

# OTONOM ROBOTLAR İÇİN KABLOSUZ SENSÖR AĞI UYGULAMASI

## APPLICATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR AUTONOMOUS ROBOTS

**Yücel YILMAZ**

Yüksek Lisans Öğrencisi, Marmara Üniversitesi

**Mustafa Caner AKÜNER**

Prof. Dr., Marmara Üniversitesi

### Özet

Kablosuz Sensör Ağları(KSA), kablosuz bir ortam vasıtasıyla birbirine bağlanmış yüzlerce veya binlerce sensör düğümünden oluşabilmektedir. Sensör düğümleri; dahili batarya, RF adaptörü, mikrodenetleyici ve sensör birimi ile tümleşik bir yapı oluşturur. Kablosuz sensör ağları nem, sıcaklık, ışık, basınç, toprak bileşimi gibi çevresel koşulları izlemenin yanında; nesne hareketi, gürültü seviyesi, ağırlık, boyut, hareket hızı, yönü ve son konumu gibi fiziksel durumları inceleyebilme özelliklerine de sahiptirler. Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen çevresel ve fiziksel koşulları izlemek için öncelikle sensör düğümleriyle donatılmış otonom robotlarda MQTT tabanlı bir KSA tasarımı ve gerçekleşmesi üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca tasarımı yapılan KSA için, toplanan sensör verilerini uzaktan izlemek için gömülü bir sistem üzerinde çalışan monitörleme yazılımı da geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kablosuz Sensör Ağı, MQTT protokolü, Ağ Topolojisi, Uzaktan İzleme

### Abstract

An ordinary Wireless Sensor Network, or WSN for short, may consist of hundreds or thousands of sensor nodes connected to each other via a wireless environment. Sensor nodes form an integrated structure in a film canister with its own battery-RF adapter, microcontroller and sensor board. WSNs are utilized to monitor the environmental conditions such as humidity, temperature, light, pressure, soil composition; and physical properties such as object movements, noise level, weight, size, movement speed, direction, end position. In this work we aim to design and establish a WSN based on MQTT protocol that can be used primarily in autonomous robots equipped with sensors in order to monitor the above environmental and physical conditions. For this designed WSN we also develop a monitoring software on an embedded system to monitor the collected sensor datas remotely.

**Keywords:** Wireless Sensor Network, MQTT Protocol, Network Topology, Remote Monitoring

## 1. GİRİŞ

Sensör ya da Türkçe olarak Algılayıcı, fiziksel dünya ile etkileşimde bulunmak amacıyla kullanılan elemandır. Fiziksel dünyadan aldığı verileri bir karar verme birimine ileterek görevini gerçekleştirmektedir. Bu karar sonucu da eyleyici ya da eyleyicilere iletilerek istenilen, önceden belirlenen bir görev tamamlanmaktadır. Sensörler bir araya gelerek ağ oluşturabilme yapısına sahiptirler. Kablosuz sensör ağları; kablosuz olarak birbirleriyle bilgi alışverişi yapan sensörler ve bunların bir merkezden izlenmesini sağlayan ağlardır [1,2]. Sıradan bir Kablosuz Sensör Ağ(Wireless Sensor Network ya da kısaca WSN) kablosuz bir ortam vasıtasıyla birbirine bağlanmış yüzlerce veya binlerce sensör düğümünden oluşabilmektedir. Sensör düğümleri bir film teneke kutu içerisinde kendi pili, RF adaptörü, mikrodenetleyici ve sensör

panosu (board) ile tümleşik bir yapı oluşturur [3]. Kablosuz sensör ağları genel olarak; nem, sıcaklık, ışık, basınç, nesne hareketleri, toprak bileşimi, gürültü seviyesi, bir nesnenin varlığının tespiti, belirli bir nesnenin; ağırlık, boyut, hareket hızı, yönü, son konumu gibi fiziksel durumlarını izleyebilme özelliklerine sahiptirler.

Kablosuz sensör ağlarının uygulama alanları; çevresel uygulamalar başlığı altında orman yangını, sel, deprem gibi doğal afetlerin ölçümlendirilmiş olarak hızlı bir şekilde ihbar edilmesinde, hava kirliliği tespiti ve ayrıntılı rapor alınmasında, doğal yaşamın gözlenmesinde kullanılabilir. Askeri uygulamalar kısmında; dost kuvvetlerin teçhizat ve cephanesinin izlenmesi, savaş alanının gözlenmesi, arazi hakkında keşifte bulunma, hedefin konumu, sürati gibi hedef bilgilerinin tespiti, düşmana verdirilen hasar miktarının tespit edilmesi, nükleer, biyolojik ve kimyasal (NBC) saldırı ihbarının alınması ya da keşfi gibi durumlarda kendine yer bulmaktadır [4].

Literatürde bulunan bir çalışmada, Zigbee uyumlu haberleşme modülleri ve yazılım ile noktadan noktaya kablosuz haberleşme aracılığıyla domuzlara implant edilmiş olan sensörlerden kalp ile alakalı aortik ventriküler basınç ve sıcaklık verileri okunmuştur. Kullanılan haberleşme protokolü yazılımı ile IEEE 802.15.4 standardının alt seviye özellikleri in-vivo isimli veri izleme programında doğrulanmış ve böylece Zigbee'nin minimal bir türevi elde edilmiştir [5,6].

Diğer bir çalışmada, Kolombiya Nehri çevresel gözlem ve tahmin sistemi (Environmental observation and forecasting system kısaca EOFS ) Oregon enstitüsündeki kıyı ve arazi araştırma merkezi tarafından yaptırılmıştır. Kolombiya Nehri'nin içinde ya da çevresinde özellikle de denize döküldüğü yerde toplam 23 adet sabit istasyon kurulmuştur. Kablosuz sensörlerden alınan bilgiler ile gemilerin aktif olarak kontrolü, arama-kurtarma, ekosistem araştırması ve yönetimi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca algılayıcı bilgileri ORBCOMM LEO uydusu tarafından alınmaktadır ve internet ortamından gerçek zamanlı olarak aktarılmaktadır [7,10].

Yapılan bu çalışmada, sensör düğümleri; sıcaklık, nem, ultrasonik mesafe ölçer ve yağmur sensörü gibi sensör çeşitleri içermektedir. Bu sensörler, gündelik hayatta hem sık karşılaşılan hem de temini kolay olmaları sebebiyle seçilmişlerdir. Kablosuz sensör ağı altyapısında kablosuz haberleşme protokolü olarak MQTT kullanılmıştır. Proje'nin açık kaynak olması amaçlandığından dolayı hem taşınabilirlik hem de uygulanabilirliği kolay, güç kullanımı tarafında kullanıcıyı tatmin eden ESP8266 tabanlı NodeMCU ürünleri sensör düğümü tarafında kullanılmıştır. Sensör düğümlerinden gelen verilerin işleneceği koordinatör düğüm kısmında ise Raspberry Pi 3 modeli kullanılmaktadır. İşlenen sensör düğüm verilerinin monitör edildiği uzaktan izleme panel yazılımı Qt çatısı altında C++ programlama dili kullanılarak yazılmıştır. Hem Linux hem de Windows üzerinde çalışabilmektedir. İki ana işletim sistemi üzerinde de çalışan bu yazılımın uygulanabilirliği ve kendine yer edinebilirliği açısından önemlidir.

## 1.1. Amaç ve Önem

Teknoloji'nin gelişmesiyle birlikte ihtiyaç duyulan fiziksel verilerin sensörler aracılığıyla işlenerek eyleyiciler yardımıyla harekete geçen otonom robotlar, gün geçtikçe daha da önem arz etmektedir. Hayatın her alanında kendine yer bulan otonom robotlar bir takım algılayıcılarla donatılmışlardır. Algılayıcılar genellikle kablolu olarak bir karar verme birimine bağlıdır. Algılayıcı (Sensör) sayısı artmasıyla birlikte sensörler üzerinde bulunan gerilim ve sinyal uçları sistem içerisinde kablo karmaşıklığını da aynı oranda artmaktadır. Bu sebeple sistemin yani otonom robotun mümkün olduğunca karmaşıklıktan uzak, modüler bir yapıda tasarlanması arzulanmaktadır. Sistem karmaşıklığını olabildiğince minimuma indirmek için bu çalışmada kablosuz bir sensör ağının kurulması ortaya koyulmuştur. Sensörlerin kablolardan arındırılmasıyla birlikte kablolu ağların çalışmasının imkanının olmadığı ya da kullanılamayacağı durumlarda kullanılabilirler.

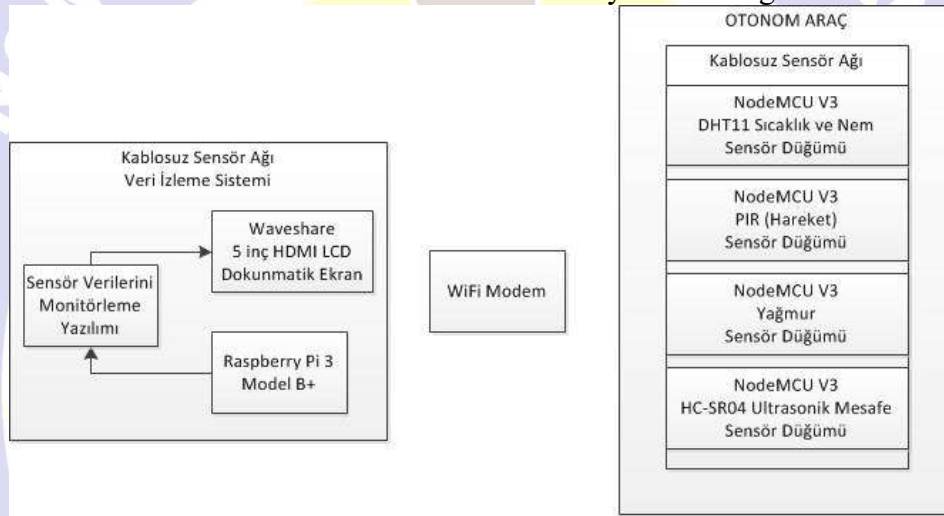
Bu çalışmanın temel amacı; öncelikli olarak otonom robotlarda kullanılabilecek sensör düğümleri tasarlanıp bu sensör düğümlerinin haberleşme altyapısı kurularak kablosuz sensör ağının oluşturulmasıdır. Oluşturulacak kablosuz sensör ağı diğer uygulama alanlarında da kendine yer bularak öncü olması planlanmaktadır. Özellikle son zamanlarda revaçta olan nesnelerin interneti gibi teknolojiler geliştikçe kablosuz sensör ağlarının önemi de artmaktadır.

## 2. SİSTEM TASARIMI

Bu bölümde otonom bir arazi aracı için tasarlanan KSA(Kablosuz Sensör Ağı)'nın sistem mimari tasarımı, sensör düğümleri tasarımları ve kullanılan komponentlerle ilgili bilgiler verilmektedir.

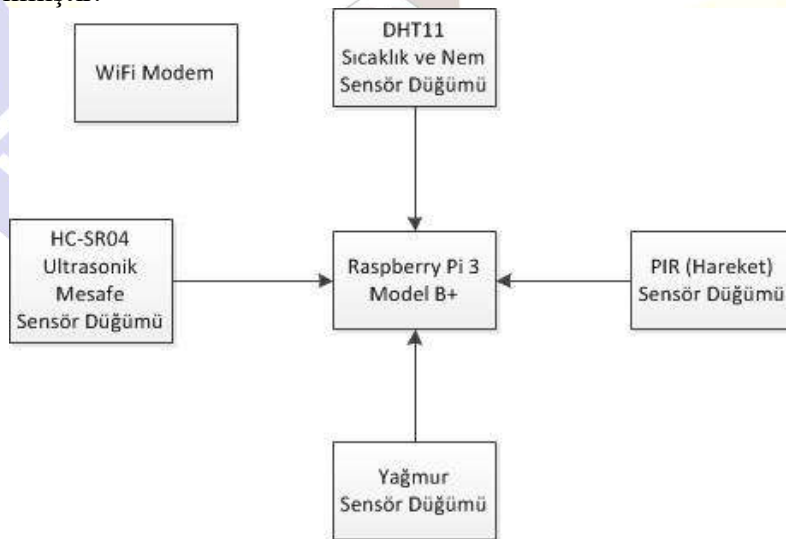
### 2.1.Kablosuz Sensör Ağı Sistem Mimarisi

Kablosuz sensör ağı için önerilen yapının sistem mimarisi Şekil 2.1.'de verilmiştir. Önerilen yapıda sensör düğümleri tarafında DHT11 sensörü sıcaklık ve nem ölçümü, PIR sensörü hareket var/yok tespiti, yağmur sensörü yağmur durumu, HC-SR04 sensörü ultrasonik olarak mesafe ölçümü işlemlerinde kullanılmışlardır. Sistemde kullanılan sensör çeşitleri arazide görev yapabilecek bir otonom robot aracı düşünülerek seçilmiştir. WiFi router/modem MQTT tarafında kullanılacak olan kablosuz haberleşme ağı için Wi-Fi şebekesini kuran, kablosuz sinyal gönderen kısımdır. Şekil 1'de veri izleme sistemi olarak tanımlanmış olan bölgede tüm sensör düğümlerinden gelen verilerin işlendiği koordinatör düğüm olarak Raspberry Pi 3 bulunmaktadır. İşlenen veriler Waveshare marka 5 inç HDMI LCD dokunmatik ekran üzerinde monitörleme yazılımı ile gösterilmektedir.



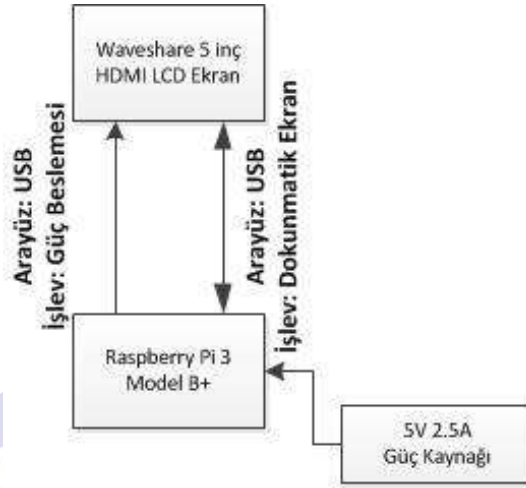
Şekil 2.1. Önerilen KSA yapısının sistem mimarisi

Sensör düğümleri ile koordinatör düğüm arasında tek bir noktadan merkezi bir sistem tasarımı amacı güdüldüğünden yıldız topolojisi kullanılmıştır. Yıldız topolojisinin sisteme uyarlanmış hali Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

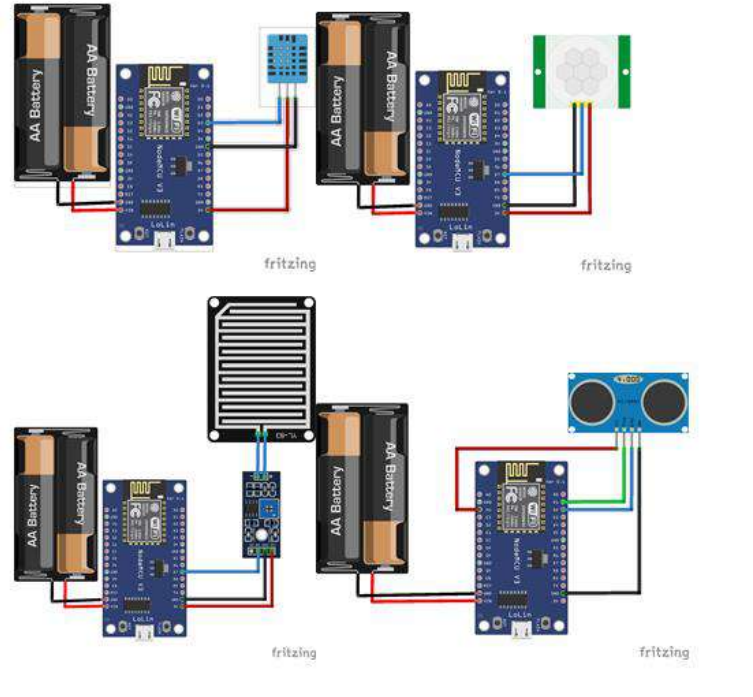


Şekil 2.2. Sensör düğümleri ile koordinatör düğüm arasındaki yıldız topolojisi

Koordinatör düğüm olan Raspberry Pi 3 ile dokunmatik ekran arasındaki fiziksel arayüz Şekil 2.3.'de verilmiştir.

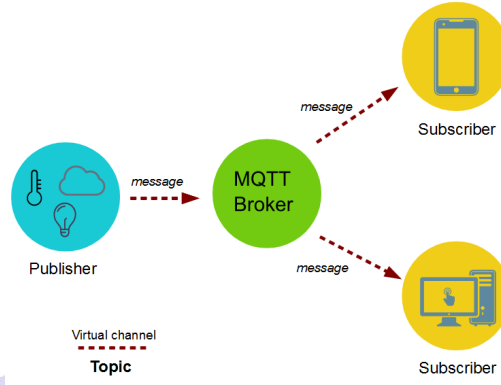


**Şekil 2.3.** Koordinatör düğüm Raspberry Pi ile dokunmatik ekran arayüzü  
Sensör düğümleri tarafında; NodeMCU V3 ile DHT11 sıcaklık ve nem sensörü, PIR hareket sensörü, yağmur sensörü ve HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü bağlantıları soldan sağa sırasıyla Şekil 2.4’de verilmiştir.



**Şekil 2.4** DHT11, PIR, Yağmur ve HC-SR04 ile NodeMCU V3 bağlantıları

Kablosuz sensör ağında haberleşme altyapısı olarak TCP / IP tabanlı bir mesajlaşma protokolü olan MQTT kullanılmıştır. MQTT kullanılmasının sebebi, KSA içerisinde herhangi bir sensör düğümünün herhangi bir konuda yayın yapıp konfigüre edilmesi dahilinde istenilen bir konuya da abone olabilmesidir. Böylece otonom araç üzerine koyulabilecek bir sensör düğümünün kendine tahsis edilen konu başlığı altında yayın yapabilmesi veri izlenebilirliği açısından önemlidir. Ayrıca MQTT'nin verileri byte dizileri şeklinde transferi ve yayıncı-abone semantik modeli sayesinde kısıtlı kaynaklara sahip cihazlarda enerji tüketimi konusunda oldukça avantajlı bir durumdur. MQTT mesajlaşma protokolünün genel çalışma prensibi Şekil 2.5.’de gösterilmiştir.

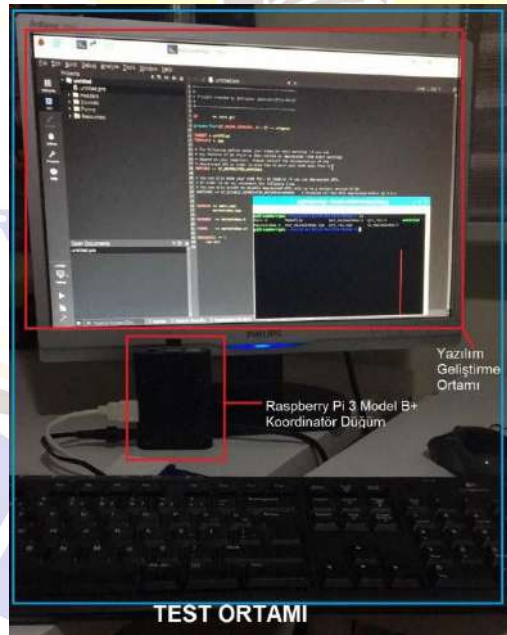


Şekil 2.5. MQTT genel çalışma prensibi

### 3. SİSTEM GERÇEKLEMESİ VE TESTİ

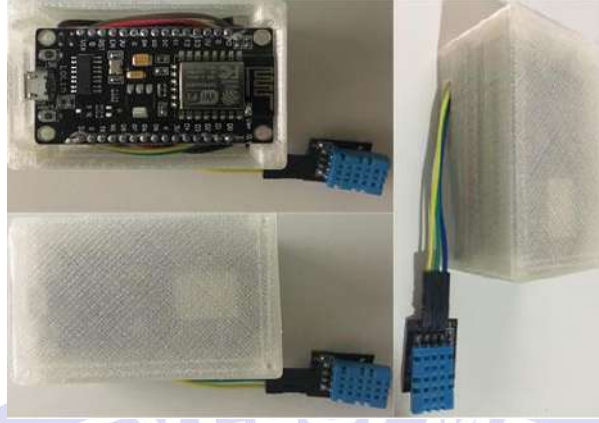
Bu kısımda sistem tasarımı yapılan kablosuz sensör ağının gerçekleştirilmesi ve test ortamının kurulup testlerinin yapılması anlatılmıştır. KSA(Kablosuz Sensör Ağı) sistem mimarisi başlığı altında sensör düğümlerinin tasarımları fiziksel olarak gerçekleştirilmiştir. MQTT aracı(broker) yazılımı Mosquitto, Raspberry Pi 3 kartına kurulmuştur. Monitörleme yazılımı için gerekli olan yazılım geliştirme ortamı Qt Creator, Raspberry Pi 3 üzerinde kurulumu yapılarak yazılım ilgili mini bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Qt Creator yazılımı, kişisel bilgisayar üzerinde kurulum yazılım geliştirilmesi ilgili bilgisayar üzerinde de yapılabilir. Fakat projenin ARM mimarisine göre derlenmesi gerekmektedir. Kişisel bilgisayar tarafına da Arduino IDE kurularak NodeMCU ESP8266 için gerekli olan eklentiler yüklenmiştir. Böylece sensör düğüm tarafında gerekli olan yazılım Arduino IDE üzerinde geliştirilmiştir.

Yukarıda bahsi geçen işlemler tamamlandıktan sonra test ortamı kurulmuştur. İlgili test ortamı Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



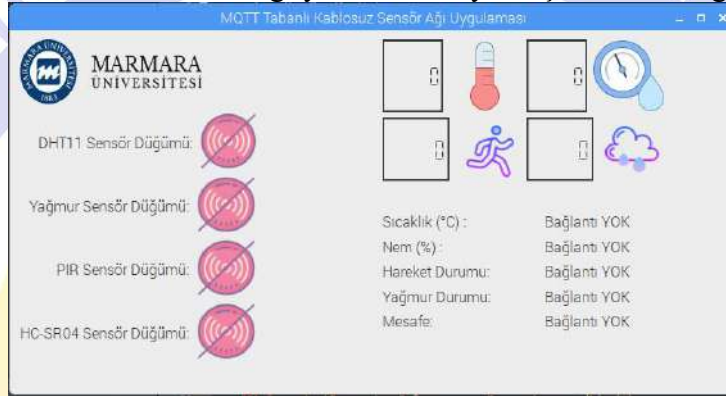
Şekil 3.1. Yazılım geliştirme, koordinatör düğüm ve test ortamı

KSA sistem mimarisi başlığında bahsi geçen sensör düğümlerinin tasarımının fiziksel gerçekleştirilmesi Şekil 3.2.'de gösterilmektedir. Sensör düğümü; NodeMCU V3, LiPo batarya, ilgili sensör ve bunları kapsayan bir kutu içermektedir. KSA bünyesinde Şekil 3.2.'de gösterilen sensör düğümlerinden dört adet bulunmaktadır.



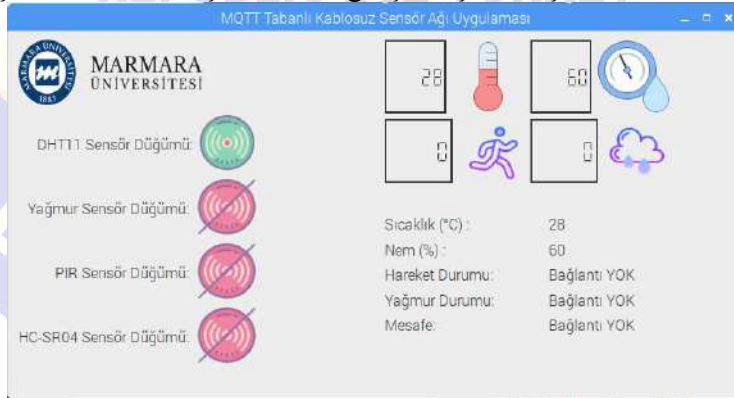
**Şekil 3.2.** Fiziksel gerçekleştirilen bir sensör düğümü

Sensör düğümlerinden gelen verilerin koordinatör düğüm olan Raspberry Pi’de işlendikten sonra dokunmatik ekran üzerinde monitörleneceği yazılımın arayüzü Şekil 3.3.’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.3.** KSA monitörleme yazılımı

Monitörleme yazılımının sol tarafında yer alan simgeler, sensör düğümünün koordinatör düğüm ile olan bağlantı durumunu göstermektedir. Sensör düğümü koordinatör düğüm ile bağlantı kurduğunda Şekil 3.4.’deki gibi ilgili aktif olan sensör düğümünün simgesel durumu yeşil renge dönmektedir. Sağ kısımda yer alan kısım ise, sensör düğümlerinden gelen veriler gösterilmektedir. Şekil 3.4.’de örnek olarak DHT11 sensör düğümü aktif edilmiş ve sıcaklık ile nem değerleri elde edilmiştir. Testler oda şartlarında gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.4.** KSA monitörleme yazılımı sensör düğüm aktiflik durumu

Kurulan test ortamında bilgisayar monitörü kullanılarak yazılım geliştirmeleri yapılmıştır. Yazılım geliştirme süreci boyunca koordinatör düğüm ile sensör düğümlerinin arasındaki haberleşme testleri bu ortam üzerinde gerçekleştirilmiştir. KSA sistem mimarisi içerisinde yer alan koordinatör düğüm’e bağlı 5 inç HDMI LCD dokunmatik ekranın koordinatör düğümüne entegrasyonu ve yazılımın devreye alınması Şekil 3.5.’de gösterilmiştir. Dokunmatik ekran için 3D yazıcıdan ekran çerçevesi çıkarılmıştır.



**Şekil 3.5.** Koordinatör düğümün dokunmatik ekran ile entegrasyonu

Entegrasyon işlemleri tamamlandıktan sonra iki adet sensör düğümüyle test edilmiştir. Yağmur sensörünün çalışır durumunu test etmek için sensör üzerine birkaç damla su damlatılmıştır. Hareket sensörü için de hareket sensörünün görüş alanında hareket edilerek ekran üzerinde sensör düğüm veri durumu gözlemlenmiştir. İlgili test işlemi Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.6.** Sensör düğümlerinin test işlemi

Dokunmatik ekran üzerinde hareketin ve su damlalarının algılandığı bilgisi görülmüştür. Sensör düğümlerinin bağlantı durumlarının stabil olduğu da gözlemlenmiştir. Dört sensör düğümünün aynı anda bağlı olduğu durumda da sensör düğümlerinin koordinatör düğüm ile olan bağlantı durumlarını koruduğu yapılan testlerde tespit edilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada geliştirilen sensör düğümlerinde mikrodenetleyici tabanlı kontrol birimi olarak hızlı elektronik prototipleme amacıyla NodeMCU gibi hazır bir elektronik geliştirme kartı çözümüne gidilmiştir. NodeMCU üzerinde kullanılan ESP12E modülü baz alınarak kullanılacak sensör ve pil gibi bileşenler göz önünde bulundurularak PCB çizilebilir.

Çalışmada kullanılan özellikle sıcaklık ve mesafe sensörleri yapılan çalışma için yeterli olup, profesyonel bir kullanım için yeterli değildir. Pt1000 RTD sıcaklık sensörü gibi daha hassas ve ölçüm kararlılığı yüksek ürünler seçilebilir.

Pil olarak 950mAh değeri yerine 2A-3A gibi Li-Po(Lityum-Polimer) ya da Li-ion(Lityum-İyon) sensör düğümlerine sığabilecek yüksek akıma sahip pil çözümlerine gidilerek sensör düğümlerinin daha uzun süre çevrimiçi olabilmesi sağlanabilir.

Monitörleme yazılımı ve sensör düğüm gömülü yazılım kısmında sensör düğümlerinden gidecek veri sıklığı ile monitörleme yazılımı tarafında alınacak veri sıklığı doğru ayarlanmalıdır. Aksi takdirde sensör düğümleri arasında senkronizasyon sağlanması sıkıntılı olabilmektedir.

Çoklu ve karmaşık KSA topolojisi senaryolarında MQTT kullanımı söz konusu ise MQTT SN(Sensor Network) çözümüne gidilebilir.

MQTT tabanlı kablosuz sensör ağı geliştirilirken koordinatör düğüm tarafında bulut tabanlı yenilikçi çalışmalar da geliştirilebilir.

Sonuç olarak şahsi yüksek lisans tezinden alıntılar yapılan bu çalışma kapsamında geliştirilen uygulamanın amacı, otonom robotlar üzerine yerleştirilebilir sensör düğümleri tasarlanarak MQTT tabanlı kablosuz bir sensör ağı geliştirme konusunda faydalı olmaktadır. Yukarıda bahsedilen iyileştirme çalışmaları yapıldığı takdirde, bu çalışma sonucu çıkan uygulamanın daha stabil ve etkin kullanımı sağlanabilir.

## 5. KAYNAKÇA

- [1] Q. Wang, K. Xu and H.S. Hassanein, "A Practical Perspective on Wireless Sensor Networks," Chapter 9, Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems (Ilyas/Mahgoub, Eds), CRC Press, July 2004 .
- [2] O.D. Şafak., Z.Halim., Kablosuz Sensör Ağlar ve Güvenlik Problemleri, Sayfa:1-2
- [3] Sensör düğümü, [http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_sensor\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network)
- [4] Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Güvenli Yönlendirme: Ataklar ve Karşı Önlemler, <https://web.cs.hacettepe.edu.tr/~abc/teaching/bil656/presentations/FatihSaglam.pdf>
- [5] Ç.E.Hüseyin, 2009, "Kablosuz Sensör Ağlarının MicaZ Tabanlı Biyomedikal Uygulaması", Sayfa: 20-21
- [6] Valdastrì, P., Rossi, S., Menciasì, A., Lionetti, V., Bernini, F., Recchia, F.A., and Dario, P., 2007, "An implantable ZigBeeready telemetric platform for in-vivo monitoring of physiological parameters", Elsevier.
- [7] A.Oğuz, B.H.Hasan, "Kablosuz Algılayıcıların Güncel Kullanım Alanları",İstanbul Arel Üniversitesi, İstanbul
- [8] Alan Mainwaring, David Culler, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, and John Anderson, "Wireless sensor networks for habitat monitoring," in ACM WSNA'02, GA, USA, 2002.
- [9] Robert Szewczyk et al., "Application driven systems research: habitat monitoring with sensor networks," Communications of the ACM Special Issue on Sensor Networks, vol. 47, no. 6, pp. 34-40, 2004.
- [10] CORIE. [Online]. <http://www.ccalmr.ogi.edu/CORIE/>
- [11] Kodali, R. K., & Mahesh, K. S. (2016). Low cost ambient monitoring using ESP8266. In Proceedings of the 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics, IC3I 2016 (pp. 779–782).