

T.C.

ENERJİ PİYASASI DÜZENLEME KURUMU



BOĞAZIÇI
ELEKTRİK
DAĞITIM

Proje Adı:

**Dağıtım Şebekesinde Kullanılan Yeraltı Kablolarının Arıza-
Yanma-Ömür Kısalması Durumlarının İncelenmesi, Sebeplerinin
Analizi ve Çözüm Önerilerinin Sunulması**

Proje Dönemi:

Ocak 2015

Ar-Ge Komisyon Karar No:

01/15/12

Proje Sahibi Şirket:

Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.

Proje Yürütücüsü:

İlker Dursun

Ekim 2016

ANKARA

İÇİNDEKİLER

1 PROJE KİMLİK BİLGİLERİ.....	6
2 PROJE ORGANİZASYON ŞEMASI	7
3 ÖNSÖZ.....	8
4 PROJE ÖZETİ.....	10
5 GİRİŞ.....	11
5.1 Projenin Amacı	13
5.2 Projenin Hedefi.....	14
5.3 Projenin Önemi.....	15
6 PROJEYE İLİŞKİN SORULAR/HİPOTEZLER.....	17
7 LİTERATÜR TARAMASI	19
8 PROJEYE İLİŞKİN TASARIM, METOT ve PROSEDÜRLER.....	22
9 KISITLAMA ve SINIRLAMALAR	31
10 PROJE SÜRECİ.....	32
10.1 Proje ile İlgili Literatür Taraması Yapılması (İş Paketi-1).....	32
10.2 BEDAŞ Arıza Verilerinin Temini, Analizi ve Sınıflandırılması.....	32
10.3 Analizler İçin Ön Hazırlık Çalışmaları.....	33
10.4 Yeraltı Kablo Sistemlerinin Teknik Çizimlerinin Yapılması.....	33
10.5 Yeraltı Kablo Sistemlerine Ait Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Hesaplama Analizlerinin Gerçekleştirilmesi.....	33
10.6 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Problemler İçin Çözüm Önerileri	34
10.7 Raporlama.....	34
11 BÜTÇE	35
12 SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER.....	39

13 REFERANSLAR/KAYNAKLAR/ATIFLAR	41
14 EKLER.....	42

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 8.1 Akıma bağlı kayıp hesabı için programda tanımlanan parametre ve denklemler.	23
Çizelge 8.2 Analizde kullanılan malzemelere ait ısıl ve elektriksel özellikler	25
Çizelge 11.1 Proje Bütçe Detayı	38

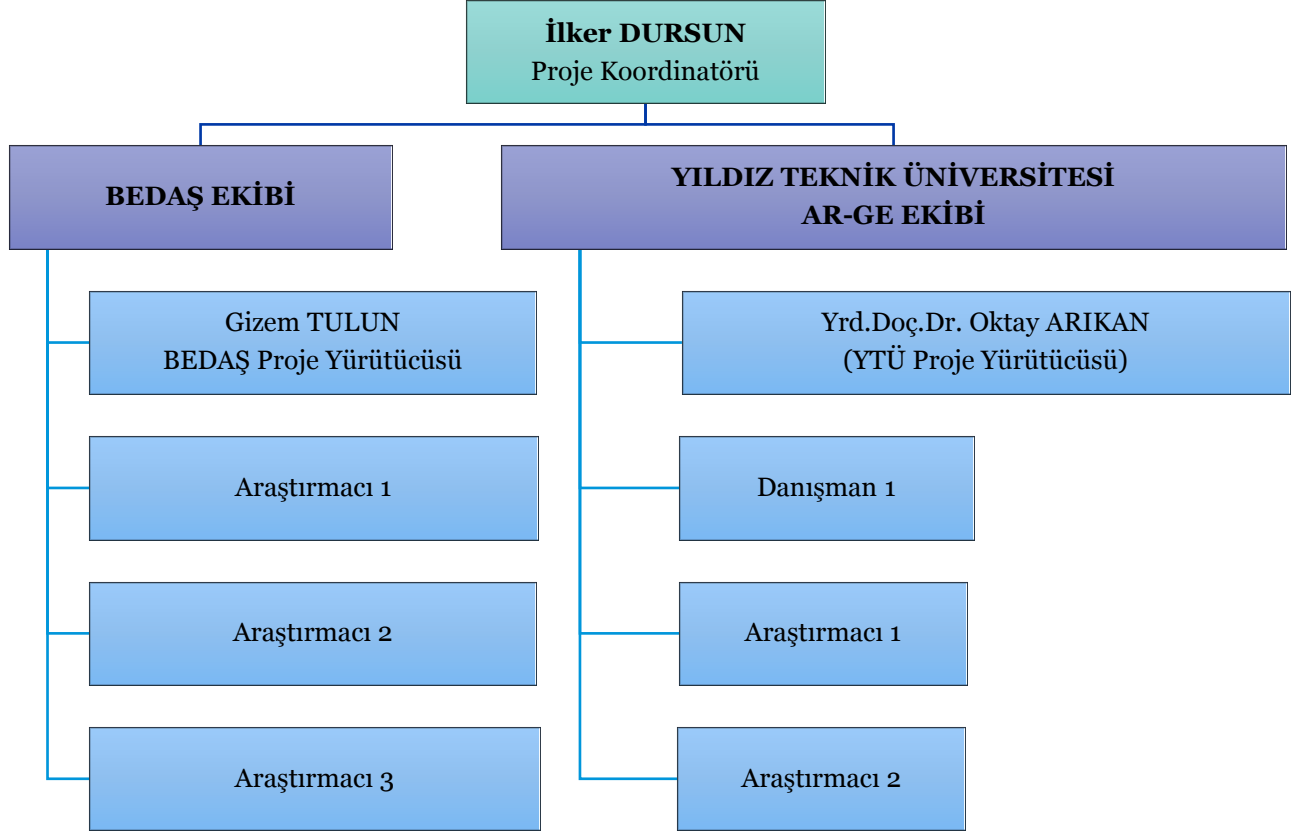
ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 8.1 K-1 yeraltı kablo kanalı sistemi	23
Şekil 8.2 K-1 kanal geometrisinin ağırlara bölünmüş durumu.....	26
Şekil 8.3 Farklı yüklenme durumlarında kablolar üzerindeki sıcaklık değişimleri (K-1)	27
Şekil 8.4 Nominal yüklenme durumunda (%100) K-1 döşeme sistemindeki sıcaklık dağılımı	27
Şekil 8.5 K-1 döşeme sisteminde kullanılan dolgu malzemelerine göre akım-sıcaklık değişimi (1x400/35 mm ² Cu, a=0 cm, Havaalanı-Çatalca-Şile-Toprak)	28
Şekil 8.6 Yüklenme akımına bağlı olarak kablo ömründeki değişim (1x240/25 mm ² Cu, a=0 cm, Şile-Çatalca-Havaalanı-Toprak)	28

1 PROJE KİMLİK BİLGİLERİ

Proje Sahibi:	Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.
Proje Sahibinin Adresi:	Abdülhakhamit Cad. No:21 34437 TaksimBeyoğlu/İstanbul
Proje Adı:	Dağıtım Şebekesinde Kullanılan Yeraltı Kablolarının Arıza-Yanma-Ömür Kısalması Durumlarının İncelenmesi, Sebeplerinin Analizi ve Çözüm Önerilerinin Sunulması
Proje Bölgesi (Uygulama Yapılan Lokasyon):	İstanbul Avrupa Yakası
Proje Süresi:	18 Ay
Ar-Ge Dönemi	Ocak 2015
Ar-Ge Komisyon Kabul No ve Tarihi:	19543 - 27/03/2015

2 PROJE ORGANİZASYON ŞEMASI



3 ÖNSÖZ

Ülkemizde ve dünyada elektrik enerjisine olan talep her geçen gün artış göstermektedir. Bu talebi karşılamak amacıyla yeni yatırımların yapılarak güç sistemlerinin besleyebileceği abone/yük/iletebileceği güç miktarının artırılması gerekmektedir. Bunun için yeni sistemlerin tesis edilmesinin yanında mevcut sistemlerin de maksimum performans ile güvenli bir şekilde kullanılabilmesi enerji dağıtımının kaliteli, verimli, sürdürülebilir, kesintisiz ve ekonomik olması için önemlidir.

Enerji sürekliliğinin sağlanması ve sistem veriminin artırılması üzerine yapılan çalışmaların başlıcaları arasında dağıtım sistemleri yer almaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte enerji talebinin hızlı bir biçimde artması ve yük profillerinin değişmesi nedeniyle dağıtım sistemi üzerine yapılan çalışmaların sayısı da artmaya başlamıştır. Bu alanda gerçekleştirilen başlıca çalışmalar arasında ise yeraltı güç kabloları ile ilgili çalışmalar yer almaktadır.

Son yıllarda elektrik enerjisi dağıtım sistemlerindeki yeraltı kablolarının kullanımı hızla artmaktadır. Tesis edilme maliyetleri yüksek olan bu sistemlerin mümkün olduğunca verimli, güvenli ve ekonomik ömre uygun olarak kullanılması gerekmektedir. Özellikle, artan yüklenmeler sebebiyle kablolarda meydana gelen aşırı ısınmalar kabloya zarar vermekte ve beklenmedik arızalara/kesintilere neden olmaktadır. Bu bağlamda yapılabilecek en önemli çalışmalardan biri, kablo döşeme sistemlerinin yüklenmeye bağlı ısı dağılımlarının, akım taşıma kapasitelerinin ve ömürlerinin belirlenmesidir.

“Dağıtım Şebekesinde Kullanılan Yeraltı Kablolarının Arıza-Yanma-Ömür Kısalması Durumlarının İncelenmesi, Sebeplerinin Analizi ve Çözüm Önerilerinin Sunulması” isimli proje kapsamında Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş. (BEDAŞ) tarafından dağıtım sistemlerinde kullanılan yeraltı kablo kanalı sistemlerinin ısı, akım taşıma kapasitesi ve ömür analizleri gerçekleştirilmiştir. Belirlenen kablo kanalları ilgili yazılımlar ile modellenerek sistemin farklı yüklenme durumlarındaki ısı davranışları belirlenmiştir. Ayrıca, tüm sistemlerin maksimum/optimum yüklenme değerleri belirlenmiş olup bu değerler göre sistem ömrünün hesaplamaları yapılmıştır. Bunlara bağlı olarak, optimum işletim koşullarının belirlenmesi ve olası arızaların minimuma indirilmesi planlanmaktadır.

Proje çıktıları ile BEDAŞ sorumluluğundaki yeraltı dağıtım sistemleri için daha verimli, kaliteli ve sürekli enerji hedeflerine bir adım daha yaklaşılması hedeflenmektedir. Proje kapsamında BEDAŞ sorumluluğundaki orta gerilim (OG) yeraltı kablo sistemlerinin ısı

profillerine ait genel fotoğraf ortaya konulmuş ve sistemin farklı yüklenme durumlarındaki davranışları incelenmiştir. Mevcut yeraltı kablo sistemlerinde yüklenme sebebiyle meydana gelebilecek ısı arızalarının önüne geçebilmek ve sistem ömrünü olabildiğince uzatabilmek için çözüm önerileri getirilmiştir. Ayrıca, analizler sonucunda elde edilen sonuçlar yardımıyla yeni tesis edilecek yeraltı kablo sistemlerinin de optimum düzeyde planlanmasına olanak sağlanması planlanmıştır.

4 PROJE ÖZETİ

Gerçekleştirilen proje ile BEDAŞ dağıtım isteminde kullanılan yeraltı kablo kanallarının sonlu elemanlar yöntemi ile farklı durumlardaki (diziliş, ortam sıcaklığı, dolgu malzemesi, kablo tipi, kablo iletken malzemesi, rüzgar hızı, vb.) ısı, akım taşıma kapasitesi ve kablo ömrü analizleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut yeraltı dağıtım sistemlerinde meydana gelebilecek arızaların önüne geçilmesi ve mevcut/yenikurulacak sistemlerde faydalı kullanım ömrünün uzatılması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda, öncelikli olarak literatürdeki benzer çalışmalar/projeler incelenerek projenin altyapısı hazırlanmıştır. Ardından BEDAŞ tarafından belirlenen yeraltı kablo sistemlerinin CAD ortamında çizimleri gerçekleştirilmiştir. COMSOL Multiphysics programında belirlenen yeraltı kablo sistemlerinin geometrileri oluşturulmuştur. Analizlerde kullanılacak malzeme özellikleri, sınır koşulları, ortam koşulları vb. veriler COMSOL programına aktarılmıştır. BEDAŞ tarafından belirlenen yüklenme oranları ve kullanılan kablo tiplerine göre analizler gerçekleştirilerek her bir kablo sisteminin ısı profiline, akım taşıma kapasitesi ve sistem ömrü belirlenmiş olup elde edilen sonuçlar değerlendirilerek raporlanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, BEDAŞ dağıtım sisteminde kullanılan yeraltı kablo sistemlerinin farklı mevsimlerde (hava koşullarında) ve farklı diziliş durumlarında ki maksimum yüklenebilme sınırı (maksimum çalışma sıcaklığı) belirlenerek aşırı yüklenmeye bağlı ömür azalması ve arızaların önüne geçilebilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, tüm kablo sistemlerinin yüklenme kapasitesini arttırabilecek veya mevcut durumunu koruyabilecek çözüm önerileri sunulmuştur. Proje sonrasında da mevcut ve yeni kablo sistemlerine ait benzer analizlerin BEDAŞ tarafından yapılabilmesi için COMSOL programında kullanımı kolay ve pratik bir arayüz tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik dağıtım sistemi, Yeraltı kablo sistemleri, Kablo sistemi modelleme, Akım taşıma kapasitesi analizi, Isıl analizi, Ömür analizi, Kablo arızası, Kablo yanması, Sonlu elemanlar yöntemi (FEM), Optimum sistem tasarımı

5 GİRİŞ

Son yıllarda elektrik enerjisi dağıtım sistemlerindeki yeraltı kablolarının kullanımı hızla artmaktadır. Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş.(BEDAŞ) tarafından da enerji dağıtımını amacıyla yaygın olarak yeraltı güç kabloları kullanılmaktadır. Tesis edilme maliyetleri yüksek olan bu sistemlerinin mümkün olduğunca verimli, güvenli ve ekonomik ömre uygun olarak kullanılması gerekmektedir.

Bu proje ile yeraltı kablo şebekelerinin arızalanmadan çalışmasını sağlayacak analiz çalışmaları ortaya konulması ve verimli bir dağıtım sistemi elde edilmesi amaçlanmaktadır. Literatürde yeraltı kablolarının ortalama ömürleri 30-40 yıl olarak belirtilmektedir. Dışarıdan gelebilecek fiziksel darbelere maruz kalmadıkları sürece uzun yıllar boyunca kullanılması planlanan kablo sistemlerinde, maalesef teknik sebeplere bağlı olarak da çeşitli arızalar, yangınlar ve ömür kısaltmaları meydana gelmektedir. Bu istenmeyen durumlar genelde yeraltı kablolarının aşırı yüklenmesi ve dökme biçimi nedeniyle oluşmaktadır.

Kablo üreticisi firmalar tarafından, yeraltı kablolarının belirli şartlar altındaki (standart derinlik, sabit sıcaklık, belirli kablolar arası açıklık, ...) akım taşıma kapasiteleri kataloglarda verilmektedir. Fakat, dökme koşullarına ve mevsimsel şartlara bağlı olarak kabloların taşıyabilecekleri akım kapasiteleri değişmektedir. Bu sebeple, kablo sistemlerinin uzun ömürlü olması, teknik nedenlerden kaynaklı arızaların, yangınların meydana gelmemesi, işletmede kalma ömürlerinin azalmaması, enerji iletiminin sürekliliği ve ekonomikliği için dökme koşullarına bağlı olarak detaylı akım taşıma kapasitesi ve ısı analizlerinin yapılması gerekmektedir.

Yeraltı kabloları çalışma gerilimlerine, iletken çeşidine, izolasyon malzemesi tipine, kesitine, akım taşıma kapasitesine ve dökme biçimlerine göre sınıflandırılmaktadır. Kablo yalıtkan malzemelerinin çeşitlerine bağlı olarak belirlenen maksimum çalışma sıcaklıklarını (Örn: PVC yalıtkanlı 70°C, XLPE yalıtkanlı 90 °C) aşmamaları gerekmektedir. Aksi takdirde kablolardaki arızaların, yangınların ve ömür kısaltmalarının oluşması kaçınılmazdır. Gerçekleştirilen proje ile bu tür olumsuzlukların önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Yeraltı kablolarının akım taşıma kapasitelerinin belirlenebilmesi ve ısı analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için ilgili standartlar göz önüne alınarak kullanılan çeşitli analitik, sayısal, deneysel yöntemler ve programlar mevcuttur. Bu konu ile ilgili gerçekleştirilen

çalışmalarda sonlu elemanlar yöntemini kullanan yazılım programları (FEMM-Finite Element Methods on Magnetics, Comsol Multiphysics, ...) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yeraltı kablolarının gerilim seviyesi, döşenme biçimi ve kesitlerine bağlı olarak akım taşıma kapasiteleri ilgili kablo kataloglarında standart sıcaklık ve döşeme koşulları için verilmektedir. Bu değerler, standartlara uygun olarak, kablo sistemlerinin modellerinin formüle edilmesi ile elde edilmektedir. Fakat, gerçek çalışma koşullarındaki durum değişmekte ve bu değerlerin net olarak ortaya konulabilmesi için detaylı multifizik analizlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Yerleşim düzeni, döşenme koşulları (kataloglarda verilen döşeme şartları genellikle uygulamada değişmekte ve pek çok farklı döşeme şekli kullanılmaktadır), sistemin döşendiği toprak yapısı, ısınma sebebiyle malzeme yapısındaki değişimler, mevsimlere bağlı olarak meydana gelen sıcaklık değişimlerine bağlı olarak ortaya çıkan ısınma ve akım taşıma kapasitesi değerlerindeki değişiklikler ancak bu tür çalışmalar ile gerçeğe en yakın biçimde ortaya konulabilmektedir.

Yukarıda ifade edildiği üzere, yeraltı kablo sistemlerinin akım taşıma kapasitelerini etkileyen en önemli faktörler ortam koşullardır. Bu nedenle kabloların döşemesinin yapıldığı ortam koşulları iyi analiz edilmelidir. Genel olarak akım taşıma kapasitesini etkileyen temel parametreler;

- Toprağın ısı iletkenliği,
- Yatak malzemesinin ısı iletkenliği,
- Dolgu malzemesinin ısı iletkenliği,
- Birlikte döşenen kablo sayısı,
- Kabloların boru içerisine alınması veya direkt olarak toprağa döşenmesi,
- Ortam sıcaklığı,
- Kabloların arasındaki boşluk,
- Kabloların döşenme derinliği,
- Kabloların diziliş biçimi,

olarak sıralanabilir.

5.1 Projenin Amacı

Gerçekleştirilen proje kapsamında, BEDAŞ'nin kullandığı yeraltı kablosu ile enerji dağıtım sistemlerinde meydana gelen kablo arızalarının ve yangınlarının önlenmesi, kabloların olabildiğince uzun süre işletmede kalmasının sağlanması (ömür kısaltıcı etkilerin azaltılması) hedeflenmiştir. Böylece, daha güvenilir, sürekli ve kaliteli bir enerji dağıtımını sağlanacaktır.

Bu amaçla, BEDAŞ sisteminde yaygın olarak kullanılan AG, OG, ve AG-OG kablo sistemlerinin modelleri oluşturulmuş, ilgili standartlar ve hesaplama yöntemleri dikkate alınarak akım taşıma kapasitesi, ısınma analizleri ve ömür hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Analizlerde sonlu elemanlar yöntemini temel alan Comsol Multiphysics programı da kullanılarak sistemin elektriksel ve ısıl parametrelerinin bir arada kullanılmasına imkân veren çoklu fiziksel analizler yapılarak gerçeğe en yakın durumların ortaya konulması hedeflenmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmalar ile belirlenen tüm sistem yapıları (farklı döşeme, kablo, kanal, iletken, mevsimsel şartlar, ... v.b.) için ayrı ayrı analizler yapılarak sonuçlar raporlanmıştır.

Proje sonrasında elde edilen ısıl analiz sonuçlarına göre;

- Isınmaya bağlı kablo arızalarının azaltılması,
- Kabloların ısı nedeniyle beklenenden kısa sürede tahrip olmasının önüne geçilmesi,
- Kablo ömürlerinin uzatılması,
- Isıl arızalara bağlı enerji kesintilerinin azaltılması,
- Yeraltı kablo sistemlerinin optimum düzeyde ve verimli bir biçimde kullanılabilmesi,
- En uygun yatırım planlarının gerçekleştirilmesi,
- Müşteri memnuniyetinin artırılması,

amaçlanmaktadır.

5.2 Projenin Hedefi

Gerçekleştirilen projenin hedefleri genel olarak aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- BEDAŞ dağıtım sisteminde meydana gelen kablo arızalarının azaltılması,
- BEDAŞ dağıtım sisteminde meydana gelen kablo yanmalarının azaltılması,
- BEDAŞ dağıtım sisteminde kullanılan yeraltı kablolarının daha uzun ömürlü olarak kullanılması,
- Yeraltı kablo sistemlerinin döşenme biçimine göre ısı olarak ne kadar zorlandığının tespit edilmesi,
- Kabloların kataloglardaki akım taşıma değerleri ile gerçek çalışma koşullarındaki akım taşıma kapasiteleri arasındaki farkın tespit edilmesi,
- Sistemin mevcut durumdaki güç taşıma miktarının net olarak tespit edilmesi,
- Gelecek dönemde planlanan bağlantılar için hangi kablo sistemine ne kadar yük bağlanabileceğinin tespit edilmesi,
- Sistemdeki aktif olarak çalışan kablo sistemlerinden hangilerinin sınır değerlerde çalıştığının ortaya konması,
- Katalog değerlerine göre uygun yüklenmesine rağmen uygulamadaki çalışma koşullarından kaynaklanan aşırı ısınmalar sebebiyle meydana gelen arızaların önüne geçilmesi,
- Mevsimsel olarak değişen hava şartları nedeniyle meydana gelen kapasite değişimlerinin tespit edilmesi,
- Gerilim seviyesi, döşenme biçimi ve kesitlerine bağlı olarak optimum kablo yerleşimlerinin belirlenmesi,
- Kablo arızaları sebebiyle meydana gelen elektrik enerjisi kesintilerinin en aza indirilmesi,
- Enerji kesintisi sebebiyle meydana gelen müşteri memnuniyetsizliğinin ve ekonomik kayıp en aza indirilmesi,
- Elde edilecek sonuçların incelenen tüm sistemler için ayrı ayrı raporlanması.

5.3 Projenin Önemi

Elektrik enerjisi dağıtımında yaygın olarak kullanılan yeraltı kablolarının ortalama ömürleri, literatürdeki çalışmalara göre 30-40 yıl olarak verilmektedir. Dışarıdan gelecek fiziksel darbeler olmadığı takdirde tesis edilmiş bir yeraltı kablo hattın uzun yıllar boyunca sorunsuz şekilde işlevini yerine getiremesi beklenmektedir. Yeraltı kablo sistemlerinin maliyetleri göz önüne alındığında bu durumun gerçekleşmesi tüm dağıtım firmaları için büyük önem arz etmektedir.

İşletmedeki durum dikkate alındığında, dışarıdan gelen fiziksel bir darbe olmadığı durumlarda da kablo arızaları, yangınlar, literatürde belirtilenden çok daha kısa sürede kullanım ömrünü tamamlayan kablo sistemleri ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bu durum genellikle yeraltı kablo sistemlerinden iletilen akım sebebiyle meydana gelen aşırı ısınmalardan (kabloların fazla yüklenmesinden) ve aşırı gerilimlerden kaynaklanmaktadır.

İşletmelerden elde edilen bilgilere göre, sistemde oluşan arızaların % 5 ile % 50 oranında aşırı yüklenme nedeniyle oluşan kablo arızalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Kablo kataloglarında standart sıcaklık, derinlik ve döşeme biçimleri için akım taşıma kapasitesi değerleri verilse de dağıtım sistemlerindeki uygulamalarda farklı yapıda onlarca yeraltı kablo sistemi mevcuttur. A.G. ve O.G. seviyesinde veya her ikisinin beraber kullanıldığı sistemlerde, farklı derinlik ve genişliklerde çeşitli kanal yapıları kullanılmaktadır. Bu yapılarda tek devre, çift devre ve çoklu devreli sistemler, farklı kabloların kullanımı, kabloların boru içerisinde kullanılması, yan yana veya üst üste döşeme, farklı açıklıklar, ... v.s. mevcuttur.

Gerçekleştirilen projeye,

- Dağıtım sistemimizde yaygın olarak kullanılan A.G., O.G., ve A.G.-O.G. kablo sistemlerinin modellerinin oluşturulması,
- İlgili standartlar, hesaplama ve modelleme yöntemleri dikkate alınarak akım taşıma kapasitesi, ısınma analizleri ve ömür hesaplamalarının yapılması,
- Comsol Multiphysics programı kullanılarak sistemin elektriksel ve ısı parametrelerinin bir arada kullanılmasına imkan veren çoklu fiziksel analizler yapılarak gerçeğe en yakın durumların ortaya konulması,
- Tüm yapılar için elde edilen sonuçların raporlanması,

Hedeflenmiştir. Proje sonucunda elde edilen veriler ve raporların kullanımı,

- Kablo arızalarının azaltılması,
- Kablo yanmalarının azaltılması,
- Kablo ömürlerinin uzatılması,
- Enerji kesintilerinin azaltılması,
- Yeraltı kablo sistemlerinin optimum kullanımı,
- En uygun yatırım planlarının gerçekleştirilmesi,
- Müşteri memnuniyetinin artırılması,

açısından önem arz etmektedir.

Ayrıca, aşağıda sıralanan durumlar göz önüne alındığında projenin yaratacağı ekonomik faydalar net olarak ortaya çıkmaktadır:

- İlk yatırım maliyeti yüksek olan yeraltı kablosu sistemlerinin daha güvenli çalışması,
- Yeraltı kablosu sistemlerinde meydana gelen arızaların onarım ve/veya tekrar tesis edilme maliyetlerinin minimuma indirilmesi,
- Uzun yıllar kullanılmak üzere tesis edilen sistemin kullanım ömrünün azalması sebebiyle tekrar tesisinin getirdiği maliyetlerin düşürülmesi,
- Arıza esnasında oluşan satılamayan enerji maliyetlerinin azaltılması,
- Enerji kesintisi sebebiyle tüketicilerde meydana gelen imalat yapamama ve/veya çalışmama maliyetlerinin minimuma çekilmesi.

Proje sonucu elde edilecek faydalar, dağıtım sektöründe meydana gelen önemli miktardaki maddi kayıpların önüne geçilmesini ve elektrik enerjisinin çok daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır. Bu durum, BEDAŞ, diğer dağıtım şirketleri, tüketiciler ve genel anlamda ülkemiz için azımsanmayacak ekonomik katkı sağlayacaktır.

Gerçekleştirilen çalışma ve sonuçta oluşturulacak raporlar EPDK ile paylaşılacağından diğer dağıtım şirketleri açısından da faydalı olacaktır. Böylelikle, ülkemiz açısından oluşacak katkının sektör, bilim dünyası ve halkımız için daha da yaygınlaşması sağlanacaktır.

6 PROJEYE İLİŞKİN SORULAR/HİPOTEZLER

Gerçekleştirilen projeye ilişkin sorular/hipotezler aşağıda belirtilmiştir:

- Kablo iletken malzemesine ve kesitine bağlı olarak kabloların taşıyabileceği akım taşıma kapasitesi değerleri farklılık göstermektedir. Özellikle son yıllarda bakır kablo yerine eşdeğer kesitte alüminyum kablo kullanılması gündeme gelmiştir. Bu nedenle gerçekleştirilen projede alüminyum ve bakır iletkenli kabloların ısı, akım taşıma ve ömür analizler ayrı ayrı yapılarak belirlenmelidir.
- Yeraltı kablo sistemlerinde kullanılan AG ve OG kablolarının firma kataloglarında verilen akım taşıma kapasiteleri belirli şartlar için hesaplanmıştır. Bu şartlar genellikle kabloların tek devre döşendiği yan yana ve/veya üçgen demet şeklindeki dizilim durumları için belirlenmiştir. Ancak dağıtım sisteminde kullanılan kabloların devre sayıları ve dizilişleri farklılık göstermektedir. Bu durumlarda, akım taşıma kapasiteleri değişmektedir.
- Döşeme sistemi içerisinde kablolar arasındaki mesafe, kablonun nominal akım taşıma kapasitesi değerini etkilemektedir. Bu sebeple analizler nominal açıklık ve kabloların bitişik olması durumları için gerçekleştirilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Firma kataloglarında verilen akım taşıma kapasitesi değerleri nominal işletme sıcaklığı (90°C) için geçerlidir. Aşırı yüklenme durumlarında kabloların sıcaklık değerleri bilinmemektedir. Bu nedenle, %100 yüklenme durumunun haricinde aşırı yüklenme durumları için de akım taşıma ve kablo ömrü analizleri gerçekleştirilerek sistem performansı ortaya konulmalıdır.
- Kabloların içerisinde bulunduğu dolgu malzemesinin ısı iletkenlik değeri kablonun nominal akım taşıma kapasitesini etkileyen bir diğer faktördür. Bu nedenle, üç farklı dolgu malzemesi kullanılması ve dolgu malzemesinin olması durumları çalışma şartlarını etkilemektedir.
- Ortam sıcaklığı, kabloların nominal akım taşıma kapasitesini etkileyen parametrelerden biridir. Bu nedenle ortam sıcaklığının da etkisini gözlemleyebilmek için üç farklı sıcaklık şartları için analizler gerçekleştirilmelidir.

- Ortam sıcaklığının yanı sıra, yüzeydeki ve kanal/boru içerisindeki hava akımı/rüzgar da çalışma şartlarını değiştirmektedir. Bu nedenle analizlerde farklı rüzgar hızlarının/hava akımlarının akım taşıma kapasitesi ve kablo ömrü üzerindeki etkileri belirlenmelidir.

7 LİTERATÜR TARAMASI

Yeraltı kablolarının akım taşıma kapasitelerinin belirlenmesi, ısıl analizleri, ömrü ve arıza azaltımı ile ilgili olarak literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu kapsamda, detaylı bir literatür taraması gerçekleştirilmiş olup, hazırlanan raporlar ile incelenen çalışmalar sunulmuştur. Bu çalışmaların bir kısmı aşağıda verilmiş olup detaylı literatür taraması ana başlıklar halinde EK-1 (Yeraltı Kablolarının Isıl Analizi İle Akım Taşıma Kapasitelerinin Belirlenmesi Raporu) ve EK-2 (Yeraltı Güç Kablolarında Isınmaya Bağlı Olarak Kablo Ömrünün İncelenmesi Raporu)'de bulunmaktadır.

- Desmet ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, birbirine paralel olarak döşenmiş olan kabloların sayısına ve kabloların döşenme şekline bağlı olarak kabloların sıcaklığı zamana bağlı olarak analiz edilmiştir [1]. Kabloların akımları 336 A iken döşeme biçimi olarak seçilen toprak, poliüretan boru ve içerisinde hava bulunan kanal arasında en yüksek sıcaklık boru kullanıldığı durumda oluşurken, en düşük sıcaklık toprak kullanıldığı durumda görülmüştür. Kablolar 420 A ile yüklü iken en yüksek sıcaklık 45 °C ile 3 kablolu sistemde oluşurken, en düşük sıcaklık 31 °C ile tek olan kabloda görülmüştür.
- IEEE ve IEC standartlarında belirtilen yeraltı kablolarının dış termal direncini (T4) hesaplamak için kullanılan ifadeler sadece belirli döşeme geometrileri için uygulanabilir. Bu nedenle sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kablolar ile toprak yüzeyi arasındaki ısıl direnç olan T4' ü hesaplayabilmek için yeni bir yaklaşım ortaya konulmuş ve farklı ısıl iletkenliğe sahip yatak malzemelerinin konumunun akım taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır [2].
- Al-Saud ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışma ile sonlu elemanlar yöntemini esas alan bir algoritma geliştirilmiş ve bu sayede ısıl iletkenlik değerleri, sınır koşulları ve ısı üretimi gibi temel ısıl devre parametrelerinin optimal değerlerinin, kablo sıcaklığının kullanıldığı bir fonksiyon ile belirlenmesi amaçlanmıştır [3].
- Wang ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada yeraltı kablolarının akım taşıma kapasiteleri üzerinde etkili olan ortam koşulları analiz edilmiştir[4]. İncelenen parametreler toprağın ısıl direnci, ortam sıcaklığı, kabloların yerleştirilme biçimi ve kablo adedi ile bir dış ısı kaynağının bulunmasıdır. Buna göre incelenen kablo sisteminde toprağın termal direncinin 0,5 K.m/W' tan 1 K.m/W' a yükselmesi akım

taşıma kapasitesinde 42.68 A' lik bir düşüşe neden olmaktadır. Kablolar arası açıklık 0,3 m'den 0,6 m'ye 0,1 m artışlar ile yükseltildiğinde akım taşıma kapasitesinde sırasıyla 19,3 A, 16,1 A ve 11,8A 'lik yükselmeler olduğu görülmüştür.

- Her zaman yeraltı kablolarının bulunduğu ortamın ısı özellikleri doğru bir şekilde elde edilemeyebilir. Bu tip durumlarda kabloların ısı devresini etkileyen çeşitli parametreler göz önüne alınarak belirsizlik olan durumlarda güç kablolarının yüklenme kapasitelerinin değerlendirilmesi üzerine çeşitli teknikler geliştirilmiştir [5]. Bu yöntemlerde mevsimsel ve bölgesel koşullar göz önüne alınarak toprağın ısı direnci ve ortam sıcaklığı gibi ısı parametrelerinin farklı değerlerinin gerçekleşme olasılığı kullanılır.
- Yeraltı kablolarının direkt olarak toprağa döşenmesi veya PVC boru içerisine alınması durumlarının kablo sıcaklığı üzerindeki etkileri önemli oranda farklılık göstermektedir. Yapılan çalışmada, aynı akım seviyesinde kablolar PVC boru kullanılmadan direkt olarak toprağa döşendiğinde yaklaşık olarak 17,7 °C' ye kadar daha az ısındığı sonucu elde edilmiştir [6].
- Yanmu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, kablo iletkeninde iletilen akımdan dolayı oluşan Joule kayıplarının yanı sıra metalik kılıfta indüklenen eddy akımlarından kaynaklanan ısınma da hesaplanmıştır [7]. 1300 A taşınan üç fazlı kablo sisteminde kablolar yan yana dizildiğinde en yüksek iletken sıcaklığı 45.3 °C iken yonca şeklinde bir dizilim yapıldığında en yüksek sıcaklığın 44 °C olduğu görülmüştür.
- Shen ve arkadaşları yeraltı kablosunun akım taşıma kapasitesini hesaplamak için geliştirdikleri ve deneysel olarak test edilmiş yazılım ile farklı döşeme şekilleri ve farklı döşeme koşullarında ortamın ısı direnci ve akım taşıma kapasitesi arasındaki ilişkiyi analiz etmişlerdir [8]. Buna göre ısı direnci 1,2 K.m/W olan bir toprak yerine 0,8 K.m/W olan bir toprak kullanılması durumunda akım taşıma kapasitesi %15 artarken, toprağın ısı direnci 2,0 K.m/W olması durumunda akım taşıma kapasitesi %20 azalmaktadır. Ayrıca içi hava dolu bir kanal içerisinde bulunan tek devreli bir kablo sisteminin akım taşıma kapasitesi 395 A iken, hava yerine 1,8 K.m/W ısı dirence sahip bir malzeme kullanılması durumunda akım taşıma kapasitesinde %7,5' lik bir artış sağlanabileceği görülmüştür.

- Yeraltı kablolarının bulunduğu ortam koşulları ile birlikte kablo sistemlerinde kullanılan aparatlar da sıcaklık dağılımını ve dolayısıyla akım taşıma kapasitesini etkilemektedir. Kabloların ürettiği manyetik alanı azaltmak için kullanılan kablo dış ekranlamaların kablo sıcaklığına etkisinin incelendiği çalışmada, 12 mm kalınlığında bakır yatay ekranlama kullanıldığında akım taşıma kapasitesinin %4 artış gösterdiği görülmüştür [9]. Başka bir çalışmada, yine manyetik alanı azaltmak için tasarlanmış HMCPL ekranın transient ve kararlı durumda ısıl karakteristiği üzerindeki etkileri incelenmiştir [10].
- Yeraltı kablo sistemlerinin döşendiği ortamın sıcaklık dağılımı maliyetli olmasına rağmen çeşitli gelişmiş izleme sistemleri ile takip edilebilir. Li ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, gelişmiş bir DTS (distributed temperature sensing) sistemi kullanılarak, kablonun yüzey sıcaklığından iletken sıcaklığının ve kablonun yüklenme derecesinin öngörüldüğü bir teknik geliştirilmiştir. 230 kV' luk kablo sistemi için uygulanan bu tekniğin gelecekte DTS sistemleri ile dinamik olarak kablo yüklenebilirliğinin analizine imkân sağlayacağı öngörülmüştür[11].

Yukarıda özetleri verilen çalışmalardan anlaşılacağı üzere, döşenme şekline, gerilim seviyesine, kablo tipine, ortam koşullarına, ...v.b. bağlı olarak yeraltı kablolarının akım taşıma kapasitesi, dolayısıyla ısınma durumu çok farklı değerler almaktadır. Doğru olarak yüklenmeyen kablolarda izolasyon arızalarının, yanmaların ve ömür kısaltmalarının meydana gelmesi ise kaçınılmaz olmaktadır. Tam tersi olarak da bazı durumlarda kablolar kapasitesinin altında yüklenmekte ve ekonomik bir yatırım olmamaktadır. Gerçekleştirilen projede, bu tür durumlar detaylı olarak analiz edilmiş olup sistemin problemsiz çalışabilmesine ait sonuçlar sunulmuştur.

8 PROJEYE İLİŞKİN TASARIM, METOT ve PROSEDÜRLER

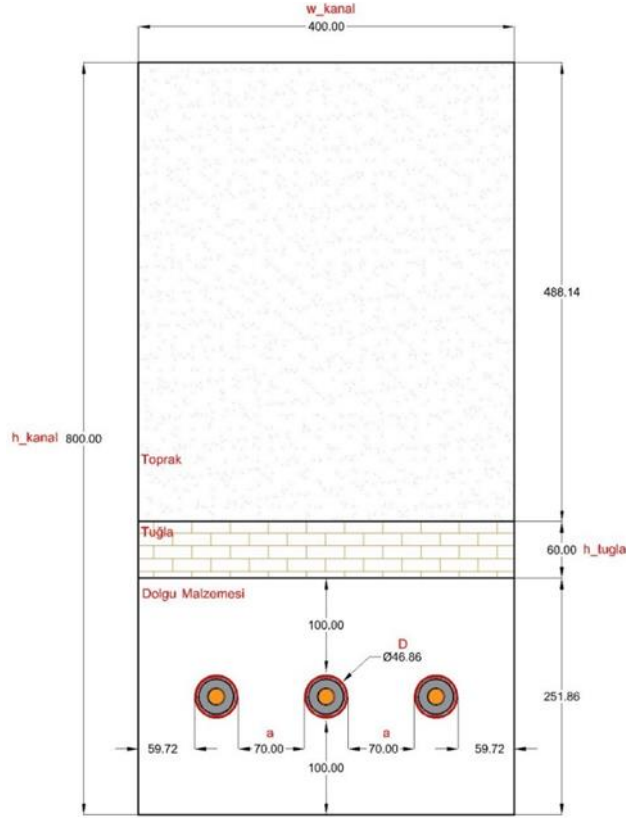
Projede gerçekleştirilecek çalışmaların akışı,

- Literatür taraması ile benzer konuda yapılan çalışmaların incelenmesi ve proje süresince bunlardan faydalanılması,
- Analiz edilecek farklı yeraltı kablo sistemlerinin belirlenmesi,
- Çizimlerin yapılması,
- Kullanılacak sistem parametrelerinin belirlenmesi,
- İncelemesi yapılacak koşulların saptanması,
- COMSOL Multiphysics programında analizlerin gerçekleştirilmesi,
- Raporların hazırlanması,

olarak tasarlanmıştır.

Başlangıç çalışmalarında, BEDAŞ tarafından belirlenen ve işletmede yaygın olarak kullanılan 16 adet yeraltı kablo sistemi için analizlerin ve değerlendirmelerin yapılması planlanmıştır. Proje kapsamında çalışılan kanal tiplerinden biri olan K-1 yeraltı kablo sistemine ait örnek çizim Şekil 8.1’de verilmiştir.

Kanal ve kablo tiplerinin belirlenmesini takip eden süreçte, kanal yapısı, kullanılan malzemeler ve kabloları ait parametrelerin belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8.1 K-1 yeraltı kablo kanalı sistemi

Analizler için altyapısında sonlu elemanlar yönetimi olan COMSOL Multiphysics paket programı kullanılmıştır. Programda öncelikle problem geometrisi oluşturulmuştur. Sistem içerisinde bulunan tüm geometrik, ısıl ve elektriksel ifadelerin hesaplamaları yapıp parametre olarak program içerisinde tanımlanmıştır. Örnek olarak, K-1 kanal sistemi içerisinde tanımlanan parametrelerin bir kısmı Çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1 Akıma bağlı kayıp hesabı için programda tanımlanan parametre ve denklemler

Parametre	Denklem	Değer	Açıklama
I	411.21[A]	411.21 A	***Akım
T_yuzey	35	35	***Yüzey sıcaklığı
a	70[mm]	0.07 m	***Kablolar Arası Mesafe (Ortadaki kablo sabit)
D	2*r_kilif	0.046856 m	Kablo Çapı
x_iletken	0[mm]	0 m	***Tüm Kabloların Yatay Yer

Parametre	Denklem	Değer	Açıklama
			Değiştirilmesi
y_iletken	0[mm]	0 m	***Tüm Kabloların Dikey Yer Değiştirilmesi
w_kanal	400[mm]	0.4 m	Kanal Genişliği
w_kanal_ek	0[mm]	0 m	***Kanal Genişlik Değişimi
h_kanal	800[mm]	0.8 m	Kanal Derinliği
h_kanal_ek	0[mm]	0 m	***Kanal Derinlik Değişimi
R	180	180	Kanal Döndürme Açısı
z	100[mm]	0.1 m	İletken altı ile kanal bitimi arası mesafe
a_yi	0.6[mm]	6E-4 m	İç ve dış yarı iletken kalınlığı
a_xlpe	9[mm]	0.009 m	XLPE Kalınlığı
a_yib	0.3[mm]	3E-4 m	Yarı iletken bez kalınlığı
a_siper	0.206 [mm]	2.06E-4 m	Siper Kalınlığı
a_pvc	1.382[mm]	0.001382 m	PVC Kalınlığı
a_kilif	2.6[mm]	0.0026 m	Kılıf Kalınlığı
r_iletken	8.74[mm]	0.00874 m	***İletken Yarıçapı (8.74@240, 11.284@400)
r_iyi	(r_iletken + a_yi)	0.00934 m	İç yarı iletken yarıçapı
r_xlpe	r_iyi + a_xlpe	0.01834 m	XLPE Yarıçapı
r_dyi	r_xlpe+a_yi	0.01894 m	Dış yarı iletken yarıçapı
r_yib	r_dyi + a_yib	0.01924 m	Yarı iletken bant yarıçapı
r_siper	r_yib + a_siper	0.019446 m	Siper yarıçapı
r_pvc	r_siper + a_pvc	0.020828 m	PVC kılıf yarıçapı
r_kilif	r_pvc + a_kilif	0.023428 m	Dış kılıf yarıçapı
h_tugla	60[mm]	0.06 m	Tuğla kalınlığı
h_tugla_ek	0 [mm]	0 m	***Tuğla kalınlığı değiştirme
x_tugla	(-w_kanal -	-0.2 m	Tuğla x koordinatı

Parametre	Denklem	Değer	Açıklama
	$w_{\text{kanal_ek}}/2$		
y_tugla	$t + (D/2)$	0.12343 m	Tuğla y koordinatı
x_kanal	$(w_{\text{kanal}} + w_{\text{kanal_ek}})/2$	0.2 m	Kanal x koordinatı
y_kanal	$h_{\text{kanal}} - (z + (D/2))$	0.67657 m	Kanal y koordinatı
y_tugla_ek	0[mm]	0 m	***Tuğla yeri değişimi
x_sag_kablo	0[mm]	0 m	***Sağ kablo x eksen yeri değişimi
x_sol_kablo	0[mm]	0 m	***Sol kablo x eksen yeri değişimi
V_iletken	$(r_{\text{iletken}}^2) \cdot \pi \cdot 1[m]$	2.3998E-4 m ³	İletken hacmi
t	100[mm]	0.1 m	Geometrik düzenleme parametresi

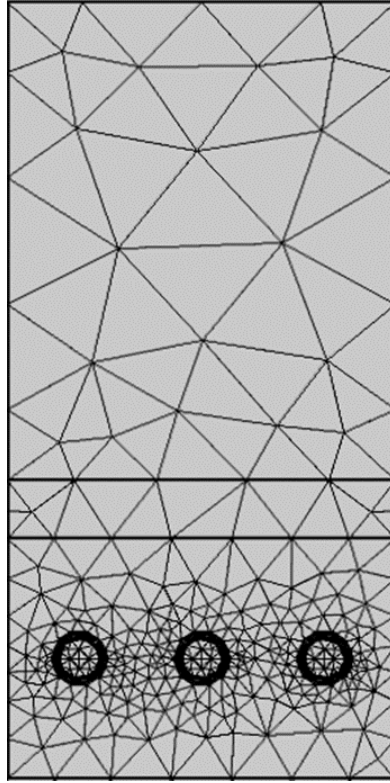
Parametrelerin tanımlanmasının ardından, analizlerde kullanılacak ısı ve elektriksel malzeme özellikleri program içerisinde tanımlanması gerekmektedir. Analizlerde kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 8.2’de verilmiştir. Kullanılan malzeme özelliklerinin birçoğu, literatürde kullanılan değerler olup bazıları ise deneysel metodlarla belirlenmiştir. Özellikle farklı dolgu malzemelerinin (Havaalanı kumu, çatalca kumu, şile kumu) ısı iletkenlik değerleri ölçümler sonucunda belirlenmiştir.

Çizelge 8.2 Analizde kullanılan malzemelere ait ısı ve elektriksel özellikler

Malzeme	Elektriksel İletkenlik (σ) [S/m]	Isıl Kapasite (C_p) [J/kg.K]	Bağıl Dielektrik Katsayısı (ϵ_r)	Yoğunluk (ρ) [kg/m ³]	Isıl İletkenlik (k) [W/m.K]
Bakır	$5,998 \cdot 10^7$	385	1	8700	400
XLPE	10^{-13}	385	2,3	1380	0,2857
PVC	10^{-13}	385	3	1760	0,1
Alüminyum	$3,774 \cdot 10^7$	900	1	2700	238
Toprak	10^{-15}	890	1	1600	1
Havaalanı Kumu	10^{-15}	890	1	1600	1,266
Çatalca Kumu	10^{-15}	890	1	1600	1,309
Şile Kumu	10^{-15}	890	1	1600	1,386
Tuğla	10^{-15}	890	1	1600	0,81
Kablo Kanalı	$9.5 \cdot 10^6$	450	1	7850	80

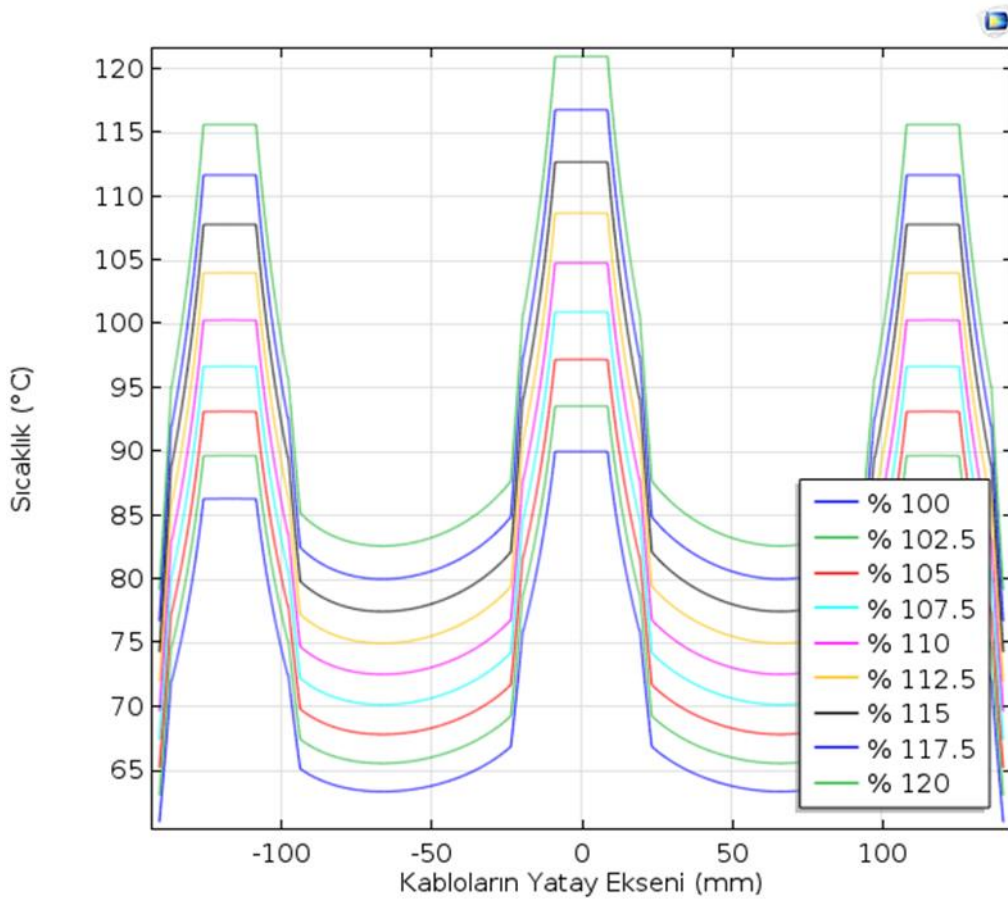
(Sac Tava)					
Beton	10^{-8}	750	1	2300	0.5
HDPE Boru	166.67	2250	2.2	950	0.49
PVC Boru	$5 \cdot 10^{-15}$	1000	3.9	1200	0.16

Analizlerin başlangıcı öncesi son olarak sınır koşul değerlerinin sistem üzerinde tanımlanması ve incelenen geometrinin uygun ağlara bölünmesi gerekmektedir. K-1 kanalı için bu durum Şekil 8.2'de örnek olarak gösterilmiştir.

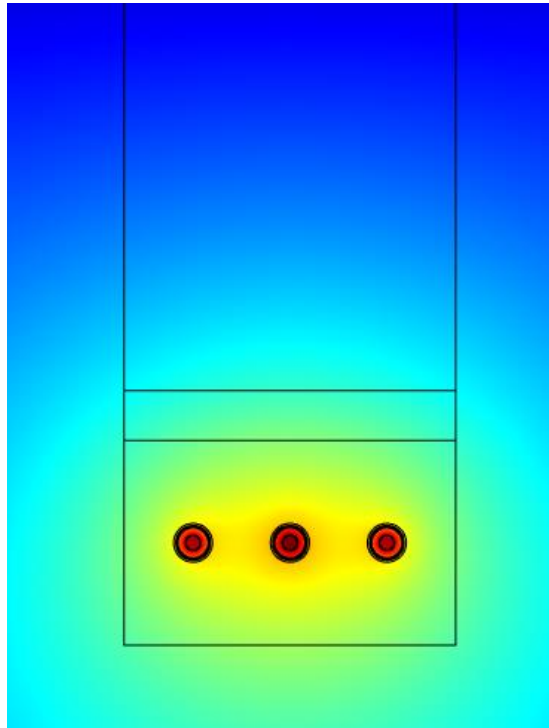


Şekil 8.2 K-1 kanal geometrisinin ağlara bölünmüş durumu

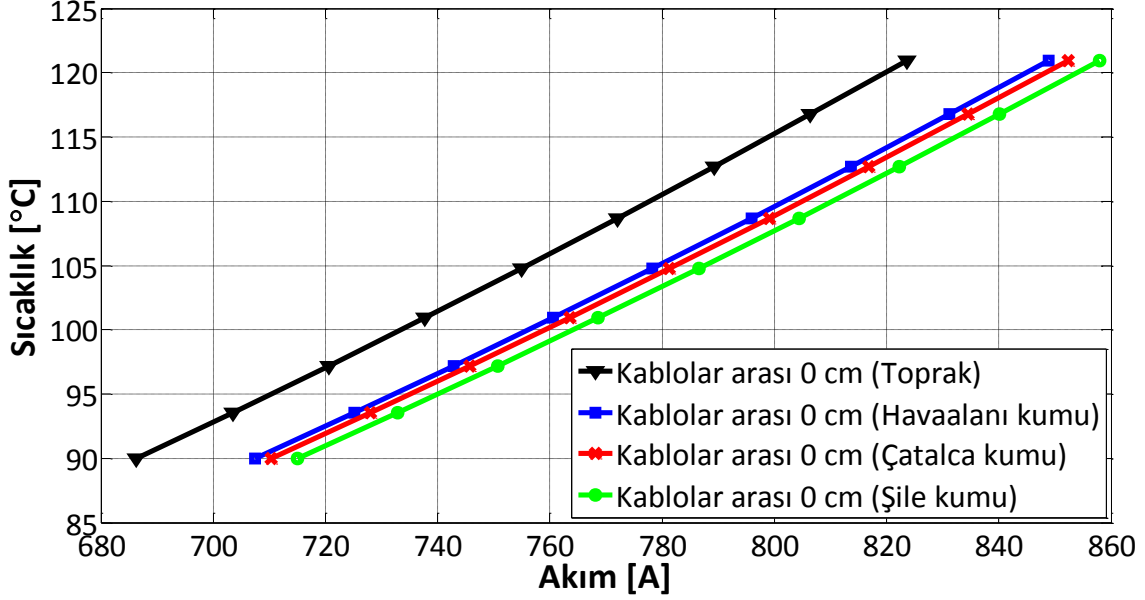
Yazılım ortamında gerçekleştirilen başlangıç ve tanımlama çalışmalarının ardından farklı koşullardaki ısı, akım taşıma kapasitesi ve ömür analizleri gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalara ait örnekler Şekil 8.3 - Şekil 8.6'da verilmiştir.



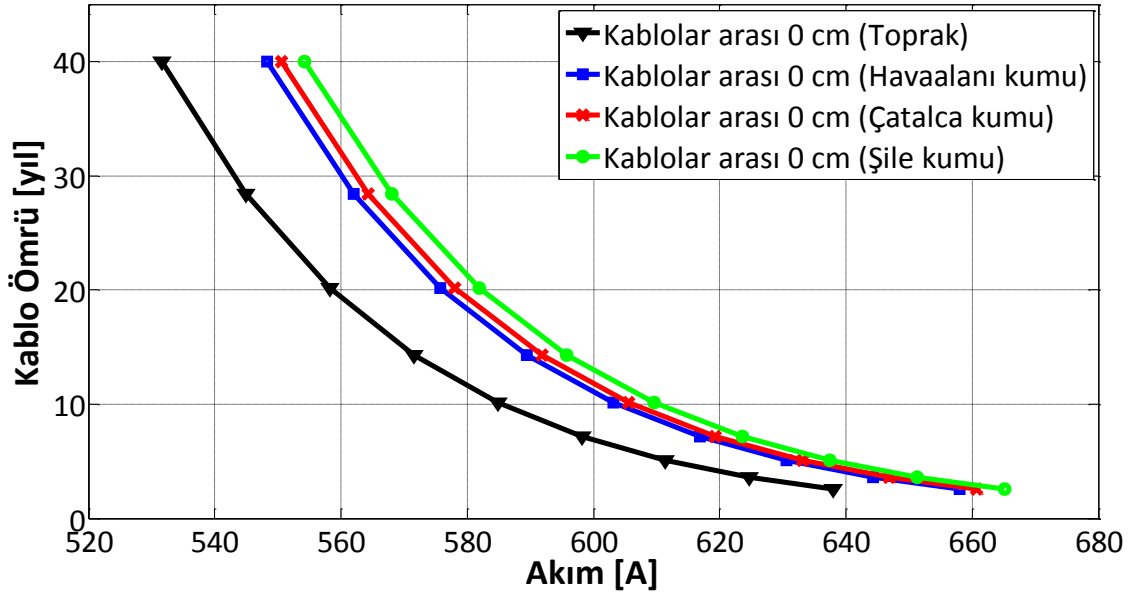
Şekil 8.3 Farklı yüklenme durumlarında kablolar üzerindeki sıcaklık değişimleri (K-1)



Şekil 8.4 Nominal yüklenme durumunda (%100) K-1 döşeme sistemindeki sıcaklık dağılımı



Şekil 8.5 K-1 döşeme sisteminde kullanılan dolgu malzemelerine göre akım-sıcaklık değişimi (1x400/35 mm² Cu, a=0 cm, Havaalanı-Çatalca-Şile-Toprak)



Şekil 8.6 Yükleme akımına bağlı olarak kablo ömründeki değişim (1x240/25 mm² Cu, a=0 cm, Şile-Çatalca-Havaalanı-Toprak)

Yukarıda örnekleri verilen çalışmaların detaylı analizleri içeren geniş halleri, seçilen 16 adet kanal tipi için hazırlanan,

- EK-1: Yeraltı Kablolarının Isıl Analizi İle Akım Taşıma Kapasitelerinin Belirlenmesi Raporu,
- EK-2: Yeraltı Güç Kablolarında Isınmaya Bağlı Olarak Kablo Ömrünün İncelenmesi Raporu,
- EK-3: K-1 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-4: K-2 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-5: K-3 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-6: K-4 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-7: K-5 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-8: K-6 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-9: K-7 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-10: K-8 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-11: K-9 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-12: K-10 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,

- EK-13: K-11 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-14: K-12 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-15: K-13 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-16: K-14 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-17: K-15 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-18: K-16 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,

raporlarında mevcuttur.

9 KISITLAMA ve SINIRLAMALAR

Proje kapsamında belirlenen kısıtlama ve sınırlamalar aşağıda belirtilmiştir.

- BEDAŞ tarafından belirlenen yeraltı kablo sistemi sayısı 16'dır. Daha fazla kanal modeli belirlenememesinin nedeni, analizlerin oldukça uzun sürmesi ve belirlenen proje süresi içerisinde daha fazla analizin gerçekleştirilememesidir. Proje kapsamında sağlanan yazılım, bilgi ve uygulama altyapısı ile ilerleyen süreçte ihtiyaç duyulacak analizlerin BEDAŞ ekibi tarafından yapılmasına olanak sağlamaktadır.
- Analizlerdeki değişken parametrelerin sayısı oldukça fazladır. Kablo tipi, iletken malzemesi, dolgu malzemesi cinsi, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, kablolar arası mesafe, yüklenme akımı, vb. Bu parametrelerin tüm kombinasyonlarını 16 farklı sistem için gerçekleştirmek proje süresi ve analizlerin oldukça vakit alması nedeniyle sınırlandırılmıştır. BEDAŞ ile yapılan görüşmeler sonucunda, en sık karşılaşılabilecek durumlar için iyi ve kötü hal senaryoları belirlenerek çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

10 PROJE SÜRECİ

"Dağıtım Şebekesinde Kullanılan Yeraltı Kablolarının Arıza - Yanma - Ömür Kısalması Durumlarının İncelenmesi, Sebeplerinin Analizi Ve Çözüm Önerilerinin Sunulması " Ar-Ge projesi, Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş. (BEDAŞ) tarafından gerçekleştirilmektedir.

Proje kapsamında BEDAŞ, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarından oluşan ekipten danışmanlık hizmeti almıştır.

Proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar, proje zaman planında yer alan iş paketlerine göre aşağıdaki bölümlerde çıktılarıyla birlikte belirtilmiştir.

10.1 Proje ile İlgili Literatür Taraması Yapılması (İş Paketi-1)

Proje başlangıcında gerçekleştirilecek çalışmaların detaylarının belirlenebilmesi ve projeden elde edilen çıktıların yorumlanabilmesi amacıyla detaylı bir literatür çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

- Ulusal/Uluslararası Standart ve Yönetmeliklerin İncelenmesi
- Ulusal/Uluslararası Bilimsel Çalışmaların (Makale, bildiri, tez, kitap, vb.) İncelenmesi
- Ulusal/Uluslararası Benzer Projelerin İncelenmesi
- Literatür Bulgularının Raporlanması

Literatür çalışmaları sonucunda, incelenen çalışmalar akım taşıma kapasitesi ve kablo ömrü olmak üzere iki ayrı gruba ayrılmış olup her iki başlıkla ilgili hazırlanan detaylı raporlar EK-1 ve EK-2’de sunulmuştur.

10.2 BEDAŞ Arıza Verilerinin Temini, Analizi ve Sınıflandırılması

- BEDAŞ Arıza Verilerinin Temin Edilmesi
- Arızaların Sınıflandırılması
- Yeraltı Kablosu Arızalarının Tespiti ve Analizi
- Alınabilecek Tedbirlerin Belirlenmesi ve Raporlanması

10.3 Analizler İçin Ön Hazırlık Çalışmaları

- COMSOL Multiphysics Yazılımı Temini
- BEDAŞ Tarafından Analiz Edilmesi İstenen Yeraltı Kablo Sistemlerinin Belirlenmesi
- Yeraltı Kablolarına Ait Boyutların ve Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi
- Yeraltı Kablo Kanallarına Ait Boyutların ve Dolgu, Yatak, Boru, Galeri, vb. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

10.4 Yeraltı Kablo Sistemlerinin Teknik Çizimlerinin Yapılması

- Çizimlerde Kullanılacak Her Bir Bileşen İçin (kablo, iletken yalıtkan, boru, dolgu malzemesi, kanal, vb.) CAD Programında Layer (katman) Kütüphanesi Oluşturulması
- AG ve OG Kablo Çizimlerinin Yapılması
- Yeraltı Kablo Sistemlerinin Çizimlerinin Yapılması
- Hazırlanan Tüm Çizimler İçin Proje Çizim Kütüphanesi Oluşturulması
- Tüm Çizimlerin Analiz Programına Aktarılması

10.5 Yeraltı Kablo Sistemlerine Ait Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Hesaplama Analizlerinin Gerçekleştirilmesi

- Analizi Yapılacak Her Bir Sistem İçin Optimum Modelleme Yapılması ve Analiz Parametrelerinin Belirlenmesi
- Yeraltı Kablo Kanalı Sistemleri İçin Isıl Analizlerin Gerçekleştirilmesi
- Yeraltı Kablo Kanalı Sistemleri İçin Optimum Akım Taşıma Kapasitesi Analizlerinin Gerçekleştirilmesi
- Yeraltı Kablo Kanalı Sistemleri İçin Kablo Ömrü Analizlerinin Gerçekleştirilmesi
- Analizler Sonucunda Elde Edilen Tüm Verilen Kaydedilmesi
- Yeraltı Kablo Kanalı Sistemleri İçin Kablo Ömrü Analizlerinin Gerçekleştirilmesi

10.6 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Problemler İçin Çözüm Önerileri

- Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi
- Problemler İçin Çözüm Önerilerinin Sunulması
- Elde Edilen Analiz Sonuçları ile Mevcut Yeraltı Kablo Sistemi Ölçümlerinin Karşılaştırılması, Değerlendirilmesi ve Raporlanması

10.7 Raporlama

- Tüm Yeraltı Kablo Kanalı Sistemi Analizleri İçin Rapor Hazırlanması
- Proje Sonuç Raporunun Hazırlanması

11 BÜTÇE

11.1 Proje Danışmanlık Maliyeti:

Projeye Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümü öğretim üyelerinden oluşan Ar-Ge Ekibi danışmanlığında başvurulmuş ve gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda Yıldız TTO aracılığı ile 144.000 TL + KDV(%18) tutarında bir danışmanlık sözleşmesi imzalanmış olup sözleşme dosyası ve sözleşmeye istinaden yapılan hakediş faturaları ekte yer almaktadır.

Hakediş 1:

Hakediş Tutarı: 24.000 TL + KDV(%18)

Hakediş Açıklaması: Isıl analiz projesi Yıldız TTO sözleşmesi detaylı sözleşme ödeme planı 1 no'lu iş paketi kapsamında yer alan çalışmalara istinaden yapılan ödemedir. Ödemeye istinaden kesilen fatura EK-19'da mevcuttur.

Hakediş 2:

Hakediş Tutarı: 24.000 TL + KDV(%18)

Hakediş Açıklaması: Isıl analiz projesi Yıldız TTO sözleşmesi detaylı sözleşme ödeme planı 2 no'lu iş paketi kapsamında yer alan çalışmalara istinaden yapılan ödemedir. Ödemeye istinaden kesilen fatura EK-19'da mevcuttur.

Hakediş 3:

Hakediş Tutarı: 24.000 TL + KDV (%18)

Hakediş Açıklaması: Isıl analiz projesi Yıldız TTO sözleşmesi detaylı sözleşme ödeme planı 3 no'lu iş paketi kapsamında yer alan çalışmalara istinaden yapılan ödemedir. Ödemeye istinaden kesilen fatura EK-19'da mevcuttur.

Hakediş 4:

Hakediş Tutarı: 24.000 TL + KDV(%18)

Hakediş Açıklaması: Isıl analiz projesi Yıldız TTO sözleşmesi detaylı sözleşme ödeme planı 4 no'lu iş paketi kapsamında yer alan çalışmalara istinaden yapılan ödemedir. Ödemeye istinaden kesilen fatura EK-19'da mevcuttur.

Hakediş 5:

Hakediş Tutarı: 48.000 TL + KDV(%18)

Hakediş Açıklaması: Isıl analiz projesi Yıldız TTO sözleşmesi detaylı sözleşme ödeme planı 5 ve 6 no'lu iş paketi kapsamında yer alan çalışmalara istinaden yapılan ödemedir. Ödemeye istinaden kesilen fatura EK-19'da mevcuttur.

11.2 Paket Yazılım Maliyeti:

Harcama Adı: COMSOL Multiphysics Yazılımı

Harcama bedeli: 89659,81 + KDV(%18)

Harcama açıklaması: Proje kapsamında planlanan ısıl analizlerin gerçekleştirilmesi için temin edilen yazılımın bedelidir. Yapılan harcamaya istinaden kesilen fatura EK-19'da mevcuttur.

11.3 Seyahat/Ziyaretler:

11.3.1 Kum Analizi

Harcama Bedeli: 4.500 TL + KDV(%18)

Harcama Açıklaması: "Dağıtım Şebekesinde Kullanılan Yeraltı Kablolarının Arıza - Yanma - Ömür Kısalması Durumlarının İncelenmesi, Sebeplerinin Analizi ve Çözüm Önerilerinin Sunulması" isimli proje kapsamında, BEDAŞ dağıtım sisteminde kullanılan yeraltı kablolarının ısıl analizleri ve akım taşıma kapasitesi analizleri gerçekleştirilmektedir. Yeraltı kablolarının kullanılan yalıtkan malzemelerin çeşidine bağlı olarak belirlenen maksimum çalışma sıcaklıklarını (Örn: PVC yalıtkanlı 70 °C, XLPE yalıtkanlı 90 °C) aşmamaları gerekmektedir. Aksi takdirde kablolardaki arızaların, yanmaların ve ömür kısaltmalarının oluşması kaçınılmazdır. Kablodaki ısınma içerisinden geçen akıma ve bulunduğu ortam koşullarına göre değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, döşeme şartları dikkate alınarak zarar görmeden iletebileceği maksimum akım değerinin belirlenmesi önem arz etmektedir.

Akım taşıma kapasitesini etkileyen temel parametreler;

- Toprağın ısıl iletkenliği,
- Yatak malzemesinin ısıl iletkenliği,
- Dolgu malzemesinin ısıl iletkenliği,
- Birlikte döşenen kablo sayısı,
- Kabloların boru içerisine alınması veya direkt olarak toprağa döşenmesi,
- Ortam sıcaklığı,
- Kabloların arasındaki boşluk,
- Kabloların döşenme derinliği,

- Kabloların diziliş biçimi,

olarak sıralanmaktadır. Gerçekleştirilen proje kapsamında, Comsol Multiphysics programı kullanılarak uygulamadaki şartlar altında yeraltı kablolarının ısı ve akım taşıma kapasitesi analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Yukarıda sayılan parametrelerden biri olan yatak malzemesi olarak farklı özelliklerde kumlar kullanılmaktadır. Bunların analizlerinin yapıp, ısı parametrelerinin gerçekçi olarak belirlenmesi ve modellemelerde kullanılması, sonuçların gerçeğe daha yakın çıkmasına yardımcı olacaktır. Bu nedenle, proje önerisinde İş Paketi-4'te tanımlanmış olan "Yeraltı Kablo Sistemlerine Ait Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Hesaplama Analizlerinin Gerçekleştirilmesi" iş adımıyla elde edilecek sonuçların doğruluğunu artırılması açısından, sahada yatak malzemesi olarak kullanılan farklı kumların numuneleri alınarak karakteristik özellikleri belirlenmiş ve elde edilen parametreler hesaplamalarda kullanılmıştır.

11.3.2 Masraf

Harcama bedeli: 33,81 TL + KDV(0,94 TL)

Harcama açıklaması: YTÜ COMSOL Multiphysics yazılımı eğitimi yemek bedelidir. Yapılan harcamaya istinaden kesilen fatura EK-19'da mevcuttur.

11.4 Diğer Ekipmanlar

Harcama Adı: Workstation

Harcama bedeli: 8842,865 TL + KDV(%18)

Harcama açıklaması: Yüksek RAM gereksinimi duyan COMSOL Multiphysics yazılımının kurulumu ve analizlerin gerçekleştirilmesi için temin edilmiştir. Yapılan harcamaya istinaden kesilen fatura EK-19'da mevcuttur.

11.5 Personel Bütçesi:

Projede 6 BEDAŞ personeli görev almıştır. Görev alan personellerin projedeki adam/ay oranları ve personellere yapılan ödemelerin detayı aşağıdaki tabloda yer almaktadır. Yapılan ödemelere ilişkin bordrolar EK-20 de yer almaktadır.

Çizelge 11.1 Proje Bütçe Detayı

BÜTÇE KALEMLERİ	BEDAŞ	NAKDİ GERÇEKLEŞME	KALAN BÜTÇE
Proje Danışmanlık Maliyeti			
YTÜ Ar-Ge Danışmanlık Hizmet Alımı	144.000,00 TL	144.000,00 TL	- TL
Paket Yazılım Maliyeti			
Yazılım Hizmet Alımı	81.550,00 TL	81.550,00 TL	- TL
Seyahat / Ziyaretler	31.250,00 TL	12.643,62 TL	18.606,38 TL
Diğer Ekipmanlar	10.000,00 TL	8.842,87 TL	1.157,13 TL
Personel Bütçesi			
Bedaş Personel Bütçesi	133.200,00 TL	130.000,00 TL	3.200,00 TL
		377.036,49 TL	22.963,51 TL

Yazılım Hizmet Alımı bütçe kaleminde kur farkından kaynaklanan 8.109,81 TL 'lik kısım Seyahat / Ziyaretler bütçesinden karşılanmıştır.

12 SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

“Dağıtım Şebekesinde Kullanılan Yeraltı Kablolarının Arıza-Yanma-Ömür Kısalması Durumlarının İncelenmesi, Sebeplerinin Analizi ve Çözüm Önerilerinin Sunulması” isimli proje kapsamında Boğaziçi Elektrik Dağıtım A.Ş. (BEDAŞ) tarafından dağıtım sistemlerinde kullanılan yeraltı kablo kanalı sistemlerinin ısı, akım taşıma kapasitesi ve ömür analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucu, teknik sebeplerden dolayı oluşan arızaların en düşük seviyeye çekilmesi, şebekede kullanılan yeraltı kablolarının faydalı ömürlerinin olabildiğince uzatılması, arızalar nedeniyle oluşan kesintiler sonucu oluşan müşteri memnuniyetsizliği ve ekonomik kayıpların önüne geçilmesi için optimum çalışma koşullarının belirlenmesine yönelik raporlama çalışmaları yapılmıştır.

Proje kapsamında incelenen 16 farklı kablo sistemi için genel olarak,

- Döşeme biçimi,
- Kablo tipi,
- Yüklenme,
- Hava koşulları,
- Kullanılan malzemeler vb.

dikkate alınarak detaylı analizler analiz ve değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucu hazırlanan ekler, sonuç raporu ile birlikte sunulmuştur.

Proje süresince gerçekleştirilen eğitim ve uygulama faaliyetleri ile BEDAŞ personeline, benzer analiz ve değerlendirmeleri proje sonrasında da yapabilme altyapısı kazanması sağlanmıştır.

Proje çıktılarının sahadaki uygulamalarda kullanılması ile,

- Arıza oranlarının düşürülmesi,
- Sistemin faydalı ömrünün uzatılması,
- Optimum çalışma koşullarının sağlanması,
- Kesinti sürelerinin azaltılması,
- Müşteri memnuniyetinin artırılması,

- Ekonomik kazanç elde edilmesi,

sağlanabilecektir.

Ayrıca, BEDAŞ personelinin proje sürecinde kazandığı altyapı ve birikim ile benzer (yeraltı kablo sistemleri) ve farklı (transformatör merkezleri, baralar, kesiciler, kablo ekleri, ... v.s.) konularında da optimum işletim şartlarını belirlemek için çalışmalar yapabilmesine imkan sağlayacaktır. Bu durum projenin, ileriki dönemlerde yapılabilecek olan Ar-Ge çalışmalarına/projelerine de destek sağlayacak etkisi olduğunu göstermektedir.

13 REFERANSLAR/KAYNAKLAR/ATIFLAR

- [1] J. Desmet, D. Putman, G. Vanalme, R. Belmans, D. Vandommelen, “Thermal Analysis of Parallel Underground EnergyCables”, 18th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), 1-4, 2005.
- [2] Francisco de Leon, George J. Anders, “Effects of Backfilling on Cable Ampacity Analyzed With the Finite Element Method”, IEEE Transactions on Power Delivery, 23, 537-543, 2008.
- [3] M. S. Al-Saud, M. A. El-Kady, R. D. Findlay, “A Novel Finite-Element Optimization Algorithm with Applications to Power Cable Thermal Circuit Design”, Power Engineering Society General Meeting, 1-8, 2007.
- [4] Youyuan Wang, Rengang Chen, Jian Li, Stanislaw Grzybowski, Taosha Jiang, “Analysis of Influential Factors on the Underground Cable Ampacity”, Electrical Insulation Conference (EIC),430-433, 2011.
- [5] Mamdooh S. Al-Saud, “Improved Assessment of Power Cable Thermal Capability in Presence of Uncertainties”, Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 1-4, 2012.
- [6] Chang-Chou Hwang, Yi-Hsuan Jiang, “Extension to the finite element method for thermal analysis of underground cable systems”, Electric Power Systems Research, Vol. 64 No.2, pp. 159-164, 2003.
- [7] LI Yanmu, LIANG Yongchun, LI Yanming, “Coupled Electromagnetic-Thermal Modelingthe Temperature Distribution of XLPE Cable”, Power and Energy Engineering Conference, 1-4, 2009.
- [8] Yangyang Shen, Haiging Niu, Yong You, “Promoting Cable Ampacity by Filling Low Thermal Resistivity Medium in Ducts”, Powerand Energy Engineering Conference (APPEEC), 1-4, 2013.
- [9] Juan Carlos del Pino Lopez, Pedro Cruz Romero, “Influence of Different Types of Magnetic Shields on the Thermal Behaviour and Ampacity of Underground Power Cables”, IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 26, No. 4, October, 2011.
- [10] Aldo Canova, Fabio Freschi, Luca Giaccone, Alessandra Guerrisi, “The high magnetic coupling passive loop: A steady-state and transient analysis of the thermal behaviour”, Applied Thermal Engineering, Volume 37, Pages 154–164 May, 2012.

[11] H.J. Li, “Estimation of soil thermal parameters from surface temperature of underground cables and prediction of cable rating”, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 152, No. 6, November, 2005.

14 EKLER

- EK-1: Yeraltı Kablolarının Isıl Analizi İle Akım Taşıma Kapasitelerinin Belirlenmesi Raporu
- EK-2: Yeraltı Güç Kablolarında Isınmaya Bağlı Olarak Kablo Ömrünün İncelenmesi Raporu
- EK-3: K-1 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-4: K-2 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-5: K-3 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-6: K-4 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-7: K-5 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-8: K-6 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-9: K-7 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-10: K-8 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-11: K-9 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-12: K-10 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu

- EK-13: K-11 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-14: K-12 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-15: K-13 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-16: K-14 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-17: K-15 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu
- EK-18: K-16 Tipi Yeraltı Kablo Döşeme Sistemi İçin Isıl, Akım Taşıma Kapasitesi ve Ömür Analizleri Raporu,
- EK-19: Faturalar
- EK-20: Bordrolar
- EK-21: K-1 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu
- EK-22: K-2 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu
- EK-23: K-3 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu
- EK-24: K-4 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu
- EK-25: K-5 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu
- EK-26: K-6 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu
- EK-27: K-7 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu
- EK-28: K-8 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu
- EK-29: K-9 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu
- EK-30: K-10 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu
- EK-31: K-11 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu
- EK-32: K-12 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu

- EK-33: K-13 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu
- EK-34: K-14 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu
- EK-35: K-15 Tipi Kablo Kanalı Sonuç ve Öneriler Raporu