

Yüksek Gerilim Taşıyan Enerji İletim Hatlarının (380/154/34.5 kV) Yaratmış Olduğu Manyetik ve Elektrik Alanların Maruziyetinin Değerlendirilmesi

Turan ÇAKIL - *Elektrik Elektronik Mühendisi*

turan_cakil23@hotmail.com

Özet

Elektrik alanlar ve manyetik alanlar hem doğal hem de insan kaynaklı birçok faktörden kaynaklanmakta olup, günlük yaşamımızda giderek artan bir öneme sahiptir. Elektrik ve elektronik cihazların sayısındaki hızlı artış, teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak çevremizdeki elektromanyetik alanların yoğunluğunu sürekli artırmaktadır. Özellikle enerji iletim hatları, taşıdıkları yüksek gerilim ve akımlar sebebiyle çok düşük frekanslı (ELF) elektromanyetik alanlar üretmektedir. Güç aktarım sistemlerinde ise, bu alanlar genellikle kesici ve ayırıcı gibi ekipmanların çalışması sırasında oluşmaktadır. İletim hatlarının etrafındaki elektromanyetik alanların şiddeti, hattın yapısı, gerilim düzeyi ve taşınan akım miktarı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu alanların hesaplanması, diğer karmaşık güç sistemlerine kıyasla daha basittir. Bu çalışma kapsamında, örnek bir enerji iletim hattının normal çalışma koşullarında çevresinde oluşturduğu ELF elektromanyetik alan şiddetleri değerlendirilmiştir.

1. Giriş

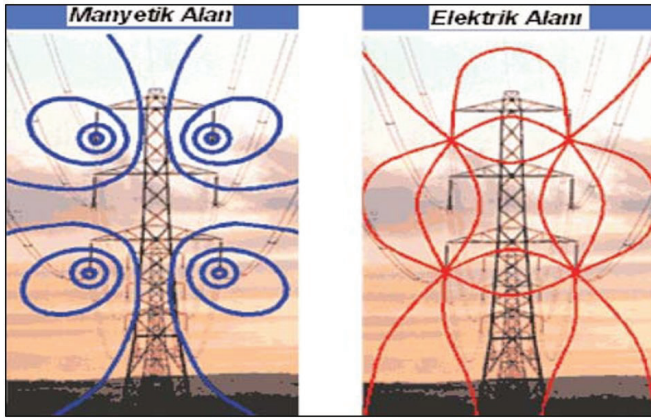
Elektrik enerjisi, üretim santrallerinden yüksek gerilimde çalışan enerji iletim hatları (örneğin 34.5, 154 kV ve 380 kV) aracılığıyla dağıtım merkezlerine iletilir. Bu dağıtım merkezlerinden ise enerji, düşük gerilimli dağıtım hatları vasıtasıyla son kullanıcıya ulaştırılır. Yüksek gerilim ve akım ile çalışan enerji iletim hatları ve güç santralleri, çevrelerinde güçlü elektrik ve manyetik alanlar oluşturmaktadır. Bu alanlar birbirini vektörel olarak tamamladıkları için elektromanyetik alanlar olarak bilinir. Genellikle frekanslarına veya dalga boylarına göre sınıflandırılır. Tüm elektromanyetik dalgaların bir arada gösterildiği ve frekans düzleminde yer aldığı çizelgeye ise elektromanyetik spektrum adı verilir. Elektro-

manyetik spektrumun üst ucunda gama ışınları ve yüksek enerjili X ışınları bulunurken, alt ucunda ise oldukça düşük frekanslı (ELF) alanlar yer alır. ELF alanlarının frekans aralığı 3000 Hz'in altındadır ve bu frekanstaki dalga boyları binlerce kilometreye kadar uzanabilir. Enerji iletim hatları tarafından üretilen 50 Hz frekansındaki elektromanyetik alanlar da bu sınıfa dahildir, çünkü çok düşük frekans aralığında yer alırlar. Bu tür alanlar, özellikle yüksek gerilim taşıyan iletim hatlarının çevresinde gözlemlenen elektromanyetik alanların karakteristik özelliklerini tanımlar. Endüstriyel frekanslı elektromanyetik alanların insan sağlığı üzerindeki potansiyel olumsuz etkileri nedeniyle, yüksek gerilim hatlarının çevresindeki elektromanyetik alanların hesaplanması ve ölçülmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda, uluslararası düzeyde ilk örnek çalışma 1990 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, Radyasyondan Korunma Birliği Komitesi, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) Çevre Sağlığı Bölümü'nün iş birliği ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın desteğiyle yürütülmüştür. Çalışma, 50/60 Hz frekansındaki elektrik ve manyetik alanlar için sınır değerlerin belirlenmesini hedeflemiştir.

Enerji iletim hatlarının yerleşim yerlerine olan mesafeleri, Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği (EKATY) kapsamında belirlenmiştir. Yönetmeliğin 44. maddesine göre, 72,5-170 kV aralığında çalışan hatlar için, havai hat iletkenleri ile yapılar arasındaki en küçük yatay mesafe, en büyük salınım konumunda 4 metre olarak belirlenmiştir. Bu kurallar, enerji iletim hatlarının yerleşim alanlarına güvenli bir mesafede olmasını sağlamak amacıyla yasalar ve yönetmeliklerle düzenlenmiştir. Bu sebeple, enerji iletim hatlarının konutlara olan mesafeleri yasal düzenlemelerle sıkı bir şekilde kontrol edilir ve bu yönetmeliklere uyulması zorunlu hale getirilmiştir. Tipik bir havai iletim hattının oluşturduğu manyetik ve

elektrik alan çizgileri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Kısaca hattın elektriksel ve manyetiksel anlamda da ne anlama geldiğini de açıklayalım. Bir havai iletim hattı tarafından üretilen manyetik ve elektrik alan çizgileri, hattın altından ve çevresinden yayılan alanların dağılımını gösterir. Bu alanlar, hattın tam altında en güçlüdür ve hattın uzaklaştığı bölgelerde giderek zayıflar. Manyetik alanlar, elektrik akımının şiddetine bağlı olarak oluşurken, elektrik alanları hattın taşıdığı gerilime bağlı olarak üretilir. (Şekil 1.)



Şekil 1. Tipik çift hat taşıyan direk tiplerinde oluşan elektrik-manyetik alan gösterimi

Manyetik alan: Hattın altındaki akım miktarıyla doğru orantılıdır ve hattın kenarlarına doğru mesafe arttıkça azalır.

Elektrik alan: Hattın taşıdığı gerilim seviyesine bağlıdır ve yine hattın tam altında en büyük seviyededir, mesafe ile zayıflar.

Bu elektrik ve manyetik alanlar, enerji iletiminde kullanılan yüksek gerilimli hatların çevresindeki elektromanyetik alan ortamını tanımlar. Havai hatlar çevresinde güvenlik ve sağlık açısından önemli olan bu alanlar, hattın yapısına ve kullanılan gerilim seviyesine göre farklılık gösterir. Havai hatlar, elektrik enerjisinin farklı yüksek gerilim seviyelerinde ülkenin çeşitli bölgelerine taşınmasına olanak tanır. Tüm havai hatlar, çevrelerine elektrik ve manyetik alanlar yayar. Bu alanların şiddeti, hattın tam altında maksimum seviyededir ve mesafe arttıkça, özellikle hattın kenarlarına doğru, kademeli olarak azalır. Bu şekilde, havai hatların yaydığı elektromanyetik alanın doğası ve dağılımı, konumuna göre değişiklik gösterir ve bu da yerleşim alanları için güvenlik mesafelerinin belirlenmesinde dikkate alınır.

Hattın İzin Verilen En Yüksek Sürekli İşletme Gerilimi (kV)	Yatay Uzaklık (m)
0-1 (1 dahil)	1
1-36 (36 dahil)	2
36-72,5 (72,5 dahil)	3
72,5-170 (170 dahil)	4
170-420 (420 dahil)	5

Çizelge 1. EKATY' de hava iletkenlerinin en büyük salınımlı durumda yapılara olan en küçük yatay uzaklığı

2. Enerji İletim Hatlarında Oluşan Alanlara Etki Eden Faktörler

Havai hatlar tarafından üretilen elektrik ve manyetik alanlar, çeşitli faktörler tarafından etkilenir. İşte bu alanlara etki eden başlıca etkenler:

- **Hattın Taşıdığı Gerilim Seviyesi:** Elektrik alanının büyüklüğü, hattın taşıdığı gerilim (voltaj) ile doğrudan ilişkilidir. Gerilim seviyesi arttıkça, hattın ürettiği elektrik alanının büyüklüğü de artar. Bu nedenle, yüksek gerilimli hatlar çevresinde daha büyük elektrik alanları oluşur.

- **Akım Şiddeti:** Manyetik alanın büyüklüğü, hattın taşıdığı akım şiddetine bağlıdır. Hat üzerinden taşınan akım ne kadar büyükse, hattın çevresinde oluşan manyetik alan da o kadar güçlü olur. Büyük iletim hatlarında kullanılan akım, devre başına yaklaşık 4000 amper (A) civarındadır. Bu yüksek akım seviyeleri, büyük enerji ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanmıştır. Ancak, tipik bir devrede ortalama akım genellikle 700 amperden fazla olmaz. Dağıtım hatlarında ise akım seviyeleri çok daha düşüktür, genellikle 100 amper civarında ya da daha azdır.

- **Enerji İletim Hatlarının Yüksekliği:** İletim hatlarının yerden yüksekliği, üretilen alanların büyüklüğünü ve dağılımını etkiler. Havai hatlar yerden ne kadar uzaksa, yer seviyesindeki elektrik ve manyetik alanların şiddeti o kadar düşük olacaktır.

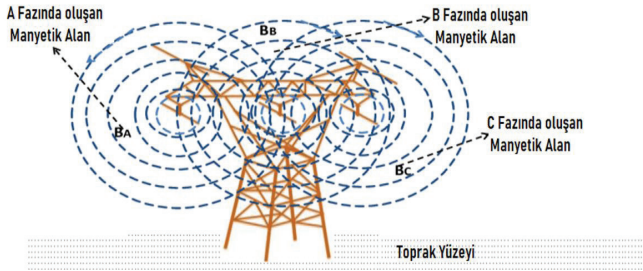
- **Enerji İletim Hattının Uzaklığı:** İletim hattına olan uzaklık arttıkça manyetik alan azalmaktadır.

- **İletim Hattının Yapısı:** Havai hattın tasarımı, faz sayısı, iletkenlerin düzenlenişi ve kullanılan malzemeler gibi unsurlar hem elektrik hem de manyetik alanların oluşumunu etkiler. Örneğin, iletkenlerin dizilimi (2'li-3'lü demet iletken) ve fazlar arasındaki mesafe, manyetik alanın dağılımını belirler.

- **İletkenlerin Yerleşimi ve Mesafe:** İletkenler arasındaki yatay ve dikey mesafeler de üretilen alanları etkiler. İletkenlerin birbirine yakın olduğu durumlarda, manyetik alanlar birbirini kısmen etkisiz hale getirebilir, bu da alanın toplam büyüklüğünü azaltabilir. Şekil 2' de bu durum gösterilmiştir.

Şekil 2. İletkenlerde oluşan manyetik alanların gösterimi

- **Çevresel Faktörler:** Hava durumu (yağmur,



kar, nem gibi), toprak yapısı ve çevresel koşullar da iletim hatlarının ürettiği alanları etkileyebilir. Örneğin, yağmurlu havalarda iletkenlerin çevresinde elektrik alan yoğunluğu artabilir.

Bu etkenler, havai hatların çevresindeki elektromanyetik alanların şiddetini ve dağılımını belirleyen ana unsurlardır. Hem elektrik hem de manyetik alanların insan sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel etkileri, bu faktörler dikkate alınarak değerlendirilir.

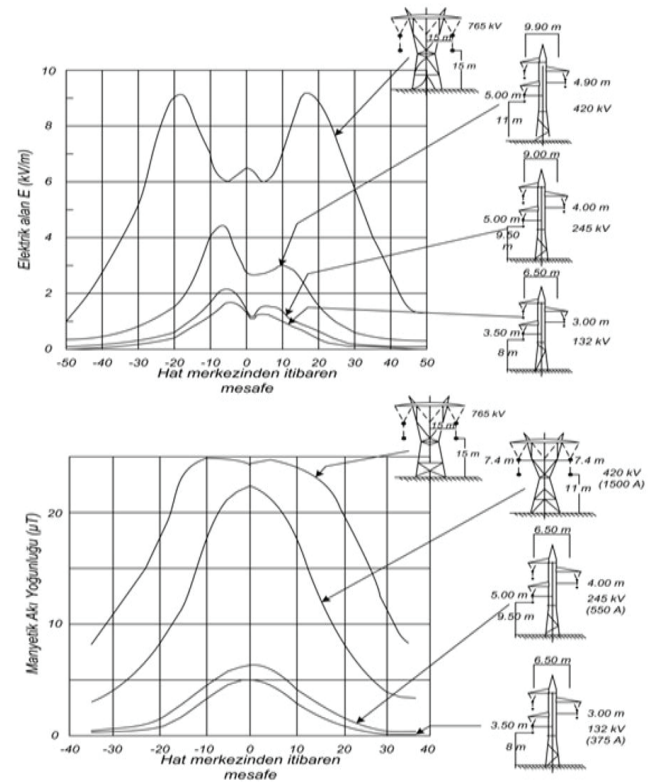
3. Enerji İletim Hatlarında Oluşan Alanların Hesaplanması

Güç tesisleri, sürekli çalışma koşullarında şebeke frekansına sahip elektromanyetik alanlar üretirler (Ari ve ark., 1987). Bu elektromanyetik alanların enerji iletim hatları etrafındaki seviyeleri, hattın yapısına, hattaki gerilime ve akım şiddetine bağlı olarak değişiklik gösterir. Elektromanyetik alanlar, iki ana bileşen olan elektrik alan ve manyetik alan olarak ayrılır.

Elektrik alan, gerilime bağlıken manyetik alan, hattaki akım şiddeti ile ilgilidir. Bu iki bileşen, birlikte çevredeki elektromanyetik alan seviyesini belirler ve farklı çalışma koşullarına göre değişiklik gösterebilir. Elektrik alanı, akım yerine daha çok gerilime ve yüke bağlıdır; bu nedenle, elektrik alanının büyüklüğü hattaki gerilimle belirlenir. Buna karşılık, manyetik alan ise pratikte hat üzerinden geçen akımla doğru orantılıdır (Teaş, 2001). Yani, bir iletim hattındaki manyetik alanın gücü, o hattaki akımın şiddeti arttıkça artar. Bu ilişki, elektrik ve manyetik alanların farklı

fiziksel kaynaklara dayandığını, ancak enerji iletim sistemlerinde bir arada ortaya çıktığını göstermektedir.

Jdanov (1980) tarafından yapılan çalışmalarda, 50/60 Hz frekanslı alanların çevresel etkilerini inceleyerek, elektrik hatlarının çevresinde meydana gelen elektromanyetik alanların seviyelerini belirlemeye odaklanmıştır. Bu seviyeler Şekil 3' te gösterilmiştir.



Şekil 3. Enerji iletim hatları tarafından üretilen şebeke frekanslı alanlar

Bu değerlere ilaveten TEİAŞ' ın enerji iletim hatlarının devreye alınmasından önce sahada sınır olarak kabul ettiği değerlerde Çizelge 2 ve Çizelge 3' te gösterilmiştir. Bu değerlerin tespiti sahada ölçüm şeklinde yapılmaktadır. (EİH: Enerji iletim hattı, TM: trafo merkezi, GIS: Gaz izoleli sistemli TM)

Gerilim (kV)	Elektrik Alan Şiddeti	Maksimum Alan Şiddeti (mG)
154 kV EİH	0.82 - 3.64 (V/m)	7.0 - 13.6
154 kV Yer Altı Kablo	0.65 - 3.80 (V/m)	2.6 - 26.9
380 kV EİH	0.222 - 5.0 (kV/m)	2.7 - 86
(154 + 34.5) kV GIS	0.62 - 4.90 (V/m)	35 - 165
(154 + 34.5) kV TM	0.187 - 4.38 (kV/m)	29.1 - 149
(380 + 154) kV TM	0.63 (V/m) - 6.0 (kV/m)	0.6 - 71

Çizelge 2. Yüksek gerilimli elektrik iletim tesislerinden kaynaklı elektrik ve elektromanyetik alanlar (Havai hattın tam altında, yer altı hattının tam üstünde, TM çitinde yaklaşık ölçüm aralığı)

Tesis Tipi	Elektrik Alan (kV/m)	Elektromanyetik Alan (mG)
154 kV EİH	0.00082-0.364	7-13.6
380 kV EİH	0.222-5.0	2.7-86
Avrupa Konseyi Tavsiye Kararı	5	1000

Çizelge 3. 380-154 kV gerilime sahip aktif olarak kullanılan elektrik iletim hattının oluşturduğu elektrik ve elektromanyetik alanların ölçüm tespiti

Söz konusu Çizelge 3 incelendiğinde ve görüleceği üzere 154 kV-380 kV gerilimine sahip hatlar için elektromanyetik alan (mG) değeri Avrupa Konseyi tavsiye kararı olan 1000 mG değerinden çok daha düşüktür.

4. Sonuç

ELF'ler için elektrik ve manyetik alanlara maruz kalmanın olumsuz etkilerini önlemek amacıyla temel maruziyet sınırları belirlenmiştir. Bu sınırlar, uygun bilimsel incelemelere dayanarak hazırlanmalı ve özellikle insan sağlığı üzerindeki potansiyel riskleri minimize etmeyi hedeflemelidir. Mevcut bilimsel çalışmalar daha çok kısa süreli (akut) ve ani etkilere odaklandığından, bu etkilere karşı koruyucu önlemler içeren iki önemli uluslararası kılavuz geliştirilmiştir. Bu kılavuzlar, elektrik ve manyetik alanlara maruz kalmanın güvenli seviyelerini belirleyerek hem halk sağlığını korumayı hem de çalışma ortamlarındaki güvenliği sağlamayı amaçlar.

ICNIRP'ye göre, halk için ELF elektrik ve manyetik alan maruziyet sınır değerleri:

- ELF 50 Hz Manyetik Alan Maruziyeti Halk İçin Sınır Değeri 100 μ T

- ELF 50 Hz Elektrik Alan Maruziyeti Halk İçin Sınır Değeri 5 kV/m

ICNIRP Kılavuzu'na göre ELF elektrik ve manyetik alan maruziyeti mesleki sınır değerleri:

- ELF 50 Hz Manyetik Alan Maruziyeti Mesleki Sınır Değeri 500 μ T

- ELF 50 Hz Elektrik Alan Maruziyeti Mesleki Sınır Değeri 10 kV/m

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ELF Elektrik-Manyetik Alan Maruziyeti için Ekim 2022'de 0-100 kHz frekans aralığındaki ELF elektrik ve manyetik alanların sağlığa olan risklerini değerlendirmek amacıyla bir bilimsel görev grubu oluşturulmuştur. Bu grup, ani ve şiddetli kısa süreli etkilerle ilgili yeterli bilimsel araştırmalar yapılmasına rağmen, ELF manyetik alan maruziyeti ile çocuk kanseri (lösemi) arasındaki bağlantının delillerinin sınırlı olması nedeniyle uzun süreli etkilerde belirsizlik olduğunu belirtmiştir. Bu durum, tedbirli yaklaşımların uygulanmasının daha uygun olduğunu vurgulamaktadır. Ancak, mevcut kılavuzlardaki maruziyet sınır değerlerinin rastgele bir seviyeye düşürülmesinin önerilmediği ifade edilmiştir. Bu tür bir uygulama, bilimsel görüşlerin zayıflamasına yol açabilir ve etkili bir önlem değildir. Maruziyeti azaltmak amacıyla diğer uygun önlemlerin uygulanmasının kabul edilebilir ve faydalı olduğu belirtilmiştir. Elektrik enerjisinin sağlığa, sosyal yaşama ve ekonomik açıdan faydalar sağladığı göz önüne alındığında, tedbirli yaklaşımlar bu faydaları azaltmamalıdır. Ayrıca, ELF manyetik alan maruziyeti ile çocuk kanseri arasındaki ilişki ve bu ilişkinin halk sağlığı üzerindeki sınırlı etkileri hakkında sunulan delillerin zayıflığı, sağlıktaki maruziyet azaltımının faydasının açık olmadığı anlamına gelmektedir. Tedbir önlemlerinin maliyetinin düşük olması gerektiği vurgulanmakta ve maruziyetin azaltılmasının maliyetinin ülkeden ülkeye değişkenlik gösterdiği ifade edilmektedir. ELF alanlarından kaynaklanan risk potansiyeline karşı maliyet dengesini sağlamak ise zordur. Mevcut ELF kaynaklarının değişimi durumunda, ELF alanlarının azaltılması ile güvenlik, güvenilirlik (görevini yeterli bir şekilde yerine getirme yeteneği) ve ekonomik çözümler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu hem insan sağlığını korumak hem de enerji sistemlerinin verimliliğini sağlamak için önemlidir. Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP), ELF elektrik

ve manyetik alan maruziyeti için halk sağlığı açısından sınır değerlerini 100 μ T olarak belirlemiştir. Ancak, ihtiyatlı bir yaklaşım olarak yeni inşa edilecek elektrik tesislerinin, manyetik alanın ortalama değerinin 20 μ T ve yerleşim merkezlerinde 10 μ T olacak şekilde konumlandırılması önerilmektedir. Yukarıda tekrardan bahsedildiği gibi bu tedbirler, halk sağlığını korumak amacıyla yapılacak uygulamalarda güvenliğini artırmayı hedeflemektedir. Bu öneriler hem halk sağlığını korumak hem de elektrik tesislerinin yerleşim alanlarına olan etkilerini minimize etmek için bilimsel verilere dayanmaktadır. Bu nedenle, elektrik ve manyetik alan maruziyeti ile ilgili gelişmeler takip edilmelidir.

Sonuç olarak elektromanyetik alanların biyolojik yaşam üzerine olumsuz etkileri henüz kanıtlanmamış olmakla birlikte günlük hayatımızda sıkça kullandığımız elektrikli ev aletlerinin yaydığı elektromanyetik alan şiddetlerinin bile enerji iletim hatlarına göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu tarz çalışmalar, elektromanyetik alanların insan sağlığı üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak ve riskleri minimize etmek amacıyla halen devam etmektedir. Bu çalışmaların geleceği olarak ise anlık ölçümlerin yapay zekâ algoritmaları ile işleneceği reseptörler oluşturarak anlık takip yapılmasının sağlanmasıdır.

Kaynakça

- Jdanov, P.S., (1980). Electric and magnetic fields produced by transmission systems. Working Group 36.01. CIGRE Publisher, Paris, 34-36 pp.
- Ari, N., Bulumer, W., Thomas, D.E, (1987). Transient EM fields due to switching operations in electric power systems. IEEE Transaction on EMC, 29, 233-237.
- TEAŞ, (2001). Elektrik Alanları ve Magnetik Alanlar. Teaş Genel Müdürlüğü Çevre Daire Başkanlığı, Cilt 1-2. Ankara, 90-94.
- Helhel, Selcuk & Ozen, S., (2008). Assessment of occupational exposure to magnetic fields in high-voltage substations (154/34.5 kV). Radiation protection dosimetry. 128. 464-70. 10.1093/rpd/ncm443.
- Dincer H., (2009). Enerji İletim Hatlarının Oluşturduğu Manyetik Ve Elektrik Alanlar, Elektrik Mühendisliği, 436. sayı, Kırıs.
- TEİAŞ, (2022). Elektrik İletim Tesislerinin Elektrik Alanı ve Magnetik Alan Ölçüm Raporu. TEİAŞ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Cakil T, Carlak HF, Ozen S., (2024) The Indirect Effect of Lightning Electromagnetic Pulses on Electrostatic, Electromagnetic Fields and Induced Voltages in Overhead Energy Transmission Lines. Applied Sciences. 14(7):3090. <https://doi.org/10.3390/app14073090>

İZMİR'DE İKİ VATANDAŞIMIZIN ELEKTRİK AKIMINA KAPILMASI SONUCU MEYDANA GELEN ACI OLAYIN DERİN ÜZÜNTÜSÜNÜ YAŞIYORUZ

Elektrik Mühendisleri Odası Ankara Şubesi olarak 13 Temmuz 2024 Cumartesi günü yoğun yağışlar sonrası İzmir'de elektrik akımına kapılan ve tüm müdahalelere rağmen kurtarılamayan Özge Ceren Deniz ve İnanç Öktemay'a Allah'tan rahmet, yakınlarına ve dostlarına baş sağlığı ve sabırlar dileriz.

Bu acı olay elektrik güvenliği konusundaki ciddiyeti bir kez daha gözler önüne sermektedir. Elektrik tesisatlarının düzenli bakımı ve güvenliği hayati önem taşımaktadır. Kamuoyunu, özellikle elektrik kullanımı sırasında alınması gereken temel güvenlik önlemlerini gözden geçirmeye ve bilinçlenmeye davet ediyoruz.

Elektrik tesisatlarında ihmaller can ve mal kayıplarına sebep olur. Bu nedenle, güvenli elektrik kullanımı ve tesisatlarının ilgili kontrol birimleri tarafından düzenli denetimi konusundaki uyarılarımızı bir kez daha hatırlatmak isteriz. Sorumluların en kısa zamanda cezalandırılmasını bekliyoruz.

Elektrik Mühendisleri Odası Ankara Şubesi olarak bu tür acı kayıpların yaşanmaması için gerekli önlemlerin alınması ve mevcut mevzuatın güçlendirilmesi gerektiğine inanıyoruz ve bu konuda her türlü desteği vermeye ve bilinçlendirme çalışmaları yapmaya devam edeceğiz.

Kamuoyuna saygıyla duyurulur.

14.07.2024

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası
Ankara Şubesi 27. Dönem Yönetim Kurulu