



## HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

---

### Güneş Paneli ve Süper Kapasitör ile Beslenen Toprak Nem Sensörü

*Soil Moisture Sensor Powered by Solar Panel and Super Capacitor*

*Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet Hadi Suzer<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0002-0083-8757

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Suzer MH, "Güneş Paneli ve Süper Kapasitör ile Beslenen Toprak Nem Sensörü", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(1): 01-08, (2023).

**DOI:** 10.46578/humder.1210812



## Güneş Paneli ve Süper Kapasitör ile Beslenen Toprak Nem Sensörü

Mehmet Hadi SUZER\*

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 63050, Haliliye/ŞANLIURFA

### Öz

IoT uygulamalarının artmasıyla birlikte akıllı tarım uygulamaları yaygınlık kazanmıştır. Tarım alanlarında nem ve sıcaklık gibi fiziksel ölçümler yapabilmek için (şarjlı veya şarjlı olmayan) pille beslenen akıllı sensörler kullanılmaktadır. Ancak pille beslenen bu sensörler periyodik olarak pil değişimi veya şarjı gerektirmekte, bu da düşük çalışma ömrü, ek bakım işlemleri ve maliyetine sebep olmaktadır. Bu çalışma akıllı sensörler için özgün bir elektrik besleme kaynağı önererek anılan problemleri çözmeyi hedeflemektedir. Bu makalede güneş paneli ile şarj olan bir süper kapasitör kullanarak pile gereksinim duymayan tarımsal kullanım amaçlı bir toprak nem sensörü geliştirilmiştir. Bu sensör arazide kurulduktan sonra şarj veya pil değişimi gibi sebeplerle periyodik bakım gerektirmemektedir. Sensör, kablosuz modülü aracılığıyla periyodik olarak baz istasyonuna nem bilgisi iletmektedir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 27/11/2022

Yayın: 28/04/2023

### Anahtar Kelimeler

Süper Kapasitör  
Güneş Paneli  
Pilsiz Sensör  
Nesnelerin İnterneti

### Keywords

Super Capacitor  
Solar Panel  
Batteryless Sensor  
Internet of Things

### Soil Moisture Sensor Powered by Solar Panel and Super Capacitor

#### Abstract

With the increase in IoT applications, smart agriculture applications have become widespread. In order to make physical measurements such as humidity and temperature in agricultural areas (rechargeable or non-rechargeable) battery-powered smart sensors are used. However, these battery-powered sensors require periodic battery replacement or charging, resulting in low operating life, additional maintenance and cost. This study aims to solve these problems by proposing a unique electrical supply source for smart sensors. In this article, a soil moisture sensor for agricultural use, which does not require a battery, has been developed by using a super capacitor charged with a solar panel. After this sensor is installed in the field, it does not require periodic maintenance for reasons such as charging or battery replacement. The sensor periodically transmits humidity information to the base station via its wireless module.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

IoT (Internet of Things) cihazlarının ucuzlaması ve yaygınlaşmasıyla birlikte akıllı/hassas tarımda kullanımları da yaygınlık kazanmıştır. Akıllı tarım denince toprak ve/veya mahsul ile ilgili nem, sıcaklık, renk, boyut gibi fiziksel ölçülerin dijital algılayıcılarla toplanması, değerlendirilmesi ve sulama, ilaçlama ile gübrelemenin zamanlama ve miktarının kontrolünde kullanılması akla gelir. Algılayıcı ve mikro-bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ve ucuzlaması ile tarımda bu teknolojilerin kullanımı rasyonel hale gelmiştir. Ancak oldukça geniş tarım alanlarında elektrik altyapısının kurulumu, maliyeti sebebiyle tercih edilmezken bu cihazları pille beslemek de beraberinde sürdürülebilirlik problemleri getirmektedir. Sayılan sebeplerden, algılayıcı cihazların beslenmesi alanında halen gelişime ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Tarımda kullanılmak üzere literatürde pek çok algılayıcı devresi önerilmiştir [1-12]. Al-Ali ve arkadaşları [1] güneş enerjisi ile beslenen akıllı sulama sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmalarında sulama sisteminin tamamını düşünerek Wifi ile iletişim kuran sensör, aktivatör pompa ve valf sistemlerini birleştirmişler, sistemin büyümesi sebebiyle 100W bir güneş panelinin yanı sıra 12V/55Ah bir akü kullanmışlardır.

\*İletişim yazarı, e-mail: mhsuzer@harran.edu.tr

Chaitra ve arkadaşları [2] Arduino Uno temelli akıllı çiftlik izleme sistemi geliştirmiş, sistemlerini 3.65W bir solar panel ve 3.7V/6600 mah bir LiPo pil ile beslemişlerdir.

Tagarakis ve arkadaşları [3] hassas tarım alanında kullanılmak üzere düşük maliyetli kablosuz algılama sistemi geliştirmişler, sistemin algılayıcı sensörleri için 3W güneş paneli ile 6600 mAh şarjlı pil kullanmışlardır.

Sadowski ve arkadaşları [4] IoT cihazları kullanarak güneş paneli ile beslenen akıllı tarımsal izleme sistemleri geliştirmişlerdir. Bu sistemi beslemek için, benzerleri gibi 3.65W bir solar panel ve 3.7V/6600 mAh bir LiPo pil kullanmışlardır.

Gowda ve arkadaşları [5] ESP8266 Wifi modülü içeren bir sensör geliştirmişler, bu sensörü 5.5V/120mA bir güneş paneli ile şarj edilen 3.7V/2200 mAh pille beslemişlerdir. Bunun yanı sıra, Wifi istasyonunu uyku modunda tutarak sistemlerinde enerji optimizasyonu yapmışlardır.

Sandhu ve arkadaşları [6] çevresel titreşimlerden elde edilen kinetik enerji ile bir kapasitörü şarj ederek sensör cihazları için bir besleme devresi elde etmişlerdir. Ancak yapılan çalışmada ulaşılan güç seviyesinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. 220µF bir kapasitör şarj edilmiş, 1mJ enerji depolanmıştır.

Hester ve arkadaşları [7] pilsiz gömülü sistemler için bir platform geliştirmişlerdir. Platform, güneş, titreşim ve RF gibi birden fazla kaynaktan aldığı enerjiyi kullanarak kapasitörleri şarj etmektedir. Bu şekilde elektrikli cihazlar için enerji kaynağı oluşturulmuştur.

Jeon ve arkadaşları [8] güneş paneli ve kapasitör ile beslenen Bluetooth temelli bir yaklaşım sensörü geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sensör iç mekânda kullanılmak için tasarlandığından süper kapasitör yerine normal bir elektrolitik kapasitör kullanmışlardır.

Elhebeary ve arkadaşları [9] IoT sistemleri için çift modlu bir akıllı enerji hasat sistemi önermişlerdir. Bu sistemde bir DC-DC çeviriciyi hem yükseltici hem de düşürücü moda kullanarak güneş paneli ile şarj edilen bir süper kapasitörlü sistem elde etmişlerdir.

Mazunga ve arkadaşları [10] çevresel enerji ile beslenen kablosuz sensör ağları için ultra düşük güç tüketimi tekniklerine dair yakın geçmişteki teknolojik ve bilimsel gelişmeleri özetleyen ve karşılaştıran bir çalışma yapmışlardır.

Shin ve arkadaşları [11] güneş paneli ile beslenen sensör cihazlarında enerji tahmin ve yönetim algoritması geliştirmişlerdir.

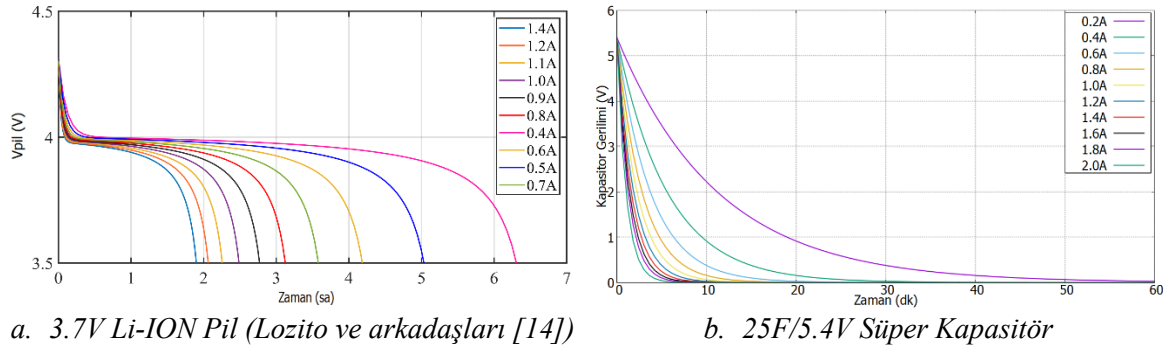
Besleme kaynağına göre değerlendirildiğinde, bu önerilerin büyük bir kısmında güneş ışığı veya titreşim gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrikle şarj edilen pil veya akü kullanılmıştır. Bir besleme kaynağında pil kullanımı beraberinde ek problemler ve maliyetler getirmektedir. Güneş paneli vb. ek cihazlar gerektirmediklerinden, şarjlı olmayan piller akla ilk gelen besleme kaynakları olsalar da kullanım ömürlerinin sınırlı olması ve periyodik değişim ihtiyaçları sebebiyle, sensör sayısının artmasıyla birlikte önemli bir işletimsel maliyet ve yük getirmektedirler. Bu da ölçeklenebilirlik problemi olarak değerlendirilebilir. Öte yandan şarjlı pil ile besleme sıradan pillerin kısa ömür problemini ortadan kaldırırsa da daha yüksek pil ve şarj devresi maliyetleri, pilin yaşlanma etkileri, dolum/boşaltım döngüsü sınırı gibi faktörler sebebiyle yüksek bakım ve işletim maliyetine sebep olurlar.

Şarjlı veya şarjlı olmayan pillerin kullanıldığı besleme kaynaklarındaki sayılan problemler akıllı sensörler ve diğer IoT cihazlarının yaygınlaşmasını sınırlamaktadır [13]. Bu problemleri aşmak için güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra ortam gürültüsü, titreşim veya radyo sinyallerinden enerji elde etmek mümkündür. Ancak bu enerji kaynaklarının pillere göre bazı dezavantajları vardır. Çoğunlukla bu kaynakların birim zamanda ürettikleri enerji, yani güç, pillere göre oldukça düşük olduğu gibi bu kaynakların tahriki için gerekli güneş, titreşim ve radyo dalgaları gibi kaynaklar da her gün veya günün her anı mevcut olmayabilir. Bu durumda bu bedava kaynaklarla bir IoT aygıtını beslemek için bir biriktiriciye ihtiyaç duyulur. Bu çalışmada biriktirici için şarjlı pile alternatif ve diğer uygulamalardan farklı olarak süper kapasitörler önerilmiştir.

Süper kapasitörler Farad seviyesinde çok yüksek kapasiteye sahip olup bu yetenekleri karşılığında sıradan pillere alternatif olabilecek elektriksel biriktiricilerdir. Süper kapasitörlerin pillere göre çok üstün özellikleri vardır:

- Raf ömürleri yoktur.
- Yaşlanma etkileri yoktur, yani zamanla kapasiteleri azalmaz.
- Teorik olarak sonsuz dolun/boşaltım döngüsüne sahiptirler.
- Şarj kontrol devresi gerektirmezler. Güneş paneline doğrudan bağlanarak şarj edilebilirler ve dolduklarında şarjın durdurulmasına gerek yoktur çünkü bu kapasitörler dolduklarında akım çekmezler.
- Oldukça hafiftirler.

Süper kapasitörlerin bu avantajlarına karşın pillere göre iki dezavantajı da mevcuttur: Birim hacim başına daha az enerji saklayabilirler ve voltaj eğrileri doğal üssel fonksiyon şeklindedir. Şekil 1'de Li-ION şarjlı bir pil ile süper kapasitörün boşalma grafikleri gösterilmektedir. Şekil 1.a'da görüldüğü gibi, Li-ION pil çekilen akımla orantılı olarak bir süreliğine sabit gerilim sağlayabilirken, süper kapasitör gerilimi ise başlangıçtan sona kadar çekilen akımla orantılı olarak sürekli düşmektedir (Şekil 1.b). Ancak bu dezavantajların etkilerini azaltmak veya kaçınmak mümkündür.



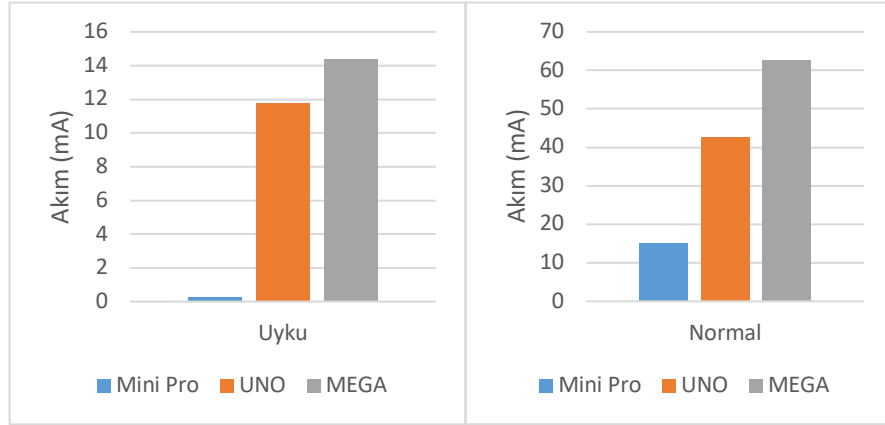
Şekil 1 Li-ION ve Süper Kapasitörün yük altında boşalma grafikleri

Bu çalışmada güneş paneli ve süper kapasitörle beslenen bir nem sensörü tasarımı ve uygulaması anlatılacaktır. Tasarlanan sensör, herhangi bir harici beslemeye gerek olmadan nem ve sıcaklık bilgilerini belli aralıklarla bir radyo linki üzerinden sulama kontrol ve veri saklama istasyonuna aktaracaktır. Donanım seviyesinde alınan önlemler ve yazılım seviyesinde yapılan iyileştirmeler sayesinde devrenin enerji harcaması oldukça düşük bir seviyeye indirilmiş, böylece 25F gibi küçük boyutlu bir süper kapasitörle ve sadece 0.9W gücünde bir güneş paneli ile, bir tarım mevsimi boyunca hiç müdahale ve bakım gerektirmeden çalışabilecek bir akıllı sensör cihazı elde edilmiştir.

## 2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışmada, geliştirilen akıllı sensör cihazının güneş paneliyle şarj olan süper kapasitörler ile beslenmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle öncelikle cihazda kullanılacak olan elektronik elemanlar belirlenmiş ve bunların enerji ihtiyacı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda yüke, ihtiyacı olan enerji miktarını sağlayan süper kapasitör değeri bulunmuştur.

Tasarlanan sensör cihazı, 3 adet topraktan nem algılayıcı ve 1 adet ortam sıcaklığı sensörünü okuyup radyo linkini kullanarak bu verileri uzak istasyona gönderir. Sensörler analog çıkışa sahiptir ve bu çıkışlardan veri okuyup radyo linkine iletecek bir mikro-bilgisayara ihtiyaç vardır. Mikro-bilgisayar için, hazır devre halinde bulunabilen Arduino platformlarından Arduino Mini Pro devresi tercih edilmiştir. Arduino Mini Pro, üzerinde yeterli sayıda analog giriş ve dijital çıkışa sahip bir mikrodenetleyici içermektedir. Şekil 2 çok bulunan 3 çeşit Arduino platformunun uyku ve normal çalışma anında ihtiyaç duydukları akımları göstermektedir. Enerji bütçesini mümkün olduğunca düşük tutmak için, daha yüksek işlem gücüne sahip mikrodenetleyici ve USB programlayıcı çipi bulunduran diğer platformlar tercih edilmemiştir. Radyo iletişimi için yine enerji ihtiyacı ve maliyeti Wifi modüllere kıyasla çok daha düşük olan 433MHz frekansta çalışan, ticari ismiyle HC11 olarak bilinen bir radyo modülü tercih edilmiştir.



Şekil 2 Arduino platformlarının uyku ve normal zamadaki akım tüketimleri

Nem sensörü olarak Şekil 3'te görülen sensör tercih edilmiş, bu sensör doğrudan 10kohm dirençle beslenerek oldukça düşük bir besleme akımıyla toprak nemi, üstelik üç noktadan doğrulama yapılarak ve elde edilen veriler ön işleminden geçirilerek, radyo linkiyle kontrol istasyonuna iletilmiştir. Sensörler mikrodenetleyicinin çıkış portlarından beslenerek yazılımla açılıp kapanabilen şekilde tasarlanmış ve sadece ölçüm anında sensörler açık tutularak enerji tasarrufu üst seviyeye çıkarılmıştır. Tablo 1'de sensör cihazında kullanılan başlıca cihazların bekleme ve aktif durumlarında 3.3V kaynaktan çektikleri akımlar gösterilmektedir.

Tablo 1 Kullanılan mikro-bilgisayar, sensör ve radyo modülünün anlık akım tüketimleri

Aygıt	Bekleme Akımı	Aktif Akım
Arduino Mini Pro	0.25mA	15mA
HC11 – RF (FU2 modu)	0.08 mA	35mA
4 Sensor	0.1mA	2.1mA
Toplam	0.43 mA	52.1 mA

Olağan koşullarda, nem ve sıcaklık sensörleri dakikada bir kez okunacak, 10 dakikada bir bu okumaların ortalaması alınacak ve bu ortalama değerler radyo linki ile merkez istasyonuna iletilecektir. Elektriksel bir malzemenin uçlarındaki gerilim  $V$ , içinden geçen akım  $I$  olmak üzere, güç ve enerji denklemleri aşağıdaki şekildedir:

$$P = VI \text{ (Watt)} \quad 2.1$$

$$W = P\Delta t = VI\Delta t \text{ (Joule)} \quad 2.2$$

Bu durumda, her bir saniyelik bekleme, 1 okuma (0.2 sn. süreli) ve 1 gönderim (1.0 sn. süreli) için harcanan enerji aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$W_{bekle} = V(I_{UC} + I_{sens} + I_{RF})\Delta t = 3.3 \times (0.25 + 0.1 + 0.08) \times 1.0 = 1.42 \text{ (mJ)} \quad 2.3$$

$$W_{oku} = V(I_{UC} + I_{sens} + I_{RF})\Delta t = 3.3 \times (15 + 2.1 + 0.08) \times 0.2 = 11.34 \text{ (mJ)} \quad 2.4$$

$$W_{gönder} = V(I_{UC} + I_{sens} + I_{RF})\Delta t = 3.3 \times (15 + 0.1 + 35) \times 0.5 = 82.67 \text{ (mJ)} \quad 2.5$$

Örnek olarak 12 saatlik bekleme süresinde dakikada 1 okuma ve 10 dakikada bir veri göndermek için gerekli enerji:

$$\begin{aligned} W_{12s} &= 12 \times 60 \times 60 \times W_{bekle} + 12 \times 60 \times W_{oku} + 12 \times 6 \times W_{gönder} \\ &= (43200 \times 1.42 + 720 \times 11.34 + 72 \times 82.67) \times 10^{-3} = 75.46 \text{ (J)} \end{aligned} \quad 2.6$$

Kapasitör değeri hesaplanmadan önce kapasitör boşaltım (deşarj) eğrisini lineer hale getirecek bir regülatör seçilecektir. Şekil 1.b'de görüldüğü gibi bir kapasitörün boşaltım ve dolun eğrileri lineer değildir. Devamlı olarak voltaj değeri değişen bir kaynakla bir IoT cihazını beslemek oldukça karmaşık problemler ortaya

çıkardığından [15], regülatör kullanarak kapasitör gerilimi sabit hale getirilmiştir. Kullanılan regülatör, girişine uygulanan değişken voltajı kapalı çevrim kontrol ile yükseltmek için sabit voltaj çıkarmaktadır.

Devre elemanlarının besleme voltaj aralıkları farklı olsa da hepsi için ortak bir voltaj olarak 3.3V seçilmiştir. Bu voltajı 5.4V bir kapasitörden elde edecek regülatörün yükseltici modunda olması, minimum giriş geriliminin de mümkün olduğunca sifıra yakın olması gereklidir. TI firmasının TPS61023 regülatör entegresi, 0.5V – 5.5V giriş gerilimi aralığında, programlanabilir çıkış voltajı, %96'ya varan verimi ve 9uA düşük kaçak akımı ile süper kapasitör için ideal bir regülatördür. Şimdi örnek olarak 50F/2.7V değerine sahip seri bağlı iki süper kapasitörden alınacak enerji aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Uçlarında  $V_1$  voltajı okunan bir kapasitörü  $V_2$  voltajına kadar doldurmak için harcanan enerji (yapılan iş):

$$W = \int_{V_1}^{V_2} CVdV = \frac{1}{2}C(V_2^2 - V_1^2) (J) \quad 2.7$$

olarak hesaplanır. TPS61023 minimum giriş gerilimi olarak 0.5V kabul ettiği için  $V_1$  voltajını 0.5V, kapasitörün maksimum gerilimi de ( $V_2$ ) 5.0V olarak kabul edilerek, eşdeğer kapasitesi  $50F/2.0 = 25F$  olan bir çift kapasitörden alınabilecek enerji:

$$W_C = \int_{0.5}^{5.0} CVdV = \frac{1}{2}25(5.0^2 - 0.5^2) = 309.38 (J) \quad 2.8$$

olarak hesaplanır. Son olarak kapasitörü dolduracak güneş pilinin seçilmesi gerekir. 105mm x 65mm ebatlarında 6V 150mA bir güneş panelinden alınabilecek anlık güç ve panelin iç direnci (tam gün ışığı altında):

$$P = VI = 6.0 \times 0.15 = 0.90 (W) \quad 2.9$$

$$R_p = \frac{V}{I} = \frac{6.0}{0.15} = 40 (\Omega) \quad 2.10$$

olarak hesaplanır. Bu durumda panele doğrudan bağlanan 25F/5.0V kapasitörü tam doldurması için gerekli süre (RC devrelerinde kapasitör 5T süre sonunda %99.3 dolar):

$$T = R_p \times C = 40 \times 25 = 1000 (sn) \quad 2.11$$

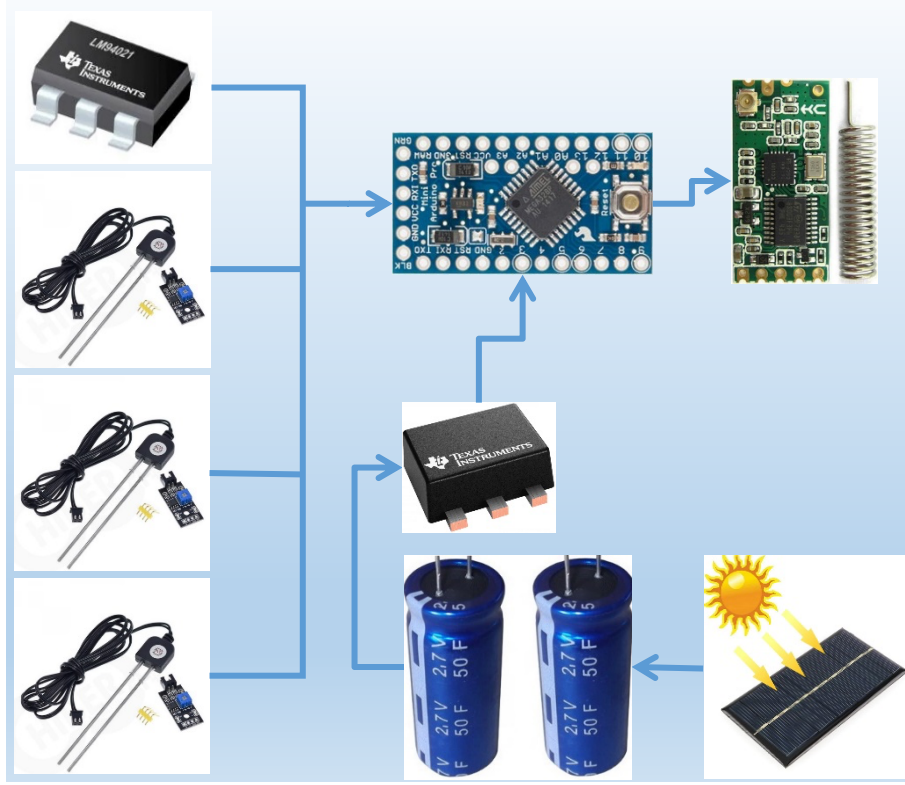
$$5T = 5000sn = 83.33 (dk) \quad 2.12$$

olarak hesaplanır. Bu süre ilk dolmuş için yüksek görünse de kullanılan TPS61023 regülatörünün başlama voltajı 1.8V olduğundan [16], kapasitörler tam boş iken (uçlarında 0V okunurken) ilk çalışma için gerekli süre çok daha az olacaktır:

$$1.8V = V_C = V_p \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) = 6.0 \times \left(1 - e^{-\frac{t}{1000}}\right) \rightarrow t = 446sn = 7.43dk \quad 2.13$$

TPS61023 regülatörünün başlama voltajı 1.8V olsa da kapanma voltajı 0.5V olduğundan [16] kapasitör 1.8V'a kadar dolduktan sonra 0.5V'a kadar boşaltılabilir.

Bu hesaplamalar ile seçilen süper kapasitör ve güneş paneli kullanılarak Şekil 3'te blok diyagramı verilen sistem tasarlanmıştır. Deneysel olarak gerçekleştirilen sistem Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 3 Tasarım Blok Diyagramı

### 3. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME (RESULTS and EVALUATION)

Bölüm 2’de metodolojisi verilen sensör cihazı Şekil 4’te görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir. Cihazın değerlendirilmesi için gece, gündüz, bulutlu hava, açık hava gibi şartlarda veriler alınmıştır. Bu verileri almak ve değerlendirmek için süper kapasitörün uçlarındaki voltaj Arduino Mini Pro’nun analog girişlerinden birine uygulanmış, böylece her ölçüm noktasında nem ve sıcaklık ölçümlerinin yanı sıra süper kapasitör gerilimi de kayıt altına alınmıştır.



Sensörün kapalı görünüşü

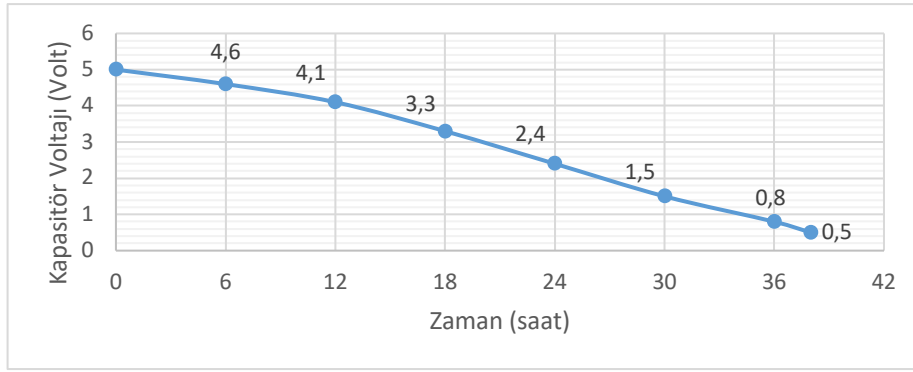


Sensörün içerden görünüşü

Şekil 4 Gerçekleştirilen Sensör Cihazı

Sensör cihazına 3 nem sensörü bağlamanın amacı ölçümlerin doğruluğu ve güvenilirliğini arttırmaktır. Sulama kontrolü yapan merkez istasyonuna her 10 dakikada bir ölçüm verileri iletilmiştir. Bu ölçüm verileri gerçekte 10 kat daha sık yapılan ölçümlerin hareketli ortalaması (moving average) alınarak elde edilmiştir. Alınan bu ortalamalar kullanılarak her bir iletim aralığında standart sapma hesaplanmış ve bu standart sapma ile ortalama değer kullanılarak aykırı (marjinal) değer üreten sensör ölçümleri ortalamanın dışında tutulmuş, böylelikle ölçümlerin doğruluğu arttırılmıştır.

Cihazın ilk çalışması için güneşli bir havada kapasitörün 1.8V'a kadar şarj olması gerekir. Ardından 3.3V besleme voltajı üreten regülatör (TPS61023) devreleri beslerken kapasitör şarj olmaya devam eder. Kapasitör voltajı 3.3V'u aştığında regülatör bypass moduna geçerek girişindeki voltajı aynıyla çıkışa aktarır. Kapasitörün cihazdaki devreleri besleyebilecek voltaja ( $\geq 1.8V$ ) ulaşması 7.43 dakikada, tam şarjı ise yaklaşık 83.3 dakikada gerçekleşir. Bulutlu/kapalı havalarda güneş panelinden elde edilen enerjinin yarı yarıya düştüğü gözlenmiştir. Böyle bir günde cihazın çalışmaya başlaması yaklaşık 15 dakika sürer. Hava tam karardığında ise cihazın beslenmesi tamamen süper kapasitörde depolanmış enerji ile yapılmaktadır. 12 saatlik bir karar esnasında test cihazının, kapasitörleri 5V'tan 4.1V'a kadar boşalttığı görülmüştür. Regülatör entegresi her ne kadar başlamak için giriş voltajının minimum 1.8V olmasını gerektirse de başladıktan sonra kapasitör voltajı 0.5V'a inene kadar çalışmaya devam etmektedir. Deneysel amaçla, süper kapasitör tam doluyken güneş paneli sistemden ayrılmış, bu durumda kapasitörün devreyi 38 saate kadar besleyebildiği görülmüştür (Şekil 5). Bu ölçümlerdeki süreler, cihazın tükettiği enerjinin yanı sıra regülatör ve süper kapasitörün verimi ve kaçak akımlarını da hesaba katmaktadır.



Şekil 5 Karanlıkta Süper Kapasitörün uçlarından ölçülen gerilim

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada akıllı/hassas tarım uygulamalarında kullanılmak üzere bir sensör cihazı geliştirilmiştir. Bu cihazın enerji ihtiyacı optimize edilerek küçük boyutta bir güneş paneliyle şarj olan ve 36 saati aşan enerji arzı sağlayan bir süper kapasitör kullanılmıştır. Bu durumda pile ihtiyaç duymayan ve bu sebeple bakım ve değişim maliyetleri olmayan akıllı bir sensör cihazı tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bu sensör cihazı ile öne sürülen geliştirmeleri doğrulayan testler gerçekleştirilmiştir. Bu testler sonucunda tam bir tarım mevsimi boyunca hiçbir şekilde müdahaleye ihtiyaç duymadan, 3 noktadan dakikada 1 ölçüm olarak ölçümlerini merkez istasyona radyo vericisi aracılığıyla iletebilen bir sensör cihazı geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın yanı sıra yine pile ihtiyaç duymayan, sahadaki tüm sensör cihazlarını izleyebilen ve aldığı bilgiyle elektrikli sulama vanalarına kumanda edebilen bir merkez istasyonu tasarımı ve gerçekleştirilmesi çalışmaları da sürdürülmektedir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. R. Al-Ali, A. Al-Nabulsi, S. Mukhopadhyay, M. S. Awal, S. Fernandes, K. Ailabouni, IoT-solar energy powered smart farm irrigation system. Journal of Electronic Science and Technology, Volume 17, Issue 4, 2019
- [2] T. S. Chaithra, N. Ajay - Smart farm monitoring system using solar-power and Internet of Things devices. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, Volume 02, Issue 07 July 2020.
- [3] A. C. Tagarakis, D. Kateris, R. Berruto, D. Bochtis, Low-Cost Wireless Sensing System for Precision Agriculture Applications in Orchards. Appl. Sci. 2021, 11, 5858.



- [4] S. Sadowski, P. Spachos, Solar-Powered Smart Agricultural Monitoring System Using Internet of Things Devices. 2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), 2018, pp. 18-23, doi: 10.1109/IEMCON.2018.8614981.
- [5] M. Gowda, J. Gowda, S. Iyer, M. Pawar, V. Gaikwad, Power Consumption Optimization in IoT based Wireless Sensor Node Using ESP8266. ITM Web Conf. 32 03048, 2020.
- [6] M. M. Sandhu, K. Geissdoerfer, S. Khalifa, R. Jurdak, M. Portmann, B. Kusy, Towards Optimal Kinetic Energy Harvesting for the Batteryless IoT. 2020 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/PerComWorkshops48775.2020.9156195.
- [7] J. Hester, J. Sorber. Flicker: Rapid Prototyping for the Batteryless Internet-of-Things. In Proceedings of the 15th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems (SenSys '17). Association for Computing Machinery, NY, USA, Article 19, pp. 1–13, <https://doi.org/10.1145/3131672.3131674>
- [8] K. E. Jeon, J. She, J. Xue, S. H. Kim, S. Park, luXbeacon – A Batteryless Beacon for Green IoT: Design, Modeling, and Field Tests. IEEE Internet of Things Journal, 2019, pp. 1-1. 10.1109/JIOT.2019.2894798.
- [9] M. R. Elhebeary, M. A. A. Ibrahim, M. M. Aboudina, A. N. Mohieldin, Dual-Source Self-Start High-Efficiency Microscale Smart Energy Harvesting System for IoT, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 65, no. 1, pp. 342-351, Jan. 2018, doi: 10.1109/TIE.2017.2714119.
- [10] F. Mazunga, A. Nechibvute, Ultra-low power techniques in energy harvesting wireless sensor networks: Recent advances and issues. Scientific African, Volume 11, 2021
- [11] I. Joe, M. Shin, Energy Management Algorithm for Solar Powered Energy Harvesting Wireless Sensor Node for IoT. IET Communications, 2016, 10. 10.1049/iet-com.2015.0223.
- [12] T. S. Muratkar, A. Bhurane, A. Kothari, Batteryless internet of things – A survey. Computer Networks, Volume 180, 2020, 107385, ISSN 1389-1286, <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107385>.
- [13] J. Hester, J. Sorber, The Future of Sensing is Batteryless, Intermittent, and Awesome. In Proceedings of the 15th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems (SenSys '17). Association for Computing Machinery, NY, USA, Article 21, 1–6. <https://doi.org/10.1145/3131672.3131699>
- [14] G. M. Lozito, G. Maria, V. Lucaferri, F. R. Fulginei, A. Salvini, Improvement of an Equivalent Circuit Model for Li-Ion Batteries Operating at Variable Discharge Conditions. Electronics, 2020, 9. 78. 10.3390/electronics9010078.
- [15] C. Delgado, J. M. Sanz, C. Blondia and J. Famaey, Batteryless LoRaWAN Communications Using Energy Harvesting: Modeling and Characterization, IEEE Internet of Things Journal, vol. 8, no. 4, pp. 2694-2711, 15 Feb.15, 2021, doi: 10.1109/JIOT.2020.3019140.
- [16] TPS61023, Texas Instruments, link: <https://www.ti.com/product/TPS61023>, 25.11.2022 tarihinde erişildi.