

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) Kapsamında Çok Sensörlü Ofis Ortamı İzleme ve Analiz Sistemi Tasarımı

Daha ileriye... En İyiyeye...

Sevil GÜLDEREN

Nisa Damla TEKİN

Ceyda GÜNGÖR

Tuna ÇAĞLAYAN

Proje Danışmanı: Prof. Dr. Şeyda ÇOLAK

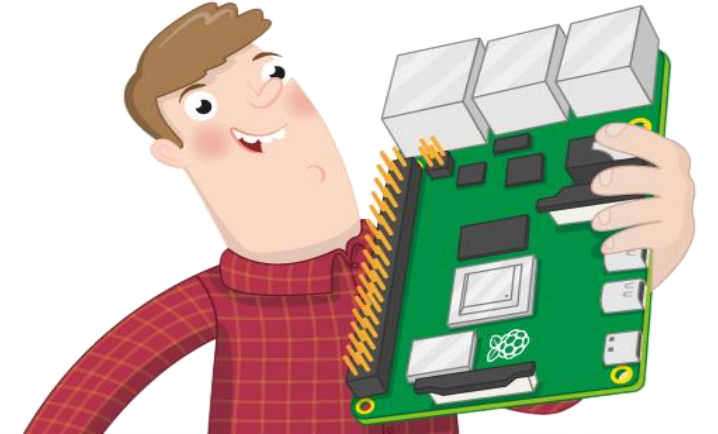


**HACETTEPE
ÜNİVERSİTESİ**

www.hacettepe.edu.tr

İçerik

1. Projenin Amacı ve Kapsamı
 - Fiziksel Risk Etmenleri
2. Fiziksel Risk Etmenlerinin Ofis Ortamında İzlenmesi ve Analizi
 - Gürültü ve Ses Kalibrasyonu
 - Basınç
 - Termal Konfor ve Sıcaklık Kalibrasyonu
 - Aydınlanma ve Kalibrasyonu
 - Yazılım Mimarisi ve Mobil Uygulama
3. Maliyet Analizi
4. Sonuç ve Geliştirme Önerileri



Projenin Amacı ve Kapsamı

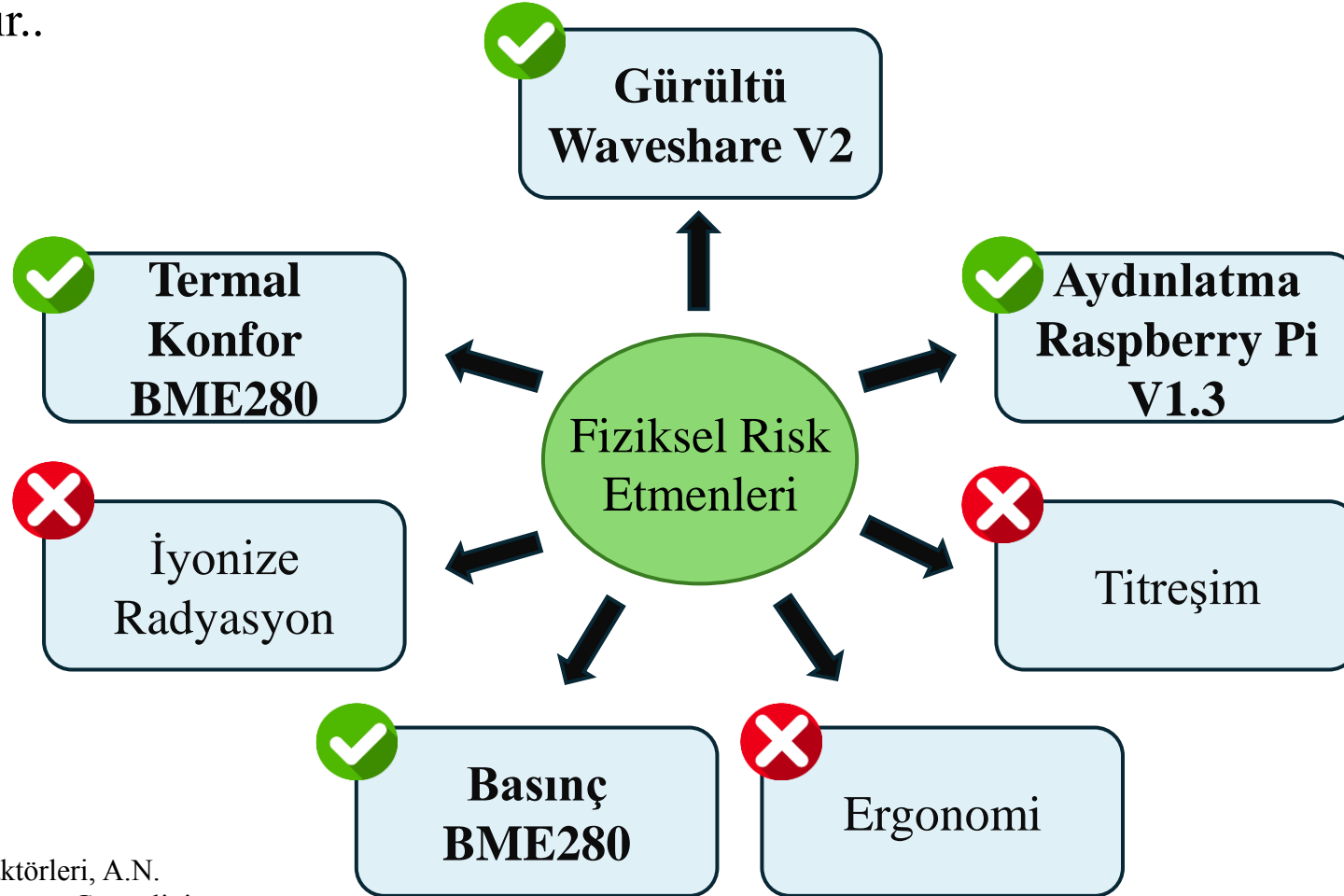
- Ofis ortamlarında çalışanların maruz kaldığı fiziksel risk etmenlerinden **gürültü, sıcaklık, nem, basınç, aydınlatma parametrelerini** tek bir cihaz üzerinden ölçmek.
- Elde edilen verileri gerçek zamanlı olarak kaydederek, çalışanların riskleri önceden tespit etmesini ve erken önlem almasını sağlamak.
- **Mobil uygulama** entegrasyonu ile ölçüm sonuçlarını her yerden erişilebilir ve sürekli izlenebilir hale getirmek.

Bu amaçlar doğrultusunda proje:

- **Raspberry Pi 3B+ (ana işlemci), Arduino Uno (analog veri işleme), basın.-sıcaklık-nem ölçümü için BME280 sensörü, gürültü ölçümü için Waveshare ses sensörü ve aydınlatma ölçümü için Raspberry Pi V1.3 kamera modülünden** oluşan prototip geliştirilmesi,
- Python tabanlı veri işleme, Firebase bulut veritabanı ile veri senkronizasyonu ve Flet altyapısıyla geliştirilen **mobil uygulama** yapılması aşamalarını kapsamaktadır.

Fiziksel Risk Etmenleri

İş ortamındaki fiziksel çevre koşulları, iş güvenliği bağlamında birer fiziksel risk faktörü olarak sınıflandırılmaktadır..





<https://www.waveshare.com/Sound-Sensor.htm>

+



<https://www.robotistan.com/arduino-uno-r3-klon-usb-kablo-hediyeli-usb-chip-ch340>

Gürültü Ölçümü:

Mobil Uygulama Tasarımı:



Firebase

<https://firebase.google.com/brand-guidelines>

Basınç-Sıcaklık-Nem Ölçümü:

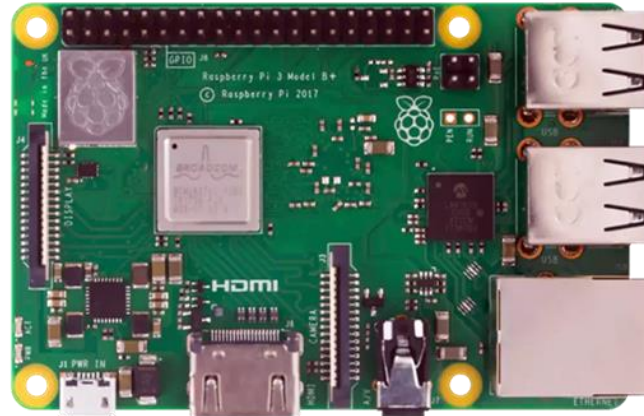


<https://shillehtek.com/blogs/shillehtek-product-manuals/bmp280-i2c-ii-digital-atmospheric-pressure-temperature-altitude-sensor>

Aydınlatma Ölçümü:



<https://www.robotistan.com/raspberry-pi-3-ve-4-uyumlu-kamera-modulu>



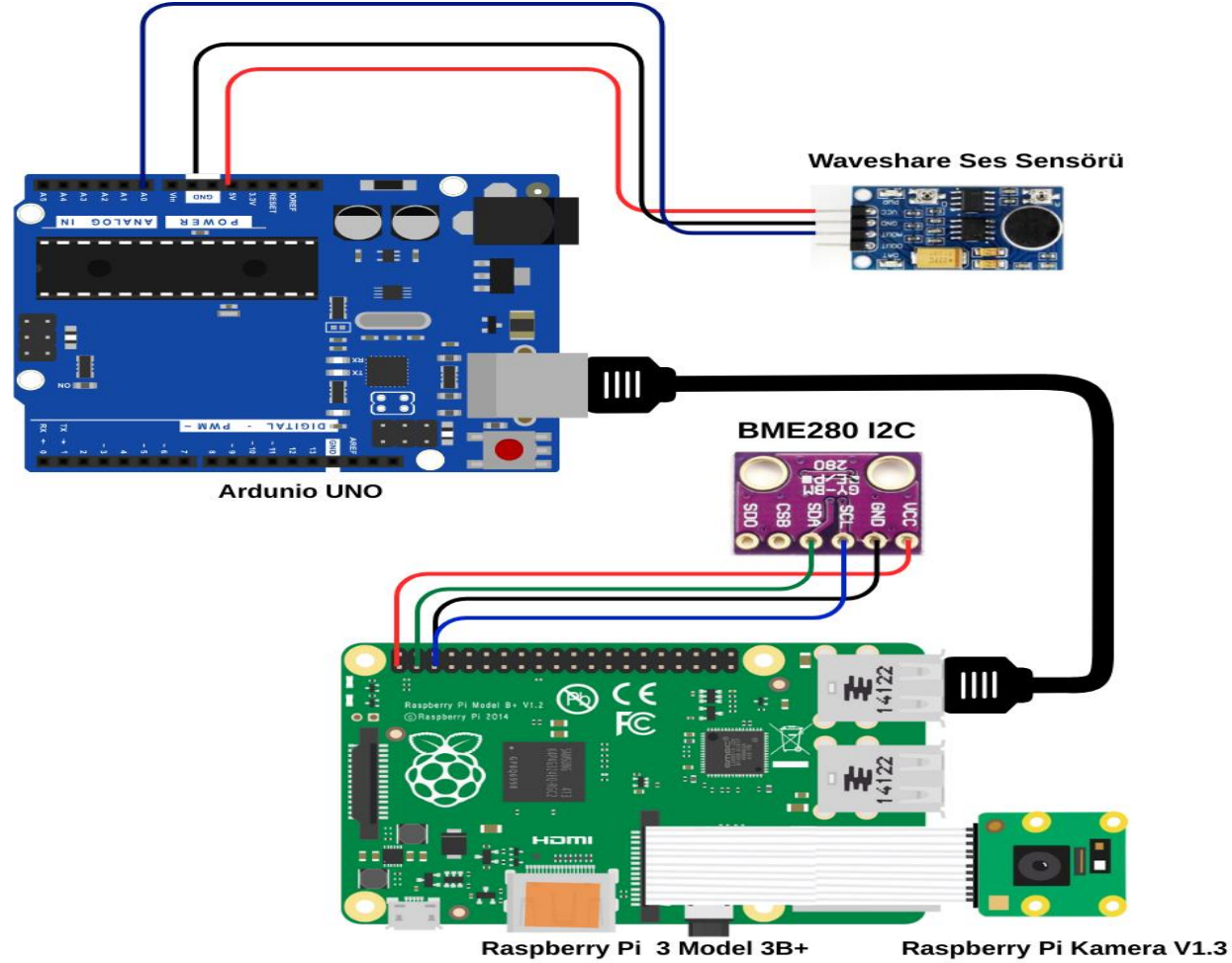
https://market.samm.com/raspberry-pi-3-b-plus?srsId=AfmBOorrF2adKgiNSkaH3KAAAnsizF25GzIA6U6y84sp1u_7saMaRGcT

Şekil-2 Tasarıma ait akış şeması.



<https://pypi.org/project/flet/>

Sistemin Bağlantı Şeması



Şekil-3 Bağlantı Şeması

Gürültü

| Kullanım alanı | | Kapalı pencere | Açık pencere |
|---------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|
| | | L_{eq} (dBA) | L_{eq} (dBA) |
| Ticari Yapılar | Büyük ofis | 45 | 55 |
| | Toplantı salonları | 35 | 45 |
| | Büyük daktilo ve bilgisayar odaları | 50 | 60 |
| | Özel büro(Uygulamalı) | 45 | 55 |
| | Genel büro (Hesap, yazı bölmeleri) | 50 | 60 |
| Kamu Kurum ve Kuruluşları | Ofisler | 45 | 55 |
| | Laboratuvarlar | 45 | 55 |
| | Toplantı salonları | 35 | 45 |
| | Bilgisayar odaları | 50 | 60 |

Tablo-1 Ofis ortamlarına göre gürültü düzeyleri

Ulucan, H.F. ve Zeyrek, S., (2012). Ofislerde İş Sağlığı ve Güvenliği.
https://dosyalar.nevsehir.edu.tr/be511600bb819cd8c66a174ca5598500/ofislerde_ism.pdf

Mevzuata göre, 8 saatlik çalışma süresi baz alınarak belirlenen kritik seviyeler şunlardır:

- **En Düşük Maruziyet Eylem Değeri: 80 dB(A)**
- **En Yüksek Maruziyet Eylem Değeri: 85 dB(A)**
- **Maruziyet Sınır Değeri (Aşılmaz): 87 dB(A)**

SES SENSÖRÜNÜN KALİBRASYONU



Görsel-1 Thrubly Thandar TG230
2MHz Osilatör ve Hoparlörler



Görsel-2 Trotec
BS06 Gürültü Ölçer



Görsel-3 Sensör ve gürültü ölçerin
konumlandırılması

KALİBRASYON VERİLERİ

Tablo-2 1kHz için ölçülen ve hesaplanan veriler

- 1 kHz için Veri Analizi

$$\text{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad P \propto A^2$$

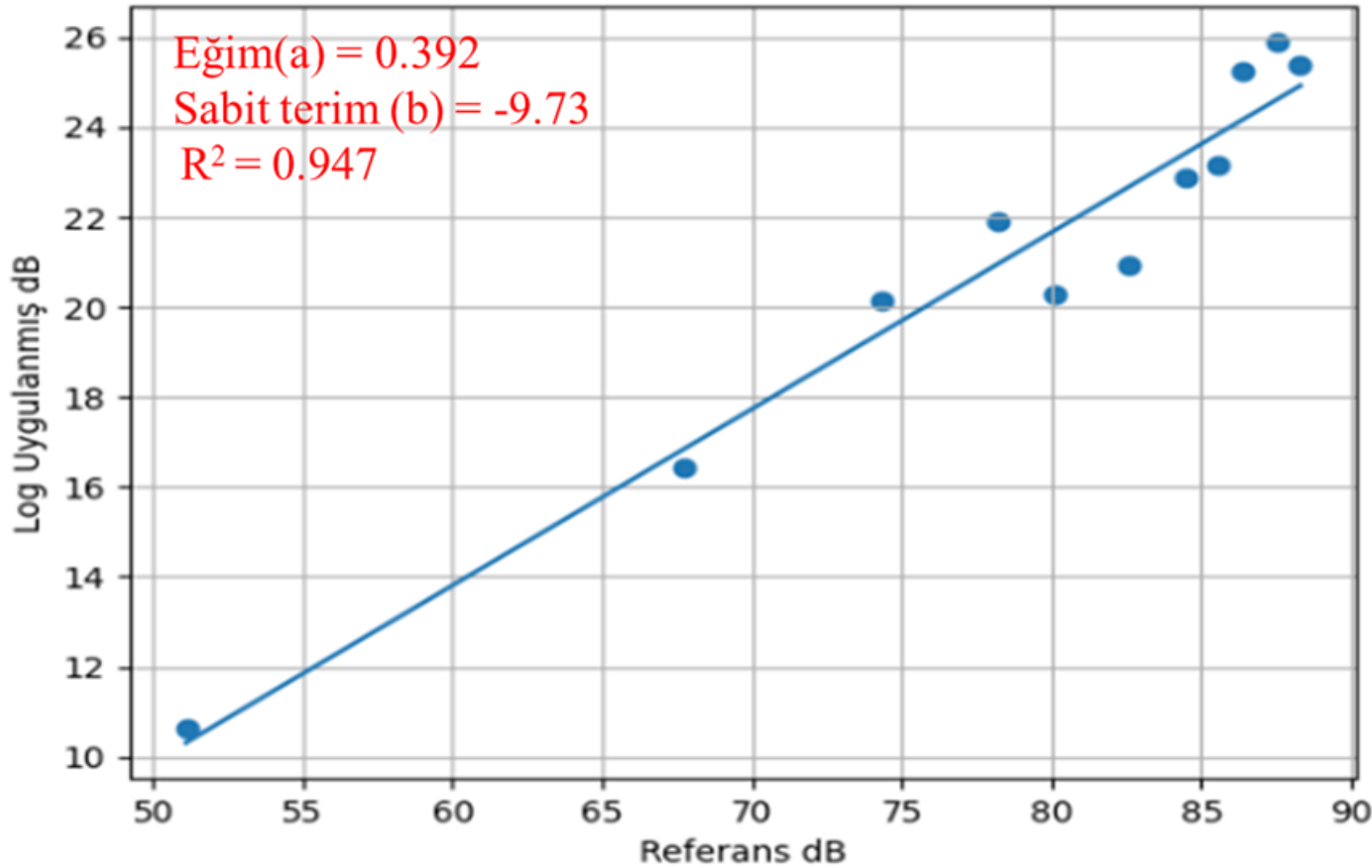
Offset değerimiz → 29.9 KB

Desibel birimine ulaşmak için kullanılan formül

$$L_{\log} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{A}{29,9} \right)$$

| Sensör Verisi (A) | İşlenmiş Veri(Llog) | Gürültü Ölçer Verisi(dB) |
|-------------------|---------------------|--------------------------|
| 101,6 | 10,62 | 51,1 |
| 198,1 | 16,42 | 67,8 |
| 303,5 | 20,13 | 74,3 |
| 372,6 | 21,91 | 78,2 |
| 309,4 | 20,30 | 80,1 |
| 332,3 | 20,92 | 82,5 |
| 416,2 | 22,87 | 84,5 |
| 428,6 | 23,13 | 85,5 |
| 546,1 | 25,23 | 86,4 |
| 588,9 | 25,89 | 87,5 |
| 556,1 | 25,39 | 88,2 |

KALİBRASYON VERİLERİ



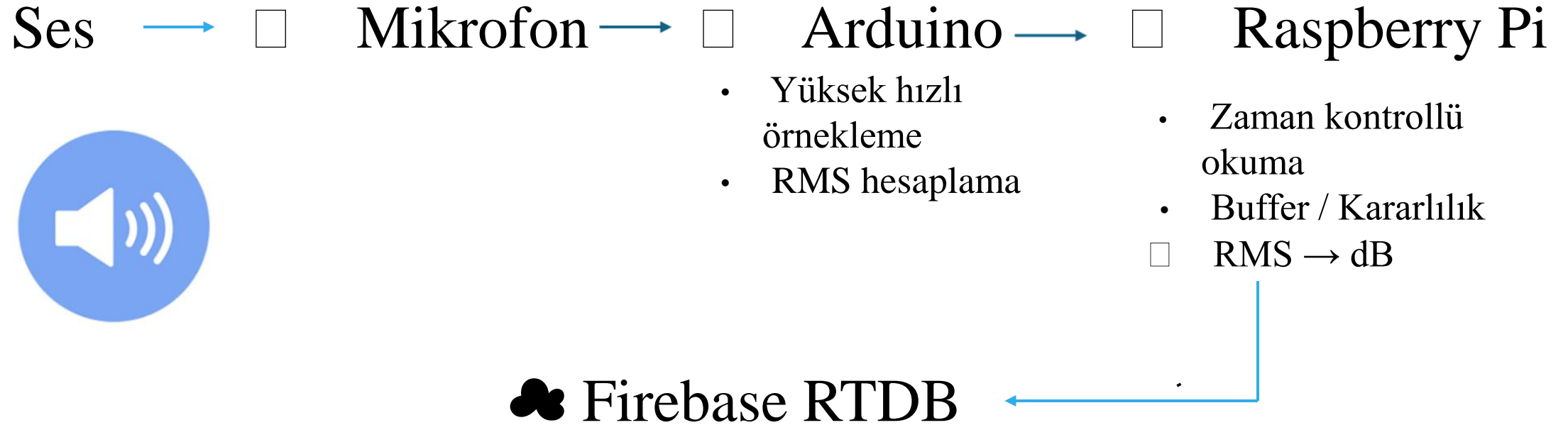
Son durumda entegre edilen kod:

$$L = 20 * \text{math.log10}(\text{rms} / 29.9)$$
$$\text{dB} = (L + 9.73) / 0.392$$



Grafik-1 Ses verilerinin regresyon modeli ile normalize edilmesi

KALİBRASYON VERİLERİNİN ENTEGRASYONU



Şekil-4 Kalibrasyona verilerinin entegre edilmesine ait şematik gösterim

Basınç

Basınç, birim alana etki eden dik kuvvettir. İSG açısından risk, normal atmosfer basıncından sapmalar (yüksek veya düşük basınç) oluştuğunda ortaya çıkar. Genellikle dalgıçlar (yüksek basınç) veya pilotlar/yüksekte çalışanlar (düşük basınç) için kritik bir risk faktörüdür.

Referans Değerler:

- Deniz seviyesindeki normal atmosfer basıncı referans olarak **760 mmHg** (yaklaşık 1013 hPa) kabul edilir.
- Sağlık riski oluşturmaması için basınç değişimlerinin ani olmaması ve **4,5 N/cm²**'lik farkı aşmaması önerilmektedir.

Termal Konfor

Çalışanların büyük çoğunluğunun sıcaklık, nem, hava akımı ve radyant ısı açısından hem bedensel hem zihinsel olarak belirli bir rahatlık seviyesinde olma halidir.

- Efektif Sıcaklık: Hissedilen sıcaklık; sadece kuru termometre sıcaklığı değil, nem, hava akım hızı ve radyant ısının bileşkesidir.
- Sıcaklık: İdeal çalışma aralığı **17°C - 23°C**'dir. 30°C üzeri sıcaklıklarda iş kazası riski artar ve verim kaybı belirginleşir (32°C'de %30 kayıp).
- Nem: İşyerlerinde bağıl nem oranının **%30 - %80** arasında olması önerilir.
- Hava Akımı: Rahatsızlık yaratmaması için hava akım hızının **0,3 - 0,5 m/s**'yi aşmaması gerekir.
- Diğer Faktörler: **Radyant ısı (termal radyasyon), metabolizma hızı ve giysi yalıtımı (clo değeri)** konforu doğrudan etkiler.

Sıcaklık Sensörü Kalibrasyonu

Kullanılan Araç ve Gereçler:



Görsel-5 BT3 Isıtıcı

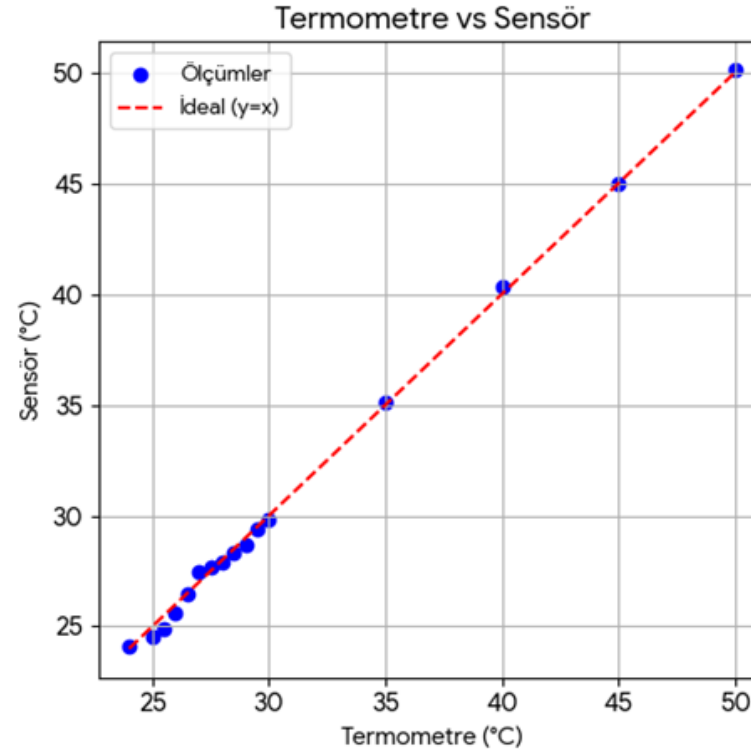


Görsel-6 Zeal Termometre

Veriler ve Sonuç:

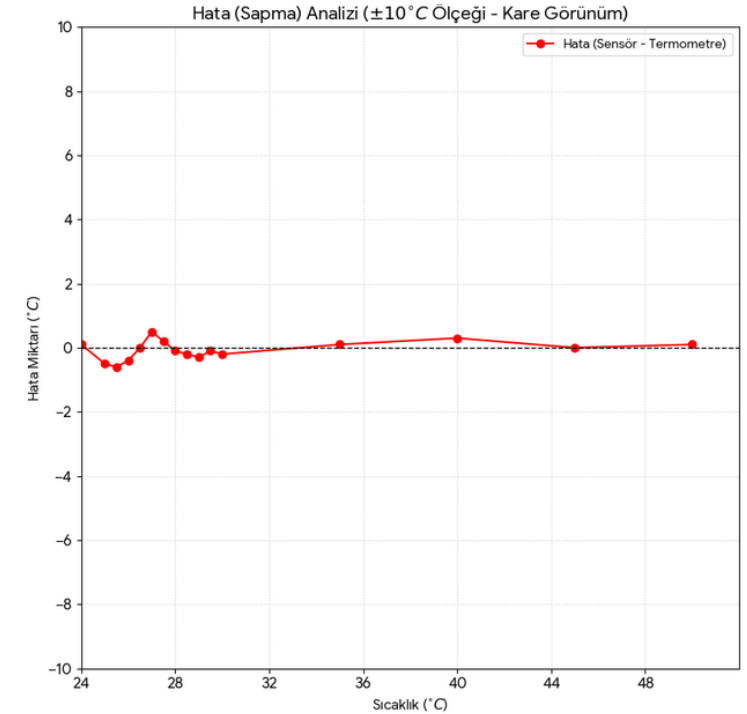
| Termometre (Referans) (°C) | Sensör (°C) | Fark (Sensör - Termometre) |
|----------------------------|-------------|----------------------------|
| 24 | 24,1 | 0,1 |
| 25 | 24,5 | -0,5 |
| 25,5 | 24,9 | -0,6 |
| 26 | 25,6 | -0,4 |
| 26,5 | 26,5 | 0 |
| 27 | 27,5 | 0,5 |
| 27,5 | 27,7 | 0,2 |
| 28 | 27,9 | -0,1 |
| 28,5 | 28,3 | -0,2 |
| 29 | 28,7 | -0,3 |
| 29,5 | 29,4 | -0,1 |
| 30 | 29,8 | -0,2 |
| 35 | 35,1 | 0,1 |
| 40 | 40,3 | 0,3 |
| 45 | 45 | 0 |
| 50 | 50,1 | 0,1 |

Tablo-3 Kalibrasyon Verileri



Grafik-2 Kalibrasyona ait termometreye karşı sensör verileri

Toplam Fark: -0,1
Ortalama Offset: -0,006



Grafik-3 Hata Analizi Grafiği

Aydınlatma

Aydınlatma, işyerinde güvenli bir çalışma ortamı sağlamak ve görsel görevleri kolaylaştırmak için gereken ışık düzenidir. Yetersiz aydınlatma göz yorgunluğu ve baş ağrısına yol açarken; aşırı aydınlatma "kamaşma" (glare) yaratarak geçici görme kayıplarına ve iş kazalarına neden olabilir. (Çolak, 2020).

Fiziksel risk etmenleri kapsamında aydınlatma için "sınır değer" kavramı, gürültü veya titreşimde olduğu gibi bir maruziyet üst sınırı değil, yapılan işin niteliğine göre sağlanması gereken **en az aydınlık düzeyi (lüks - lux)** olarak ifade edilir. Kapalı çalışma alanları (TS EN 12464-1) standardı, iş yerinin bölümlerine ve yapılan işin niteliğine göre belirlenmiştir. (Pelda Gezer, t.y.).

| Ref. no. | Alan – Görev – Aktivite Türleri | lx |
|----------|-----------------------------------|-----|
| 5.26.1 | Dosya ve fotokopi odaları vb. | 300 |
| 5.26.2 | Yazma, tape, okuma ve veri işleme | 500 |
| 5.26.3 | Teknik çizim | 750 |
| 5.26.4 | CAD çalışma birimleri | 500 |
| 5.26.5 | Konferans ve toplantı salonları | 500 |
| 5.26.6 | Resepsiyon masası | 300 |
| 5.26.7 | Arşivler | 200 |

Tablo-4 İş yeri bölümlerinden ofis ortamına göre standart lux değerleri (TS EN 12464-1, 2011)

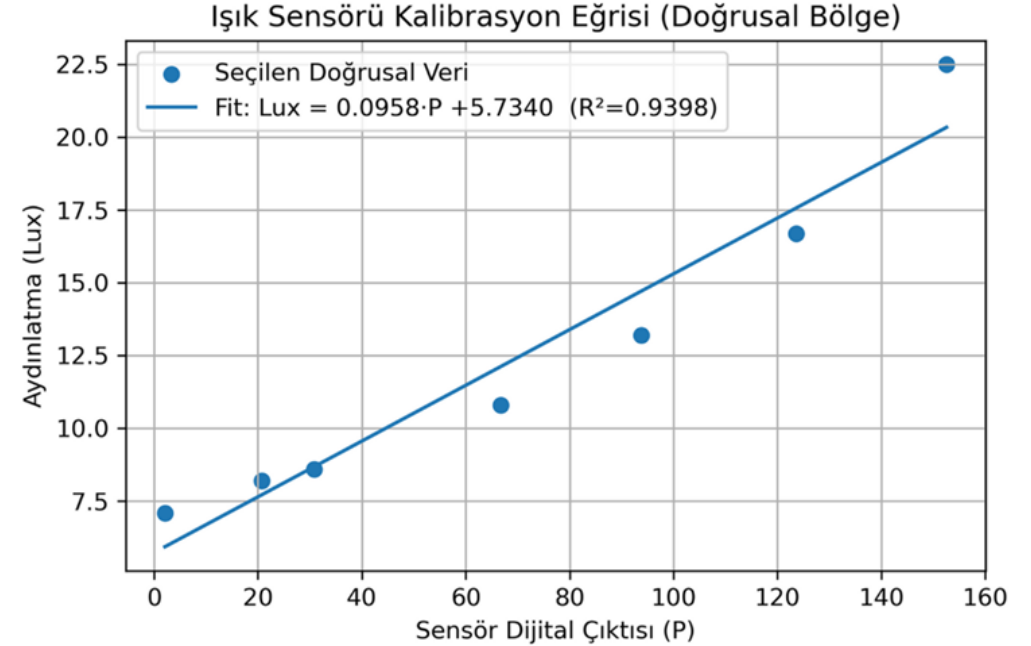
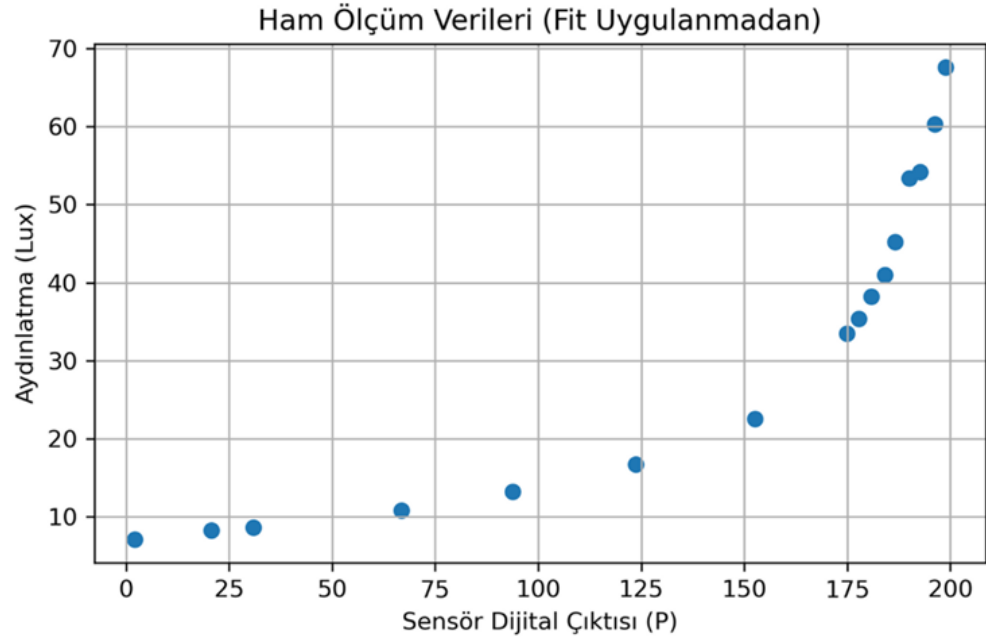
| Aydınlatma Gereksinimi | Çalışma türü | Ortalama aydınlatma şiddeti (lüks) | Çalışma yeri için genel aydınlatma (lüks) | Ek genel aydınlatma (lüks) |
|------------------------|------------------------|------------------------------------|---|----------------------------|
| Hafif | Kaba işler | 80 - 170 | - | - |
| Orta | Orta incelikteki işler | 170 - 350 | 250 | 40 |
| Yüksek | İnce işler | 350 - 700 | 500 | 20 |
| Çok yüksek | Çok ince işler | 700 - 10000 | 1000 | 80 |
| Olağanüstü | | | 4000 | 300 |

Tablo-5 İş niteliğine göre standart lux değerleri (Çolak, 2020)

Türk Standartları Enstitüsü. (2011). *Işık ve ışıklandırma - Çalışma yerlerinin aydınlatılması* (TS EN 12464-1) standardı. Çolak, Şeyda (2020). Fiziksel Risk Faktörleri, A.N. Yıldız (Ed) ve A. Sandal (Ed), İş Sağlığı ve Güvenliği Meslek Hastalıkları, 289-319.

<https://www.elektrikport.com/makale-detay/calisma-alanlarinin-aydinlatilmasi-ts-en-12464-1/21848#ad-image-0>

Aydınlatma Kalibrasyonu



Grafik-4 Kamera Dijital Çıkışının Referans Lux Değerleriyle Ham Karşılaştırması

Tasarladığımız sistem



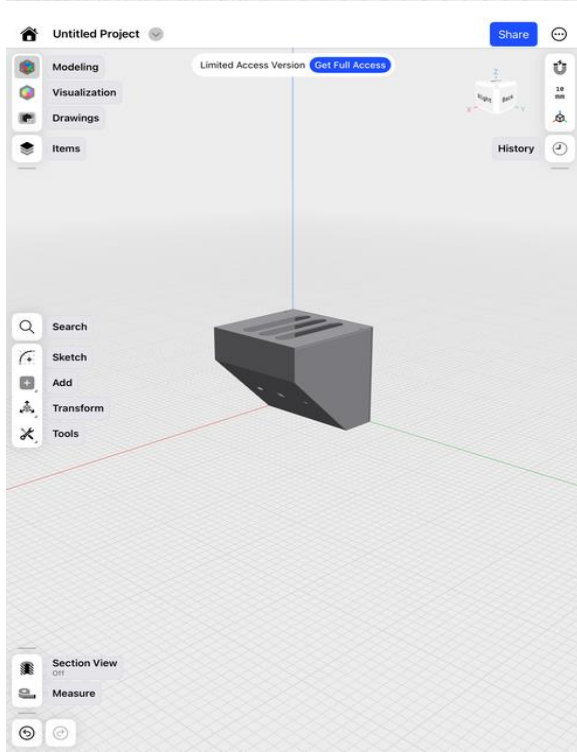
Ölçüm aletimiz



Grafik-5 Piksel Yoğunluğundan Lux Tahmini için Doğrusal Regresyon Modeli

Şekil-5 Deneş düzeneği

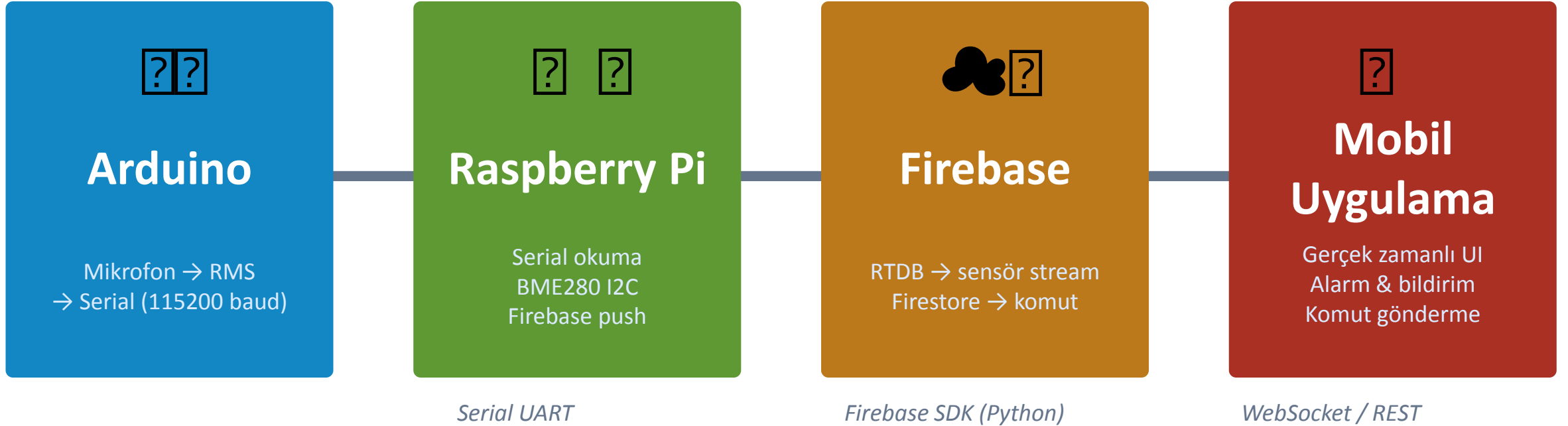
3D Modelleme & Kutu Tasarımı



Şekil-6 Tasarımın üstten görünümü



Veri Akışı



Önemli tasarım kararı: Raspberry Pi hem veri toplayıcı hem de yönetici rolündedir. Arduino yalnızca analog ses işler ve sonucu Serial'dan gönderir. Firebase SDK'yı doğrudan taşıyamayacağı için bu mimari tercih edilmiştir.

```
# Ana döngü - 100ms'de bir çalışır

while True:
    # BME280 oku (I2C)
    temperature = bme280.temperature
    humidity     = bme280.relative_humidity
    pressure     = bme280.pressure

    # Arduino'dan ses oku (Serial)
    if ser.in_waiting > 0:
        line = ser.readline()
        last_db = float(line)

    # Firebase RTDB'ye gönder
    ref_rtdb_sensors.update({
        "temperature": temperature,
        "sound_db":    last_db,
        "grid_values": current_grid
    })

    # Firestore'dan komut var mı?
    doc = ref_firestore_cmd.get()
    if doc["command"] == "capture":
        capture_and_grid_process()

    time.sleep(0.1)
```

100ms Döngü



Her iterasyonda sensörler okunur, Firebase'e yazılır ve Firestore komut kanalı kontrol edilir.

Serial Okuma



Arduino'dan gelen ham dB verisi ser.readline() ile alınır. in_waiting kontrolü blocking'i önler.

Firestore Push



ref_rtdb_sensors.update() tüm sensör değerlerini tek seferde atomic olarak yazar.

Komut Kanalı



Kamera komutu Firestore üzerinden gelir. Mobil uygulama 'capture' yazar, Pi fotoğraf çeker.

Firestore Mimarisi / Neden İki Farklı Veritabanı?

Firestore Realtime Database (RTDB)

| | |
|-------------------|--|
| Amaç | Sürekli sensör verisi akışı |
| Güncelleme | Her 100ms — canlı veri |
| Yapı | JSON ağacı (devices/raspi/sensors) |
| Kullanım | temperature, humidity, sound_db, grid_values |
| Neden? | WebSocket ile anlık push — polling yok |
| Mobil | addValueEventListener() ile direkt dinleme |

vs

Firestore Cloud Firestore

| | |
|-------------------|--|
| Amaç | Komut & durum kanalı |
| Güncelleme | Olay bazlı — yalnızca gerektiğinde |
| Yapı | Collection/Document (devices/raspi_id) |
| Kullanım | command: 'capture', image_url, status |
| Neden? | Karmaşık sorgular & offline destek |
| Mobil | Butona basınca 'capture' komutu yazar |

Mobil Uygulama / Özellikler ve Arayüz

? Gerçek Zamanlı Veri

Firestore RTDB listener ile tüm sensörler anlık güncellenir, polling yapılmaz.

? Eşik Bazlı Alarmlar

Sıcaklık, ışık ve gürültü için önceden tanımlı eşikler aşıldığında kırmızı uyarı gösterilir.

? Ses RMS Grafiği

Ses seviyesinin zaman serisi grafik olarak görselleştirilir.

? Işık Haritası Komutu

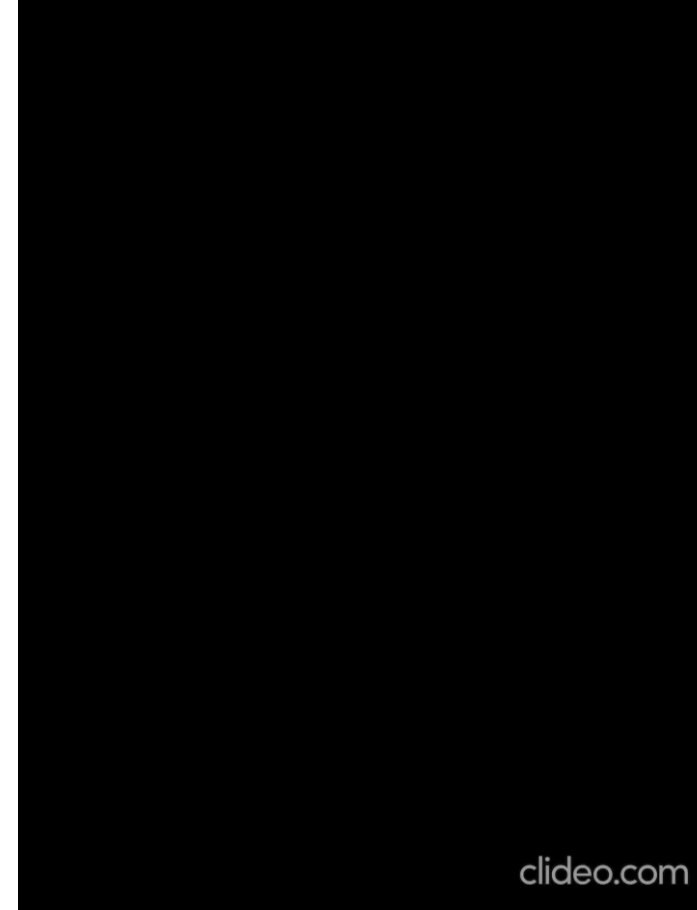
Butona basınca Firestore'a 'capture' komutu yazılır; Pi fotoğraf çekip sonucu geri gönderir.

? Durum Etiketleri

Her kart normal/uyarı/kritik renk ile gösterilir. Alarm açıklaması üst bantta yazıyla çıkar.

? Bağlantı Yönetimi

Cihaz ID bazlı multi-device desteği; her cihaz kendi path'i üzerinden izlenebilir.



Şekil - 9 Mobil Uygulama Arayüzü

MALİYET ANALİZİ VE PİYASA KARŞILAŞTIRMASI

| ÜRÜN | ADET | FİYAT(TL) |
|--------------------------|------|-----------------|
| Raspberry Pi 3 Model 3B+ | 1 | 2,140.13 |
| Raspberry Pi Kamera V1.3 | 1 | 251.24 |
| Raspberry Pi Adaptör | 1 | 461.44 |
| Arduino Uno R3 | 1 | 188.99 |
| MicroSD Kart 32 GB | 1 | 406.24 |
| Waveshare ses sensörü V2 | 1 | 110.62 |
| BME280 Sensörü | 1 | 205.65 |
| Diğer (Kutu, Kablo, vb.) | - | 204.63 |
| TOPLAM | | 3,968.94 |

Çizelge-6 Projede kullanılan sisteme ait maliyet

| SİSTEM | İLK MALİYET | 3 YIL TOPLAM |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| Bizim Sistemimiz | 3,968.94 TL | 3,968.94 TL |
| Ticari IoT Kit | 5,000-8,500 TL | 8,600-20,500 TL |
| Profesyonel Ölçüm Cihazları | 25,000-50,000 TL | 34,000-68,000 TL |
| Entegre ISG Sistemi | 50,000-150,000 TL | 80,000-225,000 TL |
| OSGB Hizmetleri | - | 18,000-108,000 TL |

Çizelge-7 Piyasa karşılaştırması

SONUÇLAR ve GELECEK ÇALIŞMALAR

Elde Edilenler

- Tek cihazla 5 farklı çevresel parametre (gürültü, sıcaklık, nem, basınç, aydınlanma) eş zamanlı ölçüldü ve mobil uygulama üzerinden gerçek zamanlı izlendi.
- Düşük maliyetli açık kaynaklı donanım (Raspberry Pi + Arduino) ile geliştirilebilir, ölçeklenebilir bir ISG izleme altyapısı kuruldu.
- Sistem; akademik ortamlar, ofisler ve kapalı çalışma alanlarında kullanıma hazır prototip seviyesine ulaştı.

Gelecek Çalışmalar

- Daha hassas ve çeşitli sensörler (CO₂, VOC, UV) sisteme eklenebilir.
- Mobil uygulamaya sesli ve titreşimli alarm desteği eklenebilir.
- Farklı iş yeri ve endüstriyel ortamlarda saha testleri gerçekleştirilebilir.
- İlgili standartlara uygunluk için sertifikasyon süreci başlatılabilir.

Yapay Zeka Entegrasyonu

- Toplanan çok boyutlu sensör verisi, makine öğrenmesi modelleri için hazır bir veri seti oluşturmaktadır.
- TensorFlow Lite ile Raspberry Pi üzerinde Edge AI anomali tespiti yapılabilir, bulut bağlantısı olmadan bile.
- 5 parametreyi birleştiren tek bir ISG Risk Skoru modeli geliştirilebilir: yüksek sıcaklık + düşük ışık + yüksek gürültü → tek tehlike puanı.
- Kamera tabanlı 8×8 ışık haritası, bilgisayarlı görü (YOLO) ile tehlikeli alan tespitine doğrudan girdi sağlayabilir.
- Firebase'in gerçek zamanlı veri akışı, modelin sürekli güncellenebildiği online learning altyapısını zaten sunmaktadır.



DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜRLER