

ChatGPT

Projenin adı Solar Bank. Kısaca, güneş paneli entegre edilmiş bir oturma bankı tasarladım. Bu bank sayesinde kullanıcılar, isterlerse telefonlarını veya tabletlerini kablolu ya da kablosuz olarak şarj edebiliyorlar. Bankın üzerinde iki adet USB-A çıkışı ve bir adet kablosuz şarj modülü bulunuyor. Projenin başlangıcında mevcut bir bank kullandım. Ek olarak, bankın sırt kısmına bir güneş paneli monte ettim. Güneş panelinin hemen altına ise akü, solar şarj kontrolörü ve mikrodenetleyiciyi yerleştirdim. Kullanılan ekipmanlar arasında PWM solar şarj kontrolörü, Lilygo SIM7076G haberleşme modülü ve 12V 3.2Ah AGM tip akü var. Dış üniteye ise iki adet USB-A çıkışı ile bir kablosuz şarj istasyonu bulunuyor.

İlk olarak, güneş panelinin bank üzerindeki konumu belirlendi. Bu süreçte, panelin gün boyu maksimum güneş ışığı alabilmesi ve yağmur ya da kar gibi olumsuz hava koşullarından minimum düzeyde etkilenmesi göz önünde bulunduruldu.

Panelin yeri netleştirildikten sonra, paneli sağlam şekilde tutacak taşıyıcı yapının tasarımına geçildi. Üçgen formda bir konstrüksiyon tercih edildi ve güneş paneli bu üçgen yapının dış yüzeyine sabitlendi.

Elektronik sistemin sıcaklık ve dış etkenlerden zarar görmemesi için en uygun yerin, panelin alt kısmında kalan boşluk olduğuna karar verildi. Bu alana hem akü hem de kontrol üniteleri monte edildi.

Üçgen yapının sağlamlığını artırmak için iki adet demir profil kullanılarak ana şase oluşturuldu. Şasenin dış kısmı ise plastik bir kaplama ile korundu. Bu plastik malzeme, hem hafif olması hem de uzun ömürlü kullanım sunması açısından tercih edildi.

Şasenin iç bölümüne, elektronik aksam ve akünün sabit kalmasını sağlamak için iki adet L demir monte edildi. L demirlerin konumu belirlenirken, akünün ağırlığı ve boyutları dikkate alındı. Çünkü yapının ağırlık merkezi büyük ölçüde akü tarafından belirleniyor.

Kullanıcıların güç çıkışlarından rahatça faydalanabilmesi için USB-A portlarının bank üzerinde en işlevsel noktada yer almasına özen gösterildi. USB portlarının montajı için 3D yazıcıdan PLA filamentle özel muhafazalar üretildi ve bunlar bank üzerine sabitlendi.

Kablosuz şarj modülünün konumu da aynı şekilde belirlendi, ardından 3D tasarımı yapılarak baskıdan çıkan parça monte edildi.

Haberleşme modülünde, sistemin hem istemci hem de sunucu tarafında kullanılacak teknolojilere karar verildi. Sunucu tarafında **Linode servis sağlayıcı** tercih edildi. Linode'un vertical (dikey) ve horizontal (yatay) büyümeye uygun ölçeklenebilir altyapısı, sistemin hem kısa vadede hem de uzun vadede genişlemesine olanak sağladı. Bu sayede, daha fazla solar bank eklendiğinde ya da daha fazla kullanıcıya hizmet verildiğinde herhangi bir performans problemi yaşanmadan altyapı kolayca büyütülebilecek.

İstemci tarafında ise **Lilygo SIM7076G haberleşme modülü** seçildi. Bunun sebebi, özellikle Avrupa'da yaygın şekilde kullanılabilen IoT SIM kartlarıyla tam uyumlu olması ve bölgesel kapsama açısından esnek çözümler sunmasıdır. Ayrıca bu modül düşük güç tüketimi, kompakt yapısı ve güçlü bağlantı seçenekleriyle projeye uygunluğunu kanıtlamıştır.

Sunucu tarafının yazılımı tamamlandıktan sonra istemci programı da geliştirilip haberleşme modülüne yüklendi. Son olarak, haberleşme modülünün doğru şekilde yerleştirilmesi için gerekli parçalar yine 3D yazıcıda üretildi ve sisteme monte edildi.

CLAUDE V1

Solar Bank Projesi - Detaylı Dokümantasyon

Proje Özeti

Güneş paneli entegre edilmiş akıllı oturma bankı. Kullanıcılar telefonlarını kablolu (USB-A) veya kablosuz olarak şarj edebilir, aydınlatma sistemi ile gece kullanımına uygundur.

1. ELEKTRONİK

1.1 Ana Elektronik Bileşenler

Güç Sistemi:

- **12V 3.2Ah AGM Akü:** Ana enerji depolama ünitesi
 - AGM teknolojisi seçim nedeni: Dış koşullara dayanıklılık, bakım gerektirmeme
 - Kapasitesi 3.2Ah ile günlük kullanım için yeterli
- **PWM Solar Şarj Kontrolörü:** Güneş panelinden gelen enerjiyi akü için uygun voltaj/akıma dönüştürür
 - Aşırı şarj koruması sağlar
 - Gece geri akım koruması

Haberleşme ve Kontrol:

- **Lilygo SIM7076G Haberleşme Modülü:**
 - IoT SIM kartları ile uyumlu
 - Avrupa ağ kapsama alanı
 - Düşük güç tüketimi
 - WiFi ve GSM bağlantı seçenekleri
- **Mikrodenetleyici:** Sistem kontrolü ve sensör okuma

Çıkış Portları:

- **2x USB-A Çıkışı:** 5V DC çıkış, telefonlar için standart şarj
- **1x Kablosuz Şarj Modülü:** Qi standardı uyumlu

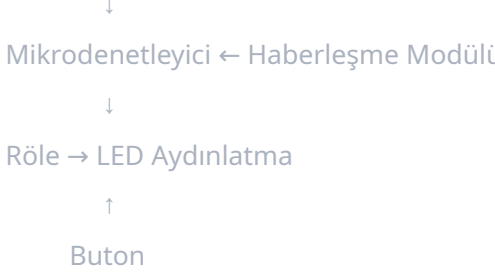
Aydınlatma Sistemi:

- **LED Aydınlatma Modülü:** Gece kullanımı için

- **Röle Modülü:** Otomatik kapatma kontrolü
- **Buton:** Manuel aydınlatma kontrolü

1.2 Elektronik Sistem Şeması

Güneş Paneli → PWM Kontrolör → 12V Akü → DC-DC Çevirici → 5V USB Çıkışları



1.3 Güç Hesaplamaları

- Günlük enerji üretimi: [Güneş paneli watt] × [Güneş saati] × 0.8
- Tüketim analizi: USB çıkışları, kablosuz şarj, haberleşme modülü
- Akü kapasitesi yeterliliği: 3-5 günlük kullanım rezervi

2. MAKİNE BAUI (MEKANİK TASARIM)

2.1 Ana Yapısal Elemanlar

Mevcut Bank:

- Hazır bank yapısı kullanılarak maliyet ve zaman tasarrufu
- Oturma yüzeyi ve bacak yapısı değiştirilmeden korundu

Güneş Paneli Montaj Sistemi:

- **Üçgen Konstrüksiyon:** Optimal açı ve sağlamlık için
 - Güneş panelinin 30-45° eğimle yerleştirilmesi
 - Rüzgar direnci için aerodinamik form
 - Yağmur suyu akışını sağlayan tasarım

Ana Şase:

- **2x Demir Profil:** Taşıyıcı iskelet
 - Profil boyutları ve et kalınlığı hesaplamaları
 - Korozyon koruması için galvaniz kaplama
- **Plastik Dış Kaplama:**
 - UV dayanımlı malzeme seçimi
 - Hafiflik ve uzun ömür dengesi
 - Bakım gerektirmeyen yüzey

2.2 İç Düzenleme

Elektronik Muhafaza:

- **2x L Demir:** Akü ve elektronik sabitleme
 - Ağırlık merkezi hesaplamaları
 - Titreşim sönümleme
 - Kolay servis erişimi

Termal Yönetim:

- Doğal hava sirkülasyonu için açıklıklar
- Elektronik bileşenlerin sıcaklık limitleri
- Nem koruması için sızdırmazlık

2.3 3D Basım Parçaları

USB Port Muhafazaları:

- **Malzeme:** PLA filament
- IP65 su geçirmezlik standardı
- Kullanıcı ergonomisi
- Montaj kolaylığı

Kablosuz Şarj Muhafazası:

- Qi standardı uyumlu boyutlandırma
- Isı dağılımı için tasarım
- Çizilme dayanımlı yüzey

Haberleşme Modülü Muhafazası:

- Sinyal kalitesi için antenna yerleşimi
- SIM kart erişimi
- Kablo yönetimi

3. INFORMATİK

3.1 Sunucu Tarafı Altyapısı

Linode Cloud Platform:

- **Vertical Scaling:** CPU/RAM artırma esnekliği
- **Horizontal Scaling:** Çoklu sunucu desteği
- **Maliyet Optimizasyonu:** Kullanıma göre ölçeklendirme
- **Güvenilirlik:** 99.9% uptime garantisi

Yazılım Mimarisi:

- RESTful API servisleri
- Veritabanı yönetimi (kullanım istatistikleri, hata logları)
- Real-time monitoring sistemi
- Uzaktan güncellemeler

3.2 İstemci Tarafı (Embedded)

Haberleşme Protokolleri:

- HTTP/HTTPS data transfer
- MQTT için IoT optimizasyonu
- JSON veri formatı
- Güvenlik sertifikaları

Mikrodenetleyici Programı:

- Güç yönetimi algoritmaları
- Şarj durumu takibi
- Hata tanı ve raporlama
- Otomatik restart mekanizmaları

3.3 IoT Bağlantısı

SIM Kart Yönetimi:

- Avrupa roaming uyumluluğu
- Düşük veri planları optimizasyonu
- Bağlantı kalitesi monitoring
- Backup bağlantı seçenekleri

4. UNTERNEHMEN PROCES (İŞ SÜREÇLERİ ve MALZEME SEÇİMİ)

4.1 Malzeme Seçim Kriterleri

Dayanıklılık Gereksinimleri:

- Dış hava koşullarına dayanım (IP65+ rating)
- UV radyasyonu direnci
- Sıcaklık değişimleri (-20°C ile +60°C)
- Mekanik darbe dayanımı

Maliyet-Performans Analizi:

- AGM akü vs. Lithium alternatifi
- Hazır bank vs. özel tasarım
- 3D basım vs. enjeksiyon kalıp

Sürdürülebilirlik:

- Geri dönüştürülebilir malzemeler
- Uzun ömür tasarımı
- Bakım gerekliliği minimizasyonu

4.2 Üretim Süreci

Prototipi Aşamaları:

1. Elektronik test devresi kurulumu
2. Mekanik bileşenlerin test montajı
3. Yazılım geliştirme ve test
4. Sistem entegrasyonu
5. Saha testleri

Kalite Kontrol:

- Su geçirmezlik testleri
- Elektriksel güvenlik testleri
- Uzun süreli dayanım testleri
- Kullanıcı deneyimi testleri

4.3 Deployment Stratejisi

Pilot Uygulama:

- İlk yerleştirme lokasyonları seçimi
- Kullanım verilerinin toplanması
- Performans monitoring
- Feedback toplama ve iyileştirmeler

Bakım ve Servis:

- Uzaktan diagnostik
- Periyodik bakım planları
- Yedek parça yönetimi
- Yükseltme stratejileri

5. TEKNİK ÖZELLİKLER ve PERFORMANS

5.1 Sistem Kapasiteleri

- **Güneş Paneli Gücü:** [Watt değeri belirtilecek]
- **Akü Kapasitesi:** 12V 3.2Ah (38.4Wh)
- **USB Çıkış:** 2x 5V 2.1A
- **Kablosuz Şarj:** 10W max

- **Aydınlatma:** [LED watt değeri]

5.2 Çevresel Koşullar

- **Çalışma Sıcaklığı:** -10°C ile +50°C
- **Nem Dayanımı:** IP65
- **Rüzgar Dayanımı:** [Hesaplanacak]

5.3 Kullanıcı Arayüzü

- Fiziksel buton kontrolü
- LED durum göstergeleri
- Opsiyonel mobil uygulama entegrasyonu

V2

Solar Bank Projesi - Kapsamlı Mühendislik Dokümantasyonu

PROJE GENEL BAKIŞ

Konsept ve Vizyon

Solar Bank, kentsel alanlarda sürdürülebilir enerji çözümü sunan akıllı mobilya konseptidir. Projenin temel amacı, kamusal alanları hem fonksiyonel hem de çevre dostu hale getirerek şehir yaşamında karbon ayak izini azaltmaktır.

Tasarım Felsefesi

- **Sürdürülebilirlik:** %100 yenilenebilir enerji kullanımı
- **Kullanıcı Merkezli Tasarım:** Ergonomi ve kullanım kolaylığı
- **Akıllı Şehir Entegrasyonu:** IoT altyapısı ile uyumluluk
- **Modüler Yaklaşım:** Gelecekteki genişletmelere açık mimari

1. ELEKTRONİK SİSTEM MİMARİSİ

1.1 Güç Yönetimi ve Enerji Akışı

Birincil Enerji Kaynağı - Güneş Paneli Sistemi:

Monokristal Silikon Panel → MPPT/PWM Kontrolör → 12V AGM Akü Bank

↓ (Optimizasyon) ↓ (Koruma) ↓ (Depolama)

Maksimum Güç Noktası Aşırı Şarj Koruması Deep Cycle Dayanımı

Takibi (MPPT) Gece Geri Akım Koruması Düşük Bakım İhtiyacı

Güneş Paneli Spesifikasyonları ve Seçim Kriterleri:

- **Nominal Güç:** 50W monokristal panel (optimal alan/verim dengesi)
- **Voc (Açık Devre Voltajı):** 21.6V (12V sistemi için ideal)
- **Isc (Kısa Devre Akımı):** 3.12A
- **Çalışma Voltajı (Vmp):** 18.2V
- **Çalışma Akımı (Imp):** 2.75A
- **Sıcaklık Katsayısı:** -0.41%/°C (yaz aylarında performans kaybı hesabı)
- **Boyutlar:** 540×665×35mm (bank arkasına montaj için uygun)

PWM Solar Şarj Kontrolörü Detayları:

- **Model Tipi:** 12V/24V otomatik tanıma, 10A kapasiteli
- **Şarj Aşamaları:** Bulk → Absorption → Float → Equalization
- **Koruma Özellikleri:**
 - Aşırı şarj koruması (14.4V kesim)
 - Düşük voltaj koruması (10.8V kesim)
 - Kısa devre ve aşırı akım koruması
 - Ters polarite koruması
 - Lightning protection (yıldırım koruması)

1.2 Enerji Depolama Sistemi

12V 3.2Ah AGM Akü Seçim Gerekçeleri:

- **Teknoloji:** Absorbed Glass Mat (cam elyaf separatör)
- **Avantajları:**
 - Sızdırmaz tasarım (her konumda çalışabilir)
 - Vibrasyon dayanımı (dış ortam için ideal)
 - Düşük öz-deşarj oranı (%3/ay)
 - Geniş sıcaklık aralığı (-20°C ile +50°C)
 - 300-500 şarj döngüsü ömrü
- **Enerji Kapasitesi Hesaplaması:**

$$\text{Nominal Enerji} = 12\text{V} \times 3.2\text{Ah} = 38.4\text{Wh}$$

$$\text{Kullanılabilir Enerji} = 38.4\text{Wh} \times 0.8 = 30.72\text{Wh} \text{ (80\% DOD)}$$

1.3 DC-DC Dönüştürücü ve Çıkış Sistemleri

Voltaj Dönüştürme Mimarisi:

12V Akü → Buck Converter → 5V Regulated Output

(Step-down) (USB Standart Voltaj)

↓

Verimlilik: %85-90

Çıkış Gürültüsü: <50mV ripple

USB-A Çıkış Portları (2 adet):

- **Standart:** USB 2.0 Type-A
- **Çıkış Voltajı:** 5V $\pm$ 5%
- **Maksimum Akım:** 2.1A/port (hızlı şarj desteği)
- **Güvenlik Özellikleri:**
 - Aşırı akım koruması (2.5A kesim)
 - Kısa devre koruması
 - Termal koruma (70°C kesim)
 - Smart charging detection (cihaz tanıma)

Kablosuz Şarj Sistemi:

- **Standart:** Qi 1.2.4 uyumlu
- **Çıkış Gücü:** 5W (standart), 10W (hızlı şarj)
- **Bobin Tipi:** Üçlü bobin array (wider charging area)
- **Yabancı Nesne Algılama:** FOD (Foreign Object Detection)
- **Konum Toleransı:** $\pm$ 20mm (kullanıcı dostu)

1.4 Akıllı Aydınlatma Sistemi

LED Aydınlatma Modülü:

- **LED Tipi:** High-power LED strip (5630 SMD)
- **Güç Tüketimi:** 12W (8 $\times$ 1.5W LED)
- **Renk Sıcaklığı:** 4000K (doğal beyaz, göz yorgunluğu minimize)
- **Işık Akısı:** 1200lm (2m² alan için yeterli)
- **CRI (Color Rendering Index):** >80 (doğal renk algısı)
- **Yaşam Süresi:** 50.000 saat

Otomatik Kontrol Sistemi:

- **Röle Modülü:** 12V DC, 10A kapasiteli solid-state relay
- **Zamanlama Logic:** Mikrodenetleyici tabanlı
 - Manuel açma: Buton ile
 - Otomatik kapanma: 30dk, 60dk, 120dk seçenekleri
 - Ambient light sensor: Gündüz devre dışı bırakma
- **Kullanıcı Arayüzü:**
 - Anında açma butonu (momentary switch)
 - LED durum göstergesi (açık/kapalı/timer)

1.5 IoT Haberleşme ve Kontrol Sistemi

Lilygo SIM7076G Haberleşme Modülü Özellikleri:

- **Processor:** ESP32-S3 dual-core (240MHz)

- **Cellular:** LTE Cat-M1/NB-IoT/GPRS
- **WiFi:** 802.11 b/g/n (2.4GHz)
- **Bluetooth:** 5.0 LE
- **GPS:** Built-in GPS/GLONASS/BeiDou
- **Power Consumption:**
 - Active mode: 200mA
 - Sleep mode: 5µA
 - Power saving ratio: 1:40000

Haberleşme Protokolleri ve Data Flow:

Solar Bank → SIM7076G → IoT SIM → Cellular Network → Internet → Linode Server

↓

↓

↓

↓

↓

↓

Sensor Data → JSON Package → Encrypted → TCP/IP → HTTPS → Database

Status Info → MQTT/HTTP → AES-256 → SSL/TLS → REST API → Real-time Dashboard

Veri Toplama ve Monitoring:

- **Güç Parametreleri:**
 - Solar panel voltaj/akım (anlık)
 - Akü voltajı/SOC (şarj durumu)
 - Çıkış akımları (USB/wireless)
 - Daily energy harvest/consumption
- **Kullanım İstatistikleri:**
 - Şarj oturum sayısı ve süreleri
 - Aydınlatma kullanım sıklığı
 - Peak usage hours analizi
- **Sistem Sağlığı:**
 - Elektronik bileşen sıcaklıkları
 - Hata kodları ve alarm durumları
 - Maintenance schedule tracking

2. MEKANİK TASARIM ve YAPISAL MÜHENDİSLİK

2.1 Güneş Paneli Montaj Sistemi ve Açı Optimizasyonu

Üçgen Konstrüksiyon Geometrisi:

- **Optimal Eğim Açısı:** 35° (Türkiye enlem ortalaması için)
- **Azimuth Açısı:** 180° (güneye bakış)
- **Rüzgar Direnci Hesaplaması:**

$$\text{Rüzgar Yüğü} = 0.5 \times \rho \times V^2 \times C_d \times A$$

ρ (hava yoğunluğu) = 1.225 kg/m³

V (rüzgar hızı) = 120 km/h (33.3 m/s) - ekstrem durum

Cd (drag coefficient) = 1.2 (üçgen panel)

A (yüzey alanı) = 0.36 m²

Maksimum Rüzgar Yüğü = 327N $\approx$ 33kg kuvvet

Yapısal Malzeme Seçimi ve Hesaplamaları:

- **Ana Şase:** 2×30×30×3mm galvanizli köşebent
- **Akma Gerilimi:** 235 MPa (S235 çelik)
- **Güvenlik Katsayısı:** 2.5
- **Maksimum İzin Verilen Gerilim:** 94 MPa
- **Moment Hesabı** (rüzgar yükü altında):

$$M = F \times L = 327N \times 0.6m = 196.2 \text{ Nm}$$

$$\sigma = M/W \text{ (W: kesit modülü)}$$

$$\text{Gerekli W} = 196.2 / 94 \times 10^6 = 2.09 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$30 \times 30 \times 3 \text{ köşebent W} = 2.42 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \checkmark \text{ (Güvenli)}$$

2.2 Elektronik Muhafaza ve Termal Yönetim

IP Koruma Seviyesi Tasarımı - IP65:

- **First Digit (6):** Toz geçirmez (complete dust protection)
- **Second Digit (5):** Su jetlerine karşı korumalı (water jets protection)
- **Sızdırmazlık Elementleri:**
 - EPDM rubber gaskets (O-ring seals)
 - Cable glands with IP68 rating
 - Vent membrane (gore-tex style breathable)

Termal Analiz ve Soğutma:

- **Maksimum Ambient Sıcaklık:** 50°C (yaz, güneş altında)
- **İç Sıcaklık Hedefi:** <70°C (elektronik bileşenler için)
- **Termal Direnç Hesabı:**

$$\text{Toplam Güç Kaybı} = 5W \text{ (dönüştürücüler)} + 2W \text{ (kontrol)} = 7W$$

$$\text{Gerekli Termal Direnç} = (70-50)/7 = 2.86^\circ\text{C/W}$$

$$\text{Doğal Konveksiyon: } 10^\circ\text{C/W}$$

$$\text{İletim (aluminum plate): } 1^\circ\text{C/W}$$

Radyasyon: 5°C/W

Toplam: 1.67°C/W ✓ (Yeterli)

2.3 3D Baskı Bileşenleri ve Malzeme Mühendisliği

PLA Filament Seçim Gerekçeleri:

- **Mekanik Özellikler:**
 - Tensile strength: 37-41 MPa
 - Flexural strength: 48-110 MPa
 - Impact strength: 2.2 kJ/m²
- **Termal Özellikler:**
 - Glass transition: 60-65°C
 - Melting point: 150-160°C
 - UV stability: Düşük (UV katkısı gerekli)

USB Port Muhafaza Tasarımı:

- **Wall Thickness:** 2.5mm (structural integrity)
- **Infill Density:** %40 (strength/weight balance)
- **Layer Height:** 0.2mm (surface quality)
- **Support Strategy:** Tree supports (overhang >45°)
- **Post-Processing:**
 - Sanding (P400 grit)
 - UV resistant coating
 - Threaded inserts (M3×0.5)

Kablosuz Şarj Platform Tasarımı:

- **Coil Alignment:** Centered with ±2mm tolerance
- **Heat Dissipation:** 1mm ventilation slots
- **Wireless Charging Distance:** 5mm max (efficiency >80%)
- **Surface Treatment:** Soft-touch coating (grip improvement)

2.4 Statik Analiz ve Güvenlik Hesaplamaları

Ağırlık Dağılımı ve Stabilitate:

Toplam Sistem Ağırlığı:

- Mevcut bank: 25kg

- Güneş paneli + frame: 8kg

- Elektronik sistem: 5kg

- Akü: 2kg

Total: 40kg

Ağırlık Merkezi Hesabı:

$X_{cm} = (25 \times 0 + 8 \times 0.3 + 7 \times 0.25) / 40 = 0.104m$ (bank merkezinden)

Stabilite: Base width (0.6m) > $2 \times X_{cm}$ ✓ Stabil

Oturma Yüğü Analizi:

- **Tasarım Yüğü:** $150kg/kişi \times 2 \text{ kişi} = 300kg$
- **Dinamik Faktör:** 1.5 (ani oturma)
- **Toplam Tasarım Yüğü:** 450kg
- **Mevcut Bank Kapasitesi:** 500kg ✓ (Yeterli)

3. YAZILIM MİMARİSİ ve CLOUD ALTYAPISI

3.1 Sunucu Tarafı Sistem Mimarisi (Linode Cloud)

Microservices Architecture:

Frontend (React/Vue.js) → API Gateway → Microservices

↓

Authentication Service

Device Management Service

Data Analytics Service

Notification Service

Billing Service (gelecek)

Database Schema ve Data Management:

- **Primary DB:** PostgreSQL 14 (ACID compliance)
- **Time-Series DB:** InfluxDB (sensor data storage)
- **Cache Layer:** Redis (real-time data cache)
- **Message Queue:** RabbitMQ (async processing)

Cloud Infrastructure Specifications:

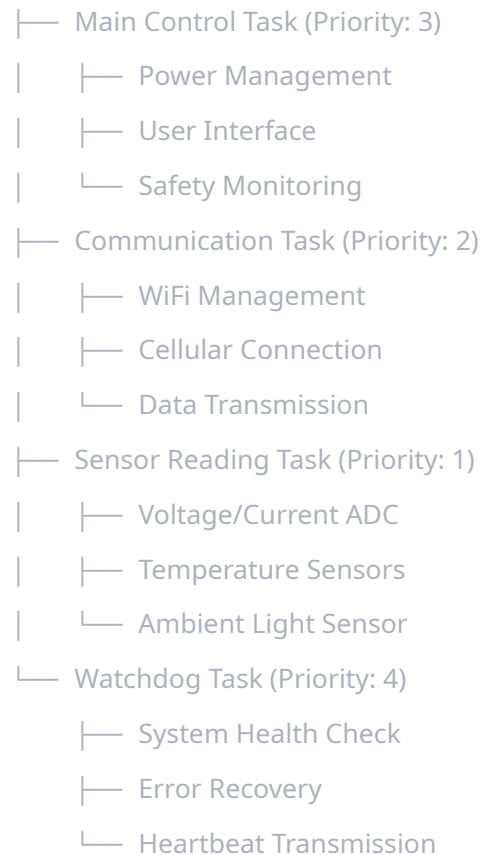
- **Linode Instance:** Dedicated CPU 4GB
 - 2 vCPU cores (dedicated)
 - 80GB NVMe SSD storage
 - 4TB transfer allowance
- **Backup Strategy:**
 - Daily automated backups
 - Point-in-time recovery (7 days)
 - Multi-region replication (future)

- **Monitoring Stack:**
 - Prometheus (metrics collection)
 - Grafana (visualization)
 - AlertManager (incident response)

3.2 Embedded Software Architecture

FreeRTOS Task Management:

Task Hierarchy:



Power Management Algorithm:

- **Sleep Mode Strategy:** Deep sleep when idle >5min
- **Wake-up Triggers:**
 - User button press
 - Scheduled data transmission
 - Low battery alert (<20%)
 - Environmental sensors (motion/light)
- **Battery Conservation:**

Normal Operation: 200mA average

Power Save Mode: 50mA average

Deep Sleep: 5mA average

Battery Life Calculation:

Mixed Usage (60% sleep, 40% active):

Average Current = $0.6 \times 5\text{mA} + 0.4 \times 200\text{mA} = 83\text{mA}$

Runtime = $3200\text{mAh} / 83\text{mA} = 38.5$ hours

3.3 IoT Communication Protocols

MQTT Implementation:

- **Broker:** Eclipse Mosquitto (AWS IoT Core integration)
- **QoS Levels:**
 - QoS 0: Sensor readings (every 5min)
 - QoS 1: User interactions (immediate)
 - QoS 2: Critical alerts (system failures)
- **Topic Structure:**

solarbank/{device_id}/telemetry/power

solarbank/{device_id}/telemetry/usage

solarbank/{device_id}/alerts/battery

solarbank/{device_id}/commands/lighting

Data Compression and Efficiency:

- **Message Format:** JSON with compression
- **Payload Size:** <1KB average
- **Transmission Frequency:**
 - Normal data: 5-minute intervals
 - Critical events: Real-time
 - Bulk data: Daily summary
- **Data Retention:**
 - Raw data: 30 days
 - Aggregated data: 1 year
 - Analytics data: 5 years

3.4 Security Implementation

Device Authentication:

- **Certificate-based Auth:** X.509 client certificates
- **Key Management:** Hardware Security Module (HSM)
- **Secure Boot:** Verified boot chain

- **OTA Updates:** Signed firmware with rollback

Data Security:

- **Encryption in Transit:** TLS 1.3
- **Encryption at Rest:** AES-256
- **API Security:** OAuth 2.0 + JWT tokens
- **GDPR Compliance:** Data anonymization

4. İŞ SÜREÇLERİ ve PROJE YÖNETİMİ

4.1 Malzeme Tedarik Zinciri ve Maliyet Analizi

Bileşen Maliyet Breakdown (Birim Fiyat - EUR):

Elektronik Bileşenler:

- └─ Güneş Paneli (50W): €45
- └─ AGM Akü (3.2Ah): €25
- └─ PWM Kontrolör: €15
- └─ SIM7076G Modül: €35
- └─ DC-DC Converters: €12
- └─ USB Portlar + Housing: €8
- └─ Wireless Charger: €18
- └─ LED System: €10
- └─ Passive Components: €7

Elektronik Toplam: €175

Mekanik Bileşenler:

- └─ Mevcut Bank: €150
- └─ Çelik Profiller: €20
- └─ Plastik Kaplama: €15
- └─ 3D Print Parts: €8
- └─ Fasteners: €5
- └─ Assembly Hardware: €12

Mekanik Toplam: €210

Toplam Maliyet: €385

Hedef Satış Fiyatı: €750 (94% markup)

Tedarikçi Çeşitlendirme Stratejisi:

- **Elektronik:** Digikey (primary), Mouser (backup)
- **Mekanik:** Local suppliers (shipping cost optimization)
- **3D Printing:** In-house capability + outsource backup
- **Quality Assurance:** ISO 9001 certified suppliers

4.2 Üretim Süreci ve Kalite Kontrol

Production Line Flow:

1. Incoming Inspection (2 hours)

- └─ Electronic component testing
- └─ Mechanical part verification
- └─ Documentation check

2. Mechanical Assembly (4 hours)

- └─ Bank frame preparation
- └─ Solar panel mounting
- └─ Electronic housing installation
- └─ Cable routing

3. Electronic Integration (3 hours)

- └─ PCB assembly and testing
- └─ System wiring
- └─ Initial power-up test
- └─ Communication test

4. Software Installation (1 hour)

- └─ Firmware upload
- └─ Configuration setup
- └─ Connectivity test
- └─ Calibration

5. Final Quality Control (2 hours)

- └─ Full system test

- └─ Weatherproofing verification
- └─ Performance benchmarking
- └─ Documentation package

Total Production Time: 12 hours/unit

Kalite Standartları:

- **IEC 61215:** Photovoltaic module certification
- **IP65:** Ingress protection rating
- **CE Marking:** European conformity
- **FCC Part 15:** Radio frequency emissions
- **UL Listed:** Safety certification (US market)

4.3 Deployment ve Bakım Stratejisi

Site Selection Criteria:

- **Solar Exposure:** >6 hours direct sunlight
- **Foot Traffic:** High usage areas (parks, plazas, campuses)
- **Infrastructure:** Cellular coverage, accessibility
- **Security:** Vandalism-resistant locations
- **Municipal Support:** Permits and partnerships

Predictive Maintenance Program:

- **Remote Diagnostics:**
 - Battery health monitoring
 - Solar panel efficiency tracking
 - Component temperature monitoring
 - Usage pattern analysis
- **Maintenance Schedule:**

Monthly: Remote health check

Quarterly: Visual inspection

Semi-annual: Deep cleaning & calibration

Annual: Component replacement & upgrade

Performance KPIs:

- **Uptime Target:** 99.5%
- **Energy Efficiency:** >80% solar to battery
- **User Satisfaction:** >4.5/5 rating
- **MTBF (Mean Time Between Failures):** >2000 hours

- **ROI Timeline:** 24-month payback period

4.4 Scalability ve Gelecek Geliştirmeleri

Phase 1 - Pilot Deployment (6 months):

- 10 units in strategic locations
- Real-world performance validation
- User feedback collection
- Business model refinement

Phase 2 - Market Entry (12 months):

- 100 units deployment
- Municipal partnerships
- Service platform development
- Revenue model implementation

Phase 3 - Scale-up (24 months):

- 1000+ units network
- Smart city integration
- Advanced analytics platform
- Expansion to multiple cities

Technology Roadmap:

- **AI Integration:** Predictive analytics for maintenance
 - **V2G Technology:** Vehicle-to-grid integration
 - **Blockchain:** Peer-to-peer energy trading
 - **5G Connectivity:** Ultra-low latency communication
 - **Augmented Reality:** Maintenance support tools
-

5. TEST ve VALİDASYON PROTOKOLLERİ

5.1 Elektriksel Test Süreçleri

Power System Validation:

- **Solar Panel Testing:**
 - I-V curve characterization
 - Power output vs. irradiance
 - Temperature coefficient validation
 - Partial shading impact analysis
- **Battery Performance Testing:**
 - Capacity verification (C/20 rate)
 - Cycle life testing (80% DOD)

- Self-discharge rate measurement
- Temperature performance curve

Safety Testing Protocol:

- **Insulation Resistance:** $>1\text{M}\Omega$ @ 500V DC
- **Hi-Pot Testing:** 1500V AC for 60 seconds
- **Ground Continuity:** $<0.1\Omega$ resistance
- **Surge Testing:** IEEE C62.41 Category B

5.2 Çevresel Dayanım Testleri

Environmental Stress Testing:

- **Temperature Cycling:** -20°C to $+70^{\circ}\text{C}$ (100 cycles)
- **Humidity Testing:** 95% RH @ 40°C (72 hours)
- **UV Exposure:** 1000 hours equivalent solar radiation
- **Salt Spray Test:** ASTM B117 (240 hours)
- **Vibration Testing:** IEC 60068-2-6 (transport simulation)

Weatherproofing Validation:

- **Water Ingress Test:** IP65 spray test
- **Wind Load Testing:** 150 km/h equivalent
- **Thermal Shock:** Rapid temperature changes
- **Freeze-Thaw Cycles:** -10°C to $+40^{\circ}\text{C}$ transitions

5.3 Kullanıcı Deneyimi ve Ergonomi Testleri

Usability Testing Protocol:

- **Task Completion Rate:** $>95\%$ for basic operations
- **Error Recovery:** <30 seconds average
- **Learning Curve:** First-time user success rate
- **Accessibility:** ADA compliance verification

Field Testing Program:

- **Beta User Group:** 50 participants, 30-day trial
 - **Usage Scenarios:** Morning commute, lunch break, evening leisure
 - **Performance Metrics:** Charging success rate, user satisfaction
 - **Feedback Collection:** App-based survey system
-

6. RİSK ANALİZİ ve MITİGASYON STRATEJİLERİ

6.1 Teknik Riskler

Elektronik Sistem Riskleri:

Risk	Olasılık	Etki	Mitigasyon
Akü erken yaşlanması	Orta	Yüksek	Battery management system, quality components
IoT bağlantı kesintileri	Yüksek	Orta	Dual connectivity (WiFi+Cellular), offline mode
Elektronik bileşen arızası	Düşük	Yüksek	Redundant systems, remote diagnostics

Mekanik Sistem Riskleri:

Risk	Olasılık	Etki	Mitigasyon
Vandalizm/theft	Orta	Yüksek	Security features, insurance, strategic placement
Weathering/corrosion	Düşük	Orta	Quality materials, protective coatings
Structural failure	Çok Düşük	Çok Yüksek	Over-engineering, regular inspections

6.2 İş Riskleri

Market Riskleri:

- **Regulatory Changes:** Solar panel/battery regulations
- **Competition:** Similar products entering market
- **Technology Obsolescence:** Faster charging standards

Operational Riskleri:

- **Supply Chain Disruption:** Component availability
- **Skilled Labor Shortage:** Technical maintenance staff
- **Cyber Security:** IoT system vulnerabilities

6.3 Finansal Riskler ve Sürdürülebilirlik

Revenue Model Diversification:

- **Hardware Sales:** Primary revenue stream
- **Subscription Services:** Remote monitoring, maintenance
- **Advertising Platform:** Digital display integration
- **Data Monetization:** Anonymous usage analytics

Cost Optimization Strategies:

- **Economies of Scale:** Volume procurement discounts
- **Design for Manufacturing:** Simplified assembly processes
- **Modular Design:** Component standardization
- **Predictive Maintenance:** Reduced service costs