

Güneş Enerjisi Santrallerinde Elektromanyetik Alan Seviyeleri ve Mesleki Maruziyet Analizi

Electromagnetic Field Levels and Occupational Exposure Analysis in Solar Power Plants

Merve Bedeloğlu^{1,2}, Niyazi İl¹, Kayhan Ateş¹, Şükrü Özen¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye

mrvbedeloglu@gmail.com, niyaziil@akdeniz.edu.tr, kayhanates@akdeniz.edu.tr,
sukruozen@akdeniz.edu.tr

²ALTSO Meslek Yüksek Okulu
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Antalya, Türkiye

merve.bedeloglu@alanya.edu.tr

Öz

Elektrik enerjisine olan ihtiyacın artması, bu alandaki üretim teknolojilerinin gelişmesine ve bu teknolojilerle ilgili hem insan sağlığına hem de çevresel etkilerine yönelik çalışmaların yoğunlaşmasını beraberinde getirmiştir. Yapılan bu çalışmada, yerleşim yerlerinden uzakta yer alan bir güneş enerji santralinde manyetik alan şiddetleri ölçülmüş ve santralde farklı manyetik alan kaynakları yakınlarındaki ölçüm sonuçları sunulmuştur. Ölçümler, Antalya'nın Elmalı ilçesinde bulunan bir güneş enerji santralinde (GES) yük altında gerçekleştirilmiştir. Manyetik alan ölçümleri trafo köşkü çevresinde, fotovoltaik paneller üzerinde ve invertör (evirici) önünde yapılmıştır. Ölçülen manyetik alan şiddetleri ele alındığında paneller önünde yaklaşık 0.19 μT gözlenmişken, evirici önünde 2.2 μT elde edilmiştir. Trafo köşkü çevresinde ise 7.95 μT 'ya ulaşmıştır. Sonuçlar, uluslararası kuruluşun yayınladığı elektromanyetik alanlara maruziyet limitleri ışığında yorumlanmıştır. Bu sayede güneş panellerinin elektromanyetik risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler, Güneş enerji santrali, manyetik alan, maruziyet analizi, biyoelektromanyetik, elektromanyetik radyasyon, elektromanyetik kirlilik, ölçüm, EMU.

Abstract

The increase in the need for electrical energy has led to the development of production technologies in this mentioned field and the condensation of both human health and environmental impacts and studies related to these technologies. In this study, the magnetic field levels were measured in a solar power plant located far from the settlement areas and the measurements of the vicinity of the different magnetic field sources results were presented. The measurements were carried out under load in a

solar power plant in Elmalı, Antalya. Magnetic field measurements were performed around the transformer, on photovoltaic panels and in front of the inverter. When the measured magnetic field levels are examined, approximately 0.19 μT was observed in front of the panels, while 2.2 μT was obtained in front of the inverter. Also it reached 7.95 μT around the transformer kiosk. The results were evaluated in the light of the exposure limits to electromagnetic fields published by international organization. In this way, the electromagnetic risk assessment of the solar panels was carried out.

Keywords, Solar power plant, magnetic field, exposure analysis, bioelectromagnetic, electromagnetic radiation, electromagnetic pollution, measurement, EMC.

1. Giriş

İnsanoğlunun ihtiyaç duyduğu temel unsurlardan biri enerjidir. Şüphesiz ki her geçen gün hızla artan teknoloji ve sanayi beraberinde aynı hızla enerjiye olan ihtiyacı da doğurmaktadır. Var olan tüketilebilir enerji kaynaklarının sonlu olması, toplumları alternatif enerji kaynakları bulmaya yönlendirmekte ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmaktadır. Rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, dalga enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra, özellikle güneş gibi sonsuz enerji kaynağı aracılığıyla elektrik üreten güneş enerji sistemlerinin popüleritesi giderek artmaktadır.

Güneş enerjisinden elektrik üretimi yarı iletken teknolojisine dayanmaktadır. Güneşten yeryüzüne gelen uygun dalga boyları arasındaki ışınımın silisyum hücresinin üzerine düşmesiyle elektron bağları kırılır ve elektrik akımı oluşur [1].

Artan enerji ihtiyacı göze alındığında Türkiye, bulunduğu coğrafi konumu sayesinde güneş ışınımı açısından önemli potansiyele sahiptir. Türkiye Güneş Enerjisi Atlasına (GEPA) göre, Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat, yıllık toplam güneş enerjisi 1527 kW/m².yıl olarak belirtilmektedir [2].

Güneş enerji sistemlerine yönelimin artmasının yanında bu sistemlerin çevreye ve canlılara sebep olduğu olumsuz etkileri de araştırmacılar tarafından incelenmektedir. Enerji üretmek için güneş enerjisi sistemi tasarımı yapılırken, çeşitli etmenlere bağlı olan santral bileşenlerinin seçiminin önemli olduğu kadar bu santralin yaydığı çok düşük frekans bölgesindeki elektrik ve manyetik alanların da uluslararası elektromanyetik alan seviyeleri standartlarının altında olması gerekmektedir. Bu sayede, elektrikli ve elektronik cihazların düzgün çalışması sağlanabilir ve insan sağlığı korunabilir. Biyolojik etkiler açısından ele alınan standartlara göre özellikle yerleşim yerlerinde bu değerler büyük öneme sahiptir. Epidemiyolojik çalışmalara göre, çok düşük frekans bölgesindeki manyetik alanlar insan dokusu için ciddi tehlike oluşturabilir. Söz konusu alanlar, genellikle kentsel yerleşim yerlerinin yakınında bulunan yüksek gerilim elemanlarından kaynaklanmaktadır. Çok düşük frekans bölgesindeki manyetik alanlara maruz kalma sonucunda lösemi, beyin kanseri veya hamilelikte düşük yapma gibi bazı durumlar ortaya çıkabilir [3]. Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) tarafından yayınlanan genel halk için güç frekanslı elektrik ve manyetik alanlara maruziyet limitleri şu şekilde belirtilmektedir [4].

- Elektrik alan şiddeti için $E < 5$ kV/m;
- Manyetik alan şiddeti için $B < 200$ μ T.

Güvenli mesleki maruziyet için ise bu seviyeler aşağıdaki gibidir.

- Elektrik alan şiddeti için, $E < 10$ kV/m;
- Manyetik alan şiddeti için $B < 1000$ μ T.

Manyetik alan ve elektrik alan ölçümlerini içeren özellikle de düşük frekanstaki elektrik ve manyetik alanların insan sağlığı üzerine etkilerini inceleyen bazı çalışmalar yapılsa da bunların yeterli olmadığı görülmektedir. Özen tarafından 2008 yılında Antalya ilinde yapılan çalışmada, insan vücudunun biyolojik çalışmalarında önemli rol oynayan 380/154 kV trafo merkezinin yakınında ve trafo istasyonuna bağlanan, büyük bir kısmı yerleşim yerlerinden geçen, güç iletim hatlarının yakınında (380 ve 154 kV) manyetik alan şiddeti ölçümlerini içeren çalışma gerçekleştirilmiştir. Trafo merkezlerinde çalışanlar için mesleki maruziyet çalışmaları ve 380/154 kV elektrik santrallerinden yayılan manyetik alana maruz kalan kişilerin vücudunda indüklenen elektrik alan ve akım yoğunlukları incelenmiştir. Manyetik alan ölçümleri 380 kV bara altında, kontrol ve ölçüm odasında, 154 kV bara altında, 154/31.5 kV kontrol odasında ve transformatörlerin yanında alınmıştır [5]. Safigianni ve Tsompanidou, 2009 yılında Yunanistan'da bulunan bir elektrik santralinde elektrik ve manyetik alan seviyelerini araştırmışlardır. 50 Hz'de çalışan

elektrik güç trafo merkezinde, 300 ölçüm pozisyonunda değişen yatay ve dikey mesafelerde elektrik ve manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler, her noktada kafa yüksekliği (1.8 m), bel yüksekliği (1 m) ve zeminde gerçekleştirilmiştir. Trafo merkezinde 24 saat boyunca her 15 dakikada bir akımlar ve manyetik alan şiddeti ölçülmüş ve bunlar arasında doğrusal ilişki olduğu gözlenmiştir [6]. İl, Özen, Carlak ve Çakır tarafından 2015 yılında hazırlanan çalışmada, yer altı enerji kablolarının çevresinde oluşan düşük frekanslı manyetik alanlar, ölçüm ve hesaplamalı yöntemler ile analiz edilmiş ve 50 Hz frekanslı manyetik alanların ekranlama ile kontrolü araştırılmıştır. AG ve YG kablo kanallarında dikey mesafelerde her 10 cm'de bir alan ölçümleri yapılmış ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir [7]. Rahman ve diğerlerinin 2011 yılındaki çalışmasında ise bir binanın bodrum katı ve 15. katındaki 1500 kVA, 11/0.4 kV kapasitesindeki iki trafonun neden olduğu manyetik alan maruziyet seviyesi normal çalışma saatlerinde EMDEX meter ve EMCALC yazılımı kullanarak karşılaştırmalı analizi yapılmıştır [8]. Mccallum ve arkadaşlarının 2014 yılında yayınlanan makalelerinde, Kanada'da bulunan bir rüzgâr türbininden 0 ve 500 m arasında değişen farklı noktalarından manyetik alan ölçümleri alınmıştır. Manyetik alan ölçümleri kuvvetli rüzgâr, zayıf rüzgâr ve kapalı olmak üzere türbinin üç farklı çalışma durumu için, 1.8 MW rüzgâr türbini, iki trafo merkezi, çeşitli gömülü ve havai toplayıcı ve iletim hatları yakınında gerçekleştirilmiştir [9]. Safigianni ve Tsimsios'un 2013 yılına ait çalışmalarında, farklı nominal güce ve evirici tiplerine sahip üç farklı konutta bulunan çatı üstü fotovoltaik sistemlerde elektrik ve manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Her biri 230 W çıkış güçlü 35 polikristalin silikon güneş panelinden oluşan 8.05 kW nominal güce sahip, her biri 240 W çıkış güçlü 20 polikristalin silikon güneş panelinden oluşan 4.8 kW nominal güce sahip ve her biri 240W çıkış güçlü 41 polikristalin silikon güneş panelinden oluşan 9.84 kW nominal güce sahip çatı üstü fotovoltaik sistemlerde üç farklı yükseklik için (kafa yüksekliği – 2 m, bel yüksekliği – 1 m, çatı yüzeyi) her 2 metrede (yatay ve dikey) mart ayında 12 °C sıcaklıkta manyetik alan ölçümleri alınmıştır [10]. Helhel ve Özen, mesleki maruziyet değerlendirmesi için Antalya ilindeki 154/31.5 kV trafo merkezlerinde manyetik alan ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Üç farklı trafo merkezinde yapılan çalışmada 12 katılımcı (8 saatlik her vardiya için 4 katılımcı) yer almıştır. Operatör masaları, minimum yüklü mevsimde 0.3 μ T'lık en düşük manyetik alana ve maksimum yüklü mevsimde 1 μ T'ya ulaşmıştır. Şalter panosunda 23 μ T'dan 70 μ T'ya kadar ulaşmıştır. Devre kesici bölgesinde dış mekân manyetik alan ölçümü, operatör yüksekliklerine göre 62 mT'ya kadar çıkmaktadır [11]. Fotovoltaik panellerden yayılan elektromanyetik emisyonlar Saidi ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. İlk aşamada panel üzerindeki elektromanyetik yakın alan ölçülmüştür. İkinci aşamada fotovoltaik hücreleri modellemek ve yayılan elektromanyetik yakın alanı hesaplamak için bir simülasyon programı kullanılmıştır [12]. Farklı güneşlenme seviyeleri altında 32 kW çatı üstü güneş enerji sisteminden yayılan elektrik ve manyetik alan emisyonları ise Karawia ve Ali tarafından incelenmiştir. Sistem 410 W çıkış güçlü 78 adet mono-kristal silikon güneş panelinden oluşmaktadır. Ölçümler eylül ayında, 12.00-14.00 saatleri arasında, açık gökyüzü koşullarında ve 35 °C ortam

sıcaklığında ve ocak ayında, 12:00-14:00 saatleri arasında, açık gökyüzü koşullarında ve 14 °C ortam sıcaklığında olmak üzere iki farklı mevsimde gerçekleştirilmiştir. Eylül ayında evirici çevresinde manyetik alan ölçüm değerleri 32 μ T-48 μ T arasındayken, ocak ayında 24.4 μ T-35 μ T değerleri arasında görülmüştür [13].

Yukarıdaki çalışmalardan da görüldüğü gibi literatürde elektrik santrallerinde, rüzgâr türbinlerinde manyetik alan analizi çalışmaları olmasına karşın, güneş enerji santrallerinin yaydığı manyetik alanın etkileri ile ilgili detaylı çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışmada, 31.5/0.4 kV enerji nakil hatlarını içeren güneş enerjisi santralinde trafo hücresinde, paneller üzerinde ve evirici önünde gerçek zamanlı manyetik alan ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre santralin belirli noktalarında gözlenen alanların uluslararası standartlara uygunluğu tartışılmıştır. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde incelemesi yapılan santralin fiziksel ve elektriksel özellikleri açıklanmıştır. Ardından manyetik alan ölçüm sonuçları verilmiş ve tartışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

GES'ler (Güneş Enerjisi Santralleri) şebeke bağlantılı (on-grid) ya da şebeke bağlantısız (off-grid) olmak üzere iki farklı şekilde kurulabilmektedir. Bu iki santral türünün farkı, güneş panelleri tarafından üretilen enerji on-grid sistemde enterkonnekte şebekeye çift yönlü sayaç üzerinden doğrudan verilirken off-grid sistemde bu enerji, akülere depolanarak kullanılmaktadır. Bu özellik dışında her iki santral türünün ana bileşenleri genel olarak birbirinin aynısıdır. Bu santralleri oluşturan bileşenlerden;

- Işık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ve bir panelin en önemli yapıtaşı olan güneş hücresi,
- Güneş panellerinin dc olarak ürettiği gücü ac güce dönüştüren evirici ve
- Enerji iletimini sağlayan ve bileşenler arasında bağlantı sağlayan kablolar elektromanyetik uyumluluk (EMC) açısından gürültü kaynağıdır [14].

Fotovoltaik sistemlerde güneş paneli ile eviriciyi birbirine bağlayan kablolar çok uzun olabilir. Bu nedenle en önemli girişim 30 Hz – 300 kHz ve 300 MHz ile 3000 MHz frekans aralığında olabilir. Frekans tayfı ve temel kullanım alanları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: Frekans tayfının kullanım alanları [15]

İsim	Frekans	Temel Kullanımı
ELF (Extre. Low Frequency)	3-30 Hz	Enerji nakil hatları
SLF (Super- Low Frequency)	30-300 Hz	şebekesi
ULF (Ultra- Low Frequency)	300-3000 Hz	Denizaltılar
VLF (Very- Low Frequency)	3-30 kHz	Beacon
LF (Low Frequency)	30-300 kHz	AM yayını
MF (Medium Frequency)	300-3000 kHz	Kısa dalga yayını
HF (High Frequency)	3-30 MHz	FM, TV
VHF (Very- High Frequency)	30-300 MHz	

UHF (Ultra- High Frequency)	300-3000 MHz	TV, LAN, hücresel, GPS
SHF (Super- High Frequency)	3-30 GHz	Radar, GSO uyduları, veri
EHF (Extre.- High Frequency)	30-300 GHz	Radar, otomotiv, veri

Çalışmaya konu olan ve ölçümlerin yapıldığı santral, Antalya ili Elmalı İlçesinde bulunmaktadır. Santral, 800 kWp kurulu gücüne sahiptir ve fotovoltaik paneller için geçerli olan IEC 61215 (Kristalin Silikon Karasal Fotovoltaik Modüller-Tasarım Değerlendirmesi ve Tip Kabulü) uluslararası standardına uygun olarak üretilmiştir. Santral, 250 W çıkış gücüne sahip 3200 adet polikristal panel kullanılarak kurulmuştur. Her bir panel 156×156 mm² boyutunda 60 adet polikristal hücrenin seri bağlanması ile oluşturulmuştur ve güneş panelleri zemin ile 25° açı yapacak şekilde konstrüksiyon üzerine yerleştirilmiştir. Kullanılan panellerin teknik özellikleri Çizelge 2'de belirtilmiştir.

Çizelge 2: Panelin teknik özellikleri

Panelin Özelliği	Değeri
P_m (W)	250 W
Güç toleransı (%)	0±3
V_{mpp} (V)	30.6 V
I_{mpp} (A)	8.17 A
V_{oc} (V)	36.3 V
I_{sc} (A)	8.71 A
Maksimum Sistem Gerilimi (V)	1000 V
Modül Boyutu	1640×990×40 mm

P_m : Maksimum güç

V_{mpp} : Maksimum güçteki gerilim

I_{mpp} : Maksimum güçteki akım

V_{oc} : Açık devre gerilimi

I_{sc} : Kısa devre akımı

Santralde ayrıca her biri 27.6 kV gücüne sahip 27 adet evirici vardır. Çizelge 3'te, eviricilerin özellikleri belirtilmiştir.

Çizelge 3: Evirici teknik özellikleri

Özellik	Parametre Adı	Değeri
DC Giriş	V_{dc} max	1000 V
	V_{dc} MPP	200-950 V
	V_{dc} , Full Power	500-800 V
	I_{dc} max	2×32 A
	I_{sc} max	2×40 A
AC Çıkış	V_{acr}	400 V / 3 Φ
	fr	50 Hz
	P_{acr} (cos ϕ =1)	27.6 kW @ 45 °C
	P_{acr} (cos ϕ ±0.9)	27.6 kW @ 45 °C
	I_{ac} max	45 A



Şekil 1: Ölçümü yapılan güneş enerjisi santrali

Bunun yanında tesiste bulunan 4 adet AG panosunun elektriksel güçleri ise sırasıyla 240 kW, 270 kW, 180 kW ve 110 kW'tır.

Santralde üretilen enerji, 7.30×2.50 m² boyutlarındaki prefabrik beton köşk içinde bulunan 0.4/34.5 kV 1000 kVA gücünde step-up trafo ile ulusal şebeke elektrik değerlerine uygun hale getirildikten sonra enterkonnekte sisteme iletilmektedir. Santralde üretilen ve aynı tesis içerisinde tüketilen enerjinin kontrolü de çift yönlü sayaç vasıtasıyla kayıt edilmektedir.

3. Manyetik Alan Şiddeti Ölçümleri

Manyetik alan şiddeti ve manyetik alana maruziyet seviyesini ölçmek için tasarlanmış ve 100 cm² ve 3 cm² manyetik alan sensörleri içeren, aynı zamanda ICNIRP 2010 ve IEC/EN62233'ye uygunluğunu değerlendirmede kullanılabilen Hioki 3470 magnetic field histester cihazı (Hioki E. E. Corp., Japonya) ile santralde belirlenen noktalarda ölçümler gerçekleştirilmiştir.

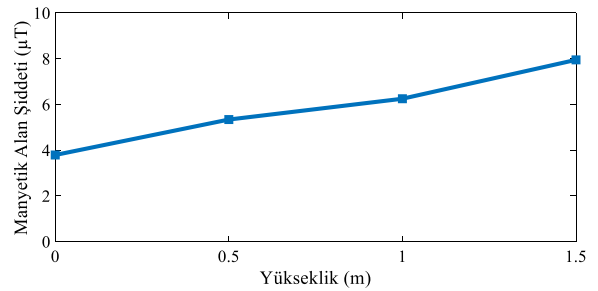
Şekil 1'de görülen santralin manyetik alan ölçümleri, 25 Ağustos 2019'da havanın açık ve güneşli olduğu bir günde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sırasında ara ara bulutlanma olmuştur. Santral sahası içerisinde özellikle çalışanların maruz kalabileceği bölgeler ile elektromanyetik girişime neden olabilecek kaynakların yakınında ölçümler yapılmıştır.

3.1. Santralin Güç Trafosu Çevresindeki Manyetik Alan Şiddeti Ölçümleri

Trafo hücresinde yatayda 30 cm uzaklıkta ve yerden 0 m (zemin), 0.5 m, 1 m ve 1.5 m olmak üzere dört ayrı noktadan manyetik alan ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Manyetik alan şiddetinin yerden yüksekliğe göre değişimi Çizelge 4 ve Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'den de görüldüğü üzere trafo yakınında yer seviyesindeki manyetik alan şiddeti 3.79 µT iken 1.5 m yükseklikte 7.95 µT olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4: Trafo hücresi tarafında gerçekleştirilen manyetik alan şiddeti ölçüm sonuçları

Manyetik Alan Şiddeti (µT)	Yükseklik (m)
3.79	0
5.34	0.5
6.25	1
7.95	1.5

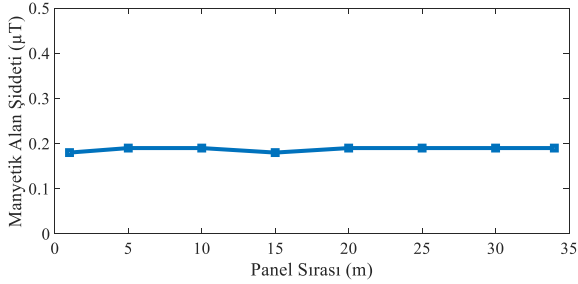


Şekil 2: Trafo hücresi tarafında gerçekleştirilen manyetik alan şiddeti ölçümü

3.2. Fotovoltaik Panellerdeki Manyetik Alan Şiddeti Ölçümleri

Santraldeki 34 panelli bir sistemde her beş panelde bir ve son panel için manyetik alan şiddeti ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te panel sırasına göre manyetik alan değişimi belirtilmiştir.

Şekil 3'ten ve Çizelge 5'te verilen ölçüm sonuçlarından da görüleceği üzere panellerden yayılan manyetik alan şiddeti 0.18 - 0.19 µT değerleri arasında bir değişim göstermiştir.



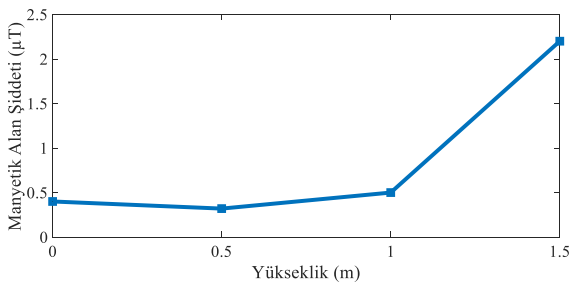
Şekil 3: Panellerin önünde gerçekleştirilen manyetik alan şiddeti ölçümü sonuçları

Çizelge 5: Panellerin önündeki manyetik alan şiddeti ölçüm sonuçları

Manyetik Alan Şiddeti (µT)	Panel Sırası
0.18	1
0.19	5
0.19	10
0.18	15
0.19	20
0.19	25
0.19	30
0.19	34

3.3. Evirici Önündeki Manyetik Alan Şiddeti Ölçümleri

Evirici önünde 0 m, 0.5 m, 1 m ve 1.5 m yüksekliklerinde manyetik alan şiddeti ölçümleri yapılmıştır. Şekil 4'te verilen grafik yerden yüksekliğe göre manyetik alan değişimini göstermektedir.



Şekil 4: Evirici tarafındaki manyetik alan şiddetinin yerden yüksekliğe göre değişimi

Çizelge 6: Evirici önünde gerçekleştirilen manyetik alan şiddeti ölçüm sonuçları

Manyetik Alan Şiddeti (µT)	Yükseklik (m)
0.4	0
0.32	0.5
0.5	1
2.2	1.5

Şekil 4 ve Çizelge 6'da verilen ölçüm değerlerinden de görüleceği üzere zeminden itibaren manyetik alan şiddeti 0.32 - 2.2 µT aralığında değişim göstermektedir.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Güneş enerjisi santralinde belirlenen ölçüm noktalarında, çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkileri olabilen manyetik alanın ölçümleri ve dozimetrik analizleri yapılmıştır. Trafo yakınında ölçüm değerleri yerden yüksekliğe göre Şekil 2'de görüldüğü gibi 3.79 µT ve 7.95 µT arasında artan bir değişime sahiptir.

Santralde toplam 34 panel bulunan birinci sıranın ilk ve son panelleri dâhil olmak üzere her beş panelden birinde alınan manyetik alan ölçümleri Şekil 3'te belirtildiği gibi 0.18 µT ve 0.19 µT değerleri arasında gözlenmiştir.

Evirici önünde ölçüm değerleri yerden yüksekliğe göre 0.32 µT ile 2.2 µT değerleri arasında değişim göstermektedir. Ölçüm sonuçlarına bakıldığında oluşan değişimlerin ölçüm sırasında değişen hava şartlarına (güneşli, bulutlu, gölgeli olma durumuna vb.) bağlı olarak değişim gösterebileceği söylenebilir.

Santral sahası içinde çalışanların maruz kalabileceği yerlerdeki manyetik alan seviyelerinin Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu mesleki maruz kalma limitinin çok çok altında olduğu görülmüştür. Bunun yanında fotovoltaik santrallerine bağlı yerleşim alanlarından geçen enerji nakil hatları çevresindeki manyetik alan seviyelerinin araştırılması ve sonuçlarının genel halk maruziyeti açısından değerlendirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmada daha çok fotovoltaik santrallerinde çalışanların manyetik alan maruziyeti açısından sonuçlar sunulmuştur. İlerleyen çalışmalar, yerleşim yerlerinde ve bina üstlerinde bulunan fotovoltaik panellerin evlerde oluşturduğu manyetik alanların incelenmesi planlanmaktadır. Bu sayede söz konusu sistemlerin hem çalışan hem de genel halk için sonuçları detaylı bir şekilde tartışılabilir.

5. Kaynaklar

- [1] Haselhuhn R., Hemmerle C. (Murat Çataklı), Fotovoltaik Sistemler, Çataklı Enerji Eğitim Yayıncılık Danışmanlık ve Tic. Ltd. Şti., 2012
- [2] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Güneş, Link: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, Son Erişim Tarihi: 23 Ağustos 2019.
- [3] Ates, K., Carlak, H. F., and Ozen, S., "Magnetic Field Exposures due to Underground Power Cables: A Simulation Study", 2nd World Congress on Electrical Engineering and Computer Systems and Science (EECSS'16). 2016.
- [4] International Commission of Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz to 100 kHz)", Health Physics, vol.99, no.6, pp.818-836, 2010.

- [5] Ozen, S., "Evaluation and Measurement of Magnetic Field Exposure at a Typical High Voltage Substation and Its Power Lines", *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 128, no. 2, pp.198–205, 2008.
- [6] Safigianni, A. S. and Tsompanidou C. G., "Electric- and Magnetic-Field Measurements in an Outdoor Electric Power Substation", *IEEE Trans. Power Del.*, vol.24, no.1, pp.38–42, 2009.
- [7] İl N., Özen Ş., Carlak H. F., Çakır M., "Yeraltı Enerji Kabloları Çevresinde Oluşan Manyetik Alanların Analizi ve Kontrolü", IV. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi, 2015, ss.67–72.
- [8] Rahman, N. A., Rashid, N. A., Mahadi, W. N. L., and Rasol, Z., "Magnetic Field Exposure Assessment of Electric Power Substation in High Rise Building", *Journal of Applied Science*, vol.11, no.6, pp.953–961, 2011.
- [9] L.C. McCallum, M. L. W. Aslund, L.D. Knopper, et al., "Measuring Electromagnetic Fields (EMF) Around Wind Turbines in Canada: Is There a Human Health Concern?", *Environ. Health*, vol.13, no.9, pp.1–8, 2014.
- [10] Safigianni, A. S. and Tsimsios, A. M., "Electric and Magnetic Fields due to the Operation of Roof Mounted Photovoltaic Systems", *PIERS Proceedings*, 2013; pp.1908–1911.
- [11] Helhel, S. and Ozen, S., "Assessment of Occupational Exposure to Magnetic Fields in the High Voltage Substations (154/34.5kV)", *Radiation Protection Dosimetry*, vol.128, no.4, pp.464–470, 2008.
- [12] Saidi S., Bhiri H. and Ben Hadj Slama J., "Study of the Electromagnetic Near Field Radiated by the Photovoltaic Cells", 7th International Conference on Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT), 2016, pp. 374–377.
- [13] Karawia H., Ali M., "ELF Electric and Magnetic Fields Emission due to Rooftop Photovoltaic System", *CIRE2015 23rd International Conference on Electricity Distribution*, 2015.
- [14] Smirnov, Y., "RF Disturbances Produced by High-Power Photovoltaic Solar Plants", MSc Thesis, Lappeenranta University of Technology, 2011.
- [15] Kraus, J. D. and Marhefka, J. R., *Antennas for All Applications*, McGraw-Hill, New York, 2001

Merve BEDELOĞU



Merve BEDELOĞU, 1988 yılında Antaya'da doğdu. 2013 yılında Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesinden Elektrik Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. Yüksek Lisans Öğrenimini 2016 yılında Akdeniz Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında tamamladı ve 2017 yılında aynı bölümde doktora başladı. 2017-2019 yılları arasında Cw Enerji Müh. Tic. ve San. A.Ş.'de AR-GE mühendisi olarak çalıştı. 2019 yılından itibaren Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi'nde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Çalışma alanları sinyal işleme, görüntü işleme, elektromanyetik alanlar, EM girişim ve uyumluluktur.

Niyazi İL



Niyazi İL, 1983 yılında Adana'da doğdu. 2007 yılında Çukurova Üniversitesi'nden Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. Yüksek Lisans Öğrenimini 2015 yılında Akdeniz Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında tamamladı. 2009-2012 yılları arasında Serik Tedaş Arıza Onarım ve Bakım servisinde Elektrik Mühendisi olarak görev yaptı. Askerlik hizmeti tamamladıktan sonra, 2013 yılında çalışmaya başladığı TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Antalya Şubesinde halen Teknik Müdür olarak görev yapmaktadır.

2016 yılından bu yana Akdeniz Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nde Bahar yarı yıllarında uzman öğretici olarak Enerji ve İletişim dersini vermektedir.

Elektromanyetik alanlar, elektromanyetik alanların biyolojik etkileri, elektromanyetik girişim, elektromanyetik ekranlama konularında çalışmalar yapmaktadır. Akdeniz Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında 2017 yılında başladığı Doktora öğrenimine devam eden İl, evli ve bir kız çocuğu babasıdır.

Kayhan ATEŞ



Kayhan ATEŞ, 1994 yılında Ankara'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Antalya'da tamamladı. 2016 yılında Akdeniz Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu ve aynı bölümde yüksek lisans eğitimine başladı. Eğitimine 2017-2018 yılları arasında Krakow, Polonya'daki AGH University of Science and Technology'de devam etmiştir. 2019 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlamış ve Akdeniz Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği'nde doktora eğitimine başlamıştır. 2018 yılından itibaren Akdeniz Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Elektromanyetik Alanlar ve Mikrodalga Tekniği Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Çalışma alanları biyoelektromanyetik, malzemelerin elektriksel özellikleri, elektromanyetik uyumluluk, elektromanyetik modelleme ve simülasyon, elektromanyetikte sayısal yöntemler ve mikrodalga mühendisliğidir.

Prof. Dr. Şükrü ÖZEN



Prof. Dr. Şükrü ÖZEN, 1971 yılında Manavgat'ta doğdu. 1992 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesinden Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. Yüksek Lisans Öğrenimini 2000 yılında SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Bilim Dalında, Doktorasını ise Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Ana Bilim Dalında Mayıs 2003'te tamamladı. 2004 yılında Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümüne öğretim üyesi olarak atanmış ve burada Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünün kuruluş çalışmalarını yürüterek, 2006-2018 yılları arasında bölüm başkanlığı yapmıştır. 2010 yılında doçent, 2016 yılında profesör olmuştur. Elektromanyetik alanların biyolojik etkileri, EM girişim ve uyumluluk, EM alanların tıbbi uygulamaları, nümerik yöntemler, enerji ve elektriksel güvenlik konularında çalışmalar yapmaktadır.