

## 5.1 Elektrik Pili

Elektrik pili kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çevirir ve terminalleri arasında sabit bir potansiyel farkı oluşturur. Piller elektrik devrelerinde için sabit voltaj kaynağı olarak kullanılır.

### Pilin icadı <sup>1</sup>



Şekil 5.1 Volta pilini Fransa Enstitüsünde Napolyon'a tanıtıyor. <sup>2</sup>

18. yüzyılın sonlarına doğru Bolonya Üniversitesi'nde Prof. Luigi Galvani'nin metal nesneler ile dokunulduğunda kurbağa bacağındaki kasların kasıldığını gözlemlemesinden (her ne kadar bu ismin verilmesine sebep olan teori yanlışlanmış olsa da "hayvansal elektrik" olarak isimlendirildi) etkilenen Volta bir dizi deneyler yaptı. Bu deneylerde negatif plakalar için çinko, kurşun, kalay, pozitif plakalar için ise bakır, gümüş, altın ve grafit kullanmıştı. Volta bu çalışmalarında belli sıvılar kullanarak (elektrolit) kimyasal tepkimeler ile sabit (sürekli) bir elektro motor kuvveti (potansiyel farkı) üretebildiğini de gördü. İlk elektrik "pili" (ya da batarya) bu deneylerin sonucunda Volta tarafından tasarlandı. Volta aynı zamanda pilleri/pil hücrelerini seri bağlayarak daha fazla voltaj elde edebileceğini keşfetti. **Şekil 5.1'**de Volta geliştirdiği pili Fransa Enstitüsünde Napolyon'a tanıtırken resmedilmiş.

Günümüzde pilsiz hiç bir yere çıkamıyoruz. Hele hele biten telefonumuzun pili ise... Şu an kullanımda olan bir çok farklı pil teknolojisi var. Kimilerini tekrar tekrar şarj ederek kullanabilirken, kimileri tek kullanımlık oluyor. Lityum-iyon, Nikel-metal-hibrit, alkaline ve çinko-karbon pillerden, araba ve motorlarımızda kullandığımız seyreltilmiş olsa sıvı asit içeren akülere kadar... Ancak hepsinde olan şeyleri listeleyecek olursak bunlar genelde iki farklı metal elektrot (katot ve anot) ve aralarında yük alışverişini sağlayan elektrolit olacaktır. Kimyasal tepkimeler anottan atomları koparıp geride elektron bırakır. Elektrolitteki pozitif iyonlar ise katot ile etkileşip/tepkimeye girip elektron alarak onu pozitif olarak yükler. Yani artık elimizde bir pozitif (katot) bir de negatif (anot) elektrodumuz olacaktır. Bu işlem dengeye ulaşana kadar sürecektir. Bu denge şöyle açıklanabilir. Bu işlem devam ettikçe elektrotlar üzerindeki yük artacaktır. Katot o kadar fazla pozitif yüklenenecek ki artık kendisinden elektron almaya gelecek pozitif iyonları kendisine yaklaştırmayacak, negatif yüklenen anot ise pozitif iyonları tekrar kendine çekecek ve daha fazla erimeyecektir. (Hatırlayın aynı yükler birbirini iterken, zıt yükler birbirini çekiyordu). Bu denge halinde terminaller üzerindeki pozitif ve negatif yüklerden ötürü (elektrotların dışarıda kalan kısımları) sabit bir potansiyel farkı olacaktır.

Ancak pilin terminalleri arasına bir ampül veya devre bağlandığında, yük akışı olacak, daha fazla pozitif iyonu koparılabilecek ve elektrot belirli bir zaman sonra tamamen tüketilmiş olacaktır. Yani yeni bir pile ihtiyacımız olacaktır.

Devre şemalarında pili bir kısa (negatif terminal) bir de uzun (pozitif) çizgi ile **Şekil 5.2'**de gösterildiği gibi temsil ederiz. Pilleri bu derste hep **sabit** bir voltaj (potansiyel farkı) kaynağı olarak kabul edeceğiz.



Şekil 5.2 Devrelerde pilin temsili.

[1] Kaynak: [http://batteryuniversity.com/learn/article/when\\_was\\_the\\_battery\\_invented](http://batteryuniversity.com/learn/article/when_was_the_battery_invented)

[2] Giuseppe Bertini, kullanımı serbest (public domain).



### 5.3 Dirençler ve Ohm Yasası

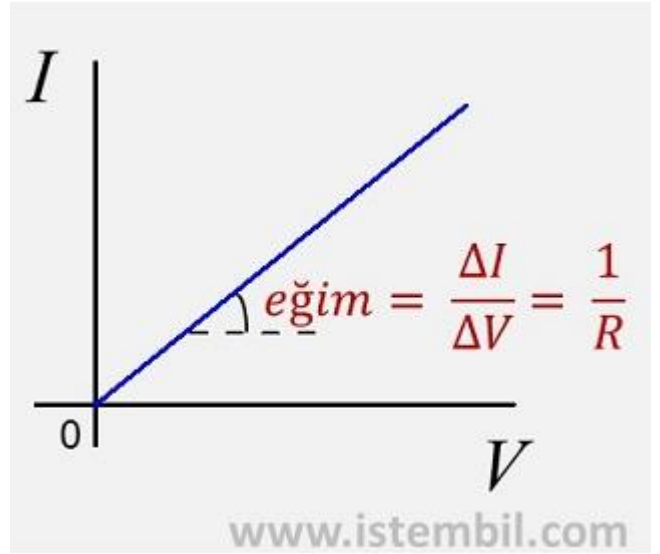
Bir iletken üzerinde akım oluşturmak istiyor isek yapmamız gereken o iletkenin uçları arasında bir potansiyel farkı oluşturmaktır. Bu sayede tel üzerinde yüksek potansiyelden alçak potansiyele doğru bir akım olacaktır. **Ohm Yasası** bize bu akımın büyüklüğünün uygulanan potansiyel farkı ile orantılı olduğunu söyler,  $I \propto V$ . Daha kesin olarak ifade edecek olursak da,

$$V = I R \quad (5.3)$$

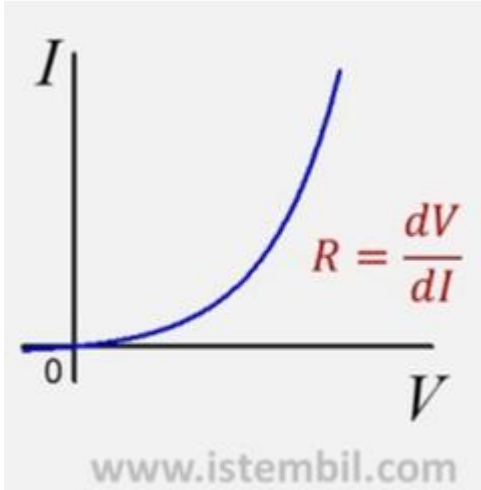
olacaktır. Bu ifade ünlü **Ohm Yasasıdır**. Burada  $V$  iletken üzerindeki potansiyel farkı (voltaj),  $I$  akım, orantı sabiti  $R$  ise iletken malzemenin cinsi ve boyutları ile değişen **direncidir** ve **Ohm** birine sahiptir. Ohm birimi  $\Omega$  ile gösterilir ve

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

şeklinde tanımlanır. Bir malzemenin direnci ne kadar fazla ise, o malzemeden akım geçirmek o kadar zor olacaktır. Peki bu akıma karşı direnç nereden geliyor diyebilirsiniz. Kısaca burada özetlemeye çalışalım. İletken içerisindeki serbest elektronlar sonlu sıcaklıklarda rastgele yönlerde  $10^6$  m/s mertebesinde hızlarla hareket ederler. Ancak herhangi bir yöne net bir elektron akışı yoktur. Ne zaman ki iletkenin uçlarına bir voltaj uygulanırsa, iletken içerisinde oluşan elektrik alanı dolayısı ile elektronlar elektrik alanı yönünde sabit bir sürüklenme hızı ( $\sim 10^{-4}$  m/s mertebesinde) ile hareket ederler. Bu hızın sabit olması çok yüksek mesafeden bırakılan cisimlerin terminal hıza ulaştıktan sonra sabit hızla düşmesine benzetilebilir. Her iki durumda da hareket eden cisim üzerindeki direncin sebebi çarpışmalardır. Düşen cisimler havadaki moleküller ile çarpışırken, hareket eden elektronlar iletken içerisindeki atomlar ve düzensizlikler ile çarpışır ve saçılırlar. Elektronlar ne kadar fazla çarpışmaya girer ve saçılırsa malzemenin direnci o kadar fazla olur. Akımı oluşturan elektronların hareketi ve sürüklenme hızından **Bölüm 5.7**'de detaylıca bahsedeceğiz.



Şekil 5.5 Ohmik bir malzeme için I-V grafiği.




Şekil 5.6 Ohmik olmayan bir malzeme/aygıt (diyot) için I-V grafiği.

Ohm yasası bütün malzemeler ve aygıtlar için geçerli değildir.

Metalik iletken ve aygıtlarda genelde geçerli olan Ohm yasası, yarı iletken malzemelerde, diyotlar ve vakum tüpleri gibi aygıtlarda geçerli değildir. Ohm yasasına uyan malzemelere **Ohmik malzemeler**, uymayan malzemelere ise **Ohmik olmayan malzemeler** denir. Şekil 5.5'te Ohmik bir malzemenin üzerinden geçen akımın grafiği, uygulanan potansiyel farkının fonksiyonu olarak çizilmiştir. Bu grafiğe I-V (akım-voltaj) grafiği de denir. Ohmik malzemeler için bu grafik lineerdir ve eğimi  $1/R$  'ye eşit olacaktır. Yarı iletken malzemelerde ise akım ve voltaj arasında lineer bir bağıntı yoktur. Bir diyot için I-V eğrisi Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Burada direnç uygulanan voltaj ile değişmektedir ve  $1/R = dI/dV$  ile hesaplanabilir (Grafiksel olarak hangi  $V$  değerinde hesaplamak istiyorsak eğri üzerinde o noktada teğet çizip eğimini hesaplayarak bulabiliriz).

Devrelerde, devrenin amacına da uygun olarak, farklı değerlere dirençlere sahip **dirençler/rezistörler** bulunur. Kimi zaman bu dirençlerin amacı ısıtmak, kimi zaman aydınlatmak olabilir. Daha karmaşık devrelerde diyotlar, sığaclar, transistörler gibi devre elemanları da olabilir ancak Fizik II dersinde basit devrelerle uğraşacağız. Dirençler devre

şemalarında  sembolü ile gösterilir. **Önemli Not:** Devrelerde devre elemanlarını birbirine bağlamak için kullanılan bağlantı tellerinin direnci devre elemanlarının direncine kıyasla çok çok küçük olacağı için dirençlerini yok sayacağız ve bağlantı telleri üzerinde bir voltaj düşmesi olmayacağını söyleeceğiz.

#### 5.4 Özdirenç

Deneyisel çalışmalar bir malzemenin direncinin malzemenin akım doğrultusundaki uzunluğu (  $\ell$  ) ile arttığı, akıma dik kesit alanının (  $A$  ) büyüklüğü ile azaldığını göstermiştir. Kesin ifadesi ile direnç,

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (5.4)$$

ile verilir. Burada orantı sabiti  $\rho$  malzemeye bağlı bir sabittir ve **özdirenç** olarak adlandırılır. Özdirencin birimi ise  $\Omega \cdot m$ 'dir. Bir önceki kısımda direncin elektronların malzeme içerisindeki atomlar ve düzensizliklerle yaptığı çarpışmalardan kaynaklandığını söylemiştik. Atomların malzeme içerisinde birbirlerine olan uzaklıkları ve konfigürasyonları malzemeden malzemeye farklılık göstereceği için saçılma olasılıkları da farklılık gösterecek ve dirençleri farklı olacaktır. Bu yüzden özdirenç malzemeden malzemeye değişir. Örneğin metallere altının ve platinin özdirençleri sırasıyla  $2.44 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$  ve  $10.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ 'dir. Yarı iletkenlerden silikonun özdirenci  $(0.1 - 60) \Omega \cdot m$  arasında değişiklik gösterirken<sup>1</sup>, bir yalıtkan olan cam için bu değer  $10^{14} \Omega \cdot m$  mertebesinde.

Direnç aynı zamanda sıcaklıkla da değişiklik gösterir. Metallerin direnci sıcaklık düştükçe azalırken, yarı iletkenlerin direnci sıcaklıkla düştükçe artar.

Bir malzemenin özdirenci ne kadar küçük ise o kadar iyi bir iletkenidir. Özdirenç gibi malzemelerin iletkenlik seviyesini belirleyici başka bir nicelik ise **öziletkenlik** ve

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

şeklinde tanımlanır. Birimi  $(\Omega \cdot m)^{-1}$ 'dir. Tahmin edeceğimiz üzere bir cismin öziletkenliği ne kadar büyük ise, cisim o kadar iyi bir iletkenidir.

[1] Yarı iletkenlerde özdirenç, yarı iletken malzemede bulunan safsızlıklara çok hassas derecede bağlıdır. Safsızlık oranı ile oynanarak elektronik özelliklerini değiştirebiliyor olmamız, yarı iletkenlerin teknolojik uygulamalardaki önemini arttıran bir sebeptir.

#### 5.5 Elektrik Gücü

**Bölüm 3'te** bir  $q$  yükü  $\Delta V = V$  'lık bir potansiyel farkında hareket ettiğinde  $U = q V$  kadar bir kinetik enerji kazanacağını söylemiştik. Ancak bu bölümde iletkenlerde akım geçtiğinde elektronların sabit bir sürüklenme hızı ile hareket ettiğini söyledik. Yani iletim elektronları potansiyel farkında hareket etmelerine rağmen kinetik enerji kazanmamaktadır. Bu da demektir ki, elektronlar iletkenin uçlarına uygulanan potansiyel farkından dolayı kazandıkları kinetik enerjiyi atomlar ve düzensizlikler ile çarpışmalarından ötürü hemen **ısıya** kaybetmektedir. Yani elektrik enerjisi ısı enerjisi dönüşür. Peki bu dönüşüm ne kadar hızlı olur, yani elektrik gücü nedir? Hatırlayın gücü **Fizik 1'de** bir enerji formunu diğer enerji formuna dönüştürme hızı olarak tanımlamıştık.

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{dU}{dt}$$

dönüştürülen elektrik enerjisi  $U = q V$  idi. Bunu da yukarıda yerine koyarsak;

$$P = \frac{dq}{dt} V$$

olacaktır. Tabi akımın tanımını da hatırlarsak,  $I = dq/dt$  ;

$$P = I V \quad (5.5)$$

olacaktır. Yani herhangi bir devre elemanında güç hesabı yapmak istiyorsak **Denk. 5.5'i** kullanabiliriz. Ancak elimizde **ohmik** bir aygıt/direnç var ise Ohm yasası ile birlikte güç

$$P = I V = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (5.6)$$

ile de hesaplanabilir.

Gücün birimi SI birim sisteminde watt'dır (  $W$  ). Yani voltaj için volt  $V$  , akım için amper  $A$  , direnç için ohm  $\Omega$  birimlerini kullanırsak, **Denk. 5.6** bize gücü watt biriminde verecektir.

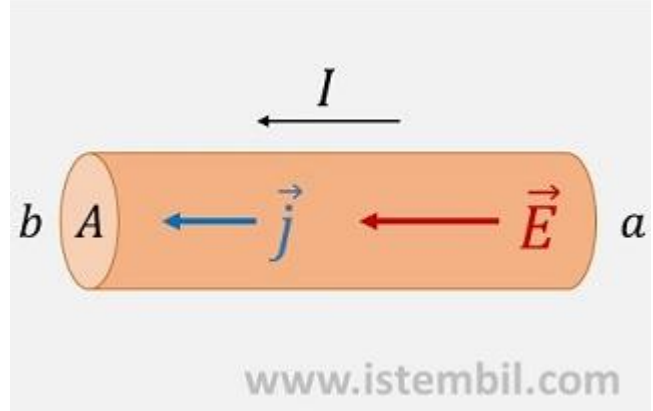
## 5.7 Akım Yoğunluğu ve Sürüklenme Hızı

Hatırlayacağınız üzere statik durumda iletkenler içerisinde elektrik alanın sıfır olduğunu söylemiştik. Bunun sebebini burada tekrar hatırlatalım: Eğer bir iletken elektrik alan olan bir bölgeye konur ise, elektrik alandan dolayı serbest elektronlara elektrik alanına zıt yönde kuvvet uygulanır. Bu kuvvetten ötürü iletken içerisinde yükler ayrışır, bu ayrışmadan dolayı da iletken içerisinde orijinal elektrik alanına zıt yönde bir elektrik alan indüklenir. Yük ayrışması attıkça indüklenen elektrik alan artar. Bu artış indüklenen elektrik alan orijinal elektrik alanı götürene kadar sürer. Yani statik durumda (dengeye ulaşıldığında), iletken içerisindeki net elektrik alan her zaman sıfır olacaktır. Yüklerin yüzeylerde toplanmasının sebebi iletkenin sınırlarına ulaşmış daha fazla gidecek yerlerinin olmamasıdır.

Ancak tamamlanan devrelerde yükler sürekli elektrik alan doğrultusunda hareket ederler ve toplanacak bir yer bulamazlar. Bundan dolayı bir elektrik alan indüklenmez ve uygulanan potansiyel farkından dolayı oluşan elektrik alanı götürmez. **Yani bir içerisinden akım geçen bir iletkenin içerisinde elektrik alan vardır.** Elektrik alanın yönü yüksek potansiyelden alçak potansiyele doğru olacaktır. **Şekil 5.7'**de gösterilen içerisinden akım geçen bir kablunun bir parçasını düşünelim. Bu kablo parçasının a ucundaki elektrik potansiyeli b ucundaki elektrik potansiyelinden daha büyüktür ve akım kablo üzerinde gösterildiği yönde akar. Kablo içerisindeki elektrik alan ise elektrik akımı ile aynı yöndedir. Elektrik alan yüksek potansiyelden alçak potansiyele doğru idi hatırlarsanız. Artık akım yoğunluğunu tanımlayabiliriz.

**Akım Yoğunluğu:** Eğer elektrik akımı düzgün ise, yani akıma dik kesit alanına düzgün dağıldı ise büyüklüğü;

$$j = \frac{I}{A} \quad (5.7)$$



Şekil 5.7 İçerisinden akım geçen bir kablunun bir parçası için elektrik alan ve akım yoğunluğu vektörleri.

olan bir vektördür. Akım yoğunluğunun ( $j$ ) yönü elektrik alan ile aynıdır. Eğer akım düzgün dağılmadı ise toplam akım akım yoğunluğu cinsinden

$$I = \int j \cdot d\vec{A} \quad (5.8)$$

ile ifade edilir. Burada  $d\vec{A}$  sonsuz küçükteki yüzey alan vektörüdür. Akım yoğunluğunun birimi tahmin edeceğimiz üzere  $A/m^2$ 'dir.

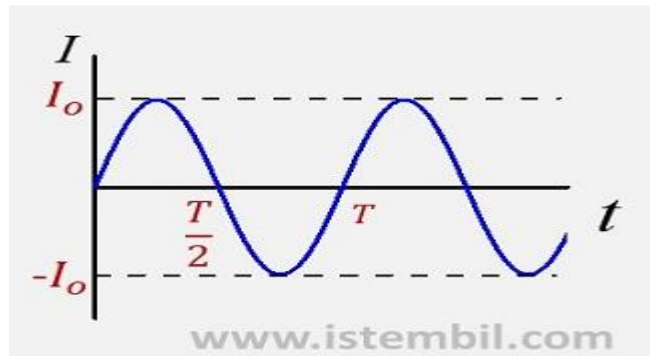
İletken içerisindeki serbest elektronlar termal (ısı) enerjiden dolayı çok yüksek rastgele hızlara sahiptirler ve çarpışmalardan dolayı da sürekli yön değiştirirler ancak bütün elektronları düşündüğümüzde net bir elektron akışı olmaz. Elektrik alan altında ise (yani potansiyel farkı uygulandığında) bu elektronlar akıma zıt yönde küçük dahi olsa net bir hıza sahip olurlar. Bu hıza sürüklenme hızı denir ve akım yoğunluğu ile ilişkisi

$$j = -n e v_s \quad (5.9)$$

ile verilir. Burada  $n$  birim hacme düşen serbest elektron sayısı,  $e$  elektron yükünün büyüklüğü,  $v_s$  ise sürüklenme hızıdır. Eksi işareti akım yoğunluğu vektörü ile sürüklenme hız vektörlerinin zıt yönlerde olmasındandır. Sürüklenme hızı  $\sim 10^{-4}$  m/s mertebesinde.

## 5.6 Alternatif Akım

Bir devreye sabit bir voltaj kaynağı bağlanırsa (örneğin bir pil) devrede akan akım sabit olacak ve tek bir yönde akacaktır. Bir sonraki bölümde detaylıca inceleyeceğimiz bu tür devrelere **doğru akım (DA)** devreleri denir. Bir de akımın periyodik olarak (sinüzoidal - sinüs fonksiyonu gibi) sürekli yönünün ve büyüklüğünün değiştiği devreler vardır. Bu devrelere **alternatif akım (AA)** devreleri denir. Alternatif akımın hayatımızdaki yeri çok önemlidir (Elektrik kesilince hepimizin elinin kolunun bağlandığı hepimizin malumu). Evimizdeki bütün elektrikli aletleri bağladığımız duvarlardaki prizlerden AA voltajı alırız. Bunun sebebi elektrik üretiminin ve üretildiği santrallerden şehirlere taşınmasının/iletiminin AA olarak yapılmasının hem daha kolay hem de daha verimli olmasıdır. Bu bölümde çok kısa bir şekilde alternatif akımdan bahsedeceğiz<sup>1</sup>.



Şekil 5.8 Alternatif akım (AA).

DA devrelerinde akım sabit iken (zamanla değişmez), AA devrelerinde akım **Şekil 5.8'**de gösterildiği gibi  $T$  periyodu ile sürekli değişir. Şimdi elimizde bir AA voltaj kaynağı olduğunu ve terminalleri arasında

$$V = V_o \sin 2\pi ft$$

voltajı olduğunu düşünelim. Burada  $V_o$  tepe voltajıdır. Yani terminaller arasındaki voltaj  $-V_o$  ile  $+V_o$  arasında değişecektir.  $f$  ise frekanstır ve Fizik I'den hatırlayacağınız üzere bir bölü periyotdu,  $f = 1/T$ . Yani bize elimizdeki dalganın bir saniyede kaç defa kendini tekrar ettiği söylüyordu (Türkiye'de evlerimizdeki prizlerden aldığımız elektrik için bu frekans 50 Hz iken Amerika Birleşik Devletleri'nde bu frekans 60 Hz'dür). Elimizdeki bu voltaj kaynağını  $R$  direncine bağlar isek dirençten geçen akım:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_o}{R} \sin 2\pi ft = I_o \sin 2\pi ft$$

olacaktır. Burada  $V_o/R = I_o$  olarak tanımladığımıza dikkat ediniz. Çünkü direnç üzerinden geçen akım da  $-I_o$  ile  $I_o$  arasında değişecektir. Direnç üzerindeki güç ise;

$$P = I^2 R = I_o^2 R \sin^2 2\pi ft$$

olacaktır. Yani güç zamanla akım değiştiği kadar sürekli değişmektedir. Burada **ortalama güç** tanımlamak mantıklı olacaktır. Bunu da şu şekilde yapabiliriz.  $R$  sabit olduğu için güç denklemindeki akımın **karesinin** ortalamasını alarak  $R$  ile çarptığımızda ortalama gücü bulabiliriz.  $\sin 2\pi ft$  fonksiyonunun ortalaması 0 iken,  $\sin^2 2\pi ft$  fonksiyonunun ortalaması  $1/2$ 'dir. Bu durumda ortalama güç;

$$\bar{P} = \frac{1}{2} I_o^2 R$$

olacaktır. Benzer şekilde Ohm yasasını kullanarak gücü voltaj cinsinden de ifade edebiliriz.

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \frac{V_o^2}{R}$$

**Kare kök ortalama (kko):** Ortalama güç hesabı için yukarıdaki gibi iki yeni güç denklemi kullanmak yerine, ortalama voltaj ve ortalama akım tanımlayıp eski güç denklemini kullanabiliriz. Ancak ortalama akım da voltajda ( $\sin 2\pi ft$  fonksiyonunun ortalaması sıfır) sıfırdır. Ancak akım ( $I$ ) ve voltajın ( $V$ ) önce karesini alıp, sonra ortalamasını hesaplayıp son adımda da karekökünü hesaplayarak yeni bir ortalama tanımlayabiliriz. Bu ortalama **kare kök ortalama** denir. Bu durumda ortalamalar:

$$\begin{aligned} I_{kko} &= \frac{I_o}{\sqrt{2}} \\ V_{kko} &= \frac{V_o}{\sqrt{2}} \end{aligned} \quad (5.10)$$

olacaktır ve ortalama güç hesabı da:

$$\begin{aligned} \bar{P} &= I_{kko} V_{kko} \\ &= I_{kko}^2 R \\ &= \frac{V_{kko}^2}{R} \end{aligned} \quad (5.11)$$

tanıdık güç denklemleri ile yapılabilecektir. Türkiye'de duvardaki prizlerde voltajın 220V olduğu söylenir. Aslında bu kare kök ortalama değeridir,  $V_{kko} = 220V$ . Tepe voltajı  $V_o = \sqrt{2} V_{kko} = 311V$ 'dur. ABD'de ise bu değerler 110V kko voltajı, 155V tepe voltajıdır [3]. Günümüzde elektronik cihazların bazıları her iki voltaj standardına uyacak şekilde tasarlanmaktadır (Örneğin cep telefonu şarj aletlerine bakabilirsiniz<sup>2</sup>). Ancak bir çok cihaz yalnızca bir standarda uygun çalışmaktadır ve özel adaptörleriniz yoksa Türkiye'den alınan cihaz ABD'de, ABD'den alınan cihaz Türkiye'de kullanılamaz.

[1] **Bölüm 9'da** elektrik üretiminden bahsederken hem neden AA olarak üretiminin kolay olduğunu hem de AC kullanarak taşınmasının neden daha verimli olduğunu da göstereceğiz.

[2] Cep telefon adaptörlerinin arkasına bakarsanız aslında 50 – 60Hz frekanslı AA voltajı (100 – 240V) alıp 5.0V DA voltajına çevirdiğini görebilirsiniz.

[3] Sanki durum zaten yeterince karmaşık değilmiş gibi kimi Avrupa ülkelerinde voltaj gerilimi 230V'dur. En azından gerilim frekansı ülkemizle aynıdır 50Hz.