

## Soğutma Kompresörlerinin Güneş Enerjisiyle Çalıştırılması İçin Şebeke Bağlantılı Invertör Tasarımı

### Grid Connected Inverter Design for the PV Powered Refrigeration Compressors

Yrd. Doç. Dr. Mustafa Berkant SELEK, Öğr. Gör. Dr. Savaş ŞAHİN, Yrd. Doç. Dr. Yalçın İŞLER

mustafa.berkant.selek@ege.edu.tr, savas.sahin@yahoo.com, islerya@yahoo.com

Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Elektronik Haberleşme Programı, İzmir

Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Kontrol ve Otomasyon Programı, İzmir

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

#### ÖZET

Enerji üretiminde fosil kaynak kullanımını ve artan dışa bağımlılığı azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının, enerji arzı içindeki payını arttırmak gereklidir. Ülkemizde kullanım potansiyeli olan yenilenebilir enerji kaynakları öncelikle güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji ve biyogaz'dır.

Bu enerji kaynaklarının evsel uygulamalardaki kullanımı (buzdolabı, televizyon, aydınlatma vs.) fosil kaynaklardan elde edilen elektrikte büyük bir azalma sağlayacaktır. Soğutma sistemlerinin evsel elektrik tüketimindeki miktarının fazla olması ve her evde bulunması nedeniyle bu çalışmada, güneş enerjisi ile soğutma kompresörlerinin çalıştırılması incelenmiştir. Bu amaçla, güneş enerjisinden elde edilen doğru akım (DC) elektriğin bir invertör yardımıyla, tek fazlı alternatif akıma (AC) dönüştürülmesini sağlayan invertör tasarımı yapılmıştır. Ayrıca, küçük kapasiteli tesislerde kullanılan yenilenebilir kaynaklı elektrik enerjisi fazlasının tasarlanan invertör yardımıyla şebekeye verilmesi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, şebeke, invertör, güneş enerjisi.

#### 1.GİRİŞ

Türkiye, hızlı sanayileşmenin yaşandığı bir ülkedir. Bu durum, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi, ülkenin enerji ihtiyaçlarında büyük bir artış yaratmaktadır. Türkiye, şu anda enerji ihtiyacının çoğunu fosil yakıtlardan (petrol, kömür ve çok büyük oranda doğalgaz) karşılamaktadır. Türkiye'de fosil yakıtların kullanımının artışıyla birlikte enerji kaynaklarında dışa bağımlılık da sürekli artmaktadır. Sanayileşme ile birlikte artan enerji ihtiyacının karşılanmasında, iki ana sorun ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birincisi; birincil yakıt kaynağı olan fosil kaynaklı yakıtların Dünya'da sınırlı miktarda bulunması ve tükenme riski, ikincisi ise; fosil kaynaklı

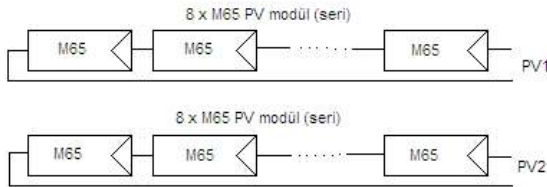
yakıtların yanması sonucu karbondioksit salınımının ve küresel ısınma etkilerinin her geçen gün artmasıdır. Bu sorunların çözümü için uluslararası anlaşmalar yapılmakta ortak çözüm olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarından daha etkin ve ucuz şekilde yararlanmak hedeflenmektedir. (Örn. Türkiye yakın tarihte bu anlaşmalardan biri olan Kyoto protokolünü imzalamıştır). Ülkemizde enerjide artan dışa bağımlılık nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzı içindeki payını arttırmak gereklidir. Bu nedenle Enerji Bakanlığı, 2010-2014 stratejik planında yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin temel hedefi, bu kaynakların elektrik enerjisi üretimi içerisindeki payının 2023 yılında en az %30 düzeyine çıkarılması olarak koymuştur (1). 10/05/2005 tarih ve 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun" bu kaynakların kullanımı ile ilgili düzenlemeleri ve destekleri içermektedir. Ülkemizde kullanım potansiyeli olan yenilenebilir enerji kaynakları öncelikle güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji ve biyogaz'dır. Türkiye'de kullanımda olan rüzgar ve jeotermal enerji santralleri genelde büyük kapasiteli elektrik ve ısı üretim tesisleridir. Ülkemizde kullanım potansiyeli olan yenilenebilir enerji kaynakları öncelikle güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji ve biyogaz'dır. Türkiye'de kullanımda olan rüzgar ve jeotermal enerji santralleri genelde büyük kapasiteli elektrik ve ısı üretim tesisleridir. Bunun yanında rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının küçük ihtiyaçları karşılamak amacıyla kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Bu küçük kapasiteli tesisler genelde şebekeden uzaktır. Şebekeye bağlı olanlarda üretilen elektriğin kullanım fazlasının ulusal şebekeye verilmesi mümkündür. Bunlar tek bir enerji kaynağını kullandığı gibi birden fazla kaynakla hibrid sistem (Ör. rüzgar ve güneş) olarak da kullanılabilir. Türkiye'de kullanılan mevcut küçük kapasiteli sistemler şebekeye bağlı olmayan sistemlerdir. Çünkü ülkemizde şebekeye bağlı küçük sistemler ile ilgili mevzuat henüz yeni oluşturulmaktadır.



Bu sistemlerde, kullanım fazlasının şebekeye verilmesi için çift taraflı sayaç gereklidir. Bu tür sayaçlar da küçük uygulamalar için henüz yaygın değildir. Bu çalışmada, güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin soğutma kompresörlerinde kullanılması için doğru akım (DC) elektriğin bir invertör yardımıyla tek fazlı alternatif akıma (AC) dönüştürülmesi ve şebekeye verilmesi incelenmiştir.

## 2. FOTOVOLTAİK PİLLER

Güneş enerjisinden yararlanma yöntemlerini ısıtma uygulamaları (aktif ya da pasif sistemler) ve elektrik üretimi olarak iki temel gruba ayırabiliriz. Elektrik üretimi fotovoltaik piller ve termal yöntemler ile gerçekleştirilmektedir (2). Fotovoltaik pil, hücrelerden oluşur, birden fazla pil bir araya gelerek modülleri oluşturur. Fotovoltaik pillerden elektrik üretimi 'fotovoltaik etki' ile açıklanmaktadır. Buna göre, güneşten gelen fotonlar belirli bir enerjiye sahiptir, bu fotonlar fotovoltaik pili oluşturan hücreye çarptığı zaman bir kısmı yansır, bir kısmı absorbe edilir ve bir kısmı da hücreden geçer. Absorbe edilen foton elektrik üretir (2). Bu çalışmada, Arcosolar marka fotovoltaik modüller kullanılmıştır. Bu modüller Şekil-1'de görüldüğü gibi 8 tanesi seri olmak üzere iki kol halinde bağlanmışlardır.



Şekil-1 Fotovoltaik modüllerin bağlantısı 2x8xM65

Şekil-2'de bu modüllerin bir fotoğrafı görülmektedir.



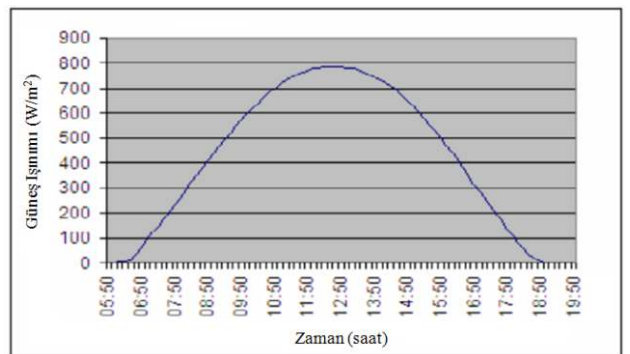
Şekil-2 Fotovoltaik modüllerin görünüşü

Elde edilen meteorolojik verilerden, İzmir'de kurulacak her 1 kWp'lik sistemin ortalama, günde 4,12 kWh enerji üreteceği tahmin edilmektedir (3). Bu da sistemin yaklaşık ortalama, günde dört pik saat çalışacağını göstermektedir. Gelen güneş radyasyonu direkt ve difüz olmak üzere iki bileşen halinde incelenir. Direkt bileşen, güneşten tek bir doğrultu üzerinden gelen güneş radyasyonudur. Difüz bileşen ise bulutlardan, yerden, atmosferden, binalardan vs. yansıyıp yüzeye ulaşan güneş radyasyonudur. Toplam güneş radyasyonu ise bu iki bileşenin toplamıdır. Dolayısıyla eğimli yüzeye gelen toplam güneş radyasyonunda bu iki bileşenin katkısı ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Eğer yataya gelen direkt ( $I_b$ ) ve difüz güneş radyasyonu ( $I_d$ ) biliniyor ise  $\alpha$  eğimli yüzeye gelen güneş radyasyonu Liu ve Jordan (1963)'a göre (4);

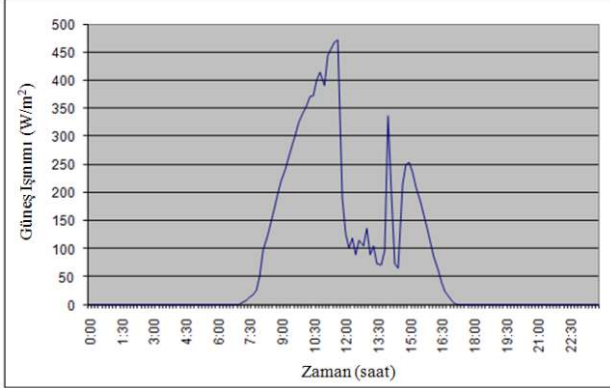
$$I_T = I_b R_b + I_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (I_b + I_d) R_u \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (1)$$

hesaplanabilir (2).  $R_u$  yerin yansıtma katsayısıdır ve değişik yüzeyler için farklı değerler almaktadır. Bu çalışmada yansıtma katsayısı 0.2 olarak kullanılmıştır. Burada  $R_b$  direkt radyasyon için oran faktörüdür. Şekil-3 a ve b de güneş radyasyonu değerleri verilmiştir.

$$R_b = \frac{\text{Eğimli yüzeydeki direkt güneş radyasyonu}}{\text{Yatay yüzeydeki direkt güneş radyasyonu}} = \frac{I_{bT}}{I_b} \quad (2)$$



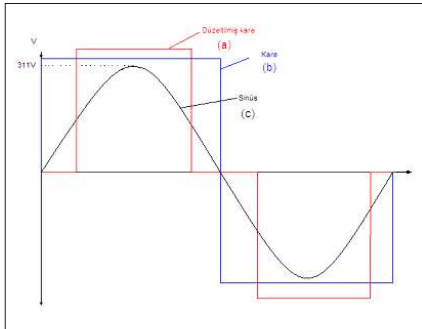
Şekil 3a. Açık bir gün için İzmir Bornova'da ölçülen güneş ışınımı örneği



Şekil 3b. Bulutlu bir gün için İzmir Bornova'da ölçülen güneş ışınımı örneği

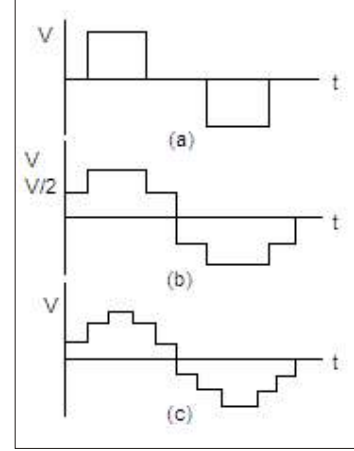
### 3. İNVERTÖRLER

Güç elektroniğinde doğru akımı alternatif akıma çevirmek için kullanılan cihazlara "invertör" denir. Fotovoltaik sistemlerde üretilen elektriğin AC bir yükte kullanımı söz konusu ise invertör gereklidir. Invertörler, fotovoltaik sistemler içerisinde en fazla kesintiye yol açan, arıza yapan elemanlardır. Yapısal olarak verdikleri çıkışa göre, kare dalga, düzeltilmiş kare dalga ve sinüs invertörler olarak üç kısma (Şekil-4) ayrılır (3).



Şekil 4. (a) Düzeltilmiş kare, (b) Kare ve (c) Sinüs sinyal şekilleri

Şebekeye bağlı çalışacak olan invertörlerde çıkış, sinüs sinyali olmak zorundadır. Literatürde bu harmonikleri azaltmak için birçok yöntem kullanılmıştır. Bunlardan en önemlileri, çok seviyeli (multilevel) yapılarıdır. Çalışması temel olarak kare dalganın, bir sinüse benzetilmesi için, birden fazla seviye kullanılması prensibine dayanır. Şekil-5'de (a) düzeltilmiş kare (b) iki seviyeli (c) 3 seviyeli DC olarak seviyelendirilmiş kare dalgalar görülmektedir.



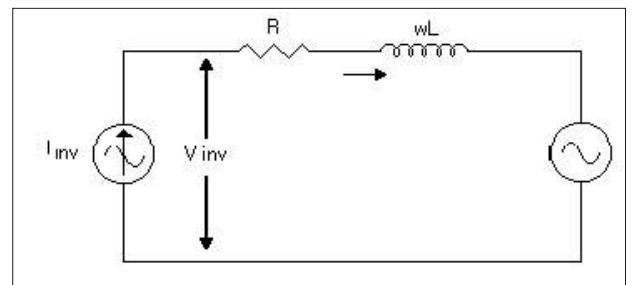
Şekil 5. (a) Düzeltilmiş kare (b) 2 Seviyeli (c) 3 Seviyeli multilevel kare dalga şekilleri

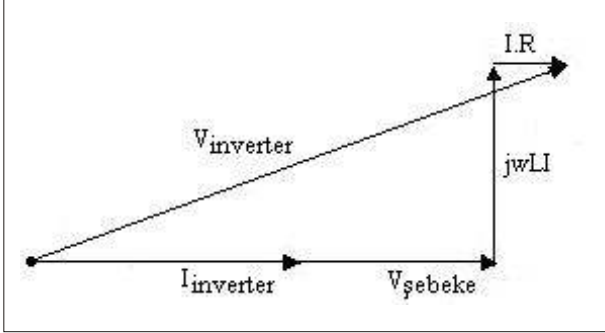
### 3.1 İNVERTÖRÜN ŞEBEKEYE BAĞLANTISI

Tasarlanan invertör şebekeye bağlanacağından özel tasarlanmıştır; bir santral gibi senkronizasyon koşulları sağlanmadığı sürece invertör şebekeye bağlanamaz (3). Bu koşullar;

- ✓ Invertör AC çıkış gerilimi şebeke gerilimine eşit olmalıdır.
- ✓ Üretilen sinüsün frekansı şebeke frekansına eşit olmalıdır.
- ✓ Üretilen sinüsün fazı şebeke fazına eşit olmalıdır.

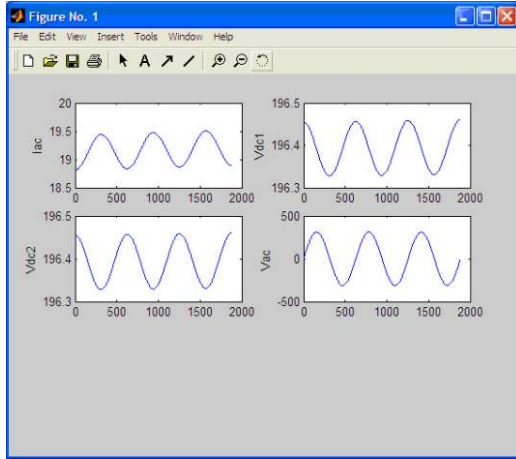
Literatürde "aktif faz kompanzasyonu" amaçlı kullanımları olmasına rağmen tasarlanan invertör şebeke güç faktörünü düzeltmek için tasarlanmamıştır, bu konu farklı bir çalışmada incelenebilir. Tasarlanan sistemde üretilen akım şebeke gerilimi ile aynı fazdadır.





Şekil 6. Şebeke Bağlantılı Modeli ve Fazör Diyagramı

Şekil 6.'da verilen sistem, diferansiyel denklem olarak yazılmış ve sayısal çözümü Matlab programı yardımı ile Runge-Kutta yöntemi ile yapılmıştır. Sistem çözümlemesinden elde edilen değerler Şekil-7'de verilmiştir. Burada PV den elde edilen, DC gerilimdeki dalgalanmaları invertörden çekilen akıma bağlı olarak görmek mümkündür. Ayrıca farklı L ve C değerleri için elde edilen değerler gerçeğe uygun sonuçlar vermektedir. Vac ile lac sırasıyla alternatif şebeke gerilimini ve akımını göstermektedir. Vdc ise PV den elde edilen doğru gerilimi göstermektedir.

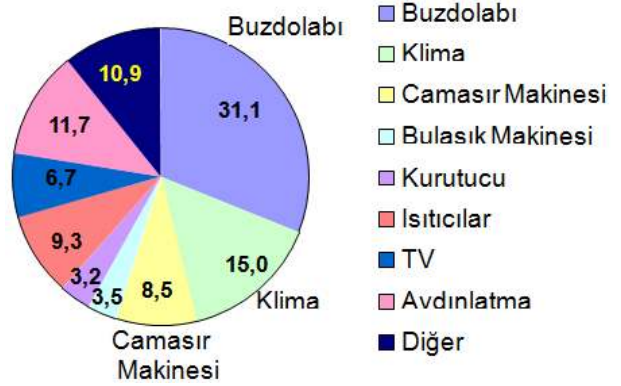


Şekil 7. Sayısal Çözümlemeden Elde Edilen Sonuçlar

### 3.2 BUZDOLABI ELEKTRİK TÜKETİMİ

Ev tipi soğutucularda tek fazlı yardımcı sargılı ve kondansatör startlı asenkron motorlarla donatılmıştır. Ancak, bütün elektrik motorlarında olduğu gibi, buzdolabı kompresörü elektrik motoru 220VAC gerilimle direk olarak çalıştırılması durumunda nominal akım değerlerinin yaklaşık 3-4 katı fazla akım çekmektedir bu ilk güç devrelerinin hesaplarında

dikkate alınmalıdır(5). Şekil-8 de konutlarda bulunan elektrikli aletlerin tüketimleri verilmiştir. Burada buzdolaplarının toplam tüketimdeki yerinin oldukça büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Konutlarda Elektrik Tüketimi (6)

Evsel kullanımı olan bir buzdolabını günlük elektrik tüketimi Tablo-1 de enerji sınıflarına göre verilmiştir. Bilindiği üzere buzdolabı yılın 365 günü kullanılmaktadır, bu nedenle toplandaki enerji tüketimi oldukça yüksektir.

Tablo-1 Buzdolabı elektrik tüketimi (7)

Enerji sınıfı	Günlük elektrik tüketimi (kWh/24 Saat)
B	1.7
A	1.23
A+	1.07
A++	0.5

### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Tasarlanan şebekeye bağlı multilevel invertör sorunsuz olarak çalıştırılmış, üretilen enerji şebekeye aktarılmıştır. Çeşitli meteorolojik verilerin ve üretilen enerjinin karşılaştırılması olanağı elde edilmiştir. Öngörüldüğü gibi daha düşük gerilimli anahtarlama elemanları ile de sonuca ulaşılmış, sistemin gerçek zamanda meteorolojik ve elektrikselsel verileri izlenmiştir. Devre, yeterli sayıda fotovoltaik panel bulunmadığından, düşük gerilimli bir sinüs üretmekte, bu üretilen sinüsün şebekeye verilmesi için de yine transformatör kullanılmakta, dolayısı ile çalışma verimi, fotovoltaik voltajının yeterince yükseltilememesinden dolayı düşük kalmaktadır. Düşük güçlerde çalışması da, invertör verimliliğinin istenilen seviyede olmamasının nedenlerinden birisidir.

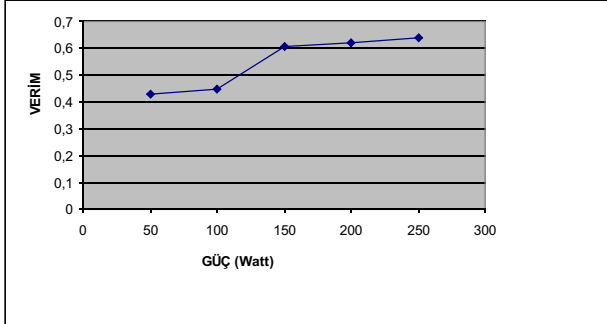
Örnek verilecek olursa; ışınım kötü sayılabilecek bir anda saat 17:00'de 18.04.2005'de, (Meteoroloji sensöründen alınan bilgiler  $482 \text{ W/m}^2$  iken, yani maksimum fotovoltaik panel gücü  $309,2 \text{ W}$  iken);

$$V_{dc1}=111 \text{ V} \quad I_{dc1}=1 \text{ A iken,}$$

$P_{DC}$  yaklaşık  $111 \times 1 = 111 \text{ W}$  bulunur. (Buradan fotovoltaik verimliliğinin net olarak %72'sine düşmüş olduğu yorumu yapılabilir).

Aynı anda şebeke tarafında  $V_{AC}=225.5 \text{ V}$   $I_{ac}=0,63 \text{ A}$  ölçülmüştür. Buradan  $P_{AC}$  yaklaşık  $142 \text{ W}$ , İnvörtör verimi ise yaklaşık % 64 bulunmuştur.

Bu verime, transformatör ve filtre bobini kayıpları dâhil olduğundan, net verimlilik olarak bakılabilir. Şekil-9'da bu verim eğrisi değişik fotovoltaik güç değerleri için verilmiştir. Yeterli panel sayısı sağlandığı takdirde, DC link voltajının artması ve transformatörün aradan çıkması ile verimlilik daha da artacaktır.



Şekil 9. İnvörtör Verim Eğrisi (3)

## 5. SONUÇ

Sonuç olarak, fotovoltaik sistemlerde kullanılmak üzere tasarlan şebekeye bağlı çalışan invörtör ile  $300 \text{ W}$  güç seviyelerinde %70-80 verimle ev tipi bir buzdolabının güneş enerji destekli çalışmasını sağlayacağı görülmektedir. Bu sayede yılın bütün günü kullanım halinde olan buzdolaplarının elektrik tüketimi alternatif enerji kaynağından sağlanarak toplam tüketimde yaklaşık %30 luk bir enerji tasarrufu sağlanacaktır. ❄

## 6. KAYNAKLAR

- (1) Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı (2010-2014).
- (2) John A. Duffie, William A. Beckman (1991) Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley.
- (3) Selek, M. B., "Fotovoltaik Sistemler İçin Şebekeye Bağlı Yeni Bir Multilevel İnvörtör Tasarlanması,

Şebekeye Bağlanması ve İzmir Koşullarında Denenmesi", Doktora tezi, İzmir,2005.

(4) Liu, B.Y.H., Jordan, R.C. 1963. A rational procedure for predicting the long term performance of flat plate solar energy collectors. Solar Energy, Vol. 7, p. 53.

(5) Krause, P. C., Wasynczuk, O.,Sudhoff, S. C., "Analysis of Electric Machinery", Chapter 11, s.425-438, IEEE Press, New York, 1995.

(6) Beyaz Eşya Sanayicileri Derneği (BESD) Raporu, 2010.

(7) <http://www.alternaturk.org/A++enerji-tasarrufu.php>