



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8(2): 153-160 (2017)
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 8(2): 153-160 (2017)

Derleme Makale / Review Paper

Açık Kaynaklı Geliştirme Platformlarının Geoteknik Laboratuvarı Çözümlerinde Kullanımı

Nihat DİPOVA

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Antalya

Geliş Tarihi (Received): 25.01.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 03.07.2017

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author): ndipova@akdeniz.edu.tr

☎ +90 242 3106322 📠 +90 242 3106306

ÖZ

Bu çalışma; geoteknik laboratuvarı ihtiyaçlarını düşük maliyetle karşılamak amacı ile açık kaynaklı donanımların kullanılabilirliğini irdelemeyi ve bu konuda literatürden örnekler sunmayı amaçlar. Dünyada üretimin artması sonucu elektronik donanım malzemeleri eskiye oranla daha ekonomik ve kolay temin edilebilmektedir. Ayrıca son yıllarda açık kaynaklı geliştirme platformları hiç olmadığı kadar yaygın hale gelmiştir. Açık kaynak felsefesini benimseyen donanımlar içinde en popüler Arduino geliştirme platformlarıdır. Modüler yapısı, maliyet avantajı ve örnek uygulamalara ulaşma kolaylığı sayesinde elektronik düzenek ihtiyaçları için bir alternatif haline gelmiştir. Geoteknik uygulamalarda en çok kullanılan basınç, yük, deplasman/deformasyon, sıcaklık, nem gibi değişkenlerin çok kanallı olarak ölçülebilmesi, ilave çevre birimleri ile otomatik kontrole izin vermesi, kolay bir yazılımla sayısal işlem yapabilme yeteneği, veri loglama özelliği ile Arduino ve diğer geliştirme platformlarının pratik çözüm aracı olduğu düşünülmektedir. Donanımın modüler yapısı, elektronik uzmanlığı gerektirmeden düzeneklerin oluşturulup yazılımlarının hazırlanması, tekil araştırma ve uygulama projeleri için hızlı ve ekonomik deney düzeneklerinin oluşturmasına imkân tanıyacaktır.

Anahtar Kelimeler: Açık kaynaklı Donanım, Arduino, Geoteknik laboratuvarı, Ölçme, Sensörler

Use of Open Source Development Platforms in Geotechnical Laboratory Solutions

ABSTRACT

This study aims to evaluate usability of open source equipment to meet the needs of geotechnical laboratories at low cost and to give some examples from literature in this topic. As a result of the increase in production in the world, electronic hardware materials can be supplied more economically and easily than the past. Also, in recent years open source development platforms have become more prevalent than ever. Among the hardware that embraces open source philosophy, Arduino development platforms are the most popular. Due to the modular structure, cost advantages and ease of reaching example applications, they have become alternative to electronic assembly needs. Arduino and other development platforms can be practical solution tool for multi-channel measurement of variables such as pressure, load, displacement/deformation, temperature and humidity which are the most commonly used in geotechnical applications, automatic control with additional peripherals, to perform numerical processing with easy software and data logging. The modular structure of the equipment will allow the creation of fast and economical experimental setups for individual research and application projects, without the need for electronic expertise.

Keywords: Arduino, Geotechnical laboratory, Measurement, Open Source Hardware, Sensors

GİRİŞ

Konsolidasyon, geçirgenlik, kayma mukavemeti gibi parametrelerin doğru tespiti için geçmişte kullanılan geoteknik test sistemleri, göreceli olarak pahalı ve karmaşık yapıda olmalarının yanında, çalışması oldukça emek ve zaman gerektiren sistemlerdi. Tecrübeli operatör yetiştirilmesi ise oldukça uzun zaman almaktaydı. Bu sorunlara çözüm üretmek amacıyla otomatik kontrollü elektronik cihazlar tasarlandı. Fiziksel değişimler ise analog sensörler aracılığıyla algılanıp, analog-dijital çeviriciler (ADC) ile sayısal veriye dönüştürülüp veri depolayıcılar (data logger) aracılığıyla bilgisayara kaydedildi. Bu dönüşüm mekanik açıdan bir sadeleşmeye yol açsa da elektronik maliyeti artırdı. Laboratuvar operatörlerine ADC ve datalogger eğitimi zorunluluğu getirdi. Cihaz üreticilerinin ayrı ayrı ürettikleri cihazların birbiri ile uyumlu olmaması firma bağımlılığını artırdı. Sensörler, gittikçe artan oranda hayatımızın içinde yer almakta, bu da sensörlere ulaşılabilirliği kolaylaştırmakta ve fiyatı düşürmektedir. Günümüzde mikroişlemci teknolojisindeki gelişme ve açık kaynaklı donanımların yaygınlaşması geoteknik laboratuvarlarında yerinde alternatif çözümler üretme imkânı sağlamıştır. Ekonomik açık kaynaklı donanımlar ve çevre birimleri (sensörler, kontrol elemanları) kullanılarak geoteknik laboratuvarlarında projeye özgü düzeneklerin hızlı ve ekonomik yolla oluşturulması mümkün olabilecektir.

Mikroişlemciler elektronik aygıtlarda büyük bir değişimin başlatıcısı olmuştur. 70'li yıllardan sonra, mikroişlemcilerin üretimi hızla artarak günümüzde neredeyse her cihazın içinde yer alacak kadar yaygınlaşmıştır (Betker vd. 1997). 80'li yıllardaki gelişme sonucu "mikrodenetleyici" halini almıştır. Bir mikrodenetleyici, bir mikroişlemcinin, hafıza ve giriş - çıkışlar, kristal osilatör, zamanlayıcılar (timers), seri ve analog giriş çıkışlar, programlanabilir hafıza gibi bileşenlerle tek bir tümleşik devre üzerinde üretilmiş halidir. PIC ailesi mikrodenetleyiciler ucuz bir mikrodenetleyici olarak 90'lı yıllarda kullanıma sunulmuştur. Genel olarak bu gruptaki mikrodenetleyicilerde ortak olarak 8 bit mikroişlemci, program belleği, veri belleği, paralel port, sayıcı, kesme denetleme birimi bulunmaktadır. Günümüzde de PIC ailesi mikrodenetleyiciler hâlâ yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Morton 2001). Günümüzde en yaygın kullanılan açık kaynaklı donanımlardan Arduino platformlarında Atmel mikrodenetleyicileri, Raspberry platformunda ise Broadcom mikrodenetleyicileri kullanılmaktadır.

Yakın geçmişte, açık kaynak felsefesi hızlı gelişme göstermiş, bilim, teknoloji, sanat ve tasarım alanında çok sayıda ürün açık kaynaklı paylaşımına sunulmuştur. Arduino ve RaspberryPi, Beaglebone gibi geliştirme

platformları da bu felsefeyi benimsemiş olup, baskı devre kartlarından, CAD çizimlerine ve örnek uygulamalara kadar birçok ürün internet üzerinden paylaşılmaktadır. Açık kaynak kodlu geliştirme platformları ile sensörlerden gelen analog ve sayısal sinyallerin okunmasını, analog sinyalin dijital dönüşürülmesi, sinyallerin işlenmesi, sayısal verinin depolanması, işlenen veriler doğrultusunda çevre birimlerinin otomatik kontrolü gibi işlemler yapılabilmektedir. Modüler olarak ilave donanımın eklenmesi de diğer bir avantajıdır. Kar amacı güdülmeyeceğinden maliyet oldukça düşük olup orijinalinin fiyatı 20-35 Euro aralığına, kopya ürünlerin ise fiyat 5-10 Euro aralığına kadar düşmektedir. Düşük fiyatlı olanlarında gerçek zamanlı kamera görüntüsü aktarma, sinyal işleme gibi ağır işler yapılamamakla birlikte, özel fonksiyonlu kalkan (shield) ilavesi ile alternatif çözümler üretilebilmektedir.

Bu çalışmada; açık kaynaklı donanım kavramı, prototip geliştirme platformları ve açık kaynaklı platformların en yaygın olan Arduino platformunun tanıtımı yapılacak, bu platformlarla birlikte kullanılacak çevre birimleri tanıtılacak, geoteknik laboratuvarı çözümlerinde geliştirme platformlarının kullanım olanakları sunulacak, literatürdeki örneklerden bahsedilecektir.

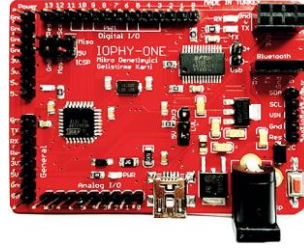
AÇIK KAYNAKLI GELİŞTİRME PLATFORMLARI

Açık kaynak düşüncesi, şirketler tarafından kodları saklanmış, değiştirilemeyen yazılımlar yerine herkesin kodlarını şeffaf bir şekilde görebildiği, değiştirebildiği, gelişimine ve dağıtımına katkıda bulunabildiği bir anlayışın ürünü olan Unix işletim sistemi ile başlamıştır. Sonraki yıllarda, açık kaynak dünyası beklenmeyen bir şekilde gelişme göstermiş ve bir felsefe haline almıştır (Vainino ve Vaden, 2007). Bilim, teknoloji, sanat ve tasarım alanında açık kaynaklı paylaşımına sunulmuş ve paylaşımı lisanslanmış çok sayıda ürün bulunmaktadır (Levine ve Prietula, 2014; Raymond, 2001; Pearce, 2012). Mikrodenetleyici kullanan geliştirme platformları da bu felsefeyi benimsemiştir. Bu geliştirme platformlarına ilişkin baskı devre kartlarından, CAD çizimlerine ve örnek uygulamalara kadar birçok ürün internet üzerinden paylaşılmaktadır. Kullanıcılar, bu dokümanlardan yararlanarak düzenekleri kendi talepleri doğrultusunda geliştirebilmektedir.

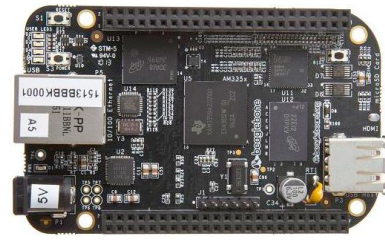
Belirtmek gerekir ki, günümüzde açık kaynak felsefesini benimsemiş mikrodenetleyici mimarisini kullanan çeşitli geliştirme platformları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Arduino, Raspberry Pi, Arm Mbed, Beaglebone, pcDuino, IOPHY-One, Intel Galileo olarak sayılabilir (Şekil 1). Bunlardan en yaygın olanı Arduino özel başlık halinde tanıtılacak olup diğerleri için kısa açıklamalar aşağıda verilmiştir.



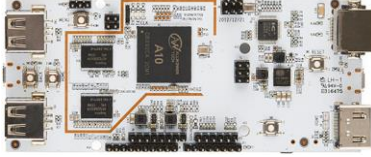
Raspberry Pi



IOPHY-One



Beaglebone



pcDuino



Arm Mbed



Intel Galileo

Şekil 1. Bazı yaygın geliştirme platformları

Raspberry Pi: Kar amacı gütmeyen Raspberry Pi Vakfı tarafından, kendi işletim sistemi olan tek kart bilgisayar olarak geliştirilmiştir. Sadece bir geliştirme kartı olmanın ötesinde avantajlara sahiptir. Bir monitöre ve klavyeye bağladığınızda Linux yüklü işletim sistemi ile birlikte bir kişisel bilgisayar halini alır. Akıllı TV, oyun konsolları ve birçok elektronik aletin geliştirilmesinde Raspberry Pi önemli bir kullanım alanına sahiptir. Bir diğer önemli bir özelliği ise Arduino ile birlikte kullanılabilmesidir.

Beagle Bone: Beagle Bone için Raspberry Pi ve Arduino'nun birleştirilmiş hali denilebilir. ARM tabanlı işlemciye ve Linux işletim sistemine sahip olan Beagle Bone da hem bir geliştirme kartı hem de bir tek kart bilgisayar özelliklerine sahiptir. Üzerindeki çok sayıdaki pinleri sayesinde ilave bir karta gerek olmadan proje geliştirmeye imkân sağlamaktadır. Programlama ortamının web üzerinde olması da Beagle Bone'u diğerlerinden farklı kılan bir özelliktir.

ARM mbed: ARM mbed ARM işlemci tabanlı bir mikro işlemci kartı olup üst seviye mühendislere hitap etmektedir. ARM mbed'in en büyük özellikleri C++ ile kolaylıkla programlanabilmesi ve tıpkı Beagle Bone gibi geliştirme ortamının web üzerinde olmasıdır. ARM mbed akıllı cihazlar ve sistemler geliştirmek isteyenler için ileri seviye bir alternatiftir.

pcDuino: pcDuino adından da anlaşılacağı üzere tek kart bilgisayar ve Arduino'nun tamamen birleşmiş halidir. pcDuino'nun en önemli özelliği pinlerinin Arduino UNO ile aynı dizilimde olmasıdır. Bu sayede mevcut olan Arduino kalkanları ilave bir ara kart olmaksızın

pcDuino ile birlikte kullanılabilir. Dahili kablosuz bağlantı (Wi-Fi) modülü ise pcDuino'nun bir diğer avantajıdır.

IOPHY-One: Türkiye'de geliştirilen IOPHY-One, içerisinde Atmel-ATmega328P mikro denetleyici barındıran geliştirme platformudur. Çalışma sistematığı Arduino ile uyumlu olacak şekilde tasarlandığından, Arduino kütüphanesi doğrudan kullanılabilir.

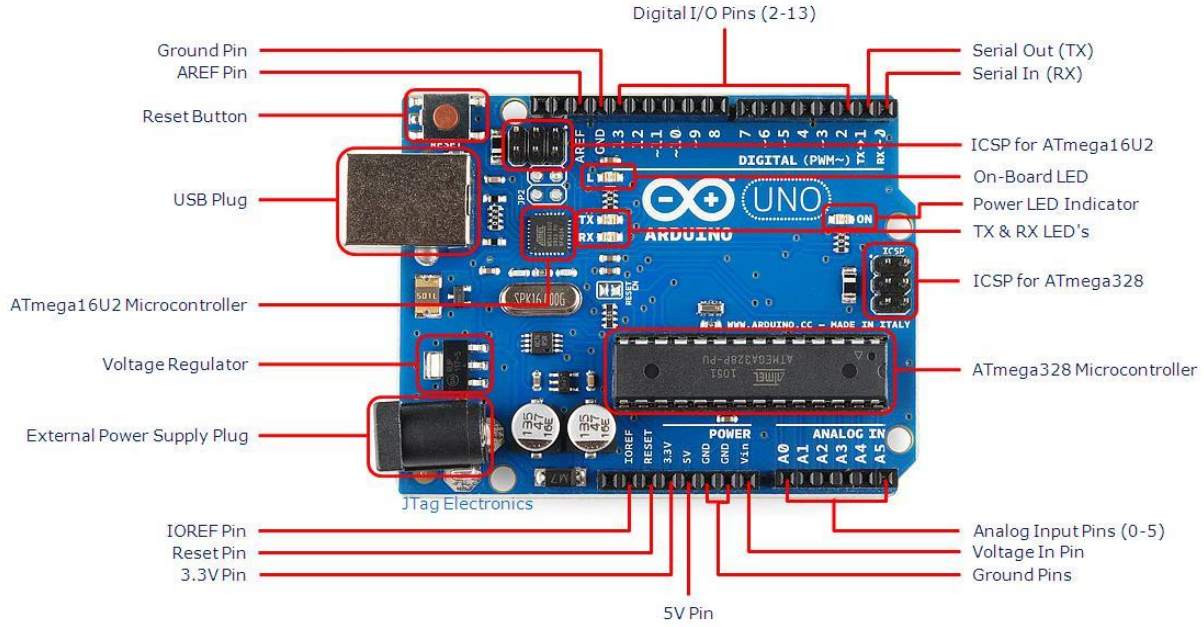
Intel Galileo: Intel Galileo Arduino PINleri ile, dolayısıyla Arduino kalkanları ile uyumlu olup programlaması Intel'in çıkardığı özel versiyon olan Arduino IDE'si ile yapılmaktadır. Bu hali ile "Arduino'nun gelişmiş bir versiyonu" gibi algılanmasına rağmen gerçekte "Arduino kodlarını da çalıştırabilen bir linux bilgisayar"dır. Intel Galileo'nun içerisinde bir linux çekirdeği bulunmaktadır. Bu linux çekirdeği Arduino kodlarınızı kullanmanız için yeterlidir. WiFi, python ile programlama, openCV ile görüntü işleme, SSH gibi özellikleri kullanılmak istendiğinde bir micro SD karta Intel'in sunduğu linux dağıtımını kurup Intel Galileo'ya takılması gerekmektedir.

ARDUINO

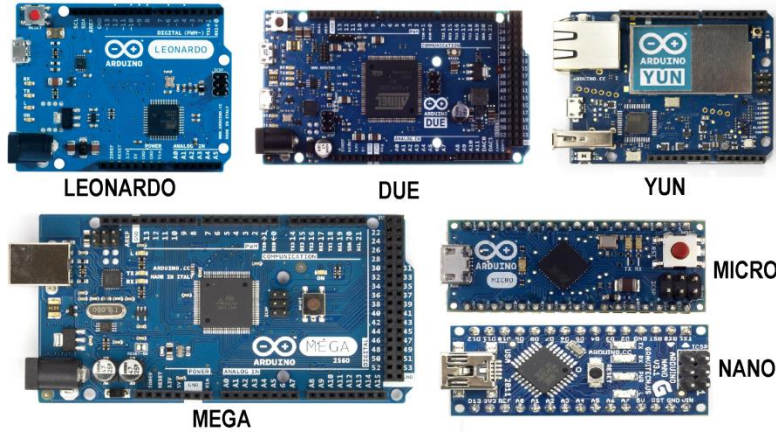
Arduino, açık donanımlı ve açık kaynak yazılımı ile geliştirilen bir proje ürün ailesine verilen genel isimdir (Taşdemir, 2014). Değişik seviyelerde kullanımlar için farklı versiyonlar üretilmiştir. Kar amacı gütmeyen bir girişimin ürünü olduğu için diğer platformlara nispeten daha ekonomiktir. Kopya üretimi de mümkün olduğundan, orijinal olanından daha ucuza temin etmek mümkündür. Arduino'yu yaygın ve ünlü yapan bir diğer özelliği ise birçok farklı firmanın ürünlerini Arduino'yla uyumlu olarak üretmesidir (D'Ausilio, 2011).

Arduino geliştirme kartlarının donanımında bir adet Atmel AVR mikrodenetleyici (ATmega168, ATmega328, ATmega2560, ATmega32u4), programlama ve diğer devrelere bağlantı için gerekli devre elemanları bulunur. Her Arduino kartında en az bir 5 voltluk regüle entegresi ve bir 16MHz kristal osilatör bulunur. Asgari altı adet analog giriş, 13 adet sayısal giriş-çıkış pini

bulunmaktadır. Arduino ile hem analog hem de sayısal sinyallerin alınması ve işlenmesi mümkündür. Arduino ile uygulama geliştirmek için öncelikle yapılacak uygulamaya uygun Arduino kart seçilmelidir. Genellikle başlangıç için Arduino Uno (Şekil 2) tercih edilmekle birlikte Leonardo, Duo, Yün, Micro, Mega ve Nano modelleri de bulunmaktadır (Şekil 3).



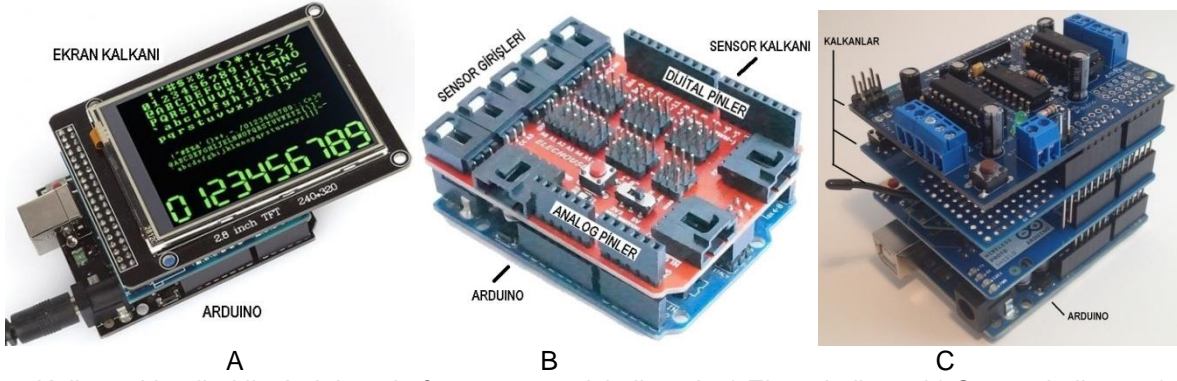
Şekil 2. Arduino Uno geliştirme platformu



Şekil 3. Arduino geliştirme platformu ailesinin diğer yaygın kullanılan üyeleri

Arduino bir bilgisayara bağlanarak çalıştırılabildiği gibi harici güç kaynağı (örneğin 9V pil) bağlanarak bağımsız olarak da çalışabilir. Arduino'nun bilgisayara bağlantısı ise USB arayüzü vasıtasıyla yapılır. Arduino'ya ilave donanım eklemek, mevcut pinlere sensör bağlan-

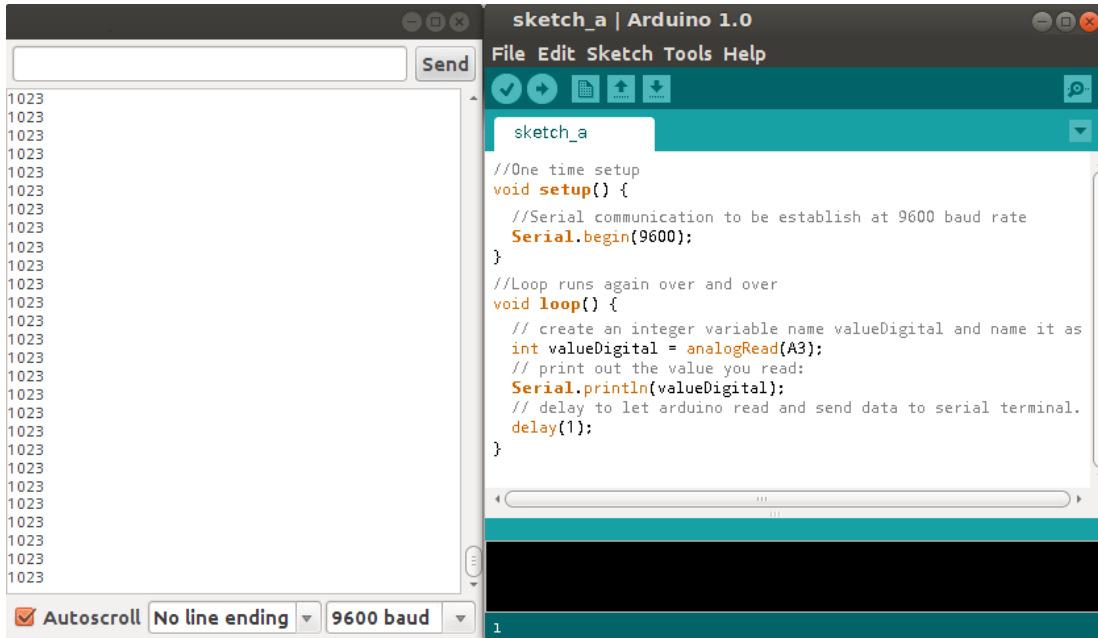
tısını kolaylaştırmak veya bir bilgisayara bağlamadan sonuçları görüntülemek amacı ile bir ekran bağlamak amacı ile kalkan (shield) adı verilen eklentiler geliştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Kalkan eklentileri ile Arduino platformunun genişletilmesi, a) Ekran kalkanı, b) Sensör kalkanı, c) Çoklu kalkan uygulaması

Arduino kartlarında programlama için harici bir programlayıcıya ihtiyaç duyulmaz, çünkü karttaki mikrodenetleyiciye önceden bir bootloader programı yazılıdır. Arduino programlama dili olarak C++ kullanılmakta olup, genel olarak üç bölümden oluşur: i) tanımlamalar, ii) kurulum, ve iii) ana program bloğu. Arduino'ya enerji verildiğinde veya yeniden başlatıldığında "void setup()" fonksiyonu bir defa çalışır. Bu fonksiyon değişkenler, pin modları, seri iletişim gibi tanımlamalar için kullanılır. Setup fonksiyonundan sonra döngü şeklinde sürekli çalışan, ana program kodlarının içine yazıldığı "void loop()" fonksiyonu yer alır. Program yazımı belirli kalıpta, bloklar halinde olur. Bloklar, { } parantezleri ile oluş-

turur. Komutlar aynı veya alt alta satırlara yazılabilirler. Tüm komutlar, noktalı virgül (;) ile bitir. Yalnız blok başlatan ifadelerden sonra noktalı virgül kullanılmaz. Eğer hazır bir kütüphane kullanılacaksa, programın başında aktifleştirilir (çağrılır). Açıklamalar "//" ve "/* */" (Birden fazla satır için) ile yazılır. #define ile eşdeğer ifade atanır. #include ile kütüphane çağrılır. İşlem sonuçları seri ekrana "Serial.print();" komutu ile yazdırılır. İşlem sıklığı "delay();" komutu ile belirlenir (Taşdemir, 2014). Örnek olarak analog bir değişkenin analog veri olarak alınması ve seri port ekranına yazdırılması şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Örnek Arduino kodu ve seri ekran görüntüsü

GELİŞTİRME PLATFORMU İLE VERİ TRANSFERİ VE OTOMATİK KONTROL

Fiziksel büyüklükleri algılayan ve bu algılama sonucunda ihtiyaç duyulan işlemlerin yapılmasına izin veren elemanlara sensör (algılayıcı) adı verilir. Sensörlerin algıladığı bilgiyi elektrik enerjisine çeviren elemanlara ise transdüser (çevirici) denir. Sensör ve transduserleri kesin çizgilerle birbirinden ayırmak biraz zordur. Örneğin mikrofon sesi algılayan bir sensör olmakla birlikte, ses dalgalarını içindeki bobin veya piezoseramik aracılığıyla elektrik akımına dönüştürdüğü için bir transduserdir. Bu yüzden bu iki kelime uygulamada eş anlamlı olarak kullanılabilir. Fiziksel bir değişimin elektriksel analog bir veriye dönüştürülmesi sonrasında, bu analog verinin dijital (sayısal) veriye dönüştürülmesi gerekir. Bu işlemi yapan entegre devrelere analog-dijital çevirici (ADC) denir. Geliştirme platformlarında ADC entegre bulunmaktadır. Bu sayede analog girişlere sensörlerin bağlanması, sensör verilerinin sayısal büyüklüğe çevrilmesi ve seri port üzerinden bilgisayara aktarılması mümkün olabilmektedir.

ADC entegrelerin önemli iki özelliği hız ve çözünürlüktür. Çözünürlük, bir ADC'nin analog girişindeki en küçük değer değişimine karşılık çıkışındaki dijital farklılıktır. Çözünürlük çıkıştaki bit sayısı ile ölçülendirilir. Uygulamada 8, 10, 12, 14, 15, 16, 18, 20 ve 24 bit çözünürlükte değişik ADC entegreleri kullanılmaktadır. Dijital çıkışın bit sayısının fazla olması çözünürlüğü artırdığından, analog-dijital çeviricilerde çözünürlüğün yüksek olması istenir. ADC girişine uygulanan analog sinyal, minimum ve maksimum genlik değerleri arasında eşit aralıklara bölünür. Her aralık dijital bir bitlik değişime karşılık gelir. Örneğin "n" bit çözünürlüğe sahip bir ADC kullanıldığında, analog sinyalin minimum-maksimum değerleri arasındaki fark 2^n adet eşit parçaya bölünmüş olur.

Örnek olarak, Arduino UNO geliştirme kartında 10 bit çözünürlüğe sahip ADC bulunmaktadır. Arduino 5V gerilimle çalışmakta olduğundan, bu 10bit ADC, 0V ile 5V arası gerilimleri $2^{10} = 1024$ adım çözünürlük ile okuyabilir. Analog giriş pinlerinden birine uygulanan 0V gerilim 0 değerine, aynı şekilde 5V gerilim ise 1023 değerine karşılık gelen sayısal veriye dönüşür. Eğer 5V'tan daha düşük bir gerilimi referansımızın üst noktası olarak almamız gerekirse, Arduino üzerinde bulunan AREF pinini kullanmamız ve kodda küçük bir değişiklik yapmamız gerekir. Bu pine herhangi bir gerilim uygulamadığımız takdirde ADC 0-5V arasında çalışacaktır.

Otomatik kontrol sistemleri, insan müdahalesi olmaksızın kendisini denetleyerek bir ekipmanın istenilen koşullarda çalışmasını sağlayan sistemlerdir. Geliştirme kartları ile sensörlerden gelen sinyalleri işleyerek, çev-

resiyle etkileşim içerisinde olan sistemler tasarlanabilir. Çevre birimleri kullanılarak tasarlanılan çalışmaya özgü sıcaklık, ses, hareket, ışık gibi tepkiler oluşturulabilir. Bir selenoid anahtar (röle) ile değişik devreler otomatik kontrolün gereği olarak açılıp kapanabilir. DC motorlarda açma-kapama, yön değiştirme ve hız ayarlama yapılabilir. Step motor kontrolü ve konum belirlenmesi sağlanabilir. Sinyal genişlik modülasyonu (PWM=Pulse Width Modulation) ile ışık şiddeti veya motor devir ayarı gibi işlemler gerçekleştirilebilir. Çok sayıda sensörden gelen bilgiler işlendikten sonra çok sayıda çevre birimine komut oluşturulabileceğinden, birçok otomasyon projesi geliştirme kartları ile mümkün olabilmektedir.

GEOTEKNİK LABORATUVARI KULLANIM OLANAKLARI

Geleneksel laboratuvar uygulamalarında basınç, yük, mesafe gibi fiziksel değişimler analog sensörler aracılığıyla algılanıp, analog-dijital çeviriciler ile sayısal veriye dönüştürülüp veri depolayıcılar aracılığıyla bilgisayara kaydedilmektedir. Bu işlemler için veri kayıt cihazları (data logger) kullanılması zorunludur. Veri kayıt cihazlarının pahalı oluşları bir yana, cihaz üreticilerinin ayrı ayrı ürettikleri düzeneklerin birbiri ile uyumlu olmaması da sık karşılaşılan durumlardandır. Günümüzde mikrodenetleyiciler ve açık kaynaklı donanımlardaki gelişme geoteknik laboratuvarlarında alternatif çözümler üretme imkanı sağlamıştır. Ekonomik açık kaynaklı donanımlar ve çevre birimleri (sensörler, kontrol elemanları) kullanılarak geoteknik laboratuvarlarında projeye özgü düzeneklerin hızlı ve ekonomik yolla oluşturulması mümkün olabilecektir. Aşağıda geoteknikte ihtiyaç duyulan bazı fiziksel büyüklüklerin ölçülmesi, loglanması ve otomatik kontrol işlemlerinin geliştirme kartları ile gerçekleştirilmesine ilişkin ayrıntılar ve literatürden bazı örnekler verilmektedir.

Sıcaklık: Geoteknik uygulamalarda doğrudan zeminin sıcaklığının ölçümü, sıcaklık değişiminin gerilme ve deformasyonda neden olacağı değişimin incelenmesi ve ölçüm aletlerinin sıcaklık değişimine duyarlılığının belirlenmesi amacıyla sıcaklık ölçümleri yapılmaktadır (Dunncliff, 1993). Özel uygulamalarda bir ortamın koşullandırılması için otomatik kontrol amaçlı olarak da sıcaklık ölçümlerine gerek duyulur. Arduino ile sıcaklık ölçümü termistör (sıcaklığa duyarlı direnç) veya voltaj çıkışlı sıcaklık entegreleri (LM35, LM36 vb) kullanılarak gerçekleştirilir. Sıcaklık entegreleri 0-5V voltaj çıkışlı olup doğrudan Arduino ya bağlanıp, kalibre edildikten sonra kullanılabilir. Termistörler ise sıcaklık değişimine direnç değişimi ile tepki verir. Bu nedenle besleme voltajı uygulanıp, bir gerilim bölücü direnç eklenerek, analog in pininden voltaj girişi sağlanmalıdır.

Nem: Geoteknik laboratuvar deneylerinde nem ölçümü doygun olmayan zemin deneylerinde (Delage vd. 2008, Arsha Lekshmi ve Arnepalli 2016) ve zemin-su karakteristik eğrilerinin (Han ve Zhou, 2013) elde edilmesinde gerekli olmaktadır. Rezistif ve kapasitif olmak üzere iki tür sensör yaygın olarak kullanılmaktadır. Rezistif sensörlerde polimerden üretilmiş higroskopik plaka üzerine girişim halinde olan iki elektrot plaka yerleştirilmiştir. Polimer bünyesindeki nem arttıkça elektrotlar arası direnç değişmektedir. Kapasitif sensörlerde ise iki plaka elektrot içine yerleştirilmiş polimer plakanın nemi değişikçe plakalar arası dielektrik sabiti değişmektedir. Rezistif sensörler kapasitif olanlarına göre daha düşük hassasiyete sahip olmalarına rağmen ekonomik olduklarından uygulamada daha fazla tercih edilmektedir.

Basınç: Üç eksenli basınç deneyinin hücre basıncı, boşluk suyu basıncı ve geri basınç ölçümleri basınç sensörleri ile yapılmaktadır. Ayrıca özel durumlarda negatif basıncın da (vakum) ölçülmesi gerekebilir. İki ortam arasındaki basınç farkının ölçülmesi için diferansiyel basınç sensörleri kullanılır. Günümüzde kullanılan basınç sensörleri bir odacığın sonundaki esnek diyaframın basınç karşısında şekil değiştirmesini mikro gerinim pulları veya mikro piezorezistif elemanlar yardımıyla elektriksel veriye dönüştüren cihazlardır. Doğrudan gerilim çıkışı (0-5V) verdiklerinden Arduino ile birlikte kullanılmaya uygundur. Değişik basınç aralıklarında basınç sensörleri mevcuttur.

Yük: Zeminlerin dayanımının ölçüldüğü tek eksenli ve üç eksenli basınç deneylerinin yanı sıra, CBR, nokta yük gibi deneyler de yük ölçümü, deneylerin en önemli bölümünü oluşturur. Yük sensörleri (loadcell), kusursuz elastik bir metal üzerinde yük nedeniyle oluşan şekil değiştirmenin ölçülmesi prensibine dayanır. Bu amaçla metal parça üzerine gerinim pulları yapıştırılarak Wheatstone köprüsü oluşturulur. 4 kollu köprünün 2 koluna voltaj beslemesi yapılır. Metal şekil değiştirdikçe üzerine yapıştırılan dirençler de şekil değiştirir ve direnç değerleri değişir. Köprünün boşta kalan 2 kolunda ise voltajın değiştiği görülür. Yük sensörleri voltaj çıkışı verdiği için Arduino ile kullanıma uygundur. Ancak yük sensörleri voltaj çıkışları milivolt düzeyinde olduğundan, araya bir yükseltici (amplifier) devre eklenmesi gerekir. Yük sensörü çıkışlarının 0-5V aralığına yükselten özel sürücü devreler de mevcuttur. Dipova (2016a) kuruma eğrilerinin elde edilmesinde lama tipi yük hücresi ve Arduino platformu kullanmıştır.

Deplasman/deformasyon: Zeminlerin gerilme-deformasyon ve konsolidasyon davranışlarının belirlenmesi için sürekli deformasyon ölçümleri gerekir. Günümüzde bu amaçla yaygın olarak potansiyometrik cetveller ve doğrusal değişken diferansiyel transformatörler (LVDT) kullanılır. Her iki yöntem de bir besleme

voltajı uygulayıp deplasman ile birlikte değişen voltaj çıkışı alınması prensibine dayanır. Potansiyometrik cetvellerde besleme doğru akım (DC), LVDT de ise alternatif akım (AC) ile sağlanmasına rağmen LVDT lerin içinde bulunan sinyaj koşullayıcı sayesinde DC kullanılması mümkündür. Bu anlamda Arduino ile kullanılması da mümkündür. Plaisted ve Zornberg (2013) şişen kilerde şişme-gerilme eğrilerinin elde edilmesinde Arduino ile deplasman ölçümleri yapmıştır. Temasız ölçüm yapılmak istendiğinde ise kızılötesi paralaks veya kızılötesi yansıma sensörleri kullanılabilir (Dipova 2016b).

Otomatik kontrol: Bazı geoteknik araştırmalarda ortam koşullarının (sıcaklık, nem vb) belirli aralıkta tutulması gerekmektedir. Bu nedenle sensörler aracılığıyla değişkenlerin ölçülmesi, değerleri önceden belirlenen koşullar içinde tutmak için çevre birimlerinin (ısıtıcı, soğutucu, nemlendirici, kurutucu vb) çalıştırılması gerekmektedir. Analog girişlerden elde edilen sensör verileri işlenerek, dijital pinler aracılığı ile çevre birimlerine komut verilerek çalıştırılması ve böylece otomatik kontrolünün sağlanması mümkündür. Dipova (2016b) hidrometre deneyinin 20°C sürdürülmesini sağlamak amacıyla bir sabit sıcaklık kabini ısıtma ve soğutma işleminin otomasyonunu Arduino ile gerçekleştirmiştir.

Veri kayıt/loglama: Veri kayıt cihazları (data logger) bir geoteknik laboratuvarının olmazsa olmazıdır. Uzun zaman alan deneylerde veya sık aralıklarda veri kaydı gerektiren dayanım ve deformabilite deneylerinde zorunlu olarak kullanılmakla birlikte, pahalı cihazlardır. Arduino 1 milisaniye zaman aralığıyla sürekli veri transferi yapabilir. Uno modelinde 6, Nano'da 8 ve Mega'da 16 analog giriş bulunduğundan bir geoteknik laboratuvarının kanal ihtiyaçlarını rahatlıkla sağlar. Arduino kartlarının sabit hafızası olmamasına rağmen bu eksiklik kolaylıkla aşılabılır. Bilgisayara bağlı kullanıldığında bir ara yazılım ile verinin sürekli olarak Excel sayfasına yazdırılması mümkündür. Bağımsız çalıştırıldığında ise bir hafıza kartı (SD, MicroSC) kalkanı ilave edilerek, verinin kartta saklanması mümkün olabilir.

SONUÇLAR

Elektronik donanım malzemelerinin üretiminin artması, ekonomik ve kolay temin edilebilmesi, açık kaynaklı geliştirme platformlarının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Modüler yapıları, ekonomik oluşu ve geniş kütüphaneleri sayesinde elektronik düzenek ihtiyaçları için bir alternatif haline gelmiştir. Bu platformlar içinde en popülerleri Arduino geliştirme platformudur.

Zemin mekaniği deneylerinin basınç, yük, deplasman/deformasyon ve sıcaklık ölçümlerine ve düzeneklerin otomatik kontrolüne izin vermesi, kolay bir yazılım-

la sayısal işlem yapabilme yeteneği, veri loglama özelliği ile geliştirme platformları alternatif bir çözüm aracıdır. Elektronik uzmanlığı gerektirmeden düzeneklerin oluşturulup yazılımlarının hazırlanması, tekil araştırma ve uygulama projeleri için hızlı ve ekonomik deney düzeneklerinin oluşturmasına imkan tanımaktadır. Her cihazın orijinal veri kayıt ünitesinin satın alınması veya tek veri kayıt ünitesi kullanımı yüzünden diğer deneylerin bekletilmesi yerine, laboratuvar mühendislerinin her deney için deneye özgü elektronik kayıt ve kontrol düzeneklerini kurması önemli oranda zaman ve maliyet tasarrufu sağlayacaktır.

Geliştirme platformları “kendin yap” (DIY-do it yourself) sivil hareketinin temelini oluşturduğundan, özellikle genç geoteknikçilerin bu platformları kullanması, farklı uygulamalarda da geçerli olabilecek deneyimler kazandıracaktır.

KAYNAKLAR

- Arsha Lekshmi, K.R., Arnepalli, D.N. (2016). A methodology to determine water vapour diffusion characteristics of geomaterials, Indian Geotechnical Conference IGC2016 15-17 December 2016, IIT Madras, Chennai, India
- Betker, Michael R., Fernando, John S., Whalen Shaun P. (1997) .*The History of The Microprocessor*, Bell Labs Technical Journal, 2(4), 29-56.
- D'Ausilio A. (2011). Arduino: A Low-cost Multipurpose Lab Equipment, *Behav Res* (2012) 44:305–313.
- Delage, P., Romero, E., Tarantino, A. (2008). Recent developments in the techniques of controlling and measuring suction. *In Proceedings of the 1st European Conference on Unsaturated soils: Advanced in Geo-Engineering*, Durham, UK, 2–4 July 2008. *Edited by* D.G. Toll, C.E. Augarde, D. Gallipoli, and S.J. Wheeler. Taylor & Francis Group, London, UK. pp. 33–52.
- Dipova, N. (2016a). İnfrared ısıtma ve nem yoğunlaşturmaya dayalı bir su içeriği cihazı geliştirilmesi, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi, Erzurum, 13-14 Ekim 2016, cilt.2, ss.1017-1024
- Dipova, N. (2016b), Kızılötesi ve peltier teknoloji ile bir dijital hidrometre tasarımı ve geliştirilmesi, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi, Erzurum, 13-14 Ekim 2016, cilt.2, ss.997-1006
- Dunncliff, J. (1993). *Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance*, John Wiley and Sons, New York.
- Han J.B., Zhou, Z.F. (2013). Dynamics of soil water evaporation during soil drying: laboratory experiment and numerical analysis. *Scientific World Journal*, 2013, 240-280.
- Levine, S.S., Prietula, M.J. (2014). *Open Collaboration for Innovation: Principles and Performance*. *Organization Science*, 25: 1414–1433.
- Morton, J. (2001). *PIC Your Personal Introductory Course*, Newnes Second Edition, Burlington, USA
- Pearce, J. (2012). The case for open source appropriate technology. *Environment, Development and Sustainability*, 14: 425–431.
- Plaisted, M., Zornberg, J.G. (2013). Determination of the Swell-stress Curve of an Expansive Soil Using Centrifuge Technology. *Proceedings of the 5th International Young Geotechnical Engineers' Conference – 5th iYGEC 2013*, 31 August-01 September, Paris, France, pp. 443-446.
- Raymond, E. S. (2001). *The cathedral and the bazaar: Musings on Linux and Open Source by an accidental revolutionary*. Beijing: O'Reilly.
- Taşdemir, C. (2014). *Arduino*, 6.Baskı, Dikeyksen, Haziran 2014
- Vainino, N., Vaden, T. (2007). *Free software Philosophy and open Source*, *Handbook of reserch an Open Source Software*, Information Science Reference, pp. 1-11