



YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİ

KONTROL SİSTEMİNİN KURULUMU MODÜLÜ

2022-2-TR01-KA210-VET-000098216

YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİNDE 4.0 STANDARTLARINA GÖRE YENİ UYGULAMALAR



Co-funded by the
European Union

Avrupa Birliği Erasmus+ Programı tarafından finanse edilmektedir. Ancak burada yer alan bilgilerin herhangi bir şekilde kullanılmasından Avrupa Komisyonu ve Türkiye Ulusal Ajansı sorumlu tutulamaz.



Bu öğrenme materyali 2022-2-TR01-KA210-VET-000098216 nolu Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinde 4.0 Standartlarına Göre Yeni Uygulamalar projesi kapsamında hazırlanmıştır. Mesleki eğitim eğitimcilerine rehberlik etmesi amaçlanmaktadır. Kullanıcılar için ücretsizdir, satılamaz, çoğaltılamaz. Proje Web Sitesinde (<http://www.renewableenergy40.com>) bire-kitap olarak yayımlanacaktır.

AÇIKLAMALAR

ALAN	Yenilenebilir Enerji Teknolojileri
DAL/MESLEK	Güneş Enerji Sistemleri
MODÜLÜN ADI	Kontrol Sisteminin Kurulumu
MODÜLÜN TANIMI	Bu modül,güneş paneli kontrol sisteminin kurulması ile ilgili bilgilerin kazandırıldığı bir öğrenme materyalidir.
YETERLİK	Güneş panellerinin kontrol sisteminin kurulması yapmak .
MODÜLÜN AMACI	Genel amaç Kumanda panosunun montajını, kablo bağlantısını ve akü sisteminin kurulumunu yapabileceksiniz. Amaçlar 1. Güneş sehpaı üzerinde belirlenmiş yere kumanda panosunun montajını yapabileceksiniz. 2. Uygun ekipman kullanarak kumanda panosu kablo bağlantısını yapabileceksiniz. 3. Akü sisteminin kurulumunu yapabileceksiniz.

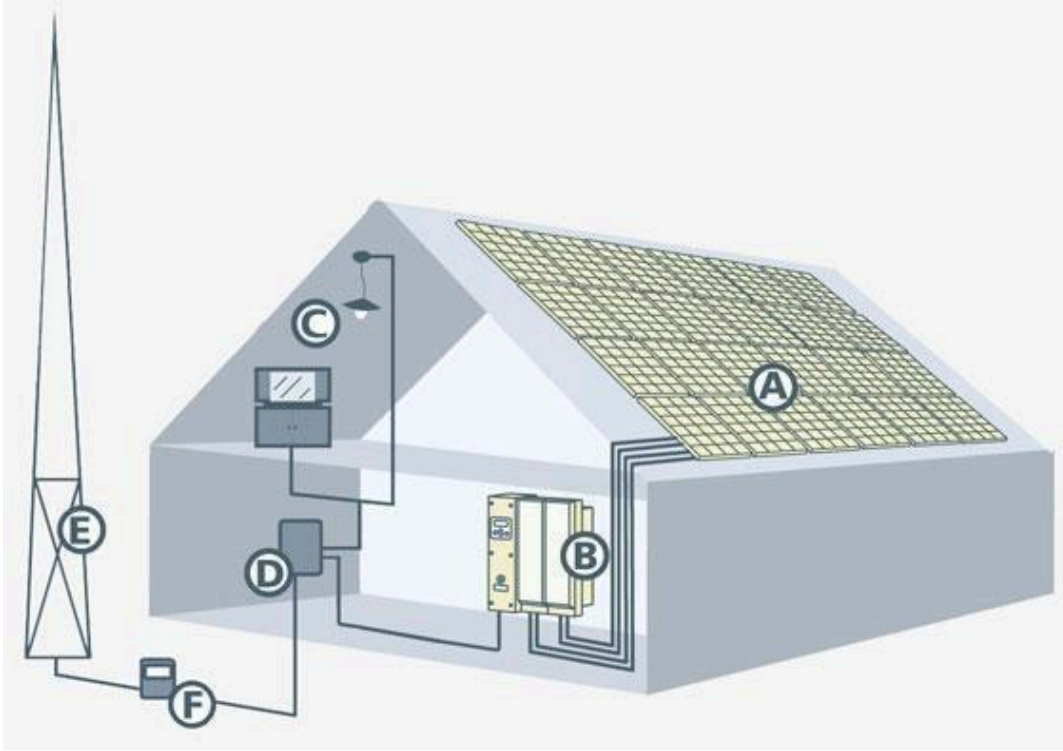
1. GÜNEŞ PANELİ KONTROL PANOSU

1.1 Pano Elemanları

Güneşten enerji elde etmek için ihtiyaç duyulan güce eşdeğer güneş paneli, güneş panellerinden elde edilen enerjiyi depolamak için aküler, akülerin şarj olmasını kontrol etmek için şarj kontrolörler, akülerden alınan enerji çıkışını ev aletlerinde kullanılacak seviyeye getiren invertörler kullanmak gereklidir. Güneş panel sisteminin panosunda bulunması gereken temel elemanlar şarj regülatörü ve invertördür (Resim 1.1, Resim 1.2).

Güneş panellerinden alınan doğru akım, şarj regülatörü sayesinde akülerin aşırı şarj olmasını önleyerek akülerin zarar görmesini ve bunun sonucunda da akülerin performansının ve kullanım ömrünün azalmasını önleyecektir. Güneşli bir günde güneş panelleri daha fazla gerilim üretecektir. Gerilimdeki bu aşırı artış akülere zarar verebilmektedir. Şarj regülatörü akülerdeki şarj düzeyini kontrol eder ve herhangi bir aşım durumunda şarjı düzenleyerek bataryaların zarar görmesini engeller.

İnvertör (evirici) ise güneş enerji sisteminin en önemli parçalarından biridir. Güneş panellerinden elde edilen 12 volt DC gerilimi 220 volt AC gerilim dönüştürür (Resim 1.2).



A Panel B Şarj regülatörü ve İnvertör panosu C Elektrikli alıcılar D Ev sigorta paneli E Şebeke F Elektrik Sayacı

Resim 1.1:Güneş paneli sisteminde şarj regülatörü ve invertör panosu (B)



Resim1.2:Şarj regülatörü ve inverter

Güneş panel sisteminin panosunda bulunması gereken pano elemanları temel olarak şarj regülatörü ve invertördür. Bunların yanı sıra bağlantı elemanları, kablo kanalları, taşıyıcı raylar ve klemensler de panoda kullanılan elemanlardır.

1.2 Pano Bağlantı Elemanları

Pano bağlantı elemanları; vidalar, civatalar, sac vidalar, somunlar, pullar (rondela), kelepçeler, segmanlar ve kopilyalardan oluşur.

Vidalar: Üzerine sağ veya sol yiv (diş) açılmış silindir veya konik parçalara vida denir. Diğer bir ifade ile üzerine diş açılmış burmalı çividir. Endüstrinin vazgeçilmez bir elemanıdır. Metal olarak yapıldığı gibi artık günümüzde plastik çeşitleri de kullanılmaktadır. Vidalar, dişlerine açılan yiv çeşitlerine göre birden fazla şekilde imal edilir (Resim 1.3).



Resim 1.3:Vida çeşitleri

Civatalar: Birbirine bağlanmak istenen ağaç veya metal parçalar üzerinde hazırlanmış olan deliğe yerleştirilerek somunu sıkmak suretiyle bağlamayı sağlayan tespit ve ekleme parçasıdır. Bir diğer tanımla vidaya baş eklenince oluşan makine elemanına civata denir (Resim 1.4).

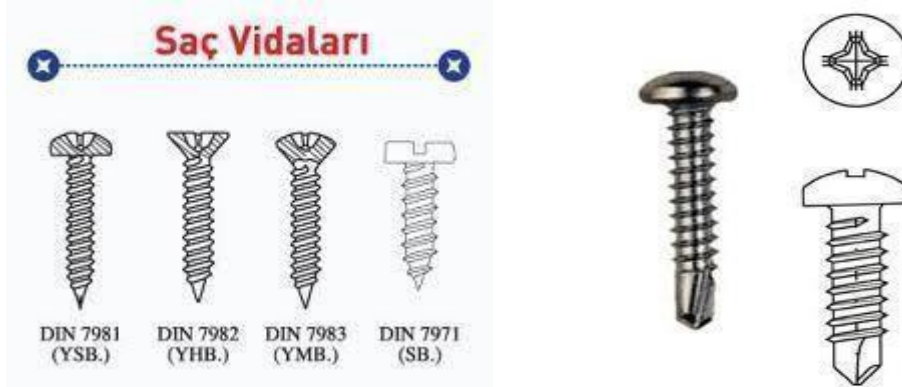


Resim 1.4:Cıvatalar

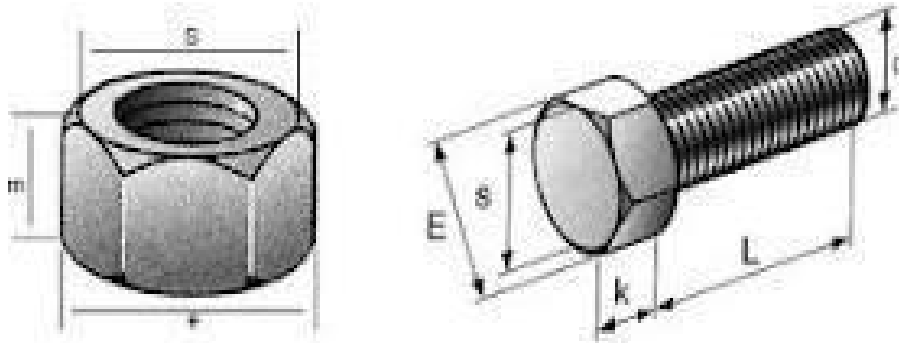
Sac vidalar: Cıvatanın dış açılmış kısmına vida denir ama günlük yaşantımızda (pratikte) kullanıldığı yerlere göre vidalar kendi başına da değişik isimler almaktadır. Bu nedenle sac işlerinde kullanılan çeşitlerine sac vidaları denildiği gibi ağaç işlerinde kullanılan çeşidine de ağaç vidası denilmiştir (Resim 1.5).

Önceden matkapla delinmiş iki sac parçasını birleştirmeye en uygun vida çeşidine sac vida denir. Bu vidaları kullanmak için önceden matkap ile delik açmak şartı vardır. Bu nedenle günümüzde artık yerini matkap uçlu vidalara bırakmaktadır. Matkap uçlu vidaları kullanırken sac parçasını delmeye gerek yoktur. Vidanın ucu matkap şeklinde yapıldığı için sac parçasını önce deler sonra vidalar (Resim 1.5).

Resim 1.5:Sac ve matkap uçlu vidalar



Somunlar: Cıvatanın ucuna takılan, içine cıvatanın dişlerine uygun dış(yiv) açılmış ve dış çevresi altıgen, dörtgen, yuvarlak vb. biçimlerde olan makine elemanlarına somun denir (Resim 1.6).



Resim 1.6:Somun ve civata

Pullar (rondela) : Somun veya cıvata başı ile makine parçası arasında kullanılan ortası delik, çok kez halka biçiminde olan sacdan yapılmış parçalara rondela veya pul denir. Yüzey basıncını artırmak ve cıvataların eğilmeye zorlanmalarını önlemek için cıvata başının ve somunun altına konulur (Resim 1.7).



Resim1.7: Pullar (Rondelalar)

Kelepçeler: Kabloları toparlamak ve panoya sabitleme sırasında kullanılır. Kullanıldığı yere göre değişik şekillerde imal edilmiştir(Resim 1.8).



Resim 1.8:Kelepçeler

Segman: İstenildiği zaman çözülmesi gereken mil şeklinde bulunan cıvatalarda kullanılır. Rondelaya benzeyen iki ucuna delik açılmış makine elemanlarıdır. Segman pensesi denilen özel pense ile sökülüp takılır (Resim 1.9).



Resim1.9:Segman

Kopilya: Sert çelikten yapılmış telin ikiye katlanması ile yapılır. Uçlu diye tabir ettiğimiz cıvataların ucundaki dış açılmamış yerinde bulunan delikten geçirilerek ucunun bükülmesi sonucu somunun çıkmamasına yarayan makine elemanlarıdır (Resim 1.10).



Resim 1.10:Kopilya

1.3 Pano Montaj Elemanları

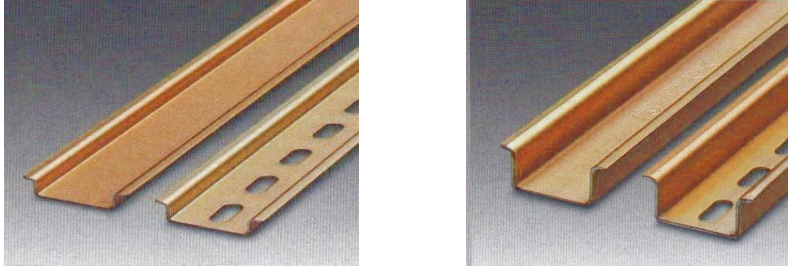
Pano montaj elemanları; kablo kanalları, taşıyıcı raylar ve klemenslerden oluşur.

Kablo kanalları: Pano içinde kullanılan kabloların düzgün bir şekilde muhafaza edilmesini ve pano içinde takip edilebilmesini sağlar. Kanalın kenarları aralıklı yarıklar bırakılarak imal edilir. Bunun nedeni kabloları havalandırarak oluşabilecek ısınmaları önlemek ve kablo geçişlerinin kolay olmasını sağlamaktır. Sac ve PVC kablo kanalları olarak iki çeşit imal edilir. Konumuzla ilgili olarak PVC kanalları kullanacağız (Resim 1.11).



Resim1.11:Pano tipi PVC kablo kanalı

Taşıyıcı raylar: Üzerine klemens, kontaktör, otomatik sigorta vb. gibi elektrik malzemelerini yerleştirdiğimiz elemanlara ray denir. Eski panolarda elektrik malzemeleri tablalara vidalarla monte edilirdi. Bu olay çok zaman alır ve arıza esnasında elemana müdahaleyi güçleştirirdi. Rayların günümüzde yaygınlaşmasının en büyük sebebi, elektrik malzemelerini panoya çok basit bir şekilde monte etme olanağı vermesidir. Ayrıca arızalanan elemanı raylı sistemde rahatlıkla yenisi ile değiştirebiliriz. Taşıyıcı raylar; delikli/deliksiz ray ve alçak/yüksek ray diye ikiye ayrılır (Resim 1.12).

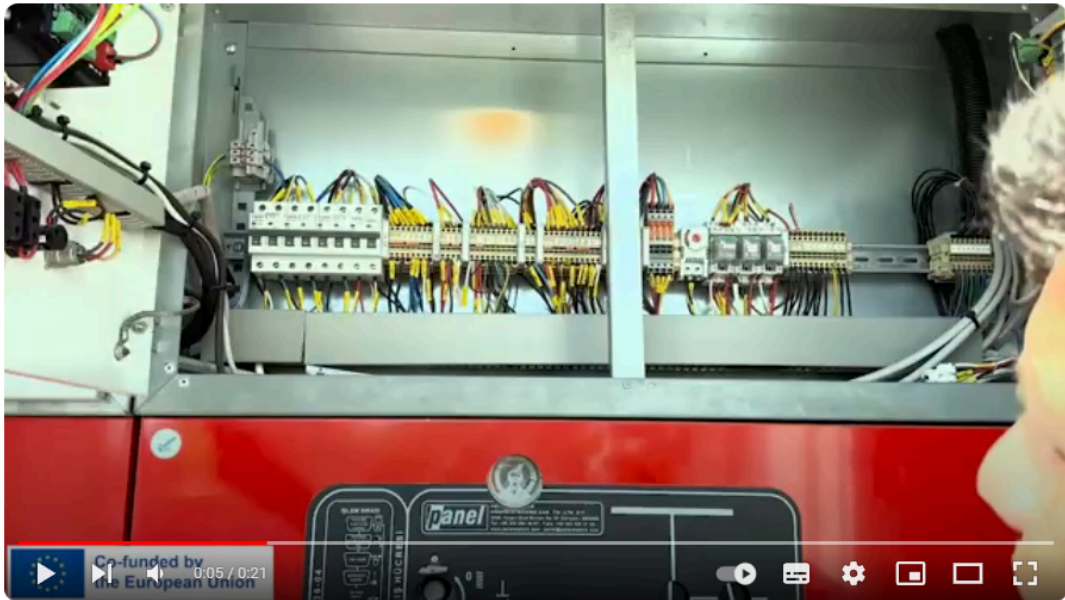


Resim1.12:Taşıyıcı ray (Alçak, yüksek, deliksiz, delikli raylar)

Klemensler: Panoda kullanılan kontaktör, sigorta, şarj regülatörü, inverter gibi elektrik elemanlarının kendileri arasında ve pano dışındaki birimlerle irtibatlı olmasını sağlayan elemanlara klemens denir. Genellikle elektrik, panoya klemenslerden girer ve klemenslerden çıkar. Bu nedenle klemensler panonun en önemli elemanıdır. Kaliteli olması ve oksitlenmeye karşı dayanıklı olması gerekir. Bina yangınlarının çoğunluğunun elektrik kontağından olduğunu unutmamalıyız.



Resim1.13:Raya monte edilmiş klemensler



Videoyu oynatmak için resim üzerine tıklayınız veya aşağıdaki linki kopyalayıp tarayıcınız ile açınız.

<https://www.youtube.com/watch?v=W3MOnW5bzqA>

2. PANEL BESLEME KABLOLARI

2.1 Besleme Kabloları

Fotovoltaik uygulamalar için özel olarak üretilen solar tip besleme kablolar üstün kaliteli ham maddeler ile özel olarak üretilmektedir (Resim 2.1). Enerji iletiminin özel bir önem arz ettiği fotovoltaik uygulamalarda normal kabloların kullanımı hem sistem verimini düşürmekte hem de gereken uzun ömre sahip olmamaktadır. Özellikle uzak mesafelerde enerji taşıma sözkonusu ise (20 m ve üzeri) mutlaka fotovoltaik kabloların kullanılması gerekmektedir. Bu kablolar fotovoltaik sistemlerin önemli bir parçasıdır. Fotovoltaik sistemlerin bina ve aygıt içinde veya dışında bağlantısı ve yüksek mekanik yıpranma oluşun ve ağır hava şartları olan bölgeler için özel tasarlanmıştır. Solar enerji sistemlerinde kullanılan kabloların uzunluğu arttıkça, mesafeler uzadıkça ve kablodan geçen akım arttıkça iletken olması gereken kablonun üzerinde gerilim düşümü olur yani bir şekilde direnç oluşur. Bu noktada uygun kablo kesiti hesaplama ve uygun/yeterli özellikteki kablo seçiminin önemi ortaya çıkar.



Resim2.1:Solar tip besleme kablosu

Yukarıda açıklanan üstün özellikleri nedeniyle fotovoltaik sistemlerde bu sistemler için üstün kaliteli ham maddeler ile özel olarak hazırlanmış solar (fotovoltaik) kabloların kullanılması kaçınılmazdır.



Videoyu oynatmak için resim üzerine tıklayınız veya aşağıdaki linki kopyalayıp tarayıcınız ile açınız.

<https://www.youtube.com/watch?v=zQmmatmBuBc>

Fotovoltaik kablolar VDE 0295 / IEC60228 sınıf 5'e uygun kalaylanmış bakır iletken tel içerir. Kablonun iç kısmı ise elektronik ortamda ışınlar ile birleştirilmiş özel bir copolymerden ve etrafını saran ikinci bir polyolefine kopolimer tabakadan oluşmaktadır. Solar kabloların,

nominal kablo kesiti TÜV tarafından onaylanmış olmalıdır. Yoğun kablo çapı olmalı, fazla yer kaplamamalıdır. Kesinlikle uzun ömürlü ve mukavim (dayanıklı) olmalıdır.

Genel olarak fotovoltaik kablolarda olması gereken özellikler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Özel elektron ışın dokulu izolasyon ve kılıf vardır.
- Aşırı ısıya ve soğuğa dayanıklıdır.
- Yağa dayanıklıdır.
- Sürtünmelere karşı dayanıklıdır.
- Ozona karşı dayanıklıdır.
- Ultraviyole ışınlarına karşı dayanıklıdır.
- Kötü hava şartlarına karşı dayanıklıdır.
- Yangına karşı daha iyi korumalıdır, fazla duman üretmez, yanmaz.
- Halojen içermez.
- Çok esnektir.
- İzolasyonu kolay açılır.
- Az yer kaplar.
- Mekanik dayanımı yüksektir.
- Sızıntı kayıplar minimum seviyededir.
- Uzun ömürlüdür.

2.2 Besleme Kablo Aparatları

Besleme kablo aparatlarını bundan sonra solar kablo konnektörleri diye adlandıracağız. Fotovoltaik sistem kurulumunda sistemin hesaplanması ve gereken ürünlerin seçimi kolay değildir ama genelde ihmal edilen ve ihmal edilmemesi gereken bağlantı ürünlerinin önemi fazlasıyla yüksektir. Bir sistemin maliyetini incelediğiniz zaman, bağlantı parçalarının değeri ortalama ~%5 ile sınırlıdır. Bağlantı ürünlerinde yanlış seçim yaptığınızda yangın tehlikesi ile karşı karşıya kalabilir, yüksek zarara uğrayabilirsiniz ve daha önemlisi insan hayatı söz konusu olabilir.

Büyük güçlerde elektrik üretmek için güneş panelleri birbirine bağlanarak solar PV dizilerini meydana getirir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş paneli birbirine paralel yada seri bağlanır. Güneş panellerini birbirlerine bağlarken bir önceki konu olan güneş paneli besleme kablo seçim kriterlerine uyan solar kablolar tercih edilmelidir.

Güneş panellerinin bağlantıları yapılırken solar kablo ve konnektörleri kullanılmalıdır (Resim 2.2).



TYCO ELECTRONICS		
Ürün	Solar kablo	Konnektör
Kesit	2.5; 4; 6 mm ²	2.5; 4; 6 mm ²
Minimum sıcaklık	-400C	-400C
Maksimum sıcaklık	1250C	1100C
Mevcut renkler	Siyah, mavi, kırmızı	Standard
Bağlantı şekilleri	-	Dişi, Erkek, T branch
Akım taşıma kapasitesi	2.5 mm ² - 41 A 4 mm ² - 55 A 6 mm ² - 70 A	25 Ampere kadar
Onay	IEC 60228 Class5 TÜV ve UL	TÜV ve UL

Resim2.2:Solar kablo ve konnektör özellikleri

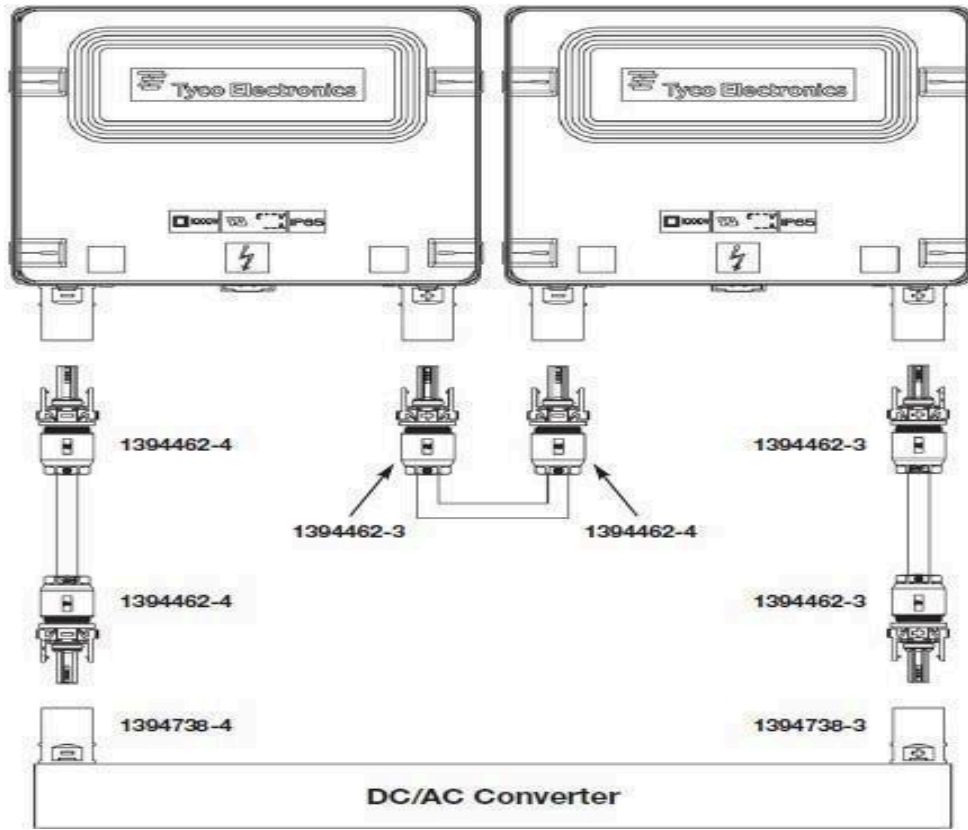
Güneş panellerinin birbirlerine bağlantısı yapılırken paneller üzerindeki birleşme kutularına (junction box), dişi veya erkek konnektörler bağlanır (Resim 2.3, Şekil 2.1).Güneş panelleri birbirleriyle paralel bağlanacağı zaman paralel bağlantı konnektörleri bağlantısı kullanılır (Resim 2.4).



Resim2.3:Dişi ve erkek solar kablo konnektörü



Resim2.4:Panellere paralel bağlantı yapma konnektörü



Şekil 2.1:Panellerde bulunan bağlantı kutusu(junction box) ve bağlantı aparatları (konnektörler)

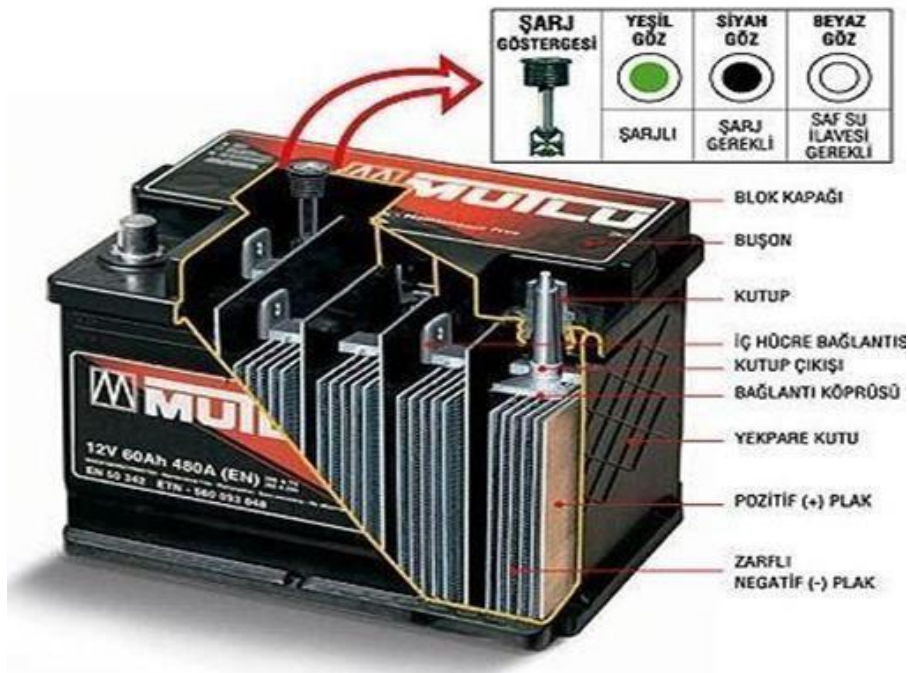
3. AKÜLERİN YAPISI VE SİSTEMİN KURULMASI

3.1 Akülerin Yapısı ve Çeşitleri

Aküler (bataryalar) kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren ve depo eden, kompleks elektrokimyasal aletlerdir. Batarya terimi birader üniteyi temsil eder. Ancak bu ünite içinde bir ya da birden fazla hücre (cell) bulunabilir. Cell'ler bataryanın yapı taşlarıdır. Bataryalar genellikle birden fazla hücrenin birleşmesinden oluşur. Her batarya üç temel öğeden oluşur: Anot (pozitif kutup), katot (negatif kutup) ve kimyasal reaksiyonu sağlayan elektrolit. Diğer anlamda elektrolit elektrik enerjisini depolayan ve geri veren kısımdır. Akümülatörler bizler için olmazsa olmaz bir malzemedir. En ufak bireysel kullanımdan en büyük profesyonel uygulamaya kadar güneşten sağladığımız enerjiyi depolamak veya yedeklemek için gereksinim duymaktayız. Örneğin gün ışığında depoladığımız elektrik enerjisi ile geceleri aydınlatma yapabilmekteyiz. Çok ciddi ve kritik haberleşme istasyonuna da aynı prensipler dâhilinde besleme sağlayabiliriz. Ayrıca uzun süreli şebeke elektriğinin kesilmesi veya afet vb. durumlarda yine bataryalarda depoladığımız enerjinin hayati işlevi olacağı kesindir.

Akü, doğru akım elektrik enerjisini kimyasal enerjiye çevirip depo eden ve devrelerine alıcılar bağlandığında bu enerjiyi tekrar elektrik enerjisine dönüştürerek alıcıları çalıştıran elektrokimyasal statik bir elemandır ya da birbirlerinden seperatörlerle ayrılan, peş peşe dizilmiş pozitif ve negatif plakaların elektrolit ile reaksiyona girerek elektrik enerjisinin oluşturulduğu ve depolandığı sistemdir (Resim 3.1).

Kısaca kurşun asit bir akümülatörün çalışma prensibi basit olarak bir batarya elemanı, içinde sulandırılmış (seyreltik) sülfürik asit bulunan bir kaba iki kurşun levha daldırılması ile elde edilir. Bu iki plakanın uçları bir doğru akım kaynağına bağlanıp bir süre doğru akım geçirilirse (+) uca bağlı olan plakanın yüzeyi kurşun peroksit (PbO_2) tabakası ile kaplanır. Sonra plakaların uçları bir alıcıya bağlanırsa akım verdikleri görülür



Resim 3.1:Akünün iç yapısı

Bir akü hücresi aşağıdaki ana elemanlardan oluşur:

Akü kabı: Çoğunlukla ebonit veya plastik malzemeden yapılır. Transparant akü kapları, akünün içindeki elemanların incelenmesine imkân verir. Akü kapları kullanılacağı yerin durumuna göre çeşitli boyutlarda yapılır.

Akü kapağı:Akü kabı malzemesinden yapılan hücrenin üstünü kapatan kısımdır. Akü kabının üstünü,hava sızdırmaz bir biçimde presleyerek veya yapııştırarak kapatır.

Hücre kapağı(tıpa):Akü kapağındaki dişli deliğe takılan, plastik malzemeden yapılmış küçük bir kapaktır.

Üç ana işlevi vardır:

- Yerinden çıkarılarak elektrolitin yoğunluğu ölçmek yasaf ilave etmek
- Buşon kapalı iken akü içinde oluşan gazların kapak içindeki küçük delik yoluyla dışarı çıkmasını sağlamak
- Özel tip buşonlarda, hücre içinde oluşan gazı, buşon içinde yoğunlaşarak tekrar elektrolit dönmesini sağlamak, böylece akünün saf kaybını azaltmak

Elektrolit: Sülfürik asit, saf su karışımı olan bir sıvıdır. Akünün tipine, imalatçının veya kullanıcının tercihine bağlı olarak sülfürik asit, su oranı değişik, çeşitli aküler imal edilmektedir.

Seperatör: Hücre içindeki plakaların birbirine değerek kısa devre olmasını önleyen parçalardır. Aside dayanıklı yalıtkan malzemeden yapılır, imalatçının tercihine bağlı olarak çeşitli profilde olur. Bununla birlikte seperatör tipinin seçiminde ve yerine takılmasında şu hususlara özen gösterilir:

- Akü iç direnci artırmamak
- Seperatörleri mikro gözenekli yaparak plakalar arasındaki elektrolit temasını azaltmamak
- Plakaları, özellikle nakliye esnasında eğilme ve kırılmalarını önleyecek şekilde sıkıştırmak

Plakalar: Bir akü hücresi içinde pozitif ve negatif olmak üzere iki ayrı plaka grubu vardır.

Akü hücresi: Bir akü hücresi, yukarıda açıklanan elemanların akü kabı içerisine tekniğine uygun bir şekilde yerleştirilmesi ile oluşturulur. Akü hücresi içindeki negatif plaka sayısı, pozitif plaka sayısından bir fazladır. Böylece pozitif plakanın iki yüzeyi de aktif durumda tutularak bükülmesi önlenir.

Bataryalar da ıslak veya kuru olarak ikiye ayrılır. Islak hücreli bataryalarda elektrolit sıvıdır. Kuru hücreli bataryalarda elektrolit; pasta, jel veya diğer matrix hâlde bulunur. Bataryanın voltaj değeri bataryanın yapımında kullanılan materyallere bağlıdır. Bu sebeple batarya elemanında kullanılan malzemeye göre çeşitli bataryalar vardır.

İdeal bataryada aşağıdaki özellikler olmalıdır:

- Yüksek enerji yoğunluğu olmalıdır.

- Taşınabilir ve çevre şartlarına dayanıklı olmalıdır.
- Uzun ömürlü olmalıdır.
- Emniyetli olmalıdır.
- Uygulama yeri için esneklik sağlamalıdır.

Şarj edilebilir bataryalar üç tipte üretilir. Birincisi açık tip bataryalardır. Atmosfere açık olan bu bataryalar kullanım sırasında atmosfere hidrojen gazı verir ve bu yüzden su azaldığı için suya ihtiyaç duyar. Bakım istemeyen bataryalarda sadece elektrolit fazla olup bu yüzden servis ömürleri boyunca bakım istemez. İkinci tip şarjlı bataryalar yarı açık ya da yarı kapalı bataryalardır. Bu tip bataryalarda kullanılan elektrolitler de atmosfere gaz salar. Ancak bu tip bataryaların elektrolitleri jel türündedir. Üçüncü tip bataryalar tamamen kapatılmış (sealed) bataryalardır. Kapalı tip bataryalar normal olarak çıkan gazı atmosfere vermez.

Akülerin kullanıldıkları yere ve çalışma şekillerine göre çok çeşitli tipleri olsa da bunları başlıca üç grupta toplamak mümkündür. Bunlar; otomotiv aküleri, traksiyoner aküler ve stasyonier akülerdir.

Otomotiv aküler: Bu aküler motorlu araçlarda kullanılan akülerdir. Bunların temel çalışma özellikleri marş sırasında kısa bir süre içinde büyük bir akım vermeleridir. Bunun dışında yüksek akım verebilmelerini sağlamak için plakaları ince yapılarak aktif maddenin elektrolitle daha kolay temas etmesi sağlanmıştır. Plakaları ince olduğundan nispeten kısa ömürlüdür. Ayrıca hem iç direnci azaltmak hem de hacminin küçük olmasını sağlamak için plakaları birbirine iyice yaklaştırılmış, birbirlerine değmelerini önlemek için araya seperatörler konulmuştur. Motorlu araçlarda kullanılan akülerin iki temel maddesi kurşun ve sülfürik asit olduğundan bunlara kurşun-asit esaslı aküler denir. Akü denilince ilk akla gelen ve herkesin bildiği uygulama ise taşıtlarda kullanılan marş amaçlı yani otomotiv uygulamaları için olan seridir. Olabildiğince ufak ebatlarda, hafif ve taşınabilir olması beklenir. Mobil uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilinen başlıca özelliği açık/ sulu sistem olmalarıdır yani içindeki asit sıvı/likit bazlıdır. Ortama asit çıkartma/salgılama riski mevcuttur. Bu akümülatörler havalandırılmalı yerlerde kullanılmalıdır.

Traksiyoner (çekici) aküler: Bu aküler; vinç, yük taşıyıcı ve özellikle denizaltı gibi elektrik motoru ile çalışan araçlarda kullanılır ve orta büyüklükteki bir akımı sürekli olarak verir. Yapıları otomotiv akülerinden çok daha sağlamdır ve bu nedenle çok uzun ömürlüdür. Bilinen başlıca özelliği açık/sulu sistem olmalarıdır yani içindeki asit sıvı/likit bazlıdır. Ortama asit çıkartma/salgılama riski mevcuttur. Bu alanda ülkemizde ciddi ve kaliteli üretim yapan tanınmış tesisler olduğu gibi ithal markalar da mevcuttur.

Stasyonier (sabit tesis) aküler: Bu aküler telefon santrallerinde kullanılır. Küçük bir akımla şarj ve deşarj olur. En önemli özellikleri uzun ömürlü olmalarıdır. Sektörel olarak bizleri özellikle ilgilendiren endüstriyel uygulamalarda kullanılan ürünlerin genel tanımı ise sabit tesis/stationary aküdür. İsminden de anlaşılacağı üzere sabit/durağan yerlerde kullanmak üzere tasarlanmaktadır. Çalışma prensibi ve plaka yapısı gereği, sabit akımı/gücü uzun süre verme yeteneği mevcuttur. Bu kategoriye giren, oldukça geniş alt başlıkları mevcuttur. Bunlar da yine kendi aralarında fiziksel, kimyasal ve iç yapı farklılıkları gösterebilmektedir.

Temel prensipte kurşun – asit özellikli ve tampon şarj kullanımına müsait olan akülerin, yüzdürme / tampon şarj gerilimi ile hazırda bekleme özellikleri başlıca farklılıklarıdır. Teknolojik olarak sürekli geliştirilmektedir. Uzun işletme ömrüne ve daha fazla döngü (cycle) sayısına şarj/deşarja sahip olanlar tercih edilmektedir. Kapalı sistem ve bakımsız kuru özellikli olanları yaygın kullanım alanları bulabilmektedir. Çok ufak fiziki ebat ve kapasiteye

sahip olanları olduğu gibi tamamen aynı çalışma prensibi ile yüksek güçlerdeki ihtiyaçlar için de çözüm seçenekleri bulunmaktadır. Cihaz içi, kapalı ortam vb. uygulamalar için maintenance free (bakım gerektirmeyen)/valve regulated(valfli düzenlenmiş) olması çok önemlidir. Bu sayede normal koşullarda gaz çıkarması/sızdırma yapması öngörülmemektedir. Günümüz şartlarında akümülatör seçiminde uygulama/ihtiyaç, saha /ortam koşulları, öngörülen bütçe ve ticari koşullar gibi birkaç farklı ölçüt vardır.

Solar sistemlerde kullanılan stasyonier tip kurşun-asit aküler temel olarak OPzS, VRLA Jel, VRLA AGM, VRLA AGM GEL olarak dörde ayrılır. Bu akü tiplerinden hangisinin kullanılacağı bakım yapabilmeye, ortam sıcaklığı, yük profili, çevrim ömrü gibi etkenlerin önem derecesine göre belirlenmelidir.

VRLA (Valve Regulated Sealed Lead Acid)(Valfli düzenlenmiş kapalı kurşun asit)/AGM: VRLA Aküler ismini üzerlerine monte edilmiş şarj ve deşarj sırasında gazların yüksek oranda tekrardan akü içerisinde birleşmesini sağlayan valf sisteminden almıştır (Resim 3.2). Bu aküler sulu tip (su eklenebilen) akülerin gaz çıkışının %1'i kadar gaz çıkışına izin verir. Bu sayede akülerin muhafaza edildiği yerde havalandırma ihtiyacı en aza indirilir.



Resim 3.2:VRLA AGM akü

Tamamen ve gerçekten kapalı, kuru tip tam bakımsız bir sabit tesis aküsüdür. Uzun süreli uygulamalar için yüksek performans ve güvenilirlik sağlar. Kesintisiz Güç Kaynakları Sisteminde kullanılan “gaz geri dönüşüm” (gas recombination) sistemine sahip gerçek kuru tip, tam bakımsız akümülatörlerdir. Alev geciktirici kutularda, düşük basınçlı otomatik kapanan valf kontrolüne sahip bu tip akümülatörlerde yüksek oranlı gaz geri dönüşüm özelliği vardır. Kapalı sistem akülerde bakıma gereksinim duyulmaması, cihaz içi vb. dâhil kapalı yerlerde, hatta yatay veya dikey pozisyonlarda kullanılabilmesi gibi önemli avantajları sahiptir. Kısa sürede yüksek akım gerektiren yük profillerine sahip sistemlerde performansı çok yüksektir. Derin deşarja ve yüksek çevrim sayısına sahip olması sebebiyle fotovoltaik uygulamalarda tercih edilmektedir.

VRLA / GEL: VRLA jel akülerin yapısında ise elektrolit olarak sıvı asit yerine jel kıvamına getirilmiş asit yer almaktadır(Resim 3.3).Özel bir üretim prosesi ile akünün içerisine bu jel elektrolit doldurulur. Akü içerisine plakaların yerleşimi VRLA AGM akülere benzer şekilde minimum alan kaplayacak şekilde yapılır.VRLA jel, sulu akülere göre VRLA AGM'in sahip olduğu tüm üstünlüklere sahiptir sadece şarj etme yöntemi sulu ve AGM aküye göre farklıdır. Jel yapısı çok yüksek gaz çıkışlarına sebep olan hızlı şarj ya da yüksek akımla şarj sırasında bozulabilir. Bunun önüne geçmek için bu akülerin bulunduğu sistemlerin yük

profilleri daha uzun şarj ve deşarj şeklinde planlanmalıdır. Jel akülerin AGM akülerden en büyük avantajı sıcaklığın ömre olumsuz etkisinin daha az olmasıdır. Bu durum özellikle sıcak bölgelerde ve iklimik olmayan ortamlarda yer alan sistemlerde VRLA jel akünün kullanılması kaçınılmaz kılar. Ayrıca, VRLA jel akülerin fotovoltaiik sistemlerin doğası gereği maruz kaldığı kısmi şarj ve deşarjdan kaynaklanan plaka sülfatlaşmasına VRLA AGM akülere göre daha yüksek dayanıklılığı vardır. Bu sayede çevrim ömrü VRLA AGM'den daha yüksektir. Jelli aküler yoğun elektrolitleri sayesinde akmadan her açıda kullanılabilir. Kendi kendilerine deşarj olma problemleri yoktur. Ancak pahalıdır ve hızlı şarj sağlayan şarj cihazlarından zarar görebilir.

Her iki akü tipi de tam bakımsız olup derin deşarj özelliği ile yenilenebilir enerji uygulamalarında kullanılabilir. Fotovoltaiik sistemlerdeki kullanım şekline göre VRLA jel ve VRLA AGM akülerin birbirine karşı avantaj ve dezavantajları vardır.



Resim3.3:VRLA GEL (jel) akü

OPZS / TUBULAR (tüplü): Az bakımlı, tüplü sabit tesis (OPzS) akümülatörleri sistemlere kesintisiz enerji kaynağı olarak bağlanmak üzere üretilmiş sabit tesis (standby) akülerdir (Resim 3.4). Kullanıcı için minimum bakım gerektirir ve düşük enerji maliyetlidir. Temel özelliği olan düşük antimonlu kurşun alaşımı kendi kendine deşarjını azaltarak su kaybı oranını büyük ölçüde düşürür. Aktif maddeyi tutuşu ve şarj-deşarj kabiliyeti aynı seviyededir. Ani güç kesintilerinin sistemde sebep olabileceği kapanış ve duruşları engellemek için kullanılan OPzS akümülatörleri şeffaf (transparent) kutulu olarak imal edilir. Seperatör ve alaşım yapısı ile az bakım gerektirir, 20 yıl ve üzeri uzun ömre sahiptir. Pozitif plakalar tüplü olarak imal edilmiştir. Tüp şeklindeki pozitif plakalar yüksek kapasiteye ve uzun servis ömrüne sahiptir. Plakalar birbirine bağlı silindirik polyster tüplerden oluşmuştur. Her tüpün içerisinde özel alaşımdan yapılmış kurşun çubuklar bulunur. OPzS tipi aküler şarj ve deşarj sırasında gaz çıkışına izin verdiği için saf su ekleme gibi sürekli takip ve bakım ihtiyaç duyarlar. Ayrıca, hidrojen gazının havada belli bir yoğunluğu aştığında tehlike yaratmasından dolayı akülerin bulunduğu yerin iyi bir havalandırmaya sahip olması gerekir. Bu sebeplerden dolayı fotovoltaiik sistemlerde genel olarak tercih edilmez.



Resim3.4:OPZS/TUBULAR(tüplü)akü

VRLA / TUBULAR / GEL: Bakım ve ulaşım gibi zorlukları bulunan yerler ile kapalı sistem uygulamasına gerek duyulan profesyonel uygulamalar için ise VRLA / TUBULAR / GEL tip ürünler kullanılabilir (Resim 3.5). Prensip olarak zor saha koşullarına daha mukavimdir. Ayrıca anma kullanma koşullarında ortama gaz çıkarma riski de bulunmamaktadır. Bu tip aküler henüz ülkemizde üretilmemektedir. Bunların içindeki asit sıvı bazda değildir, bildiğimiz jel-jöle kıvamındadır. Anma kullanım koşullarında herhangi bir bakıma ihtiyaç duymaksızın çok uzun yıllar boyunca kullanılabilme özelliği vardır. Uzun işletme ömrü, yüksek performans, azami güvenilirlik ve daha fazla şarj / deşarj (döngü sayısı) özelliklerine sahiptir. Bu alandaki en büyük ve tanınmış üreticilerin başında HBL firması gelmektedir. Sektörel uygulamalar için satış öncesi teknik hesaplamalar ve tasarım dâhil, her türlü teknik destek titizlikle sağlanmaktadır. Örneğin oluşturulacak akü grupları için tüm fiziki ölçülendirme detayları ile şematik yerleşim planı dâhil, tasarım aşamasında ihtiyaç sahibine sunulmaktadır. Malzeme tesliminde de raf sistemi ile tüm montaj ekipmanı kullanıcıya eksiksiz ve bedelsiz sunulmaktadır.



Resim 3.5:VRL/TUBULAR (tüplü) / GEL (jel) akü

Akülerin fotovoltaik sistem içerisinde kullanım ömrü sistemin ne kadar iyi tasarlandığı ile doğru orantılıdır. Tasarım sırasında sistemin kullanılacağı yerin, yük profilinin, güneş enerjisi tahmininin, şarj etme sistemlerin kalitesi ilk olarak düşünülmesi gereken parametrelerdir. Bu parametrelerin iyi optimize edilmesiyle VRLA tipi akülerden en uzun ömür ve performans alınacaktır.

Akülerin çalışma ömrünü etkileyen faktörler şunlardır:

Depolama: Kurşun asit aküleri asla boşalmış veya kısmen boşalmış durumda tutulmaz. Aküler uzun süre depolanacaksa 6 ayda bir kere şarj edilmesi uygundur.

Düşük şarj: Akünün boşalmasına deşarj, doldurulmasına da şarj etmek denir. Anma değerinden daha düşük bir açık-devre gerilimi sülfatlaşmanın göstergesi olabilir.

Aşırı şarj: Aşırı şarj gerilimleri, aküden yüksek şarj akımlarının akmasına, bu akım nedeniyle aşırı ısının açığa çıkmasına ve güvenlik valfinden gaz çıkışına neden olur (Bu nedenle "valve regulated" terimi kullanılmaktadır). Bu durum kısa bir süre içinde pozitif plaka malzemesini korozyona uğratabilir ve akü ömrünü hızlı bir şekilde kısaltacaktır.

Sıcaklık: Önerilen ortam sıcaklığının üzerindeki yüksek sıcaklıklar, muhtemel oksijen/hidrojen gaz oluşumuna neden olarak akünün servis ömrünü kısaltır.

Aşırı deşarj: Çoğu akü için 1,67 volt/hücre sınır değeridir. Derin deşarj, akü kapasitesini ve çalışma ömrünü ters yönde etkiler. Derin deşarj, akünün iç direncini artırarak plakaların sülfatlaşmasına neden olur.



Videoyu oynatmak için resim üzerine tıklayınız veya aşağıdaki linki kopyalayıp tarayıcınız ile açınız.

<https://www.youtube.com/watch?v=rtw-KYYiLI>

3.2 Güneş Panelleri için Akü Hesabı

Akünün zaman içerisinde boşalarak beslediği elektrik miktarına kapasite denir ve amper/saat (A/h) olarak belirlenir. Kapasite, plakaların yüzey alanlarına, sayılarına ve kullanılan seperatörlerin geçirgenliklerine bağlıdır. Bir akünün belirtilen gerilimde 1 saat devamlı olarak verebileceği akım miktarına akü kapasitesi denir. Akü kapasitesi, akü üzerinde amper saat (A/h) olarak belirtilir.

Akü üzerinde markası dışında 12V 60A/h 255 gibi ifadeler vardır. Bunların anlamı; 12 V : Akü gerilimi (voltajı)

60A/h:Akü kapasitesi

255A:Emniyetli olarak aküden alınabilecek maksimum akım miktarıdır.

Bir akünün etiketinde örneğin 12 V 100A/h ibaresini okuyabiliriz. Teorik olarak bu akü 100 saat bir voltaj kaybına uğramadan yani 12 V gerilimle, 1 A akım üretecektir. 10 A akıma ihtiyaç olduğunda akümüz bunu 10 saat süreyle karşılayabilecektir. Ancak pratikte bu böyle gerçekleşmez. Özellikle yüksek akımlarda akünün iç direnci artar ve verebileceği akım azalır. İyi durumdaki bir akünün iki kutubu arasında ölçülecek voltaj 12,8 voltur. Aküden akım çekimi gerilim 11,6 volt değerine düştüğünde kesilmelidir. Bundan sonra akünün kalıcı hasar görmesi olasıdır.

Akülerin ömürlerini uzun tutmak için kapasitesi %50'nin altında iken şarj edilmelidir. Verimleri % 90 civarındadır. Güneş olmasa bile peş peşe güneşsiz geçecek günlerde ihtiyacın karşılayacak kadar akü kapasitesi gereklidir. Üç gün veya daha uzun süreyle arka arkaya güneş olmaması çoğu bölgemizde nispeten çok nadir olduğundan 3. güne

de yetecek kadar fazla akü almak faydasına göre pahalı bir yatırımdır. Bunun yerine şebeke elektriğinin olduğu yerde 2 gün, olmadığı yerde 3 günlük ihtiyacını depolayacak kadar akü kullanımı uygun olacaktır. Bu da günlük tüketimi 5 kW olan bir ev için 10 kW'ı karşılayacak akü kapasitesi demektir. 12 V 1200 A/h'lik akü grubu 12 volt*1200 Amper-Saat =14.400 Watt depolayabilir. Akülerde depolamanın tamamını hatta %70' inden fazlasını kullanmak akünün yapısını kısa zamanda bozmaktadır. Bu yüzden 12 V 1200 A/h bir akü grubu tasarlanan sistem için ideal olacaktır. Kapasitesi belli akü hücreleri birbirine bağlanarak daha yüksek kapasiteli bir akü grubu elde edilebilir. 12 V 1200 A/h'lik bir akü grubunun 6 adet 12 V 200 A/h'lik akülerin paralel bağlanarak oluşturulması mümkündür. Paralel bağlama sözcüğüyle ifade edilen bu işlemde hücrelerin (+) kutupları birbirine, (-) kutupları da birbirine bağlanır. Yapılan iş aslında hücrelerin aynı cins plakalarını haricî olarak birbirine bağlamaktır. Bu nedenle elde edilen akü grubunun toplam kapasitesi, hücre kapasitesinin hücre adedi ile çarpımı kadar olacaktır. Buna karşın akü grubunun gerilimi bir hücrenin gerilimi değerindedir.

Örnek: Günlük elektrik tüketimi 10 kW olan bir ev için güneş panel sistemi kurulacaktır. Güneş panel sisteminin kurulacağı ev şebeke elektriğinin olduğu yerdedir. Bu sistem için kullanılması gerekli olan akü sayısı ve kapasitesini hesaplayınız?

Çözüm: Güneş olmasa bile peş peşe güneşsiz geçecek günlerde ihtiyacını karşılayacak kadar akü kapasitesi gereklidir. Şebeke elektriğinin olduğu yerde 2 gün, olmadığı yerde 3 günlük ihtiyacını depolayacak kadar akü kullanımı uygun olacaktır.

$$2 \text{ günlük ihtiyacı depolayacak akünün gücü} \\ 2 \times P = 2 \times 10000 \text{ W} (10 \text{ kW}) = 20000 \text{ W} (20 \text{ kW}) \\ P = I \times V \\ 20000 = I \times 12 \quad I = 20000 / 12 = 1666,66 \text{ A}$$

Akülerde depolamanın tamamını hatta %70'inden fazlasını kullanmak akünün yapısını kısa zamanda bozmaktadır. Bu yüzden hesaplanmış 1666,66 A'lık akü akımını %30 daha arttıracamız.

$I.30/100 = 1666,66 \times 30 / 100 = 499,99 \text{ A}$ (Akünün yapısı bozulmasın diye kullanılmayacak %30'luk kısım)

Son olarak akümüzün kapasitesi = $1666,66 \text{ A} + 499,99 \text{ A} = 2166,65 \text{ A} = 2200 \text{ A}$ 'lık olmalı.

12V2200A/h'likte bir akü güneş paneli sistemi için yeterli olacaktır. 12 V

2200A/h'lik tek bir akü yerine 8 adet 12V 275A/h'lik akülerin paralel bağlanarak oluşturulması mümkündür.

3.3 Akülerin Gruplanması ve Bağlantılarının Yapılması

Akü grupları, hücrelerin yan yana tesis edilerek (+) ve (-) kutuplarının birbirlerine harici köprülerle bağlanması suretiyle elde edilir. Harici köprülerin hücre kutuplarına bağlantısı, imalatçının tekniğine bağlı bir husustur. Çoğunlukla civatayla veya kaynakla bağlanır.

Akü hücreleri iki nedenle grup hâline dönüştürülür:

- 1- Gerilimi (voltajı) artırmak için
- 2-Kapasiteyi (akımı) artırmak için

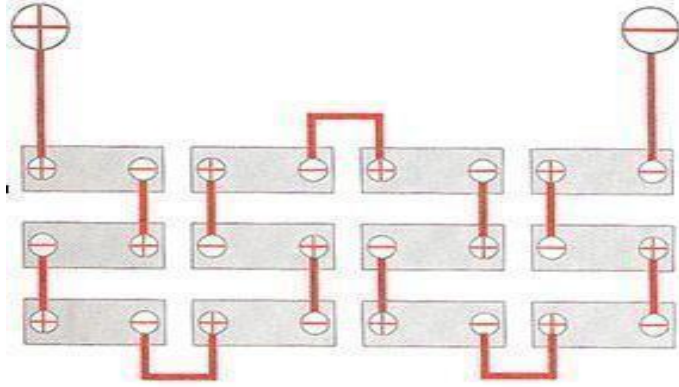
Bir akü hücresinin anma voltajı 2 voltur. Bu nedenle anma voltajı ile orantılı daha yüksek voltaj elde edilmek istendiğinde seri bağlama sözcüğüyle ifade edilen ve bir hücrenin (+) kutbunu yanındaki (-) kutbuna bağlamak suretiyle istenen voltajda akü grubu elde edilebilir.

NOT: Akü hücrelerinin seri ve paralel bağlanmasıyla (diğer bir ifadeyle karışık

bağlanmasıyla) hem voltajı hem de kapasiteyi artırmak mümkündür

Akü bağlantıları, seri bağlantı, paralel bağlantı ve seri-paralel bağlantı olmak üzere üç çeşit yapılıdır.

Seri bağlantı: Akü bloklarının akü grubunu oluşturacak şekilde art arda bağlanması ile oluşturulan tek bir seri koldur. Bir hücrenin (+) kutbunu yanındaki (-) kutbuna bağlamak suretiyle yapılan bağlantıya seri bağlantı denir (Şekil 3.1). Akü grubunun toplam gerilimi (V), her bir akü blok geriliminin toplamına eşittir. Seri bağlantıda akü kapasitesi (A/h) değişmez; akü grubunun kapasitesi, grupta yer alan her bir bloğun kapasitesine eşittir.



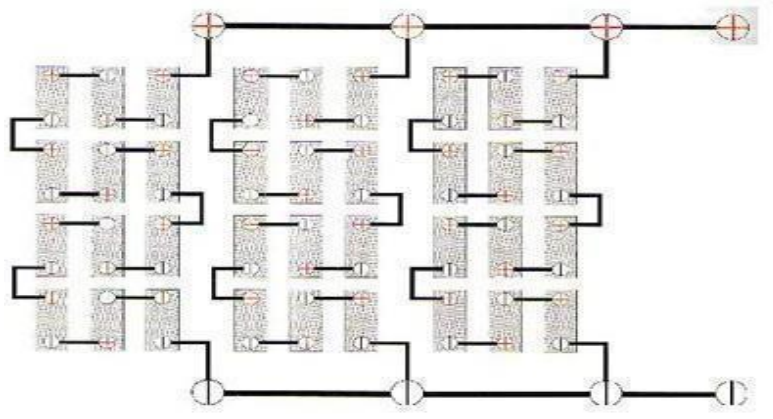
Şekil3.1: Akülerin seri bağlantısı

Paralel bağlantı: Akülerin (+) kutuplarını kendi aralarında, (-) kutuplarını kendi aralarında bağlamak suretiyle yapılan bağlantıya paralel bağlantı denir (Şekil 3.2). Akü grubunun toplam kapasitesi (A/h), paralel bağlı her bir akü blok kapasitesinin toplamına eşittir. Paralel bağlantıda akü gerilimi (V) değişmez; akü grubunun gerilimi, grupta yer alan her bir blokun gerilimine eşittir.

Aküler iki nedenle paralel bağlanır:

- 1- Kapasitenin artırılması (Toplam kapasite, paralel bağlı olan her bir kol kapasitesinin toplamına eşittir.)
- 2- Güvenilirliğin artırılması (Tek bir arızalı akü, kesintisiz güç kaynağı için tüm akülerin yedek enerji beslemesinin kesilmesine neden olmaz.)

6 dan fazla akü grubunun paralel bağlanması yaygın bir uygulama değildir. Hangi bağlantı grubu kullanılırsa kullanılsın seri kolda yer alan tüm hücreler bir biri ile özdeş olmalıdır.



Şekil 3.2: Akülerin paralel bağlantısı

Örnek-1: Bir evin aydınlatması için gerekli olan günlük elektrik tüketimi 1 kW'tır. Bu evin aydınlatması için güneş panel sistemi kurulacaktır. Güneş panel sisteminin kurulacağı ev, şebeke elektriğinin olduğu yerdedir. Bu sistem için kullanılması gerekli olan akü sayısı ve kapasitesini hesaplayalım?

Çözüm: Güneş olmasa bile peş peşe güneşsiz geçecek günlerde evin ihtiyacını karşılayacak kadar akü kapasitesi gereklidir. Şebeke elektriğinin olduğu yerde 2 gün, olmadığı yerde 3 günlük ihtiyacı depolayacak kadar akü kullanımı uygun olacaktır.

2 günlük ihtiyacı depolayacak akünün gücü: $2 \times P = 2 \times 1000W (1 \text{ kw}) = 2000W (2 \text{ kw})$

$P = I \times V$

$2000 = I \times 12$

$I = 2000 / 12 = 166,66A$

Akülerde depolamanın tamamını hatta %70'inden fazlasını kullanmak akünün yapısını kısa zamanda bozmaktadır. Bu yüzden hesaplanmış 166,66 A'lık akü akımını %30 daha artıracaktır.

$I \cdot 30 / 100 = 166,66 \times 30 / 100 = 49,99A$ (Akünün yapısı bozulmasın diye kullanılacak %30'luk kısım)

Son olarak akümüzün kapasitesi $= 166,66A + 49,99A = 216,65A = 220A$ 'lık olmalıdır. 12 V 220 A/h'lik tek bir akü bu güneş panel sistemi için yeterli olacaktır. 12 V 220 A/h'lik tek bir akü yerine 4 adet 12 V 55 A/h'lik akülerin paralel bağlanarak oluşturulması mümkündür.

KAYNAKÇA

- Eshia Enerji SL. (2024). *Eğitim notları*. Eshia Enerji SL. <https://www.eshia.es/>
- N2 Anima GmbH. (2024). *Eğitim notları*. N2 Anima GmbH. <https://n2anima.com/>
- Avrupa Komisyonu. (2024). *Fotovoltaik Cođrafi Bilgi Sistemi*.
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- Kıvanç Solar Panel Üretim Tesisi. (2024).
- Keçel, S. (2007). *Türkiye'nin Değişik Bölgelerinde Evsel Elektrik İhtiyacının Güneş Panelleri ile Karşılanmasına Yönelik Model Geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ewing, R. A. (2003). *Power with Nature: Solar and Wind Energy Demystified* (1st ed.). Pixyjack Press.
- Foley, G. (2005). Fotovoltaik enerji: Gelişmekte olan dünyanın kırsal alanlarında uygulamaları. In A. Kandemir (Ed.), *Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş.* (pp. 10-42). Ankara.
- Gilbert, M. M. (2004). *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. John Wiley & Sons.
- Güven, S. Y. (2006). Güneş pil destekli çevre aydınlatma ve sulama sisteminin örnek bir uygulaması. *Mühendis ve Makine*, 548, 46-48.
- Quaschnig, V. (2005). *Understanding Renewable Energy Systems*.
- Körođlu, T., Teke, A., Bayındır, K. Ç., & Tümay, M. (2010). *Güneş paneli sistemlerinin tasarımı*. Çukurova Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliđi Bölümü.
- Solargis sro. (2024). *Solargis sro*. <https://solargis.com/>
- Elektrik Mühendisleri Odası Mersin Şubesi. (2019). *GES Kitapçığı*.
- Ceylan, İ., & Gürel, A. E. (2022). *Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı*.
- Entegro Enerji Sistemleri. (2024). *Entegro Enerji Sistemleri*. <https://entegro.com.tr/>
- Eşme, U. (2023). *Ders notları*. Tarsus Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- MEB. (2022). *Yenilenebilir Enerji Sistemleri MEGEP modülleri*.
- Solarvizyon. (2023). *Solarvizyon*. <https://solarvizyon.org/>
- 123RF. (2024). *123RF*. <https://www.123rf.com>
- Durak, M., & Özer, S. (2012). *Güneş Enerjisi: Teori ve Uygulama*.
- Phonosolar. (2024). *Phonosolar*. <http://www.phonosolar.com/>
- Smart Güneş Teknolojileri. (2024). *Smart Güneş Teknolojileri*.
<https://www.smartsolar.com.tr/>
- Öztürk, A., & Dursun, M. (2011). *2, 10 ve 20 KVA'lık Fotovoltaik Sistem Tasarımı*. Düzce Üniversitesi.
- Göktekin Enerji. (2023). *İşletme ve bakım checklist*.