

# Elektrostatik

Yazan :  
F. O. EICHEL

Çeviren :  
Oğuz ESMER  
Elek. Y. Müh.  
Unilever

(Başarafi geçen sayıda)

## ELEKTROSTATİK HESAPLARIN KULLANILMA ÖRNEKLERİ :

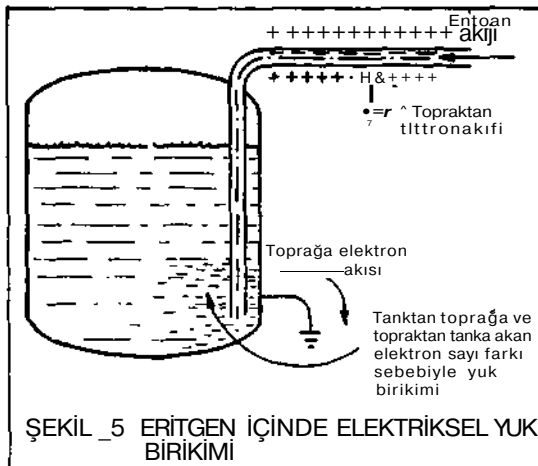
Aşağıdaki pratik örnekler elektrostatik miktarların tahmininde başlıca denklemlerin kullanılabilirdiği yollar hakkında bir fikir verecektir.

### 1. AKIŞ AKIMI :

Şekil : 5 te gösterildiği gibi bir boru, bir tank veya reaktöre eritgen (solvent) boşaltmaktadır. Aşağıdaki doneleri kullanarak akan akımı bulunuz

Eritgen benzen olup 380 lt/dak. hızla  $d = 5$  cm çaplı,  $A = 19,7 \text{ cm}^2$  kesitli bir çelik borudan akmaktadır. Benzen için  $\epsilon$  takriben 2,5 tur;  $u_s = 0,6 \text{ cp}$  ve  $\rho = 0,875 \text{ g/cm}^3$  olup zeta potansiyeli  $\xi$  maksimum 0,1 volt ve  $y$  ise  $7,6 \cdot 10^{-5} \text{ mho/cm}$  civarındadır.

Çözüm, kullanılan hesap metoduna bir dereceye kadar bağlıdır, önce  $v$  akış hızına tabi olan (51) denklemini kullanalım :



$$I_a = 1,39 \cdot 10^{-13} f N_{rc} v \epsilon \xi \quad (51)$$

(380 lt/dak)	(1000 cm.3)	(1 dak)
$v =$		
(19,7 cm <sup>2</sup> )	(İt)	(60 san)

$$v = 320 \text{ cm/san}$$

(48) denklemiyle :

$$N_{rc} = 100 (dv_p/M) \cdot = (100) (5) (320) (0,875) / (0,6)$$

$$N_{rc} = 230.000$$

$f$  sürtünme katsayısı  $f$  nln bir fonksiyonu olarak çizilmiş  $N_{rc}$  eğrisinden bulunabilir

$$f = 0,04 / (N_{rc})^{0,1} = (0,04) / (230.000)^{0,1} = 0,00555$$

Sonra, (51) denklemiyle :

$$I_s = (1,39 \cdot 10^{-13}) (0,00555) (230.000) (320) (2,5) (0,1)$$

$$I_s = 1,42 \cdot 10^{-6} \text{ amper}$$

Sürüklenen suyun küçük miktarlarının, akan akımın 2 ilâ 50 defa büyümesine sebep olabileceğine dikkat edilmelidir. «Nemli» bir eritgen kuru bir eritgendenden defalarca daha fena sonuçlar doğurabilir, (örnek 9daki çökeltme potansiyeline bakınız).

Denklem (52) yi kullanarak biraz farklı sonuç varıyoruz :

$$I_s = 8,7 \cdot 10^{-10} (A_{cp} / J (Ap/L)) \quad (52)$$

Bu, akış hızını değil, basınç düşümünü ihtiva eder. Basınç düşümü  $Ap$  doğrudan doğruya akış doneleri ve tablolardan, nomograflar veya eğrilerden alınabilir; yada Reynold Sayısı ile sürtünme katsayısı  $f$  den hesaplanabilir. Yukarıda verilen donelerden  $Ap$  temz bir çelik boru için  $4,9 \text{ g/cm}^3$  olarak kabul edilirse; (52) denkleminde :

$$I_s = 8,7 \cdot 10^{-10} (19,7 \cdot 2,5 \cdot 0,1 / 0,6) (4,9 / 3)$$

$$I_s = 1,16 \cdot 10^{-6} \text{ s amper}$$

Bu, yukarıda bulunan  $1,42 \cdot 10^{-6}$  amp. değerine çok yakındır. Mamafih, diğer akış şartlarında  $I_s$  in  $1 \cdot 10^{-6}$  amp. mertebesinde olabilmesi kolaylıkla mümkündür.

Bir diğer metod da çift tabaka kalınlığının tesbitine ihtiyaç gösteren türbülanslı akış denkleminin (54) kullanılmasıdır. Bu faktör:

8 i  $\sqrt{D_m}$  olarak\* bulunmuştu «denkle (55) ». Tablonun 10 uncu maddesi moleküler dağılıma katsayısı  $D_m$  için 1,1 ilâ 2.10-s cm<sup>2</sup>/san arasında değer vermektedir. Bizim problemde  $D_m = 1,9$  cm<sup>2</sup>/san kabul edelim. Sistem için dinlenme zamanı  $t_d = \rho/y$ , örnek 5 te daha sonra göreceğimiz gibi, 2,910-a<sub>s</sub>an. dlr. (Mamafih benzen çok saf ise y, 1.10-is mho/cm ye kadar düşebilir ki bu<sup>1</sup> durumda t<sub>d</sub>, 60 saatin üstünde olacaktır).

Denkle (55) 1 kullanarak tabaka çifti :

$$8 = \sqrt{D_m t_{tr}} = \sqrt{(1.86.10^{-7}) (2,9.10^{-8})} \text{ cm}$$

$$8 = 7,35.10^{-8} \text{ cm}$$

dir. Şimdi:

$$I_s = 1,92.10^{-8} \frac{d_c \epsilon v_{ort}}{\delta} \quad (04)$$

$$I_s = 1,92.10^{-8} \frac{(5) (2,5(0,1) (320))}{(7,35.10^{-8})} =$$

1,04.10<sup>-1</sup> amp.

Bunun, sıvının y değerine bağlı olmak üzere, (51) veya (52) denklemleri kullanıldığı zaman on katı kadar büyük olabileceğine dikkat edilmelidir. Meselâ benzen için alındığı gibi, eğer y 7,6.10<sup>-8</sup> mho/cm yerine bazı benzinlerde olduğu gibi y = 1.10<sup>-i</sup> ise :

$$t_d = 8,85.10^{-1} \frac{2,5}{1.10^{-14}} = 22 \text{ san.} \quad (36)$$

Bu sebepten :

$$8 = \sqrt{(1,9.10^{-7}) (22)} = 2,04.10^{-2} \text{ cm} \quad (55)$$

ve  $I_s$  yalnız 3,8.10-n amp. olur.

Bu durumdaki akış akımı, çok daha küçüktür. Mamafih, küçük iletkenliği haiz hidrokarbonlarda tehlikenin daha az olduğu hususuna gelmeden önce gerilime bakalım.

## 2. AKIŞ GERİLİMİ :

Eğer tank muhteviyatının merkezinden toprağa olan kaçak direnci 10<sup>10</sup> ohm ise, denkle (51) den hesaplanan akış akımı için sistemin hesaplanan stabil gerilimi nedir?

Denkle (37) ye göre  $V = IR$  olduğundan  $V = (1,42.10^{-8} \text{ amp}) \cdot (10^{10} \text{ ohm}) = 142 \text{ volt}$  bulunur ki bu, tablonun 4 üncü kısmında verilen minimum ark potansiyeli 350 voltun epeyce altındadır. Mamafih buna önem vermemek doğru değildir. Dikkat edilmelidir eğer direnç  $10^{11}$  ohm yerine 10<sup>11</sup> ohm olursa gerilim 1380 volt olacaktır.

Büyük dirençli benzin durumunu ralaajak ve tank muhteviyatının yük dağılımının •\* iletkenlik

tarafından sınırlandırıldığı kabul ederek direnç yaklaşık olarak :

$$R = \frac{\text{yol uzunluğu}}{\text{iletkenlik, kesit}} =$$

(ohm. cm) (L. cm)

$$(1.10^{-1}) (Acm^2)$$

$$R = 1.10^{-1} (L/A) \text{ ohm olur.}$$

L ve A nın değeri ne olursa olsun, direncin  $10^{11}$  ohm mertebesinde olacağı açıktır. Bu sebeple  $V = I.R = (3,8.10^{-8}) (1.10^{11}) = 4000 \text{ volta}$  yakın bir stabil potansiyel elde edilir.

## 3. ALAN ŞİDDETİ VE GERİLİM :

3 m çapında ve 3 metre yüksekliğindeki bir tank örnek 1 de verilen şartlar altında benzenle doldurulmuştur. Tanktan hiçbir akım kaçağı bulunmadığı kabul edilerek maksimum alan şiddeti ve gerilim ne olacaktır?

3x3 m lik bir tank yaklaşık olarak 22.000 İt benzen ihtiva eder. 380 lt/dak. lık bir akışla dolması için 60 dakikaya ihtiyaç vardır. Akış akımı  $I_s = 1,42.10^{-8}$  amper olarak hesaplanmış olduğuna göre tanktaki toplam yük :

$$Q = 1,42.10^{-8} \text{ amp. } 60 \text{ dak.}$$

$$60 \text{ san} \quad 1 \text{ coul}$$

$$v \quad / \quad \bullet \quad v. \quad /$$

$$\text{dak} \quad \text{amp. san}$$

$$Q = 5,12.10^{-5} \text{ coulomb}$$

olacaktır. Şu halde :

$$s = \frac{5,12.10^{-5}}{22.108} = 2,33.10^{-12} \text{ coulomb/cm}^3$$

Çapı yüksekliğine eşit (veya yaklaşık olarak eşit) olan bir tank hesaplarımızda küresel olarak kabul edilebilir ki bu durumda, denkle (24) ten :

$$E_{max} = 3,76.101 = (sr/\epsilon) \text{ volt/cm}$$

$$E_{m.x} = (3,76.1012) (2,33.10^{-12}) (150)/(2,5) = 530 \text{ volt/cm}$$

Tablonun üçüncü bölümünde havada bir arka sebebiyet verecek alan şiddetinin 30.000 volt/cm olması gerektiği gösterilmektedir ki bu değer 530 volt/cm nin çok üstündedir.

Mamafih alan üniform olmayabilir ve — bolarlar, çalkalayıcılar, ısıtma kaynakları, vb. gibi— diğer malzemelerin mevcudiyetiyle distorsiyona uğramış olabilir. Sıvı yüzeyine yakın bir cisim veya hatalı bir topraklama, sisteme bir toplayıcı ve ark aralığı ithal etmiş olur. Öenkle (26) dan, maksimum gerilim :

$$V_{max} = 1,88.10^4 = (srV_1) = (1.8.10^{12}) \\ (2,33.10^{-1}) (150)V(2,5)$$

$$V_{m_{max}} = 39.600 \text{ volt}$$

olacaktır.

Bu, 1,25 cm İlk bir ark aralığında atlama için yeterlidir. Alan deneylerinde 2-3 mm lık bir aralığa uygulanmış 30 - 35.000 voltluk gerilimlerin tanklardaki benzin - hava karışımlarında devamlı olarak infüâklere sebep olduğu görülmüştür. Bu sırada alan şiddeti sadece 330 - 370 V/cm olarak ölçülmüştür.

Tablonun dördüncü bölümünde işaret edilen 350 voltluk ark atlama potansiyeli, hesaplanan 39.600 voltluk  $V_{mat}$  in ancak % İldir.

Bu örnek, teçhizatın güvenilir fiy bir topraklama sistemine olan ihtiyacını göstermektedir.

#### 4. BİR TANKIN KAPASİTESİ :

örnek 3 teki tankın izole edilmiş bir küresel kondansatör olduğu farzedilirse bunun kapasitesi nedir?

Denkleş (32) den ve havadaki bir küre için  $\epsilon = 1$  alarak,  $r = 150$  cm olduğu da düşünülürse :

$$C = 1,11 \epsilon r = 1,11 (1) (150) = 167 \text{ } ^\wedge \text{ F} \quad (32)$$

bulunur.

#### 5. DİNLENME VE YARI DEĞER ZAMANI:

Yük iletimi benzen boyunca iletkenlik ile sınırlandırıldığına göre, yukarıdaki sistem için dinlenme zamanı nedir?

Tablonun 7 nci ve 9 uncu bölümlerinden, benzen için  $y = 7.6.10^{-8}$  mho/cm ve benzen için  $\epsilon = 2,5$  tur. Denklem (36) dan :

$$t_d = 8,85.10^{-1} \cdot (\epsilon/y) \text{ san.}$$

$$t_d = (8,85.10^{-1})(2,5/7,6.10^{-8}) = 2,91.10^{-8} \text{ san.}$$

(Saf benzen 1.10<sup>-10</sup> mho/cm lik düşük bir iletkenliğe sahip olabilir ki bu durumda :

$t_d = 221.000$  san. veya 60 saatten fazla olur).

Yarı - değer zamanı  $t_{j/2}$  , denklem (39) a göre 0,693  $t_d$  dir, böylece  $t_{j/2} = 0,693.2,91.10^{-8}$  san.  $\approx 2.10^{-8}$  san. bulunur. (Fakat saf benzen için  $t_{j/2} = 2.42$  saat).

Dinlenme ve yarı - değer zamanları antistatlık bir madde ilâvesiyle emniyetli seviyelere düşürülebilir (3). Uygun bir ilâve maddem, milyonda birkaç oranında kullanılması tank muhteviyatının iletkenliğini 10<sup>-11</sup> mho/cm ye kadar artırabilir, Mamafih, antistatik ilâve madde kullanırken her sistem, ilâve maddenin imalât kalı-

tesine tesir etmemesinden emin olunabilmesi için dikkatle kontrol edilmelidir.

Böyle maddelerin muntazaman kullanıldığı bizim tesislerimizde (4) ilâve maddenin kullanılamıyacağı herhangi bir durumla karşılaşmadık.

Sistemdeki esas maddenin ilâve maddeye nötrleştirme etkisi yapmadığından da keza emin olunmalıdır. Etkili bir dozajın kullanıldığından emin olmak için tecrübe şarttır.

#### 6. YÜKLÜ KONDANSATÖRLERİN KIVILCIM ENERJİSİ :

örnek 3 ve 4 te hesaplanan değerleri kullanarak bir kıvılcım tarafından açığa çıkarılacak maksimum enerjiyi bulunuz?

Burada tankın tamamının kapasitesi  $C = 170$   $\mu\text{F}$  ve  $V_m = 38.200$  voltur. Denklem (43) ten :

$$J = 5.10^{-10} CV^2 = (5.10^{-10})(170)(38.200)^2$$

$$J = 124 \text{ milijoule}$$

bulunur.

Hidrokarbon - hava karışımlarını tutuşturmak için yalnız 0,1 ilâ 0,2 milijoule yeterlidir (Tablo, madde 6). Eğer gerilim maksimum değer olan 38.200 voltun yarısı ise ve yük biriktiren kondansatör (meselâ izole boru) 50  $\mu\text{F}$  lık bir kapasiteye sahipse denklem (43) te verilen kıvılcım enerjisi 4,9 milijoule olur ve bu da karışımın tutuşması için yeterlidir.

#### 7. BİR OPERATÖR TARAFINDAN TAŞINAN KAPASİTE VE ENERJİ

Kuru bir ahşap platform üzerinde duran 1.80 m. boyunda bir kimsenin kapasitesi nedir?

Küresel bir kondansatör için denklem (32) yi kullanarak  $r$  yi adam boyunun yansı ve  $\epsilon$  u, kondansatörü çevreleyen ortam hava olduğundan, 1 alabiliriz.

(3) Benzen gibi bir madde için ( $\epsilon = 2,5$ ), 1.10<sup>-10</sup> ile 1 10<sup>-18</sup> arasındaki  $y$  iletkenliği aşağıda verilen dinlenme ve yarı - değer zamanlarını hesap ederler):

iletkenlik $y(\text{mho/cm})$	Dinlenme zamanı $t_d$	Yarı - değer zamanı $P \&$
10-18	61 saat	42 saat
10-17	6,1 »	4,2 »
10-16	37 dak.	26 dak.
10-15	3,7 »	2,6 »
10-14	22 san.	15 san.
10-13	2,2 »	1,6 »
10-12	0,2 >	0,15 »
10-11	0,02 »	0,015 »
10-10	0,002 »	0,0015 »

(4) Yazar Birleşik Amerika'da Givaudan Corp. da çalışmaktadır (Ç).

• C = I, il g' r' ^ F' ^ (i, ii) (180/2) ' = IÖO' ^ F' .  
(32) bulunur. Eger böyle bir "operatör 5000 volt"  
gerilimli-, ibln yük- taşıyor,sa kıvılcım enerjisi .1,25  
müjoule olacaktır ki,bu, tablodaki madde 6ya  
göre, yanabilir buhar- hava karışımlarını tu-  
tuşturmak için öncelikle yeterlidir.

### 8. İİİETKEN DÖŞEMELERE KARŞI KA- PASİTE'

Metal bir döşeme üzerinde duran bir kimsenin-  
kapasitesi nedir? Adam ve metal döşeme, kon-  
dansat,ö/ün jizole . ayakkabi,tab,anı ile ay ^ mış iki  
plâkası olduğu kabul edilecektir.

tki, ayağın alanını  $A = 2.275 = 550 \text{ cm}^2$ , ka-  
bul edelim., Plâkalar arasındaki uzaklık  $L =$  ta-  
banların kalınlığı  $= 0,75 \text{ cm}$ . ve tabanların di-  
elektrik sabitesi  $\epsilon = 5$  ise denklem (34) ten :

$$C = 8,85 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{A \cdot \epsilon}{L} \cdot \mu \mu F = (8,85 \cdot 10^{-2}) (550) (5) / (0,75) \quad C = 324 \mu \mu F.$$

### ö. ÇÖKELME POTANSİYELİ VE ALAN ŞİDDETİ:

Bir hegzan ve lsu tankının içindeki ,kar,arlı  
durumdaki alan şiddetleri nedir, ? Aşağıda verilen  
doneler kullanılacaktır:

Hegzan için  $\gamma = 1,10^{-15} \text{ mho/cm}$ ; hegzan için"  
 $\epsilon = 1,9$ ; hegzan ve sü için  $\epsilon' = 0,05 \text{ volt}$ ; hegzan'  
ve sü için  $A_p = 0,34 \text{ g/cm}^2$ ; hegzan için  $\epsilon = 0,294$   
sanİlpuaz ( $25^\circ \text{Cde}$ );  $\epsilon' = 0,05$  (karışımın % 5i  
sudur);  $a' = 5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$  (ştok tankına pompa-  
landıktan sonra su damlacıklarının yarıçapı).

önce denklem-(ff3^ten w faktörünü , hesap-  
lialım :

$$\alpha = 1 + 1,57 \cdot 10^{-15} \cdot \frac{y \epsilon \epsilon'}{a'} \left( \frac{-te}{a'} \right)^2 \quad (63)''$$

$$\alpha = 1 + 1,57 \cdot 10^{-15} \cdot \left( \frac{(0,05)}{(0,294) (1,10^{-15})} \right)$$

$$\left( \frac{(0,05) (1,9)}{(5,10^{-3})} \right)^2$$

$$\alpha = 1 + (1,57 \cdot 10^{-15}) (1,7 \cdot 10^{-15}) (362) = 968$$

Bundan sonra denklem (61) i kullanarak alan  
şiddetini bulabiliriz :

$$E = -5,8 \cdot 10^{-15} \cdot \frac{\epsilon \gamma (A_0) t}{\gamma \alpha u} \text{ volt/cm} \quad (61)$$

$$E = - \frac{(5,8 \cdot 10^{-15}) (1,9) (0,05) (0,34) (0,05)}{(1,10^{-15}) (968) (0,294)}$$

$$E = - 34.000 \text{ volt/cm}$$

Bu alan şiddeti, alan üniformi ve dİstorsiyonsuz olsa bile bir kıvılcıma sebebiyet verebi-

lecek dercede yüksek blup aşırj derecede \* teh-  
like vardır, (örnek 3 e bakınız).

örnek 5 de bahsedildiği gibi, antistatık bir  
madde ilâvesi organik tabakanın iletkenliğini  
 $1 \cdot 10^{-14} \text{ mho/cm}$  ye kadar düşürebilir. O zaman  
alan şiddeti yalnız 3,4 volt/cm olur Jd, bu  
bir kıvılcım için gerekli değer'in çok altındadır.

### " 10. KRİSTALLERİN TAŞINMASINDA YÜK BİRİKİMİ:

Bir operatör heptan ile nemlendirilmiş kris-  
talleri üstü açık (metal veya plâstik) bir fi-  
çidan, bir kepçe' ile bir tanka nakletmektedir  
Ayakkabi tabanları iletken olmayan bir mad-  
dedir ve döşeme ile hava kurudur. Toprak-  
lanmış hiçbir şeye temas etmemektedir. Btrik-  
tlebile(jeği yük nedir? Enerji heptan - hava ka-  
rışımını tutuşturmaya yeterli inidir?

örnek 7 de operatörüm kapasitesi  $100 \text{ } \wedge |F$   
bulunmuştu. Tablonun 13 üncü maddesinden gö-  
rölmektedir ki, kayan kontakla  $2,65 \cdot 10^{-8} \text{ coulomb}$   
 $/\text{cm}^2$  lik maksimum yükün en çok % 8 ini bi-  
riktirebiliriz. Kristallerin kepçe üzerinde kayma-  
sıyle maksimum değer'in % 5 İne eriştiğimizi ve  
operatörün vücudunda (yaklaşık olarak  $24.000$   
 $\text{cm}^2$ ) şu yükün birikmiş olduğunu kabul edelim:

$$2,65 \cdot 10^{-8} \text{ coul.}$$

$$Q = (0,05) \left( \frac{2,65 \cdot 10^{-8}}{\text{cm}^2} \right) (24.000 \text{ cm}^2)$$

$$: - Q = 3,18 \cdot 10^{-6} \text{ (eoulomb) , / \cdot \cdot >$$

(45)denklemlle :

$$J = 5 \cdot 10^{-6} \text{ QVC milijoule} = (5 \cdot 10^{-6}) (3,18 \cdot 10^{-8}) \sqrt{100} \quad (45)$$

$$J = 50 \text{ milijoule}$$

Bu, tutuşma için gerekli minimum değer 0,2  
milljoule'den çok daha büyüktür. (Tablo, mad-  
de 6).

Problemi diğer bir açıdan analiz edelim; bu  
analiz sütler, vs. boyunca kaymakta olan kris-  
tallere uygun olabilir.

Kristallerin her 2 saniyede bir kepçelik bir  
hızla transfer edildiğini ve kristallerin kepçe  
üzerinde kaydığı efektif yüzeyin  $515 \text{ cm}^2$  oldu-  
ğunu farzedelim, o zaman akım :

$$I = (0,05) \left( \frac{2,65 \cdot 10^{-8} \text{ coulemb}}{\text{cm}^2} \right) \left( \frac{515 \text{ cm}^2}{2 \text{ san}} \right)$$

$$I = 3,42 \cdot 10^{-8} \text{ amper}$$

Operatörün tam manâsıyle İzole edilmiş ol-  
madıkını, fakat toprağa karşı direncinin  $10^{10}$   
ohm olduğunu farzederek, operatör için dinlenme  
zamanı denklem (35) yardımıyla  $t_d = 1 \cdot 10^{-12} \text{ RC}$   
 $= (1 \cdot 10^{-12}) (10^{10}) 100 = 1 \text{ saniye}$  olacaktır.

Kısım 6 daki bağıntılar gözönünde tutulursa,  $V = IR$  olduğundan kondansatör üzerinde biriken stabil durumdaki yük  $Q = CV = IRC$  olur.

$$Q = (3,42 \cdot 10^{-8} \text{ A}) (1 \text{ san.}) = 3,42 \cdot 10^{-8} \text{ coulomb} \quad (45) \text{ denklemlle :}$$

$$J = 5 \cdot 10^{11} \text{ QVC milijoule} = (5 \cdot 10^{11}) (3,42 \cdot 10^{-8}) \text{ V} \quad (45)$$

$$J = 0,006 \text{ milijoule}$$

Bu miktar bir tutuşma için yeterli değildir :

Eğer operatörün direnci  $10^{10}$  ohm yerine  $10^{11}$  ohm olsaydı  $t_d = 10$  san. ve  $Q = 3,42 \cdot 10^{-8}$  coulomb olacaktı. Böylece bulunacak 0,6 milijoule, lük J enerjisi tutuşmaya sebep olacaktı.

Buraya kadar sadece operatör üzerindeki yükü inceledik Tabii nemli kristaller üzerinde eşit ve zıt bir yük hasıl olacaktır. Operatör, iletken taban ve döşeme vasıtasıyla yeterli şekilde topraklanmış olsa bile nemli kristaller bir yük taşıyabilir.

Böyle durumlarda da bir ilâve madde avantajlı olarak kullanılabilir. Eğer heptan fazı, İletkenliğini arttıran ve yarı - değer zamanını küçülten milyonda bir miktar bir İlâve madde ihtiva ederse, büyük miktarda yük meydana gelmesi ve birikmesi çok zor olacaktır.

Etraftaki atmosfer yeterli derecede nemlendirilmesl veya iyonizasyonu da yük birikimini azaltır. Eğer nemlendirme usûlü seçilirse operatör için rahatsızlık beklenmelidir.

Radyasyonla iyonizasyon usûlü seçilmişse personelin tehlike karşılaşmamasına dikkat edilmelidir. Bu durumda bu metod fena bir seçim olacaktır.

Bazı yüksek gerilim eliminatörlerle ciddi şoklar tevlid edebilir ve yanıcı maddeleri tutuşturabilir; bunlar dikkatle tesis ve ayar edilmelidir. Yanabilen ortamlarda kullanılması tevsiye edilmez. Elektronik bir tipi bu gibi ortamlarda bazı uygulamalar bulmuştur.

Tarak veya kalaylı tel gibi endüktif eliminatorler yanabilen atmosferlerde kullanılmamalıdır. Çünkü böyle tertipler elektrikleşmiş malzeme ile tarak veya tellerin uçları arasındaki gerilim ancak aradaki atmosferi iyonize edecek kadar yüksek olduğu zaman çalışırlar. Bu noktaya erişildiği zaman fırça deşarjı veya kıvılcım vuku bulabilir ka, buna mâni olmak istiyoruz.

## 11. FİLTREASYONDA YÜK BİRTKİMİ:

Shell Oil Co. nin Ocak 1963 tarihli (No : 171), «Las Vegas'taki Havacılık Yakıt Tesislerindeki Elektrostatik Olaylara Dair Gözlemler» isimli bir

raporunda aşağıdaki olaylardan bahsedilmektedir :

Gasyağı tipindeki türbin yakıtı geceleyin filtre edilmekte ve tanker kamyonlarına pompalanıyordu. Çatırdılı bir gürültü işitildi ve tankın içinde 60 cm uzuluğunda bir kıvılcım görüldü. İyi bir tesadüf eseri tank bölmelerinin içindeki atmosfer patlayıcı değildi. Daha önce benzin ihtiva etmekte, fakat temizlenmiş bulunmaktaydılar. Bütün teçhizat tamamen topraklanmıştı. •

Sonraki etüdler göstermiştir ki, elektrikli deşarjların meydana gelmesi ve bunların yoğunluğunun, pompalama hızına ve bununla ters orantılı olan, yüklenmiş sıvı için dinlenme zamanına bağlıdır. Dinlenme zamanı, filtreden çıkan yüklenmiş sıvının yükünü filtre ve tanker kamyonu arasındaki boru hatlarına bırakması için gerekli zamandır. Filtre baypas edildiğinde (köprülendiğinde) hiçbir elektrostatik olaya rastlanmamıştır.

Aşağıda bazı karakteristik değerlerle gözlemler cetvel halinde verilmiştir :

Akış hızı (g/dak)	Hattaki dinlenme zamanı t <sub>d</sub> (san)		Gözlemler İletkenlik İletkenlik	
	y=0,5.10 <sup>-4</sup>	y=0,84.10	(mho cm)	(mho/cm)
100	63,5	Tok	Yok	
200	31,7	Yok	Yok	
300	21,2	Yok	Yok	
350	18,1	Korona	Yok	
400	15,9	Kıvılcım	Yok	
450	14,1	Ciddi kıvılcım	Yok	
500	12,7	.....	Yok	
600	10,6	.....	Korona	

Korona, kamyon bölmelerinin içinde bulunan sıvı seviyesi üzerindeki madeni çıkıntılar üstte olan mavimtrak ışığın bir küçük noktası olarak tesbit edilmişti. Işığın bu noktalarına çıplak elle dokunulduğunda bunlar parmak uçlarına intikal edebilmekteydi. Daha küçük kıvılcımlar 2,5 cm den daha az uzunlukta, yıldırıma benzer bir parlama olarak tarif edildi; ciddi kıvılcım ise, bölme üçte iki oranında dolu olduğu zaman, harekete geçen 60 cm uzuluğundaki parlamaya dendi.

Çıkarılan sayısal bağıntıları uygulayarak bu gözlemler üzerinde çalışmak ilgi çekicidir. Denklem (36) yi yazalım :

$$t_d = 8,85 \cdot 10^{-11} (\rho/y) \text{ san.}$$

Gasyağı için dielektrik sabitesi  $\epsilon$  yaklaşık olarak 2dir. Şu halde,  $y = 0,4 \cdot 10^{-11}$  mho/cm ise 21 san. dir.

Yakıt 35 san. lik. bir  $t_d$  ye sahip olduğu zaman korona etkisi 350gr/dak. lık bir hızda

görülmüştür ki, bu hız boru hattının dağılma kesitinde 18,1 san. lik bir zamana tekabül eder. Bu değerden aşağıda hiçbir elektrostatik olaya rastlanmamıştır. Görüyoruz ki,  $t_{caiz} / t_{as}$  1/2 dir. Yakıt 21 san. lik bir  $t_{caiz}$  ye sahipse? akış, yükün dağılması için 10,6 san. lik kabul edilebilen (caiz) minimum zamana eşdeğer olan 600 g/dak. lik bir hıza çıkarılmadıkça korona etkisi kendisini göstermez tekrar  $t_{caiz} = \frac{1}{d}$  olur.

Böylece bu duruma filtreden sonraki (yükün gelltiği yer olan) topraklanmış boruhattındaki caiz zaman, hesaplanan dinlenme zamanı  $t_{din}$  nin varışına eşit veya büyük olduğunda yükün önemli miktarı toprağa aktıldığından,, görünür hiçbir elektrostatik olaya rastlanmaz.

Genel emniyet kaidesi olarak, dağılma için gerekli zamanın,  $t_d$  değerinin (veya RC sabitesinin) iki katına eşit veya daha büyük olması gerekir denebilir. Daha emin olmak içinde emniyet faktörünün 4 olması icabeder.

Yukarıda anlatılan deneyleri takip ederek Shell firması Las Vegas'ta, maksimum pompalama hızındaki dinlenme zamanı 77 san. olan 25 cm çapında alüminyum boru tesis etmiştir. Bu, kullanılan yakıtların  $t_d$  sinin 2 ilâ 4 katına eşdeğerdir.

#### STATİK ELEKTRİĞİN KONTROLÜ :

Hareketsiz bir gazla örtme gibi, yangın tehlikesine karşı normal tedbirlerden başka, elektrik yüklerinin husule gelmesi ve birikmesi azaltmak için aşağıdaki metod faydalıdır. Mamafih bir örtme vasıtası olarak (tüplerden) karbon-

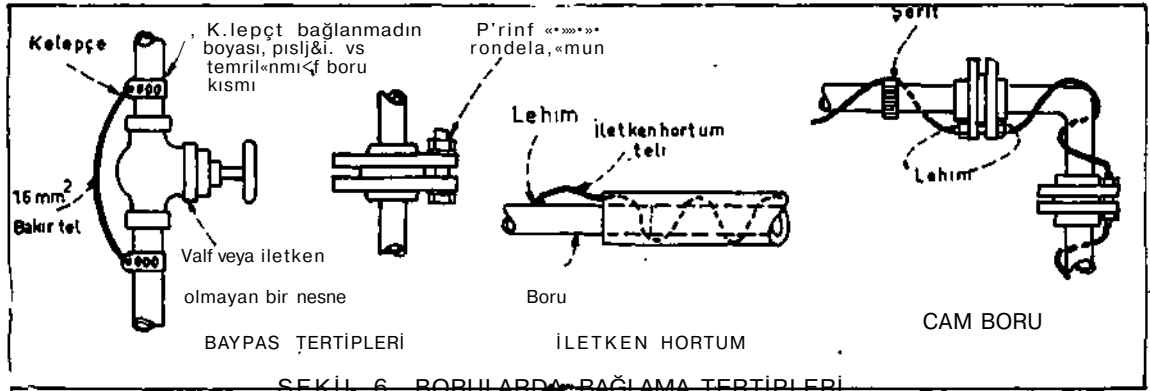
mak, Serbest düşme ve sıçramalardan sakınmak ve farklı dielektrik sabitlerine sahip malzemelerin ayrılma hızlarını azaltmak iyi sonuçlar verir.

Malzemelerin islenmesi, nakli ve depolanması sırasında elektro statik yüklerin birikimini azaltmak için çeşitli metodlar uygulanabilir. Aşağıdaki özet her metodu ve metodlardan herbirinin avantaj ve dezavantajları ile birlikte açıklayıcı bilgiyi kısaca vermektedir.

#### BAĞLAMA VE TOPRAKLAMA :

İyi iletkenler için bu iyi bir usüldür. İki iletken malzemenin bağlanması ikisi arasındaki potansiyeli sıfıra kadar düşürür, fakat her ikisi de diğer meselelere göre bir potansiyel farkını ihtiva edebilir Topraklanmış bütün iletkenler arasındaki potansiyel farkı sıfırdır. Çeşitli tipte teçhizatın bağlanma ve topraklanması için basit şemalar Şekil : 6 dan 8 e kadar verilmiştir. İletken olmayan kaplarda tantal ilâve maddeleri kullanırken çok dikkatli olmalıdır, çünkü ilâve maddeler, eğer sıvı küçük bir iletkenliği haiz ise, pek etkili olmayacaktır. Bu durumda mümkünse doldurma hattı tankın dibine kadar uzatılması veya boşaltma borusu tankın yan tarafına yerleştirilmelidir; böylece herhangi bir statik birikiminin irtadan kaldırılmasına yardım edilmiş olur.

Yarı iletkenler üzerindeki yükler topraklama suretiyle azaltılabilir, bu suretle yük birikiminin hızı dağılma hızından daha küçük olur. Yalıtıcıların etkili şekilde topraklanamayacağına dikkat edilmelidir.



ŞEKİL 6 BORULARDA BAĞLAMA TERTİPLERİ

dioksit gazı fişkırtılmasının çok tehlikeli bir muamele olduğuna dikkat edilmelidir; çünkü karbondioksit gazı hortumun püskürtme, ucundan bir tankın buharla dolu hacmine akarken çok yüksek seviyede elektrikî yük meydana getirir.

Statik elektrik, fazların teması ve ayrılması ile meydana gelir. Bu sebepten akış hızını azalt

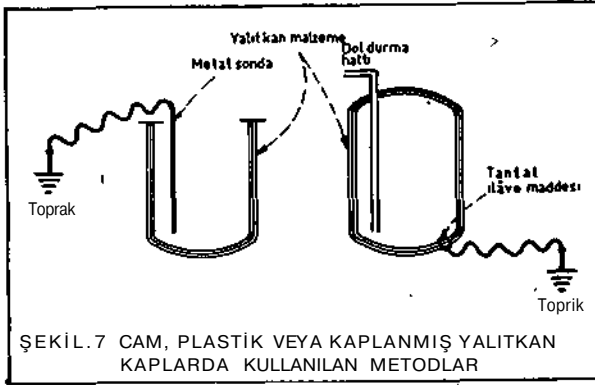
Boru hatları içine topraklanmış perde veya levhalar sokulmaması genel olarak elektriklenmeyi azaltmaz, bilakis artırır.

#### ORTAMIN NEMLENDİRİLMESİ :

% 60 ile % 70 mertebesindeki bağıl nem yalıtkan katılar üzerindeki su filmi miktarının art-

ımlabilir. Eser halindeki ergimiş yabancı mad-  
delerle birlikte bu filmler yükün dağıtılması için  
iletken bir yol teşkil edebilir.

Bu metod organik kimya ve petrol sanayi-  
lerine az uygulanmakla beraber cilalama ve kop-  
lama işlemlerinde kullanılmaktadır.



ŞEKİL.7 CAM, PLASTİK VEYA KAPLANMIŞ YALITKAN KAPLARDA KULLANILAN METODLAR

### ORTAM ATMOSFERLERİNİN İYONLAŞTIRILMASI :

Yüklenmiş bir malzeme ile temas halindeki atmosferin iyonlaştırılması topraklanmış kısma

doğru bir iletken yol sağlayabilir. Bu, yüksek gerilim eliminatörleri, radyoaktif malzemeler veya topraklaşmış taraflar, fırçalar ve kalaylı tel gibi endüktif iyonizasyon tertipleriyle gerçekleştirilebilir.

Bu metodların kimya ve petrol sanayiinde tatbikatı sınırlıdır.

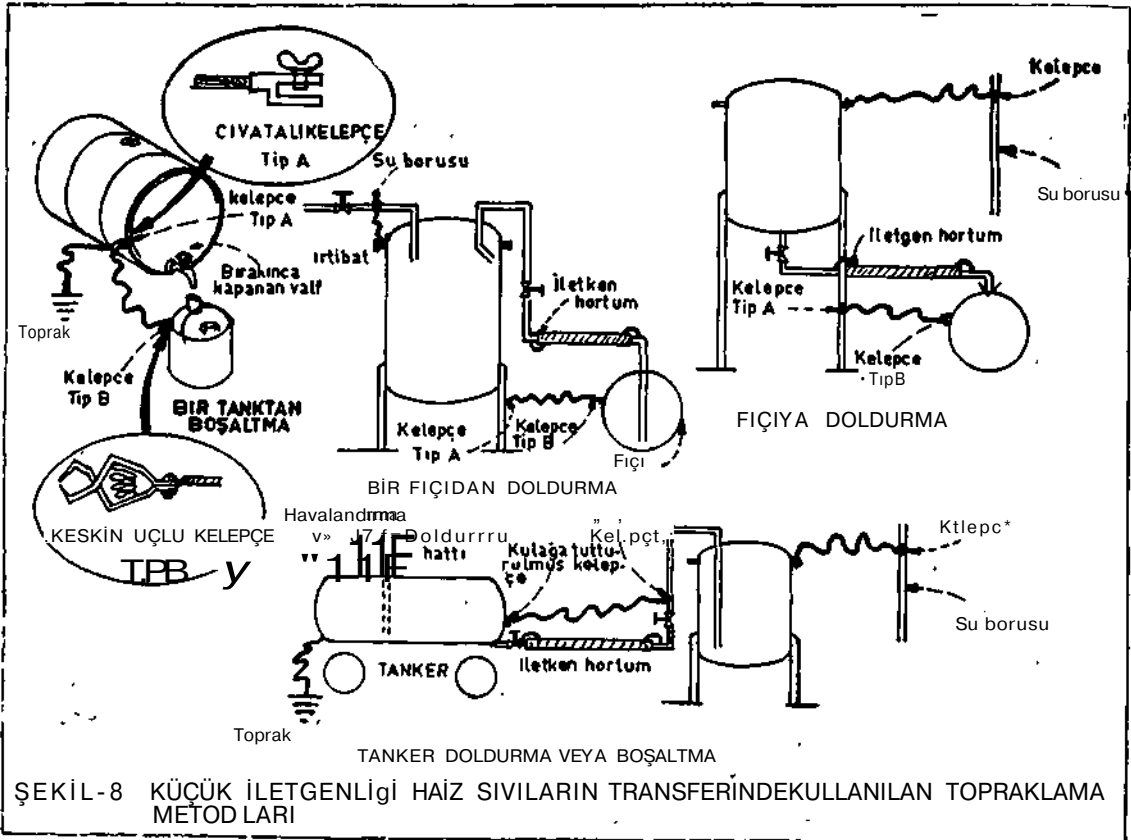
### DİNLENME İÇİN ZAMAN SAĞLANMASI :

Büyük kesitli bir boru, malzeme tanka boşalmadan önce yükün emniyetli bir seviyeye indirilmesi için gerekli zamanı sağlar.

### ELEKTRİK İLETKENLİĞİN ARTTIRILMASI :

Hidrokarbonlar gibi organik sıvıların iletkenliği, piyasada temini mümkün olan ilave maddelerden çok az bir miktar ilavesiyle büyük çapta arttırılabilir. Bu şekilde işlem görmüş malzemelerde husule gelen yük, madenî bir topraklama sistemine etkili bir şekilde iletilebilir.

Bu metod kimya ve petrol sanayiinde karşılaşılan birçok probleme gerçek bir çözüm teşkil eder.



ŞEKİL-8 KÜÇÜK İLETKENLİĞİ HAİZ SIVILARIN TRANSFERİNDE KULLANILAN TOPRAKLAMA METODLARI

### HESAPLAR İÇİN KABUL EDİLMİŞ ELEKTROSTATİK DEĞERLER:

1. Q mkrocoulomb/cm<sup>2</sup> yükü ile şarj edilmiş iletken yüzey, yüzeye yakın noktalarda V/L = 1,13.10<sup>-8</sup> Q kilovolt/cm lik, yüzeye dik bir potansiyel gradyanına sahiptir.
2. Zeta veya dokunma (temas) potansiyeli (ξ), fazlardan biri sıvı olduğu zaman genel olarak 0,01 ile 0,1 volt arasında değişir.
3. 1,25 cm (1/2 inç) mesafedeki iki iğne uç arasında bir kıvılcım meydana gelebilmesi için 14.000 volt civarında bir potansiyele ihtiyaç vardır. Küreler arasındaki bir ark için 20.000 volttan yüksek gerilim gereklidir. Bazı otoriteler, ark meydana gelebilmesi için 30.000 volt/cm lik bir elektrik alan şiddetine ihtiyaç olduğunu kabul etmektedirler.
4. Aralarında 0,01 mm mesafe bulunan İki plâka arasında bir atlama olabilmesi için 350 volt civarında bir gerilim gereklidir. Bunun minimum ark gerilimi olduğuna dikkat edilmelidir.
5. Muhtemel maksimum yük yoğunluğu, yüzeyin cm<sup>2</sup> si başına 2,65.10<sup>-8</sup> coulombdur. Bu değer üzerinde korona deşarjı başlar.
6. Fevkalâde gartlar altında 0,2 milijoule kadar küçük bir enerji infilâlı başlatabilir. Hidrojen T1300 voltta 0,02 milijoule gibi çok küçük bir enerji ile tutuşturulmuştur.  
Hidrojeninfilâkleri bir korona deşarjı veya veya St. Elmo alevi tarafından (birgövde üzerinde yük yoğunluğu maksimum değeri geçtiği ve yükün etraftaki iyonize havaya yayıldığı zaman) başlatılabilir.  
Bir infilâk için gerekli kıvılcım enerjisi tutuşturabilir melzemeye bağlıdır. Havadaki yabancı buharlar için alt ve üst «parüama sınırları», tutuşma Meçii stökiyometrik (kimyasal reaksiyona girme) oranının yaklaşık olarak % 50 si ile % 400 üdür. Alt ve üst sınırlarda  
• 5 ilâ 10 miUjoule yeterlidir. Stoiçiyometrik oranlara yakın durumlarda gerekli kıvılcım enerjisi 0,2 milijoule civarındadır.  
Tehlikenin tayini için, ortam sıcaklık ve basıncındaki minimum tutuşturma enerjisi :  
Havadaki buharlar için 0,1 milijoule,  
Havadaki sisler için 10 milijoule,  
Havadaki tizlar için 10 milijoule,  
olarak gözönüne alınmalıdır.
7. Yaygın şekilde kullanılan sıvıların mh'o/cm cinsinden özgül iletkenlikleri (γ) için verilen değerler şunlardır :

Benzen	7,6.10 <sup>-8</sup> ilâ 1.10 <sup>-18</sup>
Toluen	<1.10 <sup>-18</sup>
Ksilen	<1.10 <sup>-15</sup>
Heptan	<1.10 <sup>-18</sup>
Hegzan	1.10 <sup>-18</sup>
Metanol	4,4.10 <sup>-17</sup> , 5,8.10 <sup>-6</sup> , 2,2.10 <sup>-7</sup>
Etanol	1,5.10 <sup>-17</sup> , 6,4.10 <sup>-8</sup> , 1,35.10 <sup>-9</sup>
İopropanol	3,5.10 <sup>-8</sup>

Organik sıvıların iletkenlerinin eser halindeki yabancı cisimlerle çok fazla değişebileceği gözönünde tutulmalıdır.

8. ^P cinsinden C kapasitesinin yaklaşık değerleri aşağıda verilmiştir :  
insan vücudu 100 den 400 e kadar  
Otomobil 500 civarında  
Tanker kamyonu (7500 İt) 1000 civarında  
İzole astarlı 4 m. çapındaki tank 100.000 civarında
9. Dielektrik sabitesi ε<sub>n</sub> nun yaklaşık değerleri (boşluk için ε = 1 olduğuna g<sup><bre></sup> şunlardır :  
Karbontetraklorür 2,2  
Benzen 2,3  
Klorobenzen 5,7  
Toluen 2,4  
Ksilen 2,4  
Heptan 2,0  
Hegzan 1,9  
Asetik asit 6,2  
Metanol 33,7  
Etanol 25,7  
İzopropanol 25,0  
1-Butanol 17,8  
Nitrobenzen 35,7  
1,2-Dikloretan 10,7  
Nitrometan 39,0  
Aseton 21,0  
Siklohegzan 2,0  
Etileter 4,3  
Su 80,4
10. Moleküler yayılma katsayısı D<sub>m</sub> =  $\frac{BT}{6\pi\mu a}$  dür ki burada a' bir iyonun yarıçapıdır. D<sub>m</sub>, 25°C deki çok sulandırılmış çözeltiler şeklindeki kuvvetli elektrolitler için 1,1 ilâ 2.10<sup>-8</sup> cm<sup>2</sup>/san. veya 1,1 ilâ 2.10<sup>-8</sup> craV san. mertebesindedir. D<sub>m</sub>, ^ ve a' ile ters orantılı olduğundan bu değerler ^nün küçük ve a' nün büyük olduğu sulu olmayan ortamdaki büyük iyonlara muhtemelen uygulanabilir.
11. Sık sık karşılaşılan çeşitli elektrostatik gerilimler şunlardır : (1) Kuru bir halı üze-



rinde yürüyen veya bir otomobilin kanapesi üzerinde kayan bir kimse, vs. : Kuru havada yaklaşık olarak 500 volt kadar. (2) Kuru havada giden kamyon veya otomobil : 10.000 volt (3) Makaralar üzerinde hareket eden kayışlar : 30.000 volta kadar. 20 - 25 000 volt en çok rastlanılanıdır.

12. Temas veya zeta potansiyeli genel olarak 0,01 ilâ 0,1 volt mertebesindedir.
13. Katıların statik elektriklenmesi çeşitli yollarla olur. Farklı işlemler  $2,65 \cdot 10^{-9}$  coulomb/cm<sup>2</sup> lik teorik maksimum yük yoğunluğuna

nun aşağıda verilen takribi yüzdelere hasıl eder :

Kayan kontakt (temas)	% 8 e kadar
Yuvarlanan kontakt	% 8 e kadar
Tozların dağıtılması	% 1 ilâ 10
Katı maddelerin pnömattik nakil	% 60 a kadar
Birarada baskıya maruz levhalar	% 60 a kadar

(Elektrostatik hesapların kullanılma örneklerini ele alan bu yazının çeşitli kısımlarında «TABLO» ya atıf yapılmıştır.)

### SEMBOLLER LİSTESİ

a, b	Noktalar veya bir noktaya olan uzaklık
a'	Damlacık veya partikülün (cm) olarak yarıçapı
A	Alan (cm <sup>2</sup> )
B	Boltzmann sabiti = $13,8 \cdot 10^{-24}$ erg/°K
C	Kapasite, farad (veya $^{\wedge}F = 10^{-9}$ farad, $^{\wedge}F = 10^{-12}$ a farad), amp. san./volt
d	Uzaklık veya çap (cm)
D <sub>m</sub>	Moleküler dağılıma katsayısı = $BT/6_{WU}$ , a' (cmVsan) (a'=bir iyonun yarıçapı)
e	Bir protonun yükü veya tabii logaritma tabanı.
E	Alan şiddeti = V/L, volt/cm.
f	Savurma sürtünmesi faktörü = 0,04/N $0,04/N_{Re} \ll i6 = \tau / (0,5 p_v 2)$ , boyutsuz.
F	Elektrik yükleri arasındaki kuvvet, gram (volt. amp. san/cm).
g	Yerçekimi ivmesi, 980 cm/sana.
X	Akım, amper, 1 amp = 1 coulomb/san.
I <sub>a</sub>	Akış akımı, bir akışkanın akması sırasında elektron kazancı veya kaybı sebebiyle üretilen elektrik akımı, amper.
J	Enerji veya İş, joule, 1 joule = 1 voltluk potansiyel farkını havi iki nokta arasında 1 coulomb'luk yükünyaptığı İş, (volt amp. san.)
k	(1) denklemindeki orantı sabiti = $1/^{\wedge}EM$ -volt. cm/amp. san.
L	Uzunluk, cm.
n	Birim hacim başına çözülmüş molekül sayısı, boyutsuz
N	Kuvvet çizgisi sayısı, boyutsuz.
N <sub>rc</sub>	Reynold sayısı = $100 dv p / ^{\wedge} (d \text{ cm}, v \text{ cm/san}, pf/cm^2)$ , santipuz cinsinden), boyutsuz.
p	Basınç, g/cm <sup>2</sup>
q	Birim uzunluk başına yük, coulomb/cm.
Q	Yük, coulomb = amp/san., 1 coulomb = $6,281 \cdot 10^{18}$ elektron üzerindeki yük.
r	Yükler arasındaki uzaklık, veya yarıçap, cm.

R	Direnç, ohm, $R = E/I$ , volt/amper,
1/R	iletkenlik, mho, amp./volt.
s	Birim hacim başına yük, $s = Q/LA$ , coulomb/cm <sup>3</sup>
t	Zaman, san.
T	Mutlak sıcaklık, °K.
t <sub>d</sub>	Dinlenme (dağılıma) zamanı, $t_d = RC = \epsilon_{ro}/y$ , san.
v	Lineer hız, cm/san.
V	Potansiyel, volt, 1 volt = 1 ohm'luk bir direnç üzerinden 1 amperlik akım geçmesiyle hasıl olan potansiyel farkı.
V <sub>s</sub>	Akış potansiyeli, akan bir akıştan sütununun direnci üzerinden akan akış akımının hasıl ettiği potansiyel farkı, volt.
x	Uzaklık veya hareketteki tabaka kılınlığı, cm
y	Dağılan fazın yüzdesi (oranı), boyutsuz.
Z	Valans, boyutsuz.
α	Denklemin (62) de tarif edilen çökelme potansiyeli, boyutsuz, özgül iletkenlik, $y = 1/RL$ , mho/cm
y	Tabaka çifti kalınlığı, cm.
s	Bir büyüklükteki değişme miktarı.
ε	Bağıl dielektrik sabiti, boyutsuz.
ε <sub>o</sub>	Mutlak dielektrik sabiti, amp. san./volt. cm
	Boşluk için $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ amp. san./volt. cm
ζ	Elektrokinetik veya zeta potansiyeli = sıvı bir ortamdaki tabaka çifti boyunca potansiyel farkı, volt.
θ	Normale göre açı, derece.
μ	Vizkozite, puaz, g/cm san. Yaygın birim santipuzadır: 1 cp = 0,01 g(kütle)/cm san. 3,14159.
ir	Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>
p	Birim alan başına yük, $\langle y = Q/A$ , coulomb/cm <sup>2</sup>
τ	Kayma gerilmesi, g/cm <sup>2</sup>