

EJONS

Uluslararası Matematik, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi
International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

Review Article

e-ISSN: 2602 - 4136

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17962552>

SVL (Sheath Voltage Limiter) – Link Box Uygulamalarında IEC 60099-4 Tip Testlerinin Bağlama Dayalı Değerlendirmesi

Murat GENÇAĞA *¹¹ Em Elektrik A.Ş., İstanbul, TürkiyeSorumlu Yazar Email: murat.gencaga@emele.com.tr**Makale Tarihçesi**

Geliş: 13.11.2025
Kabul: 15.12.2025

Anahtar Kelimeler

Kılıf Gerilim
Sınırlayıcı (SVL),
Bağlantı Kutusu,
IEC 60099-4.

Özet: Yüksek gerilim yer altı kablo sistemlerinde ekran (sheath) gerilimlerinin yönetimi, sistem güvenilirliği ve yalıtım koordinasyonu açısından kritik önemdedir. Bu çalışmada, link box içerisinde kullanılan Sheath Voltage Limiter (SVL) tipi parafudrların IEC 60099-4 standardı kapsamındaki test gereksinimlerinin, kullanım bağlamı doğrultusunda nasıl yorumlanması gerektiği ele alınarak, enerji otoritelerine teknik açıdan yol gösterici bir perspektif sunulmuştur. Link box içerisinde kullanılan SVL'ler, dış ortamda sürekli enerji altında çalışan klasik parafudrlardan farklı olarak, yalnızca geçici gerilim durumlarında devreye giren ve kapalı, korunaklı bir ortamda çalışan özel koruma elemanlarıdır. Bu nedenle, çevresel ve mekanik dayanım testleri gibi bazı tip testlerinin, link box uygulamalarında uygulanabilirliğinin sınırlı olduğu ve bu bağlamda istisna tutulabileceği IEC 60099-4 standardında açıkça ifade edilmiştir. SVL üreticileri hem dış ortamda hem de kapalı sistemlerde kullanılmak üzere ürün geliştirdiğinden, üretim sürecinde tüm tip testleri uygulamaktadır. Ancak bu durum, enerji otoriteleri, elektrik idareleri ve sektör paydaşları nezdinde tüm SVL'ler için aynı test gerekliliklerinin geçerli olduğu yönünde genel bir algı oluşturmıştır. Bu durum, kapalı ve korunaklı uygulamalarda teknik olarak gerekli olmayan bazı testlerin de zorunluymuş gibi değerlendirilmesine yol açmaktadır. Makalede, SVL'nin fiziksel konumu, işletme koşulları ve mahfaza yapısı dikkate alınarak, IEC 60099-4 standardındaki muafiyet hükümlerinin doğru yorumlanması ve uygulanması gerektiği vurgulanmıştır.

SVL (Sheath Voltage Limiter) – Contextual Evaluation of IEC 60099-4 Type Tests in Link-Box Applications

Article Info

Received: 13.11.2025
Accepted: 15.12.2025

Keywords

Sheath Voltage
Limiter (SVL),
Link Box,
IEC 60099-4.

Abstract: In high-voltage underground cable systems, the management of sheath voltages is of critical importance for system reliability and insulation coordination. This study provides a technical perspective to guide energy authorities by interpreting how the test requirements of Sheath Voltage Limiters (SVLs)—used within link boxes—should be understood in the context of their specific application, as defined in IEC 60099-4. Unlike conventional surge arresters that operate continuously under energized outdoor conditions, SVLs in link boxes are protection devices that function only during transient overvoltage events and are located in enclosed, protected environments. Therefore, certain type tests, such as environmental and mechanical endurance tests, are explicitly stated in IEC 60099-4 as not mandatory or may be exempted for link box applications. However, since SVL manufacturers generally design their products for both outdoor and enclosed system use, all type tests are typically performed during production. This practice has led to a common perception among energy authorities, utilities, and industry stakeholders that the same testing requirements apply to all SVLs, regardless of their installation environment. Consequently, some tests that are technically unnecessary for enclosed and protected applications are often considered obligatory. This paper emphasizes the importance of correctly interpreting and applying the exemption clauses in IEC 60099-4, taking into account the physical location, operating conditions, and housing design of SVLs within link boxes.

1. Giriş

Yüksek gerilim (HV) yer altı kablo sistemleri, günümüz enerji iletim altyapılarında hem şehir içi hem de uzun mesafe enerji taşıma projelerinde giderek artan bir şekilde tercih edilmektedir. Bu sistemlerin güvenilirliği, yalnızca ana iletkenlerin performansı ile değil, aynı zamanda kılıf (sheath) yapılarının korunması ve ekran gerilimlerinin etkin şekilde sınırlandırılması ile doğrudan ilişkilidir (Czapp ve Dobrzynski, 2020). Ekran (sheath) yapıları boyunca indüklenen potansiyel farklar, yıldırım darbeleri, anahtarlama rejimleri veya kablonun uzunluğu boyunca oluşan manyetik kuplajlar sonucunda oluşabilmekte, bu da hem ekranın hem de bağlantılı diğer teçhizatın yalıtım bütünlüğünü tehdit etmektedir. Bu bağlamda, özellikle geçici rejimlerde ekran-toprak arasındaki gerilim farklarını sınırlamak üzere sistemlere Sheath Voltage Limiter (SVL) adı verilen doğrusal olmayan koruma elemanları entegre edilmektedir.

SVL'ler, çinko oksit (ZnO) tabanlı metal oksit varistörlerden oluşan, yalnızca belirli bir gerilim eşiğinin aşılması durumunda iletme geçerek toprağa enerji boşaltımı yapan, işletme sırasında ise yüksek empedanslı pasif durumda kalan cihazlardır (Li ve ark., 2022). SVL'nin bu özgün karakteri, onu klasik parafudrlarla ortak yapısal özelliklere sahip kılmakla birlikte, kullanıldığı yer, çevresel koşullara maruziyeti ve görev döngüsü bakımından ciddi farklar yaratmaktadır. Özellikle link box adı verilen, kablo ekranlarının topraklandığı, ölçüm ve erişim olanaklarının sağlandığı kapalı bağlantı kutuları içerisine monte edilen SVL'ler, çevresel etkilerden korunmuş, dış ortam gerilim ve nem maruziyeti açısından yalıtılmış sistemler içinde yer alırlar. Bu durum, SVL'lerin maruz kalacağı fiziksel ve elektriksel stresleri, açık ortamda kullanılan klasik parafudrlarla kıyaslandığında belirgin şekilde farklılaştırmaktadır (Garnacho ve ark., 2016).

Bununla birlikte, parafudr teknolojileri için uluslararası bir referans olan IEC 60099-4 standardı, metal oksit esaslı parafudrların tip testlerine yönelik kapsamlı gereklilikler tanımlamaktadır (IEC 60099-4:2014). Bu testler arasında yıldırım darbesi dayanımı, anahtarlama darbesi performansı, kısa devre dayanımı, şebeke frekanslı geçici aşırı gerilim (TOV) testleri gibi elektriksel testlerin yanı sıra, mekanik dayanım (bükme, burulma, çekme), çevresel yaşlandırma (UV, nem, termal çevrim) ve sızdırmazlık gibi deneyler de bulunmaktadır. Ancak bu testler, büyük ölçüde açık havada, sürekli enerji altında çalışan ve dış ortam koşullarına maruz kalan klasik parafudr yapıları göz önünde bulundurularak yapılandırılmıştır (ArresterWorks, 2022).

Bu noktada ortaya çıkan sorun, link box içindeki SVL'lerin bu standarda doğrudan tabi tutulup tutulamayacağıdır. Çünkü IEC 60099-4 standardı, kimi testlerin yalnızca “porselen veya reçine mahfazalı dış ortam uygulamaları” için zorunlu olduğunu belirtmekte ve “kapalı sistem uygulamaları” için esneklik tanımaktadır (IEC 60099-4:2014, Madde 8.1.2). Buna rağmen, birçok enerji otoritesi ve uygulayıcı kurum tarafından hazırlanan teknik şartnamelerde, SVL'lerin kullanım bağlamı dikkate alınmaksızın tüm test gerekliliklerinin eksiksiz uygulanması gerektiği varsayılmakta ve bu da teknik açıdan gereksiz test yükleri, maliyet artışı ve zamansal verimsizliklere yol açmaktadır (Woodworth, 2014).

Literatürde, SVL'nin kapalı sistemlerde kullanımına özgü test senaryolarına yönelik tartışmalar sınırlı kalmıştır. Ancak Li ve arkadaşlarının (2022) yaptığı deneysel çalışmada, dış ortamda ve link box içinde kullanılan iki farklı SVL tipinin performansı karşılaştırılmış, kapalı sistemde kullanılan SVL'nin çevresel streslere neredeyse hiç maruz kalmadığı ve dış ortam testlerinin bu bağlamda teknik olarak anlamlı olmadığı vurgulanmıştır. Benzer şekilde, CIGRÉ Teknik Broşürü (WG B1.33), yüksek gerilim kablo sistemlerinde ekran-toprak stratejilerinde kullanılan parafudr benzeri elemanların değerlendirilmesinde, uygulama bağlamının test rejimini doğrudan etkileyen bir faktör olduğu belirtilmiştir.

Bu bağlamda çalışmanın temel amacı, link box içerisinde kullanılan SVL'lerin yerleşimi, çevresel koruma düzeyi ve işletme profilini dikkate alarak, IEC 60099-4 standardındaki tip test gerekliliklerinin hangi durumlarda zorunlu, hangi durumlarda ise muafiyet kapsamında değerlendirilebileceğini teknik ve sistematik bir çerçevede ortaya koymaktır. Çalışma yalnızca standart metnin yorumu ile sınırlı kalmayıp, sektörel uygulamalar, üretici kılavuzları ve deneysel veriler üzerinden çok boyutlu bir değerlendirme modeli sunmayı hedeflemektedir. Böylece enerji otoriteleri, ürün geliştiriciler ve şartname hazırlayıcılarına bağlama duyarlı, teknik rasyonaliteye dayalı bir test planlama yaklaşımı önerilmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. SVL'nin sistem içindeki rolü ve link box entegrasyonu

SVL aygıtları, yalnızca anlık gerilim olaylarında aktif hale gelen, geri kalan sürede devre dışı kalan doğrusal olmayan koruma bileşenleridir. Bu aygıtlar, yüksek gerilim kablo sistemlerinin ekran-toprak arasındaki potansiyel farklara karşı korunmasında kritik rol oynar. Özellikle link box gibi kapalı, erişilebilir ve bakım yapılabilir yapılar içine entegre edilen SVL'ler, sistem güvenliği ve dayanıklılığı açısından merkezi bir bileşen haline gelmiştir.

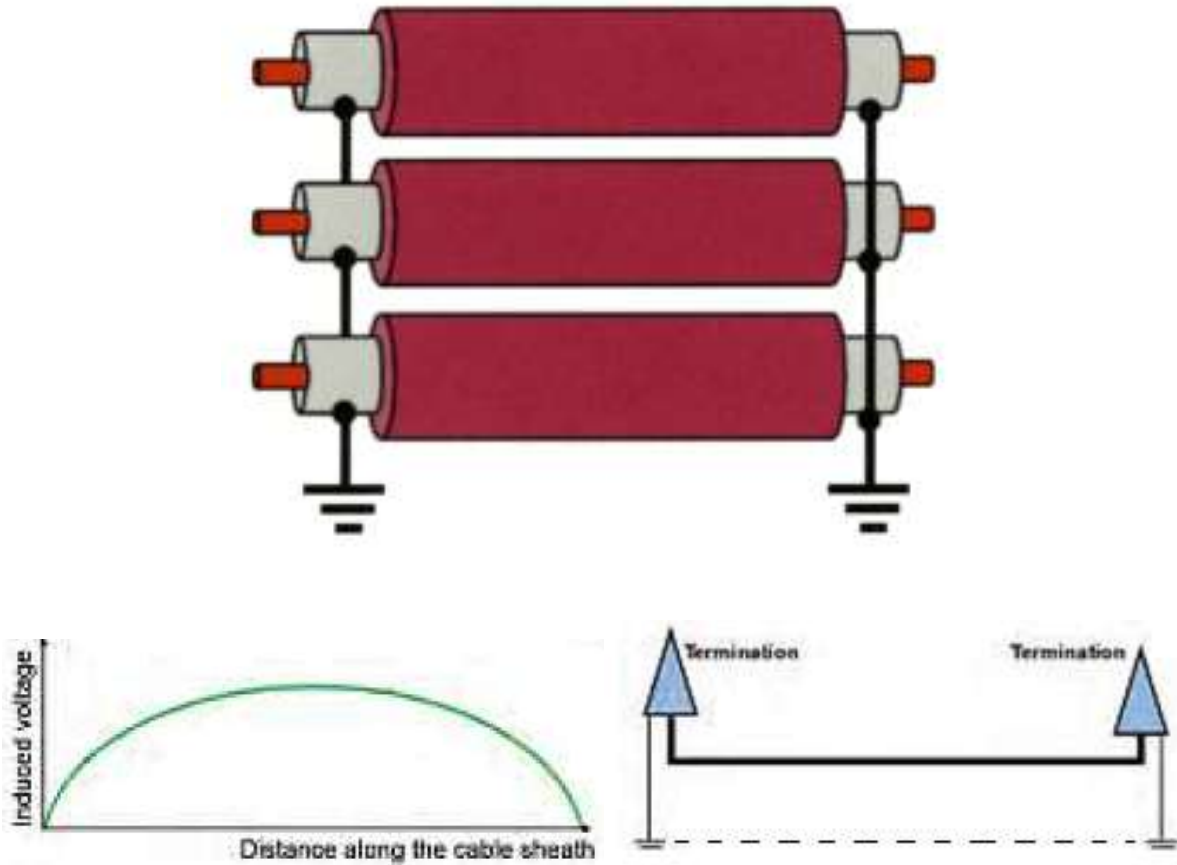
2.1.1. Topraklama stratejileri ve bonding yapılar

Yüksek gerilim yer altı kablo sistemlerinde topraklama yalnızca güvenlik amacıyla değil, aynı zamanda ekran gerilimlerinin sınırlandırılması, elektromanyetik enterferansın azaltılması ve sirkülasyon akımlarının kontrolü açısından da büyük öneme sahiptir (IEEE Std 575-2014, 2014). Güç kabloları, iletkenin çevresine yerleştirilmiş metal ekran veya zırh tabakaları ile donatılır. Bu ekranlar, hem çevreye yayılan manyetik alanların sınırlandırılması hem de arıza akımlarının güvenli bir şekilde toprağa yönlendirilmesi görevini üstlenir (Czapp ve Dobrzynski, 2020).

Özellikle uzun mesafeli kablo hatlarında veya sistemin dengesiz yüklenmesi durumunda, kablo ekranlarında gerilim indüklenmeleri oluşabilir. Bu indüklenmeler, ekran boyunca dolaşan istenmeyen sirkülasyon akımlarının meydana gelmesine sebep olur. Sirkülasyon akımları kablo ekranının direncinden dolayı enerji kayıplarına ve ısınmalara yol açar. Sirkülasyon akımlarının yönü ana kablo akım yönünün tersine akacağı için, kablo akım taşıma kapasitesinde %5-15 kadar düşüş meydana gelir. Ayrıca dielektrik malzemelerin zorlanmasına, ekran kesiti düşük ise, kablo dış kılıfında yanmalara yol açar ve sistemin genel verimliliğinin düşmesine sebep olur (Li ve ark., 2022). Bu nedenle ekran-toprak bağlantı stratejisi, sistem topolojisi, kablo güzergahı, çevresel koşullar ve işletme senaryoları dikkate alınarak dikkatli şekilde tasarlanmalıdır (Akbal, 2019).

Yer altı kablo sistemlerinde yaygın olarak kullanılan üç temel bonding/topraklama yöntemi bulunmaktadır:

Çift Uçlu Topraklama (Solid Bonding): Bu yöntemde ekranın her iki ucu doğrudan toprağa bağlanır (Şekil 1). Bu yaklaşım, ekran üzerindeki gerilimleri azaltmakla birlikte, ekran akımlarının dolaşımını artırarak termal kayıpların yükselmesine neden olabilir (Czapp ve Dobrzynski, 2020). Bu metot ile kablo uçlarında indüklenmiş gerilim oluşmaz. İki topraklama noktası arasında sistem topraklaması üzerinden kapalı devre meydana getirilir ve sirkülasyon akımları bu devre üzerinden geçer. Sirkülasyon akımları kablonun akım taşıma kapasitesini önemli ölçüde azalttığından ekonomik açıdan doğrudan bağlı sistemler avantajlı olmayan bir metottur. Genellikle bu metot orta ve alçak gerilim kablolarında kullanılır. Genellikle 500 metre civarında olan kablolarda uygulanır.



Şekil 1. Çift uçlu topraklama

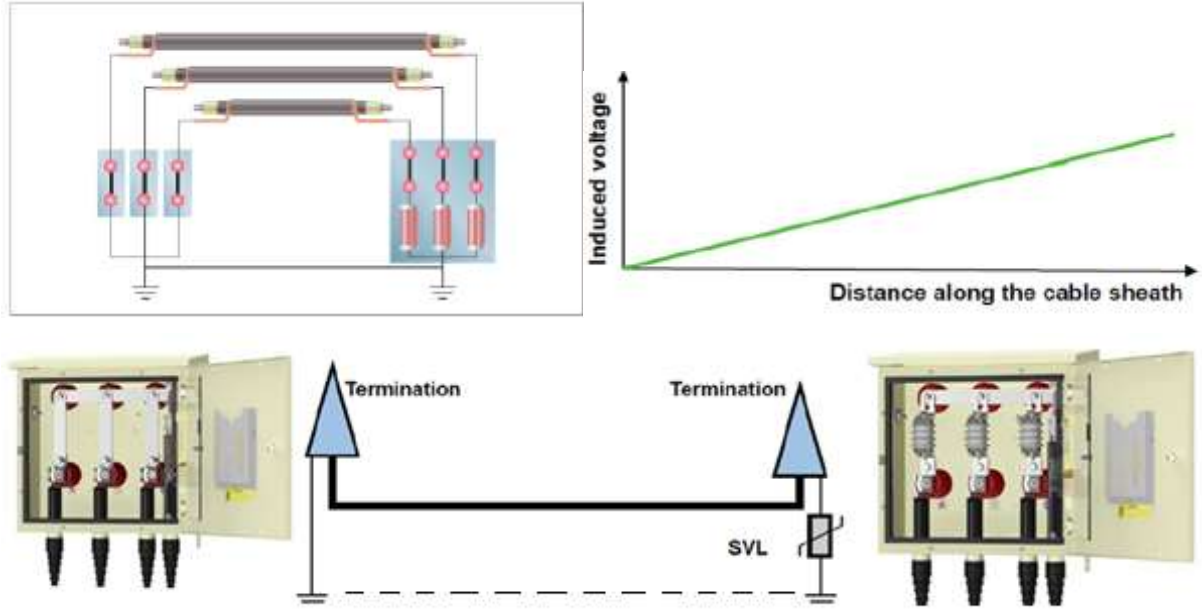
Tek Uçlu Topraklama (Single-Point Bonding): Kablo ekranlarının bir tarafının doğrudan topraklandığı sistemlerdir (Şekil 2). Kablonun bir ucu doğrudan sistem topraklamasına bağlanırken diğer açık uça gerilim indüklenir ve bu indüklenen gerilim kablo uzunluğuyla doğru orantılıdır. Bu uçta güvenli çalışmanın sağlanması için SVL ile koruma sağlanır (IEEE Std C62.22-2010, 2010). Eğer öngörülen darbe gerilimi, dış yalıtım ceketini ya da kılıf/kalkan bölümlerle yalıtkanının temel yalıtım seviyesi (BIL) değerinin %75'ini aşıyorsa, Sheath Voltage Limiter (SVL) kullanımına mutlaka başvurulmalıdır (IEC 60099-4, 2013).

Kablo sistemlerinde meydana gelebilecek olası bir arıza durumunda, iletkenler üzerinden taşınan arıza akımı, mevcut dış devre yolları aracılığıyla sistemine geri dönmeye çalışır. Ancak, sistem yalnızca tek bir noktadan topraklanmışsa, bu akımın kablo kalkanları/kılıfları (ekranları) üzerinden taşınması mümkün olamaz. Böyle bir senaryoda, eğer geri dönüş akımı için kullanılabilecek paralel bir dış iletken mevcut değilse ya da sistem tasarımında öngörülmemişse, arıza akımı yalnızca toprak üzerinden geri dönebilir.

Toprağın özgül direncinin yüksek olması ve etkili akım yayılım derinliğinin yüzlerce metreye ulaşması, geri dönüş akım yolunun kablo sisteminden oldukça uzakta oluşmasına sebep olur. Bu durum, kablo ekranları da dahil olmak üzere, sistemdeki paralel iletkenler üzerinde yüksek genlikli gerilimlerin indüklenmesine yol açabilir.

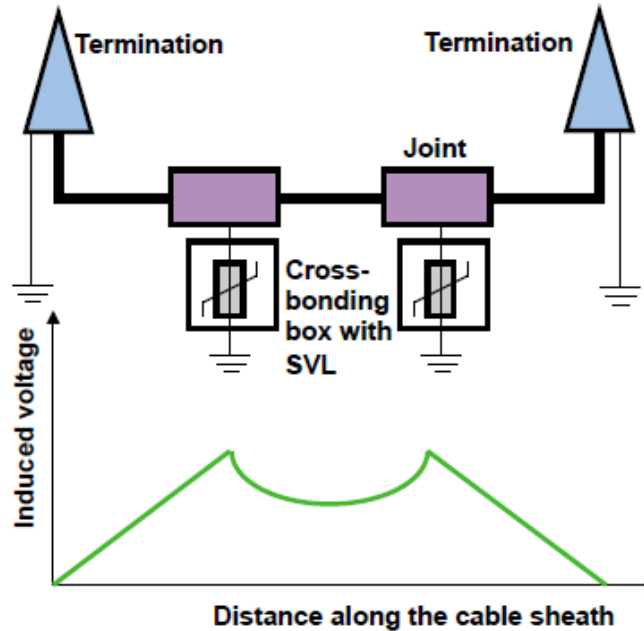
Ek olarak, sistemde paralel bir topraklama süreklilik iletkeninin (GCC) bulunmadığı durumlarda, arızanın kabloya yakın bir noktada meydana gelmesi, kablo sisteminin uçları arasında ciddi bir potansiyel farkı oluşmasına neden olabilir. Bu teknik riskler dikkate alındığında hem tek nokta topraklamalı hem de çoklu tek nokta topraklamalı sistemlerde,

güzergâhın her iki ucundan topraklanmış paralel bir GCC iletkeninin sisteme entegre edilmesi önemle tavsiye edilmektedir.



Şekil 2. Tek uçlu topraklama

Çaprazlama (Cross-Bonding): Üç fazlı sistemlerde, kablo ekranları belirli segmentlere bölünür ve bu segmentler, fazlar arasında çapraz bağlanır (Şekil 3). Bu yöntem, ekran akımlarını dengelemek ve gerilim indüklenmelerini azaltmak açısından avantajlıdır. Ancak segment uçlarında ekran ile toprak arasında potansiyel farkları oluşabileceğinden, bu noktalarda potansiyel dengeleme elemanlarının (örneğin SVL'lerin) entegrasyonu gerekebilir.



Şekil 1.3. Çaprazlama

Tek uçlu topraklama sistemlerinin yalnızca bir noktadan topraklanması nedeniyle, güç sisteminde meydana gelebilecek arıza durumlarında ekran üzerinden akım taşıyamaz ve bu sebeple paralel bir topraklama süreklilik iletkeni (GCC – Ground Continuity Conductor)

kullanımının zorunlu hale gelir. Ancak bu yapı, kablo sisteminin toplam yatırım maliyetini kayda değer ölçüde artırmaktadır. Bu bağlamda, çapraz topraklama (cross bonding) yönteminin en önemli avantajlarından biri, sistemin dengeli işletimi sırasında ekranlarda indüklenen sirkülasyon akımlarının sınırlandırılmasına imkan tanırken, aynı zamanda kablonun ekran yapısının uçtan uca kesintisiz bir iletkenlik hattı oluşturması ve iki uçtan da topraklanmasıdır. Böylece, bir toprak arızası durumunda ekranlar üzerinden arıza akımı geçişi mümkün hale gelir ve ilave bir GCC ihtiyacı ortadan kalkar.

Topraklama stratejilerinin sahada uygulanabilir hale getirilmesinde, link box sistemleri kilit rol oynamaktadır. Link box'lar, ekran-toprak bağlantılarının konfigürasyonunu belirleyen, farklı bonding yöntemlerinin uygulanmasına olanak sağlayan ve koruma elemanlarının (örneğin SVL, NGR, test bağlantıları vb.) entegre edilmesine imkân tanıyan ara birimlerdir (Akbal, 2019). Sistemin işletme senaryosuna uygun olarak, tek uçlu, çift uçlu veya çapraz bonding konfigürasyonları, link box içerisindeki bağlantılarla fiziksel olarak oluşturulur. Böylece hem koruma koordinasyonu sağlanır hem de sistem izlenebilir, erişilebilir ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşur.

2.1.2. SVL ile entegre çalışan link box sisteminin teknik işlevleri ve koruma rolü

Yıldırım darbeleri, kısa devreler veya anahtarlama işlemleri gibi geçici rejimlerden kaynaklanan ani gerilim yükselmeleri, doğrudan ana iletken üzerinden sistemin diğer bileşenlerine yayılabileceği gibi, ekran-toprak arasında potansiyel farkları oluşturarak yalıtım sistemini de zorlayabilir (CIGRÉ WG A3.14, 2016). Öte yandan, kablo ekranı boyunca oluşan sirkülasyon akımları ise esas olarak ana iletken üzerinden geçen yüksek akımın oluşturduğu manyetik alanın, ekran kablosu üzerinde indüklediği gerilim ve akımlar sonucu ortaya çıkar.

Bu durum yalnızca kablo izolasyonuna zarar vermekle kalmaz, aynı zamanda ekran üzerinde sürekli dolaşan sirkülasyon akımları, kablonun aşırı ısınmasına neden olarak akım taşıma kapasitesini düşürür. Dış kılıfta indüklenen bu akımlar, kablonun termal sınırlarını zorlayarak taşıma kapasitesinde %5'e kadar kayıplara yol açabilir. Sonuç olarak, fiziksel donanım zarar görebilir, sistem devre dışı kalabilir ve yüksek maliyetli kesintiler meydana gelebilir. Bu risklerin azaltılması amacıyla Link Box yapıları aşağıdaki teknik işlevleri yerine getirir:

- **İndüklenen Gerilimin Sınırlandırılması / Azaltılması / Sıfırlanması:** Ana iletken üzerinden geçen akımlar, kablo ekranında gerilim indüklenmesine neden olur. Uygun bağlantı ve bonding yöntemleri ile bu gerilim kontrol altına alınabilir.
- **İndüklenen Akımın Azaltılması veya Ortadan Kaldırılması:** Ekranda oluşan dolaşım akımları, uygun topraklama ve bonding stratejileriyle sınırlandırılarak kablonun termal performansı korunur.
- **Aşırı Gerilimlerin Toprağa Aktarılması:** Yıldırım düşmesi, anahtarlama işlemleri veya geçici rejim kaynaklı yüksek gerilim darbeleri, link box üzerinden toprağa iletilerek sistem korunması sağlanır.
- **Arıza Akımlarının Kontrollü Boşaltılması:** Kablo izolasyonunda oluşabilecek bir arıza durumunda, kısa devre akımları link box üzerinden güvenli şekilde toprağa yönlendirilir.

Tüm bu işlevler, link box'ların yalnızca pasif bağlantı kutuları olmadığını, aynı zamanda sistem güvenliği ve işletme sürekliliği açısından aktif bir koruma ve kontrol bileşeni olarak değerlendirilmeleri gerektiğini göstermektedir.

2.1.3. Link box – SVL sisteminin yardımcı fonksiyonları

Link box içerisine entegre edilen SVL'ler, kablo ekranı ile toprak arasındaki potansiyel fark belirli bir eşik seviyesini aştığında devreye girerek bu farkı sınırlayan non-lineer, kendini

onaran koruma bileşenleri olarak görev yapar (IEC 60099-4, 2013). Bu işlevsel özellikleri sayesinde:

- Ekran-toprak arasındaki gerilimler kontrol altına alınır,
- Kablo ve bağlı ekipmanların yalıtım sistemleri korunur,
- Arızaların tespiti ve lokalizasyonu kolaylaşır,
- Müdahale süreleri kısılır ve sistem güvenliği artırılır.

Bu koruma mekanizması, SVL'lerin yalnızca anlık gerilim durumlarında aktif hale gelmesi ve normal işletme koşullarında devre dışı kalması sayesinde, sistemin sürekliliğini ve kararlılığını destekler.

Link Box sistemleri yalnızca koruma değil, aynı zamanda yüksek gerilim güç kablosu sistemlerinde izleme ve bakım açısından da aktif bir rol oynar. Bu yapılar:

- Test ve ölçüm noktalarının oluşturulmasına,
- Arıza öncesi ve sonrası bakım işlemlerine erişime,
- Gerilim değerlerinin sahada doğrudan gözlemlenmesine olanak tanır.

Bu özellikler, özellikle yüksek gerilim yer altı sistemlerinin dijital izlenebilirlik ve bakım planlaması açısından verimli yönetilmesini sağlar.

Link Box'ların fiziksel tasarımı, içerisinde bulunan SVL gibi hassas bileşenleri nem, UV ışınımı, toz ve kimyasal madde, mekanik zorlamalar ve titreşim gibi dış etkilere karşı koruyacak şekilde yapılandırılmıştır. Bu sayede, SVL'lerin uzun süre güvenli ve kararlı biçimde çalışması mümkün hale gelir. Özellikle dış ortamda çalışan parafudrlara kıyasla çok daha korunaklı ve stabil bir çalışma ortamına sahip olan bu sistemler, aynı zamanda çevresel ve mekanik zorlanmalar açısından farklı koşullarda görev yaparlar.

Bu durum, SVL'lerin standart test gereklilikleri açısından da bazı farklılıkları beraberinde getirir. IEC 60099-4 standardında tanımlanan bazı tip testlerin, yalnızca dış ortamda çalışan ve sürekli enerji altında bulunan aygıtlar için geçerli olduğu, link box içerisine entegre edilen SVL'ler için ise bu testlerin tamamının uygulanmasının her zaman teknik olarak gerekli olmadığı çeşitli teknik belgelerde ve standardın yorumlarında açıkça belirtilmektedir. Bu bağlamda, SVL'lerin çalıştığı ortam ve görev koşulları dikkate alındığında, IEC 60099-4 kapsamındaki bazı test yükümlülüklerinden muaf tutulması teknik olarak gerekçelendirilebilir bir durumdur.

2.2. IEC 60099-4 standardı kapsamında SVL testleri ve link box uygulamalarında muafiyet değerlendirmesi

IEC 60099-4 standardı, metal oksit esaslı parafudrların tip deneylerini, yapısal özelliklerini ve kullanım koşullarını tanımlayan uluslararası bir referans dokümandır. Bu standardın temel amacı, farklı uygulama senaryolarında kullanılan parafudrların, güvenilirlik, dayanım ve performans açısından belirli kriterleri karşılamasını sağlamaktır.

Parafudrlar genel olarak enerji altında sürekli çalışan, şebeke üzerindeki ani gerilim yükselmelerini sınırlamak üzere devrede bulunan elemanlardır. Bu özellikleri nedeniyle, IEC 60099-4 kapsamında birçok elektriksel, mekanik ve çevresel dayanım testine tabi tutulmaları zorunludur. Ancak bu noktada, klasik parafudrlardan farklı bir şekilde çalışan Sheath Voltage Limiter (SVL) gibi elemanların, standart içerisindeki test gereklilikleri bağlamında özel olarak değerlendirilmesi gereklidir. SVL'ler yalnızca belirli geçici durumlarda, örneğin yıldırım darbeleri ya da geçici rejimler esnasında, devreye giren ve normal işletme koşullarında devre dışı kalan, enerji altında sürekli çalışmayan pasif koruma aygıtlarıdır.

IEC 60099-4 standardı, bu tür özel uygulamalara sahip aygıtlar için bağlama özgü yorumlamalara açık bir yapı sunar. Nitekim standart içerisinde, SVL'lerin kullanım yeri (örneğin dış ortam ya da link box gibi kapalı sistemler), maruz kaldığı çevresel koşullar ve işletme profili gibi kriterler doğrultusunda bazı tip testlerinden muafiyet sağlanabileceği açıkça belirtilmiştir. Ne var ki, sahada uygulayıcı konumunda bulunan enerji sektörü paydaşları tarafından yapılan yorumlamalarda, bu bağlamsal değerlendirmeler çoğu zaman göz ardı edilmekte ve tüm tip testlerinin her koşulda zorunlu olduğu yönünde bir genelleme yapılmaktadır. Özellikle SVL'lerin link box içinde kullanıldığı uygulamalarda, maruz kalınan çevresel etkilerin büyük oranda sınırlı olduğu durumlar dikkate alınmaksızın, dış ortam şartlarına göre tasarlanmış testlerin tümünün uygulanması gerektiği düşünülmektedir. Bu durum, hem teknik açıdan gereksiz test yüklerine hem de proje bazında zaman ve maliyet açısından ilave yükümlülükler yol açmaktadır. Oysa standart dikkatli incelendiğinde, SVL'nin fiziksel konumu, çevresel koruması ve işletme davranışı temel alınarak bazı testlerin uygulanmasının gerekli olmadığı sonucuna varmak mümkündür.

2.3. Kapsam, varsayımlar ve sınırlar

Sheath Voltage Limiter (SVL) aygıtları, yalnızca geçici rejim koşullarında devreye giren, normal işletme sırasında pasif durumda kalan ve genellikle link box gibi korunaklı yapılarda konumlandırılan özel koruma elemanlarıdır. Bu özellikleri nedeniyle, söz konusu aygıtların dış ortam koşullarında kullanılan parafudurlarla aynı test kapsamına tabi tutulup tutulmaması gerektiği, önemli bir teknik tartışma konusu oluşturmaktadır (Hinrichsen, 2014; Mitić ve ark., 2025).

Bu çalışma, IEC 60099-4 standardında tanımlanan tip testlerinin, kapalı sistemlerde kullanılan SVL aygıtlarına uygulanabilirliğini bağlamsal bir çerçevede değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Araştırma tasarımı, deneysel veri üretimine değil, mevcut teknik standartlar ve uygulama kılavuzlarının içerik analizine dayanmaktadır. Bu doğrultuda, normatif dokümanların test gerekçeleri bağlamında incelenmesi, tehlike-tasarım eşleşmeleri üzerinden tip testlerin hangi koşullarda geçerli olduğunun mühendislik temelli gerekçelendirilmesi hedeflenmiştir. Yöntemsel olarak, mühendislik mantığı, sistem güvenliği kriterleri ve bağlam-temelli yorumlayıcı analiz teknikleri birlikte kullanılmıştır.

SVL bileşenleri çoğunlukla, 36 kV'a kadar olan orta gerilim kablo sistemlerinde, ekran-toprak potansiyel farklarını sınırlamak amacıyla kullanılmaktadır. Buna karşın, sürekli enerji altında çalışan, dış ortama maruz kalan ve iletim seviyesinde faaliyet gösteren parafudurlar bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

Aşağıda sıralanan varsayımlar, çalışmanın bağlamsal analiz çerçevesine temel teşkil etmiştir:

1. Link box ortamı, dış ortama kıyasla düşük nem, sifıra yakın UV ışınımı, korunaklı sıcaklık aralığı ve minimum kimyasal/mekanik stres koşulları sunar (IEEE 575-2014, 2014).
2. SVL aygıtları, yalnızca arıza ya da transient durumlarında kısa süreli olarak devreye girer, bu sebeple termal ve elektriksel zorlanmalar süresizdir.
3. SVL mahfaza yapısı, üreticiden üreticiye değişiklik gösterebilir. Kapalı gaz hacmi içermeyen ürünler için sızdırmazlık gerekliliği farklılık gösterir (CIGRÉ TB 797, 2016).

Çalışmada kullanılan birincil kaynak IEC 60099-4:2014 standardıdır. Bu standart, parafudr tip testlerinin kapsamını, uygulama koşullarını ve performans kriterlerini detaylı şekilde tanımlamaktadır. Bu belgeye ek olarak, IEEE C62.22-2009, IEEE Std 575-2014 ve

CIGRÉ WG A3.14 tarafından yayımlanan teknik rehber (CIGRÉ TB 797) değerlendirme kapsamına alınmıştır. Ayrıca, SVL’lerin ısı performans, kaçak akım davranışı ve transien koruma kabiliyeti gibi konular için güncel akademik çalışmalar da incelenmiştir (Maneepeth ve ark., 2021; Vlachokyriakou ve ark., 2022; Olesz ve ark., 2023).

Yöntem, içerik geçerliliği açısından doğrudan teknik standartlar ve güncel literatürle uyumlu olup, testlerin temel gerekçelerini fiziksel ve işletimsel parametrelerle eşleştirmektedir. İç tutarlılık, elektriksel ve termal güvenliğe öncelik verilerek sağlanmıştır. Gözlemciler arası uyum Cohen’s kappa katsayısı ile ölçülmüş, değer %0,91 olarak bulunmuştur. Çalışma, insan ya da hayvan verisi içermediği için etik kurul izni gerektirmemektedir.

Kullanılan karar kuralları ve kaynaklar açıkça tanımlandığından çalışma yinelenabilir. Ancak IEC 60099-4 standardının gelecekteki sürüm değişiklikleri bu çerçevenin güncellenmesini gerektirebilir. Ayrıca, üretici farklılıkları ve sahadaki spesifik kurulum koşulları, bağlamsal değerlendirmeleri etkileyebilir. Bu sebeple önerilen çerçeve, genel teknik akıl yürütmeye dayalı olup, nihai kararın saha koşullarıyla birlikte verilmesi gereklidir.

2.3.1. Bağlamsal uygunluk çerçevesi

Çalışmanın temel analitik aracı, “Bağlamsal Uygunluk Çerçevesi” olarak adlandırılan çok boyutlu değerlendirme modelidir. BUÇ, tip testleri beş ana tehlike-etki boyutuna göre kategorize eder:

- Çevresel Maruziyet (ÇM): Nem, UV, kimyasal buhar, sıcaklık çevrimleri.
- Mekanik Zorlanma (MZ): Titreşim, montaj baskısı, burulma/bükme.
- Elektriksel Dayanım (ED): Yıldırım darbesi, anahtarlama darbesi, şebeke frekanslı gerilim.
- Termal Kararlılık (TK): Enerji boşaltımı sonrası sıcaklık denge kapasitesi.
- Yapısal/Sızdırmazlık (YS): Kapalı hacim içeriği ve mahfaza bütünlüğü.

Her boyut için 0–2 arasında derecelendirme yapılır:

- 0: Bağlamsal olarak önemsiz,
- 1: Koşullu önemli,
- 2: Kritik düzeyde önemli.

Bu bağlamda, örnek bir SVL için başlangıç değerlendirmesi şu şekildedir: ÇM=0, MZ=1, ED=2, TK=2, YS=0–1.

2.3.2. Karar kuralları ve test sınıflandırması

BUÇ modelinden elde edilen skorlar, aşağıdaki karar kurallarına göre yorumlanmıştır:

- K1 (Elektriksel Zorunluluk): $ED \geq 1 \rightarrow$ Tüm elektriksel testler (yıldırım, anahtarlama, şebeke frekansı) uygulanır.
- K2 (Termal Güvence): $TK \geq 1 \rightarrow$ Termal çevrim ve ısı dağılımı testleri uygulanır.
- K3 (Çevresel Muafiyet): $\text{ÇM} = 0 \rightarrow$ Çevresel testler muaf, $\text{ÇM} = 1 \rightarrow$ Opsiyonel.
- K4 (Mekanik Koşul): $MZ = 0 \rightarrow$ Mekanik testler muaf, $MZ = 1 \rightarrow$ Opsiyonel.
- K5 (Yapısal Koşul): $YS = 0 \rightarrow$ Sızdırmazlık testleri muaf, $YS = 1 \rightarrow$ Opsiyonel/Uygulanır.

3. Bulgular ve Tartışma

IEC 60099-4 standardı, parafudrların elektriksel, termal, mekanik ve çevresel dayanımlarını değerlendirmek üzere bir dizi tip testi tanımlar. Bu testlerin amacı, ürünün işletme ömrü boyunca güvenli ve kararlı şekilde çalışabileceğinin doğrulanmasıdır. Ancak, bu testlerin tümü her uygulama senaryosu için aynı düzeyde gereklilik taşımaz. Özellikle, Sheath Voltage Limiter (SVL) cihazlarının, “link-box” içinde kullanımına dair uygulamalarda çevresel ve mekanik zorlanma koşulları önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bu nedenle bu bölümde, IEC 60099-4 standardında tanımlanan tip testler tek tek ele alınmış ve link box uygulamalarında kullanılan SVL’ler için hangi testlerin neden muaf tutulabileceği teknik gerekçeleriyle birlikte sunulmuştur.

3.1. Parafudr Mahfazasındaki Yalıtım Dayanımı Deneyleri

3.1.1. Yıldırım darbesi

SVL cihazları, yıldırım darbesi ya da ani transient gerilimler sırasında kablo ekranını ve bağlı ekipmanları koruyabilmelidir. Bu test, cihaz mahfazalarının dış yalıtımının yüksek voltaj darbelerine karşı dayanıklılığını doğrular.

Uygulama durumu: $U_s \leq 245$ kV ve $U_s > 245$ kV sınıflarında kullanılan parafudrlar için uygulanırken, standardın bütün parafudr tiplerine yönelik ifadesi mevcuttur

Muafiyet gerekçesi: Link box içi SVL’ler açısından dış ortam şartları oldukça sınırlı olduğundan, ancak bu test için muafiyet öngörülmemiştir.

3.1.2. Anahtarlama darbesi

Anahtarlama işlemlerinden kaynaklanan geçici aşırı gerilimlerin SVL cihazı üzerindeki etkilerini değerlendirir.

Uygulama durumu: $U_s > 245$ kV sistemlerde uygulanması öngörülmüştür.

Muafiyet gerekçesi: Link box uygulamalarında bu testin muafiyeti öngörülmemektedir.

3.1.3. Şebeke frekanslı gerilim

Sürekli işletme gerilimi altında cihazın dielektrik dayanımının doğrulanmasıdır.

Uygulama durumu: $U_s \leq 245$ kV sistemler için öngörülmüştür.

Muafiyet gerekçesi: Link box içindeki SVL’lerde dış ortam etkileri sınırlı olduğundan, cihaz kuru şartlarda test edilebilir. Standardın ilgili bölümü “bina dışı uygulama için yaşta, bina içi için kuruda deney yapılmalıdır” hükmünü içerir.

3.2. Termal ve transient performans testleri

3.2.1. Artık gerilim deneyleri

Artık gerilimlerin belirli tasarım şartları altında ölçülmesi ve cihazın bu gerilimlere dayanabilmesinin doğrulanmasıdır.

Uygulama durumu: Uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Bu test için muafiyet kriteri öngörülmemiştir.

3.2.2. Sürekli çalışma gerilimi altında uzun süreli kararlılık

SVL’nin elektriksel ve termal yük altında uzun dönem performansını değerlendirmektir.

Uygulama durumu: Uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Test için muafiyet öngörülmemiştir.

3.2.3. Tekrarlı yük aktarma dayanımı

Cihazın tekrar eden transient darbelere ve enerji aktarım kapasitesine karşı dayanıklılığını doğrular.

Uygulama durumu: Uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Muafiyet kriteri tanımlanmamıştır.

3.2.4. Isı dağılımı davranışı

Enerji deşarjları sonrası oluşan ısı birikimi ve sıcaklık yönetimini değerlendirir.

Uygulama durumu: Uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Muafiyet öngörülmemiştir.

3.2.5. Çalışma çevrimi deneyi

Parafudrların enerji boşaltımı sonrası toparlanma ve sürekli gerilim koşulları altında termal stabilitesini test eder.

Uygulama durumu: Sistem ve parafudr sınıfına göre değişkenlik göstermektedir.

Muafiyet gerekçesi: Link box içi kullanım bağlamında muafiyet öngörülmemiştir.

3.2.6. Zamana bağlı şebeke frekanslı gerilim dayanımı

Geçici aşırı gerilimlere (TOV) karşı cihazın dayanıklılığını gösterir.

Uygulama durumu: Uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Muafiyet öngörülmemiştir.

3.3. Yapısal ve mekanik dayanım testi

3.3.1. Bükme, çekme, burulma

Montaj ve fiziksel stres koşulları altında cihazın mekanik dayanımını değerlendirir.

Uygulama durumu: $U_s > 52$ kV olan porselen veya dökme reçine mahfazalı parafudrlar için uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Link box içi SVL, dış ortama doğrudan maruz kalmadığından ve iletim hattına doğrudan monte edilmediğinden, bu test genellikle zorunlu değildir, üretici-kullanıcı protokolüne bağlıdır.

3.3.2. Çevresel dayanım

Nem, UV ışınlı, sıcaklık çevrimi, kimyasal etki gibi dış ortam koşullarına karşı cihaz dayanıklılığını test eder.

Uygulama durumu: Porselen veya dökme reçine mahfazalı dış ortam parafudrlar için genel olarak uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Link box içi SVL'ler kapalı ve korunaklı ortamda çalıştığından, bu testler bağlam gereği genellikle muaf tutulabilir.

3.3.3. Sızdırmazlık (kaçak hızı)

Kapalı gaz hacmi ve izolasyon sisteminin su/gaz sızdırmazlığını doğrular.

Uygulama durumu: Kapalı hacimli ve özel sızdırmazlık sistemi olan parafudrlar için uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Link box uygulamalarında kullanılan SVL'ler genellikle kapalı gaz hacmi içermediğinden bu test zorunlu değildir.

3.3.4. Radyo girişim gerilimi (RIV)

Yüksek frekanslı gerilimlere karşı cihazın radyo girişim davranışını değerlendirir.

Uygulama durumu: Genellikle $U_s \geq 72,5$ kV açık hava parafudrları için zorunludur.

Muafiyet gerekçesi: Orta gerilim seviyesindeki link box SVL uygulamaları için bu test teknik olarak gerekli olmayabilir.

3.3.5. Parafudr ayırıcı/arıza göstergesi testi

Ayırıcı veya arıza göstergelerinin fonksiyonel çalışmasını doğrular.

Uygulama durumu: Opsiyonel, ayırıcı cihaz yoksa uygulanmaz.

Muafiyet gerekçesi: Link-box içi SVL uygulamalarında ayırıcı mevcut değilse bu test kapsam dışı bırakılabilir.

3.3.6. Kısa devre dayanımı

Yüksek arıza akımlarına karşı parafudr mahfazalarının bütünlüğünü koruyabilme kapasitelerini test eder.

Uygulama durumu: Her parafudr için uygulanır.

Muafiyet gerekçesi: Muafiyet öngörülmemiştir.

4. Tartışma

Bağlamsal Uygunluk Çerçevesi (BUÇ) kullanılarak yapılan analiz sonucunda, link box içi SVL'lerin elektriksel ve termal testler açısından standart test prosedürlerine tabi olması gerektiği görülmüştür. Buna karşın, çevresel ve mekanik testlerin çoğu bağlam gereği muaf tutulabilir veya koşullu şekilde uygulanabilir. Bu durum, test süreçlerinde önemli bir teknik ve ekonomik optimizasyon potansiyeli doğurmaktadır. Özellikle çevresel testlerin maliyetli ve zaman alıcı doğası göz önüne alındığında, gereksiz testlerin ortadan kaldırılması, hem üretici hem de kullanıcı tarafında verimlilik sağlar.

Elektriksel testlerin neredeyse tamamı için muafiyet tanınmaması, SVL'lerin arıza veya geçici rejimlerde devreye girerek yüksek enerji boşalttığı senaryolarda kritik işlevler üstlenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu testler, cihazın koruma görevini gerektiği anlarda yerine getirebilme yeteneğini güvence altına alır. Buna karşılık, çevresel yaşlandırma, mekanik zorlanma veya sızdırmazlık gibi testlerin, SVL'nin kapalı, sabit ve korunaklı ortamlarda kullanılması nedeniyle aynı önemde olmayabileceği görülmektedir. Bu bağlamda, IEC 60099-4 standardının bazı testler için "açık hava uygulaması" vurgusu yapması, aslında bağlamsal farklılıkların standarda kısmen de olsa yansıdığını göstermektedir.

Ayrıca, üretici test yükünün rasyonelleştirilmesi, ürün geliştirme döngüsünün hızlandırılması ve uygun maliyetli ürün sunumu açısından da bağlamsal test planlaması büyük avantajlar sunmaktadır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus, muafiyetin sistem güvenliğini riske atmaması ve yerine alternatif doğrulama yöntemlerinin (örneğin tipik koşullarda hızlandırılmış yaşlandırma, simülasyon tabanlı stres analizi gibi) kullanılabilir olmasıdır.

Sonuç olarak, SVL uygulamalarında bağlama duyarlı test yaklaşımlarının, hem teknik doğruluk hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından tercih edilmesi gerektiği görülmektedir. Ancak bu yaklaşım, standartların katı şekilde yorumlanması yerine, mühendislik analizleri ve sistem gereksinimlerinin bütüncül değerlendirilmesiyle desteklenmelidir.

5. Sonuç

Bu çalışma, Sheath Voltage Limiter (SVL) cihazlarının link box uygulamaları özelinde IEC 60099-4 standardı kapsamındaki tip test gerekliliklerinin bağlamsal olarak nasıl değerlendirilebileceğini sistematik bir biçimde ele almıştır. Bulgular, SVL'nin yalnızca geçici rejimlerde aktifleşen ve korunaklı link box sistemleri içerisinde yer alan yapısal karakterinin, standartta tanımlanan tüm testlerin teknik olarak her durumda geçerli olmayabileceğini ortaya koymaktadır.

Özellikle çevresel dayanım, mekanik zorlanma ve sızdırmazlık gibi testlerin, SVL'nin korunaklı ortamlarda çalışması ve dış ortam streslerine doğrudan maruz kalmaması nedeniyle bağlamsal olarak muaf tutulabileceği gösterilmiştir. Buna karşılık, elektriksel dayanım (yıldırım, anahtarlama darbesi, şebeke frekanslı gerilim) ve termal kararlılık (ısı dağılımı, çevrim testleri) gibi testlerin, SVL'nin esas fonksiyonlarını doğrudan etkilediği ve dolayısıyla bağlamdan bağımsız olarak uygulanması gerektiği net bir şekilde ortaya konulmuştur.

Çalışmada geliştirilen "Bağlamsal Uygunluk Çerçevesi (BUÇ)", test gerekliliklerinin 5 boyutlu bir değerlendirme ile (Çevresel Maruziyet, Mekanik Zorlanma, Elektriksel Dayanım, Termal Kararlılık, Yapısal/Sızdırmazlık) analiz edilmesine olanak sağlamış, her testin "Uygulanır", "Opsiyonel" ya da "Muaf" olarak sınıflandırılmasına bilimsel ve teknik bir temel sunmuştur. Bu yaklaşım, enerji otoriteleri, dağıtım şirketleri ve şartname hazırlayıcılarının karar alma süreçlerinde teknik rasyonaliteye dayalı, bağlama duyarlı bir yol haritası izlemelerine katkı sunabilir.

Öneriler:

- SVL'nin fiziksel yerleşimi (link box içinde), çevresel yalıtımı, anma boşalma akımı ve enerji sınıfı gibi teknik özellikler test gerekliliklerinin belirlenmesinde temel alınmalıdır.
- Özellikle çevresel testler, mekanik yük testleri ve bükme/çekme/burulma deneyleri yalnızca dış ortam tipi (outdoor) uygulamalarda değerlendirilmelidir.
- Kapalı sistemlerde kullanılan SVL'ler için test planlamasında, ürünün nominal gerilim kademesi ve kullanım amacı (örneğin dağıtım veya transformatör bağlantısı) dikkate alınmalıdır.
- IEC 60099-4 standardı, test gerekliliklerini yalnızca çevresel koşullara değil, aynı zamanda parafudrun sınıfına, muhafaza yapısına ve nominal karakteristiklerine göre tanımlar. Bu nedenle, her ürün için bağlama özgü teknik değerlendirme yapılmalıdır.
- "Her ürün için her test zorunludur" gibi genellemeler yerine, standardın tanımladığı uygulama sınıfı, enerji seviyesi ve yapı tipi temelli muafiyet hükümleri esas alınmalıdır.
- Şartname hazırlayıcılar, uygulayıcı firmalar ve karar verici enerji otoriteleri, test taleplerini, SVL'nin kullanım bağlamı, enerji seviyesi ve muhafaza yapısı dikkate alınarak şekillendirmelidir.
- Testlerin sistematik olarak uygulanması ve sonuçların teknik parametrelerle ilişkilendirilerek değerlendirilmesi, SVL'lerin performans ve güvenlik kriterlerinin objektif biçimde doğrulanmasını sağlar.
- Farklı üretici ve otoriteler arasında teknik uyumun sağlanabilmesi için, IEC 60099-4 standardı temel alınarak ortak rehber dokümanlar ve uygulama prensipleri geliştirilmelidir.

Sonuç olarak, SVL cihazlarının test kapsamalarını bağlamdan bağımsız şekilde yorumlamak yerine, sistemin fiziksel yerleşimi, işletme profili ve çevresel koruma düzeyine göre şekillendirmek, hem mühendislik doğruluğu hem de kaynak verimliliği açısından daha sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır. IEC 60099-4 standardının sunduğu esnek yapı, bu bağlamsal farklılıkların teknik düzlemde meşrulaştırılmasına olanak vermektedir. Bu

yaklaşımın sektörel farkındalıkla desteklenmesi, gereksiz test yüklerinden kaçınılmasını ve enerji altyapılarının daha etkin yönetilmesini sağlayacaktır.

Kaynaklar

- Akbal, B., 2020. High-voltage cable bonding to prevent cable termination faults based on zero-sequence current. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 30(3): e12212.
- ArresterWorks., 2014. Overview of the IEC 60099 4 Ed 3.0 2014 Energy Handling Tests (ArresterFacts 033 Rev 3). (https://www.arresterworks.com/arresterfacts/pdf_files/ArresterFacts_033_IEC_Energy_Handling_Tests.pdf), (Erişim Tarihi: 05.02.2025).
- Brown, M., 2018. Thermal effects of circulating currents on cable insulation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 33(4): 2005-2013.
- CIGRÉ Working Group A3.14., 2016. Guide for the Application of Metal Oxide Surge Arresters. CIGRÉ Technical Brochure.
- Czapp, S., Dobrzynski, K., 2020. Safety issues referred to induced sheath voltages in high voltage power cables – case study. *Applied Sciences*, 10(19): 6706.
- Czapp, S., Dobrzynski, A., 2020. Evaluation of sheath currents and voltages in hv cable systems. *Applied Sciences*, 10(19): 6706.
- Garnacho, F., Khamlichi, A., Valero, A., 2016. Guide to EHV/HV Cable Sheath Bonding Application Software. CIGRÉ Technical Brochure, Ref: ISH2015_52.
- IEC 60099-4:2014, 2014. Metal-oxide surge arresters – Part 4: Selection and application recommendations. International Electrotechnical Commission.
- IEEE Std C62.22-2010, 2010. IEEE Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits.
- IEEE Std 575-2014, 2014. IEEE Guide for Bonding Shields and Sheaths of Single-Conductor Power Cables Rated 5 kV through 500 kV. IEEE.
- IEEE Standards Association, 2010d. IEEE Std C62.22 2010: IEEE Guide for the Application of Metal Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits. IEEE.
- Li, G., 2022. Analysis of excessive sheath currents in multiple cable circuits. IET High Voltage.
- Li, Q., Xie, Y., Gao, X., 2022. Protection performance assessments of two types of sheath voltage limiters by studying the effect of parameters on the voltages and absorbed energy. *Electrical Power and Energy Systems*, 143: 108596.
- Patel, U.R., Gustavsen, B., Triverio, P., 2013. Proximity Aware Calculation of Cable Series Impedance for Systems of Solid and Hollow Conductors. ArXiv.
- Pham, T.C., Pham, H.T., Tran, V.T., 2019. Selection of Sheath Voltage Limiter for Mixed Overhead Underground Cable in 220 kV Transmission Lines. (<https://www.scribd.com/document/777524234/Selection-of-Sheath-Voltage-Limiter>), (Erişim Tarihi: 11.03.2025).
- Woodworth, J., 2014. Overview of the IEC 60099-4 Ed 3.0 2014 Energy Handling Tests. ArresterWorks Technical Paper. (https://www.arresterworks.com/arresterfacts/pdf_files/ArresterFacts_033_IEC_Energy_Handling_Tests.pdf), (Erişim Tarihi: 11.03.2025).