

ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK ÜRETİMİN DAĞITIM TRANSFORMATÖR ÖMÜR KAYBI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Banu ÖZTÜRK UÇAR

ozturkbanu@itu.edu.tr

Mustafa BAĞRIYANIK

bagriy@itu.edu.tr

ÖZET

Ülkemizde şebekeye bağlı Fotovoltaik üretim her geçen gün artmaktadır. Dağıtım şebekesine bağlı fotovoltaik üretim mevsimlere bağlı olarak farklı katılımlar gösterdiğinden şebeke yük dağılımını etkilemekte, dağıtım sisteminde yer alan hatlar, kablolar ve transformatörler gibi donanımın aşırı yüklenmesine yol açabilmektedir. Dağıtım sisteminde yer alan transformatör ve kablolar gibi bileşenlerin ömürleri işletim koşullarına bağlı olarak değiştiğinden, örneğin fotovoltaik sistemler gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı dağıtım üretim sistemlerinin sisteme katılımları ile ortaya çıkan aşırı yüklenmeler donanımın yaşlanmasını hızlandırmaktadır. Bu nedenle, fotovoltaik sistemlerin dağıtım transformatörlerinin yaşlanmasına etkilerinin incelenmesi donanımın verimli kullanımı açısından önemli olmaktadır. Bu çalışmada örnek bir tüketim bölgesi göz önüne alınarak, fotovoltaik üretimin dağıtım transformatörü ömür kaybı üzerine etkileri mevsimsel etkiler de göz önüne alınarak incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Transformatör yaşlanması, dağıtım üretim, fotovoltaik üretim

1.GİRİŞ

Yük talebindeki artışlar, geleneksel enerji kaynaklarının tükenmesi alternatif enerji kaynaklarına olan talebi tüm dünyada artırmıştır. Çevresel kaygılar sonucu ortaya çıkan karbondioksit salınımindaki kısıtlamaları içeren uygulamalar da yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak enerji üretiminin artmasına sebep olmuştur [1,2,3].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan fotovoltaik üretime olan ilgi fotovoltaik teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak son

yıllarda büyük artış göstermiştir. 2010 yılında açıklanan raporda Avrupa'nın 2020 yılı güneş enerjisi hedefini 84.4GW olarak açıklanmıştır. 2012 yılı verilerine göre 20.7GW güneş enerjisi gücüne sahip Almanya'nın 2020 yılı hedefi olarak 51.8GW ile en büyük güneş enerjisi hedefi olan ülke Almanya bulunmaktadır [4].Coğrafi konumu ile büyük güneş enerjisi potansiyeline sahip olan ülkemizde de güneş enerji sistemlerinin kurulumu için büyük bir pazar bulunmaktadır. TEAŞ 2023 üretim planlarında 3000MW güneş enerjisi kurulumunu hedeflenmektedir [5].

Şebekeye bağlı fotovoltaik üretim birimlerinin sayısının giderek artması elektrik dağıtım şebekesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi gerekliliğini arttırmıştır [1,2,3]. Şebeke yükünü hafifletmesi olumlu etkisi yanında fotovoltaik katılımın güneşlilik durumuna bağlı olarak değişim göstermesi gerilim dalgalanmaları sebep olmaktadır. Dağıtım sistemindeki aktif güç dağılımını değiştirdiği için güç faktörü bozulmalarına sebep olmaktadır. Ayrıca tek yönlü güç akışı için tasarlanmış olan şebekenin çift yönlü güç akışına maruz kalması durumunda koruma planlarında aksamalar olmaktadır. Tek fazlı fotovoltaik üretimin dağıtım sistemine dengeli dağılmaması sebebiyle de fazlar arasında gerilim dengesizliği olmaktadır. [1,6].

Farklı yük ve ortam sıcaklıklarında çalışan transformatörler güç sisteminin en önemli elemanlarından birisidir. Transformatörlerin yüke bağlı çalışma koşulları ve ortam sıcaklıkları tasarım karakteristikleri dışında olduğunda, yaşlanma hızlanmakta ve büyük arızaların oluşma olasılığı artmaktadır.

Bu çalışmada, örnek bir tüketim bölgesindeki çatı tipi fotovoltaik üretimin yılın yaz ve kış aylarındaki değerlerinin farklı güçte seçilen dağıtım transformatörü faydalı ömründeki azalmaya olan etkileri incelenmeye çalışılmıştır.

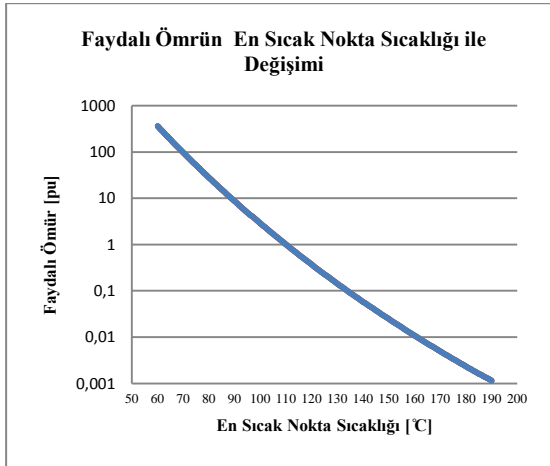
2.Transformatör Faydalı Ömründeki Azalma

Transformatör ömrünün azalması yani yaşlanması yalıtımın yaşlanması anlamına gelmektedir. Bu konuda yapılan uzun süreli çalışmalar sonucunda, transformatör yaşlanması ve ömür kaybı hesapları IEEE ve IEC standartlarında da yer almaktadır [7]. Yaşlanma veya yalıtımdaki bozulma, sıcaklığın, nem ve oksijen oranının zamana göre fonksiyonudur.

Transformatör faydalı ömrünü etkileyen en önemli parametre en sıcak nokta sıcaklığıdır (Θ_H). En sıcak nokta sıcaklığının belirlenmesi için deneysel çalışmalar sonucunda transformatör faydalı ömrü ile en yüksek sıcaklık arasındaki ilişki Arrhenius reaksiyon teorisinin uyarlanmasıyla IEEE standartlarında şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$Tr. \text{ faydalı ömrü [p.u.]} = A \cdot EXP\left[\frac{B}{Q_H+273}\right] \quad (1)$$

Burada Θ_H en sıcak nokta sıcaklığı($^{\circ}C$), A ve B ise sabitlerdir. En sıcak nokta sıcaklığı $110^{\circ}C$ altında kalındığında faydalı ömür 1pu olarak hesaplanmaktadır [7]. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu $A=9.8 \times 10^{-18}$ ve $B=15000$ olarak standartlarda yer almıştır. Faydalı ömrün, Θ_H en sıcak nokta sıcaklığı($^{\circ}C$) ile değişimi Şekil.1’ de verilmiştir.



Şekil 1: Faydalı Ömrün En Sıcak Nokta Sıcaklığı ile değişimi

Yaşlanma hızı, transformatörün $110^{\circ}C$ derecedeki yaşlanma hızıyla mukayese yapılabilmesini sağlayan bir orandır. Verilen yük ve sıcaklık değerlerinde,

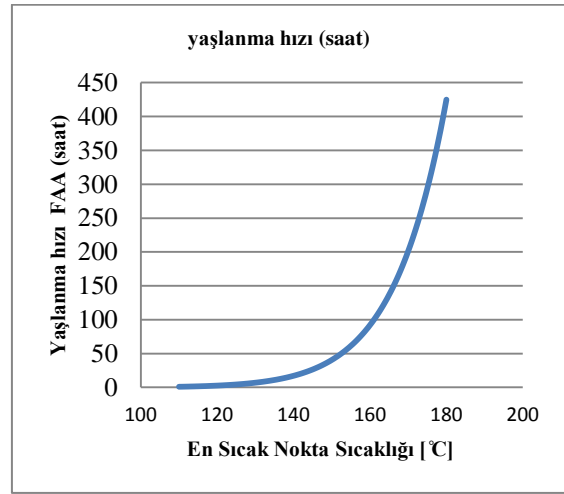
F_{AA} ; transformatör yalıtım ömrünün yaşlanma hızı

Bu büyüklüklerin tanımları IEEE standartında yer almaktadır [7].

$$F_{AA} = e^{\left[\frac{15000}{383} - \frac{15000}{\Theta_H+273}\right]} \quad (2)$$

Yaşlanma hızı, $110^{\circ}C$ en sıcak nokta sıcaklığında 1 değerini almaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda 1 den büyük, düşük sıcaklıklarda ise 1den küçük değer almaktadır. Şekil.3’de en sıcak nokta sıcaklığı ile yaşlanma hızı’nın değişimi görülmektedir.

Transformatör ömür kaybının hesaplanması için en sıcak nokta sıcaklığının hesaplanması gerekir. En sıcak nokta sıcaklığı deneysel çalışmalarla büyük doğrulukla hesaplanabilmektedir.



Şekil 2: Yaşlanma hızının en sıcak nokta sıcaklığı ile değişimi

En sıcak nokta sıcaklığı, üst yağ sıcaklığından, yük durumundan ve ortam sıcaklığından standartlarda yer alan termal modellerle tahmin edilebilmektedir. Üst yağ sıcaklığı ölçümü elimizde yoksa en sıcak nokta sıcaklığı yük durumu ve ortam sıcaklığında tahmin edilmektedir.

IEEE C57.91-1995 standardı sıcaklık değişimlerini yük değişimine göre hesaplamaktadır. Yük değişimleri ile oluşan üst yağ sıcaklığı ve en sıcak nokta sıcaklığı hesapları basitleştirilmiştir. Sıcaklık değişimleri yağ viskozitesinde değişikliklere sebep olur. Yük kaybı ve yağ viskozitesindeki değişimi hesaplara katmak için denklemlerde m ve n katsayıları kullanılmıştır. Soğutma tipine bağlı olarak 0-1 arasında bir değer almaktadır. En sıcak nokta sıcaklığı (Θ_H), ortam sıcaklığı (Θ_A), ortam sıcaklığına göre üst yağ sıcaklığı değişimi ($\Delta\Theta_{TO}$) ve yağ sıcaklığına göre sargı sıcaklık değişimi ($\Delta\Theta_H$) değerinin toplamından oluşmaktadır.

$$\Theta_H = \Theta_A + \Delta\Theta_{TO} + \Delta\Theta_H \quad (3)$$

$$\Theta_{TO} = \Theta_A + \Delta\Theta_{TO} \quad (4)$$

Yük değişimlerine ve bir yağ sabitine bağlı olarak üst yağ sıcaklık değişimi :

$$\Delta\Theta_{TO} = (\Delta\Theta_{TO,u} - \Delta\Theta_{TO,i}) \left(1 - \exp^{-\frac{t}{\tau_{TO}}}\right) + \Delta\Theta_{TO,i} \quad (5)$$

olarak ifade edilir. Üst yağ sıcaklığı değişimi ilk değeri :

$$\Delta\Theta_{TO,i} = \Delta\Theta_{TO,R} \left[\frac{(K_i R + 1)}{(R + 1)}\right]^n \quad (6)$$

ve üst yağ sıcaklığı son değeri:

$$\Delta\Theta_{TO,u} = \Delta\Theta_{TO,R} \left[\frac{(K_u R + 1)}{(R + 1)}\right]^n \quad (7)$$

olarak ifade edilmektedir. En sıcak nokta sıcaklık artışı yüke ve zamana bağlıdır.

$$\Delta\Theta_H = (\Delta\Theta_{H,u} - \Delta\Theta_{H,i}) \left(1 - \exp^{-\frac{t}{\tau_w}}\right) + \Delta\Theta_{H,i} \quad (8)$$

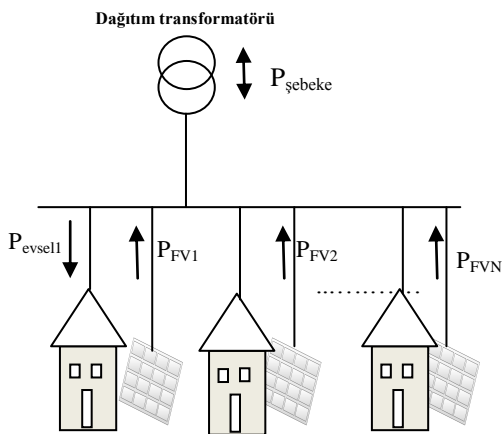
Üst yağ sıcaklığına göre en sıcak nokta sıcaklık değişimi ilk değeri:

$$\Delta\Theta_{H,i} = \Delta\Theta_{H,R} K_i^{2m} \quad (9)$$

Üst yağ sıcaklığına göre en sıcak nokta sıcaklık değişimi son değeri :

$$\Delta\Theta_{H,u} = \Delta\Theta_{H,R} K_u^{2m} \quad (10)$$

olarak hesaplanabilir [7].



Şekil.3: N adet ev tipi şebeke bağlantılı FV üretim

3. Fotovoltaik Üretim

Şebekeye bağlı fotovoltaik üretim(FV) bulunduran evsel tüketicilerin bulunduğu bir şebeke yapısı ve aktif güç akışları Şekil.3 de görülmektedir.

Transformatör çekilen net güç değeri:

$$P_{tr.net} = \left(\sum_{i=1}^{n_t} P_{tüketim,i} + \sum_{i=1}^{n_e} P_{kayıp,i}\right) - \sum_{i=1}^{n_{FV}} P_{FV,i} \quad (11)$$

formülüyle hesaplanabilir. Bu eşitlikte;

$P_{tüketim,i}$: i . tüketicininin (ev) tüketimi

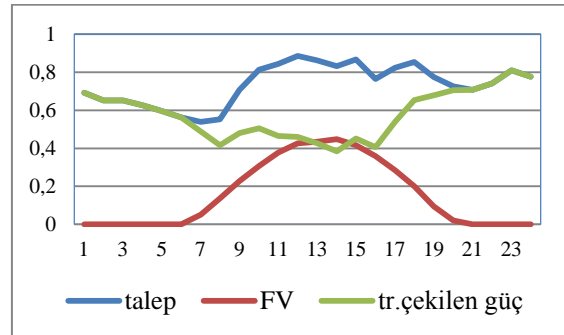
$P_{kayıp,i}$: i. hat elemanı üzerindeki kayıp

P_{FV} :i. FV birim üretimi

İfade etmektedir. $P_{tr.net}$ değeri transformatör yüklenmesi üzerinde etkilidir.

4. Örnek Sistem İncelemesi

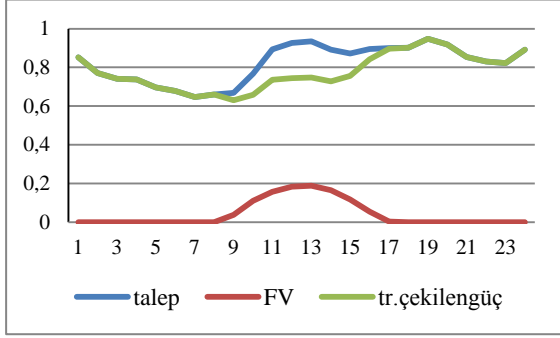
Fotovoltaik sistemlerin dağıtım transformatörlerinin yaşlanmasına etkilerinin incelenmesi amacıyla bu çalışmada örnek bir tüketim bölgesi göz önüne alınarak, dağıtım transformatörü ömür kaybı üzerindeki etkiler mevsimsel etkiler de göz önüne alınarak incelenmiştir. İncelemelerde İstanbul Teknik Üniversitesi yerleşkesinde bulunan fotovoltaik panellerden 2009 yılına ait toplanmış verilerden yararlanılmıştır. Bu veriler temel alınarak, bir dağıtım transformatöründen beslenen 5m²lik 500W çatı tipi panel bulunduran 1000 tüketiciden oluşan bir sistem tasarlanmıştır [8].



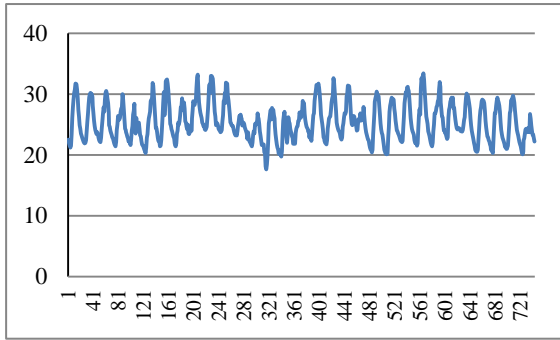
Şekil 4: 1 Temmuz gününe ait talep, fotovoltaik üretim ve transformatörden çekilen gücün değişimi

Transformatörden çekilen gücün, yük profilininin temmuz ayındaki ve ocak ayındaki 24 saatlik

değişimi ve FV üretiminin 24 saatlik değerleri Şekil.4 ve Şekil.5 de verilmiştir. Yaz aylarındaki FV üretiminin transformatör gücüne göre talep güce katkısı oldukça yüksek iken, ocak ayında bu oran oldukça düşüktür. Transformatörden çekilen güç değeri 2000kVA transformatör gücüne göre normalize edilmiş değerlerdir.

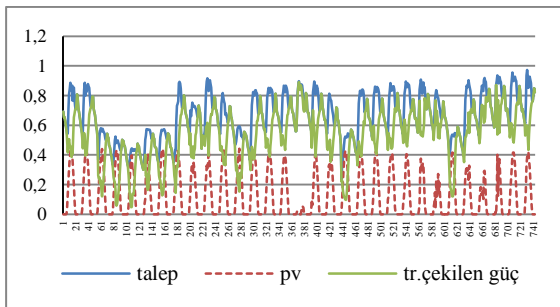


Şekil 5: 20 Ocak gününe ait talep, fotovoltaik üretim ve transformatörden çekilen gücün değişimi

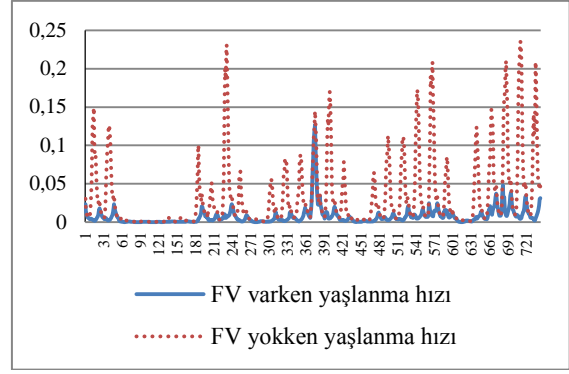


Şekil.6: 2009 yılı temmuz ayı hava sıcaklığı değerleri

Fotovoltaik katılımın transformatör ömrüne etkisini incelemek için 2009 yılı temmuz ayı hava sıcaklığı Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir (Şekil 6) [8]. Oluşturulan senaryoda Temmuz ayına ait talep gücü, transformatörden çekilen güç değerleri ve FV üretim değerleri Şekil 7'de grafikte verilmiştir. FV üretimin yüksek olduğu temmuz ayında 1 bulutlu gün dışında transformatör yük durumuna olumlu katkıları bulunduğu görülmektedir.

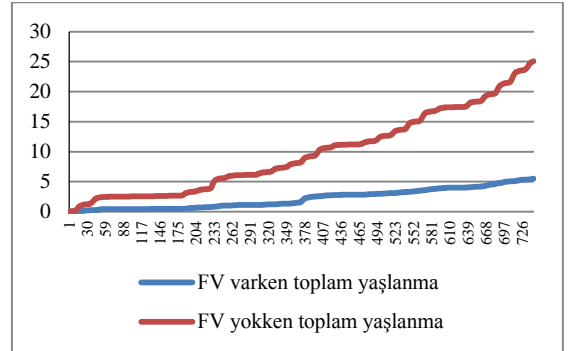


Şekil 7: Temmuz ayına ait talep, FV üretim ve tr. çekilen güç değerlerinin değişimi

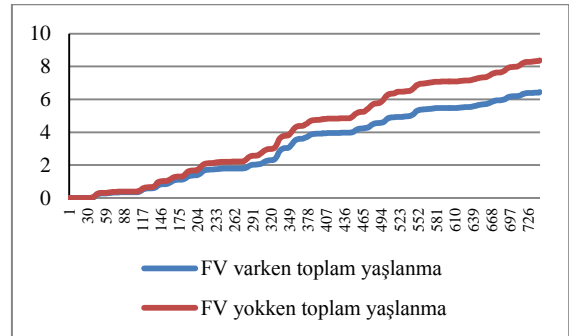


Şekil 8: Transformatörün temmuz ayına ait yaşlanma hızının değişimi

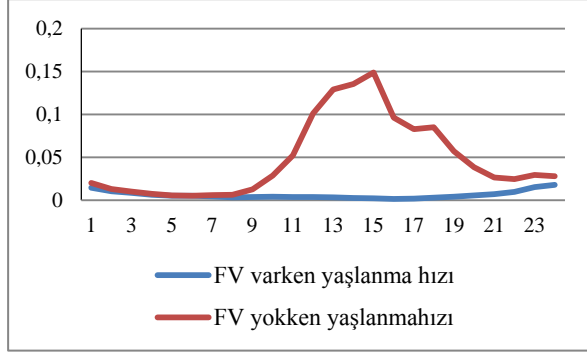
Transformatör yük durumundaki değişiminin temmuz ayı değerleri kullanılarak 2000kVA'lık dağıtım trafosunun yaşlanma hızı ve toplam yaşlanma süresine olan etkileri hesaplanmıştır. Yaşlanma hızının FV üretiminin olması ve olmaması durumundaki değişimi Şekil 8'de grafik olarak sunulmuştur. Yaşlanma hızının FV üretimine bağlı olarak düştüğü görülmektedir. Toplam yaşlanma süresinin FV üretim olması ve olmaması halindeki değişimi de Şekil 9 de verilmiştir. FV üretimin transformatör toplam yaşlanma süresine olumlu etkilerinin olduğu görülmektedir.



Şekil 9: Temmuz ayı toplam yaşlanma süresinin değişimi



Şekil 10: Ocak Ayı toplam yaşlanma süresinin değişimi



Şekil 11: 1 Temmuz günü için yaşlanma hızı değişimi

Şekil 11’de FV üretimin fazla olduğu 1 temmuz günü için yaşlanma hızının gün içerisindeki değişimi verilmektedir. Yoğun FV üretiminin olduğu saatlerde yaşlanmanın durduğu, transformatör ömrüne olumlu katkılar yaptığı görülmektedir.

Tablo 1: Dağıtım transformatörü termal değerleri:

$\Delta\Theta_{TO,R}$	$\Delta\Theta_{H,R}$	m	n	R	τ_{TO}	τ_H
55 °C	25 °C	0.8	0.8	7	3.2	0.1

İncelemelerde Tablo 1 de verilen değerler göz önüne alınarak dağıtım transformatörünün yaşlanma hızı ve toplam yaşlanma değerleri hesaplanmıştır.

4.SONUÇ

Dağıtım şebekesine bağlı fotovoltaik üretim mevsimlere bağlı olarak farklı katılımlar gösterdiğinden şebeke yük dağılımı üzerinde meydana gelen değişim, dağıtım sisteminde yer alan transformatörlerin yaşlanmasını etkilemektedir. Bu çalışmada örnek bir tüketim bölgesi göz önüne alınarak, gerçek ölçüm değerlerine dayalı oluşturulan fotovoltaik üretimin dağıtım transformatörü ömür kaybı üzerine etkileri mevsimsel etkiler de göz önüne alınarak incelenmiştir.

Elektrik dağıtım sistemi günlük yük dağılımı üzerinde FV üretimin fazla olduğu yaz aylarında kış aylarına göre transformatör ömür kaybına olumlu etkilerinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Güneşlenme değerlerinin yüksek olduğu güney illerimizde bu etkinin daha yüksek olacağı görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı dağıtık üretim sistemlerinin üretiminin yük talebinin altında kaldığı durumlarda transformatör yaşlanmasına olumlu

etkileri olmaktadır. Ancak, yük talebinin üzerinde yerel üretim olması halinde transformatör üzerinden ters yönlü güç akışı olması ve akış miktarına bağlı olarak yük eğrileri üzerinde meydana gelecek değişim, transformatör yaşlanması üzerinde olumsuz etki yaratabileceğinden incelenmelidir.

5. KAYNAKLAR

[1] T. Gonen, “*Electric Power Distribution Engineering*”, second edition, CRC press, 2008.

[2] S.M. Mousavi Agah, H.Askarian Abyaneh “*Distribution Transformer Loss of Life Reduction by Increasing Penetration of Distributed Generation*” IEEE Transaction on Power Delivery, vol.26,no:2, April 2011.

[3] S.M. Mousavi Agah, H.Askarian Abyaneh “*Qualification of the Distribution Transformer Life Extension Value of Distributed Generation*” IEEE Transaction on Power Delivery, vol.26,no:3, July 2011.

[4] N.M Pearsall,”*PV research and development in Europe-A view from the Technology Platform*” 37th IEEE Photovolt.Spec.Conf.,pp.200-205,June 2011.

[5] T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı sayfası <http://www.enerji.gov.tr>

[6] S.C.Vegunta,P. Twomey, D.Randless ”*Impact of PV and Load Penetration on LV Network voltages and Unbalance and Potential Solutions*”,22nd International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Stockholm, 10-13 June 2013.

[7]”*IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers*”, IEEE, Std. C57.91-1995(R2004).

[8] A.Batman,F.G.Bağrıyanık,Z.E.Aygen,O.Gül, M. Bağrıyanık,”*A feasibility study of grid connected photovoltaic systems in İstanbul,Turkey*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16(2012),5678-5686.

[9] T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü sayfası <http://tumas.mgm.gov.tr/wps/portal/>