

Araştırma Makalesi -Research Article

Elektrikli Araçlar İçin Akıllı Hibrit Şarj İstasyonu Örneği

Smart Hybrid Charging Station Example for Electric Vehicles

Ali Öter^{1*}, Fatih Baltacı²

Geliş / Received: 30/09/2021

Revize / Revised: 26/01/2022

Kabul / Accepted: 10/02/2022

ÖZ

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi kullanılarak Elektrikli Araçlar için akıllı hibrit şarj istasyonu tasarlanması hedeflenmiştir. Tasarlanan sistem, şarj istasyonu, fotovoltaik modül, akıllı inverter, depolama birimi, doğru akım-doğru akım düşüren tip dönüştürücü ve mikrodenetleyiciden oluşmaktadır. Şarj işlemi enerji öncelikle fotovoltaik modüllerden, yetersiz olması durumunda depolama biriminden, her iki kaynağın yetersiz olması ya da depolama birimindeki akülere aşırı yük bindiğinde, şebeke tarafından beslenecek şekilde akıllı inverter ayarları yapılmıştır. Akım ve gerilim kontrolü için mikrodenetleyicinin sinyal genişlik modülasyonu çıkışı ve doğru akım-doğru akım düşüren tip dönüştürücü kullanılmıştır. Dönüştürücünün parametreleri hesaplanarak Matlab/Simulink ile simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan değerlerin, yapılan simülasyon ile uyumu dikkate alınarak dönüştürücü devresi tasarlanmıştır. Akü doluluk durumuna göre sabit akım ya da sabit gerilim şarj modu seçilerek elektrikli araç aküleri kontrollü olarak şarj edilmiştir. Akım ve gerilim, geri beslemeleri kullanılarak referans değerlerle karşılaştırılıp sinyal genişlik modülasyonu görev oranının ayarlanması ile şarj işlemi yapılmıştır. Elektrikli araç aküleri, eşik akım değerinin altına düşüncüye kadar şarj işlemine devam edilmiştir. Akü sıcaklığı 55°C'yi geçtiğinde şarj işlemi sonlandırarak şekilde sistem programlanmıştır. Ayrıca sistem parametrelerindeki değişiklikler 2x16 likit kristal ekran kullanılarak görüntülenmiştir.

Anahtar Kelimeler- *PV Modül, Mikrodenetleyici, DA-DA Dönüştürücü, Jel Akü, Şarj İstasyonu*

ABSTRACT

The present study aims to design a smart hybrid station for electrical vehicles using solar energy as a renewable energy source. The designed system consisted of a charging station, photovoltaic module, smart inverter, storage unit, direct current-direct current converter, and micro controller. In the charging process, smart inverter settings were designed for the photovoltaic modules to supply energy primarily in case of insufficient energy from the storage unit when both sources were insufficient or when the batteries in the storage units were overloaded. For current and voltage control, signal width modulation output of microcontroller and direct current-direct current buck type converter were used. The parameters of the converter were calculated and simulated on Matlab/Simulink. The converter circuit was designed by considering the compatibility of the calculated values with the simulation. Electrical vehicle batteries were charged in a controlled manner by choosing a constant current or constant voltage charging method according to the battery charge. The charging process was performed by comparing the current and voltage with the references values using their feedback and adjusting the signal width modulation duty ratio. The charging process continued until the electrical vehicle batteries dropped below the threshold current value. The system was programmed to terminate the charging process when the battery

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: alioter@ksu.edu.tr (<https://orcid.org/0000-0002-9546-0602>)

Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye

²İletişim fatihbaltaci4600@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-4370-1558>)

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Kahramanmaraş, Türkiye

temperature exceeded 55oC. In addition, changes in the system parameters were displayed by using a 2x16 liquid crystal screen.

Keywords- PV Module, Microcontroller, DC-DC Converter, Gel Battery, Charging Station

I. GİRİŞ

Dünya nüfusu her geçen gün artmakta ve buna bağlı olarak ulaşım için trafiğe çıkan araç miktarı da artmaktadır. Bu araçlarda yaygın olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıt kullanımı sonucu ortaya çıkan hava kirliliği insan sağlığını olumsuz yönde etkilemekle birlikte, küresel ısınma, iklim değişikliği gibi istenmeyen durumlara da yol açmaktadır. Fosil yakıt kaynaklarının rezervlerinin sınırlı olması ve toplumda çevre bilincinin artması fosil kaynaklara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi hızlandırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtlara göre hem çevre dostu hem de tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, doğaya salınan karbon salınımının azaltılması gerekliliği ve bu salınımına en çok katkı yapan içten yanmalı motorlu araçların yerine, elektrik enerjisinin kullanıldığı elektrikli araçların kullanılması ön plana çıkmaktadır. Elektrikli araçlar (EA) mevcut elektrik şebekeleri kullanılarak şarj edileceği için elektrik şebekelerinde gerekli altyapının hazırlanmadan şarj istasyonlarının giderek yaygınlaşması özellikle araçların yoğun olarak şarj edildiği zaman aralıklarında şebekede ani yüklenmeler gibi bazı olumsuz durumlara ortaya çıkarmaktadır. Bu durum şebekenin kapasitesinin zorlanmasına aynı zamanda güç kalitesi gibi probleme yol açabilmektedir. Şebekenin kapasitesini arttırmak hem fazla maliyet hem de fazla iş gücü gerektirmektedir. Bunun önüne geçebilmek için hem şebeke kapasitesi artırımı zamana yayılmalı hem de yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılmalıdır.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ve şebeke ile EA'lar için akıllı ve hibrit bir şarj istasyonu tasarımı hedeflenmiştir. Bu istasyon ünitesi ile işletmeler içerisindeki elektrikli mini araçların şarj işlemleri gerçekleştirilecektir. Güneş enerjisi kullanımı ile hem şebekeden şarj için sağlanan elektrikten tasarruf edilecek hem de çevre kirliliğinin önlenmesine katkı sağlanacaktır. Sistemde enerjinin sürekliliğini sağlamak için akülerden oluşturulmuş depolama birimi bulunmaktadır. Şarj edilecek olan EA'nın akülerinin şarj sırasında zarar görmemesi için kontrollü olarak şarj edilecektir. Şarj esnasında akım, gerilim, sıcaklık değerlerinin ölçülmesi ve güvenlik parametrelerinin dışına çıkılması durumunda devreyi kapatması için sensörler ve bir mikrodenetleyici kullanılarak sistem anlık olarak denetlenecektir. Elektrikli araç akülerinin şarjı için yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanıldığı hibrit sistemler ile ilgili yapılan çalışmalar ilk zamanlarda şarj yöntemleri ile ilgili iken sonraları karar destek sistemleri ve bu sistemlerin geliştirilmesi ile ilgili olmuştur. Bu çalışmalardan bazıları yapılış sırasına göre aşağıda sıralanmıştır.

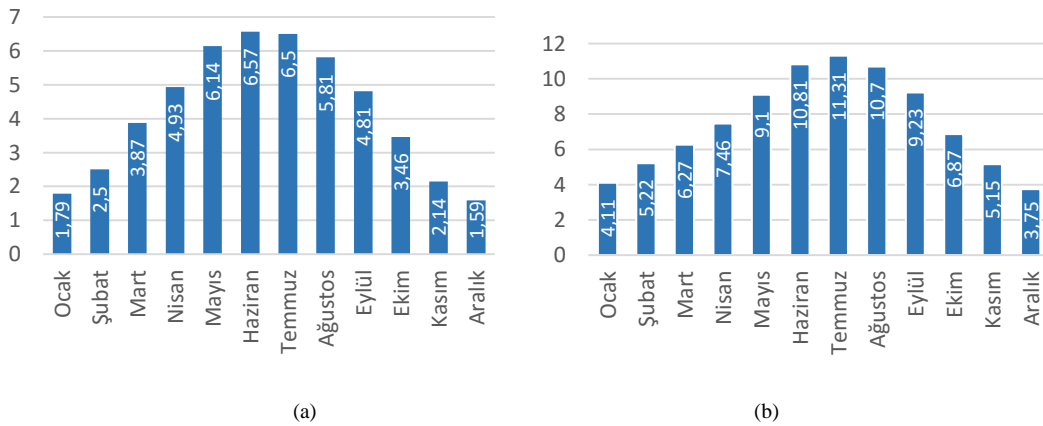
Liu ve Makaran tarafından, Fotovoltaik (PV) modül ile bir batarya şarj sistemi tasarlanmıştır. Sistem PV modül DA-DA yükselten dönüştürücü, mikrodenetleyici ve bataryadan oluşmaktadır. PV modülden maksimum gücü alabilmek için değiştirilebilir algoritması kullanılmışlardır. Sistemin simülasyonu yapılmış ve prototip bir uygulama ile sonuçlar doğrulanmıştır [1]. Üzerine güneş panelleri yerleştirilmiş bir elektrikli golf aracının bataryalarını, gerekli durumlarda desteklemesi amacı ile bir hidrojen yakıt pili kullanıldığı çalışmada, aracın bataryalarının şarjı için ilk etapta güneş panellerinden yararlanılmıştır. Yakıt pili sadece güneşten sağlanan güç yetersiz geldiğinde kullanılmıştır [2]. Arancibia ve Strunz şarj süresinin kısaltılması için DA hızlı şarj istasyonu modellemesi yapmışlardır. Düşünülen şarj istasyonu 1 MW gücünde olup modelleme Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Sistemde üç fazlı inverter, sistem harmoniklerini bastırmak için LCL filtre ve buck boost (düşüren-yükselten) dönüştürücü kullanılmıştır. Aynı anda birden fazla elektrikli aracın şarjının mümkün olduğu DA bara voltajının, akü voltajının ve akü akımının davranışlarının uygun olduğu sonucuna varmışlardır [3]. Atasorkun, tarafından rüzgâr ve güneş enerjisi için akıllı şarj kontrol ünitesi tasarlanmıştır. Sistemde akım sensörü, gerilim sensörü ve sıcaklık sensörü kullanarak akülerin zarar görmemesini engelleyecek tedbirler alınmıştır [4]. Mouli ve ark. Hollanda'da iş yerinde güneş enerjisinden yararlanılarak, akülü elektrikli araçları şarj etme olasılığı üzerine çalışma yapmışlardır. 10kW'lık bir PV dizi düşünülmüş ve Hollanda Meteoroloji Enstitüsü'nden alınan verilerle Matlab'ta modellenmiştir. Hava sıcaklığı da dikkate alınarak yapılan çalışmada maksimum verimin elde edildiği açının 28°C olduğu sonucuna varmışlardır [5]. Güleç, tarafından yapılan çalışmada PV sistemlerde Arduino ile kontrollü batarya şarj uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, PV sistemden gelen ortalama 20V DA gerilimini DA-DA düşüren tip dönüştürücü ile 14.5V batarya gerilimine indirgeyerek şarj işlemi gerçekleştirmiştir. Sistemin simülasyon ve gerçek değerlerini karşılaştırmış ve sonuçların uyumlu olduğunu gözlemlemiştir [6]. Yüzer ve ark., güneş ve rüzgâr enerjilerini kullanarak hibrit yenilenebilir enerji sistemleri için mikrodenetleyici yardımı ile maksimum 10A akım değerine sahip bir şarj regülatörü tasarımı gerçekleştirmişlerdir.

Akü kullanım ömrünü uzatmak için sürekli olarak batarya gerilim ve sıcaklık gibi değerleri ölçerek kontrollü olarak şarj işlemi gerçekleştirmişlerdir [7]. Aynı yıl yapılan bir başka çalışmada, bir bataryanın şarj deşarj işlemi için düşüren-yükselten dönüştürücü tasarlamışlardır. Sistem PV modül, 24V'luk şebeke ve 12V'luk depolama birimi olarak düşünülmüş, Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Yapılan çalışmada, dönüştürücü parametreleri hesaplanarak simülasyonu yapılmış ve simülasyon sonuçlarının hesaplanan değerler ile örtüştüğü gözlemlenmiştir [8]. Çiçek ve ark., elektrikli araç otoparkının toplam enerji maliyetini düşürme amacı ile PV batarya hibrit sistemi tasarlamışlardır. Bataryaları hem PV'den artan enerji ile hem de elektriğin ucuz olduğu tarife dönemlerinde şarj ederek, pahalı olduğu dönemlerde kullanarak toplam maliyeti azaltmaya yönelik şarj yönetimi modeli oluşturmuşlardır [9]. 2019 yılında yapılan bir başka çalışmada lityum iyon araç bataryalarını şarj etmek için, Matlab/Simulink ortamında bir şarj yöntemi benzetimi yapmıştır. Batarya paketi maksimum şarj gerilimi olan 134.4V'a ulaşana kadar sabit 15A akımla şarj edilmiş ve maksimum şarj gerilimine ulaştığında ise sabit gerilim yöntemi ile şarj edilmiştir [10]. Akdeniz, tarafından ise değiştir gözle algoritması kullanılarak, Arduino ile maksimum güç noktasını takip eden bir solar şarj kontrolörü gerçekleştirmiştir. PV paneller aracılığı ile güneşten yüksek verimde elektrik enerjisi elde edilmeye ve kontrollü bir şekilde akümülatör şarj işlemi yapılmaya çalışmıştır [11]. Yurdakul ve ark., PV sistemlerden elde edilen enerji ile bataryalar şarj edilirken bataryanın aşırı şarj/deşarj olmasının önüne geçme amaçlı bir çalışma yapmışlardır. Çalışma Matlab/Simulink ortamında PI denetleyici ve DA-DA azaltan tip dönüştürücü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İntegral ve türev katsayıları deneme yanılma yoluyla belirlenerek farklı çalışma şartlarında benzetimler yapılmıştır [12].

II. MATERYAL VE METOT

A. Yenilenebilir Enerji

Buhar gücünün keşfi ve sanayi devriminin başlangıcı ile birlikte üretimde enerjinin önemi anlaşılmış, daha az insan gücü kullanılarak daha hızlı üretim yapılmış bu da teknolojinin daha hızlı gelişmesine yol açmıştır. Maliyetinin düşük olmasından dolayı 19. yüzyılın başlarından itibaren fosil yakıtlara geçilerek üretim ve tüketimin her alanında kullanılmaya başlanmıştır. Fosil kaynakların ekonomik maliyetleri, çevreye verdikleri zararların giderek artması ve fosil kaynakların giderek azalması gibi nedenlerden dolayı ülkeler fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir [13]. Bu kaynaklar güneş ışığı, rüzgâr, hidrolik, biokütle, jeotermal, dalga ve hidrojenidir. Yenilenebilir enerji kaynakları tüketilirken doğal döngü içerisinde hızlı bir şekilde kendini yenilediği için tükenmeyen enerji kaynaklarıdır [14]. Dünyamıza hayat veren güneş ışığı gelişen teknoloji sayesinde elektrik üretimi, hidrojen üretimi, sıcak su temini, sera ısıtmaları gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisi sonsuz kabul edilen bir enerji olmasının yanında kesikli bir enerjidir. Kış aylarında az, geceleri ise hiç olmadığından güneşten yararlanabilmek için bölgenin güneş enerjisi potansiyeli çok önemlidir. Türkiye konumu sayesinde yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip bir ülkedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yayınlanan, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)'na göre Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme süresi 2741,07 saat olup, ortalama yıllık toplam ışıınım değeri 1527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır [15]. Şekil 1'de Türkiye'nin aylara göre ışıınım değerleri ve güneşlenme süreleri verilmiştir.



Şekil 1. (a) Türkiye'nin aylara göre ışıınım değeri (kWh/m²). (b) Türkiye'nin aylara göre güneşlenme süreleri (saat)

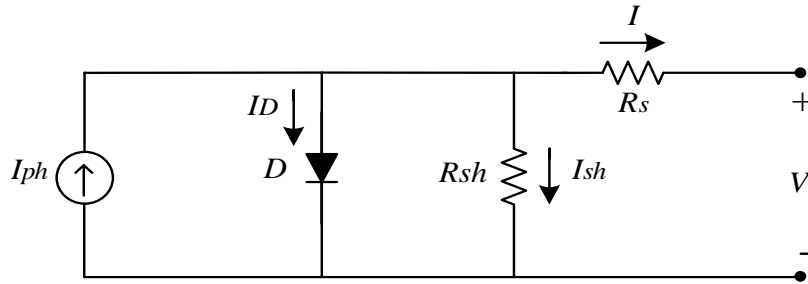
B. Güneş Hücreleri ve PV Sistemler

Güneş hücreleri, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken elemanlardan oluşan elektronik parçalardır. Güneş hücreleri üzerine düşen ışık miktarına göre uçlarında gerilim üretilirler [16]. Bir güneş hücresinin çıkışından alınabilecek voltaj değeri yaklaşık 0.5 V civarındadır [17]. Güç talebine göre birden fazla güneş hücreleri birleştirilerek akım ve gerilimleri düzenlenebilir. Güneş hücreleri paralel bağlanarak akımları, seri bağlanarak gerilimleri artırılabilir. Hücreler birleştirilerek modül, panel ve diziler oluşturulur. Oluşturulan bu yapıların güçleri birkaç Watt'tan Mega Watt'lara kadar ihtiyaca göre ayarlanabilir PV sistemler oluşturulur.

PV sistemler; sadece PV modüllerden ibaret olmayıp içerisinde farklı bileşenler barındıran sistemlerdir. Güneşten elde edilen elektrik enerjisini, tüketicinin kullanacağı enerji seviyesine dönüştüren, içerisinde şarj regülatörü Doğru Akım-Alternatif Akım (DA-AA) dönüştürücü, akü gibi cihazlar barındıran sistemin tamamı PV sistemdir [18]. Bu sistemler şebekeye bağlantılı (on-grid) ya da şebekeden bağımsız (off-grid) olarak tesis edilebilmektedir.

C. Güneş Hücrelerinin Elektriksel Eşdeğer Modeli

Güneş pillerinin üzerlerine ışık geldiğinde elektronların hareketi ile elektrik akımı oluşur. Işınım etkisine bağlı olarak değişken bir akım meydana gelir. Karanlık ortamda ise yarı iletken diyotun V-I karakteristiğine benzer özellik gösterirler [19]. Güneş pilleri tek, çift ve üçlü diyot modelleri kullanılarak modellenebilmektedir. Hesaplama kolaylığı ve doğruluk açısından en çok tercih edilen devre modeli tek diyotlu eşdeğer devre modelidir [20]. Şekil 2'de güneş pilinin tek diyot eşdeğer devresi verilmiştir bu devre aynı zamanda simülasyon çalışmalarında kullanılmıştır.



Şekil 2. Güneş pilinin tek diyotlu eşdeğer devresi

Buradaki I_{ph} foton akımını, D diyotu, R_s seri direnci, R_{sh} paralel direnci temsil etmektedir. R_s ve R_{sh} dirençleri hücre verimini etkilemektedir. R_s , hücredeki iç direnci ve bağlantı kontaklarından oluşan direnci temsil ederken, R_{sh} kristal kusurlardan oluşan direnci temsil etmektedir. Paralel direnç açık devre gerilimi ve dolun faktörünü azaltırken seri direnç ise kısa devre akımını ve dolun faktörünü azaltmaktadır[21]. Güneş pilinin parametreleri Denklem (1), Denklem (2), Denklem (3), Denklem (4) ve Denklem (5)'te verilen formüller ile hesaplanmaktadır.

$$I_{sh} = \frac{V_D}{R_{sh}} = \frac{V + I.R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

$$I_0 = I_{rs} \left[\frac{T}{T_n} \right]^3 \exp \left[\frac{q.E_{g0} (1/T_n - 1/T)}{n.K} \right] \quad (2)$$

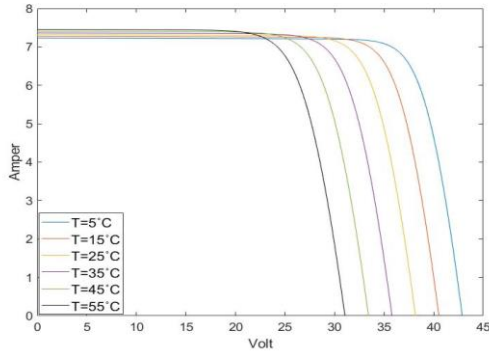
$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{e \left(\frac{qV_{oc}}{n.N_s K T} \right) - 1} \quad (3)$$

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T - 298)] \frac{G}{1000} \quad (4)$$

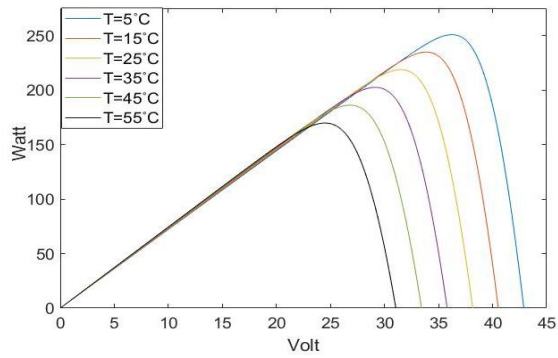
$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + I.R_s)}{n.N_s K T} \right) - 1 \right] - I_{sh} \quad (5)$$

Denklemlerde verilen; I güneş pilinin çıkış akımını, I_0 sıcaklığın etkisine bağlı olarak diyot doyma akımı, q elektron yükü ($1,602 \times 10^{-19} \text{C}$), K Boltzmann sabiti ($1,38 \times 10^{-23} \text{J/K}$), T Kelvin cinsinden mutlak sıcaklığı Eg0 yarı iletken bant aralığı enerjisi (1.1 eV), Irs ters doyma akımını, Ns seri bağlı hücre sayısını, VOC açık devre voltajını, n diyot ideallik faktörünü ve G güneş ışınımını (W/m^2) gösterir [22].

Yapılan çalışmada kullandığımız 275W PV modülün matematiksel modeli, yukarıdaki denklemler kullanılarak Matlab/Simulinkte oluşturulmuştur. Simülasyon sonucunda elde edilen sabit güneş ışınımı ve farklı sıcaklık değerlerindeki akım gerilim (I-V) ve güç gerilim (P-V) grafiği Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.

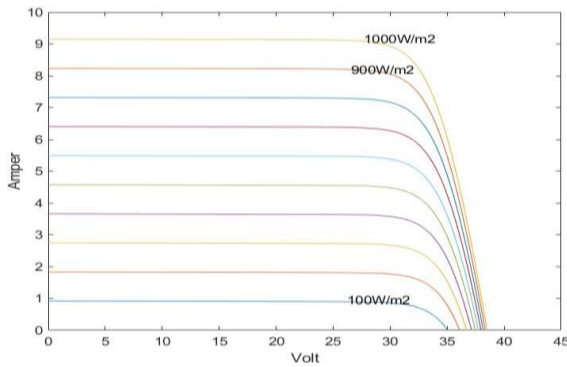


Şekil 3. I-V sabit ışık şiddeti-değişken sıcaklık

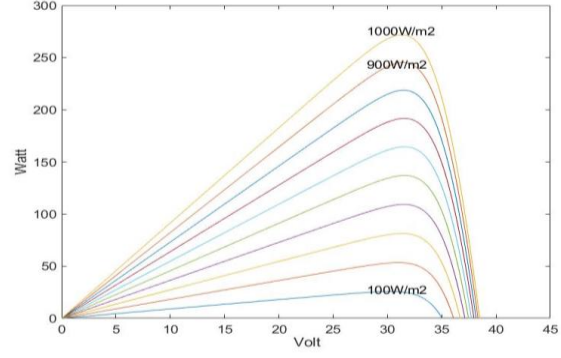


Şekil 4. P-V sabit ışık şiddeti-değişken sıcaklık

Şekil 3 ve Şekil 4'te ışık şiddeti 800W/m^2 değerinde sabit tutularak, sıcaklık değerleri 5°C 'den başlayarak 10°C 'lik artışlarla 55°C 'ye kadar I-V ve P-V karakteristik eğrileri verilmiştir. I-V karakteristiği incelendiğinde sıcaklık arttıkça akım değerinde 25mA kadar çok küçük bir artış görülürken, gerilim değerinde $2,4 \text{V}$ civarında gözle görülür bir azalma olduğu görülmektedir. Gerilimdeki azalma akımdaki artıştan fazla olduğundan, P-V karakteristiğine bakıldığında gücün tepe değerinin sıcaklık arttıkça azaldığı görülmektedir. Şekil 5 ve Şekil 6'da sabit sıcaklıkta farklı güneş ışınım şiddetlerindeki PV modülün I-V ve P-V grafiği verilmiştir.



Şekil 5. I-V değişken ışık şiddeti-sabit sıcaklık



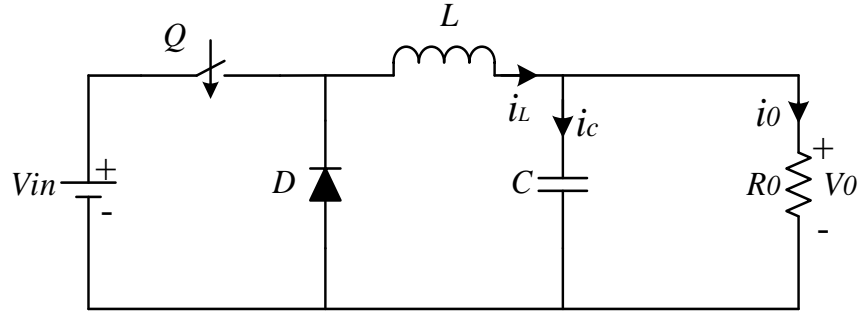
Şekil 6. P-V değişken ışık şiddeti-sabit sıcaklık

Şekil 5 ve Şekil 6'da sıcaklık değeri 25°C 'de sabit tutularak, ışık şiddeti 0'dan başlayarak 100 'er 100 'er 1000W/m^2 kadar artırılmış karakteristik eğriler verilmiştir. Işık şiddetinin değeri arttıkça akımın 914mA , gerilimin ise 1.4V ile 0.6V arasında arttığı görülmektedir. Bu akım ve gerilimdeki artış gücü doğrudan etkilediğinden, P-V grafiğinde gücün artışı açıkça görülmektedir. Güneş ışınımındaki her artış akım gerilim ve güç olmak üzere 3 parametreyi birden artırmaktadır.

D. Anahtarlamalı DA-DA Dönüştürücüler

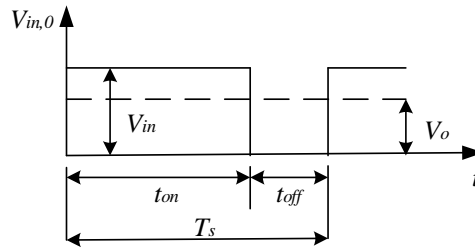
Anahtarlamalı DA-DA dönüştürücüler, anahtarlama tekniği kullanılarak bir kaynaktan elde edilmiş doğru akımdan farklı bir değerde doğru akım elde etmek için kullanılan elektronik devrelerdir. Anahtarlamalı DA-DA dönüştürücülerde kullanılan yarı iletken anahtarın kontrolü PWM ile kontrol edilir. Bu dönüştürücülerin DA motor

kontrolü, güneş ve rüzgâr enerji sistemleri gibi birçok kullanım alanı vardır. PV sistemlerde maksimum güç çekilebilmesi amacı ile yükte PV arasında DA-DA dönüştürücüler kullanılır. Tasarlanan sistemin gücüne göre alçaltan ya da yükselten tip DA-DA dönüştürücüler tercih edilir. Yapılan çalışmada düşüren tip DA-DA dönüştürücü kullanılmıştır. Genel olarak bu dönüştürücüler; bir yarı iletken anahtar, diyot endüktans ve kondansatör olmak üzere 4 elemandan oluşurlar. Yarı iletken anahtar olarak BJT, MOSFET ve IGBT kullanılmaktadır. Girişe uygulanan DA gerilimi belirli periyotlar ile kıyarak çıkışa ilettiklerinden çıkış gerilimi, giriş geriliminden daima küçük olur. Şekil 7’de DA-DA düşürücü tip dönüştürücü devre şeması verilmiştir.



Şekil 7. DA-DA düşürücü tip dönüştürücü

Şekil 7’de verilen devrede V_{in} giriş gerilimini, Q yarı iletken anahtarlama elemanını, D diyotu, L endüktansı, C kondansatörü, R_0 yük direncini V_0 çıkış gerilimini ifade etmektedir. Q anahtarının doyum noktasında çalıştırılması ile endüktans üzerinden yüke enerji aktarımı sağlanır. Anahtarın kesimde olduğu sürece de endüktans üzerinde depolanan enerji yük üzerine aktarılarak devrenin çalışması tamamlanır. Şekil 8’de yarı iletken anahtarın anahtarlama sinyali grafiği, Denklem (6)’da görev oranının formülü verilmiştir.



Şekil 8. Anahtarlama sinyali

$$D = \frac{t_{on}}{T_s} = \frac{V_0}{V_{in}} \quad (6)$$

DA-DA dönüştürücünün çıkış voltajı, t_{on} süresinin bir fonksiyonudur. Görev oranı olarak adlandırılan (D), Q anahtarının iletimde olduğu süre t_{on} ve anahtarlama periyodu T_s ’nin süresine bağlıdır. Görev oranı $0 \leq D \leq 1$ aralığında değerler alabilmektedir [23]. Dönüştürücü çıkış akım ve geriliminin dalgalanmasını ayarlamak için endüktans ve kondansatör kullanılır. Çıkış akımındaki dalgalanmayı azaltmak için endüktans değerinin hesaplanması gerekir. Endüktans akımının değeri Denklem (7)’de, endüktans akımındaki dalgalanma miktarı ise Denklem (8)’de verilmiştir.

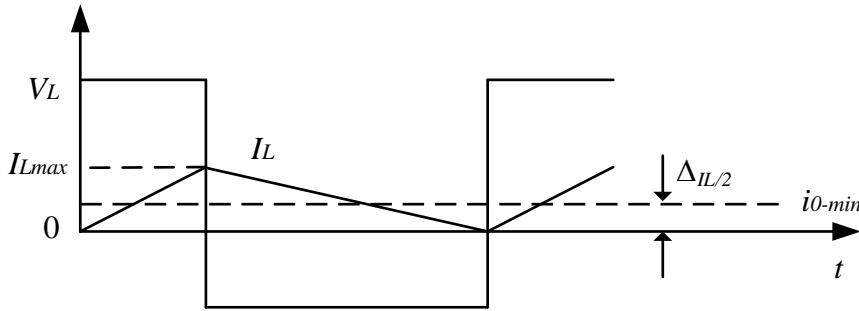
$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int V_L(t) dt \quad (7)$$

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} (V_{in} - V_0) dt_s = \frac{1}{L} V_0 (1 - D) T_s \quad (8)$$

Denklemler düzenlendiğinde L endüktansının değeri Denklem (9)'daki gibi elde edilir.

$$L = \frac{V_0(V_{in} - V_0)}{\Delta I_L \cdot f_s \cdot V_{in}} \quad (9)$$

Düşürücü DA-DA dönüştürücüyü sürekli akım modunda çalıştırmak istiyorsak endüktans akım değerinin sınırını bilmemiz gerekir. Şekil 9'da I_L akımının sınır değerde çalışması gösterilmektedir. Eğer çıkış akımı i_{0-min} değerinden küçük olursa süresiz, büyük olursa sürekli akım modunda çalışacaktır. Sürekli akım modundaki en düşük endüktans değeri Denklem 10'da verilmiştir.



Şekil 9. DA-DA düşüren tip çalışma modu sınır değerleri

$$L > \frac{V_0 \cdot (1 - D)}{2f_s i_{0-min}} \quad (10)$$

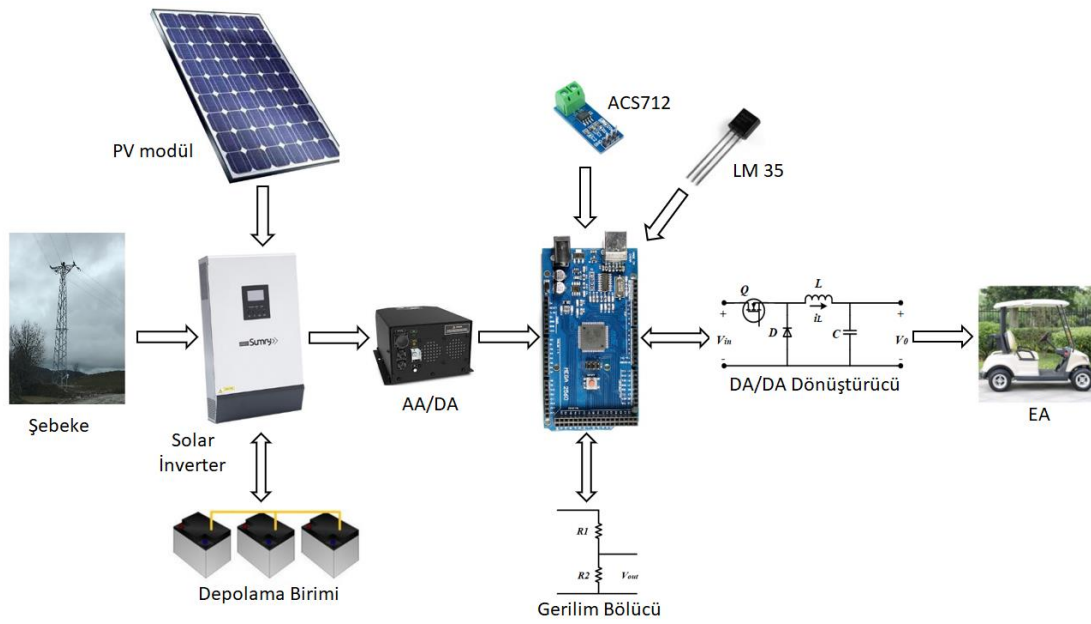
Dönüştürücü çıkışında akımın dalgalanmasının istenmediği gibi, gerilim dalgalanması da istenmeyen bir durumdur. Çıkış gerilimindeki dalgalanmayı azaltmak için kondansatör kullanılmaktadır. Kullanılacak olan kondansatör değeri Denklem 11 ile hesaplanır.

$$C = \frac{V_0 \cdot (1 - D)}{8 \cdot L \cdot \Delta V_0 \cdot f_s^2} \quad (11)$$

III. SİSTEMİN KURULUMU VE ÇALIŞMASI

A. Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Denetim Sistemi

Hibrit şarj istasyonu için yapılan çalışmada Şekil 10'da verilen yapı kullanılmıştır. EA şarj işleminde birinci önceliğimiz güneş enerjisinden yararlanmak olacaktır. Akıllı inverter ile EA'ya aktarılacak enerji için öncelikle güneş enerjisinden üretilen enerjinin kullanılması hedeflenmiştir. Eğer güneş enerjisi yetersiz gelirse depolama birimindeki aküler devreye alınarak enerjinin hem güneşten hem de depolama biriminden aktarılması sağlanacaktır. Her ikisinin de yetersiz kaldığı ya da depolama birimindeki akülere fazla yüklenildiğinde gerekli olan enerji şebeke tarafından karşılanacak şekilde inverter ayarlanmıştır. Akıllı inverter ile yapılan bu ayarlamalar ile EA'nın aküleri maksimum derecede güneş enerjisinden faydalanılarak şarj edilecektir. İnverter çıkışındaki AA'yı doğrultmak için 70V çıkışlı AA-DA dönüştürücü kullanılmıştır. Tasarlanacak olan DA-DA dönüştürücü, 70V DA gerilimini, EA akü şarj gerilimine dönüştürülecektir. Sistemde kullanılan mikrodenetleyici, akım, gerilim ve ısı sensörleri aracılığı ile sistemi sürekli denetleyecektir. Mikrodenetleyici aynı zamanda yarı iletken anahtarın PWM sinyalini üretme ve LCD ekranı sürme görevini icra edecektir.



Şekil 10. EA şarj istasyonunun bileşenleri

B. Kullanılan PV Modül

Sistemde 4 adet 275W değerinde polikristal PV modüller kullanılmıştır. Tablo 1'de kullanılan PV modülün teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan PV modülün etiket değerleri

PV Modülün maksimum gücü (P _{max})	275 W
Açık devre gerilimi (V _{oc})	38.5 V
Kısa devre akımı (I _{sc})	9.15 A
Maksimum güçteki gerilim (V _{mp})	31.3 V
Maksimum güçteki akım (I _{mp})	8.79 A
Çalışma sıcaklığı	-40 °C +85 °C
Maksimum sistem voltajı	1000V DC

C. Depolama Birimi

Şarj esnasında PV modülün ürettiği enerjinin yetmediği durumlarda ve üretilen fazla enerjinin depo edileceği yer olan depolama birimi sistemin en önemli kısımlarından biridir. Tablo 2'de kullanılan jel akülere ait özellikler verilmiştir.

Tablo 2. Tasarımda kullanılan jel akülerin özellikleri

Nominal Voltaj	12V
Kapasite	55 AH
Maksimum Şarj başlangıç akımı	13.75A
20°C deki ömür beklentisi	10 Yıl
Ebatlar	229*138*211

D. Sistemde Kullanılan Akıllı İnverter

Kullanılan inverterin görevi PV modülden elde edilen elektrik enerjisini alarak regüle etmek ve depolama birimine aktarmaktır. Jeneratör veya şebeke ile şarj desteği bulunan hibrit bir inverterdir. Şebeke ya da güneş enerjisi önceliği seçimi mevcuttur. Üzerinde bulunan LCD ekran üzerinden PV modül durumu, akü durumu, bağlı ise şebekeden alınan enerji durumu ve sistemin genel durumu hakkında bilgiler anlık olarak alınabilmektedir. Akü

şarj gerilimi ve şarj akımı sistemde kullanılacak olan aküye göre değiştirilebilmektedir. Tablo 3'te kullanılan inverterin özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.Tasarımda kullanılan tam sinüs solar inverter özellikleri

Nominal akü sistem voltajı	24V
Varsayılan güç	3000VA
Dalga formu	Tam Sinüs
Maksimum PV Voc	80V
Maksimum solar şarj akımı	50A
Verimlilik	%98
Ebatlar	350*285*110
Ağırlık	6.3kg

Sistemde önceliğimiz güneş enerjisinden elde edilen enerjiyi kullanmak. Aynı zamanda depolama biriminde bulunan akülerin şarjı esnasında akülere zarar vermeden şarj etmektir. İnverterin bağlı bulunduğu sisteme uyum sağlaması için ayarlarının yapılması gerekir. İnverter üzerinde toplam 29 ayar sekmesi mevcuttur.

E. Arduino Mikrodenetleyici Kartı

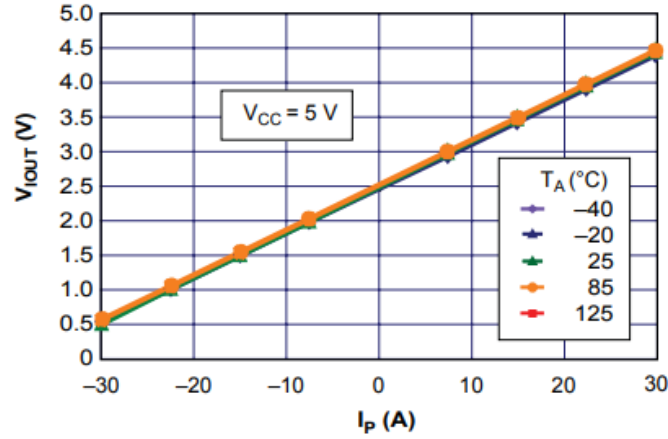
Arduino, mikrodenetleyici kartı ve yazılım paketinden oluşan bir programlama platformudur. Her kesime hitap edebilmesi için kolaylık ön planda tutularak tasarlanmıştır. Kart üzerinde bir mikro kontrolcü bulunur ve yazılan programlara göre giriş ve çıkış pinlerini kontrol eder. Ayrıca shield adı verilen Arduino üzerine takılabilen ek donanımlar bulunmaktadır. Bu donanımlar Arduino'yu daha işlevsel hale getirmektedir. Arduino açık kaynak kodlu yazılım kullanılmaktadır. Programlama dili, C programlama dili ile hemen hemen aynıdır. Temel bir C dili bilgisi ile kolayca kod yazmak mümkündür. Yazılan kodlar bir USB kablosu ile mikro işlemciye kolaylıkla aktarılabilir. Sistemde, üzerinde ATmega328 mikrodenetleyici içeren bir Arduino Uno kartı kullanılmıştır. Kart üzerinde 14 tane dijital giriş çıkış pini bulunmaktadır. Bunlardan 6 tanesi PWM çıkışı olarak kullanılabilir. 6 adet analog giriş pini ve 16 MHz kristal osilatörü bulunmaktadır [24]. Tablo.4'te Arduino Uno mikrodenetleyicinin özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.Arduino Uno mikrodenetleyicinin özellikleri

Mikrodenetleyici	ATmega328
Çalışma gerilimi	+5 V DC
Besleme gerilimi	7 – 12 V DC
Dijital giriş / çıkış pinleri	14 adet
Analog giriş pinleri	6 adet
Giriş / çıkış pin başına akım	40 mA
3,3 V pini için akım	50 mA
Saat frekansı	16 MHz

F. ACS 712 Akım Sensörü

Araç akü grubu ve güç kaynağımızın limitleri içerisinde akımın aktarılabilmesi için akımın anlık olarak ölçülmesi gerekmektedir. Ölçme işlemi için ACS 712 akım sensörü kullanılmıştır. ACS 712 akım sensörü hall etkisi yöntemi ile yüksek hassasiyetle ölçüm yapan bir sensördür. Bu ölçüm yöntemi sayesinde akım ölçme işlemi sırasında elektronik yalıtım sağlanmaktadır. Şekil 11'de sensörün üzerinden geçen akıma karşılık ürettiği gerilim değerinin grafiği verilmiştir.



Şekil 11. Sensörün ölçtüğü akıma karşılık ürettiği gerilim

G. Gerilim Bölücü Devre

Araç akü grubu şarj edilirken sürekli olarak gerilim değerinin mikrodenetleyici tarafından ölçülmesi gerekmektedir. Ölçülen gerilim değerine göre hem akülerin doluluk oranı belirlenecek hem de sabit akım-sabit gerilim şarj modu belirlenecektir. Ölçme işlemi yapılırken akım sensöründe olduğu gibi analog giriş pinleri kullanılır. Mikrodenetleyici analog giriş pinlerine uygulanabilecek maksimum gerilim değeri 5V'tur. Akü grubunun gerilim değeri doğrudan ölçüldüğünde mikrodenetleyiciye zarar vereceğinden, gerilim bölücü devre üzerinden ölçüm yapılmalıdır.

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (12)$$

Gerilim bölücü devre hesabı yapılırken denklem 13'den yararlanır. Çıkış gerilimi (V_{out}), giriş gerilimi (V_{in}) ve direnç değerlerine bağlıdır. Devrede kullanılan direnç değerleri, mikrodenetleyici analog giriş değeri ve aküye uygulanacak maksimum gerilim değeri göz önüne alınarak hesaplanmalıdır. Mikrodenetleyici analog girişine maksimum 5V uygulanabildiğinden, gerilim bölücü devrede $R_1=56.6k\Omega$, $R_2=2.16k\Omega$ değerleri seçilmiştir. Aküye uygulanacak maksimum gerilim değeri 52V seçilirse, Denklem 12'ye göre;

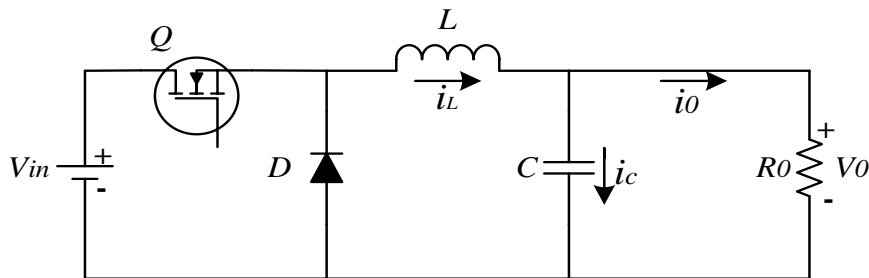
$$V_{out} = 52V \frac{2,16\Omega}{56,6\Omega + 2,16\Omega} = 1,91V$$

Seçilen direnç değerleri sonucu hesaplanan 1,91V değeri mikrodenetleyici analog girişine güvenli bir şekilde uygulanabilir.

H. LM35 Isı Algılayıcı

Şarj esnasında kullanılan akülerin sıcaklık değerleri ölçülerek, yüksek sıcaklıklarda şarj işlemi sonlandırmak için devrede bir LM35 ısı algılayıcı kullanılmıştır. LM35 her 1°C değişime karşı 10mV gerilim değeri oluşturmaktadır. Analog çıkışı sayesinde, mikrodenetleyiciler tarafından rahatlıkla kullanılabilir.

I. DA-DA Düşüren Tip Dönüştürücü Tasarımı



Şekil 12. DA-DA düşüren dönüştürücü

Şekil 12’de verilen devrede 70V DA gerilimi giriş gerilimi olarak kullanılırken, yarı iletken anahtar, endüktans, kondansatör, diyot ve yük olarak da EA akü grubu kullanılmıştır. Devrede anahtarlama elemanı olarak MOSFET yarı iletken anahtarı kullanılmıştır.

Giriş gerilimi 70V, yük olarak ise 43,2V akü şarj gerilimi referans alındığında MOSFET anahtarının görev oranı Denklem (6) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{43,2}{70} = 0.617$$

MOSFET anahtarının görev oranı %61,7 olarak hesaplanmıştır. Kayıplar dikkate alınarak yüke aktarılan akımın minimum değeri 1A, akımdaki dalgalanma miktarı% 10 ve anahtarlama frekansı ise 20 kHz seçilmiştir. Devrenin sürekli akım modunda çalışabilmesi için gerekli minimum endüktans değeri Denklem (10) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$L > \frac{43,2 \cdot (1 - 0.617)}{2 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3} = 413,64 \mu H$$

Çıkış gerilimindeki dalgalanma 50mV olarak seçilirse, gerekli kondansatör değeri Denklem (11) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$C = \frac{43,2 \cdot (1 - 0,617)}{8.413,64 \mu H \cdot 50mV \cdot 20kHz^2} = 250 \mu F$$

J. Yarı İletken Anahtar ve Diyot Seçimi

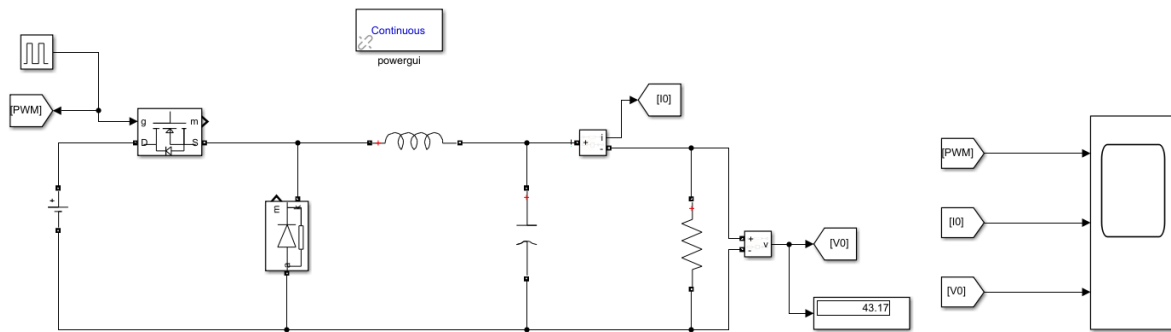
Devrede kullanılacak olan MOSFET anahtar 70V dönüştürücü çıkışına bağlanmıştır ve aküye aktarılacak maksimum akım değeri 13A’dır. MOSFET anahtarının güvenliği açısından 100V 23A’lık IRF540N MOSFET anahtar kullanılmıştır. MOSFET anahtarın anahtarlama sinyali Arduino mikrodenetleyicinin 9 nolu pininden üretilecektir. Arduino pin çıkış gerilimi maksimum 5V olduğundan MOSFET anahtarının kapı gerilimini arttırmak için devrede bir TLP250 entegresi (optokuplör) kullanılmıştır. TLP250 entegresinin görevi PWM sinyalini yükseltmek, aynı zamanda Arduino ile devre arasında izolasyon sağlamaktadır.

Devrede diyot olarak Schottky diyot tercih edilmiştir. Schottky diyotlar, yüksek anahtarlama hızına ihtiyaç duyulan devrelerde doğrultma amacı ile kullanılmaktadır. Düşük ileri gerilim düşümü ve hızlı anahtarlama gibi özellikleri, diğer diyotlardan ayırt edici özellikleridir. İletimde iken Schottky diyot üzerine düşen gerilim 0,15V-0,45V arasındadır. Bu da devrenin verimini artırmaktadır. Devrede kullanılmak üzere 100V 30A değerine sahip MBR30100 Schottky diyot seçilmiştir. MOSFET anahtar ve Schottky diyotun soğutulması için alüminyum soğutucu tercih edilmiştir. Soğutmayı iyileştirmek için fan, ısıl iletkenliği artırmak için ise ısı transfer pastası kullanılmıştır.

IV. SONUÇLAR

A. DA-DA Dönüştürücü Simülasyon Çalışması

Sistem için tasarlanan DA-DA dönüştürücünün teorik olarak hesaplanan endüktans ve kondansatör değerleri kullanılarak simülasyon çalışması yapılmıştır. Şekil 13’te verilen devre şeması Matlab/Simulink ortamında oluşturularak simülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

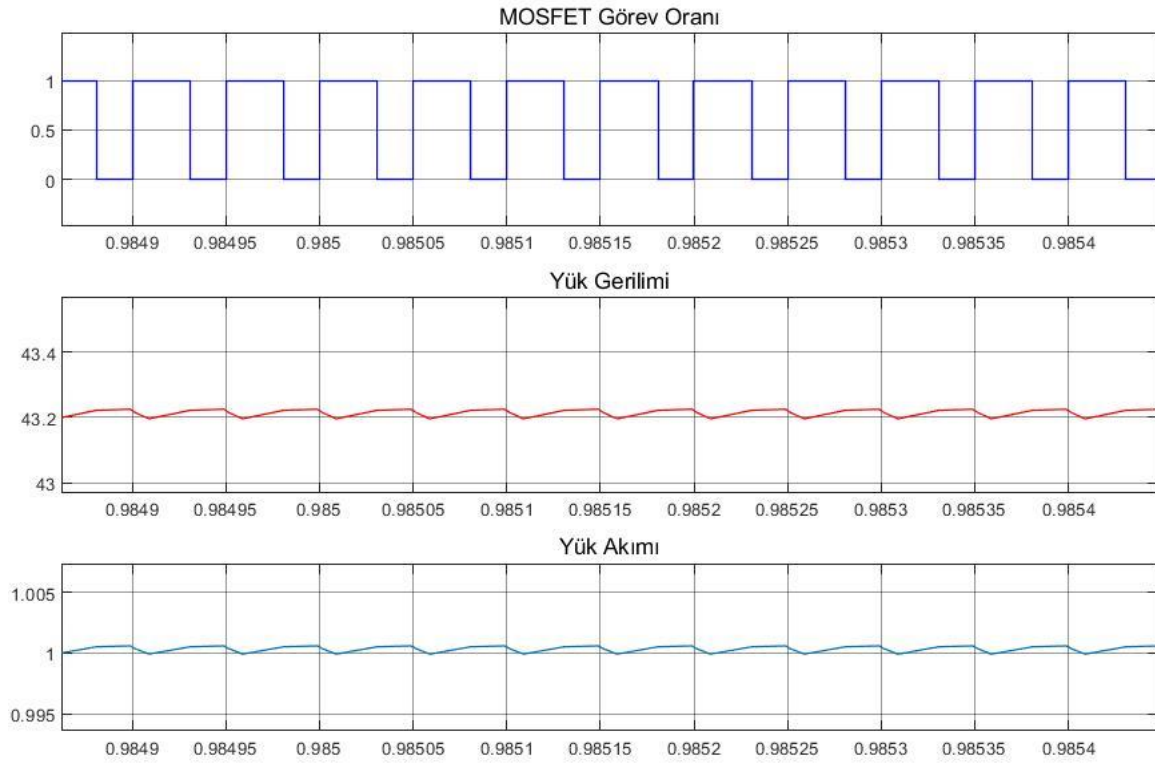


Şekil 13. DA-DA Dönüştürücü simülasyon devresi

Devrede yük olarak kullanılan direncin değerini, akü şarj voltajı ve geçecek akım miktarına bağlı olarak hesaplırsak, aküye uygulanacak minimum şarj voltajı 43,2V ve devreden geçecek en küçük akım değeri 1A olarak alındığında yük aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V_{bat} = I_{min} \cdot R_{yük} \rightarrow R_{yük} = \frac{V_{bat}}{I_{min}} = \frac{43.2V}{1A} = 43.2\Omega$$

Simülasyonda, devrede yük olarak 43,2 Ω direnç, hesaplanan endüktans kondansatör değerleri ve girişte ise 70 V DA değerleri kullanılmıştır. Anahtarlama frekansı 20kHz ve anahtar görev oranı % 61,7 ile simülasyon işlemi yapılmıştır. Simülasyon işlemi sonunda elde edilen grafikler Şekil 14’de verilmiştir.

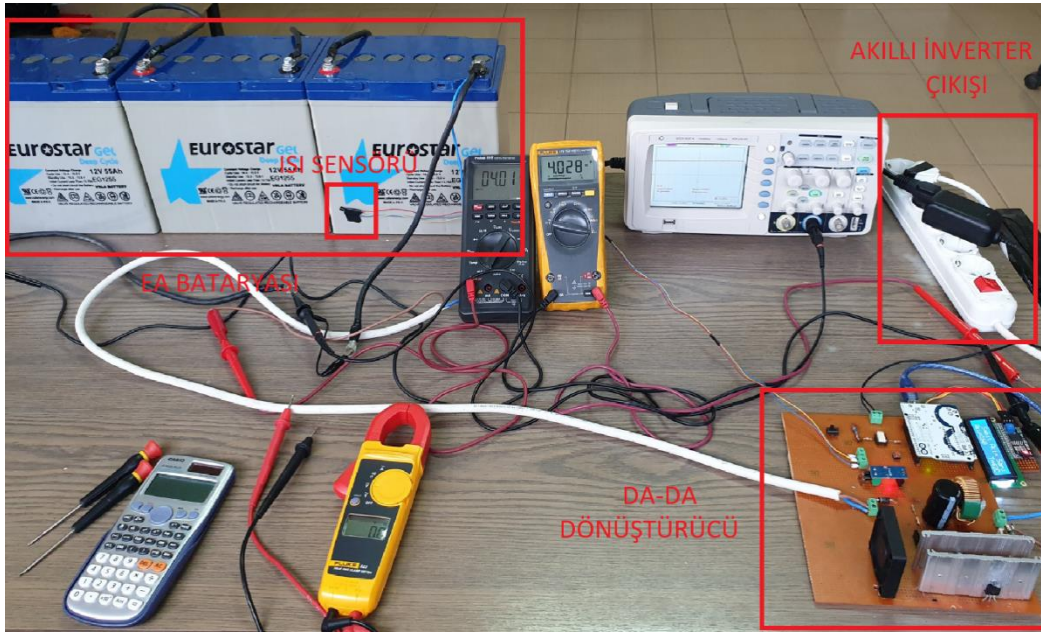


Şekil 14. DA-DA dönüştürücü simülasyon grafikleri

Yapılan simülasyon sonucunda, MOSFET anahtarının görev oranı, yük akımı ve yük geriliminin eğrileri Şekil 14’deki gibi elde edilmiştir. Şekilde %61,7 anahtarlama grafiği hesaplandığı gibi uygulanmıştır. Yük gerilimi incelendiğinde seçilen 50 mV dalgalanma ile 43,2 V çıkış gerilimi elde edilmiştir. Yük akımı incelendiğinde ise hesaplanan 1A akım değerinin yaklaşık %10 dalgalanma ile elde edildiği görülmektedir.

B. DA-DA Dönüştürücünün Deney Çalışması

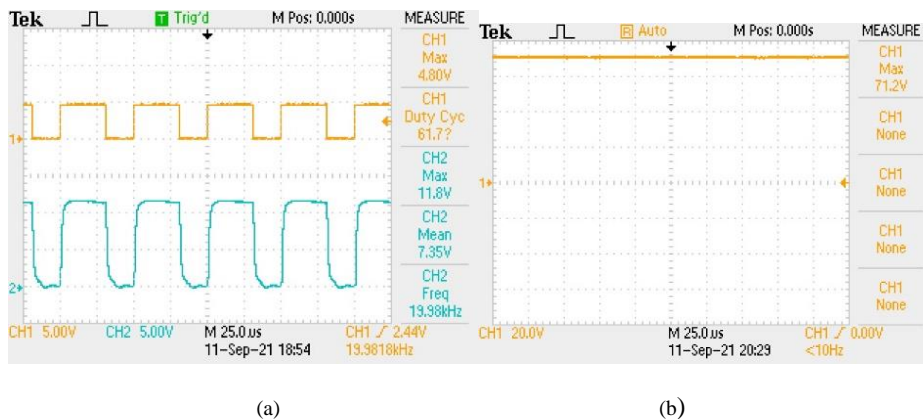
Matlab/Simulink ortamında simülasyonu yapılan DA-DA dönüştürücünün uygulaması gerçekleştirilmiştir. Şarj işlemi için 70V DA kaynağı, mikrodenetleyici, sensörler ve DA-DA dönüştürücüden oluşan devrenin resmi Şekil 15’de verilmiştir.



Şekil 15. Dönüştürücü uygulamasına ait bir görüntü

Şekil 15’de görüldüğü gibi devre delikli plaket üzerine monte edilerek kablolarla iletişimi sağlanmıştır. Aşırı akımlardan devreyi korumak için dönüştürücü girişinde 15A cam sigorta kullanılmıştır. EA aküsü olarak üç adet 12V jel akü kullanılmıştır. Giriş çıkış akımlarını ölçmek için Fluke ve Protek marka dijital ölçü aletleri kullanarak ölçümler yapılmıştır. Ayrıca osilaskop yardımı ile şarj işlemi yapılırken dönüştürücü çıkış sinyali gözlemlenmiştir.

Uygulama devresi için tasarlanan DA-DA dönüştürücü, EA’nın akülerini şarj etmede kullanılmadan önce, devrenin simülasyonunda kullanılan akım, gerilim ve yük değerleri ile test edilmiştir. Şekil 16 (a)’da Arduino’nun ürettiği PWM sinyali ve MOSFET anahtarının kapı sinyali verilmiştir. 20kHz frekansa sahip PWM sinyalinin görev oranı hesaplandığı gibi %61,7 olarak ölçülmüştür. Arduino tarafından üretilen sinyalin genliği, MOSFET anahtarın sürülmesi için yetersiz geldiğinden devrede bir TLP250 entegresi kullanılmıştır. Maksimum değeri 4,8V olarak ölçülen PWM sinyali, TLP250 entegresi ile 11.8V’a yükseltilmiştir. Şekil 16 (b)’de ise 70V DA giriş geriliminin sinyali verilmiştir. Osilaskop ekranında giriş geriliminin değerin 71.2V olduğu görülmektedir.

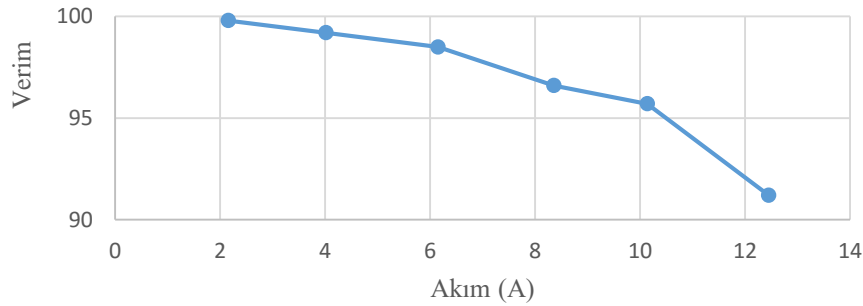


Şekil 16. (a) Arduino’nun ürettiği PWM sinyali ve MOSFET anahtarının kapı sinyali (b) Dönüştürücü giriş sinyali



Şekil 17. (a) Dönüştürücü çıkış sinyali. (b) Şarj sırasında alınan dönüştürücü sinyali

Simülasyonda verilen yük durumunda dönüştürücü çıkışından alınan sinyal şekil 17 (a)'da, şarj sırasındaki çıkış sinyali ise şekil 17 (b)'de verilmiştir. Şekil 17 (a)'da verilen osiloskop görüntüsü incelendiğinde, yük geriliminin ortalama 43.8V olduğu, dalgalanmanın ise 800mV olduğu görülmektedir. Simülasyon değerleri ile test edilen devrenin osiloskop ile alınan sonuçları, simülasyon sonucunda alınan sinyallerle karşılaştırıldığında yaklaşık olarak örtüştüğü görülmektedir. Şekil 17 (b)'de verilen yük durumundaki osiloskop görüntüsü incelendiğinde, şarj esnasında batarya geriliminin 42.4V olduğu, gerilimdeki dalgalanmanın ise 1600mV olduğu görülmektedir. Şekil 18'de farklı çalışma akımlarında alınan değerler ile oluşturulan DA-DA dönüştürücünün verim grafiği gösterilmiştir. Dönüştürücünün ortalama veriminin yaklaşık %97 olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 18. DA-DA dönüştürücünün farklı akımlardaki verimi

V. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Hayatımızda sayıları giderek artan EA'ların gelecekte fosil yakıtlı araçların yerini alacağı düşünülmektedir. Bu araçlar şarj edilirken fosil yakıt kullanılarak üretilen elektrik ile şarj edilmesi, fosil kaynaklara olan bağımlılığımızı azaltmayacağı ortadadır. Bu araçlar şarj edilirken yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak şarj edilmesi hem ekonomik olarak hem de çevresel olarak çok önemlidir.

Bu çalışmada PV modüllerden üretilen enerjinin kullanılmadığı dönemlerde ya da üretim fazlasının depolanması için jel akülerden bir depolama birimi oluşturulmuştur. Şarj esnasında PV modül, şebeke ve depolama biriminin enerji yönetimi için sistemde akıllı inverter kullanılarak enerji tasarrufu sağlanmıştır. Prototip olarak tasarladığımız akıllı hibrit şarj istasyonu, araçlar şarj edilirken şebekeden kullanılan elektrikten tasarruf edileceği öngörülmektedir. Bireysel, kamu ve özel sektör alanlarında istenilen alana kurulumu yapılarak rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca şebeke olmayan yerlerde kullanılmak üzere ihtiyaca göre depolama kapasitesi artırılarak kullanılabilir. Yapılacak ileriki çalışmalar ile gerçekleştirilen sistemde program değişiklikleri yapılarak 12-24-48V farklı gerilimlerdeki EA'lar şarj edilebilir. Yüksek güçlerdeki EA'ların şarj işlemi için PV modül ve depolama kapasitesi artırılır ve devre elemanları ile ilgili hesaplar yeniden yapılarak şarj istasyonu kapasitesi genişletilebilir. Ayrıca, PV modül ve DA-DA dönüştürücü verimlerini artırmak için PID ya da yapay zekâ temelli denetleyicilerin kullanımı ile sistem veriminin artırılması için çalışmalar yapılabilir.

TEŞEKKÜR

Yapılan bu çalışma 2019/4-3 YLS numaralı proje kapsamında yapılmış olup yazarlar desteğinden ötürü KSÜ Bilimsel Araştırma Birimine teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] Liu, K., & Makaran, J. (2009). *Design of a solar powered battery charger*. 2009 IEEE Electrical Power & Energy Conference (EPEC).
- [2] Altanneh, N., (2012). *Güneş pili ve hidrojen yakıt pilinden beslenen küçük bir elektrikli araç için batarya şarj sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [3] Arancibia, A., & Strunz, K. (2012). *Modeling of an electric vehicle charging station for fast DC charging*. 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference.
- [4] Atasorkun, M., (2015). *Rüzgar ve güneş enerjisi için akıllı şarj kontrol ünitesi tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- [5] Mouli, G. C., Bauer, P., & Zeman, M., (2016). *System design for a solar powered electric vehicle charging station for workplaces*. *Applied Energy*, 168, 434-443.
- [6] Güleç, H. G., (2017). *Fotovoltaik Uygulamalarda Arduino Kontrollü Batarya Şarj Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [7] Yüzer, E. Ö., Erduman, A., & Durusu, A., (2018). *Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri İçin Şarj Regülâtörü Tasarımı*. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 47-57.
- [8] Jadhav, S., Devdas, N., Nisar, S., & Bajpai, V. (2018). *Bidirectional DC-DC converter in solar PV system for battery charging application*. International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET).
- [9] Çiçek, A., & Erdiñç, O., (2019). *PV-Batarya Hibrit Sistemi İçeren Elektrikli Araç Otoparkının Şarj Yönetimi*. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*(15), 466-474.
- [10] Kılıç, E., (2019). *DA-DA Yükselten Dönüştürücü ile Elektrikli Araç Batarya Şarj Cihazı Tasarımı*. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4), 281-287.
- [11] Akdeniz, H. Y., (2019). *Arduino tabanlı MPPT solar şarj kontrolörü tasarımı ve uygulaması*. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyon.
- [12] Yurdakul, H., Delitay, E. C., Akyazı, Ö., & Şahin, E., Technology. (2020). *Güneş Enerjisi Sistemleri için Arduino Tabanlı Matlab/Simulink Programı Üzerinden Denetlenen Akü Şarj Ünitesi Tasarımı ve Uygulaması*. *Journal of Investigations on Engineering*, 3(1), 17-22.
- [13] Şenkardeşler, F. R. A., (2021). *Sürdürülebilir Büyümede Enerjinin Rolü: Türkiye'nin Kaynak Bolluğu-Enerji Kıtılığı Paradoksu*. *Maliye ve Finans Yazıları*(Özel Sayı 2), 145-172.
- [14] Adıyaman, Ç., (2012). *Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikaları*. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Niğde.
- [15] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2021). *Güneş*. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>. (Erişim Tarihi:10.06.2021)
- [16] Bayrak, G., & Cebeci, M., (2012). *3.6 kW gücündeki fotovoltaik generatörünmatlab simulink ile modellenmesi*. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 28(3), 198-204.
- [17] Çelebi, G., (2002). *Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri*. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(3), 17-33.
- [18] Akcan, E., Kuncan, M., & Minaz, M. R., (2020). *PVsyst yazılımı ile 30 kw şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin modellenmesi ve simülasyonu*. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 248-261.

- [19] AlRashidi, M., El-Naggar, K., & AlHajri, M., (2013). Parameters estimation of double diode solar cell model. *International Journal of Electrical*, 7(2), 118-121.
- [20] Şentürk, A., (2018). *Fotovoltaik modüllerin akım-gerilim eğrilerinin simülasyonunda kullanılacak olan yöntemin seçimi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 341-354.
- [21] Özçalık, H. R., Yılmaz, S., & Kılıç, E., (2013). *Güneş Piline Bir Diyotlu Eşdeğer Devre Yardımıyla Matematiksel Modelinin Çıkarılması ve Parametrelerinin İncelenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1), 23-29.
- [22] Singhal, A. K., & Narvey, R., (2011). PSIM and MATLAB based simulation of PV array for enhance the performance by using MPPT algorithm. *International Journal of Electrical Engineering*, 4(5), 511-520.
- [23] Skvarenina, T. L. (2018). *The power electronics handbook*. CRC press. Boca Raton London New York Washington, D.C. 664.
- [24] Aqeel, A., (2018). *Introduction to Arduino Uno*. <https://www.theengineeringprojects.com/2018/06/introduction-to-arduino-uno.html>. (Erişim Tarihi:22.06.2021)