

Elektrik ve Magnetik Alanların Biyolojik Etkileri ve Kanser Araştırmaları

Hayri YILDIRIM
Özcan KALENDERLİ

İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektrik Mühendisliği Bölümü

IEEE Spectrum dergisinin Aralık 1996 sayısında elektrik ve magnetik alanların insan sağlığına etkisiyle ilgili olarak yapılan araştırmaların sonuçlarını veren bir yazı yayınlandı [1]. Yazıda şöyle deniliyordu :

ABD "Ulusal Bilimler Akademisi (National Academy of Science), Ulusal Araştırma Konseyi (National Research Council), yerleşim bölgelerinde oluşan elektrik ve magnetik alanların insan sağlığını tehdit ettiğini gösteren açık ve kesin bir kanıt olmadığı sonucuna varıldığını, fakat konseyin enerji iletim hatlarına yakın evlerde yaşayan çocuklarda lösemideki küçük artışa sebep olan etkenlerin ne olduğu gibi açıklanamayan soruların yanıtlanması için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini belirten bir rapor yayınladı. ABD Kongresi tarafından istenilen raporun hazırlanması 3 yıl sürdü ve bu konuda 17 yılda yayınlanan 500'ün üzerinde araştırma sonuçları incelendi."

Son zamanlarda yayınlanan araştırma sonuçlarının ortak bir şekilde şu ifadeleri içerdiği görülmektedir [2]: "Bugüne kadar yapılan araştırmalar sonunda enerji iletim hatları yakınında oluşan elektrik ve magnetik alanların kanser artışı ile bir ilişkisi olduğunu gösteren açık ve kesin deliller yoktur. Ancak bu, araştırmaların bu sonuçla bittiği anlamına gelmemelidir. Hala şüpheler vardır. Kesin sonuca ulaşmak için araştırmalara devam edilmelidir".

Yüksek Gerilim Hatları ve Elektrofobi

Genellikle büyük şehirlerde yerleşim bölgeleri içinden geçen yüksek gerilim hatlarının insan sağlığına zararlı olduğu ve kansere sebep olduğu konusunda spekülasyonlar yayımlanmaktadır. Bu yayınların çoğu uzmanlar tarafından değil gazeteciler ve

haberciler tarafından yapılmaktadır ve çoğu kez bilimsel gerçekler göz ardı edilmektedir. Bu da halkın endişeye kapılmasına ve bölgelerinde yüksek gerilim hatlarının varlığına tepki göstermelerine neden olmaktadır. Bu yüzden son yıllarda literatüre, yüksek gerilim hatlarından "**elektrik alanı korkusu**" anlamına gelen "**elektrofobi**" kelimesi de girmiştir [3]. Bu korku cep telefonları ve mikrodalga fırınlarıyla ilgili olarak ta gelişmeye devam etmektedir. Aslında bu korku 2. Dünya savaşı yıllarında radarların, radyo ve mikrodalga ile haberleşmenin yaygınlaşmasıyla radyo frekanslı elektromagnetik alanlarla ilgili olarak ortaya çıkmıştır. Daha sonra 1970'li yıllarda enerji iletim hatları ve elektrikli ev aletlerinin oluşturdukları 50 Hz frekanslı elektrik ve magnetik alanlarla ilgili korkuya dönüşmüştür.

biyolojik yapısına etki eder mi, ederse bu zararlı bir etki midir? Zararlı bir etki varsa buna elektrik alanı mı yoksa magnetik alan mı sebep olmaktadır ve bu alanların hangi özellikleri yani frekansı mı, şiddeti mi, ortalama değeri mi, yoksa etki süresi mi önemlidir?

Bütün bu ve buna benzer soruların yanıtlarını bulabilmek için ABD ve Avrupa ülkelerinde yirmi yılı aşkın bir süreden beri araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar, elektromagnetik alanların kanserle bir ilişkisi olup olmadığını belirlemeye yönelik istatistiksel (epidemiolojik) araştırmalar, biyolojik etkilenmenin oluşumunu inceleyen araştırmalar ve canlı hayvanlar veya dokular üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları ve



elektrik ve magnetik alan değerlerinin ölçülmesi ve hesaplanması için yapılan mühendislik araştırmalarıdır. Bu araştırmalar değişik disiplinlere açık araştırmalardır. Bu nedenle mühendisler, biyologlar, biyofizikçiler ve doktorlar gibi farklı bilim dallarındaki uzmanların gerek ayrı ayrı gerekse birlikte çalışmalarını gerektirmektedir.

Yüksek gerilim hatlarının oluşturduğu elektrik ve magnetik alanlar kansere sebep olmuyorsa bu söylentiler nereden çıkıyor? Eğer elektrik ve magnetik alanlar kansere sebep oluyorsa, acaba ne büyüklükte bir alan şiddeti buna sebep oluyor ve yüksek gerilim hatları bu büyüklükte bir elektrik ve magnetik alan oluşturuyor mu? Bu alanlar insan vücudunun

Aslında bu yüzyılın başından 1970'li yıllara kadar radarların, haberleşme aygıtlarının ve diğer kaynakların yaydıkları **radio frekanslı elektromagnetik alanların** ısıtma etkisi ayrıntılı olarak araştırılmış ve sonuç olarak 1953'te Pennsylvania Üniversitesi'nden Herman Schwan yaptığı mühendislik ve biyofizik hesaplamalar sonunda etkisinde kalan elektromagnetik alan için 10 mW/cm^2 lik ortalama güç yoğunluğunun güvenli bir üst sınır olduğunu belirtmiştir. 1966'da bu değeri üst sınır olarak kabul eden ilk ANSI (American National Standards Institute) Amerikan ulusal standardı yayınlanmıştır. Bugüne kadar bu değer altındaki elektromagnetik güç yoğunluğu değerlerinde, ortaya çıkan bir şikayet veya hastalık bildirilmemiştir [4].

Elektrik Alanı ve Kanser

1970'li yıllarda yüksek gerilim hatlarının oluşturduğu **elektrik alanların** biyolojik etkileri konusunda çalışmalar yapıyordu. Ancak 1979 yılında Nancy Wertheimer ve Ed Leeper'in yayınladıkları bir epidemiyolojik araştırma sonucunda büyük akımların aktığı elektrik dağıtım hatları yakınındaki **magnetik alanlar** ile çocuk lösemisi (kan kanseri) arasında bir ilişki olduğunu belirten araştırması yayınlanınca araştırmacıların bütün dikkati enerji iletim hattı **magnetik alanlarının kanser etkisine** yöneldi. Yüksek gerilim hatlarının oluşturduğu magnetik alanlar ile kanser arasında bir ilişki olduğunu söyleyen ilk **epidemiyolojik araştırma** budur [5]. Bundan sonraki birçok araştırma böyle bir ilişkinin olup olmadığını belirlemesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bugüne kadar elektrik ve magnetik alanlar ile kanser arasında ilişki olduğunu söyleyen araştırmalar hep istatistiksel temele dayanan epidemiyolojik araştırmalardır. Laboratuvar çalışmaları ise daha çok elektrik ve magnetik alanların biyolojik etkilerinin ve eğer bu alanlar kansere sebep oluyorsa bunun nasıl bir biyolojik etkiyle gerçekleştiğinin araştırılması üzerine yapılmaktadır. Bugün epidemiyolojinin elektrik ve magnetik alanlar ile kanser arasındaki ilişki sorununun çözümünde uygulanacak bir yöntem olup olmadığı tartışılmaktadır ve epidemiyolojik araştırma sonuçlarının laboratuvar çalışmalarıyla doğrulanması ve etkilenmenin nasıl olduğunu açıklayan mantıklı bir

biyofizik mekanizmanın bulunması gerektiği sonucuna varılmıştır. Epidemiyolojik araştırmalar, enerji iletim hatları çevresinde oluşan magnetik alanların kansere sebep olup olmadığı konusunda hala kesin bir yanıt bulmada başarılı olamamıştır.

Dr. Nancy Wertheimer 1979 yılında yayınladıkları epidemiyolojik araştırma sonunda şu açıklamayı yapmaktadır [1]: "1976 - 1979 yılları arasında Denver'ın (ABD) büyük bir kesiminde yaptığımız bir araştırmada kanserli çocukların bulunduğu evlerin normal olmayan bir şekilde çoğunlukla elektrik hatlarına yakın evler olduğunu gördük".



Bunun ne anlama geldiğini görmek için epidemiyolojik araştırmaların nasıl yapıldığına bakmak gerekir. Epidemiyoloji, geniş halk kitlelerini etkileyen kanser gibi bazı hastalıklarla bu hastalıklara sebep olabileceği düşünülen etkenler (örneğin magnetik alan) arasında istatistiksel olarak bir ilişki olup olmadığını belirlemeye çalışan bir bilim dalıdır. Araştırma sonuçları, sözkonusu hastalıkla buna sebep olabileceği düşünülen çeşitli etkenler arasındaki istatistiksel ilişki şeklinde verilir. Araştırmacıların bir ilişkinin varlığından %95 emin oldukları bir bulgu "istatistiksel olarak anlamlı" olarak tanımlanır. Ancak böyle bir bulgu sözkonusu etkenin o hastalığa sebep olduğunu ispatlamaz. Herhangi bir etkenin o hastalığa sebep olduğunu açıklamadan önce laboratuvar hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalar sonunda bunu destekleyecek bulgular elde edilmesi gerekir.

Epidemiyolojik Değerlendirme

Epidemiyolojik araştırma yapılırken örneğin magnetik alanın kansere sebep olup olmadığını saptamak için, belirli sayıda kanserli insan incelemeye alınır. Bunlara "hasta" veya "vaka" denir. Benzer özelliklere sahip fakat hasta olmayan aynı sayıda insan belirlenir. Bunlara "kontrol" denir. Hasta ve kontrol insanların daha önce magnetik alan etkisinde kalanların sayısı belirlenir. Araştırmanın en zor adımı çoğu kez burasıdır. Hastaların etkilenme oranı kontrollerin etkilenme oranı ile karşılaştırılır. Eğer oranlar aynı ise magnetik alanla kanser arasında bir ilişki yoktur. Eğer hastaların etkilenme oranı daha büyükse pozitif ilişki vardır ve magnetik alan kansere sebep olabilir. Eğer hastaların etkilenme oranı kontrollerinkinden daha düşükse negatif ilişki vardır ve magnetik alan insanların kansere karşı korunmasına yardımcı olabilir. Örnek olarak, 300 hasta ve 300 kontrol gözönüne alınsın. Eğer kanser hastalarından 71'i daha önce magnetik alan etkisinde kalmış ve 229'u ise magnetik alan etkisinde kalmamışsa hasta etkilenme oranı = $71/229 = 0,31$ 'dir. Eğer hasta olmayan kontrol insanların da 71 kişi magnetik alan etkisinde kalmışsa kontrol etkilenme oranı da 0,31'dir. Hasta etkilenme oranının kontrol etkilenme oranına bölünmesi "tahmin oranı"nı verir. Buna "bağıl risk" de denir. Bu durumda bağıl risk = $0,31/0,31 = 1$ dir. Tahmin oranının (bağıl riskin) 1 olması, magnetik alan etkisinde kalan hastaların bağıl riski kontrol insanlarınki ile aynı demektir. Dolayısıyla bu örnekte magnetik alanla kanser arasında bir ilişki yoktur. Örneğin tahmin oranı 1,87 olarak bulunsaydı kanserle magnetik alan arasında pozitif ilişki vardır ve belirli kabullerle bunun anlamı magnetik alan etkisinde kalan insanların kansere yakalanma riski %87 artmıştır denir. Ayrıca bağıl risk 1'den büyük çıksa bile istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının hesaplanması gerekir. Yukarıdaki örnekte 1,87 değeri 300 hastadan 110'u ve 300 kontrolden 71'i magnetik alan etkisinde kaldığı durum için elde edilmişti ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Eğer başka bir araştırma yine 300'er hasta ve kontrol üzerinde yapılsaydı ve 11 hasta ve 6 kontrol insanı magnetik alan etkisinde kalmış olsaydı tahmin oranı 1,90 olarak elde edilirdi, ancak bu durumda magnetik alan etkisinde kalan insan sayısı az olduğu için bu sonuç istatistiksel olarak anlamlı olmazdı [6].

Çocuklarda Kanser

Bugüne kadar enerji iletim hatlarına yakınlık ile çocuk kanserinin çeşitli türleri arasında bir ilişkinin varlığını ortaya çıkarabilmek için 14 adet epidemiyolojik araştırma yapılmıştır. Bunlardan 8'i bazı kanser türü veya türleri için pozitif ilişki bulmuş, 4 tanesi lösemi için istatistiksel olarak anlamlı ilişki göstermiştir. 1979'da Wertheimer-Leeper tarafından yapılan ve pozitif ilişkiyi ilk defa ileri süren araştırmada, kanserden ölen çocuklardan yüksek akımlı enerji dağıtım hatlarına 40 m uzaklık içerisinde yaşayanların diğer çocuklardan 2 ila 3 kat fazla olduğu bulunmuştur. Bu bulgu ile "magnetik alanların" kansere sebep olduğu ileri sürüldü. Ancak bu araştırmada evlerde magnetik alanlar ölçülmedi. Magnetik alan değeri hattaki iletken sayısı ve evin hattan uzaklığına göre tahmini olarak belirlendi. 1988'de yine Denver'da Savitz ve arkadaşlarının yaptığı epidemiyolojik araştırma ile 1991'de London ve arkadaşlarının Los Angeles'ta yaptıkları araştırmada da pozitif ilişki bulunmuştur. 1992'de İsveç'te ve 1993'te Meksika'da yapılan araştırmalarda enerji iletim hatlarına yakın yerlerde yaşayan çocuklarda lösemide artış bulunmuştur. 1993'te Danimarka'da Olsen ve arkadaşlarının yaptıkları epidemiyolojik araştırmada sadece lösemi değil bütün çocuk kanserleri için bir ilişki bulunmuştur. Bazı araştırmalarda ise herhangi bir ilişki bulunmamıştır. Elektrikle ilgili işlerde çalışan insanlarda kanser riskinin arttığını ileri süren bazı araştırmalar da vardır. Fakat bugün bu artışın elektrik ve magnetik alanlardan mı yoksa başka faktörlerden mi kaynaklandığı açık değildir. Elektrik ve magnetik alanların genel sağlık üzerine etkisi, hamilelere etkisi, depresyon etkisi vs. ile ilgili epidemiyolojik araştırmalar yapılmış bunlardan bazıları ilişki bulmuş bazıları herhangi bir ilişki olmadığını açıklamıştır.

Sonuçların Yorumlanması

Bugün yayınlanmış yüzlerce epidemiyolojik araştırma sonucu vardır. Herhangi bir kimse örneğin magnetik alanların kansere sebep olduğuna inanıyorsa bu inancını destekleyecek bir veya birkaç epidemiyolojik araştırma sonucunu bu yüzlerce yayın içerisinde bulabilir. Bunun aksini magnetik alanların kansere sebep olmadığına

inanılan bir kimse de yapabilir. Dolayısıyla epidemiyolojik araştırma sonuçlarının değerlendirilmesinin, yayınlar arasında seçim yapmadan bunların tamamının alınıp tarafsız bir şekilde, laboratuvar bulguları ve ölçülen elektrik ve magnetik alan değerleri de gözönüne alınarak yapılması gerekir. Edwin L. Carstensen, IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine dergisinin Temmuz/Ağustos 1995 sayısında yayınladığı makalesinde 100'den fazla epidemiyolojik araştırma ile ilgili bağıl risk verilerini bir tablo halinde ele alıp incelemiştir. Burada sonuç olarak şu anda magnetik alan ile kanser arasındaki ilişkiyi veya 50 Hz frekanslı magnetik alanların biyolojik etkisini açıklayabilen bir teorik temel olmadığını belirtiyor [7].

Elektromagnetik Dalgalar ve Radyasyon

Çeşitli kaynakların yarattığı elektromagnetik alanlar çok geniş bir frekans aralığına yayılmıştır. Buna **elektromagnetik spektrum** denir. Bu frekanslar saniyedeki periyot sayısı ile veya Hz (Hertz) ile belirtilir. Elektrik enerjisinin frekansı ülkemizde ve birçok ülkede 50 Hz, Kuzey Amerika'da 60 Hz'dir. Bu frekans elektromagnetik spektrumda "çok çok düşük frekans" bölgesindedir. Elektromagnetik alandan söz ederken mutlaka frekansını belirtmek gerekir. Farklı frekanslardaki elektromagnetik alanların etkileri de farklıdır. Frekans arttıkça elektromagnetik alanın dalga boyu kısalmaya başlar buna karşılık alandaki enerji artar. Mikrodalga frekanslı elektromagnetik alanlar iletken maddeleri ısıtmaya yetecek kadar bir enerjiye sahiptirler. Daha yüksek frekanslı x-ışınları iyonlaşmaya yani maddelerin molekül bağlarını koparmaya sebep olurlar; bu da canlıların genetik yapısını bozar.

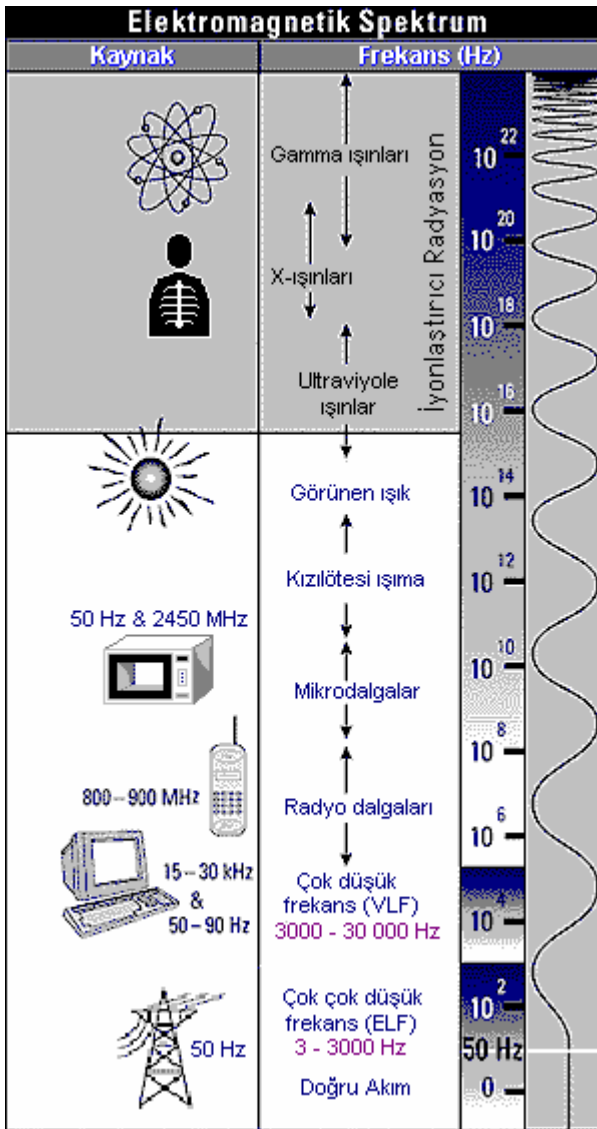
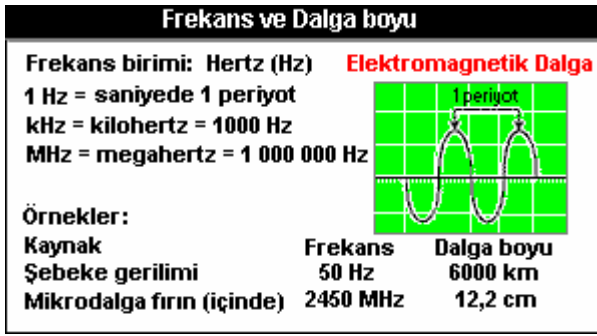
Burada şunu belirtmek gerekir: Yüksek frekanslı elektromagnetik alanlar dalga şeklinde ilerlediklerinde "**elektromagnetik dalga**" adını almakta ve bazı yazılarda bunun yerine "**elektromagnetik radyasyon**" terimi kullanılmakta, bu da elektromagnetik alanların, halk arasında "**radyasyon**" olarak bilinen ve kansere sebep olduğu kesin olan "iyonlaştırıcı (nükleer) radyasyon"la karıştırılmasına sebep olmaktadır.

50 Hz Frekanslı Alanlar

Buna göre elektrik enerjisinin üretildiği santraller, yüksek ve orta gerilimli enerji iletim hatları, transformatör merkezleri, elektrik enerjisinin kullanıldığı tesisler ve elektrikli ev aletlerinin oluşturduğu elektromagnetik alanlar 50 Hz frekanslı (şebeke frekanslı) alanlardır ve dalga boyları 6000 km'den fazladır. Televizyon ve bilgisayarlar ise 50 Hz frekanslı elektrik ve magnetik alan yanında 15-30 kHz civarında yüksek frekanslı alanlar da üretirler. Ancak bunların şiddeti, diğer elektrikli ev aletlerinin 50 Hz frekanslı alanlarında olduğu gibi aygıttan 30-40 cm uzaklıkta sifıra yakın değere düşmektedir. Enerji iletim hatlarının yaydığı radyo frekanslı alanların şiddeti ise küçüktür [8-10].

Sonuç olarak enerji iletim hatları altında oluşan 50 Hz frekanslı elektromagnetik alanlar ortamda ısıtma ve iyonlaştırma yapabilecek kadar enerjiye sahip değildir. Ayrıca enerji iletim hatları x-ışınları da yaymaz. Dolayısıyla radyasyon etkileri yoktur. Ancak 50 Hz frekanslı alternatif akımın oluşturduğu alanlar insanlar ve hayvanlar da dahil olmak üzere iletken cisimlerde zayıf elektrik akımı oluştururlar.

Magnetik alanın insan vücudunda oluşturduğu akım vücudun normal işleyişi sırasında oluşan doğal akımdan çok çok küçüktür. Eğer magnetik alanın etkisi bu akım yoluyla oluyorsa bu kadar küçük bir akımın nasıl bir etki yapabileceği açıklanamamaktadır. Dolayısıyla eğer kanserle bir ilişki varsa magnetik alanın başka bir biyokimyasal madde ile etkileşme yoluyla buna sebep olabileceğinden şüphelenilmektedir. Buna karşılık bazı araştırmacılar magnetik alanın değil de elektrik alanının vücutta oluşturduğu akımın etkili olduğunu öne sürmektedir. Öte yandan elektrikli ev aletlerinin gövdelerine dokunan insanların üzerinden toprağa akan kaçak akım da elektrik alanının vücutta oluşturduğu akımdan büyüktür.



Biyolojik Etkiler ve Standartlar

Elektrik ve magnetik alanların biyolojik yapı üzerinde örneğin melatonin hormonu salgısındaki azalma gibi bazı etkilerinin olduğu araştırmalar sonucu ortaya çıkmıştır. Ancak

alanların bu etkileri nasıl oluşturduğu hala anlaşılamamıştır. Ayrıca bu etkilerin zararlı olduğu da henüz kesinleşmemiştir.

Bazı ülkelerde ve ABD'nin en az altı eyaletinde enerji iletim hatlarının oluşturduğu alanlarla ilgili standartlar

oluşturulmuştur. Örneğin New York eyaletinde enerji iletim hatları altındaki elektrik alanı 11,8 kV/m'yi, magnetik alan ise 200 mG (miliGauss)'u geçmemelidir. Uluslararası Radyasyondan Korunma Birliği (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, IRPA/INIRC) ise yerleşim bölgelerinde elektrik alanı için 5 kV/m ve magnetik alan için 1000 mG sınırını koymuştur. Ancak bu değerler herhangi bir zararlı etkinin başladığı en büyük elektrik ve magnetik alan değeri olarak algılanmamalıdır. Bu değerler, vücutta sinirler tarafından hissedilebilecek kadar küçük akım yoğunluğu (10 mA/m²) oluşturan elektrik ve magnetik alan değerleridir ve enerji iletim hatlarının tasarımında uyulması gereken standart değerlerdir. Bu değerler enerji iletim hatları altındaki değerlerden oldukça büyüktür ve herhangi bir zararlı etki konusunda güvenli üst sınır değildir. Çünkü şu anda henüz elektrik ve magnetik alanların zararlı bir etki yaptığını bilmiyoruz. Dolayısıyla herhangi bir alan değerini "güvenli" sınır değeri olarak belirleyemeyiz. Bu yüzden bazı bölgelerde standart oluşturulması gereksiz bulunmuştur. Bazıları da alan değerlerini zayıflatmak için hat güzergahını yerleşim bölgesi dışına çıkarmak gibi oldukça pahalıya malolan çalışmalar yapmaktadırlar. Zararlı etki konusunda belirsizlik devam ettiğinden böyle bir harcamanın uygun olup olmadığı da tartışılmaktadır.

Öyle görünüyorki elektrik ve magnetik alanların kansere sebep olup olmadığı tartışması daha uzun yıllar devam edecek ve bu bilimsel belirsizlik gelecek yüzyıla sarkacaktır.

Kaynaklar

- [1] Ashley, J. R., "The safety of power lines", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, pp.24-30, January/February 1997.
- [2] Tunbridge, T., "Power lines closer to a clean bill of health", Electrical Review, Vol 229, No.22, November 12th, 1996.
- [3] Adair, E. R., "Electrophobia", IEEE Power Engineering Review, pp.3-8, December 1996.
- [4] Bren, S. P. A., "Historical introduction to EMF health effects", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, pp.24-30, July/August 1996.

- [5] Wertheimer, E., Leeper, E., "Electrical wiring configuration and childhood cancer", American Journal of Epidemiology, No.109, pp.273-284, 1979.
- [6] "Questions and answers about electric and magnetic fields associated with the use of electric power", National Institute of Environmental Health Sciences and U.S. Department of Enerji, January 1995.
- [7] Carstensen, E.L., "Magnetic fields and cancer", IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, pp.362-369, July/August 1995.
- [8] Umurkan, N., Yıldırım, H., Kalenderli, Ö., "Yüksek gerilim hatları çevresinde elektrik alan hesabı", Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, Trabzon, 13-18 Eylül 1993, s. 1249-1253.
- [9] Kalenderli, Ö., Yıldırım, H., İsmailoğlu, H., "Yüksek gerilim hatları çevresindeki elektromagnetik alanların hesabı ve ölçümü", BİYOMUT 95 Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı, Necmi Tanyolaç Konferansı, İstanbul, 4 - 5 Aralık 1995, s.142-147.
- [10] Umurkan, N., Yıldırım, H., Kalenderli, Ö., "Ulusal orta ve yüksek gerilimli enerji iletim hatları çevresinde elektrik alan hesabı için yeni bir yaklaşım", ELMEKSEM'93, III. Elektromekanik Sempozyumu, Bursa, 1-5 Aralık 1993, s. 154-160.