

Cebimizde Kaç Yıldırım Taşıyoruz?

Doç. Dr. Asım Kaygusuz [İnönü Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Evet, yanlış okumadınız.

Cebimizde kaç yıldırım taşıyoruz acaba?

Cep telefonlarımızda taşıdığımız elektrik yükü miktarı hakkında ne kadar bilgimiz var?

Cep telefonlarının şarj sırasında yanması veya patlaması ile ilgili haberleri görünce ancak konunun farkına varıyoruz.



Bilindiği gibi bir elektronun yükü (e) $-1,602 \times 10^{-19}$ Coulomb (C) değerindedir. 1 Coulomb'luk elektron yükü ise bunun tersidir ($1/1 e$ yükü) ve $6,25 \times 10^{18}$ elektron yüküdür.

Yükü daha iyi anlamak için evlerimizde en çok bulunan 1,5 V'luk (iç direnci ihmal edilmiş) bir AA kalem pil kullanabiliriz. Eğer bu pile direnç değeri 1,5 Ohm olan bir tel bağlanırsa 1 Amperlik bir akım geçecektir. Bu durumu yük cinsinden ifade etmek için akımın formülünü kullanabiliriz. 1 Amperlik akım 1 saniyede geçen 1 C'luk yük miktarıdır (Amper = Coulomb/saniye, $A = C/s$). Dolayısıyla 1,5 Ohm'luk telden saniyede $6,25 \times 10^{18}$ tane elektron geçtiğini söyleyebiliriz. Bu kadar elektronun telden geçmesi yüzünden kablo fazlaca ısınır yanabilir bile. İç direnci büyük olan bir pilin ısınacağını da buradan söyleyebiliriz. Peki 1,5 V'luk bir AA pilde ne kadarlık bir yük vardır? Bunu üretici firmalar belirler ve bir AA bataryanın yükü yaklaşık olarak 9000 C'a kadar çıkabilir. Yani 400 mAh değerinde sıradan bir AA pil, 1 saat boyunca 400 mA verebilir. Bu değer Amper x saniye cinsinden yazılırsa $0,4 \times 3600 C$ olur (Amper x saniye çarpımı Coulomb'dur). Formülden $A \times s = (C/s) \times s = C$ olur. Yani bu değerdeki pilde 1440 C'luk yük olduğu söylenebilir. 2500 mAh'lık şarj edilebilir bir pilin yükü ise yaklaşık 9000 C'a kadar çıkar.

Peki cep telefonlarımızda bataryaları tam şarjlı durumda iken ne kadarlık bir yük bulunur? Bunu hesaplamak için cep telefonunun içindeki bataryanın mAh değerine bakmamız gerekir. Örneğin 3600 mAh'lık bir cep telefonu bataryasının yükü yaklaşık olarak $3,6 \times 3600 = 12960 C$ 'dur. 5 Volt, 2 Amper'lik bir şarj cihazı ile

yaklaşık 1,8 saatte şarj olan bir cep telefonunun bataryasına ne kadar yük depolandığı basitçe şu şekilde hesaplanabilir: $1,8 \times 3600 s \times 2 A = 12.960 C$ (Şekil 1).

Benzer olarak Ah değeri bilinen başka piller/aküler için de aynı işlemler yapılabilir. Örneğin 70 Ah'lık bir aküde $70 \times 3600 A \times s = 252.000 C$ 'luk yük vardır.

Bunun yanı sıra mAh değerleri bilinen bataryalar için toplam enerji değerleri de hesaplanabilir. Bunun için bataryaların gerilim değerini bilmek gerekir. Örneğin 3600 mAh'lık bir bataryanın enerjisi $3,6 Ah \times 3,85 V = 13,86 Wh$ 'dir. Enerji joule cinsinden $13,86 \times 3600 = 49.896 J$ olarak bulunur.

Bir cep telefonundaki elektron yükünü ve enerjiyi hesapladıktan sonra, karşılaştırma yapmak için, bulutlarda yıldırımın nasıl meydana geldiğini, bir yıldırımda ne kadar yük boşaldığını ve enerjisinin ne kadar olduğunu tahmin etmemizi sağlayan yöntemleri görelim.

Yıldırımın Oluşumu

Yıldırım, pozitif ve negatif yüklü bölgeler arasındaki elektriksel enerjinin açığa çıkmasıyla oluşur. Yüklü bir kümülönimbus bulutu yer ya da su yüzeyine doğru hareket ettiğinde, bulutun alt yüzeyinde pozitif yük oluşur. Benzer yüklerin birbirini ittiği tezin-den yola çıkarsak negatif yüklü bulutun alt tarafı yerdeki negatif yükü itecek ve orada pozitif bir değer bırakacaktır. Bu pozitif değer yeryüzünde her yeredir. Her bölgedeki değerlerin gücü değişkenlik gösterir, yine de pozitif yük bölgesi için tipik değer $+40$ Coulomb olduğu gösterilebilir.



Şekil 1.

Bir cep telefonu bataryası ve değerleri

Bu değer bulutun en tepesinde olacaktır. Aynı şekilde -40 Coulomb da negatif yük bölgesi için tipik değerdir, bu da bulutun alt kısmındadır.

Hava iyi bir iletken değildir. Buluttaki ve yerdeki yükün büyüklüğü, havanın elektrik akışına gösterdiği direnci yenecek güçte olmalıdır. Benzer şekilde bir bulutta yıldırımın meydana gelmesi için de bu direncin yenilmesi gerekir. Hava iyonlaştığı zaman elektriği daha iyi iletir ve yıldırım daha kolay oluşur. Bu iyonlaşma süreci zincirleme tepkime modelindedir. Elektronlar negatif elektronla yüklü bölgeden başlayarak, hava moleküllerinden atlar ve yere doğru inen iyonlaşmış ve dar hava yolunu genişleterek ilerler. İyonlaşmış patika denebilecek bu yolların her biri tıpkı bir ağacın dal budak sarması gibi 50 m uzunluğunda adımlar şeklinde dağılıp saçılır. Her adım saniyenin milyonda birinden daha az zaman alır, adımlar arasındaki zaman da saniyenin 50 milyonda biri kadardır. Bu iyonlaşma işlemi öncü akım olarak anılır. Yere yaklaşık 100 metre yakınen, öncü akımın yükü ve yerdeki

pozitif elektrik yükünün büyüklüğü öyle çoktur ki havadaki bu iki bölge arasında, yerden başlayan ve yukarıya doğru hareket eden elektrik gerilimi oluşur. Parçalanmış hava kanalı, havadan daha iyi bir iletken olmasına rağmen, içinden şiddetli akım geçmesi halinde aşırı yüklenir. Bu kısa devre, yıldırım kanalının ve yıldırımın bütün saçaklarının göz kamaştırıcı bir şekilde parlamasına, tıpkı bir ampulün içindeki filaman gibi çok fazla ısınmasına neden olur. Akımın bu dolaşımı yani gözle görebildiğimiz yıldırım parıltısı dönüş darbesi olarak adlandırılır. Bir yıldırım olayında elektrik akımı 10 kA ile 200 kA aralığında olabilir.

Yıldırımında Bulunan Enerji ve Yük Miktarının Tahmini

Yıldırımla açığa çıkan enerjiyi doğrudan hesaplamak çok zordur. Yıldırım düşmesiyle yayılan enerjiyi hesaplamak için birçok modelleme yapılmış ve birçok yöntem önerilmiştir. En çok kullanılan modeller elektrik alan yöntemi, optik yöntemi ve akustik yöntemidir. Bu yazıda yük tahmini yapan elektrik alan yöntemiyle elde edilen sonuçlara yer verilmektedir.

Elektrik alan yöntemi kullanan Wilson ölçtüğü iki yıldırım darbesinin yerden buluta uzaklığını 2 km olarak aldı. Yaptığı deneylerde, yıldırım kanalının belli bir uzaklığındaki elektrik alan değişimi formülünü kullanarak iletilen toplam yükün ortalama

20 Coulomb olduğunu hesapladı. Aynı zamanda buluttaki tüm yükün boşaldığını farz ederek bu değer maksimum 10^9 V'a kadar çıktığını tahmin etti ve sonuçta yıldırım düşmesiyle açığa çıkan toplam enerjinin 10^{10} J olduğunu ileri sürdü. Bu değer bilim insanlarınınca yıllarca kabul gördü. Buna karşın Malan $Q=0,6$ C değeri için tek darbeli bir yıldırımla açığa çıkan enerji miktarını 3×10^8 J olarak verdi.

Connor New Mexico'da 18 yıldırımında deney yaptı ve boşalan toplam yükü ve açığa çıkan toplam enerjiyi hesapladı. Bu deneyler sonucunda, ortalama Q değerinin $Q=9$ C, $W=1,5 \times 10^8$ J arasında olduğunu belirledi.

Elektrik alan değişim yöntemiyle elde edilen tahmini yıldırım enerji ve yük değerleri Tablo 1'de görülmüştür.

C. R. Maggio ise 1999'un Temmuz-Ağustos aylarında New Mexico, Langmuir'da elektrik alan yöntemiy-

Gün	Saat	Yük (C)	Enerji (J)
25 Temmuz	19.47	-6,3	$8,4 \times 10^{10}$
	19.49	-14,5	$10,5 \times 10^8$
	19.53	-4,5	$3,5 \times 10^8$
7 Ağustos	20.19	-7,7	$5,4 \times 10^8$
	20.24	-12,4	$10,2 \times 10^8$

Tablo 2. 1999 yılında balon ölçümleri kullanılarak tahmin edilen yük ve enerji değerleri

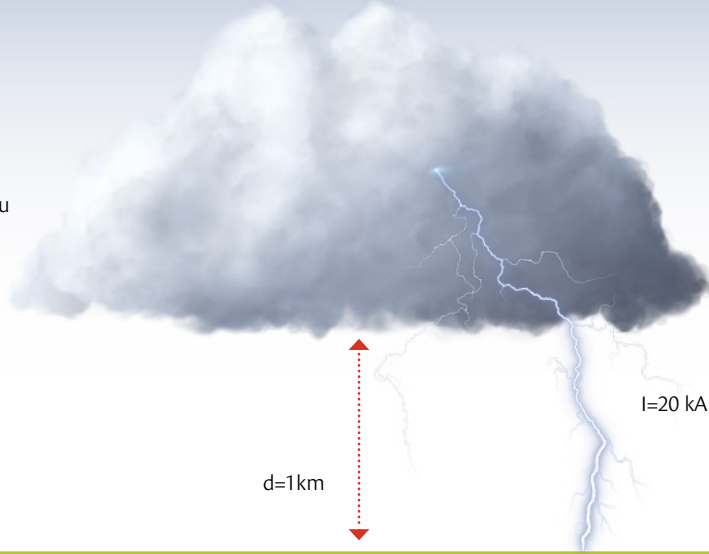
le yıldırımların enerjisini tahmin etmek için farklı bir yöntem kullandı. Bu deneyde elektrik alan ölçer ve GPS takılı balonlar, elektrik alanın dikey bileşenini ölçmek için zemine yerleştirilmiş üç elektrik alan üssü ve elektrik alan değişim sensörü görevi yapan düz plaka bir anten kullanıldı. Balonlar belirli aralıklarla yüklü bulutlara gönderildi ve balonun etrafındaki yüklerden kaynaklanan elektrik alan değişimi ölçülerek enerji tahmini yapıldı. Bu veriler Tablo 2'de görülmüştür.

Yine C. R. Maggio ve ekibi tarafından 2009'da yapılan çalışmada ise kırk yıldırım darbesi sırasında enerji ve yük tahmini yapıldı. Bunların genellikle bulut ile yeryüzü (CG) ve bulutlararası (IC) yıldırımlar olduğu gözlemlendi (Şekil 2). Deneyler sonucunda yirmi dokuz IC yıldırım için yük miktarı değişimi $\pm 3,9$ ile $\pm 85,8$ C arasında, ortalama $\pm 17,6$ C olarak bulundu. On bir CG yıldırım için ise negatif yükün yere transfer edildiği gözlemlendi ve ortalama değer $-8,7$ C olarak belirlendi. Ayrıca tek bir CG yıldırımın bulut içi yük transferlerini de önemli ölçüde artırdığı gözlemlendi ve ortalama $\pm 9,3$ C maksimum ± 44 C'luk yük şarjının yere boşaldığı hesaplandı.

Referans	Gerilim (V)	Yük (C)	Enerji (Toplam) (J)
Wilson(1920)	10^9	20 (tüm yıldırım)	10^{10}
Malan (1960)	10^9	0,6 (tek darbe)	3×10^8
Krider (1968)	3×10^8	4,6 (tek darbe)	7×10^8
Connor(1967)		9,3 (tek darbe)	$1,5 \times 10^8$
Tiller (1976)		3,0 (tek darbe)	1×10^7

Tablo 1. Elektrik alan değişim yöntemiyle elde edilen tahmini yıldırım enerji ve yük değerleri

Yıldırım bulutu

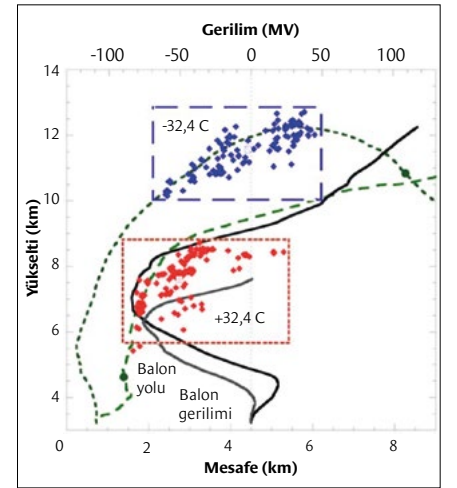


Şekil 3. Atlama aralığına göre yıldırım enerjisi hesabı



Yıldırım Enerjisini ve Yükünü Hesaplamak İçin Daha Basit Bir Yöntem

Ortalama bir yıldırım darbe akımı $I=20$ kA olarak, yıldırım darbe noktası ve bulut arası mesafe (d) ise yaklaşık 1 km olarak alınır, yeri ve bulutu zıt kutuplu iki elektrot ve aradaki havayı da yalıtkan olarak düşündüğümüzde, kıvılcım atlaması için gerekli olan standart değer yaklaşık 30 kV/cm'dir.

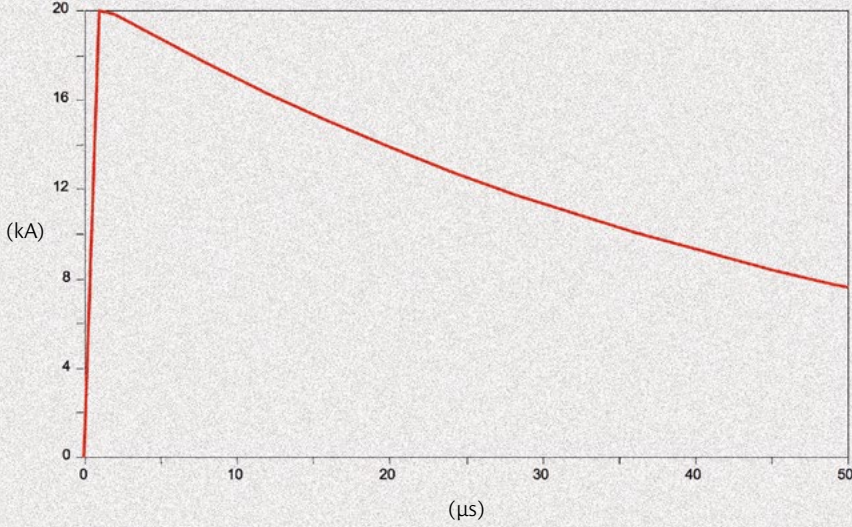


Şekil 2. 2 Ağustos 1999'da ölçülen bulutlar arası yıldırımlar için yıldırım haritalama dizisi, voltaj profilleri ve balon yörüngeleri

Cebimizde 1000 Yıldırım mı Var?

Yıldırım ve Zaman

Sonuç olarak bir yıldırımın ortalama yükü 10 C kabul edilirse, cep telefonunda depolanan yük miktarı ile yıldırıma neden olan yük miktarları karşılaştırıldığında cep telefonundaki yükün binlerce kat daha fazla olduğu görülür. Bu da cebimizde binlerce yıldırım meydana getirebilecek kadar elektron yükü taşıdığımız anlamına gelir. Yıldırımını etkili ve tehlikeli yapan çok hızlı ve aniden meydana gelmesidir. Saniyenin milyonda birinde veya daha kısa sürede oluşur.



Şekil 4. 20 kA ve 1,2/50 μs değerlerindeki bir yıldırımın dalga şekli (1,2 μs yıldırım darbesi yükselme zamanı, 50 μs yarılanma süresi)

Birbirine paralel iki iletken levha arasındaki potansiyel fark olan $V=E \times d$ 'den gerilim hesabı yapılır. Burada d uzaklık, E ise elektrik alanıdır. Atlama aralığına göre yıldırım enerjisinin nasıl hesaplandığı Şekil 3'te görülüyor. Buradan yola çıkarak güç ve enerji değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$V= E \times d$$

$$V= 100.000 \text{ cm} \times 30 \text{ kV/cm} = 3 \text{ GV} = 3 \times 10^9 \text{ V} \text{ olarak bulunur.}$$

Anlık güç ise:

$$P= I \times V = 3 \times 10^9 \text{ V} \times 20 \times 10^3$$

$$A= 60 \times 10^{12} \text{ Watt} \text{ olarak elde edilir.}$$

Yıldırım akımının tepe değerinin yarılanma süresi olan $t = 50 \mu\text{s}$ için yaklaşık enerji değeri:

$$E=P \times t = 60 \times 10^{12} \times 50 \times 10^{-6} = 3 \times 10^9 \text{ joule} \text{ olarak bulunur.}$$

20 kA ve 1,2/50 μs değerlerindeki temsili bir yıldırım dalgasının grafiği Şekil 4'te görülüyor.

Eğer 20 kA'lık bir yıldırım akımı için 50 μs'de boşalan toplam yük (Q) bulunmak istenirse: $Q = I \times t$ 'den giderek $Q = (20 \times 10^3) \times (50 \times 10^{-6}) = 1$ Coulomb elde edilir.



Ayrıca kilometrelerce genişlikte alana yayılır. Yani yıldırımın gücü ve enerjisi çok büyüktür. Cep telefonlarımızın şarjının bir ya da iki gün gittiğini düşünürsek, on binlerce C'luk yükün 1 ya da 2 güne yayıldığı görülür. 3600 mAh'lik 12.960 C'luk tam şarjı bir gün giden bir cep telefonundan saniyede ortalama $12.960/86.400 = 0,15$ C'luk bir yük akar. Bu değer saniyede geçen yük miktarı yani akım olduğu için, 10 C'luk bir yıldırımın saniyenin milyonda biri hızla düştüğü duruma göre karşılaştırma yapıldığında çok az bir değer olduğu görülür. Aralarındaki oran yaklaşık olarak 66 milyonda birdir ($10 C/0,15 \times 10^6$). Eğer cep telefonumuzdaki şarjı çok kısa sürede boşaltabilecek bir düzenek yapabilirsek biz de yapay yıldırımlar elde edebiliriz. Tabii ki bataryanın da buna uygun olması gerekir.

Bataryanın yapısı, iç direnci ve kullanılan malzemeler o kadar büyük bir yükün çok hızlı boşalmasına imkân vermez. Ayrıca bataryanın çıkış ucu bütün yükü aniden boşaltmak için geçmesi gereken akıma dayanmaz. Örneğin 12.969 C'luk yükün bir saniyede boşaldığını düşünelim. Bu durumda bataryadan 12.969 Amperlik bir akım dışarıya akacaktır. Bu akıma dayanacak iletkenin kesiti bataryadan çok daha büyük olacaktır. Bataryanın çıkışına kısa devre yaptırılırsa -koruma devresi yoksa uzun sürede batarya büyük ihtimalle bozulur veya yanar- iç direnç nedeniyle bütün yükü kısa sürede boşaltmak mümkün değildir. Yani bataryaların çıkış ucu telefonlar için gerekli olan en büyük akıma veya en büyük şarj akımına dayanacak şekilde yapıldığı ve yapılarından kaynaklanan iç

dirençleri de olduğu için, bataryayı kısa sürede boşaltmak mümkün değildir. Aynen bir su deposundaki suyu, çıkışından bir anda boşaltmanın mümkün olmaması gibi. Yüklü bir bulutta ise yıldırımın oluşması için mükemmel bir mekanizma olduğundan yük boşalması saniyenin milyonda biri gibi çok kısa bir sürede gerçekleşebilir.

Batarya demişken hatırlatalım, bataryalar kısa devre sonucu yanabilir veya patlayabilir. Bunun başlıca sebepleri imalat hataları, orijinal olmayan batarya veya şarj cihazı kullanılması, bataryanın ısıya veya baskıya maruz kalmasıdır. Bataryaların dış çeperleri sağlamsa korkulacak bir şey yoktur, çünkü şişer ve kullanılamaz hale gelirler, ama eğer dış çeperleri zayıfsa patlayıp çevreye zarar verebilirler. ■

Kaynaklar

<http://www.techlib.com/reference/batteries.html>

<https://da2lh5cs8ikqj.cloudfront.net/cart-products/C5SkHVYdp4Hp2BdA.large>

http://www.electrical-installation.org/enwiki/Characterization_of_the_lightning_wave

<http://www.kuark.org/2012/11/elektrik-akimi/>

<https://electronics.stackexchange.com/questions/10909/lightning-bolt-vs-batteries-a-coulomb-in-everyday-terms>

Kaygusuz, A., *Uniform Olmayan İletim Hatlarında Yıldırım Aşırı Gerilimlerinin s-Domeni Kullanılarak Analizi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 2003.

Tütüncü, B., *Yıldırım Enerjisinin Benzetim Programı Yardımıyla İncelenmesi ve Dikey Bir İletkene Yıldırım Düşmesi Durumunda Alan Dağılımlarının s-Domeninde Tahmini*, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.

Maggio, C. R., Marshall, T. C. Ve Stolzenburg, M., "Estimations of charge transferred and energy released by lightning flashes", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), Cilt 114, Sayı D14, Online versiyonun tarihi 22 Temmuz 2009.

