

Yıldırımdan Korunma



Prof. Dr. Özcan Kalendarli
İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi

TSE (Türk Standardları Enstitüsü)
YILDIRIMDAN KORUNMA
Standardı:

TS EN 62305-1 Yıldırımdan Korunma
Bölüm 1: Genel Kurallar

TS EN 62305-2 Yıldırımdan Korunma
Bölüm 2: Risk Yönetimi

TS EN 62305-3 Yıldırımdan Korunma
Bölüm 3: Yapılarda Fiziksel Hasar ve Hayati Tehlike

TS EN 62305-4 Yıldırımdan Korunma
Bölüm 4: Yapılarda Bulunan Elektrik ve Elektronik Sistemler

TS EN 62305-1 Yıldırımdan Korunma

Bölüm 1: Genel Kurallar

Kapsam:

- Yapıların, yapıdaki tesisatların, içindekilerin ve insanların,
- Yapılara bağlı hizmet tesisatlarının yıldırımdan korunması kapsar.

Ulaşım sistemlerinin (taşıtların), yeraltındaki yüksek basınçlı boru hatlarının ve yapıya bağlı olmayan boru, elektrik ve telekomünikasyon hatlarının yıldırımdan korunmasını kapsamaz.

Terimler ve Tanımları:

- Yıldırım çakması (yere, aşağıya, yukarıya çakma)
- Yıldırım darbesi (kısa, uzun, çoklu darbe)
- Düşme noktası
- Yıldırım akımı, i
- Tepe değeri, I_m
- Kısa darbe akımının cephesinin dikliği
- Kısa darbe akımının cephe süresi, T_1
- Kısa darbe akımının sanal orijini (başlangıç noktası), O_1
- Kısa darbe akımının yarı değer süresi, T_2
- Çakma süresi, T
- Uzun darbe akımının süresi, T_{long}
- Çakma elektrik yükü, Q_{flash}
- Kısa darbe yükü, Q_{short}
- Uzun darbe yükü, Q_{long}
- Özgül enerji, W/R

- Korunan nesne, yapı, hizmet tesisatı
- Nesneye yıldırım düşmesi
- Nesne yakınına yıldırım düşmesi
- Elektrik sistemi
- Elektronik sistem
- İç sistem
- Fiziksel hasar
- Canlıların zarar görmesi
- Elektrikli ve elektronik sistemlerin arızalanması
- Yıldırım elektromanyetik darbesi, LEMP
- Yıldırımdan korunma bölgesi, LPZ
- Risk, R
- Katlanılabilir risk, R_T
- Yıldırımdan korunma seviyesi, LPL
- Yıldırımdan korunma sistemi, LPS (dış, iç LPS)

- Hava sonlandırma sistemi
- İniş (indirme) iletkeni
- Toprak sonlandırma sistemi
- Dış iletken parçalar
- Yıldırım eşpotansiyel kuşaklaması
- Ekran teli
- LEMP korunma önlemleri sistemi, LMPS
- Manyetik ekran
- Darbe koruma cihazı, SPD
- Koordineli SPD koruması
- Darbe dayanma gerilimi, U_w
- Topraklama empedansı

Yıldırımdan dolayı meydana gelen hasar:

Yapıya verilen hasarın kaynakları:

S1: Yapıya yıldırım düşmesi

S2: Yapının yakınına yıldırım düşmesi

S3: Yapıya bağlı hizmet tesisatına yıldırım düşmesi

S4: Yapıya bağlı hizmet tesisatı yakınına yıldırım düşmesi

Yapıya verilen hasarın türleri:

D1: Dokunma ve adım gerilimleri nedeniyle canlıların zarar görmesi

D2: Yıldırım akımından ve onun ısı etkisinden meydana gelen hasar (yangın, patlama, mekanik hasar, kimyasal boşalma)

D3: LEMP aşırı gerilimleri nedeniyle elektrikli ve elektronik sistemler gibi iç sistemlerin arızalanması

Kayıp türleri:

L1: Can kaybı

L2: Kamu hizmetlerinin kaybı

L3: Kültürel miras kaybı

L4: Ekonomik kayıp (hizmet ve faaliyet kaybı)

Yıldırımdan korunma gereksinimi ve ekonomik uygunluk:

Bunun için TS EN 62305-2 Yıldırımdan Korunma Bölüm 2: Risk Yönetimi standardına göre risk değerlendirmesi yapmak gerekir. Riskler:

R1: Can kaybı riski

R2: Kamu hizmetlerinin kaybı riski

R3: Kültürel miras kaybı riski

R_T: Katlanılabilir risk düzeyi olmak üzere

$R > R_T$ ise koruma gerekli

$R \leq R_T$ ise koruma gerekli değildir.

Yıldırımdan korunmanın ekonomik uygunluğu:

R4: Ekonomik değer kaybı riski

C_{RL} : Korunma önlemleri varken kayıp maliyeti

C_{PM} : Korunma önlemlerinin maliyeti

C_L : Korunma önlemleri yokken kayıp maliyeti

$C_{RL} + C_{PM} < C_L$ ise korunma ekonomik bakımdan uygundur.

Korunma önlemleri:

1) Canlıların zarar görmesini azaltmak için önlemler

- Açıktaki iletkenlerin yalıtılması
- Eş potansiyelleme
- Fiziksel kısıtlamalar (engeller) ve uyarı levhaları

2) Fiziksel hasarı azaltmak için önlemler

- Yapılar için YKS
- Hizmet tesisatları için ekranlama

3) Elektrikli ve elektronik sistemlerin arızasını azaltmak için önlemler

Yapılar için

- Topraklama
- Manyetik ekranlama
- Hat güzergahı seçimi
- Koordineli SPD koruması

Hizmet tesisatları için

- SPD kullanımı
- Manyetik ekranlama

Yapıların ve hizmet tesisatlarının korunması için temel ölçütler:

Nesneyi topraklanmış, mükemmel iletken , yeterli kalınlıkta, sürekli örtü içine almak ve örtünün giriş noktasında yapıya bağlı hizmet tesisatı için yeterli bağlantı yapmaktır.

Uygulamada mümkün değil, ekonomik (maliyet-etkin) değil!

Yıldırımından korunma düzeyine göre koruma yapılmalıdır.

Yıldırımdan korunma düzeyleri, YKD
(Lightning Protection Level, LPL)

Dört koruma düzeyi vardır:

LPL I

LPL II

LPL III

LPL IV

Çizelge 5 – Yıldırım parametrelerinin en büyük değerleri

Akım parametreleri	Sembol	Birim	LPL			
			I	II	III	IV
Birinci kısa darbe						
Tepe değeri	I	kA	200	150	100	
Kısa darbe yükü	Q_{kisa}	C	100	75	50	
Özgül enerji	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Zaman parametreleri	$T1/T2$	$\mu s / \mu s$	10/350			
Sonraki kısa darbe						
Tepe değeri	I	kA	50	37,5	25	
Ortalama diklik	di/dt	kA/ μs	200	150	100	
Zaman parametreleri	$T1/T2$	$\mu s / \mu s$	0,25/100			
Uzun darbe						
Uzun darbe yükü	Q_{uzun}	C	200	150	100	
Zaman parametreleri	T_{uzun}	s	0,5			
Boşalma						
Boşalma yükü	$Q_{boşalma}$	C	300	225	150	

Yıldırımdan Koruma Sistemlerinin Tasarımı



Genel Kurallar

Bir yıldırımdan koruma sisteminin birincil görevi, canlıları ve eşyaları yıldırımın zararlı etkilerinden korumaktır.



“Yıldırımdan koruma sistemi (YKS) tasarımcısı”,

- Yıldırım boşalmasını ve etkilerini,
- Elektromanyetik uyumluluğu (EMU),
- Korozyon etkilerini,
- Yapıyla ilgili ekiplerle koordinasyonu ve
- Kalite güvence önlemlerini
bilmelidir.



Planlama Süreci

(Prosedürü)

YKS tasarımına başlamadan önce, tasarımcı
yapının işlevi,
genel tasarımı,
yapısı ve
yeri, konumu
hakkında bilgilere sahip olmalıdır.



YKS gerekli mi? değil mi?



Karar verenler:

1

Ruhsat veren kuruluş
Enerjiyi sağlayan kuruluş **veya**
Elektrik Mühendisleri Odası



YKS

Gerekli



Gereksiz



2

Yapı sahibi **veya** sigortacı

YKS

Gerekli



3

YKS tasarımcısı

YKS

Gerekli



Gereksiz



A Korunacak yapının
sınıflandırılması

A Risk değerlendirme ve
gerekli koruma
seviyesinin belirlenmesi

A Dış YKS tipinin seçimi

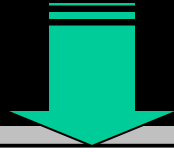
B Malzeme tipi
(korozyon problemleri)
(alevlenebilir yüzeyler)

B YKS bileşenlerinin
boyutlandırılması

B Doğal bileşenler



YKS'nin tasarım akış diyagramı (1/3)



B Yakalama ucu sistemi

B Yatay çatı
iletkenleri kafes
sistemi

B Düşey
yakalama
çubukları

B Hava hattı
şeklinde
yakalama telleri

B Doğal
yakalama
uçları

B İndirme iletkeni sistemi

B Çıplak telli
indirme
iletkenlerinin
tasarımı

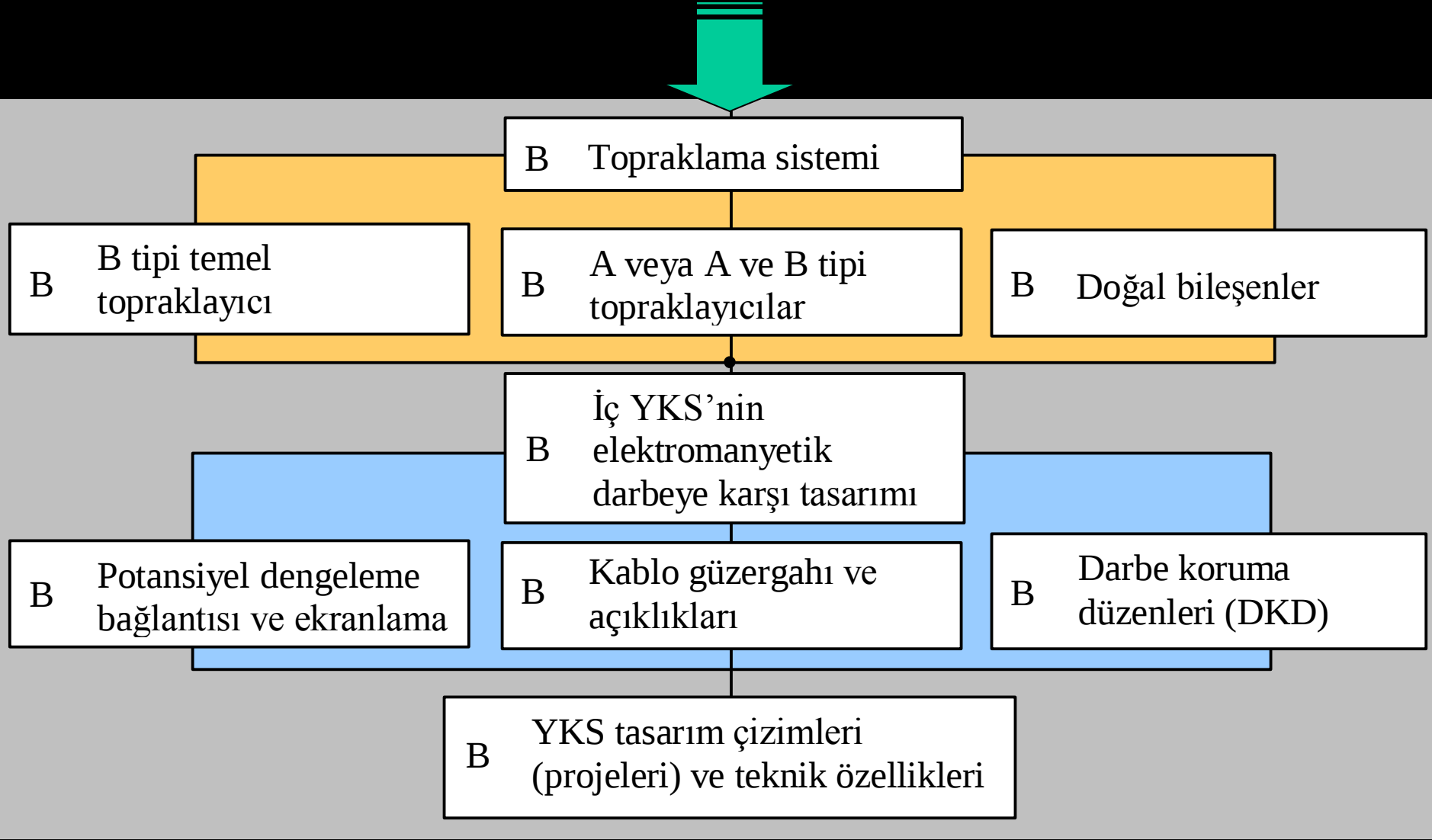
B Örtülmüş
veya
açıkta

B Gerekli
iletken
sayısı

B Doğal
bileşenler



YKS'nin tasarım akış diyagramı (2/3)



YKS'nin tasarım akış diyagramı (3/3)

Danışma

(Konsültasyon, Görüş Alışverişi)

1) Genel bilgi

Yeni bir yapının tasarım ve yapım aşamalarında, YKS tasarımcısı, YKS tesisatçısı ve yapıdaki tesislerden sorumlu bütün kişiler, birbirlerine danışmalıdır.



Bir YKS'nin tasarımı ve yapımı aşamalarında;
yapıdan,
kullanımından,
tesislerinden ve
yapıya giren altyapı hizmetlerinden sorumlu
kişiler/kuruluşlar arasında görüş alışverişleri yapılmalıdır.

Çalışmalar sırasında
yapı sahibine,
yükleniciye veya
onların temsilcilerine
danışılmalıdır.





2) Başlıca danışılan ekipler

Yıldırımdan koruma tasarımcısı, yapının sahibi dahil yapının tasarımı ve yapımı ile ilgili tüm ekiplerle teknik görüş alışverişlerinde bulunmalıdır.



Mimar



**YKS
Tasarımcısı**



Yüklenici



Mühendis



**Yapı
Sahibi**

Başlıca Danışılan Ekipler



Tesisatçı



Güvenlik



Mimar

i) Mimar ile

- Bütün YKS iletkenlerinin geçeceği yerler,
- YKS bileşenlerinin malzemeleri,
- Bütün metal boruların, yağmur suyu sistemlerinin, rayların ve benzer bölümlerin ayrıntılı bilgileri,
- YKS'ye bağlanması gereken ve yapı içinde veya yakınında tesis edilecek donanım, aygıt, tesisler vb. detayları,
- Topraklama sisteminin konumunu etkileyebilecek ve YKS'den güvenli bir uzaklıkta bulunması istenen gömülü iletken alt yapı hizmet borularının durumu,
- Topraklama ağı için kullanılabilecek genel alan,
- YKS'nin yapıya tespit noktalarındaki sorumluluk alanları,
- Yapıda kullanılacak iletken malzemelerin durumu,
- YKS'nin görsel çarpıcılığı,
- Binaya giren dış iletken parçaların betonarme demirlerine bağlantı noktaları.

konularında anlaşmaya varmalıdır.

**YKS
Tasarımcısı**



ii) Genel hizmetler (Su, gaz, elektrik, telefon, ...)

Yapıya gelen hizmetlerin YKS'ye bağlanmasının kabul edilebilirliği ile ilgili anlaşmaya varılmalıdır.

iii) Yangın ve güvenlik yetkilileri ile

- Alarm ve yangın söndürme sistemi bileşenlerinin konumları,
- Kanalların güzergahları, yapı malzemesi ve sızdırmazlığı,
- Alevlenebilir çatıya sahip bir yapı durumunda, alınacak önlemler konularında anlaşma sağlanmalıdır.

iv) Elektronik sistem ve dış anten tesisatçıları ile

- YKS'ye kablo kılıflarının ve anten direklerinin bağlanması,
- Anten kablosu güzergahı ve iç şebeke ile ortak kullanım için aygıtların tesis şekli,
- Darbe koruma düzenlerinin (DKD) tesisi

konularında anlaşmaya varılmalıdır.

**YKS
Tasarımcısı**



Yüklenici

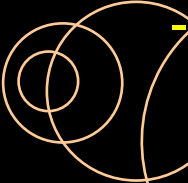


**YKS
Tasarımcısı**

v) **Yüklenici ve tesisatçı ile**

- Yüklenici tarafından sağlanacak YKS'ye ilişkin ana tespit noktalarının sayısı, şekli, konumu,
- Yüklenici tarafından tesis edilecek olan ve YKS tesisatçısı tarafından sağlanan YKS bağlantı elemanları,
- Yapının altına yerleştirilecek YKS iletkenlerinin konumu,
- Çelik iskeletli yapılar için, YKS'nin topraklama ve diğer bileşenlerinin bağlantılarının yapılmasında tespitin şekli ve demir payandaların konumu ve sayısı,
- YKS'nin bileşeni olarak metal kaplamanın kullanılmaya uygun olup olmadığı,
- YKS'nin bileşeni olarak metal kaplamanın kullanılmaya uygun olduğu durumda, kaplama parçalarının elektriksel sürekliliği sağlama yöntemi ve YKS'nin geri kalanına bu parçaların bağlantı yöntemi,

- Taşıyıcı sistemler, tv ve radyo antenleri ve onların metal direkleri, metal bacalar ve cam temizleme donanımları içeren toprağın altındaki veya üstündeki yapıya giren alt yapı hizmetlerinin yeri ve yapısı,
- Enerji ve iletişim hizmetlerinin bağlanması ile yapının YKS topraklama sisteminin koordinasyonu,
- Bayrak direklerinin, çatı seviyesindeki odaların sayısı ve konumu,
- Özellikle yapının su sızdırmazlığını korumak açısından YKS iletkenlerinin tespitine uygun yöntemleri belirlemek için çatılar ve duvarlar için kullanılacak yapılaş,
- YKS indirme iletkenlerinin serbestçe geçmesine izin verecek yapı içindeki deliklerin hazırlanması,
- Çelik iskelete, betonarme demirlerine ve yapının diğer iletken parçalarına bağlantıların yapılmasının hazırlığı,
- Erişilmez olacak YKS bileşenlerinin denetim sıklığı; örneğin beton içindeki çelik betonarme demirleri,

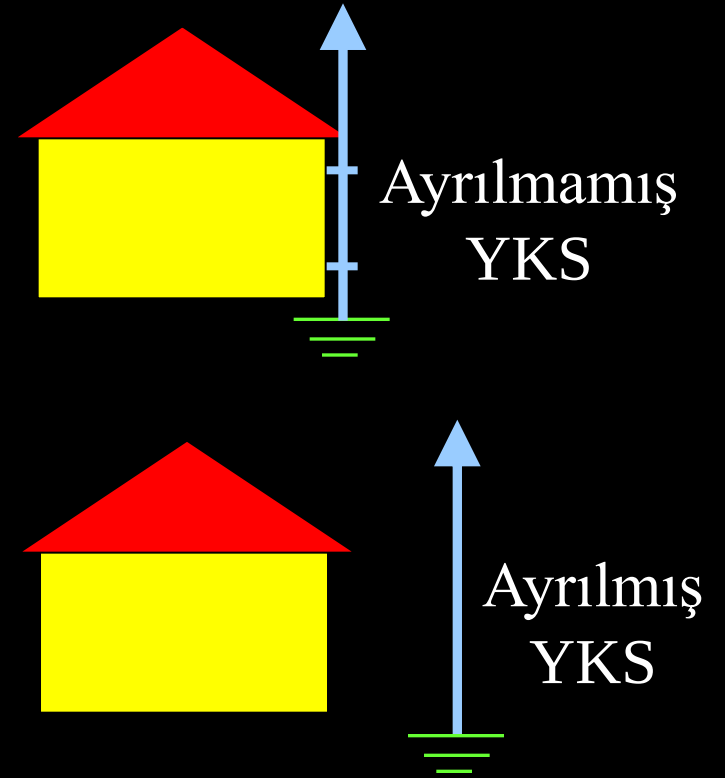
- 
- Farklı metaller arasında dokunma noktalarında korozyonu dikkate alarak iletkenler için en uygun metalin seçimi,
 - Deney ek yerlerinin erişilebilirliği, özellikle bacaların periyodik bakımı için yapılacak düzenek, bayrak direklerinin veya diğer hareket edebilir nesnelerin yüksekliklerinin azaltılması, mekanik hasara veya hırsızlığa karşı metalik olmayan kaplama ile alınacak korunma önlemleri,
 - Yukarıdaki detayları dikkate alarak çizimlerin hazırlanması ve bütün iletkenlerin ve ana bileşenlerin konumlarının gösterilmesi,
 - Betonarme demirlerine bağlantı noktalarının yerleri

Dış YKS'nin tasarımı

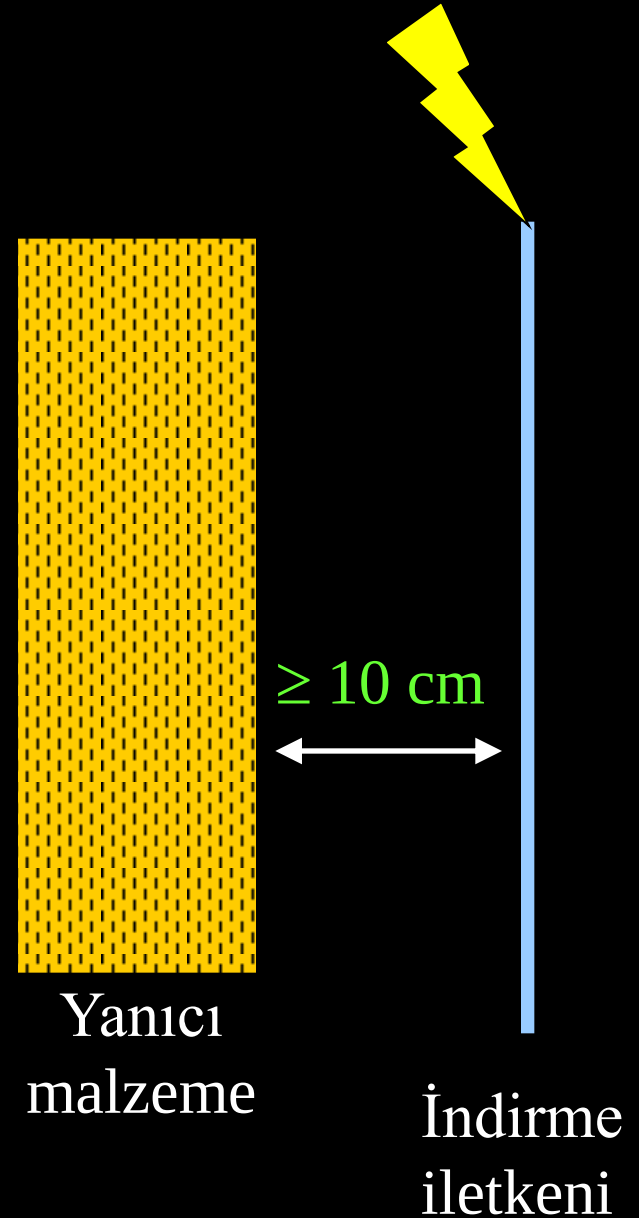
1) Genel bilgi

Çoğunlukla dış YKS, korunacak yapıya bitişiktir.

YKS'den yıldırım akımının akmasının yapıda hasara sebep olabileceği durumlarda yapıdan ayrılmış bir dış YKS kullanılmalıdır.



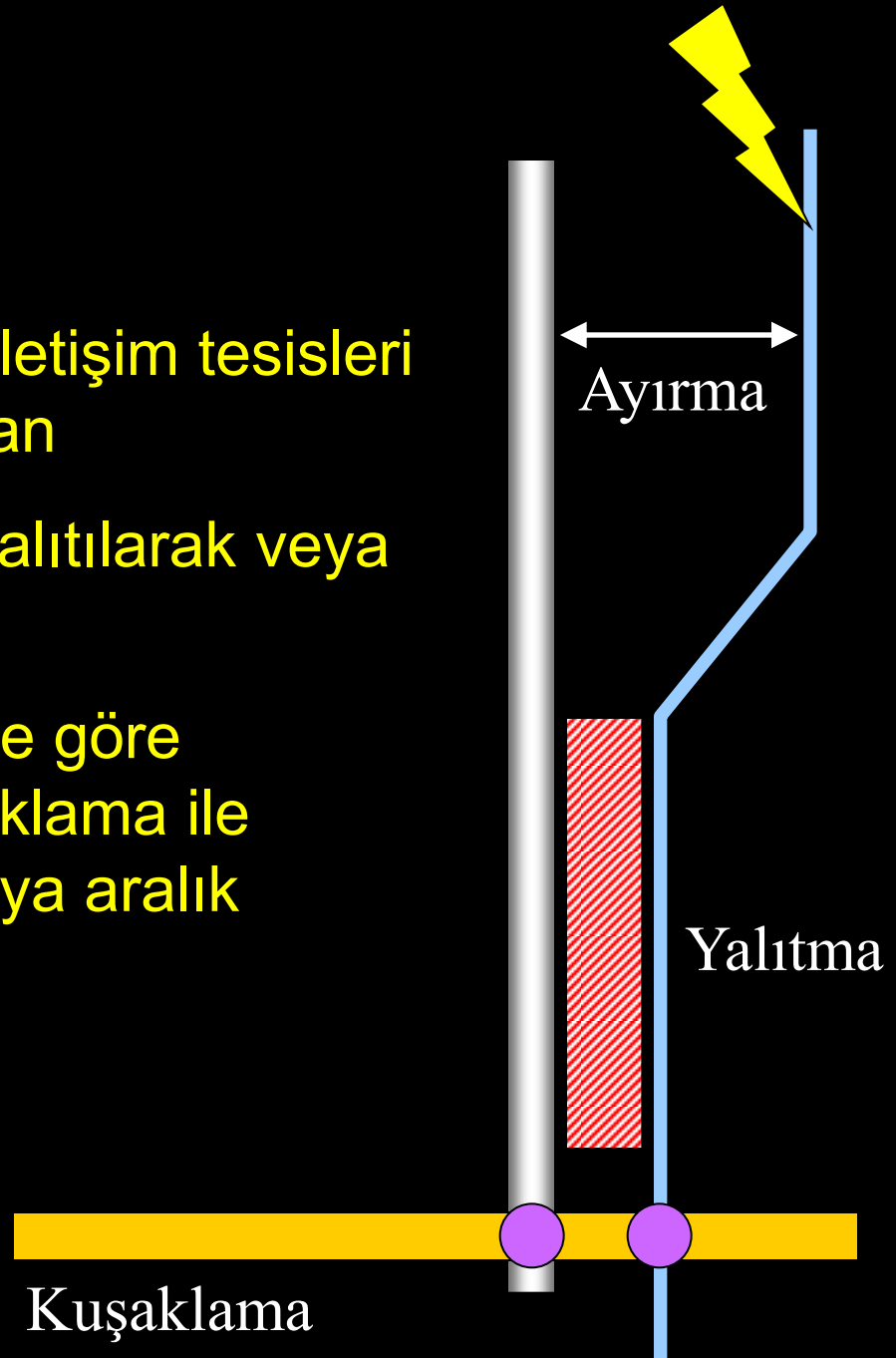
Yıldırım akımının aktığı iletkenler üzerindeki ısı etkilerin yapıda veya korunacak hacim içindekilerde hasara sebep olabileceği durumlarda, YKS iletkenleri ile alevlenebilir malzeme arasında en az 10 cm açıklık olmalıdır.



YKS ile metal, elektrik ve iletişim tesisleri arasında tehlikeli atlamadan

- Ayrılmış YKS'de yalıtılarak veya aralık bırakılarak,
- Ayrılmamış YKS'de göre eşpotansiyel kuşaklama ile veya yalıtılarak veya aralık bırakılarak

kaçınılabılır.



YKS'nin Konumlandırılması

Dış YKS iletkenlerinin konumlandırılması YKS tasarımına temel oluşturur,

korunacak yapının şekline,

istenen koruma seviyesine ve

kullanılan geometrik tasarım yöntemine

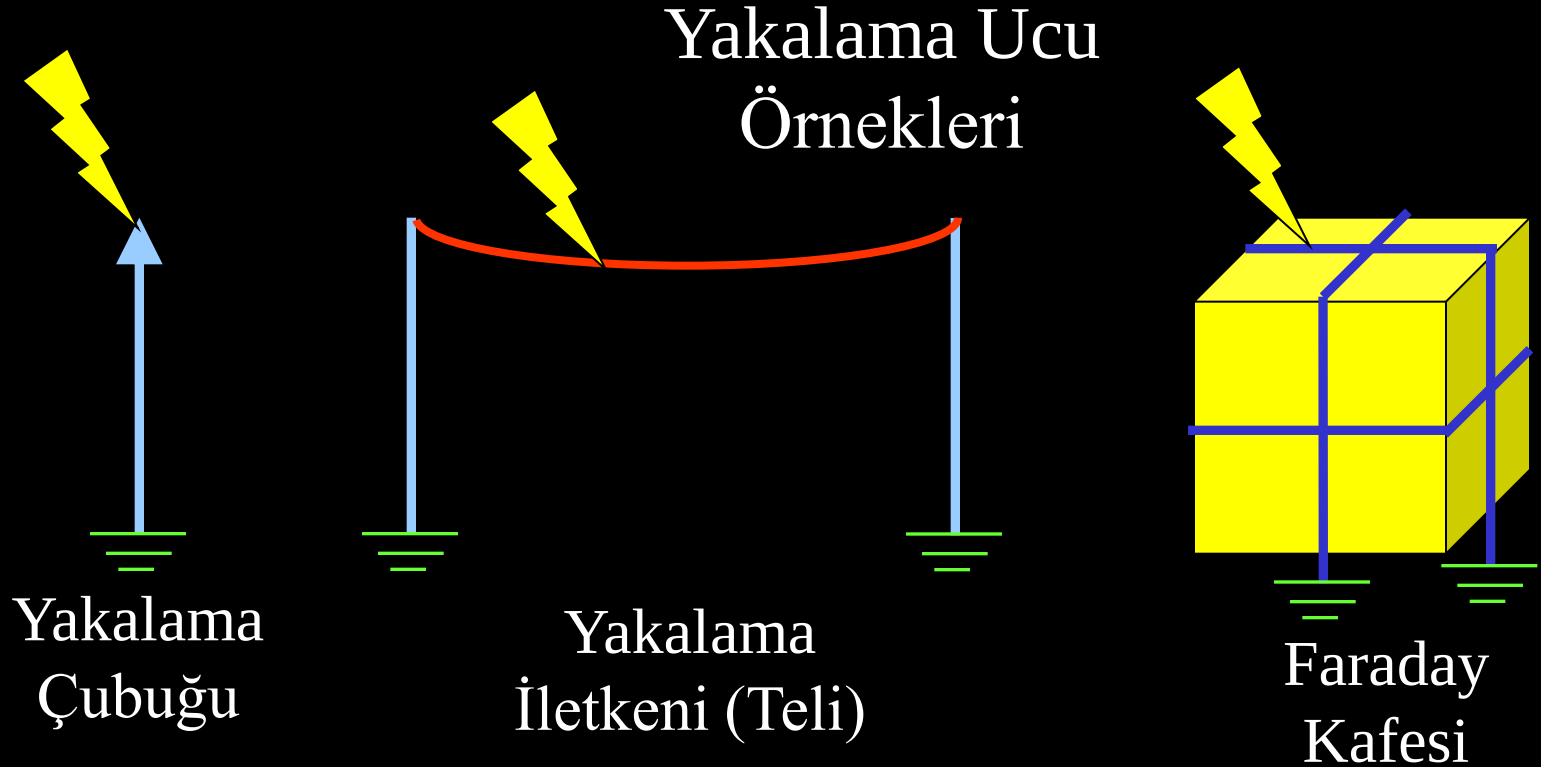
bağlıdır.

Yakalama ucunun tasarımı, yapının koruma bölgesini ortaya çıkarır ve indirme iletkenlerinin, topraklama sisteminin ve iç YKS'nin tasarımı ona göre yapılır.

2) Yakalama ucu sisteminin tasarımı

2.1) Genel

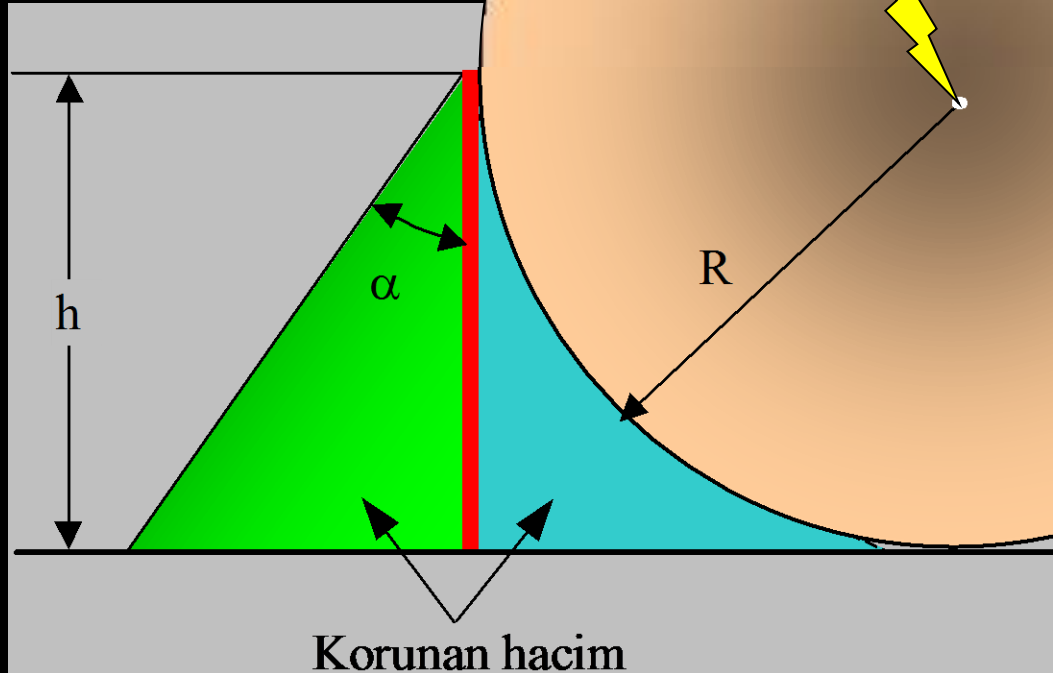
Bir yakalama ucu sisteminin düzenlenmesinde Çizelge-1'deki koşulların tümü yerine getirilmelidir.



Çizelge 1. Yakalama ucunun koruma seviyesine göre yerleştirilmesi

Koruma	h (m)	20	30	45	60	Kafes genişliği
Seviyesi	R (m)	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	(m)
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	15
IV	60	55	45	35	25	20

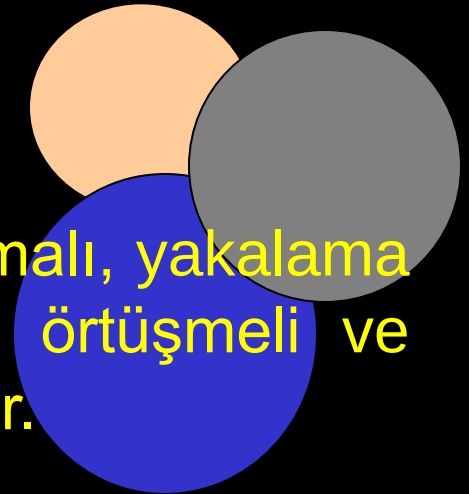
* Bu durumlarda sadece yuvarlanan küre yöntemi kullanılır.



Yakalama ucu sisteminin tasarımında kullanılan yöntemler

- 1- Koruyucu açığı yöntemi**
- 2- Yuvarlanan küre yöntemi**
- 3- Kafes yöntemi**

Bu yöntemler, tek başına veya birlikte kullanılmalı, yakalama uçları tarafından yaratılan koruma bölgeleri örtüşmeli ve yapının tamamen korunduğu kesinleştirilmelidir.



Koruma yöntemi YKS tasarımcısı tarafından seçilebilir.

Yöntem seçimi

- Koruyucu aç yöntem, basit yapılar için, veya daha büyük yapıların küçük bölümleri için uygundur.
- Yuvarlanan küre yöntemi karmaşık geometrili yapılar için uygundur.
- Kafes yöntemi genel amaçlar için olup, özellikle düz yüzeylerin korunması için uygundur.

**YKS
Tasarımcısı**

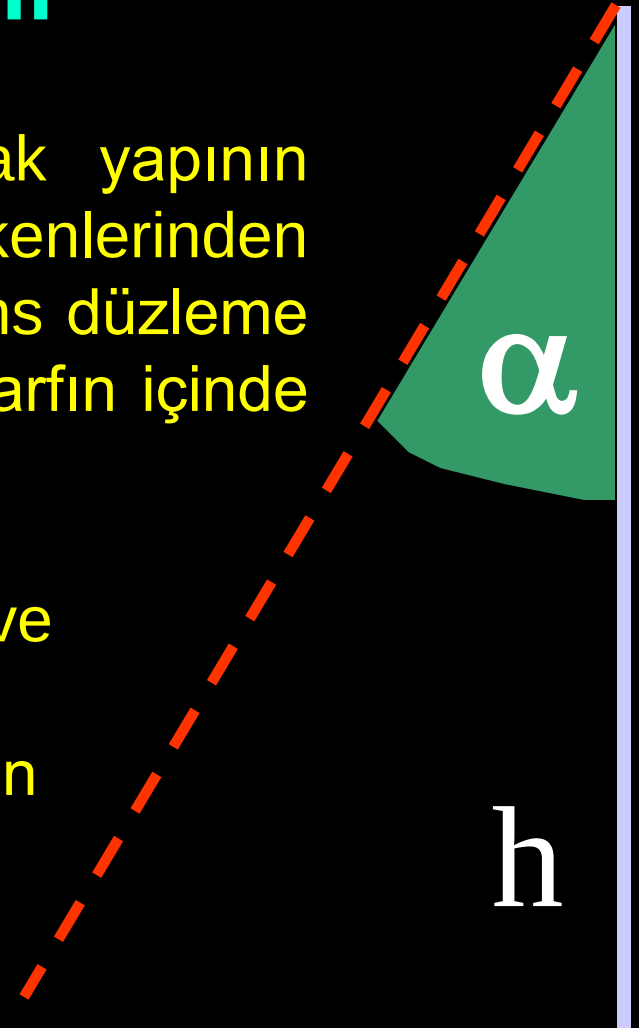


2.2) Koruyucu aç  yöntemi

Yakalama ucu iletkenleri, korunacak yapının bütün bölümleri, yakalama ucu iletkenlerinden her yönde düşeyle α açısında referans düzleme düşen noktalar tarafından yaratılan zarfın içinde kalacak şekilde konumlandırılmalıdır.

α koruma açısı, Çizelge-1'den alınan ve korunacak yüzeyin üstünden yakalama ucunun yüksekliğini gösteren h değerine uygun olmalıdır.

Tek bir uç, bir koni yaratır.

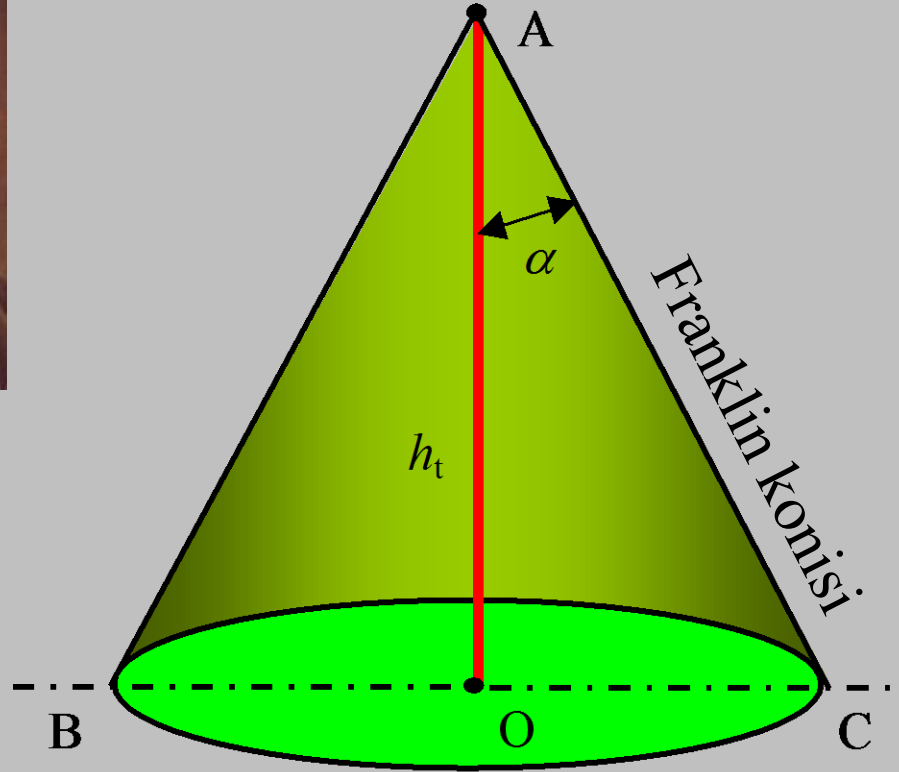




Benjamin Franklin

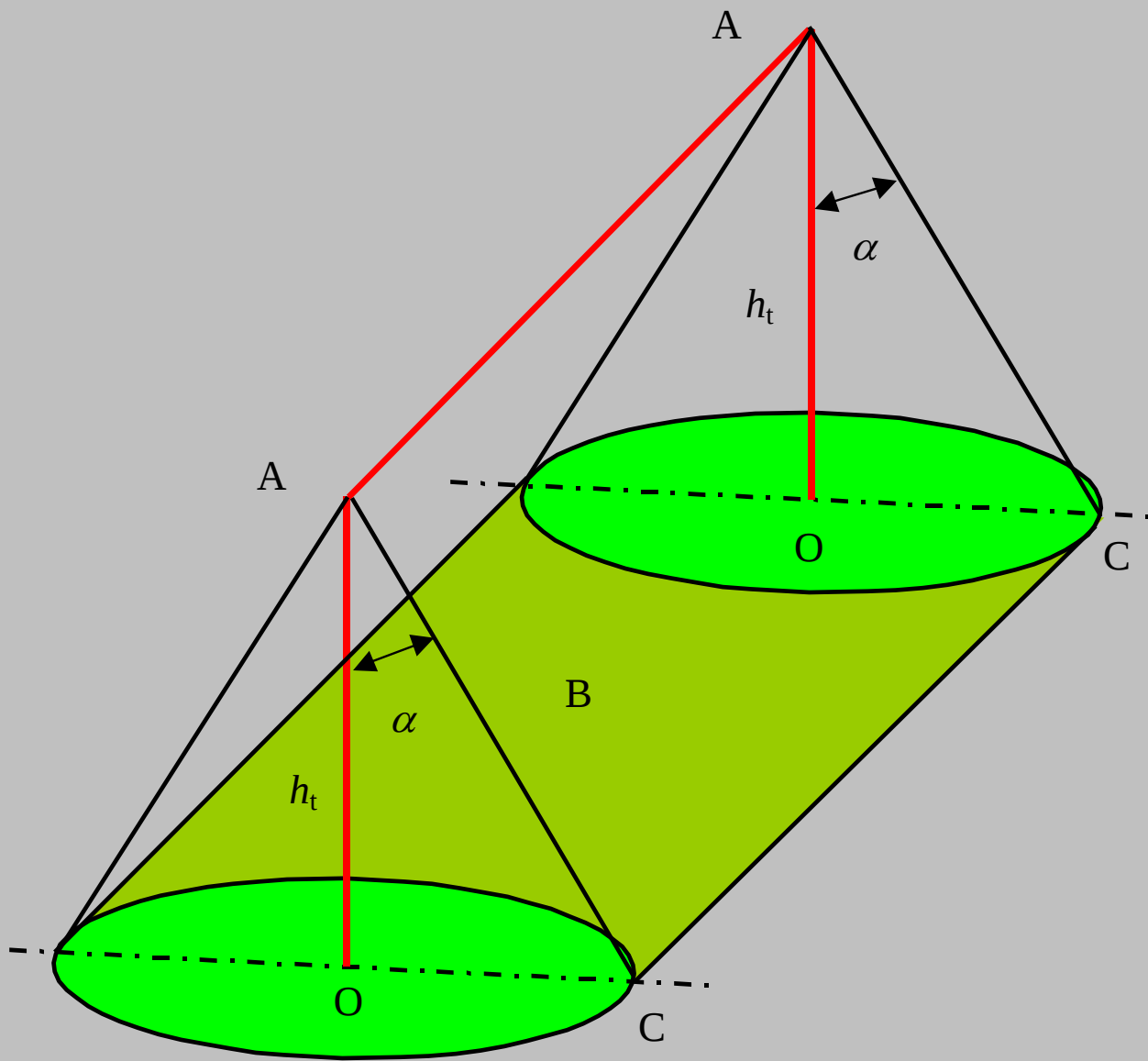
1706-1790

Amerikalı filozof, fizikçi
ve devlet adamı



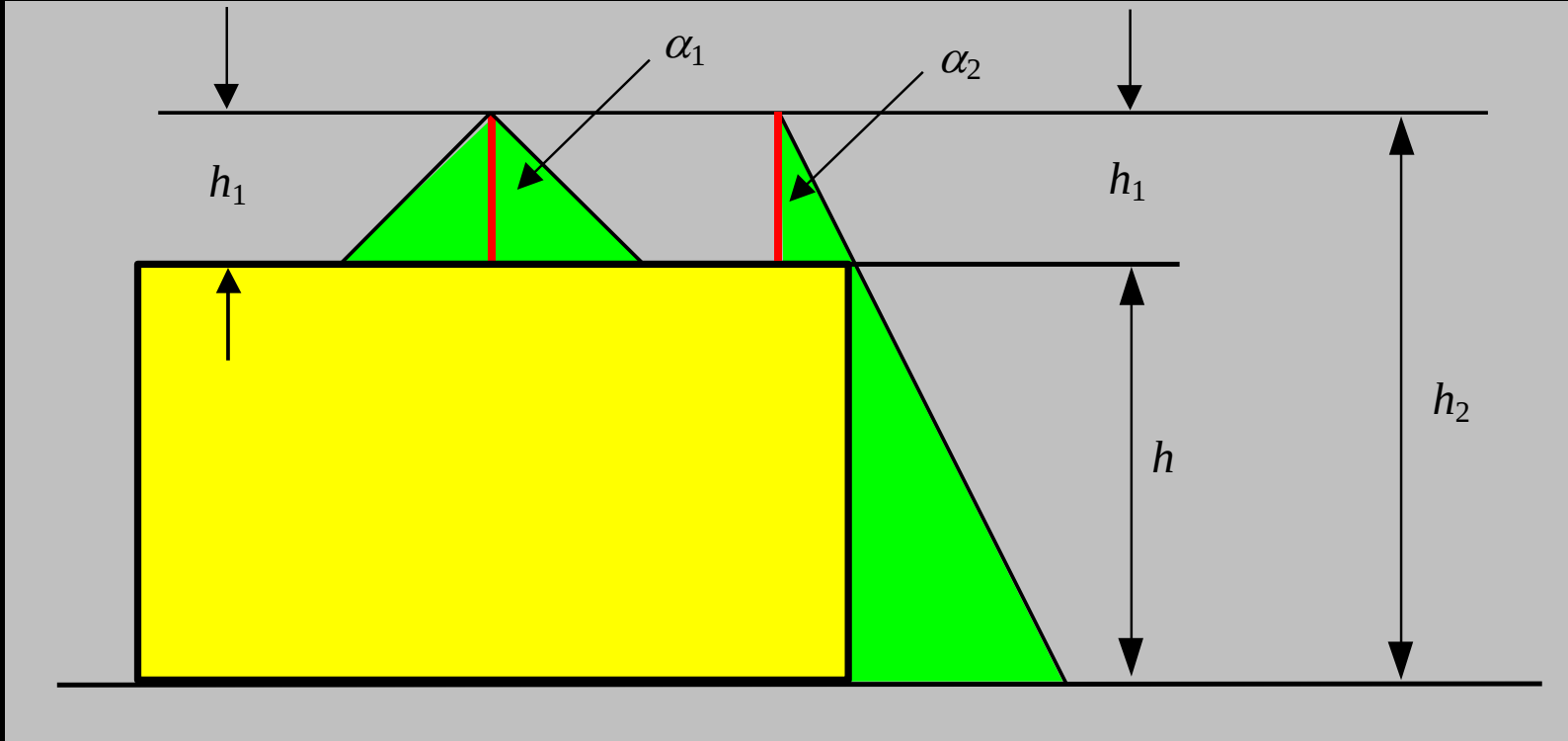
- A Yakalama çubuğunun ucu,
- B Referans düzlem,
- OC Koruma alanının yarıçapı,
- h_t Yakalama çubuğu ucunun referans düzleminden yüksekliği,
- α Çizelge-1'deki koruma seviyesine uygun koruma açısı.

Şekil –10 Tek bir yakalama çubuğu tarafından oluşturulan konik koruma bölgesi.



Şekil-11 Çizelge-1'e uygun olarak koruyucu açı yöntemine göre tasarlanmış yatay yakalama iletkeninin koruma bölgesi

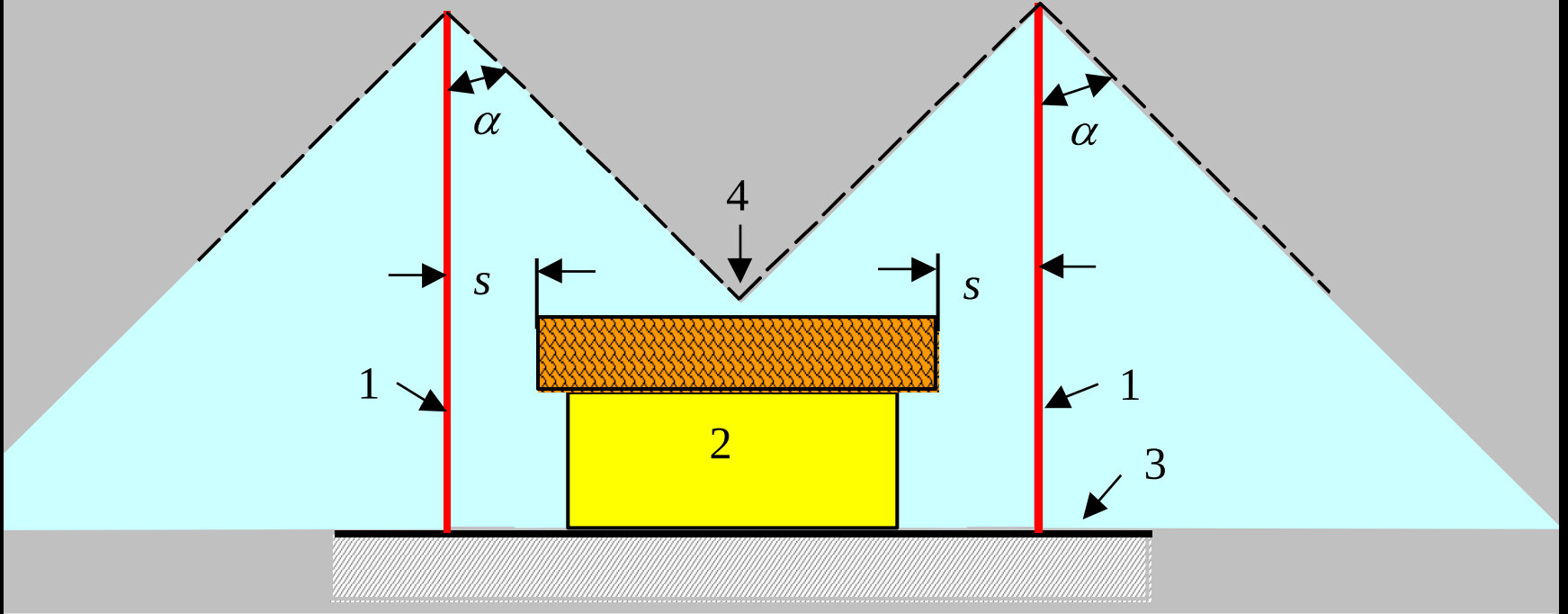
Çizelge-1'e göre, α koruma açısı, korunacak yüzeyin üstündeki farklı yakalama ucu yükseklikleri için farklıdır.



h_1 Bir yakalama çubuğunun boyu

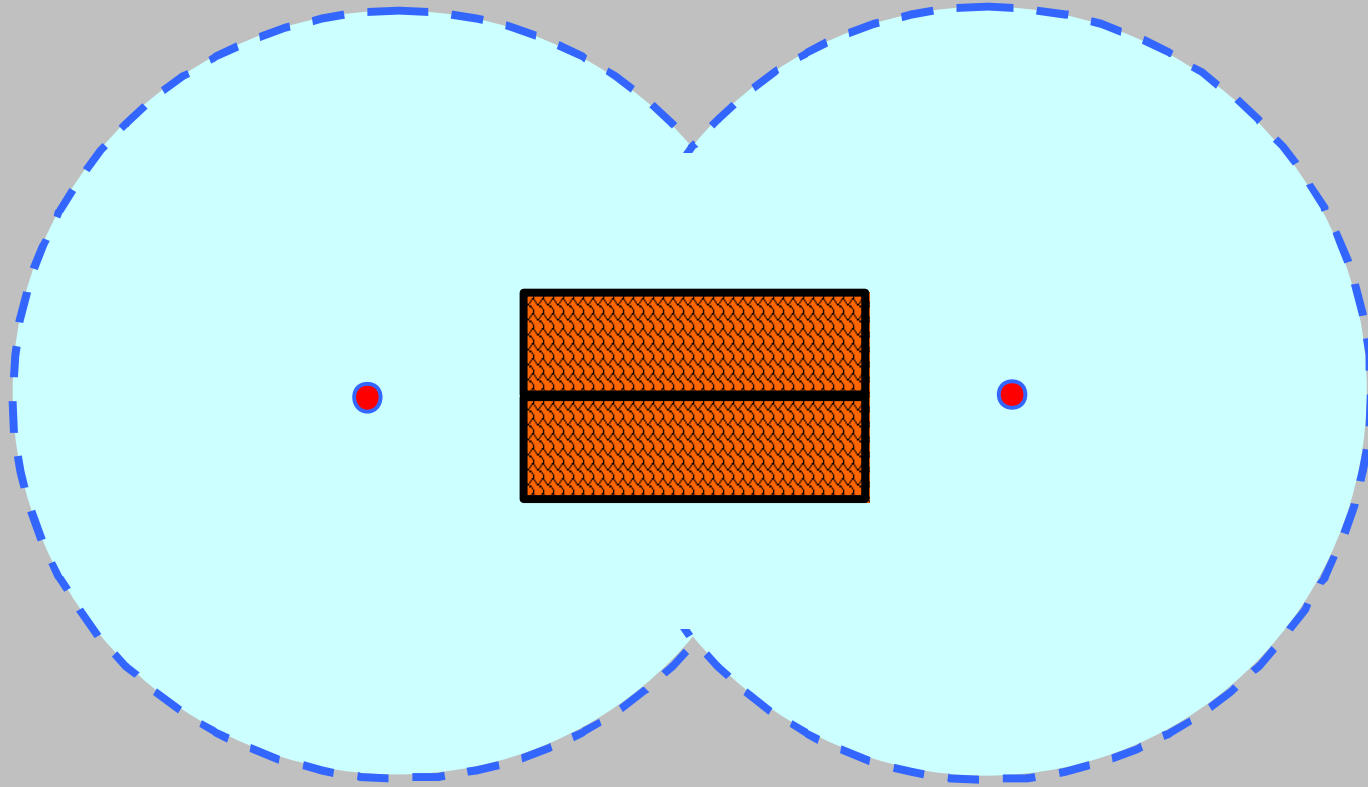
Not: Çatı yüzeyinde yüksekliği h_1 olan yakalama ucu için koruma açısı α_1 ; toprak referans düzleminden $h_2 = h_1 + h$ yüksekliğindeki yakalama ucu için koruma açısı α_2 'dir.

Şekil-12 Çizelge-1'e göre farklı yüksekliklerdeki yakalama uçlarının koruyucu açı yöntemine göre koruduğu bölgeler



- 1 Yakalama ucu direği,
- 2 Korunan yapı,
- 3 Referans düzlem,
- 4 Koruma konileri arasındaki kesişim,
- s Madde 7-b'ye göre ayırma aralığı,
- α Çizelge-1'e uygun koruma açısı.

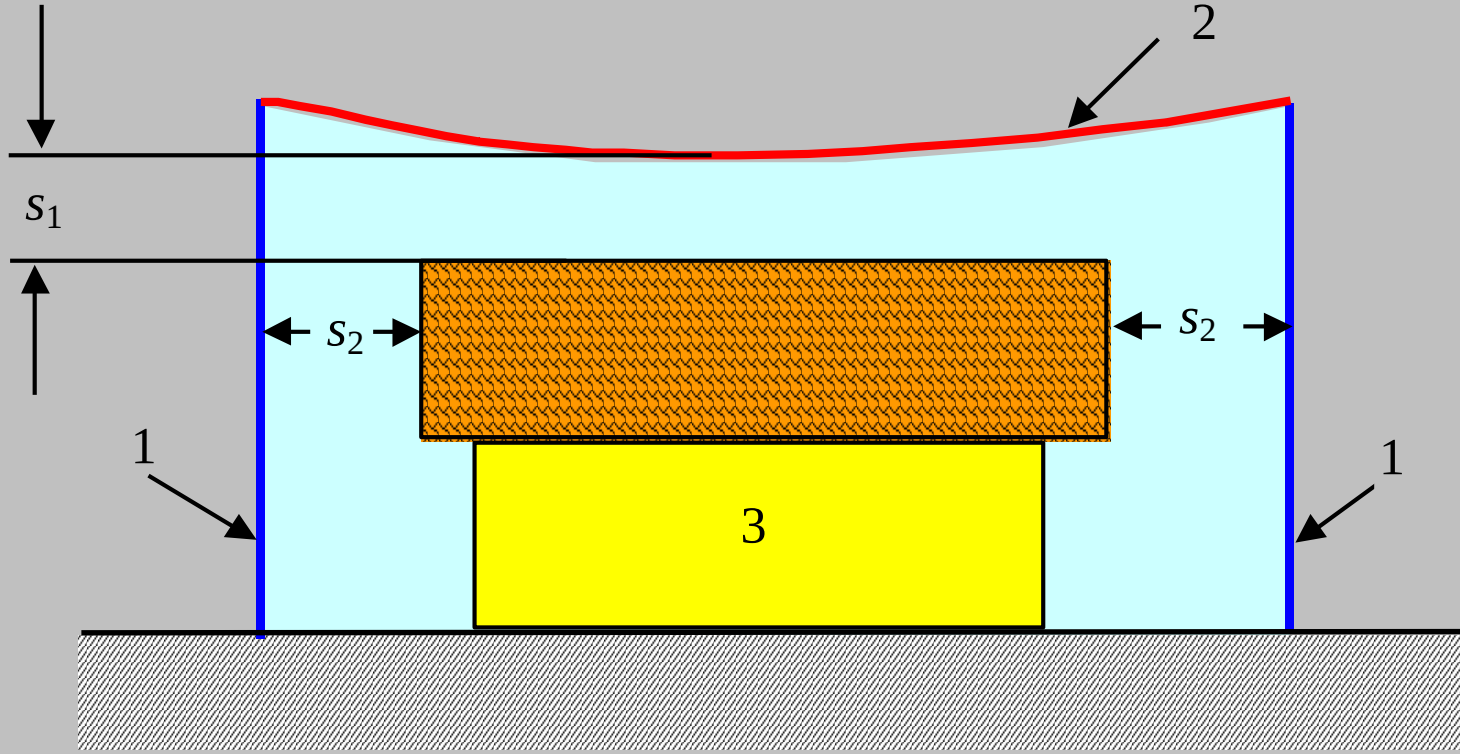
Şekil-13.a Düşey düzlemdeki izdüşüm



Not : İki çember, referans düzlemi üzerindeki korunmuş alanı belirtir.

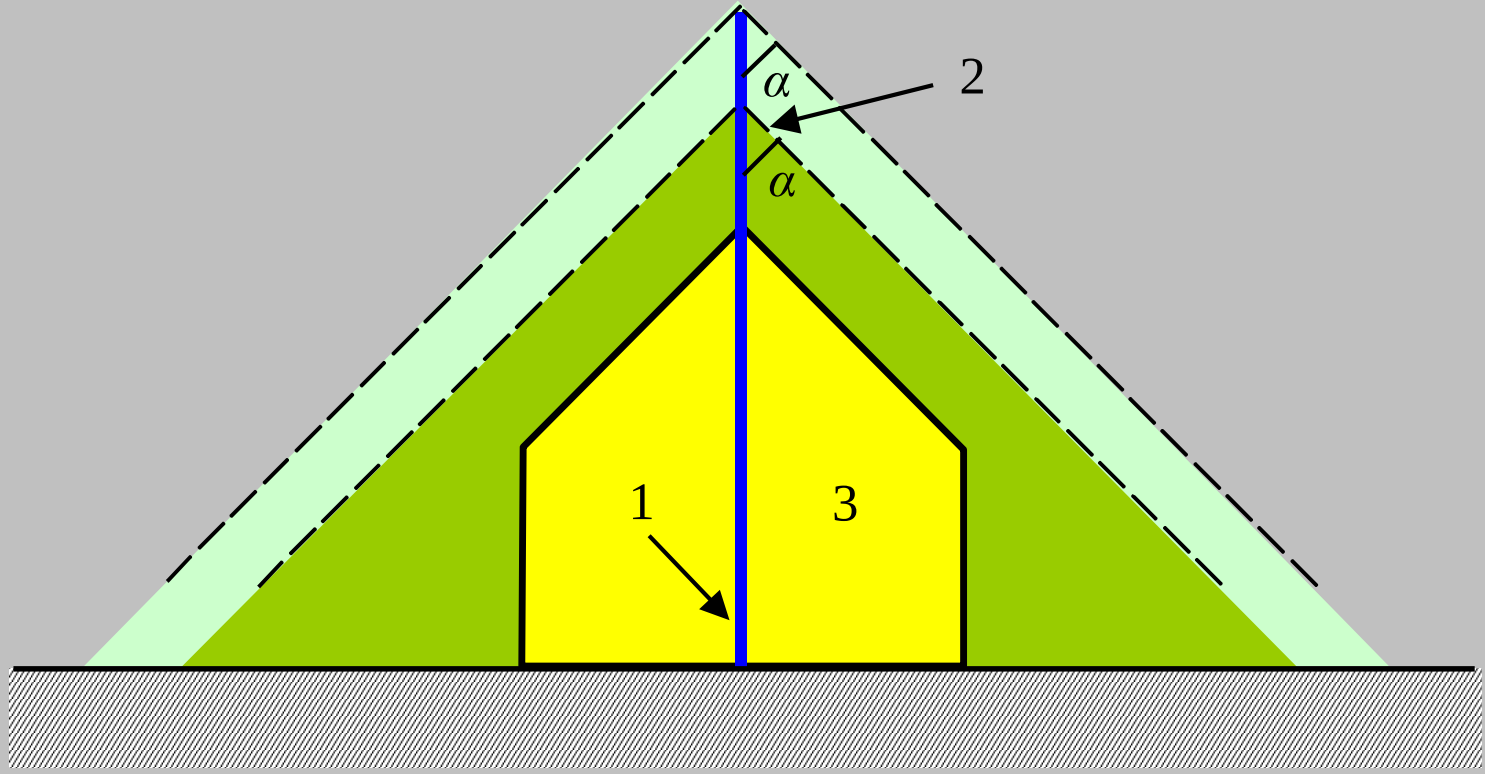
Şekil-13.b Yatay referans düzlemde izdüşüm

Şekil-13 Koruyucu açılı yöntemine göre iki adet yakalama ucu direği kullanarak gerçekleştirilmiş bir ayrılmış dış YKS



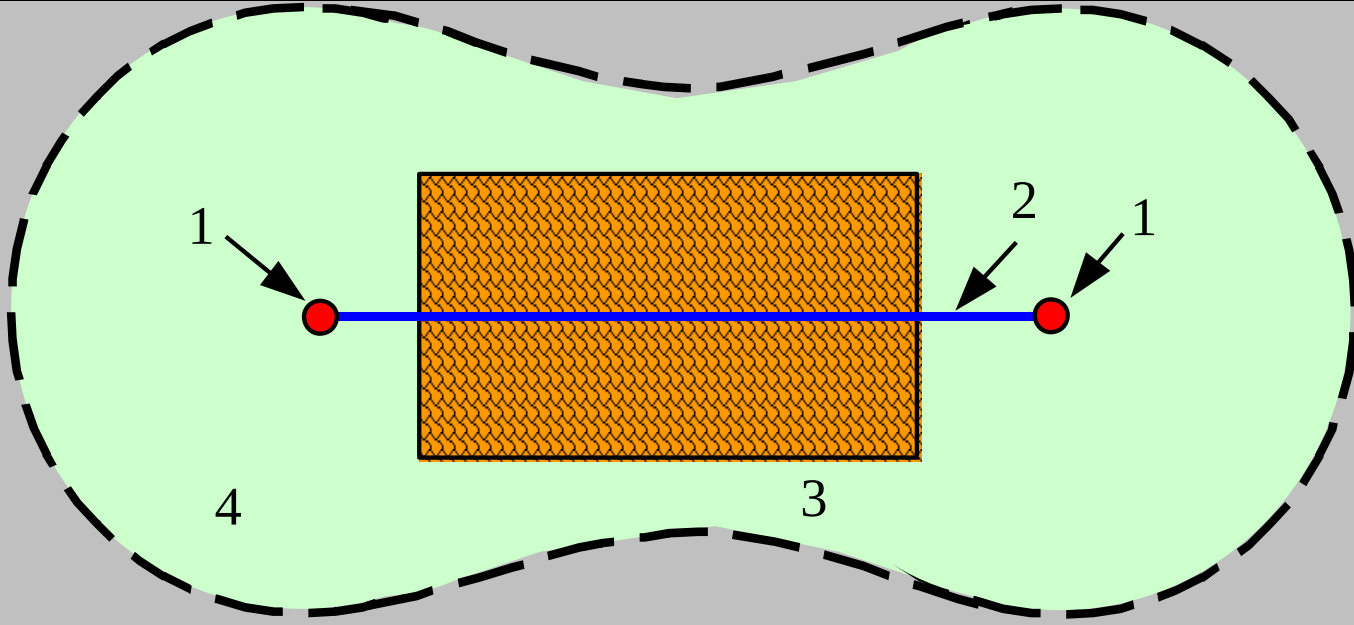
- 1 Yakalama ucu direği,
2 Yatay yakalama iletkeni,
3 Korunan yapı,
 s_1, s_2 Madde 7-b'ye göre ayırma uzaklıkları.

Şekil-14.a İki direğin düşey düzlemdeki izdüşümü



- 1 Yakalama ucu direği,
- 2 Yatay yakalama iletkeni,
- 3 Korunan yapı,
- α Koruma açısı.

Şekil-14.b İki direktan geçen düzleme dik düşey düzlemdeki izdüşüm

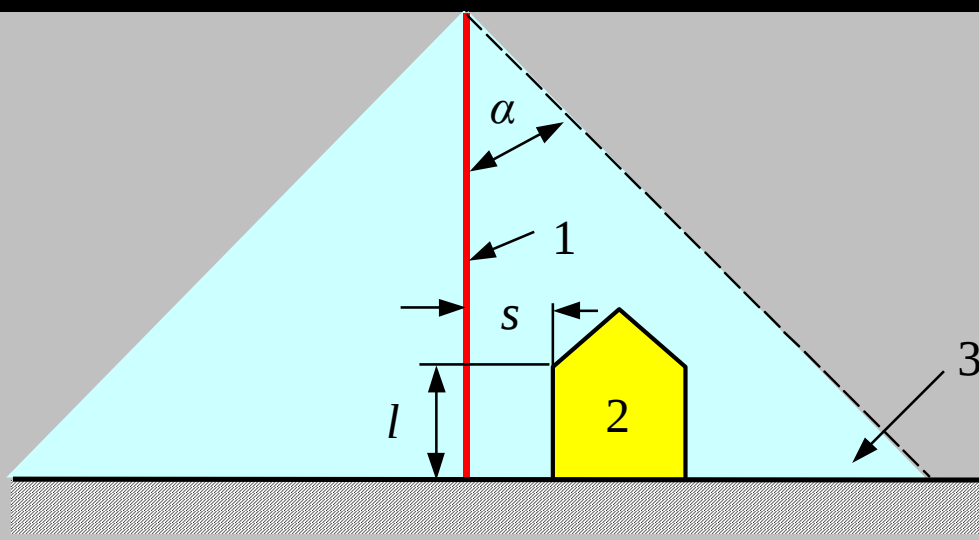


- 1 Yakalama ucu direği,
- 2 Yatay yakalama iletkeni,
- 3 Korunan yapı,
- 4 Referans düzlemde korunan bölge.

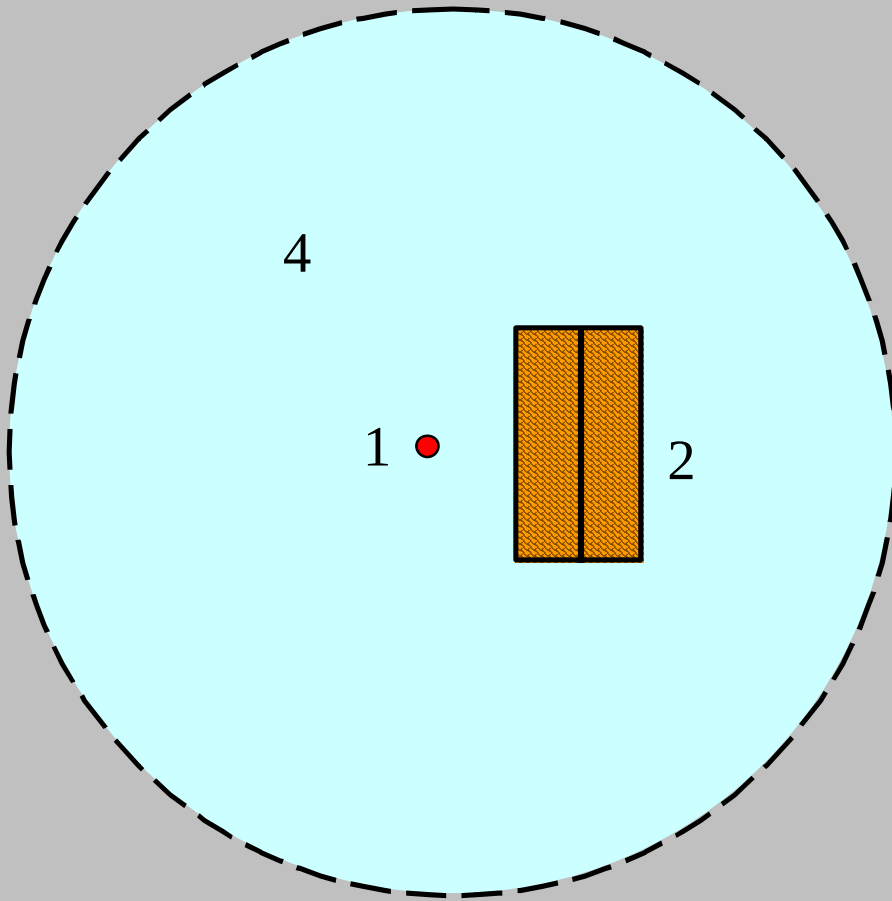
Not: Yakalama ucu yüksekliği 20 m'yi aşarsa, yandan atlama riski vardır.

Şekil-14.c Yatay referans düzlem üzerinde izdüşüm

Şekil-14 Aralarında yatay yakalama iletkeni ile bağlı, iki yakalama ucu direğinden oluşan ayrılmış dış YKS

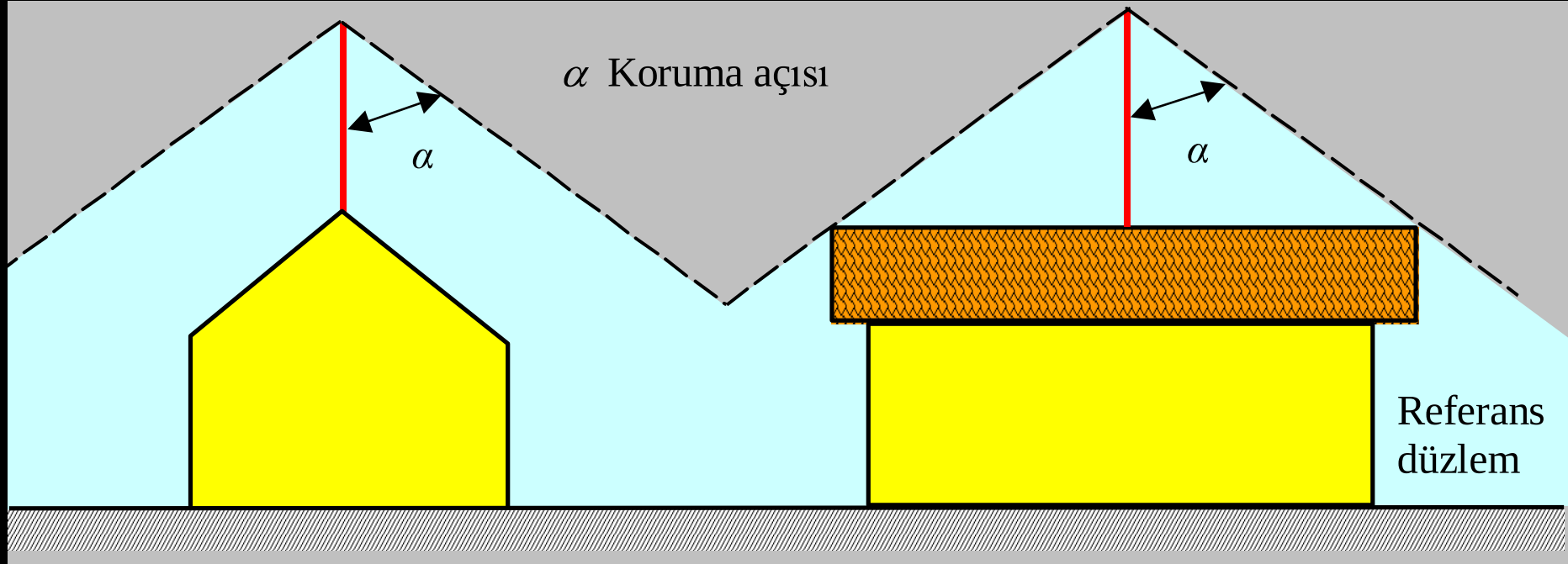


- 1 Yakalama ucu direği,
- 2 Korunan yapı,
- 3 Referans düzlem,
- 4 Referans düzlemde korunan alan,
 l d güvelik açıklığına karşı düşen
 uzunluk,
- α Koruma açısı,
- s Madde 7-b'ye göre ayırma açıklığı



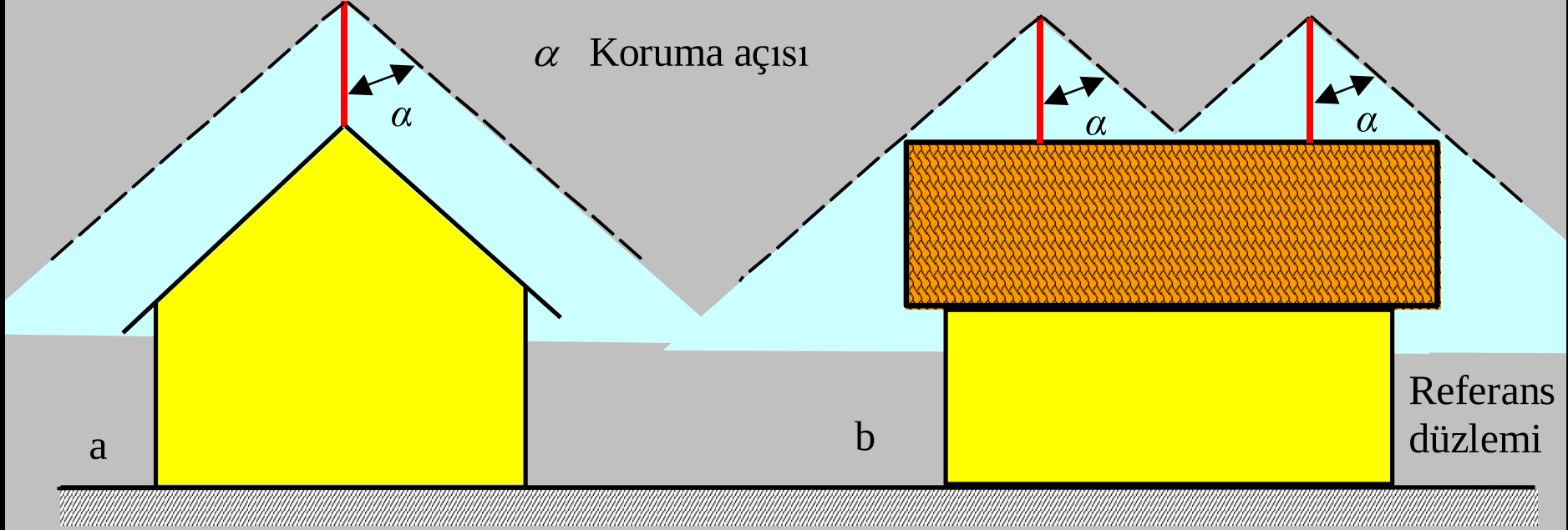
Not: Yakalama ucu direği yapının tamamı direğin koruma konisi içinde kalacak şekilde tasarlanmalı ve yapılmalıdır.

Şekil-15 Bir adet yakalama ucu direği kullanan yapılar için ayrılmış dış YKS



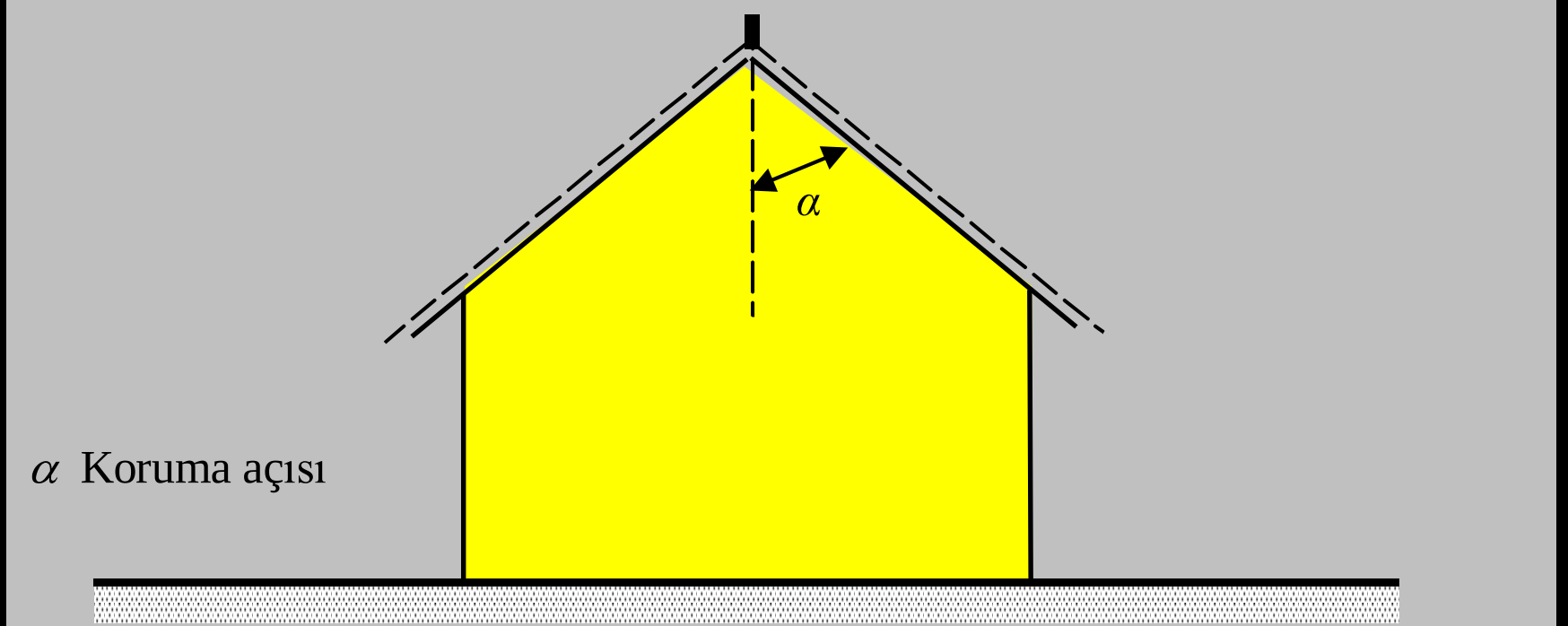
Not: Yakalama ucunun tepesi Çizelge-1’de verilen değerlerden yüksek olmamalıdır.
Toprak seviyesi, referans düzlem olarak kabul edilir.

Şekil-16 Koruyucu açı yöntemi kullanılarak düz çatılı bir yapı yüzeyinde ayrılmamış
YKS yakalama ucunun tasarımına bir örnek

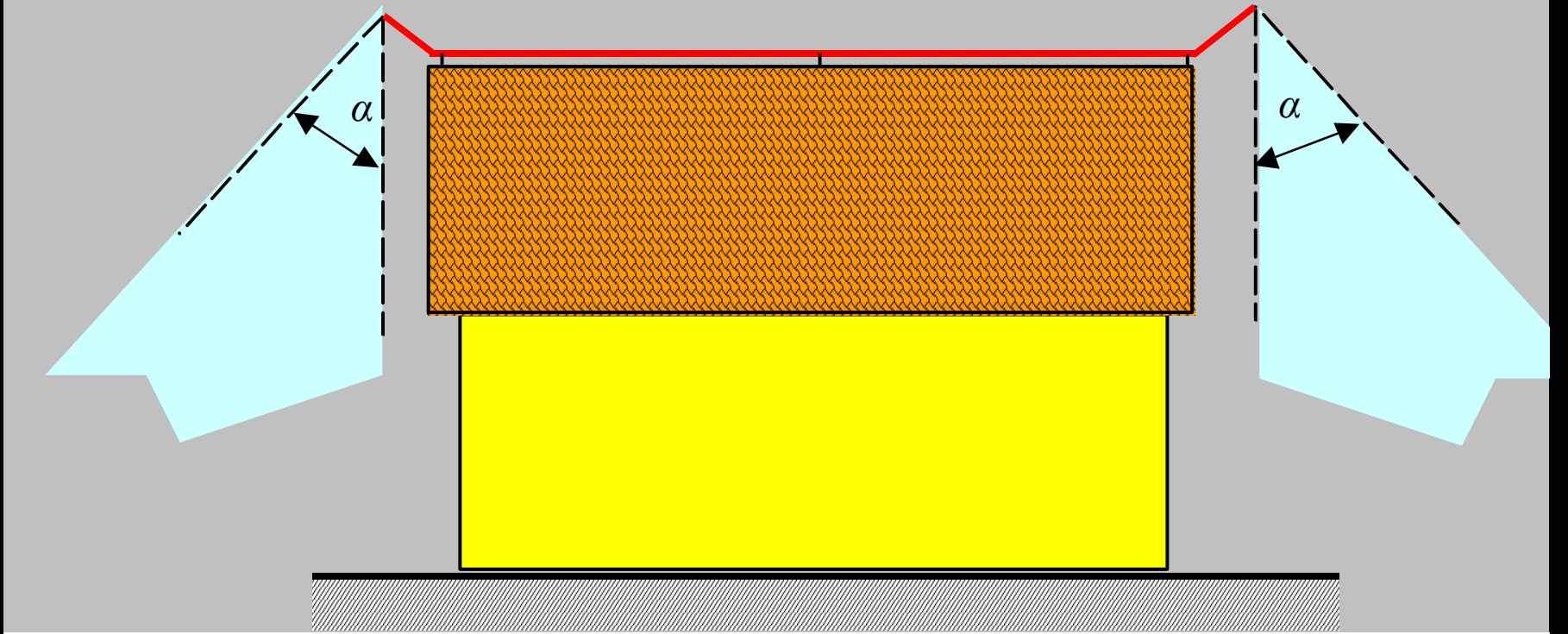


Not : Şekil-17.a ve Şekil-17.b'deki tüm yapı yakalama çubuklarının koruma konileri içinde kalmalıdır.

Şekil-17 Koruyucu açı yöntemine göre yakalama çubukları ile ayrılmamış YKS'nin yakalama ucu tasarımına örnek



Şekil-18.a İletkenin bulunduğu düzleme dik düşey düzlem üzerinde izdüşüm



α Koruma açısı

Şekil-18.b İletkenin bulunduğu düşey düzlemdeki izdüşüm

Not : Yapının tümü korunan hacim içinde olmalıdır.

Şekil-18 Koruyucu açı yöntemine göre yatay bir iletkenle ayrılmamış
YKS'nin yakalama ucu tasarım örneği

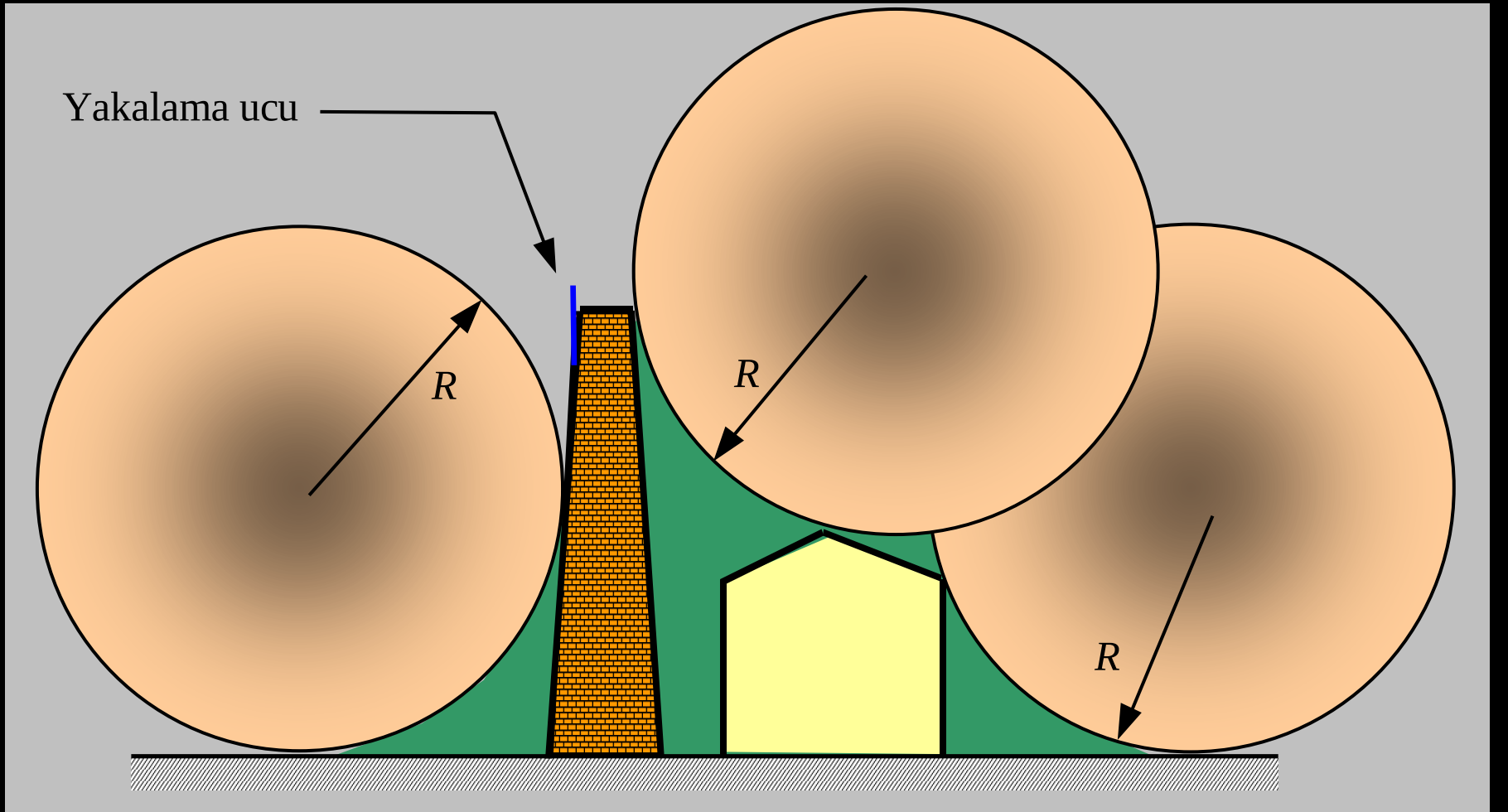
2.3) Yuvarlanan küre yöntemi

Çizelge-1'e göre koruyucu açılı yönteminin kullanılmadığı durumlarda; yuvarlanan küre yöntemi kullanılmalıdır.

Bu yöntemin uygulanmasında, korunan hacmin hiçbir noktası; yuvarlanan küreye temas etmiyorsa bir yakalama ucu sisteminin kullanılması uygundur.

Yuvarlanan kürenin yarıçapı, Çizelge-1'e göre YKS'nin seçilen koruma seviyesi ile uyumlu olmalıdır.

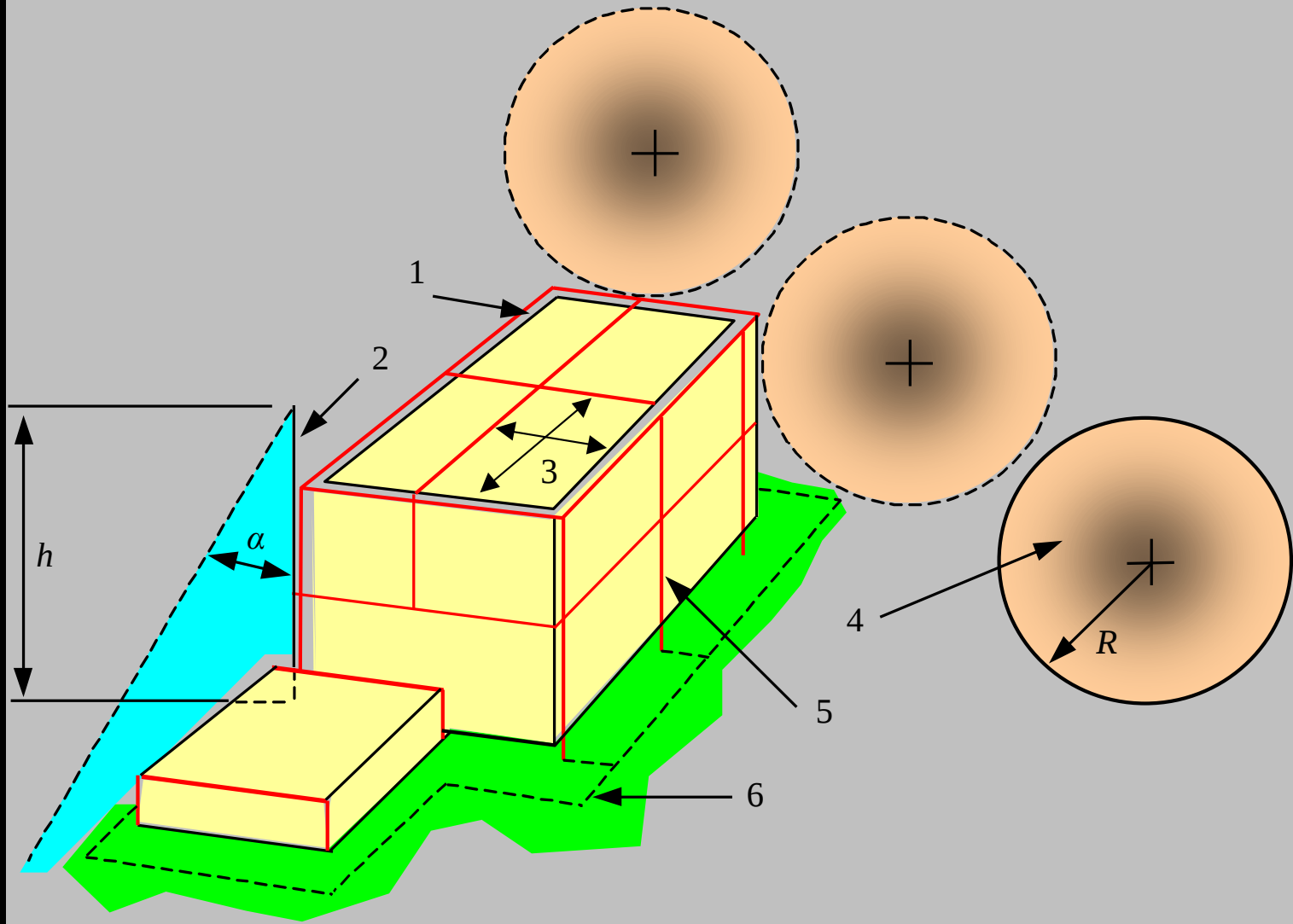
İletken bir yıldırım topu gibi hareket edebilme yeteneğine sahip R yarıçaplı küre, yerle temastaki bir nesneye, herhangi bir yapıya veya toprağa dokunana kadar yapının üstünde ve çevresinde dolaştırılır (yuvarlanır). Yuvarlanan kürenin yapıya dokunduğu noktalara yıldırım çarpabilir ve bu noktaların bir yakalama ucu ile koruması gerekir.



R Çizelge-1'e göre yuvarlanan küre yarıçapı

Not : YKS yakalama ucu iletkenleri seçilen koruma seviyesine uygun yarıçaplı yuvarlanan kürenin dokunacağı bütün noktalara ve parçalara tesis edilir.

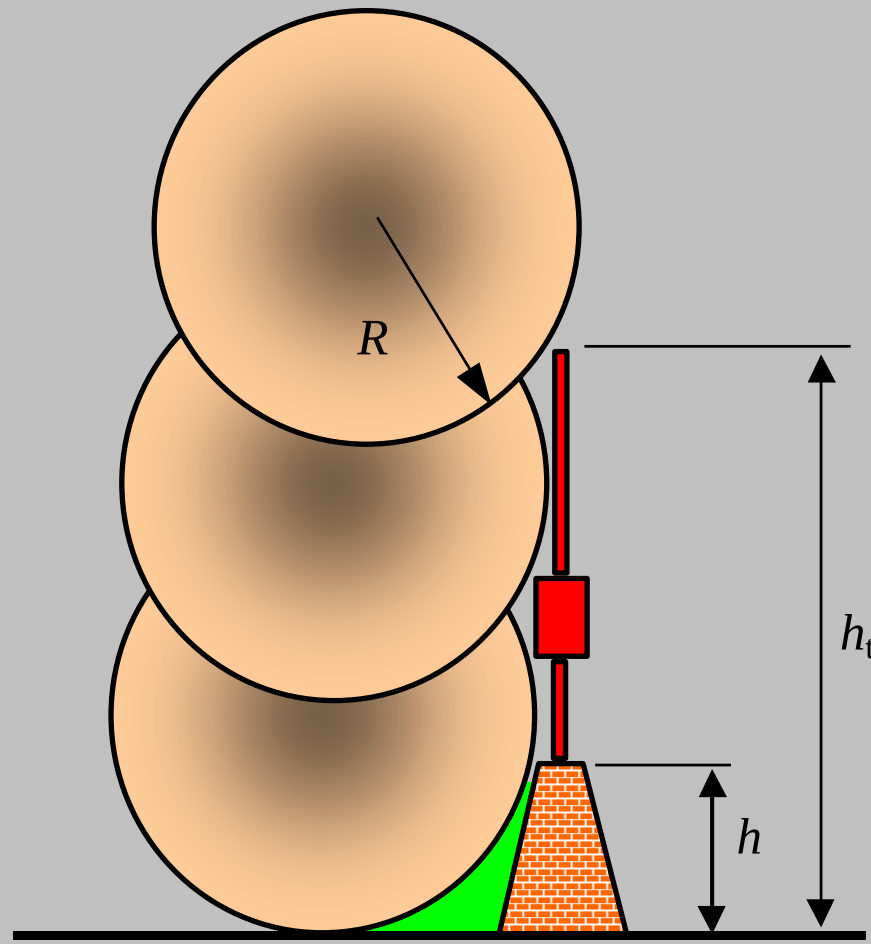
Şekil-19.a Yuvarlanan küre yöntemine göre bir YKS'nin yakalama ucu tasarımı



- 1 Kafes iletkeni,
- 2 Kafes çubuğu,
- 3 Kafes boyutu,
- 4 Yuvarlanan küre,
- 5 İndirme iletkeni,
- 6 Topraklama elektrodu,
- h Yakalama ucunun yerden yüksekliği,
- α Koruma açısı,
- R Çizelge-1'e göre yuvarlanan kürenin yarıçapı.

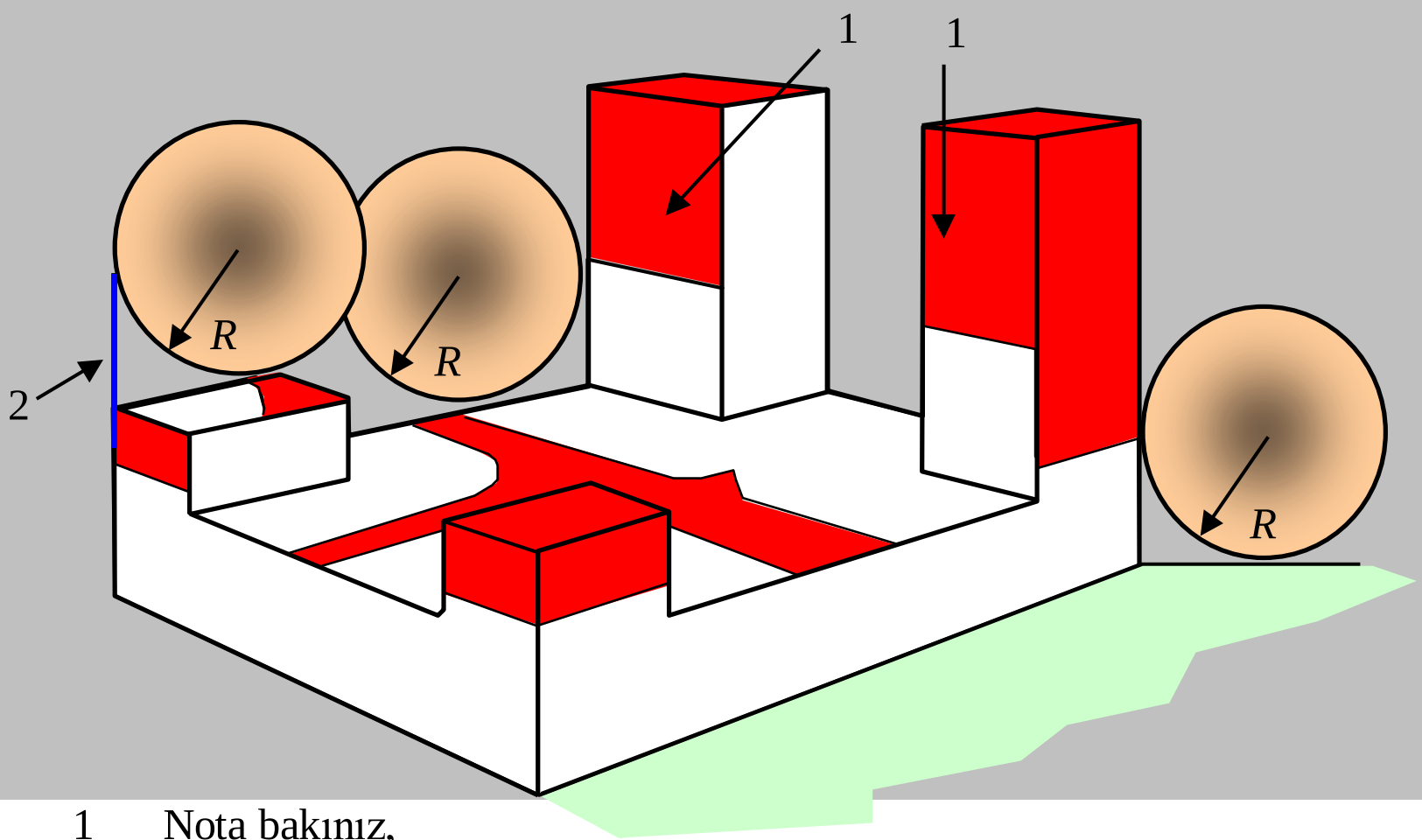
Şekil-19.b Yakalama ucu elemanlarının genel düzenlemesi

Şekil-19 Yuvarlanan küre yöntemine göre bir YKS'nin yakalama ucu tasarımı ve yakalama ucu elemanlarının genel düzenlenmesi



- R Çizelge-1'e göre yuvarlanan kürenin yarıçapı,
 h_t Kule, direk ve yakalama ucunun toplam yüksekliği,
 h Kule yüksekliği.

Şekil-20 Yuvarlanan küre yöntemi kullanılarak bir kule üzerindeki YKS'nin tasarımı



1 Nota bakınız,

2 Yapı üzerindeki direk,

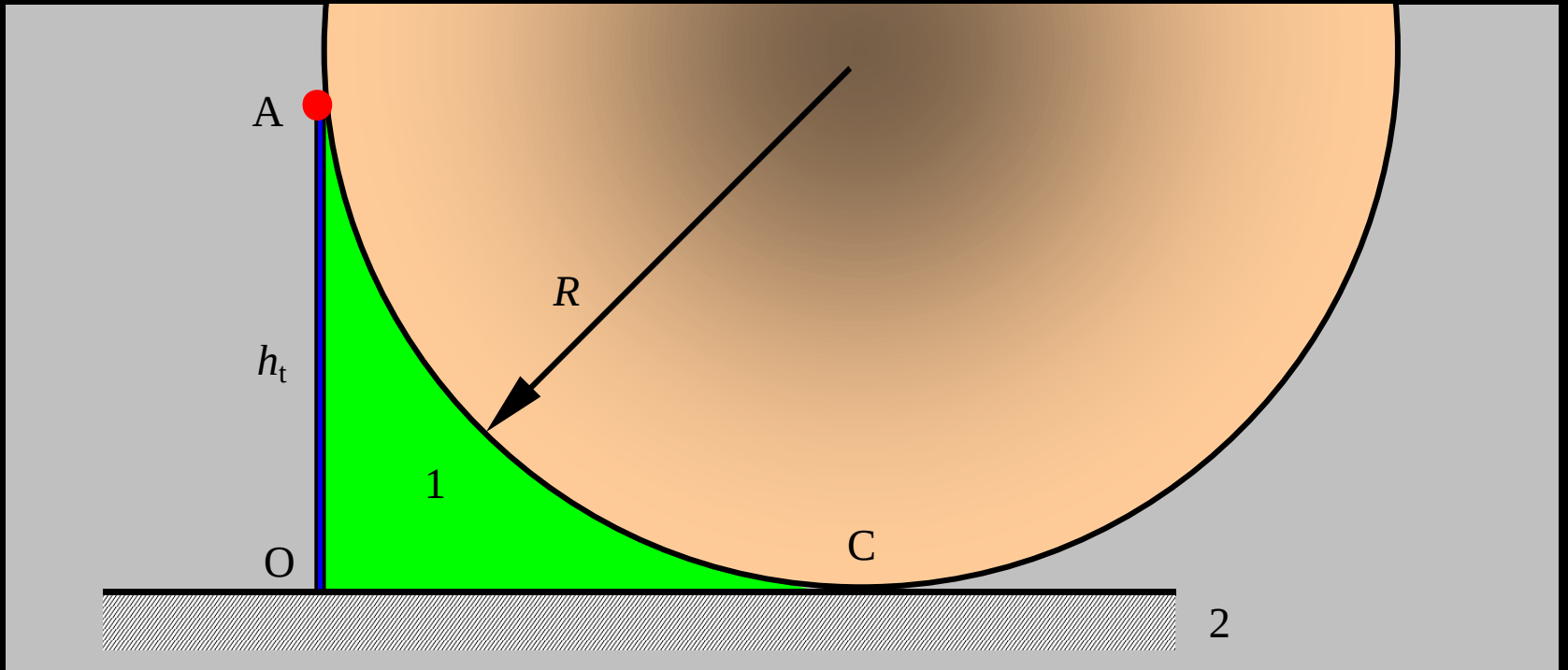
R Çizelge-1'e göre yuvarlanan kürenin yarıçapı.

Not: Taralı alanlar yıldırım çarpmasına maruzdur ve Çizelge 1'e göre korunması gerekir.

Şekil-21 Girintili çıkıntılı bir yapıda YKS'nin tasarımı

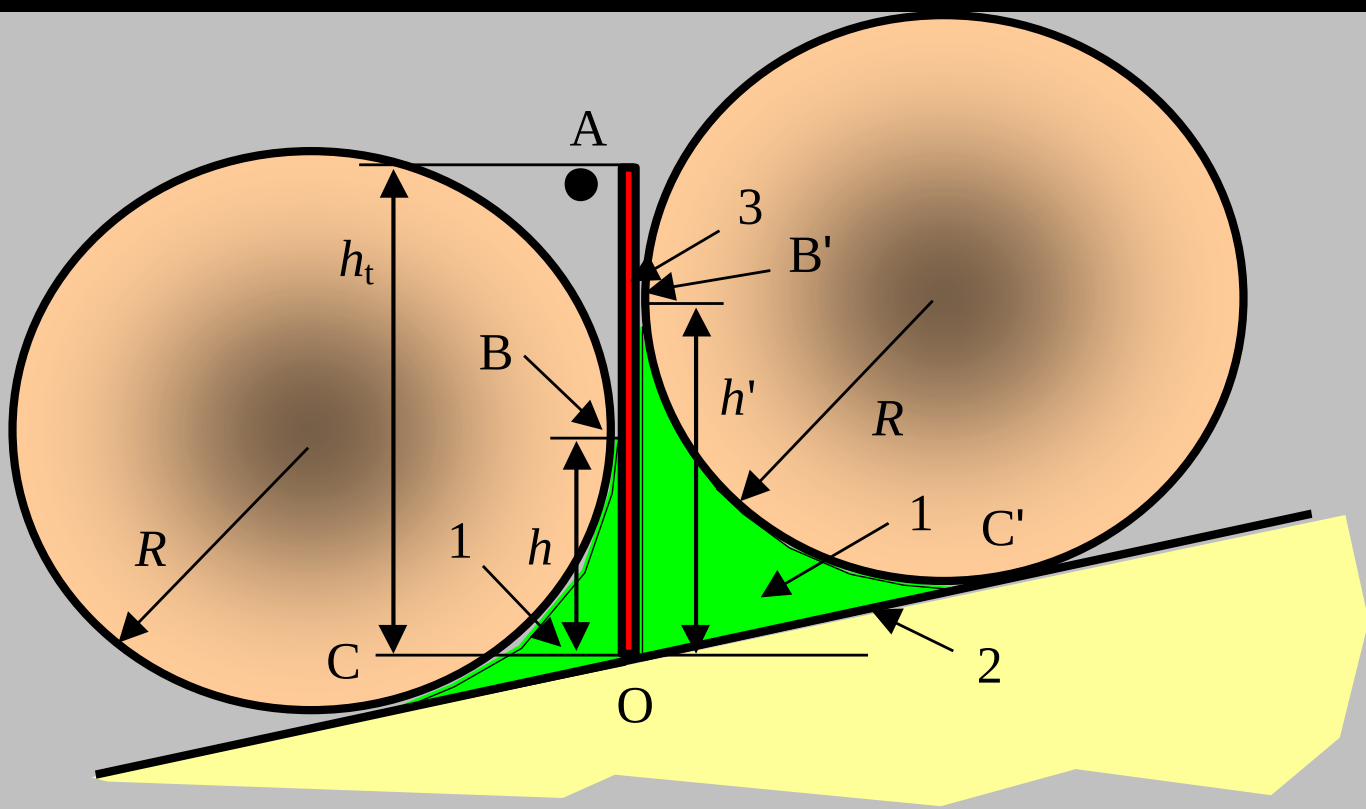
Yapının projeleri üzerinde yuvarlanan küre yöntemi uygulanırken, gözden kaçabilecek korunmamış bir nokta veya bir bölgenin kalmamasını sağlamak için yapı her yönden gözönüne alınmalıdır.

Bir YKS iletkeni tarafından yaratılan korunan hacim, iletken ile temastayken ve yapıya uygulandığında yuvarlanan kürenin giremediği hacimdir.



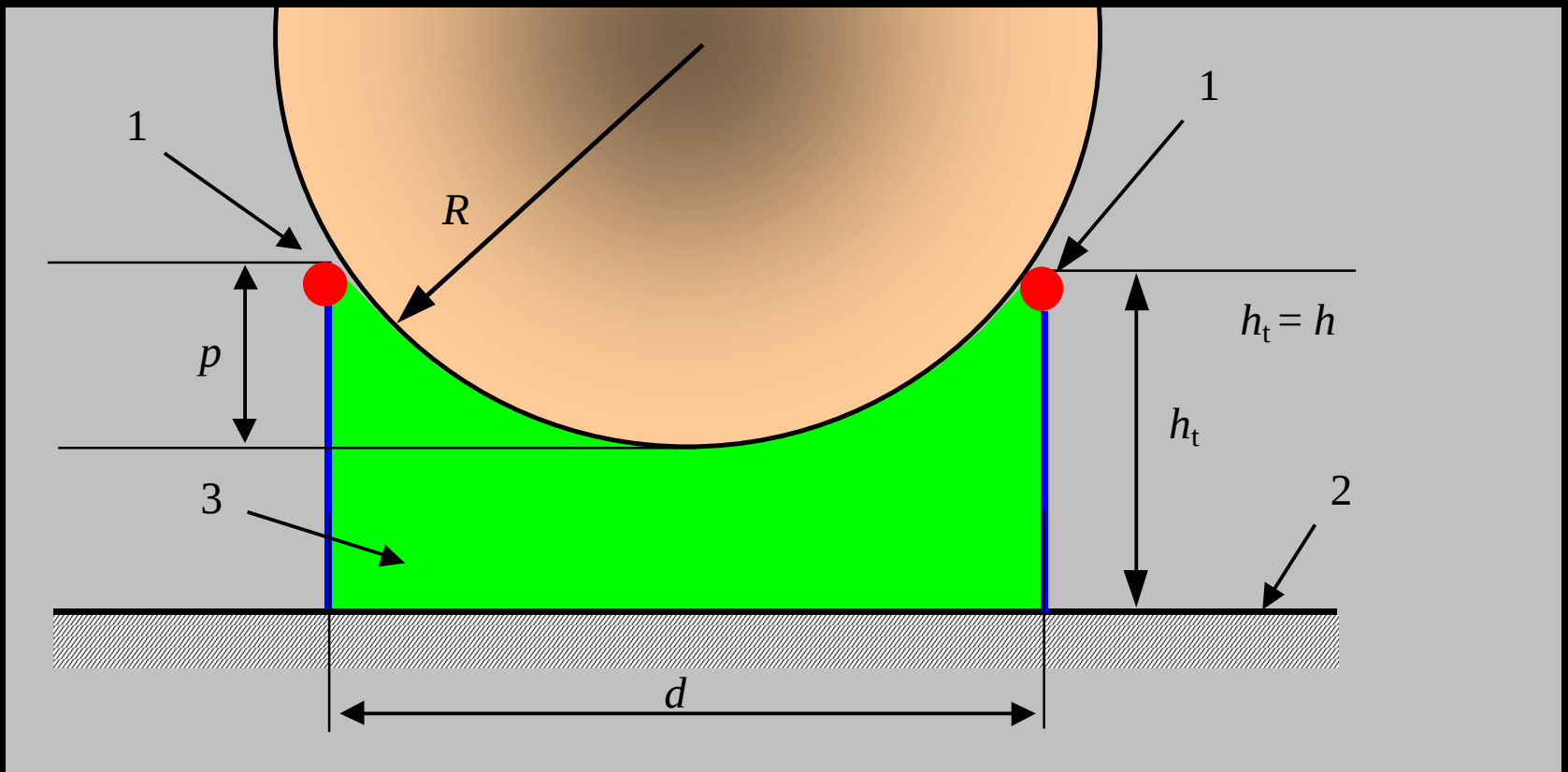
- 1 Korunan hacim,
- 2 Referans düzlem,
- R Çizelge-1'e göre yuvarlanan kürenin yarıçapı,
- OC Korunan alanın yarı genişliği,
- A Yatay yakalama iletkeni,
- $h_t = h$ Çizelge-1'e bakınız,
- h_t Referans düzlemden yakalama iletkeninin yüksekliği.

Şekil-22 Yuvarlanan küre yöntemine göre bir yatay yakalama iletkeninin koruduğu hacim ($h_t < R$) (şekilde koruma hacminin sağ yarısı gösterilmiştir)



- | | |
|--------------|--|
| 1 | Korunan hacim, |
| 2 | Referans düzlem, |
| 3 | Yakalama çubuğu, |
| R | Çizelge-1'e göre yuvarlanan kürenin yarıçapı, |
| h, h' | Çizelge-1'e göre yakalama ucu yükseklikleri, |
| h_t | Yakalama ucunun referans düzlemden yüksekliği, |
| A | Yatay yakalama iletkeni üzerinde bir nokta, |
| B, C, B', C' | Yuvarlanan küreye dokunma noktaları |

Şekil-23 Yuvarlanan küre yöntemini kullanarak A noktasında yakalama çubuğunun veya yatay iletkenlerin koruma hacmi ($h_t < R$)



- 1 İki paralel yatay iletkenli yakalama ucu veya iki yakalama ucu çubuğuyla korunan bölge,
- 2 Referans düzlem,
- 3 Tüm korunan bölge,
- h_t Referans düzlemden yakalama ucu iletkenlerinin yüksekliği,
- p Yuvarlanan kürenin girme derinliği
- h Çizelge-1'e göre yakalama ucunun yüksekliği
- R Yuvarlanan kürenin yarıçapı,
- d İki paralel yatay yakalama iletkeni veya iki yakalama çubuğu arasındaki açıklık

Şekil-24 İki paralel yatay yakalama iletkeni veya iki yakalama çubuğu yardımıyla korunan bölge ($R > h_t$)

Şekil-24'deki yatay referans düzlem üzerinde yer alan iki paralel yatay YKS yakalama iletkeni arasındaki boşluğa **yuvarlanan kürenin girme (nüfuz etme) derinliği**

$$p = R - [R^2 - (d/2)^2]^{1/2}$$

bağıntısından hesaplanmalıdır. Girme derinliği

$$p < h_t$$

olmalıdır.

Şekil-24'te görülen örnek üç veya dört yakalama çubuğu için de geçerlidir. Örneğin, bir karenin köşelerine aynı h yüksekliğine sahip dört düşey çubuk yerleştirilirse bu durumda, Şekil-24'teki d , dört çubuk tarafından şekillendirilen karenin köşegenlerine karşılık gelir.

2.4) Kafes yöntemi

Düz yüzeylerin korunması amacıyla, aşağıdaki koşullar yerine getirilirse, kafesin tüm yüzeyi koruduğu kabul edilir:

i) Yakalama ucu iletkenleri:

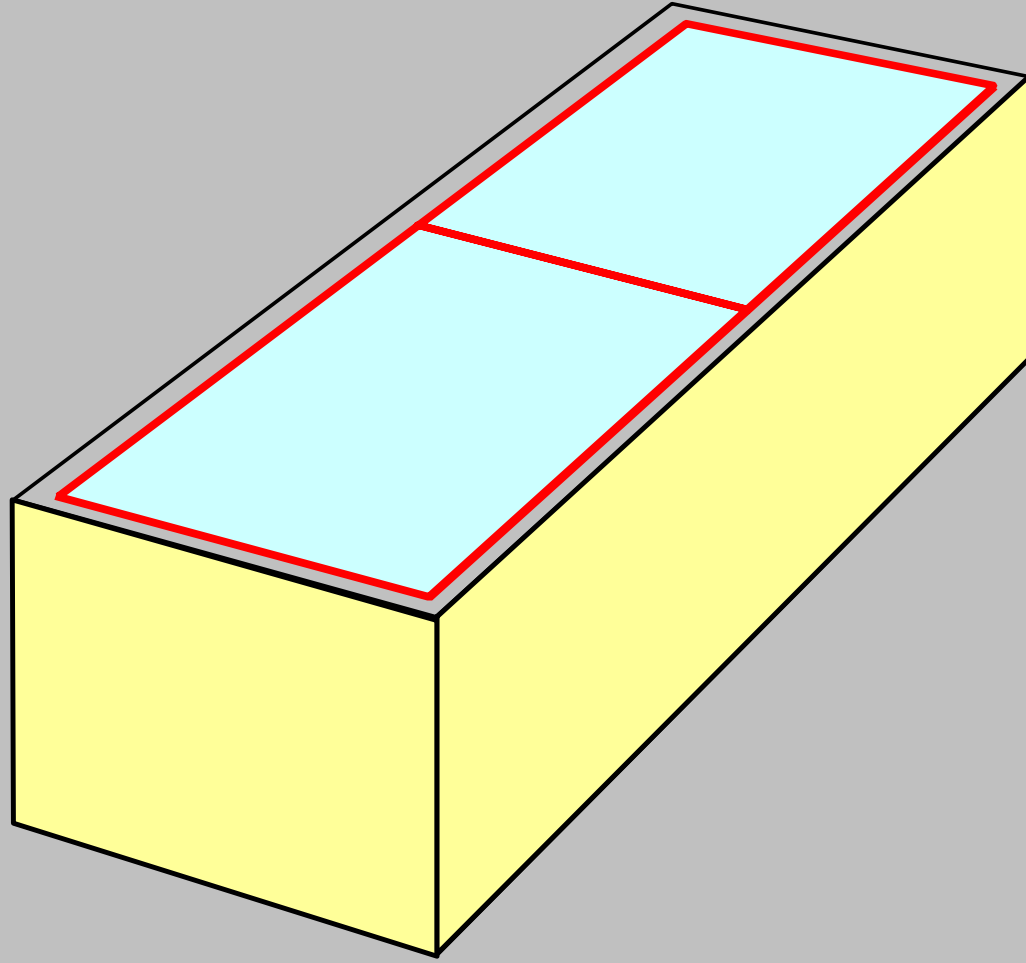
- Çatı kenar hatları,
- Çatı kıvrımları,
- Çatının eğimi $1/10$ 'u aşarsa, çatı mahyası, üzerine yerleştirilmiş ise;

ii) İlgili yuvarlanan küre yarıçapından daha yüksek seviyedeki yapı yan yüzeyleri, yakalama uçları sistemi ile donatılmış ise;

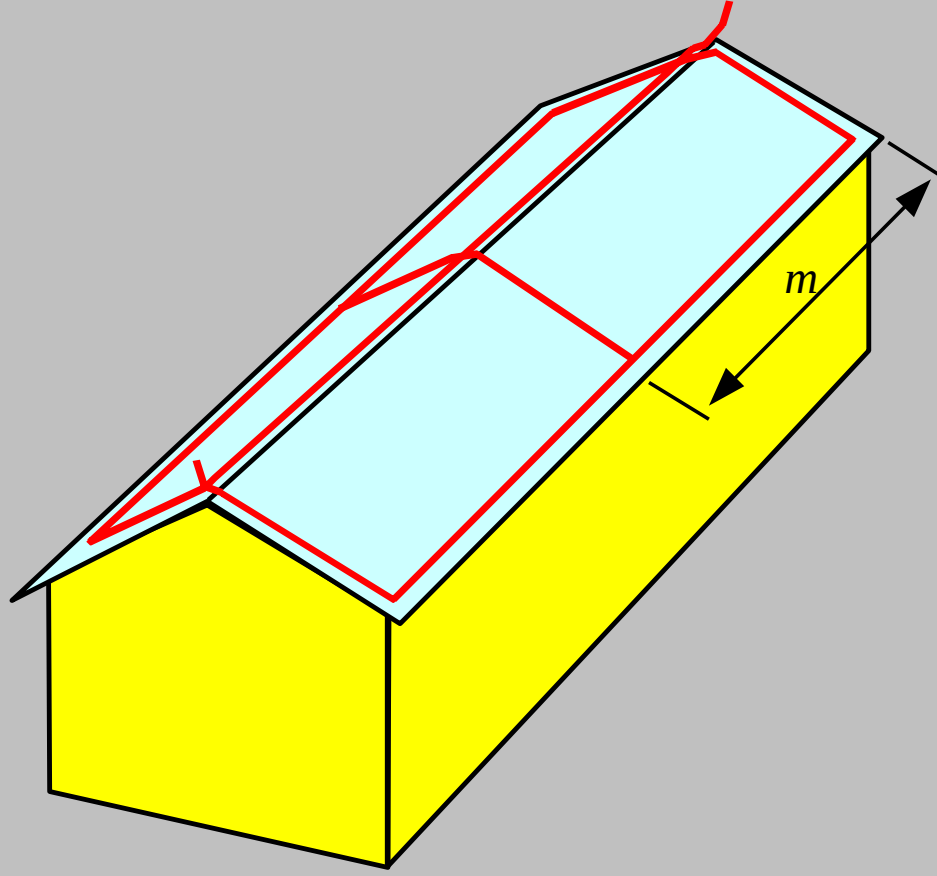


Michael Faraday
1791-1867
İngiliz kimyacı ve fizikçi

- iii) Yakalama uçları ağının kafes boyutları Çizelge-1'de verilen değerlerden daha büyük değil ise;
- iv) Yakalama uçları sistemi ağı, yıldırım akımı daima en az iki farklı metal yoldan toprağa gidecek şekilde yapılmış ve yakalama ucu sistemi tarafından korunan hacim dışına hiçbir metal tesisin taşmayacağı şekilde düzenlenmiş ise;
- v) Yakalama ucu iletkenleri olabilecek en kısa ve düz yolları izliyor ise.



Şekil-25.a Düz çatılı bir yapıda ayrılmamış YKS
yakalama ucunun tasarım örneği



m Kafes boyutu

Şekil-25.b Eğik çatılı bir yapıda ayrılmamış YKS yakalama ucunun tasarım örneği

Not: Kafesin göz genişliği Çizelge-1'e uygun olmalıdır.

Şekil-25 Kafes yöntemine göre ayrılmamış YKS yakalama ucunun tasarım örneği

2.5) Yakalama ucu sistemi tipinin seçilmesi

Tip seçiminde aşağıdaki bilgiler gözönünde tutulmalıdır:

- Ayrılmış bir YKS için
basit ve küçük boyutlu yapılar veya
büyük yapıların küçük bölümleri için
çubuklardan oluşturulmuş bir yakalama ucu sistemi
tercih edilir.

Ayrılmamış çubukların yüksekliği, doğrudan yıldırım çarpma sıklığında herhangi bir artışa yol açmamak için birkaç metreden (2 m–3 m) küçük olmalıdır. Çubuklar, YKS'nin seçilen koruma seviyesine ilişkin yuvarlanan küre yarıçapından daha yüksek yapılar için uygun değildir.

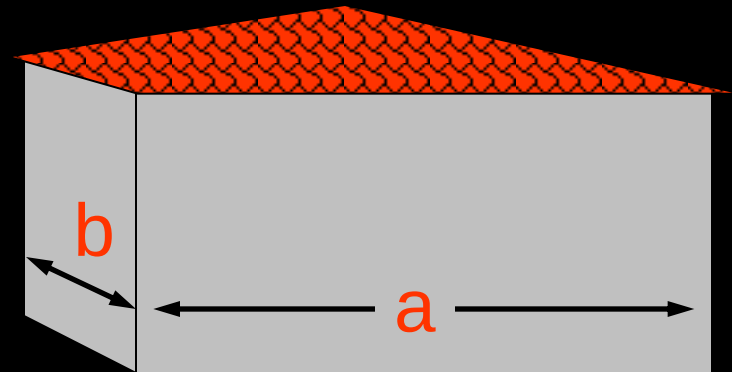
- Gergin tellerden oluşan bir yakalama ucu sistemi;
önceki tüm durumlarda ve alçak, yayvan yapılarda

a = yapının boyu,
 b = yapının eni

olmak üzere

$$a / b \geq 4$$

tercih edilebilir.



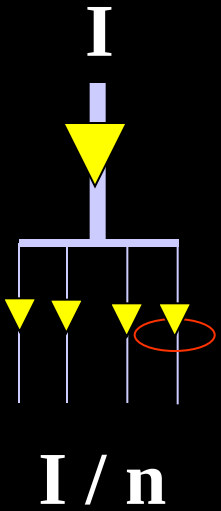
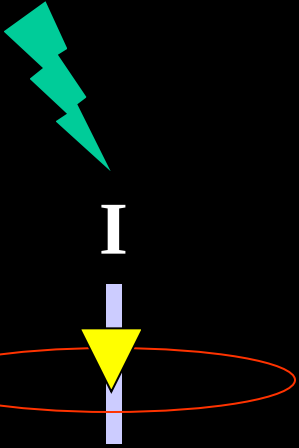
- Kafes biçimindeki iletkenlerden oluşan yakalama ucu sistemleri, genel amaçlar için uygundur.

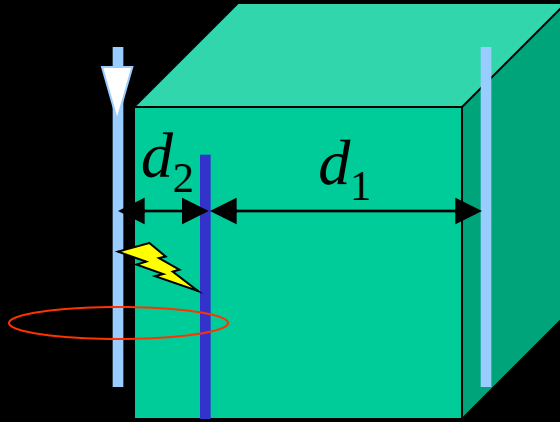
3) İndirme iletkenlerinin tasarımı

3.1) **Genel:** İndirme iletkenleri sayısının ve yerlerinin seçiminde, yıldırım akımının çok sayıda indirme iletkenleri üzerine dağılması durumunda, bir atlama ve yapı içinde elektromanyetik bozulma ortaya çıkma riskinin azalacağı dikkate alınmalıdır.

İndirme iletkenlerinin mümkün olduğunca eşit olarak yapının çevresi boyunca dağıtılması ve simetrik olarak yerleştirilmesi gerekir.

Akım dağılımı sadece indirme iletkenleri sayısının çok olması ile değil, bunları bağlayan eşpotansiyel ara bağlantı halka iletkenleri ile de iyileştirilebilir.



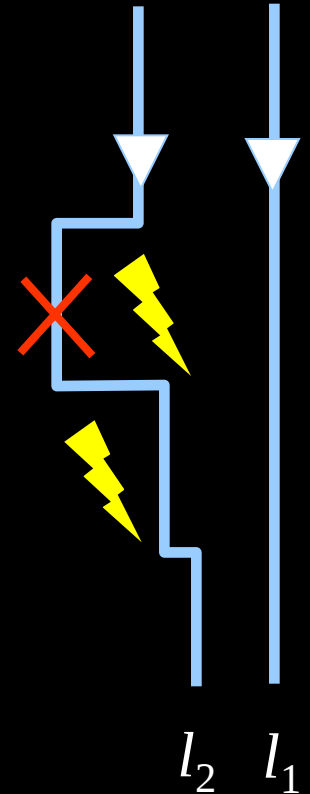


İndirme iletkenlerinin, bina içine döşenmiş hatlardan ve metal kısımlardan mümkün olduğu kadar uzağa döşenmesi önerilir.

- İndirme iletkenleri mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır (endüktans mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır),

$$L = L(l)$$

$$u_L = L(l) \cdot \frac{di}{dt}$$



- İndirme iletkenleri arasındaki ortalama uzaklık, Çizelge-3'te verilen değerlere uygun olmalıdır,

Çizelge-3 Koruma seviyesine göre indirme iletkenleri arasındaki ortalama uzaklık

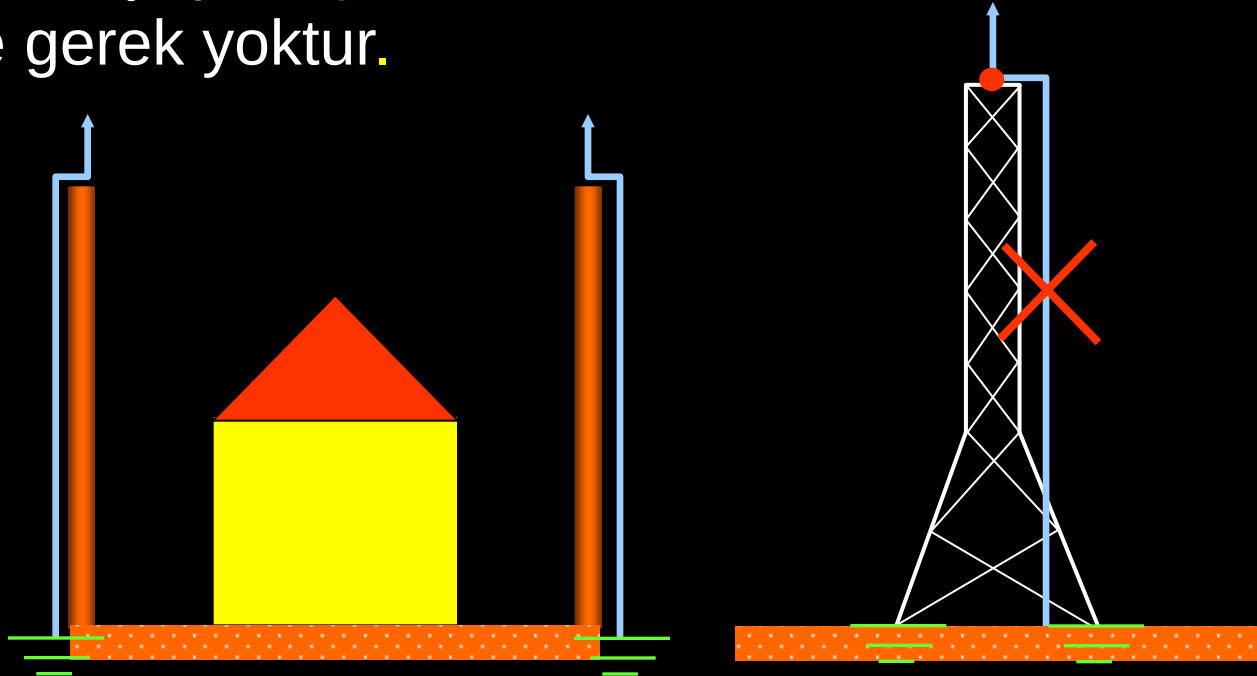
Koruma seviyesi	Ortalama uzaklık, (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

- İndirme iletkenlerinin ve eşpotansiyel ara bağlantı halka iletkenlerinin geometrik olarak yerleştirme düzeninin güvenlik açıklığına etkisi vardır,
- Dışarı sarkan kısımları bulunan yapı tesislerinde güvenlik açıklığı, insanlar üzerine bir atlama olabileceği riski de göz önünde tutularak hesaplanmalıdır.

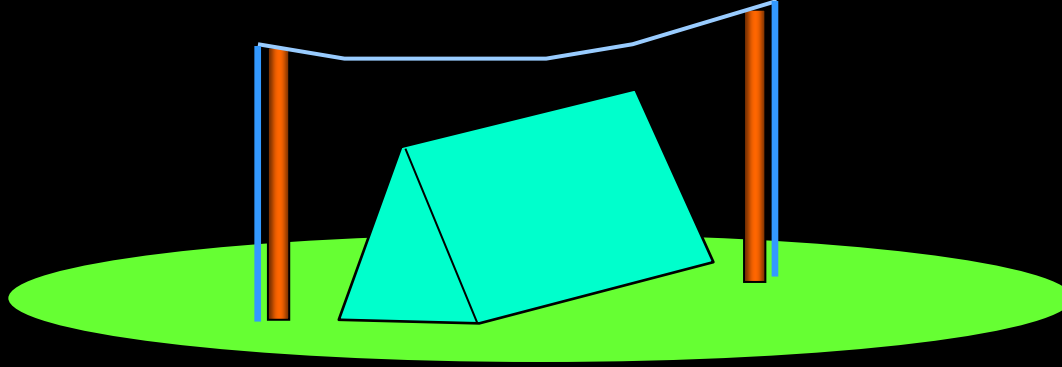
3.2) Ayrılmış YKS'ler için indirme iletkenlerinin sayısı

i) Yakalama ucu sistemi ayrı direkler üzerindeki (veya tek bir direk üzerindeki) çubuklardan meydana geliyorsa, her direk için en azından bir indirme iletkeni gereklidir.

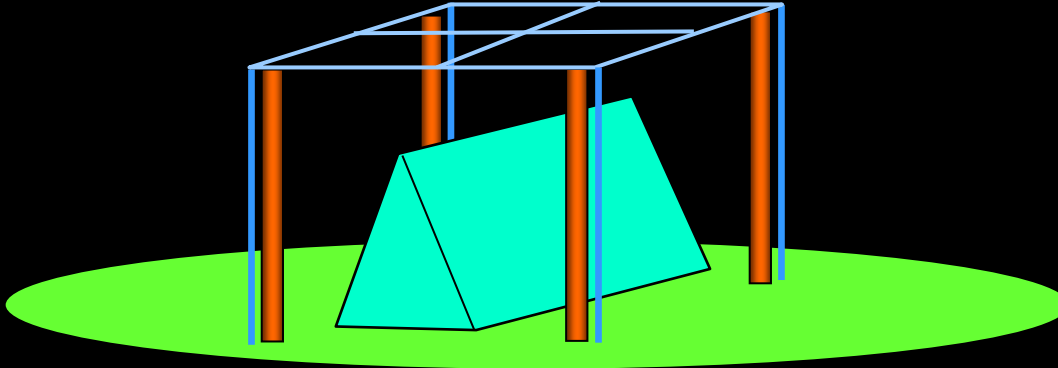
Direklerin metalden veya aralarında bağlı takviye çeliklerinden yapılmış olması durumunda ek bir indirme iletkenine gerek yoktur.



ii) Yakalama ucu sistemi gerilmiş iletkenlerden (veya bir tek iletkenden) meydana geliyorsa, her bir tel ucu için en az bir adet indirme iletkeni gereklidir.

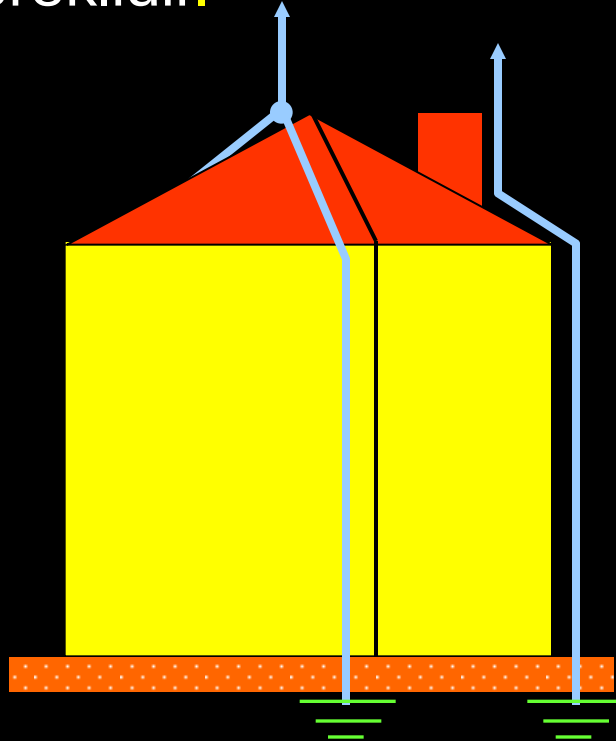


iii) Yakalama ucu sistemi kafes şeklindeki iletkenlerden meydana geliyorsa, her bir destek yapısı için en az bir adet indirme iletkeni gereklidir.

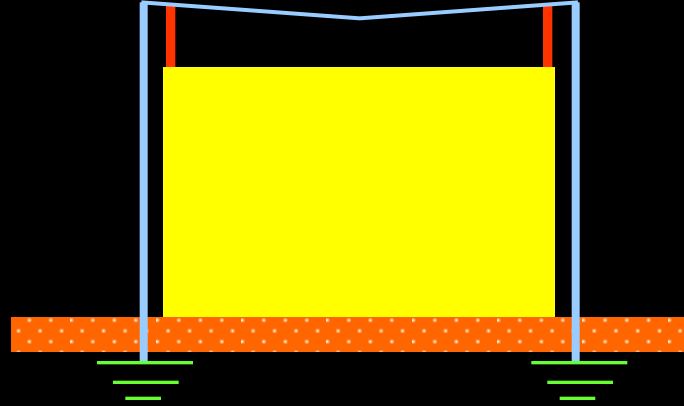


3.3) Ayrılmamış YKS'ler için indirme iletkeni sayısı

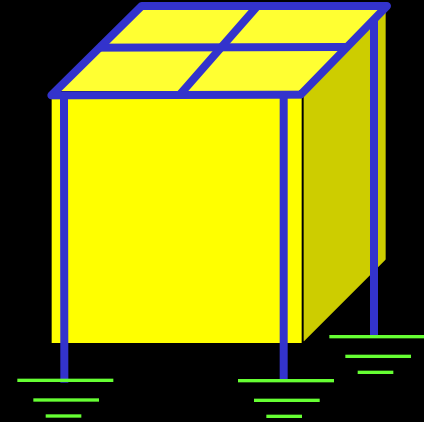
i) Yakalama ucu sistemi, bir adet çubuktan meydana geliyorsa, en az iki adet indirme iletkeni gereklidir. Yakalama ucu sistemi, birçok birbirinden ayrı çubuktan meydana geliyorsa, her bir çubuk için en az bir adet indirme iletkeni gereklidir.



ii) Yakalama ucu sistemi gerilmiş iletkenlerden meydana geliyor, her bir tel ucu için en az bir adet indirme iletkeni gereklidir.



iii) Yakalama ucu sistemi kafes şeklindeki iletkenlerden meydana geliyor, korunan binanın, çevresi boyunca yayılmış en az iki adet indirme iletkeni gereklidir.



4) Topraklama sisteminin tasarımı

4.1) Genel

Topraklama sistemi, tehlikeli adım ve dokunma gerilimlerini önlemeye uygun bir yapıda olmalıdır.

Yıldırım akımını, tehlikeli gerilim farkları ortaya çıkmaksızın toprak içine dağıtmak için, topraklama tesisinin şekli ve boyutları, topraklama direncinin belirli bir değere sahip olmasından daha önemlidir. Küçük topraklama direnci tavsiye edilir.

Yıldırımdan koruma yapılan yerde, yapıda tek bir ortak topraklama sisteminin bulunması (örneğin yıldırımdan koruma sistemi, alçak gerilim sistemleri, iletişim sistemleri) yararlıdır.

Topraklama sistemi için A tipi ve B tipi olmak üzere iki farklı düzenleme yapılabilir.

4.2) A tipi topraklama düzenlemesi

A tipi topraklama sistemi, çubuk veya gergi telli bir YKS için veya ayrılmış YKS için uygundur.

Bu tip düzenleme, her bir indirme iletkenine bağlı yatay veya düşey topraklayıcılardan meydana gelir.

İndirme iletkenlerini aralarında bağlayan halka iletken toprak ile temasta ise ve uzunluğunun % 80'inden daha az kısmıyla toprakta temas halinde ise, A Tipi olarak adlandırılır.

A tipi topraklama sistemlerinde topraklayıcılarının sayısı en az iki olmalıdır.

A



4.3) B tipi topraklama düzenlemesi

B

B tipi topraklama sistemi, kafes şeklindeki yakalama ucu sistemleri ve çok sayıda indirme iletkenli YKS'ler için tercih edilir.

Bu tip düzenleme, yapının dışında bulunan ve uzunluğunun en az % 80'i ile toprakla temas eden halka topraklayıcıdan veya temel topraklayıcıdan meydana gelir.



4.4) Topraklayıcıların yerleştirilmesi

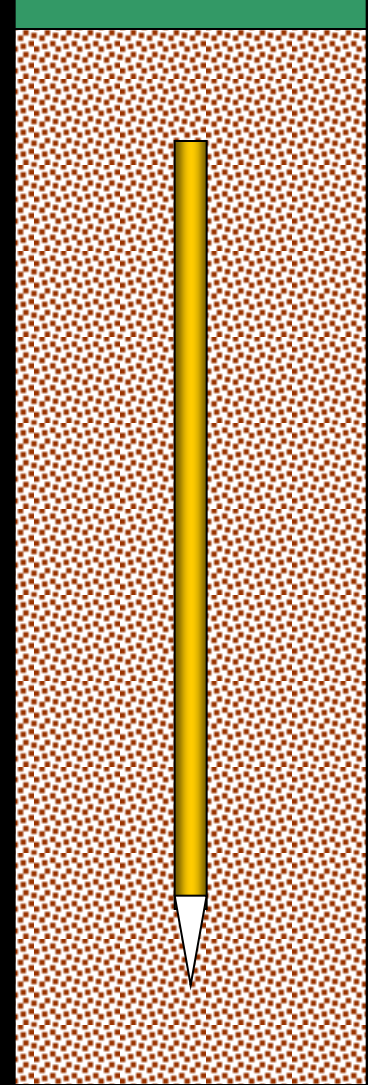
Topraklayıcıların yerleştirildiği derinlik ve çeşitleri; korozyon, kuruma ve don etkilerinin en aza indirileceği, böylece de topraklama direncinin kararlı olacağı şekilde seçilmelidir.

Düşey topraklayıcıların ilk metresinin, don koşullarında etkisiz olduğunun kabul edilmesi tavsiye edilir.

Salt kayalık arazi için sadece B tipi topraklama sistemleri tavsiye edilir.

Derin topraklayıcılar, toprağın öz direncinin artan derinlikle azaldığı, düşük öz dirençli toprak tabakalarının daha derinlerde ortaya çıktığı ve topraklama elektrodunun çubuk topraklayıcı olarak normal şekilde çakılabildiği durumlarda özellikle etkili olabilirler. Eğer beton demirleri topraklayıcı olarak kullanılıyorsa, betonun mekanik olarak çatlamasını önlemek üzere birbirleriyle bağlantılarının özellikle özen gösterilerek yapılması gerekir.

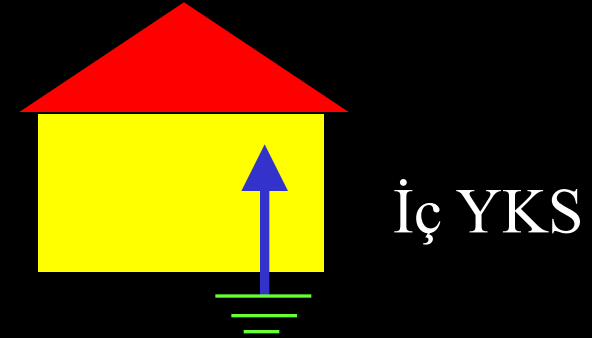
Not: Ön gerilmeli beton içinde, akan yıldırım akımıyla ortaya çıkması mümkün olan izin verilmeyen mekanik zorlanmalar dikkate alınmalıdır.



YKS tasarımcısı ve YYS tesisatçısı, topraklayıcıların uygun tiplerini seçmeli ve bunları yapının giriş ve çıkışlarından ve toprak içindeki dış iletken kısımlardan güvenli bir uzaklığa yerleştirmelidir.

YKS tasarımcısı ve YYS tesisatçısı, topluma açık bölgelerde tesis edilen topraklama tesislerinin yakınında tehlikeli adım gerilimlerinden koruyucu özel önlemler almalıdır.

e) İç YKS tasarımı



1) Genel

İç YKS tasarımına ilişkin kurallara uyulmalıdır.

Dış YKS ve dış YKS'nin yapı içindeki bölümleri ve tesisler ile bağlantısı, geniş ölçüde bir iç YKS'nin gerekliliğini belirler.

2) Güvenlik uzaklığı

Dış YKS ile yapının potansiyel dengelemesine bağlı bütün iletken kısımlar arasında Madde 7-b'de belirtilen güvenlik uzaklığını aşan yeterli bir uzaklık bulunmalıdır.

Yapının iletken kısımları ve bunun içinde tesis edilmiş olan düzenlerden başka, güç besleme sistemi ve iletişim cihazlarının iletkenleri de potansiyel dengelemesine bağlanmalıdır.

Güvenlik uzaklığı, Madde 7-b'de verilen formülle hesaplanabilir; burada k_c değeri, indirme iletkenleri arasındaki uzaklık 20 m kabul edilerek hesaplanmıştır (koruma seviyesi III).

İndirme iletkenleri arasındaki uzaklık 20 m'den farklıysa ve simetrik tesislerde k_c değeri Madde 11-g1'e göre yapılmalıdır.

Güvenlik uzaklığı d 'nin hesaplanmasındaki l referans uzunluğu, potansiyel dengelemesinin ilk bağlantı noktası ile yaklaşma noktası arasındaki uzaklık olarak alınmalıdır.

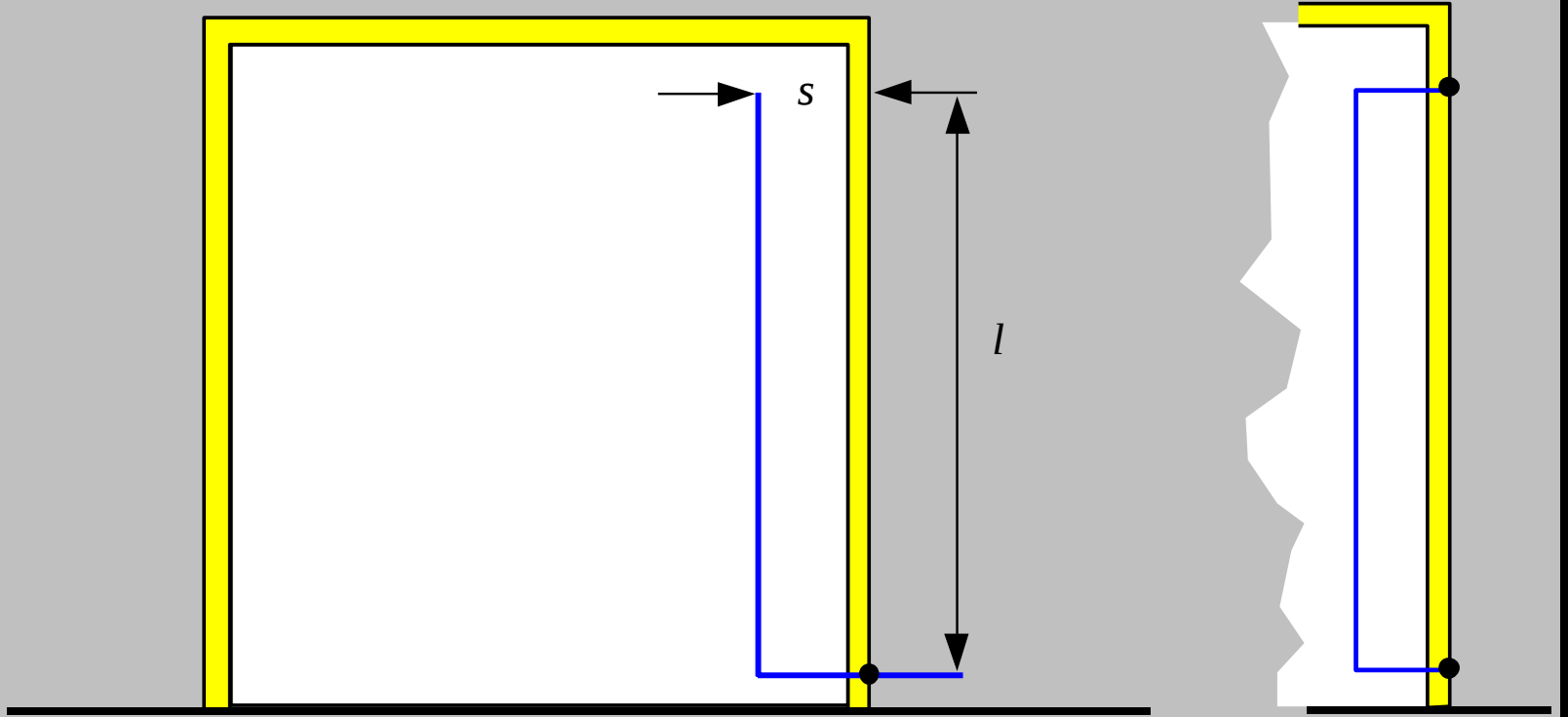
Beton demirleri gibi yapının iletken kısımlarının, doğal indirme iletkenleri olarak kullanıldığı yapılarda, bu doğal indirme iletkenlerine bağlantı noktası referans noktası olarak alınmalıdır.

- Beton demirleri birbirleriyle bağlı betonarme yapı tesislerinde,
- Çelik iskeletli yapı tesislerinde,
- Eşdeğer ekranlı yapı tesislerinde,
- Ayrılmış dış YKS olması durumunda,

potansiyel dengelemesi sadece toprak seviyesinde yapılmalıdır.

Sanayi tesislerinde, yapı tesisinin ve çatının iletken kısımları; genel olarak elektromanyetik ekranlama ve doğal indirme iletkeni olarak ve aynı zamanda potansiyel dengelemesi amacıyla kullanılabilir.

Ahşap veya tuğla yapılar gibi dış yüzeylerinde iletken kısımlar bulunmayan yapılarda, güvenlik uzaklığı d 'nin Madde 7-b'ye göre hesaplanmasında l uzunluğu için, en elverişsiz çarpma noktasından, iç YKS'ye ilişkin potansiyel dengelemesinin indirme iletkeni ile bağlandığı noktaya kadar uzanan YKS iletkeni boyunca mevcut olan toplam uzaklık kullanılmalıdır.



s Ayırma açıklığı

l d güvenlik açıklığına karşı düşen uzunluk

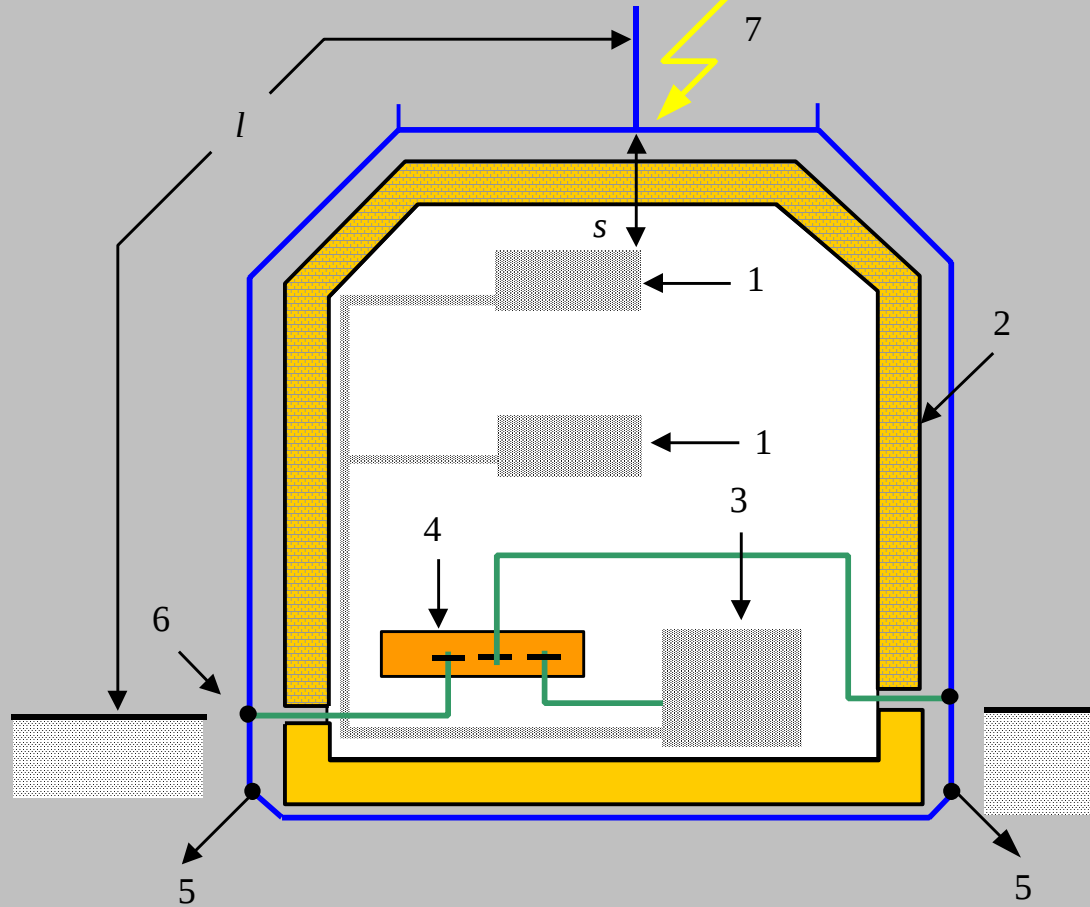
d Güvenlik açıklığı (Madde 7-b)

Şekil -26.a Ayırma açıklığı $s \geq d$

Şekil-26.b Ayırma açıklığı $s < d$

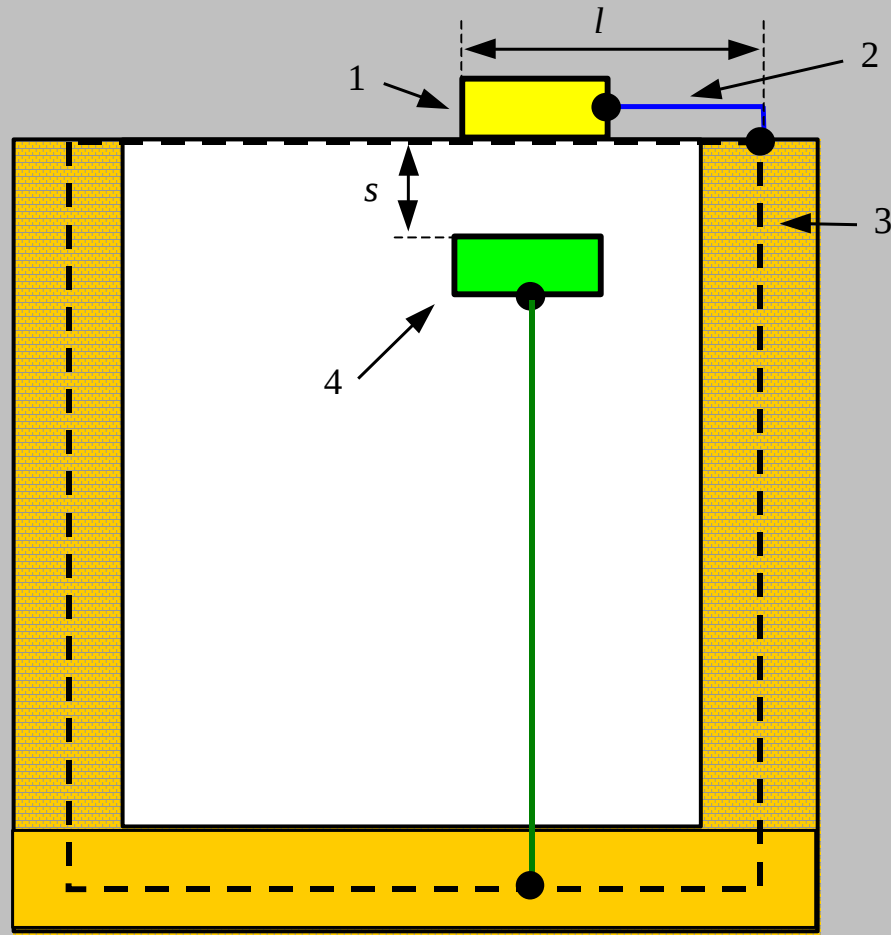
Not : Ayırma açıklığı, güvenlik açıklığı d 'nin üzerine çıkarılamadığında, en uzak noktada bağlantı yapılmalıdır (Şekil-26.b).

Şekil-26 YKS ile metal tesisler arasındaki ayırma açıklığı



- 1 Metal radyatörler / ısıtıcı,
- 2 Tuğla veya tahta duvar,
- 3 Isıtıcı,
- 4 Potansiyel dengeleme barası,
- 5 Topraklama sistemi,
- 6 İndirme iletkeninin topraklama sistemine bağlantısı,
- 7 Yıldırım çarpma noktası,
- l d güvenlik açıklığına karşı düşen uzunluk.
- s Ayırma aralığı: $s \geq d$ (Madde 7-b'ye bakınız), (d = güvenlik açıklığı)

Şekil-27 Madde 7-b'ye göre referans noktasından l uzaklığındaki en istenmeyen yıldırım çarpma noktasına göre güvenlik açıklığı d 'nin hesabı için yöntem

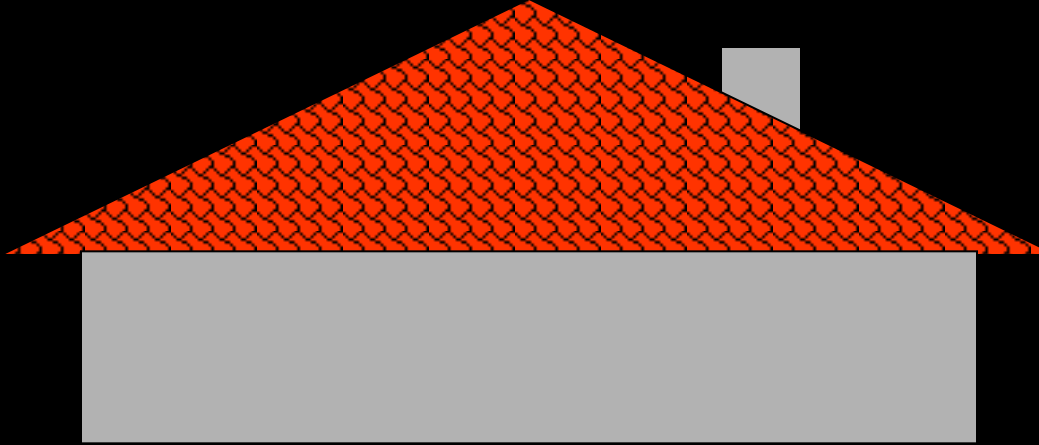


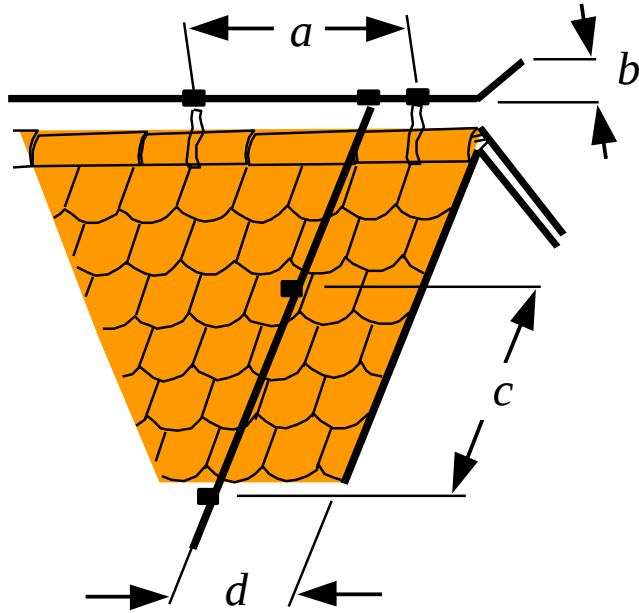
- 1 Çatıdaki metal cisim,
- 2 Bağlantı iletkeni,
- 3 Beton duvarlardaki betonarme çeliği,
- 4 Yapı içindeki iletken bölüm,
- l d güvenlik açıklığına karşı düşen uzunluk .
- s Ayırma açıklığı $s \geq d$, ($d =$ güvenlik açıklığı)

Not: Yapının çelik takviyesi eşpotansiyel referansı olarak kullanılır.

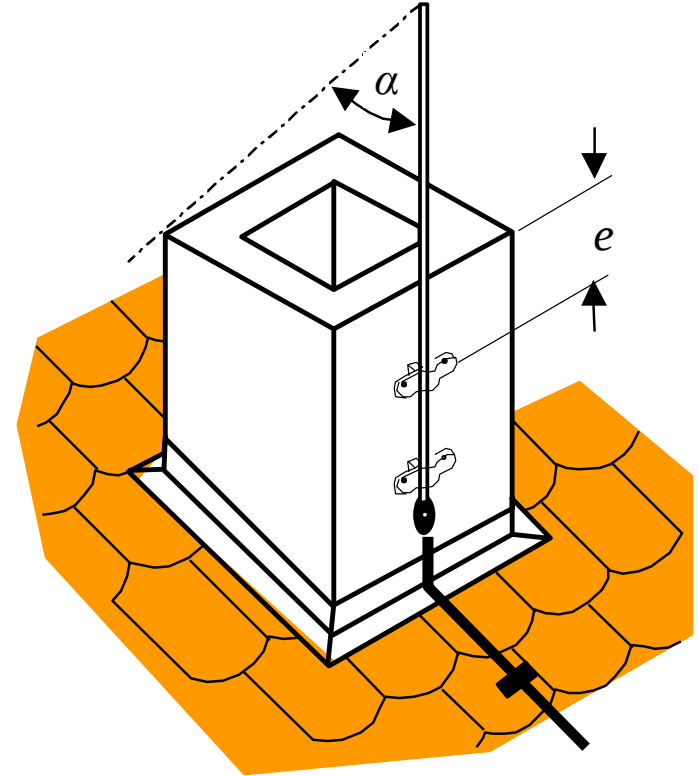
Şekil-28 Madde 4-a2'ye göre betonarme bir yapıdan Madde 7-b'ye göre güvenlik açıklığının hesabından kullanılan l uzunluğunun ölçülmesine ilişkin gösteriliş

Çatıların üzerindeki iletkenler ve yakalama çubuklarının bağlantıları, çatıya, iletken olan veya olmayan aratutucularla sabitleştirilebilir. İletkenler, duvarlar yanmaz bir malzemedan yapılmışsa, duvarlara da sabitlenebilir.

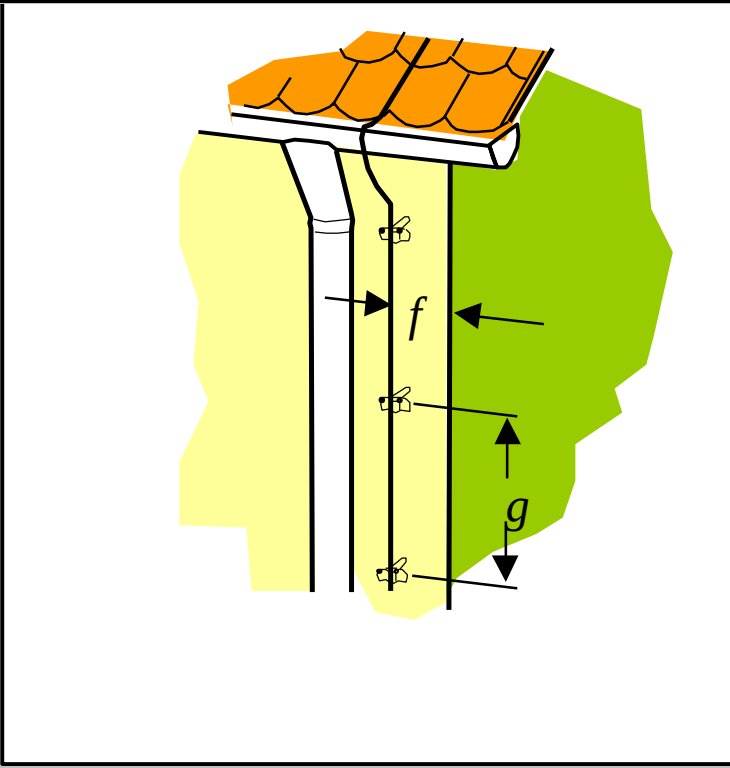




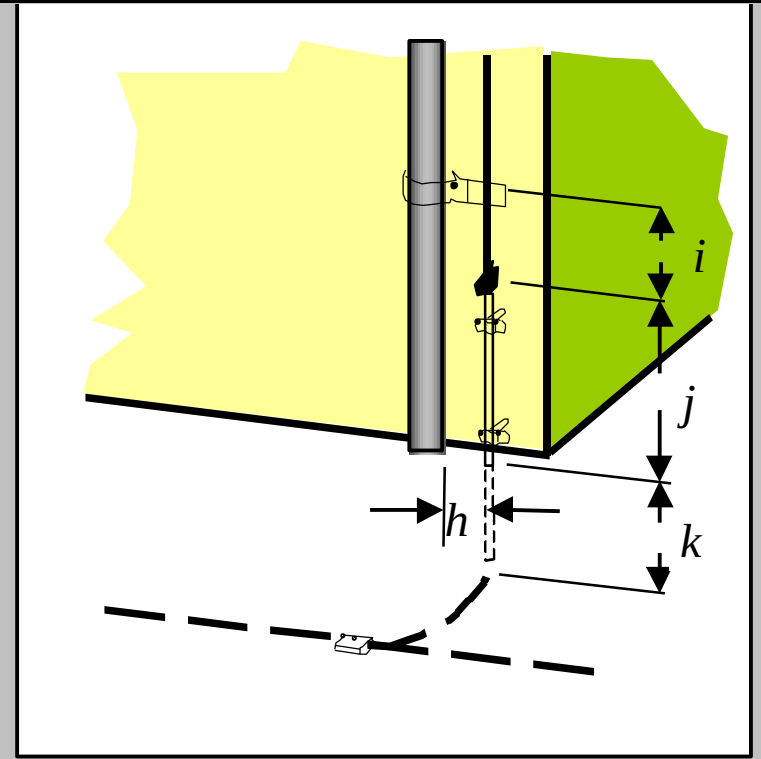
Şekil-29.a eğik bir çatının mahyasındaki yakalama ucu iletkeninin ve çatı indirme iletkeninin yapılışı



Şekil-29.b Koruyucu açı yöntemi kullanarak baca koruması için yakalama çubuğunun yapılışı



Şekil-29.c Oluklarla bağlantılı indirme iletkeninin yapılışı



Şekil-29.d İndirme iletkeninde deney ek yerinin yapılışı ve yağmur suyu borularına bağlantısı

Uygun boyutlara örnekler;

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

$$d = 0,4 \text{ m}$$

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

$$j = 1,5 \text{ m}$$

$$b = 0,15 \text{ m}$$

$$e = 0,2 \text{ m}$$

$$h = 0,05 \text{ m}$$

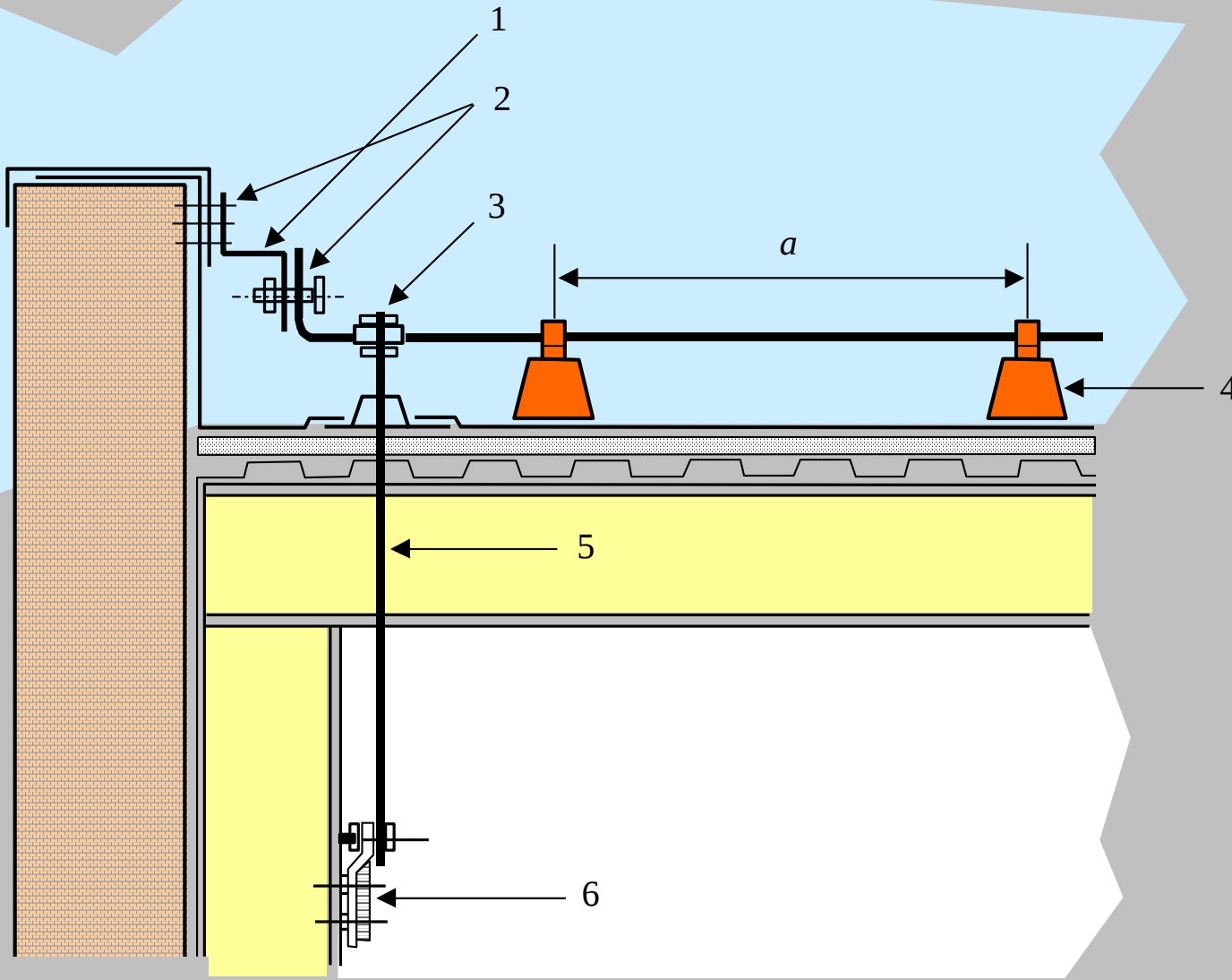
$$k = 0,5 \text{ m}$$

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

$$f = 0,2 \text{ m}$$

$$i = 0,3 \text{ m}$$

Şekil-29 Eğik çatılı bir yapı üzerinde YKS detaylarına örnekler



- 1 Bükülgen iletken,
- 2 Bağlantılar (ekler),
- 3 T-bağlantısı,
- 4 Yakalama ucu iletkeni
tespit elemanı,
- 5 Su geçirmez geçitten
YKS'nin geçişi,
- 6 Bağlantı (ek).

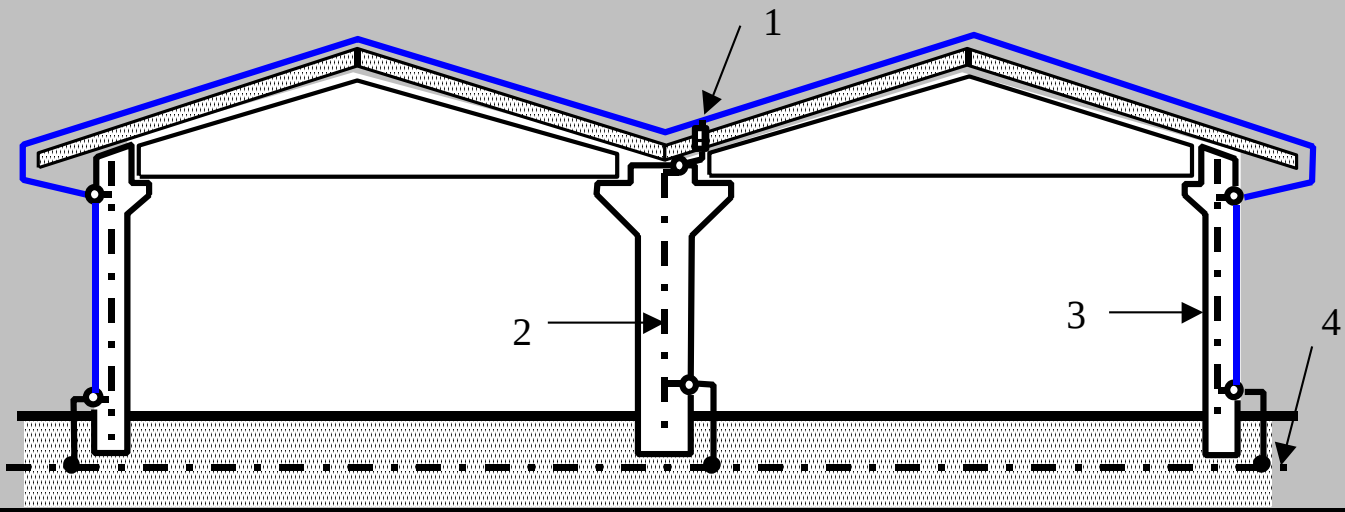
Not: Çatı parapeti üzerindeki metal kaplama bir yakalama ucu iletkeni olarak kullanılır ve YKS'nin doğal indirme iletkeni olarak kullanılan cephe kaplamasının çelik taşıyıcısına bağlanır. a için uygun değerler 0.8 ila 1.5m dir.

Şekil-30 Yapı çatısında doğal bileşenler kullanılarak YKS'nin yapılışı

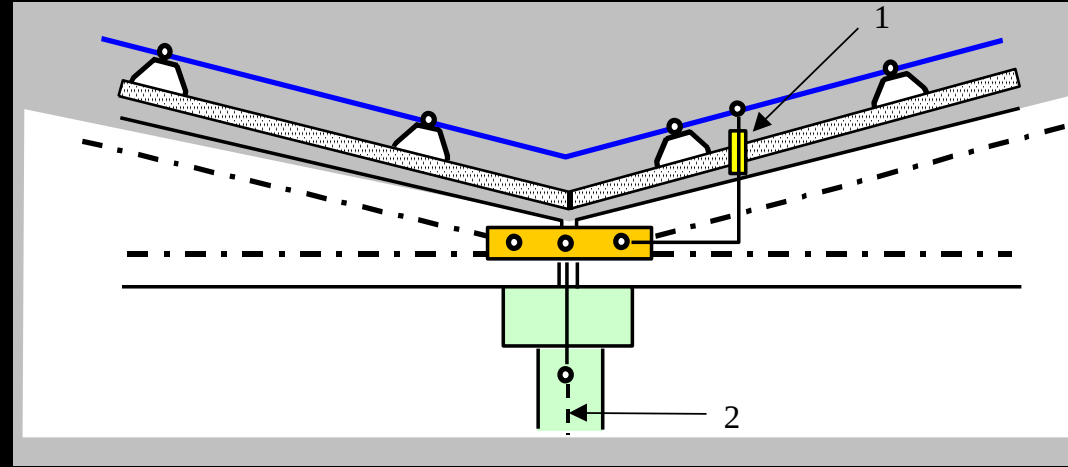
Aşağıdaki konular özel dikkat gerektirir:

- Büyük yapı tesislerinde YKS iletkenleri ile metal tesisatlar arasındaki güvenlik uzaklığı çoğunlukla gerçekleştirilemeyecek büyüklüktedir. Bu durum, metal tesisata yapılması gereken ilave bağlantıları gerektirir. Bunun sonucu olarak yıldırım akımının bir kısmı bu metal tesisatların üzerinden topraklama tesisine akar.
- Bu kısmi yıldırım akımının sonucu olarak, yapıya ilişkin tesisatların ve yapı içindeki yıldırımdan koruma bölgelerinin tasarımı sırasında, İkinci Bölüm'e uygun olarak dikkate alınması gereken elektromanyetik bozulma ortaya çıkar.

Bununla beraber bozucu etki, bu noktaya yıldırım çarpmasından ortaya çıkan bozucu etkiden belirgin bir şekilde daha küçük olmalıdır. Şekil-31, büyük sanayi tesislerindeki iç indirme iletkenlerinin tasarımını göstermektedir.



- 1 Su geçirmez geçitten geçen YKS iletkeni,
- 2 Bir beton kolonda betonarme çeliği,
- 3 Beton duvarlarda betonarme çeliği,
- 4 Yapı temelinde betonarme çeliği -Temel topraklayıcı.



Not: Bir iç kolonun betonarme çeliği, kolonun betonarme çeliği yakalama ucuna ve YKS'nin topraklama sistemine bağlandığında doğal bir iç indirme iletkeni olur. Kolona yakın duyarlı elektronik aygıtlar için, kolon yakınındaki elektromanyetik ortama dikkat edilmelidir.

Şekil-31 Endüstriyel yapılarda iç indirme iletkenleri

Çatılarda, YKS ile elektrik tesisatı arasında çoğunlukla, güvenlik uzaklığı d 'den daha küçük olan bir ayırma uzaklığı s ile karşılaşılır. Eğer durum böyle ise, ya YKS'nin veya elektrik iletkenlerinin başka bir yere döşenmesi denenmelidir.

Yakalama ucu iletkenlerine uzaklığı, güvenlik uzaklığını sağlamayan elektrik iletkenlerinin güzergahlarının değiştirilmesi için, elektrik tesisatçısı ile mutabakat sağlanmalıdır.

Eğer elektrik hatlarının güzergahları değiştirilemiyorsa, dış YKS'ye bir (eşpotansiyel) kuşaklama (potansiyel dengeleme) bağlantısı yapılmalıdır.

3) Kuşaklama (potansiyel dengeleme) iletkenleri

Bu iletkenler, yıldırım akımının kendi üzerlerinden geçen kısmını zarara uğramadan taşıyabilmelidir.

Bina içindeki metal tesisatla yapıyı kuşaklayan iletkenler normal olarak yıldırım akımının önemsiz bir kısmını iletirler. Bunlar, Çizelge-1'e göre boyutlandırılmalıdır.

Bina dışındaki metal kısımları YKS'ye bağlayan kuşaklama iletkenleri normal olarak yıldırım akımının önemli bir kısmını taşırlar. Bu iletkenler, yıldırım akımına dayanacak şekilde boyutlandırılmalı veya en küçük kesitleri Çizelge-6'ya uygun olmalıdır.

Çizelge-6 Yıldırım akımının büyük bölümünü geçiren kuşaklama iletkenlerinin malzemesi ve en küçük kesitleri

Koruma düzeyi	Malzeme	Kesit alanı (mm ²)
I ila IV	Cu	16
	Al	25
	Fe	50

4) Darbe koruma düzenleri (DKD)

Bunlar, yıldırım akımının, bunların içinden akması beklenen kısmına, zarara uğramadan dayanabilmelidir.

Anma akımı için aşağıda verilen değerler kullanılabilir:

- Bina içindeki elektrik tesisatı için kullanılan DKD:
8/20 μ s'lik darbe akımında $I_n \geq 10$ kA olmalıdır.

Ekran kesiti 10 mm²'den büyük olan ekranlı kablolar için, eğer bunlar her iki uçtan kuşaklanmışsa, DKD gereksizdir.

- Bina içine giren elektrik hatları için kullanılan DKD:

$$I_n \geq I_f / n'$$

olmalıdır. Burada:

I_f Hat boyunca akan ve bölünen
yıldırım akımı bölümü,

n' Hat iletkenlerinin toplam sayısı.

Ekranları YKS'ye bağlanmış (kuşaklanmış) olan ve ekran kesitleri en küçük değerlerden daha büyük olan ekranlı kablolar için DKD gerekli değildir.

Not: Hat üzerinden akan yıldırım akımı aşağıdaki değerlerden büyük ise, yalıtım için izin verilmeyen bir sıcaklık artışının ortaya çıkması mümkündür:

$$I_f = 8 A \quad \text{Ekranlı hatlar için,}$$

$$I_f = 8 n' A' \quad \text{Ekransız hatlar için.}$$

Burada:

I_f Ekran üzerinden akan yıldırım akımı (kA),

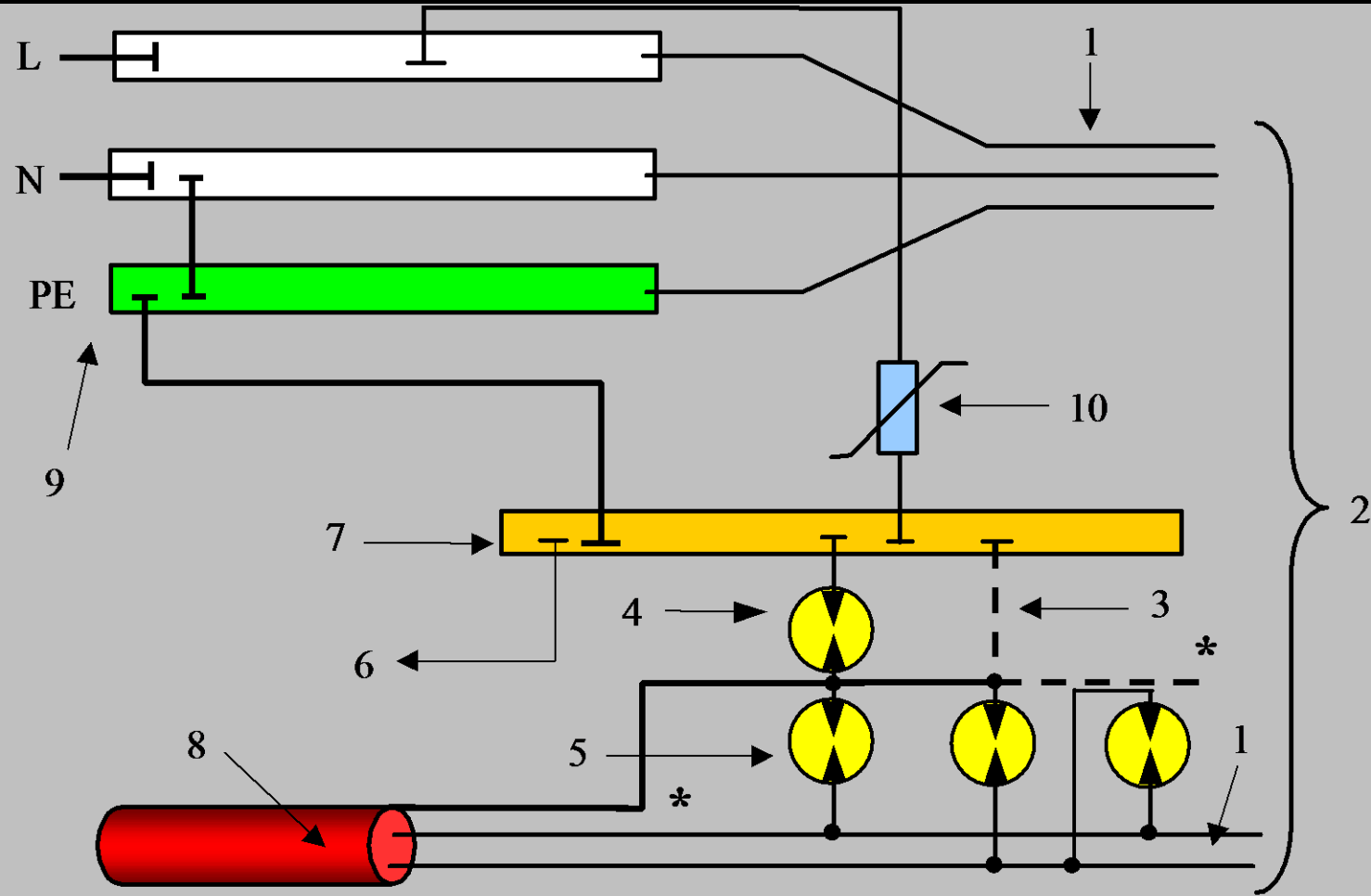
n' İletkenlerin sayısı,

A Ekran kesiti (mm²),

A' Her bir iletkenin kesiti (mm²).

DKD, hesaplanan yıldırım akımına zarara uğramadan dayanabilmeli ve yıldırım akımının iletilmesi sırasında artık gerilim açısından gerekli koşulları sağlamalıdır (DKD güç besleme iletkenlerine bağlı ise, şebeke kaynaklı akımı da söndürme yeteneğine sahip olmalıdır).

Bir yapı girişindeki DKD, ortaya çıkacak en büyük darbe gerilimi (Şekil-32'ye bakınız), yalıtımın darbe dayanma gerilimi, baz alınmış olan yalıtım seviyesi ve korunan cihazlar için izin verilen en büyük darbe gerilimi ile koordine edilmelidir.



- 1 Korunacak aygıta,
- 2 Şekil-33'e bakınız detay A,
- 3 Seçenek 1 (tercih edilir),
- 4 Seçenek 2 (iletişim hattının yalıtılması istendiğinde),
- 5 Gaz boşalmalı koruyucular,
- 6 YKS'nin topraklama sistemine,
- 7 Potansiyel dengeleme barası,
- 8 İletişim hattı,
- 9 Elektrik besleme hattı,
- 10 DKD,
- * Varsa, iletişim kablosunun iletken ekranı

Not: Gaz boşalmalı bir koruyucunun bir ucu ile potansiyel dengeleme barası arasında doğrudan bir bağlantı, seçenek 1, tercih edilir.

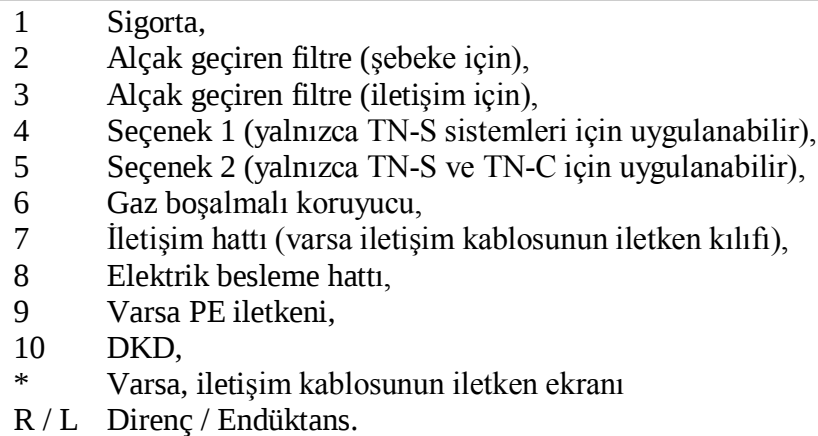
Şekil-32 Yapı girişindeki alçak gerilim dağıtım kutusu içinde ve iletişim hattı ana girişinde tesis edilen DKD örneği

Yapı girişindeki DKD, yapı içindeki iletkenleri, iletkenlere gelebilecek ana darbe enerjisinden korumalıdır.

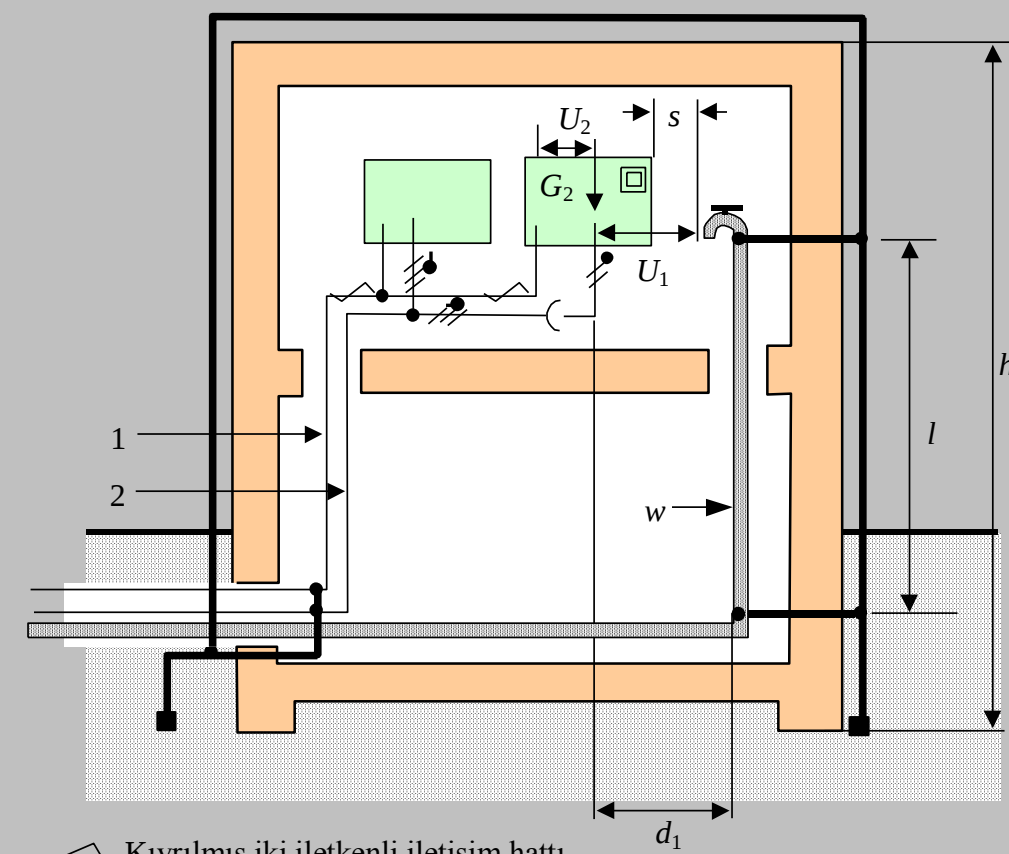
En düşük artık gerilimli DKD, yapı girişine tesis edilmelidir. Eğer bu yapılmamışsa, yapı girişindeki DKD ile korunan cihazın yakınındaki DKD arasına uygun bir alçak geçiren filtre bağlanabilir.

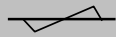
Darbe bastırma düzeni olarak adlandırılan uygun bir alçak geçiren filtre ile birleşik büyük artık gerilimli DKD, gerektiği takdirde korunan cihazın içine veya yakınına bağlanabilir.

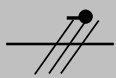
İletişim sistemlerindeki bir birleşik DKD setinin doğru olarak çalışabilmesi için, yapı girişindeki DKD ile korunan cihazın içindeki veya yakınındaki DKD arasına bir seri empedans bağlanabilir.



Şekil-33 Şekil-34'ün A detayı Bir cihazın içine veya yakınına tesis edilmiş darbe koruma düzeni



 Kıvrılmış iki iletkenli iletişim hattı,

 Alçak gerilim besleme hattı
(3 iletken : L1, N, PE),

 Alçak gerilim besleme hattı
(2 iletken : L, N),

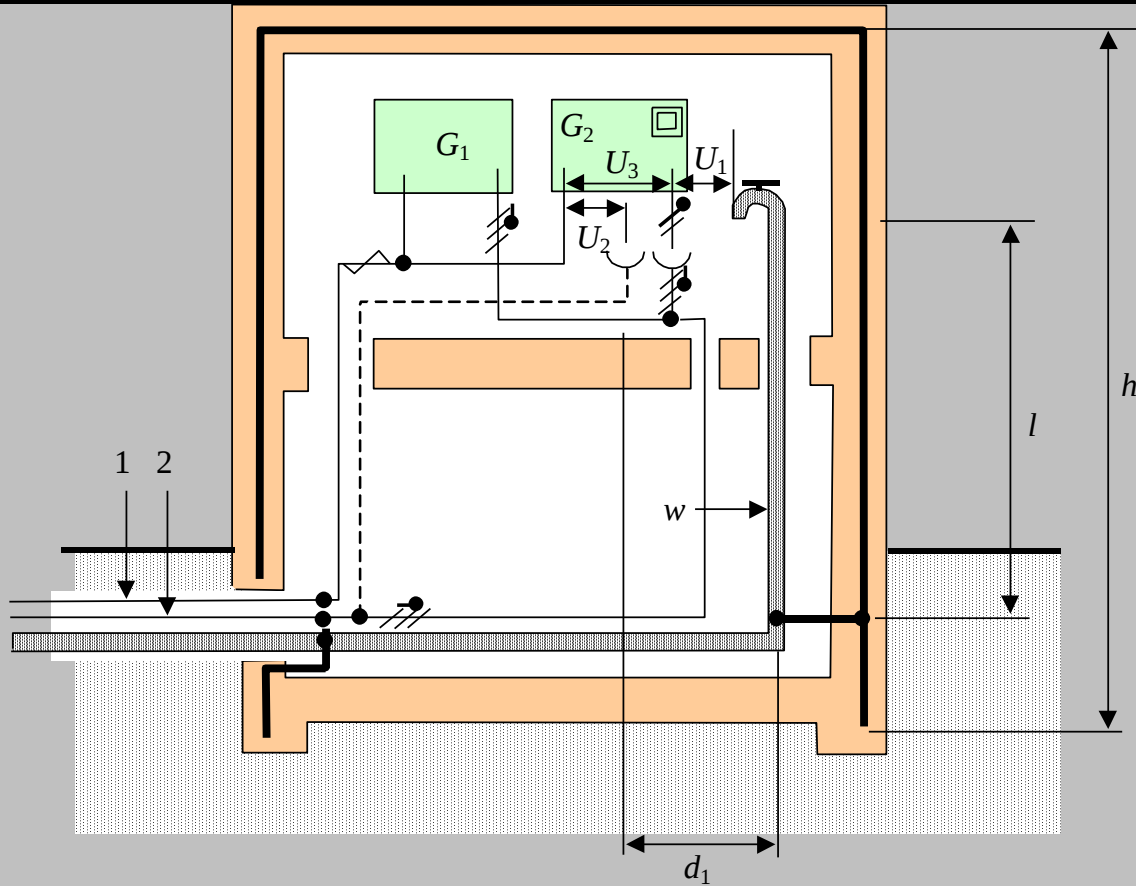
 Takviyeli yalıtımlı donanım, II sınıfı donanım.

Not 1: Bu örnekle, su borusu w ile, indirme iletkeni arasındaki s açıklığı, gereken güvenlik açıklığı d' den küçük olduğunda, bunlar arasında bir üst bağlantının gerektiği kabul edilir

Not 2: Aşırı gerilimlerin sayısal hesabı için Ek-D.2'deki Durum I'e bakınız

Şekil-34 Dış duvarlarında betonarme çeliği olmayan yapılar
Çoklu bağlantı kullanılmadan tasarlanmış iletişim tesisi örneği

- 1 İletişim sistemi,
- 2 Elektrik sistemi,
- G_1 I sınıfı donanım (PE iletkenli),
- G_2 II sınıfı donanım (PE İletkensiz),
- U_1 Su borusu ile elektrik sistemi arasındaki gerilim,
- U_2 İletişim sistemi ile elektrik sistemi arasındaki gerilim,
- d_1 Su borusu ile G_2 cihazı arasındaki ortalama uzaklık, $d_1 = 1$ m,
- h Yapının yüksekliği $h = 20$ m,
- l YKS indirme iletkeni ile metal tesislerin paralel gitme uzunluğu,
- s Ayırma açıklığı ($s > d$),
- w Metal su borusu veya başka bir metal tesis,
- d Güvenlik açıklığı (Madde 7-b).



-  Kıvrılmış iki iletkenli iletişim hattı,
-  Alçak gerilim besleme hattı
(3 iletken : L1, N, PE),
-  Alçak gerilim besleme hattı
(2 iletken : L, N),
-  Takviyeli yalıtımlı donanım, II sınıfı donanım.

1 İletişim sistemi,
 2 Elektrik sistemi,
 G_1 I sınıfı donanım (PE iletkenli),
 G_2 II sınıfı donanım (PE İletkensiz),
 U_1 Su borusu ile elektrik sistemi arasındaki gerilim,
 U_2, U_3 İletişim sistemi ile elektrik sistemi arasındaki gerilim,
 d_1 Su borusu ile G_2 cihazı arasındaki ortalama uzaklık $d_1 = 1m$,
 h Yapının yüksekliği $h = 20m$,
 l YKS indirme iletkeni ile metal tesislerin paralel gitme uzunluğu,
 w Metal su borusu veya başka bir metal tesis.

Not: Aşırı gerilimlerin sayısal hesabı için Ek-D.2'deki Durum II'ye bakınız

Şekil-35 Dış duvarlarında betonarme çeliği olan yapılar
 Çoklu bağlantı kullanılmadan tasarlanmış iletişim tesisi örneği

Darbe gerilimine, ekranlama önlemleri ve doğru kablo döşenmesi ile de etki edilebilir.

DKD montajı, diğer gerilim azaltma yöntemlerinin yetersiz kalması veya uygulanmalarının zor olması durumunda (örneğin YKS'ye ilişkin bakım masraflarını ve sistemin yanlış çalışma riskini azaltmak amacıyla) yapılmalıdır.

Elektronik düzenlerin alçak gerilim beslemeleri içindeki DKD daima, aşırı akımda açma yapacak bir sigortadan veya güç anahtarından sonra bağlanmalıdır.

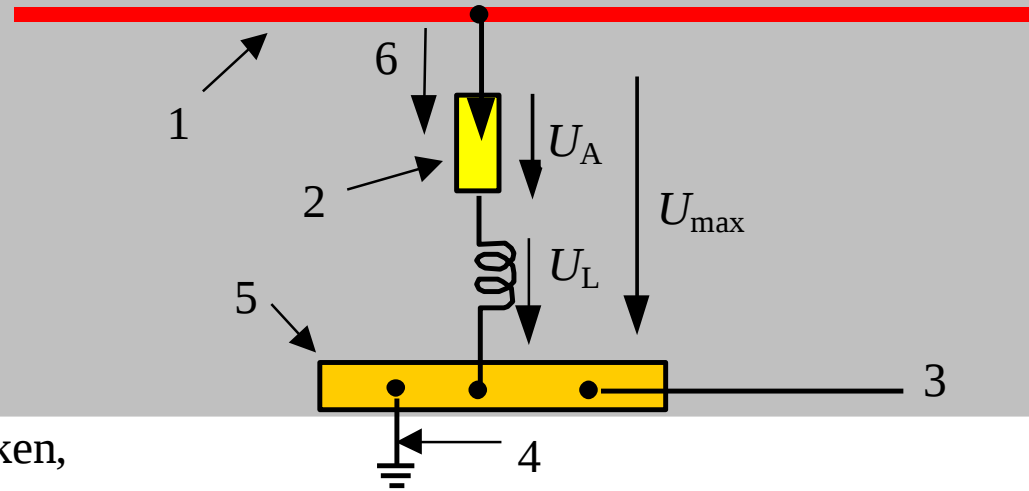
Sigortaların bağlanacağı diğer bir yer, sigortanın atması durumunda korunan düzenin enerjisiz kalmaması için, DKD çıkışıdır.

DKD, kısa kuşaklama iletkenleri ile potansiyel dengeleme barasına bağlanmalıdır.

DKD ve kuşaklama bağlantı iletkenleri üzerindeki gerilim düşümünün iki bileşeni vardır:

DKD üzerindeki gerilim düşümü U_A ve
kuşaklama bağlantı iletkenleri üzerindeki gerilim düşümü U_L .

Bu iki gerilimin en büyük değerleri aynı anda ortaya çıkmaz. Bununla birlikte her iki gerilimin toplamı, akım taşıyan hat ile potansiyel dengeleme barası arasındaki, izin verilen en büyük darbe gerilimi U_{max} 'dan daha küçük olmalıdır (Şekil-36'ya bakınız).



- 1 Gerilimli iletken,
- 2 DKD,
- 3 Alçak gerilim sisteminde koruma toprağı (örneğin, PE),
- 4 Topraklama sistemi,
- 5 Potansiyel dengeleme barası,
- 6 Yıldırım akımının bir bileşeni.

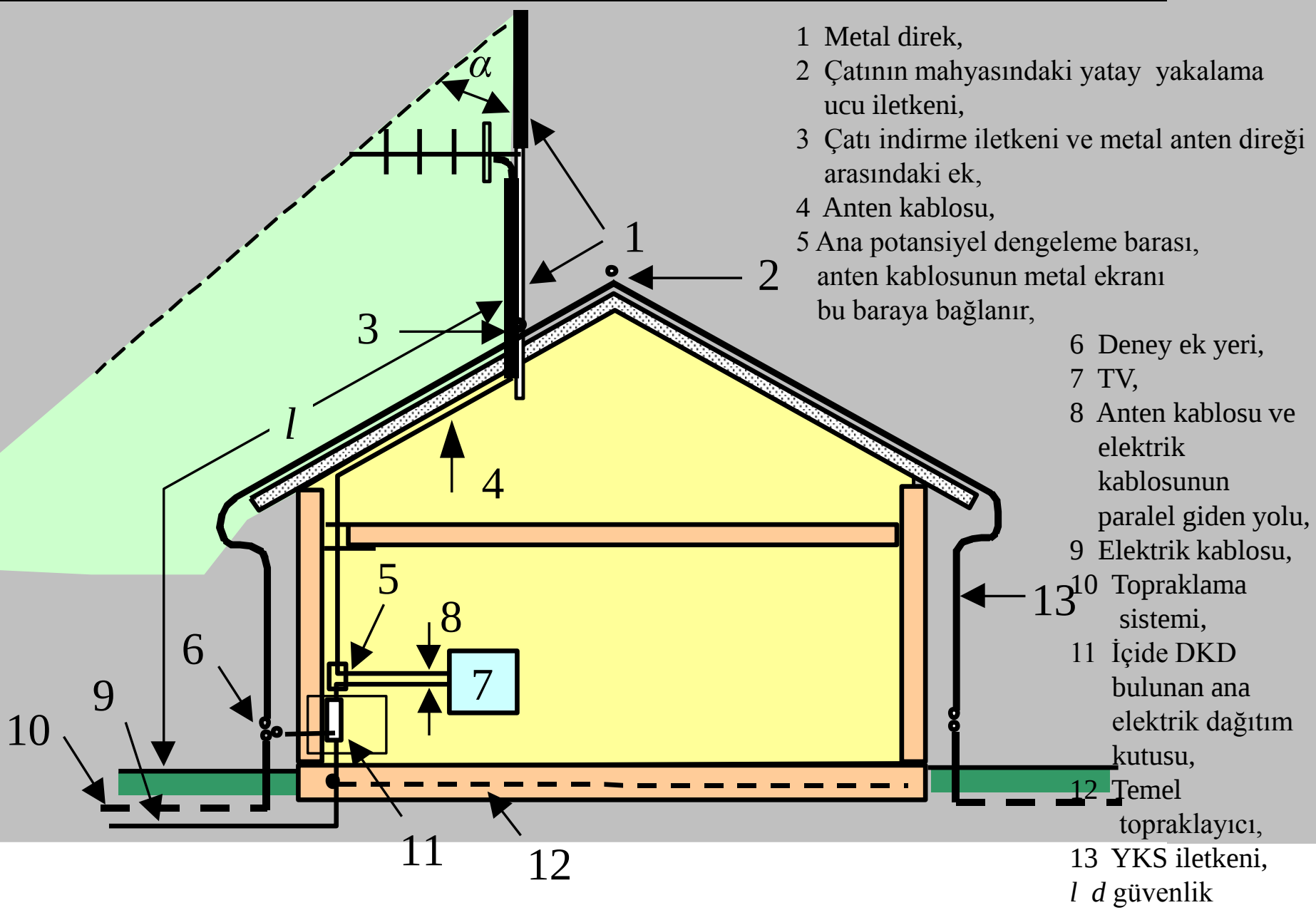
Şekil-36 Gerilimli iletkenler ile potansiyel dengeleme barası arasındaki darbe gerilimi.
(DKD tesis edildiğinde), örneğin hattın yapıya girişinde

Elektrik ve elektronik düzenlerin imalatçıları, cihazlarının darbe gerilimine karşı korunmasını tasarlarken, darbe enerjisinin farklı DKD'ler arasında dağılacağını gözönüne almalıdır.

5) Korunan hacim dışına taşan elektrik düzenleri

Bir yapının çatısındaki anten direği yakalama ucu sistemine bağlanmalıdır. Koaksiyel anten kablosu kullanılmalıdır.

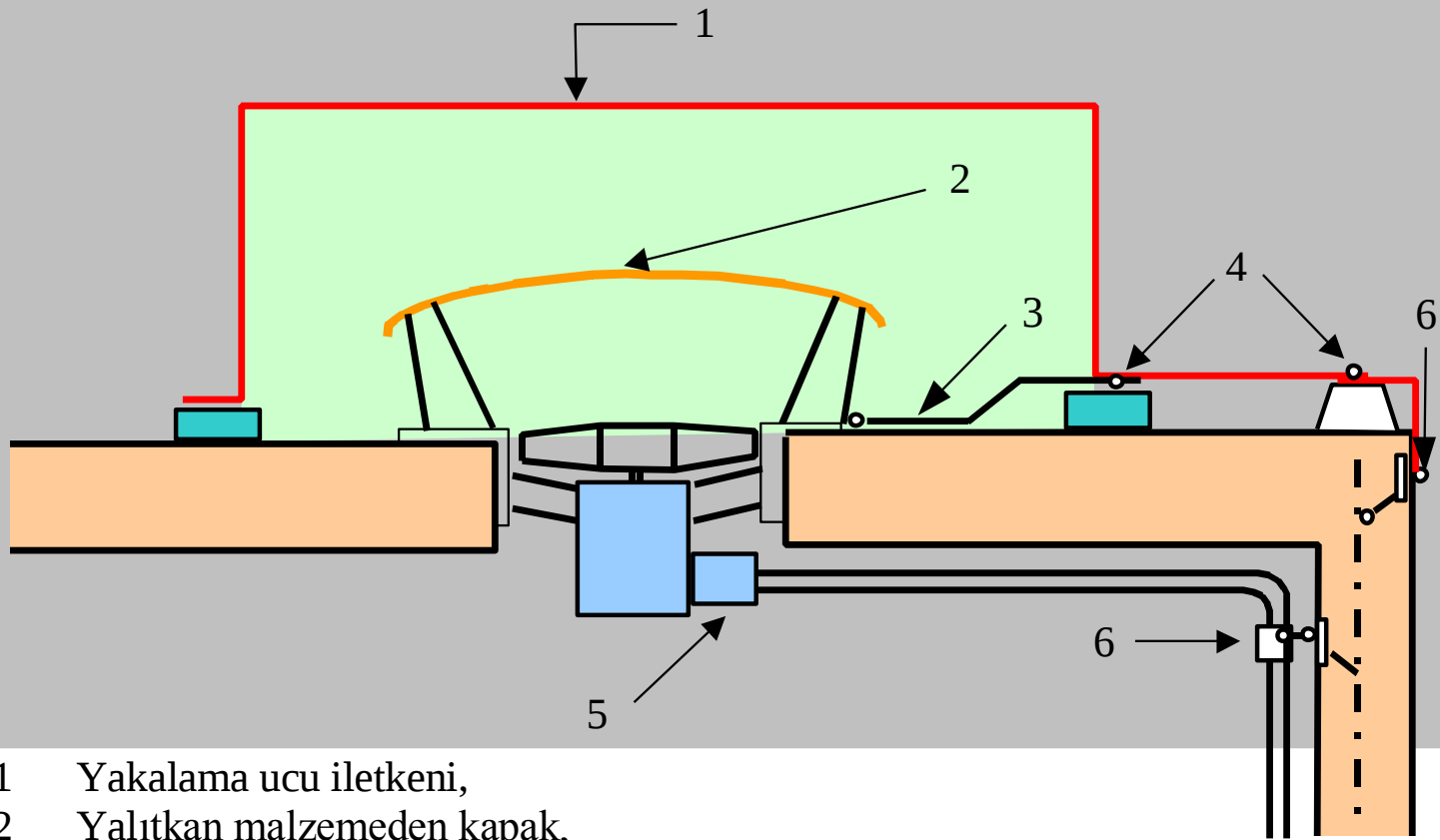
Anten kablosu, bütün diğer besleme kablolarının da bina içine sokulduğu veya potansiyel dengeleme barasına yakın bir yerden yapıya sokulmalıdır. Anten kablosunun iletken ekranı ana potansiyel dengeleme barasına bağlanmalıdır (Şekil-37'ye bakınız). Aşırı gerilimi azaltmak için DKD, cihaz üzerine bağlanmalıdır.



Şekil-37 Yakalama çubuğu olarak direk kullanan, TV antenli bir yapının yıldırımdan korunmasına örnek

Güvenli uzaklıkta bulunmayan çatı arasındaki elektrik düzenleri, yakalama ucu sistemleri, çatı arasındaki iletken kısımlar ve kendi elektrik düzenlerinin iletken ekranları ile Çizelge-6'ya uygun olarak bağlanmalıdır.

Şekil-38, çatı aralarının iletken kısımlar ile yapının elektrik bağlantısına ve yakalama ucu sistemleri bağlanma yöntemine bir örnektir.



- 1 Yakalama ucu iletkeni,
- 2 Yalıtkan malzemeden kapak,
- 3 Bağlantı iletkeni,
- 4 Yatay yakalama ucu iletkeni,
- 5 Elektrik donanımı,
- 6 Yapının iletken elemanlarına bağlantı eki.

Not: Mahfazalı elektrik donanımı; yakalama ucu sistemine ve Madde 4-a2'ye uygun bir yapının iletken elemanlarına, yıldırım akımının büyük bir kısmına dayanabilecek metal kablo ekranı üzerinden bağlanır.

Şekil-38 Yakalama sistemine bağlanmış doğrudan yıldırım çarpmasına karşı korunmuş metal çatı bölümü



f) Elektrik ve mekanik kurallar

1) Elektrik Tasarımı

Yıldırımdan korunma tasarımcısı, yapı şekline en uygun YKS tipini (ayrılmış YKS, ayrılmamış YKS veya her ikisinin kombinasyonu) seçmelidir.

Bir YKS tasarımı tamamlanmadan önce toprak öz direnci kontrol edilmeli ve toprak öz direncinin mevsime göre değişebileceği göz önüne alınmalıdır.

YKS için temel tasarım yapıldıktan sonra, yapının uygun iletken kısımlarının, YKS'yi iyileştirebilecek veya YKS'nin belli başlı elemanları olarak etkili olabilecek bölümlerinin, YKS'nin doğal bileşenleri olarak kullanılıp kullanılmayacağı incelenmelidir.

2) Mekanik Tasarım

Yıldırımdan korunma tasarımcısı, elektrik tasarımının tamamlanmasından sonra, binanın mekaniğinden sorumlu yetkililerinden mekanik tasarım konusunda bilgi almalıdır.



Malzemelerin doğru seçimi, hem korozyon riskini sınırlandırmak açısından hem de estetik görünüş açısından çok önemlidir.

YKS'nin çeşitli kısımlarının en küçük boyutları Çizelge-2, Çizelge-5, Çizelge-6 ve Çizelge-7'de verilmiştir.

Çizelge-2 Yakalama ucu sistemlerindeki metal levhaların ve metal boruların en küçük kalınlıkları

Koruma seviyesi	Malzeme	t kalınlığı [mm]
I ila IV	Fe	4
	Cu	5
	Al	7

Çizelge-5 YKS malzemesinin en küçük kesitleri

Koruma seviyesi	Malzeme	Yakalama ucu (mm ²)	İndirme iletkeni (mm ²)	Topraklama bağlantısı (mm ²)
I ila IV	Cu	35	16	50
	Al	70	25	-
	Fe	50	50	80

Çizelge-6 Yıldırım akımının büyük bölümünü geçiren kuşaklama iletkenlerinin malzemesi ve en küçük kesitleri

Koruma düzeyi	Malzeme	Kesit alanı (mm ²)
I ila IV	Cu	16
	Al	25
	Fe	50

Çizelge-7 Yıldırım akımının küçük bölümünü geçiren kuşaklama iletkenlerinin malzemesi ve en küçük kesitleri

Koruma düzeyi	Malzeme	Kesit alanı (mm ²)
I ila IV	Cu	6
	Al	10
	Fe	16

YKS elemanları için kullanılacak malzemeler, Çizelge-4’de gösterilmiştir.

Çizelge-4 YKS malzemeleri ve kullanma koşulları

Malzeme	Kullanma yeri			Korozyon		
	Açık havada	Toprak içinde	Beton içinde	Dayanımı	Aşağıdakiler ile artar	Aşağıdakiler ile elektrolitiktir
Bakır	- Som - Örgülü - Kaplanmış	-Som -Örgülü -Kaplanmış	—	Birçok malzemeye Karşı	-Yüksek konsantrasyonlu klorürler -Kükürt bileşenleri -Organik malzemeler	—
Sıcak galvanizli çelik	- Som -Örgülü	-Som	Som	Asitli topraklarda bile iyi	—	Bakır
Paslanmaz çelik	-Som -Örgülü	-Som	—	Birçok malzemeye karşı	Çözünmüş klorürler içeren su	—
Alüminyum	-Som -Örgülü	—	—	—	Baz esaslı etkileyiciler	Bakır
Kurşun	-Som -Kaplanmış	-Som -Kaplanmış	—	Yüksek konsantrasyonlu sülfatlar	Asitli topraklar	Bakır

Çubuk ve kelepçe gibi diğer elemanlar ulusal standartlara uygun olarak seçilebilir. Yıldırımdan koruma tasarımcısı, YKS'nin uygunluğunu sağlamak açısından, bu gibi bileşenlerin sıcaklık artışlarını ve mekanik zorlanmalarını belirlemek zorundadır. En küçük büyüklüklerin seçilmesi durumunda, bu bileşenlerin aşırı yüklenmeleri önlenir.

Çizelge-5, Çizelge-6 ve Çizelge-7'de verilen boyutlardan ve malzemelerden farklılıklar olduğu takdirde, yıldırımdan korunma tasarımcısı veya yıldırımdan korunma tesisatçısı, seçilmiş olan yıldırımdan korunma sınıfı için Üçüncü Bölüm'de verilmiş olan yıldırım boşalmasına ilişkin elektrik parametrelerini kullanarak boşalma koşulları altında YKS iletkenlerindeki sıcaklık artışlarını tespit etmeli ve bunları, bu sonuçlara uygun olarak boyutlandırmalıdır.

Elemanların bağlandığı yüzey için, bunun yanıcı olması veya düşük bir erime noktasına sahip olması gibi nedenlerden dolayı, kuvvetli bir sıcaklık artışı önemli ise, daha büyük iletken kesitleri seçilmeli veya, örneğin daha uzun ara tutucular kullanmak veya yanmaya karşı dayanıklı tabakalar döşemek gibi, başka güvenlik önlemleri dikkate alınmalıdır.

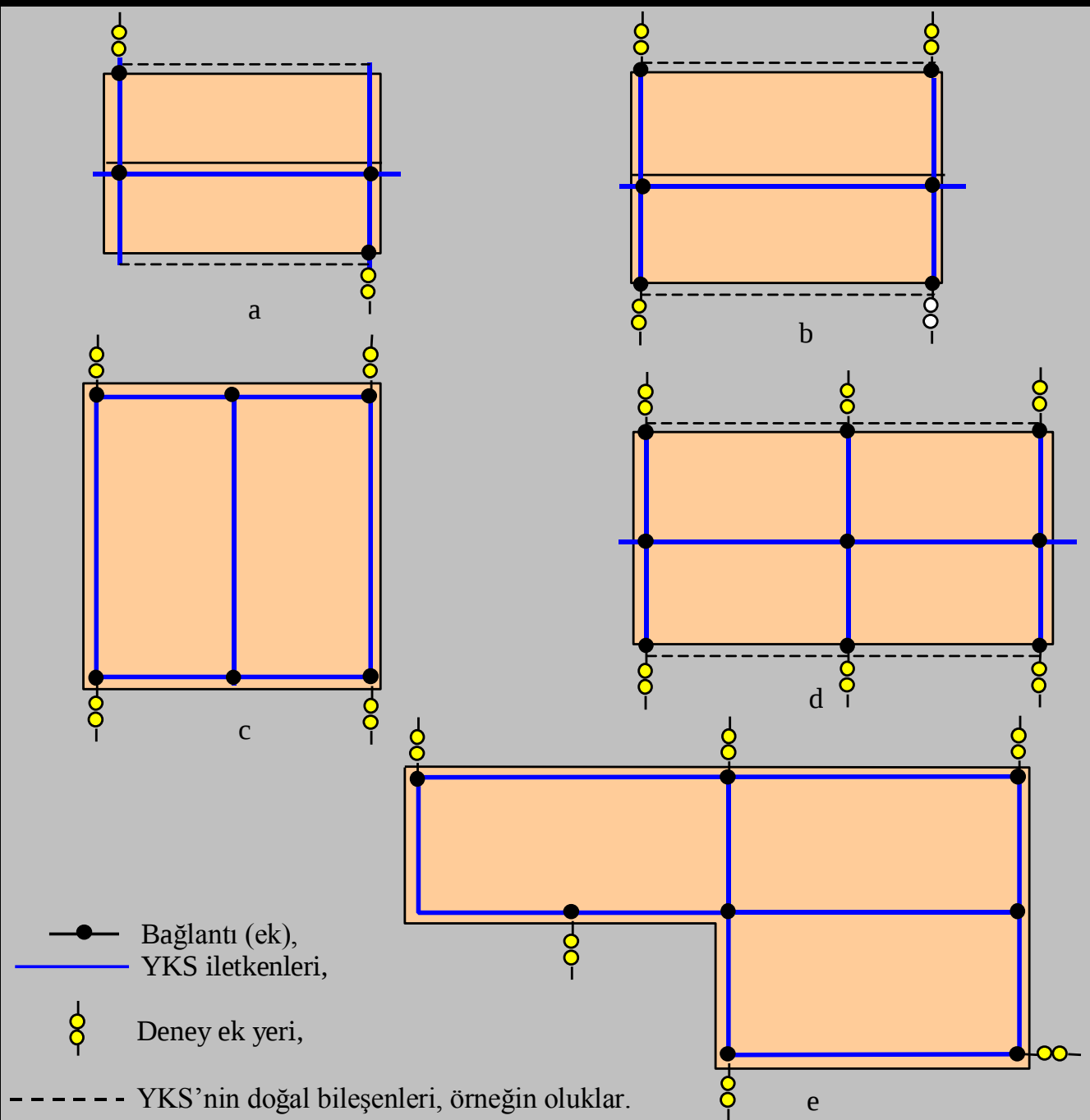
YKS tasarımcısı, korozyon tehlikesi altında bulunan bütün bölümleri ve uygun önlemleri tespit etmelidir.

YKS'ye korozyon etkisi, ya malzeme boyutlarının büyütülmesiyle veya korozyona dayanıklı elemanların kullanılmasıyla, ya da diğer korozyona karşı koruma önlemlerinin alınmasıyla azaltılabilir.

YKS tasarımcısı ve YYS tesisatçısı, iletkenlerden geçen yıldırım akımının oluşturduğu elektrodinamik kuvvetlere dayanacak ve bundan başka, ortaya çıkacak sıcaklık değişikliklerinden kaynaklanan iletken uzama ve kısalmalarına izin verecek iletken sabitleyici kısımları ve tutucuları belirlemelidir.

3) Dış YYS'nin tasarımına örnekler

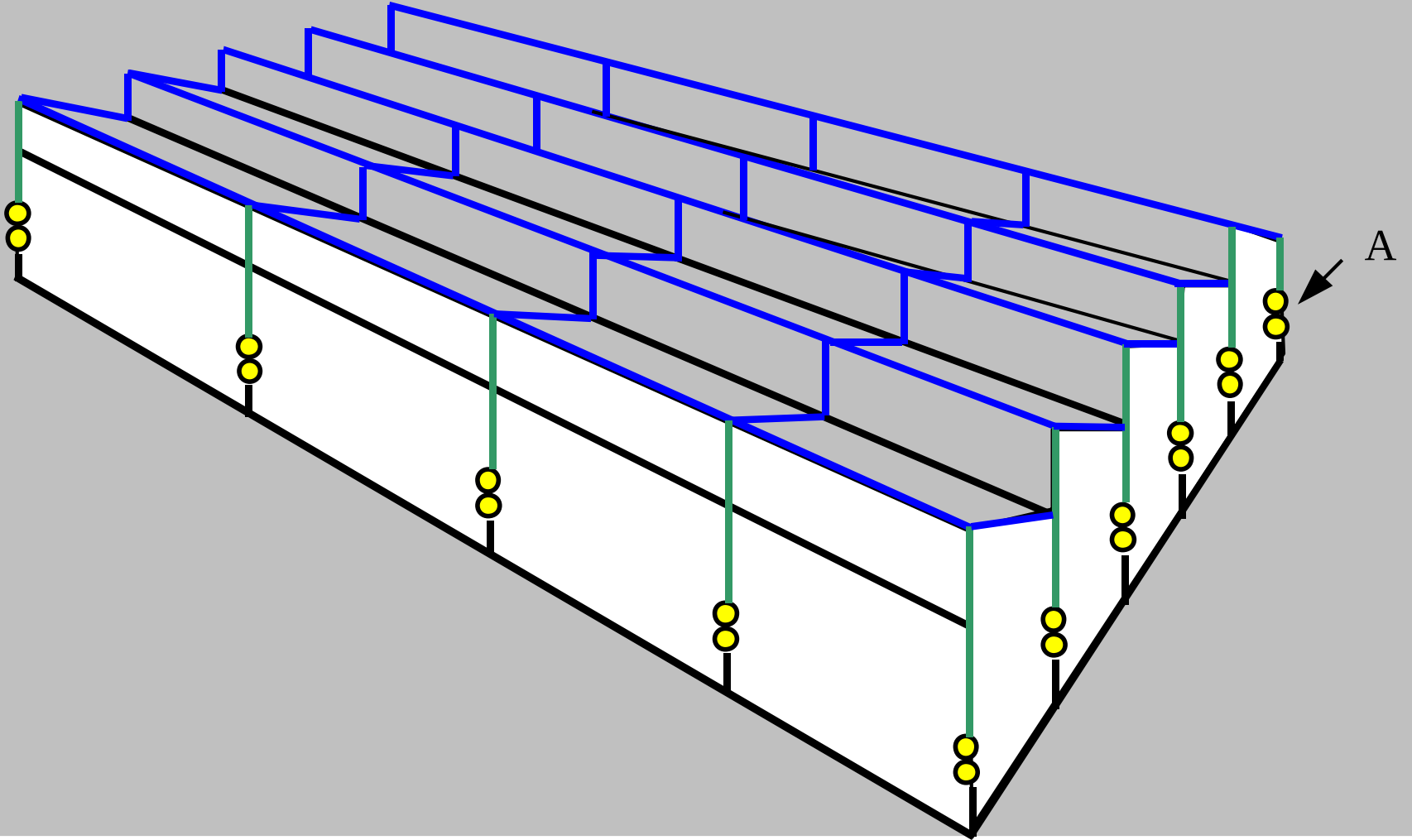
şekil-45'de dış YYS'nin tasarımına örnekler verilmiştir. Kesikli izgi bütün resimlerde YYS'nin doğal iletkenini ifade etmektedir.



Şekil-45 Yapılar için dış YKS tasarım örnekleri

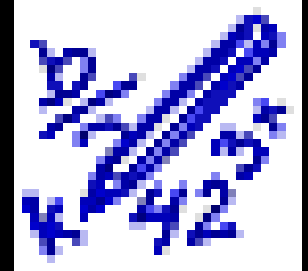
Yakalama uçlarının ve indirme iletkenlerinin benzer tasarımları; YKS iletkenlerinin mesafesi daima, Çizelge-1 ve Çizelge-3'de seçilmiş olan yıldırımdan korunma sınıfı için verilen değerlere uygun olması koşuluyla, yapı tesislerinin her çeşidi için kullanılabilir.

Testere dişi şeklinde çatısı olan bir binanın dış YKS tasarımı Şekil-39'daki örneğe uygun olabilir.



A Deney ek yeri.

Şekil-39 Testere dişi biçimli çatı yapısında YKS örneği



g) Tasarım Hesapları

1) k_c katsayısının hesaplanması

(k_c : İndirme iletkenleri üzerindeki akım dağılım katsayısı)

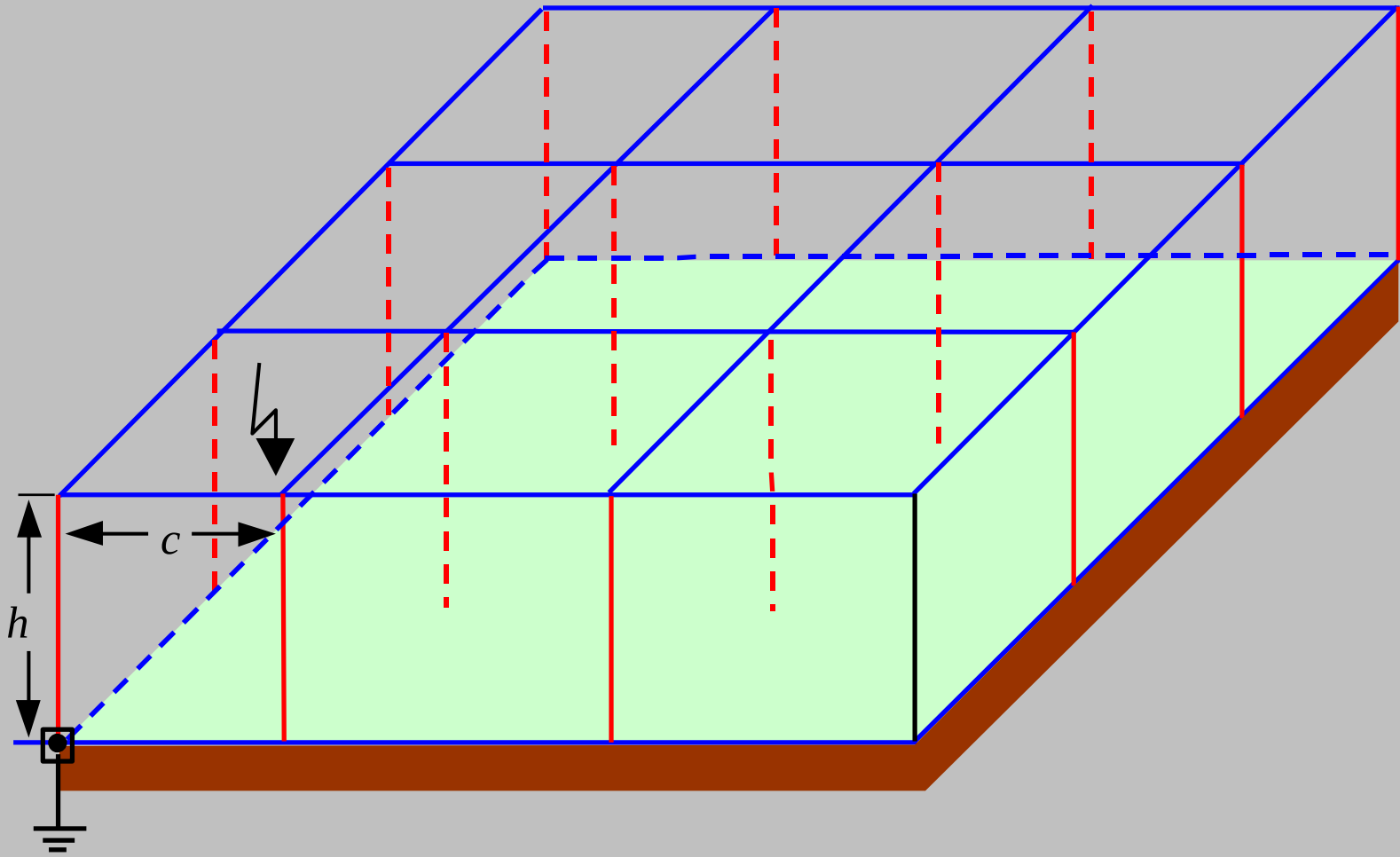
Akım dağılım katsayısı k_c , Çizelge-15 ve Şekil-41, Şekil-42'de gösterildiği üzere,

- 1) İndirme iletkenlerinin ve halka iletkenlerin yerine ve sayısına (n),
- 2) Ara bağlantıyı sağlayan halka iletkenlerine,
- 3) Yakalama ucu sisteminin tipine ve
- 4) Topraklama tesisinin tipine

bağlıdır.

Çizelge-15 k_c katsayısı değerleri

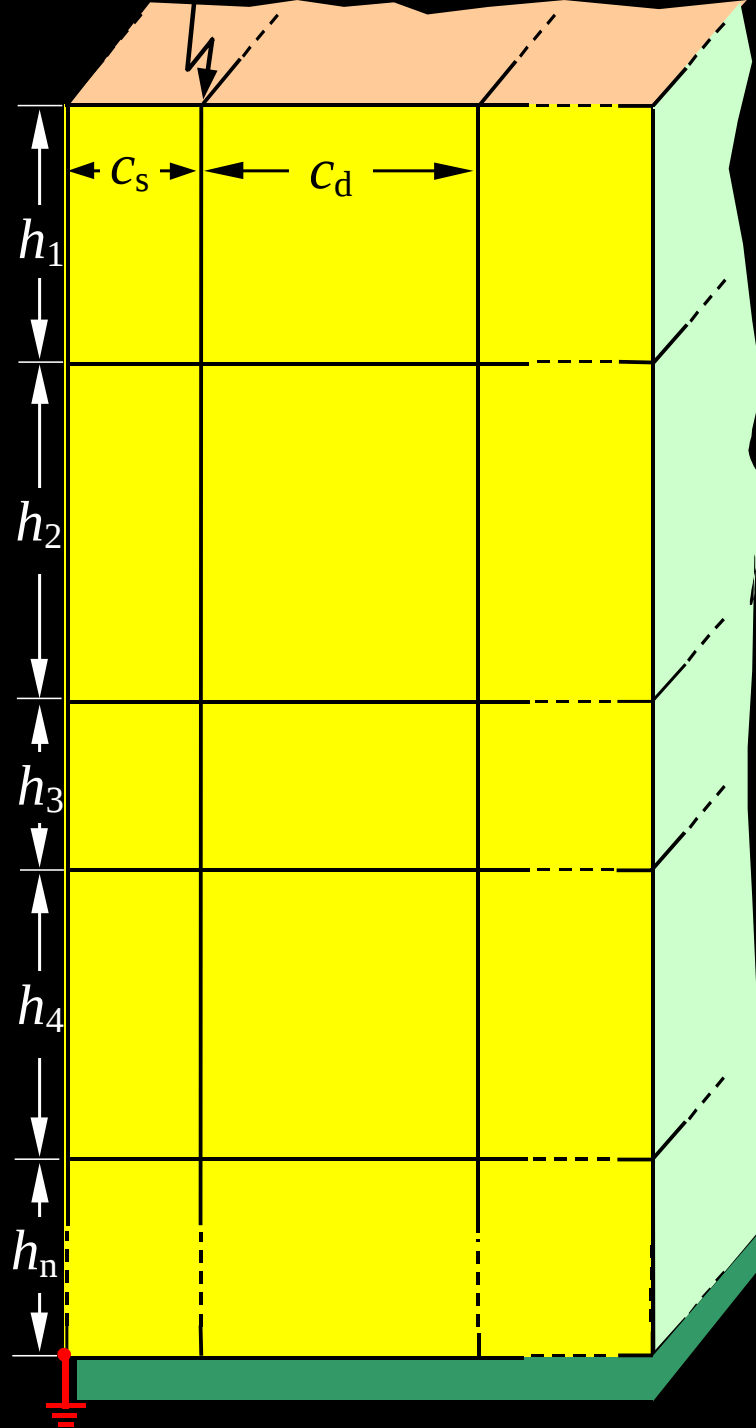
İndirme iletkenleri Topraklama sistemi tipi	Toprak seviyesinde ara bağlantı yapılmamış	Toprak seviyesinde ara bağlantı yapılmış
Çubuk topraklayıcı	1	1
Şerit topraklayıcı	1	Şekil-41'e bakınız
Ağ	1	Şekil-42'ye bakınız



- n Toplam indirme iletkeni sayısı,
 c En yakın indirme iletkeninden uzaklık,
 h Halka iletkenler arasındaki açıklık.

$$k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,23\sqrt{\frac{c}{h}}$$

Şekil-41 Kafes yakalama sistemi ve B tipi topraklama sistemi durumunda k_c katsayısının değerleri



$$k_{C_1} = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{c_s}{h_t}} \cdot \sqrt[6]{\frac{c_d}{c_s}}$$

$$k_{C_2} = \frac{1}{n} + 0,1$$

$$k_{C_3} = \frac{1}{n} + 0,01$$

$$k_{C_4} = \frac{1}{n}$$

$$k_{C_m} = k_{C_4} = \frac{1}{n}$$

Şekil-42
Kafes yakalama ucu sistemlerinde iniş iletkenlerini birbirine bağlayan halka ve B tipi topraklama sistemi için k_c katsayısının değerleri

Tesislerin YKS'den açıklığı: Eşpotansiyel kuşaklamanın sağlanamadığı yerlerde, tehlikeli kıvılcımlardan kaçınılması için, YKS ile metal tesisler arasında ve hatlar ile dış iletken bölümler arasında **s ayırma açıklığı**, **d güvenlik açıklığı**ndan olabildiğince büyük olmalıdır.

$$s \geq d = k_i \frac{k_c}{k_m} \cdot l \text{ (m)}$$

k_i : YKS'nin seçilen koruma düzeyine bağlı katsayıdır (Çizelge-8),

k_c : Geometrik boyutlara bağlı katsayıdır (Şekil-3, Şekil-4, Şekil-5),

Çizelge-8 k_i katsayısı değerleri

Koruma düzeyi	k_i
I	0,1
II	0,075
III ve IV	0,05

k_m : Ayırma malzemesine bağlı katsayıdır (Çizelge-9),

l : Tesislerin YKS'den açıklığının dikkate alınacağı noktadan, en yakın potansiyel dengeleme barasına kadar indirme iletkeni boyunca uzunluktur (m).

Çizelge-9 k_m katsayısı değerleri

Malzeme	k_m
Hava	1
Katı	0,5

Bu bağıntı, indirme iletkenleri arasındaki uzaklık 20 m ise geçerlidir.

Not: Aralarında bağlı betonarme çelikleri bulunan betonarme yapılar ve çelik iskeletli yapılarda veya eşdeğer ekranlama özellikli yapılarda, tesislerin YKS'den açıklığına ilişkin kurallar normal olarak sağlanır.

2) Bina dışında bulunan iletken kısımlardaki ve bina tesisine sokulan iletkenlerdeki kısmi yıldırım akımları

Toprağa doğru giden bir yol üzerinde bulunan yıldırım akımı; topraklama tesisinin, bina dışındaki iletken kısımların ve bina içine giren iletkenlerin bir bölümüne, doğrudan veya DKD üzerinden dağılır.

Yıldırım akımının bina dışında bulunan her bir iletken kısımdan akan I_f akımı bu iletkenlerin sayısına, bunlara ilişkin eşdeğer topraklama empedansına ve topraklama tesisinin eşdeğer topraklama empedansına bağlıdır.

$$I_f = \frac{Z.I}{n_1.Z + Z_1}$$

Z Topraklama tesisinin eşdeğer topraklama empedansı (Çizelge-16),

Z_1 Bina dışındaki iletken kısımlar ile hatların eşdeğer topraklama empedansı (Çizelge-16)

n_1 Bina dışındaki iletken kısımların veya hatların toplam sayısı,

I Koruma sınıfına karşı düşen yıldırım akımı.

Not: n_1 'in hesaplanmasında telefon hatları göz önüne alınmamalıdır.

Eğer hatlar ekranlanmamışsa veya metal borular içinde döşenmemişse, her iletken I_f/n' 'ne karşı düşen bir kısmi akım akıtır. Burada n' , bu hatların içindeki iletkenlerin toplam sayısıdır.

Çizelge-16'deki parametreler (koruma sınıfı, toprak öz direnci) bilinmiyorsa, I_f kısmi akımı için aşağıdaki formüle göre bir yaklaşık değer hesaplanabilir :

$$I_f = 0,5.I / n_1$$

Çizelge-16 Toprağın ρ özdirencine göre Z ve Z_1 eşdeğer topraklama empedansı değerleri

ρ [Ω .m]	Z_1 [Ω]	Koruma seviyeleri ile ilgili eşdeğer topraklama empedansı Z [Ω]		
		I	II	III-IV
100	8	4	4	4
200	13	6	6	6
500	16	10	10	10
1000	22	10	15	20
2000	28	10	15	40
3000	35	10	15	60

3) Kablo kılıfının en küçük kesiti

Aktif iletkenlerle bir kablonun ekranı arasında, ekrandan akan kısmi yıldırım akımından kaynaklanarak ortaya çıkan aşırı gerilim, malzemeye ve ekranın boyutlarına, aynı zamanda da kablonun uzunluğuna ve yerine bağlıdır.

Kablonun herhangi bir koruma bağlantısı gerektirmeyeceği en küçük ekran kesiti $A_{\min}$ (mm²):

$$A_{\min} = \frac{I_f \cdot \rho_c \cdot l_c \cdot 10^6}{U_c}$$

I_f Ekran üzerinden akan kısmi yıldırım akımı (kA),

ρ_c Ekranın öz direnci (Ω m),

l_c Kablo uzunluğu (m) (Çizelge-17),

U Kablonun darbe dayanma gerilimi (kV) (Çizelge-18)

Çizelge-17 Ekranlama durumuna göre göz önüne alınacak kablo uzunluğu

Ekran durumu	l_c
ρ [$\Omega.m$] öz dirençli toprakla temasta	$l_c \leq 8\sqrt{\rho}$
Havada veya topraktan ayrılmış	l_c : Yapı ile en yakın topraklanmış ekran arasındaki uzaklık

Çizelge-18 Farklı anma gerilimlerinde kablo
yalıtımının darbe dayanma
gerilimleri (kV)

Anma gerilimi, kV	U_c , kV
$\leq 0,05$	5
0,22	15
10	75
15	95
20	125

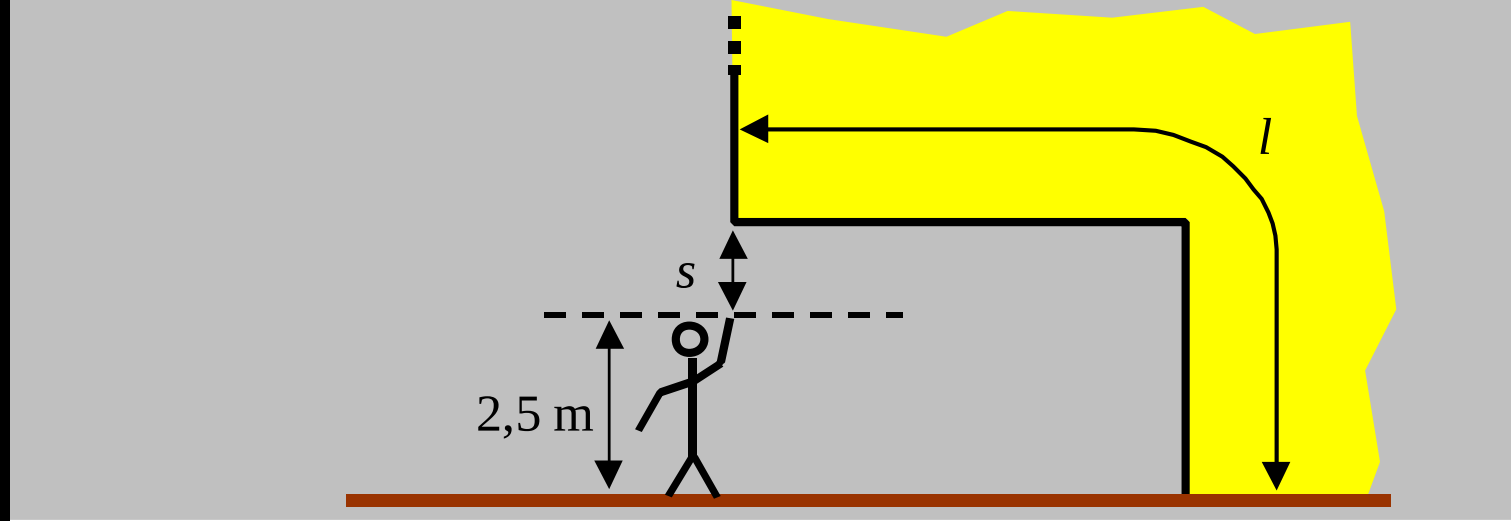
4) Dışarı taşmış kısımları bulunan bina tesisleri

Bu durumda, metre cinsinden s ayırma uzaklığı,

$$s \text{ [metre]} > 2,5 + d \text{ [metre]}$$

koşuluna uygun olmalıdır. Burada d, Madde- 7b'ye göre hesaplanan, metre cinsinden güvenlik açıklığıdır.

2,5 m değeri, bir insanın yukarı doğru uzatılmış elinin parmak uçlarının yerden yüksekliğine karşı düşer (Şekil-44).



s Madde 7-b'ye göre ayırma uzaklığı,

l d güvenlik açıklığına karşı düşen uzunluk.

Not: Elini kaldırmış kişinin boyu 2,5 m olarak alınmıştır.

Şekil-44 Yapının çıkmalı kısmı için YKS tasarımı