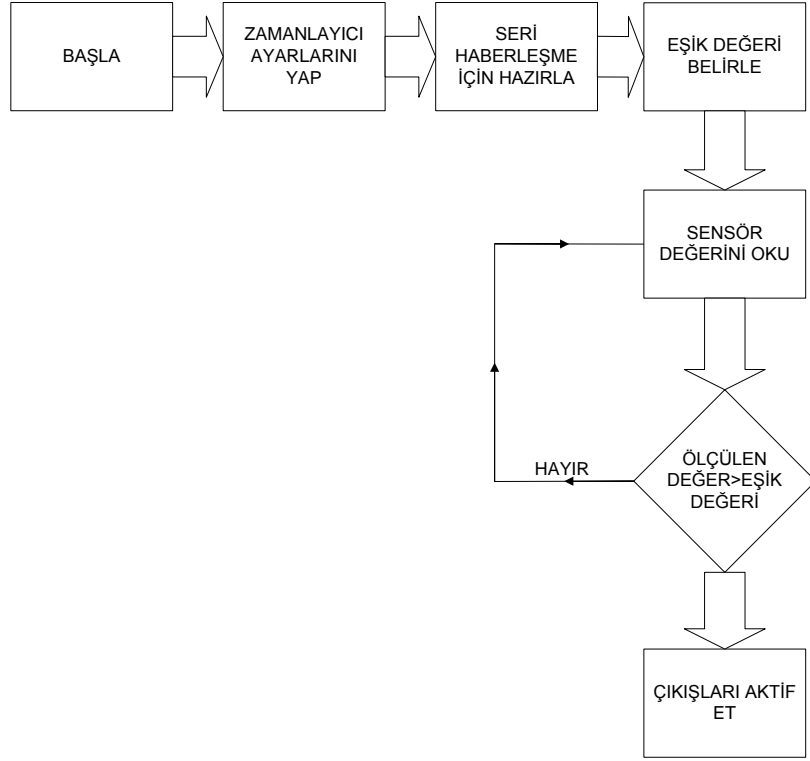
Şekil 7. Titreşim Algılayıcı Prototip Açık Şeması

#### 4. P DALGASI ALGILAMA CİHAZININ ÇALIŞMA ALGORİTMASI

Arduino nano üzerinde çalışan program, Minisense 100 adlı titreşim algılayıcıdan elde edilen analog gerilim değerini A0 analog giriş pini üzerinden sürekli olarak okunmaktadır. Ölçülen değer, daha önceden tespit edilmiş eşik değeri ile kıyaslanır ve yorumlanır. Buna göre mikrodenetleyicinin sayısal çıkışları aktif veya pasif konuma geçirilir. Ölçülen titreşim sinyali, aynı zamanda seri port üzerinden Labview yazılımı ile gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. Mikrodenetleyicinin P dalgası algılamak için kullandığı algoritma Şekil 8’de gösterilmiştir.

Sistem ilk kez çalıştırıldığında, eşik değerinin otomatik olarak belirlenmesi için sisteme ilk enerji verildiği andan itibaren 10 saniye süresince sürekli ölçüm yapılır. Ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak titreşimsiz haldeki ortalama gerilim değeri ( $\bar{x}$ ) hesaplanır. Ölçülen değerın karesi ile, aritmetik ortalama değerinin farkı alınarak tolerans değeri ( $\delta$ ) belirlenir. Eşik değeri ise aritmetik ortalamaya, tolerans değerinin iki katının eklenmesi suretiyle elde edilir. P dalgasının geliş anında ölçülecek gerilim değeri, eşik değerinden daha yüksek olacağından mikrodenetleyici tarafından kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.





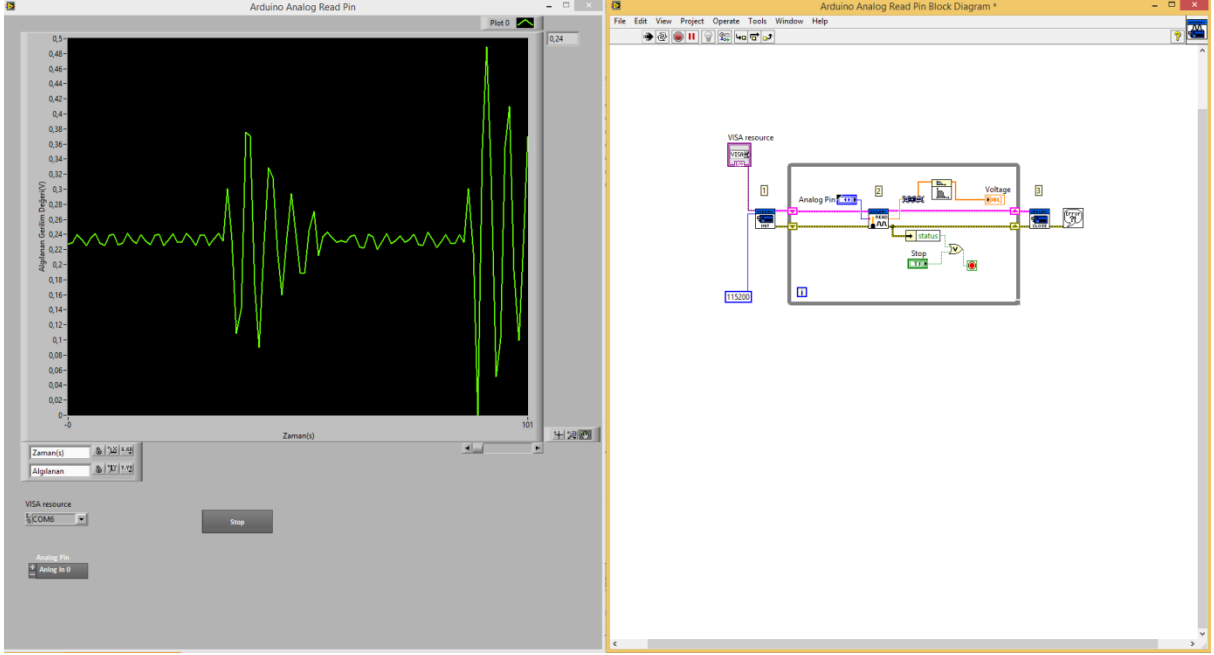
Şekil 8. Prototip açık şeması ve mikrodenetleyici yazılımının akış şeması

## 5. FİZİKSEL ÖLÇÜMLERİN BİLGİSAYAR ORTAMINA AKTARILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ölçülen titreşimlerin gerçek zamanlı olarak bilgisayar üzerinden takip edilebilmesi amacıyla National Instruments firması tarafından geliştirilen Labview programı kullanılmaktadır. Labview grafiksel bir programlama dilidir. Program içerisinde küçük grafiksel ikonlar ve kablolar ile akış diyagramları hazırlanabilir. Nesne tabanlı olarak hazırlanan programlar parçaları akış diyagramına entegre edilebilir. Dış dünyadan veri toplamak amacıyla National Instruments firmasının çok çeşitli veri toplama kartları, modüler enstrümantasyon kartları ve kompakt kartlar geliştirilmiştir. Bu kartlar programla entegre edilerek bilimsel ve endüstriyel çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Labview programının Arduino destek paketinde nano modülün desteği bulunmadığı için çalışma boyunca sensör verilerinin alınmasında Arduino uno modülü kullanılmıştır. Modülün labview ile birlikte kullanılabilmesi için üretici firma tarafından sağlanan Arduino destek paketi ve sürücülerinin kurulumu yapılmıştır. Böylece Arduino modülü üzerinden alınan gerilim değerleri Labview programı üzerinden takip edilebilmekte aynı zamanda veri kaydı yapılabilmektedir (URL-6, 2015).

Prototipe uygulanan titreşimler, algılayıcı tarafından algılanmakta ve RS232 haberleşmesi kullanılarak Labview programına gönderilmektedir. Ölçümler sonucunda elde edilmiş olan örnek titreşim sinyali Şekil 8'de gösterilmiştir. Grafikte ilk algılanan dalga P dalgası, ikinci algılanan dalga ise S dalgası olarak değerlendirilmektedir. Titreşimsiz ortamda sensörden elde edilen gerilim değerleri 0-200mV arasında değişmektedir. P dalgasının başlaması ile birlikte ölçülen gerilim 242mV olarak hesaplanan eşik değeri aşıldığından mikrodenetleyicinin çıkışları aktif hale getirilir.





Şekil 9. Labview programından alınan ön panel ve blok diyagram görüntüleri

Sistem parametrelerinin ilk ayarı için  $t=t_0$  anı olarak kabul edilen zamanda 100 örnek alınmıştır. Eş. (1)'de  $n$ , titreşim sinyalinden alınan örnek sayısını,  $\bar{x}$  ise alınan örneklerin ortalama değerini ifade etmektedir. Alınan örneklerin aritmetik ortalama değeri 0,234154 olarak hesaplanmıştır. Eş. (2)'de örnekleme değerlerinin standart sapması  $\sigma$ , örnekleme sayısı ise  $N$  ile gösterilmiştir. Titreşimlerin standart sapması 0,004413422 olarak belirlenmiştir. Böylelikle  $t_1$  anından sonraki ölçmelerde elde edilen değerlerin karşılaştırılacağı eşik değeri, Eş. (1) ve Eş. (2) yardımıyla Eş. (3) yardımı ile hesaplanabilir. Prototip yazılımının değerlendireceği eşik değeri 0,242981 Volt olarak tespit edilmiştir.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} x_n \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N x_i^2 - N\bar{x}^2 \right)} \quad (2)$$

$$V_{eşik} = V_{ort} + 2\sigma \quad (3)$$

## 6.SONUÇ VE İLERİYE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Çalışma sonunda deprem sırasında meydana gelen P dalgasını algılamada kullanılmak üzere, tek başına çalışabilen, düşük maliyetli bir deprem erken uyarı cihazı geliştirilmiştir. Yazılımda kullanılacak eşik seviyelerinin tespit edilmesinde bilimsel deneyler yapılarak bölgenin tektonik yapısı ve muhtemel deprem

şekillerine göre hareket edilebilir. Geliştirilen prototipler yerleşim merkezlerine birçok noktaya yerleştirilerek birbirleri ile veya bir merkez ile haberleşmeleri sağlanarak merkezi bir erken uyarı sistemi gerçekleştirilebilir. Elde edilen verilerin kullanılması ile kurtarma ve enkaz kaldırma ekipleri yönlendirilebilir. Sistem çıkışına sesli veya ışıklı ikaz sistemleri bağlanarak depremin yıkıcı dalgalarının gelmesinden önce tahliye için kritik bir zaman kazandırılabilir. Bu zaman değerlendirilerek can kayıplarının azaltılabilir. Sistemin düşük maliyetli olması, temin edilmesini kolaylaştırıcı bir unsur olup evlerde kullanılabilecek bir şekilde tasarlanması mümkündür. Ayrıca geliştirilen cihaza, yıkıcı deprem dalgasından sonra haberleşme için kullanılabilecek batarya ile çalışan bir kablosuz haberleşme modülü eklenebilir.

## KAYNAKLAR

- Alçık, H. A. 2011. Deprem Erken Uyarı Sistemleri, Türkiye Jeofizik Bülteni, Vol.68, 50-66.
- Deprem Dairesi Başkanlığı, Deprem İvmesi, <http://kyh.deprem.gov.tr/depreminivme.htm>(20.02.2015)
- Faulkner, M.,Olson, M., Chandy, R., Krause, J., Chandy,K. M., Krause, A.2011. Detecting Earthquakes and Other Rare Events from Community-based Sensors.10th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks.
- Kuyuk, H. S.,Motosaka, M. 2008. Available warning time for emergency response in Sendai City, Japan against Miyagi-Oki subduction earthquakes based on national and regional earthquake early warning system,China. *14th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Lin,C. J., Lin P., Chang, T., Lin, T.,Weng Y., Chang,K.,Tsai, K. 2012. Development of On-Site Earthquake Early Warning System for Taiwan Earthquake Research and Analysis,329-358.
- Öktem.H. Fehmi,2002. Ultrasonik Tahribatsız Muayene Tekniğinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, Doktora Tezi
- Rounak, R. G.,Laxmikant,S. H., Abhijit G. I. 2013. Micro-Controller Based Earthquake Detection Using Sensing Element,India. International Journal of Electrical, Electronics and Mechanical Controls, Vol. 2,No.1
- Wu, Yih-Min.,and Kanamori,Hiroo. 2008.Development of an earthquake early warning system using real-time strong motion signals. *Sensors*, Vol.8, 1-9.
- Youssef, M.,Yousif, A., El-Sheimy, N.,Noureldin, A. 2007. A novel Earthquake warning system based on virtual MIMO-wireless sensor networks,Canada. *IEEE Canadian Conference on Computer Engineering*, 932-935.
- Zhang, H.,Thurber, C., Rowe, C. Automatic P-wavearrivaldetectionandpickingwithmultiscalewaveletanalysisforsingle-componentrecordings,America. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 93, No.5, 1904-1912.
- URL-1 2015. [http://www.sismo.sakarya.edu.tr/depremler\\_faylar.htm](http://www.sismo.sakarya.edu.tr/depremler_faylar.htm)(02.02.2015)
- URL-2, 2015. [http://www.iris.edu/hq/files/programs/education\\_and\\_outreach/aotm/6/SeismicWaveBehavior\\_Building.pdf](http://www.iris.edu/hq/files/programs/education_and_outreach/aotm/6/SeismicWaveBehavior_Building.pdf)(11.02.2015)
- URL-3, 2015. <http://www.regentsearth.com/Handouts/How%20To%20Use%20Quake%20Chart.pdf>(10.02.2015)
- URL-4, 2015. Minisense 100 Piezoelektrik Titreşim Sensörü Datasheet, [https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Flex/MiniSense\\_100.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Flex/MiniSense_100.pdf)(04.02.2015)
- URL-5, 2015. Arduino Donanım Özellikleri.<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>(04.02.2015)
- URL-6, 2015. <http://lab-view.com/labviewnedir/>(04.02.2015)