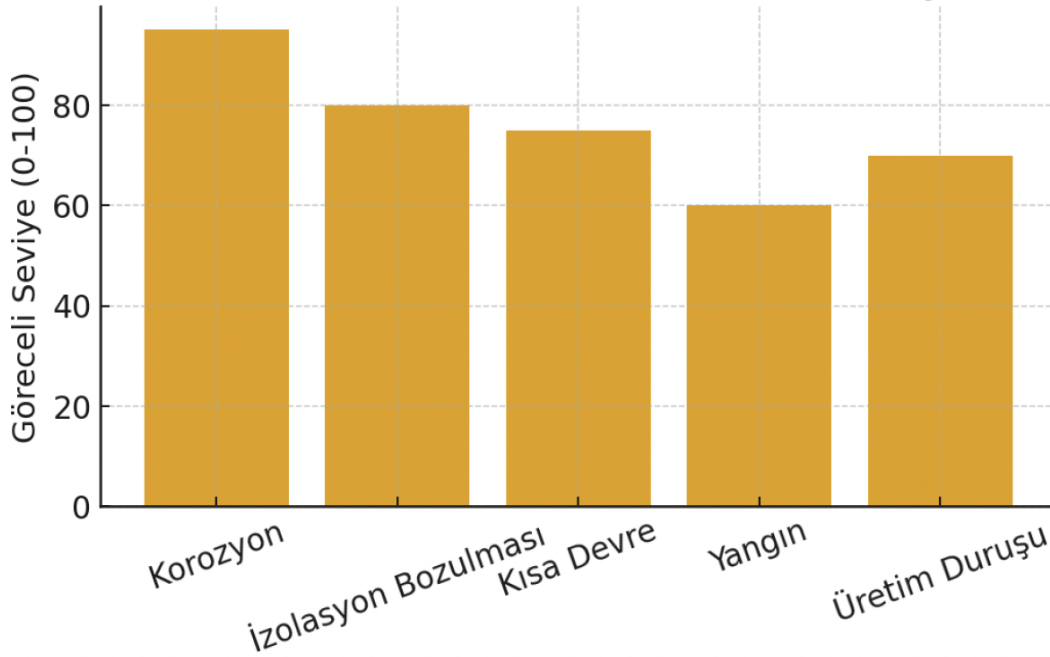


Nemli ve Tuzlu Ortamda Elektrik Bağlantılarında Dikkat Edilmesi Gerekenler

Özet / Executive Summary

Bu doküman; deniz kenarı, offshore, gıda ve kimya tesisleri, soğuk oda ve yıkama hatları gibi yoğun nem ve/veya tuz yüküne maruz kalan ortamlarda elektrik bağlantılarının güvenli, dayanıklı ve regülasyonlara uygun şekilde tasarım ve montajına dair kapsamlı bir rehber sunar. Korozyon, kaçak akım, izolasyon bozulması ve yangın riskleri için kök nedenleri açıklar; malzeme ve ekipman seçiminde teknik kriterleri ve standart referanslarını listeler; IP koruma, kablo rakorları, contalar, kaplamalar, izolasyon koordinasyonu, ATEX/Ex, bakım/verifikasyon ve test stratejileri için uygulanabilir kontrol listeleri sağlar. Kaynaklar bölümünde atıf yapılan standartlar ve yayınlar numaralandırılmıştır.

Nemli/Tuzlu Ortamlarda Başlıca Risklerin Ciddiyeti (temsili)



1. Giriş – Zorlukların Çerçevesi

Nem ve klorür içeren tuzlu ortamlar, elektrikli bağlantıların ömrünü belirgin ölçüde kısaltır. Yoğuşma ve tuz sisi; metal yüzeylerde korozyonu hızlandırır, yalıtım malzemelerinde yüzey iletkenliğini artırır ve izleme mesafelerini efektif olarak düşürür. Bu koşullar altında yanlış malzeme veya koruma sınıfı seçimi; yüksek temas direnci, ısınma, arka arkaya arızalar ve hatta yangınla sonuçlanabilir. Tasarım, montaj ve bakım aşamalarında bütüncül bir yaklaşım zorunludur.

- Hedef ortamın çevresel sınıfını belirleyin (ör. IEC 60721-3-3: 3K3/3C3 gibi kimyasal ve iklimsel şiddet sınıfları).
- İzolasyon koordinasyonu için kaçak/kavrama mesafelerini ortamın kirlilik derecesine göre belirleyin (IEC 60664-1).
- Muhafaza ve rakor seçiminde IP kodlarını doğru eşleyin; sabit su jetleri/hijyen yıkaması varsa IPX9 veya ISO 20653 IP69K düşünün.

2. Riskler ve Kök Nedenler

Korozyon: Klorür iyonları pasif filmi zayıflatır; karbon çeliği ve düşük alaşımlı çeliklerde hızlı metal kaybı; 316L paslanmazda oyuk (pitting) ve yarık (crevice) korozyonu; pirinç birleşenlerde dezinkifikasyon görülür. Galvanik çiftler (örn. paslanmaz çelik bağlayıcılar + alüminyum gövde) anodik bileşeni hızla tüketebilir. Elektriksel riskler: Nem ve tuz, yüzeysel iletken filmler oluşturarak kaçak akımı ve iz sürünmesini (tracking) artırır. Bu durum; izolasyon dayanımının düşmesine, kaçak akım rölelerinin sık tetiklenmesine ve kısa devre/ark oluşumuna zemin hazırlar. Operasyonel riskler: Artan temas direnci; ısınma ve enerji kaybı yaratır, klemens ve konnektör ömrünü kısaltır. Beklenmedik duruşlar ve bakım maliyetleri yükselir.

3. Uygulama Alanları

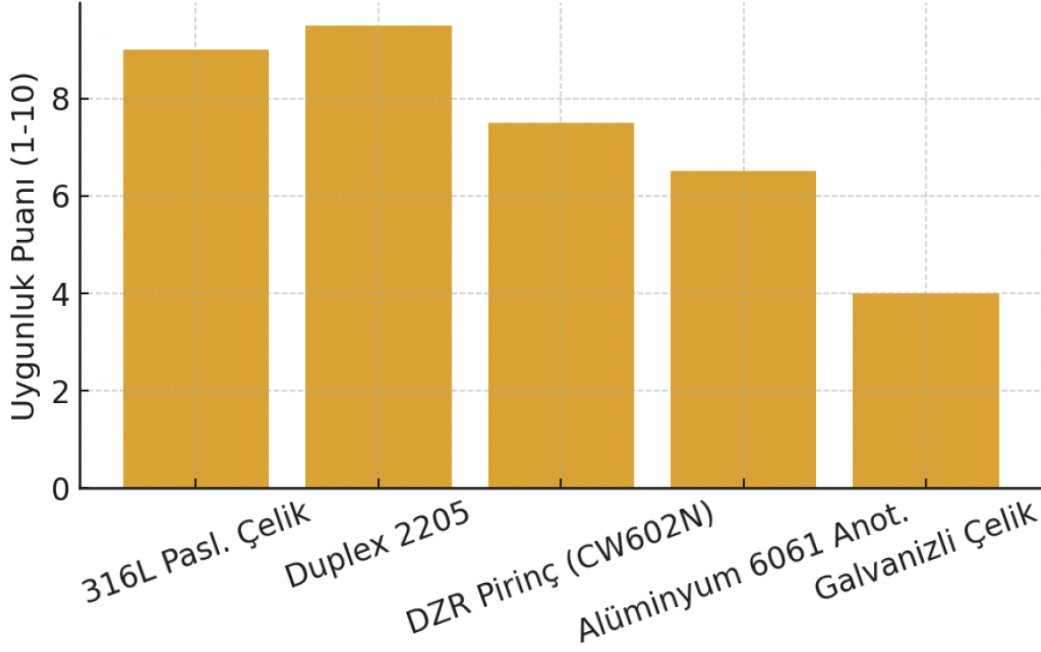
- Denizcilik/offshore (güverte ekipmanları, liman vinçleri, aydınlatma, sensörler)
- Gıda ve içecek (yüksek basınçlı sıcak suyla yıkama, hijyenik hatlar)
- Sahil bölgelerindeki endüstriyel tesisler (klima dış üniteleri, pompa istasyonları)
- Kimya/petrokimya (korozyif atmosfer, patlayıcı ortam olasılığı)
- Soğuk hava depoları ve su arıtma tesisleri (yoğuşma ve sprej)

4. Malzeme Seçimi ve Galvanik Uyum

Bağlantı elemanları ve donanım için malzeme seçimi, dayanıklılığın ana belirleyicisidir. Tuzlu/klorürlü ortamlar için 316L veya daha üst sınıf paslanmaz çelikler, duplex 2205 gibi alaşımlar; DZR (dezinkifikasyona dayanımlı) pirinç (CW602N) ve nikel-kalay kaplamalı bakır alaşımları tercih edilir. Galvanizli çelik, yoğun klorür yükünde hızla kayba uğrayabilir. Alüminyum kullanımında kalın anodizasyon ve galvanik izolasyon önlemleri şarttır.

- Galvanik çiftleri minimize edin; gerekli ise katot/anot alan oranını katot küçük/anot büyük olacak şekilde tasarlayın.
- DZR pirinç (CW602N) gibi alaşımları tuzlu suya maruz konnektör gövdelerinde ve rakorlarda değerlendirin.
- Kritik dış bağlantılarda kalay/nikel kaplamalı iletken yüzeyler kullanın; çinko kaplamalardan kaçınin.

Tuzlu Ortam Uygunluğu - Malzeme Karşılaştırması (temsili)



5. IP Koruma, Jet Yıkama ve Muhafaza Seçimi

Elektrik muhafazalarının toz ve su girişine karşı dayanımı, IP kodlarıyla ifade edilir (IEC 60529). Araç ve yüksek basınçlı yıkama uygulamaları için ISO 20653:2023 kapsamındaki IP69K sınıfı, IEC 60529'daki IPX9'a eşdeğer su testini tanımlar; 'K' harfi araç özel koşullarını ifade eder. Sabit tesislerde yoğun yıkama varsa IPX9/IP69K seviyeleri düşünülür; ancak kablo rakoru, tapa ve conta geçişlerinin tümü aynı seviyeyi karşılamalıdır.

- Dış ortam: en az IP66; yoğun sprej/jet: IPX9 (IEC 60529) veya IP69K (ISO 20653).
- Gıda yıkama hatlarında kimyasal dayanımı yüksek contalar (EPDM/FKM) ve paslanmaz gövde seçin.
- Yoğuşma için tahliye/drenaj ve nefeslik (breather) aksesuarları planlayın; anti-kondens ısıtıcıları değerlendirin.

6. Kablo, Rakor ve Konnektörler

Kablo kılıfları için UV ve yağ/kimyasal dayanımı yüksek malzeme (örn. PUR, CPE); rakorlar için IEC 62444'e uygun, IP68/IPX9 testli çözümler tercih edilmelidir. Konnektörlerde sızdırmazlık segmentleri (O-ring), jel dolgulu ek kutuları ve kalaylı iletken arayüzleri, tuz kaynaklı oksidasyonu sınırlar.

- Rakor sıkma torku üretici talimatına göre uygulanmalı; aşırı sıkma, kılıf kesmesine yol açabilir.
- Giriş sayısı fazla ise kör tapalar da IP seviyesine uygun olmalıdır.
- Konnektör eşleşmelerinde yağmur/yoğuşma yönünde dişi/yatay konumdan kaçının; damlama yolunu aşağı yönlendirin.

7. İzolasyon Koordinasyonu (IEC 60664-1) ve Yüzey İzlenmesi

Kirlilik derecesi 3 ve üzerinde (yoğuşma, iletken toz) çalışan ekipmanlarda kavrama (creepage) ve kaçak (clearance) mesafeleri artırılmalı; baskı devrelerde konformal kaplama (IPC-CC-830) ile iz sürünmesine karşı koruma sağlanmalıdır. Yüksek nemde CTI değeri düşük malzemelerden kaçınılmalı; koruyucu lak/kaplama kalınlığı ve maskelenmemiş bölgeler kontrol edilmelidir.

- Klemens blokları ve bara sistemlerinde yüzey yolunu uzun tutacak tasarımlar seçin.
- Konformal kaplama sonrası numune testleri (gözle muayene, dielektrik, nem-döngü) uygulayın.

8. Patlayıcı Ortamlar (Ex/ATEX) – Seçim ve Kurulum

Tuzlu ortamlarda Ex ekipmanlar aynı zamanda korozyonla da mücadele eder. IEC 60079-14:2024'e göre seçim, kurulum ve ilk muayene yapılmalı; contalar, kablo girişleri ve paslanmaz bağlantılar korozyona dayanımlı tipte olmalıdır. Ex d muhafazalarda contaların ezilmesi ve vidalı kapakların yağlanması korozyon kaynaklı sızdırmazlık kaybını önler.

- Kablo girişlerinde Ex e/Ex d onaylı rakorlar ve uygun mastik/kompaund kullanın.
- Yüzey koruması için ISO 12944'a göre boya/kaplama sistemi belirleyin (offshore için CX/Im4).

9. Test, Doğrulama ve Hijyenik Yıkama Dayanımı

Korozyon dayanımının ön doğrulaması için ISO 9227/ASTM B117 tuz sisi testleri, sızdırmazlık için IP testleri (IEC 60529/ISO 20653) ve elektriksel güvenlik için IEC 60364-6 doğrulamaları kullanılmalıdır. Hijyen yıkamalarında sıcak su/buhar jetsine karşı IPX9/IP69K test raporları talep edilmelidir.

- Devreye almada: izolasyon direnci (IR), süreklilik, RCD fonksiyon, termal kamera ile sıcak nokta taraması.
- Periyodik bakımda: rakor tork kontrolü, contaların çatlak/kışır kontrolü, dış kaplama boya kalınlık ölçümü.

10. Bakım Stratejisi ve Yaşam Döngüsü Maliyeti

Agresif ortamlarda önleyici bakım aralığını kısaltmak toplam maliyeti düşürür. Nem bariyerleri, drenaj ve anti-kondens ısıtıcıları gibi düşük maliyetli önlemler; klemens/konnektör ömrünü dramatik biçimde uzatır.

- Aylık görsel kontrol + 6 ayda bir fonksiyon testleri + yılda bir tam ölçüm planı önerilir (tesis gereksinimine göre uyarlayın).
- Klemens/konektör açma-kapama sayısını kayıt altına alın; kritik eşiklerde planlı değişim.

11. Örnek Uygulama Rehberi – Adım Adım

- Çevre sınıfını ve IP gereksinimini belirleyin (IEC 60721-3-3, IEC 60529/ISO 20653).
- Malzeme listesinde 316L/2205, DZR pirinç, nikel-kalay kaplama ve EPDM/FKM contaları tercih edin.
- Rakor ve konnektörleri IEC 62444 ve üretici sertifikalarına göre doğrulayın.
- Kablo güzergâhında kapiler su yolunu engelleyecek damlalık ve U-loop planlayın.
- Muhafaza içine nefeslik/drenaj ekleyin; yoğunlaşma sensörü gerekiyorsa yerleştirin.
- Devreye alma doğrulamalarını IEC 60364-6'ya göre kayıtlayın.

12. Kontrol Listeleri

12.1 Devreye Alma Kontrol Listesi

- IP sınıfı etiketleri doğrulandı (IP66 / IPX9 / IP69K vb.).
- Tüm kablo girişleri rakor veya kör tapa ile sızdırmaz.
- Paslanmaz bağlantı elemanları ve tork kayıtları mevcut.
- Topraklama/ekipotensiyel bağlantılar düşük dirençli.
- Konformal kaplama uygulanan devreler işaretlendi ve test edildi.

12.2 Periyodik Bakım Kontrol Listesi

- Dış yüzey kaplama (boya) hasar kontrolü ve onarımı.
- Conta/O-ring çatlak ve sertleşme kontrolü; gerekiyorsa değişim.
- Klemens ve baralarda gevşeklik/ısınma izi var mı? (termal kamera)
- Korozyon ürünleri temizlendi; pasivasyon/yağlama yapıldı.
- IP tahliye/nefeslik aksesuarları açık ve çalışır durumda.

13. Sonuç ve Öneriler

Nemli ve tuzlu ortamlarda güvenilir elektrik bağlantısı; uygun IP seviyesi + doğru malzeme + galvanik uyum + izolasyon koordinasyonu + doğru kurulum ve bakım kombinasyonuna dayanır. Bu white paper, pratik kontrol listeleri ve referans standartlarla karar süreçlerini hızlandırmak için hazırlanmıştır.

14. Kaynaklar ve Standartlar

- [1] IEC 60529:1989+A1:1999+A2:2013 (CSV), Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).
- [2] ISO 20653:2023, Road vehicles – Degrees of protection (IP code) – Protection of electrical equipment against foreign objects, water and access.
- [3] ISO 9227:2022 (+A1:2024), Corrosion tests in artificial atmospheres – Salt spray tests.
- [4] ASTM B117-19, Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.
- [5] IEC 60664-1:2020, Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems – Part 1: Principles, requirements and tests.
- [6] IEC 60364-6:2016, Low-voltage electrical installations – Part 6: Verification.
- [7] IEC 62444:2010, Cable glands for electrical installations.
- [8] IEC 60721-3-3:2019, Classification of environmental conditions – Stationary use at weatherprotected locations.
- [9] UL 50E:2020, Enclosures for Electrical Equipment – Environmental Considerations.
- [10] ISO 12944-9:2018, Protective paint systems for offshore and related structures.
- [11] IEC 60079-14:2024, Explosive atmospheres – Part 14: Electrical installation design, selection and installation.
- [12] MIL-STD-889D (2021), Galvanic Compatibility of Electrically Conductive Materials.
- [13] ISO 6509-1:2014 ve ISO 6509-2:2017, Dezinkifikasyon dayanımı tayini (pirinç alaşımlar).
- [14] IPC-CC-830C (2018), Conformal Coating Qualification and Performance (PCB kaplamaları).