



Yurdumuzda, bir tesisin topraklama direncinin bazı sabit değerlerden küçük olması halinde güvenliğin sağlanacağı görüşü hâkimdir. Yürürlükteki Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği (ETTY) incelendiğinde böyle sabit değerlerin bulunmadığı görülmektedir. Yabancı literatürde de güvenliğin sağlanması açısından dolayı dokunma geriliminin, sınır değerleri aşmaması esas alınmakta; direnç değerlerinden söz edilmemektedir. Direnç değerleri topraklama gerilimi değerlerinin hesaplanmasında kullanılır.

Yaptığımız eğitimlerde konu açıklıkla konuşulmasına rağmen hem katılımcılardan ve daha önemlisi topraklama direnci ölçümü isteyenlerden, bulunan değerlerin bir referans değere göre değerlendirilmesi istenmektedir. Bu istekleri yerine getirmek ve bazı şartnamelerde görülen sabit direnç değerlerinin de revize edilmesini sağlamak için bu çalışma yapılmış ve sonuçları örnekleri ile birlikte aşağıda verilmiştir.

Enerji dağıtım şirketlerine ait yüksek gerilim tesisleri:

Yüksek gerilim tesisi, transformator postası veya yüksek gerilim direği olabilir.

■ **Koruma topraklaması** direnci için, Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği (ETTY) Madde 5-a, Şekil 6, şekil C.2 ve Şekil 7 'deki akış şeması ile uygun sonuç bulunur.

Not: Şekil 6 ve şekil C.2 yalnız yüksek gerilim tesisleri için kullanılır.

Bilinmesi gerekenler: Akım süresi ve kısa devre akımının (I_E) değeridir.

Yüksek gerilim tesisinde bir kısa devre olduğu ve kısa devrenin bu tesisi besleyen kaynaktaki kesici tarafından temizleneceği dikkate alınır. Akım süresi kaynaktaki

kesiciye kumanda eden aşırı akım zaman rölesinin açma süresidir.

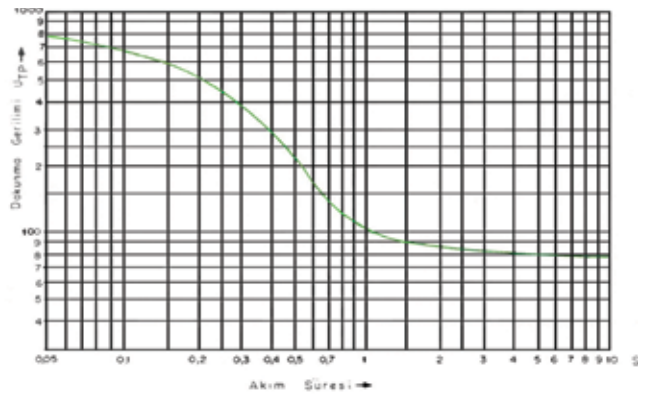
Şekil 6'dan veya çalışan kişinin ayakkabısı olacağı ve basılan yüzeyin çakıl, beton, yalıtkan halı v.b. malzeme ile kaplı olduğu düşünülerek şekil C.2'den yararlanılarak akım süresi değerinden hareket ile izin verilen dokunma gerilimi U_{TP} bulunur.

U_E topraklama gerilimi U_{TP} ile karşılaştırılarak Şekil 7 yolu ile sonuca varılır.

Not: Şekil 7'de topraklama direnci Z_E sembolü ile gösterilmiştir.

■ **İşletme topraklaması**, koruma topraklamasından ayrı ve TN sistemde (ETTY Madde 8a 3. 7) şartlarına uygun olmalıdır. Buradan işletme topraklaması direncinin olabildiğince küçük olması sonucuna varılır.

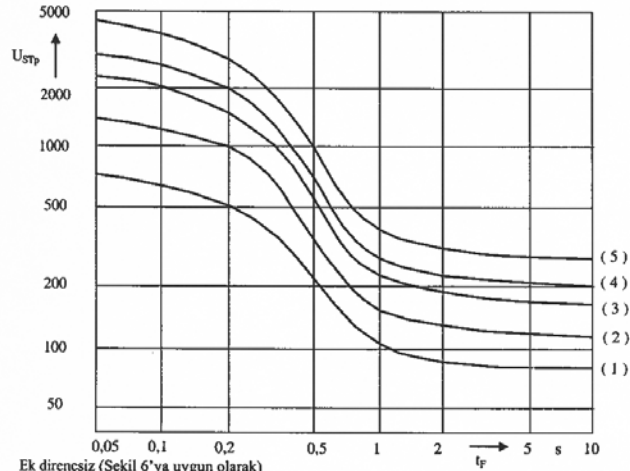
Sınırlı akım süreleri için izin verilen en yüksek dokunma gerilimleri



Not: 1-Bu eğri yüksek gerilim şebekelerindeki toprak kısa devre arızaları ile ilgilidir.

2-Akım süresi 5 s' den uzunsa U_{TP} için 75 V değeri uygulanabilir.

Şekil-C.2'de \vec{v} $r_p(t_p) = f(t_p)$ eğrileri R_{s1} 'nin dört değeri için gösterilmiştir.



- (1) Ek dirençsiz (Şekil 6'ya uygun olarak)
 (2) $R_s = 750 \Omega$ ($R_{s1} = 0 \Omega$; $\rho_s = 500 \Omega m$)
 (3) $R_s = 1750 \Omega$ ($R_{s1} = 1000 \Omega$; $\rho_s = 500 \Omega m$)
 (4) $R_s = 2500 \Omega$ ($R_{s1} = 1000 \Omega$; $\rho_s = 1000 \Omega m$)
 (5) $R_s = 4000 \Omega$ ($R_{s1} = 1000 \Omega$; $\rho_s = 2000 \Omega m$)

Not: $R_{s1} = 1000 \Omega$ değeri kullanılmış nemli ayakkabılar için bir ortalama değerdir.

ETTY Ek-C Şekil C2

Zemin durumuna göre izin verildiği öngörülen dokunma gerilimleri*

		Eklenen Direnç değerleri** (Ω)				
		0	750	1750	2500	4000
Vücut Akımları	Süre	İzin verilen dokunma gerilimleri U_{STP} (V)				
A	ms	1	2	3	4	5
1	10	785	1535	2535	3285	4785
0,99	20	767	1509	2499	3242	4727
0,97	30	745	1472	2442	3170	4625
0,95	40	729	1442	2392	3104	4529
0,90	50	716	1391	2291	2966	4316
0,87	60	701	1353	2223	2876	4181
0,82	70	688	1303	2123	2738	3968
0,79	80	674	1267	2057	2649	3834
0,77	90	663	1241	2011	2588	3743
0,75	100	654	1217	1967	2529	3654
0,60	200	536	986	1586	2036	2936
0,4	300	414	714	1114	1414	2014
0,3	400	309	534	834	1059	1509
0,20	500	220	370	570	720	1020
0,16	600	174	294	454	574	814
0,13	700	148	245	375	473	668
0,1	800	132	207	307	382	532
0,09	900	123	191	281	348	483
0,08	1000	117	177	257	317	437
0,055	2000	96	137	192	234	316
0,05	3000	88	126	176	213	288
0,05	8000	86,0	123	173	211	286

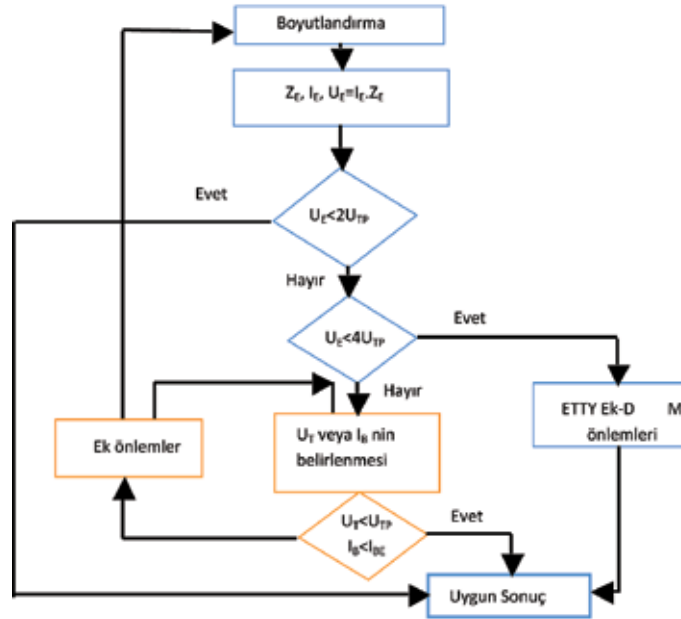
Sutun	Ayakkabı direnci (Ω)	Zemin özgül direnci ρ ($\Omega.m$)
1	İlaveler yapılmamış dokunma eğrisi U_{TP}	
2	0	500
3	1000	500
4	1000	1000
5	1000	2000

Tablo 1

*TS EN 50522-2010 Ek B şekil B.2'den üretilmiştir. Kalın yazılan akım değerleri TS EN 50522-2010 Tablo B.1'den alınmıştır.

** Eklenen dirençler insan üzerinden geçen akımı sınırlayan ayakkabı ve zemin kaplama direncini ifade eder. Bakınız TS EN 50522-2010

Yüksek gerilim tesislerinde topraklama tesisinin tasarımı



ETTY Şekil 7

Koruma topraklaması ile ilgili örnekler :

34,5 kV'luk şebekelerde toprak kısa devre akımlarının 1 kA ile sınırlandırılması şartı vardır. Şebekenin uzak noktalarında oluşacak toprak kısa devrelerinde bile kısa devre akım değerinin 1 kA'den fazla değişmeyeceği düşünülebilir. Ayrıca zaman içinde şebekeye yeni besleme noktası ilavesi veya hattın beslendiği merkezin değiştirilmesi kısa devre akımlarında ilk hesaplara göre yükselmeler meydana getirir. Bu görüş ile 34,5 kV'luk şebekelerde kısa devre akımlarını 800-1000 A arasında almak mümkündür.

Örnek 1:

Topraklama direnci 2 Ω olan bir Y.gerilim direğinde kısa devre meydana gelirse

- Kısa devre akımı I_E
- Topraklama direnci R_E olmak üzere
- Topraklama gerilimi $U_E = I_E \cdot R_E$ 'dir.

Kısa devre akımları	800 A için	1600 V
	1000 A için	2000 V

Topraklama gerilimi elde edilir. Hat başındaki kesicinin açma süresi $t_a = 0,7$ s ise izin verilen dokunma gerilimi U_{TP} tablo 1'den 0,7 saniye için 148 V bulunur.

Bu örnekte direk, açık arazide herhangi bir kimsenin dokunabileceği durumda olduğundan Tablo 1'deki sıfır ek dirençli 1. sütun kullanılacaktır.

Potansiyel düzenlenmemiş hal $U_E < 2U_{TP}$ şartı sağlanamadığından sonuç uygun değildir.

Potansiyel düzenlenmesi yapılmamış halde topraklama direnci

800 A kısa devre akımı için $296/800 = 0,370 \Omega$

1000 A kısa devre akımı için $296/1000 = 0,296 \Omega$ gibi değerler almalıdır.

Bu değerler kolayca elde edilemeyeceği için tesiste potansiyel düzenlemesi yapılarak dokunma gerilimi düşürülmeye çalışılmalıdır. Bu maksatla direk çevresine, ETTY EK-D'de bildirildiği gibi, halka şeklinde iletken dönülüp, diğer topraklamalarla irtibatlandırılır.

Örnek 2 :

34,5 kV'luk bina tipi bir transformatör merkezinde akım süresine bağlı olarak dokunma gerilimini belirlemek için ETTY Ek C şekil C2'den, nemli pabuç ve döşemenin yüksek dirençli durum için olan (3) nolu eğrinin kullanılması uygundur. Buradan izin verilen dokunma gerilimi Tablo 1'den 0,7 saniye hata süresi için yaklaşık 375 V bulunur. Bina çevresine 1 m açıktan iletken dönülerek potansiyel düzenleme yapılacağı kabulü

ile $U_E < 4U_{TP}$ şartından topraklama gerilimi 1500 V'u aşmamalıdır. Şu hale göre 800 A ve 1000 A hata akımları için sırası ile $R_E = 1500 / 800 = 1,875 \Omega$ ve $R_E = 1500 / 1000 = 1,5 \Omega$ istasyon direnci elde edilir.

İçinde kendine özel yüksek gerilim tesisi bulunan binalar :

- Bu gibi binalarda yüksek gerilim koruma topraklamasının, bina temel topraklamasından ayrılabilmesi yapısal sebeplerle mümkün değildir. Ayrıca binalarda koruma topraklaması olarak tek bir topraklama sistemi kullanılır. Hesap, yüksek gerilim tesisleri gibi yapılacaktır.
- İşletme topraklamasının koruma topraklamasından ayrı yapılması tavsiye edilir. Bu durumda A.G. işletme ve Y.G. koruma topraklamalarının birbirinden ETTY Ek M'de verilen yöntemle hesaplanan $d_{k\text{ kabul}}$ mesafesi kadar uzak olması gerekmektedir. Bina temel topraklaması binanın dış çevresindeki temel betonu içinde dolaştığından ve Y.G. tesisi koruma topraklaması bu temel topraklamasına bağlı olduğundan, $d_{k\text{ kabul}}$ mesafesi bina çevresinden ölçülmek durumundadır. $d_{k\text{ kabul}}$ mesafesi hesaplarında Verilen $U_{k\text{ kabul}}$ değeri, hata süresine bağlı olarak bulunan dokunma gerilimi değeri olup, hesaplar ağ elektrot şekline göre yapılacaktır. Transformörden işletme topraklaması sistemine giden bağlantı kablosu, topraklamaların karışmaması için, yalıtılmış iletken olacaktır.

Bu aralığın temin edilememesi halinde ETTY madde 11, çizelge 13 veya çizelge 14 şartları yerine getirilerek iki topraklama birleştirilir.

- Yüksek gerilim ile enerji alan binada yıldırımılık varsa TS EN 62305-3 Madde 5.4.1'de tavsiye edilen yıldırımılık direncinin 10Ω 'dan küçük olması, ayrıca dikkate alınır.

Enerji dağıtım şirketlerinin alçak gerilim aboneleri olan binalar :

Binanın dolaylı dokunmaya karşı koruma sistemi TT olmak zorundadır. TT sistem kullanılan yerlerde Artık Akım Anahtarı (RCD veya RCCB) kullanılması bütün dünyada zorunlu kılındığı gibi Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği madde 18'de de şart koşulmuştur.

Not: Alçak gerilim tesislerinde izin verilen dokunma gerilimi 50 V'dur. Hatalı devre 5 s içinde kesilmelidir.

TT sistem koruma yapılan binalarda Artık Akım Anahtarı cihazları bulunduğundan

- Bina topraklama direnci R_A
- Binadaki Artık Akım Anahtarlarının en büyük eşik değeri $I_{\Delta N}$ olmak üzere

- 1- $R_A < 200 \Omega$
- 2- $R_A < 25 / I_{\Delta N} \Omega$

şartlarının sağlanması istenir. Bu şart ETTY çizelge 12 alt notunda bulunmaktadır.

Bu arada yabancı ülke yönetmeliklerinde yukarıdaki sınırlar dışındaki direnç değerlerinin, çeşitli sakıncaları ortaya konularak, yüksek bulunduğunu da belirtelim.

Binada yıldırımılık bulunması halinde, iniş iletkenleri TS EN 62305 standartlarına göre bina temel topraklaması ile irtibatlandırılacaktır. TS EN 62305-3 madde 5.4.1'de ise yıldırımılık direncinin 10Ω 'dan küçük olması tavsiye edilmektedir. Sonuç olarak yıldırımılığı olan binalarda yukarıdaki şartlara ilave olarak topraklama direncinin 10Ω 'dan küçük olması gerektiği ortaya çıkar.

Örnek 3:

Alçak gerilim ile enerji alan bir binanın eşzamanlı gücü 38 kW'dır. Bina ana tablo girişinde 300mA'lık artık akım anahtarı vardır. Topraklama direnci $R_E = 25/0,3 = 83 \Omega$. Değer yuvarlatılarak 80Ω 'dan küçük olmalıdır.

Örnek 4 :

Alçak gerilim ile enerji alan tek katlı bir dükkân tek fazlı 10 A'lık sayaç üzerinden beslenmektedir. Artık akım anahtarı 25 A; $I_{\Delta N}$ 30 mA'lidir. Bina topraklama direnci $R_E = 25/0,03 = 833 \Omega$. 1. şart aşıldığından $R_E = 200 \Omega$ 'dan küçük olmalıdır.

Örnek 5 :

$\cos \phi = 0,9$ ile 250 kVA güç çeken bir atölyenin ana girişinde artık akım anahtarı (RCD) olarak toroid kullanılmış ve 1 A; 0,5 s olarak ayarlanmıştır. Binanın topraklama direnci $R_A = 25 / 1 = 25 \Omega$ 'dan büyük olmamalıdır.

Yukarıdaki örneklerde binaların yıldırımılığı varsa topraklama direncinin en büyük değeri 10Ω 'u aşmamalıdır.

Örnek 6 :

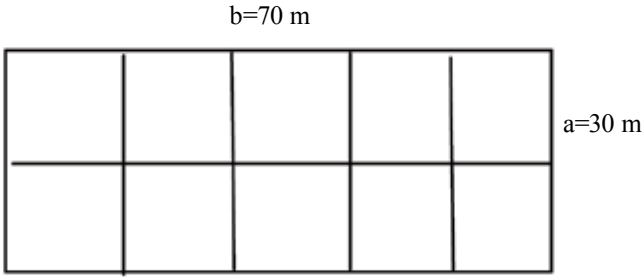
30 m x 70 m boyutunda bir fabrika binasının içinde 800 kVA gücünde, 34,5/0,4 kV; $u_k = \% 6$ olan bir transformator bulunmaktadır. Bina transformator istasyonunu, 34,5 kV'luk bir dağıtım merkezinden çıkan kablo hattı girdi, çıktı yaparak beslemektedir.

Binada yüksek gerilim tesisi bulunduğu için hesap 2.örnekte olduğu gibi yapılacaktır.

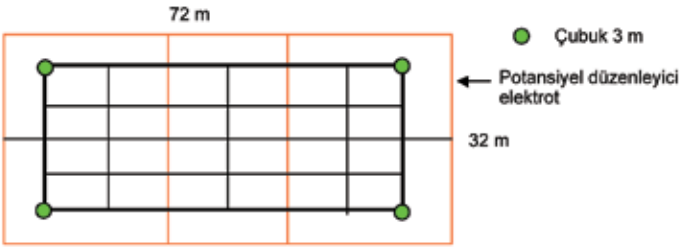
Yukarıda belirtildiği gibi yapısal sebeplerle yüksek gerilim tesisi koruma topraklaması olarak, bina temel topraklaması kullanılmak zorundadır.

Dağıtım merkezinde, binayı besleyen kablo başındaki kesicinin açma süresi 1 saniye verilmiştir. Binanın bulunduğu mahalde toprak özgül direnci $90 \Omega.m$ 'dir.

Bina boyutlarına göre temel topraklama gözlü topraklayıcı şeklinde yapılacaktır. 30 m'lik kenarın 2 göze, 70 m'lik kenarın ise en az 4 göze bölünmesi gereklidir.



1 s' lik açma süresi için izin verilen dokunma gerilimi 257 V olarak ETTY Ek C şekil C.2 'den veya Tablo 1 sütun 3'den bulunur. Potansiyel düzenleme yapılması halinde Topraklama gerilimi $4 \times 257 = 1028 \text{ V}$ 'u aşmamalıdır. Bu topraklama gerilimini sağlayacak Topraklama direnci ve hata akımı ne kadar olmalıdır?



Potansiyel düzenleme için bina çevresine 1 m açıktan 0,5 m derinlikte halka şeklinde iletken dönülmüş ve direnç değerinin tutturulması için 70 m'lik kenar 6 parçaya 40 m'lik kenar 4 parçaya bölünmüştür.

Çubukların gerekliliği ayrıca irdelenecektir.

Gerilim $1,1 \times 34,5 / \sqrt{3} = 21,91 \text{ kV}$. İndirici merkez topraklaması üzerinde hata sonucu oluşacak gerilim $21,91 - 1,028 = 20,88 \text{ kV}$ ve indirici merkez nötr noktasındaki 20Ω 'luk direnç ile hata akımı $I_{\max} 1,044 \text{ kA}$ bulunur. Bu kısa devre akımı için bina topraklama direnci $4 \times 257 / 1044 = 0,984 \Omega$ 'un altına inecek şekilde topraklama tesisi yapılmalıdır.

Topraklama sistemi gözlü topraklayıcı, potansiyel düzenleme iletkeni ve çubuklardan oluşan kompleks bir sistemdir. Kompleks sistemler her bir elektrot tipinin ayrı ayrı direnci bulunarak ve bunların eşdeğeri alınarak bulunamaz. **Sverak** veya **Schwarz** yöntemleri kullanılmalıdır.

Sverak yönteminde topraklama yayılma direnci

H : Ağın gömülme derinliği (m)

L : Ağdaki toplam iletken uzunluğu (m) (Çubuk boyları dahil)

A : Ağın alanı (m²)

ρ : Ağ iletkeninin bulunduğu ortamda toprak özgül direnci ($\Omega \cdot m$)

R : Topraklama yayılma direnci olmak üzere

$$R = \rho \left(\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right) \text{ formülü ile bulunur.}$$

Metodu örneğimize uygularsak,

İletken boyu hesabı:

Uzun kenar $5 \times 70 = 350 \text{ m}$

Kısa kenar $7 \times 30 = 210 \text{ m}$

Düzenleyici elektrot $2 \times 72 + 2 \times 32 + 6 \times 1 = 214 \text{ m}$

Çubuklar $4 \times 3 = 12 \text{ m}$

Ağın gömülme derinliği 0,5 m

Yatay iletken boyu toplam 774 m

Düşey iletken boyu 12 m

Bu değerlerle direnç hesaplanırsa

Çubuklu hal için : $R = 0,934 \Omega$

Çubukların olmaması hali için: $R = 0,936 \Omega$

Çubukların gereksiz olduğu görülmektedir.

Örnek 7 :

Yukarıdaki örnek 6'da koruma ve alçak gerilim işletme topraklamaları arasında en az 20 m aralık temin edilemiyor ise topraklamalar birleştirilir. Topraklama gerilimi ETTY madde 11'e göre, alçak gerilim şebekesi TN ise ve alçak gerilim nötr hattı çok yerde topraklanıyorsa $U_E < 2U_{TP}$ şartından $U_E < 514 \text{ V}$ 'un, altında kalacak şekilde topraklama tesisatı boyutlandırılmalıdır.

Örnek 8 :

Fabrika örneğimizi yüksek gerilim hava hattından branşman alınarak yapılan besleme şekli için çözelim. Yukarıdaki örnekte kesici açma süresi maksimum 1s alınmıştı. Branşmanla yapılan bağlantıda kesici yerine yüksek gerilim sigortası gelecektir. Bu elemanın kısa devreyi kesme süresi olarak 0.3 s alınabilir. Yukarıdaki hesapları tekrarlırsak:

0,3 s'lik açma süresi için izin verilen dokunma gerilimi 1114 V olarak ETTY Ek C şekil C2'den bulunur.

Potansiyel düzenleme yapılması halinde Topraklama gerilimi 4456 V'u aşmamalıdır.

İndirici merkez topraklaması üzerindeki $21,91 - 4,456 = 17,45 \text{ kV}$ topraklama gerilimi ve $17,45 / 20 \Omega$ ile kısa devre akımı $I_{\max} 0,872 \text{ kA}$ bulunur.

Bu kısa devre akımı için bina topraklama direnci $4456 / 872 = 5,10 \Omega$ 'un altında olmalıdır. Yukarıda temel topraklama için hesaplanan direnç $0,93 \Omega$ olduğundan sonuç uygundur.

U_{TP} dokunma geriliminin 4 katı ile topraklama gerilimi karşılaştırıldığından potansiyel düzenleme için bina çevresine 1 m açıktan bir halka şeklinde 0,5 m derinlikte iletken dönülmelidir. Ayrıca ETTY Ek D'de verilen M önlemleri alınmalıdır.