

RESTful Web Servisleri ve Android Kullanılarak Genel Bir Kullanıcı Doğrulama Sisteminin Arduino Mikrodenetleyici Kart ve RFID Teknolojisi ile Tasarımı ve Gerçekleştirimi

Design and Implementation of a Generic User Verification System with Arduino Microcontroller Card and RFID Technology Using RESTful Web Services and Android

Canberk ARDIÇ¹, Mehmet Arif Emre ŞEN², Mehmet KARAKOÇ^{3*}

^{1,2}Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya

³Bilkav Eğitim Danışmanlık A.Ş. Antalya / İstanbul

{ardiccanberk – maemresen07} @gmail.com – mehmetkarakoc@optiwisdom.com

Öz

Bu çalışmada, genel bir kullanıcı doğrulama sisteminin tasarımı ve gerçekleştirimi ele alınmaktadır. Bu amaçla, donanımsal gerçekleştirme için Arduino mikrodenetleyici kart ile RFID teknolojisi ve yazılımsal gerçekleştirme için RESTful web servisleri ile Android kullanılmıştır. Geliştirilen sistemde, (i) Arduino RFID okuyucu ile kullanıcının kartını okur ve girdi veriyi geliştirilen Android uygulamasına iletir. (ii) bu uygulama geliştirilen servis yazılımına ilgili HTTP isteğini gönderir. (iii) bu program kullanıcı doğrulaması için gerekli veri tabanı işlemlerini yapar ve JSON yanıtını döndürür. (iv) çıktı Android uygulaması aracılığıyla Android tablette görüntülenir. Arduino ve tablet arasında seri iletişim üzerinden OTG kablosu aracılığıyla yeni bir iletişim protokolü kurulmuştur. Yapılan deneylerde, servis yazılımının etkin veri yönetimiyle Arduino'nun depolama sorununu aşabilmede oldukça uygun olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, Android uygulaması "insan - gömülü kod" etkileşimine iyi bir çözüm olmuştur.

Anahtar sözcükler: Arduino, RFID, RESTful web servisleri, JSON, Android, OTG kablosu.

Gönderme ve kabul tarihi: 20.08.2018-07.01.2019

C. Ardiç: orcid.org/0000-0001-7624-6865

M. A. E. Şen: orcid.org/0000-0001-5613-1665

M. Karakoç: orcid.org/0000-0003-4678-451X

Makale türü: Araştırma

Abstract

In this study, it is addressed to design and implement a generic user verification system. To this end, Arduino microcontroller card with RFID technology for hardware implementation and RESTful web services with Android for software implementation were used. In the developed system, (i) Arduino with RFID reader reads the user's card and transmits the input data to the developed Android application. (ii) this application sends the relevant HTTP request to the developed service software program. (iii) this program performs the database operations required for the user verification and returns the JSON response. (iv) the output is visualized on Android tablet via the Android application. Over the serial communication via an OTG cable, a novel communication protocol was established between Arduino and tablet. In the experiments conducted, it was observed that the service software program is fairly appropriate in overcoming the storage issue of Arduino with efficient data management. Additionally, Android application has become a good solution to the "human - embedded code" interaction.

Keywords: Arduino, RFID, RESTful web services, JSON, Android, OTG cable.

1. Giriş

Katılım, bir öğretim elemanı tarafından verilen ve bir dizi öğrenci tarafından alınan her dersin her buluşma saati, bir araştırmacının/dinleyicinin katıldığı her akademik etkinlik veya bir fabrikanın her çalışanın her işe gelişi için söz konusu olan bir olgudur. Bu etkinliklere katılacak her katılımcının katılım durumu, başvuru, giriş-çıkış, konaklama, ödeme, yeme-içme, yoklama vb. amaçlarla denetlenir. Özellikle çok sayıda katılımcı söz konusu olduğunda ise her katılımcı için gerekli işlemlerin eksiksiz ve sorunsuz tamamlanıp kayıt altına alınması oldukça zorlaşır. Bu noktadaki önemli uygulamalardan biri, kullanıcı doğrulaması için gerekli işlemlerin yapılmasıdır. Bu amaçla, ilgili veri yönetimini gerçekleştirecek yazılımlar geliştirilebilir. Ayrıca, Arduino ve Raspberry Pi gibi mikrodenetleyici kartlar kullanılarak yapılacak donanımsal gerçekleştirmelerle “bütünleşik ve gürbüz” (*solid*) sistemler de oluşturulabilir. Pek çok cihazla uyumlu bu kartlar, genişleyen uygulama alanlarında düşük maliyetli sistem (örneğin *kullanıcı doğrulama sistemleri*) geliştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Gelişen *bilişim* ve *iletişim* teknolojisi ile birlikte, kart okuma, kullanıcı doğrulama, kullanıcı kaydı ve kullanıcı tanıma gibi amaçlara yönelik olarak gerçekleştirilmiş mevcut pek çok *kararlı* çalışma, açık-kaynak kütüphane ve uygulama olduğu aşikârdır. Öte yandan, belirli bir amaca yönelik olarak gerçekleştirilecek kapsamlı çalışmalar için *bütünsel* gerçekleştirmeler de yapılabilir. Bu amaçla, mevcut ve/veya yapılacak küçük çalışmalar *gevşek-bağlı* bir biçimde bir araya getirilip bütünleştirilerek daha büyük çalışmalar gerçekleştirilebilir. Çalışma süresince yapılan gerçekleştirmelerde bu yaklaşım izlenmiştir.

1.1 Literatür taraması

Alan yazını incelendiğinde, günümüzde sahadaki nesnelere ve dijital/sayısal ortam arasında internet üzerinden doğrudan iletişim kurulabilmesini sağlayacak çalışmalara odaklanıldığı görülmektedir. Bu kapsamda, nesnelere interneti (*Internet of Things* – IoT), otomasyon ve robotbilim gibi çalışma alanlarında, farklı sistemler ve süreçlerin uzaktan haberleşmesi veya denetlenmesi, insan-bilgisayar etkileşimi (*human-computer interaction*), makineden makineye iletişim (*machine to machine (M2M) communication*) vb. amaçlarla pek çok çalışma yapılmıştır. Ayrıca, çeşitli yöntemler kullanılarak elde edilen çözümler ise biyoinformatik, biyomedikal,

egitim, güvenlik, sağlık (hizmetleri), savunma, sinyal/işaret işleme, telekomünikasyon/uziletişim, tıp bilişimi, veri madenciliği, veri tabanı sistemleri ve yazılım mühendisliği gibi farklı alanlarda uygulanabilmektedir.

Gündüz ve Akyüz’e göre, M2M, iki farklı noktayı veri aktarımı için bağlayan bir hat, IoT ise pek çok M2M ve algoritmadan oluşan ve etkileşim sağlayan bir ağdır [1]. Sürekli gelişen IoT, bant genişlikleri, güçlenen internet ve duyurga teknolojileri; makinelerin insanlara *haber verme* yeteneklerine ek olarak, aralarında *konusarak* insan-kaynaklı hata ve riskleri ortadan kaldırmayı amaçlamıştır. Gündüz ve Daş’a göre, IoT, insan-süreç-veri ve nesnelere çevrimiçi (*online*) etkileşimini sağlamak amacıyla, her nesneyle, her yerden, her zaman ve herkes bağlantı ilkesiyle gelişmektedir [2]. Khalil ve Özdemir’e göre ise IoT uygulamalarında, (i) internetin her yerde ve ücretsiz olarak bulunmaması, (ii) düşük maliyetli “akıllı algılama sistemlerinin” geliştirilememesi ve (iii) hizmet niteliği yönetimi gibi karşılaşılabilecek zorluklar vardır [3]. Bumin Doyduk ve Tiftik’e göre, Endüstri 4.0 (*dördüncü sanayi devrimi*) ve internet altyapısının (*platform*) en gelişmiş kullanım hâli olarak görülen IoT, günümüzde enerji yönetimi, finans, otomasyon, sağlık, tarım, ulaşım ve üretim gibi pek çok alanda kullanılmaya başlanmıştır [4]. Özdemir’e göre ise IoT’nin başarılı olması için bu iletişimin büyük bir kısmının telsiz olması ve M2M telsiz bağlantı teknolojisinin genişlemesi gereklidir [5]. Yiğitbaşı’na göre, IoT ve M2M, endüstriden tüketiciye enerjiden otomotiv ve sağlığa kadar pek çok endüstri alanına dokunması yönüyle oldukça ilgi çekmektedir [6]. Bu iki kavram, (i) enerji verimliliği, (ii) emisyon/yayım azalımı ve (iii) hayat kalitesinin artması açısından bakıldığında ise kilit noktadadır.

Can vd., IoT teknolojisinin sağlık alanı için kullanımını incelemişlerdir [7]. Bu kapsamda, bu alanda tıbbi cihazların birer IoT nesnesi olarak düşünülmesiyle, sağlık bilgisinin sistemler arasında değişiminin anlamsal web teknolojileri (*semantic web technologies*) ile desteklenerek güvenli bir biçimde gerçekleştirilmesi üzerine nesnelere birlikte çalışabilirliğini sağlayacak bir bilgi sistemi modeli önermişlerdir. Yetkilendirilmiş cihazlar, kişiler ve servisler ve IoT nesnelere alınacak verinin bütünlüğü, gizliliği ve kullanılabilirliğinin sağlanabilmesini dikkate almışlardır. Dilek ise telsiz duyurga ağları (*wireless sensor network* – WSN) ve IoT teknolojilerinden yararlanarak, engelli, kronik/süreğen veya yaşlı hastaların hareket

etmelerini kısıtlamadan, kan basıncı, nabız ve solunum gibi hayati bulgularını belirli aralıklarla gerçek-zamanlı takip etme ve acil tıbbi durumlar tespit edildiğinde uyarı verme olanaklarıyla bir *uzaktan hasta izleme sistemi* önermiştir [8]. Uygulamada, Arduino MEGA 2560 mikrodenetleyici kart, duyarga kalkanı, dört adet hayati bulgular duyargalı ve telsiz iletişimi sağlamak için ESP8266 Wi-Fi modülü (*birim/parça*) kullanmıştır.

Aktaş vd., IoT teknolojisi kapsamında gerçekleştirmeyi amaçladıkları bir tasarım senaryosu tanıtmışlardır [9]. Bu teknolojinin biyomedikal mühendisliği alanındaki uygulamaları ve yapılmış çalışmalarını ele almışlardır. Bebek yoğun bakım biriminde yatmakta olan bebeklerden alınan fizyolojik (*vücutla ilgili / normal işlevlere ait olan*) verinin hem hastane ortamı hem de bu ortam dışından izlenmesine olanak sunan IoT tabanlı bir sistem önermişlerdir. Ayrıca, bu birimdeki ilaç dökümlerini (*envanterler*) takip etmeyi amaçlamışlardır. Aktaş vd. başka bir çalışmada ise ev veya hastane ortamında bulunan hastalarda olası sorunlara hızlı yanıt verebilme ve doktorların daha doğru tanı ve teşhis yapabilmeleri için IoT tabanlı telsiz vücut alan ağları (*wireless body area networks*) ve bu ağlara dâhil edilecek RFID (*Radio Frequency IDentification* – radyo/telsiz frekansı ile tanımlama) sistemlerle bir *uzaktan hasta izleme ve veri analiz/çözümleme sistemi* önermişlerdir [10]. Ayrıca, hastalardan fizyolojik verinin anlık toplanıp depolanacağı ve işlenip izlenebileceği bir veri toplama birimi tasarlamayı planlamışlardır.

Kucuk vd., IoT tabanlı bir *afet yönetim sistemi* tasarlayıp uygulamayı amaçlamışlardır [11]. “Akıllı şehirler” için internet üzerinden oluşturdukları bu sistem iki ana bölümden oluşur: (1) duyurgaları ve iletişim birimlerini içeren gömülü bir sistem olan IoT-birimi, konumlandırılmış binanın hasar durumuyla ilgili bilgilere erişim sağlar. (2) IoT analiz altyapısı ise hücresel ağlar, Wi-Fi bağlantı verisi ve IoT-birimi ile afet bölgesinden toplanan verinin kaydedilmesi, izlenmesi ve analizini gerçekleştirir. Mohammed ve Duman’a göre, IoT, internet ve WSN aracılığıyla bir “akıllı evdeki” cihazlar arasında veya diğer “akıllı sistemlere” daha iyi bir bağlantı sağlar [12]. Binalar ve evlerde elektrikli ve elektronik cihazların denetlenmesi ve göstergelerine/uyarılarna (*control and indicating*) ilişkin bir “akıllı ev” (güvenlik) ön/ilk-örneğini (*prototype*) sunmuşlardır. Akıllı telefonlar, dizüstü-kişisel bilgisayarlar ve tabletlerin özel IP bilgilerini girdikten sonra, bu cihazları WSN

üzerinden birbirine bağlamak söz konusudur. Ayrıca, aynı projede Bluetooth, IR ve Wi-Fi gibi birden fazla telsiz kullanımını önermişlerdir. Pandey vd. ise mevcut barkod tabanlı alışverişin sınırlamalarına bağlı olarak, otomatik hâle getirilmiş “akıllı alışveriş” geçişi önermişlerdir [13]. Bu kapsamda, Arduino ve RFID tabanlı “akıllı kartı” başarıyla gerçekleştirmişlerdir. Sistemleri, uzun kuyrukları ortadan kaldırmadaki etkisiyle beraber, müşterinin bütçesini de yönetir. Ayrıca, hızlı ve kolay faturalandırma seçeneğine sahiptir.

EZ vd., yetkili (*authorized*) ve yetkisiz kullanıcılar arasında ayırım yapabilmek için Arduino ve RFID tabanlı bir *otomatik erişim denetleme sistemi* tasarlamışlardır [14]. Girişte kurulu RFID okuyucu her kullanıcıya verilen bir RFID-etiket (*tag/label*) algıladığında, sistem kullanıcının benzersiz kimliğini (*unique identifier* – UID) yakalar ve Arduino’daki UID verisi ile karşılaştırır. Eşleşme varsa kart geçerli olup, yetkili personele erişim hakkı verilir. Diğer durumda ise yetkisiz personele erişim engellenir. Ehikhamenle ve Okeke, otomatik hâle getirilmiş RFID tabanlı bir elektronik katılım kaydının (*electronic attendance register*) tasarımı ve yapılmasını ele almışlardır [15]. Gerçek-zamanlı saat (*clock*) modülü ve SD kart modülü ile Arduino ve MFRC522 RFID modül kullanmışlardır. Arduino, kişiler veya nesnelere izler ve bir zamanlama düzeneği (*timing mechanism*) yardımıyla otomatik olarak katılımlarının kaydını tutar. Etiket okuyucuya yakın olduğunda ise ilgili etiket verisini SD kart modülü üzerinden bir SD kartta saklar. Bu veriyi daha sonra kullanmak için SD kart modülden çıkartılır ve veri kopyalanır.

Shankar vd. ne göre, IoT yeteneği, “akıllı bir ortam” yaratmak için nesnelere yeteneklerini geliştirmede umut vericidir [16]. IoT kullanarak, kurumlarına enerji tasarrufu fikrini gerçekleştirecek bir yeşil yerleşke (*green campus*) ortamı geliştirmişlerdir. Kirlilik, nem ve sıcaklık nedenlerinin analizi, tehlikeli gazların kullanımının önlenmesi veya denetlenmesine ve bu algılama ve analiz yöntemini kullanarak kirlilik içermeyen yerleşkenin tasarlanmasına yardımcı olur. RFID teknolojisi ise enerji/güç tüketimini (*power consumption*) en aza indirmeye (ve yerleşkede kirliliği denetleme) ve mevcut-devamsız öğrencileri tarih-zaman bilgisiyle not etmeye yardımcı olur. Katılımlara ek olarak, aynı yerleşkenin öğrencisi veya öğretim elemanı için kimlik kartı görevi de görür.

Altınpulluk'a göre, IoT teknolojisi, özellikle *yapay zekâ* ile ilişkili alanlarla bütünlükte geleceğe yön verecek gizil güce (*potansiyel*) sahiptir [17]. Geleneksel eğitim ve "açık ve uzaktan" öğrenme alanlarında da etkin bir kullanım olanağı bulmaya başlamıştır. Son yıllarda, "akıllı eğitim ortamlarının" oluşturulmasında *yapay zekâ* ile birlikte IoT uygulamalarının sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Ercan ve Kutay, IoT'nin endüstriyel üretime uyarlanması ile ilgili çalışmalarını incelemişler ve farklı uygulama örneklerindeki olumlu katkılarını tartışmışlardır [18]. Onlara göre, "endüstriyel IoT" kullanımı içerisindeki akıllı cihaz üreticileri, bulut bilişim hizmet sağlayıcıları, endüstriyel sektörler/topluluklar, güvenlik-iletişim şirketleri, uzmanlar ve son kullanıcılar gibi bütün farklı paydaşlar bir araya gelip teknolojiye bu yeni alanı geliştirmek için çalışmalıdırlar.

1.2 Çalışmanın katkısı

Bu çalışmada, Arduino, RFID, *web servisleri* ve Android tabanlı yeni bir *kullanıcı doğrulama sistemi* geliştirildi. Giriş-çıkış işlemleri, okuma-doğrulama sistemleri ve veri alışverişinde sıklıkla tercih edilmesi ve kullanımının oldukça kolay olmasına bağlı olarak, RFID teknolojisi olarak NFC (*near field communication* – yakın alan iletişimi) sistem standardı kullanıldı. NFC özelliğine sahip kartlar RFID okuyucuya yaklaştırılarak kullanıcı doğrulaması yapıldı. Çalışmanın katkısı, (i) Arduino ve RFID okuyucu ile girdi veriyi yakalama-iletme, (ii) geliştirilen Android uygulaması aracılığıyla girdi veriyi alma, geliştirilen *servis yazılımı* ile konuşma ve çıktıyı görüntüleme ve (iii) *servis yazılımı* üzerinden ilgili veri yönetiminin gerçekleştirilmesi iş-paketlerinden oluşan esnek ve gürbüz bir donanım-yazılım gerçekleştirilmesi oluşturmaktır. Metnin geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir. 2. Bölüm'de kullanılan teknoloji ve 3. Bölüm'de geliştirilen sistem ile ilgili bilgiler verilmiştir. Yapılan deneysel çalışma 4. Bölüm'de, sonuç ve öneriler ise 5. Bölüm'de sunulmuştur.

2. Yöntem

Bu bölümde, çalışma kapsamında geliştirilen sistem için kullanılan teknoloji ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir.

2.1 Arduino ve modülleri

Arduino, Arduino şirketinin herkese yönelik düşük maliyetli bir mikrodenetleyici projesi olarak 2003'te

İtalya'da ortaya çıkmıştır. Acemi kullanıcıdan profesyonel kullanıcıya kadar geniş bir kullanıcı kitlesi olup, kullanımı kolay *donanım* ve *yazılım* tasarımına sahip açık-kaynak bir elektronik geliştirme altyapısıdır. Çeşitli işlemciler ve tümleşik devrelerden (*entegreler*) oluşan Arduino, üzerindeki USB girişi (*port/yuva*) aracılığıyla bilgisayar bağlantısı sağlayabilmektedir. Java'da yazılmış çapraz-platform (*cross-platform*) IDE'sinden (*integrated development environment* – bütünlük/tümleşik geliştirme ortamı) ise tabanını C/C++ dillerinin oluşturduğu bir dil ile programlanabilmektedir (*sketch*: Arduino için yazılmış kod veya program). Arduino mikrodenetleyici ailesinin bir üyesi olan Arduino UNO, 1KB EEPROM, 2KB SRAM ve 32KB *flash* belleğe sahiptir. Üzerindeki ATmega328 mikrodenetleyici Arduino'nun temelini oluşturmaktadır. 10 adet dijital ve 6 adet analog olarak toplam 16 pini bulunur ve +5V (volt) DC geriliminde çalışabilmektedir. Ayrıntılar için [19] bağlantısına (ayrıca, "<https://www.arduino.cc>" ve "<https://www.robotistan.com/arduino>"), Arduino ve mikroişlemci-mikrodenetleyici kavramları ile ilgili karşılaştırmalı bilgiler için [20] bağlantısına başvurulabilir.

Arduino geliştirme kartları (*development boards*), ışık, parmak izi vb. duyarlarla sinyal okuyabilir. Örneğin, "Twitter"ın temel API'si (*application programming interface* – uygulama programlama arayüzü) ile ileti/mesaj (*tweet*) gönderebilir. Bir motoru etkinleştirme (*activation*), çevrimiçi sistemlerde bilgi yayınlama ve ışık/ses gibi çıktılar verebilir. Bu geliştirme kartları, özellikle şu nedenlere bağlı olarak tercih edilmektedir: (i) ihtiyaca göre pek çok çeşide sahip olma. (ii) yapılması istenen yönergelerle yapılandırılabilir. (iii) özellikle ön/ilk-örnekleme (*prototyping*) amacıyla pek çok farklı projede kullanılmış olma. (iv) günümüzde çocukların da bu araçla kodlama yapabildikleri kullanımı kolay bir IDE'ye sahip olma. (v) gömülü kodu (*embedded/hard code*: kodu doğrudan programın içine gömmeye) çalıştırmadan ne yapılmış olduğunu görebilmek mümkün değil ve bu anlamda kayda değer kullanıcı deneyimi (*User eXperience* – UX) mevcut. Bu kapsamda, düşük maliyetle özgün ve yaratıcı projeler gerçekleştirilebilir.

NFC

NFC, temassız (*contactless*) iletişim teknolojilerinde kullanılan bir sistem özelliğidir. 2002'nin sonlarında Philips ve Sony ortaklığıyla geliştirilen bir teknoloji

olup, “8 Aralık 2003”te ISO/IEC 14443 tarafından standart olarak kabul edilmiştir. NFC standardının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması amacıyla, “18 Mart 2004”te Nokia, NXP ve Sony tarafından kurulan “NFC Forum” (“<https://nfc-forum.org/>”) ortaya çıkmıştır. Bant-genişliği ve kullanım-mesafesi, diğer telsiz iletişim teknolojilerine göre, kullanıcı deneyimini iyileştirmek için daraltılmıştır. Bu standardı kullanan cihazlar yalnızca birbirine temas edecek kadar yakın olduklarında, sistem çalışmakta ve veri aktarımı yapılabilmektedir. NFC, okuyucu (*NFC reader*) ve verici (*NFC tag*) olarak iki kola ayrılmaktadır. Veri aktarımı için verici kısmında beslemeye ihtiyaç duyulmaz. NFC okuyucuda oluşan dalgalanma, NFC vericinin “şarj sorunu olmadan” tetiklenmesi ve verinin iletilip okunmasını sağlar. Ayrıntılar için [21] bağlantısına başvurulabilir.

Radyo dalgaları üzerinden çalışan NFC sistemi 13.56MHz aralığında çalıştığında, akıllı telefonlar ve tabletlere de destek sağlanmakta ve akıllı cihazlar hem *okuyucu* hem de *verici* görevinde çalışabilmektedir. Bu standart, genel olarak akıllı telefonlar ve tabletler gibi cihazlar arasında veri aktarımı, akıllı-temassız ödeme sistemleri ve okuma-doğrulama sistemleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Telsiz veri aktarımı teknolojilerinden Bluetooth ve bu standart arasında, çalışma mesafesi-frekansı, fiziksel dayanıklılık, karşılıklı etkinleştirme ihtiyacı duymama ve pek çok kez yeniden kullanılabilme gibi farklar vardır. NFC, genel tanımı RFID olan telsiz iletişim grubuna dâhil edilmektedir. MFRC522 RFID modül, geniş-çapta pek çok uygulamada kullanılabilen düşük maliyetli ve kullanımı kolay bir RFID okuyucudur. 40x60mm boyutlarında olup, 13.56MHz işletim-frekansı/sıklığı ve SPI (*serial peripheral interface* – seri çevre-birimi arabirimi) *iletişim protokolü* ile telsiz iletişim için kullanılan tümleşik bir okuma/yazma devresidir.

ESP8266

ESP8266, TCP/IP protokol yığımına sahip bir mikrodenetleme birimidir. Düşük maliyetle yüksek başarımına bağlı olarak, internet bağlantısı gerektiren IoT projelerinin demirbaş bileşenleri arasındadır. Şangay merkezli “Espressif Systems” (“<https://www.espressif.com/>”) tarafından üretilmiştir. Üçüncü parti üreticilerinden “AI-Thinker” şirketinin ESP-01 modülü bu alanda, düşük maliyetli olma, küçük boyutlar ve yüksek kapasite gerektiren işlere uygun olmasına bağlı olarak büyük başarı elde etmiştir. Arduino ile kullanılabilen bu modül, seri iletişim/bağlantı üzerinden AT komut-seti ile seri-

monitör aracılığıyla haberleşmektedir. Web üzerinde kaynak-dosya bulmak zor olabildiğinden, bu modül tedarik edildikten sonra önemli bir yazılım güncellemesi yapılmalıdır. Bu güncellemeyle, modülün çalışma frekansı “115200” bilgi akış hızı birimine (*baud-rate*: veri aktarım/iletişim hızı) yükselir ve modül haberleşme için hazır duruma gelir. Haberleşme ile ilgili ayrıntılar ise Arduino IDE’sinin “iç-görüntüleme” ekranından (seri-monitör – *console*: uçbirim) izlenebilir. Ayrıntılar için [22] bağlantısına başvurulabilir.

Buzzer

Buzzer, bir bobinde meydana gelen akım değişimleri ile titreşimlerin ortaya çıkması ilkesiyle çalışan bir tür küçük titreştiricidir. 2 ile 4 volt arasında çalışabilir. Genel olarak çoklu ölçer (*multimeter*) gibi cihazlarda ölçümlere yardım etmek amacıyla, düşük maliyetli ve/veya az enerji tüketen projelerde ise ses üretici olarak kullanılabilir. Ayrıntılar için [23] bağlantısına başvurulabilir.

LED

LED (*light emitting diode* – ışık yayan diyot), ışık yaymak amacıyla kullanılan yarı-iletken bir diyottur. 1920’lerde Rusya’da bir Rus radyo teknisyeninin *alıcı* ve *verici* radyo sistemlerinde kullanılan diyotların ışık yaydığını fark etmesiyle ortaya çıkmıştır. Dayanıklılık, düşük enerji tüketimi, hızlı çalışma ve oldukça küçük yapısı ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıntılar için [24] bağlantısına başvurulabilir.

I²C Arabirimi

I²C (*inter-integrated circuit* – ara-tümleşik devre) arabirimi, düşük “veri aktarım hızına” sahip çevre-birimlerini ana kartlar, cep telefonları ve gömülü sistemlere bağlamak için kullanılan bir seri veri-yoludur. 1982’de Philips tarafından üretilmiştir. Usta (*master*), köle (*slave*), SCL (*serial clock line* – seri saat hattı) ve SDA (*serial data line* – seri veri hattı) olarak dört adet bağlantı ucu bulunur. Veri-yolu haberleşmesinin sağlanabilmesi için bir adet *usta* ve en az bir adet *köle* cihaz bulunmalıdır. Çok sayıda *köle* bulunması durumunda ise hangi *köle* cihazdan veri alınacağına *usta* karar verir. Bu şekilde, hat karmaşası olmadan birden fazla *köle* cihazla haberleşme sağlanabilir. *Usta* ve *köle* cihazların aynı beslemeye bağlı olması gerekli değildir. SDA pini çift-yönlü veri aktarımından sorumludur. İletilen veriyi eşitleme (*synchronization*) işlemlerinden ise SCL ucu sorumludur. *Usta* cihazın ürettiği saat-sinyali SCL

hattında kullanılır. SDA hattındaki haberleşme ise bu eşitlemeye göre oluşur. Ayrıntılar için [25] bağlantısına başvurulabilir.

LCD

LCD (*liquid crystal display* – sıvı kristal görüntü birimi), elektrikle kutuplanan sıvının ışığı tek-aşamalı/fazlı geçirmesi ve önüne eklenen bir kutuplanma filtresi/süzgeci ile gözle görülebilmesi ilkesine dayanan bir görüntüleme teknolojisidir. Düşük enerji tüketimine bağlı olarak yaygınlaşmış, katot-ışınlı tüplere göre düşük yenileme hızına (*refresh rate*) sahip olduğu için ilk olarak cep telefonları ve hesap makineleri gibi cihazlarda kullanılmıştır. Gelişen endüstri ve yapılan Ar-Ge çalışmalarıyla, görüntüleme teknolojisindeki yenilikler bu teknolojinin gelişmesini sağlamıştır. Yenileme hızı 1ms gibi bir seviyeye kadar belirgin ölçüde düşmüştür. Ayrıntılar için [26] bağlantısına başvurulabilir.

2.2 RESTful web servisleri

Web servisleri, servisleri web üzerinden HTTP protokolü aracılığıyla sağlayan yazılımlardır. HTML ve XML gibi *açık standartlar* üzerine inşa edilirler. Dağıtık yapıdaki *web servislerini* ağ üzerinden kullanabilecek yerel veya dağıtık web tabanlı esnek uygulamalar geliştirilebilir. Veri aktarımı, *servis yazılımının* veri tabanına erişip *iş-mantıklarını* içeren API'leri (*bilgi servisleri*) çalıştırmasıyla platformdan-bağımsız bir biçimde yapılır. Örneğin, Android veya PHP ile geliştirilmiş bir web uygulaması, C# veya Java ile geliştirilmiş bir *servis yazılımı* ile konuşabilir. REST (*REpresentational State Transfer*), istemci-sunucu iletişimine (*client-server communication*) ilişkin bir yazılım mimarisidir. Bir web servisinin günümüzde *www (world wide web)* sisteminde en aşına olunan HTTP protokolü ile kullanımı RPC (*remote procedure call* – uzaktan yordam çağırısı), bu mimariyi kullanan servisler ise genellikle RESTful servisleri olarak bilinir. Örneğin, doğrudan URL çağrılarak GET metodu ile yapılan bir REST çağrısına ilgili bilgi erişimi (*information retrieval*) sonucu JSON olarak döndürülebilir [27]. Web uygulamaları ve mobil/yardımcı uygulamalar gibi *istemciler* veri tabanına nasıl erişildiğini bilmek zorunda değildirler. İyi-yapılandırılmış tüm ortak veri, birtakım güvenlik ilkeleri uygulanarak ve veri tutarlılığı korunarak, *servis yazılımı* üzerinden bu uygulamalara güvenli bir biçimde sağlanabilir. Ayrıntılar için [“https://www.tutorialspoint.com/restful/”](https://www.tutorialspoint.com/restful/) ve

[“https://spring.io/guides/gs/rest-service/”](https://spring.io/guides/gs/rest-service/) bağlantılarına başvurulabilir.

2.3 Android

Android, Google tarafından geliştirilen bir mobil işletim sistemidir. İlk olarak akıllı telefonlar ve tabletler gibi dokunmatik-ekran (*touchscreen*) mobil cihazlar için tasarlanmıştır. Bu amaçla, Linux çekirdeği (*kernel*) ve diğer açık-kaynak yazılımların değiştirilmiş bir sürümü temel alınmıştır. Ayrıntılar için [“https://www.android.com/”](https://www.android.com/) bağlantısına başvurulabilir.

3. Geliştirilen Sistem

Bu bölümde, çalışma kapsamında geliştirilen sistemi oluşturan *donanımsal* ve *yazılımsal* gerçeklemeler ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir.

3.1 Yapılan gerçeklemeler

Çizelge-1’de, Arduino kullanılarak yapılan gerçeklemeler verilmiştir.

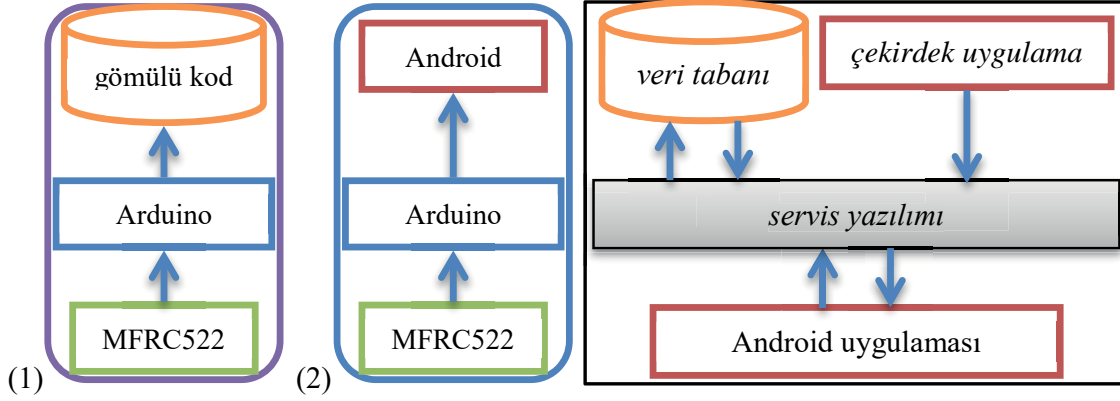
Çizelge-1: Çalışma kapsamındaki gerçeklemeler

#	Web servisleri*	GUI ⁺	Deneyimleme Sorunları
(1)	-	-	depolama ve görüntüleme
(2)	+	Android	sorunsuz çalışan bir sistem

* (depolama işlemleri için veri tabanı ile kullanılır)
+ (görüntüleme işlemleri için bu uygulama kullanılır)

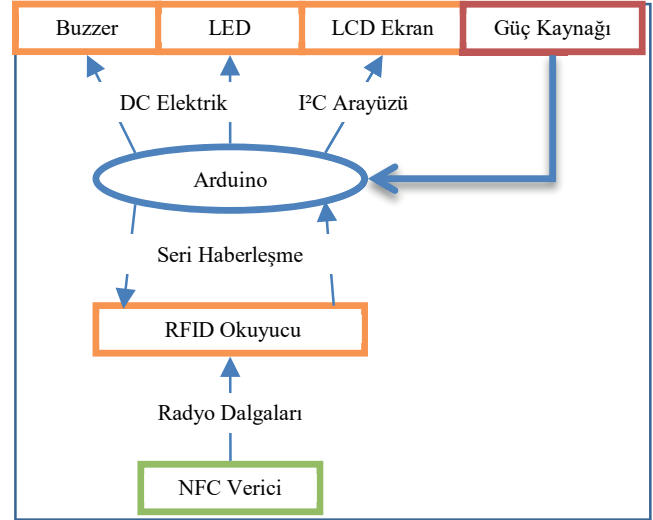
Çizelge-1’de yer alan gerçeklemelere ilişkin süreç şu şekildedir. İlk olarak, Arduino’nun dâhilî saklama alanı (*internal storage*) kullanılır. Daha sonra, veri tabanı kullanabilmek için *servis yazılımı* geliştirilir. Arduino “internete bağlı bir nesne” olarak bu programa istek (*request*) gönderir ve bu program veri tabanına erişip girdi veriyi kaydeder. Bu şekilde, Arduino’nun depolama sorunu çözülmüş olur. Daha sonra, yanıt alınmadığı veya dönen JSON yanıtı

işlenemediği için Android uygulaması geliştirilir ve Android tablete yüklenir ve Arduino tablete bağlanır. Bu uygulama *servis yazılımı* ile konuşur ve GUI desteğiyle hem *istek* göndermek hem de *yanıt* almak ve çıktığı görüntülemek mümkün olur. Bu şekilde, Arduino'nun görüntüleme sorunu da çözülmüş olur. Şekil-1'de, bu çerçeve genel olarak verilmiştir.



Şekil-1: Çalışma kapsamındaki gerçeklemeler.

Şekil-1'de yer alan gerçeklemelerde, "<https://github.com/miguelbalboa/rfid>" bağlantısındaki kütüphane kullanılarak, MFRC522 duyargası ile okunan veri Arduino ve LCD ekrana iletilir. Gerçekleme (1)'de, ESP8266 Wi-Fi modülü kullanılmış ve Arduino'nun dâhilî saklama alanında bu veriye karşılık gelen kullanıcı bilgisi döndürülmüştür. Gerçekleme (2)'de ise bu modül kullanılmamış, veri tabanına kayıtlı bu veriye ilişkin kullanıcı bilgisi *servis yazılımı* üzerinden döndürülmüştür. Bu program, gönderilen http isteğini alır, gerekli veri tabanı işlemlerini yapar ve JSON yanıtını döndürür.



Şekil-2: Sistem modeli.

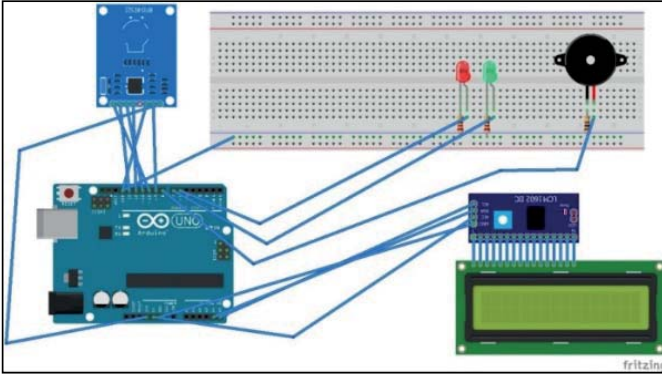
Çizelge-2: Donanım bileşenleri

Bileşen	Arduino UNO	RFID okuyucu	Breadboard*	Buzzer	LED ⁺	I2C Arayüzü	16x2 LCD ekran	Atlama kablosu
Adet	1	1	1	1	2	1	1	15

3.2 Donanımsal gerçekleştirme

Çizelge-2'de, kullanılan donanım bileşenleri verilmiştir.

kodundaki veri listesinde arar. Bulunan sonuca göre, Buzzer ve LED modüllerine DC elektrik, LCD ekrana ise I2C arabirimi ile metin iletir. Şekil-3'te, ilgili sistem tasarımı verilmiştir.



Şekil-3: Sistem tasarımı.

Çizelge-3'te, Şekil 3'te yer alan sistem tasarımına ilişkin kablo bağlantıları verilmiştir.

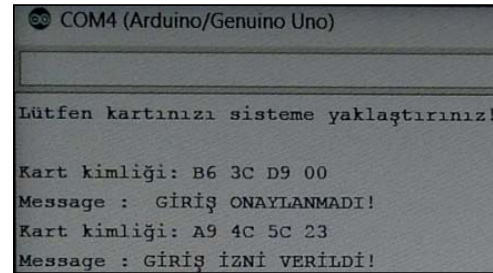
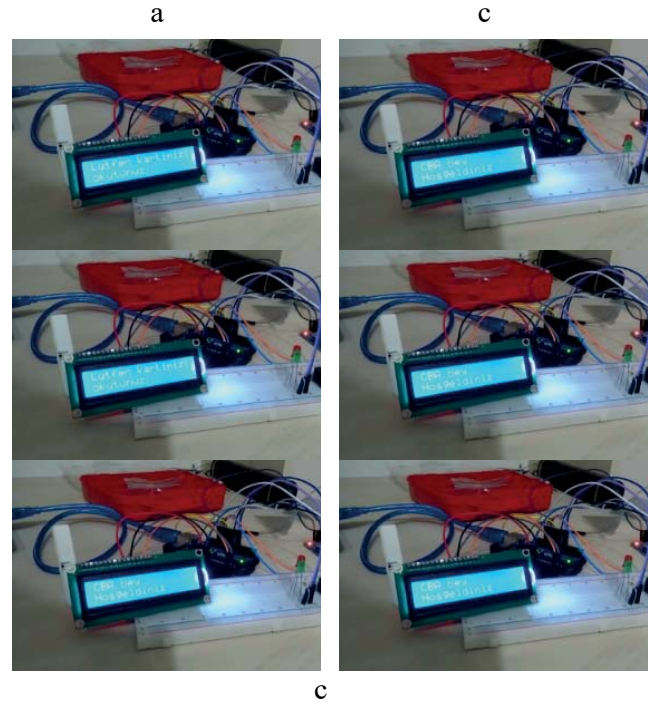
Çizelge-3: Kablo bağlantıları

Bileşen grubu	Bileşenler	Bağlantı
(1)	RFID okuyucu	Arduino'ya bağlı
(2)	breadboard – “Buzzer ve LED”	kart üzerindeki “diğer modüllerle” Arduino'ya bağlı
(3)	LCD ekran – I ² C arabirimi	ekran, arayüz üzerinden Arduino'ya bağlı

Şekil-3'te yer alan sistem tasarımına ilişkin işleyiş şu şekildedir. NFC özelliğine sahip bir kart RFID okuyucuya okutulduğunda, RFID okuyucunun ilettiği etiket verisinin Arduino'nun gömülü kodundaki veri listesinde karşılığı bulunursa kullanıcı doğrulanır. Titreşerek “yüksek frekans aralığında” ince ses çıkaran *Buzzer*, yanıp yeşil LED ve LCD ekranda çıkan metin (“****(bu veriye ilişkin kullanıcı adı)* hoş geldiniz” iletisi) ile kullanıcıya *olumlu* dönüş yapılır (Şekil4(a)). Diğer durumda ise kullanıcı doğrulanmaz. Titreşerek “düşük frekans aralığında” kalın ses çıkaran *Buzzer*, yanıp kırmızı LED ve LCD ekranda çıkan metin (“kayıt bulunamadı” iletisi) ile kullanıcıya *olumsuz* dönüş yapılır (Şekil 4(b)). Ayrıca, iki durumda da çıktı görüntülenir (Şekil 4(c)). Arduino'nun *depolama* ve *görüntüleme* sorunlarını ise kullanılacak teknoloji ve yapılacak geliştirmelerle aşabilmek gereklidir.

Arduino'nun depolama sorununu aşabilmek için veri tabanı oluşturulmuş ve *servis yazılımı* geliştirilmiştir. LCD ekran *kullanıcı geribildirimini* için yeterli olmadığından, daha büyük bir ekran ve GUI desteğiyle Arduino'nun görüntüleme sorununu da aşabilmek için Android uygulaması geliştirilmiş ve

Android tablete yüklenmiştir. Arduino ve tablet arasında seri iletişim (*serial communication* – USB) üzerinden OTG (*on-the-go*) kablosu aracılığıyla yeni bir *iletişim protokolü* kurulmuştur. Android tablet NFC özelliğine sahip olmadığından, etiket verisini yakalama-iletme Arduino ve RFID okuyucuda olup, geliştirilen Android uygulaması ise *servis yazılımı* ile konuşur.



Şekil-4: (a) *olumlu* dönüş, (b) *olumsuz* dönüş ve (c) çıktı (Arduino IDE'si seri-monitörü).

3.3 Yazılımsal gerçekleştirme

Kullanıcı kaydı yapma ve okunan etiket verisinin veri tabanına kayıtlı olma durumunu sorgulama için phpMyAdmin kullanılarak, MySQL veri tabanı ve kullanıcı tablosu oluşturulmuştur. Java kullanılarak, taban tanımlamalar/işlevler, veri tabanı sunucusu ile ilgili ayarlar ve SQL sorgularını içeren bir çekirdek *Maven* uygulaması ve ilgili *iş-mantıklarını* içeren ve bu uygulama üzerine kurulmuş olan bir RESTful web servisleri yazılımı (*Spring Boot uygulaması olarak*) geliştirilmiştir. Veri tabanı bir makinede, bu iki

uygulama ise ayrı bir makinede konuşlandırılmıştır (*deployment*). İzlenen yaklaşım ile ilgili ayrıntılar için [27] bağlantısına başvurulabilir. *Servis yazılımında* her API (*bilgi servisi*), veriye erişecek ve veri üzerinde hiçbir değişiklik yapmadan, bilgiyi gerekli NULL (*boş-değer*) kontrollerini yapıp JSON olarak döndürecek şekilde düzenlenmiştir. Bu kapsamda, belirli bir kullanıcı sorgulanabilmekte ve tüm kullanıcılar listelenebilmektedir. İlgili yapılandırmalarla, genel tanımlamalardaki IP bilgileri değiştirilerek, *servis yazılımı* farklı bir makinedeki veri tabanına yönlendirilebilir ve/veya *bilgi servislerine* farklı bir makinedeki *servis yazılımı* üzerinden de erişilebilir. Android uygulaması, veri tabanı tarafı ile ilgili bir bilgiye sahip olmayıp, yalnızca *bilgi servislerine* erişebilmek için gerekli ayarları bilir.

4. Bulgular

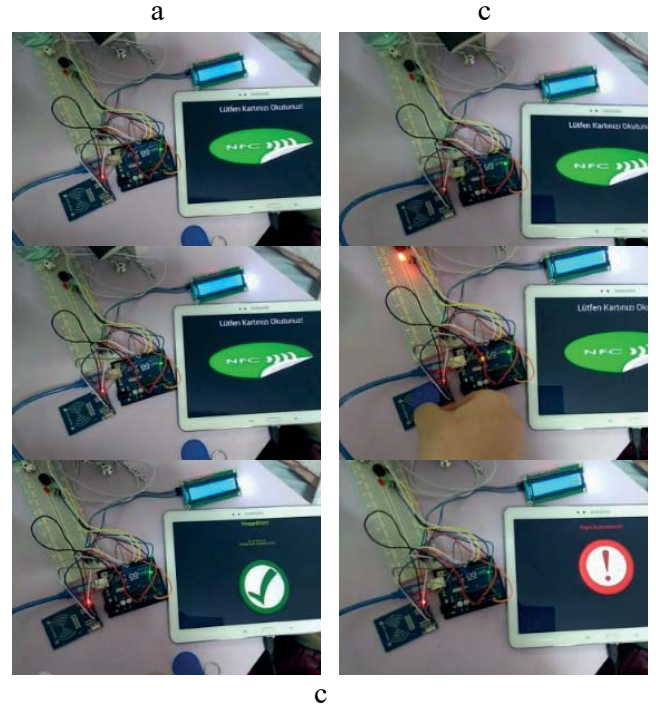
Bu bölümde, deneysel kurulum, yapılan deneyler ve elde edilen sonuçlar ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir.

4.1 Deneysel kurulum

Geliştirilen sistemi test edebilmek için NFC özelliğine sahip kartlar kullanılmıştır. Her kart, üzerinde NFC-etiketdeki yonga (*chip*) ile benzersiz birer etiket verisi (kimlik: ID – *kart kodu*) içerir. Bir kart RFID okuyucuya yaklaştırıldığında, bu karta ilişkin veri okunur ve Android uygulaması üzerinden *servis yazılımına* gönderilir. Bu veri veri tabanına kayıtlıysa, bu veriye ilişkin kullanıcı bilgisi döndürülür. Diğer durumda ise *olumsuz* dönüşe karşılık gelen boş-değer döndürülür. Ayrıca, iki durumda da çıktı görüntülenir.

4.2 Yapılan deneyler

Kullanıcı doğrulaması için kullanıcıya yapılan dönüşler Şekil 5(a)'da ve Şekil 5(b)'de, çıktı ise Şekil 5(c)'de verilmiştir.



Şekil-5: (a) *olumlu* dönüş, (b) *olumsuz* dönüş ve (c) çıktı (Android uygulaması arayüzü).

4.3 Deney sonuçları

Bir kartı RFID okuyucuya yaklaştırıp hemen çekmek, bu kartın üzerindeki bölümlerin/sektörlerin tamamının okunamamasına neden olabilmektedir. Belirli mesafede bir süre hareketsiz/sabit tutmak ise etkin ve yeterli okumanın yapılabilmesi için oldukça önemlidir. *Servis yazılımı* geliştirilecek başka uygulamalarla da konuşabilecek durumdadır. Hem Arduino'nun *servis yazılımına* hem de Android uygulamasının veri tabanına doğrudan erişimi engellenerek, sistem genelinde *kararlılık* sağlanmıştır. Bu uygulamanın “bağlayıcı-tamamlayıcı” bu özelliği “insan - gömülü kod” etkileşimine iyi bir çözüm olmuştur. Oluşturulan donanım-yazılım gerçekleştirilmesi ile özellikle şu noktalarda kayda değer kazanımlar elde edilebilecektir: (i) dış dünyadan kolaylıkla sağlanan verinin bilgisayar ortamına etkin aktarımı. (ii) imza/kâğıt işlemleri gibi mevcut insan yükünü azaltma. (iii) kaynakların yeniden kullanılabilirliği. (iv) ek uzantılarla yeni çalışmalara genişletilebilme. Örneğin, *donanımsal gerçekleştirme* kısmına “turnike

sistemi” için röle veya “sistemi PIN girişi ile kartsız başlatmak” için tuş takımı (*keypad*) dâhil edilebilir. *Yazılımsal gerçekleştirme* kısmına ise *servis yazılımı* ile konuşacak başka uygulamalar geliştirilebilir.

5. Sonuç

Bu çalışmada, Arduino, RFID, *web servisleri* ve Android tabanlı yeni bir *kullanıcı doğrulama sistemi* geliştirildi. Bu sistem, NFC özelliğine sahip kartlar kullanılarak başarılı bir biçimde test edildi. Geliştirilen sistem, her biri hafif ve oldukça düşük maliyetli bileşenlerden oluşma ve düşük elektrik tüketme artırılarıyla “taşınabilir kutu” olarak kullanıma açıktır. Çalışmanın, örnek bir M2M uygulaması olarak mevcut IoT çalışmalarına farklı bir bakış açısı kazandırabileceği ve yeni çalışmalara yön verebileceği düşünülmektedir. Öte yandan, Arduino ve Android tablet, birer USB girişe sahip oldukları için aralarında iletişim kurulduğu sürece şarj edilemezler. Arduino’yu güç kaynağı ile beslemek mümkün olsa da, tabletin bataryası tükendiğinde Android uygulaması çalıştırılmaz. Bu nedenle, yapılan gerçeklemlerin Raspberry Pi kullanılarak da yapılması planlanmaktadır.

Kaynakça

1. K. A. Gündüz, E. T. Akyüz, “Nesnelerin İnterneti ve Hayvancılık Alanındaki Uygulamalar”, Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi, 14, ss. 232-246, 2017.
2. M. Z. Gündüz, R. Daş, “Nesnelerin interneti: Gelişimi, bileşenleri ve uygulama alanları”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(2), ss. 327-335, 2018.
3. E. A. Khalil, S. Özdemir, “Nesnelerin internetine genel bir bakış: Kavram, özellikler, zorluklar ve fırsatlar”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(2), ss. 311-326, 2018.
4. H. B. Bumin Doyduk, C. Tiftik, “Nesnelerin İnterneti: Kapsamı, Gelecek Yönelimi ve İş Fırsatları”, Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi, 52(3), ss. 127-147, 2017.
5. N. C. Özdemir, “IoT Haberleşme Teknolojileri ve Wi-Fi Tabanlı Akıllı Yol/Cadde Aydınlatma Sistemleri”, http://www.emo.org.tr/ekler/fc8aa36b235962e_ek.pdf [Erişim tarihi: 19/09/2018].
6. Z. H. Yiğitbaşı, “Nesnelerin İnterneti ve Makineden Makineye Kavramları için Kilit Öncül - IPv6”, Ulusal IPv6 Konferansı, 2011.
7. Ö. Can, E. Sezer, O. Bursa, M. O. Ünali, “Nesnelerin İnterneti ve Güvenli Bir Sağlık Bilgi Modeli Önerisi”, 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016), 3-5 November, Alanya/Antalya, pp. 1201-1209, 2016.
8. S. Dilek, “Nesnelerin İnterneti Tabanlı Uzaktan Sağlık İzleme Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, 135 sayfa, 2017.
9. F. Aktaş, C. Çeken, Y. E. Erdemli, “Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Biyomedikal Alanındaki Uygulamaları”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4, ss. 37-54, 2016.
10. F. Aktaş, C. Çeken, Y. E. Erdemli, “Biyomedikal Uygulamaları için Nesnelerin İnterneti Tabanlı Veri Toplama ve Analiz Sistemi”, Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi, 25-27 Eylül, Kapadokya/Nevşehir, 2014.
11. K. Kucuk, C. Bayılmış, A. F. Sonmez, S. Kacar, “Internet of Things Based Disaster Management System Design and Implementation”, 2nd International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management (ISHAD2018), 4-6 May, Sakarya, 2018.
12. I. Mohammed, E. Duman, “Implementation of a Smart House Application Using Wireless Sensor Networks”, Computer Science & Information Technology (CS & IT) - CSCP 2017. N. Meghanathan et al. (Eds) : NeCoM, SEAS, CMCA, CSITEC, pp. 53-70, 2017.
13. S. S. Pandey, S. R. Gupta, M. M. Shaikh, K. M. Rawat, P. Jangid, R. Mishra, “Smart Cart Using Arduino and RFID”, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 5(3), pp. 3942-3946, 2018.
14. O. EZ, O. CV, N. UI, “Automatic Access Control System Using Arduino and RFID”, Journal of Scientific and Engineering Research (JSAER), 5(4), pp. 333-340, 2018.
15. M. Ehikhamenle, R. O. Okeke, “Design and Construction of an RFID Based E-Attendance Register”, International Journal of Engineering Research and General Science, 5(1), pp. 161-172, 2017.
16. D. B. Shankar, B. Maram, CH H. Kumar, G. Srikanth, “A Framework for Green Campus Using Arduino Uno”, Journal of Advancement in Engineering and Technology (JAET), 6(2), pp. 1-9, 2018.
17. H. Altınpulluk, “Nesnelerin interneti teknolojisinin eğitim ortamlarında kullanımı”,

Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi (AUAd), 4(1), ss. 94-111, 2018.

18. T. Ercan, M. Kutay, “Endüstride Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamaları”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (AKÜ FEMÜBİD), 16, 035102, ss. 599-607, 2016.
19. “Arduino - Wikipedia”, <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino> [Erişim tarihi: 19/09/2018].
20. “Arduino vs Microprocessor vs Microcontroller - Electrical Engineering Stack Exchange”, <https://electronics.stackexchange.com/questions/99434/arduino-vs-microprocessor-vs-microcontroller> [Erişim tarihi: 19/09/2018].
21. B. Özdenizci, K. Ok, M. N. Aydın, V. Coşkun, “Yakın Alan İletişimi Teknolojisi İncelemesi”, <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/207197> [Erişim tarihi: 19/09/2018].
22. “ESP8266 - Wikipedia”, <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP8266> [Erişim tarihi: 19/09/2018].
23. “Buzzer - Wikipedia”, <https://en.wikipedia.org/wiki/Buzzer> [Erişim tarihi: 19/09/2018].
24. “Light-emitting diode - Wikipedia”, https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode [Erişim tarihi: 19/09/2018].
25. “I2C Protokolü | Geleceği Yazanlar”, <https://gelecegiyazanlar.turkcell.com.tr/konu/arduino/egitim/arduino-401/i2c-protokolu> [Erişim tarihi: 19/09/2018].
26. “Liquid-crystal display - Wikipedia”, https://en.wikipedia.org/wiki/Liquid-crystal_display [Erişim tarihi: 19/09/2018].
27. M. Karakoç, M. Günay, “Akdeniz Üniversitesi BYS için RESTful Web Servisleri”, 20. Akademik Bilişim Konferansı, 31 Ocak – 02 Şubat, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2018.