

FIGARO: Arduino UNO ve MEMS Devresi Entegrasyonu ile İvmeölçer Cihaz Tasarımı

D. Erkek^{1*}, Ş.C. Tunç¹, A. Kömeç Mutlu², A.A. Dindar² and Ü. Mert Tuğsal²

¹İnşaat Müh. Adayı, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye

²Öğretim Üyesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye
Email: d.erkek2018@gtu.edu.tr

ÖZET:

Sismik tehlikelere karşı alınması gereken önlemler sadece binaları depreme dayanıklı olarak tasarlamakla sınırlı değildir. Bu yapıların dayanım ve dinamik özelliklerinin izlenmesi, olası titreşim ve/veya depremin bina üzerindeki etkilerinin belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Bu, bir araştırma konusu olarak lisans düzeyinde teorik eğitimde oldukça önemli bir konu olduğundan, dersi daha iyi anlamak için uygulamaları gerçekleştirme fırsatlarına sahip olmak çok önemlidir. Bu bağlamda, Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ) İnşaat Mühendisliği bölümü olarak, lisans öğrencilerimizi uygulama araçlarını kullanarak teorik derslerde yetkin mühendis olarak mezun olmaya yönlendirmekteyiz. Bu amaçla, lisans öğrencilerimizin öğrenme sürecinde uygulamalı eğitim kapsamında yapısal titreşim verilerini kaydeden ve görselleştiren Arduino tabanlı bir ivmeölçer cihazı ve yazılım araç seti tasarlanmıştır. Cihaz ArduinoUNO kartı, ADXL345 MEMS (Mikroelektromekanik sensör) ivmeölçer ve MicroSD kart modülü içermektedir. Cihazda hem Arduino hem de Python açık kaynaklı programlama dilleri kullanılmıştır. Titreşim verilerini kaydetmek ve yorumlamak için yaygın olarak kullanılan Arduino kartları ve MEMS sensörleri entegre edilerek toplam 15 adet ivmeölçer cihaz üretilmiştir. GTÜ lisans eğitimi programında yer alan 'CE_103 Introduction to Computers and Programming for Civil Engineers' dersi kapsamında, bu cihazlar, veri işlemede pratik bir uygulama sağlayan Python programlama dili kullanılarak titreşim verisi kaydı almak ve temel veri analizi pratiği yapmak için kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Arduino UNO Kartı, MEMS, ADXL345, İvmeölçer, Python

FIGARO: Accelerometer Device Design by Integration of Arduino UNO and MEMS Circuit

ABSTRACT:

Turkey is located in a geography with high seismicity. One of the precautions to be taken against earthquake hazard is to build earthquake resistant structures as well as to monitor the strength and health of these structures. Structures are subject to constant vibration under their own weight, even if they do not encounter earthquake force, depending on the material and design features they are built on, as well as the ground and environmental conditions. It is important to monitor these vibrations in order to follow the effect of damage or fatigue under the applied loads. These kinds of studies, called Structural Health Monitoring, are an important research subject for undergraduate Civil Engineering education and also a special topic for graduate degree studies. According to the innovations provided by technology, MEMS (micro electro-mechanical sensor) circuits are also used as vibration sensors. Another technology offered tool is the single-board circuit, in which all functions (ethernet

connection, memory card, processor etc.) are collected on a single card. Accelerometers are developed with the integration of these cards and sensors are widely used for vibration measurement and interpretation. Within the scope of this project, for the integration of 15 Arduino UNO board in the Earthquake and Structural Engineering laboratory instrument pool with MEMS sensors. It is aimed to provide scientific data as an “Accelerometer” to be used. In this study, within the scope of the ‘CE_103 Introduction to Computers and Programming for Civil Engineers’ course in the undergraduate education program in Gebze Technical University, these devices developed to be used to record vibration data and practice basic data analysis using the Python programming language, which provides a practical application in data processing. The designed accelerometer devices tested in laboratory by using shake table.

KEYWORDS: Arduino UNO Board, MEMS, ADXL345, Accelerometer, Python

1. GİRİŞ

Türkiye, dünyanın deprem açısından en aktif bölgelerinden biri olduğu için, sadece yer bilimleri eğitimi değil, inşaat mühendisliği eğitimi de mühendislik yapılarının sürdürülebilirliği açısından can/mal kayıplarının önlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Sismik risk farkındalığını artırmak için öğrencileri deprem bilimine dahil etme ihtiyacı, birçok araştırmacıyı uygulamalı öğrenme yoluyla eğitim araçları geliştirmeye yöneltmiştir (Cantore vd., 2003; Camassi vd., 2005; Courboulès vd., 2012; Sarao vd., 2013; Balfour vd., 2014; Zollo vd., 2014; Piangiamore vd., 2015). Hızla gelişen teknolojinin ürünlerinden biri titreşimleri ölçmek için kullanılan ve genellikle otomotiv sanayi, askeri alan, biyoteknoloji, bilgisayar ve elektronik cihazlarda tercih edilen oldukça hassas MEMS sensörleridir. Gelişen teknolojinin sağladığı avantajlardan bir diğeri olan Arduino, Raspberry Pi, Intel Galileo vb. geliştirme kartları da çeşitli amaçlarla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu devre kartları, Raspberry Pi gibi kendi işletim sistemine sahip bir bilgisayar gibi veya Arduino gibi bir mikrodenetleyici platformu olabilir. Devre kartlarının ve MEMS sensörlerinin ivme ölçer cihazları olarak birleştirildiği ürünler gerek yer bilimleri gerek ise inşaat mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (<https://raspberrysake.org/> vb.). Bu konudaki son çalışmalardan birinde Sarao ve ark. (2016), İtalyan hükümeti tarafından finanse edilen bir proje çerçevesinde sismik güvenlik konularında bilinç oluşturmak için Arduino ve Mikro Elektro-Mekanik Sensörler (MEMS) tabanlı sismograf kullanımına dayanan bir eğitim programı uygulanmıştır. Hasar tespit stratejisi sürecinde Yapısal Sağlık İzleme (Structural Health Monitoring-SHM) uygulamaları için de benzer cihazlar kullanılmaktadır. Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi (CSEM-EMSC) bünyesinde faaliyet gösteren "Quake Catcher Ağı" (QuakeCatcher, 2019) ve "Topluluk Sismik Ağı" (CALTECH, 2019), SHM ağlarına örnek olarak gösterilebilir.

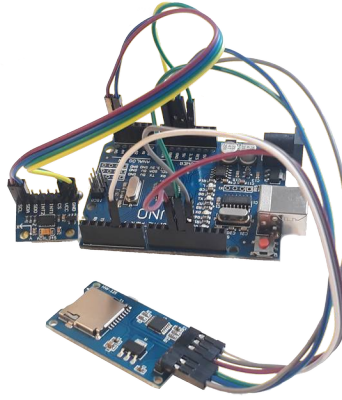
Dünya çapında uygulama alanları hızla artan MEMS tabanlı cihazların kullanımının ve bu cihazlarla toplanacak verilerin anlamlandırılabilirliğinin yoğun deprenselliğe sahip Türkiye’de inşaat sektörüne faydalı bir katkı sağlayacağı yadsınamaz bir gerçektir. Bu farkındalıktan dolayı MEMS verilerini toplama, işleme ve yorumlama becerisini kazanmanın gerekliliğin ötesine geçtiğine inanılmaktadır. Bu nedenle, proje çıktısının inşaat mühendisliği lisans eğitimi müfredatına önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bilindiği kadarıyla Türkiye’deki üniversitelerde lisans ve/veya lisansüstü eğitim içeriğinde MEMS tabanlı bir ivme ölçer cihazının veri toplama, işleme ve yorumlama kapsamında herhangi bir uygulama örneğine rastlanmamıştır.

Bu projede, Arduino UNO kartına, ADXL345 sensörü ve microSD kart modülü entegre ederek bir ivme ölçer tasarlanmıştır. Proje çıktısı olarak elde edilmiş olan yazılım kodları ve tasarım aşamalarının yer aldığı kılavuz doküman projenin GitHub sayfasında açık erişime sunulmuştur. Üretilen cihaz ile sarsma masasında sarsıntı verisi kaydı alınmıştır. Bu veri, uluslararası deprem izleme merkezleri tarafından da kullanılan Guralp CMG-5T

İvmeölçer cihazdan alınan veri ile karşılaştırarak test edilmiştir. İnşaat Mühendisliği lisans eğitim uygulamasında kullanmak üzere tasarlanan bu cihaz ile, mevcut öğrenci sayısı ve proje bütçesini gözeterek toplam 15 adet olacak şekilde cihaz havuzu oluşturulmuş ve tamamına sarsma masası testleri uygulanarak veri testleri yapılmıştır. Cihazların tamamı, dış etkenlerden korumak amacıyla üç boyutlu yazıcıyla üretilmiş olan kutulara yerleştirilmiştir.

2. PROTOTİP CİHAZIN TASARIMI VE YAPILAN TESTLER

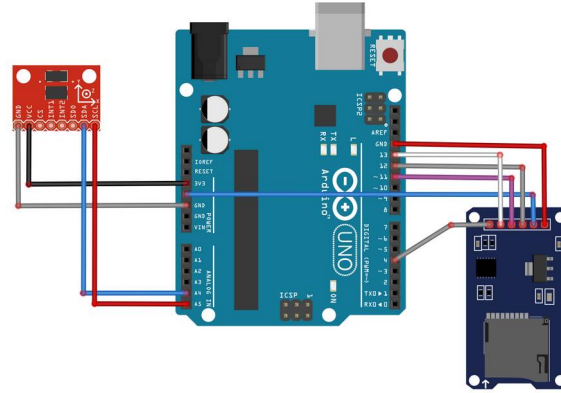
İvmeölçer, titreşimi, şoku veya eğimi herhangi bir yönde ölçebilen ve voltaja dönüştürebilen bir sensördür. Doğrusal ve açısal ivmeyi ölçmeyi ve analiz etmeyi sağlayan mekanik veya elektromekanik bir platform olabilir. Bir uygulamaya karşılık gelmek için belirli bir ivmeölçer spesifikasyonu gereklidir. Bu proje kapsamında tasarlanan ivmeölçer cihazı için kullanılan ekipman malzemesi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Arduino UNO, ADXL345 ve SD Kart Modülü Entegrasyonu

Arduino UNO, fiziksel programlanabilir devre kartı ve yazılımdan oluşan açık kaynaklı bir platformdur (Arduino, 2014). IDE (Integrated Development Environment) adlı metin düzenleme programı ile, ilgili yazılımı, USB kablosu ile PC üzerinden karta (board) yükler. Arduino IDE, Arduino kod dosyası "sketch" oluşturulduğunda işlenen ve derlenen, C ++ ile yazılmış bir koddur. Proje kapsamında 15 adet Arduino UNO kart kullanılmıştır. MEMS tabanlı sensörler geniş bir ürün yelpazesine sahiptir ve kullanım amacı gürültü seviyelerine göre değişiklik gösterir. Frekansları 0 Hz'e kadar ölçerler, ancak bu tür MEMS'ler özellikle askeri tabanlı projeler için kullanılır. İvme değerini m/s^2 birim cinsinden ölçer. Bu çalışmada tercih edilen ADXL345, 13 bit çözünürlükle $\pm 16g$ dinamik aralığa sahip 3 eksenli dijital ivmeölçer sensörüdür. Varsayılan ölçüm aralığı için tipik olarak 3,9 mg/LSB hassasiyetine sahiptir (ADXL345 Datasheet). Sensörün çıkış verilerine I²C (Inter-Integrated Circuit) veya SPI (Serial Peripheral Interface) arabirimleri aracılığıyla erişilebilir. Bu çalışmada, 3.3V veya 5V ile beslenebilen devre üzerinde 3.3V voltaj regülatör çipi ile kullanıcı tarafından seçilebilen çözünürlük ve eşik seçeneğine sahip olduğu için I2C dijital arayüz kullanılmıştır. Toplam 15 adet ADXL345 sensör, Arduino UNO kartlar üzerine monte edilerek proje kapsamında kullanılmıştır. Micro SD kartları okumak ve yazmak için SPI protokolü üzerinden standart bir ürün kullanılır. Mikro SD hafıza kartları, özellikle Arduino olmak üzere birçok mikrodenetleyici platformuna kolayca uygulanabilen bu modüle doğrudan entegre edilebilir. Bilgi saklama, okunan bilgileri hafıza kartına yükleme ve sürekli gelen bilgileri kaydetme gibi birçok uygulamada tercih edilir. Devre kartında yerleşik 3.3 V akım düzenleyici çipi vardır. Bu sayede 3.3 V ve 5V sistemleri ile rahatlıkla kullanılabilir. Proje kapsamında Arduino UNO'ya 15 adet microSD kart modülü entegre edilmiştir. Arduino'nun yükünü azaltmak için, zaman serisi veri kaydı ve depolama aracı olarak microSD kart kullanımı tercih edilmiştir. Arduino IDE içerisindeki dahili SD kart kütüphanesi, SPI

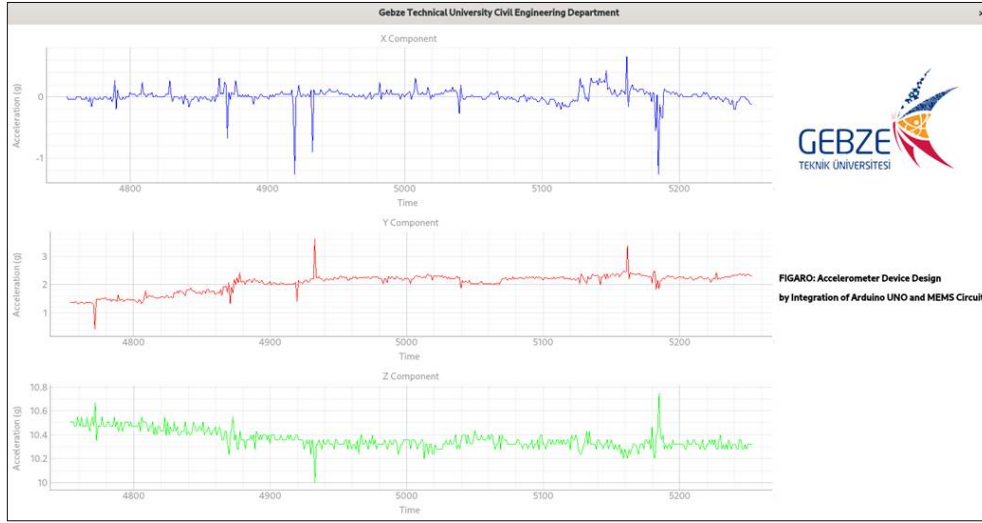
modunda SD kart ile iletişime izin verdiği için, SPI haberleşme protokolü kullanılmıştır. SD kartlar 2.0V - 3.6V besleme ile çalışır. Bu nedenle 3.3V ile çalışan Arduino'lara doğrudan SD kartlar bağlanarak toplam 15 adet 16GB kapasiteli kartın montajı sağlanmıştır. Sensör ve SD kart modülü şemadaki gibi jumper kabloları kullanarak Arduino kartına bağlanmıştır (Şekil 2). Arduino IDE'yi çalıştırdıktan ve örnek kodları varsayılan kütüphaneden bağlı ComPort aracılığıyla panoya yüklenmiştir. Arduino UNO yazılımı işletim sisteminden bağımsız çalıştığı için hem Linux hem de Windows tabanlı bilgisayarlarda örnek IDE uygulamaları yazmak mümkün olmuştur. Arduino'nun güç kaynağı olarak PC-USB bağlantısını kullanılmıştır. Bağlantı ve kodlamada kolaylık sağladığı için Inter Integrated Circuit (I²C) iletişim protokolü tercih edilmiştir (bkz. Veriler ve Kaynaklar). Arduino UNO, ADXL345 İvmeölçer ve microSD Kart modülü ile arayüz oluşturan ivmeölçerin devre şeması aşağıda verilmiştir (Şekil 2). ADXL345 yüzü yukarı bakacak şekilde yerleştirildiğinde, maksimum ivme +1g Z bileşeni olarak işaretlenirken, zıt tarafı minimumdur. X ve Y bileşenleri, ivme değerleri sıfıra yakın olan Z bileşenine dik yöndedir. ADXL345, 14 uçlu pimlere sahiptir. Yazılım aşamasına geçilmeden önce gerekli Arduino kütüphaneleri (Adafruit_ADXL345_U, Adafruit_Sensor, SD, SPI, Wire) yüklenmiştir.



Şekil 2. ADXL345 ve microSD Kart Modülünü Arduino UNO Geliştirme Kartına Bağlama

ADXL ivmeölçer, verilerini g (m/s²) olarak kaydeder. Bu kayda zaman bilgisi eklemek için, yazılımın çalışmaya başlamasından itibaren milisaniye sayısı döngüsünü sürdüren Arduino "millis" kütüphanesi kullanılmıştır. Bu sayaç, cihaz açıldığında başlar ve bu zamanı başlangıç zamanı olarak işaretler. Böylece, her veri örneği için zaman bilgisi sağlanmış ve cihazlara bağlı 16 GB belleğe sahip microSD kartlarda saklanabilen zaman serisi tipi ivme verileri oluşturulmuştur. Zaman serisi; X, Y, Z bileşenlerini ve zaman bilgisi sütunlarını içeren ".csv" (comma separated values) uzantılı bir doküman üretecek şekilde yapılandırılmıştır. Cihaz kimlik numarası ve proje etiketi bilgileri ilk altı satıra yazılır. FİGARO cihaz adlandırmaları "FGR" kısaltması ile başlar ve "010" ile "024" arasındaki sayılar ardışık olarak tanımlanır.

Bu projenin bir parçası olarak, ADXL345 ivmeölçer ve microSD kart cihazını Arduino kartına monte etmek ve ivmeölçer çıktısı olarak veri üretmek/depolamak için bir Arduino IDE yazılımı yazılmıştır ve ADXL345 çıktısını gerçek zamanlı olarak görselleştirmek için bir Python yazılımı yazılmıştır. IDE'nin "Serial Trace" ve "Serial Plot" araçları, sırasıyla gerçek zamanlı verileri ve hata ayıklama yazılımını izlemek için kullanılabilir. Bu araçlar Comport'tan gerçek zamanlı verileri izlemek için yeterli olmasa da verileri çevrimiçi olarak görselleştirmek için Python programlama dili kullanılmıştır. Bu kod sayesinde çevrimiçi ivme-zaman serileri bilgisayar ekranında görselleştirilmiştir (Şekil 3).

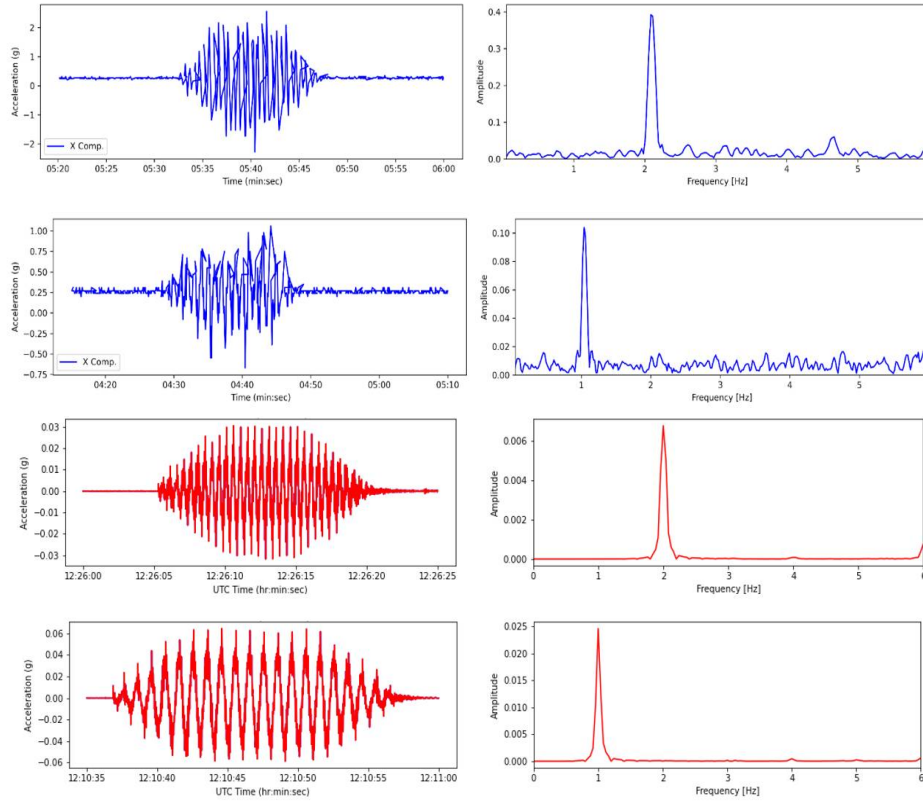


Şekil 3. Python'da Figaro'nun Canlı Veri Akışı Ekran Görüntüsü

3. PROTOTİP CİHAZ TESTİ

Projenin bu aşaması Gebze Teknik Üniversitesi Deprem ve Yapı Laboratuvarı'nda (GTÜ-DYL) gerçekleştirilmiştir. GTÜ-DYL, birçok uluslararası sismik gözlemevi tarafından tercih edilen ve sismik veri gözlemleri için gerekli teknik testleri ve koşulları sağlayan üç eksenli kütle dengeleyicili iki Güralp CMG-5T ivmeölçere sahiptir. Bu ivmeölçerler, 0.01 Hz ile 100 Hz frekansları (Güralp CMG-5T Veri Sayfası) arasında kayıt yapabilen yüksek Signal to Noise Ratio'a (SNR) sahip cihazlardır. FİGARO ivmeölçerlerinin kalibrasyonu için, referans cihaz olarak GTÜ-DYL'den Güralp CMG-5T ivmeölçerlerinden biri kullanılarak üç katlı bir çelik çerçeve üzerinde karşılaştırmalı sarsma masası testleri yapılmıştır. Sarsma masası testleri üç farklı temel hareket protokolü için gerçekleştirilmiştir: harmonik (sabit genlik-sabit frekans, sabit genlik-değişken frekans ve değişken genlik-sabit frekanslı sinüzoidal sinyaller), ani tek (patlama sinyali) ve rastgele (deprem sinyali). Güralp CMG-5T ivmeölçer ve her seferinde 5 farklı FİGARO cihazı sarsma masasına yerleştirilmiş ve toplam 3 set test kurulumu yapılmıştır. Böylece, üç set test verisi elde edilmiş ve tüm cihazların hareket protokolü çıktıları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

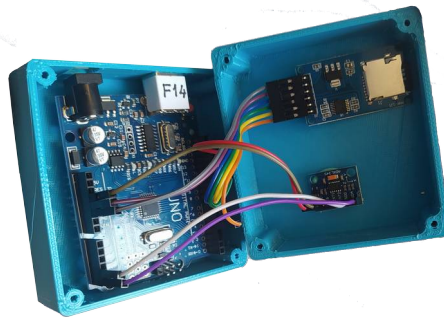
Sarsma masası testi sırasında giriş olarak verilen sentetik kayıtların frekans içeriğinin ve FİGARO cihazlarında kaydedilen sinyalin frekans içeriğinin uyumluluğunu kontrol etmek için "Fast Fourier Transform (FFT)" analizleri yapılmıştır. FİGARO ivmeölçerlerinde kaydedilen çıkış sinyallerinin tutarlılığını araştırmak için, ivme-zaman serileri çeşitli zaman aralıklarında incelenmiş ve Şekil 4'te karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Frekanslar arasındaki tutarlılık açıkça görülmektedir.



Şekil 4. FGR_19 isimli FİGARO (mavi) Cihazının ve Guralp CMG-5T (kırmızı) İvmeölçerin İvme-zaman Grafikleri, 1 Hz ve 2 Hz Sinüs Dalgaları ile Sallama Platformu Test Sonuçları Sol Sütunda Verilmiştir. FFT Analizleri Sağ Sütunda Verilmiştir.

Prototip cihaz testi kapsamında yapılan işlem adımları ilk aşamada tek bir cihaz üzerinde uygulanmış ve bu cihaz testlerinden başarılı sonuçlar alınmıştır. Bir sonraki aşamada, benzer bir tasarıma sahip 14 cihaz daha monte edilerek ve prototip cihaza uygulanan aynı adımları izleyerek sarsma masası testleri yapılmıştır.

FİGARO cihazlarını olumsuz koşullardan korumak için bir kutu tasarlanmış ve cihazlar 3D baskılı kutulara yerleştirilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. FİGARO Cihazı ve 3D Kutusu

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ADXL345 sensörü ve microSD kart modülünü Arduino UNO kartına entegre ederek bir ivmeölçer tasarlanmıştır. Proje çıktısı olarak elde edilen yazılım kodlarını ve tasarım aşamalarını içeren kılavuz belge, çalışmanın GitHub sayfasında açık erişim için hazır hale getirilmiştir. Titreşim verileri, üretilen cihazla birlikte sarsma masası testlerinde kaydedilmiştir. Bu veriler, uluslararası deprem izleme merkezleri tarafından da kullanılan Güralp CMG-5T ivmeölçer cihazından elde edilen verilerle karşılaştırılarak test edilmiştir. İnşaat Mühendisliği lisans eğitimi uygulamasında kullanılmak üzere tasarlanan toplam 15 cihaz oluşturulmuş ve hepsine sarsma masası testleri uygulanarak veri testleri yapılmıştır. Tüm cihazlar, dış etkenlerden korunmak amacıyla 3D yazıcı ile üretilen kutulara yerleştirilmiştir.

5. VERİ ve KAYNAKLAR

Bu makalede, hiçbir dış veri kullanılmamıştır. Ekipman kalibrasyonu için kullanılan veriler bir sarsma masası test verileri olarak kaydedildi ve FIGARO GitHub sayfasında ulaşılabilmesi için hazırlandı (<https://github.com/SeismoStructure/FIGARO>). Hem ARDUINO IDE, hem de Python'da yazılan kod aynı GitHub adresinden yayınlanacaktır (<http://www.github.com> ve GitHub, 2014b, son erişim Haziran 2021). I2C protokolü hakkında bilgi verilen adreste mevcuttur <http://i2c.info> (son erişim tarihi Mayıs 2021).

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya değerli katkılarından dolayı lisans öğrencilerimiz Mehmet Buğra İNCE ve Ahmet Burak BİLGİÇ'e teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

ADXL345, Data sheet, http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL345.pdf (2013) (Son erişim May 2021).

Arduino, Language reference, <http://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage> (2014) (last accessed May 2021).

Autodesk / Fusion360, Autodesk Inventor. Version 22.0. San Rafael, CA: Autodesk; <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR> (2018) (Son erişim May 2021).

Balfour, N. J., M. Salmon, and M. Sambridge, The Australian Seismometers in Schools Network: Education, outreach, research, and monitoring, *Seismol. Res. Lett.* 85, 1063–1068, doi: 10.1785/0220140025. (2014).

Camassi, R., R. Azzaro, V. Castelli, F. La Longa, V. Pessina, and L. Peruzza, “Knowledge and practice.” Educational activities for reduction of earthquake impact: The EDURISK project, *Proceedings of the international conference 250th Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, Portugal, 1–4 November 2005, 100–104. (2005).

Cantore, L., A. Bobbio, F. Di Martino, A. Petrillo, A. Simini, and A. Zollo, The EduSeis Project in Italy: An educational tool for training and increasing awareness of seismic risk, *Seismol. Res. Lett.* 74, 596–602, doi: 10.1785/gssrl.74.5.596. (2003).

Courboux, F., J. L. Berenguer, A. Tocheport, M. P. Bouin, E. Calais, Y. Esnault, C. Larroque, G. Nolet, and J. Virieux, Sismos à l'école: A worldwide network of real-time seismometers in schools, *Seismol. Res. Lett.* 83, 870–873, doi: 10.1785/0220110139. (2012).

First Sketch, Sketch, <http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Sketch> (2014) (Son erişim May 2021).

GitHub, adafruit/Adafruit_Sensor, http://www.github.com/adafruit/Adafruit_Sensor (2014a) (Son erişim May 2021).

GURALP_CMG-5TD Digital Output Strong Motion Accelerometer and Accelergraph (https://www.ldeo.columbia.edu/LCSN/News/CMG-5TD_rev2.pdf)

Piangiamore, G. L., G. Musacchio, and N. A. Pino, Natural hazards revealed to children: The other side of prevention, *Geol. Soc. London, Sp. Publ.* 419, 171–181, doi: 10.1144/SP419.12. (2015).

Saraò, A., C. Barnaba, and L. Peruzza, Keeping focus on earthquakes at school for seismic risk mitigation of the next generations, *Geophys. Res. Abstr.* 15, Article number EGU2013-10560. (2013).

Sarao, A., M. Clocchiatti, C. Barnaba and D. Zuliani, Using an Arduino seismograph to raise awareness of earthquake hazard through a multidisciplinary approach, *Seismol. Res. Lett.* 87, 186-192, doi: 10.1785/0220150091.(2016).

Quake-Catcher Network (QCN), The Quake-Catcher Network, <http://qcn.stanford.edu> (2014) (Son erişim May 2021).

Zollo, A., A. Bobbio, J. L. Berenguer, F. Courboux, P. Denton, G. Festa, A. Sauron, S. Solarino, F. Haslinger, and D. Giardini, The European experience of educational seismology, in *Geoscience Research and Outreach*, V. C. H. Tong (Editor), Springer, Dordrecht, The Netherlands, 145–170, doi: 10.1007/978-94-007-6943-4_10. (2014).