



# **MODUL 3**

## **TEMEL ELEKTRİK**

## Modül 3.1 Elektron Teorisi

### Madde ve Özellikleri

**Madde:** Evrende yer kaplayan, hacmi, kütlesi ve eylemsizliği olan her şey madde olarak tanımlanır. Daha iyi bir tanım yapılması gerekirse, madde bir algı yada algılar bütünü sonucunda oluşan elektrik sinyallerinin yorumlanmasıdır. Madde doğada gaz, sıvı yada katı halde bulunabilir. Kimyada maddenin özellikleri genel ve ayırt edici olmak üzere iki bölümde incelenir.

#### Maddenin Genel Özellikleri:

Maddeden maddeye farklılık göstermeyen sadece madde miktarı ile değişen özelliklere maddenin genel özellikleri denir.

**Kütle:** Cismin barındırdığı madde miktarı olarak tanımlanabilir. Eşit kollu terazi ile ölçülür. Bu ölçümde kilogram adı verilen bir birim referans olarak kullanılır. Ölçüde esas olan karşılaştırma olduğu için herhangi bir cismin kütle değeri evrenin her yerinde sabittir. 1887 yılında referans bir kilogram olarak kabul edilen Platin-İridyum karışımı silindir. Fransa'nın Sèvres Kentinde Uluslararası Ağırlık ve Ölçümler Bürosunda korunmaktadır. 3,9 cm boyunda ve 3,9 cm çapında ki bu silindirin, platin-iridyum alaşımından yapılmasının nedeni bu alaşımın çok kararlı olmasıdır. Bu kararlılığı sayesinde yıllarca hiçbir kayba uğramadan saklanabilir.

**Ağırlık:** Cisme uygulanan yerçekimi kuvvetine ağırlık denir, birimi Newton'dur. Ağırlık yerçekimine bağlı olduğu için kütle değişmezken ağırlık ölçüldüğü bölgenin yerçekimi ivmesine bağlı olarak değişir.

**Hacim:** Cismin evrende kapladığı yere hacim denir. Herhangi bir cisim için hacim ortamın sıcaklığına ve basınca göre değişebilir.

**Eylemsizlik:** Maddenin durumunu koruma eğilimine eylemsizlik adı verilir. Örneğin duran bir cisim herhangi bir kuvvet etkisinde kalmadığı sürece hareket etmez. Hareket eden bir cisim de herhangi bir kuvvet altında kalmadığı sürece durmaz.

#### Maddenin Ayırt Edici Özellikleri:

Her madde için sabit bir değeri olan ve maddelerin birbirinden ayırt edilebilmesini sağlayan özelliklere maddenin ayırt edici özellikleri denir.

Ayırt Edici Özellik	Katı	Sıvı	Gaz
Özkütle	+	+	+
Genleşme	+	+	-
Esneklik	+	-	-
Çözünürlük	+	+	+
İletkenlik	+	+	+
Kaynama Noktası	-	+	-
Erime Noktası	+	-	-
Donma Noktası	-	+	-

Tablo 1.1

## 3.1 ELEKTRON TEORİSİ

### Atomun Yapısı

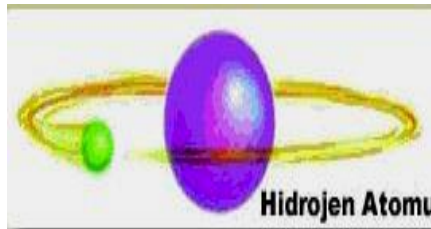
Maddenin temel yapısını oluşturan en küçük yapı taşına **atom** denir. Atom yapı itibariyle güneş sistemi ile benzerlikler gösterir. Buna göre atom merkezde çekirdek ve çekirdeğin etrafında elektronlardan meydana gelmiştir. Atomun çekirdeği pozitif yüklü protonlarla yüksüz nötronlardan oluşur. Çekirdeğin etrafında belirli yörüngelerde hareket eden elektronların yükleri ise eksidir.



Şekil 3.1.1 Atom Yapısı

Nötr yani yüksüz bir atomda proton ve elektron sayıları birbirine eşittir. Protonlar elektronlara nazaran 2000 kat daha ağırdır. Bu yoğun çekim kuvvetinden dolayı elektronlar çekirdeğin etrafında belirli yörüngelerde bulunur. Bir atomun çekirdeğinin çapı yaklaşık olarak  $10^{-10}$  m'dir.

Bir maddenin atomu ile başka bir maddenin atomu arasındaki fark, atomların çekirdeğinin ağırlığı ile çekirdeğin etrafında belli yörüngelerde dönen elektronların sayısından kaynaklanır. En basit atom 1 proton ve 1 elektrona sahip olan hidrojen atomudur. Yandaki şekilde en basit atom olan hidrojen görülmektedir.



Şekil 3.1.2 Hidrojen Atomu

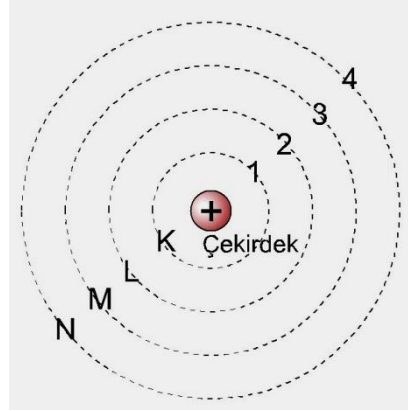
Bir atomda bulunan proton sayısı o maddenin atom numarasını verir. Örneğin hidrojen atomunun proton sayısı 1 olduğu için hidrojenin atom numarası 1'dir. Benzer şekilde oksijenin proton sayısı 8 olduğu için atom numarası da 8'dir.

Proton ve nötron sayılarının toplamı da maddenin kütle numarasını verir. Bakır atomunun 34 nötronu ve 29 proton sayısı olduğuna göre bakır atomunun kütle numarası  $34+29=63$  'tür.

Elektronlar çekirdeğin etrafında kabuk veya enerji seviyesi olarak adlandırılan yörüngelerde döner. Çekirdeğe en yakın kabuğun enerji seviyesi düşük, çekirdekten uzak olan kabuğun enerji seviyesi ise büyüktür. Çekirdekten uzaklaştıkça enerji seviyeleri de artar.

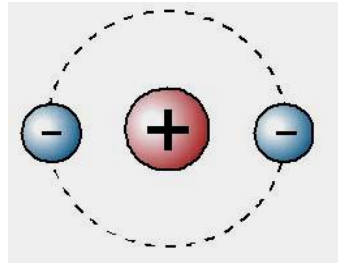
Çekirdeğin etrafındaki her bir kabuğun barındırabileceği elektron sayısı bellidir. Bir yörüngede bulunabilecek maksimum elektron sayısı  $2.n^2$  formülüyle hesaplanır. Burada "n" kabuğun numarasını ifade eder. Çekirdeğin etrafındaki kabuklar, çekirdeğe en yakın olandan başlamak üzere **K, L, M, N, O**... harfleri veya **1, 2, 3, 4, 5, ...** rakamları ile gösterilir. Aşağıdaki şekilde atom modeli gösterilmiştir.

Şekil 3.1.3'teki atom modelinde her bir kabukta bulunabilecek elektron sayıları ve elektronların kabuklara yerleşimleri gösterilmiştir. K kabuğu birinci yörünge olduğu için buradaki elektron sayısı  $2 \cdot 1^2 = 2$ , 2. yörünge olan L yörüngesindeki elektron sayısı  $2 \cdot 2^2 = 8$ , 3. yörünge olan M yörüngesindeki elektron sayısı  $2 \cdot 3^2 = 18$ , 4. yörünge olan N yörüngesindeki elektron sayısı  $2 \cdot 4^2 = 32$  olarak hesaplanır. K kabuğu 1, L kabuğu 2, M kabuğu 3, N kabuğu ise 4 yörüngeden meydana gelir.

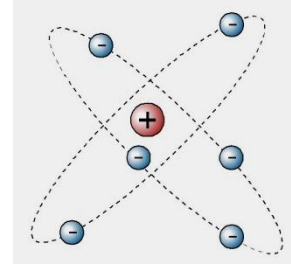


Şekil 3.1.3 Atom Yapısı

Helyum ve karbon atomlarının yörüngelerdeki elektron dağılımları  $2 \cdot n^2$  formülü ile hesaplanır. Buna göre helyumun 2 elektronu olduğu için bu iki elektron birinci yörüngede yer alır. Karbon atomunun ise 6 elektron olduğu için ilk yörüngede 2, ikinci yörüngede ise 4 elektronu bulunur. Aşağıdaki şekillerde de helyum ve karbon atomlarının elektron dağılımları görülmektedir.

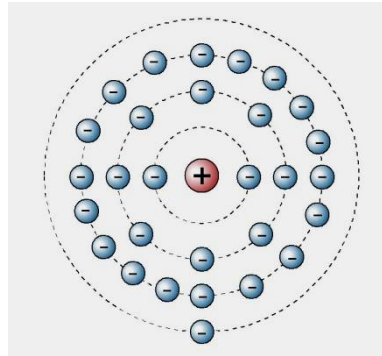


Şekil 3.1.4 Helyum



Şekil 3.1.5 Karbon Atomu

**Örnek :** Bakır atomunun elektron sayısı (proton sayısı) 29'dur. Bu atomun elektronlarının kabuklara nasıl yerleştiklerini hesaplayarak gösteriniz.



Şekil 3.1.6 Bakır Atomu

**Çözüm :**

$2 \cdot n^2$  formülüne göre:

K yörüngesinde  $2 \cdot 1^2 = 2$  elektron,

L yörüngesinde  $2 \cdot 2^2 = 8$  elektron,

M yörüngesinde  $2 \cdot 3^2 = 18$  elektron bulunur.

Bakır atomunun toplam 29 elektronu olduğu için N yörüngesinde de 1 tane elektronu bulunur.

**Örnek** : Alüminyum elementinin atom numarası 13'tür. Yani alüminyum atomunda 13 elektron vardır. Bu elektronların kabuklara nasıl yerleştiğini bulunuz.

**Çözüm** :  $2.n^2$  formülü ile elektronların yörüngelere nasıl yerleştikleri bulunur. Buna göre:

K yörüngesinde  $2.1^2=2$  elektron

L yörüngesinde  $2.2^2=8$  elektron

M yörüngesinde => 3 elektron

Buna göre K ve L kabuklarında 10 elektron yer alır. Alüminyum atomunun elektron sayısı 13 olduğuna göre geri kalan 3 elektron M yörüngesinde yer alır.

### Serbest Elektronlar

Atomların en dış yörüngelerine **valans yörünge**, buradaki elektronlara ise **valans elektron** adı verilir. Atomların en dış yörüngelerindeki elektronlar, çekirdek tarafından zayıf olarak çekilen elektronlardır. Bu nedenle bu elektronlar diğer elektronlara göre kendi yörüngelerinden daha kolay ayrılarak başka atomların yörüngelerine geçebilir. Bakır atomunun son yörüngesinde bulunan elektron, ısı ve gerilim gibi etkenlerle kendi atomundan koparak komşu atomun son yörüngesine geçebilir. Böylece bir atomdan diğer atoma serbest dolaşım başlar. Bir atomdan diğer atoma geçen bu elektronlara **serbest elektron** denir.

Eğer bir maddede serbest elektron sayısı fazlaysa o madde elektrik akımını iyi iletir ve dolayısıyla o madde iyi bir iletkendir. Eğer bir maddede serbest elektron sayısı azsa o madde elektrik akımını iletmez ve o madde yalıtkandır.

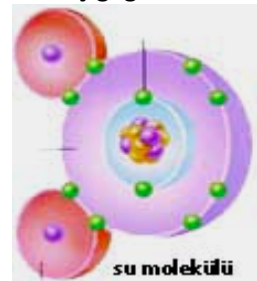
### Element, Molekül, Bileşik ve İyonlar

Uzayda yer kaplayan, kütlesi ve hacmi olan her şeye **madde** denir. Altın, gümüş, su, hava, toprak birer maddedir. Maddeleri birbirinden ayıran en önemli özellik, her maddenin kendisine özgü fiziksel ve kimyasal ayırt edici özelliklerinin olmasıdır. Fiziksel özellik, maddenin dış görünümüyle ilgili özelliktir. Kimyasal özellik ise; maddenin kimyasal, iç (moleküler) yapısıyla ilgili özelliktir. Fiziksel değişim ile maddenin sadece dış görünümünde değişiklik meydana gelirken kimyasal değişim sonucunda maddenin moleküler yapısında değişiklikler meydana gelmektedir.

**Element**: Herhangi bir yolla kendisinden daha basit maddelere dönüştürülemeyen saf maddelere **basit madde (element)** denir. Demir (Fe), Bakır (Cu), Karbon (C), Oksijen (O), Hidrojen (H) basit maddelere örnek olarak verilebilir. Şu anda yeryüzünde bilinen 90 çeşit element vardır. Ayrıca laboratuvar ortamlarında yapay olarak hazırlanmış 22 çeşit element de bulunmaktadır. Elementler kimyasal sembollerle gösterilir. Örneğin: bakır (Cu), demir (Fe) gibi.

**Bileşik**: İki veya daha fazla maddenin kimyasal özelliklerini kaybederek oluşturdukları yeni maddeye **bileşik** denir. Örneğin: Su ( $H_2O$ ) hidrojen ve oksijen elementlerinin birleşmesi ile oluşmuş yeni kimyasal özellikte bir maddedir. Yandaki şekilde iki hidrojenin ve bir oksijen atomuyla birleşmesi sonucu meydana gelen su bileşiği görülmektedir.

**Molekül**: Bileşik maddenin özelliklerini taşıyan en küçük parçaya **molekül** denir. Her bir molekül içinde bileşik maddeyi oluşturan basit maddelerin atomları bulunur. Molekül içindeki basit madde atomları aynı sayıda olduğu gibi, farklı sayılarda da olabilir. Örneğin sodyum klorür ( $NaCl$ ) molekülü, bir sodyum (Na) ve birde klorür (Cl) atomu bulundurur. Bir su molekülünde ise, iki hidrojen (2H) ve bir oksijen (O) atomu vardır.



Şekil 3.1.7 Su Molekülü

**İyon:** Çeşitli etkilerden dolayı atomlar elektron kazanabilir veya kaybedebilirler. Nötr bir atom elektron kaybedecek olursa protonlar sayıca üstün duruma geçer. Eğer nötr bir cisim elektron kazanacak olursa elektronlar sayıca üstün olur. Atomların elektron kazanması veya kaybetmesi serbest elektronlar yardımı ile olmaktadır. Elektron kazanmış veya kaybetmiş atomlara **iyon** denir. Artı (pozitif) yüklü iyonlara **katyon**, eksi (negatif) yüklü iyonlara **anyon** adı verilir.

### İletken, Yalıtkan ve Yarı İletkenler

Elektrik akımı atomlar içerisinde yer alan serbest elektron hareketleri sonucunda gerçekleşir. Maddeler elektrik akımını iletip iletmemelerine göre iletken, yalıtkan ve yarı iletkenler olmak üzere 3 gruba ayrılabilir.

**İletkenler:** Atomlarının son yörüngesinde (valans yörünge) 1, 2 veya 3 elektronu bulunan maddeler iletkendir.

Eğer bir atomun son yörüngesinde 1,2 veya 3 elektron varsa bu elektronlar çekirdek tarafından zayıf olarak çekilir. Çekirdek tarafından zayıf olarak çekilen bu elektronlara **serbest elektron** denir. Serbest elektronlar uygun ortamlarda kendi atomlarının yörüngelerinden koparak komşu atomların son yörüngelerine geçebilir. Böylece atomlar arasında elektron hareketi ve bunun sonucunda da elektrik akımı başlamış olur.

Bir madde içerisinde serbest elektron sayısı ne kadar fazla ise o madde o kadar iyi bir iletken demektir. Bakır, gümüş ve alüminyumun iletkenlikleri çok iyi olduğundan uygulamada çok tercih edilir. Örneğin çok iyi iletken olan bakırın  $1 \text{ cm}^3$ 'ünde  $8,54 \times 10^{22}$  tane serbest elektron vardır.

Bakır atomunun 29 protonu, 29 elektronu ve 34 nötronu vardır. Bakır atomunun dış yörüngesinde 1 elektronu bulunmaktadır. Bakır atomunun bu elektronu çekirdek tarafından zayıf olarak çekildiğinden başka atomun son yörüngesine kolaylıkla geçebilir.

Bakırdan (Cu) başka gümüş (Ag), alüminyum (Al) ve altın da iletkenliklerinin çok iyi olmasından dolayı tercih edilen iletkenlerdir.

**Yalıtkanlar:** Atomlarının son yörüngesinde dörtten fazla elektronu bulunan maddeler yalıtkanlardır. Son yörüngesinde fazla sayıda (5,6,7 veya 8) elektron bulunan atomlar kararlı bir yapıya sahiptir. Bunlar kolay kolay elektron almaz ve elektron vermez. Yalıtkanların serbest elektronları çok az olduğundan elektrik akımını da iletmez. Cam, PVC, kauçuk, yağ, pamuk, hava yalıtkanlara örnek olarak verilebilir.

Yalıtkanlar elektrik akımının geçmemesinin istendiği yerlerde ve elektrik akımından korunmak için kullanılır. İletkenlerin etrafı yalıtkan maddelerle kaplanarak akımın istenilen şekilde iletilmesi sağlanmış olur.

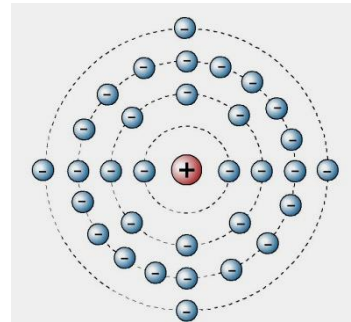
**Yarı iletkenler:** Atomlarının son yörüngelerinde 4 elektronu bulunan maddeler yarı iletkendir. Normal şartlar altında elektriği iletmeyen bu maddelere katkı maddesi enjekte edilmek suretiyle iletken haline dönüştürülebilir. Yarı iletkenlere silisyum, germanyum ve karbon elementleri örnek olarak verilebilir.

Yarı iletkenler elektronik devre elemanlarının imalatında kullanılır. Diyot, transistör, tristör gibi devre elemanlarının yapımında yarı iletkenlerden yararlanır.

Aşağıdaki şekillerde germanyum elementinin resmi ile elektron dağılım şeması görülmektedir.



Şekil 3.1.8 Germanyum Maddesi



Şekil 3.1.9 Germanyumun Elektron Dağılımı

## 3.2 STATİK ELEKTRİK VE ÜRETİMİ

### Statik Elektrik

Tarihsel süreç içerisinde elektrik, kendisini ilk olarak durgun yüklerin oluşturduğu statik elektrik olarak göstermiştir. Çok eski çağlarda kumaşa sürtülmüş kehribar tüylerinin küçük cisimleri çektiği görülmüştür. Statik (durgun) elektrikte bir akış veya hareket söz konusu değildir. Fakat bu durgun elektriğin bir iş yapmaması anlamına da gelmez. Statik elektrik yüküne sahip olan cisimler kendisinden zıt yüklü cisimleri çeker veya iter.

Plastik bir çubuk yünlü kumaş parçasına sürtülecek olursa yün üzerindeki elektronların bir kısmı plastik üzerine geçer. Böylece plastik çubuk negatif elektrik, yünlü kumaş ise pozitif elektrik ile yüklenmiş olur. Eğer cam bir çubuk ipek bir kumaşa sürtülecek olursa bu durumda cam ipek kumaşa elektron verir. Bunun sonucunda cam pozitif yük, ipek kumaş ise negatif yük ile yüklenmiş olur.

Statik (hareket etmeyen) elektrik yüklerinin sebep olduğu olayları inceleyen bilim dalına **elektrostatik** denir.

Günlük yaşamımızda statik yüklerle pek çok yerde karşılaşırız. Örneğin yün kazağımızı giyerken çıkan çıtırtılar statik elektrik yükündendir. Aynı şekilde top oynarken topun sürtünmesi sonucunda üzerinde yine statik yük birikimi meydana gelir. Bir otomobil giderken bir uçak uçarken hareketleri esnasında hava ve toz zerreciklerinin çarpması sonucunda statik yüklere maruz kalır. Büyük yakıt tankerlerine bu statik yüklerin zarar vermesini önlemek için araçla toprak arasında zincirler kullanılır. Böylece araçtaki statik yükler toprağa aktarılır.

Yağmurlu havalarda bulutların kendi aralarında teması neticesinde, bulutlar statik elektrik yükü ile yüklenir. Yeryüzünün elektrik yükü pozitif, bulutların elektrik yükü negatif olduğu için zaman zaman bulutla yer arasında elektrik boşalmaları olur. Bu olaya **yıldırım** denir. Eğer statik yük hareketi bulutlar arasında olmuşsa buna **şimşek** denir. Yıldırımın büyük binalara zarar vermesini önlemek için paratoner tesisatı kullanılır. Böylece bulutlarda meydana gelen statik yükler paratoner yardımıyla toprağa aktarılır ve yıldırımın zararlı etkisinden korunmuş oluruz.



**Şekil 3.2.1 Yıldırım Olayı**

Uçakların dış yüzeylerinde de bulutlardan ve hava zerreciklerinden dolayı statik elektrik yüklenmesi meydana gelir. Statik elektrikten korunmak için uçaklarda deşarj püskülleri kullanılır. Uçak yere indiğinde veya yakıt alma zamanlarında da uçak gövdesi topraklanarak statik yükün boşaltılması sağlanır.

### Elektriklenme Yöntemleri

Cisimlerin normal şartlarda proton ve elektron dağılımları eşittir. Bu durumda cisim nötr (yüksüz) dür. Cisimlerin pozitif veya negatif elektrik yükü ile yüklenmelerine elektriklenme denir. Nötr bir cisim elektron alarak negatif, elektron vererek de pozitif yüklü duruma geçebilir.

Cisimler sürtünme, dokunma ve etki olmak üzere üç şekilde elektriklenirler.

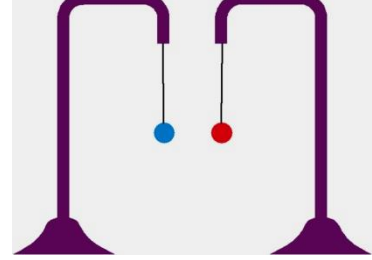
## Sürtünme ile Elektriklenme

Elektriklenme özelliğine sahip iki cisim birbirine sürtülecek olursa cisimlerden biri pozitif, diğeri de negatif elektrik yükü ile yüklenir. Bu şekilde cisimlerin elektrik yükü kazanmalarına sürtünme ile elektriklenme denir.

Bir cam çubuk yüklü bir kumaşa sürtüldüğünde elektriklenir. Sürtünme esnasında cam çubuk bir miktar elektron kaybeder. Elektron kaybeden cam pozitif elektrik yükü ile, elektrik kazanan yüklü kumaş ise negatif elektrik yükü ile yüklenir. Cam çubuğun elektriklendiği küçük cisimleri çekmesinden anlaşılır. Elektron alan ve elektron veren iki cisim birbirine sürtülürse elektron alan cisim negatif, elektron veren ise pozitif elektrik yükü ile yüklenmiş olur. Bu şekildeki elektriklenmeye sürtünme ile elektriklenme denir. Sürtünme ile elektriklenmede cisimler dışarıdan yük almaz. Yalnızca cisimlerin birinden diğeri yük geçişi olur.

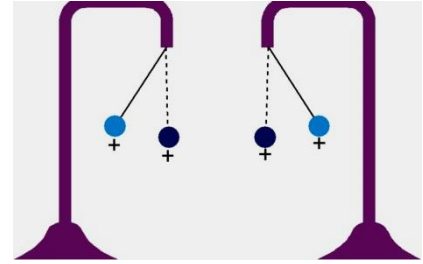
Aşağıda sürtünme sonucu elektriklenen cisimler arasındaki itme ve çekme ilişkisi açıklanmıştır.

- a) Nötr (yüksüz) cisimler birbirini çekme ya da itme özelliği göstermez. İki farklı elektrik yükü vardır. Bunlar pozitif ve negatif elektrik yükleridir. Cam çubuk bir kumaş parçasına sürtülmek suretiyle pozitif yükle, ebonit çubuk ise kumaş parçasına sürtülerek negatif elektrik yükü ile yüklenir.



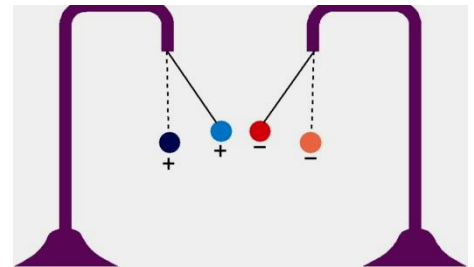
Şekil 3.2.2 Nötr Cisimler

- b) Aynı yüklü cisimler birbirlerini iter. Şekil 3.2.3'de görüldüğü gibi kürelerin her ikisi de pozitif elektrik yükü ile yüklenmiştir. Bunun sonucunda da aynı yüklü küreler birbirlerini itmiştir.



Şekil 3.2.3 Aynı Yüklü Cisimler

- c) Zıt yüklü cisimler birbirlerini çekerler. Şekil 3.2.4'te olduğu gibi ebonit çubuk (-) yükle, cam çubuk da (+) yükle yüklenmiştir. Bu iki cisim birbirine yaklaştırıldığında birbirini çektiği görülür.



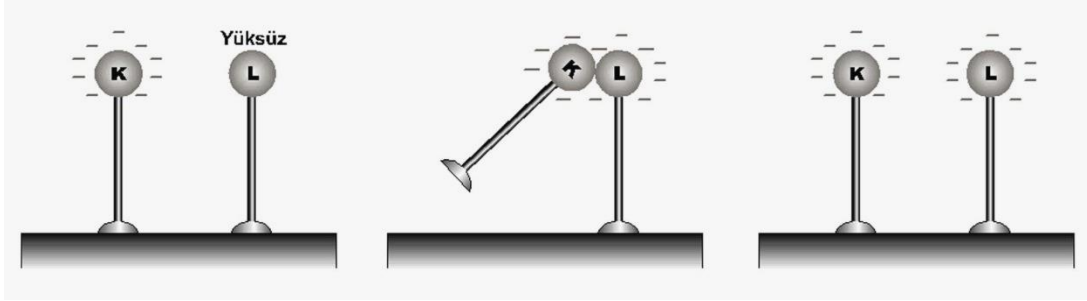
Şekil 3.2.4 Farklı Yüklü Cisimler



## Dokunma ile Elektriklenme

Elektrik yüklü bir cisim, yüksüz (nötr) bir cisme dokundurulacak olursa onu aynı cins elektrik yükü ile yükler. Bu şekildeki elektriklenmeye **dokunma ile elektriklenme** denir.

Şekil 3.2.5'te görüldüğü gibi yüklü bir cisim yüksüz bir cisme dokundurduğunda toplam yük, cisimlerin dış yüzeyleri ile orantılı olacak şekilde paylaşılır. Birbirine dokundurulan cisimler eğer eşit yarıçaplı küreler ise toplam yük eşit olarak küreler arasında paylaşılır. Kürelerin yarıçapları farklı ise yarıçapları ile orantılı olacak şekilde yükler küreler arasında dağılır.

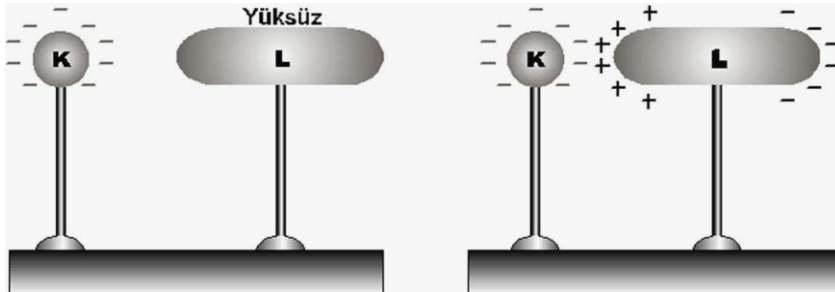


Şekil 3.2.5 Dokunma ile Elektriklenme

## Etki ile Elektriklenme

Statik elektrik yüküne sahip bir küreye yüksüz bir çubuk yaklaştırıldığında, nötr çubuğun yüklü cisme bakan yüzeyi küreyle zıt yönde, diğer yüzeyi ise yüklü cisimle aynı yönde elektriklenir. Bu tür elektriklenmeye **etki ile elektriklenme** denir.

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi yüksüz metal küre K küresine yaklaştırılacak olursa metal çubuğun sol tarafındaki eksi yükler küre tarafından çubuğun sağ tarafına itilir. Metal çubuğun sol tarafında ise pozitif yükler birikir.

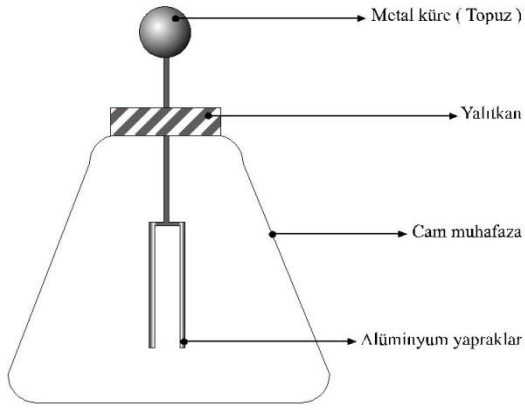


Şekil 3.2.6 Etki ile Elektriklenme

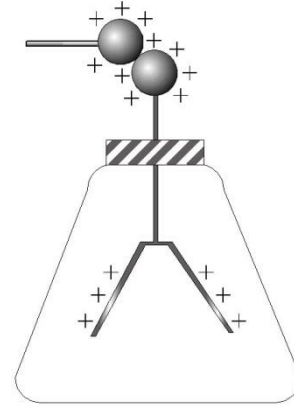
Dokunma ile elektriklenmede cisimlerin her ikisi de aynı yükle yüklenirken etki ile elektriklenmede cisimler zıt yükler ile yüklenir.

## Elektroskop

Bir cismin yüklü olup olmadığı, yüklü ise yükün cinsinin belirlenmesinde kullanılan cihaza **elektroskop** denir. Elektroskopun yapısı Şekil 3.2.7'de görüldüğü gibi, topuz, topuza bağlı metal çubuk ve çubuğa bağlı kolaylıkla hareket edebilen metal yapraklardan meydana gelir. Hava gibi dış etkilerden etkilenmesini önlemek için cam muhafaza içine yerleştirilmiştir. Yüksüz durumda elektroskopun yaprakları kapalıdır. Yüklendiğinde ise aynı cins yükler birbirini iteceğinden yaprakları açılır. Yük miktarı ne kadar artarsa elektroskopun yaprakları o kadar çok açılır. Yük miktarı azaldığında yaprakların kapandığı görülür.



Şekil 3.2.7 Elektroskop

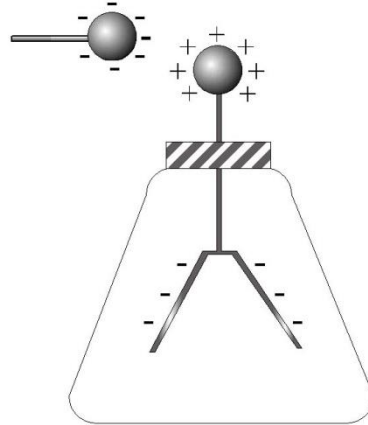


Şekil 3.2.8 Pozitif Yüklü Elektroskop

Yüksüz bir elektroskoba, yüklü bir cisim yaklaştırıldığında, etki ile elektriklenen elektroskobun topuzu cismin yüküne zıt yüklenir. Yaprakları ise cismin yükü ile aynı yüklenerek açılır.

Yüksüz bir elektroskoba, yüklü bir cisim dokundurulduğunda, elektroskobun topuzu ve yaprakları dokundurulan cismin yüküyle yüklenir. Böylece aynı yükler birbirini iteceğinden, elektroskobun yaprakları şekil 3.2.8'deki gibi açılır.

Yüklü bir elektroskoba, kendisiyle aynı yüklü bir cisim yaklaştırıldığında, metal topuzdaki (-) yüklerin bir kısmı yapraklara iletileceğinden elektroskobun yaprakları daha çok açılır. Zıt yüklü bir cisim yaklaştırıldığında elektroskobun yaprakları biraz ya da tam kapanabilir veya açılabilir. Bu durum, yüklü cismin ve elektroskobun yüklerinin büyüklüğüne bağlı bir sonuçtur (Şekil 3.2.9).



Şekil 3.2.9 Negatif Yüklü Elektroskop

## Elektrik Yüğü ve Coulomb Kanunu

Çeşitli etkiler sonucunda (dokunma, etki, sürtme) elde edilen elektrik yükü pozitif (+) veya negatif (-) olabilir. (Camın ipek kumaşa sürtülmesi sonucu cam pozitif, kumaş ise negatif elektrik yükü ile yüklenir.)

Elektrik yükü Q veya q harfleri ile gösterilir. Elektrik yükünün birimi M.K.S. (metre-kilogram-saniye) birim sisteminde Coulomb (Kulon)'dur. Yük birimi C harfi ile gösterilir.

1 Kulonluk elektrik yükünün oluşabilmesi için  $624 \times 10^{16}$  tane proton veya elektron yüküne ihtiyaç vardır.

Buna göre:

1 kulonluk pozitif yükün oluşabilmesi için  $624 \times 10^{16}$  tane protona,

1 kulonluk negatif yükün oluşabilmesi için de  $624 \times 10^{16}$  tane elektrona ihtiyaç vardır.

Pozitif ve negatif yükler arasındaki etkileşim ilk olarak Charles Coulomb (1736-1806) tarafından bulunmuştur. Pozitif ve negatif yükler arasındaki itme ilişkisi Kulon kanunu olarak adlandırılır. Bu kanuna göre:

- Aynı yüklü cisimler birbirlerini iter, zıt yüklü cisimler ise birbirlerini çeker.
- Yüklü iki cisim arasındaki itme veya çekme olayı cisimler arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değişir.
- Yüklü iki cisim arasındaki itme veya çekme kuvveti cisimlerin yük miktarlarına bağlı olarak değişir.
- Yüklü cisimler arasındaki itme veya çekme kuvveti cisimlerin bulunduğu ortama göre değişir.



$Q_1$  ve  $Q_2$  yüklerine sahip A ve B cisimleri arasındaki uzaklık d ise bu iki cisim arasındaki itme veya çekme kuvveti Coulomb Kanununa göre aşağıdaki formülle bulunur.

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

Bu formülde:

**F** : İki yük arasındaki itme veya çekme kuvveti (Newton - **N**)

**k** : Ortamın dielektrik katsayısı (**N.m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>**)

**Q<sub>1</sub> – Q<sub>2</sub>** : Elektrik yükü (Coulomb – **C**)

**d** : Yükler arası uzaklık (metre – **m**)

Yukarıdaki formülde Q (elektrik yükü) birimi olarak kullanılan C (Coulomb) çok yüksek bir birimdir. Bunun daha çok aşağıda belirtilen asatları kullanılır.

**1 C (Kulon) = 10<sup>3</sup> mC (milikulon)**

**1C (Kulon) = 10<sup>6</sup> µC (mikrokulon)**

**1C (Kulon) = 10<sup>9</sup> nC (nanokulon)**

**1C (Kulon) = 10<sup>12</sup> pC (pikokulon)**

**Örnek:** 0,5 C kaç µC (mikrokulon)'dur?

**Cevap:**  $0,5 \cdot 10^6 = 500.000 \mu C$

**Örnek:** 200 µC kaç C'dur?

**Cevap:**  $200 \mu C \cdot 10^{-6} = 0,0002 C$

Formülde k değeri ortamın dielektrik katsayı değeridir. Aşağıdaki tabloda bazı maddelerin dielektrik katsayıları verilmiştir.

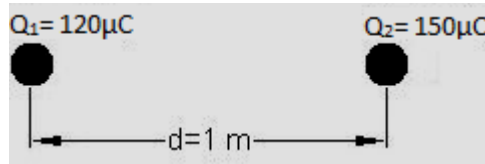
MADDENİN CİNSİ	DİELEKTRİK KATSAYISI (k)
Boşluk	$9 \cdot 10^9$
Hava	$8,98 \cdot 10^9 - 9 \cdot 10^9$
Mika	$1,8 \cdot 10^9$
Cam	$1,28 \cdot 10^9$

**Tablo 3.2.1 Bazı Maddelerin Dielektrik Katsayıları**

Elektriksel yükler arasındaki itme ve çekme olayını açıklayan Coulomb kanunu aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Noktasal iki yük arasındaki itme veya çekme kuvveti cisimlerin yük miktarlarının çarpımları ile doğru, cisimler arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değişir.

**Örnek:** Aralarında 1 metre uzaklık bulunan  $120 \mu\text{C}$  ve  $150 \mu\text{C}$  değerindeki iki yükün birbirlerine uyguladıkları kuvveti bulunuz. (Ortam hava ve  $k=9 \cdot 10^9$ )



**Çözüm :**

$$Q_1 = 120 \mu\text{C}$$

$$Q_2 = 150 \mu\text{C}$$

$$d = 1 \text{ m}$$

$$F = ?$$

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{120 \cdot 10^{-6} \cdot 150 \cdot 10^{-6}}{1^2} = 162 \text{ N}$$

**Örnek:**  $4 \cdot 10^{-7} \text{ C}$  olan  $Q_1$  yükü ile yük değeri bilinmeyen  $Q_2$  yükü arasındaki uzaklık  $50 \text{ cm}$ 'dir. Bu iki noktasal yük arasındaki çekme kuvveti  $5 \cdot 10^{-5} \text{ Newton}$  olduğuna göre  $Q_2$  yükünün değerini ve işaretini bulunuz. (Ortam havadır.)

**Çözüm:**

$$Q_1 = 4 \cdot 10^{-7} \mu\text{C}$$

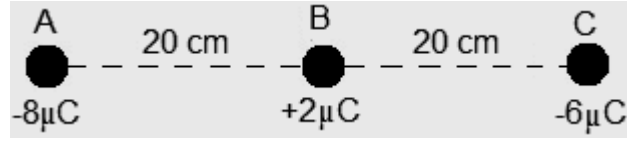
$$d = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$F = 5 \cdot 10^{-5}$$

$$Q_2 = ?$$

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} \Rightarrow 5 \cdot 10^{-5} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-7} \cdot Q_2}{0,5^2} \Rightarrow Q_2 = 3,5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

Örnek:



Yukarıdaki şekildeki devrede A cismi üzerine etki eden toplam kuvveti bulunuz.

**Çözüm:** A yüküne, C yükü itme kuvveti; b yükü ise çekme kuvveti uygular. Çünkü aynı yükler birbirini iter, farklı yükler ise çeker.



$$F_C = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} \Rightarrow F_C = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{0,4^2} = 2,7 \text{ N}$$

$$F_B = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} \Rightarrow F_B = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{0,2^2} = 3,6 \text{ N}$$

İki kuvvetin yönleri birbirine zıt olduğu için toplam kuvvet  $F_B$ 'nin yönünde  $F = F_B - F_C = 0,9 \text{ N}$  olarak bulunur.

## Statik Elektrik Endüstrideki Kullanımı

Günümüzde statik yüklerin yararları kadar zararları da vardır. Statik yükler yıldırıma neden olur. Ayrıca akaryakıt kamyonlarında oluşabilecek statik elektrik tehlikeli sonuçlar doğurur.

Pamuk liflerinin, unun ve ağaç tozlarının bulunduğu yerlerde oluşan statik yükler önlenemez ise yangınlara sebep olur. Matbaalarda statik yüklerden dolayı kağıtlar sağa sola kayarak çeşitli zararlara sebep olur. Ayrıca plastik ve kumaş endüstrisinde de statik yükler çeşitli zararlara sebep olurlar. Statik yüklerin etkilerinden korunmak için, yüklü kısımlar topraklanmalıdır.

Sanayide fabrikaların bacalarından çıkan tozlar çevre kirliliğine sebep olur. Bu da insan hayatını olumsuz olarak etkiler. Bacadan çıkan zararlı cisimleri engellemek için cisimlere negatif elektrik yükü kazandırılır. Baca çıkışına da pozitif yüklü bir levha yerleştirilir. Bacadan çıkan cisimler pozitif yüklü levha tarafından çekilerek dışarıya çıkmaları engellenmiş olur.

Boyama sanayinde boyanacak yüzeyin pürüzsüz ve dengeli olması istenir. Bunu sağlamak için tabanca ile boya işlerinde tabancadan çıkan boya zerrecikleri yüklü hale getirilir. Boyanacak cisim boyadan farklı yüklerle yüklenerek yüklü boya zerreciklerini çeker. Böylece hem düzgün boya işlemi yapılmış olur, hem de boya kaybı en aza indirgenmiş olur.

Ayrıca dokunmatik, elektronik aygıtlarda ve osilaskoplarda da statik elektrikten yararlanılır.

## Elektrik İletimi

### Katı Cisimlerde Elektrik İletimi

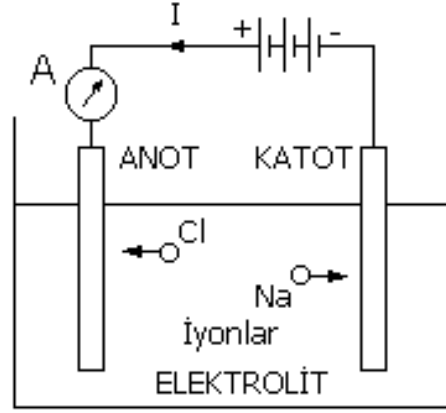
İletkene dışarıdan uygulanan bir etki (sıcaklık veya potansiyel fark) ile iletken içerisindeki serbest elektronlar bağlı buldukları atomlardan kopar. Bunun sonucunda da komşu atomlar arasında elektron alışverişi başlar. Böylece tel içerisinde bir elektrik akışı olur ve elektrik yükleri bir uçtan diğer uca iletilir.

Elektrik akımının oluşmasına neden olan elektronlar, iletkenin bir ucundan diğer ucuna gitmez. Bitişindeki atomun elektron yörüngesine sığar, oradan çıkan bir başka elektron hareketi devam ettirir.

Elektronların iletken içerisindeki hızları çok düşüktür ve saniyede 0,1 ile 10 mm arasında yol alır. Elektrik akımının iletken içerisindeki hızı ise saniyede 150.000-300.000 km arasında değişebilir.

## Elektriğin Sıvılarda İletilmesi

Tuz, asit veya baz su içerisinde eritilecek olursa bir çözelti elde edilir. Bu çözeltiye **elektrolit** denir. Örneğin yemek tuzunun suda eritilmesiyle elde edilen çözeltide tuz, pozitif yüklü sodyum ( $\text{Na}^+$ ) iyonları ile negatif elektrik yüklü klor ( $\text{Cl}^-$ ) iyonlarına ayrılır. Böyle bir elektrolit (çözelti) içerisine iki metal plaka (elektrot) daldırıldığında ve metal plakalara pil bataryası bağlandığında devreden bir akım geçişi olur. Bu akım elektrolit içinden yani tuz çözeltisi içinden de geçmektedir.

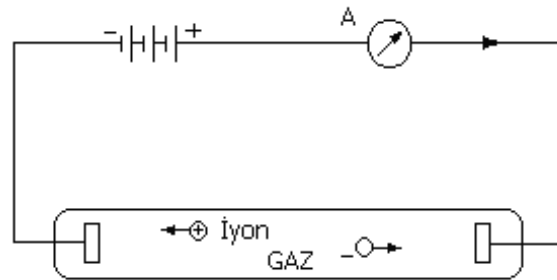


Şekil 3.2.10 Sıvılarda Elektrik İletimi

Çözelti içinde  $\text{Na}^+$  iyonu gerilim kaynağının (-) ucuna giderek bu kutba pozitif elektrik yükü taşır. Buna karşılık  $\text{Cl}^-$  iyonu gerilim kaynağının (+) ucuna giderek oraya ise negatif elektrik yükü taşır. Bu olaydan da görüleceği gibi elektrolit içinde elektrik akımı iyonlar tarafından taşınmaktadır. Bu olay elektroliz olayıdır ve metal kaplamacılığında kullanılır. Örneğin, bir çatalı gümüşle kaplamak için çatal, gümüş nitrat veya gümüş klorür eriyiğinden meydana gelmiş bir elektrolit içinde bataryanın (-) kutbuna bağlanır. Elektrolit içinde meydana gelen kimyasal olaylar sonucunda çatal, gümüş iyonları ile kaplanır.

## Elektriğin Gazlarda İletimi

Aşağıdaki (Şekil 3.2.11), devre elektriğin gazlar içerisinde iletilmesinin açıklanması için çizilmiştir. Silindirik cam tüpün iki ucunda metal elektrotlar vardır ve bunlar dışarıdaki gerilim kaynağının iki ucuna bağlanmıştır. Tüpün içerisindeki gaz moleküllerinin bir kısmı ısı ve ışık etkisiyle pozitif ve negatif iyonlarına ayrılmıştır. Pozitif iyonlar gerilim kaynağının negatif kutbuna doğru hızla hareket eder. Bu hareketleri esnasında bu iyonlar diğer gaz atomlarına çarparlar ve bunları da negatif ve pozitif iyonlarına ayırır. Böylece gaz içerisinde zincirleme suretiyle iyon sayısı artar ve elektrik akımı bir elektrottan diğerine doğru iletilir.

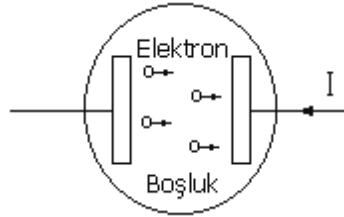


Şekil 3.2.11 Gazlarda Elektrik İletimi

Fluoresant ve neon lambaların tüplerinde elektrik akımları yukarıda açıklandığı şekilde iletilmektedir. Şimşek olayında bulutlar arasında, yıldırım olayında da bulutla toprak arasında elektrik yükleri de benzer şekilde taşınır.

## Elektriğin Boşlukta İletimi

Bazı maddeler ısıtılacak olursa elektron yaymaya başlar. Havası boşaltılmış ortamlarda bu elektronlar yakın mesafelere gidebilir ve başka madensel plaka üzerinde birikir.



Şekil 3.2.12 Boşlukta Elektriğin İletimi

Havası alınmış ortamlarda (boşlukta) elektronların hızı artar. Elektrik akımının hızı elektronların hızına eşittir. Elektron tüplerinde (radyo lambaları) elektrik akımının iletilmesi bu şekilde olmaktadır.

## 3.3 ELEKTRİK TERMİNOLOJİSİ

### Elektrik Enerjisi

Elektrik enerjisinin diğer enerji türlerine dönüştürülmesi kolaydır. Diğer enerji türlerine göre çok uzaklara taşınması ve kullanılması son derece rahattır. Verimi yüksektir. Bir enerji, istenen başka bir enerji türüne dönüştürülürken, ekseriya istenmeyen başka enerji türleri de ortaya çıkar. Bunların arasında özellikle ısı enerjisinin büyük olması dikkati çeker. İstenmeyen bu ısı enerjisi, yararlanılmadığı için yitirilir ve verimi düşürür.

İşte elektrik enerjisinin ısıdan başka bir enerjiye dönüştürülmesinde oluşan ısı enerjisi az olduğu için verimi yüksektir. Elektrik enerjisi sayısız bir çok parçaya ayrılarak kullanılabilir. Örneğin: Bir elektrik santralında kazanılan elektrik enerjisi, enerji taşıma hatlarıyla büyük kentlere götürülmekte ve orada sayısız konut ve iş yerlerine dağıtılarak kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi bulunduğu yerin ekonomik, sosyal ve kültürel düzeylerini hızla yükseltir ve kendisine karşı duyulan gereksinmenin artmasına gene kendisi neden olur.

Elektrik enerjisi toplumların ekonomik, sosyal ve kültürel yönlerden kalkınmasını sağlayan ve çağdaş uygarlığın en önemli araçlarından biri durumundadır. Son 50 yıl içinde baş döndürücü bir hızla ilerleyen teknolojiye gelişmeler ve hatta bir ev kadınının eli altına bir makinanın verilmesi (örneğin çamaşır makinesi) elektrik enerjisi sayesinde olanaklı olmuştur.

Elektrik enerjisinin belirtilen bu ve bunlara benzer avantajları ve iyi yönleri yanı sıra sakıncalı yönleri de vardır. Bunların başında elektrik enerjisinin depo edilemeyen bir enerji türü olması gelir. Nitekim elektrik enerjisi üretildiği anda kullanılmak zorunluluğundadır. Bundan dolayı üretim ile tüketim arasında devamlı bir dengenin bulunması gerekir. Ayrıca üretim sisteminde bir arıza ortaya çıktığında, bu sisteme bağlı sayısız abonede hizmetlerin durmasına ya da aksamasına neden olur. Bu nedenle, elektrik enerjisinin üretiminde sürekli bir devamlılığın sağlanması ve elde büyük ölçüde yedek sistemlerin bulundurulması zorunludur.

Elektrik enerjisinin bir başka sakıncası da üretimine paralel olarak taşıma ve dağıtım için özel düzenlere kesinlikle gereksinme duymasıdır. Oysaki, örneğin: bir dokuma fabrikası ürünlerini tüketiciye götürmek için özel yollara ve taşıtlara gereksinme duymaz. Bu görevi herkesin yararlandığı bir yoldan ve bir kamyon ile yapabilir. Buna karşın elektrik enerjisinin taşıma ve dağıtılması için projeye ayrıca yatırımların (örneğin: direkler, teller, izolatörler...) katılması zorunlu olmaktadır.

## Elektron Akımı

Elektrik yükü ve Elektrik Üretimi ile ilgili konuda maddenin yapısı, elektrik alanı ve katı-sıvı gazlarda elektrik akımının oluşumu hakkında edindiğimiz bilgileri bir araya getirdiğimizde elektron akımının ne olduğunu kavrayabiliriz.

Buna göre;

- Elektrik akımının iletkenlerde oluştuğunu,
- Elektrik akımının geçişini,
- Katı iletkenlerde serbest elektron adını verdiğimiz, atomlar arası boşlukta gelişi güzel hareket eden elektronların sağladığını,
- Sıvı iletkenlerde iyon adını verdiğimiz hem pozitif hem negatif yüklü parçacıkların sağladığını,
- Gaz halindeki iletkenlerde ise elektronların ve pozitif iyonların sağladığını,
- Elektrik yüklerinin ya da yüklü parçacıkların etrafında bir elektrik alanının oluştuğunu, bu alanın içerisinde kalan yüklere bir kuvvetin etki ettiğini, bu kuvvetin aynı adlı yüklerin birbirini itmesi, zıt adlı yüklerin birbirini çekmesi yönünde (Coulomb Kanunu ) olduğunu biliyoruz.

Bir iletkenin iki ucuna pozitif ve negatif yükler bağlanırsa, iletken içerisinde çok sayıda bulunan serbest elektronlar, iletkende meydana gelen elektrik alanının etkisi ile pozitif yük tarafından çekilip negatif yük tarafından itileceği için artık gelişi güzel hareket edemeyecek negatif yükten, pozitif yüke doğru düzgün ve sabit hızla hareket edecektir. Serbest elektronların negatif yükten, pozitif yüke doğru yaptığı bu düzgün harekete elektron akımı veya elektron akışı adını veriyoruz.

## Akım

Elektrik yüklerinin belirli bir yönde hareketi elektrik akımını oluşturur. Bir havuza akan su miktarını bilmek, akan suyun çok ya da az olduğu konusunda bize kesin bir fikir vermez. Çünkü bu suyun ne kadar sürede aktığını bilmemiz gerekir. Örneğin 1m<sup>3</sup> su 10 dakika da akmışsa çok kabul edilebilir, ancak 10 saatte akmışsa çok kabul edilemez.

Aynı şekilde belirli bir yönde akan elektrik yüklerinin de ne kadar zaman da aktığının bilinmesi gerekir. Bu da bize elektrik akım şiddetinin tanımını verir. Bir elektrik devresinde bir saniyede akan yük miktarına elektrik akım şiddeti ya da kısaca akım denir.

$I = Q / t$  ( Amper )

Bu formülde :

SEMBOL	ANLAMI	BİRİMİ	BİRİM SEMBOLÜ
I	Akım	Amper	A
Q	Elektrik yükü	Kulon	C
t	Yükün akış zamanı	Saniye	s

Bir kulon 624x 10<sup>16</sup> adet elektrik yüküne eşittir. Bir elektrik devresinden bir saniyede 624x10<sup>16</sup> adet, yani 1 C' lik elektrik yükü geçiyorsa bu devrenin akımı 1 Amper dir.

### ÖRNEK – 1

Bir elektrik devresinden geçen akım 2 amper ise bu devreden 10 saniyede geçen yük miktarını ve elektron sayısını ( yük sayısı ) bulunuz.

### ÇÖZÜM :

I : 2 A

t : 10 sn.

Q : ?

e : ?

$$I = Q / t \text{ ise } Q = I \times t \text{ dir.}$$

$$Q = 2 \times 10 = 20 \text{ C}$$

$$e = Q \times 624 \times 10^{16}$$

$$e = 20 \times 624 \times 10^{16}$$

$$e = 1248 \times 10^{17} \text{ adet elektron}$$



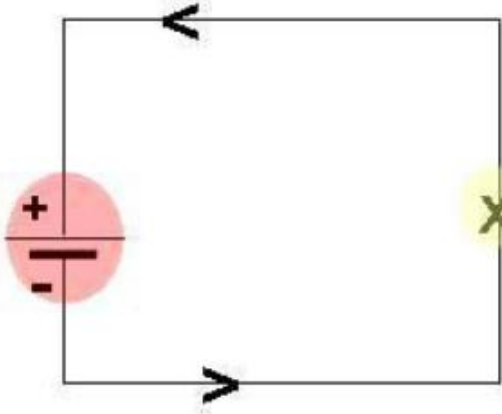
## ÖRNEK – 2

Bir elektrik devresinden 5 saniyede 15 C elektrik yükü aktığına göre bu devrenin akımı kaç amperdir.

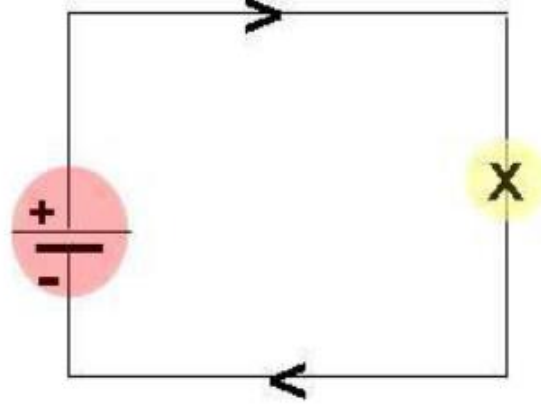
### ÇÖZÜM :

$$\begin{aligned} t : 5 \text{ s} & \quad I = Q / t \\ Q : 15 \text{ C} & \quad I = 15 / 5 \\ I : ? & \quad I = 3 \text{ A.} \end{aligned}$$

Elektron akımı yukarıdaki açıklamalarda da gördüğümüz gibi eksiden artıya doğru olmasına karşın, elektrik akımının yönü artıdan eksiyeye doğru kabul edilir ve devre üzerine çizilen bir ok ile gösterilir.



Şekil 3.3. 1: Elektron Akış Yönü



Şekil 3.3.2: Akım Akış Yönü

## Akım Birimi Amperin Ast ve Üst Katları

Elektrik devrelerinde akım birimi olarak daha çok amper ya da kiloamper kullanılmasına karşın, elektronik devrelerde daha çok miliamper ya da mikroamper kullanılır. Bu birimler arasındaki dönüşüm oranları aşağıda verilmiştir.

1 A	1 mA	1 A	1 µA	1 A	1 kA
10 <sup>3</sup> mA	10 <sup>-3</sup> A	10 <sup>6</sup> µA	10 <sup>-6</sup> A	10 <sup>-3</sup> kA	10 <sup>3</sup> A

## ÖRNEK – 1

5 Amper olarak verilen akımın mA , µA , kA karşılıklarını bulunuz.

### ÇÖZÜM

$$\begin{aligned} I = 5 \text{ A} & \quad I = 5 \times 10^3 \text{ mA} & \quad I = 5 \times 1000 & \quad I = 5000 \text{ mA} \\ I = 5 \text{ A} & \quad I = 5 \times 10^6 \mu\text{A} & \quad I = 5 \times 1\,000\,000 & \quad I = 5\,000\,000 \mu\text{A} \\ I = 5 \text{ A} & \quad I = 5 \times 10^{-3} \text{ kA} & \quad I = 5 \times 0,001 & \quad I = 0,005 \text{ kA} \end{aligned}$$

## ÖRNEK – 2

100 mA , 104 µA , 0,5 kA olan üç akımın amper karşılıklarını bulunuz.

### ÇÖZÜM

$$\begin{aligned} I = 100 \text{ mA} & \quad I = 100 \times 10^{-3} & \quad I = 100 / 1000 & \quad I = 0,1 \text{ A} \\ I = 10^4 \mu\text{A} & \quad I = 10^4 \times 10^{-6} & \quad I = 10^{-2} \text{ A} & \quad I = 0,01 \text{ A} \\ I = 0,5 \text{ kA} & \quad I = 0,5 \times 10^3 & \quad I = 500 \text{ A} & \end{aligned}$$

## Akım Çeşitleri

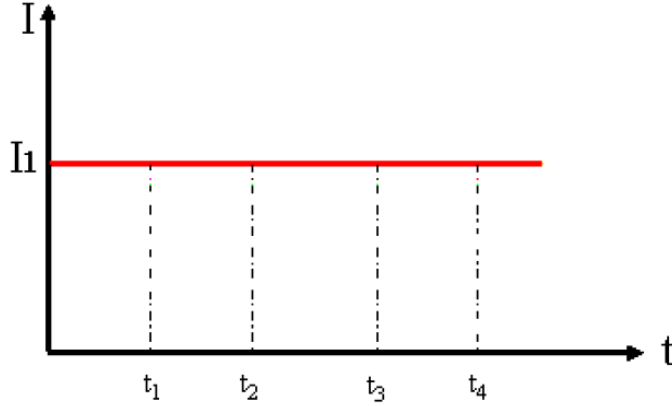
Elektrik akımı vektörel bir büyüklüktür. Vektörel büyüklükler yön, doğrultu ve şiddetleri ile ifade edilir. Elektrik akımını, vektörel özelliklerinin, yani yön ve şiddetinin zamanla olan değişimine göre başlıca iki grupta toplayabiliriz.

## Doğru Akım

Zamanla yönü değişmeyen akım doğru akımdır. Şiddetin değişip değişmemesi akımın doğru akım olmasını engellemez. Şiddetin değişimine göre doğru akım kendi içerisinde ikiye ayrılır.

- **Düzcün Doğru Akım**

Zamanla değeri değişmeyen doğru akım çeşididir. Doğru akım olabilmesi için yönünün değişmemesi gerektiğini biliyoruz. O halde düzcün doğru akımın zamanla yönü de değişmez şiddeti de değişmez ( Şekil 3.3.3)

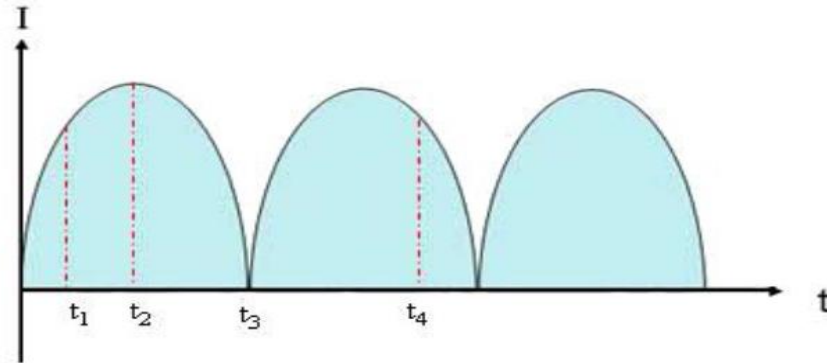


Şekil 3.3.3 Düzcün Doğru Akım Grafiđi

Şekil 3.3.3 de verilen düzcün doğru akımın grafiğini incelediğimizde, devreden geçen I1 akımının zamana bağlı olarak değişmediğini, t1, t2, t3 gibi değişik zamanlarda hep aynı kaldığını görüyoruz. Akım eğrisinin ise tamamının t ekseninin üst tarafında olması yönünün de değişmediğini ifade ediyor.

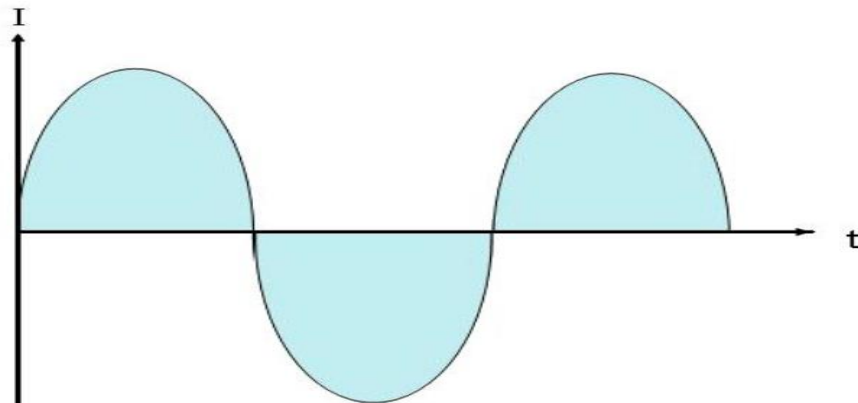
- **Değişken Doğru Akım**

Yönü değişmemekle birlikte ( zaten değişse doğru akım olmaz ) zamanla şiddeti değişen akım çeşididir. Şekil 3.3.4'te verilen değişken doğru akım grafiği incelendiğinde t1, t2, t3, t4 zamanlarında şiddetin farklı olduğu görülür.



Şekil 3.3.4 Değişken Doğru Akım

## Alternatif Akım



Şekil 3.3.5 Alternatif Akım

Alternatif akım zamana bağılı olarak yön ve şiddetini düzenli olarak değiştiren akımdır. Bu tanıma göre bir akımın alternatif akım olabilmesi için dikkatimizi çeken üç faktör vardır. Birincisi, akım zamana bağılı olarak yön değiştirmelidir. Alternatif akımın değişim eğrisine baktığımızda zaman ekseninin hem üstünde, yani pozitif bölgede, hem de altında yani negatif bölgede olduğunu görüyoruz. Bu da alternatif akımın yön değiştirdiğini gösterir. Yani alternatif akım belli bir süre(0-t2) bir yönde (örneğin saat ibresi yönünde düşünelim) devreden geçerken belli bir süre(t2-t4) ters yönde (saat ibresinin tersi yönünde) geçer. İki yönde geçen bu elektrik yüklerinin geçiş miktarı ve süresi birbiri ile aynıdır. Tanımdaki düzenli sözcüğü bunu açıklar. Zaman eğrisinin alt ve üstündeki bölümler birbirinin simetrisidir. Üçüncü faktör ise zamana göre şiddetin değişmesidir. Eğriyi incelediğimizde akımın sıfırdan başladığını, çoğaldığını, belli bir sürede (t1) en üste çıktıktan sonra azalmaya başladığını, belli bir süre sonra(t2) sıfır olduğunu görüyoruz. Sonra aynı işlem ters yönde tekrar ediyor. Bu da bize alternatif akımın her an şiddetini değiştirdiğini göstermektedir.

## Direnç

Bir iletkene gerilim uyguladığımızda meydana gelen elektrik alanının etkisi ile serbest elektronlar kaynağın ( - ) kutbundan, ( + ) kutbuna doğru hareket ederek elektrik akımını oluşturur. Elektrik devrelerinde bulunan iletkenler, alıcı (ısıtıcı – lamba, fırın, motor vs.) gibi elemanlar elektrik yüklerinin hareketini zorlaştırır. İşte akımın geçişine karşı gösterilen bu zorluğa direnç denir.

Direnç gerçekte hareket eden elektrik yüklerinin önüne gelen atomlara çarpması sonucu oluşur. Bazı alıcı (yük) çeşitlerinde bu çarpma sonucu açığa çıkan ısı enerjisinden yararlanılır. Örneğin elektrikli ısıtıcıların yapım malzemesi olan krom- nikel telin özelliği, direncinin yüksek olmasıdır. Yüksek direnç de yüksek ısı anlamına gelir. Aynı şekilde akkor telli ampullerde de kullanılan tungsten tel 5000 santigrad dereceye kadar ısınarak akkor haline gelir. Bu yüksek ısıdan dolayı da ışık saçarak aydınlatma işi yapar.

Bir başka yaklaşımla, elektrik devrelerine uygulanan gerilimin, devreden geçen akıma oranı sabittir. Bu sabit sayıya direnç denir. Direnç ( Rezistans ) R harfi ile gösterilir.

$$R = U / I$$

Bu formülde:

U = Alıcıya uygulanan gerilim( V )

I = Alıcıdan geçen akım( A )

R = Alıcının direnci( Ω )

Direnç birimi olarak Ohm kullanılır ve Ω sembolü ile gösterilir.

Elektrik – elektronik devrelerde direnç Şekil 3.3.6'daki semboller ile gösterilir.



Şekil 3.3.6 Direnç sembolleri

## Direnç ve Özdirenci Etkileyen Faktörler

Elektrik Terminolojisi modülünde direncin tanımını yaparak elektrik, elektronik devrelerde ne anlama geldiğini ve nasıl hesaplandığını görmüştük. Buradan anımsayacağımız gibi her maddenin az ya da çok elektrik akımının geçişine karşı gösterdiği bir zorluk, yani direnci vardır. Burada ilk olarak maddelerin direncinin az ya da çok olmasına etki eden fiziksel faktörleri inceleyeceğiz.

Herhangi bir iletkenin direncine etki eden fiziksel faktörler:

- iletkenin özdirenci
- iletkenin kesiti
- iletkenin boyudur.

İletkenin direnci boyu ve öz direnci ile doğru orantılı, kesiti ile ters orantılıdır. Yani

$$R = \ell \cdot \tau / S$$

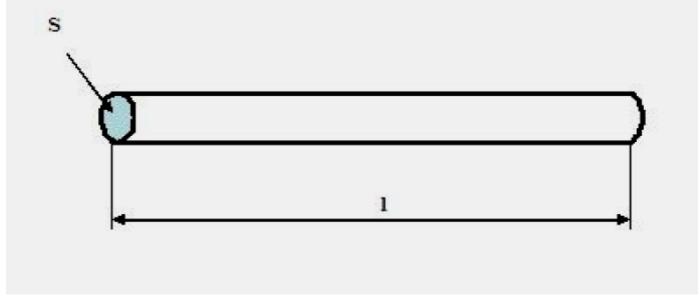
Bu formülde;

R: İletkenin direnci (  $\Omega$  )

$\ell$ : İletkenin boyu ( m )

$\tau$ : İletkenin öz direnci (  $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$  )

S: İletkenin kesiti (  $\text{mm}^2$  )



Şekil 3.3.7 Bir iletkenin boy ve kesiti

Bu formülden de anlaşılacağı gibi iletkenin boyu uzadıkça, direnci artar. İletkenin boyu kısaldıkça, direnci azalır. Buna karşın iletkenin kesiti ( kalınlığı ) arttıkça direnci azalır, kesiti azaldıkça direnci artar.

## Özdirenç

Özdirenç, her iletkenin yapıldığı malzemenin cinsine bağlı olarak değişen bir katsayıdır. Özdirenci birim uzunluk ve kesitteki bir iletkenin direnci olarak tanımlayabiliriz. Bu tanımdan iyi iletkenlerin öz direncinin de iyi olduğu sonucunu çıkarabiliriz. Aşağıdaki tabloda çeşitli iletkenlerin öz dirençleri verilmiştir.

İLETKENİN CİNSİ	ÖZDİRENCİ ( $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ )
Gümüş	0,016
Bakır	0,0178
Altın	0,023
Alüminyum	0,0285
Demir	0,10-0,15
Kalay	0,11
Kurşun	0,21

Aynı uzunluk ve aynı kesitte ancak değişik malzemelerden yapılmış iletkenleri ele aldığımızda en az dirence sahip olanın gümüşten yapılmış iletkenin sahip olduğunu, en çok dirence ise kurşundan yapılmış iletkenin sahip olduğunu söyleyebiliriz.

## Pozitif ve Negatif Sıcaklıkta İletkenlik Değişimi

Karbon, elektrolitik iletkenler ve bazı metal alaşımlarının dışında bütün metallerin öz direnci, dolayısı ile direnci sıcaklığa bağlı olarak artar. Bu artış çok düşük ve çok yüksek sıcaklıkların dışında doğrusaldır. Mutlak sıfır noktası olarak adlandırılan yaklaşık  $-273 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de iletkenlerin direnci sıfır olur. Buna süper iletkenlik adı verilir.

## İLETKENLİK (Conductance)

Direncin tersine geçirgenlik denir. Bu yolla hangi maddenin akım akışına izin verdiği hesaplanabilir. İletkenlik direncin tersi olduğuna göre :

- $1/R$  bize iletkenliği verir. İletkenlik birimi Siemens (S) dir.
- Buradan direnci 1 ohm olan materyalin iletkenliği 1 Siemens denilebilir

## Direnç Birimi Ohm'un Üst Katları

Direnç birimi ohm un (  $\Omega$  ) üst katları olan kiloohm (  $K\Omega$  ) ve megaohm (  $M\Omega$  ) ile ilişkisi aşağıda verilmiştir

1 $\Omega$	1 $\Omega$	1K $\Omega$	1M $\Omega$
$10^{-3} K\Omega$	$10^{-6} M\Omega$	$10^3 \Omega$	$10^6 \Omega$

**ÖRNEK – 1** 670  $\Omega$  , kaç  $K\Omega$  eder?

**ÇÖZÜM:**  $R = 670 \Omega$                        $R = 670 \times 10^{-3}$                        $R = 0,67 K\Omega$

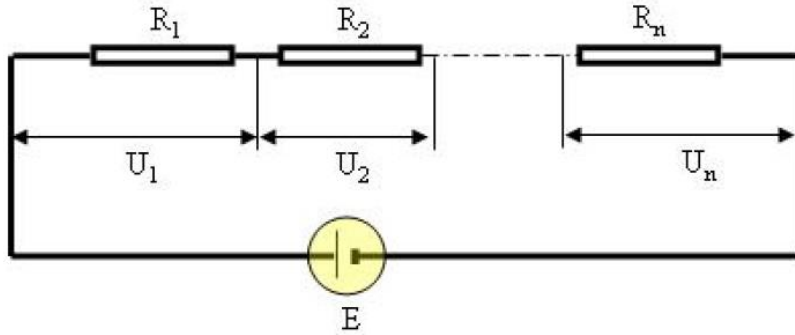
**ÖRNEK – 2** 2,8  $K\Omega$  ; kaç  $\Omega$  , kaç  $M\Omega$  dur ?

**ÇÖZÜM:**  $R = 2,8 K\Omega$                        $R = 2,8 \cdot 10^3$                        $R = 2800 \Omega$   
 $R = 2,8 K\Omega$                        $R = 2800 \times 10^{-6}$                        $R = 0,0028 M\Omega$

## Dirençleri Seri ve Paralel Bağlamak

### Dirençlerin Seri Bağlanması

Birden fazla direncin, hepsinin içinden aynı akım geçecek şekilde ard arda bağlanmasına dirençlerin seri bağlantısı denir. İki ya da daha fazla direncin birbirlerine seri olup olmadığına karar verirken en önemli kriter üzerlerinden aynı akımın geçiyor olmasıdır.



Şekil 3.3.8 Dirençlerin seri bağlantısı

Şekilde görüldüğü gibi kaynaktan çıkan akım seri devredeki bütün dirençlerden geçerek kaynağa geri döner. Bunun sonucu her bir dirençte  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_n$  gibi ayrı ayrı gerilim düşümleri oluşur.

Elektrik devreleri çözümlenirken seri bağlı dirençler toplanarak tek bir direnç hâline dönüştürülür. Bu dirence toplam direnç ya da eşdeğer direnç adı verilir.

Seri bağlı dirençlerin toplamı, seri bağlı tüm dirençler matematiksel olarak toplanarak bulunur.

Buna göre eşdeğer toplam direnç:

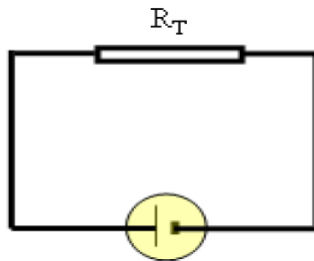
$R_T = R_1 + R_2 + \dots + R_n$  formülü ile bulunur.

Bu formülde:

Birinci direncin değeri (  $\Omega$  )

İkinci direncin değeri (  $\Omega$  )

$R_n$  = Son direncin değeri (  $\Omega$  )



Şekil 3.3.8 Eşdeğer toplam direnç

### ÖRNEK

15 ve 22  $\Omega$  değerindeki iki direnç seri bağlıdır. Toplam direnci bulunuz.

### ÇÖZÜM

$R_1 = 15 \Omega$

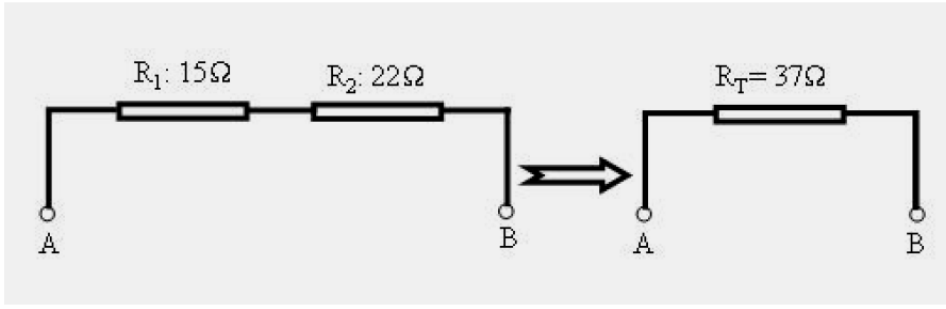
$R_T = R_1 + R_2$

$R_2 = 22 \Omega$

$R_T = 15 + 22$

$R_T = ?$

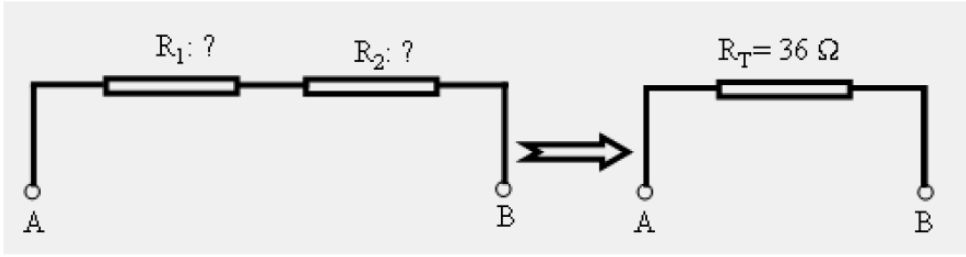
$R_T = 37 \Omega$



Şekil 3.3.9 Seri bağlı iki direnç ve eşdeğer toplamı

### ÖRNEK

Aşağıdaki devrede verilen iki dirençten birinin değeri, diğerinin iki katıdır. İki direncin toplamı  $36 \Omega$  olduğuna göre dirençlerin değerini bulunuz.



Şekil 3.3.10 Seri bağlı bilinmeyen iki direnç ve eşdeğer toplamı

### ÇÖZÜM

$$R_1 = 2 R_2$$

$$R_T = R_1 + R_2$$

$$R_T = 2R_2 + R_2$$

$$R_T = 3 R_2$$

$$R_2 = R_T / 3$$

$$R_2 = 36/3$$

$$R_2 = 12 \Omega$$

$$R_T = R_1 + R_2$$

$$R_1 = R_T - R_2$$

$$R_1 = 36 - 12$$

$$R_1 = 24 \Omega$$

Veya

$$R_1 = 2 R_2$$

$$R_1 = 2 \times 12$$

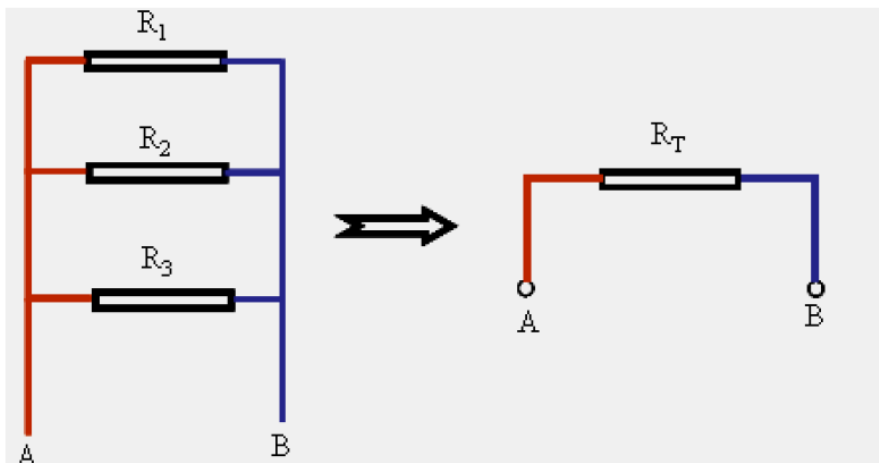
$$R_1 = 24 \Omega$$

### Dirençlerin Paralel Bağlanması

Birden fazla direncin aynı taraftaki uçları birbirine bağlanırsa paralel bağlantı elde edilir. Bu durumdaki dirençlere bir kaynak bağlanırsa tüm dirençler üzerindeki gerilim kaynak gerilimine eşittir. O hâlde paralel bağlı dirençler üzerinde düşen gerilim aynı gerilimdir.

Paralel bağlı devrelerde eşdeğer toplam direncin tersi, dirençlerin terslerinin toplamına eşittir. Buna göre bulunan sonuç ters çevrilerek eşdeğer yani toplam direnç bulunur.

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$



Şekil 3.3.11: Paralel bağlı dirençler ve eşdeğer toplam direnç

İki direncin paralel bağı olması durumunda, iki direncin çarpımı, iki direncin toplamına bölünerek toplan direnç bulunabilir. Bu formül hem zaman kazandırır, hem uygulaması daha kolaydır.

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

İkiden fazla direncin paralel bağı olması durumunda da bu formül iki dirence uygulanarak bu iki direnç bir direnç haline getirilebilir. Bu işlem direnç sayısına bağı olarak tekrarlanarak sonuca ulaşılır.

### ÖZEL DURUM

Paralel bağı dirençler birbirine eşit ise toplam direnç, bir direnç değerinin paralel bağı direnç sayısına bölünmesi ile bulunur.

$$R_1 = R_2 = \dots\dots R_n \quad \text{ise} \quad R_T = R_1 / n$$

**NOT:** Paralel bağı devrelerde eşdeğer toplam direnç, paralel bağı dirençlerin en küçüğünden daha küçüktür.

### ÖRNEK

3 adet 6 Ω değerindeki direnç paralel bağı olduğuna göre, toplam direnç kaç ohm dur?

### ÇÖZÜM

$$R_1 = R_2 = R_3 = 6 \Omega \quad R_T = \frac{R_1}{n}$$
$$R_T = 6 / 3$$
$$R_T = 2 \Omega$$

### ÖRNEK

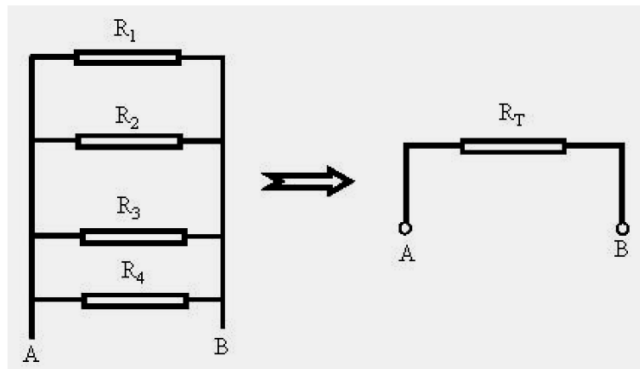
3 ve 6 Ω değerindeki iki direnç paralel bağı olduğuna göre toplam direnç ohm'dur?

### ÇÖZÜM

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad R_T = \frac{3 \times 6}{3 + 6} \quad R_T = 2 \Omega$$

### ÖRNEK

Aşağıdaki devrede paralel bağı dirençlerin değerleri  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 6 \Omega$ ,  $R_3 = 1 \Omega$ ,  $R_4 = 3 \Omega$ 'dur. Devrenin eşdeğer direncini bulunuz.



Şekil 3.3.12 Paralel bağı dört direnç ve eşdeğer toplamı

### ÇÖZÜM

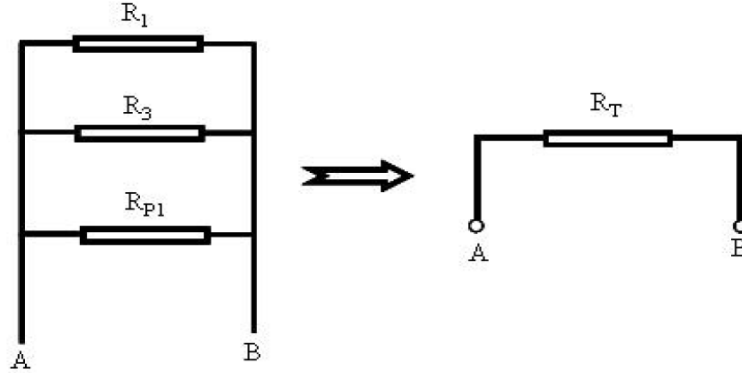
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \text{ formülünde değerler yerine yazılırsa:}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} + \frac{1}{1} + \frac{1}{3} \text{ elde edilir. Paydalar en küçük ve kolay 6 da eşitlenir. Buna göre:}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{3+1+6+2}{6} \quad \frac{1}{R_T} = \frac{12}{6} \quad R_T = \frac{6}{12} \quad R_T = 0,5 \Omega \text{ bulunur.}$$

Ancak her zaman paydaları eşitleyip işlem yapmak bu örnekteki gibi kolay olmayabilir. Bu durumda dirençler aşağıdaki gibi ikiye ayrılarak düşünülerek sonuca gidilebilir.

$$R_{P1} = \frac{R_2 \times R_4}{R_2 + R_4} \quad R_{P1} = \frac{6 \times 3}{6 + 3} \quad R_{P1} = 2 \Omega$$



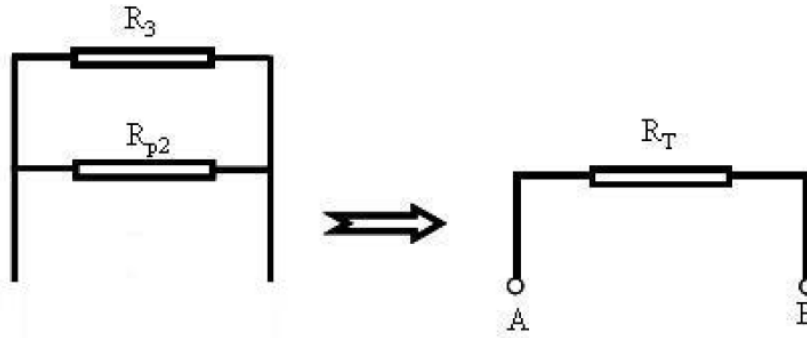
Şekil 3.3.13 Paralel bağlı dört direncin, üç dirence dönüştürülmesi ve eşdeğer toplamı

Bu durumda görüldüğü gibi devre 2, 1, 2 Ω'luk paralel bağlı üç direnç haline gelir. R<sub>1</sub> ve R<sub>P1</sub> 2 Ω olduğuna göre bu ikisinin toplamı:

$$R_{P2} = \frac{R_1}{2} \quad R_{P2} = \frac{2}{2} \quad R_{P2} = 1 \Omega \text{ olarak bulunur.}$$

Son durumda R<sub>3</sub> = 1 Ω, R<sub>P2</sub> = 1 Ω dur. Bu ikisi de birbirine eşit olduğuna göre eşdeğer direnç:

$$R_T = \frac{1}{2} \quad R_T = 0,5 \Omega \text{ olarak bulunur.}$$

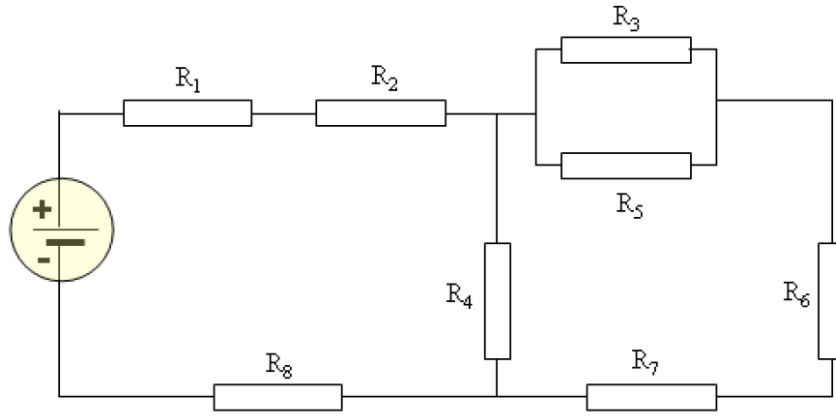


Şekil 3.3.14 Paralel bağlı üç direncin, iki dirence dönüştürülmesi ve eşdeğer toplamı

### Seri-Paralel Bağlanarak Eşdeğer Direncin Hesaplanması

Bir devrede bulunan dirençlerin bazıları seri, bazıları paralel bağlı olabilir. Bu tip devrelere karışık bağlı devre adı verilir. Karışık bağlı devrelerde eşdeğer direnç bulunurken, seri ve paralel bağlı devrelerde kullanılan yöntemler kullanılır. Genellikle ilk adım olarak devreye bakıldığında birbiri ile seri ya da paralel bağlı olduğu kolaylıkla gözükten dirençler kendi aralarında toplanarak devre basitleştirilir. Daha sonra sondan başlanarak kaynağa doğru gidilerek dirençler toplanır.





Şekil 3.3.15 Seri-paralel (karışık) bağlı direnç devresi örneği

Devreyi incelediğimizde ilk bakışta şunları görüyoruz.

- $R_1$  ve  $R_2$  art arda bağlıdır. İkisinin üzerinden de aynı akım geçer. Dolayısı ile bu iki direnç birbirine seri bağlıdır.

Bu ikisinin toplamına  $R_{S1}$  adını verip,  $R_{S1} = R_1 + R_2$  formülü ile toplayıp tek direnç haline getirebiliriz.

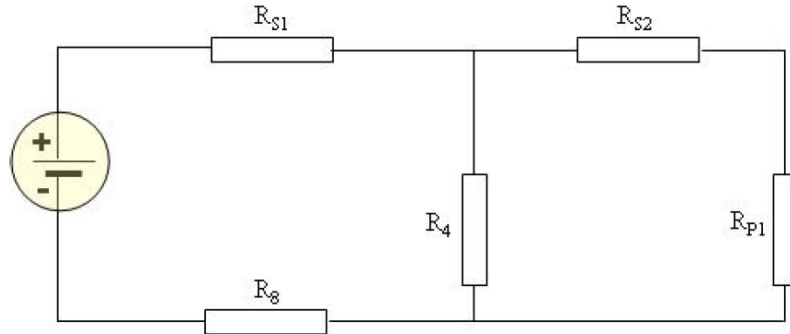
- $R_6$  ve  $R_7$  için söylediklerimizin aynısını,  $R_6$  ve  $R_7$  için de söyleyebiliriz. Çünkü bu ikisi de peş peşe bağlıdır.

Bu ikisinin toplamına da  $R_{S2}$  adını verip,  $R_{S2} = R_6 + R_7$  formülü ile toplayıp tek direnç haline getirebiliriz.

- $R_3$  ve  $R_5$  ise birer uçları karşılıklı olarak birbirine bağlıdır. Bu ikisi tıpkı bir prize takılı iki elektrikli cihaz gibidir. Dolayısı ile paralel bağlıdır.

Bu ikisinin toplamına da  $R_{P1}$  adını verip,  $R_{P1} = \frac{R_3 \times R_5}{R_3 + R_5}$  formülü ile toplayıp, tek direnç haline getirebiliriz.

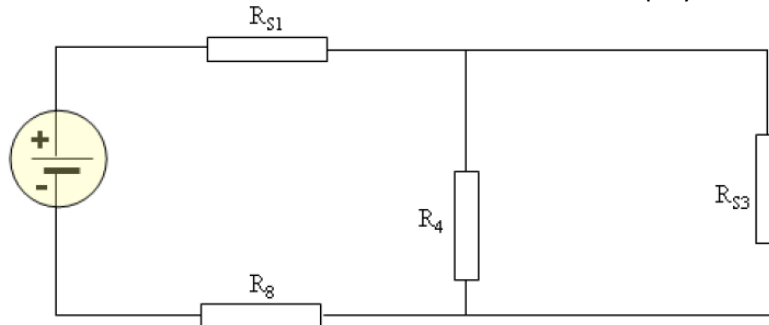
$R_1$  ve  $R_2$  yerine onların eşdeğeri olan  $R_{S1}$  direncini,  $R_6$  ve  $R_7$  yerine onların eşdeğeri olan  $R_{S2}$  direncini,  $R_3$  ve  $R_5$  yerine de onların eşdeğeri olan  $R_{P1}$  direncini koyarak, devreyi yeniden çizebiliriz.



Şekil 3.3.16 Karışık bağlı devrenin bir basamak sadeleştirilmiş hali

Şimdi bu devreye baktığımızda bu kez  $R_{S2}$  ile  $R_{P1}$  adlı dirençlerin art arda bağlı, dolayısı ile seri olduklarını hemen görebiliyoruz.

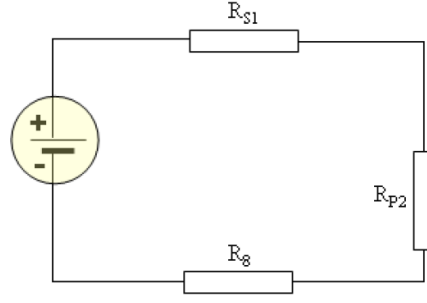
Bu ikisinin toplamına bu kez  $R_{S3}$  adını verelim.  $R_{S3} = R_{S2} + R_{P1}$  formülü ile toplayarak devreyi yeniden çizebiliriz.



Şekil 3.3.17 Karışık bağlı devrenin iki basamak sadeleştirilmiş hali

Devrenin bu haline baktığımızda ise  $R_4$  ve  $R_{S3}$  ün paralel bağlı olduğunu görebiliyoruz. Bu ikisinin eşdeğerine de  $R_{P2}$  adını vererek,

$$R_{P2} = \frac{R_4 \times R_{S3}}{R_4 + R_{S3}} \text{ formülü ile toplayarak yerine çizelim.}$$



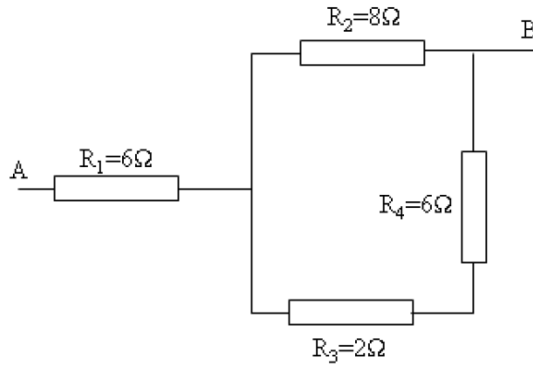
**Şekil 3.3.18 Karışık bağlı devrenin en basite indirgenmiş hali**

Devrenin bu son haline baktığımızda kalan üç direncin de peş peşe bağlı olduğunu, hepsinin içinden aynı akımın geçeceğini kolaylıkla görebiliyoruz. O hâlde üç direnç birbirine seri bağlıdır.

$R_T = R_{S1} + R_{P2} + R_8$  formülü ile devrenin toplamını, yani eşdeğerini bulmuş oluruz.

### ÖRNEK

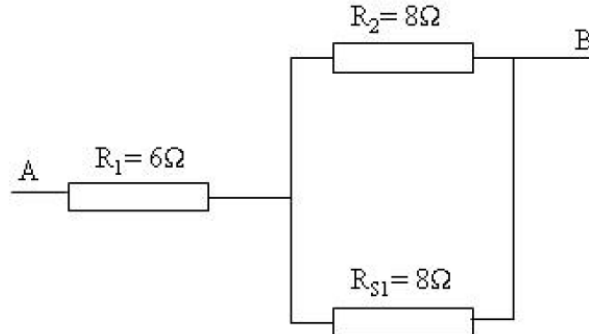
Aşağıdaki devrede A-B noktaları arasındaki eşdeğer direnci bulunuz.



**Şekil 3.3.19 Karışık bağlı örnek bir devre**

Devreye baktığımızda  $R_3$  ve  $R_4$  dirençlerinin art arda bağlı olduklarından dolayı ikisinin birbirine seri bağlı olduğunu görebiliyoruz.

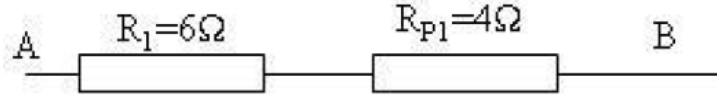
$$R_{S1} = R_3 + R_4 \quad R_{S1} = 2 + 6 \quad R_{S1} = 8 \Omega$$



**Şekil 3.3.20 Karışık bağlı devrenin bir basamak sadeleştirilmiş hali.**

Bu aşamada  $8 \Omega$ 'luk iki direncin paralel olduğunu görüyoruz. Bu ikisinin eşdeğerine  $R_{P1}$  adını verelim ve toplayalım.

$$R_{P1} = \frac{R_2}{2} \text{ (İki direnç eşit olduğu için)} \quad R_{P1} = \frac{8}{2} \quad \mathbf{R_{P1} = 4 \Omega}$$



**Şekil 3.3.21 Karışık bağlı devrenin en basit hâli.**

Devrenin son durumuna baktığımızda kalan iki direncin art arda seri bağlı olduğunu görebiliyoruz. Bu ikisini toplayarak devrenin eşdeğerini bulabiliriz.

$$R_T = R_1 + R_{p1}$$

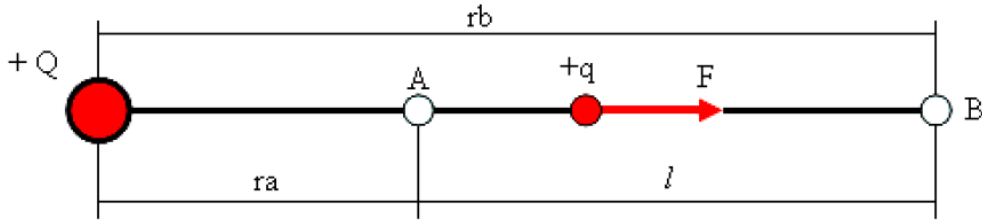
$$R_T = 6 + 4$$

$$R_T = 10 \Omega$$

### Potansiyel Fark

Elektrik alanı içerisindeki yüklü parçacıklara bir kuvvetin etki ettiğini ve bu kuvvetin  $F = q \cdot E$  kadar olduğunu biliyoruz. Yükler  $F$  kuvvetinin etkisi ile hareket işini yaparlar. Bu da onların bir potansiyel enerjiye sahip olduklarını gösterir. Elektrik alanının etkisi, alan içerisindeki her noktada farklıdır. Bir başka deyişle elektrik alanı içerisindeki her noktanın potansiyeli farklıdır. Bunu da her noktada ki ( + ) ya da ( - ) yüklü parçacıklara alanın yaptığı etkinin farklı olmasından anlayabiliriz.

Elektrik alanı içerisindeki bir birim +q yükünün, alanın etkisi yani alanı oluşturan +Q yükünün itme kuvvetinin etkisi ile A noktasından, B noktasına geldiğini düşünelim (Şekil 3.3.22).



**(Şekil 3.3.22)**

Burada:

A noktasının potansiyel enerjisi,  
 $W_A = q \times E_A \times r_a$

B noktasının potansiyel enerjisi,  
 $W_B = q \times E_B \times r_b$  olur.

O halde +q yükü A noktasından, B noktasına gitmekle,  
 $W = W_A - W_B$  işini yapmış olacaktır.

+q yükünün A dan B ye gitmesi için yapılan bu iş birim yük için,  
 $W = \{ W_A / q \} - \{ W_B / q \}$  olur.

Bu formül de;

$W_A / q$  A noktasının potansiyeli olup  $U_A$  sembolü ile  
 $W_B / q$  B noktasının potansiyeli olup  $U_B$  sembolü ile gösterilir.

O halde;

$W / q$  değeri A noktasının potansiyeli ile B noktasının potansiyeli arasındaki farktır. Buna da potansiyel fark diyoruz. Potansiyel fark alan kuvvetlerinin +q birim yükünün A noktasından B noktasına gitmesini sağlayan iş olarak da tanımlanabilir.

A ve B noktaları arasındaki potansiyel fark  $U_{AB}$  sembolü ile gösterilir.

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

Hem elektrik alanı içerisindeki A-B-C gibi noktaların potansiyellerinin hem de A ve B gibi iki nokta arasındaki potansiyel farkın birimi voltur. Volt kısaca V sembolü ile gösterilir.

$$W_A = q \times E_A \times r_a \text{ eşitliğinde } E_A \text{ nın değeri olan; } E_A = \{9 \times 10^9 / \epsilon_r\} \times \{Q / r_a^2\}$$

$$W_B = q \times E_B \times r_b \text{ eşitliğinde } E_B \text{ nın değeri olan, } E_B = \{9 \times 10^9 / \epsilon_r\} \times \{Q / r_b^2\}$$

yazılırsa, gerekli sadeleştirme işlemlerinden sonra;

$$W_A = U_A = \{9 \times 10^9 / \epsilon_r\} \times \{Q / r_a\} \quad W_B = U_B = \{9 \times 10^9 / \epsilon_r\} \times \{Q / r_b\} \text{ olur.}$$

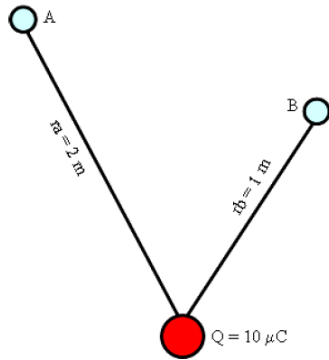
$$U_{AB} = U_A - U_B \text{ den,}$$

$$U_{AB} = (9 \times 10^9 \times Q / \epsilon_r) \times (1 / r_a - 1 / r_b)$$

 sonucu elde edilir.

### ÖRNEK – 1

Şekil 3.3.23’ de verilen A ve B noktalarının potansiyelleri ile A – B noktaları arasındaki potansiyel farkı bulunuz. ( $\epsilon_r = 1$ )



Şekil 3.3.23

A noktasının potansiyeli:

$$U_A = \{9 \times 10^9 / \epsilon_r\} \times \{Q / r_a\}$$

$$U_A = (9 \times 10^9 / 1) \times (10 \times 10^{-6} / 2)$$

$$U_A = (9 \times 10^3) / 2$$

$$U_A = 45000 \text{ V}$$

B noktasının potansiyeli:

$$U_B = \{9 \times 10^9 / \epsilon_r\} \times \{Q / r_b\}$$

$$U_B = (9 \times 10^9 / 1) \times (10 \times 10^{-6} / 1)$$

$$U_B = (9 \times 10^3) / 1$$

$$U_B = 90000 \text{ V}$$

A – B noktaları arasındaki potansiyel fark:

$$U_{BA} = U_B - U_A$$

$$U_{BA} = 90000 - 45000$$

$$U_{BA} = 45000 \text{ V}$$

**U<sub>AB</sub> DEĞİL, U<sub>BA</sub> OLDUĞUNA  
DİKKAT EDİNİZ.  
(BÜYÜKDEN KÜÇÜK ÇIKARILIR)**

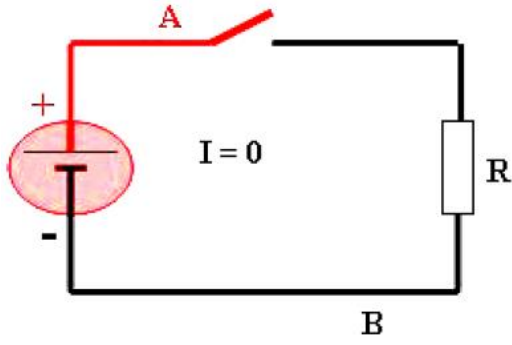
### Elektromotor Kuvvet

Elektrikli devrelere enerji veren kaynakların (üreteç) bir kutbunda elektron fazlalığı, diğer kutbunda elektron azlığı vardır. Elektron fazlalığı olan kutup ( - ) yüklü olup bu nedenle ( - ) kutup olarak isimlendirilir. Elektron azlığı olan kutup ise elektronu az olduğuna göre ( + ) yükü çoktur. Bu nedenle ( + ) kutup olarak isimlendirilir.

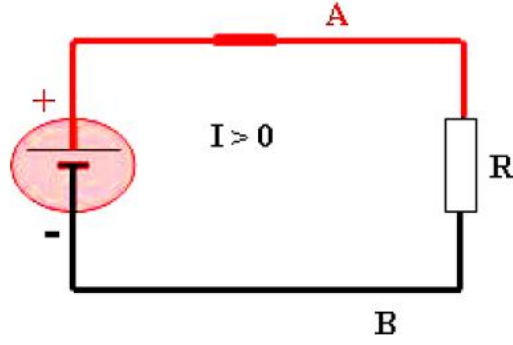
Elektrik devrelerinde, devrenin açık yani devredeki alıcıların çalışmadığı, devreden akım geçmediği durumda üreticinin ( kaynak ) iki kutbu arasındaki potansiyel farka elektromotor kuvvet denir.

- Elektromotor kuvvet kısaca ( EMK ) olarak ifade edilir, E sembolü ile gösterilir.
- Elektromotor kuvvet de bir potansiyel fark olduğuna göre birimi Volt ( V ) tur.

Üreticinin kutupları arasındaki emk, devrenin kapatılması ile meydana getirdiği elektrik alanının etkisi ile elektrik devresini oluşturan iletkenlerin içerisinde bulunan serbest elektronları ( + ) kutbu tarafından çeker, ( - ) kutbu tarafından iter. Böylece elektronlar üreticinin ( - ) kutbundan, ( + ) kutbuna doğru düzgün harekete geçer. Serbest elektronlar bu hareket sırasında önlerine gelen atomlara çarparak, çarptığı atomdan elektron kopmasına neden olur. Atomdan kopan elektron serbest elektron haline gelir ve o da aynı harekete devam eder. Üreticinin ( + ) kutbuna ulaşan her bir elektron burada ki bir ( + ) yükle nötrleşir. Buna karşın üreticinin ( - ) kutbu iletkene bir ( - ) elektron verir. Bu yüklerin iletkenin herhangi bir kesitinden birim zamanda ( 1 s ) akış miktarına akım dendiğini biliyoruz. O halde, akımın doğmasına neden olan kuvvet EMK dir.



Şekil 3.3.24 Elektromotor kuvvet



Şekil 3.3.25 Potansiyel fark



### Gerilim

Potansiyel fark konusunda elektrik yüklerinin etrafında elektrik alanının oluştuğunu, bu alan içerisindeki her noktanın bir potansiyelinin olduğunu ve herhangi iki noktanın potansiyelleri arasında ki farka potansiyel fark adını verdik. Burada aynı tanımı gerilim içinde yapacağız. Çünkü gerilim ve potansiyel fark aynıdır. Bundan sonra da daha çok gerilim olarak söz edeceğiz ve gerilimi U sembolü ile göstereceğiz. Gerilim, potansiyel farkın bir diğer adı olduğuna göre birimi de aynı; voltur.

EMK konusunda açıklandığı gibi; elektrik, elektronik devrelerde, devre açıkken üreteç uçları arasındaki potansiyel farka ( gerilime ), EMK adını verdik. Devre kapatılıp akım geçmeye başladığında ise artık EMK yoktur, potansiyel fark, yani gerilim vardır.

O halde gerilimi de elektrik akımını meydana getiren elektriksel kuvvet olarak tanımlayabiliriz. Gerilimin birimi volt un ast - üst katları milivolt ( mV) ve kilovolt (kV) arasındaki bağıntılar:

1 V	1mV	1 V	1kV
$10^3$ mV	$10^{-3}$ V	$10^{-3}$ kV	$10^3$ V

### ÖRNEK – 1

Aşağıdaki gerilim değerlerini volt olarak bulunuz.

- a ) 250 mV      b ) 0,5 kV      c ) 15 mV      d ) 2 kV

### ÇÖZÜM

- a )  $U = 250$  mV       $U = 250 \times 10^{-3}$  V       $U = 0,25$  V  
b )  $U = 0,5$  kV       $U = 0,5 \times 10^3$  V       $U = 500$  V  
c )  $U = 15$  mV       $U = 15 \times 10^{-3}$  V       $U = 0,015$  V  
d )  $U = 2$  kV       $U = 2 \times 10^3$  V       $U = 2000$  V

### ÖRNEK – 2

Aşağıda verilen gerilimlerin, istenilen birim değerindeki karşılıklarını bulunuz.

- a ) 4,5 V = ? mV      b ) 2500 mV = ? kV      c ) 0,02 kV = ? mV

### ÇÖZÜM

- a )  $U = 4,5$  V       $U = 4,5 \times 10^3$  V       $U = 4500$  mV  
b )  $U = 2500$  mV       $U = 2500 \times 10^{-3}$  V       $U = 2500 \times 10^{-3} \times 10^{-3}$        $U = 0,0025$  kV  
c )  $U = 0,02$  kV       $U = 0,02 \times 10^3$  V       $U = 0,02 \times 10^3 \times 10^3$        $U = 20000$  mV

## 3.4 ELEKTRİK ÜRETİMİ

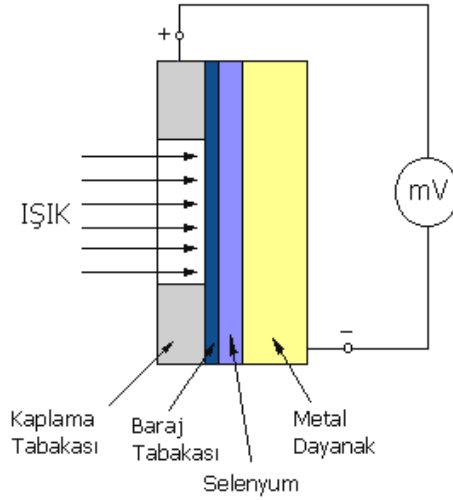
### Işık Enerjisi ile Elektrik Üretimi

Işık enerjisinden yararlanarak elektrik enerjisi elde eden sistemlere foto-cell (ışık pilleri) veya foto voltaik sistemler denir. Foto voltaik sistemlerde elde edilen gerilim değeri maksimum 0,3 ile 0,5 V'tur ve bu gerilim doğru gerilimdir. Birden fazla foto-cell'ler birleştirilmek suretiyle yüksek gerilimler elde etmek mümkündür.



Şekil 3.4.1 Işık Enerjisi İle Elektrik Enerjisi Elde Eden Foto-Voltaik Sistem

Işık enerjisi ile gerilim elde eden sistemler genel olarak farklı iki yarı iletkenin birleştirilmesiyle elde edilir. Yarı iletkenlerden birinin üzerine ışık düştüğünde serbest elektronlar bağlı oldukları atomlardan koparak komşu yarı iletken atomlarına geçer. Böylece yarı iletkenlerin birisinde elektron fazlalığı, diğerinde ise elektron eksikliği belirir. Yarı iletkenlerdeki bu elektron farklılığı iki yarı iletken arasında bir gerilimin oluşmasına neden olur.



Şekil 3.4.2 Foto-Voltaik Sistemin Yapısı

Yandaki şekilde bir foto elemanın yapısı görülmektedir. Bu şekilde de görüldüğü gibi selenyum maddesi demirden bir dayanak üzerine oturtulmuştur. Uygun işlemler sonucunda selenyum levhanın üzeri ışığı geçiren ince metal film ile kaplanmıştır. Foto elemanın üzerine ışık düşmesiyle selenyum üzerinde serbest elektronlar oluşur. Serbest elektronlar baraj tabakası tarafından itilerek selenyum tabakanın bir tarafında toplanır. Böylece selenyumun metalle birleştiği yerde elektron azlığı, kaplama tabakası ile birleştiği yerde de elektron fazlalığı ortaya çıkar. Bu da kaplama maddesi ile metal dayanak arasında küçük de olsa bir gerilimin oluşmasına neden olur.

Günlük yaşamımızda foto-voltaik sistemler hesap makinası, kol saatleri, ışık ölçme sistemleri gibi yerlerde kullanılır. Ayrıca güneş enerjisinden yararlanılarak yapılmış elektrikli arabalar ile elektrik santralleri de vardır.

## Isı Etkisiyle Elektrik Üretimi

İki farklı metalin birer uçları birleştirilerek birleşim yüzeyi ısıtılacak olursa bir metalden diğerine doğru elektron hareketi başlar. Bu durumda metallerin diğer iki ucu arasında gerilim oluşur. Isı enerjisinden yararlanarak gerilim üreten bu tür sistemlere **termokupul** denir.

Termokupullarda kullanılan metaller ve kullandıkları sıcaklık değerleri aşağıdaki gibidir:

Bakır ve konstantan .....150 °C'den 400 °C kadar.

Kromel ve Alumel .....60 °C den 1400 °C kadar.

Platin ve platin-rodyum alaşımı .....90 °C'den 1700 °C kadar.

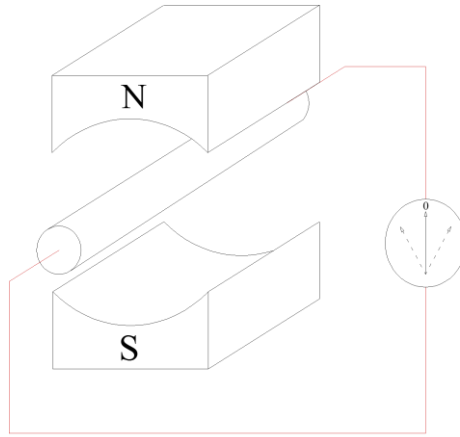
Termokupullarda elde edilen gerilim çok küçüktür ve doğru gerilimdir. Termokupul elemanlar genellikle zor ulaşılabilen yerlerin (örneğin: fırınlar) ısılarının ölçülmesinde kullanılır.

Uçaklarda da EGT (Egzoz Gaz Temperature) denilen sistemlerde de termokupullar kullanılır. Bu sistemde egzoz sıcaklığı alumel ve kromel kullanılarak yapılmış termokupullarla ölçülerek pilot kabinindeki göstergelere iletilir.

## Manyetik Etki ile Elektrik Üretimi

Günlük yaşantımızda ev, okul, ulaşım sistemlerinin (araba, otobüs, tramvay, metro, uçak, gemi vb.) elektrik enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında en fazla manyetik enerji kaynaklarından yararlanır.

Manyetik enerji kaynakları mekanik (hareket) enerjisini elektrik enerjisine çeviren makinelerdir. Manyetik alan içerisinde, manyetik kuvvet çizgilerini kesecek şekilde hareket ettirilen iletkenin iki ucu arasında bir gerilim (potansiyel fark) meydana gelir. Bu yöntemle gerilim elde etmeye "**endüksiyon yoluyla gerilim üretme**" denir. Aşağıdaki şekilde mıknatıslar arasında hareket eden bir iletkende gerilim endüklenmesi görülmektedir.



**Şekil 3.4.3 Manyetik Enerjinin Elde Edilmesi**

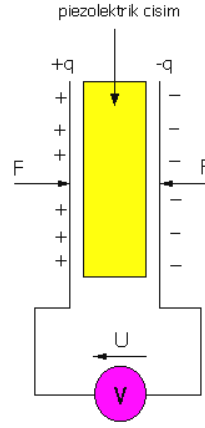
Pratikte kullanılan manyetik enerji kaynaklarından başlıcaları: Doğru akım generatörleri (dinamolar), alternatif akım generatörleri (alternatörler) ve manyetolardır.

Manyetik enerji kaynakları ile gerilim elde edilmesinde kullanılan hareket enerjisi barajlarda (hidroelektrik santrallerde) suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak sağlanır. Termik ve nükleer santrallerde ise açığa çıkan sıcaklık, suyu buhara dönüştürür. Buhar enerjisinden yararlanılarak türbin döndürülür. Ayrıca rüzgar enerjisinden ve gel-git olaylarından esinlenerek de yapılmış manyetik enerji kaynakları vardır.

Uçaklarda motorun hareket enerjisinden yararlanılarak motora bağlı olan alternatör döndürülür. Alternatörün sabit hızda dönmesi kontrol edilerek düzgün bir gerilim elde edilir.

Manyetik enerji kaynaklarından yararlanılarak yüksek gerilimler elde etmek mümkündür. Barajlarda üretilen gerilim 10.000 V gibi yüksek değerde olabilmektedir. Uçaklarda alternatörler yardımı ile elde edilen alternatif gerilim ise 115 V'tur.

## Basınç Etkisi ile Elektrik Üretimi



Şekil 3.4.4 Piezoelektrik Yöntemi ile Elektrik Üretme

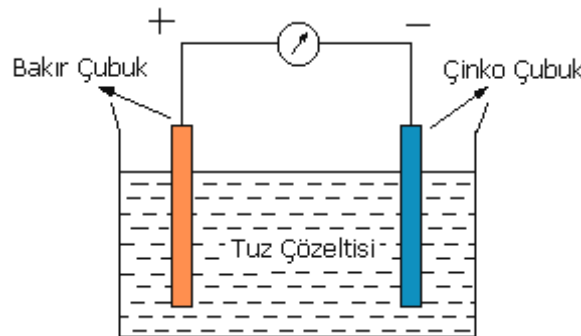
İletken olmayan kuartz, rochell tuzu (sodyum potasyum tartarat) ve turmolin kristallerinden kesilmiş levhaya belli bir doğrultuda uygulanan bir baskı (çekme ya da sıkıştırma) sonunda levhanın iki yüzünde farklı işaretli yükler meydana gelir. Bu elektrik yükü de potansiyel fark (gerilim) meydana getirir. Bu yöntemle gerilim elde etmeye **piezoelektrik** denir. Kristalden kesilmiş ince dilime alternatif gerilim uygulanacak olursa dilim eğilip bükülerek titreşimler yapmaya başlar.

Piezoelektrik etki, kuartz gibi maddelere özel biçimde duyarlıdır. İki yüzey üstünde elektrik yüklerinin bulunmasından dolayı, bu yüzler üstüne yerleştirilen iki elektrot arasında bir U potansiyel farkı ölçülebilir. Ortaya çıkan elektrik yüklerinin yüzeysel yoğunluğu, uygulanan basınçla doğru orantılıdır. Bu olayın tam tersi bir özelliği de vardır: Söz konusu iki yüzün her biri üstüne +q ve -q yükleri çöktürülürse ya da bu yüzler arasına bir U potansiyel farkı uygulanırsa levhanın belirli bir doğrultuda genişlediği ya da kasıldığı gözlenir.

Piezoelektrik etki, basınç ölçümünde, ses, ses üstü ya da ses altı frekansların titreşimlerinin incelenmesinde (patlamayla yer altı araştırmaları, mikrofon, plakların okuma kafası, baskı ayarı) doğrudan kullanılır.

## Kimyasal Yöntem ile Elektrik Enerjisi Üretimi

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi tuz çözeltisi içerisine biri çinko, diğeri bakır olmak üzere iki metal çubuk daldırılmıştır. Sıvı ile metal çubuklar arasında meydana gelen kimyasal olaylar sonucunda metal çubuklar (elektrotlar) arasında bir gerilim meydana gelir. Meydana gelen bu gerilim doğru gerilimdir. Bu yöntemle gerilim elde eden kaynaklar piller, aküler, bataryalardır. Kimyasal yöntemle elektrik enerjisi elde etme konusu daha ayrıntılı olarak beşinci öğretim faaliyeti olan "D.C. Elektrik Kaynakları" bölümünde açıklanmıştır.



Şekil 3.4.5 Kimyasal Yöntemle Elektrik Üretmek

## Sürtme ile Elektrik Üretimi

Maddeler ikinci öğretim faaliyetinde açıklandığı gibi sürtme, dokunma ve etki olmak üzere üç değişik yolla statik elektrikle yüklenebilir. Statik elektrik yükü oluşturmak için yapılmış cihazlara Van De Graff jeneratörü denilmektedir. Bu cihazlarla 10.000 V g,b, yüksek değerde statik elektrik yükleri elde edilebilmektedir.



### 3-5 DOĞRU AKIM ELEKTRİK KAYNAKLARI

#### 3-5-1 PİLLER VE BATARYALAR

##### Elektrot, Elektrolit ve Elektroliz

Saf su ve alkol gibi sıvılar elektrik akımını iletmez. Bunların içine az miktarda asit, baz veya tuz konulacak olursa bu sıvılar iletken hale geçerler. Asitli su, tuzlu su gibi elektriği ileten çözeltilere **elektrolit** denir.

Elektrolit içerisine daldırılan metal çubuklara **elektrot** denir. Elektrotlar pozitif (+) ve negatif (-) kutup olarak adlandırılır. Pozitif elektroda anot, negatif elektroda ise katot denir.

Elektrik akımı etkisi ile çözeltinin kendisini oluşturan yapı birimlerine ayrışmasına **elektroliz** denir. Elektroliz olayında (-) yüklü iyonlar anotta, (+) yüklü iyonlar ise katotta toplanır. Elektroliz olayı sonucunda elektrik akımı kimyasal enerjiye dönüşür.

Elektroliz olayı galvanoteknik olarak adlandırılan metal kaplamacılığında kullanılır. Süs ve mutfak eşyaları altın, gümüş, çinko, kalay gibi maddelerle bu yöntemle kaplanır.

Her batarya üç temel öğeden oluşur. Anot (pozitif kutup), katot (negatif kutup) ve kimyasal reaksiyonu sağlayan elektrolittir. Elektrolit elektrik enerjisini depolayan ve geri veren kısımdır.

##### ELEKTROKİMYASAL SERİLER

İki farklı metal elektrot (Bakır Cu - Çinko Zn) elektrolit içine batırıldığında, iki metal arasında voltaj oluşur.

**ÖRNEK:** Bakır çinko pilin voltajları

- Bakır (Cu) elektrotun Potansiyeli (voltajı)= +0.34V
- Çinko (Zn) elektrotun Potansiyeli (voltajı)= -0.76V

Pilin Potansiyel farkı (Voltajı)  
 $V = +0.34V - (-0.76V) = 1.1 \text{ Volt}$

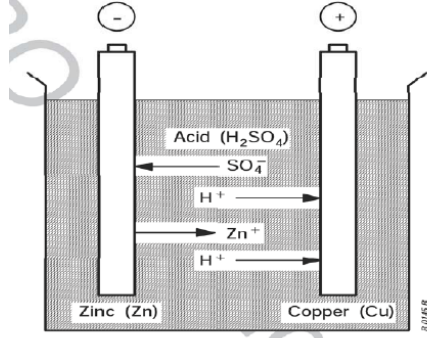
Aşağıdaki şekilde elektrolit çözelti içerisinde kullanılan bazı metal elementlerin Potansiyel Fark (PD) değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi Altın Platin Gümüş Civa ve Çinko elementlerinin daha fazla potansiyel fark oluşturabildiği görülmektedir.

Name of metal	Electrode potential (volts)
zinc	- 0.76
chromium	- 0.56
iron	- 0.44
cadmium	- 0.40
indium	- 0.34
nickel	- 0.22
tin	- 0.14
lead	- 0.13
hydrogen	0.00
copper	+ 0.34
mercury	+ 0.79
silver	+ 0.80
platinum	+ 0.90
gold	+ 1.50

**Elektrokimyasal Seri**

## BASİT PİL

Aşağıdaki şekilde bakır ve çinko elektrotlar sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) çözeltisinin içine batırılmıştır. Bundan sonraki işlemler şu şekilde gerçekleşir:



Copper (Cu) = Anode (Electrode)

Zinc (Zn) = Cathode (Electrode)

Sulphuric acid ( $H_2SO_4$ ) = Electrolyte

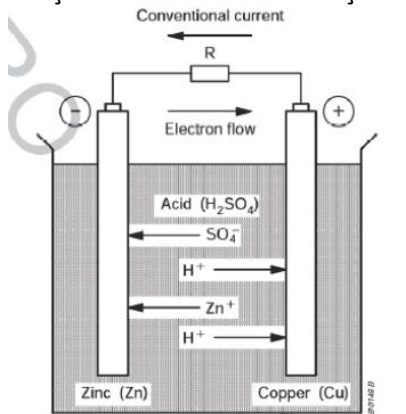
- Pil (Cell) Doğru akım güç kaynağı olmuştur.
- Pildeki bu enerji dönüşüm işlemi kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesidir.
- Çinko elektrot sülfürik asit içinde çözünür.
- Pozitif iyonlar bakır elektroda doğru hareket ederler.
- Bu sebeple çinko elektrot elektrolite nazaran negatif hale gelir.
- Pozitif iyonlar, kendilerini bakır elektrota yapıştırırlar.
- Bunun sonucunda bakır elektrot, elektrolite nazaran pozitif hale gelmiştir.

Not:

- Elektrik jargonunda Negatif elektrot Katot (Cathode) Pozitif elektrot ise Anot (Anode) olarak adlandırılır.
- Şekilde Katot ve Anot arasındaki potansiyel fark ortalama 1 V görülür. Bu voltaj elektrolitte kullanılan elektrotlara bağlı olarak değişir.

Yukarıda basit bir pilin nasıl potansiyel fark ürettiği açıklandı. Aşağıdaki şekilde pilin anot ve katot uçlarına bir R direnci bağlanmıştır. Buna göre:

- Pilin içerisindeki elektron akışı orantılı olarak "R" direnci üzerinden de akmaya başlayacaktır.
- Bu akım pilin "İÇ DİRENÇ" (internal resistance) ve ısısını yükseltecektir.
- Daha fazla çinko çözülecek ve iyonlar elektrolitten geçerek bakır elektrota yapışacaktır.
- Elektrik devresinde, elektron akımı çinko elektrottan bakır elektrota doğru olurken, konvensiyonel akım bunun tersi olarak gerçekleşecektir.
- Pil elektrik akımı üretirken anot elektrotta hidrojen gazı oluşacaktır.
- Hidrojen zaman içinde film tabaka halinde kimyasal işleme bariyer oluşturmaya başlayacaktır.
- Zaman içinde hidrojen yoğunlaşarak yalıtkan halini alıp daha fazla elektron akımına izin vermeyecektir.
- Bu sayede anot ve katot arasındaki potansiyel fark azalacak buna karşılık pil ya da bataryanın iç direnci artacaktır.
- Ayrıca çinko elektrot tamamen çözüldükçe ya da elektrolit bitince pil elektrik akımı üretemeyecek



R (Resistor) = Electrical load

Copper (Cu) = Anode (Electrode)

Zinc (Zn) = Cathode (Electrode)

Sulphuric acid ( $H_2SO_4$ ) = Electrolyte

## Yük Bağlanmış Basit Pil

## Piller

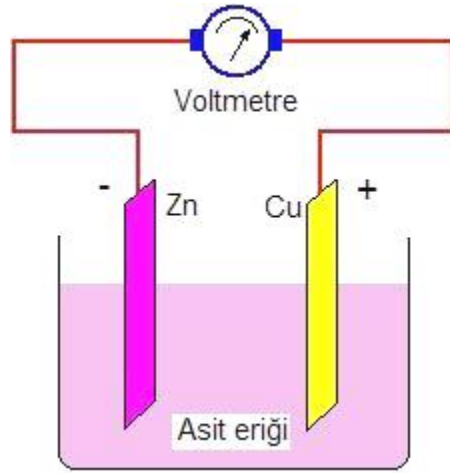
Bir pil kimyasal olarak enerji depolayan hücre veya hücrelerden oluşur. Tek çözelti (elektrolit) ve iki elektrot kullanılarak yapılan pillere **tek eriyikli piller** denir. Bu piller **birincil (primary)** olarak da adlandırılır. Birincil (primary) piller boşaldığında sonradan tekrar doldurulamaz. Bu tip pillere örnek olarak **volta pili** verilebilir.

Piller sadece tek çözelti ve iki elektrottan yapılmaz. İki çözelti ve iki elektrot kullanılarak yapılan piller de vardır. Bu şekildeki pillere **çift eriyikli piller** denir. Çift eriyikli piller **ikincil (sekondary)** olarak da isimlendirilir. İkincil (sekondary) piller boşaldığında dışarıdan enerji verilmek suretiyle tekrar doldurulabilir. Bu işleme **doldurma (recharge)** denir. İkincil (çift eriyikli) pillere örnek olarak daniel, löklanşe, grove ve benzer pilleri verilebilir.

## Tek Eriyikli Pillerin Temel Kimyasal Etkileri ve Yapısı

### Volta Pili

Tek eriyikli pillerden en yaygın olarak bilineni **volta pili** dir. Şekil 3.5.1'de volta pilinin yapısı görülmektedir. Volta pilinde sulandırılmış sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) içine bakır ve çinko çubuklar daldırılmıştır. Burada bakır çubuk pozitif (+) kutbu, çinko çubuk ise negatif kutbu (-) meydana getirir. Bu tip pillerde iki elektrot arasında **1,1 V**'luk potansiyel fark vardır.



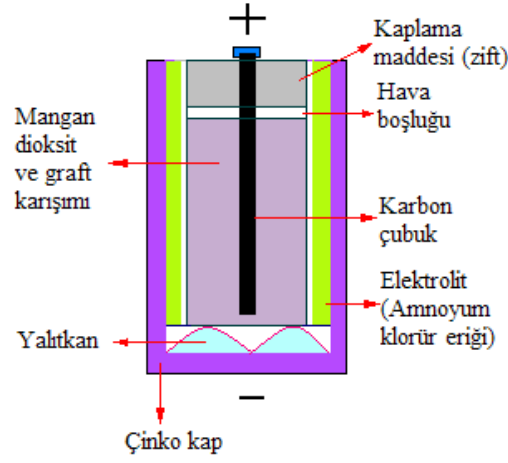
Şekil 3.5.1 Volta Pili

Volta pilinde iki uç birleştirilirse elektronların fazla olduğu çinkodan, elektronların az olduğu bakıra doğru bir elektron akışı olur. Böylece bir elektrik akımı meydana gelir. Bu akım bir lambayı yakabilir veya bir cihazı çalıştırabilir.

Pilin içinde çinkodan bakıra doğru bir akım geçtiğinde çinko zamanla aşınır. Bakır elektrodun dış yüzeyi ise hidrojenle kaplanır. Pildeki bir elektrodun zamanla başka bir madde ile kaplanmasına **polarizasyon** denir. Polarizasyon önce pil geriliminin azalmasına, daha sonra da pilin geriliminin sıfır olmasına sebep olur.

### Kuru Piller

Günlük hayatta en çok kullanılan piller kuru pillerdir. Pilin pozitif kutbu karbon, negatif kutbu ise çinkodan meydana gelir. Pozitif kutbu meydana getiren karbon çubuk, %75'i mangandioksit ile % 25'i grafitten meydana gelen bir karışıma batırılmıştır. Torba içinde olan bu karışımın dışında, amonyum klorür çözeltisinden oluşan bir elektrolit vardır. Elektrolit çinko kap içerisinde bulunur. Karbon çubuğun çinko kaba değmemesi için araya bir yalıtkan madde konmuştur. Pilin üst kısmında ise hava boşluğu vardır. Pilin çalışması sırasında açığa çıkan bir takım gazlar burada toplanır. Şekil 3.5.2'de kuru pilin yapısı görülmektedir.



**Şekil 3.5.2 Kuru Pil**

Kuru pilin (+) ile (-) kutbu iletken bir telle birleştirildiğinde, devreden bir akım geçişi olur. Elektronlar dış devreden çinko kutuptan karbon kutba doğru hareket eder. Pilin içinde ise elektrik yükü, amonyum ve klor iyonları yardımı ile taşınır. Çinko elektrottaki çinko atomları elektrolit ile reaksiyona girerek elektrolit içine iki elektron bırakır.

Böylece, çinko atomları pozitif çinko iyonları şeklinde çözeltilmeye başlar. Amonyum iyonu, pozitif kutba giderek karbon elektrottan iki elektron alır. Bu elektronları alan amonyum iyonu pozitif kutuptan aldığı elektronla amonyak ve hidrojen gazını oluşturur. Çinko iyonları ise çözeltideki klor iyonları ile birleşir. Pilin çalışması sırasında çinko elektrot sürekli olarak aşınmaktadır.

Kuru pillerin kutupları arasındaki gerilim 1,5 Volt'tur. Pil kullanıldıkça mangandioksit azalır, pilin potansiyel farkı düşer ve pil zamanla tükenir. Kuru piller kullanılış amacına göre birden fazla bağlanarak bataryalar oluşturulur.

### Çift Eriyikli Pillerin Temel Kimyasal Etkisi ve Yapısı

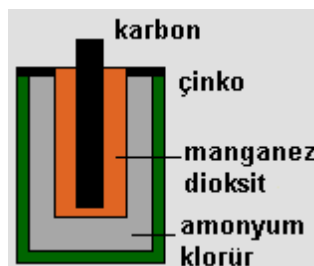
Volta pili bir müddet akım verdikten sonra uçlarındaki gerilim düşmeye başlar. Bunun sebebi yukarıda anlatılan polarizasyon olayıdır. Polarizasyonu önlemek için pozitif kutbun etrafı hidrojenin etkisini ortadan kaldıracak, kolayca oksijen verebilen bir madde ile kaplanır. Bu madde hidrojeni oksitleyerek etkisiz hale getireceği gibi pilinde verimli olarak uzun süre kullanılmasını sağlar. Bu çeşit pillere **çift eriyikli piller** denir.

### Löklanşe Pili

Şekil 3.5.3'te görüldüğü gibi sulu löklanşe pilinde pozitif kutup karbon (C), negatif kutup çinko (Zn), elektrolit ise amonyum klorürden ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) oluşmuştur. Polarizasyonu önlemek için karbon elektrotun etrafı mangandioksit ( $\text{MnO}_2$ ) ve kömür tozları ile kaplanmıştır. Löklanşe pilinin gerilimi 1,5 V'tur. Pil dış devreye akım verdiğinde amonyum klorür ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )'ün klor (Cl) iyonları negatif elektrot olan çinko üzerine gider.

Amonyum ( $\text{NH}_4$ ) iyonları ise pozitif elektroda doğru gider. Polarizasyonu önleyici madde katı halde bulunduğu için iyonlar elektrotları çok daha yavaş olarak kaplar. Böylece polarizasyon önlenmiş olur.

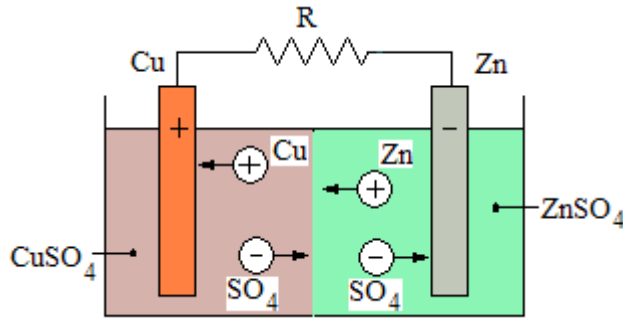
Löklanşe pili aralıklı çalışmalara elverişlidir. Bu piller cep lambaları, telefon telgraf sistemleri, elektronik cihazlarda kullanılır.



**Şekil 3.5.3 Löklanşe Pili**

## Daniel Pili

Aşağıdaki şekilde daniel pilinin yapısı görülmektedir. Daniel pilinde kabın bir tarafına bakır elektrot ve bakır sülfat eriği, diğer tarafına ise daha hafif olan çinko sülfat eriği ve çinko elektrot konularak çift eriyikli pil elde edilmiştir.



Şekil 3.5.4 Daniel Pili

Daniel pili uçlarına bir alıcı bağlandığında, oluşan elektroliz olayı sonucu çinko üzerine  $\text{SO}_4$  iyonları ve bakır üzerine de Cu iyonları gider. Bu olayda iki elektrodun da özellikleri değişmediğinden polarizasyon meydana gelmez. Yalnız bu esnada çinko sülfat eriği yoğunluğunun artmasına karşılık bakır sülfat eriğinin yoğunluğu azalır. Daniel pilinin gerilimi **1,1 V**'tur.

Daniel pillerden uzun süreli akım çekilmesine rağmen kullanımı Löklaşe pili kadar yaygın değildir.

## BATARYA TİPLERİ VE VOLTAJ KAYNAKLARI

### GİRİŞ

Bataryalar doğru akım kaynaklarından biridir ve depolanmış olan kimyasal enerjiyi direk olarak elektrik enerjisine çevirirler. Bataryalar aslında birden çok pilin birbirine bağlanmış halidir. Kullanılmadan önce bir doğru akım kaynağında şarj edilmelidir. Bataryalarda aynı pillerde olduğu gibi birinci ve ikinci tip olarak gruplandırılırlar.

### BATARYALARIN İÇERİĞİ

Bataryalar içerik olarak iki ana gruba ayrılır:

- Kurşun asitli batarya (Lead-acid battery)
- Nikel kadmiyum batarya (Nickel-Cadmium battery)

### Kurşun Asitli Piller (Aküler)

Kurşun asitli bataryalarda içinde seyreltik sülfirik ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) asit bulunan bir kaba iki kurşun elektrot sokulmuştur. Elektrotların dış yüzeylerinde kurşun sülfat ( $\text{PbSO}_4$ ) oluşacağı için batarya dış devreye gerilim vermez. Bu durumda olan batarya bir üreticinin uçlarına bağlanacak olursa elektroliz olayı başlar. Elektroliz olayı esnasında hidrojen iyonları negatif levhaya, sülfat iyonları da pozitif levhaya doğru gider. Şarj sonunda anotta kurşundioksit ( $\text{PbO}_2$ ), katotta ise gözenekli saf kurşun ( $\text{Pb}$ ) oluşur. Böylece iki ayrı cins levha elde edilmiş olur. Kurşun asitli bataryalarda iki elektrot arasındaki gerilim **2,2 V**'tur.

Şarj edilmiş batarya bir alıcıya bağlanacak olursa, akım dış devrede pozitif levhadan negatif levhaya, akünün içinde ise negatiften pozitive doğru akar. (Deşarj olayı). Deşarj süresince sülfat iyonları negatif levhaya giderken, hidrojen iyonları da pozitif levhaya gider. Deşarj olayı sonunda ise her iki levhada başlangıçtaki kurşun sülfat ( $\text{PbSO}_4$ ) haline geleceğinden akü dış devreye akım veremez olur.

Uygulamada kurşun asitli bataryalar en çok motorlu taşıt araçlarında, telekomünikasyon tesislerinde kullanılır. Tekrar şarj edilebilmeleri nedeniyle pillere göre üstünlükleri vardır.

## Nikel-Kadmiyum Piller

Nikel-kadmiyum piller piyasada Ni-Cd veya Ni-Cads sembolleri ile satılmaktadır. Adından da anlaşılacağı gibi nikel ve kadmiyumdan yapılmış pillerdir. Bu piller hafızalı piller olarak da adlandırılır.

Ni-Cd piller boşalınca kadar dış devreye verdiği gerilim değeri hep aynı seviyededir. Bu pillerde nikel pozitif kutbu, kadmiyum ise negatif kutbu meydana getirir. Ni-Cd pillerde kimyasal reaksiyonun olduğu elektrolit su içerisinde çözülmüş potasyum hidroksittir. (KOH). Pilin deşarjı (boşalması) esnasında negatif elektrot olan kadmiyumdan pozitif elektrot olan nikel doğru elektron akışı olur. Elektron hareketinin sonucunda da elektrik akımı meydana gelir. Pilin şarjı sırasında ise bu olayların tersi bir durum söz konusudur.

Tüm pillerin üzerinde mevcut olan pilin akım gücünü gösteren bir rakam mevcuttur. Bu Amper / saat olarak ifade edilir. Bir pilin üzerinde 800 mA /h yazıyorsa bu şu demektir: Bu pil 800 mA akımı ancak bir saat akıtabilir. Eğer bu pilden devamlı olarak 100 mA akım çekiyorsanız o zaman bu pil size 8 saat hizmet edecektir.

Nikel - kadmiyum pillerin şarjında değişik teknikler kullanılır. Bunlar pilin ömrünü uzatmak için yapılan işlemlerdir. Pil yarı boşalmış halde iken şarj edilmez, aksi halde pil hafızasında tuttuğu bu noktadan ileriye doğru şarj olur bu da kapasitesini düşürür. Bu tip piller önce boşaltılır, sonra şarj edilir.

Nikel kadmiyum pillerde meydana gelen kimyasal olay sonucunda elektrotların fiziksel yapısında herhangi bir değişim olmaz. Elektrotlardaki aktif maddeler alkalın elektrolit içinde çözünmezler ve katı halde kalır. Bu nedenle Ni-Cd piller uzun ömürlüdür. Kimyasal reaksiyon sonucunda azalan ya da kaybolan aktif madde yoktur.

Uçaklarda sonoton tip nikel-kadmiyum bataryalar kullanılmaktadır. Bu bataryaların özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1- Yangına karşı dayanıklıdır.
- 2- Asit buharına karşı sızdırmazlık özelliği vardır.
- 3- Yüksek akım verebilir. (Örneğin; APU startında)
- 4- Uzun ömürlüdür, plakaları çabuk bozulmaz.
- 5- Kısa sürede şarj olabilir. (Şarj için batarya şarj ünitesi kullanılır.)

## Alkali Piller

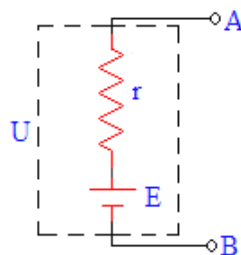
Alkali pillerin anodunda yüksek-düzyer alanlı çinko tozu, katodunda ise yüksek kaliteli mangandioksit ( $MnO_2$ ) bulunmaktadır. Elektrolit potasyum hidroksittir. Alkali pillerde, aktif katot maddesi olarak civa oksit ( $HgO$ ) veya gümüş oksit ( $Ag_2O$ ) gibi maddelerde kullanılabilir.

Alkali pilleri, yüksek oranda enerji tüketen cihazlarda (dijital kameralar gibi) verimli olarak kullanmak mümkün değildir. Düşük oranda enerji tüketen aletlerde radyo, saat gibi çok verimli şekilde kullanılır.

Alkali piller yanlış kullanıldığı veya hasar gördüğü zaman pil içindeki alkali madde sızar ve ellere veya göze temas ettiğinde yanmasına neden olur.

## Pillerin İç Direnci ve Batarya Üzerindeki Etkisi

Üreteç içerisindeki elektrolitin, elektrik yüklerine karşı gösterdiği dirence **iç direnç** denir. İç direnç  $r$  harfi ile gösterilir. Birimi ohm ( $\Omega$ )'dur. Şekil 3.5.6'te pilin iç direnci görülmektedir.



Şekil 3.5.6 Pillerin İç Direnci

İdeal bir pilin iç direnci sıfırdır. Fakat uygulamada iç direnci sıfır olan bir pil yoktur. Uygulamada kullanılan bütün pillerin bir iç direnci vardır. Pilin iç direnci ne kadar düşükse pilin dış devreye verdiği gerilim o kadar fazla olur. Pilin iç direnci, elektrolitin yoğunluğuna, sıcaklığına, elektrot ve elektrolitin direncine bağlı olarak değişir.

İyi bir üreticinin iç direncinin çok küçük olması istenir. İç direnci büyük olan pillerden büyük akım verildiğinde, iç dirençte düşen akım artar ve pilin dış devreye verdiği gerilim azalır. Bu da devredeki alıcı üzerlerindeki gerilimin eksilmesine neden olur. Pillerin iç dirençleri 0,1 ohm ile 200 ohm arasında değişir.

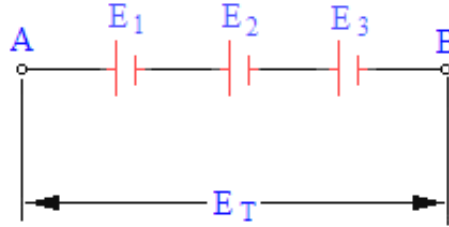
Zamanla kullanılan pilin ısınmasının sebebi pilden çekilen akımın iç direnç üzerinde ısı enerjisi meydana getirmesindedir.

### Pil Bağlantıları

Piller (üreteçler) istenilen akım veya gerilim değerini elde etmek amacıyla seri, paralel veya seri-paralel olarak bağlanabilirler. Pillerin değişik şekillerde bağlanmasıyla oluşturulan üreteçlere **batarya** denir.

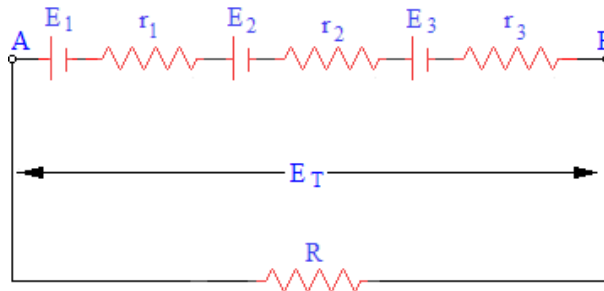
### Seri Bağlantı

Şekil 3.5.7'de görüldüğü gibi bir pilin pozitif (+) kutbunun diğer pilin negatif (-) kutbuna bağlanmasıyla elde edilen devreye **seri bağlantı** denir. Seri bağlantıda toplam gerilim ilk üreticinin pozitif ucu ile son üreticinin negatif ucu arasında ölçülen gerilimdir.



Şekil 3.5.7 Pillerin Seri Bağlanması

Pillerin seri bağlanması ile dış devreye verilen gerilim değeri artar. Gerilimi arttırmak için piller seri olarak bağlanır. Seri bağlantılı bataryaların ömürleri azdır.



Şekil 3.5.8 Pillerin Seri Bağlanmasında İçdirençler

Yukarıdaki şekilde 3 tane pil seri olarak bağlanmıştır. Her bir pilin iç direnci r harfi ile gösterilir. R direnci ise alıcının direncidir. Bu devredeki toplam E gerilimi:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 \quad \text{formülü ile bulunur.}$$

Eğer 3 değil de n tane aynı değerli (eşit gerilimli) piller seri olarak bağlanacak olursa bu durumda toplam gerilim:

$$E = n \cdot E_1 \quad \text{formülünden hesaplanır.}$$

Bataryaların iç dirençleri toplanarak toplam iç direnci hesaplamak da mümkündür. Her bir pilin iç direnci  $r_1, r_2, r_3, r_n$  olacak şekilde gösterildiğinde, toplam iç direnç  $r_T$  ile gösterilirse,

$$r_T = r_1 + r_2 + r_3 \quad \text{formülü ile bulunur.}$$

**Örnek:** Her birinin gerilimi 1,5 Volt ve iç direnci 1  $\Omega$  olan 3 pil seri olarak bağlıdır. Bu pil bataryasının toplam gerilimini ve toplam iç direncini hesaplayınız.

**Çözüm:**  $E_T = E_1 + E_2 + E_3$

$$r_T = r_1 + r_2 + r_3$$

$$E_T = 1,5 + 1,5 + 1,5$$

$$r_T = 1 + 1 + 1$$

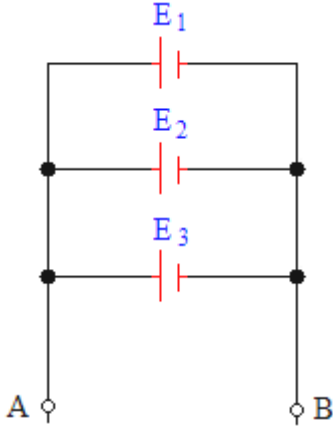
$$E_T = 4,5 \text{ V}$$

$$r_T = 3 \Omega$$

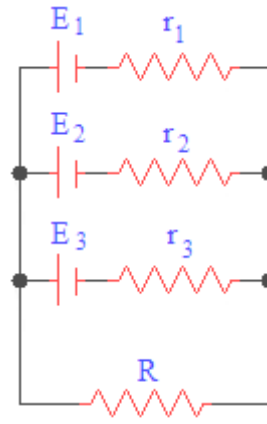
## Paralel Bağlantı

Şekil 3.5.9'da görüldüğü gibi pillerin (+) kutuplarının birbirine, (-) kutuplarının da birbirine bağlanmasıyla elde edilen pil bağlantısına **paralel bağlantı** denir.

Şekilde görüldüğü gibi pillerin pozitif (+) ve negatif (-) uçlarının birbirine bağlanması ile oluşturulan devreye **paralel bağlantı** denir. piller paralel bağlanarak bataryanın akımı arttırılmış olur. Paralel bağlı pillerden oluşturulan bataryaların ömürleri fazladır.



Şekil 3.5.9 Pillerin Paralel Bağlanması



Şekil 3.5.10 Paralel Bağlantıda Pillerin İç Direnci

Gerilim değerleri birbirine eşit piller paralel bağlı ise batarya gerilimi bir pilin gerilimine eşittir.

$$E = E_1 = E_2 = E_3 \text{ olur.}$$

Gerilimleri farklı piller paralel bağlanacak olursa gerilim değeri büyük olan pil diğerinin üzerinden hemen boşalır. Bu nedenle, paralel bağlanacak pillerin gerilimleri farklı olamaz.

Paralel bağlı pillerin oluşturduğu bir bataryanın toplam iç direnci:

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \quad \text{formülünden hesaplanabilir.}$$

Eğer n tane paralel bağlı pilin iç dirençleri birbirine eşitse  $r_T$ :

$$r_T = \frac{r}{n} \quad \text{formülünden hesaplanır.}$$



**Örnek:** 12 Volt gerilim değerine sahip iki pilin iç dirençleri  $2 \Omega$ 'dur. Bu iki pilin paralel bağlanacak olursa bataryanın toplam iç direnci ve gerilimi ne olur?

**Çözüm:**

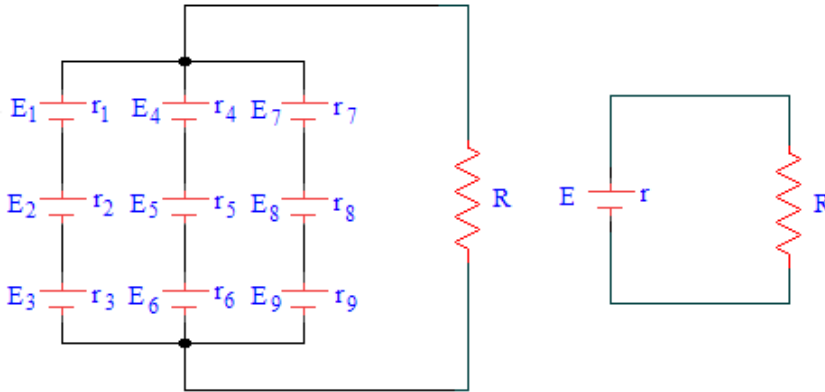
$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \Rightarrow \frac{1}{r_T} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Rightarrow r_T = 1 \Omega$$

Paralel bağlı pillerde gerilimler eşit olduğu için bataryanın toplam gerilimi her bir pilin gerilimine eşittir.

$E = E_1 = E_2 = 12 \text{ V}$  olarak yazılabilir.

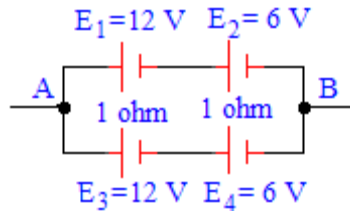
### Seri-Paralel (Karışık) Bağlantı

Şekil 3.5.11'da görüldüğü gibi büyük gerilim ve büyük akım değerlerinin elde edilmesi için yapılan pil bağlantılarına karışık bağlantı denir. Karışık bağlantıda önce seri bağlı pillerin eşdeğer gerilim ve iç direnci hesaplanır. Paralel bağlı pillerin iç dirençlerinin terslerinin toplanması ile toplam iç direnç hesaplanır. Bu işlem sonucunda bulunan paralel kol gerilimi bataryanın toplam devre gerilimidir.



**Şekil 3.5.11 Pillerin Seri-Paralel Bağlantısı ve Eşdeğeri**

**Örnek:**



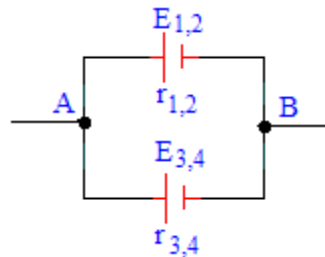
Dört tane pil yandaki şekildeki gibi bağlanmıştır. Pillerin gerilimleri 12 V ve 6 V, her birinin iç direnci ise  $1 \Omega$ 'dur. Bu devrede A-B arasındaki toplam gerilim ve toplam iç direnci hesaplayınız.

**Çözüm:**  $E_{1,2} = 12+6 = 18 \text{ V}$

$E_{3,4} = 12+6 = 18 \text{ V}$

$r_{1,2} = 1+1 = 2 \Omega$

$r_{3,4} = 1 + 1 = 2 \Omega$



Şekildeki devrenin toplam iç direnci:

$$\frac{1}{r_T} = \frac{1}{r_{1,2}} + \frac{1}{r_{2,3}} \Rightarrow \frac{1}{r_T} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Rightarrow r_T = 1 \Omega$$

olarak hesaplanabilir. Paralel bağlı devrelerde gerilimler eşit olacağı için A-B noktaları arasındaki toplam gerilim  $E_{1,2}$  ve  $E_{3,4}$  gerilimlerine eşittir.

$$E_{A-B} = E_{1,2} = E_{3,4} = 18 \text{ V}$$

a) Single cell (symbol)



Single voltage (e.g. 2 V)  
Single capacity (e.g. 100 Ah)

b) 2 cells in series



Double voltage (e.g. 4 V)  
Single capacity (e.g. 100 Ah)

c) 6 cells in series

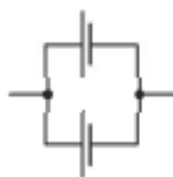


6 times voltage (e.g. 12 V)  
Single capacity (e.g. 100 Ah)

d) Alternative symbol of 6 cells in series

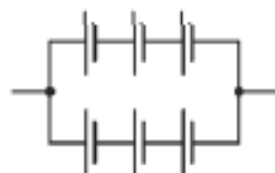


e) 2 cells in parallel



Single voltage (e.g. 2 V)  
Double capacity (e.g. 200 Ah)

f) 2 sets of 3 series-connected cells in parallel



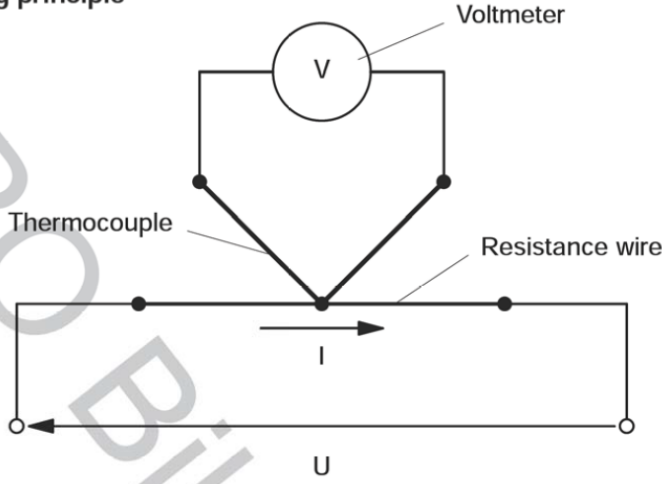
Triple voltage (e.g. 6 V)  
Double capacity (e.g. 200 Ah)

## VOLTAJ KAYNAKLARI

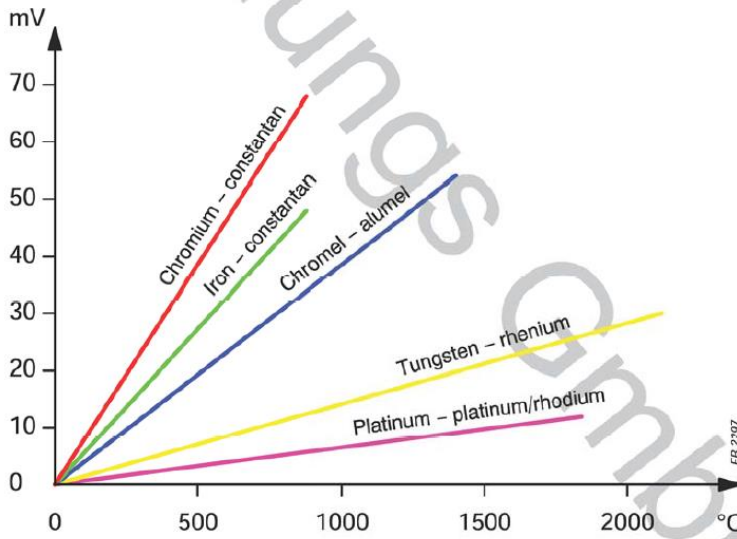
### TERMOKUPUL SENSÖR

Birbirine bağlı iki farklı metalin bağlantı uçlarının birinde oluşan ısı farkı potansiyel fark oluşturur. Şekilde akım rezistans kablodan geçer, Güç dağıtılmış ve rezistans kablunun ısısı yükselmiştir. Termokupul ısısı da yükselecektir. Bu devrenin çıkış voltajı voltmetre ile ölçülebilir.

#### a) Measuring principle



#### b) Thermoelectric EMF



Termokupillerde kullanılan metaller ve kullandıkları sıcaklık değerleri yukarıdaki şekilde verilmiştir. Örneğin demir konstantan termokupilden ortalama 800 derecede ortalama 45 mili volt gerilim alınabilir. Görüldüğü gibi edilen gerilim çok küçüktür ve doğru gerilimdir. Termokupul elemanlar genellikle zor ulaşılabilen yerlerin (örneğin: uçak motorları, fırınlar) ısılarının ölçülmesinde kullanılır.

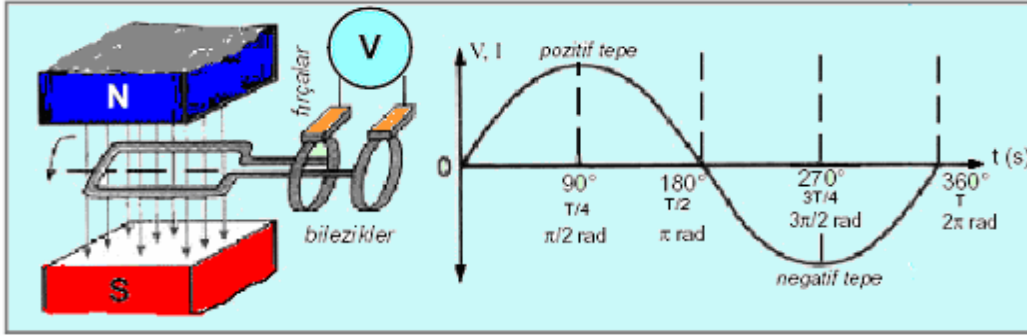
### FOTOVOLTAİK PİLLER

Fotovoltaik piller temelde foto diyotlara benzer fakat onlar gibi harici bir elektrik kaynağına ihtiyaç duymazlar. Işık enerjisi ile voltaj elde eden sistemler genel olarak farklı iki yarı iletkenin birleştirilmesiyle elde edilir. Yarı iletkenlerden birinin üzerine ışık düştüğünde serbest elektronlar bağlı oldukları atomlardan koparak diğer yarı iletken atomlarına geçer. Bu tip piller fotometrelerde ışık dalgalarını ölçmede ve kontrol mühendisliğinde kullanılır.

### 3.13 AC (Alternatif Akım) Teorisi

#### Sinüsoidal Dalga

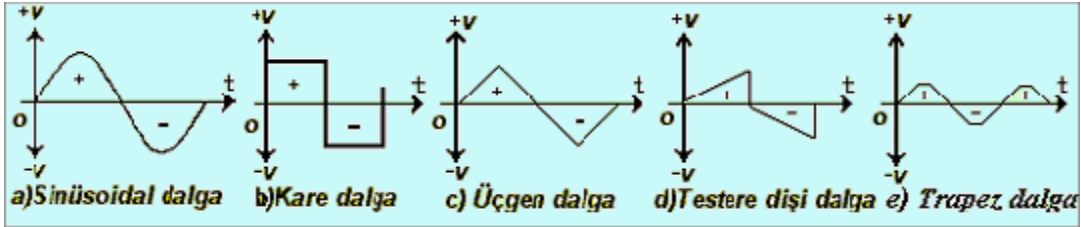
Zamana göre yönü ve şiddeti (değeri) değişen gerilime alternatif gerilim (AC) denir. Aynı şekilde akıma da alternatif akım (AA) denir. Bu gerilim; Şekil 3.13.1 de görüldüğü gibi, elektrik santrallerindeki üç fazlı alternatörlerde (AC Jeneratörlerinde) üretilir, oradan da alıcılara kadar gönderilirler. Ev ve işyerlerinde kullanılan elektrik enerjisi alternatif gerilimlidir. Bu gerilimin voltajını voltmetre ile akım şiddetini de ampermetre ile ölçebiliriz. Evlerde kullandığımız AC gerilimin voltmetre ile ölçtüğümüz faz-nötr arasındaki faz gerilim değeri  $U_F = 220$  voltur. Sanayide kullanılan üç fazlı gerilimin; R-S-T fazları arasında ölçülen gerilim değeri ise,  $U_H = 380$  voltur. Buna fazlar arası gerilim veya hat gerilimi de denir.



Şekil 3.13.1 Bir fazlı alternatör ve üretilen gerilimin sinüsoidal eğrisinin görünüşü

Bu alternatif gerilim ve akımlar, şekil 3.13.2 de görüldüğü gibi sinüsoidal dalga görünümündedirler.

Dalga formlarının şekil 3.13.2 b-c-d-e görüldüğü gibi başka çeşitleri de vardır. Bunlar görünüşlerine uygun olarak; kare dalga, üçgen dalga, testere dişi dalga veya trapez dalga olarak isimlendirilirler.



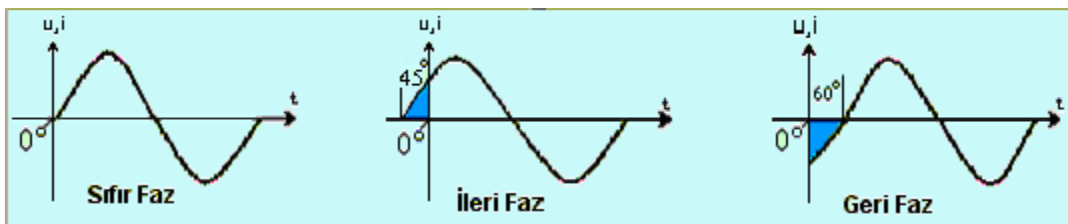
Şekil 3.13.2 Çeşitli dalga şekillerinin osilaskopta görünüşü

Bu dalgalar, sinyal jeneratörü ve osilatör devreleri yardımıyla, düşük gerilimli sinyaller şeklinde üretilirler. Bu sinyaller birçok elektronik cihazların çalıştırılmasında, haberleşme, alanında, endüstriyel elektronik'te vb. sistemlerin kontrolü ve çalıştırılmasında kullanılırlar.

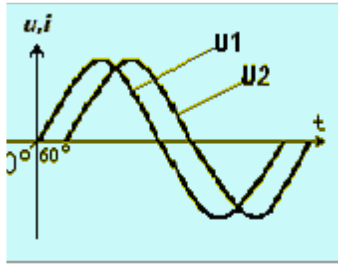
#### Faz, Periyot, Frekans, Saykıl

##### Faz ve Faz Farkı

Faz; sinüsoidal eğrinin veya herhangi bir dalganın başlangıç ( $0^\circ$ ) noktasına göre durumudur. Şekil 3.13.3' de görüldüğü gibi; eğrinin başlangıç noktası  $0^\circ$  ise sıfır faz adını alır. İleriden başlıyorsa ileri faz, geriden başlıyorsa geri faz olarak değerlendirilir. Örneğin  $60^\circ$  ileriden başlayan eğriye  $60^\circ$  ileri faz eğrisi,  $60^\circ$  geriden başlıyorsa  $60^\circ$  geri faz eğrisi denir.



Şekil 3.13.3 Çeşitli faz şekillerinin osilaskopta görünüşleri



**Şekil 3.13.4 60° Faz farklı eğrilerin görünüşleri**

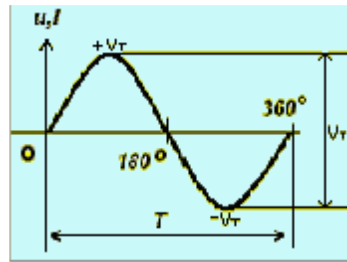
İki eğri aynı anda da değerlendirilebilir. Eğrilerin sıfır veya maksimum noktalarından bakılarak, aralarındaki açı ölçülerek bulunur. Bu açıya faz farkı denir. Bu açıya göre değerlendirilirler. Örneğin; 60° faz farklı eğriler diye söylenir. Şekil 3.13.4' da 60° faz farklı gerilimlerin eğrileri görülmektedir.

### Saykıl

Sinüsoidal bir eğrinin sıfırdan başlayıp pozitif alternans ve negatif alternansı yaptıktan sonra tekrar başlangıç noktasına gelinceye kadar almış olduğu yola denir.

### Periyot

Bir sinüsoidal dalganın oluşması için geçen süre olup, birimi saniyedir. 'T' harfiyle gösterilir. Bir sinüsoidal dalganın, 360° lik bir açıyı tamamlaması için geçen süreye 1 periyot denir. Bakınız, şekil 3.13.5



**Şekil 3.13.5 Bir periyodun osilaskopta görünüşü**

### Frekans

Dalganın bir saniyedeki saykıl sayısıdır. Birimi Hertz olup kısaca Hz harfleriyle gösterilir. Frekansın katları; Kilo hertz (KHz) , Mega hertz ( MHz) ve Giga hertz (GHz) dir. Şebeke geriliminin frekansı; Türkiye ve Avrupa'da 50 Hz, ABD'de 60 Hz'dir.

Frekans ve periyot biri birinin tersidir. Yani  $F = 1/T$  Hz. veya  $T = 1/F$  sn dir.

### Dalga boyu

Bir (1) dalganın, metre cinsinden kapladığı mesafeye dalga boyu denir.  $\lambda$  (lamda) harfiyle gösterilir. Birimi metre'dir. Elektrik akımı saniyede 300.000.000 metre yol almaktadır. Bir saniyede ise F kadar dalga meydana gelir. Buna göre bir dalganın boyu :

$$\lambda = 300000000/F \text{ veya } \Rightarrow 3.108 / F = \dots \text{mt formülüyle bulunur.}$$

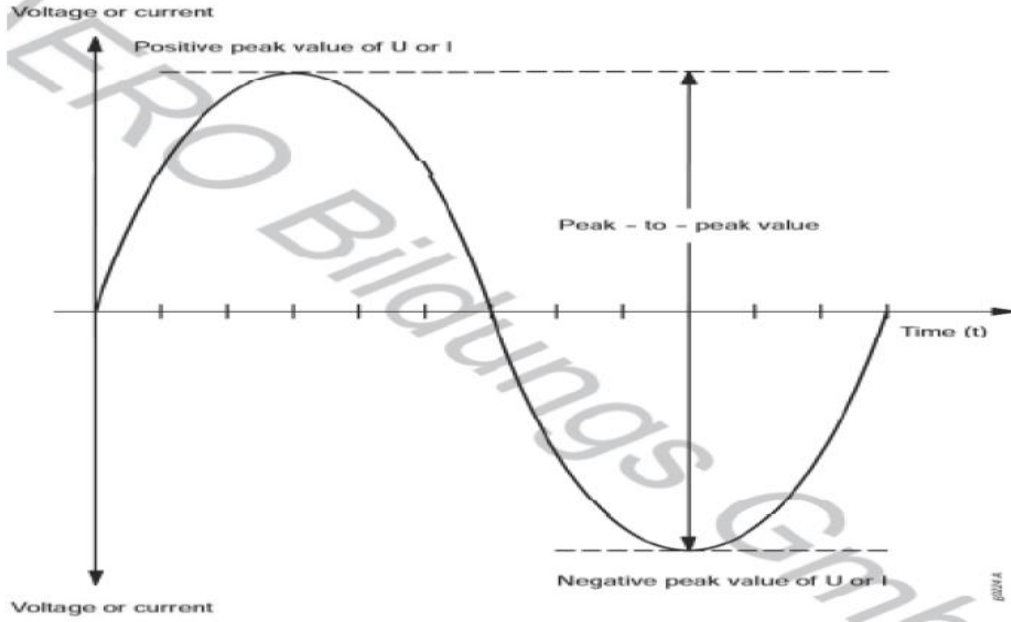
## Alternatif Akım Büyüklükleri

### Tepe değeri-Maximum değer (Peak Value)

Alternatif gerilim veya alternatif akımın dalga formunun sıfırdan başlayıp, maximum değerini aldığı noktadır.  $E_T - E_{max}$  ve  $I_T - I_{max}$  harfleriyle gösterilir. Birimi; gerilim için volt, akım için amper'dir.

### Tepeden tepeye değeri (Peak to Peak Value)

Dalga formunun, pozitif tepe değeri ile negatif tepe değeri arasındaki uzaklık değeri, tepeden tepeye değeri.  $E_{TT} - I_{TT}$  harfleriyle gösterilir. Birim ; gerilim için volt , akım için amper'dir. Bakınız şekil 3.13.5



### Ani değer

Gerilimin veya akımın herhangi bir andaki değeridir. E-i harfleriyle ile gösterilir. Gerilim veya akımda sonsuz sayıda ani değerler bulunur. Birimi volt ve amperdir. Ani gerilim ve ani akım değerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$e = E_{max} \cdot \sin \alpha = \text{Volt} \quad \text{Ve} \quad i = I_{max} \cdot \sin \alpha = \text{amper}.$$

$\alpha$  Açısının değeri; gerilim veya akım eğrisinin, başlangıç noktasına göre aldığı açı değeridir.

### • Örnek problem

Frekansı 50 Hz olan bir şebekenin maximum gerilim değeri 200 v ise,  $\alpha=30^\circ$  iken gerilimin ani değerini hesaplayınız.  $\sin 30^\circ = 0,5$

### • Çözüm

$$e = E_{max} \cdot \sin \alpha = 200 \cdot \sin 30^\circ = 200 \cdot 0,5 = 100 \text{ volt bulunur.}$$

### Ortalama Değer

Bir alternansta  $0^\circ$  den  $180^\circ$ ye kadar geçen süre içerisinde çok sayıda ani değerler alınır. Bu değerlerin toplamının aritmetik ortalaması, ortalama değeri verir. Birimi; volt ve amper'dir. Şu formüllerle bulunur:

$$E_{or} = E_{max} \cdot 0,636 \quad \text{ve} \quad I_{or} = I_{max} \cdot 0,636$$

## Etkin Değer (RMS Value-Root Mean Square)

Ani değerlerin karelerinin, aritmetik ortalamasının kareköküne eşittir. Bu değerlere, efektif veya efikans değerler de denir. Etkin değer;  $U_{et}$ ,  $E_{et}$ ,  $I_{et}$  harfleriyle veya kısaca;  $U$ ,  $E$ ,  $I$  harfleriyle gösterilir. Aşağıdaki formüllerle bulunur.

$$(E) E_{et} = E_{max} \cdot 0,707 \text{ volt} \quad (I) I_{et} = I_{max} \cdot 0,707 \text{ amper}$$

### • Örnek problem

Maximum değeri 100 volt olan alternatif gerilimin ortalama ve etkin değerlerini bulunuz .

$$E_{or} = E_{max} \cdot 0,636 = 100 \cdot 0,636 = 63,6 \text{ V} \quad E_{et} = E_{max} \cdot 0,707 = 100 \cdot 0,707 = 70,7 \text{ V}$$

### • Örnek problem

Etkin değeri 21 A olan A.A.nın ortalama ve maximum değerlerini bulunuz.

$$I_{max} = \frac{I_{et}}{0,707} = \frac{21}{0,707} = 29,7 \text{ A} \Rightarrow I_m = 29,7 \text{ A}$$
$$I_{or} = I_{max} \cdot 0,636 = 29,7 \cdot 0,636 = 18,9 \text{ A} \text{ bulunur.}$$

Gerilim ve akımın etkin değerleri; analog veya dijital voltmetre ve ampermetre ile ölçülür. Ayrıca gerilim ve akımın; etkin, ani, tepe ve tepeden tepeye değerlerini osilaskopla da ölçmek mümkündür. Osilaskobun ekranındaki; periyodun, dikeyde kapladığı kare sayıları ölçülüp, formülde yerlerine konularak gerekli hesaplamalar yapılır. Bunlarla ilgili örnek problemler aşağıdadır.

### • Örnek problem

V/div komütatörü 10 volt kademesindeyken, X10 probuyla yapılan ölçümde, osilaskop ekranında, bir alternansın yüksekliği 3,1 kare olduğu ölçülmüştür. Buna göre ölçülen gerilimin;  $E_{max}$ ,  $E_{or}$ ,  $E_{et}$  değerlerini bulunuz.

### • Çözüm

$$E_{max} = \text{Kare sayısı} \times \text{prop çarpanı} \times \text{V/div kademesi}$$

$$E_{max} = 3,1 \cdot 10 \cdot 10 = 310 \text{ volt}$$

$$E_{or} = E_{max} \cdot 0,636 = 310 \cdot 0,636 = 197,2 \text{ volt olur.}$$

$$(E) E_{et} = E_{max} \cdot 0,707 = 310 \cdot 0,707 = 220 \text{ volt olarak bulunur.}$$

## Alternatif Akım Devrelerinde Güç

A.C. elektrik devrelerinde üç çeşit güç vardır. Bunlar; zahiri, aktif ve reaktif güçlerdir. Bir alıcının gücü; watmetre ile direkt ölçülebildiği gibi, ampermetre-voltmetre-cosfimetre ile de endirekt olarak da ölçülebilir. Endirekt ölçümde; ölçü aletlerinin gösterdikleri gerilim ve akımın etkin değerleri ve cosfimetrenin değerleri, ilgili formüllerde yerlerine konularak güç hesaplamaları yapılır. Tüm elektrik devrelerinin güç ölçümlerinde benzer formüller kullanılır. İleride incelenecek olan; seri, paralel ve karışık devre konularında güç hesaplamaları yapılmak istenirse, yine aynı formüller kullanılır.

## Zahiri güç(görünen güç)

Devre gerilimiyle, devre akımının çarpımına eşittir. Birimi volt-amper olup, kısaca **VA** ile gösterilir. Şu formülle bulunur.  $S = U \cdot I = VA$

**Aktif güç:** Devre gerilimi ve akımı ile bunlar arasındaki açının kosinüsünün (güç katsayısı) çarpımlarına eşittir. Birimi watt olup, kısaca **W** harfiyle gösterilir. Aktif güç şu formülle bulunur.  $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = W$

**Reaktif güç (kör güç)** Devre gerilimi ve akımının etkin değerleri ile, bunlar arasındaki açının sinüsünün çarpımlarına eşittir. Birimi volt-amper-reaktif olup kısaca **VAR** ile gösterilir. Reaktif güç şu formülle bulunur  $Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi = VAR$

### • Örnek problem

Etkin değeri 100 volt olan bir AC elektrik şebekesinde çalışan alıcı, devreden 10 A. akım çekmektedir. Güç katsayısı 0,8 olan bu alıcının zahiri, aktif ve reaktif güçlerini bulunuz.

### • Çözüm

$$U = 100V, I = 10A, \cos\varphi = 0,8 \text{ --- } \sin\varphi = 0,6 \text{ Pz} = ? - \text{PA} = ? - \text{PR} = ?$$

$$S = U \cdot I = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ VA.}$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 100 \cdot 10 \cdot 0,8 = 800 \text{ W}$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi = 100 \cdot 10 \cdot 0,6 = 600 \text{ VAR}$$

### • Örnek problem

220 volt 50 Hz'lik elektrik şebekesinde çalışan bir elektrikli ısıtıcı, şebekeden 5 amper akım çekmektedir. Bu ısıtıcının güçlerini bulunuz.

### • Çözüm

Elektrikli ısıtıcılar omik alıcılar olduğu için; akımla gerilimin arasındaki açı  $0^\circ$  dir.

$\cos 0^\circ = 1$  ve  $\sin 0^\circ = 0$  olduğundan, hesaplamalar şu şekilde yapılır.

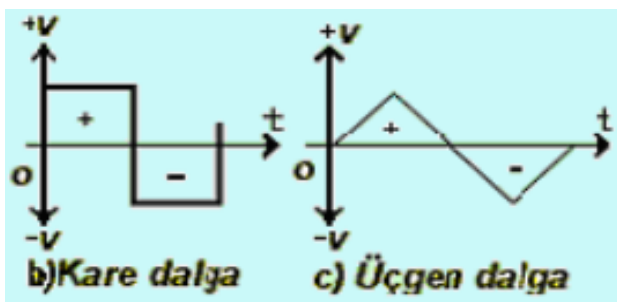
$$S = U \cdot I = 220 \cdot 5 = 1100 \text{ VA} \quad P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 220 \cdot 5 \cdot 1 = 1100 \text{ W}$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi = 220 \cdot 5 \cdot 0 = 0 \text{ VAR.}$$

**Not:** Omik alıcılarda reaktif güç bulunmaz.

## Üçgen ve Kare Dalga Sinyalleri

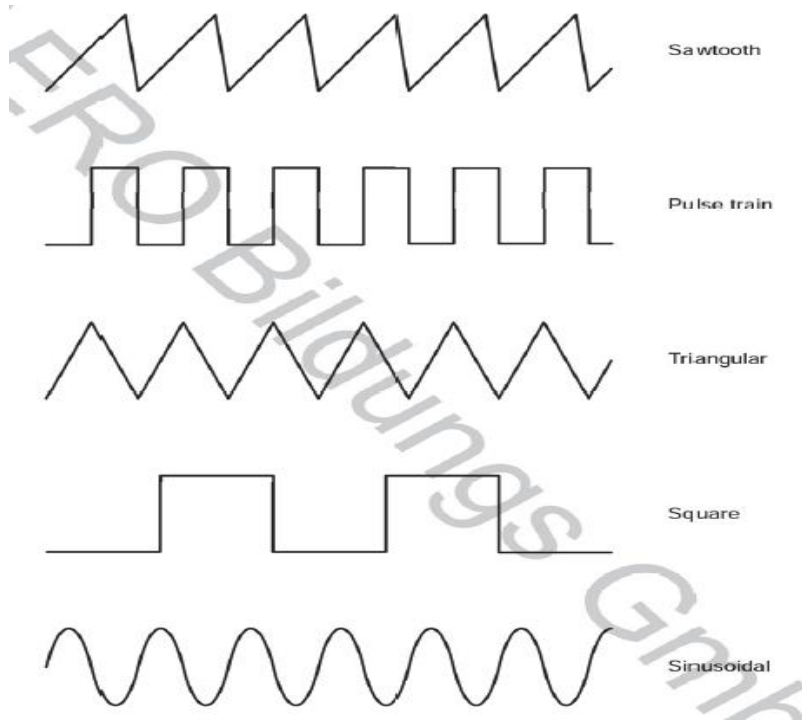
Günlük hayatta kullanılan elektronik ürünlerinden birçoğunun, örneğin; bilgisayarlar, hesap makineleri, dijital ölçü aletleri, sayıcılar, zamanlayıcılar, osilaskoplar, televizyonlar, telsizler, radarlar, motor sürücü devreleri vb. çalışması için değişik formdaki sinyallere ihtiyaç vardır. Bu sinyaller çoğunlukla üçgen ve kare dalga şeklindedirler ve elektronik devrelerin çalışmasını sağlarlar. Sinyallerin elde edildiği elektronik düzeneklere osilatör veya sinyal jeneratörü denilir. Bu sinyallerin frekanslarını; frekansmetreler veya osilaskopla ölçebiliriz .





## DALGA FORMLARI (WAVEFORMS)

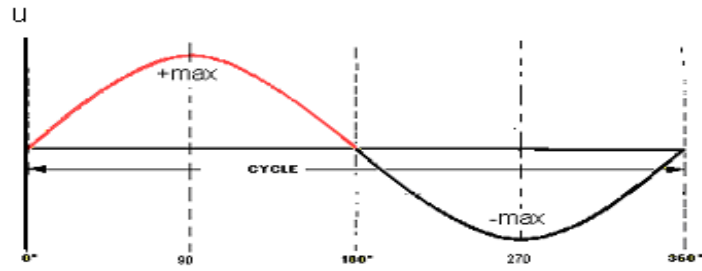
Düzgün bir sinüsodyal dalga formu akımı, doğrusal olan direnç, kondansatör. veya bobin içinden geçerse bunlar üzerindeki voltaj da sinüsodyal olur. Aşağıdaki şekilde yaygın kullanılan dalga formları gösterilmiştir.



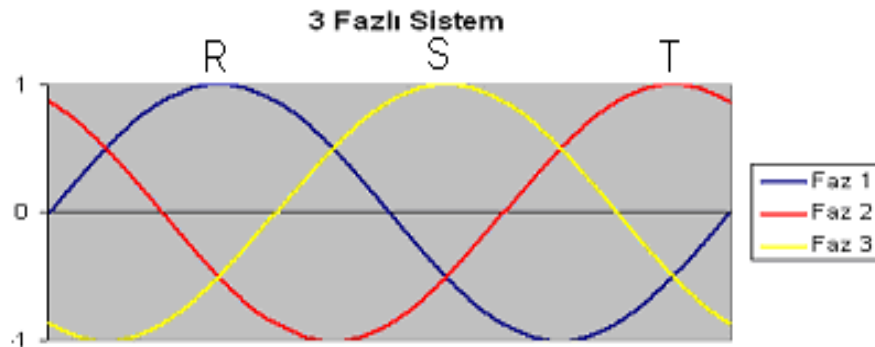
Dalga formları değişik elektronik uygulamalarda kullanılır ve bir sinyal jeneratörü tarafından (pulse generator) üretilir.

## Tek Faz ve Üç Faz Prensipleri

Tek fazlı devrelerde yalnızca faz ve nötr uçları vardır. Üç fazlı devrelerde ise R-S-T fazları bulunur ve fazlar arasında  $120^\circ$  açı farkı vardır. Şekil 3.13.6' da Tek fazlı sinüsoidal gerilim, Şekil 3.13.7' de ise Üç fazlı sinüsoidal gerilim görülmektedir. Tek farkı fazları oluşturan bobinlerin  $120^\circ$ 'lik açı farkları ile yerleştirilmesidir.



Şekil 3.13.6 Bir (Tek) Fazlı sinüsoidal gerilim



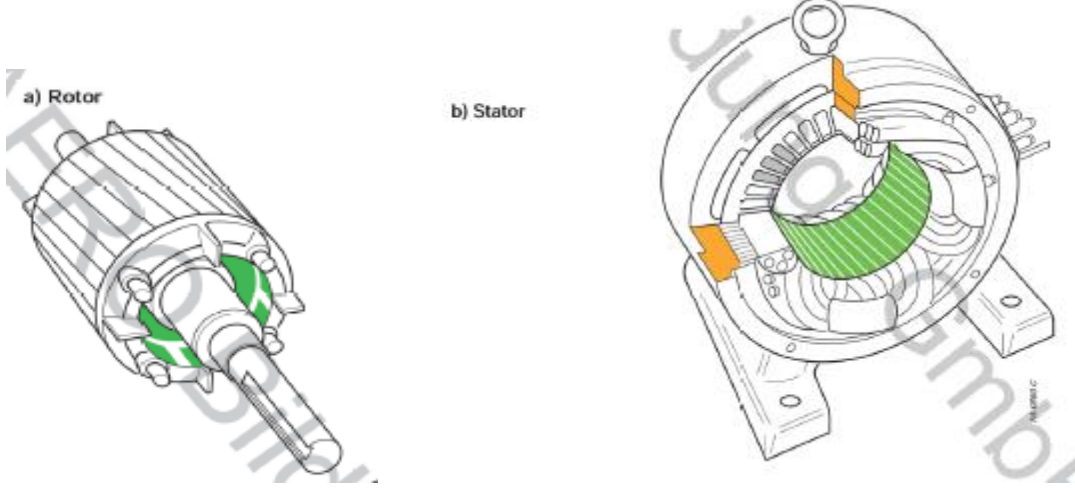
Şekil 3.13.7 Üç Fazlı sinüsoidal gerilim

Döner bir manyetik alan içerisinde kalan bir bobinde  $e=E_{max}.\sin\alpha$  formülüne göre gerilim oluşuyordu. Bu formülle hesapladığımız gerilim değeri ani değerdir. Günlük hayatımızda gerek bir fazlı gerekse üç fazlı devrelerde kullandığımız gerilim değeri ise etkin değerdir. Etkin değer  $E=E_{max}.0,707$  formülüyle hesaplanır. Ülkemizde abonelere ulaşan üç fazlı gerilim 380 voltuttur. Yani R-S-T fazları arası gerilim 380 voltuttur. Faz nötr arası gerilim ise 220 voltuttur.

## AC JENERATÖRLER (ALTERNATÖR)

AC jeneratör başlıca iki ana parçadan oluşur.

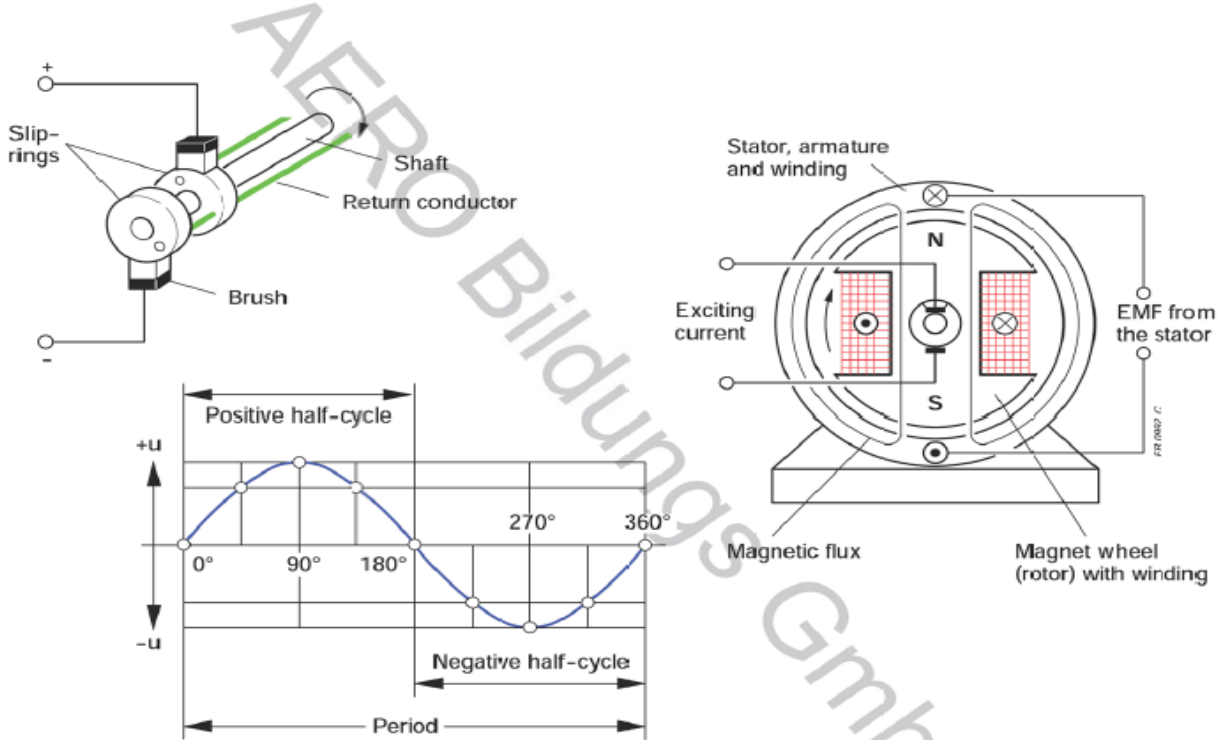
- Rotor mekanik enerji tarafından döndürülür.
- Stator Jeneratörün duran kısmıdır.



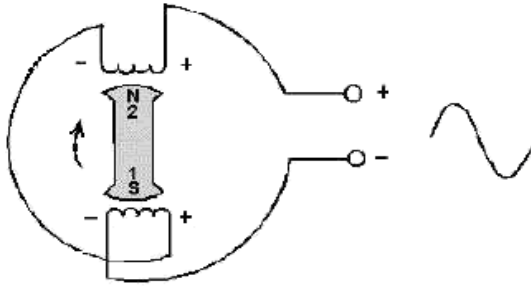
Manyetik alan oluşturmak için elektromıknatis kullanılır. Elektromıknatis manyetik alan hatlarını bobinden geçen akım yoluyla kontrol edebildiğinden dolayı indüklenen EMF oranı da kontrol edilebilir.

AC jeneratörlerde manyetik alan döndürülür. Bu sayede EMF stator da indüklenir. Statorda indüklenen voltajı dış devreye almak için döner halka ve fırçalar kullanılmaz. Direk terminallerle voltaj alınır.

Aşağıda şekilde indüklenen voltaj stator uçlarına bağlı dönen halka ve fırçalar yardımıyla dış devreye alınır. Bu yöntem küçük çaplı ve özel amaçlı jeneratörlerde kullanılır.



Gerek bir fazlı, gerek iki fazlı gerekse üç fazlı alternatörlerin çalışma prensipleri aynıdır. Tek farkı sarım şekilleridir.

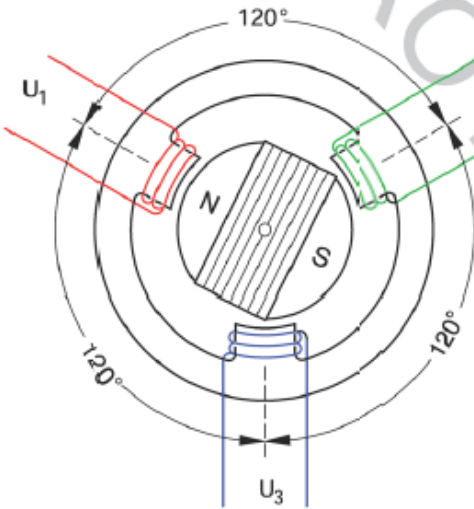


Şekil 3.13.8 Bir Fazlı Jeneratör

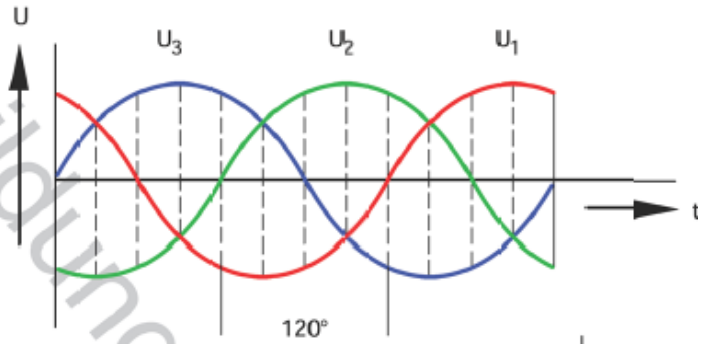
Şekil 3.13.8 de sabit mıknatıslı bir fazlı jeneratörün şekli görülmektedir. Endüviden alınan gerilim sinüsoidal alternatif gerilimdir. Bir fazlı jeneratörler daha çok düşük frekanslı şebekelerde kullanılır. Örneğin demir yolu tren şebekelerinde rastlanmaktadır.

Jeneratörler genellikle 3 fazlı olarak yapılırlar. Birbirine  $120^\circ$  açıyla statora yerleştirilen üç ayrı bobinden oluşur. Aşağıdaki şekil A da üç fazlı jeneratörün yerleşimi görülmektedir. Manyetik alanın N-S kutupları bobinler üzerinden geçince  $120^\circ$  farklı üç ayrı voltaj oluşur.

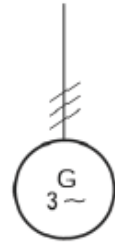
a) Three-phase generator (diagram of principle)



b) Time pattern of voltages of a three-phase system



Symbol of a three-phase generator in wiring diagrams



FB 0092 B