


	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 27.10.2016 <u>Kabul/Accepted</u> 10.05.2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.327121	

Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü içerisindeki enerji iletim hatlarının elektromanyetik alan etkileri açısından incelenmesi

Şuayb Çağrı Yener^{*1}, Fatih Andiç²

ÖZ

Günümüzde insanın teknoloji ile olan ilişkisi ve buna bağlı olarak elektrik ile çalışan cihazlardan yayılan elektromanyetik alanlarla olan etkileşimi sürekli artmaktadır. Bunun yanında enerji iletim hatları ve trafolar gibi enerji kaynaklarının yakınlarında ikamet edenler ya da bulunanlar bahsi geçen elektromanyetik alanlardan da etkilenebilmektedirler. Enerji iletim hatlarının, özellikle giderek genişleyen ve çoğu zamanda da kapsamlı planlar olmaksızın ortaya çıkan yerleşim yerlerine çok yakın noktalardan geçmesi, bu elektromanyetik alan kaynaklarının insan sağlığı üzerine olan etkilerinin araştırılması ve buna yönelik tedbirlerin uygulanması yönüyle hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsünden geçen Temelli-Adapazarı (380kV) enerji iletim hatları elektromanyetik alan etkileri yönüyle; gerçekleştirilen elektrik ve manyetik alan ölçümleri ve bunların ANSYS Maxwell programı ile yapılan benzetimleri ile incelenmiştir. Farklı hava, yük ve diğer fiziksel koşullarını daha doğru ortaya koyabilmek için ölçümler farklı zamanlarda tekrarlanarak elde edilen sonuçların doğruluğu ve güvenilirliği teyit edilmiştir. Karşılaştırma açısından gerçekleştirilen benzetimlerde hatların olabildiğince doğru modellemeleri için hatlara ait SEDAŞ ve TEİAŞ kurumlarından alınan parametre ve veriler kullanılmıştır. Son olarak, elde edilen ölçüm sonuçları ulusal ve uluslararası yönetmelikler ve bunların içerdiği sınır değerler açısından değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik radyasyon, Elektrik Alan, Manyetik Alan, Enerji İletim Hatları, Alçak Frekans, ANSYS Maxwell

Investigation of electromagnetic fields radiated from power transmission lines at Sakarya University Esentepe Campus

ABSTRACT

In today's world, people's interaction with technology and accordingly the connection of electromagnetic radiation spreading from electrical devices, is continuously raising. Especially people living or temporarily existing near power transmission lines and transformers are affected much more with these electromagnetic fields. Nowadays, energy transmission lines, sometimes without adequate planning, are established very close to the residential areas. Therefore, measurement of this sources and to investigate their effects in terms of electromagnetic fields on human health is vital to define proper policies and to get required precautions. This paper presents the real measurements results of electric field and magnetic field and their simulations results obtained using ANSYS Maxwell program of Power Transmission Lines passing through Campus of Sakarya University. To consider each external influences, if any and to prove results' accuracy and reliability the measurements have been repeated in different times and air conditions. During simulations of power transmission lines, parameters and data taken from SEDAŞ and TEİAŞ have been used in terms of the credibility of the simulation results their comparison with measurement results. Finally, obtained electric and magnetic field values obtained via measurements and simulations have been compared with those of presented in national and international as the limit values.

Keywords: Electromagnetic Radiation, Electric Field, Magnetic Field, Power Transmission Lines, Low Frequency, ANSYS Maxwell

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

¹ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 54187, Sakarya, Türkiye, syener@sakarya.edu.tr

² Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 54187, Sakarya, Türkiye, fthandc@gmail.com

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektriksel enerjinin her alanda yoğun kullanılması dolayısıyla EMR'nin (Elektromanyetik Radyasyon) bileşenleri olan EM (elektromanyetik) alanlar çevremizde sürekli var olmaktadır. Elektromanyetik Radyasyon, frekans spektrumunun belli bir bölgesini, genel olarak DC – 300GHz aralığını ifade eder. Bu aralıkta en yaygın kullanılan bantlar özellikle enerji iletim hatları ve türevlerinin ana kaynağı olduğu ELF (ekstrem düşük frekans) biçimindeki düşük frekans bölgesi ve yine ana kaynağının haberleşme antenleri olduğu RF/MW (radyo frekans/mikro dalga) aralığındaki yüksek frekans bandıdır. Genel olarak bu iki temel frekans bandına ait inceleme mekanizmaları, ölçüm cihazları ve sınır değerleri farklıdır [1]–[3].

Düşük frekans elektromanyetik alanların ana kaynakları alternatif akım taşıyan enerji iletim hatları, elektrikle çalışan güçlü makine sistemleri, trafolar, tren kataner hatları, bina elektriksel tesisatları vb. şeklindedir. Elektromanyetik alanın iki temel bileşenini oluşturan elektrik alan değerleri yüksek gerilim altında çalışan enerji iletim hatlarının altında yüksek miktarda ölçülürken, manyetik alan ise özellikle yüksek akım taşıyan kablolar ve sistemlerin yakınında daha da yükselmektedir. Taşınan elektrik enerji ve elektrik akımının büyüklüğü yönüyle, birden çok ana üç faz iletim hatları çevresinde oluşan elektromanyetik alan, tek faz ve bina içlerindeki hatlara oranla daha yüksektir. Bir elektrik gerilimi varken oluşan elektrik alanına karşın, manyetik alan alternatif akım varken oluşur. İletken yapısından bağımsız bir şekilde ortaya çıkan manyetik alanın şiddeti akımın büyüklüğüne bağlıdır. Elektrik alan ile karşılaştırıldığında manyetik alan etkisi daha dikkat çekici olup korunma tedbirlerinin uygulanması daha zordur [4]–[7].

Elektromanyetik alanların insan bedenine yaptığı biyolojik etkiler bilimsel araştırmaların ilgi alanı olup uzun süreli farkında olmaksızın elektromanyetik alan maruziyetinde organizmalar üzerinde sağlık sorunları oluşmasından endişelenilmektedir [8]–[12]. Non-iyonize radyasyon türünde olan elektromanyetik radyasyon, canlıların DNA'sına direkt etki eden nükleer radyasyondan farklı olup, genel olarak EMR açısından ısıl etki prensibi üzerinde durulmuş ve yasal regülasyonlar da buna göre oluşturulmuştur [1], [6], [12], [13]. Ancak

günümüzde özellikle elektromanyetik radyasyon - kanser arasında arasındaki bağlantı sürekli araştırılmakta, farklı biyolojik etkilerin olduğuna dair raporlar sunan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [8], [11], [13], [14]. Türkiye'nin de içinde bulunduğu çok sayıda ülkede insan sağlığının korunması temelinde, ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – İyonize olmayan radyasyondan koruma komisyonu) gibi uluslararası otoritelerce önerilen sınır değerler doğrudan ya da belli düzeyde değiştirilerek uygulanmaktadır [1], [15]. Ancak EMR kaynakların ve etkilerinin sürekli artışı ile yeni bilimsel bulgular önerilen mevcut sınır değerlerin sorgulanmasını ve güncellenmesini gerektirmektedir. Bu yöndeki çalışmalara temel teşkil edebilecek biçimde, elektromanyetik alanların gerek ELF gerek RF/MW frekans bantlarında seviyelerini ve değişim trendini araştıran çok sayıda bilimsel araştırma gerçekleştirilmektedir [5]–[7], [16]–[19].

Elektromanyetik dalgaların oluştuğu kaynağından azaltılamadığı durumlarda, özellikle kapalı yaşam alanlarındaki elektromanyetik alan seviyeleri alan bileşenleri bu ortama girişte zayıflatılarak düşürülebilir. Ekranlama olarak tanımlanan bu işlem ile elektromanyetik enerjinin ilgili bölgeye girişi çok büyük ölçüde engellenmiş olur. Ekranlama için genel manada iletkenlik seviyeleri uygun metal malzemeler kullanılır [20], [21]. Ancak günümüzde, literatürde bazı gelişmiş malzemelerin yeni nesil ekranlama uygulamaları için kullanılabilmesine dair çalışmalar bulunmaktadır [22], [23].

Çalışma şu şekilde organize edilmiştir: Bu giriş bölümünün ardından çalışmanın ikinci bölümünde inceleme konusu enerji iletim hatlarının teknik özellikleri ve uygulanan yasal mevzuat kapsamında elektromanyetik etki açısından durumları ele alınmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde yapılan elektromanyetik alan ölçümleri ve gerçekleştirilen benzetimlere ilişkin sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Son olarak elde edilen ölçüm sonuçları, geçerli regülasyonlar kapsamında değerlendirilmiş, ölçüm yapılan Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsünün elektromanyetik alan projeksiyonunun ulusal ve uluslararası sınır değerler açısından durumu analiz edilmiştir.

2. ENERJİ İLETİM HATLARI VE ELEKTROMANYETİK ALAN MARUZİYETİ AÇISINDAN ETKİLERİ (POWER TRANSMISSION LINES AND THEIR ANALYSIS THROUGH ELECTROMAGNETIC FIELD EXPOSURE)

2.1. Havai Hat İletken Özellikleri ve Yüksek Gerilim İletken Özellikleri (Aerial Lines Conductor Features and High Voltage Conductor Features)

Elektrik enerjisinin üretildiği ve tüketildiği yerler arasını bağlayan hatta Enerji İletim Hattı denir. Enerji hatlarının gerilim seviyeleri ile tel kesitleri uluslararası standartlarla saptanmıştır. Gerilim seviyeleri 0-1(kV) arası alçak gerilim, 1-36 (kV) arası orta gerilim, 36-170 (kV) arası yüksek gerilim, 170 (kV) ve üzeri ise çok yüksek gerilim olarak tanımlanmıştır.

Yüksek gerilim hava hatlarında kullanılan iletkenlerin hem enerji taşınması hem de mekanik yönden uygun seçilmesi gerekmektedir. İletken malzeme seçiminde göz önünde bulundurulacak özellikler; iletkenlik, özgül ağırlık, iletken çapı, sehim, titreşim eğilimi ve koronaya karşı dayanıklılıktır. Yüksek gerilimde kullanılan teller örgülü biçimdedir. Bu sayede, gerekli esneklik sağlanarak titreşimler sebebiyle askı noktalarındaki zedelenmeler önlenir, korona kayıpları ve Deri olayı (Skin Effect) etkisi azalır. Örgülü iletkenlerde tabakalar, oluşan manyetik alanın birbirini yok etmesi esasınca, birbirleri ile zıt yönde sarılma esası ile oluşturulur. Üzerinden geçen akım ve gerilimin büyüklüğüne göre iletken demetlerinin boyutu ve sayısı değişmektedir. İletken demetlerinin ölçütleri seçilirken AWG (American Wire Gauge, Amerikan Tel Ölçütü) ya da MCM (Mega Circular Mile, Mega Dairesel Mil) ölçütleri göz önüne alınır.

İncelenen hattın iletken cinsinin adı Pheasant olup özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu iletken birincil ve ikincil, iletim veya dağıtım havai iletim hatlarında kullanılmaktadır. Kendisine ait çelik özün ve alüminyum demetinin özellikleri sayesinde gereken dayanıklılığı akım kaybı olmadan sağlamaktadır. Ortasında 19 çelik, etrafında sıralanmış 54 alüminyum telden oluşmaktadır. Maksimum akım geçirgenliği 1187 A olarak belirlenmişse de hattın bulunduğu ortamın iklim koşulları sebebiyle değişkenlik göstermektedir.

Tablo 1. Yüksek gerilim iletkenleri (High voltage conductors)

İletken Cinsi	Anma Kesiti	Örgüleme (Al/Steel)	Ayrı Alüm. Çap Uzunl. (mm)	Ayrı Çelik Çap Uzunl. (mm)	Komple Kablo Çapı (mm)	Maksimum Akım Geçirgenliği (A)
Pheasant	1272 MCM	54/19	3,9	2,34	35,1	1187

2.2. ELF Bandı Elektromanyetik Kaynaklar İçin Yasal Düzenlemeler (Legal Regulations for ELF Band Electromagnetic Sources)

İyonizan Radyasyon'da (Nükleer Radyasyon) Atom ve moleküllerden elektron koparabilen yüksek enerjili ışınlar, gamma ışını yayan radyoaktif maddeler, x ışınları ile bazı morötesi ışınlar vücuda girdiklerinde DNA yapısını bozabilirler. Enerjileri yüksek, dalga boyları küçük, ancak frekansları yüksektir. Elektromanyetik radyasyon için temel olan Non - İyonizan Radyasyonun ise enerjisi (etkileştikleri maddede değişiklik oluşturma gücü) nispeten düşük olduğu için hücrelerdeki kimyasal bağları kırarak güce sahip değildir. Ancak uzun süre bu tür ışınlarla maruz kalan ve vücut direnci de normal bireylere göre düşük olan şahıslarda beklenen zararlı biyolojik etkiler olabilir. Bu zararlı biyolojik etkiler iki çeşittir. Birinci tür etkiler ısı etkileridir. Vücuda giren düşük enerjili ışınların vücut içindeki doku ve hücreleri oluşturan elementlerin atomları ile etkileşime girerek enerjilerini transfer etmeleri ve onları titreştirmek suretiyle vücut sıcaklığını artırmak şeklinde gösterdikleri etkiler bu sınıfa girer. İyonize etmeyen elektromanyetik ışınların ısı etkisi en net ve ölçülebilir etkidir ve mevcut standartlar buna göre belirlenmiştir. İkinci tür etki ısı olmayan etkilerdir. Radyasyon etkisi ile vücutta hassas moleküllerde meydana gelen değişiklikler bu sınıfa girmektedir [1], [6], [13].

2kHz frekans altındaki elektromanyetik alanlar genel manada ELF bandını oluşturur. 100kHz ile 300 GHz arası ise yüksek frekanslı dalgalar olarak tanımlanır. Standart bir ev içerisinde ev içerisinde ELF frekanslı alanlar 0.05µT gibi değerlerde iken etrafında yüksek gerilim hattı bulunan bir ev için bu seviyelerin onlarca katı değerinde EMR seviyesi ölçülebilir. Bu durumda bir benzeri baz istasyonu (RF) frekanslı elektromanyetik alanlar için geçerlidir. Standart bir ev ortamı için 0.5 - 1 V/m seviyeleri olağan iken, evin çeşitli bölümleri baz

istasyonu etkisi altında alan konutlarda bu değer 10-20 katı nispetinde olabilmektedir [6], [7].

ELF frekanslı Elektromanyetik radyasyon ile ilgili olarak her ülke kendi mevzuatında limit değerler belirlemiştir. ABD ve Avrupa Birliği ülkeleri de dâhil olmak üzere birçok Dünya ülkesinde genel manada kabul gören limit değerleri uygulanmaktadır. Bu sınır seviyeler Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından da kabul gören uluslararası bir kuruluş olan ICNIRP tarafından ortaya konmuştur. Sınır değerler elektromanyetik radyasyonun frekans seviyesine bağlı olarak tanımlanır ve buna göre yasal mevzuatlarda yer alır [1], [7], [15].

Ülkemizde de Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 24.07.2010 Tarih ve 27651 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden Çevre Ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirlere İlişkin Yönetmelik” kapsamında çok düşük frekans değerlerine ilişkin sınır değerler de ICNIRP limitleri temel alınarak belirlenmiş ve bu biçimde uygulanmaktadır [1], [15].

Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu –ICNIRP (International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection) kurumunca 2010 yılında yayınlanan uluslararası bir bildirge ile istenmeyen sağlık problemlerine karşın elektrik ve manyetik alandan korunma için, maruz kalınan limitlere yönelik bir prensipler(limit değerler) koymaktadır. Hem doğrudan hem dolaylı yönden EMR etkilerini incelemiştir. Bildirgede birçok farklı frekans değerleri için hem mesleki hem de umumi değerler belirlenmiştir. Bu bildirgenin sınır değerleri çeşitli ülkeler tarafından doğrudan ya da bazı değişikliklerle uygulanmaktadır.

T.C. Orman Bakanlığı tarafından yayınlanan ulusal yönetmelikte Türkiye’de elektromanyetik alan etkileri için sınır değerler belirlenmiştir. Yönetmeliğin adı İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden Çevre ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirler’dir. Bu yönetmelik ile özet olarak,

1. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon kaynaklı elektromanyetik alanların, insan sağlığı ve çevre üzerindeki olası olumsuz etkilerinin araştırılması ve bu etkilerin azaltılmasına temel teşkil edecek ölçütlerin belirlenmesi,

2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun ve bunu oluşturan kaynakların insan ve çevre sağlığı üzerinde olası olumsuz etkileri konusunda toplumun bilgilendirilmesinin sağlanması,

3. Kurumların alması gereken tedbirlerin belirlenmesi amaçlarını taşımaktadır.

Bu yönetmelik, hem düşük frekans alanları hem de radyo frekans alanları içeren ve çok geniş bir aralık olan 0-300 GHz frekans bandındaki elektromanyetik alanları ve insanların bu alanlara karşı maruziyetine yönelik konuları kapsamaktadır.

ICNIRP ve Orman Bakanlığı’nın yönetmeliklerindeki sınır değerler sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3’te; ayrıca analiz ve ölçümü gerçekleştirilen yüksek gerilim hattının çalışma frekansı olan 50 Hz için uygulanan limit değerler Tablo 4’te verilmiştir [1], [15].

Tablo 2. ICNIRP limit değerler-genel halk için (ICNIRP limit values-for public)

Frekans Aralığı	Elektrik Alan Şiddeti E(kV/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu B(T)
1 Hz–8 Hz	5	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8 Hz–25 Hz	5	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^{-3} / f$
25 Hz–50 Hz	5	1.6×10^2	2×10^{-4}
50 Hz–400 Hz	$2.5 \times 10^2 / f$	1.6×10^2	2×10^{-4}
400 Hz–3 kHz	$2.5 \times 10^2 / f$	$6.4 \times 10^4 / f$	$8 \times 10^{-2} / f$
3 kHz–10 MHz	8.3×10^{-2}	21	2.7×10^{-5}

Tablo 3. 0Hz-300GHz frekans bantlarındaki elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar için limit değerler (Limit values for electric, magnetic and electromagnetic fields in 0hz-300ghz frequencies)

f(Hz)	Elektrik Alan Şiddeti E(V/m)	Manyetik Alan Şiddeti H(A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu B(μT)
1Hz'e Kadar	-	32000	40000
1Hz-8Hz	10000	$32000 / f^2$	$40000 / f^2$
8Hz-25Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$
0.025kHz-0.8kHz	$750 / f$	$8 / f$	$10 / f$
0.8kHz-3kHz	$250 / f$	5	6,25
3kHz-150kHz	87	5	6,25
0.15MHz-1MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$
1MHz-10MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$
10MHz-400MHz	28	0,073	0,092
400MHz-2000MHz	$1,375 * f^{1/2}$	$0,0037 * f^{1/2}$	$0,046 * f^{1/2}$
2GHz-300GHz	61	0,16	0,2

Tablo 4. 50Hz için yönetmeliklerin öngördüğü sınır değerler (Limit values for 50Hz set by regulations)

Yönetmelikler	Elektrik Alan Şiddeti (kV/m)	Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Manyetik Akı Yoğunluğu (µT)
ICNIRP-Mesleki Maruziyet	10	800	1000
ICNIRP-Umumi Maruziyet	5	160	200
Orman Bakanlığı-24.07.2010	15	160	200

3. SELEKTROMANYETİK ALAN ÖLÇÜM VE BENZETİMLERİ (ELEKTROMAGNETİK RADIATION MEASUREMENT AND SIMULATIONS)

Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'ndeki ELF kaynaklı elektromanyetik alan seviyelerinin belirlenmesi amacıyla kampüsün güney bölgesinden geçen 380kV'luk enerji iletim

hattının elektromanyetik alan ölçümleri ve hattın benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Benzetimler ANSYS Maxwell programında gerçekleştirilmiş ve benzetimlerde hatların modeli için TEİAŞ ve SEDAŞ kurumlarından alınan gerçek parametreler kullanılmıştır. Benzetimler yanında hattın altında belirlenen noktalarda gerçek zamanlı elektromanyetik alan ölçümleri yapılmıştır.

İnceleme, ölçüm ve analizleri gerçekleştirilen hattın adı Temelli Fideri'dir. Hattın uydu fotoğrafı görünümü Şekil 1 ile verilmiştir. Bu hattın seçilen 124 numaralı direğinin en yüksek yeri yerden 35 m yüksekliktedir. Bu iletkende her faz 3 demet halinde yapılmıştır. Bu 3 iletken demeti her bir kenarı 40 cm olan eşkenar üçgen üzerine spacer adı verilen ara bağlantı elemanı yardımıyla tutturulmuştur. Hattın ilgili ölçüm noktasına ait uzak ve yakın plan fotoğrafları Şekil 2 ve Şekil 3 ile verilmiştir.



Şekil 1. 380 kV Temelli Fideri hattının uydu fotoğrafı görüntüsü (Satellite photo view of 380 kV Temelli Fideri line)



Şekil 2. 380kV Pheasant hattı görünümü (View of 380kV Pheasant line)



Şekil 3. 380kV Pheasant hattının ölçüm yapılan noktadan görüntüsü (View of 380kV Pheasant line from measurement point)

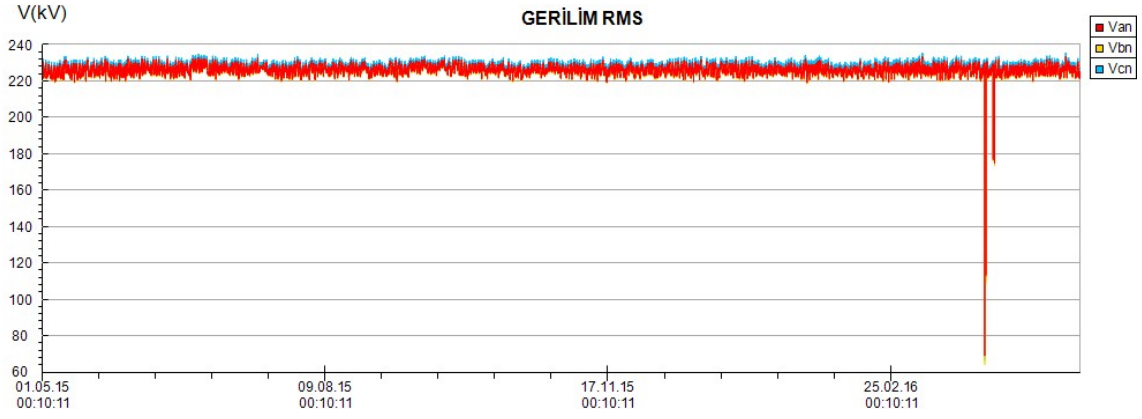
Belirlenen bu hat için benzetim programından alınan elektromanyetik ölçüm değerleri ile karşılaştırma için ölçüm noktasının hatta olan mesafesi lazer metre ile yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Hattın altındaki iki nokta için yapılacak olan ölçümler için hatta olan mesafe ilk nokta için 30 metre, ikinci nokta için 23 metre olarak ölçülüp kaydedildi.

TEİAŞ ve SEDAŞ kurumlarından alınan hattın gerçek zamanlı yıllık akım ve gerilim değerleri Şekil 4 ve Şekil 5 ile verilmiştir. Gerilim grafiğinde görüldüğü üzere 3 fazlı yıldız bağlı sistemin her birer fazı için gerilim değerleri 220-230 kV arasında değişmektedir. Bazı yerlerde bu değerlerin düştüğü görülmektedir. Bunun sebepleri çekilen gücün sürekli olarak değişmesi sonucu enerjinin başka yerlerden karşılanmasıyla

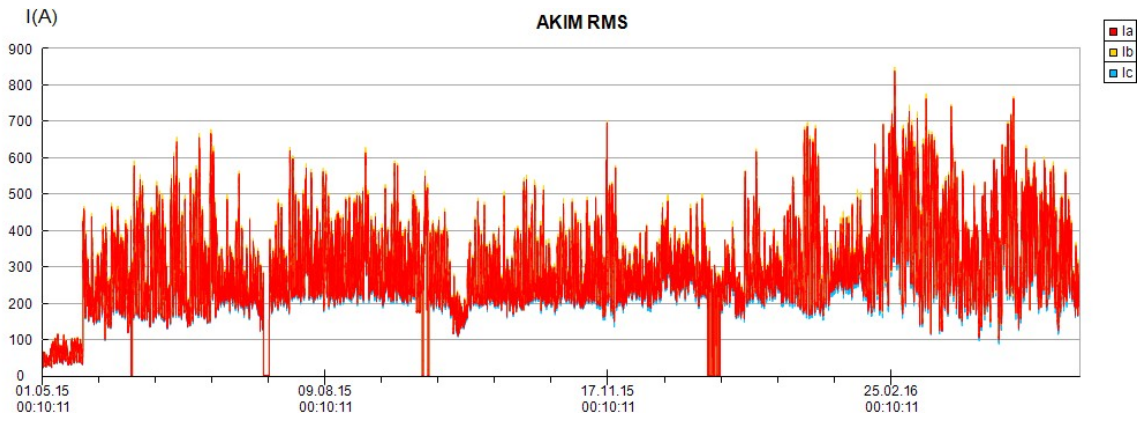
hat üzerindeki enerjinin düşmesidir. Akım grafiğindeki değerlerin uzun süre 0'da kalmasının sebepleri hat arızasından kaynaklanan güç kesintisi ya da bakım için hattın açılması ve enerjisiz kalması olabilir.

Hattın benzetimi için gerekli akım ve gerilim değerleri TEİAŞ 5.Bölge Müdürlüğü ve SEDAŞ'tan, geometrik ve yapısal özellikleri ise TEİAŞ Yönetmeliği'nden temin edildi. Benzetimler sonucunda hattan aşağıya doğru sırasıyla 23, 19, 15 ve 11 metre mesafeleri için elde edilen elektrik alan değişimleri Şekil 6 ile gösterilmiştir.

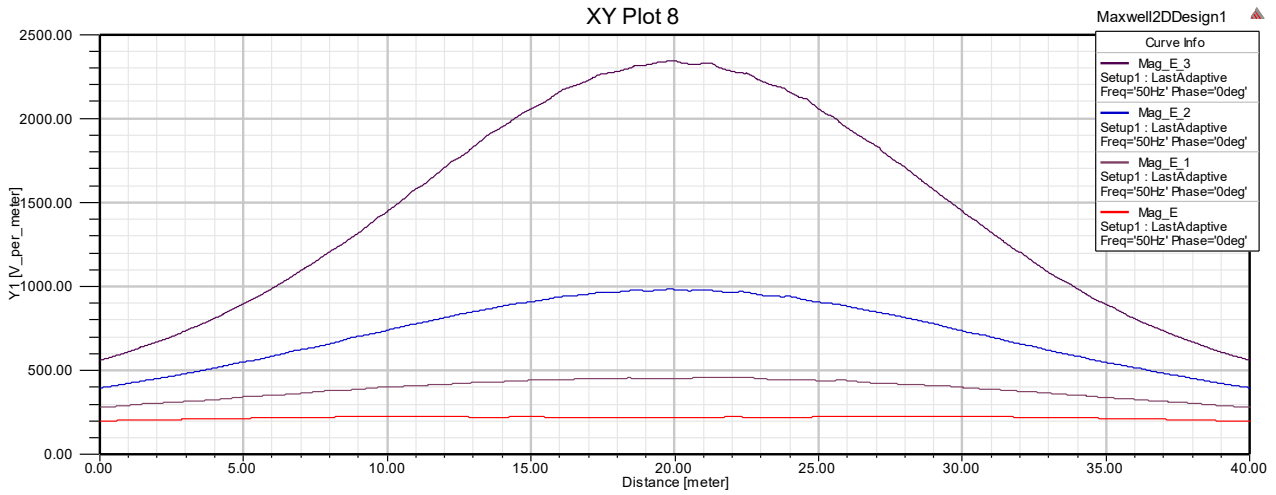
Benzer biçimde manyetik alan değişimleri hattan aşağıya doğru sırasıyla 23, 19, 15 ve 11 metre mesafeleri için elde edilmiş ve Şekil 7 ile gösterilmiştir.



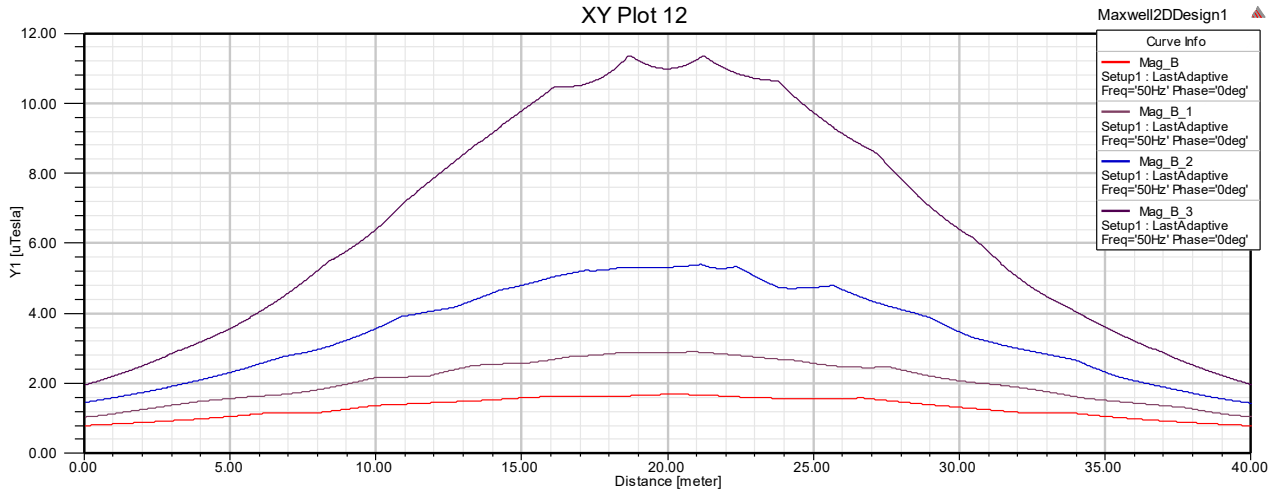
Şekil 4. Gerilim grafiği (Voltage characteristics)



Şekil 5. Akım grafiği (Current characteristics)



Şekil 6. Hattın en üst mesafesinden aşağıya doğru Mag_E:23 m, Mag_E_1:19 m, Mag_E_2:15 m ve Mag_E_3:11 m için elektrik alan değerleri (Electric field values in distance from the top of the line to down Mag_E:23 m, Mag_E_1:19 m, Mag_E_2:15 m and Mag_E_3:11 m, respectively)



Şekil 7. Hattın en üst mesafesinden aşağıya doğru Mag_B:23 m, Mag_B_1:19 m, Mag_B_2:15 m ve Mag_B_3:11 m için manyetik alan değerleri (Magnetic field values in distance from the top of the line to down Mag_B:23 m, Mag_B_1:19 m, Mag_B_2:15 m and Mag_B_3:11 m, respectively)

Hattın altında belirlenen noktalarda yapılan gerçek ortam elektromanyetik alan ölçümleri ilgili yönetmeliklerle karşılaştırmalı analizi 30m ve 23m uzaklık değerleri için sırasıyla Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5. 380 kV Pheasant hattı için birinci ölçüm noktası (30 metre) EMR değerleri (EMR values from first (30 meter) measurement point of 380 kV Pheasant line)

Pheasant (380kV)	Ölçüm Sonuçları	ICNIRP	ICNIRP	T.C. Orman Bakanlığı 24.07.2010 Yönetmeliği
		Mesleki Maruziyet Referans Düzeyi	Umumi Maruziyet Referans Düzeyi	
Elektrik Alan (kV/m)	0,99	10	5	15
Manyetik Alan (A/m)	1,09	400	80	160

Tablo 6. 380 kV Pheasant hattı için ikinci ölçüm noktası (23 metre) EMR değerleri (EMR values from second (23 meter) measurement point of 380 kV Pheasant line)

Pheasant (380kV)	Ölçüm Sonuçları	ICNIRP	ICNIRP	T.C. Orman Bakanlığı 24.07.2010 Yönetmeliği
		Mesleki Maruziyet Referans Düzeyi	Umumi Maruziyet Referans Düzeyi	
Elektrik Alan (kV/m)	2,3	10	5	15
Manyetik Alan (A/m)	1,7	400	80	160

Elektromanyetik alan ölçümleri sırasında kullanılan ölçüm cihazlarının listesi Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Ölçüm cihazları (Measurement equipment)

Marka	Model	Ölçüm Aralığı
Holiday	HI-3604	30 Hz – 2kHz
NARDA	ELT 400	1Hz – 400kHz
NARDA	SRM 3006	9kHz-6 GHz

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Geçmişten farklı olarak günümüzde geçerli olan, modern çağın ekosistemine karşı yapılan çevresel etkilerin en önemlilerinden biri elektromanyetik alan kirliliğidir. Enerji iletim hatları elektromanyetik alanlar yönünden etrafındaki her türlü canlı yaşamı için bir etki oluşturmaktadır. Bu çalışmada, doğrudan iletim hatların gerçek EMR ölçümleri ve gerçekleştirilen benzetimler ile Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'ndeki enerji iletim hatlarının oluşturduğu elektromanyetik alan değerleri ve bu kapsamda EMR kirlilik profili ortaya çıkarıldı.

TEİAŞ ve SEDAŞ kurumlarından benzetim programı için gerekli yapısal özellikler ve uzun dönemli akım-gerilim karakteristikleri temin edildi. Yapılan ölçümler sonucunda hattın aşağıya 30 metre mesafesinde elektrik alan 0,99 kV/m, manyetik alan 1,09 A/m, 23 metre mesafesinde elektrik alan 2,3 kV/m, manyetik alan 1,7 A/m olarak ölçüldü. Hattın gerçek karakteristikleri kullanılarak yapılan benzetimlerle ölçüm sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür.

Çalışmada elde edilen elektromanyetik radyasyon değerlerinin, Türkiye'de düşük frekanslı elektromanyetik alanlar için geçerli sınır değerler açısından karşılaştırılması, ICNIRP regülasyonları ve bu temel alınarak uygulanan Orman ve Su İşleri

Bakanlığı yönergeleri göz önüne alınarak yapılmıştır. Elde edilen elektromanyetik alan değerlerinden, ortamdaki elektromanyetik alan seviyesinin büyük ölçüde yüksek gerilim hatları kaynaklı olduğu hatlara yaklaştıkça ortaya çıkan değerlerin büyük ölçüde artması, hattan uzak noktalarda ise çok daha düşük değerlerle karşılaşılması ile anlaşılmaktadır. Ölçüm değerlerinden ortamda belli oranda elektromanyetik alan seviyesi elde edildiği söylenebilmekle birlikte, bu değerlerin özellikle manyetik alan açısından geçerli limit değerlerden çok daha düşük olduğu görülmüştür.

Ancak limitlerin altında olsa bile, EMR seviyeleri sürekli ve anlık maruziyet etkileri yönüyle ayrı ayrı ele alınmalıdır. Bu çerçevede sürekli maruziyet açısından yeni limitler oluşturulması ele alınmalı ya da yönetmeliklerde bu konu ayrıca tanımlanarak mevcut limitlerin belli bir oranı üst sınır olarak dikkate alınmalıdır. Bunun yanında, güncel çalışmalar ışığında ve “kanıtın yokluğu, yokluğun kanıtı değildir” ilkesi çerçevesinde, ihtiyat prensibi uygulanmalıdır. Bu prensip çerçevesinde, elektromanyetik alan seviyeleri ve limit değerlerin gözden geçirilmeleri ve aşağı çekilmesi için arayış içerisinde olunmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada gerçekleştirilen benzetimlere temel teşkil etmek üzere kullanılan iletim hatlarına ilişkin spektleri sağlayan TEİAŞ/SEDAŞ kurumlarına; çalışmanın ilk aşamasında ve saha ölçümleri esnasında katkı sunan Müh. Ozan Bayraktaroğlu'na teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, “Guidelines For Limiting Exposure To Time-Varying Electric, Magnetic, And Electromagnetic Fields (Up To 300 GHz),” *Health Phys.*, vol. 75, no. 5, p. 535, 1998.
- [2] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, “Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü Ve Denetimi Hakkında Yönetmelik,” 2011.
- [3] Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, “Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü Ve Denetimi Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik,” 2015.
- [4] S. Muroga et al., “Electromagnetic shielding effectiveness of non-magnetic metal coated non-woven fabric noise suppressor,” in *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 2014, vol. 2014–Septe, no. September, pp. 134–137.
- [5] R. Tukimin, W. N. L. Mahadi, M. Y. M. Ali, and M. N. M. Thari, “Extremely Low Frequency Electromagnetic Field (ELF EMF) Survey of Residential Areas Around Transmission Lines,” in *Applied Electromagnetics*, 2007. APACE 2007. Asia-Pacific Conference on, 2007.
- [6] O. Çerezci, B. Kanberoğlu, and Ş. Ç. Yener, “Analysis on trending electromagnetic exposure levels at homes and proximity next to base stations along three years in a city,” *J. Environ. Eng. Landsc. Manag.*, vol. 23, no. 1, pp. 71–81, 2015.
- [7] Ş. Ç. Yener, O. Çerezci, and A. Y. Çitkaya, “Yüksek Gerilim ve Trafolardan Kaynaklanan Ç evremizdeki Manyetik Alan ların Risk Analizi,” in *Elektromanyetik Alanlar Ve Etkileri Sempozyumu, EMANET 2015, Mersin*, 2015, pp. 272–275.
- [8] Advisory Group on Non-Ionising Radiation, “Power Frequency Electromagnetic Fields, Melatonin and the Risk of Breast Cancer,” 2006.
- [9] NIEHS EMF-RAPID Program Staff, “NIEHS Report on Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields,” 1999.
- [10] T. Interphone and I. Study, “Interphone study reports on mobile phone use and brain cancer risk,” *Int. J. Epidemiol.*, no. May, pp. 1–8, 2010.
- [11] Christopher J. Portier and M. S. Wolfe, “Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields,” 1998.
- [12] O. Çerezci, Ş. S. Şeker, and Ş. Ç. Yener, “The evaluation of electromagnetic radiation exposure in workplaces in terms of occupational health and safety,” in *Conference On Safety & Health*, İstanbul, 2016.
- [13] Biolinitiative Working Group 2012, “Biolinitiative 2012: A Rationale for Biologically-based Exposure Standards for Low-Intensity Electromagnetic Radiation,” 2012.
- [14] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks SCENIHR, “Possible

- effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health,” 2007.
- [15] Çevre ve Orman Bakanlığı, “İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyonun Olumsuz Etkilerinden Çevre Ve Halkın Sağlığının Korunmasına Yönelik Alınması Gereken Tedbirlere İlişkin Yönetmelik,” 2010.
- [16] P. S. Neelalanta, “Electromagnetic Fields Due To Overhead And Buried High-Voltage Power-Lines: A Quantitative Comparison,” in Southeastcon '89. Proceedings. Energy and Information Technologies in the Southeast., IEEE, 1989, p. 682–685 vol2.
- [17] P. S. Maruvada and A. Turgeon, “An experimental study of residential magnetic fields in the vicinity of transmission lines,” IEEE Trans. Power Deliv., vol. 13, no. 4, pp. 1328–1334, 1998.
- [18] A. Ferikoglu, O. Cerezci, M. Kahrıman, and S. C. Yener, “Electromagnetic absorption rate in a multilayer human tissue model exposed to base-station radiation using transmission line analysis,” IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., vol. 13, pp. 903–906, 2014.
- [19] L. N. O. Polat, M. Kahrıman, and S. Çömlekçi, “Creating head model by using 3-D pattern and evaluation of SAR mapping with numerical methods,” Biomed. Eng. Meet. BIYOMUT 2010 15th Natl. 21-24 April 2010, no. 1, pp. 6–8, 2010.
- [20] S. C. Yener and O. Cerezci, “Material Analysis and Application for Radio Frequency Electromagnetic Wave Shielding,” Acta Phys. Pol. A, vol. 129, no. 4, pp. 635–638, 2016.
- [21] D. M. Pozar, Microwave Engineering, vol. Fourth Edi. JohnWiley & Sons, Inc, 2012.
- [22] T. Yener, S. C. Yener, and S. Zeytin, “Electromagnetic-shielding effectiveness and fracture behavior of laminated (Ni–NiAl₃) composites,” Mater. Tehnol., vol. 50, no. 6, pp. 899–902, 2016.
- [23] T. Yener et al., “Mechanical characterizations and electromagnetic wave shielding properties of metallic Ni particulated Al₂O₃ ceramic matrix composites,” in 26th International Conference On Metallurgy and Materials - METAL 2017, Brno, Czech Republic, 2017.