

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORTA GERİLİM YERALTI KABLO YERLEŞİM DÜZENLERİNİN
AKIM TAŞIMA KAPASİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

AHMET ÖZYEŞİL

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORTA GERİLİM YERALTI KABLO YERLEŞİM DÜZENLERİNİN
AKIM TAŞIMA KAPASİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

AHMET ÖZYEŞİL

Prof. Dr. Bora ALBOYACI
Danışman, Kocaeli Üniv.

Dr. Öğr. Üyesi Şule KUŞDOĞAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Gürsu TEKDEMİR
Jüri Üyesi, Bursa Teknik Üniv.

.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.06.2024

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza

Ahmet ÖZYEŞİL

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki makale, kitap, tebliğ, lisans, patent gibi çalışmalarda kullanımı, danışmanımın isim hakkı saklı kalmak koşuluyla ve her iki tarafın bilgisi dâhilinde bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- ☒ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

İmza

Ahmet ÖZYEŞİL

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, gelişen dünyanın sürekli artış gösteren elektrik enerjisi bağımlılığında enerji sürekliliğini sağlayabilmek adına başrol alan orta gerilim güç kablolarının boyutlandırılma süreci ve akım taşıma kapasitesine etki eden faktörler araştırılmıştır. Araştırmada kabloların akım taşıma kapasitelerini değişimine sebep olan faktörlerin etkileri bilgisayar tabanlı bir modelleme ve hesaplama aracı vasıtasıyla gözlemlenmiştir.

Çalışma sürecimde yönlendirmeleriyle bana ışık tutan ve desteğini esirgemeyen kıymetli hocam Prof. Dr. Bora ALBOYACI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın gelişiminde fikri desteklerini esirgemeyen GENETEK şirketi çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca sabırla beni destekleyen, cesaret veren ve sevgilerini hissettiren aileme sevgilerimi sunarım.

Haziran-2024

Ahmet ÖZYEŞİL

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLOLAR DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ORTA GERİLİM GÜÇ KABLOLARI	8
2.1. Orta Gerilim Kablolarının Yapıları	9
2.1.1. İletken.....	10
2.1.2. İletken Ekranı (İç Yarı İletken).....	11
2.1.3. Yalıtkan	12
2.1.4. Yalıtkan Ekranı (Dış Yarı İletken).....	12
2.1.5. Metalik Ekran.....	13
2.1.6. Dış Kılıf	14
3. KABLO AKIM TAŞIMA HESAPLARI	15
3.1. Neher-McGrath Yöntemi.....	17
3.1.1. Elektriksel Dirençlerin Hesaplanması	18
3.1.2. Termal Dirençlerin Hesaplanması.....	19
3.2. IEC 60287 Standardı	20
3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	21
3.4. Düzeltme Faktörü Yöntemi	23
4. KABLO AKIM TAŞIMA KAPASİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	26
4.1. Yalıtkan Türü	26
4.2. İletken Türü.....	27
4.3. İletken Kesiti.....	27
4.4. Toprak Sıcaklığı.....	28
4.5. Toprak Termal Direnci ve Dolgu Malzemesi	28
4.6. Kuru Toprak Etkisi.....	29
4.7. Fazlar Arası Mesafe.....	29
4.8. Topraklama Şekli	29
4.8.1. Tek Uçtan Topraklama.....	29
4.8.2. İki Uçtan Topraklama.....	30
4.8.3. Çapraz Topraklama Yöntemi.....	31
4.9. Paralel Sistem Sayısı	31
4.10. Gömülme Derinliği	32
4.11. Serim Şekli.....	32
4.12. Harmonik İçeriği.....	33

4.13. Yük Faktörü	33
5. ORTA GERİLİM KABLO UYGULAMA ÖRNEKLERİ	34
5.1. CYMCAP Analiz Yazılımı	34
5.2. Kablo Verileri	35
5.3. Kabuller	36
5.4. Analiz Sonuçları.....	37
5.4.1. Fazlar Arası Mesafe Etkisi.....	37
5.4.2. Paralel Sistem Sayısının Etkisi	39
5.4.3. Yük Faktörü	41
5.4.4. Toprak Termal Direncinin Etkisi	43
5.4.5. Gömülme Yöntemi.....	45
5.4.6. Gömülme Derinliği	48
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR.....	53
EKLER.....	60
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	134
ÖZGEÇMİŞ.....	135

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Üç çekirdekli kablolar için genel yapı	9
Şekil 2.2.	Tek çekirdekli kablolar için genel yapı.....	9
Şekil 2.3.	Güç kabloları için iletken tasarımları.....	11
Şekil 2.4.	Farklı tasarımlardaki kablo metalik ekranları	13
Şekil 2.5.	Kablo metalik ekran toprak bağlantısı	14
Şekil 3.1.	Kablo boyutlandırma süreci akış diyagramı.....	16
Şekil 3.2.	Kablo katmanlarının ısıl-elektriksel eşdeğer devresi.....	17
Şekil 4.1.	Akım taşıma kapasitesine etki eden faktörler	26
Şekil 4.2.	Tek uçtan topraklanma bağlantı şeması	30
Şekil 4.3.	İki uçtan topraklama bağlantı şeması.....	30
Şekil 4.4.	Çapraz topraklama bağlantı şeması	31
Şekil 4.5.	Kablo serim şekilleri.....	32
Şekil 5.1.	CYMCAP analiz ekranı	34
Şekil 5.2.	150 mm ² Alüminyum kablo ve CYMCAP modeli.....	35
Şekil 5.3.	185 mm ² Alüminyum kablo ve CYMCAP modeli.....	36
Şekil 5.4.	240 mm ² Bakır kablo ve CYMCAP modeli.....	36
Şekil 5.5.	Fazlar arası mesafe değişkeni.....	37
Şekil 5.6.	Fazlar arası mesafeye bağlı akım taşıma kapasiteleri.....	38
Şekil 5.7.	Paralel sistem sayısı değişkeni	39
Şekil 5.8.	Paralel sistem sayısına bağlı akım taşıma kapasiteleri	41
Şekil 5.9.	Yük faktörü değişkeni.....	42
Şekil 5.10.	Yük faktörüne bağlı akım taşıma kapasiteleri	43
Şekil 5.11.	Toprak termal direnci değişkeni	43
Şekil 5.12.	Toprak termal direncine bağlı akım taşıma kapasiteleri	45
Şekil 5.13.	Gömülme yöntemi değişkeni.....	46
Şekil 5.14.	Gömülme yöntemine bağlı akım taşıma kapasiteleri.....	47
Şekil 5.15.	Gömülme derinliği değişkeni	48
Şekil 5.16.	Gömülme derinliğine bağlı akım taşıma kapasiteleri	49

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Havai hat ve kabloların güçlü ve zayıf yönleri.....	8
Tablo 3.1. N2XS _Y nominal akım taşıma kapasiteleri	24
Tablo 3.2. Toprakta döşeli kablolar için düzeltme faktörü (f_1).....	24
Tablo 3.3. Toprakta döşeli kablolar için düzeltme faktörü (f_2).....	25
Tablo 4.1. Kablo yalıtkanları için izin verilen işletme sıcaklıkları	27
Tablo 5.1. Fazlar arası mesafenin değişimine bağlı analiz sonuçları.....	37
Tablo 5.2. Paralel sistem sayısının değişimine bağlı analiz sonuçları	39
Tablo 5.3. Yük faktörünün değişimine bağlı analiz sonuçları	42
Tablo 5.4. Toprak termal direncinin değişimine bağlı analiz sonuçları	44
Tablo 5.5. Gömülme yönteminin değişimine bağlı analiz sonuçları.....	46
Tablo 5.6. Gömülme derinliğinin değişimine bağlı analiz sonuçları	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

f	: Frekans (Hertz)
I _C	: Şarj akımı
i	: Akım (Amper)
k _p	: Yakınlık faktörü
k _s	: Deri faktörü
L	: Derinlik
l	: Uzunluk (metre)
Q	: Isı Akısı (W/m ²)
R	: İletken direnci (Ω)
R _{AC-90°C}	: İletkenin 90 °C AC direnci (Ω)
R _{DC-20°C}	: İletkenin 20 °C DC direnci (Ω)
R _{DC-90°C}	: İletkenin 90 °C DC direnci (Ω)
S	: İletkenin kesit alanı (m ²)
S _n	: Paralel sistem sayısı
T	: Termal direnç
T ₁	: Yalıtkanın termal direnci
T ₂	: İç kılıfın termal direnci
T ₃	: Dış kılıfın termal direnci
T ₄	: Ortamın termal direnci
U	: Gerilim (Volt)
W _a	: Zırh kayıpları
W _c	: İletken kayıpları
W _s	: Ekran kayıpları
x	: Fazlar arası mesafe
α	: Isıl katsayı (1/K)
ρ	: Elektriksel öz direnç (Ω.m)
ε _r	: Dielektrik sabiti
λ ₁	: Ekran için kayıp faktörü
λ ₂	: Zırh için kayıp faktörü
Δt	: İletken çekirdek ile ortam arası sıcaklık farkı

Kısaltmalar

AC	: Alternative Current (Alternatif Akım)
AL	: Aluminium (Alüminyum)
CIGRE	: International Council on Large Electric Systems (Uluslararası Büyük Elektrik Sistemleri Konseyi)
CU	: Copper (Bakır)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
Hz	: Hertz
HDPE	: High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
IEC	: International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik

	Komisyonu)
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
MDPE	: Medium Density Polyethylene (Orta Yoğunluklu Polietilen)
PE	: Polyethylene (Polietilen)
PVC	: Polyvinyl Chloride (Polivinil Klorür)
XLPE	: Cross-Linked Polyethylene (Çapraz Bağlı Polietilen)



ORTA GERİLİM YERALTI KABLO YERLEŞİM DÜZENLERİNİN AKIM TAŞIMA KAPASİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Elektrik enerjisi insan hayatında kalıcı bir yer edinerek bireysel tüketicilerin hayat refahını eksiksiz devam ettirebilmesi için zorunlu bir hal almıştır. Öte yandan üretimdeki yadsınamaz önemi göz önüne alındığında toplumların ekonomik gelişimleri de elektrik enerjisinden bağımsız düşünülemez. Bu da enerji iletimi ve dağıtımı için kullanılan sistemlerin güvenilir ve sürdürülebilir yapıda olmalarını oldukça kritik bir duruma getirmiştir.

Enerji iletim ve dağıtımındaki etkinlik ise, bu sürecin başrol oyuncusu olan kabloların etkinliğiyle eşdeğerdir. Nitekim bir zincir en zayıf halkasından daha güçlü olamayacağı gibi enerji tedarik sisteminin güvenilirliği de kabloların doğru boyutlandırılmaması halinde diğer ekipmanlardan bağımsız olacaktır. Kabloların doğru boyutlandırılması için dikkat edilmesi gereken kriterlerin başında kablonun üzerinden geçecek akımı taşıyıp taşıyamayacağını belirten akım taşıma kapasitesidir. Akım taşıma kapasitesi diğer bir deyişle kabloların izin verilen termal sınırlar çerçevesinde performansı etkilenmeden aktarım sağlayabileceği akım miktarıdır. Ancak bu değer uygulama şartları ve ortam koşullarına göre değişebilmektedir.

Bu çalışmada, orta gerilim kablo boyutlandırma sürecine ve kabloların akım taşıma kapasitesi hesaplarına yönelik literatür incelenmiştir. Akım taşıma kapasitesine etki eden kurulum koşulları, ortam şartları ve termal sınırlar gibi faktörler tespit edilmiştir. Daha sonra bu faktörlerin etkileri bilgisayar tabanlı bir modelleme ve hesaplama aracı vasıtasıyla hesaplanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar çalışma içerisinde paylaşılmıştır. Çalışma sonucunda akım taşıma kapasitesine etki eden faktörlerin etkilerinin uygulama şartlarına bağlı olarak farklılık gösterebileceği ortaya koyulmuştur. Bu farklılıkların kablo boyutlandırılırken dikkate alınması, kablolardan optimum fayda sağlamasına, mali kaynakların verimli yönetimine, enerji sürekliliği ve sürdürülebilirlik alanlarına katkıda bulunacaktır. Bu çalışma, elektrik sistemlerinde kablo boyutlandırmaya yönelik karar alma süreçlerine ışık tutarak sektöre önemli bir katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Akım Taşıma Kapasitesi, Azaltma Faktörleri, Orta Gerilim Güç Kabloları.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MEDIUM VOLTAGE UNDERGROUND CABLE LAYOUTS ON CURRENT CARRYING CAPACITY

ABSTRACT

Electric energy has gained a permanent place in human life and has become mandatory for individual consumers to fully maintain their well-being. On the other hand, considering its undeniable importance in production, the economic development of societies cannot be considered independent of electrical energy. This has made it very critical that the systems used for energy transmission and distribution are reliable and sustainable.

The efficiency in energy transmission and distribution is equivalent to the efficiency of the cables, which are the leading actors of this process. As a matter of fact, a chain cannot be stronger than its weakest link, and the reliability of the energy supply system will be independent of other equipment if the cables are not sized correctly. One of the criteria that must be taken into consideration for correct sizing of cables is the current carrying capacity, which indicates whether the cable can carry the current that will pass through it. Current carrying capacity, in other words, is the amount of current that the cables can transfer within the permissible thermal limits without affecting their performance. However, this value may vary depending on application conditions and environmental conditions.

In this study, the literature on medium voltage cable sizing process and current carrying capacity calculations of cables was examined. Factors such as installation conditions, ambient conditions and thermal limits that affect the current carrying capacity have been determined. Then, the effects of these factors were calculated using a computer-based modeling and calculation tool and the results were evaluated. The results obtained were shared within the study. As a result of the study, it was revealed that the effects of the factors affecting the current carrying capacity may differ depending on the application conditions. Taking these differences into consideration when sizing cables will contribute to optimum benefit from cables, efficient management of financial resources, energy continuity and sustainability. This study will make a significant contribution to the industry by shedding light on the decision-making processes regarding cable sizing in electrical systems.

Keywords: Current Carrying Capacity, Derating Factors, Medium Voltage Power Cables.

1. GİRİŞ

Enerji ve enerjinin etkili iletimi, modern toplumların sürdürülmesi ve ilerlemesi açısından hayati bir rol oynamaktadır. Öyle ki elektrik enerjisi insan hayatında kalıcı bir yer edinerek bireysel tüketicilerin hayat refahını eksiksiz devam ettirebilmesi için zorunlu bir hal almıştır. Öte yandan sanayi ve üretimdeki yadsınamaz önemi göz önüne alındığında toplumların ekonomik gelişimleri de elektrik enerjisinden bağımsız düşünülemez. Küresel nüfusun sürekli artış göstermesi ve kentleşmenin yaygınlaşmasıyla birlikte, enerji talebi de her geçen gün artmaktadır. Bu da enerji iletimi ve dağıtımı için kullanılan sistemlerin güvenilir ve sürdürülebilir yapıda olmalarını oldukça kritik bir duruma getirmiştir (Gomes ve Saraiva, 2019).

Enerji iletim ve dağıtım süreci için bir zincir metaforu kullanılacak olursa bu zincirin en temel halkaları üretim birimi olan generatörler, gücün korunmasına dayalı gerilimi değiştiren transformatörler, enerji taşıma sistemi olan havai hat ve kablolar ve tüketim noktası olan yükler olarak ifade edilebilir. Bu zincirin gücü diğer bir değiş ile elektrik sisteminin güvenilirliği tüm bu ekipmanlar ile ölçülebilir ve birinin zayıflığı tüm sistemi sekteye uğratabilir. Bu durum da enerji ve ekipman kaybıyla doğrudan, müşteri memnuniyetsizliğiyle dolaylı olarak mali zararlar ile sonuçlanabilir (Liao ve diğ., 2019; Heiden ve diğ., 2024).

Enerjinin son kullanıcıya ulaştırılması noktasında taşıma rolünü üstlenen havai hatlar ve kablolar arasında bir kıyaslama yapıldığında bazı avantaj ve dezavantajlar söz konusudur. Havai hatların bilinen en büyük avantajları nispeten daha ucuz olmaları ve arıza durumunda arıza noktasının çabuk tespiti. Buna karşın kablo sistemlerinin ise çok daha fazla avantajından bahsetmek mümkündür. Yer altı ve deniz altı kabloları gibi kablo sistemleri, kapsamlı havai altyapı ihtiyacını ortadan kaldırarak kentsel ve manzaralı alanlardaki görsel dağınıklığı azaltarak daha estetik ve çevre dostu bir çözüm sunar. Ayrıca kablo sistemleri, havai hatlara göre fırtına, yıldırım ve buzlanma nedeniyle oluşan hasarlara daha az duyarlı olduğundan, olumsuz hava koşullarının enerji iletimi üzerindeki etkisini azaltır. Kabloların yeraltına yerleştirilmesi, dış etkenlere maruz kalmayı en aza indirerek ve fiziksel hasar,

vandalizm veya sabotaj riskini azaltarak sistemin güvenilirliğini artırır. Ayrıca kablo sistemleri, canlı iletkenlerle kazara temas riskini ortadan kaldırdığı ve elektromanyetik alan emisyonlarını azalttığı için gelişmiş güvenlik ve emniyete katkıda bulunur. Enerji iletiminde kablo sistemlerini benimsemek, teknolojik verimliliği çevre ve güvenlik hususlarıyla uyumlu hale getiren modern ve sürdürülebilir bir yaklaşımla uyumludur ve bu da onu gelişen enerji ortamı için ihtiyatlı bir seçim haline getirir (Al-Khalidi ve Kalam, 2006).

Enerji transferinin kablolar ile yapılması tercih edilen sistemlerde kablolardan optimum faydanın sağlanabilmesi için dikkat edilmesi gereken en kritik parametrelerden biri akım taşıma kapasitesidir. Kablolardan izin verilen işletme koşullarında taşınabilecek en yüksek akım değerini ifade eden akım taşıma kapasitesi değeri için en önemli sınır koşul kablo çekirdeğinin sıcaklığıdır. Akım taşıma kapasitesi hesabının tarihsel gelişimine ışık tutan çalışmada kablolar için akım sıcaklık ilişkisinin açıklanması ile akım taşıma kapasitesi hesapları için sınırların netleştiği ifade edilmektedir (Holyk ve Anders, 2015). Bu kapsamda kablo katmanlarını termal özelliklerine göre elektriksel devre elemanlarıyla tanımlayan bir teorik model geliştirilmiş ve akım taşıma kapasitesinin hesaplanması adına ufuk açıcı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma bir kablonun akım taşıma yeteneğini tespit edebilmek adına temel taşı görevi görmektedir (Neher ve McGrath, 1957). Bu çalışma ardından yeni araştırmalar kabloların akım taşıma kapasitelerini sınırlayabilecek olası faktörlerin tespitine yönelmiştir.

Literatürde kabloların akım taşıma kapasitelerinin hesaplanmasına ve hesaplara etki eden kriterlerin araştırılmasına yönelik birçok çalışma mevcuttur. Kablolardaki yakınlık ve deri etkisi gibi olayların akım taşıma hesaplarına doğrudan dahil edilmesi, yük akış analizleriyle ortak çalışarak gerçek sıcaklıkların tespit edilmesi ve sonlu elemanlar yöntemlerinin uygulanabileceği bir model tasarlanması gibi akım taşıma kapasitesi formülasyonunu geliştirmeye yönelik çalışmalar güncelliğini korumaktadır (Nahman ve Tanaskovic, 2002; Wang ve diğ., 2020). Bunlarla beraber gelişen bilgisayar dünyasından da yararlanılmakta ve hesaplarda kullanılmak adına gelişmiş kablo ve kablo ortamı tasarımları yapılabilen

böylelikle gerçek şartlara yakın sonuçlar elde edilebilen programlarla da çalışmalar kontrol edilmektedir (Szczegielniak ve diğ., 2021; Metwally ve diğ., 2013).

Bilgisayar tabanlı hesap motorlarında yararlanan bir başka çalışmada farklı yalıtım koşullarına sahip yüksek voltajlı çapraz bağlı polietilen (XLPE) kabloların termal parametrelerindeki değişimleri ve akım taşıma kapasitelerini doğrulamaktadır. Çalışma farklı işletme yıllarında XLPE yalıtımının termal etkilerini ortaya koymaktadır. Ölçülen termal parametreler, kablo akım taşıma kapasitelerini etkili bir şekilde simüle etmek için kullanılmış ve yapılan tanısal ölçümler, XLPE kablolarındaki termal etkiler ve akım taşıma kapasiteleri arasındaki ilişkiyi aydınlatmıştır. Bu özellikle XLPE yalıtımının, kablo akım taşıma kapasitesini değerlendirme ve kabloların servis ömrünü uzatma konusunda daha etkili yöntemlerin kurulmasına büyük katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Zhu ve diğ., 2019).

Literatürdeki diğer bir çalışma, kablo akım taşıma kapasitesi ve sıcaklık dağılımını hesaplamak için sayısal hesap yöntemini termal devre yöntemiyle karşılaştırır. Sayısal yöntem, kablo çekirdeği sıcaklığını daha doğru bir şekilde hesaplar (%0.32 hata), bu da geleneksel analitik yöntemle göre (%2.3 hata) daha avantajlıdır. Bu çalışmanın diğer bir inceleme alanı ise farklı kablo döşeme durumları altında kabloların sıcaklık dağılımı ve akım taşıma kapasitesi analizidir. 3 devre için kabloların tünel içerisinde üç rafa yerleştirildikleri yerleşim düzeni düzenli yöntem, 3 devre kablolarının da tünel zeminine yan yana serildiği yerleşim düzeni ise düzensiz yöntem olarak ifade edilmiştir. Yapılan çalışmalara göre düzensiz yöntemde kabloların daha çok ısındığı ve düzenli yöntemle göre akım taşıma kapasitelerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Düzenli döşeme, kablo çalışma sıcaklığını azaltabilir ve servis ömrünü uzatabilir. Bu sonuçlar, güç kablolarının tasarımı ve döşeme yönergeleri açısından önemli bilgiler sunar (Xiong ve diğ., 2019).

Kabloların üçgen demet, düz veya standart olmayan düzenlerde yerleştirilmesi durumlarında termal durumlarının ve akım taşıma kapasitelerinin değişimini inceleyen çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar konuyu bir adım öteye taşıyarak paralel sistem sayısına da bağlı olarak kablolar için en uygun yerleşim düzeninin belirlenmesine yönelik

optimizasyon algoritmaları da önermektedirler (Cywinski ve diğ., 2020; Zhang ve diğ., 2022).

Bir başka makalede, çeşitli kablo döşeme yöntemlerini simüle etmek için bilgisayar yazılımından yararlanılmış ve yerleşim düzenlerinin kablo ısı dağılımı üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Aynı döşeme yöntemi altında, farklı kablo yerleşimlerinin farklı kablo sıcaklıklarına yol açtığı paylaşılmıştır. Yine bu araştırma kapsamında incelenen diğer bir parametre de ortam sıcaklığıdır. Bu değerin akım taşıma kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar ortam sıcaklığının artmasıyla, kablo çekirdek sıcaklığının daha da yükseldiğini göstermektedir (Che ve diğ., 2022).

Kabloların bulunduğu ortamda toprak termal direnç, sıcaklık ve nem gibi parametrelerin akım taşıma kapasitesine etkileri de araştırma konularından biridir (Han ve diğ., 2020; Anders ve diğ., 1990). Ortam şartlarında dikkat edilmesi gereken diğer bir parametre de kuru toprak etkisidir. Yapılan diğer bir çalışmada, toprak veya termal dolgulardaki kuru bölgelerin oluşumu üzerinde durulmaktadır. Kuru toprak etkisi, yeraltı enerji kablolarının yüklenme koşullarında nemin yok olması nedeniyle oluşur. Makale, bu kuru bölgelerin yeraltı enerji kablolarının kapasitesi üzerindeki etkilerini araştırarak, farklı tiplerde dolgu toprakları için bir derecelendirme faktörlerini ortaya koyar. Kuru bölgelerin oluşumu, kablonun kapasitesini %0.87 ila %0.96 arasında azaltmaktadır. Ayrıca, çalışma, kuru bölge oluşumu için kritik sıcaklığın ıslak toprak tiplerinde IEC ve diğer kaynaklar tarafından yaygın olarak kullanılan 50 °C'den ziyade 60 °C'ye daha yakın olduğunu göstermektedir (Gouda ve diğ., 2011). Bu alandaki diğer çalışmalar da toprak yapısına ve yüklenemeye göre kuru toprak oluşumu ve akım taşıma kapasitesinin değişimi incelenmektedir (Liden ve diğ., 2023; Anders ve diğ., 2023). Kabloların gömülme derinlikleri de hem kuru toprak gözlenme riskinin artmasına hem de toprak termal direncinin değişme ihtimaline sebep olduğu için akım taşıma kapasitesi hesabında dikkat edilen bir başka ortam koşuludur (Bustamante ve diğ., 2019).

Akım taşıma kapasitesini etkileyen ortam koşulları içerisinde ortamın özellikleri dışında da bir etken mevcuttur. Bu etken kablolar ile aynı ortamda bulunan sıcak ve/veya soğuk ısı

kaynaklarıdır. Yapılan çalışmada, kablonun bulunduğu ortamda bir ısı kaynağı olması durumunda maksimum akım taşıma kapasitesini elde edebilmek için uygun termal dolgu malzemesi yapısı değerlendirilmiştir. Isıtma ve soğutma döngülerinin her biri 12 saat sürmek üzere 5 gün boyunca gerçekleştirilmiştir. Kum ve modifiye edilmiş termal dolgu malzemesinin termal yetenekleri kıyaslanmıştır (Ahmad ve diğ., 2019).

Yer altı kablo kurulumlarında yaygın uygulamalardan biri de toprak kanalın içerisinde termal dolgu malzemesi ile doldurulmasıdır. Bu durumda ortamın termal direnci dolgu malzemesinin türüne ve kanal boyutlarına göre değişmektedir (Oclon, 2021; Vollaro ve diğ., 2014). Yapılan bir araştırmada, yüksek gerilim güç kablolarının çekirdek kesit alanı ve ortamın termal direnci gibi kritik etkenler üzerinde durulmaktadır. Kablonun çekirdek kesit alanı, kablo sistemi aracılığıyla taşınacak güce bağlı olarak seçilmektedir, ancak yüksek maliyeti nedeniyle ekonomik açıdan optimal bir çözüm bulunması önemlidir. Bu bağlamda, çalışma, güç kablolarının çekirdek kesit alanını artırmak yerine termal doldurma alanının boyutunu değiştirerek kablo etrafındaki termal koşulları geliştirmeye odaklanan bir matematiksel yaklaşım sunmaktadır. Çalışmanın sonuçları, kablo çekirdek kesit alanının yanı sıra termal doldurma boyutlarının ekonomik açıdan avantajlı bir çözüm için nasıl seçilebileceğini göstermektedir. Ayrıca, güç kablolarını proje aşamasında teknik ve ekonomik faktörlerin birlikte değerlendirilmesinin proje sorumlularını optimal çözümlere yönlendireceğini vurgulamakta ve önerilen yaklaşımın yatırımcılar ve tasarımcılar için faydalı bir rehber olabileceğini belirtmektedir (Czapp ve Ratkowski, 2021).

Kabloların doğrudan yer altına gömülmesi dışında kabloların kurulum koşulları da mevcuttur. Bunlardan biri de kabloların tünel içerisinde gömülmesidir. Tünelin boyutlarına (Vaucheret ve diğ., 2005), tünelin şekline (Xu ve diğ., 2018), doğal hava akışına sahip olması (Giglio ve Leon, 2023) veya harici hava akışı bulunmasına (Pilgrim ve diğ., 2010) bağlı olarak akım taşıma kapasitesinin değişimini inceleyen çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Yeraltı kablolarını dış etkilere karşı korumak ve arıza durumunda kabloları hızlıca ulaşabilmek için kabloların boru içerisinde kullanımı da yaygın bir uygulamadır. Literatürde boru içerisindeki kabloların akım taşıma kapasiteleri için uygun

azaltma faktörü ve bu azaltmayı minimize edecek yerleşim şartları araştırılmaktadır (Masnicki ve diğ., 2022; Petrovic ve diğ., 2023). Kablo borularının avantaj sağladığı problemlere karşı benzer bir çözüm de beton duvarlı ve kapaklı kablo borularıdır. Yapılan bir çalışmada doğal havalandırmaya sahip beton duvarlı kablo kanallarındaki kabloların akım taşıma kapasiteleri incelenmiştir ve bu yerleşimi temsil eden sayısal bir model oluşturulmuştur. Sonuçlar, daha basit analitik yöntemleri doğrulamak için yaygın olarak kullanılan mühendislik varsayımları ile karşılaştırılmıştır. Tamamen kapalı kanallara oranla doğal havalandırılmalı kanallardaki kabloların akım taşıma kapasitelerinin %28'e kadar artırılabilceği tespit edilmiştir (Pilgrim ve diğ., 2012).

Özellikle denizaşırı tesislerin yaygınlaşması ile kabloların deniz içerisinde, deniz tabanında ve denizden tesise çıkışta kullanılan tüp (J-Tüp) içerisinde kurulumları da yeni araştırma konuları olarak karşılaşılmaktadır. Bu gibi yerleşimlerde kabloların ısı dağılımlarını inceleyen ve akım taşıma kapasitelerini geliştirmeyi hedefleyen çalışmalar mevcuttur (Chippendale ve diğ., 2017; Arancio ve diğ., 2020).

Akım taşıma kapasitesine etki eden diğer önemli bir faktör de kablo ekranlarının topraklama yöntemleridir. Mevcut ekran topraklama yöntemlerine bağlı olarak ekran gerilimlerinin, ekran akımlarının ve akım taşıma kapasitelerinin incelendiği ve alternatif yöntemlere yönelik araştırmalar gerçekleştirilmektedir (Shaban ve diğ., 2016; Li ve diğ., 2020).

Bir başka önemli etken de kablonun taşıyacağı akımın karakteristiğiyle ilgili durumlardır. Literatürde kablodan geçecek akımın %100 yüklenme dışında bir günlük yük profiline sahip olması (Rasoulpoor ve diğ., 2017; Brakelmann ve Anders, 2021), kısa süreli yüksek yüklenmeler yaşanması (Liang, 1999) ve harmonik akım bileşenlerine sahip olması (Wiecek ve diğ., 2014; Wang ve diğ., 2019) gibi durumlarda akım taşıma kapasitesinin doğru tespit edilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Kabloların akım taşıma kapasitelerinin hesaplanmasına yönelik bazı standart ve teknik broşürler mevcuttur. Bunlar; IEC 60287 – Elektrik Kabloları – Akım Değerinin Hesaplanması (IEC 60287, 2023), Teknik Broşür 880 – Hesaplama Aracı Doğrulaması İçin

Güç Kablosu Derecelendirme Örnekleri (CIGRE Working Group B1.56, 2022) ve Teknik Broşür 889 – Yeraltı HV Kablo Sistemlerinin Kurulumu (CIGRE Working Group B1.61, 2023) dokümanlarıdır ve bu referansların yayımlanma tarihleri dikkate alındığında araştırma konusunun güncelliği görülmektedir.

Tez çalışması kapsamında orta gerilim güç kablolarının akım taşıma kapasitelerini etkileyen faktörler incelenmiştir. Mevcut literatürde bu faktörler üzerine detaylı çalışmalar bulunmaktadır. Uluslararası Elektrik Komitesi IEC tarafından bazı faktörler için düzeltme çarpanları paylaşılmıştır. Ancak bu çarpanlar faktörlerin belirli aralıklarda kısıtlı değişimleri ve kablo ekranlarının tek uçtan topraklandığı durumlar için geçerlidir. Kablo ekranlarının tek uçtan topraklı oldukları uygulamalarda, her ne kadar bu tez kapsamında incelenmemiş olsa da, topraklanmamış uçta gerilim indüklenir. Oluşan ekran gerilimi IEEE Std 575 standardında belirtilen sınırlar içerisinde kalmadığı takdirde kablo ekranları iki uçtan topraklanmalı ya da alternatif çözümler uygulanmalıdır. Kablo ekranlarının iki uçtan topraklandığı durumda oluşan sirkülasyon akımları akım taşıma kapasitesini ve akım taşıma kapasitesine etki eden faktörlerin etkilerini değiştirebilmektedir. Bu çalışmanın özgün yanı kablo ekranlarının iki uçtan topraklandığı durumu incelemesidir.

2. ORTA GERİLİM GÜÇ KABLOLARI

Kentsel bölgelerin yoğunlaşmasıyla birlikte elektrik ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu enerji talebinin karşılanabilmesi ve kullanıcılara güvenle ulaştırılabilmesi için birçok havai hatta ve yeraltı kablosuna ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle konut ve ticarethanelerin sık yapıda bulunduğu şehir merkezlerinde şehir planlamalarının getirdiği kısıtlamalar ve güvenlik nedeniyle enerjinin havai hatlar yerine yeraltı kablolarıyla son kullanıcıya ulaştırılması gerekmektedir. Havai hatlar ile kablo sistemlerinin genel olarak güçlü ve zayıf yönleri Tablo 2.1 içerisinde paylaşılmıştır (Al-Khalidi ve Kalam, 2006).

Tablo 2.1. Havai hat ve kabloların güçlü ve zayıf yönleri

Tanımlama	Havai Hat	Kablo
Kurulum Maliyeti	Düşük	Yüksek
Arıza Noktası Tespiti	Hızlı	Yavaş
Fiziksel Müdahalelere Karşı	Riskli	Güvenli
Doğa Olaylarına Karşı	Riskli	Güvenli
Elektromanyetik Alan Emisyonu	Yüksek	Düşük
Çevre Kısıtları ve Görsel Dağınıklık	Mevcut	Mevcut Değil

Kablo sistemlerinin sağladığı bu faydalar yeni enerji hatlarında tercih edilmelerine ve yaygınlaşmalarına neden olmaktadır.

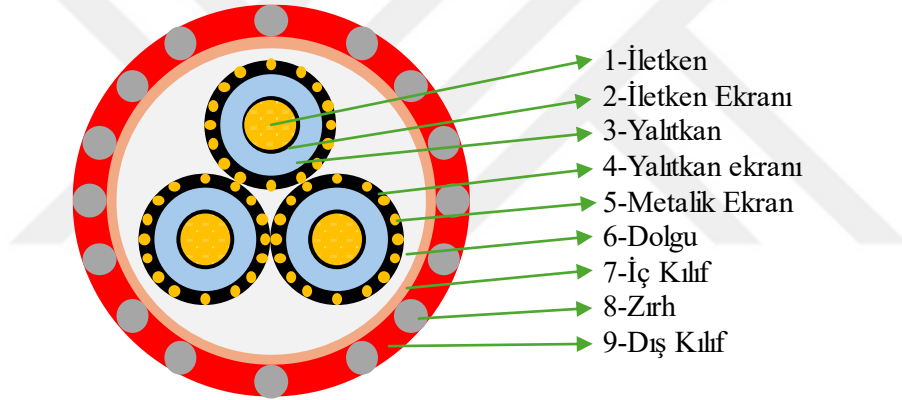
Orta gerilim kablolarının yıllar içerisindeki gelişimi ve performansı değerlendirilecek olursa ilk nesil kabloların erken 1980'lerde karşılaştığı başlangıçtaki zorlukları aşmayı başardıkları görülebilir. Bu süreçteki iyileştirmeler, dış ekranlar için grafiten yarı iletken malzemeye, dış kılıfların Polivinil klorür'den (PVC) Orta yoğunluklu polietilen'e (MDPE) ve daha sonra Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) kılıflara geçişine kadar çeşitli değişimleri içermektedir. Ayrıca, bileşen malzemelerin temizliğinin iyileştirilmesi ve

polimer su bantlarıyla ağaçlanma geciktiricilerinin geliştirilmesi, kablo performansını ve ömürlerini iyileştirmiştir (Wald ve Smedberg, 2008; Campus ve Ulrich, 2003).

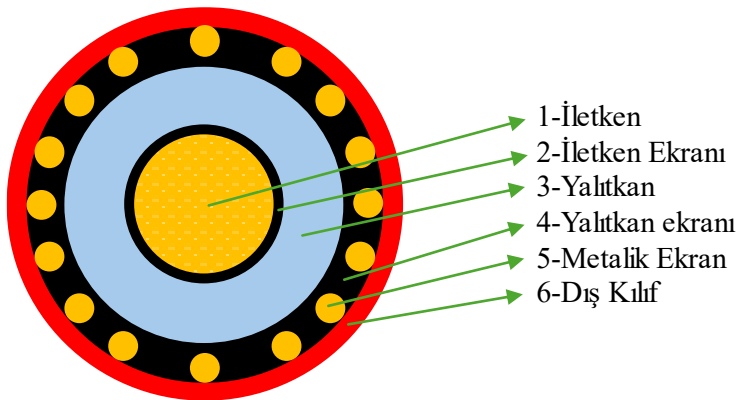
Orta veya yüksek gerilim güç kabloları 1 kV'tan daha yüksek gerilim derecesine sahiptir. Orta gerilim genellikle 46 kV'a kadar kabul edilir ve 46 kV'un üzerindeki tüm gerilim seviyeleri yüksek gerilim olarak kabul edilir.

2.1. Orta Gerilim Kablolarının Yapıları

Orta gerilim kabloları iletken çekirdeğin yapısına göre iki farklı kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar üç çekirdekli (Şekil 2.1) ve tek çekirdekli (Şekil 2.2) kablo yapılarıdır.



Şekil 2.1. Üç çekirdekli kablolar için genel yapı



Şekil 2.2. Tek çekirdekli kablolar için genel yapı

Üç çekirdekli ve tek çekirdekli kabloların uygulama esnasında birbirlerine karşı bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Üç çekirdekli kabloların avantajları şunlardır:

- Üç çekirdekli kablolar çelik zırlı yapıda oldukları için dış kuvvetlerden etkilenme durumları daha azdır;
- Küçük bir kablo kanalında uygulanabilir;
- Kurlum ve bağlantı işleri daha pratik ve kısa sürelidir;
- Dengeli yüklenmede akım dağılımı daha düzgün ve manyetik alan emisyonu daha azdır.

Tek çekirdekli kabloların avantajları ise şunlardır:

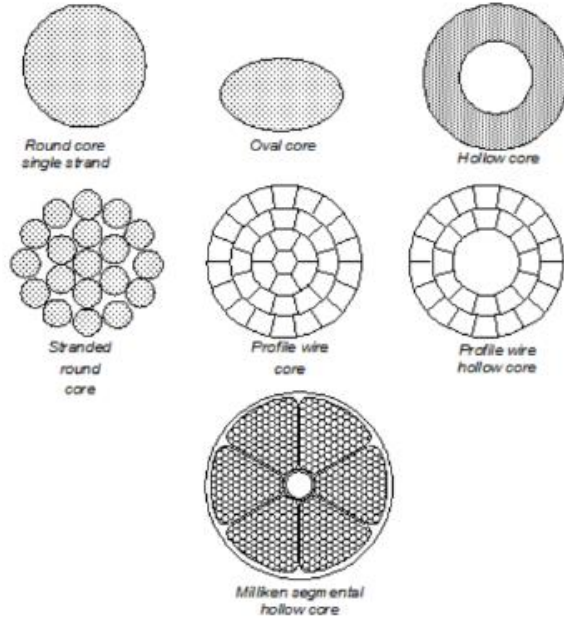
- Kısa devre veya dış müdahale gibi arızalarda fazlar arasında izolasyon sağlar;
- Kablonun metre ağırlığı düşük, taşınması kolay ve döşemesi basittir;
- Uzun mesafeler için eksiz, yekpare kablo üretilebilir;
- Aynı kesitteki üç çekirdekli kabloya göre daha fazla akım taşıma kapasitesine sahiptir (Liu, 2019).

Tez çalışmasında tek çekirdekli kablolar üzerine durulmuştur. Tek çekirdekli kablo yapısında katmanlar özelliklerine dair genel bilgiler derlenmiştir.

2.1.1. İletken

Kablonun çekirdeği olarak da ifade edilebilen iletken kısmın amacı, kablodan taşınacak akımı düşük kayıplarla iletmektir. İletken kısım Şekil 2.3 içerisindeki gibi farklı tasarımları sahip olabilir (CIGRE WG B1.30, 2013). Boşluklu tasarımlarda iletkeni soğutmak için yağ veya su kullanılabilir. Örgülü ve segmentli tasarımlar ise deri etkisini azaltırken kabloya esneklik kazandırır.

Güç kablolarında iletkenler ya bakırdan (Cu) ya da alüminyumdan (Al) imal edilir. Cu daha düşük öz dirence sahiptir, bu da kayıpları azaltırken akım taşıma kapasitesini artırır. Diğer bir değişle aynı akım kapasitesini elde etmek için Al iletkenine göre daha küçük bir Cu iletkenli kesit tasarlanabilir. Ancak Alüminyum iletkenli orta gerilim kablolarının Bakır iletkenli kablolarla oranla daha düşük maliyete sahip olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 2.3. Güç kabloları için iletken tasarımları

Alüminyumun diğer bir avantajı ise aynı akım taşıma kapasitesinde kablonun birim ağırlığı Cu'ya göre çok daha azdır (CIGRE WG B1.30, 2013).

2.1.2. İletken Ekranı (İç Yarı İletken)

Yarı iletken malzemeden üretilen bu katman iç alan düzleştirme katmanı veya iç yarı iletken katman olarak da isimlendirilmektedir. İletken ve izolasyon katmanlarının arasına yerleştirilir. Bir yarı iletken katmanının işlevi aşağıda verildiği gibidir:

- İzolasyon katmanında kullanılan dielektrik malzemedeki elektrik alanı ve potansiyel farkı düzenlemek,
- Elektriksel stresi azaltmak,
- Telli yapıdaki iletken veya ekran gibi homojen olmayan katmanların elektrik alan dağılımı üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak,
- Kablo bileşenleri (iletken, ekran ve metal kılıf gibi) ve izolasyon tabakası arasındaki boşlukları doldurmak veya boşluk oluşumunun önlenmek,

- Kablo bükülmesi gibi mekanik stres veya değişken termal stres olaylarında, kablo yapısının korunmasına yardımcı olmak,
- İzolasyon katmanını içten ve dıştan sararak kısmi deşarjlara karşı güvenliğini arttırmak.

Basitleştirilmiş kablo modelleri yarı iletken katmanları içermez. Genellikle kablo modelleri iletken, metal ekran ve eğer varsa zırh gibi katmanlar ile bu katmanlar arasındaki izolasyon malzemeleri içerir. Bunun yerine, hesaplamalarda yarı iletken katmanlar, izolasyonun bir parçası olarak kabul edilir (Morched ve diğ., 1999).

2.1.3. Yalıtkan

Diğer bir adıyla izolasyon katmanının amacı, iletkeni korumak ve kablunun iki iletken katmanı olan çekirdek ve metal ekran arasında herhangi bir doğrudan bağlantı veya temas olmamasını sağlamaktır.

Güç kablolarının yalıtkan katmanı için yaygın olarak kullanılan üç pratik dielektrik malzeme vardır: emprenye edilmiş çok katmanlı kâğıt, yağ dolu kâğıt izoleli kablolar ve ekstrüde edilmiş polimerler, örneğin XLPE. Ancak günümüzde genel tercih polimer tabanlı malzemelerden yana ve kâğıt tabanlı yapıların kullanımı azalmaktadır.

İki iletken bileşen arasındaki izolasyon nedeniyle, güç kabloları çok uzun silindirik kapasitörler gibi özellikler taşımaktadır. Bu sebeple kablolar ile beslenen alternatif akım yükleri, faz başına yalıtkanlık sabitine (dielektrik sabit; ϵ_r) ve bağlantı uzunluğuna bağlı olarak bir kapasitif şarj akımı (I_C) çekecektir. Bu şarj akımı, iletken tarafından taşınması hedeflenen akımın üstüne eklenir. Bu nedenle kablo uzunlukları, kablo üzerindeki kapasitif yük tarafından sınırlanır. Kritik kablo uzunluğu, gerilim ve izolasyonun yalıtkanlık sabitinin artmasıyla azalır (CIGRE WG B1.30, 2013).

2.1.4. Yalıtkan Ekranı (Dış Yarı İletken)

Yarı iletken malzemeden üretilen bu katman dış alan düzleştirme katmanı veya dış yarı iletken katman olarak da isimlendirilmektedir. İzolasyon ve metalik ekran katmanlarının arasına yerleştirilir. İşlevi iç yarı iletken katmanla benzerdir (Morched ve diğ., 1999).

2.1.5. Metalik Ekran

Kablo metalik ekranı, elektrostatik sınırlayıcı olarak kullanılan metal bir katman olup, kapasitif şarj akımının ve manyetik sirkülasyon akımlarının geri dönüş yolu olarak da işlev görür. Ayrıca, kabloda yaşanacak elektriksel bir arıza durumunda arıza akımının toprağa iletilmesi için kullanılır. Kompozit metal ekran içeren tasarımlarda, genellikle kılıftan önce su geçirmezlik sağlamak için bant kullanılır. Bu su geçirmez bant metal ekranın her iki tarafına da yerleştirilebilir. Şekil 2.4 üzerinde genel kablo yapısı içerisindeki metalik katmanlar görülebilir (CIGRE WG B1.30, 2013).



Şekil 2.4. Farklı tasarımlardaki kablo metalik ekranları

Metalik ekranın tek bir ucunun topraklanması durumunda topraksız uçta gerilim indüklenir, iki ucunun topraklanması durumunda ise ekrandan manyetik akımlar dolaşır. Bu akım ve gerilimlerin etkilerinin en aza indirgenmesine yönelik farklı bağlantı teknikleri de mevcuttur (Lin ve Xu, 2015).

Şekil 2.5 üzerinde orta gerilim kablolarının sonlandırma noktasına, enerji barasına, bağlantısı görülmektedir. Enerji kablosu bağlantı öncesinde belirli bir miktarda kılıfından soyulur, metalik ekranı ayrılır, yalıtkan kısmın üzerine kablo başlığı yerleştirilir. Çekirdek kısım kablo başlığı ile enerji barasına bağlanırken ayrılan metalik ekran topraklama şekline göre direkt ya da aşırı gerilim koruma ekipmanı üzerinden toprağa bağlanır.



Şekil 2.5. Kablo metalik ekran toprak bağlantısı

2.1.6. Dış Kılıf

Kablo dış katmanının asıl işlevi, kabloyu çevredeki mekanik etkilerden korumaktır.

Yeraltı kabloları için dış kılıf katmanı genellikle, bağıl dielektrik sabiti 2,3 olan yüksek yoğunluklu polietilenden (HDPE) veya PVC'den yapılmış bir kılıftır. Bu dış kılıf, yer altı kablosunun son katmanıdır ve kablonun toprak yüzeyle teması bu katman üzerinden sağlanır.

Denizaltı kablolarında ise dış kılıf katmanı olarak ekstrüde edilmiş polimerik kılıflar veya sarılmış polietilen iplik katmanlarından yapılmış yapılar kullanılabilir (CIGRE WG B1.30, 2013).

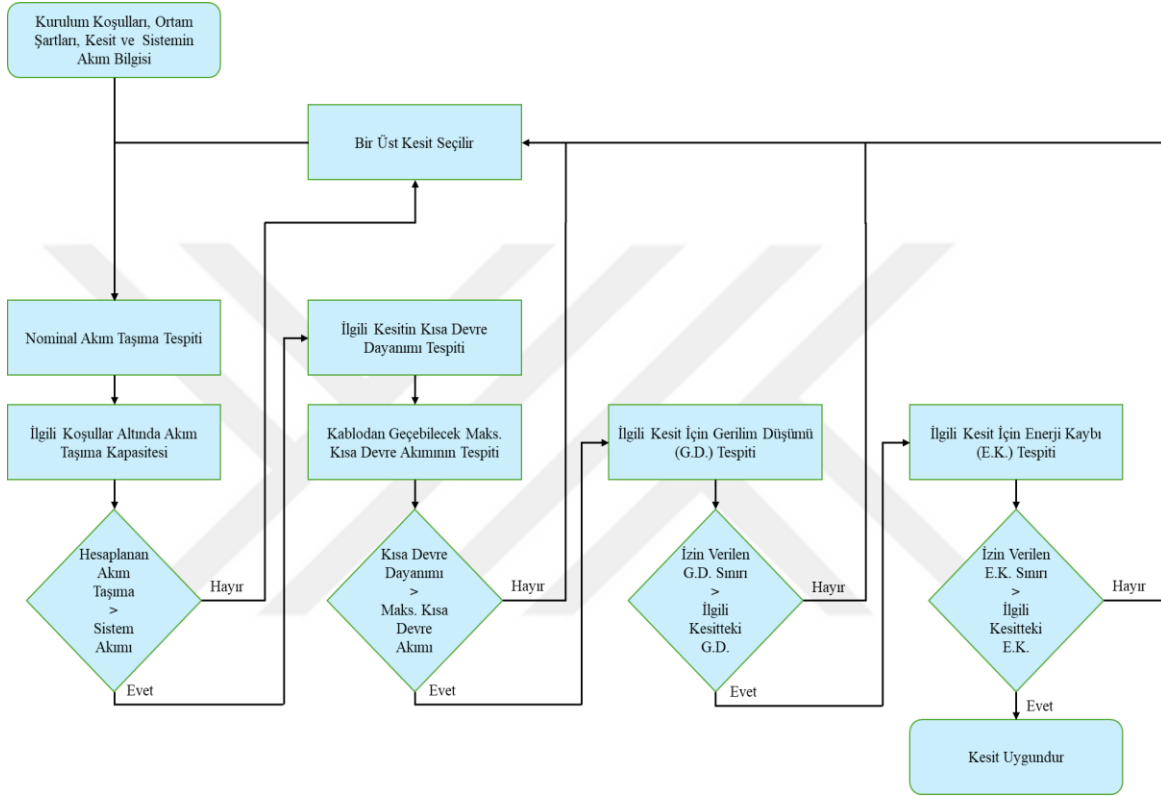
Özel uygulama ihtiyaçlarına yönelik de geliştirilmiş kılıf yapılarıyla karşılaşmak mümkündür. Örneğin güneşe maruz kalacak kablolarda yüksek ışınlıma karşı koruma sağlayabilen ya da yangın risklerinde aleve karşı koruma sağlayabilen kılıflar da mevcuttur.

3. KABLO AKIM TAŞIMA HESAPLARI

Bir kablo boyutlandırılırken belirli kriterler dikkat edilmelidir. Bu kriterlere göre kablo seçim sürecini açıklayan akış şeması Şekil 3.1 içerisinde paylaşılmıştır. Kablo boyutlandırması için öncelikle kurulum koşulları, ortam şartları ve kablodan taşınması planlanan akım ve akımın profili bilinmelidir. Bunun ardından bir kesit seçilir ve ilgili şartlar altında akım taşıma kapasitesi hesaplanır. Bu değerin kablodan taşınması planlanan akımdan büyük olması gerekir. Ardından seçilen kesitin kısa devre dayanımı, kısa devrenin termal ve mekanik etkilerinden kablonun zarar görmemesi için, kablodan geçebilecek maksimum kısa devre akımından büyük olması gerekir. Bilindiği üzere kabloların kesitleri küçüldükçe dirençleri artmaktadır ve bu direnç değeri akım taşıyan kablolar üzerinde gerilim düşümüne sebep olmaktadır. Seçilen kesitte kablo üzerindeki gerilim düşümü sistem için izin verilen gerilim düşümü sınırından düşük olmalıdır. Gerilim düşümüyle benzer şekilde kablo direncine bağlı olarak bir enerji kaybı söz konusudur. Özellikle sürdürülebilir, verimli ve tasarruflu bir sistem tasarımı yapabilmek adına kablo üzerindeki enerji kaybı da dikkat edilmesi gereken diğer bir kriterdir ve kablo üzerindeki enerji kaybı izin verilen enerji kaybı sınırından düşük olmalıdır. Öte yandan kablo maliyetleri kesitin artması ile artış göstereceği için yukarıda belirtilen dört şartı sağlayan en küçük kablo kesiti tekno-ekonomik açıdan en uygun tasarım olacaktır. Bu dört şarttan birinin karşılanmaması durumunda kablo kesiti büyütülmelidir. Bazı durumlarda kurulum koşullarının değiştirilmesinin kablo kesitinin büyütülmesine alternatif olabileceği de unutulmamalıdır (Anders ve diğ., 1993; Waswa ve diğ., 2023).

Şekil 3.1 içerisinde kablo boyutlandırma sürecine ait temsili bir akış şeması gösterilmektedir. Doğru bir kablo boyutlandırma uygulamasının bu şemada gösterilen akım, kısa devre, gerilim düşümü ve enerji kaybı kriterlerini karşılanması gerekmektedir. Bu koşullara ek olarak elektromanyetik uyumluluk da dikkat edilmesi gereken bir diğer kısıttır. Ancak elektromanyetik uyumluluk konusundaki çalışmaların güncelliği ve sınırların henüz netleştirilmemesi sebebiyle çalışma konusuna dahil edilmemiş ve gelecekte araştırılabilecek bir başlık olarak bırakılmıştır.

Bu tezin inceleme konusu da yukarıda belirtilen kriterlerden ilki olan kablolu akım taşıma kapasitesi üzerine bu değerin hesaplanması ve bu değeri etkileyen değişkenlerin etkilerinin tespit edilmesidir.

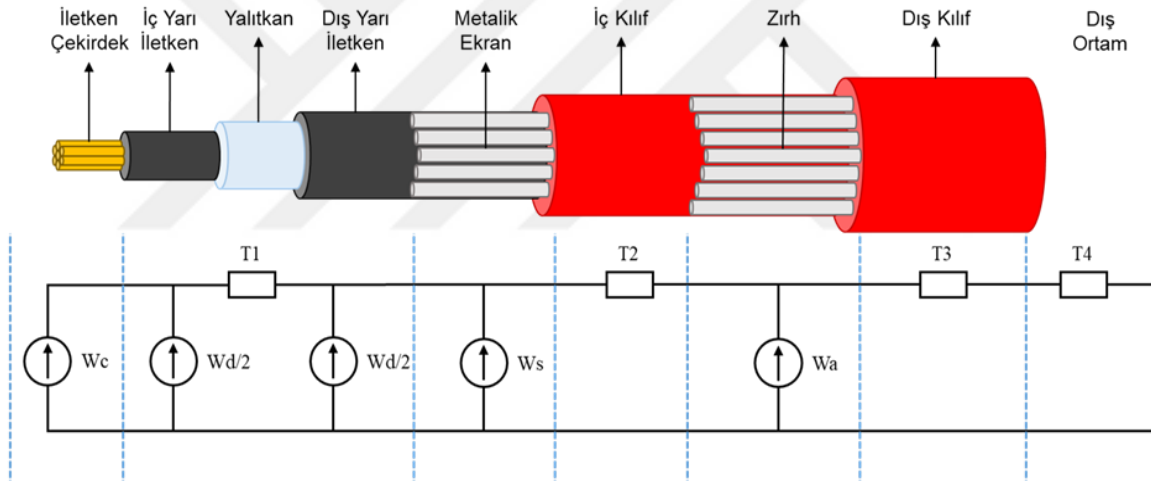


Şekil 3.1. Kablo boyutlandırma süreci akış diyagramı

Akım taşıma kapasitesi kabloların zarar görmeden beklenen ömürleri boyunca işletilebilecekleri termal koşul ve sınırlar dahilinde üzerlerinden geçirebilecekleri en yüksek akım değerini ifade eder. Bu değer kablounun özelliklerinden, kurulumun yapılacağı ortamın şartlarından ve yerleşim koşullarından etkilenmektedir. Bu sebeple kablolardan optimum fayda sağlanabilmesi için tüm bu şartlar göz önünde bulundurulmalıdır. Kabloların akım taşıma kapasitelerinin hesaplanmasına yönelik standartlaştırılmış hesap ve denklemler mevcuttur. Bununla beraber sonlu elemanlar yönteminden yararlanan bilgisayar tabanlı çözüm yöntemleri ve pratik düzeltme faktörü tabloları da akım taşıma kapasitesinin tespiti için kullanılan yöntemlerdir (Bates ve diğ., 2016).

3.1. Neher-McGrath Yöntemi

Akım taşıma hesaplamaları için Neher-McGrath yöntemi olarak bilinen teknik, ısıl-elektriksel analogi yöntemine dayanmaktadır. Temel fikir, çalışma alanını katmanlara bölmektir. Daha sonra ısı oluşumuna sebep olan katmanlar elektriksel devre elemanı olarak akım kaynaklarıyla, ısı yayılmasına engel olan katmanlar elektriksel dirençlerle ve ısıl kapasitanslar elektriksel kapasitörlerle modellenir. Ancak bu yöntemde kapasitansların kararlı haldeki etkileri ihmal edilir. Kararlı halde akım taşıma hesaplamaları için kablo bileşenleri ve elektrik devresi elemanları arasındaki benzetim Şekil 3.2 üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Kablo katmanlarının ısıl-elektriksel eşdeğer devresi

Akım taşıma kapasitesi ve sıcaklık arasındaki ilişkiyi kurabilmek için kablo katmanları arasındaki sıcaklıklar Şekil 3.2 üzerinde gösterilen devredeki her bir düğüm noktasının potansiyeline benzetilir. Bu nedenle, devrenin düğümleri ile en içteki akım kaynağı arasındaki potansiyel fark, kablonun çekirdeğinin ortam sıcaklığına göre sıcaklık yükselmesini temsil eder. Oluşturulan devrede elektriksel gerilim düşümü hesabına benzer şekilde, kablo çekirdeğinin sıcaklığı, ortam sıcaklığına katmanlar arasındaki sıcaklıkların eklenmesi ile hesaplanır. Ortam sıcaklığı ile kablo çekirdeği arasındaki sıcaklık farkı (Δt) denklem 3.1 gibi hesaplanır.

$$\Delta t = \left(W_c + \frac{1}{2}W_d\right)T_1 + (W_c + W_d + W_s)T_2 + (W_c + W_d + W_s + W_a)(T_3 + T_4) \quad (3.1)$$

Doğrudan akım taşıma kapasitesinin hesaplanabileceği bir ifadeyi türetmek için, denklemdaki elektrik kayıpları, W değerleri, iletken kayıplarının (W_c) oranı olarak ifade edilir. İletken kayıpları, kablonun alternatif akım direnci (R_{ac}) ve akım kullanılarak hesaplanır. Böylece, denklem 3.2, 3.3 ve 3.4 ifadeleri yazılabilir:

$$W_s = \lambda_1 W_c \quad (3.2)$$

$$W_a = \lambda_2 W_c \quad (3.3)$$

$$W_c = R_{ac} I^2 \quad (3.4)$$

Bunlara göre denklem 3.1 düzenlenip doğrudan akım taşıma kapasitesinin hesaplanabileceği denklem, denklem 3.5 gibi elde edilir.

$$I = \sqrt{\frac{\Delta t - W_d \left(\frac{1}{2}T_1 + T_2 + T_3 + T_4\right)}{R_{ac}T_1 + R_{ac}(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)}} \quad (3.5)$$

Elde edilen son denklemden (denklem 3.5) akım taşıma kapasitesine ulaşılabilir. Akım taşıma kapasitesini veren formül, ısıl dirence (T), kayıp faktörüne (λ) ve kablonun alternatif akım direncine (R_{ac}) bağlı olduğundan bu değerlerin doğru tespit edilmesi akım taşıma kapasitesi için kritik önem taşır. λ kayıp faktörü fuko kayıplarını ve ac dirençlerin (R_{ac}) sıcaklığa bağlı değişimini dikkate alır (Neher ve Grath, 1957).

3.1.1. Elektriksel Dirençlerin Hesaplanması

Kabloların elektriksel direnci alternatif akıma ve doğru akıma göre farklılık göstermektedir. Direnç üzerindeki diğer bir etki de sıcaklıktır. İletkenlerin sıcaklığa bağlı dirençleri değişiklik göstermektedir. Akım taşıma kapasitesi analizlerinde kullanılan elektriksel direnç işletme sıcaklığındaki alternatif akım direncidir. Buna göre bir iletkenin doğru akım direnci denklem 3.6 gibi hesaplanır.

$$R_{DC-20^{\circ}C} = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad (3.6)$$

Burada ρ elektriksel öz direnç, l kablo uzunluğu ve S iletkenin kesit alanıdır. XLPE yalıtkanlı kablolar için izin verilen işletme sıcaklığı $90^{\circ}C$ 'dir. Buna göre iletkenin $90^{\circ}C$ 'deki dc direnci denklem 3.7 gibi hesaplanır.

$$R_{DC-90^{\circ}C} = R_{DC-20^{\circ}C} \cdot (1 + \alpha \cdot (90 - 20)) \quad (3.7)$$

Burada α değeri iletken cinsine göre belirlenen ısıl katsayıdır. Akım taşıma kapasitesi hesabında alternatif akım değeri kullanılmaktadır. Buna göre iletkenin $90^{\circ}C$ 'deki ac direnci denklem 3.8 gibi hesaplanır.

$$R_{AC-90^{\circ}C} = R_{DC-90^{\circ}C} \cdot (1 + k_s + k_p) \quad (3.8)$$

Burada k_s deri etkisi, k_p ise yakınlık etkisine göre belirlenmektedir.

3.1.2. Termal Dirençlerin Hesaplanması

Kabloların içyapısı Şekil 3.2 üzerinde gösterildiği gibi silindir şeklinde olduğundan termal direnç denklem 3.9 gibi hesaplanır.

$$T = \rho \frac{l}{A} = \frac{\rho}{2\pi} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \quad (3.9)$$

Burada ρ iletkenlik değeri, r_1 ve r_2 sırasıyla hesaplanacak katmanın iç ve dış yarı çaplarıdır. Denklem 3.6 kablonun diğer katmanlarına uygulanarak T_1 , T_2 ve T_3 dirençleri elde edilebilir. Karmaşık geometriye sahip kablolar, üç damarlı kablolar, kanal yuvaları içinde döşenen kablolar vb. gibi farklı tip kabloların dış katmanları için sezgisel tarama kullanılır. Bu farklı durumları da kapsayacak şekilde düzenlenen denklem, denklem 3.10 gibi ifade edilebilmektedir:

$$T = \frac{\rho}{2\pi} G \quad (3.10)$$

Buradaki G kablonun şekline ve boyutuna bağlı bir geometrik fonksiyondur.

Dengeli ya da dengesiz yüklenen kablolar, birbirine temas eden ya da temas etmeyen, düz ya da üçgen (trefoil) döşenmiş, dolgulu veya boş kanal içinde döşenmiş vs. gibi birçok farklı etken için ısı direncin hesaplanmasında kullanılan bulgusal yöntemler vardır. Bulgusal yöntemlerden önce geometrik faktörlerin uzantılarını belirlemek için sayısal yöntemler (sonlu elemanlar) kullanılmıştır. Kablo izolasyonunun termal direnci hesaplanırken izolasyonun dış yüzeyi ile yakınındaki toprak izotermal kabul edilir. Bu varsayım, dıştan kablo ısı direncini (T_4) hesaplamak için görüntü yük yönteminin uygulanmasına izin verir. Denklem 3.11 ifadesi, görüntü yük yöntemiyle elde edilir:

$$T = \frac{\rho}{2\pi} \ln \left(\frac{4L}{D_e} \right) \quad (3.11)$$

L değeri gömülme derinliğine bağlı belirlenen mesafedir.

Kurulum ortamı çoklu kablo yuvası içeren beton bloklar (ductbank), beton duvarlı kablo kanalı gibi farklı birçok termal ortam içerisinde ise kablonun dış yüzeyinin (T_4) ısı direnci, bu malzemelerin ve içerilerindeki havanın da termal direncini içermelidir. Kanal ve borular bilinen geometrilerinden dolayı hesaplara kolaylıkla dahil edilebilirler. Ancak bir kanal içerisinde durağan veya akışlı bir hava bulunması durumunda termal direncin tespit edilmesi farklı hesaplar gerektirmektedir. Havanın termal direnci ısı transferine ve iletkenliğe değil konveksiyona ve radyasyona bağlıdır. Bu durum için deneysel olarak elde edilmiş ve farklı koşullar için test edilmiş formüller vardır (Leon, 2005).

3.2. IEC 60287 Standardı

Akım taşıma kapasitesinin hesaplanmasına yönelik ilk standart Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından 1969 yılında, “IEC 60287 – Elektrik Kabloları – Akım Derecelendirmesinin Hesaplanması” ismiyle yayınladı. Ancak standart yıllar içinde sürekli olarak gelişim göstermiş ve son olarak 2023 yılında güncellenerek mevcut halini almıştır (IEC 60287, 2023). Standart, akım taşıma kapasitesi için bölüm 3.1 içerisinde açıklanan Neher-McGrath yöntemini referans alarak hesapları geliştirmeyi hedeflemiştir. İki yöntem arasındaki en temel fark, IEC standardının hesaplara toprak kurumasının dahil etmesi ve kayıplar için daha detaylı bir yapı içermesidir.

IEC 60287 standardına göre bir yeraltı kablosunun akım taşıma kapasitesinin sağlıklı hesaplanabilmesi için kablonun gömülü bulunduğu toprağın termal modeli detaylı olarak incelenmelidir. Toprağın nem içeriği de toprağın termal modeli içerisinde toprak termal direncini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Kablonun ısısı toprağın nem içeriğini azaltarak kurummasına sebep olabilir bu da toprağın kritik sıcaklığına bağlı olarak ortamın beklenenden fazla ısınmasıyla ve ısı atma kapasitesinin azalmasıyla, dolayısıyla kablonun akım taşıma kapasitesinin azalmasıyla sonuçlanır (Electra WG 02.21, 1986).

Özellikle toprak kurummasının akım taşıma kapasitesi üzerindeki bu denli etkisi dikkate alındığında IEC 60287 standardı Neher-McGrath yöntemindeki toprak termal direnci değerinin kritik toprak sıcaklığıyla birlikte kullanılması gerektiğini belirtir.

3.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemiyle akım taşıma kapasitesinin hesaplanabilmesi için öncelikle toprağın termal iletkenliği tespit edilmelidir. Toprak ısı iletkenliği $k_{toprak}(T)$, izin verilen en yüksek kablo sıcaklığı T_{maks} 'a yaklaşırken, denklem 3.12 gibi ifade edilebilir:

$$k_{toprak}(T) = k_{min} + (k_{IEC} - k_{min})e^{-a_1((T-T_{ref})/(a_2T_{maks}))^2} \quad (3.12)$$

k_{IEC} , IEC standartlarına göre doğal bir toprağın termal iletkenlik sabitidir. k_{min} kuru kumun termal iletkenliği, T_{ref} , yer seviyesinin altında bilinen bir derinlikteki sıcaklıktır ve T_{maks} kablonun izin verilen maksimum çalışma sıcaklığıdır. T yeraltı kablosunun etrafındaki sıcaklıktır. a_1 ve a_2 katsayıları, denklem 3.13 ve 3.14 ile gösterilir.

$$a_1 = \frac{T_{maks}}{T_{ref}} \quad (3.13)$$

$$a_2 = 1 - \frac{1}{a_1} \quad (3.14)$$

Bu termal iletkenlik modeli için, eğer yeraltı kablosunun etrafındaki sıcaklık, yer seviyesinin altında bilinen bir derinlikteki sıcaklığa eşit ise ($T = T_{ref}$), toprak ısı iletkenliği, IEC standartlarına göre doğal bir toprağın termal iletkenlik sabitine eşittir ($k_{toprak}(T) = k_{IEC}$).

Eğer kablo etrafındaki sıcaklık, izin verilen çalışma sıcaklığından büyük ise ($T > T_{maks}$), toprak ısı iletkenliği, kuru kumun termal iletkenliğine yaklaşır ($k_{toprak}(T) \rightarrow k_{min}$). Toprağın ısı iletkenliği için önerilen formül giriş parametreleri olarak sadece T_{ref} ve T_{maks} içerdiğinden, sonlu elemanlar yöntemi kolaylıkla uygulanabilir. Toprağın özellikleri yeterince tanınmadığında ve yerel olarak, toprağın ortalama ısı iletkenliği (k_{IEC}), 1 W/(m.K) değerinden önemli ölçüde düşük olduğunda hesaplar güvenlik sınırları içinde kalır. Toprağın ısı iletkenliğinin belirlenmesindeki bu basitleştirilmiş yaklaşım ayrıca, topraktaki nemin modellenmesi ile ilgili zorlukların önlenmesine yardımcı olur ve doğrudan ısı transferi için sonlu elemanlar yöntemi prosedürlerinde uygulanabilir.

Toprak ısı iletkenliğine göre iki boyutlu kararlı hal ısı iletimi denklemi yazılarak denklem 3.15 elde edilir:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right] = -q_v \quad (3.15)$$

Denklemde T , yeraltı kablosunun etrafındaki x-y düzlemindeki herhangi bir noktada sıcaklığı gösterir, $k(T)$ sıcaklığa bağlı termal iletkenliktir ve q_v birim hacim başına hacimsel ısı kaynağıdır. Değeri, denklem 3.16 kullanılarak hesaplanır.

$$q_v = \frac{\Delta Q}{S_c} \quad (3.16)$$

S_c , iletkenin kesit alanını, ΔQ ise güç kablosunun ürettiği ısıyı belirtir. ΔQ değerinin hesaplanması için Joule-Lenz yasası kullanılır (denklem 3.17).

$$\Delta Q = I^2 R_{AC}, \frac{W}{km} \quad (3.17)$$

Denklem 3.14, denklem 3.13 ve denklem 3.12 birbirlerine göre düzenlenirse doğrudan akım taşıma kapasitesinin hesaplanabileceği denklem (denklem 3.18) elde edilir.

$$I = \sqrt{-\frac{S_c}{R_{AC}} \cdot \left(\frac{\partial}{\partial x} \left[k(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right] \right)} \quad (3.18)$$

R_{AC} değeri kablonun izin verilen işletme sıcaklığındaki alternatif akım direncidir.

Özellikle bilgisayar tabanlı hesap motorlarının gelişmesiyle akım taşıma kapasitesinin sonlu elemanlar yöntemiyle tespit edilmesi de tercih edilen yöntemlerdendir bir olmuştur (Oclon ve diğ., 2015).

3.4. Düzeltme Faktörü Yöntemi

Akım taşıma kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan diğer bir yöntem ise düzeltme faktörüdür. Bu yöntem standartlarda paylaşılan akım taşıma kapasiteleri ve farklı şartlarda akım değerini değiştirecek çarpanları içeren tablolardan oluşmaktadır. Bu tablolar, belirli kurulum ayrıntıları için kablo kapasitesinin hızlıca hesaplanabilmesi için bir referans sağlar. Sonuçların elde edilmesi hızlı ve kolay olduğundan kullanılan en yaygın yöntemlerdendir.

Bu yöntem dikkate değer faydalarına rağmen düzeltme tablolarının içerdiği faktörler ve faktörlerin değişimleri kısıtlıdır. Akım taşıma kapasitesi hesaplanacak kablo için ortam ve kurulum şartlarını temsil eden düzeltme faktörleri bulunamadığında paylaşılan diğer yöntemlerin kullanılması gerekir. IEC ve IEEE tarafından paylaşılan akım taşıma kapasitesi ve düzeltme faktörleri tabloları kabloların sürekli aynı akımı taşıdığı diğer bir ifade ile %100 yüklenme (yük faktörü = 1) durumunu temsil etmektedir (IEC 60287, 2023; IEEE Std 835, 1994).

Yük faktörü olarak ifade edilen değer 24 saatlik tekrar eden döngülerde bir günlük ortalama akım değerinin en yüksek akım değerine oranını ifade etmektedir. Bir günlük yük döngüsünün sürekli olarak tekrar ettiği kabul edilir. Bu değer 1'den (%100) küçük olması sürekli olarak aynı akımın olmadığı ve termal açıdan kablonun gün içerisinde soğuma imkânı olduğu anlamına gelir.

Bilindiği üzere orta gerilim dağıtım sistemlerinde yük karakteristiği genellikle gün içerisinde değişim gösterir. Alman standardı olan “VDE 0276 – Güç kabloları – Bölüm 1000: Akım taşıma kapasitesi, genel, dönüşüm faktörleri” isimli referans yük faktörünün farklı değerleri için akım taşıma kapasitesinin değişimini incelendiği için hesaplarda bu standardın kullanımı daha yaygındır (DIN VDE 0276-1000, 1995).

Tablo 3.1 içerisinde VDE standardına göre kabloların nominal akım taşıma kapasiteleri paylaşılmıştır (DIN VDE 0276-1000, 1995).

Tablo 3.1. N2XS Y nominal akım taşıma kapasiteleri

Yalıtkan İletken Türü Yerleşim Düzeni İletken Kesiti [mm ²]	Üçgen Demet Nominal Akım Taşıma Kapasitesi [A]	XLPE Bakır Düz
50	226	251
70	276	306
95	329	363
120	373	410
150	415	449
185	468	503
240	541	576
300	608	641
400	684	697
500	762	768

Bu değerler kabloların toprak termal sıcaklığı 20 °C, toprak termal direnci 1 K.m/W, tek devre, tek uçtan topraklı ve 0,7 yüklenme faktöründe geçerlidir. Tablo 3.2 ve Tablo 3.3 içerisinde farklı şartlar altında akım taşıma kapasitesini tespit etmek için kullanılan f_1 ve f_2 düzeltme faktörleri paylaşılmıştır (DIN VDE 0276-1000, 1995).

Tablo 3.2. Toprakta döşeli kablolar için düzeltme faktörü (f_1)

İzin Verilen Toprak İşletme Sıcaklığı Sıcaklığı [°C] [°C]	Özgül Termik Toprak Direnci [K.m/W]														
	0,7					1					1,5				
	Yük Faktörü					Yük Faktörü					Yük Faktörü				
	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0	0,5	0,6	0,7	0,85	1,0
90	5	1,241,211,181,131,071,111,091,071,03	1	0,990,980,970,960,94	0,89										
	10	1,231,191,161,111,051,091,071,051,010,980,970,960,950,930,91	0,86												
	15	1,211,171,141,081,031,071,051,020,990,950,950,930,920,910,89	0,84												
	20	1,191,151,121,06	1	1,051,02	1	0,960,930,920,91	0,9	0,880,86	0,81						
	25	–	–	–	–	1,02	1	0,980,94	0,9	0,9	0,880,870,850,84	0,78			
	30	–	–	–	–	–	–	0,950,910,880,870,860,840,830,81	0,75						
	35	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,82	0,8	0,78	0,72
	40	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,68

Tablo 3.2 yeraltındaki kablolar için geçerli toprak özelliklerine ve yük faktörüne göre akım taşıma kapasitesi düzeltme değerleridir.

Tablo 3.3. Toprakta döşeli kablolar için düzeltme faktörü (f_2)

		Toprağa serilmiş ve aralarında 7 cm'den fazla mesafe bulunan birden çok kablo sistemindeki kablolar için düzeltme faktörü (f_2)																			
		Özgül Termik Toprak Direnci [K.m/W]																			
Kablo Tipi	Sistem Sayısı	0,7					1					1,5					2,5				
		Yüklenme					Yüklenme					Yüklenme					Yüklenme				
		0,5	0,6	0,7	0,85	1	0,5	0,6	0,7	0,85	1	0,5	0,6	0,7	0,85	1	0,5	0,6	0,7	0,85	1
XLPE Kablolar 0,6/1kV - 20,3/35kV	1	1,081,050,990,910,851,131,07	1	0,920,851,181,091,010,920,851,191,111,030,930,85																	
	2	1,010,930,860,770,711,030,940,870,780,711,050,950,880,780,711,060,960,880,790,71																			
	3	0,920,840,770,690,620,930,850,770,690,620,950,860,780,690,620,960,860,790,690,62																			
	4	0,880,800,730,650,580,890,800,730,650,580,900,810,740,650,580,910,820,740,650,58																			
	5	0,840,760,690,610,550,850,77	0,7	0,610,550,870,78	0,7	0,620,550,870,780,710,620,55															
	6	0,820,740,670,590,530,830,750,68	0,6	0,530,840,750,68	0,6	0,530,850,760,69	0,6	0,53													
	8	0,790,710,640,570,510,800,710,650,570,510,810,720,650,570,510,810,720,650,570,51																			
	10	0,770,690,620,550,490,780,690,630,550,490,780,700,630,550,490,790,700,630,550,49																			

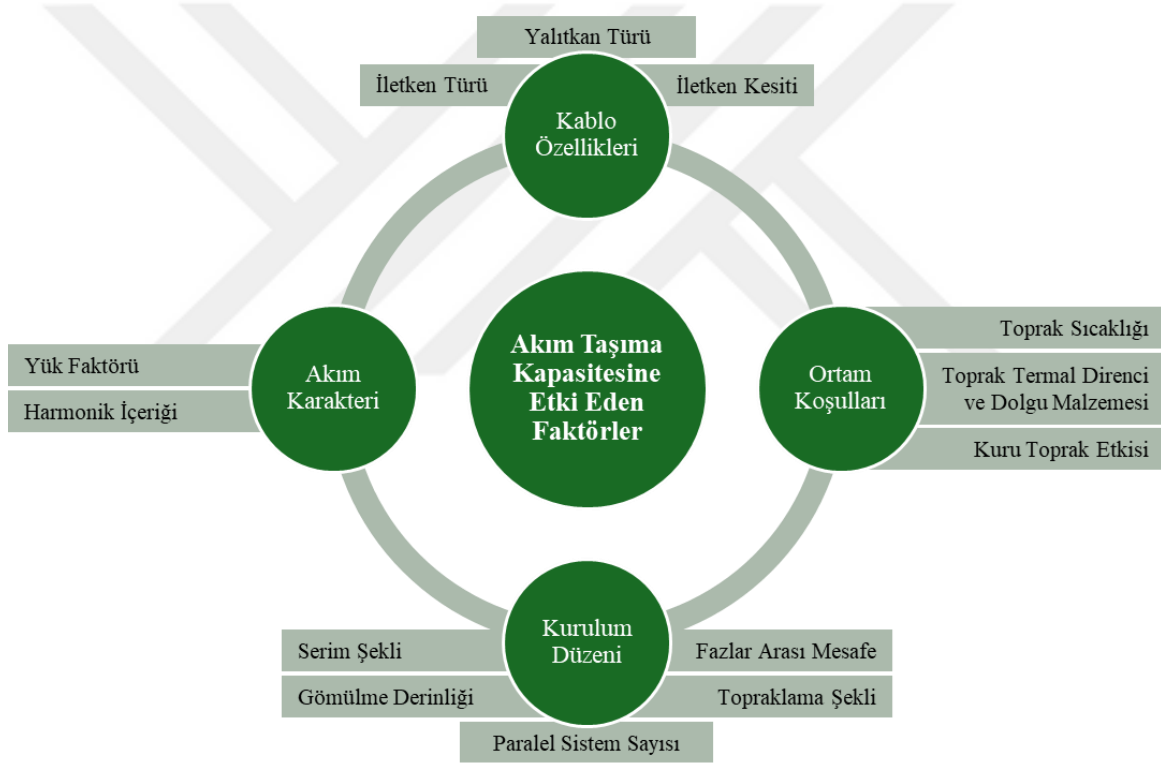
Tablo 3.3 düz yerleşim düzeni ve fazlar arasında 7 cm mesafe bulunan uygulamalar için geçerlidir.

Düzeltilme faktörü yöntemine göre akım taşıma kapasitesi hesaplaması bir örnek üzerinden daha net açıklanabilir. Buna göre 185 mm² bakır kablo düz ve fazlar arası 7 cm mesafeyle toprak altına 2 paralel devre şeklinde serilecek olursa, toprak sıcaklığı 25 °C, toprak termal direnci 1,5 K.m/W ve yük faktörü 0,6 için akım taşıma kapasitesinin tespiti için aşağıdaki prosedür takip edilir:

1. Tablo 3.1 içerisinde 185 mm² düz yerleşim için nominal akım taşıma kapasitesi 503 A olarak tespit edilir.
2. Ardından Tablo 3.2 içerisinden 25 °C toprak sıcaklığı, 1,5 K.m/W toprak termal direnci ve 0,6 yük faktörüne göre f_1 düzeltme faktörü 0,88 olarak tespit edilir.
3. Son olarak Tablo 3.3 içerisinden 1,5 K.m/W toprak termal direnci, 0,6 yük faktörüne ve 2 paralel devreye göre f_2 faktörü 0,95 olarak tespit edilir.
4. Nominal akım taşıma kapasitesi ve düzeltme faktörlerinin çarpılması ile (503x0,88x0,95) ilgili kablolar için akım taşıma kapasitesi 420,5 A olarak hesaplanır.

4. KABLO AKIM TAŞIMA KAPASİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Kabloların izin verilen termal sınırlar içerisinde planlanan ömürleri boyunca sorunsuz çalışacağı garanti edilen akım değeri kablonun akım taşıma kapasitesi olarak isimlendirilmektedir. Nominal akım taşıma kapasitesi kablo üreticisi tarafından belirli ortam ve yerleşim şartları için geçerlidir. Bu şartların değişmesi durumunda akım taşıma kapasitesi de değişecektir. Akım taşıma kapasitesine etki eden faktörlerin sınıflandırması Şekil 4.1 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Akım taşıma kapasitesine etki eden faktörler

Akım taşıma kapasitesine etki eden faktörler kablo özellikleri, ortam koşulları, kurulum düzeni ve akım karakteri olmak üzere dört ana kategoride incelenebilir.

4.1. Yalıtkan Türü

Kabloların akım taşıma kapasitelerini sınırlayan değer yalıtkan katmandaki malzemenin akımın oluşturduğu termal etkiye dayanımıyla ilişkilidir. Buna göre kablonun akım taşıma

kapasitesi değeri kablo yalıtkanının izin verilen en yüksek işletme sıcaklığına ulaşmasına sebep olacak akım değeridir. Kablo yalıtkanı olarak kullanılan en yaygın malzemeler ve bu malzemeler için izin verilen işletme sıcaklıkları Tablo 4.1 içerisinde paylaşılmıştır.

Tablo 4.1. Kablo yalıtkanları için izin verilen işletme sıcaklıkları

Yalıtkan Türü	İzin Verilen İşletme Sıcaklığı [°C]
XLPE	90
PE	70
PVC	70

Tablo 4.1 içerisinde paylaşılan değerlere göre örnek olarak XLPE yalıtkanlı bir kablo için yalıtkan katmanının 90 °C ısınmasına sebep olacak akım değeri ilgili kablonun akım taşıma kapasitesidir (Klimenta ve diğ., 2011).

4.2. İletken Türü

Kabloların iletken katmanları genellikle bakır (CU) ve alüminyum (AL) malzemedен üretilmektedir. Aynı kesitte alüminyum iletkenin direnci bakır iletkenine oranla yaklaşık 1,6 kat daha fazladır. Bu da aynı akımda alüminyum iletkenin daha fazla ısınmasına sebep olur. Diğer bir deyiş ile bakır kablo düşük direncinden dolayı daha az ısınacağı için daha fazla akım taşıyabilmektedir. Yalnızca akım taşıma kapasitesi açısından değerlendirilecek olursa bakır kablonun aynı kesitteki bir alüminyum kabloya göre daha fazla akım taşır (Bao ve diğ., 2017).

4.3. İletken Kesiti

İletken kısmın kesitine bağlı olarak kabloların direnç değerleri değişir. Bu durum denklem 4.1 ile daha net açıklanabilir.

$$R = \frac{\rho}{s} \frac{\Omega}{m} \quad (4.1)$$

S değeri iletken kesiti ve ρ değeri iletkenlik sabitidir. İletkenin kesit değeri arttıkça kablonun direnci azalacağı için aynı akım değerinde küçük kesitli kabloya göre daha az

ısınacaktır. Bu sayede izin verilen işletme sıcaklığına daha yüksek akım değerlerinde ulaşacaktır. Başka bir ifade ile kablo kesiti büyüdükçe akım taşıma kapasitesi de artış gösterir (IEC 60287, 2023).

4.4. Toprak Sıcaklığı

Denklem 3.5 ile akım taşıma kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan formülasyon belirtilmiştir. Δt değeri kablonun izin verilen işletme sıcaklığı ile bulunduğu ortam sıcaklığı arasındaki farkı ifade etmektedir. Buna göre bu farkın artışı akım taşıma kapasitesini arttırırken azalması da akım taşıma kapasitesini olumsuz etkiler. Diğer bir ifade ile akım taşıma kapasitesi toprak sıcaklığı ile ters orantılıdır (Gouda ve diğ., 2018).

4.5. Toprak Termal Direnci ve Dolgu Malzemesi

Toprak termal direnci, toprağın içerisindeki ısı noktasının toprak içerisinde yayılımına gösterdiği engel, toprağın ısı tutma kapasitesi, olarak ifade edilebilir. Bu değer toprağın tanecikli yapısına, tanecik boyutuna ve topraktaki nem miktarına bağlı olarak belirlenir. Toprak termal direncinin büyük olması ısıнын ısı kaynağına yakın çevrede hapsolmasına sebep olur. Termal direncin büyük olduğu ortamlarda kablo sıcaklığını toprak üzerinden aktararak soğuyamayacağı için aynı akım değerinde düşük termal dirençli ortamdaki kablodan daha fazla ısınacaktır. Bir başka ifade ile büyük termal dirençli ortamlarda akım taşıma kapasitesi azalır.

Toprak altındaki kablolar için kazılan kanal genellikle bir miktar termal dolgu malzemesi ile daha sonra bölge toprağının geri doldurulması ile kapatılır. Dolgu malzemesi kablo kanalına ve kabloya mekanik koruma sağlamak, kanal zeminini sağlamlaştırmak ve termal ortamı iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Kullanılan dolgu malzemesi termal açıdan düşük direnç değerlerine sahip oldukları için akım taşıma kapasitesine olumlu etki sağlar. Böyle uygulamalarda toprak ve dolgu malzemelerinin bireysel termal dirençlerine, kanal geometrisine ve dolgu hacmine bağlı olarak eşdeğer bir termal direnç hesaplanır ve akım taşıma kapasitesi buna göre belirlenir (Rerak ve Oclon, 2017).

4.6. Kuru Toprak Etkisi

Toprağın termal direnci içerisindeki nem miktarıyla ilişkilidir. Kabloların yüklenmesi sonucunda oluşan ısı, toprağın kritik sıcaklık değerine ulaşmasına sebep olursa toprak içerisinde kuruma başlar. Topraktaki kurumayla birlikte nem miktarında yaşanacak azalma termal direncin artması ile sonuçlanır. Bu durum da toprak içerisinde kritik sıcaklığı aşan yerlerde farklı aşmayan yerlerde farklı termal direnç oluşur ve eşdeğer termal direnç büyür dolaylı olarak akım taşıma kapasitesinde düşüş yaşanır (Gouda ve diğ., 2018).

4.7. Fazlar Arası Mesafe

Dengeli bir alternatif akım sisteminde bir kablo devresi üç faz kablosundan oluşmaktadır. Fazlar arasındaki yakınlık ısı yayılımı açısından kabloların birbirlerini etkilemesine sebep olur. Kablo ekranlarının tek uçtan topraklandığı durumda fazlar arasında mesafe arttıkça termal açıdan daha iyi bir ortam oluşur. Ancak Ekranların iki uçtan topraklı olduğu kurulumlarda karşıt endüktansların da etkisi dikkate alınmalıdır (IEC 60502, 2024).

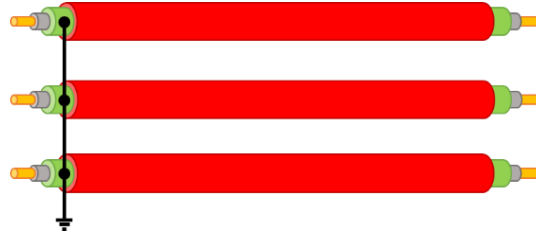
4.8. Topraklama Şekli

Orta gerilim kabloların ekranlarının topraklanma yöntemleri için standartlaşmış uygulamalar mevcuttur. Bunlardan en yaygınları tek uçtan topraklama, iki uçtan topraklama ve çapraz topraklama yöntemleridir.

4.8.1. Tek Uçtan Topraklama

Tek uçtan topraklama yönteminde üç faz kablosunun ekranları/zırhları da kablonun bir ucunda (başında veya sonunda) birleştirilerek topraklanır. Kablonun diğer ucunda ekranlar/zırhlar açık bırakılır. Bu bağlantı şeması Şekil 4.2 içerisinde gösterilmektedir.

Tek uçtan topraklı yöntemde değişken manyetik alanda bulunan ekranda/zırhta indüklenen gerilime kapalı bir akım yolu oluşmadığından sirkülasyon akımları akmaz. Sirkülasyon akımı akmayacağı için ek bir ısınmadan ve akım taşıma kapasitesinde azalmadan bahsedilemez.



Şekil 4.2. Tek uçtan topraklanma bağlantı şeması

Ancak bu yöntemde topraklanmamış uçta gerilim yükselmesi yaşanır. Bu gerilim kablo kesitine, uzunluğuna ve kablodan akan akıma göre hesaplanmaktadır. Kablo sonunda indüklenen gerilim hem işletme güvenliği açısından risk oluşturabilmektedir hem de kablo yalıtkanının delinme dayanımını aşması halinde kablonun zarar görmesine sebep olabilir (Kara ve diğ., 2022).

4.8.2. İki Uçtan Topraklama

İki uçtan topraklama yönteminde kablo boyunca her iki uçta üç faz kablolarının ekranları/zırhları birleştirilerek topraklanırlar. Bu topraklama yöntemine ait bağlantı şeması Şekil 4.3 üzerinde gösterilmektedir.

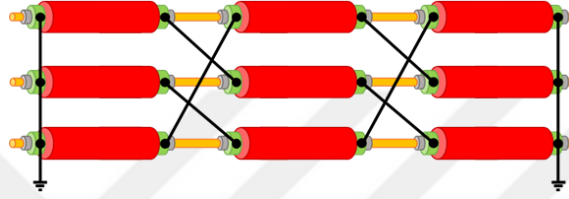


Şekil 4.3. İki uçtan topraklama bağlantı şeması

Kablonun çekirdeğinden akan alternatif akım değişken manyetik alan oluşturur. Bu alan içerisinde kalan ekran/zırh katmanları iletken malzeme oldukları için gerilim indüklenir ve kabloların iki ucu da topraklandığında indüklenen bu gerilime toprak üzerinden yol verilmiş olur. Diğer bir isim ile iki uçtan topraklanan kabloların ekran ve zırhlarında sirkülasyon akımları akar. Bu katmanlardan akacak akım kabloların daha fazla ısınmasına sebep olacağından akım taşıma kapasitelerini olumsuz etkilemektedir (Kara ve diğ., 2022).

4.8.3. Çapraz Topraklama Yöntemi

Çapraz topraklama yönteminde kablo ekranları ve zırhları kablo boyunca bölünerek diğer faz kablolarının ekranları ile bağlanırlar. Kablonun başında ve sonunda üç faz kablusunun ekranı/zırhı da birleştirilerek toprağa bağlanırlar. İlgili yerleşim Şekil 4.4 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Çapraz topraklama bağlantı şeması

Bu sayede kablolar iki uçtan da topraklanarak gerilimli açık uç bırakılmamış ve işletme güvenliği sağlanmış olur. Öte yandan zırhlar çaprazlanarak faz farkından faydalanılarak sirkülasyon akımlarının bileşkesi indirgenmiş olur. Eğer kablo boyunca üç veya üçün tam katı olacak şekilde bölümlere ayrılarak çaprazlama yapılırsa ve bölümlerin uzunluğu eşit olursa sirkülasyon akımının bileşkesi sıfırlanabilir. Böylelikle akım taşıma kapasitesinde azalma yaşanmamış olur (Kara ve diğ., 2022).

4.9. Paralel Sistem Sayısı

Paralel sistem sayısı kabloların elektriksel olarak paralel olmalarında ziyade aynı kablo kanalı içerisinde birden fazla kablo devresi olması durumu olarak ifade edilmektedir. Aynı kanalda birden fazla kablo sistemi bulunması kablo kanalı içerisindeki sıcaklığı tek kablo sistemi olmasından daha fazla arttıracak için kablolar için termal açıdan olumsuz bir koşul meydana gelir.

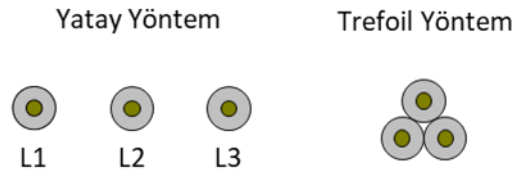
Benzer şekilde kanal içerisinde bir sıcak ısı kaynağı varmışçasına düşünülebilir. Paralel sistem sayısının artması ısı kaynaklarının artması olarak düşünülebilir. Termal koşulların kötüleşmesi ve ortamın sıcaklığının artması akım taşıma kapasitesinin azalmasına sebep olur (Freschi ve Tartaglia, 2013).

4.10. Gömölme Derinliği

Gömölme derinliği her ne kadar kurulum düzeni grubundaki bir etken olarak paylaşılsa da gömölme derinliğinin değişimi ortamın termal direncini değiştireceği için dolaylı olarak ortam koşulları içerisinde de gösterilebilir. Denklem 3.8 akım taşıma kapasitesi hesabında kullanılan ortam direnci değerı olan T_4 direncinin hesabını işaret etmektedir. L değerı kablo kurulumunun derinliğini ifade etmektedir ve derinliğin artışı T_4 direncini de arttıracaktır. Buna bağlı olarak akım taşıma kapasitesinde azalma yaşanması kaçınılmazdır. Benzer şekilde gömölme derinliği azaldığında akım taşıma kapasitesinde iyileşme yaşanır ancak bu durumda mekanik riskler oluşabilir (Dorison ve Anders, 2010).

4.11. Serim şekli

Standartlar, uygulama kılavuzları ve yönergelerde orta gerilim kabloları için iki serim şekli yaygın olarak gösterilmektedir. Bunlardan biri üç faz kablosunun aynı yatay düzlemde yan yana serildiği düz serim diğer bir adıyla yatay serim düzenidir ve genellikle fazlar arasında boşluk bırakılarak uygulanır. İkinci yöntem ise üç faz kablosundan ikisinin aynı yatay düzlemde birbirlerine temaslı ve üçüncü kablonun diğer ikisinin üzerine serildiği üçgen demet diğer bir adıyla trefoil serim düzenidir. Bu iki serim şeklinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Buna bir örnek olarak trefoil serimde daha dar bir kanal ihtiyacından dolayı kazı işlemlerinde avantaj sağlanabilirken arıza durumunda üç faz kablolarını temaslı olmasından dolayı arızasız kabloların da zarar görme riski bulunur.



şekil 4.5. Kablo serim şekilleri

Akım taşıma kapasitesi açısından fazlar arası mesafeyle benzer bir durum mevcuttur. Ekranların tek taraftan topraklı olduğu yapıda yatay yerleşimde kablolar arasındaki boşluklar sebebiyle soğuma imkânı daha iyidir ve trefoil yönteme göre akım taşıma

kapasitesi daha yüksektir. Ancak ekranların iki uçtan topraklı olduğu durumda sıcaklığın yanı sıra karşıt endüktans değeri de akım taşıma kapasitesi üzerinde belirleyici olabilmektedir. Özellikle çekirdek ve ekran kesiti oranına bağlı olarak büyük kesitli kablolarda trefoil yerleşimde yatay yerleşime oranla daha iyi akım taşıma kapasitesi elde edilebilmektedir (Wang ve diğ, 2011).

4.12. Harmonik İçeriği

Akım taşıma kapasitesi hesaplarında genellikle kablodan geçen akımın 50 veya 60 Hertz saf sinüs eğrisine sahip olduğu düşünülmektedir. Ancak uygulamada şebeke frekansında saf sinüs akımla karşılaşmak neredeyse imkansızdır. Kablolardan geçen akımlar farklı frekanslardaki bileşenler de içerebilir. Farklı frekanslarda alternatif akım direnci deri ve yakınlık etkilerinden dolayı değişeceği için her frekans değerindeki akım bileşeninin termal etkisi farklı olacaktır. Ancak bileşke etki incelendiğinde kablodan geçen akımın içerdiği harmonikler hesaba katıldığında harmoniklerin ihmal edildiği duruma göre kablo daha fazla ısınacağı için akım taşıma kapasitesi azalır (Demirel ve Kalenderli, 2023).

4.13. Yük Faktörü

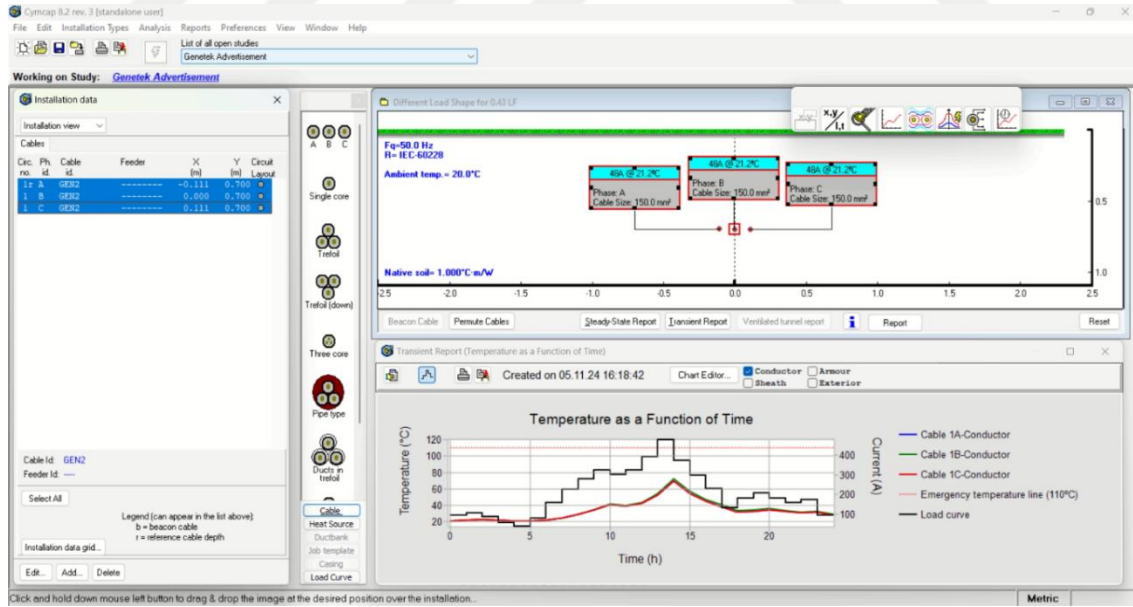
Elektrik şebekesinde birçok yük ve üretim bir günlük süre içerisinde sürekli aynı enerji ihtiyacına sahip değildir. Bu durumda kablolardan geçen akımın gün içerisinde değişimine sebep olmaktadır. Yük faktörü bir kablodan 24 saat içerisinde geçen ortalama akım değerinin aynı 24 saat içerisinde kablodan geçen maksimum akıma oranıdır. Yeraltı kablo uygulamalarında kabloların termal sabitleri ısıma ve soğuma sürelerini etkilemektedir. Bu termal sabitler kabloların daha fazla yüklenmesine imkân sağlamaktadır. Bir örnek olarak %100 yük faktöründe 500 amper akıma maruz kalan kablo %70 yük faktöründe 500 amper akıma maruz kalan kabloya oranla soğumaya fırsat bulamayacağı için çok daha fazla ısınacaktır. Yük faktörünün artışı akım taşıma kapasitesinin azalmasıyla sonuçlanır (IEC 60853, 2008).

5. ORTA GERİLİM KABLO UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Akım taşıma kapasitesine etki eden faktörlerin etkilerinin tespit edilebilmesi için bilgisayar tabanlı sayısal modelleme ve hesap aracı olan CYMCAP Güç Kabloları Analiz yazılımı kullanılmıştır. Faktör etkileri 185 mm² NA2XSYR, 240 mm² N2XSYR(A)Y ve 150 mm² NA2XSY olmak üzere 3 farklı kablo üzerinden incelenmiştir.

5.1. CYMCAP Analiz Yazılımı

CYMCAP yazılımı, güç kablosu kurulumları için akım taşıma kapasitesi ve termik dayanım hesaplarının yapılabilmesi için tasarlanmıştır. Elektrik sistemlerinin tasarımında, güç kablolarının elektriksel ve fiziki özelliklerini kaybetmeden taşıyabilecekleri maksimum akımının belirlenmesi son derece önemlidir. Akım taşıma kapasitesini etkileyen farklı koşulların analizi hem kararlı durum için hem de geçici hal durumu için CYMCAP yazılımı ile kolaylıkla yapılabilmektedir.



Şekil 5.1. CYMCAP analiz ekranı

CYMCAP bu analizleri IEC 60287, IEC 60228, IEC 60853 standartlarına uygun olarak gerçekleştirmektedir. İzotermal olmayan toprak modellemesiyle tüm ortam koşullarının etkilerinin detaylı analizine olanak sağlar.

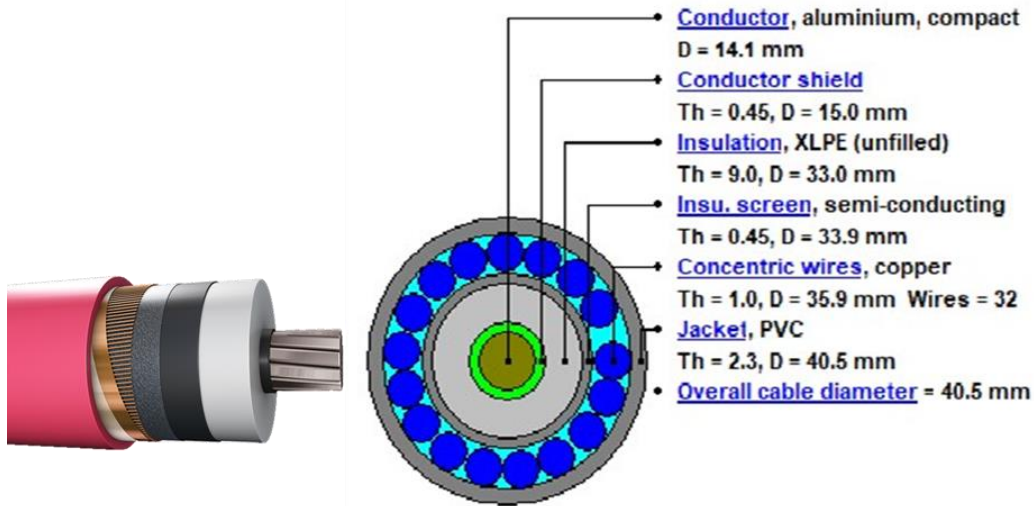
CYMCAP kablo, boru ve yük profilleri için zenginleştirilmiş kütüphaneye sahiptir. Bunun yanı sıra kullanıcı tanımlı yük profillerinin oluşturulmasına, özel boru ve künk tasarlanmasına ve kablo modelinde iletken olmayan özel katmanlar ve malzemeler tanımlamaya da imkân verir.

Yük profiliyle çalışma özelliği kullanıcının eş zamanlı veya farklı zamanlarda sistemleri yükleyerek kablo sistemlerinin verecekleri tepkileri analiz edebilmesine olanak verir.

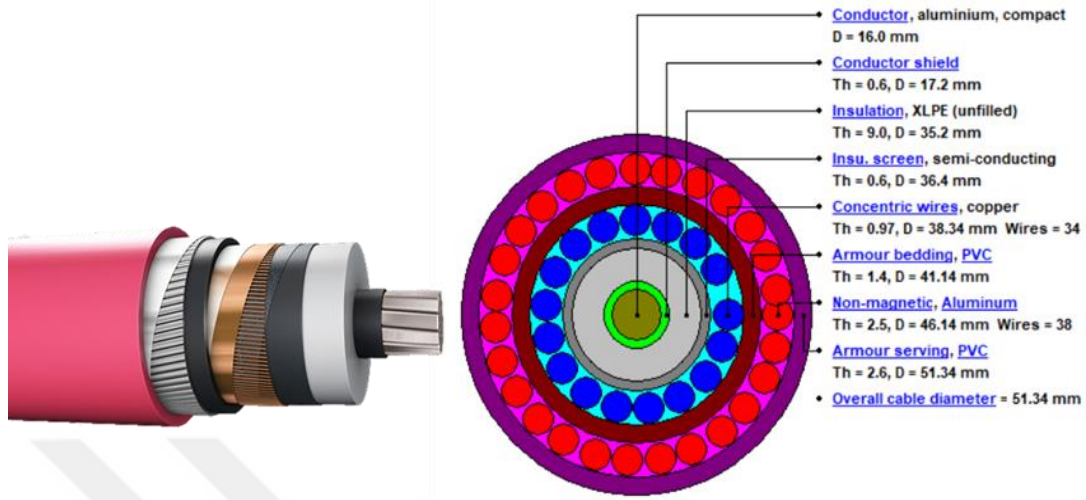
CYMCAP ile düz (yan yana), üçgen demet (trefoil) veya düzensiz şekillerdeki döşeme tipleri modellenebilir. Çoklu sistemler için karşıt endüktansı hesaplarda dikkate alarak optimum kablo seçiminin gerçekleştirilmesini sağlar. Kullanıcı dostu arayüzüyle analizler için detaylı grafiksel gösterime sahiptir. Programın kullanımına yönelik detaylı anlatım Ek-A içerisinde paylaşılmıştır.

5.2. Kablo Verileri

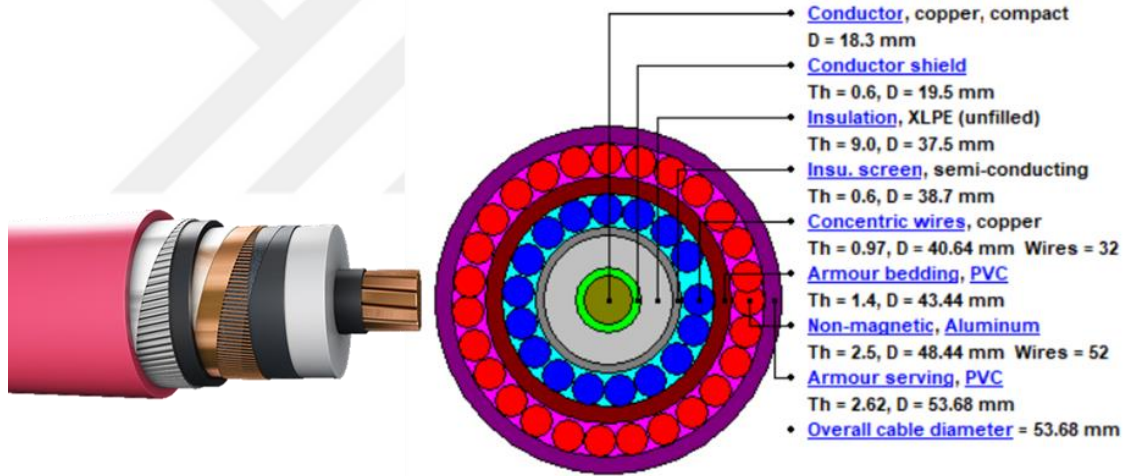
Analiz çalışmalarında 20,3/35 (42)kV NA2XSYR (AL)Y - 1x185/25 mm² Alüminyum, 20,3/35 (42)kV N2XSYR(AL)Y - 1x240/25 Bakır ve 20,3/35 (42)kV NA2XSY - 1x150/25 mm² Alüminyum kablo kullanılmıştır. CYMCAP yazılımında oluşturulan kablo modeli Şekil 5.2, Şekil 5.3, ve Şekil 5.4 üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 5.2. 150 mm² Alüminyum kablo ve CYMCAP modeli



Şekil 5.3. 185 mm² Alüminyum kablo ve CYMCAP modeli



Şekil 5.4. 240 mm² Bakır kablo ve CYMCAP modeli

5.3. Kabuller

Analizler gerçekleştirilirken aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- IEC 60287 standardındaki hesaplarda da kullanıldığı gibi analizlerde toprak sıcaklığı 20 °C kabul edilmiştir.
- Şebeke yönetmeliğinde belirtildiği üzere analizlerde frekans 50 Hz kabul edilmiştir.
- Düzeltme faktörü tablolarında paylaşılan durumlardan farklı olması adına analizlerde kablo ekranları iki uçtan topraklanmıştır.

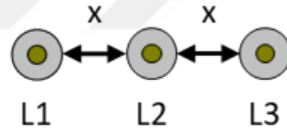
- Analizlerdeki kablolar transpozisyon uygulanmamıştır.

5.4. Analiz Sonuçları

Kablonun akım taşıma kapasitesine etki eden; gömülme derinliği, gömülme yöntemi, toprak termal direnci, yük faktörü, paralel sistem sayısı ve fazlar arası mesafe faktörlerinin her biri yatay (düz) ve trefoil (üçgen demet) döşeme düzenleri için incelenmiştir.

5.4.1. Fazlar Arası Mesafe Etkisi

Fazlar arası mesafenin 0'dan 15 cm'e kadar farklı değerlerde olması durumunda 3 farklı kablo için de akım taşıma kapasitesindeki değişimler hesaplanmıştır. Bu analizler esnasında gömülme derinliği 1 m, gömülme yöntemi direkt toprağa gömülü, toprak termal direnci 1 K.m/W, yük faktörü 1 pu ve paralel sistem sayısı 1'dir. Trefoil yöntemde fazlar arası mesafe karmaşık bir yapı olduğundan bu analizlere dâhil edilmemiştir.



Şekil 5.5. Fazlar arası mesafe değişkeni

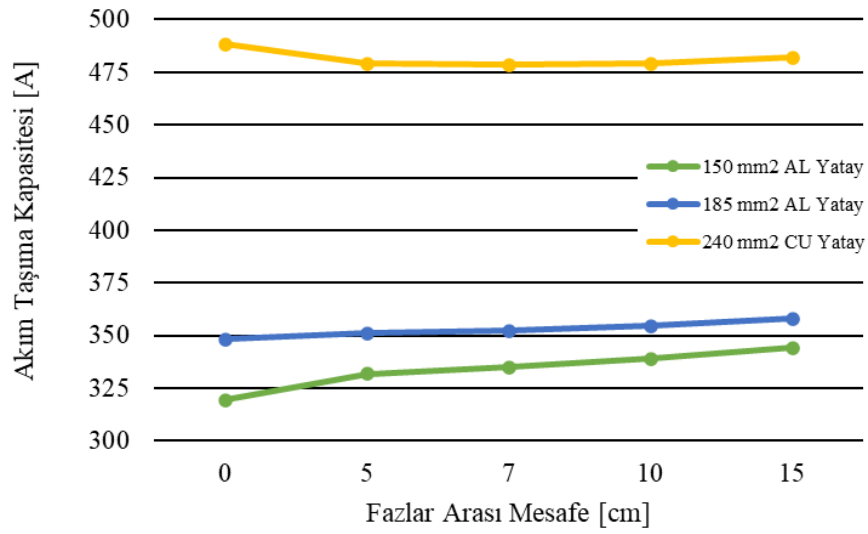
Şekil 5.5 üzerinde gösterilen fazlar arası mesafe değişkeninin (X) değişimine bağlı yapılan hesap sonuçları Tablo 5.1 ve Şekil 5.6 içerisinde sunulmuştur. Analiz sonuçlarına ait program çıktıları Ek-B, Ek-C ve Ek-D içerisinde paylaşılmıştır.

Tablo 5.1. Fazlar arası mesafenin değişimine bağlı analiz sonuçları

Kablo	Gömülme Düzeni	Fazlar Arası Mesafe [cm]	Akım Taşıma Kapasitesi [A]	Değişim [%]
150 mm ² AL	Yatay	0	319,29	-
150 mm ² AL	Yatay	5	331,84	3,9%
150 mm ² AL	Yatay	7	335,04	1,0%
150 mm ² AL	Yatay	10	338,98	1,2%
150 mm ² AL	Yatay	15	344,18	1,5%

Tablo 5.1. (Devam) Fazlar arası mesafenin değişimine bağlı analiz sonuçları

Kablo	Gömülme Düzeni	Fazlar Arası Mesafe [cm]	Akım Taşıma Kapasitesi [A]	Değişim [%]
185 mm ² AL	Yatay	0	348,15	-
185 mm ² AL	Yatay	5	351,01	0,8%
185 mm ² AL	Yatay	7	352,33	0,4%
185 mm ² AL	Yatay	10	354,44	0,6%
185 mm ² AL	Yatay	15	358,04	1,0%
240 mm ² CU	Yatay	0	488,27	-
240 mm ² CU	Yatay	5	479,04	-1,9%
240 mm ² CU	Yatay	7	478,48	-0,1%
240 mm ² CU	Yatay	10	479,08	0,1%
240 mm ² CU	Yatay	15	481,93	0,6%



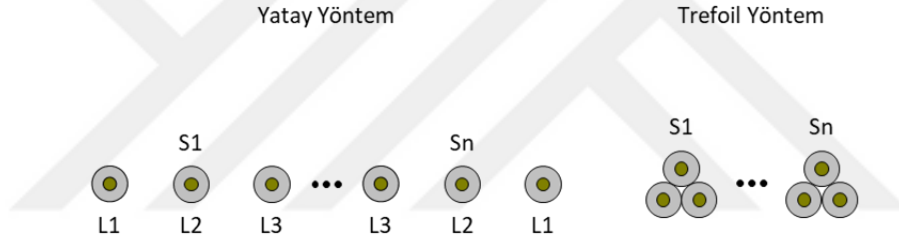
Şekil 5.6. Fazlar arası mesafeye bağlı akım taşıma kapasiteleri

Analiz sonuçlarına göre 150 mm² ve 185 mm² kablolar için fazlar arası mesafe arttıkça akım taşıma kapasitesi de artış göstermektedir. Fazlar arasındaki mesafe 0 cm'den 7 cm mesafeye kadar olan değişimde akım taşıma kapasitesinin artış miktarı azalırken fazlar arasındaki mesafe 7 cm'den daha fazla olduğu durumlarda akım taşıma kapasitesinin artış miktarı da artış göstermektedir. Eğriler üzerinde de görüleceği gibi fazlar arası mesafenin artışı her zaman akım taşıma kapasitesi üzerinde doğrusal bir değişim oluşturmamıştır.

Ancak 240 mm² kablo için en yüksek akım taşıma kapasitesi fazların bitişik olması (fazlar arası mesafe 0) durumunda hesaplanmıştır. Bu kablo için 7 cm mesafeye kadar değişimlerde akım taşıma kapasitesi azalmakta ve 7 cm'den sonra artış göstermektedir.

5.4.2. Paralel Sistem Sayısının Etkisi

Kabloların tek devre olarak serilmesi durumundan yan yana 6 sistem olmaları durumuna kadar 6 farklı yerleşimde 3 farklı kablo için de akım taşıma kapasitesindeki değişimler hesaplanmıştır. Bu analizler esnasında gömülme derinliği 1 m, gömülme yöntemi direkt toprağa gömülü, toprak termal direnci 1 K.m/W, yük faktörü 1 pu ve fazlar arası mesafe 7 cm'dir. Hem yatay yerleşim hem de trefoil yerleşim için analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.7. Paralel sistem sayısı değişkeni

Şekil 5.5 üzerinde gösterilen paralel sistem sayısı değişkeninin (S) değişimine bağlı yapılan hesap sonuçları Tablo 5.2 ve Şekil 5.6 içerisinde sunulmuştur. Analiz sonuçlarına ait program çıktıları Ek-E, Ek-F ve Ek-G içerisinde paylaşılmıştır.

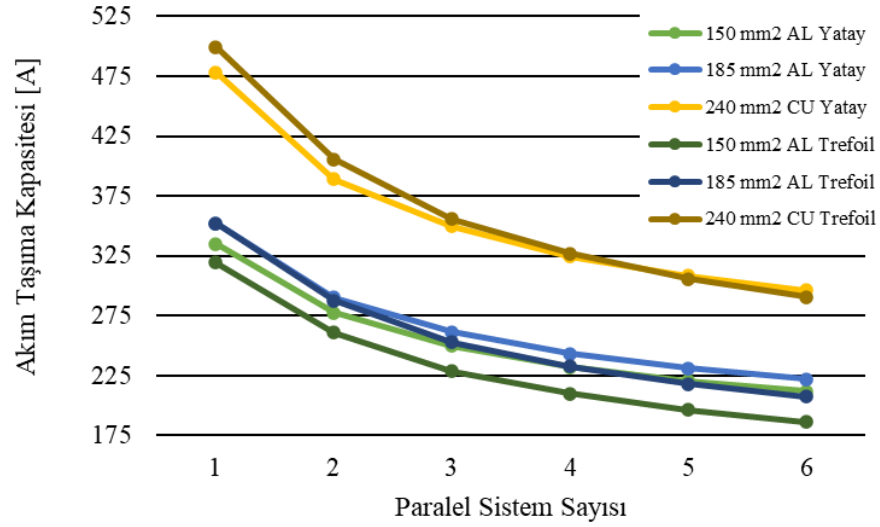
Tablo 5.2. Paralel sistem sayısının değişimine bağlı analiz sonuçları

Kablo	Gömülme Düzeni	Paralel Sistem Sayısı	Akım Taşıma Kapasitesi [A]	Değişim [%]
150 mm ² AL	Yatay	1	335,04	-
150 mm ² AL	Yatay	2	277,64	-17,13%
150 mm ² AL	Yatay	3	249,61	-10,10%
150 mm ² AL	Yatay	4	232,15	-6,99%
150 mm ² AL	Yatay	5	220,53	-5,00%
150 mm ² AL	Yatay	6	211,72	-4,00%
150 mm ² AL	Trefoil	1	319,48	-

Tablo 5.2. (Devam) Paralel sistem sayısının değişimine bağlı analiz sonuçları

Kablo	Gömülme Düzeni	Paralel Sistem Sayısı	Akım Taşıma Kapasitesi [A]	Değişim [%]
150 mm ² AL	Trefoil	2	260,84	-18,35%
150 mm ² AL	Trefoil	3	228,75	-12,30%
150 mm ² AL	Trefoil	4	209,95	-8,22%
150 mm ² AL	Trefoil	5	196,16	-6,57%
150 mm ² AL	Trefoil	6	186,39	-4,98%
185 mm ² AL	Yatay	1	352,33	-
185 mm ² AL	Yatay	2	290,22	-17,63%
185 mm ² AL	Yatay	3	261,53	-9,88%
185 mm ² AL	Yatay	4	243,12	-7,04%
185 mm ² AL	Yatay	5	231,26	-4,88%
185 mm ² AL	Yatay	6	222,27	-3,89%
185 mm ² AL	Trefoil	1	352,04	-
185 mm ² AL	Trefoil	2	287,63	-18,30%
185 mm ² AL	Trefoil	3	252,89	-12,08%
185 mm ² AL	Trefoil	4	232,64	-8,01%
185 mm ² AL	Trefoil	5	217,78	-6,39%
185 mm ² AL	Trefoil	6	207,25	-4,84%
240 mm ² CU	Yatay	1	478,48	-
240 mm ² CU	Yatay	2	388,84	-18,73%
240 mm ² CU	Yatay	3	349,45	-10,13%
240 mm ² CU	Yatay	4	324,38	-7,17%
240 mm ² CU	Yatay	5	308,36	-4,94%
240 mm ² CU	Yatay	6	296,24	-3,93%
240 mm ² CU	Trefoil	1	499,60	-
240 mm ² CU	Trefoil	2	405,61	-18,81%
240 mm ² CU	Trefoil	3	355,66	-12,31%
240 mm ² CU	Trefoil	4	326,87	-8,09%
240 mm ² CU	Trefoil	5	305,75	-6,46%
240 mm ² CU	Trefoil	6	290,85	-4,87%

Analiz sonuçlarına göre tüm kablolar için akım taşıma kapasitesi paralel sistem sayısının artışıyla azalmaktadır. Ancak bu azalma durumu azalarak yaşanmaktadır. Paralel sistem sayısı 1'den 2'ye çıkarken akım taşıma kapasitelerindeki azalma %17 seviyelerindeyken, sistem sayısı 5'ten 6'ya çıkarken akım taşımadaki azalma %4 seviyelerindedir.



Şekil 5.8. Paralel sistem sayısına bağlı akım taşıma kapasiteleri

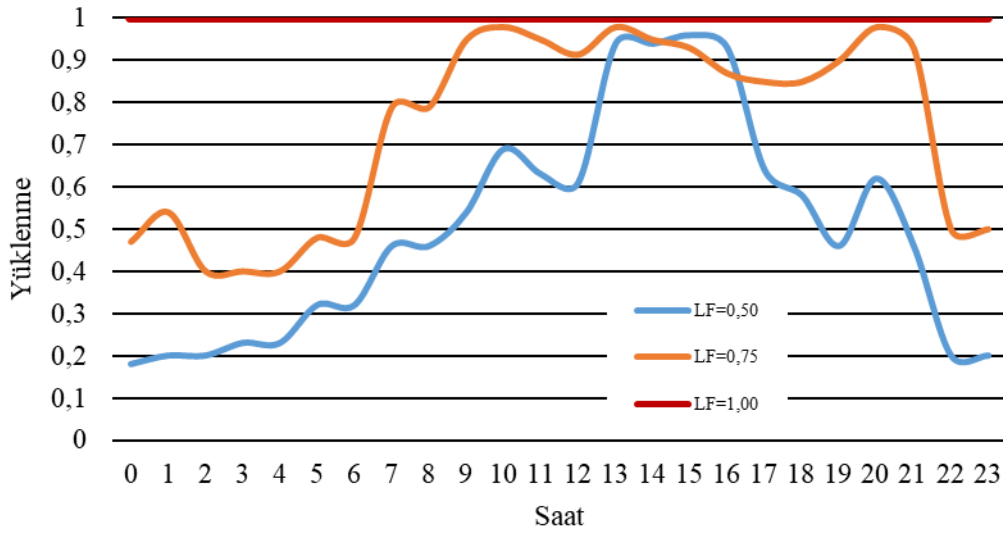
Öte yandan paralel sistem sayısı trefoil yerleşimdeki kabloların akım taşıma kapasitelerini yatay yerleşime göre yaklaşık %1 daha fazla azaltmaktadır. Diğer bir değişle trefoil yerleşimlerin paralel sistem sayılarından daha fazla etkilendiği söylenebilir.

Sonuçlar 240 mm² bakır kablonun paralel sistem sayısının artışından diğer kablolarla göre daha çok etkilendiğini ve akım taşıma kapasitelerinin daha fazla azaldığını göstermektedir.

5.4.3. Yük Faktörü

Kabloların besledikleri yükün karakteristiğine bağlı olarak yük faktörü değişebilmektedir. Yük faktörünün etkisini gözlemleyebilmek adına 0,5 ve 1 değerleri arasında değişimine bağlı olarak 3 farklı kablo için de akım taşıma kapasitesini değerleri hesaplanmıştır. Bu analizler esnasında gömülme derinliği 1 m, gömülme yöntemi direkt toprağa gömülü, toprak termal direnci 1 K.m/W, paralel sistem sayısı 1 ve fazlar arası mesafe 7 cm'dir. Hem yatay yerleşim hem de trefoil yerleşim için analizler gerçekleştirilmiştir.

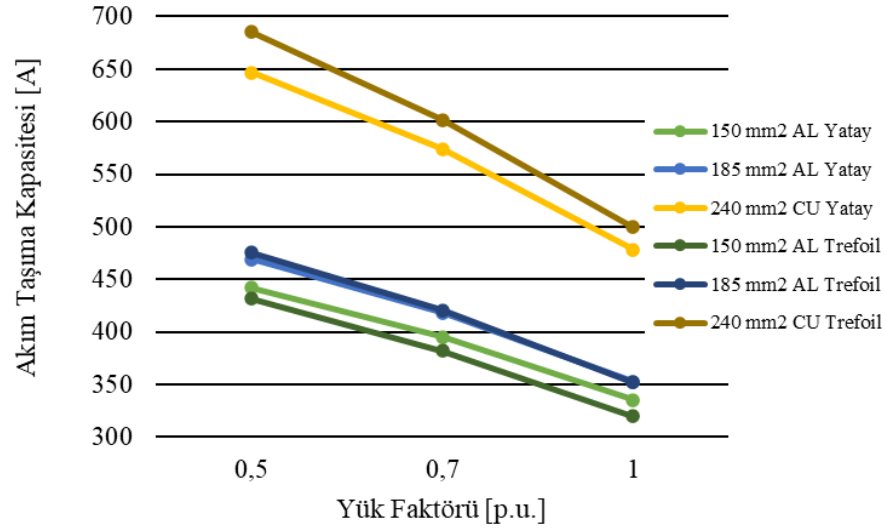
Yük faktörü değişkeninin (Şekil 5.9) değişimine bağlı yapılan hesap sonuçları Tablo 5.3 ve Şekil 5.10 içerisinde sunulmuştur. Analiz sonuçlarına ait program çıktıları Ek-H, Ek-I ve Ek-J içerisinde paylaşılmıştır.



Şekil 5.9. Yük faktörü değişkeni

Tablo 5.3. Yük faktörünün değişimine bağlı analiz sonuçları

Kablo	Gömülme Düzeni	Yük Faktörü [p.u.]	Akım Taşıma Kapasitesi [A]	Değişim [%]
150 mm ² AL	Yatay	0,5	442,10	-
150 mm ² AL	Yatay	0,7	395,30	-10,58%
150 mm ² AL	Yatay	1	335,04	-15,25%
150 mm ² AL	Trefoil	0,5	431,70	-
150 mm ² AL	Trefoil	0,7	381,73	-11,57%
150 mm ² AL	Trefoil	1	319,48	-16,31%
185 mm ² AL	Yatay	0,5	468,79	-
185 mm ² AL	Yatay	0,7	418,51	-10,72%
185 mm ² AL	Yatay	1	352,33	-15,81%
185 mm ² AL	Trefoil	0,5	475,18	-
185 mm ² AL	Trefoil	0,7	420,38	-11,53%
185 mm ² AL	Trefoil	1	352,04	-16,26%
240 mm ² CU	Yatay	0,5	646,83	-
240 mm ² CU	Yatay	0,7	573,98	-11,26%
240 mm ² CU	Yatay	1	478,48	-16,64%
240 mm ² CU	Trefoil	0,5	685,36	-
240 mm ² CU	Trefoil	0,7	601,56	-12,23%
240 mm ² CU	Trefoil	1	499,60	-16,95%



Şekil 5.10. Yük faktörüne bağlı akım taşıma kapasiteleri

Analiz sonuçlarına göre her üç kablo ve bu kabloların her iki serim düzenleri için akım taşıma kapasitesi yük faktörünün artışıyla azalmaktadır. Akım taşıma kapasitesindeki bu azalma miktarı yük faktörünün 1 değerine yaklaşması ile daha da artmaktadır.

Yine yük faktörünün değişimi de 240 mm2 bakır kablonun akım taşıma kapasitesini diğer kablolarla oranla daha fazla etkilemektedir.

5.4.4. Toprak Termal Direncinin Etkisi

Toprak termal direncinin 0,7 K.m/W değerinden 2,5 K.m/W değerine kadar farklı değerlerde olması durumunda 3 farklı kablo için de akım taşıma kapasitesindeki değişimler hesaplanmıştır. Bu analizler esnasında gömülme derinliği 1 m, gömülme yöntemi direkt toprağa gömülü, yük faktörü 1 pu, paralel sistem sayısı 1 ve fazlar arası mesafe 7 cm'dir. Hem yatay yerleşim hem de trefoil yerleşim için analizler gerçekleştirilmiştir.



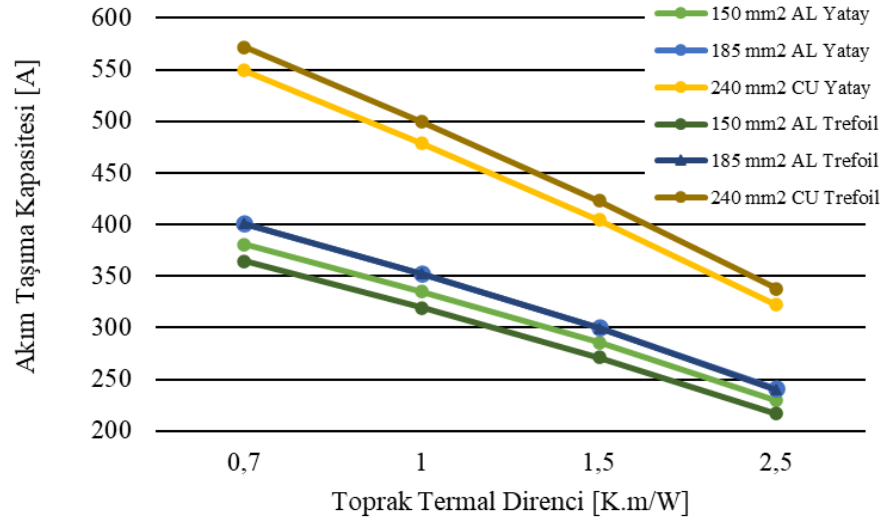
Şekil 5.11. Toprak termal direnci değişkeni

Toprak termal direncinin değişimine (Şekil 5.11) bağlı yapılan hesap sonuçları Tablo 5.4 ve Şekil 5.12 içerisinde sunulmuştur. Analiz sonuçlarına ait program çıktıları Ek-K, Ek-L ve Ek-M içerisinde paylaşılmıştır.

Tablo 5.4. Toprak termal direncinin değişimine bağlı analiz sonuçları

Kablo	Gömülme Düzeni	Toprak Termal Direnci [K.m/W]	Akım Taşıma Kapasitesi [A]	Değişim [%]
150 mm ² AL	Yatay	0,7	380,48	-
150 mm ² AL	Yatay	1	335,04	-11,95%
150 mm ² AL	Yatay	1,5	285,74	-14,71%
150 mm ² AL	Yatay	2,5	229,74	-19,60%
150 mm ² AL	Trefoil	0,7	364,67	-
150 mm ² AL	Trefoil	1	319,48	-12,39%
150 mm ² AL	Trefoil	1,5	271,15	-15,13%
150 mm ² AL	Trefoil	2,5	216,99	-19,97%
185 mm ² AL	Yatay	0,7	400,68	-
185 mm ² AL	Yatay	1	352,33	-12,07%
185 mm ² AL	Yatay	1,5	300,09	-14,83%
185 mm ² AL	Yatay	2,5	240,97	-19,70%
185 mm ² AL	Trefoil	0,7	400,82	-
185 mm ² AL	Trefoil	1	352,04	-12,17%
185 mm ² AL	Trefoil	1,5	299,49	-14,93%
185 mm ² AL	Trefoil	2,5	240,20	-19,80%
240 mm ² CU	Yatay	0,7	548,91	-
240 mm ² CU	Yatay	1	478,48	-12,83%
240 mm ² CU	Yatay	1,5	404,25	-15,51%
240 mm ² CU	Yatay	2,5	322,17	-20,30%
240 mm ² CU	Trefoil	0,7	571,86	-
240 mm ² CU	Trefoil	1	499,60	-12,64%
240 mm ² CU	Trefoil	1,5	422,94	-15,34%
240 mm ² CU	Trefoil	2,5	337,67	-20,16%

Analiz sonuçlarına göre tüm kablolar ve serim düzenleri için toprak termal direnci arttıkça akım taşıma kapasitesi azalma göstermektedir. Ancak termal direnç değeri arttıkça akım taşıma kapasitesindeki değişim miktarı da azalmaktadır.



Şekil 5.12. Toprak termal direncine bağlı akım taşıma kapasiteleri

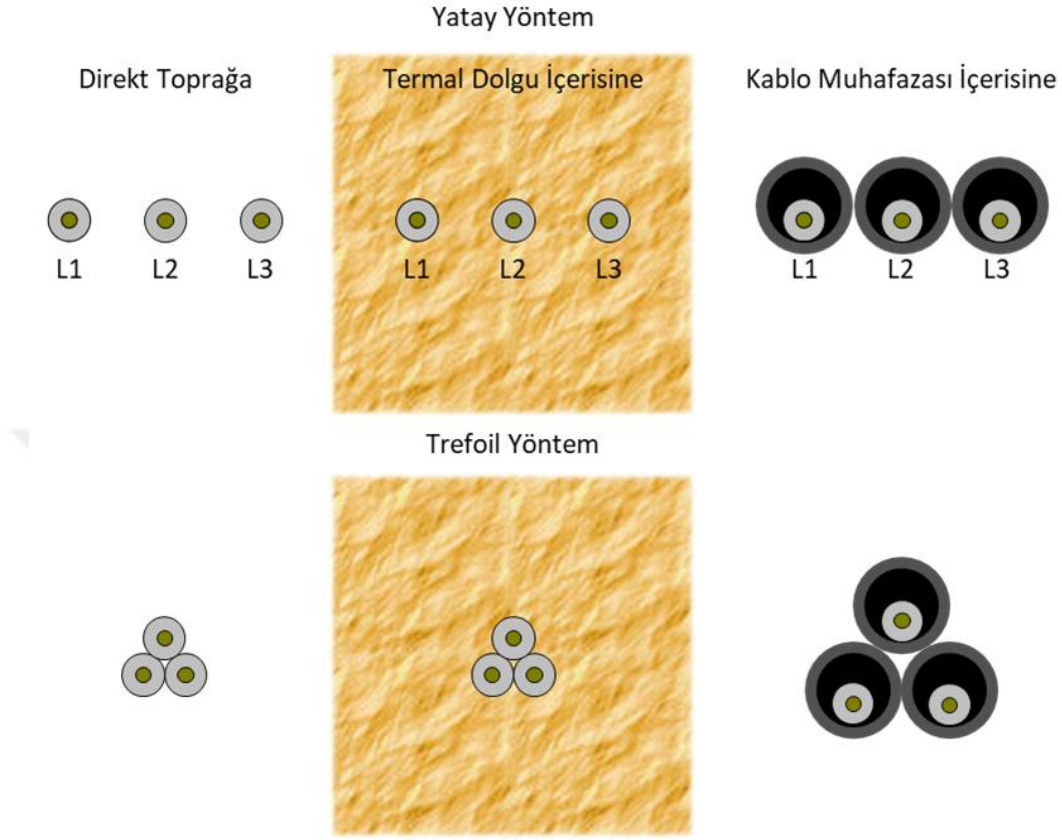
Toprak termal direncinin artışı 150 mm² kabloda yatay yerleşime göre trefoil yerleşimde akım taşıma kapasitelerini daha fazla azaltıcı yönde etkilerken 240 mm² kabloda yatay yerleşimde trefoil yerleşime oranla daha fazla azaltıcı yönde etkilemektedir.

Kablo kesiti arttıkça toprak termal direncinin kabloların akım taşıma kapasiteleri üzerindeki olumsuz etkisi de artmaktadır.

5.4.5. Gömülme Yöntemi

Kabloların doğrudan toprak altına gömülmesi, termal dolgu malzemesi içerisine gömülmesi ve muhafaza borusu içerisine yerleştirilmesi durumunda 3 farklı kablo için de akım taşıma kapasitesindeki değişimler hesaplanmıştır. Bu analizler esnasında gömülme derinliği 1 m, toprak termal direnci 1 K.m/W, yük faktörü 1 pu, paralel sistem sayısı 1 ve fazlar arası mesafe 7 cm'dir. Hem yatay yerleşim hem de trefoil yerleşim için analizler gerçekleştirilmiştir.

Gömülme yönteminin değişimine (Şekil 5.13) bağlı yapılan hesap sonuçları Tablo 5.5 ve Şekil 5.14 içerisinde sunulmuştur. Analiz sonuçlarına ait program çıktıları Ek-N, Ek-O ve Ek-P içerisinde paylaşılmıştır.



Şekil 5.13. Gömülme yöntemi değişkeni

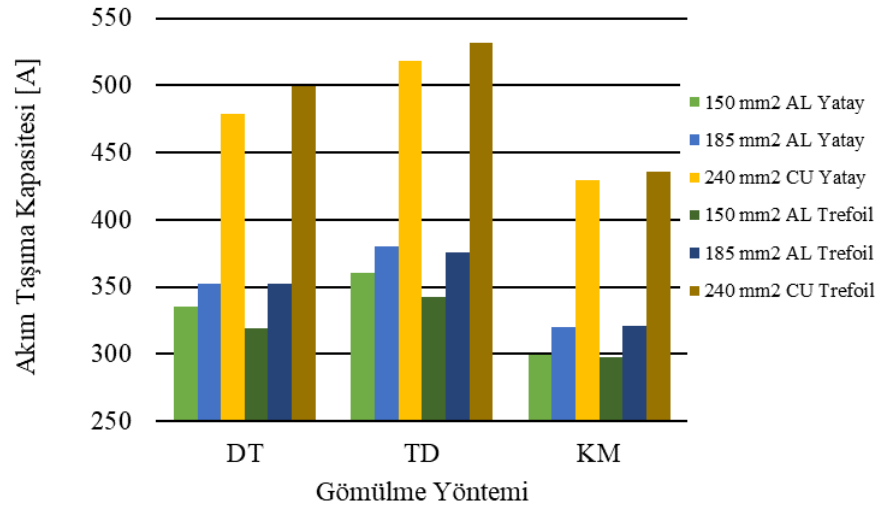
Tablo 5.5. Gömülme yönteminin değişimine bağlı analiz sonuçları

Kablo	Gömülme Düzeni	Gömülme Yöntemi	Akım Taşıma Kapasitesi [A]	Değişim [%]
150 mm ² AL	Yatay	DT	335,04	-
150 mm ² AL	Yatay	TD	360,57	7,62%
150 mm ² AL	Yatay	KM	299,18	-17,03%
150 mm ² AL	Trefoil	DT	319,48	-
150 mm ² AL	Trefoil	TD	342,15	7,10%
150 mm ² AL	Trefoil	KM	297,12	-13,16%
185 mm ² AL	Yatay	DT	352,33	-
185 mm ² AL	Yatay	TD	379,80	7,80%
185 mm ² AL	Yatay	KM	320,18	-15,70%
185 mm ² AL	Trefoil	DT	352,04	-
185 mm ² AL	Trefoil	TD	375,23	6,59%
185 mm ² AL	Trefoil	KM	320,56	-14,57%

Tablo 5.5. (Devam) Gömülme yönteminin değişimine bağlı analiz sonuçları

Kablo	Gömülme Düzeni	Gömülme Yöntemi	Akım Taşıma Kapasitesi [A]	Değişim [%]
240 mm ² CU	Yatay	DT	478,48	-
240 mm ² CU	Yatay	TD	517,91	8,24%
240 mm ² CU	Yatay	KM	429,41	-17,09%
240 mm ² CU	Trefoil	DT	499,60	-
240 mm ² CU	Trefoil	TD	532,07	6,50%
240 mm ² CU	Trefoil	KM	436,01	-18,05%

DT: Direk Toprağa, TD: Termal Dolgu İçerisine, KM: Kablo Muhafazası İçerisine



Şekil 5.14. Gömülme yöntemine bağlı akım taşıma kapasiteleri

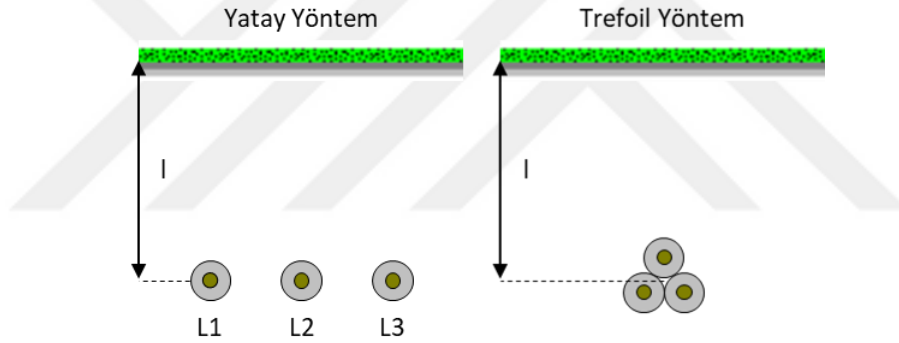
Analiz sonuçlarına göre tüm kablolar ve serim düzenleri için en düşük akım taşıma kapasiteleri kabloların muhafaza borularının içerisine yerleştirildiği yöntemde tespit edilmiştir. Kullanılan muhafaza borusu standart 4 numara (90mm dış ap) Polietilen kablo borusudur ve analizde boru içi hava ile doludur.

Akım taşıma kapasitesi için en iyi yerleşim durumu ise kabloların termal dolgu malzemesi içerisinde bulunduğu yerleşim durumudur. Analizde kullanılan termal dolgu malzemesi 0,7 K.m/W ve toprak 1,0 K.m/W değerindedir.

Analizlerde ortaya çıkan diğer bir sonuçta trefoil serim düzenindeki kabloların akım taşıma kapasiteleri incelenen kurulum şartlarında yatay serime göre gömülme yöntemlerinden daha az etkilendiğidir.

5.4.6. Gömülme Derinliği

Gömülme derinliğinin 0,5 m değerinden 1,0 m değerine kadar farklı değerlerde olması durumunda 3 farklı kablo için de akım taşıma kapasitesindeki değişimler hesaplanmıştır. Bu analizler esnasında gömülme yöntemi direkt toprağa gömülü, toprak termal direnci 1 K.m/W, yük faktörü 1 pu, paralel sistem sayısı 1 ve fazlar arası mesafe 7 cm'dir. Hem yatay yerleşim hem de trefoil yerleşim için analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.15. Gömülme derinliği değişkeni

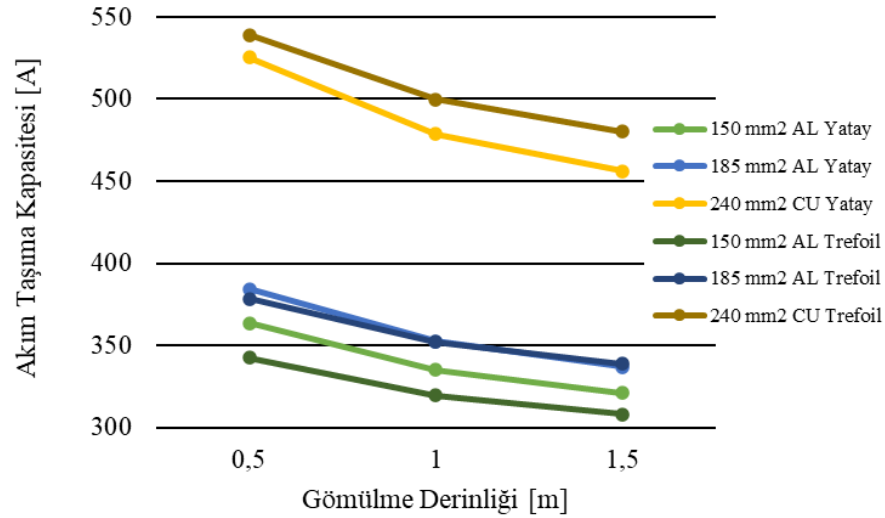
Şekil 5.15 üzerinde gösterilen gömülme yönteminin değişimine (l) bağlı yapılan hesap sonuçları Tablo 5.6 ve Şekil 5.16 içerisinde sunulmuştur. Analiz sonuçlarına ait program çıktıları Ek-R, Ek-S ve Ek-T içerisinde paylaşılmıştır.

Tablo 5.6. Gömülme derinliğinin değişimine bağlı analiz sonuçları

Kablo	Gömülme Düzeni	Gömülme Derinliği [m]	Akım Taşıma Kapasitesi [A]	Değişim [%]
150 mm ² AL	Yatay	0,5	363,53	-
150 mm ² AL	Yatay	1	335,04	-7,84%
150 mm ² AL	Yatay	1,5	321,13	-4,15%
150 mm ² AL	Trefoil	0,5	342,32	-
150 mm ² AL	Trefoil	1	319,48	-6,67%

Tablo 5.6. (Devam) Gömülme derinliğinin değişimine bağlı analiz sonuçları

Kablo	Gömülme Düzeni	Gömülme Derinliği [m]	Akım Taşıma Kapasitesi [A]	Değişim [%]
150 mm ² AL	Trefoil	1,5	308,02	-3,59%
185 mm ² AL	Yatay	0,5	384,16	-
185 mm ² AL	Yatay	1	352,33	-8,29%
185 mm ² AL	Yatay	1,5	336,95	-4,37%
185 mm ² AL	Trefoil	0,5	378,34	-
185 mm ² AL	Trefoil	1	352,04	-6,95%
185 mm ² AL	Trefoil	1,5	338,93	-3,72%
240 mm ² CU	Yatay	0,5	525,32	-
240 mm ² CU	Yatay	1	478,48	-8,92%
240 mm ² CU	Yatay	1,5	456,17	-4,66%
240 mm ² CU	Trefoil	0,5	538,89	-
240 mm ² CU	Trefoil	1	499,60	-7,29%
240 mm ² CU	Trefoil	1,5	480,16	-3,89%



şekil 5.16. Gömülme derinliğine bağlı akım taşıma kapasiteleri

Analiz sonuçlarına göre tüm kablolar ve serim düzenleri için gmlme derinliğinin artışı ile akım taşıma kapasitelerinde azalma yaşanmaktadır. Ancak derinlik 0,5 metreden 1 metreye değişirken akım taşıma kapasitesinde yaşanan azalma gmlme derinliği 1 metreden 1,5

metreye değişirken akım taşıma kapasitesinde yaşanan azalmadan daha fazladır. Başka bir ifade ile ilk 1 metre içerisindeki değişimler akım taşıma kapasitesini daha fazla etkilemektedir.

Kesit büyüdükçe kabloların akım taşıma kapasitesi gömölme derinliğinden daha fazla etkilenmektedir.

Trefoil serim düzenlerindeki kabloların akım taşıma kapasiteleri ise yatay serimdekilere oranla gömölme derinliğinden daha az etkilenmektedir.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji ihtiyacının karşılanması sürecinde üretim ve tüketim noktaları arasındaki köprü havai hat ve kablolar ile kurulmaktadır. Enerjiye olan ihtiyaç göz önüne alındığında bu köprünün kesilmemesi oldukça önemlidir. Bu sebeple kabloların boyutlandırılması enerji sürekliliği açısından kritik bir hal almıştır. Kablolar boyutlandırılırken dikkat edilen kriterlerden biri de üzerlerinden geçecek akım değeri ve bu akımın oluşturacağı termal etkilere dayanımıdır. Bu kriter akım taşıma kapasitesi hesapları adı altında incelenir. Bir kablo için hesaplanan akım taşıma kapasitesini etkileyen birçok parametre mevcuttur ve bu parametrelerin etkilerinin doğru tespit edilmesi akım taşıma kapasitesi hesaplarının güvenilirliği açısından hayati önem arz etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında orta gerilim kablolarının genel yapıları, kabloları oluşturan materyaller, kabloların akım taşıma kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılan yöntemler ve akım taşıma kapasitesine etki eden etki eden faktörler üzerine incelemelerde bulunulmuştur. Ardından kesiti, iletken türü ve yapısı farklı üç adet orta gerilim kablosu bilgisayar tabanlı bir hesaplama aracında modellenmiştir. Kablo ekranlarının iki uçtan topraklı olduğu durum için akım taşıma kapasitesine etki eden faktörlerden bir kısmı incelemek adına seçilmiştir. Fazlar arası mesafe, paralel sistem sayısı, yük faktörü, toprak termal direnci, gömülme yöntemi ve gömülme derinliği olmak üzere 6 farklı değişkenin farklı değerlere sahip olmaları durumunda akım taşıma kapasiteleri her üç kablo için de hesaplanmış ve etkiler değerlendirilmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan hesaplama ve analiz çalışmaları ile akım taşıma kapasitesine etki eden faktörler için tespit edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Ekranları iki uçtan topraklı kablolarda fazlar arası mesafenin değişimi akım taşıma üzerinde zıt etkileri olan termal ve karşıt endüktans değerlerini etkilemektedir. Bu sebeple tek uçtan topraklı kablolar gibi fazlar arası mesafeyi arttırmak her zaman akım taşıma kapasitesi için en iyi sonucu vermeyebilir. Bu değer etkisi kablo ve ekran kesitlerine bağlı olarak değişkenlik gösterir.

- Paralel sistem sayısının artışı akım taşıma kapasitesinin azalmasına sebep olmaktadır. Ancak paralel sistem sayısı 4'ün üzerine çıktıkça akım taşıma kapasitesi daha az etkilenmektedir.
- Yük faktörü değerinin artışıyla kabloların soğumalarına daha az imkân sağlanmakta ve akım taşıma kapasitesi azalmaktadır.
- Toprak termal direncinin artışı kablonun bulunduğu ortamın ısıyı tutmasına sebep olmakta ve akım taşıma kapasitesini azaltıcı yönde etkilemektedir.
- Gömülme yöntemleri kabloların bulundukları termal ortamı etkilemektedir. Genel olarak termal dolgu malzemesi gibi termal ortamı iyileştirecek kurulumlar akım taşıma kapasitesini arttırıcı yönde; kablo muhafazası gibi izolasyon ile termal ortamı kötüleştirecek kurulumlar akım taşıma kapasitesini azaltıcı yönde etkilemektedir.
- Gömülme derinliği toprağın termal direncinin kabloya yansımaları değiştirir. Derinlik arttıkça toprak termal direncinin yansıması da artmakta ve akım taşıma kapasitesinde azalma yaşanmaktadır.
- Trefoil yerleşimlerde kabloların birbirlerine temas etmeleri sebebiyle yatay kurulumlara oranla termal ortamdan daha az etkilenmektedir. Bu sebeple termal ortamı etkileyen faktörler yatay yerleşimdeki kabloların akım taşıma kapasitelerinde daha baskın sonuçlar vermektedir.
- İncelenen faktörler genel olarak, kablo kesiti büyüdükçe akım taşıma kapasitesini daha fazla etkilemektedir.

Bu sonuçlar, modellerdeki kabloların ekranlarının çift taraftan topraklı olması da dikkate alındığında, elektrik sistemlerinde kablo boyutlandırmaya yönelik karar alma süreçlerinde yardımcı bir kılavuz olarak katkı sağlayacaktır. Buna ek olarak literatürdeki güncel konulardan biri olan kablo ömrünün tayin edilmesi açısından akım taşıma kapasitesini etkileyen faktörlerin kablo ömrüyle ilişkisi de araştırılmaya değer bir konu olacaktır ve bu tez bahsedilen konulara temel oluşturabilecektir.

KAYNAKLAR

- Ahmad, S., Rizvi, Z., Khan, M.A., Ahmad, J., Wuttke, F. (2019). Experimental Study of Thermal Performance Of The Backfill Material Around Underground Power Cable Under Steady And Cyclic Thermal Loading. *Materials Today: Proceedings*, 17(1), 85-95. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.06.404
- Al-Khalidi H., Kalam, A. (2006). The Impact of Underground Cables on Power Transmission and Distribution Networks. *2006 IEEE International Power and Energy Conference*, Putra Jaya, Malaysia, 28-29 Kasım 2006.
- Anders, G.J., Foty, M.S., Croall, S.C. (1990). Cable Environment Analysis And The Probabilistic Approach To Cable Rating. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 5(3), 1628-1633. DOI: 10.1109/61.58009
- Anders, G.J., Vainberg, M., Horrocks, D.J., Foty, S.M., Motlis J., Jarnicki, J. (1993). Parameters Affecting Economic Selection of Cable Sizes. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 8(4), 1661-1667. DOI: 10.1109/61.248270
- Anders, G.J., Mróz, M., Gulski, E. (2023). Soil Dryout in the Vicinity of Cables With Cyclic Load Installed in a Backfill. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 38(2), 1267-1276. DOI: 10.1109/TPWRD.2022.3211851
- Arancio, J., Moctar, A.O.E., Tuan, M.N., Tayat, F., Roques, J.P. (2020). A Model for the Thermal Behaviour of an Offshore Cable Installed in a J-Tube. *Proceedings*, 58(1), 31. DOI: 10.3390/WEF-06936
- Bao, W., Lin, L., Song, D., Guo, H., Chen, L., Sun, L., Liu, M., Chen, J. (2017). Comparative Study on Life Cycle Environmental Impact Assessment of Copper and Aluminium Cables. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 94.
- Bates, C., Malmedal K., Cain, D. (2015). Cable Ampacity Calculations: A Comparison of Methods. *2015 IEEE Rural Electric Power Conference*, Asheville, NC, USA, 19-21 Nisan 2015.
- Brakelmann, H., Anders, G.J. (2021). Transient Thermal Response of Power Cables With Temperature Dependent Losses. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 36(5), 2777-2784. DOI: 10.1109/TPWRD.2020.3026779
- Bustamante, S., Mínguez, R., Arroyo, A., Mañana, M., Laso, A., Castro, P., & Martínez, R. (2019). Thermal Behaviour Of Medium-Voltage Underground Cables Under High-Load Operating Conditions. *Applied Thermal Engineering*, 156(1), 444-452. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2019.04.083

- Campus A., Ulrich, M. (2003). 20 Years Of Experience With XLPE Copolymer Power Cable Insulation. *JiCable*, 350.
- Che, C., Yan, B., Fu, C., Li, G., Qin, C., Liu, L. (2022). Improvement of Cable Current Carrying Capacity Using COMSOL Software. *Energy Reports*, 8(15), 931-942. DOI: 10.1016/j.egyr.2022.10.095
- Chippendale, R.D., Pilgrim, J.A., Goddard, K.F., & Cangy, P. (2017). Analytical Thermal Rating Method for Cables Installed in J-Tubes. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(4), 1721-1729. DOI: 10.1109/TPWRD.2016.2571844
- CIGRE Working Group B1.30, (2013). Cable Systems Electrical Characteristics. *Cigre Publication Technical Brochure*, 2013.
- CIGRE Working Group B1.56, (2022). Power Cable Rating Examples for Calculation Tool Verification. *Cigre Publication Technical Brochure*, 2022.
- CIGRE Working Group B1.61, (2022). Installation of Underground HV Cable Systems. *Cigre Publication Technical Brochure*, 2022.
- Cywiński, A., Chwastek, K.R., Kusiak, D., Jabłoński, P. (2020). Optimization of Spatial Configuration of Multistrand Cable Lines. *Energies*, 13(22), 5923. DOI: 10.3390/en13225923
- Czapp, S., Ratkowski, F. (2021). Optimization of Thermal Backfill Configurations for Desired High-Voltage Power Cables Ampacity. *Energies*, 14(5), 1452. DOI: 10.3390/en14051452
- Demiröl, Y.B., Kalenderli, Ö. (2023). Effect of Laying Parameters and Non-sinusoidal Loading Condition of High-Voltage Underground Cables on Electrical Performance by Finite Element Method. *2023 IEEE Belgrade PowerTech*, Belgrade, Serbia, 25-29 Haziran.
- DIN VDE. (1995). *Power Cables: Current-Carrying Capacity, General, Conversion Factors* (0276-1000).
- Dorison, E., Anders, G.J., Lesur, F. (2010). Ampacity Calculations for Deeply Installed Cables. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(2), 524-533. DOI: 10.1109/TPWRD.2009.2033961
- ELECTRA Working Group 02.21, (1986). Current Ratings of Cables Buried in Partially Dried-out Soil. *Electra*, 1986.

- Freschi, F., Tartaglia, M. (2006). Power Lines Made of Many Parallel Single-Core Cables: A Case Study. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 49(4), 1744-1750. DOI: 10.1109/TIA.2013.2257979
- Giglio, D., de León, F. (2023). Dynamic Thermal Model for Different Size Trefoil Power Cables With Various Loads in Non-Forced-Ventilated Tunnels. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 38(2), 1286-1296. DOI: 10.1109/TPWRD.2022.3212376
- Gomes, P.V., & Saraiva, J.T. (2019). State-of-The-Art of Transmission Expansion Planning: A Survey From Restructuring to Renewable and Distributed Electricity Markets. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 111(1), 411-424. DOI: 10.1016/j.ijepes.2019.04.035
- Gouda, O.E., El Dein, A.Z., Amer, G.M. (2011). Effect of the Formation of the Dry Zone Around Underground Power Cables on Their Ratings. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26(2), 972-978. DOI: 10.1109/TPWRD.2010.2060369
- Gouda, O.E., Osman, G.F., Salem, W.A., Arafa, S.H. (2018). Load Cycling of Underground Distribution Cables Including Thermal Soil Resistivity Variation with Soil Temperature and Moisture Content. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12(18), 4125-4133. DOI: 10.1049/iet-gtd.2018.5589
- Han, J., Hao, Y., Deng, J., Zhang, G. (2020). Analysis of Current Carrying Capacity and Temperature Field of Power Cables Under Different Laying Modes. *2020 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE)*, Beijing, China, 15 Aralık 2020.
- Heiden, P.Z., Priefer, J., Beverungen, D. (2024). Predictive Maintenance on the Energy Distribution Grid—Design and Evaluation of a Digital Industrial Platform in the Context of a Smart Service System. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 3641-3655. DOI: 10.1109/TEM.2024.3352819
- Holyk, C., Anders, G.J. (2015). Power Cable Rating Calculations - A Historical Perspective History. *IEEE Industry Applications Magazine*, 21(4), 6-64. DOI: 10.1109/MIAS.2015.2417094
- IEC. (2023). *Electric Cables - Calculation of the current rating – All Parts* (IEC 60287).
- IEC. (2023). *Power Cables with Extruded Insulation and Their Accessories for Rated Voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) – All Parts* (IEC 60502).
- IEC. (2008). *Calculation of The Cyclic and Emergency Current Rating of Cables* (IEC 60853).

- IEEE. (1994). *Power Cable Ampacity Tables* (IEEE Std 835-1994).
- IEEE. (2014). *IEEE Guide for Bonding Shields and Sheaths of Single-Conductor Power Cables Rated 5 kV through 500 kV* (IEEE Std 575-1994).
- Kara, S., Alboyaci, B., Özyeşil, A. (2021). Orta Gerilim Yeraltı Güç Kablolarında Zırh Topraklama Yöntemlerinin Analizi. *Journal of Polytechnic*, 25(4), 1587-1594. DOI: 10.2339/politeknik.846235
- Klimenta, D., Radosavljević, J., Jevtić, M., Raičević, V., Tasic, D.S., & Todorović, A. (2012). Insulation modelling for thermal FEM analysis of PVC and XLPE cables under fault conditions. *European Transactions on Electrical Power*, 22, 1093-1111. DOI: 10.1002/etep.627
- León, F.D. (2005). Calculation of underground cable ampacity. *CYME International T&D*.
- Li, L., Yong, J., Xu, W. (2020). Single-Sheath Bonding—A New Method to Bond/Ground Cable Sheaths. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 35(2), 1065-1068. DOI: 10.1109/TPWRD.2019.2929691
- Liang, M. (1999). An Assessment of Conductor Temperature Rises of Cables, Caused by A Sudden Application of Short Pulse in A Daily Cyclic Load. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 14(2), 307-313. DOI: 10.1109/61.754067
- Liao, Y., Liu, H., Yuan, J., Xu, Y., Zhou, W., Zhou, C. (2019). A Holistic Approach to Risk-Based Maintenance Scheduling for HV Cables. *IEEE Access*, 7, 118975-118985. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2936419
- Lidén, H., Adl-Zarrabi, B., & Sundberg, J. (2023). Drying of Cable Backfill by Vapour Diffusion Balanced by Capillary Water Suction - A Laboratory Experiment with Altered Groundwater Levels. *Case Studies in Thermal Engineering*, 47, 102941. DOI: 10.1016/j.csite.2023.102941
- Lin, Y., Xu, Z. (2015). Cable Sheath Loss Reduction Strategy Research Based on the Coupled Line Model. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30(5), 2303-2311. DOI: 10.1109/TPWRD.2015.2414655
- Liu, C. (2019). Comparison and Selection of Three-Core Cable and Single-Core Cable. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 300.
- Maśnicki, R., Mindykowski, J., & Palczynska, B. (2022). Experiment-Based Study of Heat Dissipation from the Power Cable in a Casing Pipe. *Energies*, 15(13), 4518. DOI: 10.3390/en15134518

- Metwally, I.A., Al-Badi, A., Farsi, A.S. (2013). Factors Influencing Ampacity and Temperature of Underground Power Cables. *Electrical Engineering*, 95, 383-392. DOI: 10.1007/s00202-012-0271-5
- Morched, A.S., Gustavsen, B., Tartibi, M. (1999). A universal model for accurate calculation of electromagnetic transients on overhead lines and underground cables. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 14(3), 1032-1038. DOI: 10.1109/61.772350
- Neher, J.H., McGrath, M.H. (1957). The calculation of the temperature rise and load capability of cable systems. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. Part III: Power Apparatus and Systems*, 76(3), 752-764. DOI: 10.1109/AIEEPAS.1957.4499653
- Oćłoń, P., Taler, D., Cisek, P., Pilarczyk, M. (2015). Fem-Based Thermal Analysis of Underground Power Cables Located in Backfills Made of Different Materials. *Strength of Materials*, 47, 770-780. DOI: 10.1007/s11223-015-9713-4
- Oćłoń, P. (2021). The Effect of Soil Thermal Conductivity and Cable Ampacity on The Thermal Performance and Material Costs of Underground Transmission Line. *Energy*, 231, 120803. DOI: 10.1016/j.energy.2021.120803
- Ozyesil A., Alboyacı, B., Demiroglu, Y.B., Altun, B. (2024). The Effect of the Vertical Layout on Underground Cable Current Carrying Capacity. *Energies*, 17(3), 674. DOI: 10.3390/en17030674
- Petrovic, G., Cvetković, M., Garma, T., Kilic, T. (2023). An Approach to Thermal Modeling of Power Cables Installed in Ducts. *SSRN Electronic Journal*, 214(B), 108916. DOI: 10.1016/j.epr.2022.108916
- Pilgrim, J.A., Swaffield, D.J., Lewin, P.L., Larsen, S.T., Waite, F., Payne, D. (2010). Rating Independent Cable Circuits in Forced-Ventilated Cable Tunnels. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 25(4), 2046-2053. DOI: 10.1109/TPWRD.2010.2052073
- Pilgrim, J.A., Lewin, P.L., Larsen, S.T., Waite, F., Payne, D. (2012). Rating of Cables in Unfilled Surface Troughs. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(2), 993-1001. DOI: 10.1109/TPWRD.2012.2186593
- Rasoulpoor, M., Mirzaie, M., Mirimani, S.M. (2017). Thermal Assessment of Sheathed Medium Voltage Power Cables Under Non-Sinusoidal Current and Daily Load Cycle. *Applied Thermal Engineering*, 123, 353-364. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.05.070

- Rerak, M., Ocioń, P. (2017). The Effect of Soil And Cable Backfill Thermal Conductivity on The Temperature Distribution in Underground Cable System. *E3S Web of Conferences*, 13.
- Shaban, M., Salam, M.A., Ang, S.P., Voon, W. (2016). Induced Sheath Voltage in Power Cables: A Review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 62, 1236-1251. DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.032
- Szczegielniak, T., Kusiak, D., Jabłoński, P. (2021). Thermal Analysis of the Medium Voltage Cable. *Energies*, 14(14), 4164. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14144164>
- Tanasković, M.R., Nahman, J.M. (2002). Determination of the current carrying capacity of cables using the finite element method. *Electric Power Systems Research*, 61(2), 109-117. DOI: 10.1016/S0378-7796(02)00003-2
- Vaucheret, P., Hartlein, R.A., Black, W.Z. (2005). Ampacity Derating Factors for Cables Buried in Short Segments of Conduit. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(2), 560-565. DOI: 10.1109/TPWRD.2005.844358
- Vollaro, R.D., Fontana, L., Vallati, A. (2014). Experimental Study of Thermal Field Deriving From An Underground Electrical Power Cable Buried in Non-Homogeneous Soils. *Applied Thermal Engineering*, 62(2), 390-397. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2013.09.002
- Wald, D., Smedberg, A. (2008). Evolution of Medium Voltage Cable Technology in Europe. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 24(5), 31-35. DOI: 10.1109/MEI.2008.4635659
- Wang, M., Zhou, S., Yang, M., Zhang, Y. (2020). Calculation of Electrothermal Coupling Power Flow for XLPE Insulated Cable-Based Distribution Systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 117, 105680. DOI: 10.1016/j.ijepes.2019.105680
- Wang, Y., Chen, R., Li, J., Grzybowski, S., Jiang, T. (2011). Analysis of influential factors on the underground cable ampacity. *2011 Electrical Insulation Conference (EIC)*, Annapolis, MD, USA, 05-08 Haziran 2011.
- Wang, H., Zhou, W., Qian, K., Meng, S. (2019). Modelling of Ampacity and Temperature of MV Cables in Presence of Harmonic Currents Due to Evs Charging in Electrical Distribution Networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 112, 127-136. DOI: 10.1016/j.ijepes.2019.04.027
- Waswa, L., Chihota, M.J., Bekker, B. (2023). Toward Optimal Active Distribution Network Planning: A Critical Review of Conductor Size Selection Methods. *IEEE Access*, 11, 144812-144830. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3344489

- Wiğcek, B., Mey, G.D., Chatziathanasiou, V., Papagiannakis, A.G., Theodosoglou, I. (2014). Harmonic analysis of dynamic thermal problems in high voltage overhead transmission lines and buried cables. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 58, 199-205. DOI: 10.1016/j.ijepes.2014.01.031
- Xiong, L., Chen, Y., Jiao, Y., Wang, J., Hu, X. (2019). Study on the Effect of Cable Group Laying Mode on Temperature Field Distribution and Cable Ampacity. *Energies*, 12(17), 3397. DOI: 10.3390/en12173397
- Xu, X., Yuan, Q., Sun, X., Hu, D., Wang, J. (2019). Simulation Analysis of Carrying Capacity of Tunnel Cable in Different Laying Ways. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 130, 455-459. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.10.059
- Zhang, P., Zhang, H., Li, W., Li, B., Li, L. (2021). Study on Optimization of Laying Mode of Two Parallel High Voltage Cables in the Same Phase of Two Circuits. *SSRN Electronic Journal*, 8, 1839-1846. DOI: 10.1016/j.egyr.2021.12.076
- Zhu, W., Zhao, Y., Han, Z., Wang, X., Wang, Y., Liu, G., Xie, Y., Zhu, N. (2019). Thermal Effect of Different Laying Modes on Cross-Linked Polyethylene (XLPE) Insulation and a New Estimation on Cable Ampacity. *Energies*, 12(15), 2994. DOI: 10.3390/en12152994

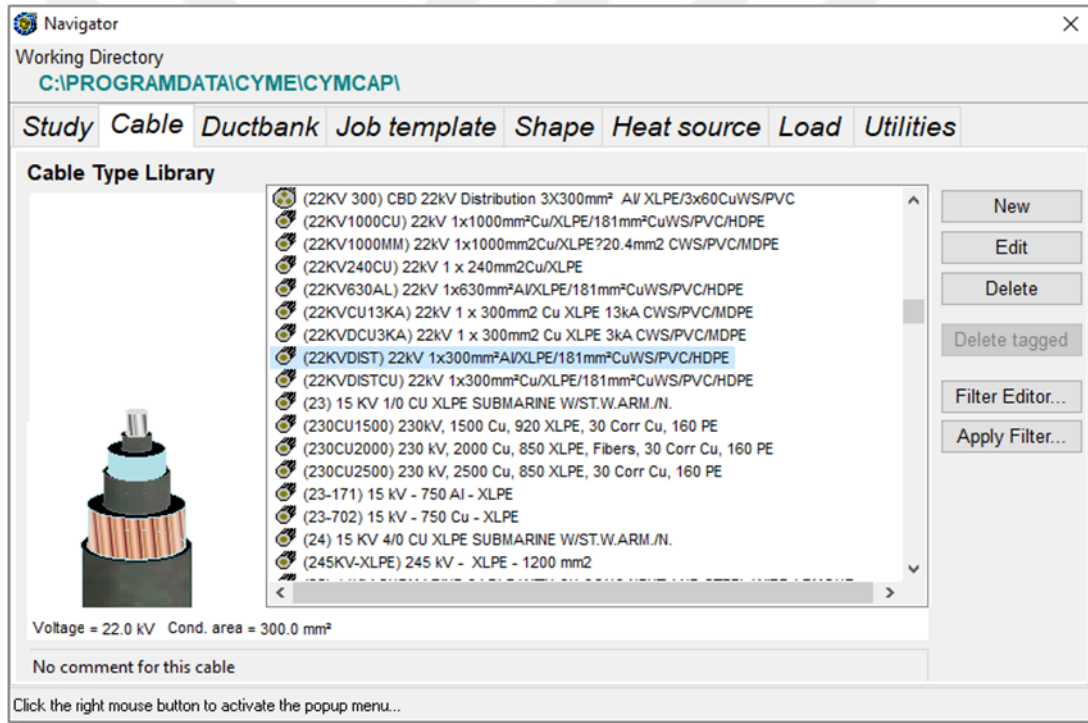


EKLER

Ek-A CYMCAP Güç Kabloları Analiz Yazılımı

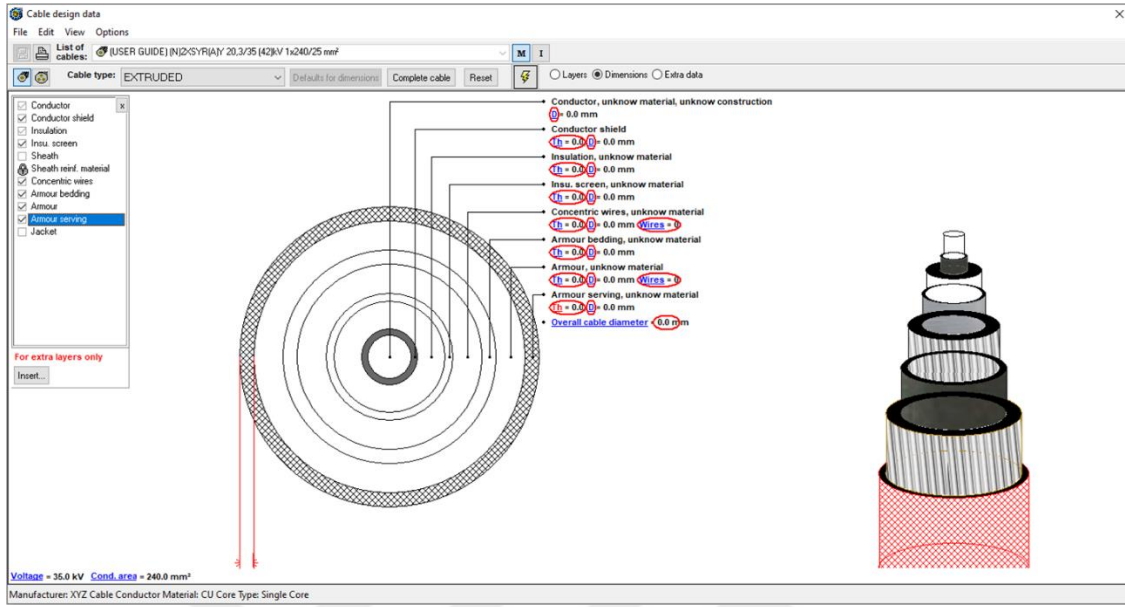
Bu bölümde CYMCAP Güç Kabloları Analiz Yazılımında bir güç kablosu tasarımı nasıl modellenir, kablo kurulum ortamı nasıl oluşturulur ve analizler nasıl çalıştırılır sorularının yanıtları paylaşılmıştır.

CYMCAP yazılımı açıldığında kullanıcı ekranına “Navigator” penceresi gelir ve yapılacak işlemler bu pencere üzerinden seçilir. Kablo tasarımı için “Navigator” ekranındaki “Cable” kısmı seçilir ve “New” butonu ile yeni kablo tasarımı oluşturulacak ekran açılır.



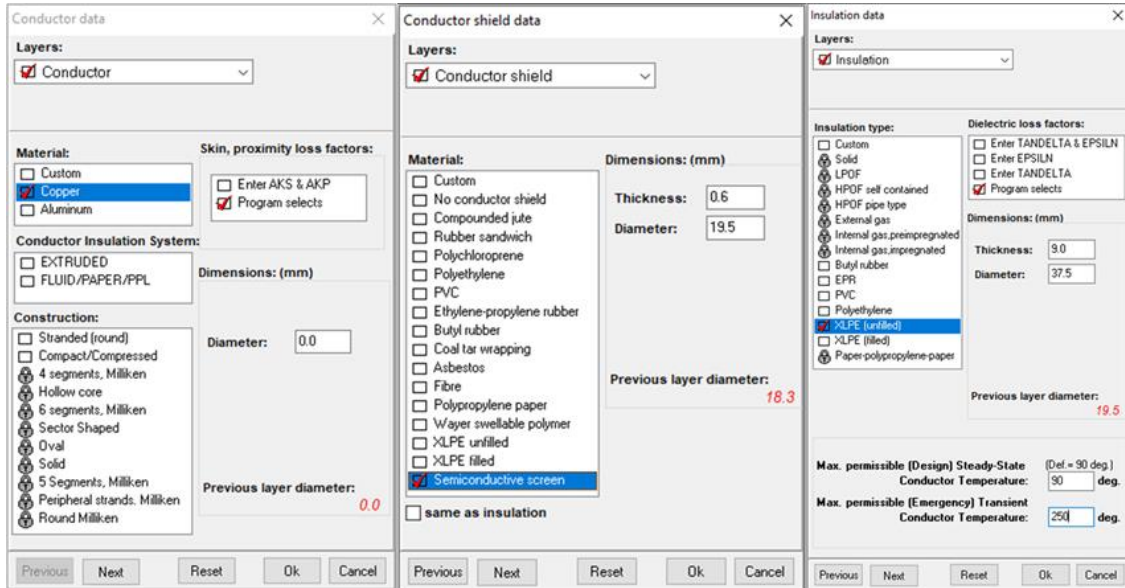
Şekil A.1. CYMCAP Navigator ekranı Cable sekmesi

Kablo tasarımı için öncelikle kablounun tek çekirdekli mi üç çekirdekli mi olduğu, kablo tipi, gerilim seviyesi ve iletken kesiti bilgileri girilir. Ardından kablo tasarımına göre kullanılacak katmanlar seçilir.



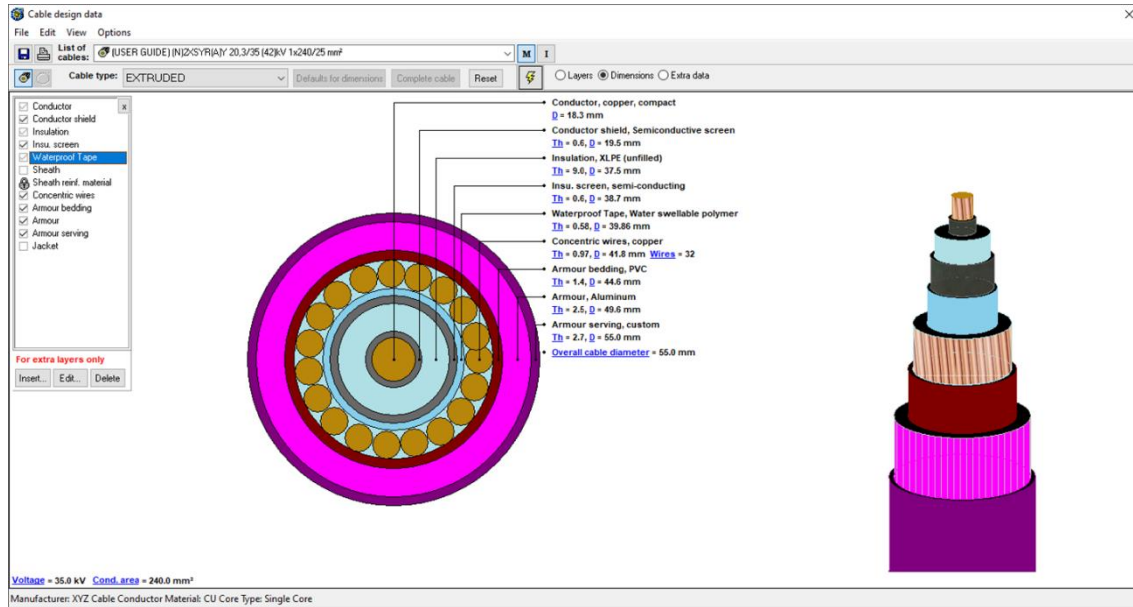
Şekil A.2. CYMCAP kablo tasarım ekranı

Daha sonra kablo katmanlarının ölçüleri ve kullanılan malzeme bilgileri girilir. Malzemeler için CYMCAP programı kullanıcıya genel bir kütüphane sunmakla beraber kullanıcı tarafında özel malzeme tanımlanmasına da imkân sağlar. Öte yandan programda katman yapısı için de istenildiği kadar manyetik olmayan (su geçirmez bant tabaka gibi) özel katman modellenebilir.



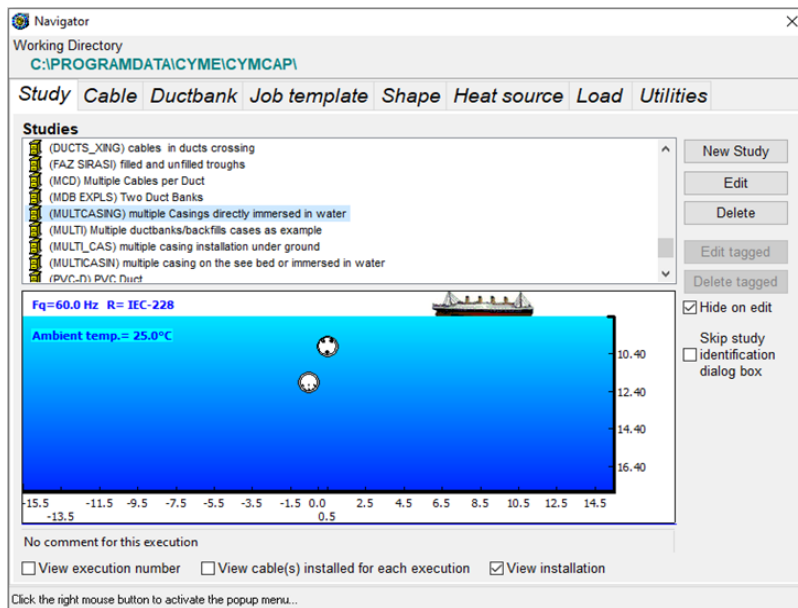
Şekil A.3. CYMCAP kablo katman tasarım ekranları

Kablo tasarımı tamamlandıktan sonra kablo modeli kaydedilip modelleme ekranı kapatılarak “Navigator” ekranına geri dönülür.



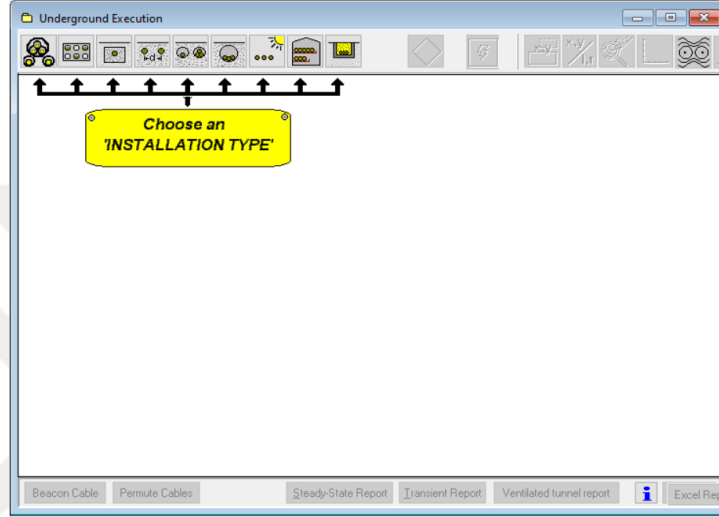
Şekil A.4. CYMCAP modeli tamamlanmış örnek bir kablo tasarımı

Kablo kurulum ortamının oluşturulabilmesi için “Navigator” ekranındaki “Study” sekmesinde “New Study” butonu ile kurulum ortamı oluşturulacak ekran açılır.



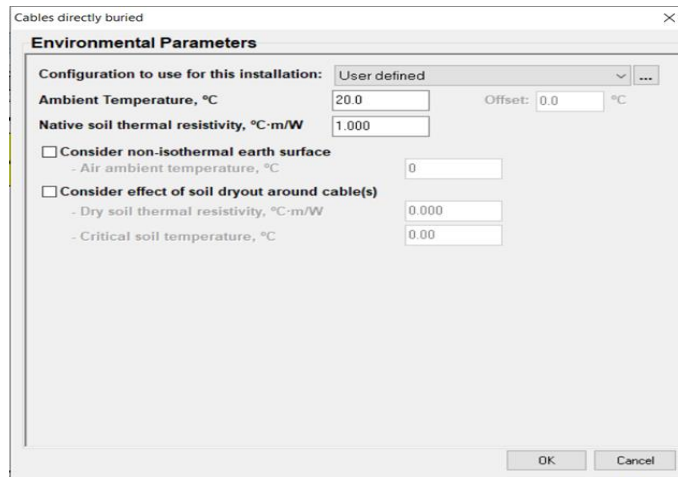
Şekil A.5. CYMCAP Navigator ekranı Study sekmesi

Yeni bir çalışma oluşturulurken öncelikle yapılacak analizin türü seçilir. Bunlar dengeli yüklenme durumunda akım taşıma kapasitesi analizi, dengesiz yüklenme durumunda akım taşıma kapasitesi analizi ve akım değerleri için ısınma analizidir. Ek olarak geçici durum analizi seçeneği de mevcuttur. Ardından kablo kurulum yöntemi seçilir.



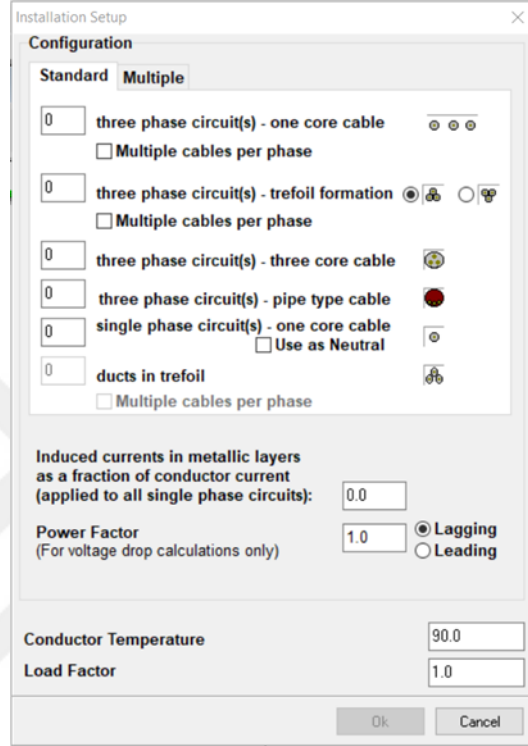
Şekil A.6. CYMCAP kurulum yöntemi ekranı

Kurulum yöntemi seçildikten sonra ortam koşullarının tanımlandığı ekran açılır. Bu ekranda toprağın termal direnci ve toprak sıcaklığı bilgileri girilir. Program izotermal olmayan toprak yapıları ve kuru toprak etkisi gibi durumların da analizlere dahil edilmesine imkân sağlar.



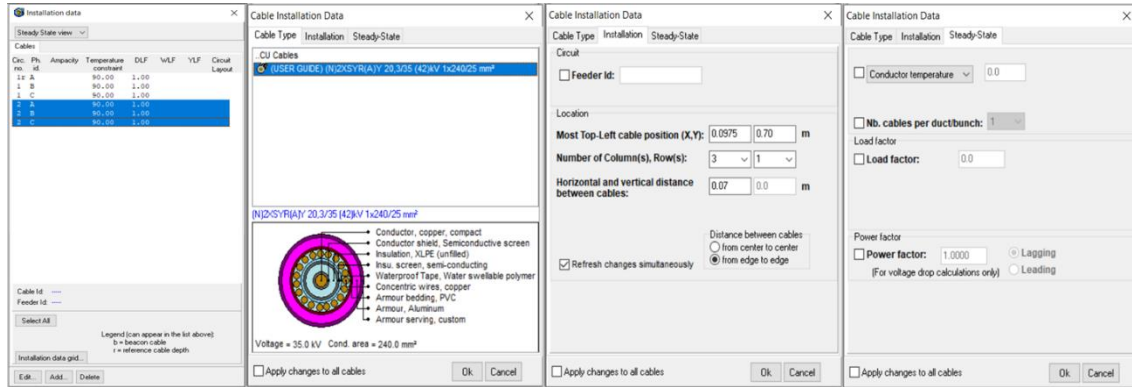
Şekil A.7. CYMCAP ortam koşulları ekranı

Ortam şartları tanımlandıktan sonra kablo yerleşim penceresi açılır. Bu pencerede kablunun yerleşim şekli (yatay, üçgen demet) ve kablo sayısı girilir.



Şekil A.8. CYMCAP kablo yerleşim ekranı

Kablo yerleşim şekli ve kablo adedi girildikten sonra kurulum bilgileri ekranından kablolar seçilerek “Edit” butonuna tıklanır. Açılan pencerede kullanılacak kablo modeli, yerleşim ölçüleri (derinlik, fazlar arası mesafe), yük ve güç faktörleri tanımlanır.



Şekil A.9. CYMCAP kurulum bilgileri ekranı

Kurulum bilgilerinden sonra analiz bilgilerinin girileceği ekran açılır ve yapılan analize göre akım değeri veya sıcaklık sınırı ile yüklenme faktörü bilgileri girilir.

Installation data grid to speed up changes

Solution option: **Equally loaded**

Input data:

Circuit No.	Ampacity A	Temperature °C	Load factor p.u.	Feeder id
1		90.0	0.7	
2		90.0	0.7	

Reset

APPLY TO ALL

Apply

Ok Cancel

Şekil A.10. CYMCAP analiz bilgileri ekranı

Son olarak özel kurulum bilgileri ekranı açılarak kablo ekranlarının topraklama yöntemi, transpozisyon, kayıp faktörü, frekans ve eğer varsa muhafaza borusu bilgileri seçilir.

Specific Installation data: 1 cable(s) type

Select a CABLE:

(USER GUIDE) (N)2XSYR(A)Y 20.3/35 (42)kV 1x240/25 mm²

Sheath/Shield Bonding: 1-CON. sheaths single point bonded, flat configuration

Loss Factor Constant (ALOS): 0.30 Formula= (ALOS * DLF + (1 - ALOS) * DLF ** 2) DLF=Daily load factor

Single Conductors Transposed

Duct Construction

Outer Cable Phase: Lagging Assigned to the most-left or deepest outer cable

Minor Section Lengths

Spacing of Cables in Section

Pipe Coating Material

Pipe Material

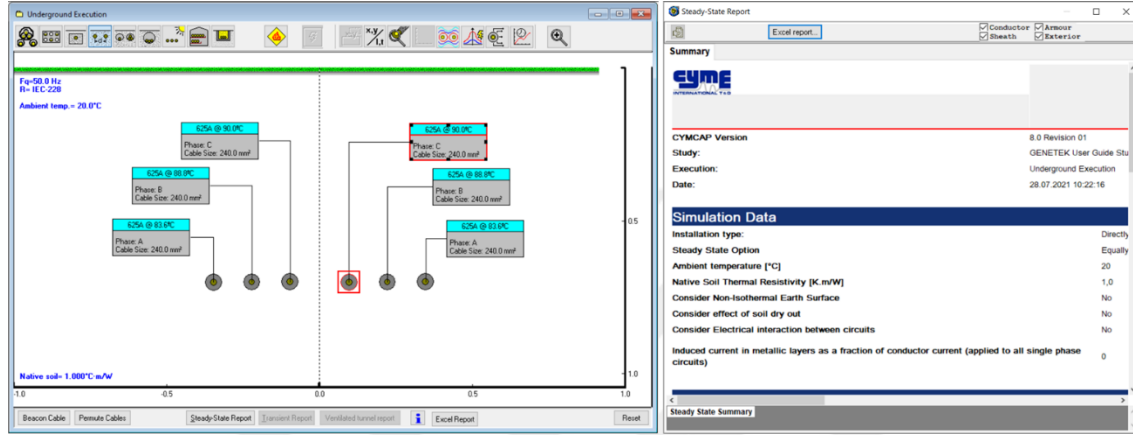
Duct Dimensions

Apply frequency per cable: 50.0 Hz

Ok Cancel

Şekil A.11. CYMCAP özel kurulum bilgileri ekranı

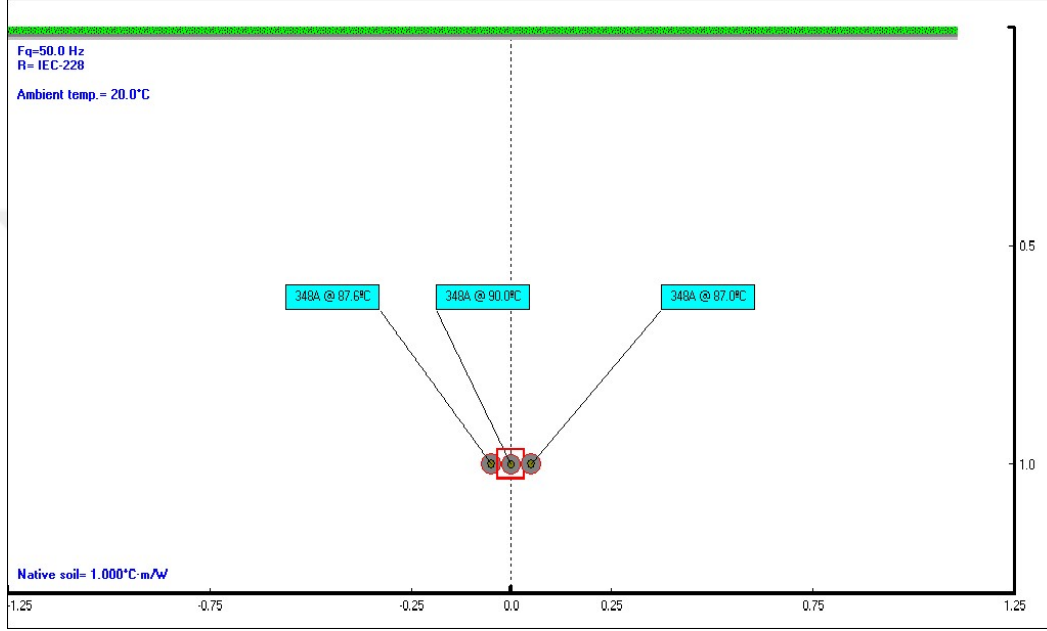
Tüm ayarlar ve gerekli bilgiler tanımlandıktan sonra “Run” butonu ile analizler çalıştırılır ve akım taşıma kapasitesi sonuçları analiz ekranında gösterilir. Empedans matrisleri, kayıplar, katman sıcaklıkları ve ekran gerilimleri gibi detaylı sonuçlar rapor formatında oluşturularak elde edilebilir.



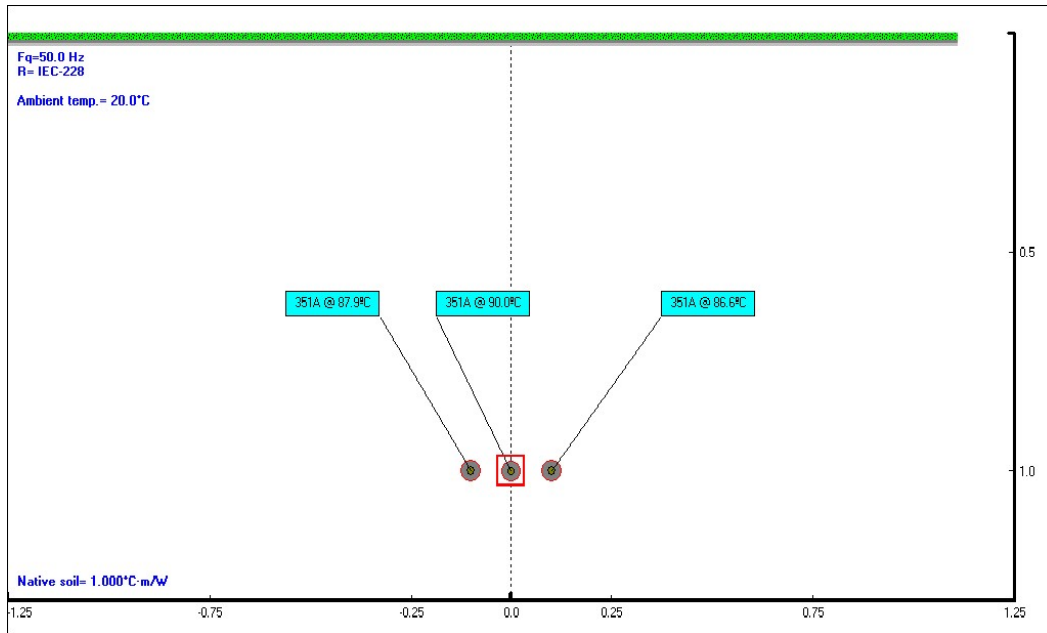
Şekil A.12. CYMCAP analiz sonucu ve rapor ekranları

Ek-B 185 mm² NA2XSYR Kablo İçin Fazlar Arası Mesafe Değişkeni Analiz Sonuçları

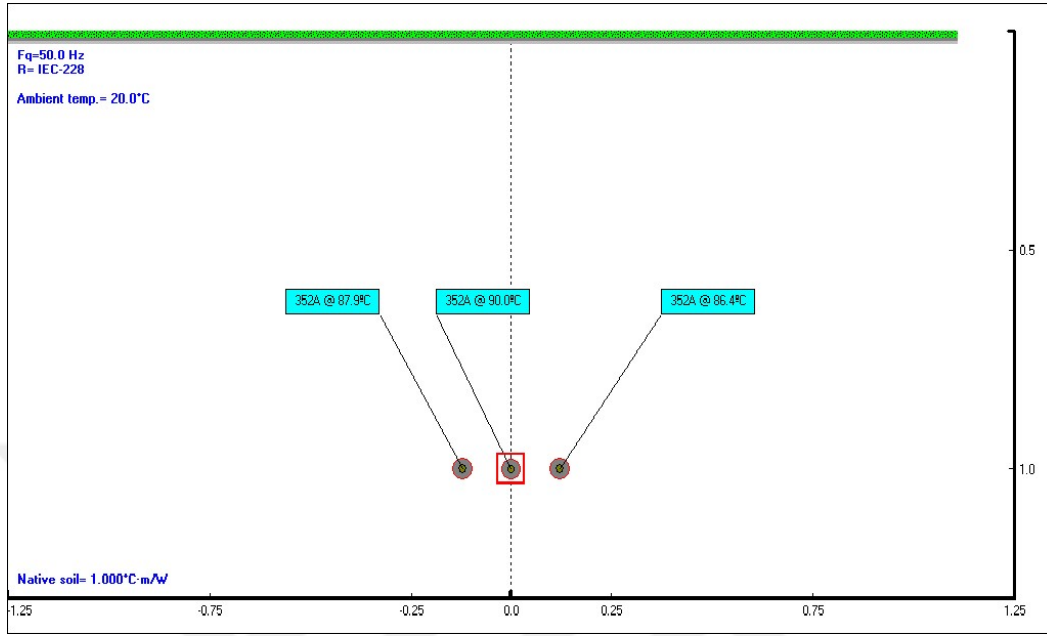
Bu bölümde fazlar arası mesafe değişkeni için 185 mm² NA2XSYR kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



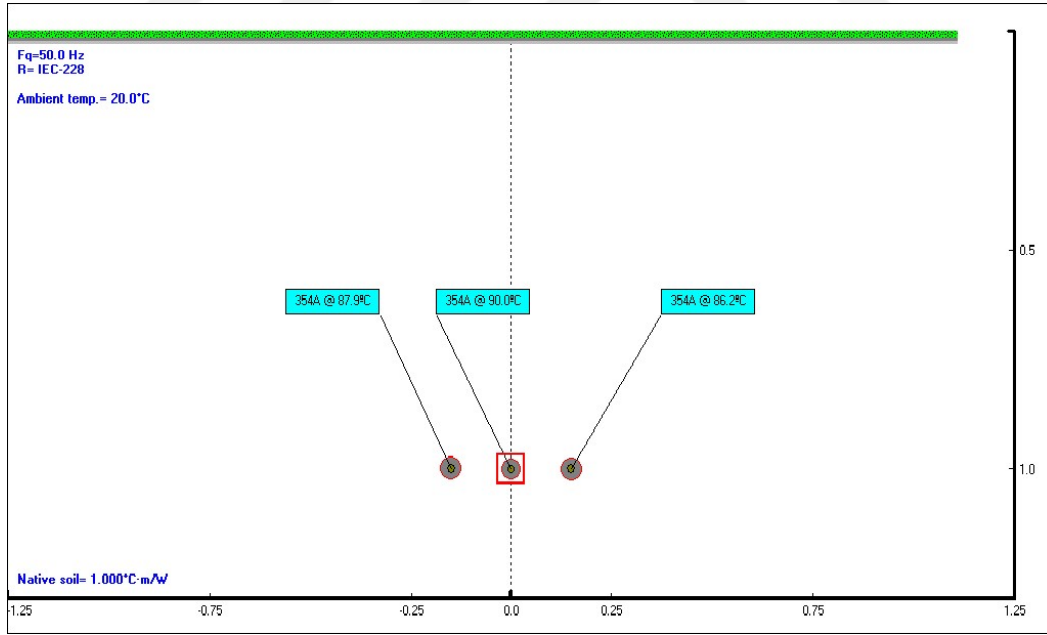
Şekil B.1. Yatayda bitişik düzen için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



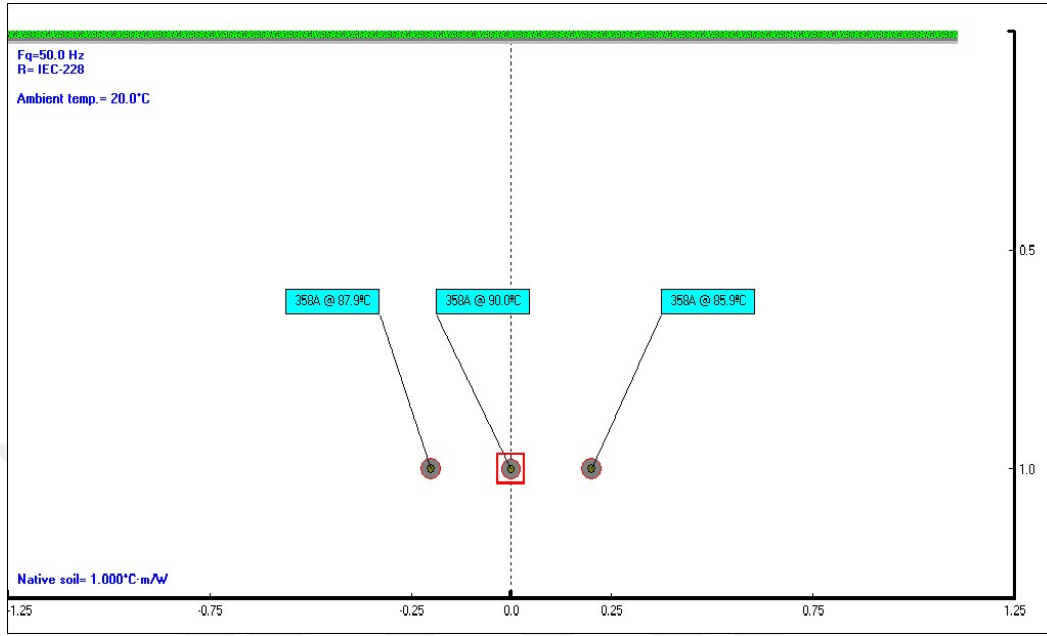
Şekil B.2. Yatayda fazlar arası 5 cm için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil B.3. Yatayda fazlar arası 7 cm için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



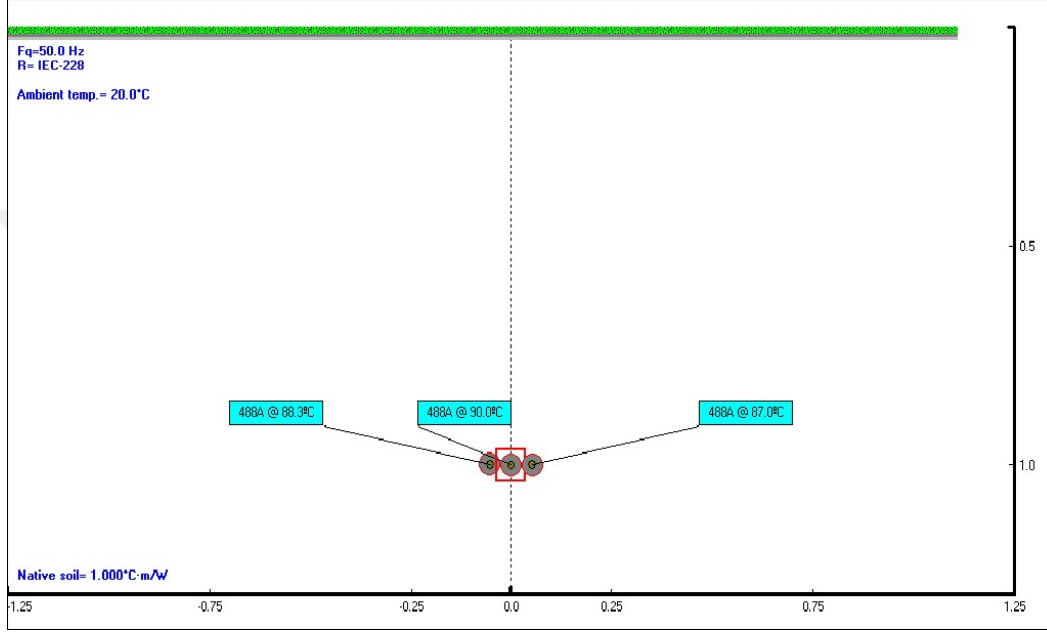
Şekil B.4. Yatayda fazlar arası 10 cm için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



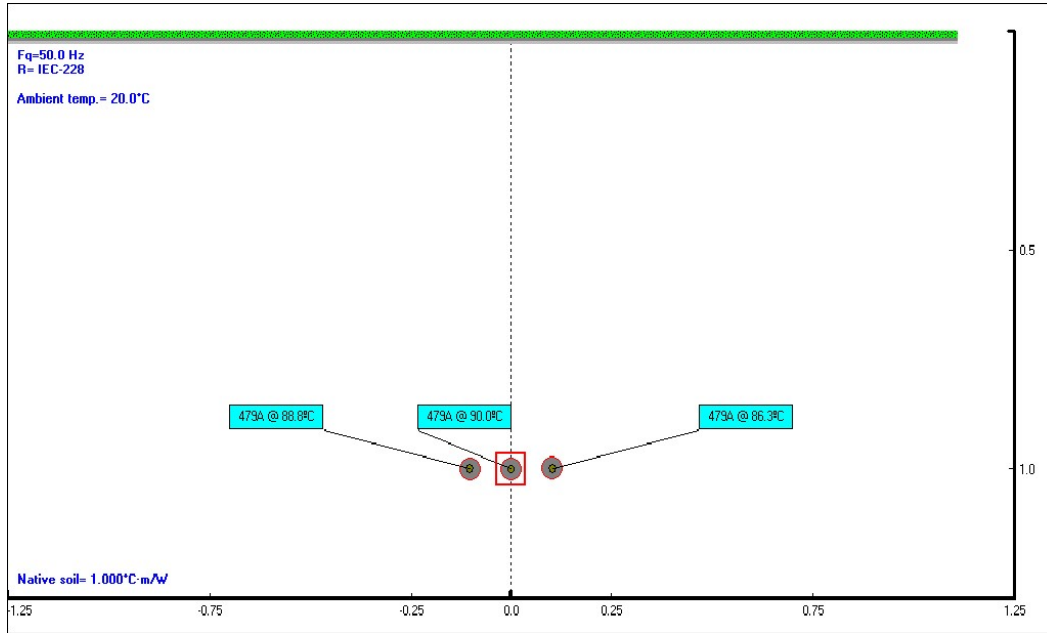
Şekil B.5. Yatayda fazlar arası 15 cm için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu

Ek-C 240 mm² N2XSYR Kablo İçin Fazlar Arası Mesafe Değişkeni Analiz Sonuçları

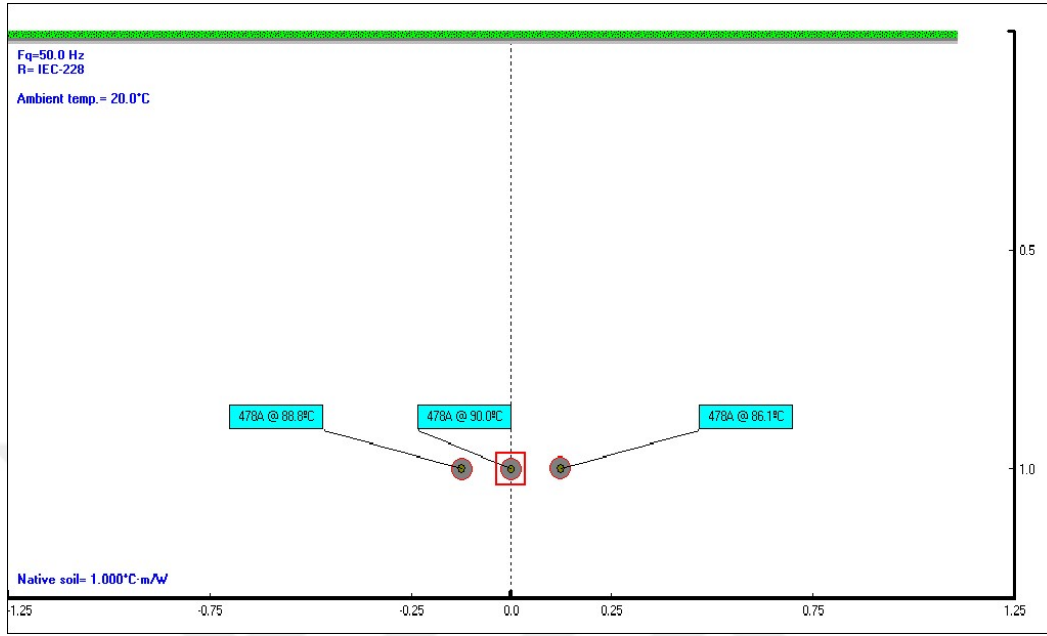
Bu bölümde fazlar arası mesafe değişkeni için 240 mm² N2XSYR kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



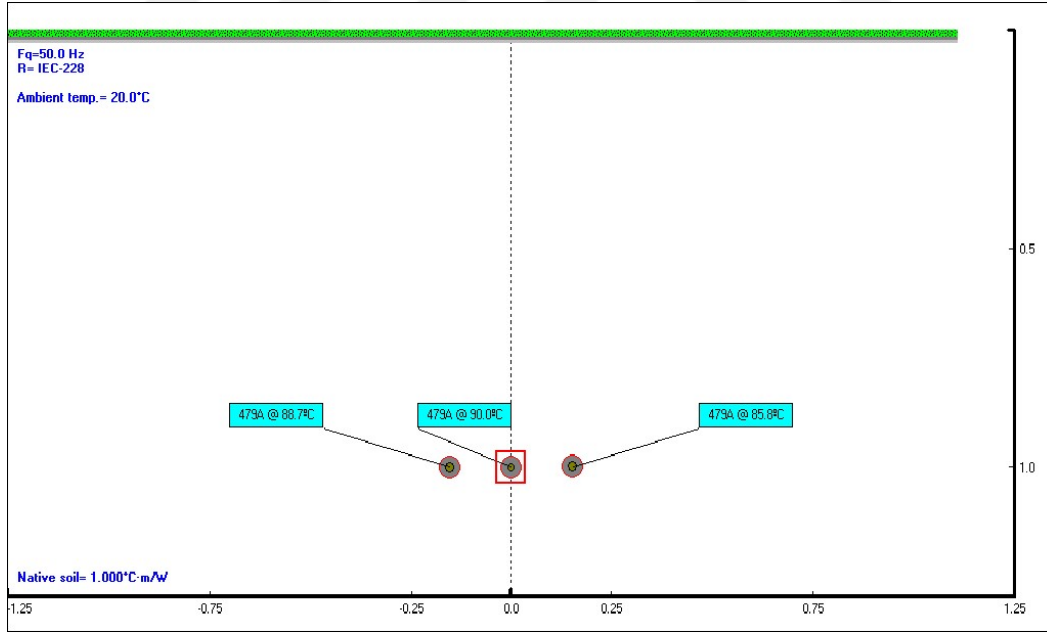
Şekil C.1. Yatayda bitişik düzen için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



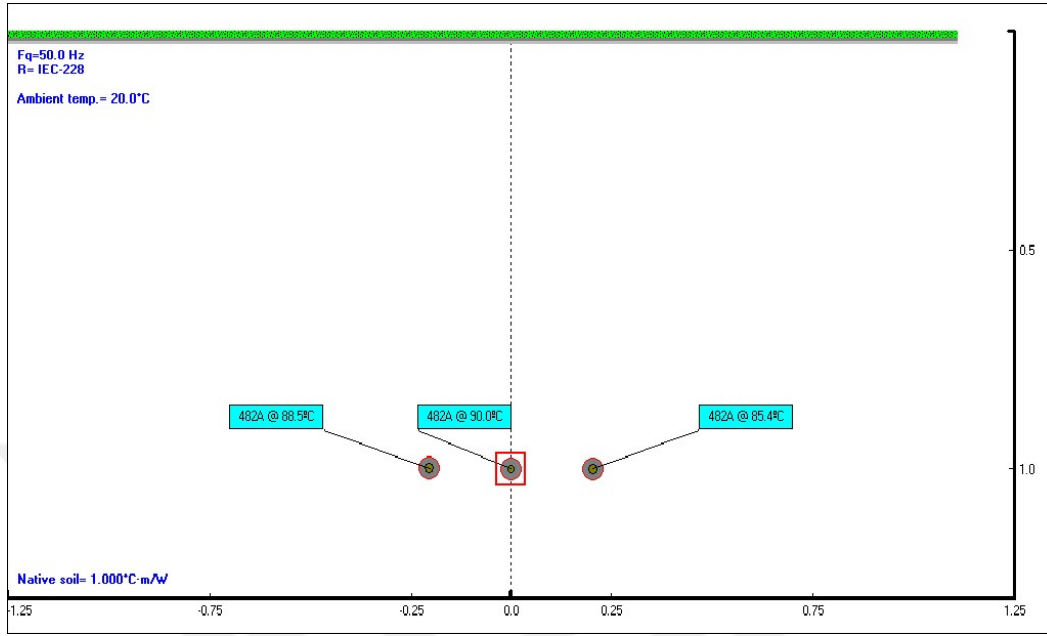
Şekil C.2. Yatayda fazlar arası 5 cm için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil C.3. Yatayda fazlar arası 7 cm için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



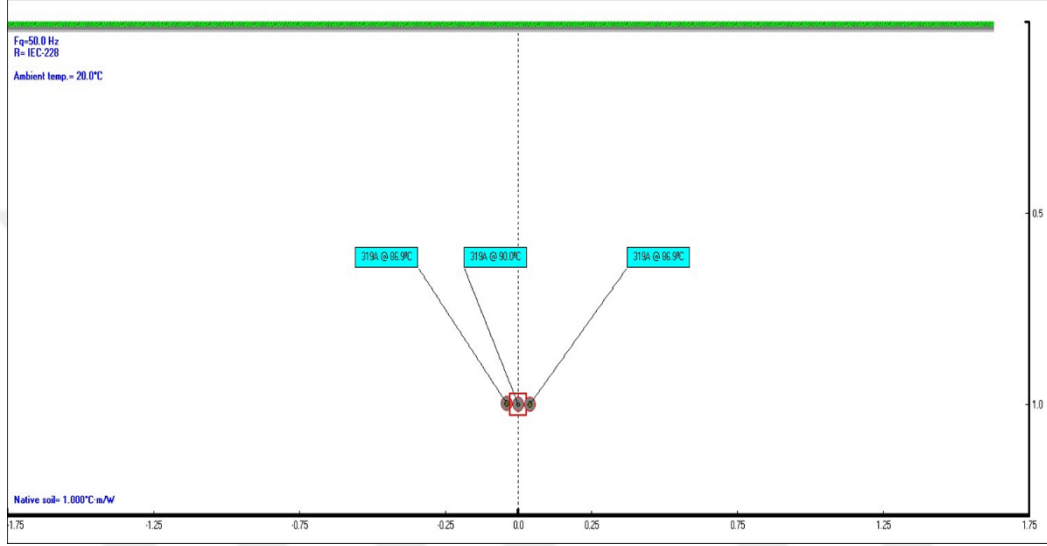
Şekil C.4. Yatayda fazlar arası 10 cm için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



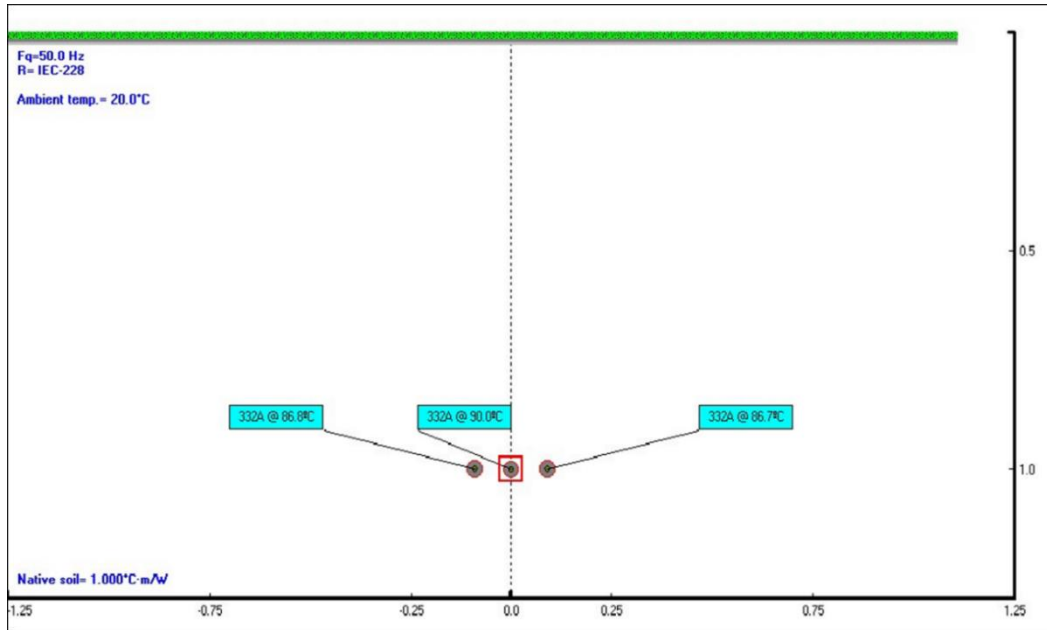
Şekil C.5. Yatayda fazlar arası 15 cm için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu

Ek-D 150 mm² NA2XSY Kablo İçin Fazlar Arası Mesafe Değişkeni Analiz Sonuçları

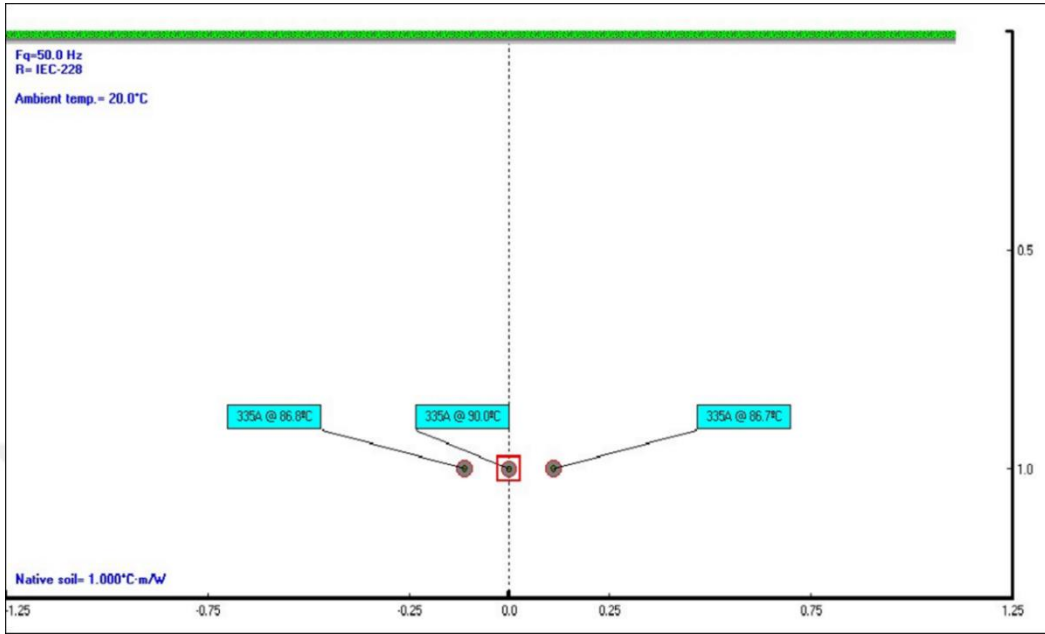
Bu bölümde fazlar arası mesafe değişkeni için 150 mm² NA2XSY kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



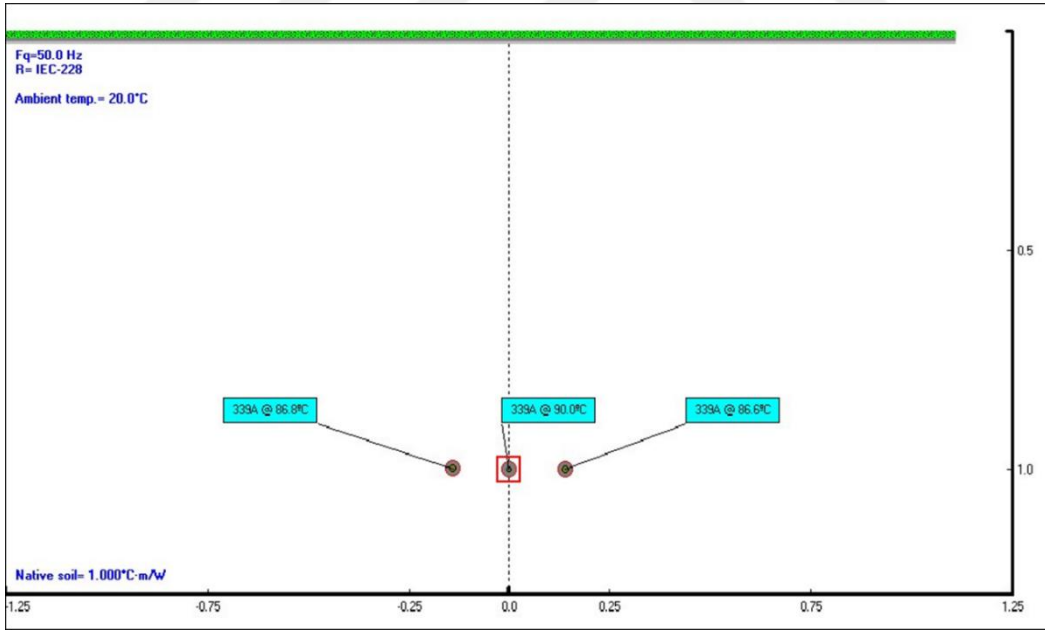
Şekil D.1. Yatayda bitişik düzen için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



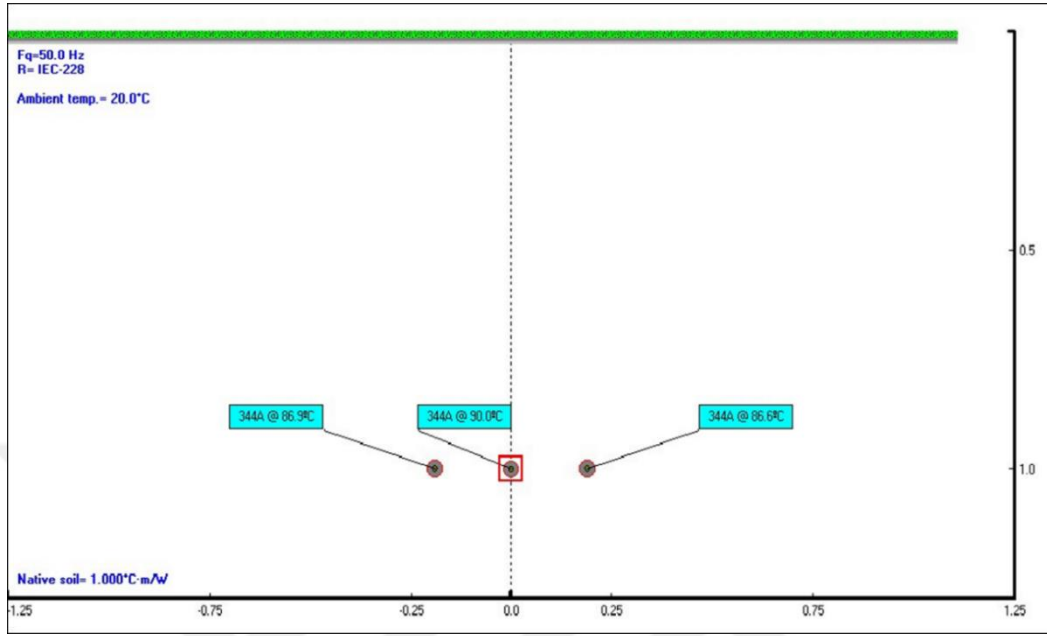
Şekil D.2. Yatayda fazlar arası 5 cm için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil D.3. Yatayda fazlar arası 7 cm için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



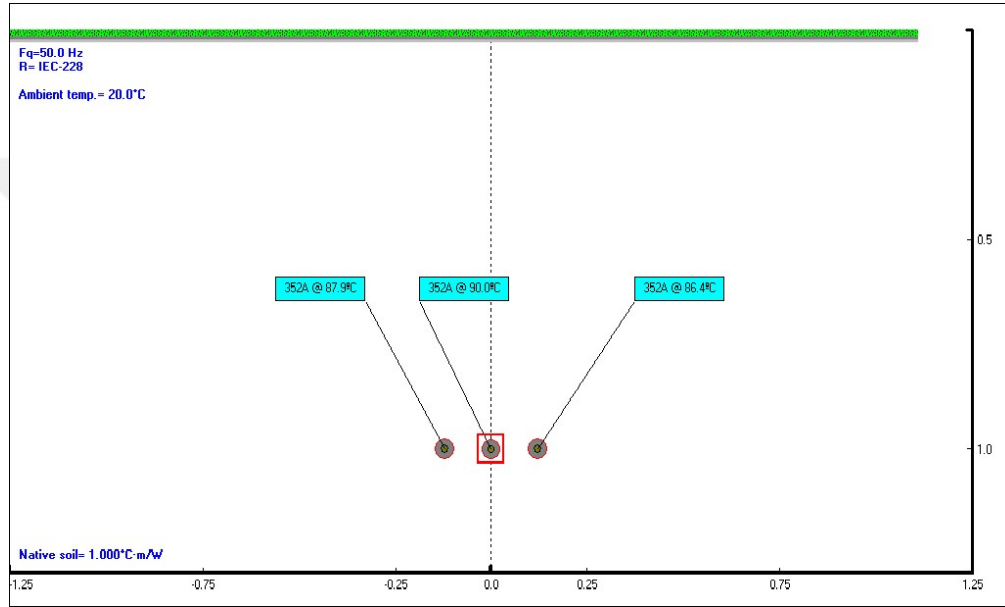
Şekil D.4. Yatayda fazlar arası 10 cm için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



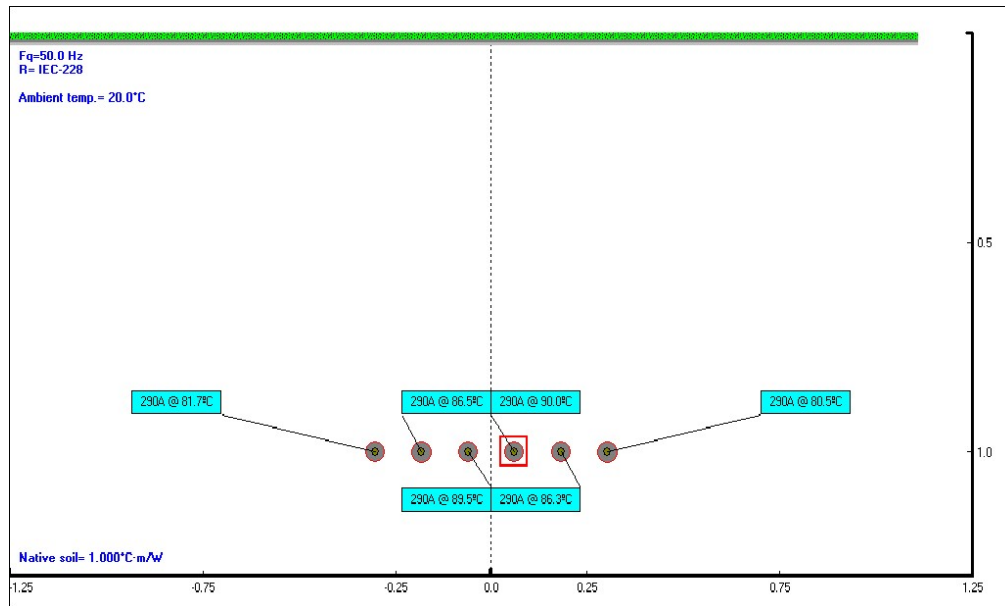
Şekil D.5. Yatayda fazlar arası 15 cm için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu

Ek-E 185 mm² NA2XSYR Kablo İçin Paralel Sistem Sayısı Değişkeni Analiz Sonuçları

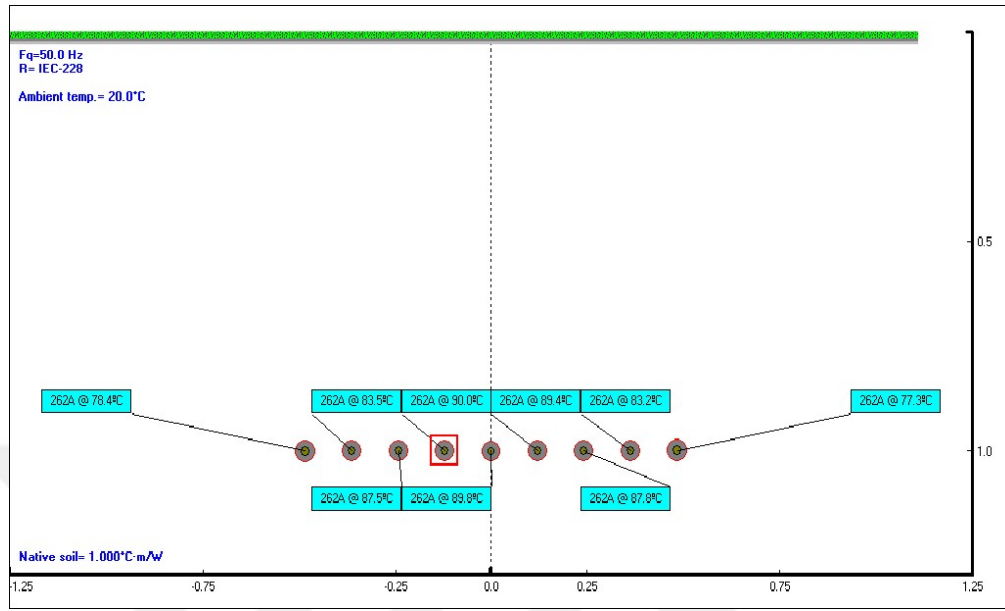
Bu bölümde paralel sistem sayısı değişkeni için 185 mm² NA2XSYR kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



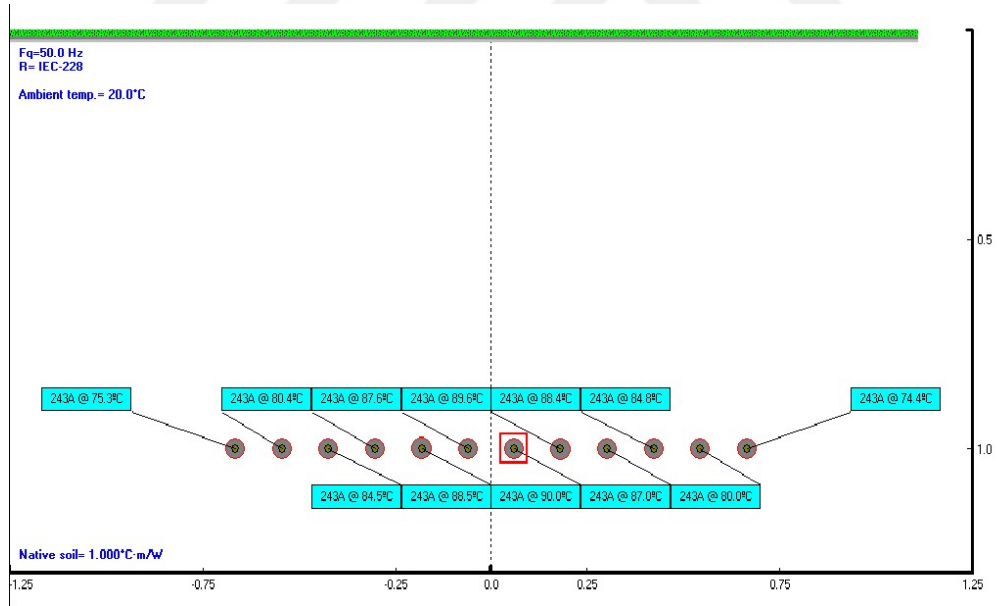
Şekil E.1. Yatayda paralel sistem sayısı 1 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



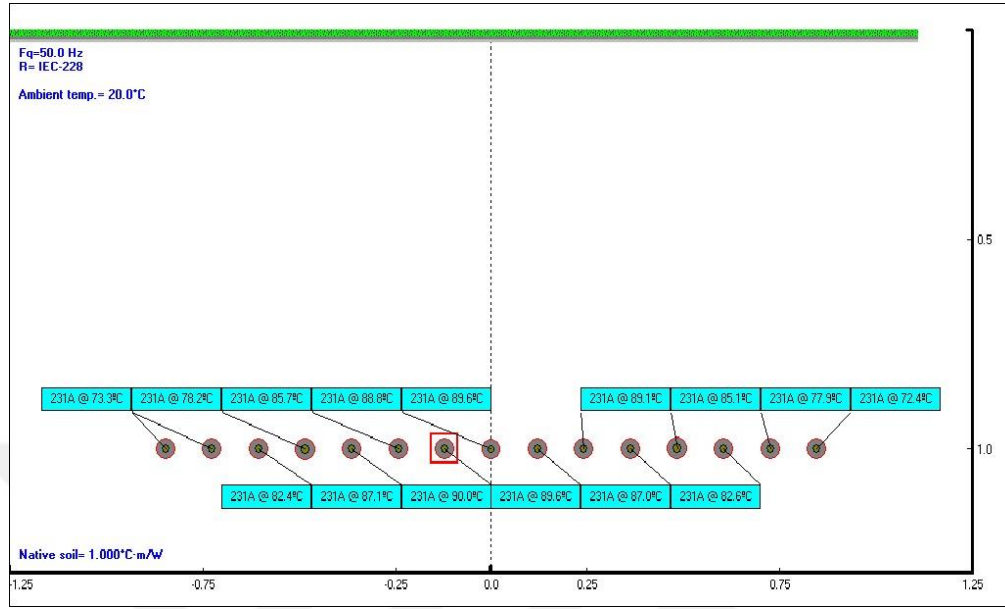
Şekil E.2. Yatayda paralel sistem sayısı 2 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



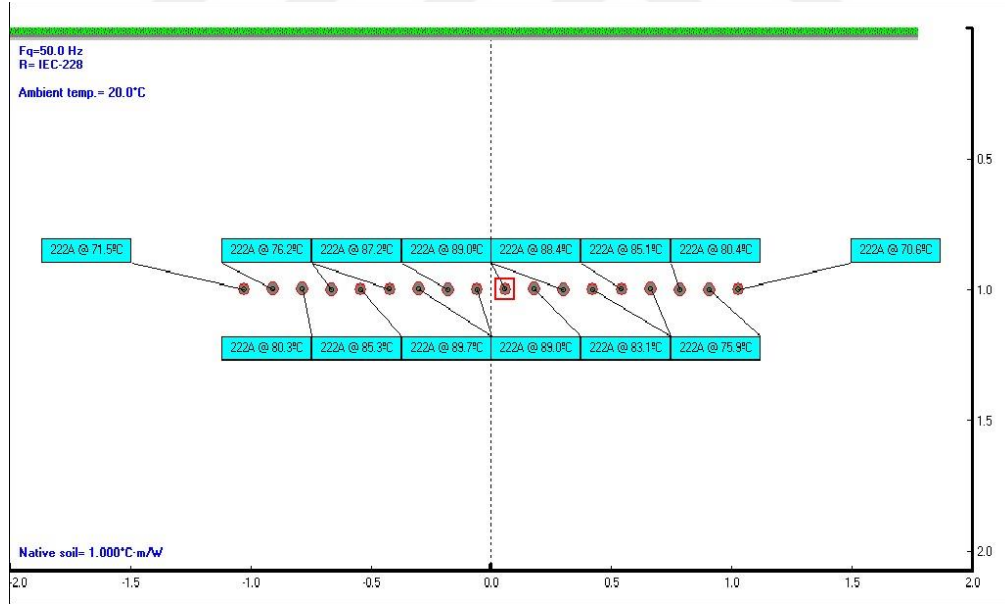
Şekil E.3. Yatayda paralel sistem sayısı 3 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



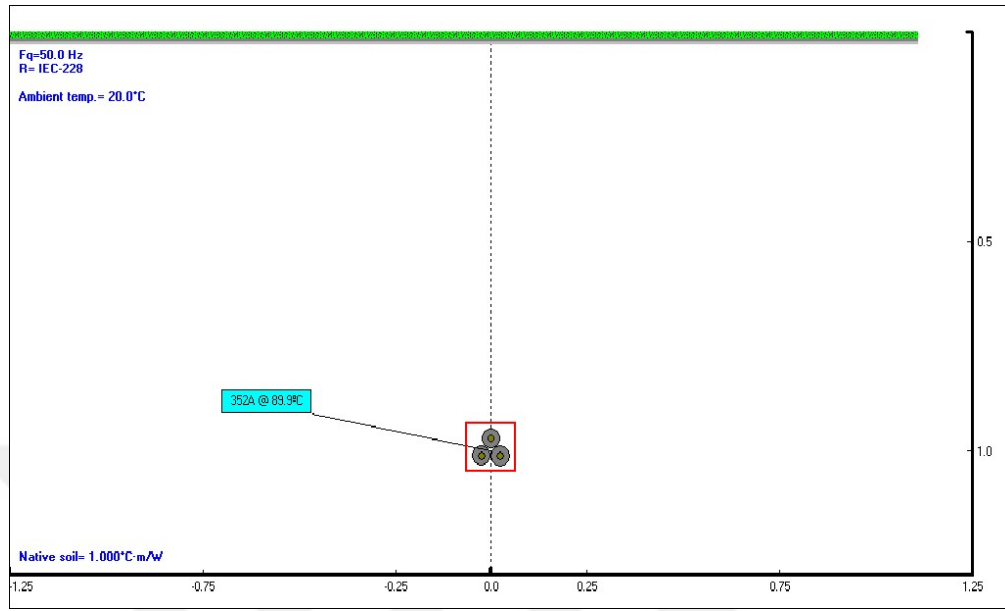
Şekil E.4. Yatayda paralel sistem sayısı 4 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



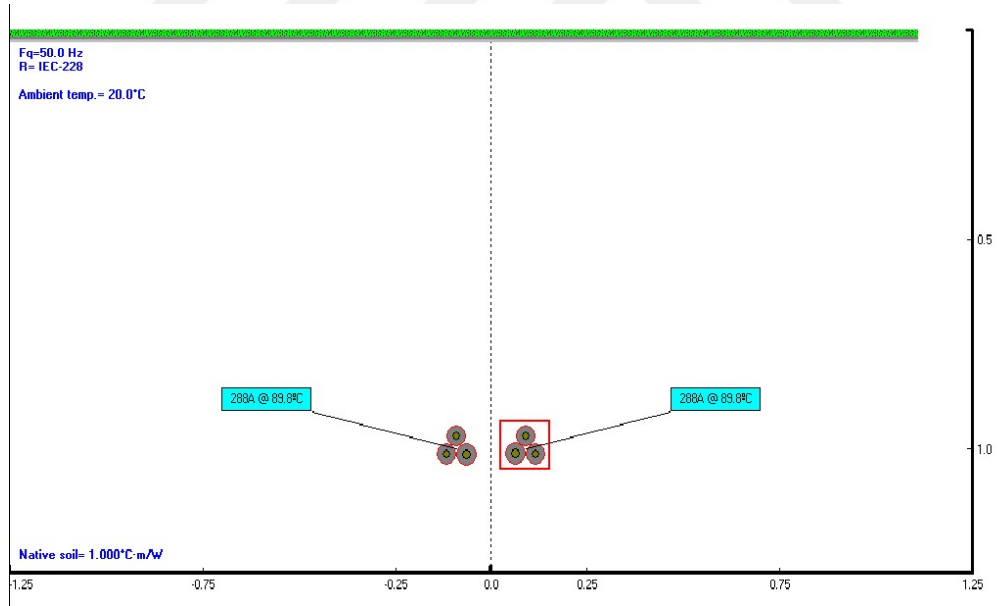
Şekil E.5. Yatayda paralel sistem sayısı 5 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



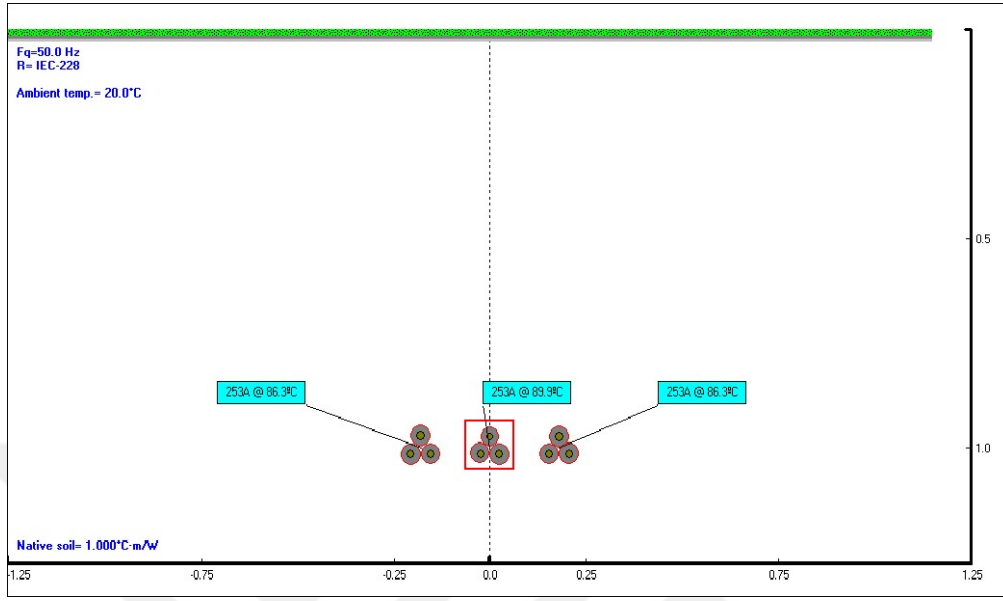
Şekil E.6. Yatayda paralel sistem sayısı 6 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



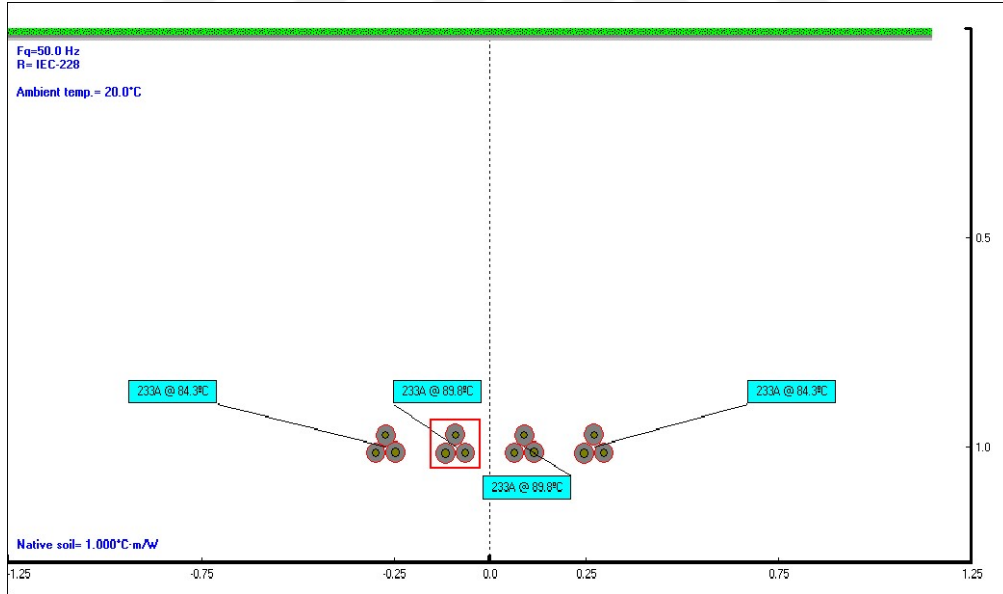
Şekil E.7. Trefoilde paralel sistem sayısı 1 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



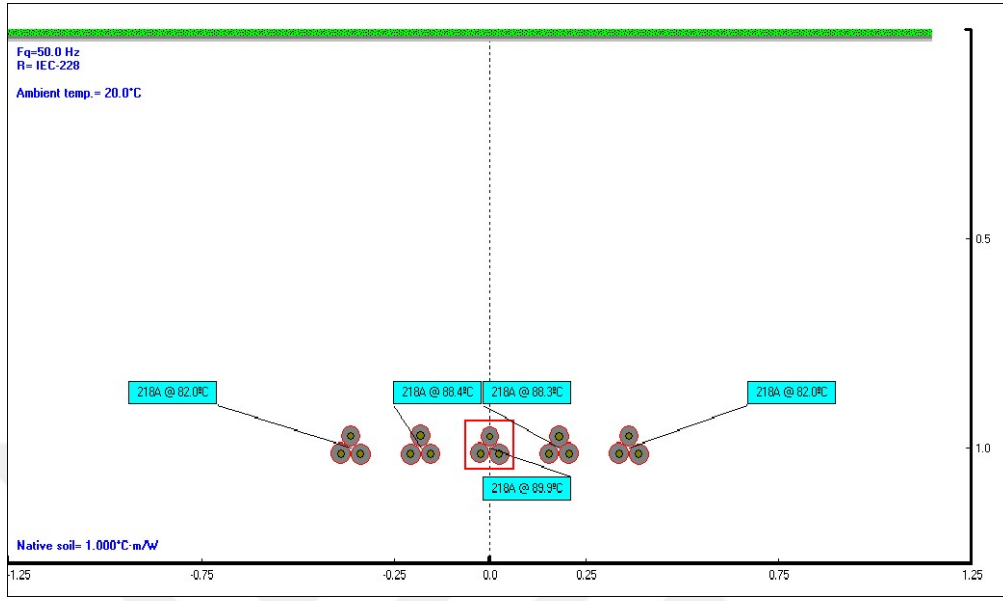
Şekil E.8. Trefoilde paralel sistem sayısı 2 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



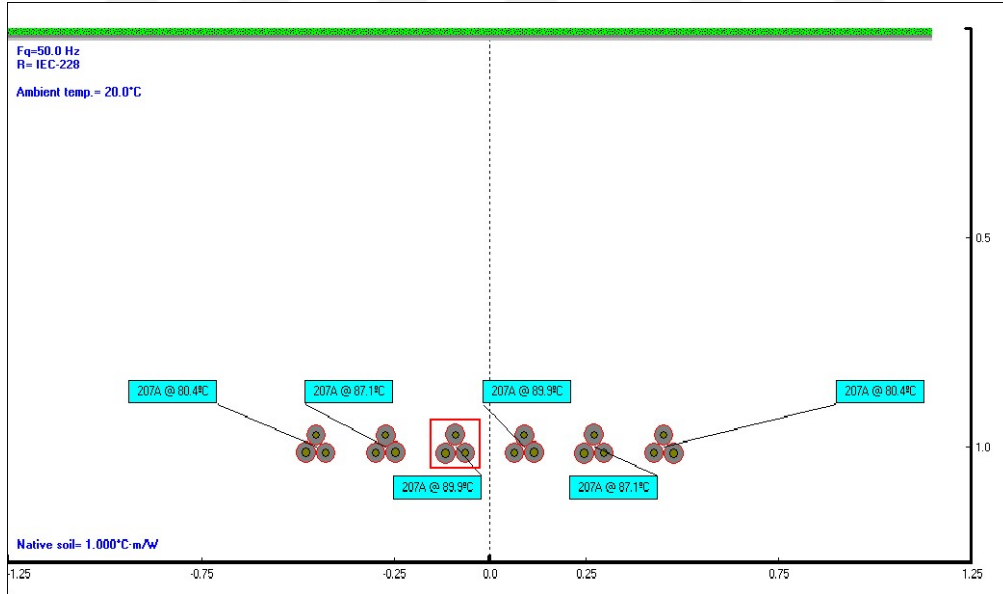
Şekil E.9. Trefoilde paralel sistem sayısı 3 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil E.10. Trefoilde paralel sistem sayısı 4 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



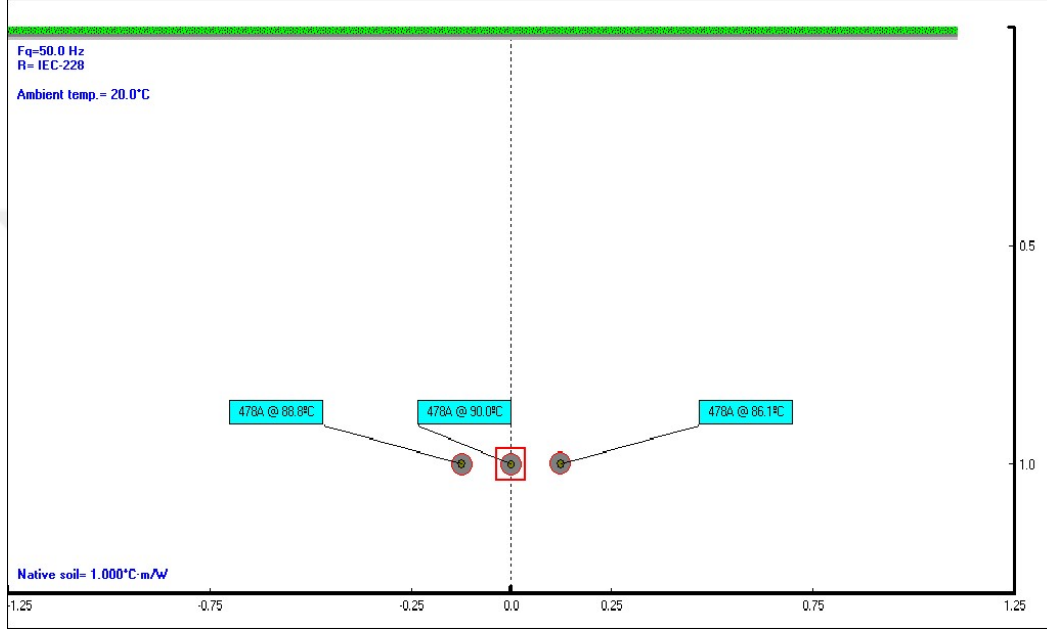
Şekil E.11. Trefoilde paralel sistem sayısı 5 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



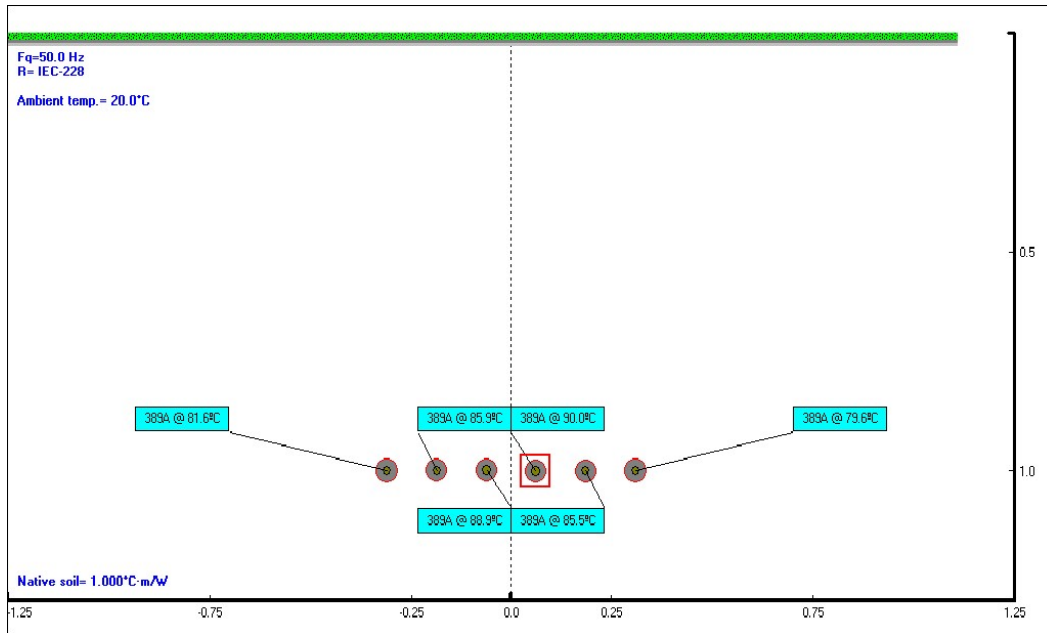
Şekil E.12. Trefoilde paralel sistem sayısı 6 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu

Ek-F 240 mm² N2XSYR Kablo İçin Paralel Sistem Sayısı Değişkeni Analiz Sonuçları

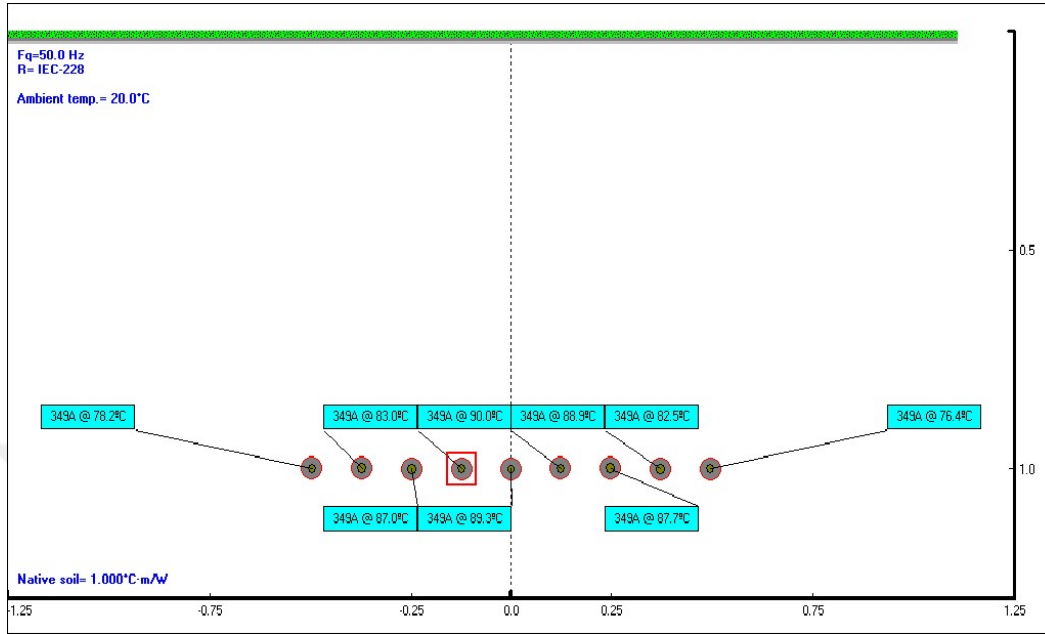
Bu bölümde paralel sistem sayısı değişkeni için 240 mm² N2XSYR kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



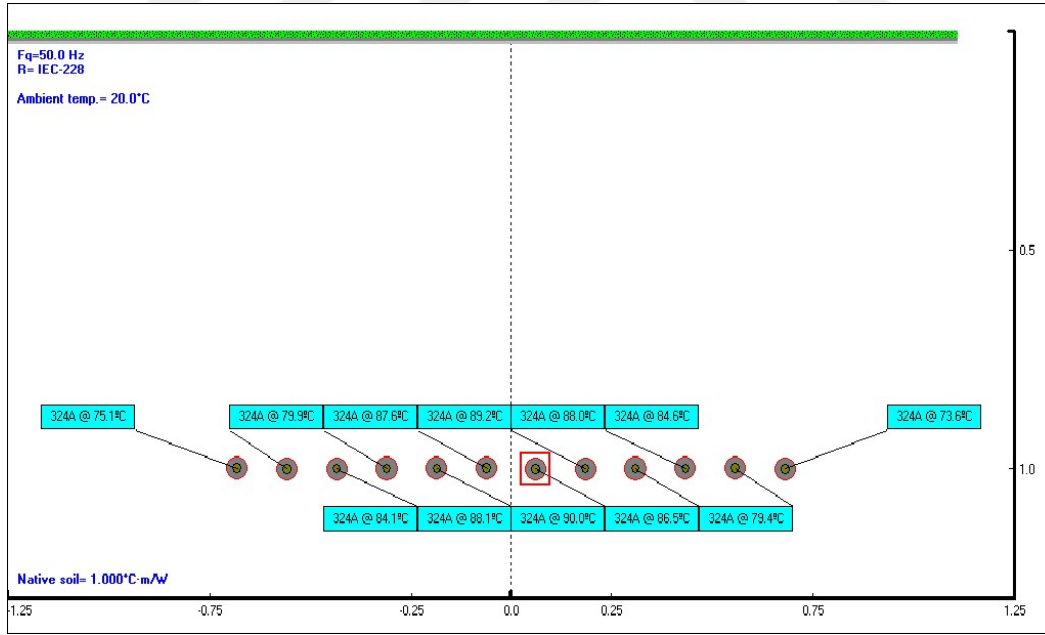
Şekil F.1. Yatayda paralel sistem sayısı 1 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



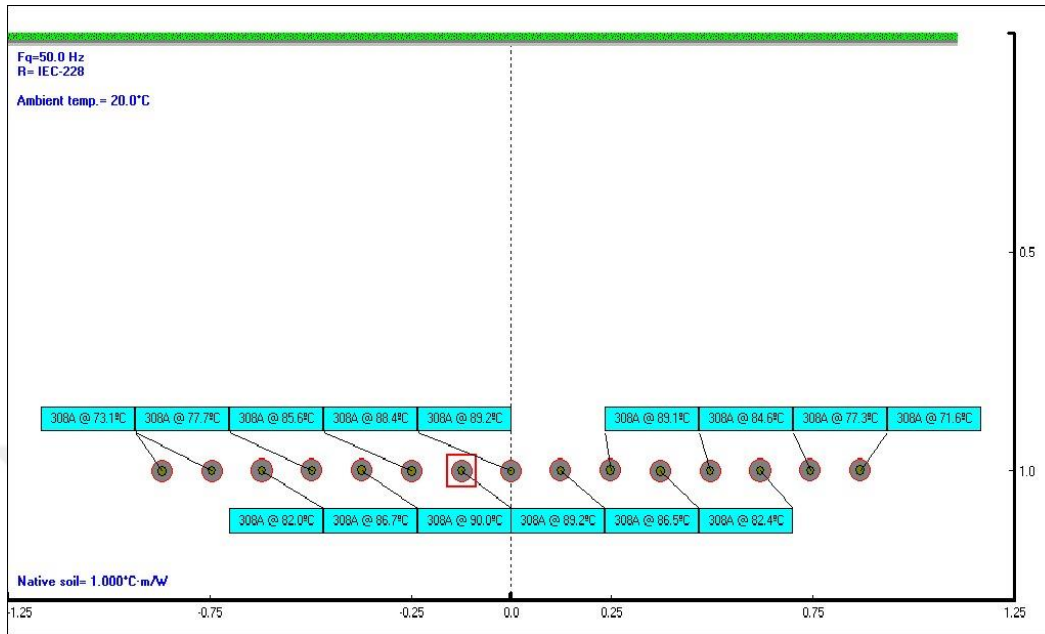
Şekil F.2. Yatayda paralel sistem sayısı 2 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



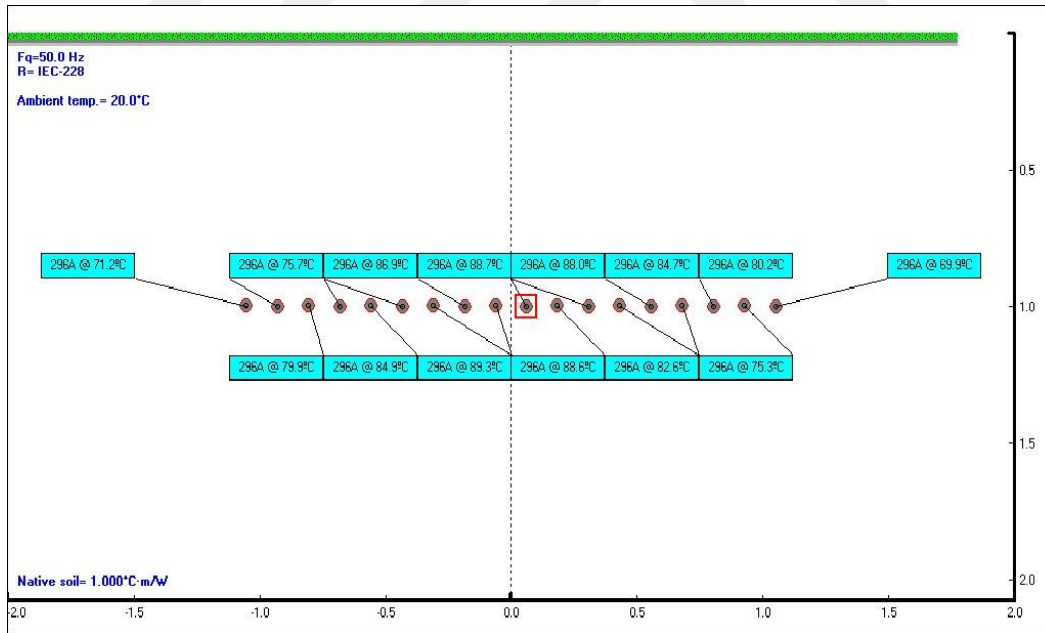
Şekil F.3. Yatayda paralel sistem sayısı 3 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



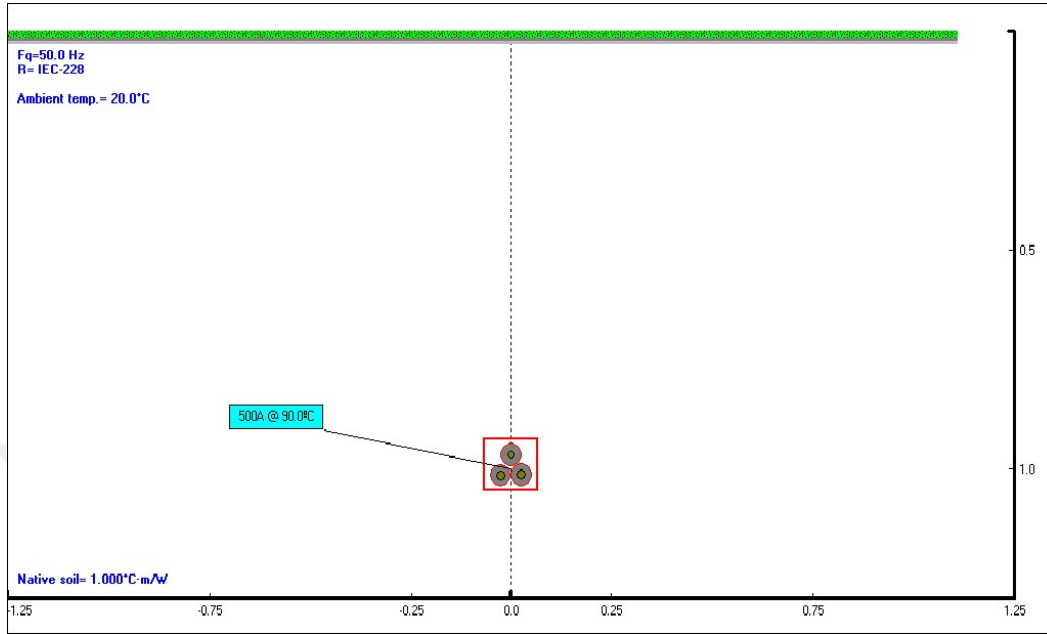
Şekil F.4. Yatayda paralel sistem sayısı 4 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



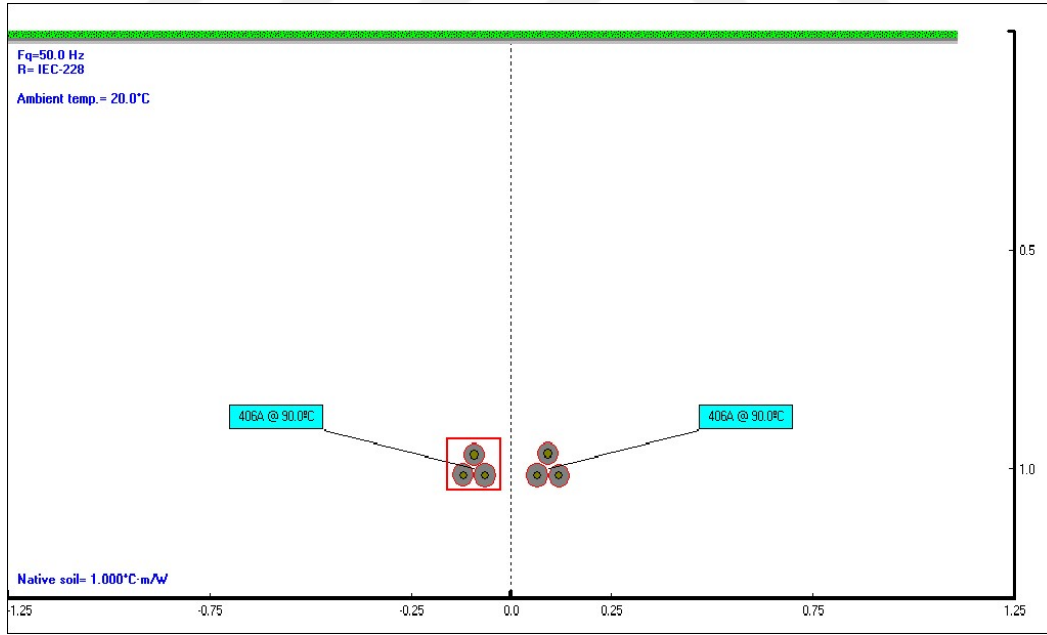
Şekil F.5. Yatayda paralel sistem sayısı 5 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



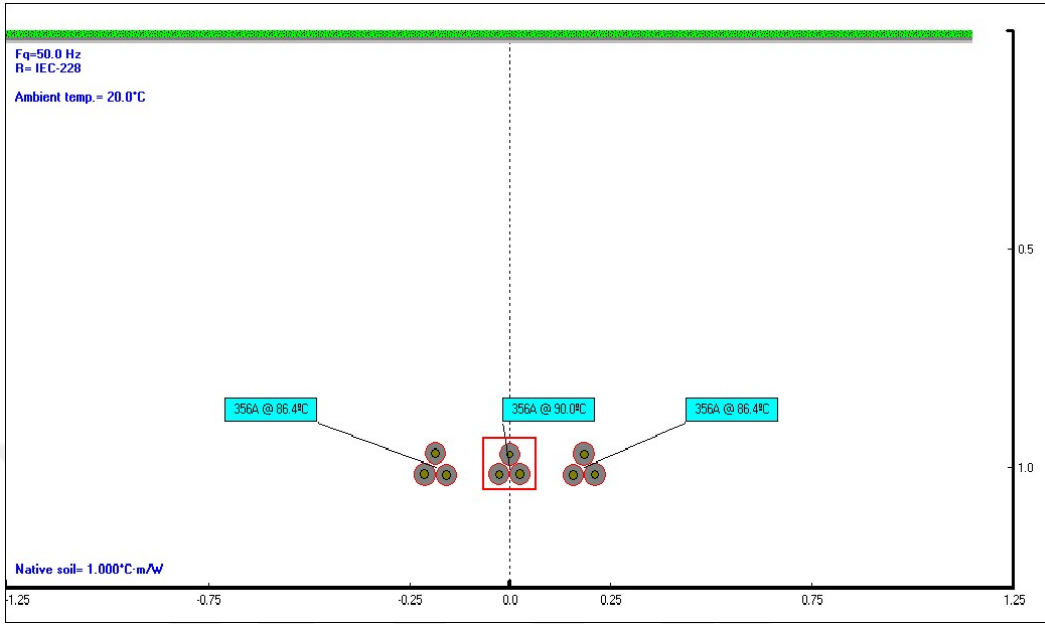
Şekil F.6. Yatayda paralel sistem sayısı 6 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



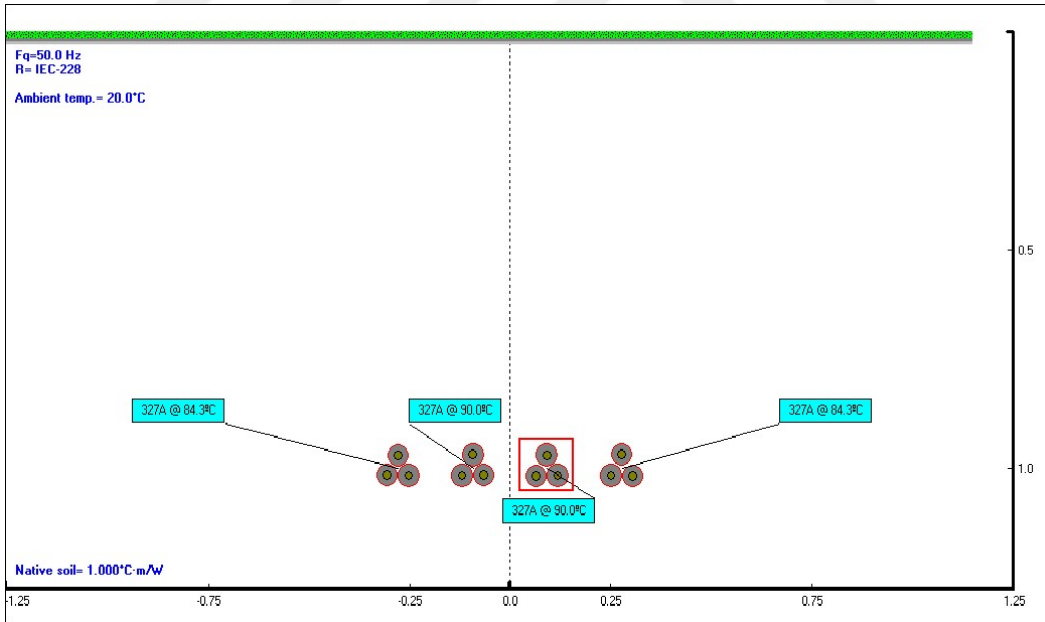
Şekil F.7. Trefoilde paralel sistem sayısı 1 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



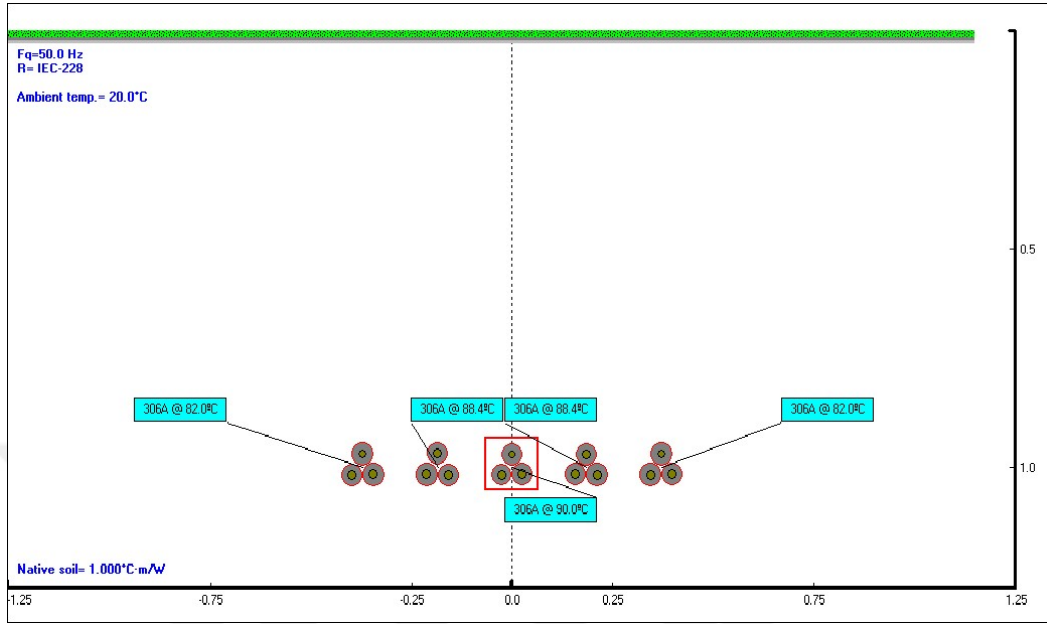
Şekil F.8. Trefoilde paralel sistem sayısı 2 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



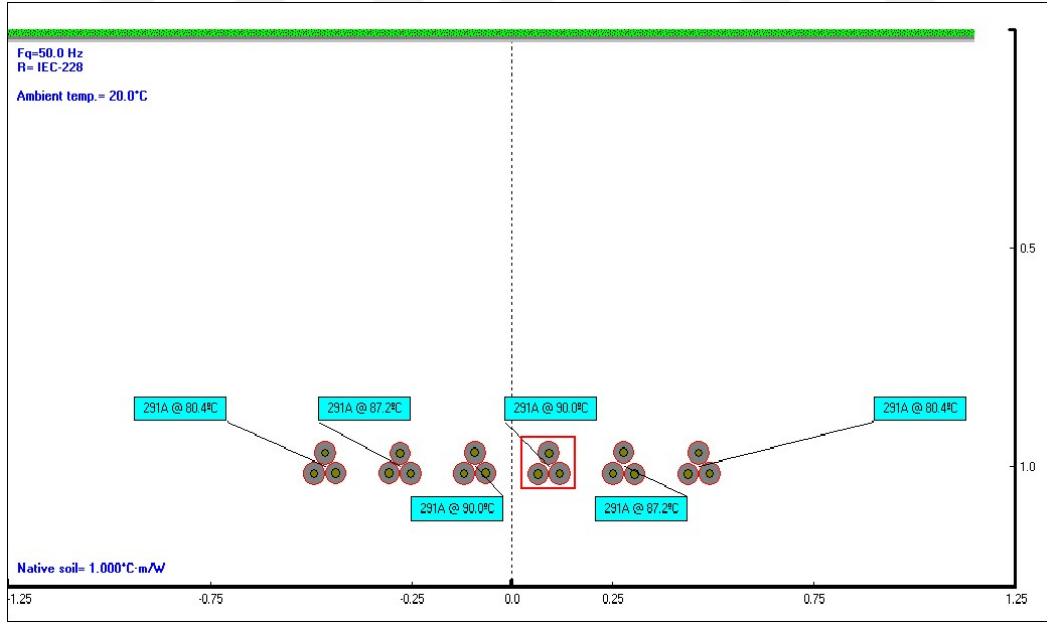
Şekil F.9. Trefoilde paralel sistem sayısı 3 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil F.10. Trefoilde paralel sistem sayısı 4 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



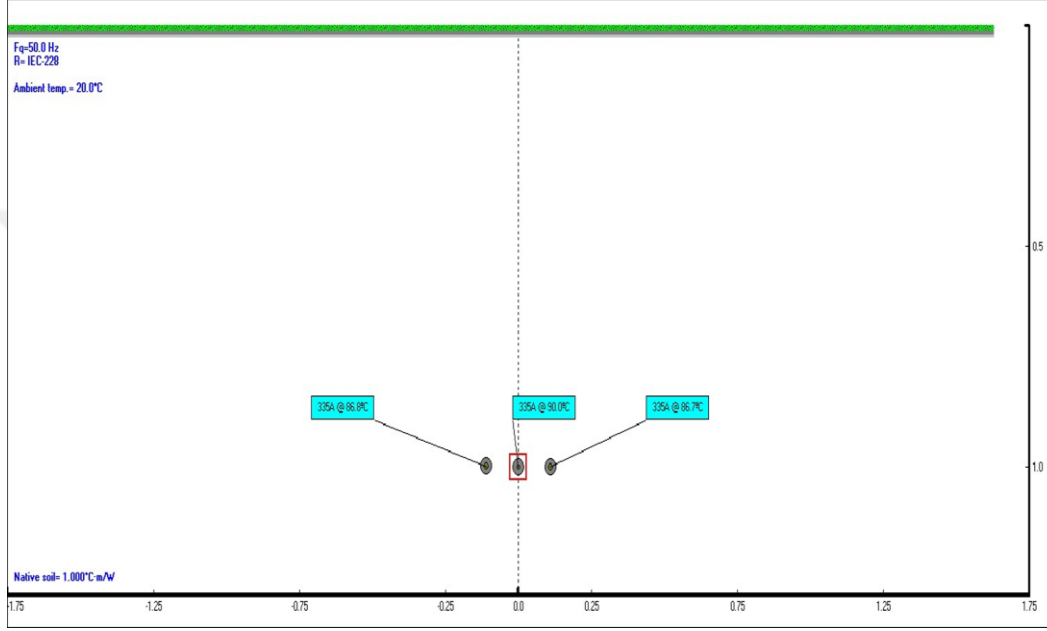
Şekil F.11. Trefoilde paralel sistem sayısı 5 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



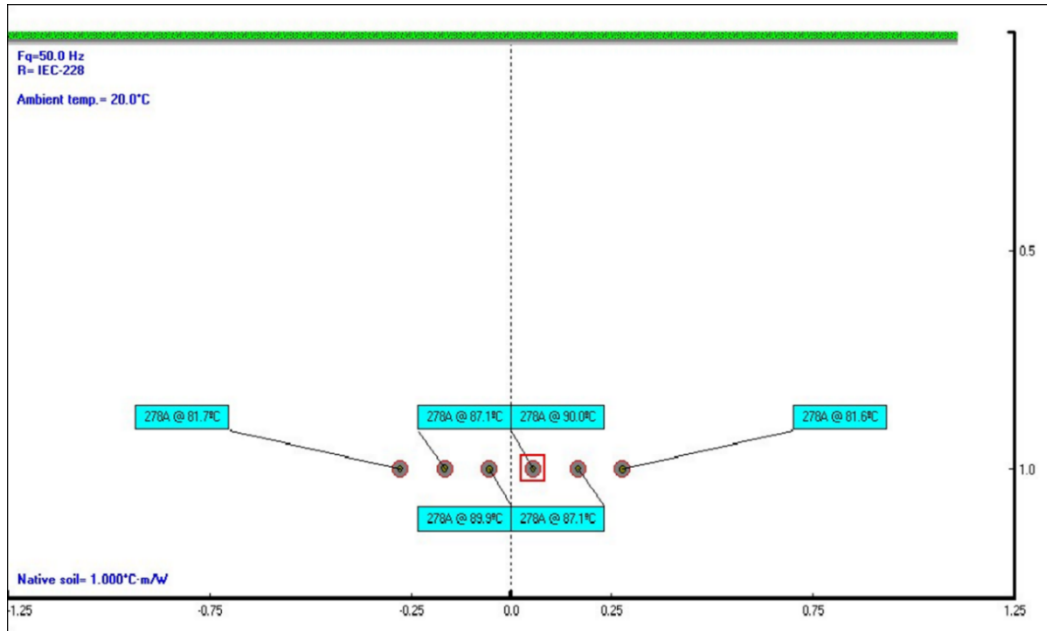
Şekil F.12. Trefoilde paralel sistem sayısı 6 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu

Ek-G 150 mm² NA2XSY Kablo İçin Paralel Sistem Sayısı Değişkeni Analiz Sonuçları

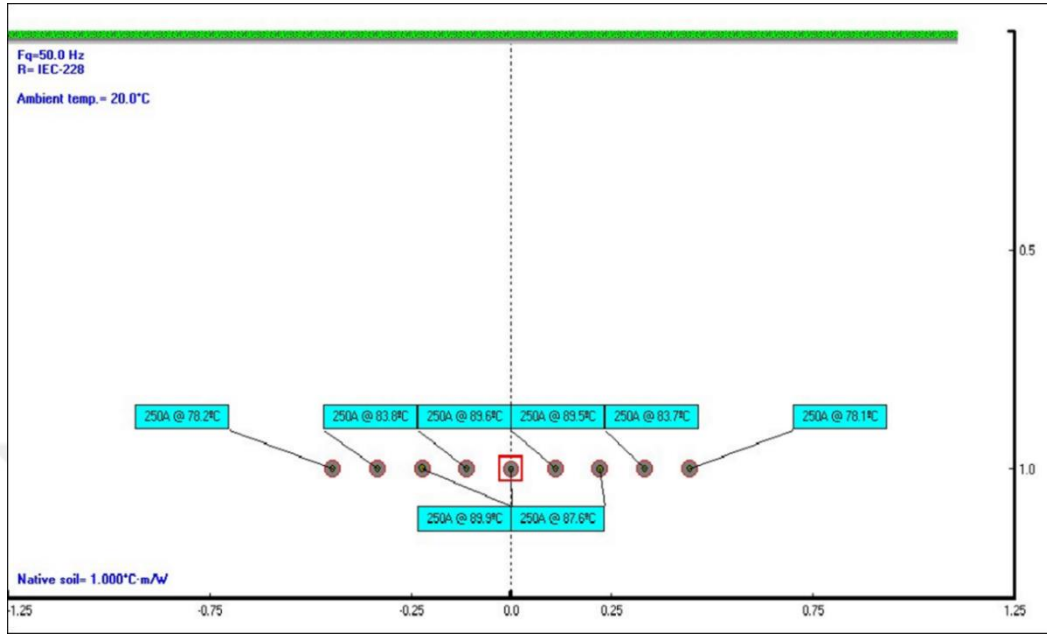
Bu bölümde paralel sistem sayısı değişkeni için 150 mm² NA2XSY kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



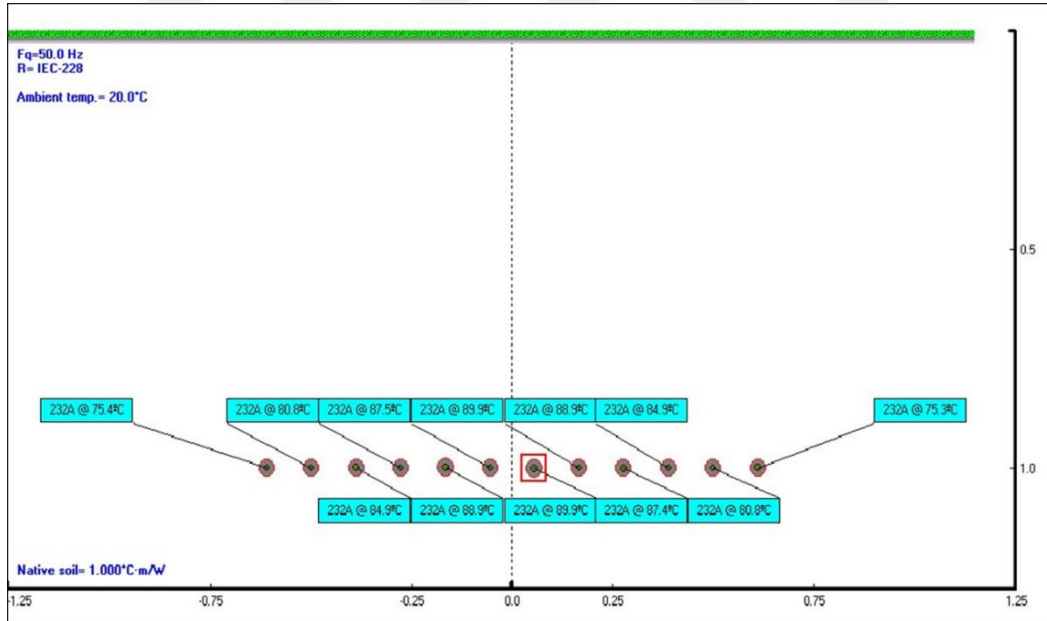
Şekil G.1. Yatayda paralel sistem sayısı 1 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



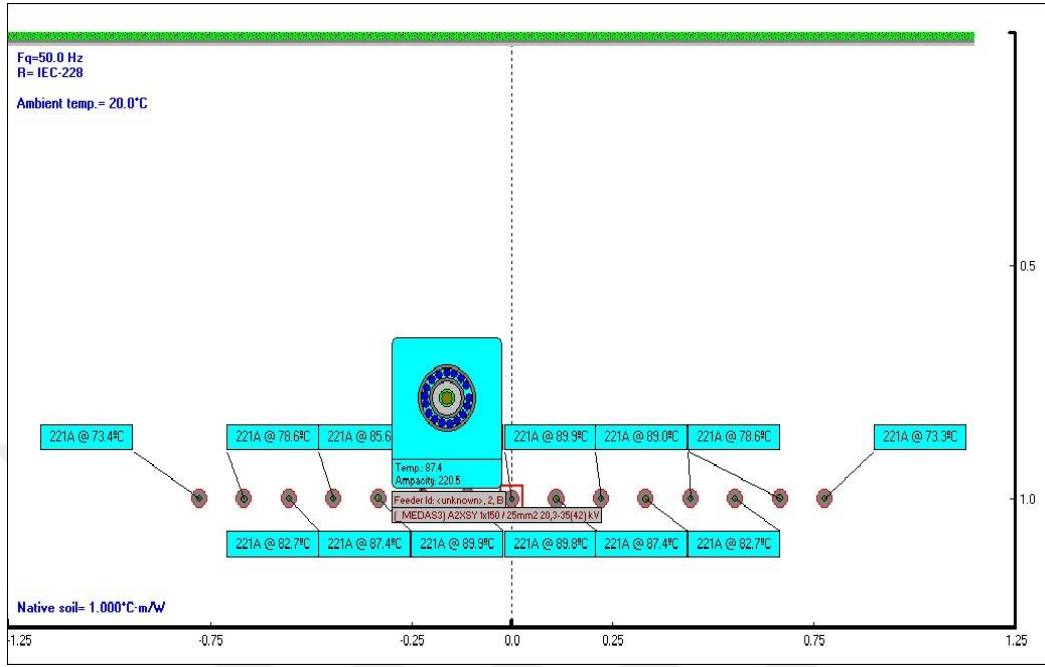
Şekil G.2. Yatayda paralel sistem sayısı 2 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



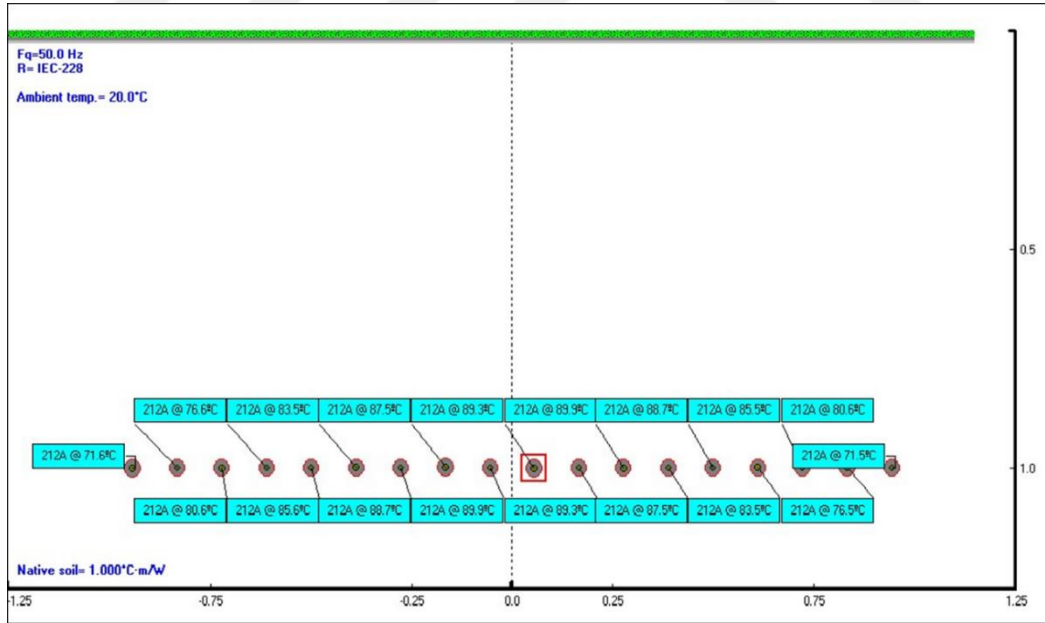
Şekil G.3. Yatayda paralel sistem sayısı 3 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



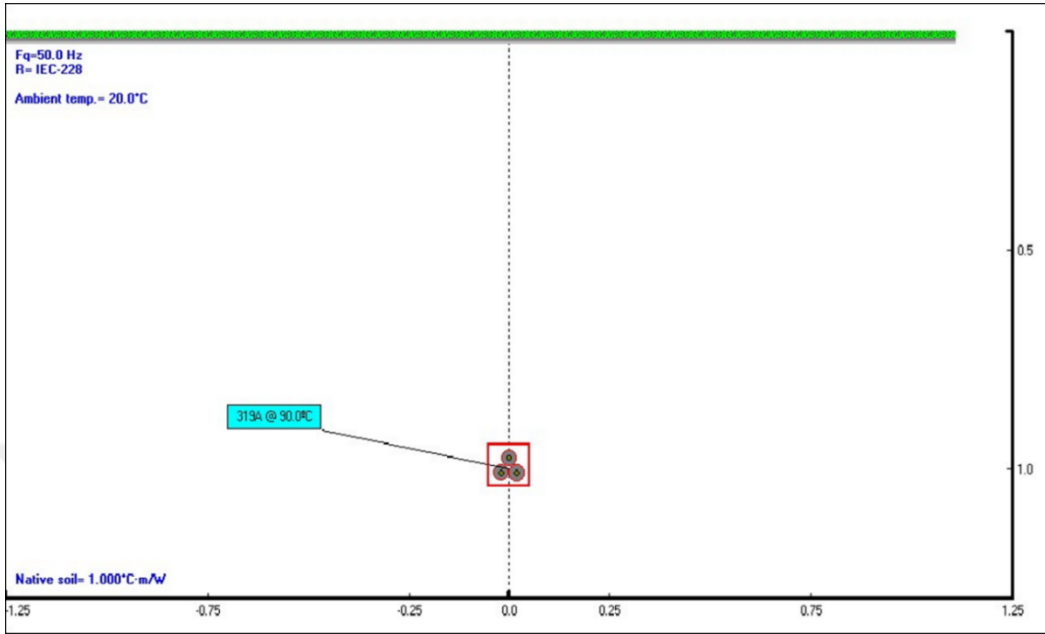
Şekil G.4. Yatayda paralel sistem sayısı 4 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



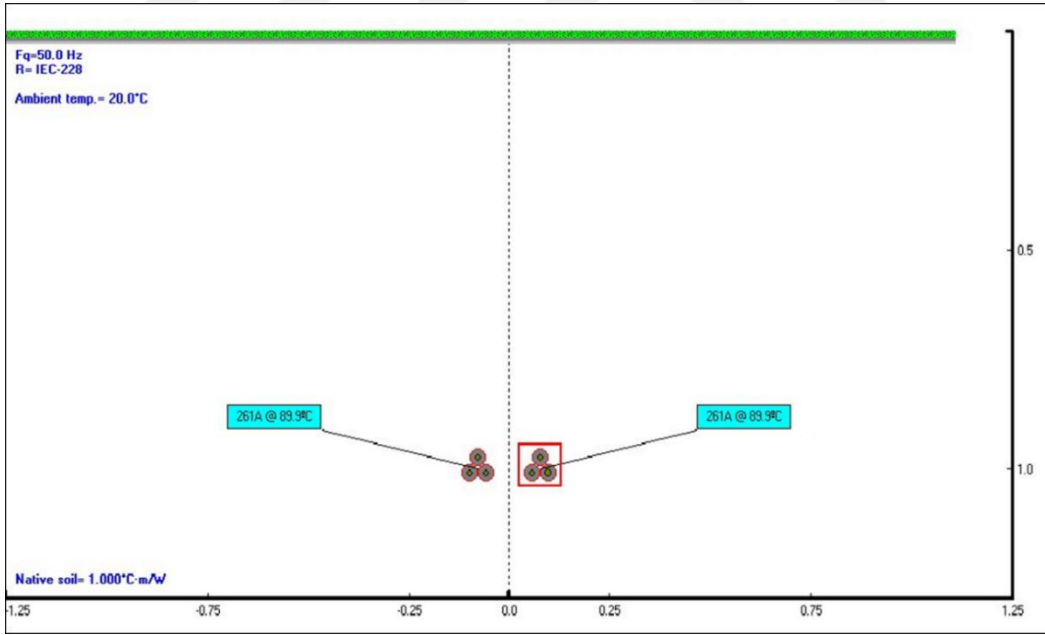
Şekil G.5. Yatayda paralel sistem sayısı 5 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



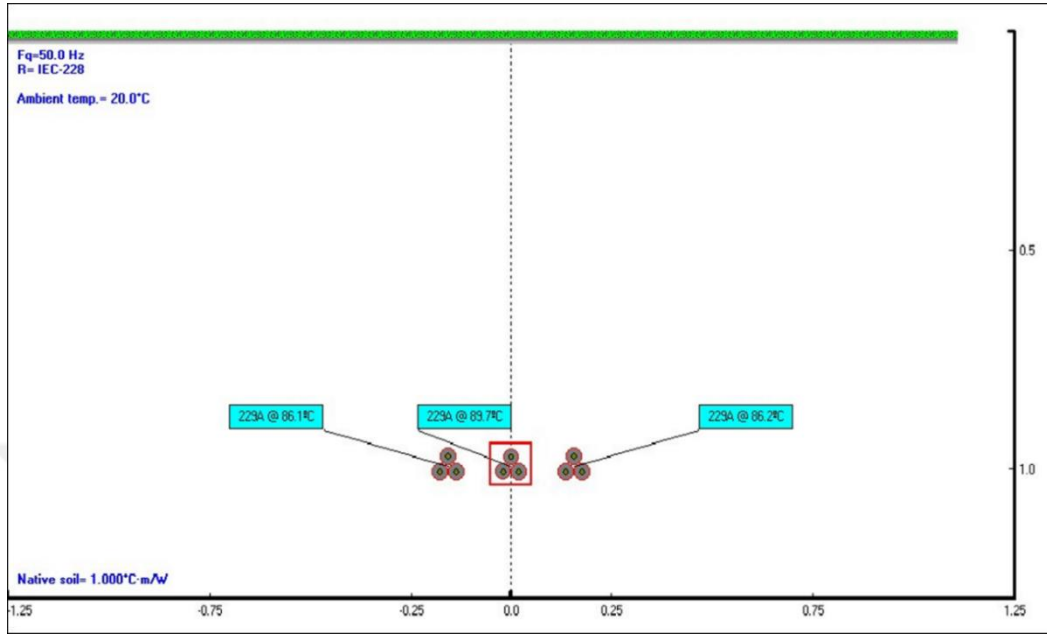
Şekil G.6. Yatayda paralel sistem sayısı 6 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



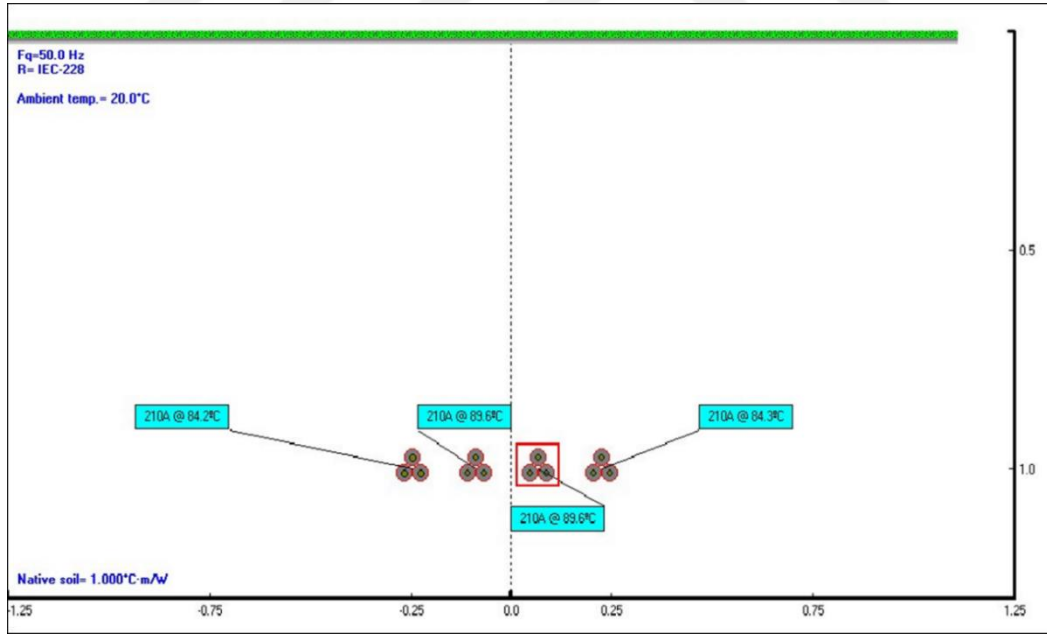
Şekil G.7. Trefolde paralel sistem sayısı 1 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



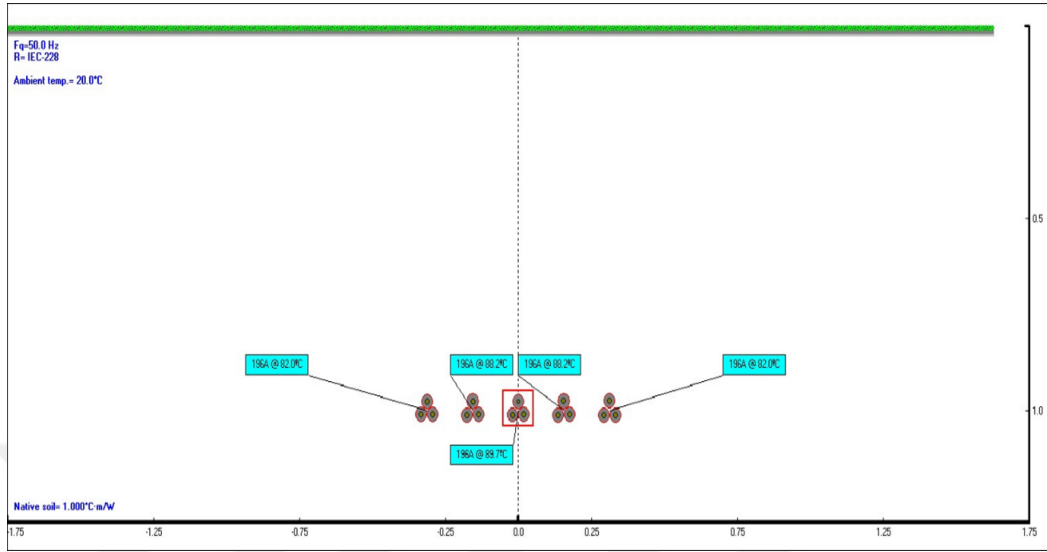
Şekil G.8. Trefolde paralel sistem sayısı 2 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



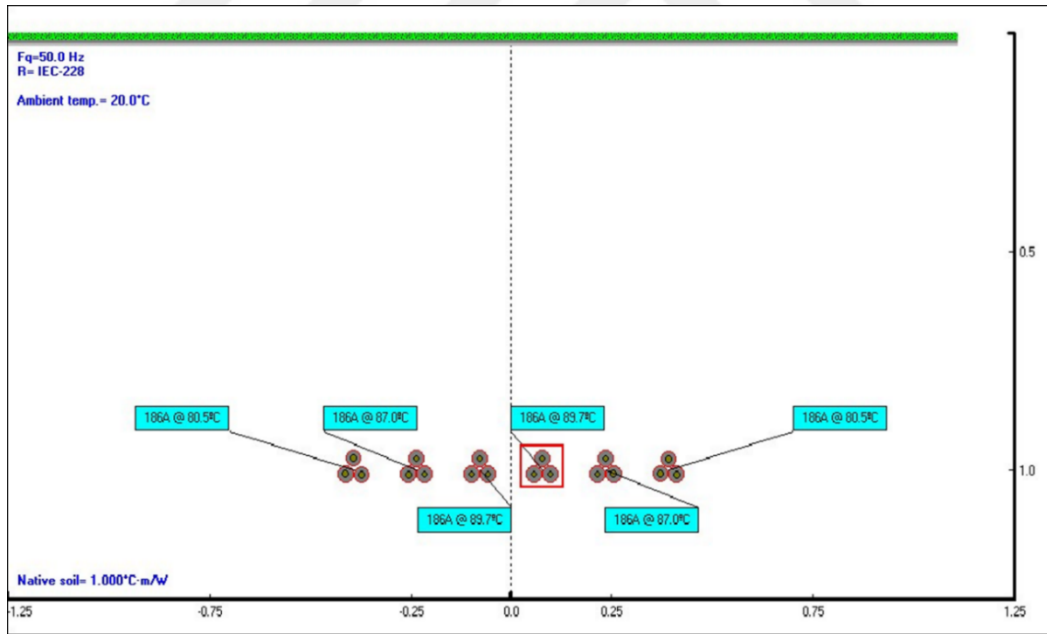
Şekil G.9. Trefoilde paralel sistem sayısı 3 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil G.10. Trefoilde paralel sistem sayısı 4 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



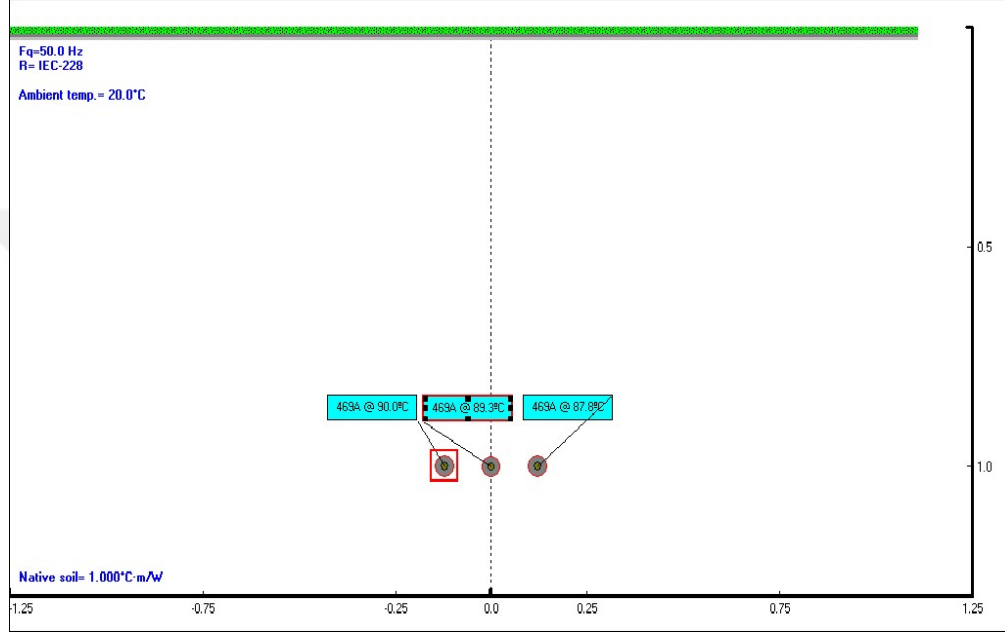
Şekil G.11. Trefoilde paralel sistem sayısı 5 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



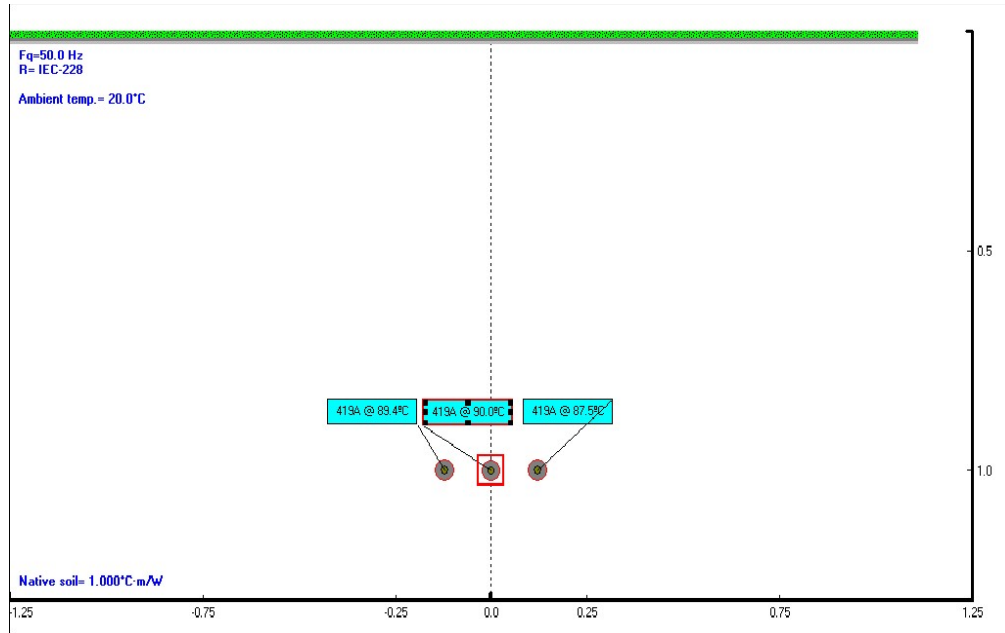
Şekil G.12. Trefoilde paralel sistem sayısı 6 için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu

Ek-H 185 mm² NA2XSYR Kablo İçin Yük Faktörü Değişkeni Analiz Sonuçları

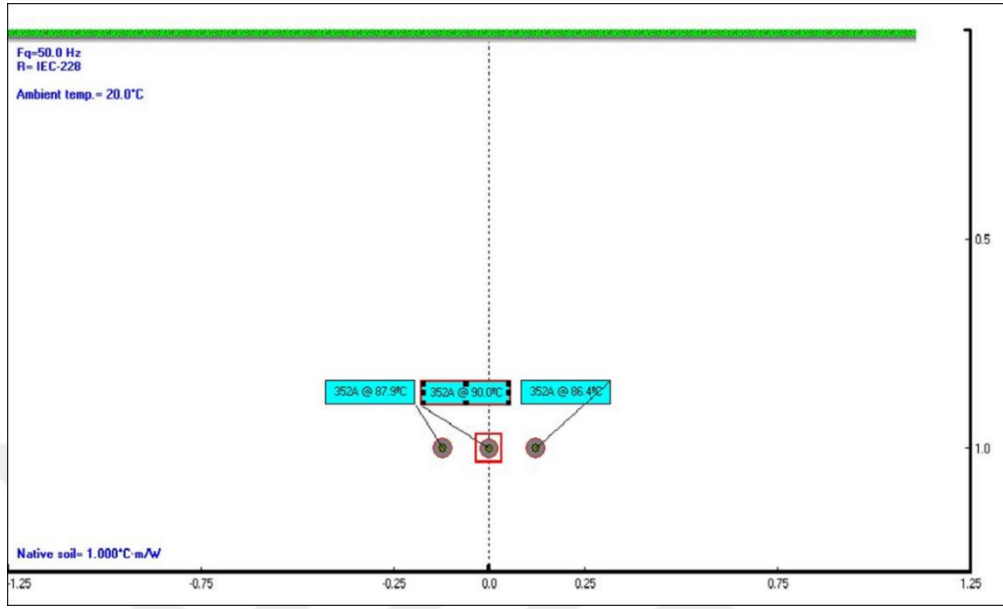
Bu bölümde yük faktörü değişkeni için 185 mm² NA2XSYR kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



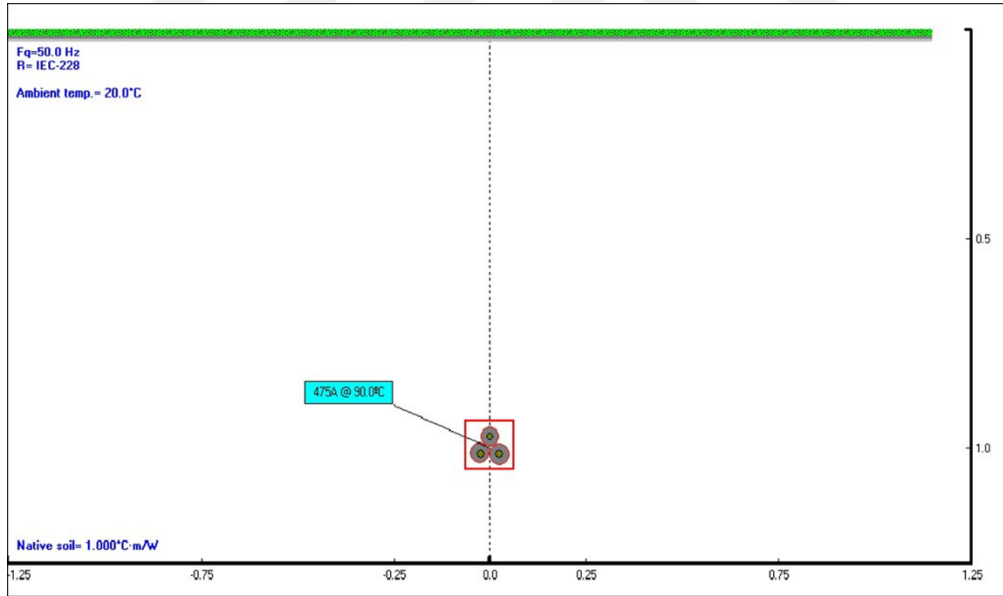
Şekil H.1. Yatayda yük faktörü 0,5 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



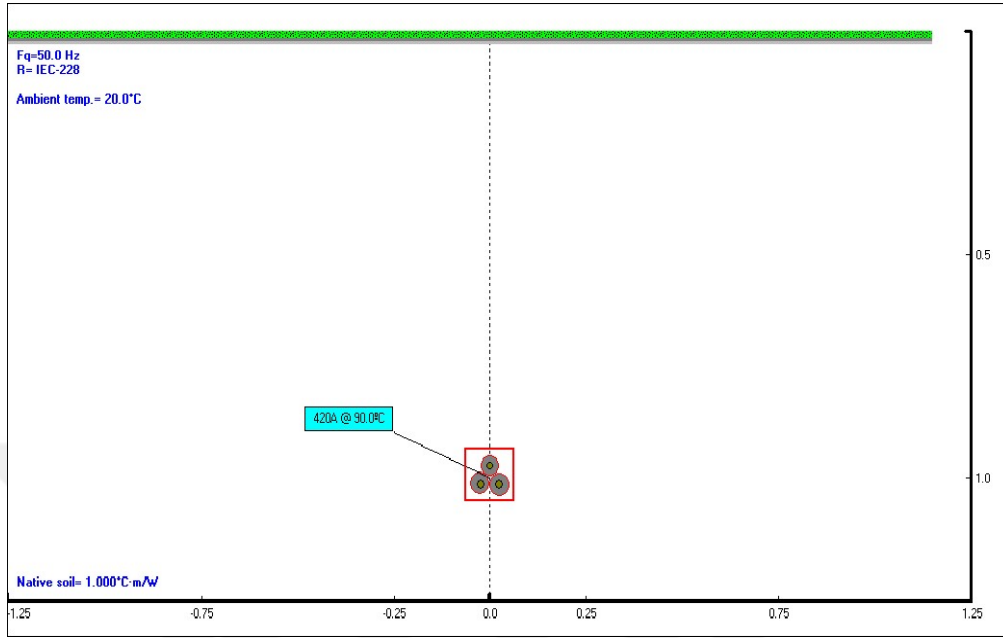
Şekil H.2. Yatayda yük faktörü 0,7 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



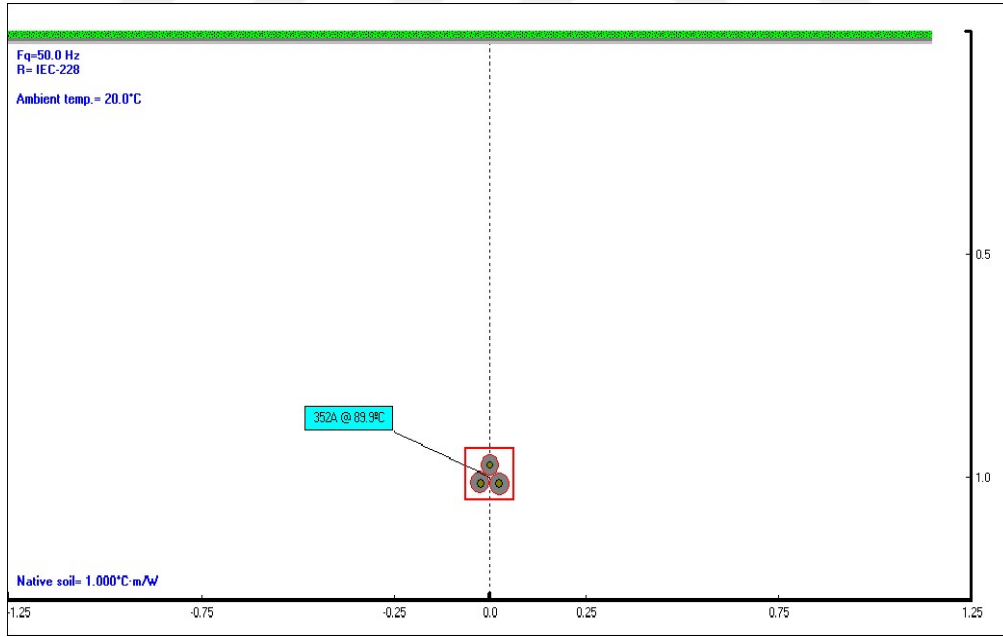
Şekil H.3. Yatayda yük faktörü 1 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil H.4. Trefilde yük faktörü 0,5 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



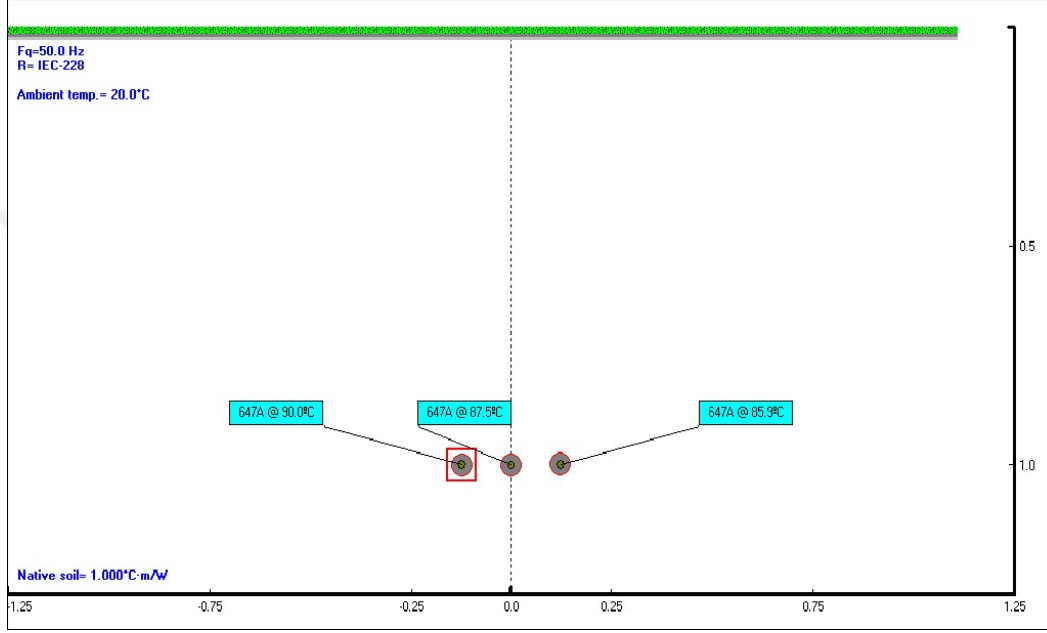
Şekil H.5. Trefoilde yük faktörü 0,7 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



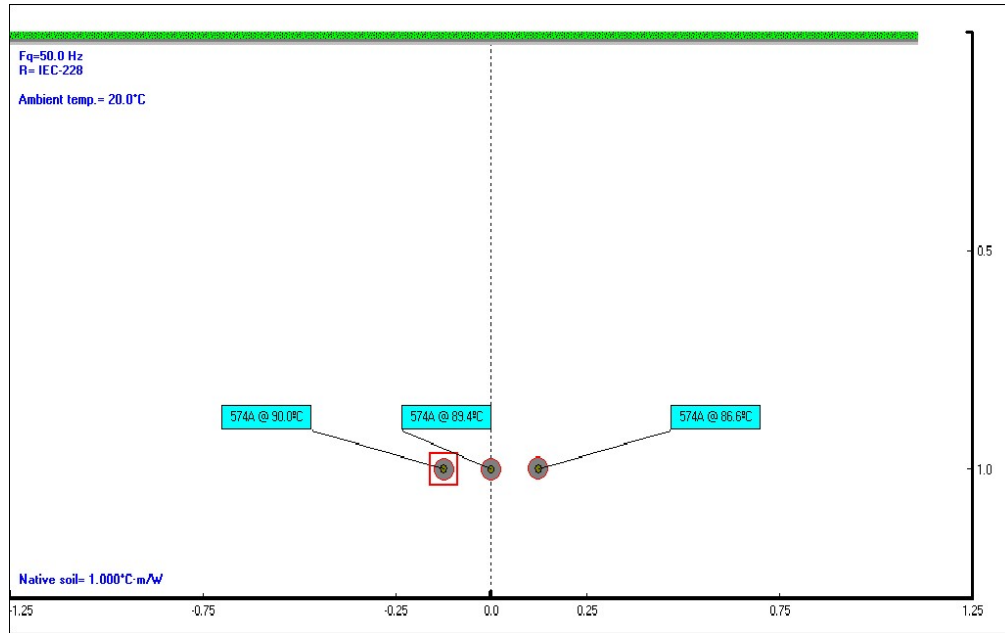
Şekil H.6. Trefoilde yük faktörü 1 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu

Ek-I 240 mm² N2XSYR Kablo İçin Yük Faktörü Değişkeni Analiz Sonuçları

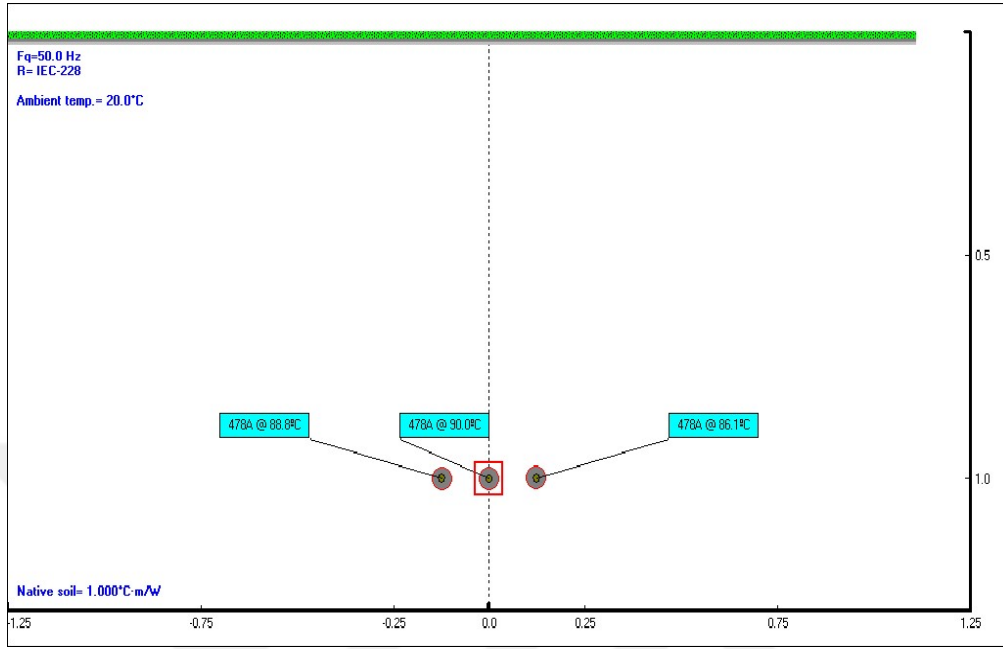
Bu bölümde yük faktörü değişkeni için 240 mm² N2XSYR kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



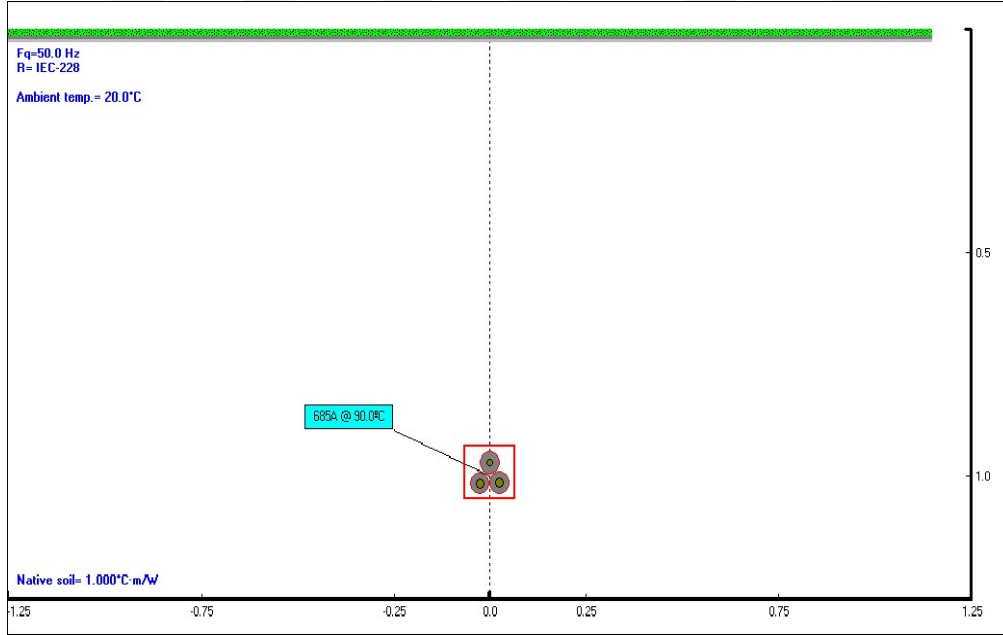
Şekil I.1. Yatayda yük faktörü 0,5 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



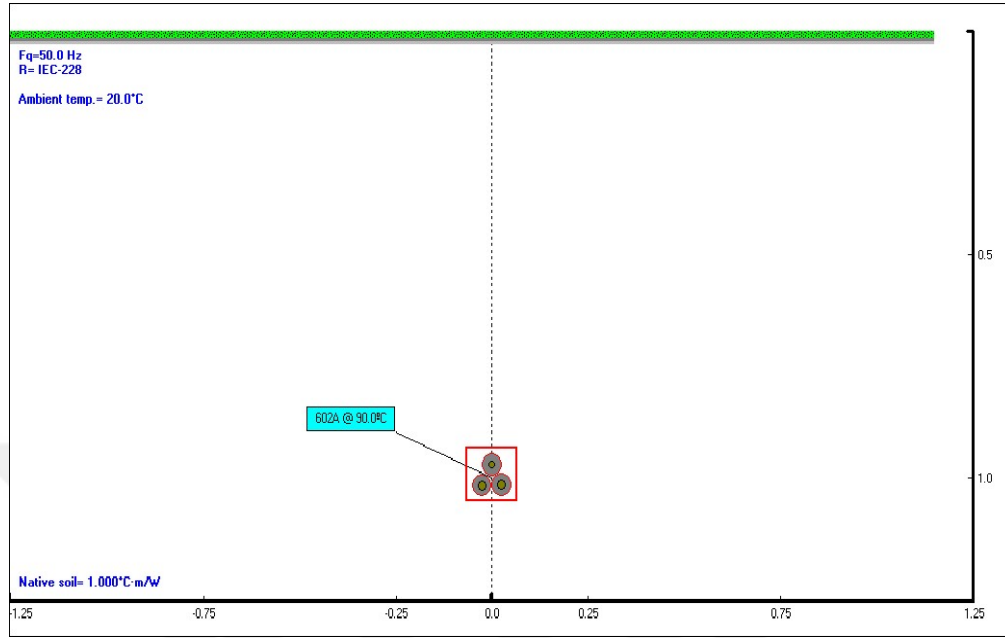
Şekil I.2. Yatayda yük faktörü 0,7 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



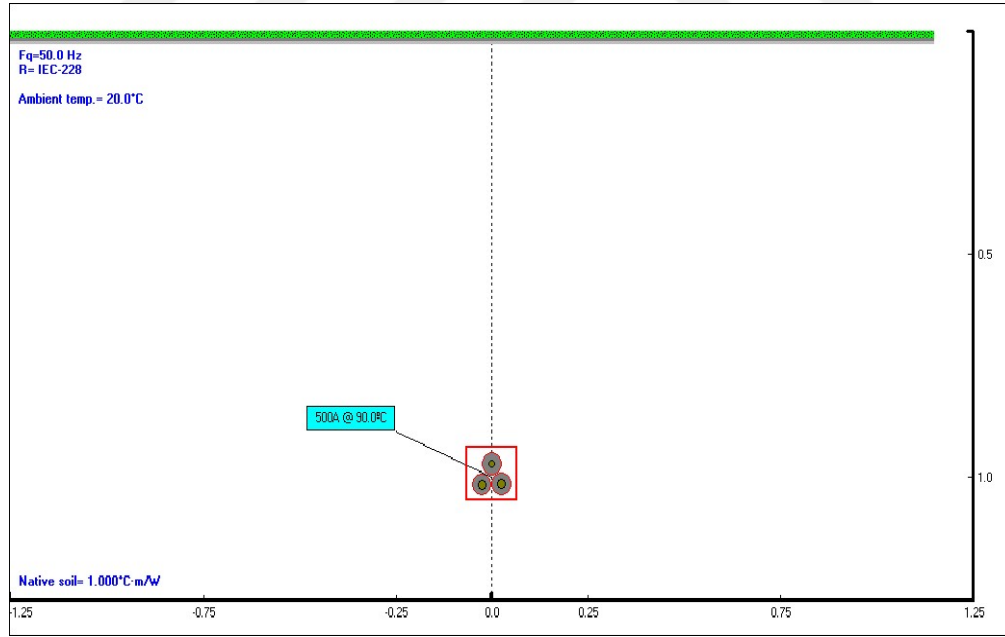
Şekil I.3. Yatayda yük faktörü 1 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil I.4. Trefoilde yük faktörü 0,5 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



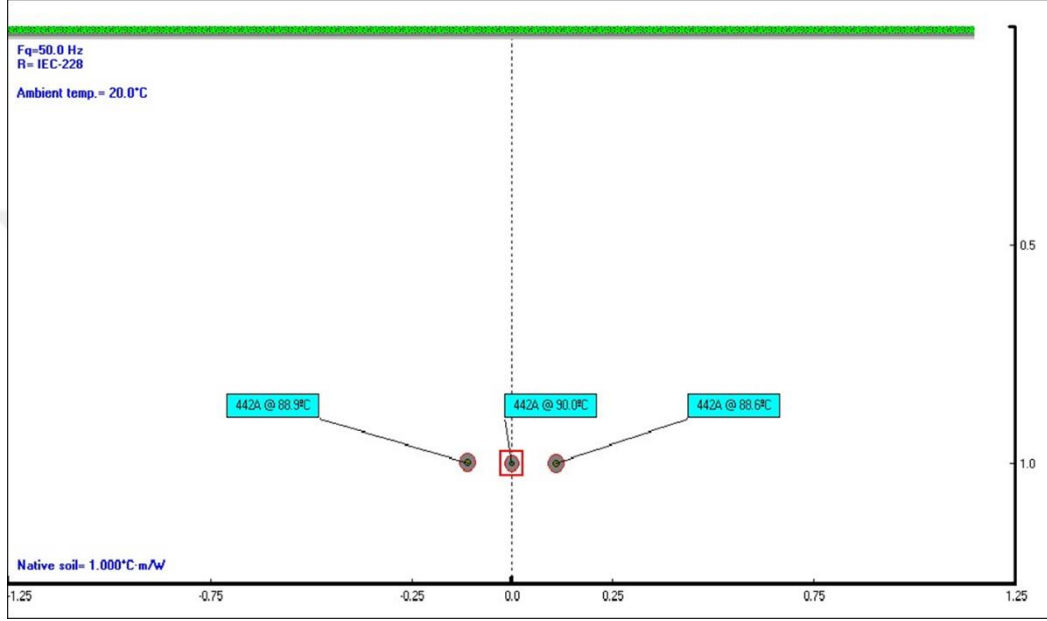
Şekil I.5. Trefoilde yük faktörü 0,7 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



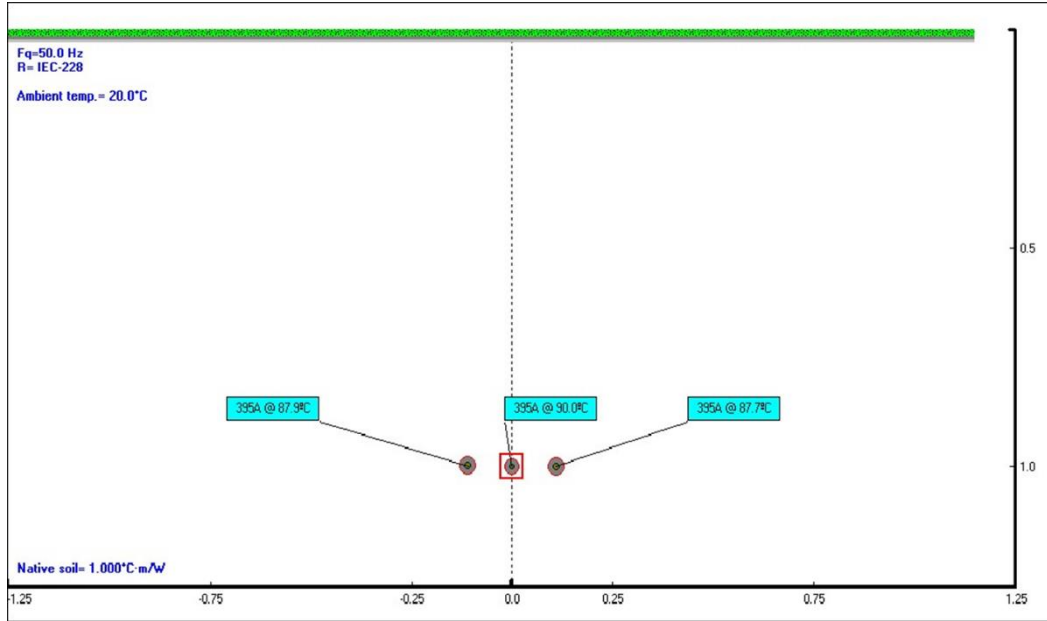
Şekil I.6. Trefoilde yük faktörü 1 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu

Ek-J 150 mm² NA2XSY Kablo İçin Yük Faktörü Değişkeni Analiz Sonuçları

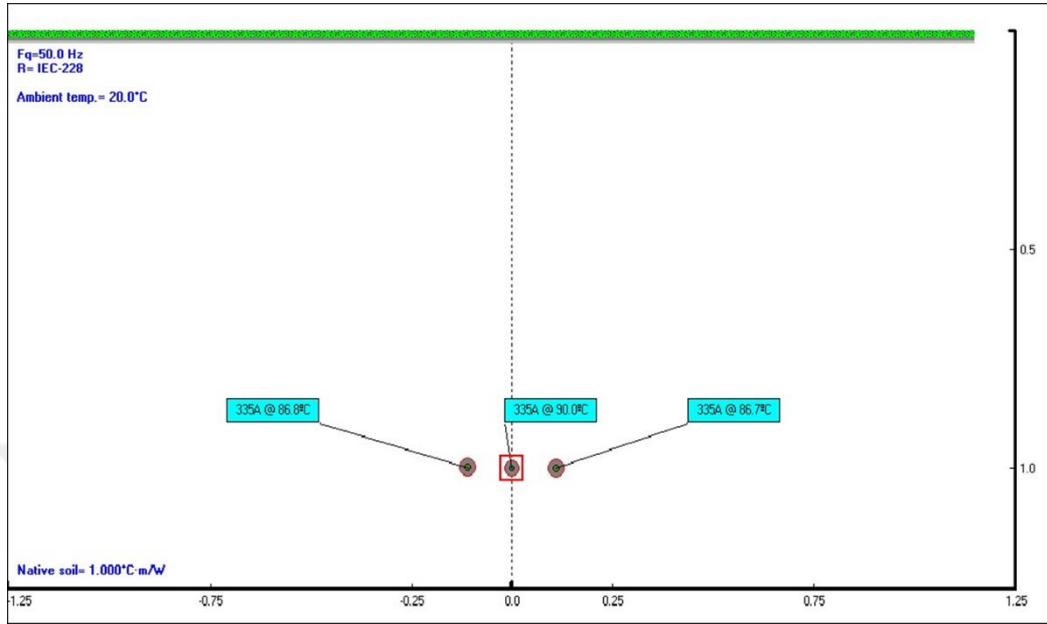
Bu bölümde yük faktörü değişkeni için 150 mm² NA2XSY kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



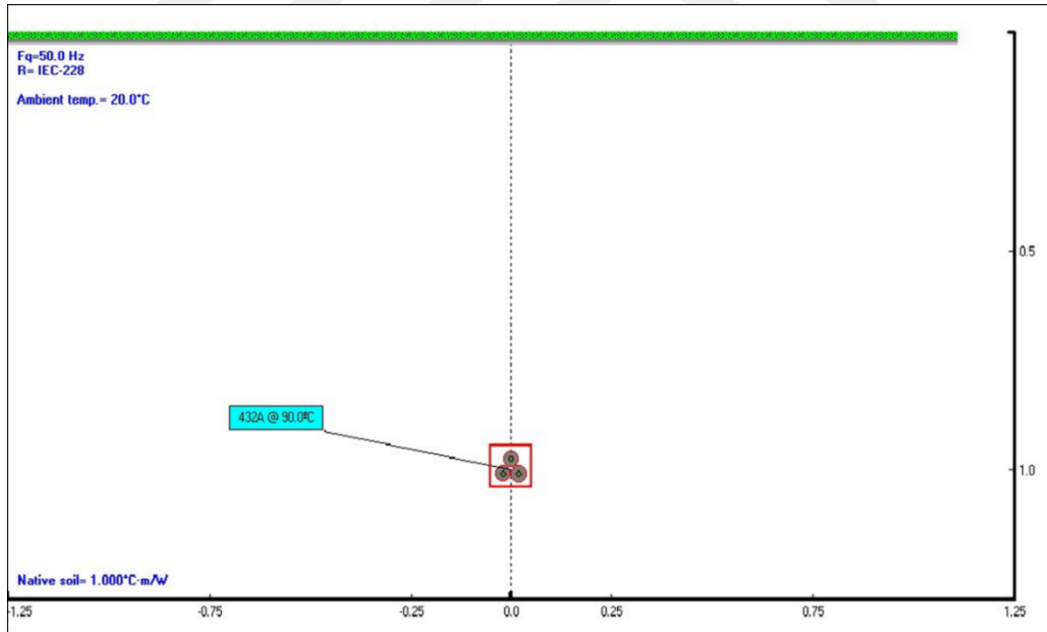
Şekil J.1. Yatayda yük faktörü 0,5 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



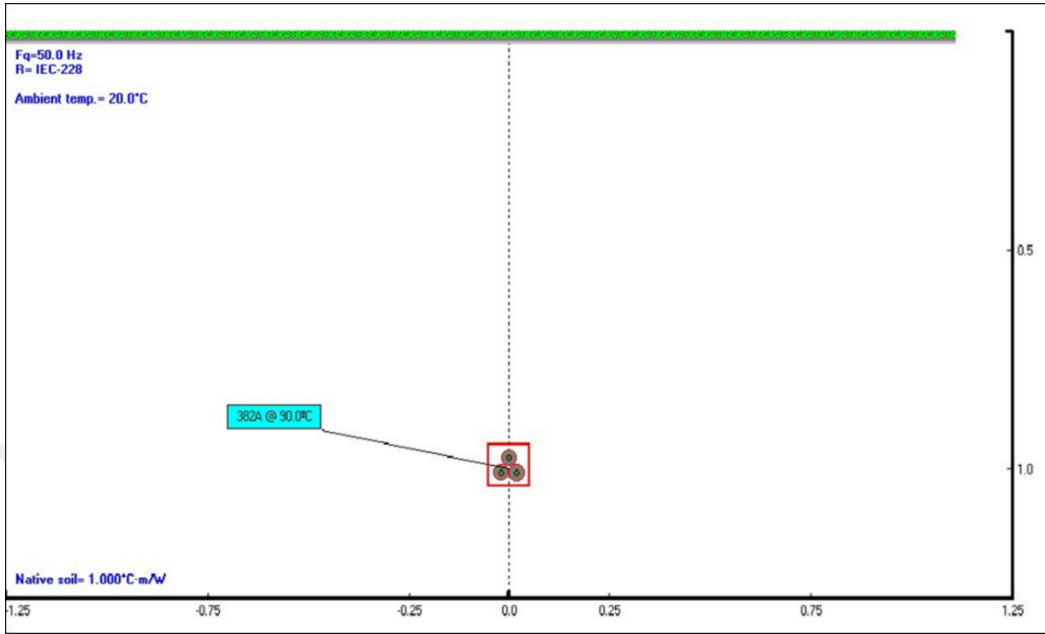
Şekil J.2. Yatayda yük faktörü 0,7 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



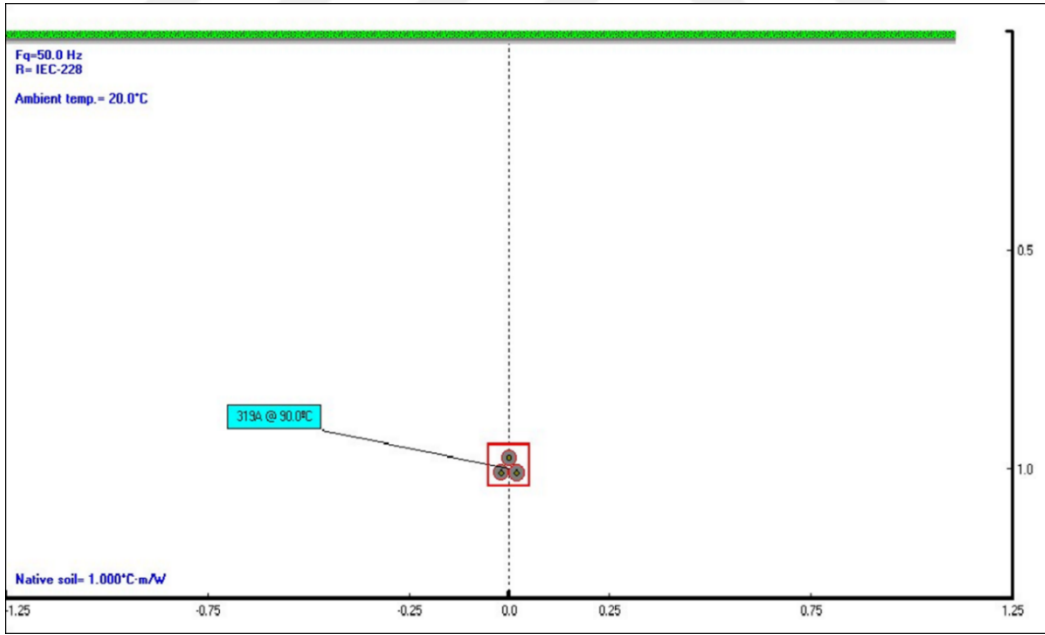
Şekil J.3. Yatayda yük faktörü 1 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil J.4. Trefoilde yük faktörü 0,5 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



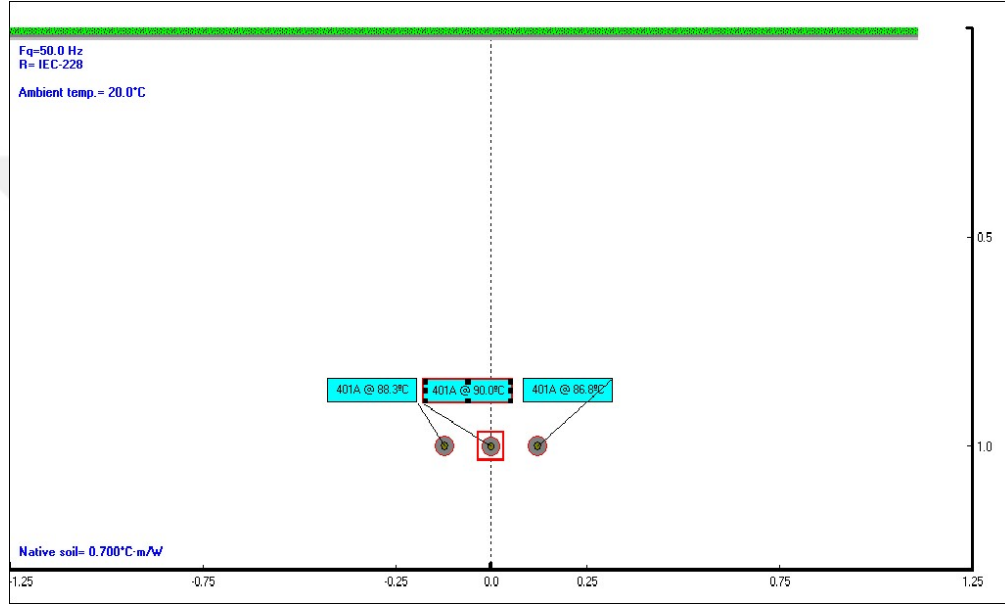
Şekil J.5. Trefoilde yük faktörü 0,7 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



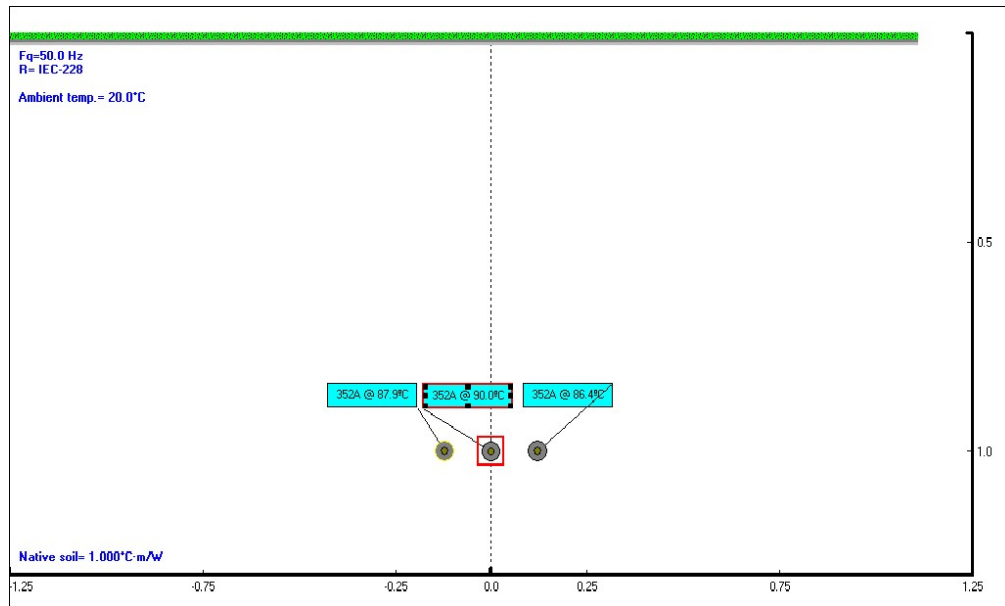
Şekil J.6. Trefoilde yük faktörü 1 p.u. için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu

Ek-K 185 mm² NA2XSYR Kablo İçin Toprak Termal Direnci Değişkeni Analiz Sonuçları

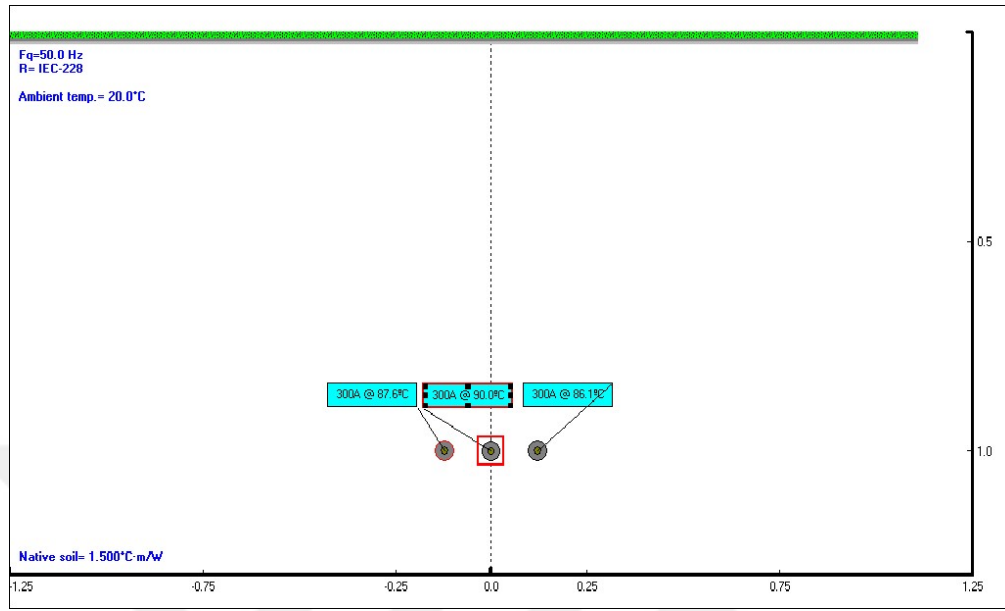
Bu bölümde toprak termal direnci değişkeni için 185 mm² NA2XSYR kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



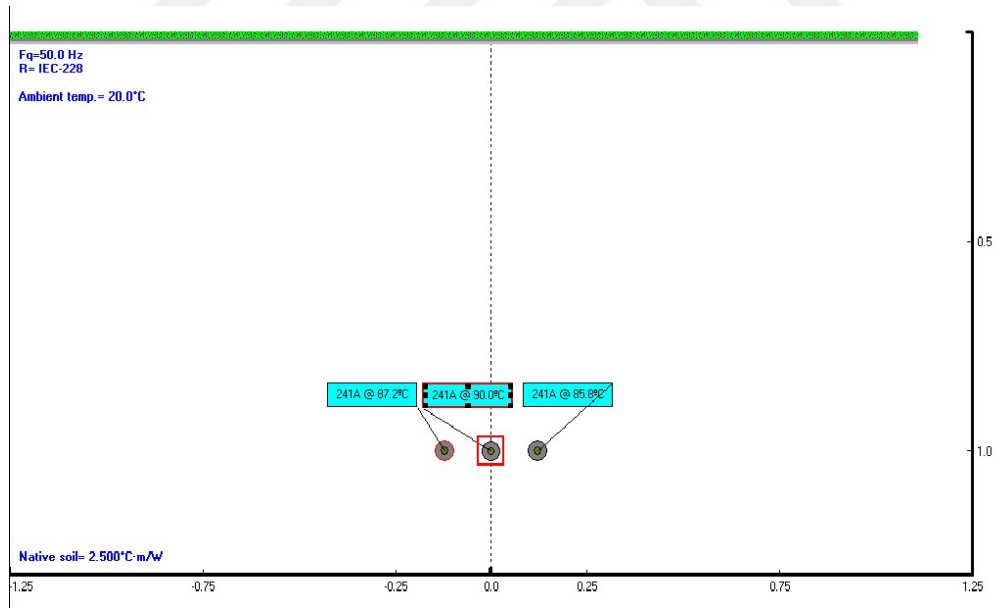
Şekil K.1. Yatayda toprak termal direnci 0,7 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



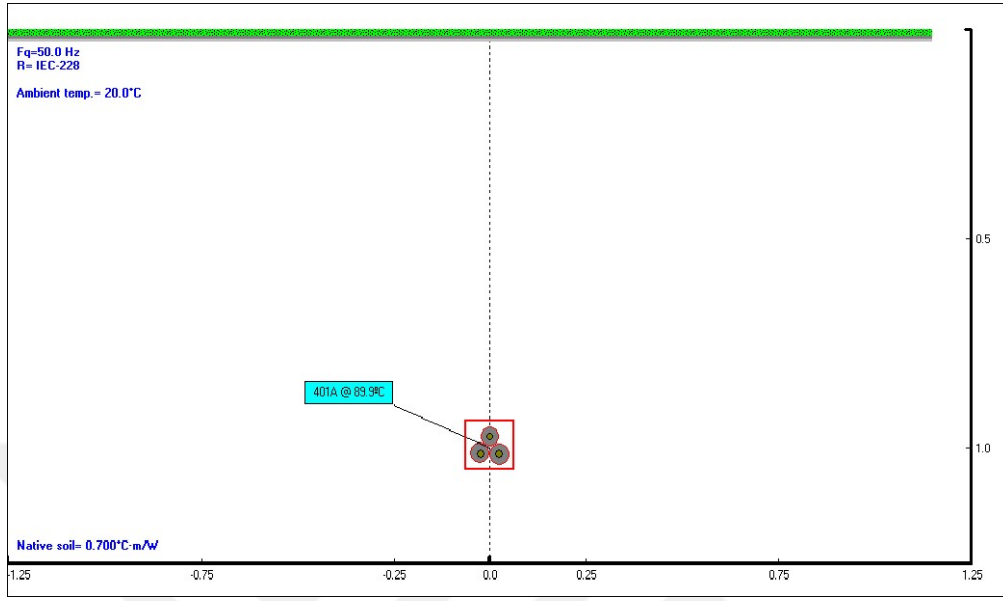
Şekil K.2. Yatayda toprak termal direnci 1 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



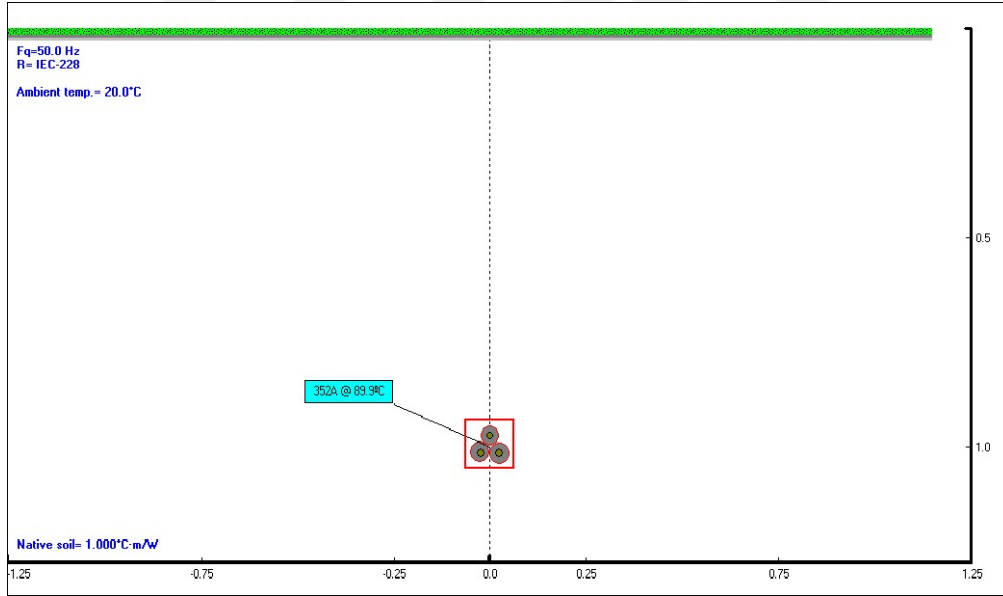
Şekil K.3. Yatayda toprak termal direnci 1,5 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



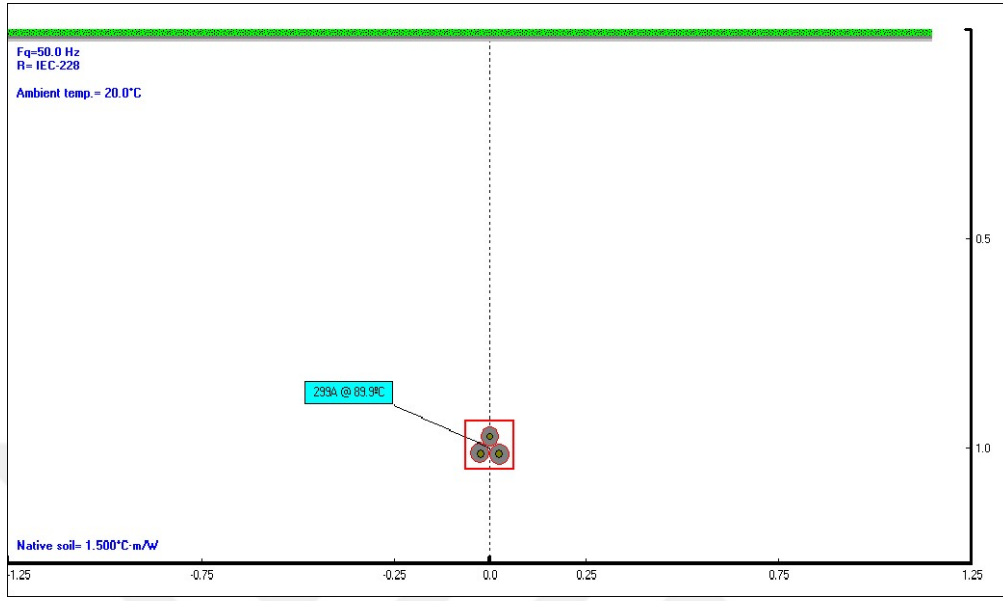
Şekil K.4. Yatayda toprak termal direnci 2,5 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



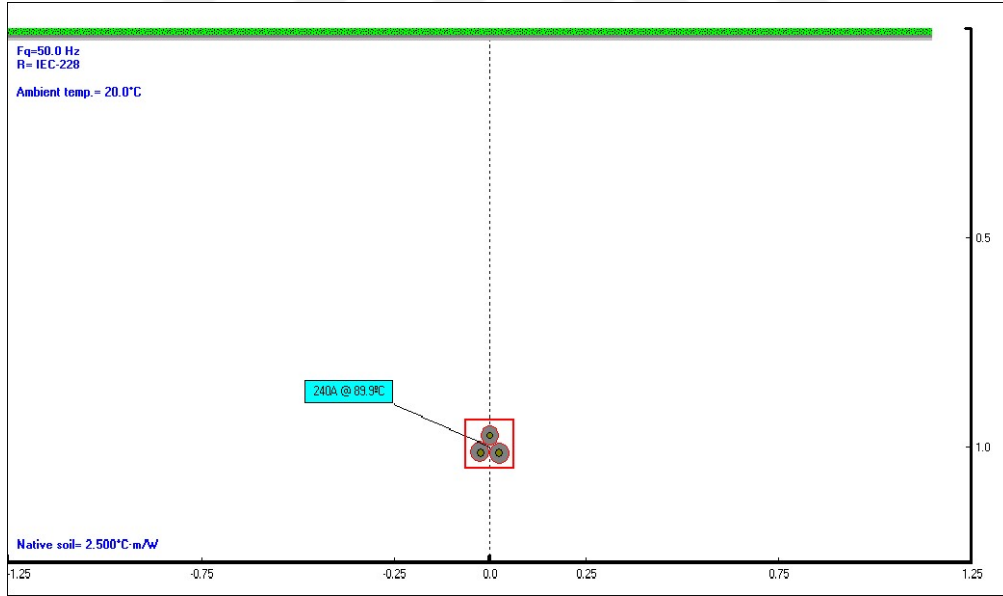
Şekil K.5. Trefoilde toprak termal direnci 0,7 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



Şekil K.6. Trefoilde toprak termal direnci 1 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



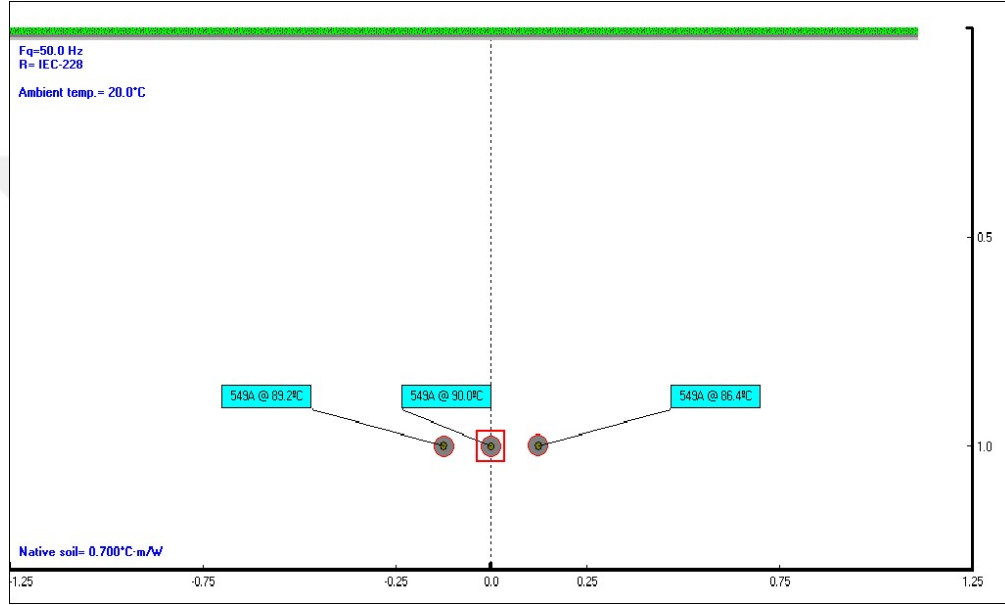
Şekil K.7. Trefoilde toprak termal direnci 1,5 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



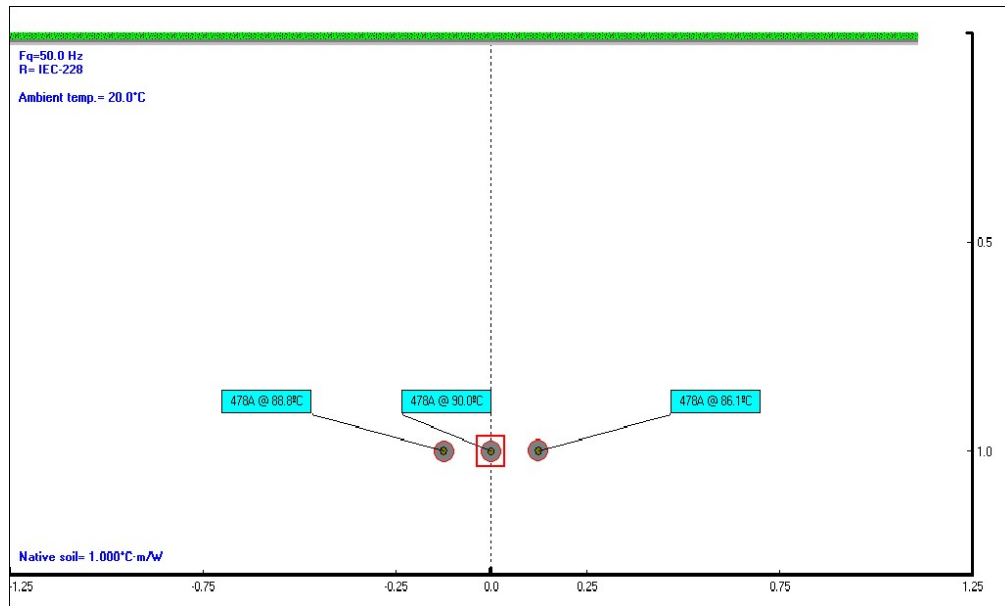
Şekil K.8. Trefoilde toprak termal direnci 2,5 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu

Ek-L 240 mm² N2XSYR Kablo İçin Toprak Termal Direnci Değişkeni Analiz Sonuçları

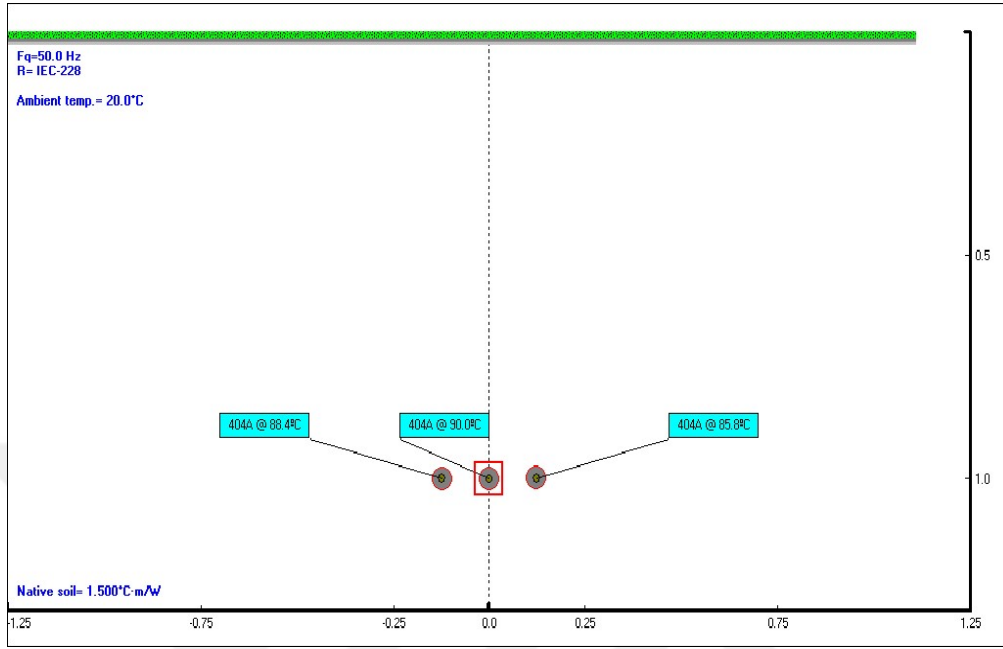
Bu bölümde toprak termal direnci değişkeni için 240 mm² N2XSYR kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



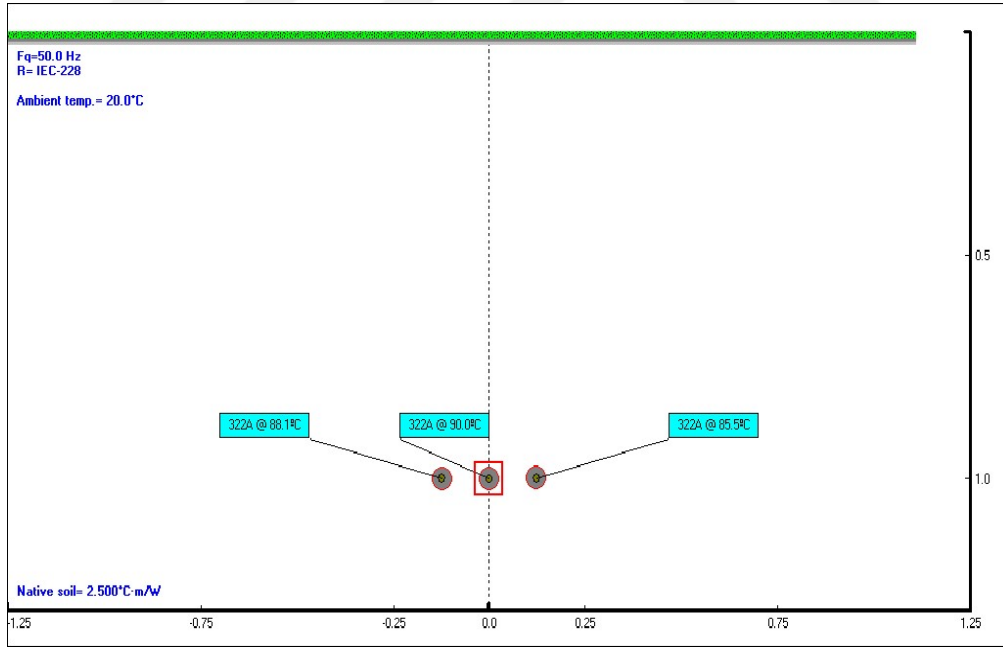
Şekil L.1. Yatayda toprak termal direnci 0,7 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



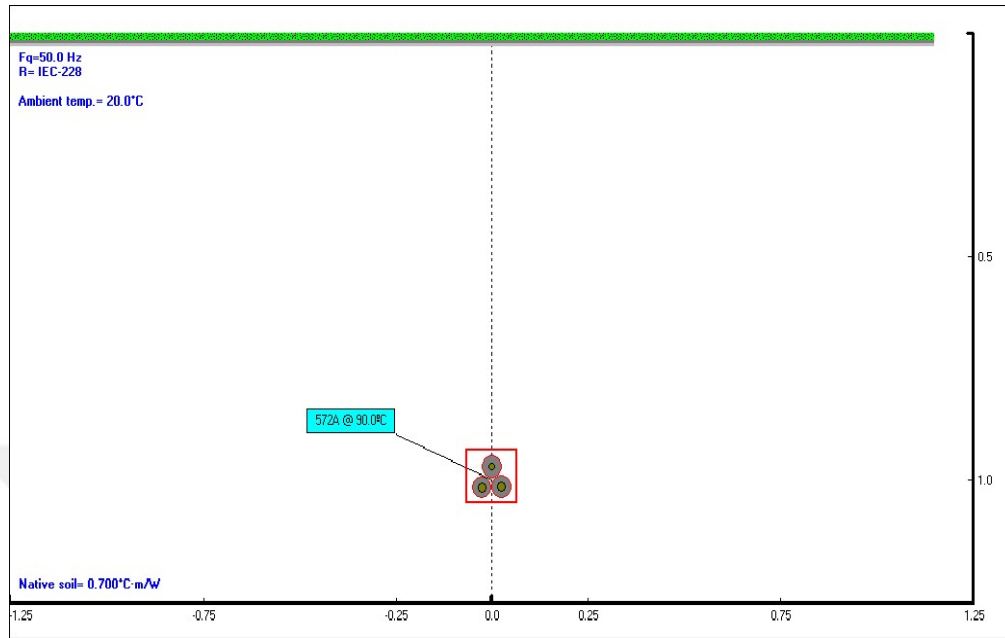
Şekil L.2. Yatayda toprak termal direnci 1 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



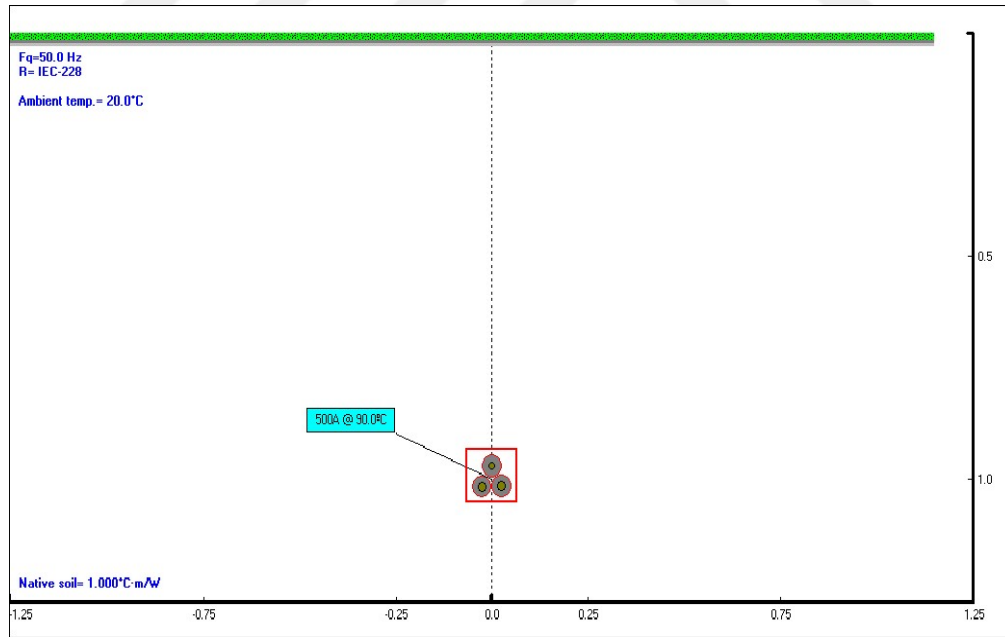
Şekil L.3. Yatayda toprak termal direnci 1,5 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



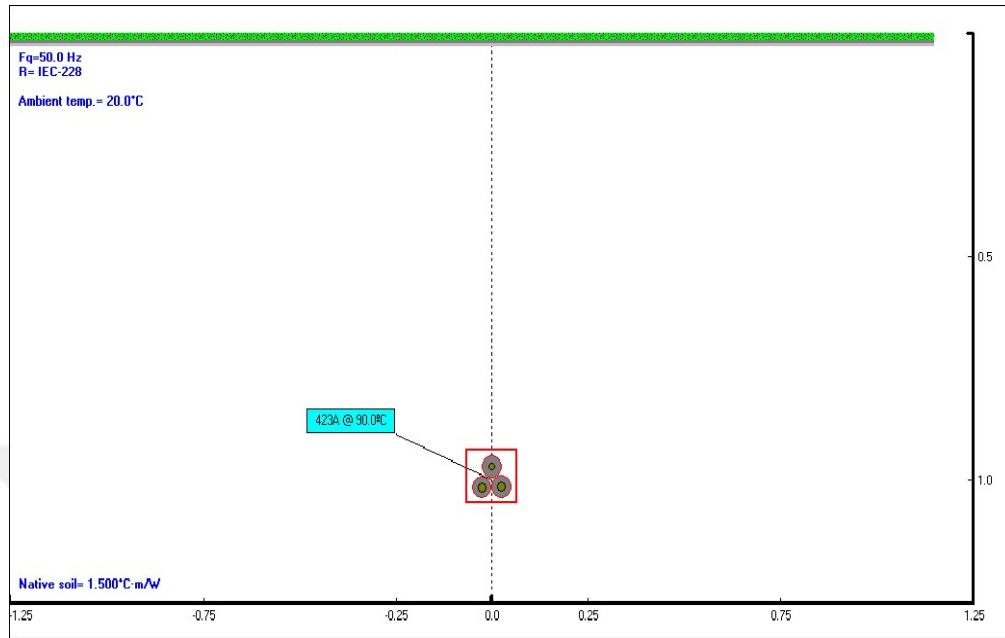
Şekil L.4. Yatayda toprak termal direnci 2,5 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



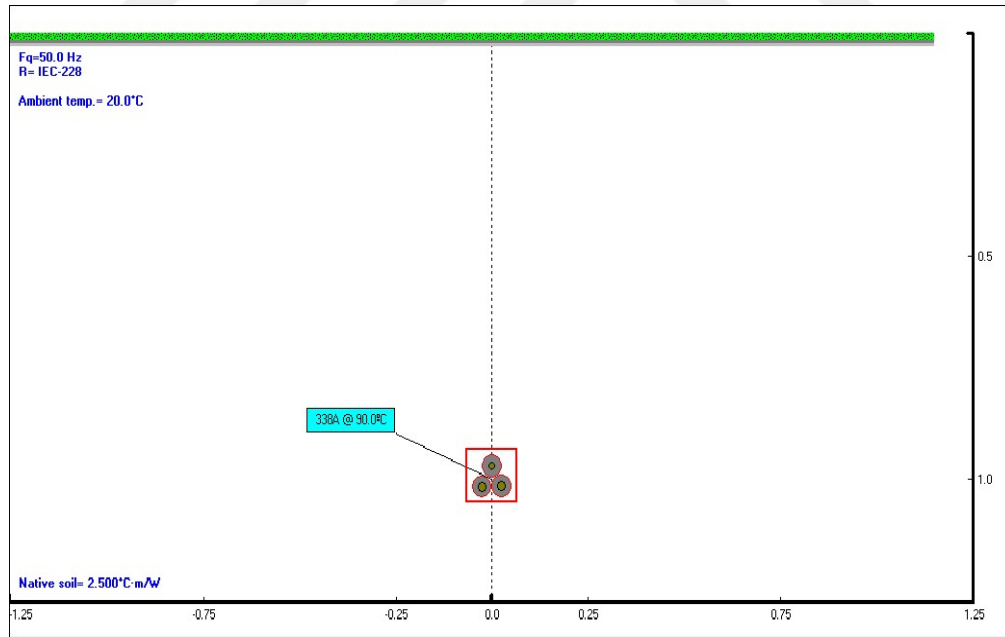
Şekil L.5. Trefoilde toprak termal direnci 0,7 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



Şekil L.6. Trefoilde toprak termal direnci 1 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



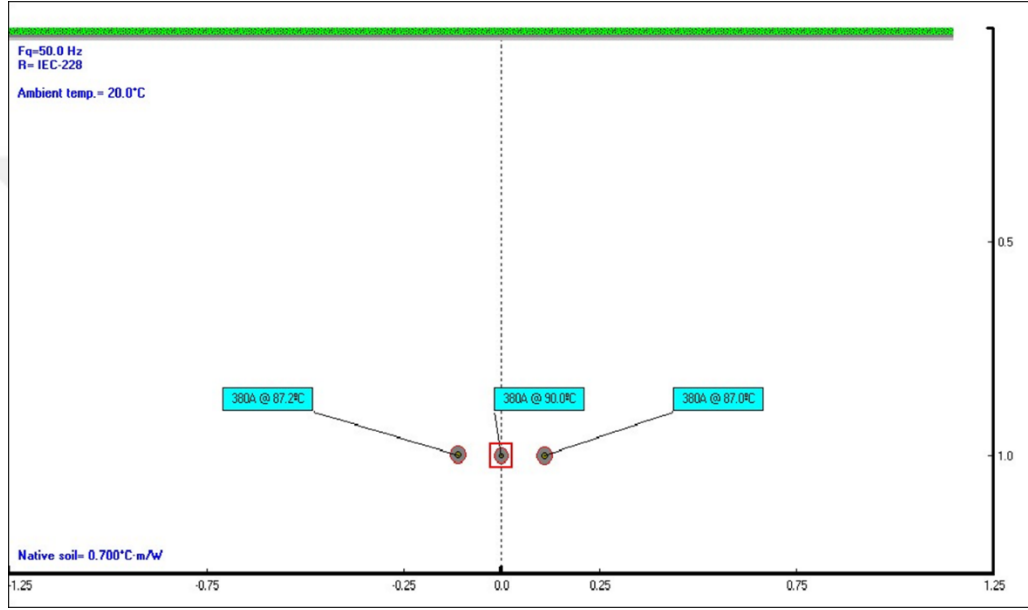
Şekil L.7. Trefoilde toprak termal direnci 1,5 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



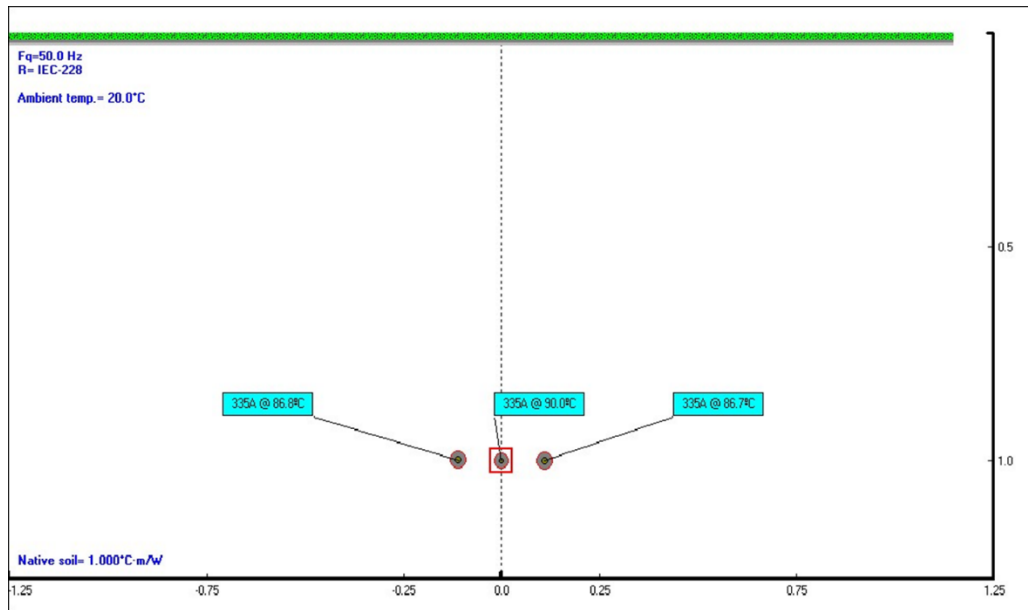
Şekil L.8. Trefoilde toprak termal direnci 2,5 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu

Ek-M 150 mm² NA2XSY Kablo İçin Toprak Termal Direnci Değişkeni Analiz Sonuçları

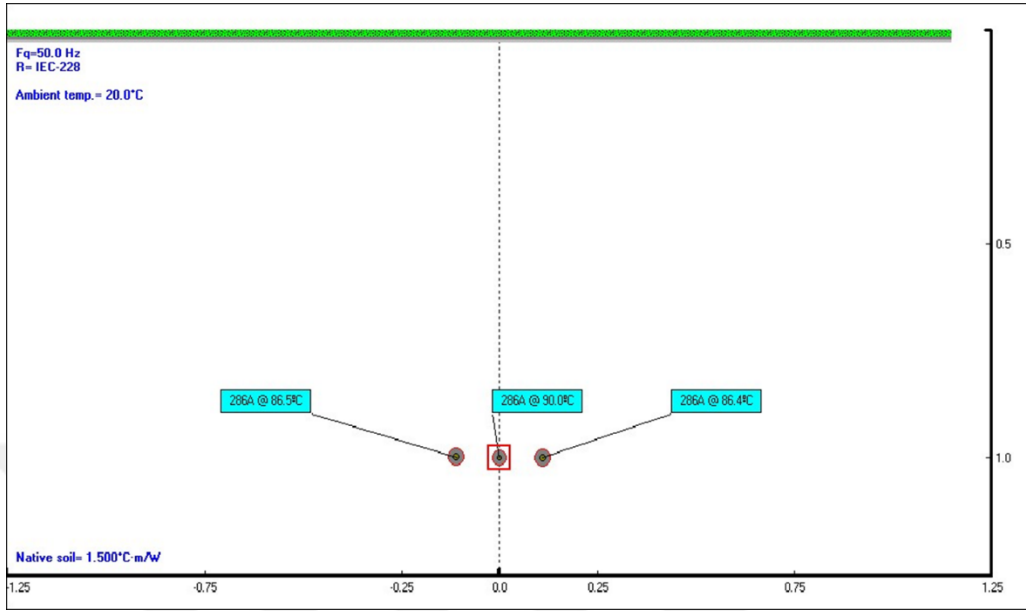
Bu bölümde toprak termal direnci değişkeni için 150 mm² NA2XSY kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



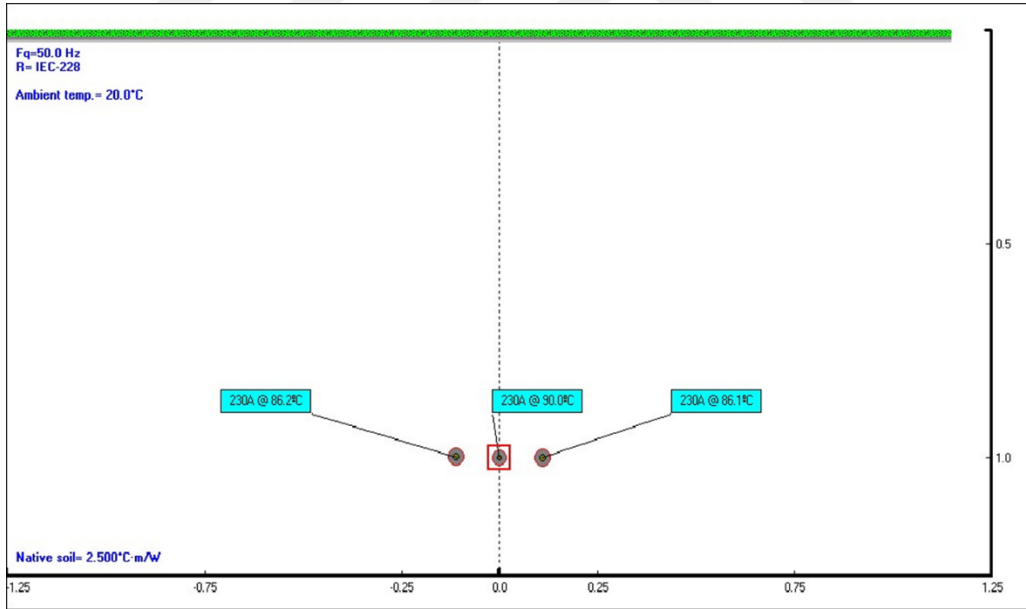
Şekil M.1. Yatayda toprak termal direnci 0,7 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



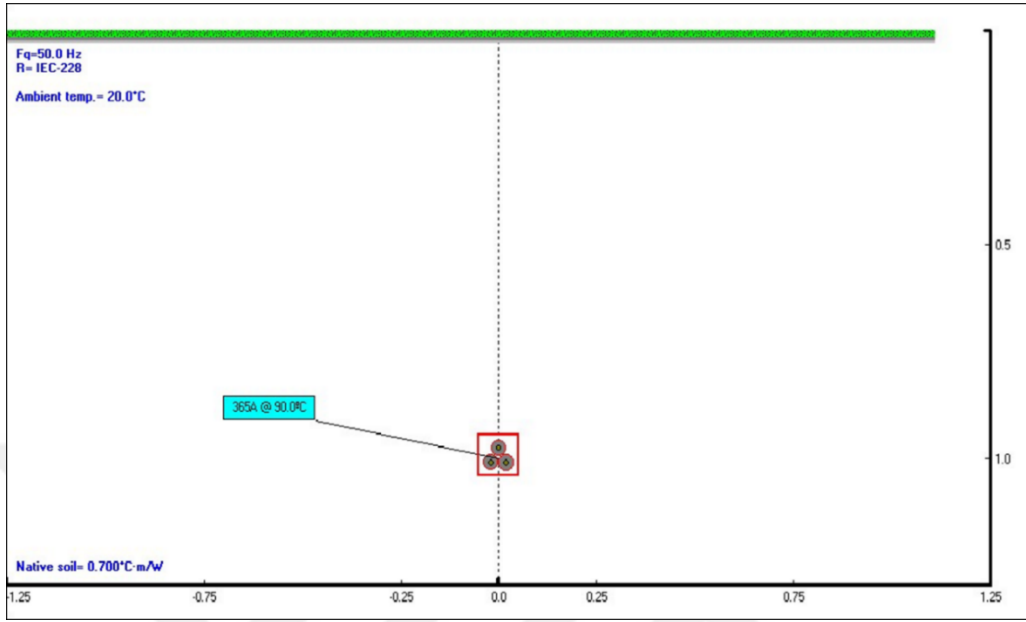
Şekil M.2. Yatayda toprak termal direnci 1 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



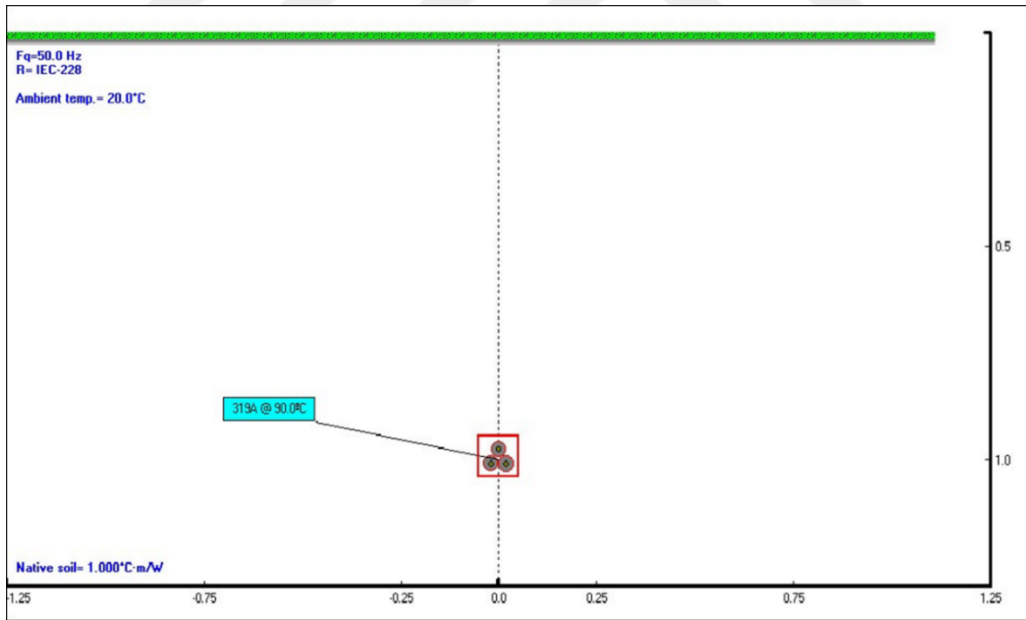
Şekil M.3. Yatayda toprak termal direnci 1,5 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



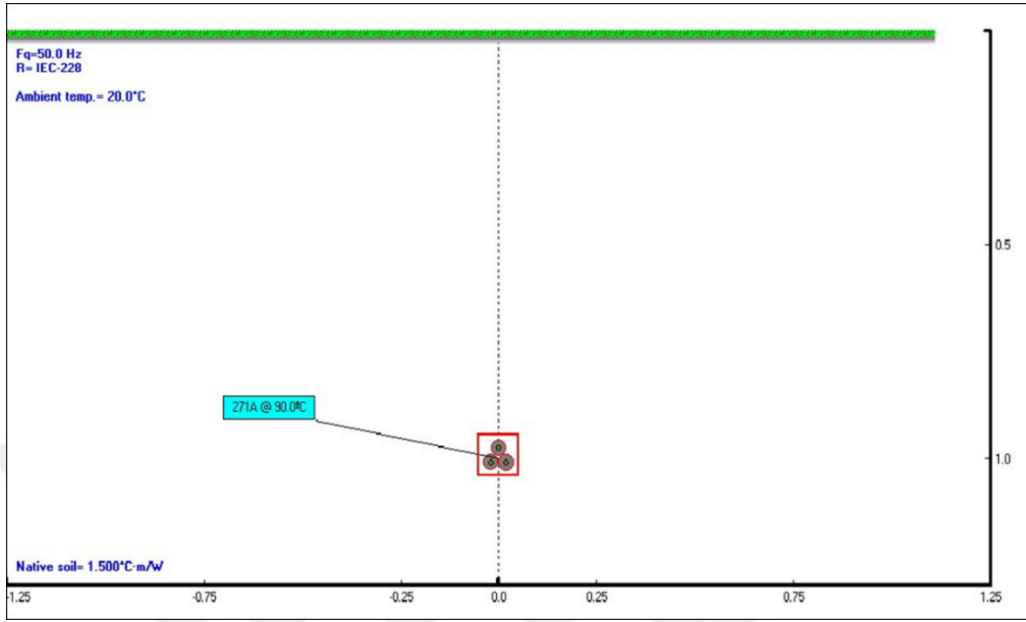
Şekil M.4. Yatayda toprak termal direnci 2,5 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



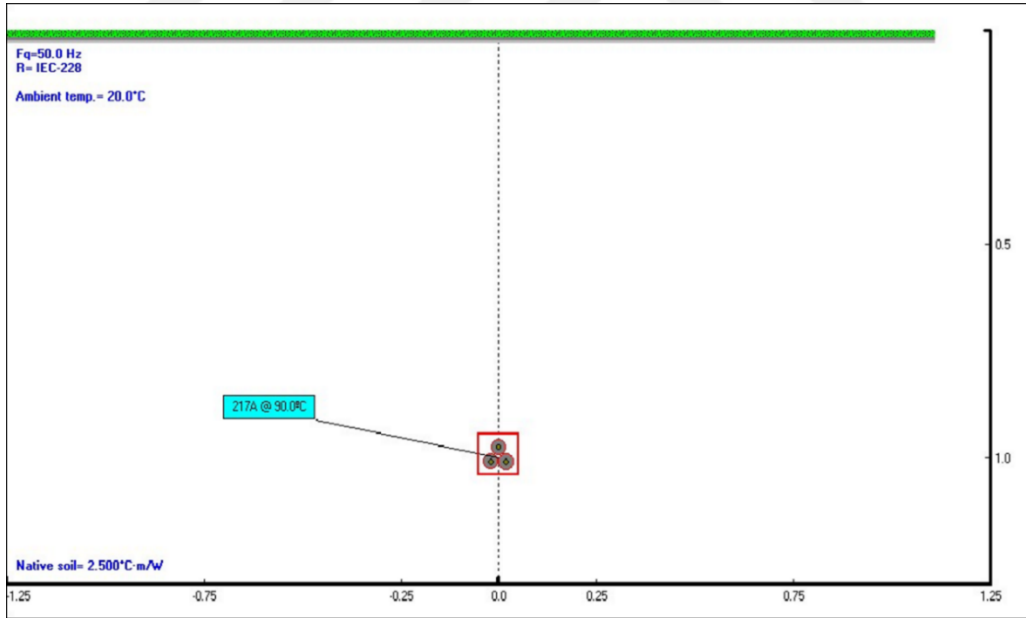
Şekil M.5. Trefoilde toprak termal direnci 0,7 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



Şekil M.6. Trefoilde toprak termal direnci 1 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



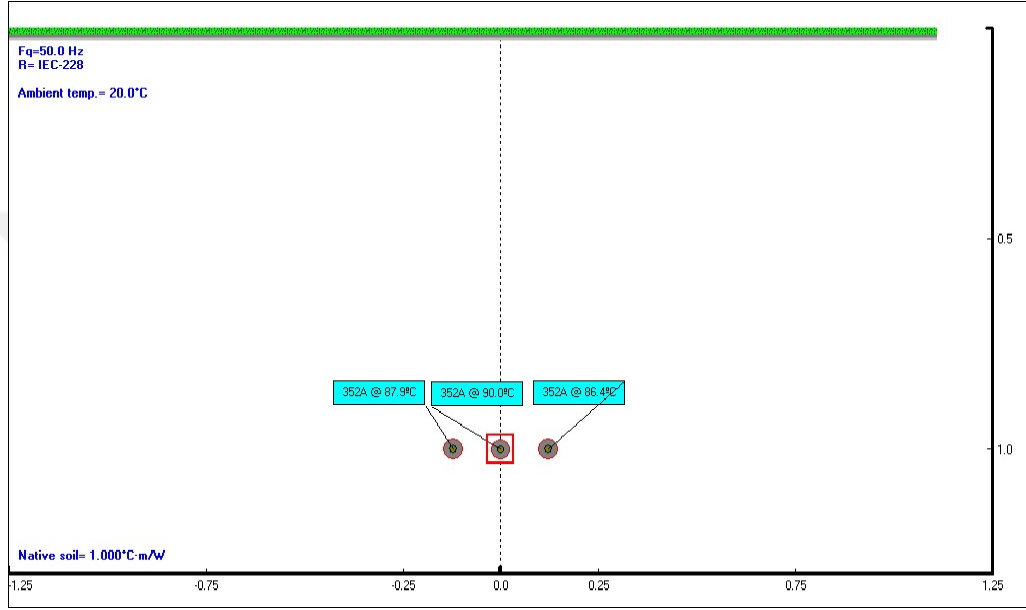
Şekil M.7. Trefoilde toprak termal direnci 1,5 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



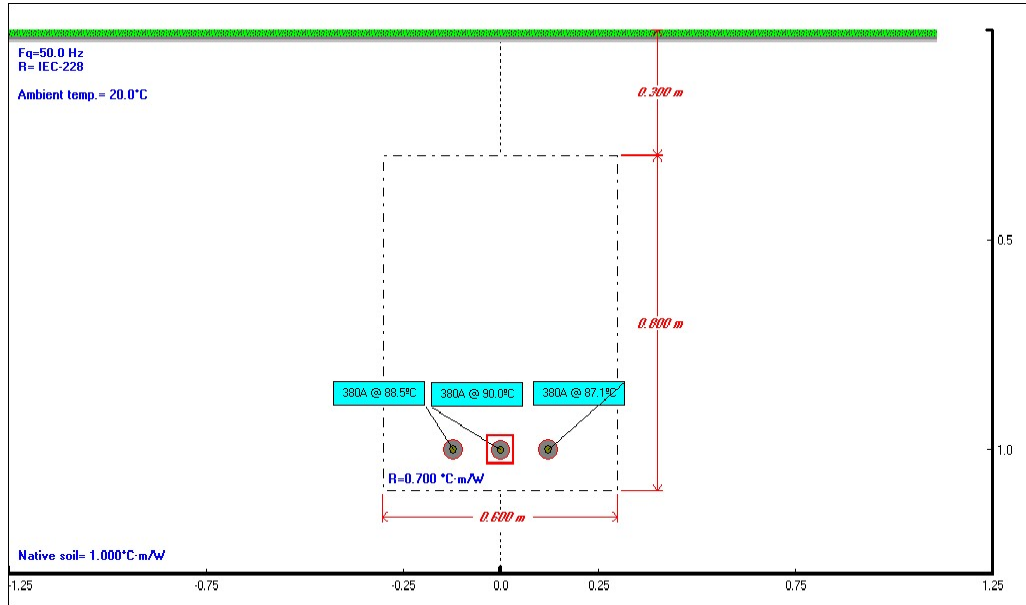
Şekil M.8. Trefoilde toprak termal direnci 2,5 K.m/W için CYMCAP Akım Taşıma sonucu

Ek-N 185 mm² NA2XSYR Kablo İçin Gömülme Yöntemi Değişkeni Analiz Sonuçları

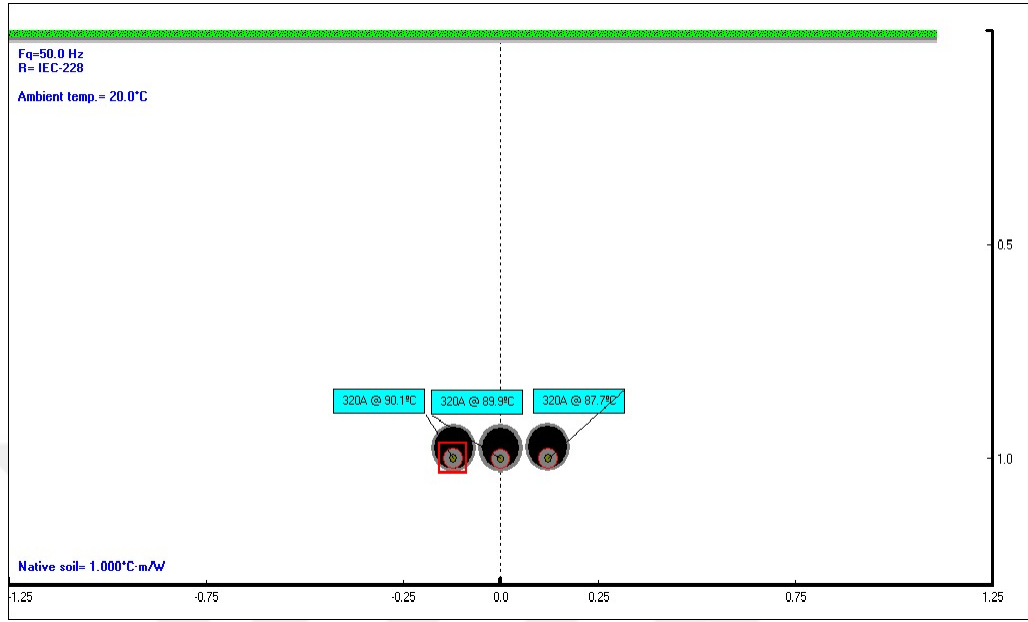
Bu bölümde gömülme yöntemi değişkeni için 185 mm² NA2XSYR kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



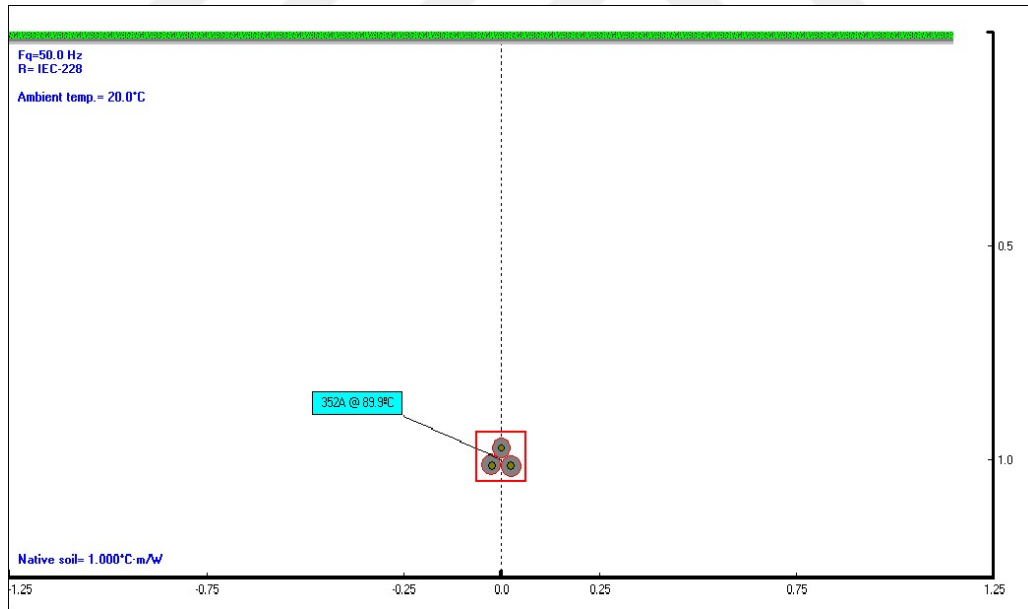
Şekil N.1. Yatayda direkt toprağa gömülü için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



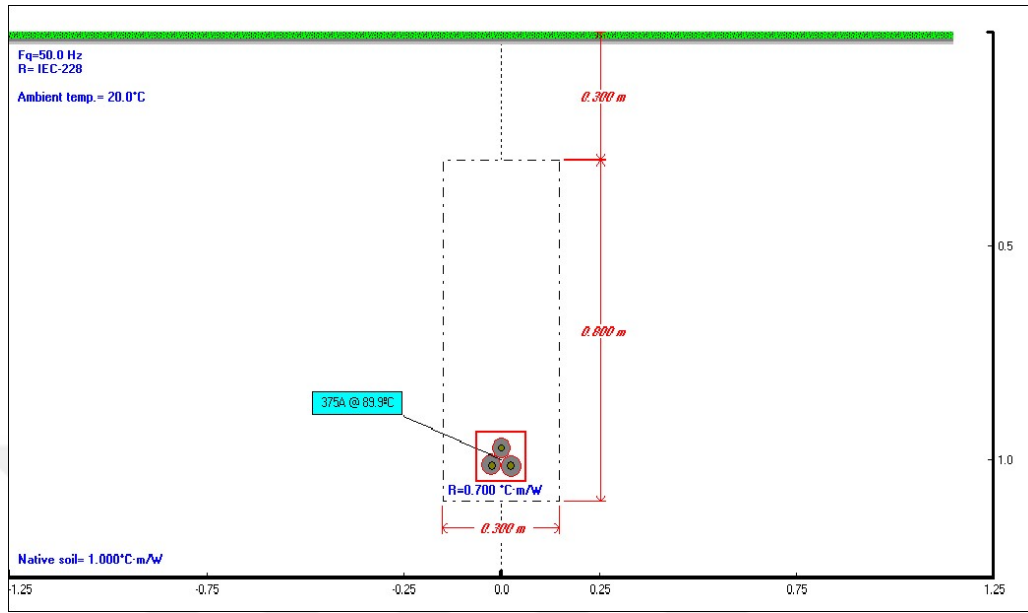
Şekil N.2. Yatayda termal dolgu içine gömülü için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



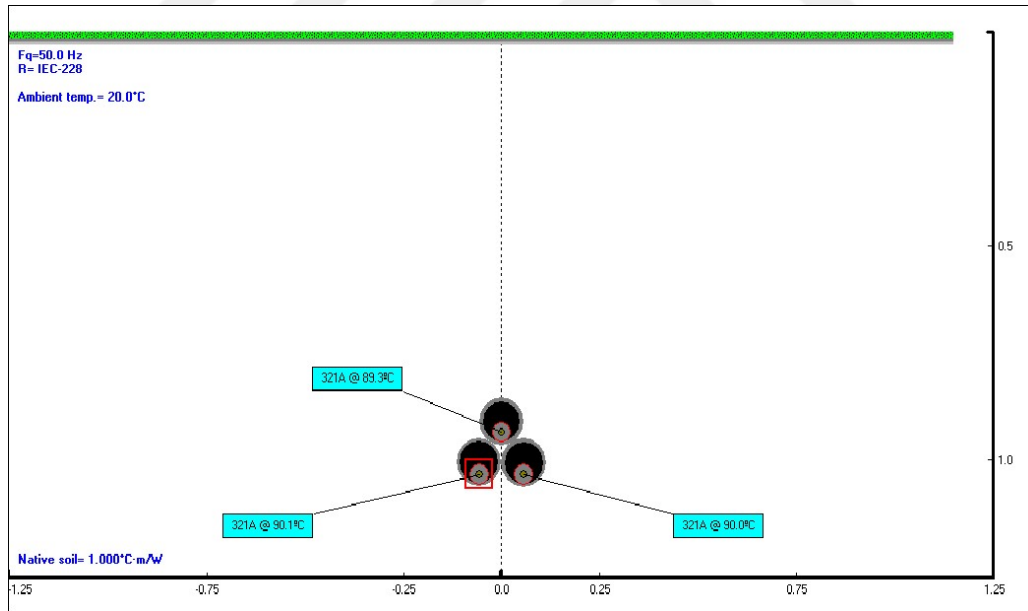
Şekil N.3. Yatayda kablo muhafazası içine gömülü için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



Şekil N.4. Trefoilde direkt toprağa gömülü için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



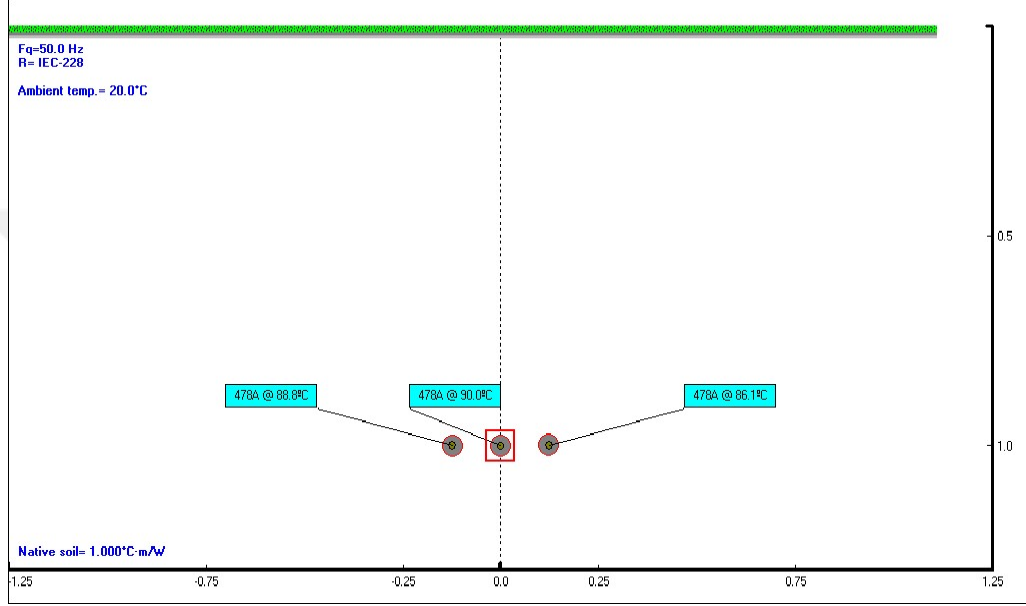
Şekil N.5. Trefoilde termal dolgu içine gömülü için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



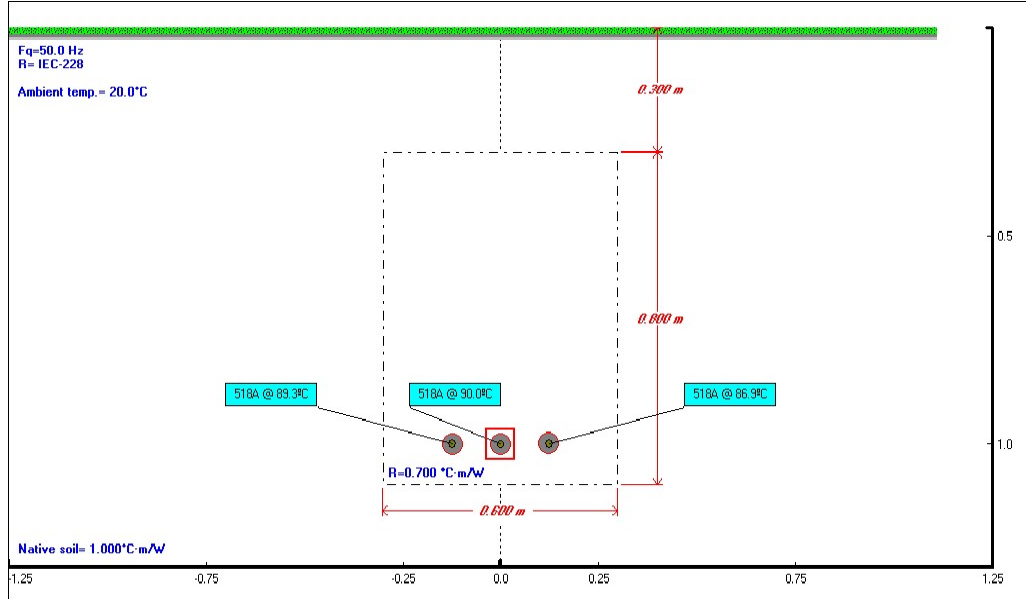
Şekil N.6. Trefoilde kablo muhafazası içine gömülü için CYMCAP Akım Taşıma sonucu

Ek-O 240 mm² N2XSYR Kablo İçin Gömülme Yöntemi Değişkeni Analiz Sonuçları

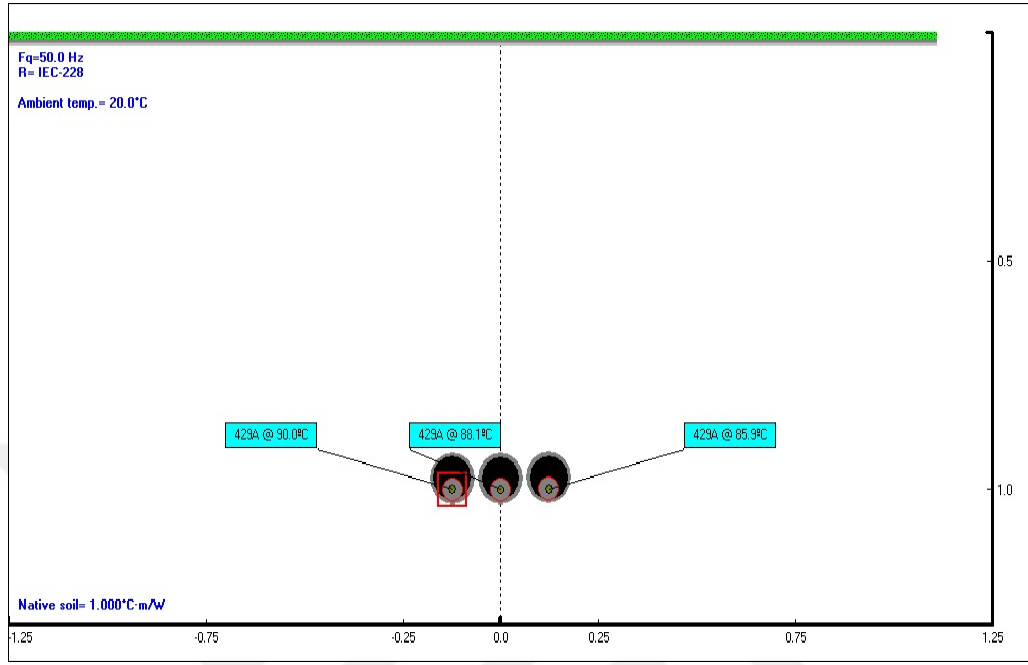
Bu bölümde gömülme yöntemi değişkeni için 240 mm² N2XSYR kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



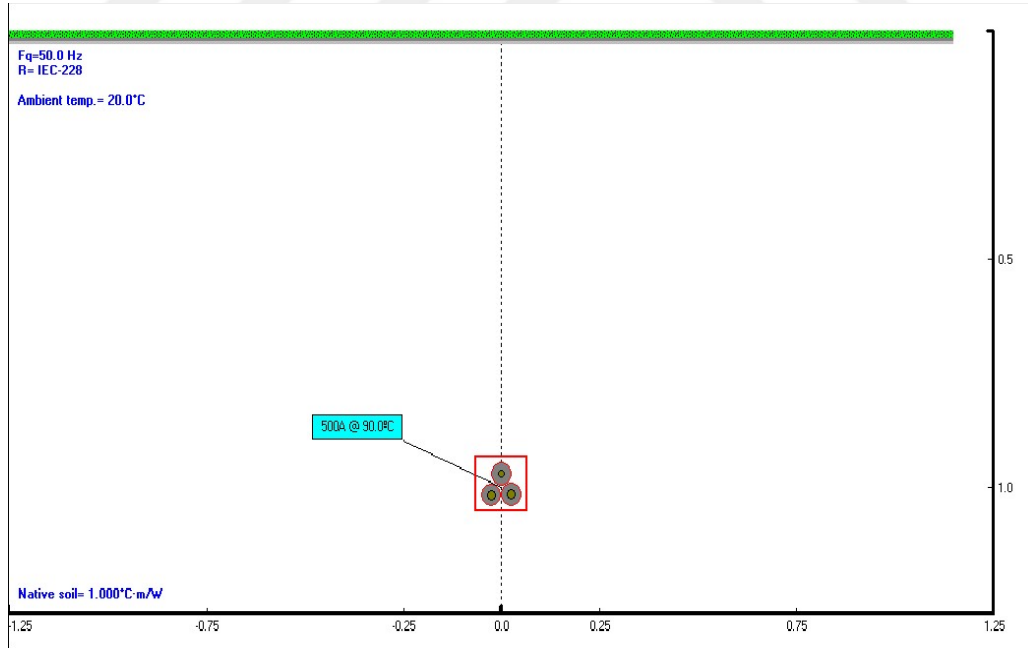
Şekil O.1. Yatayda direkt toprağa gömülü için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



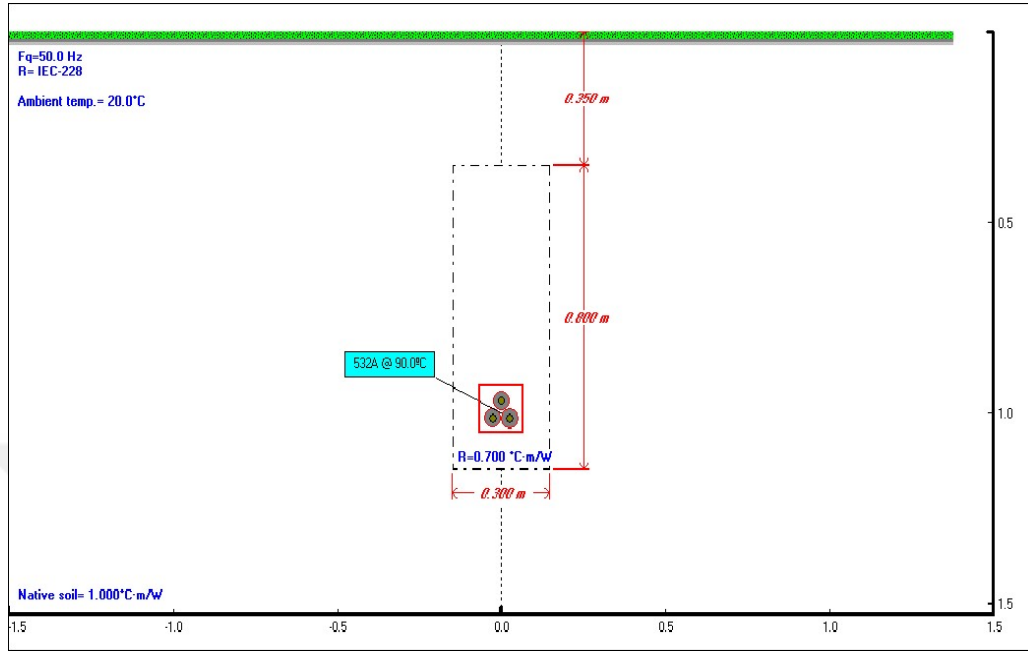
Şekil O.2. Yatayda termal dolgu içine gömülü için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



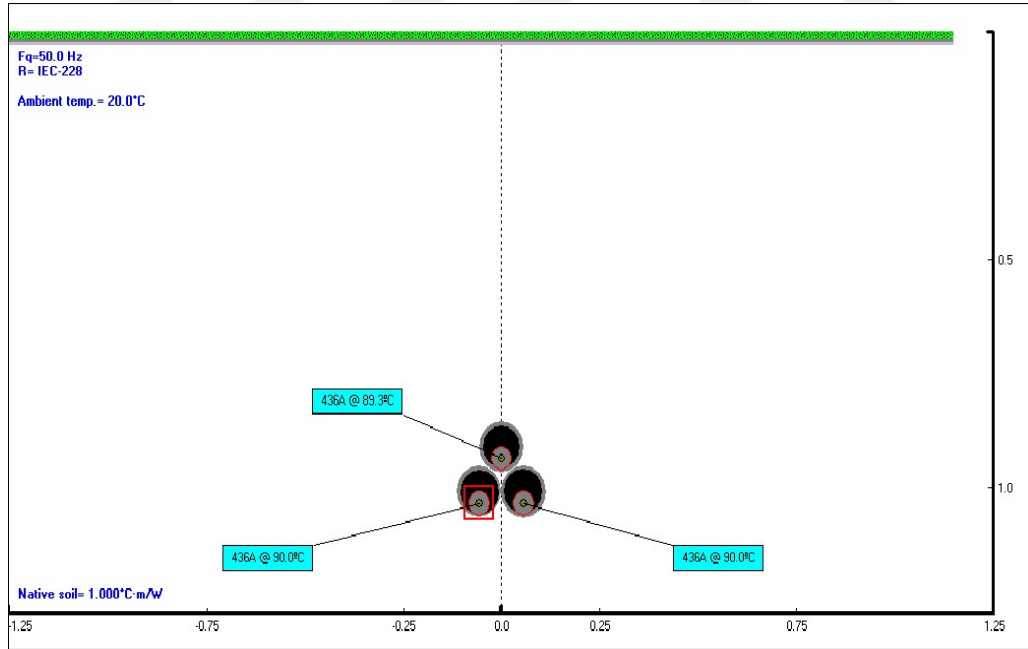
Şekil O.3. Yatayda kablo muhafazası içine gömülü için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



Şekil O.4. Trefoilde direkt toprağa gömülü için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



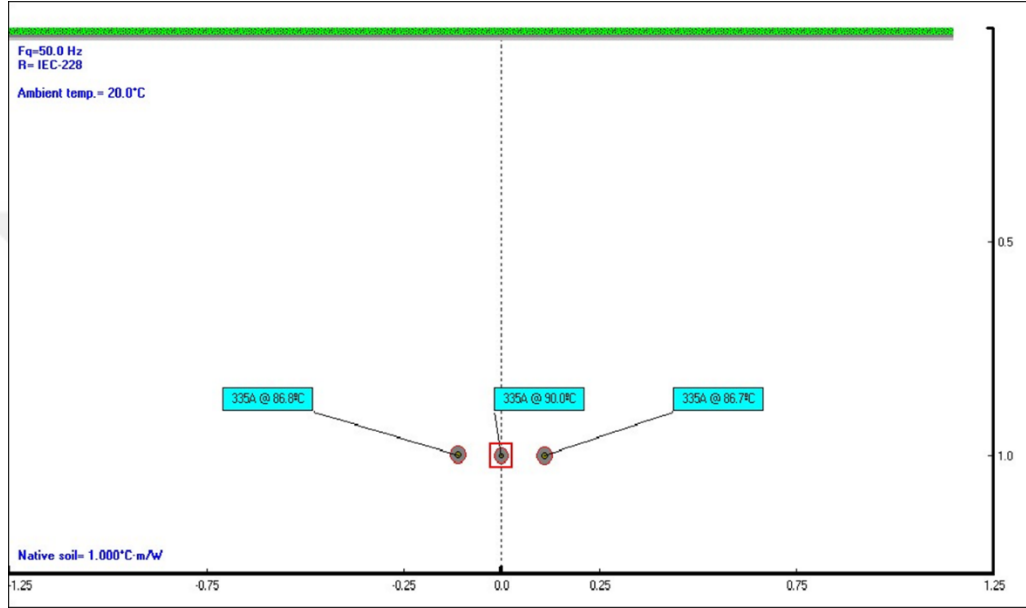
Şekil O.5. Trefoilde termal dolgu içine gömülü için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



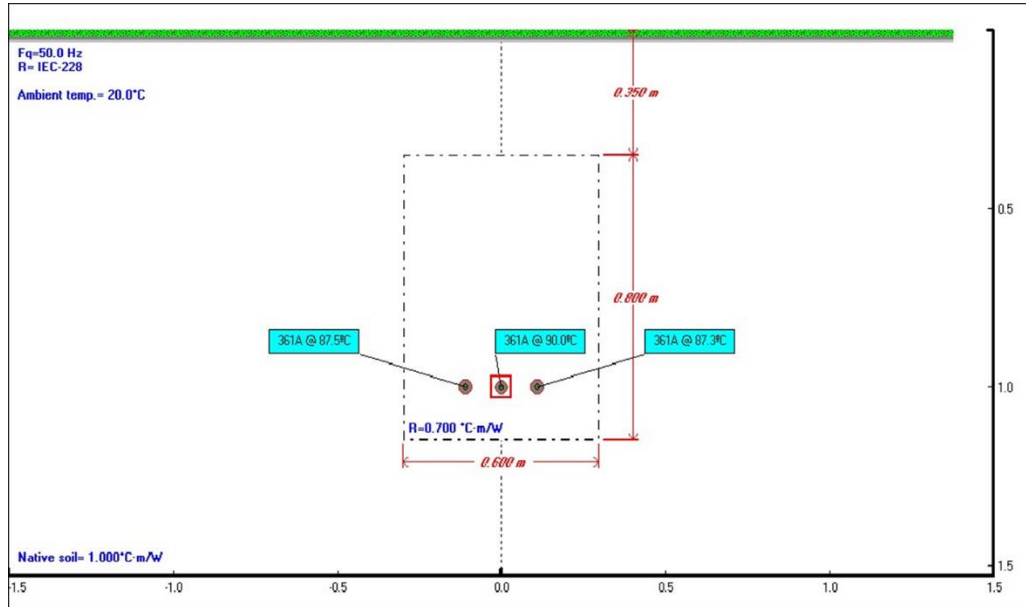
Şekil O.6. Trefoilde kablo muhafazası içine gömülü için CYMCAP Akım Taşıma sonucu

Ek-P 150 mm² NA2XSY Kablo İçin Gömülme Yöntemi Değişkeni Analiz Sonuçları

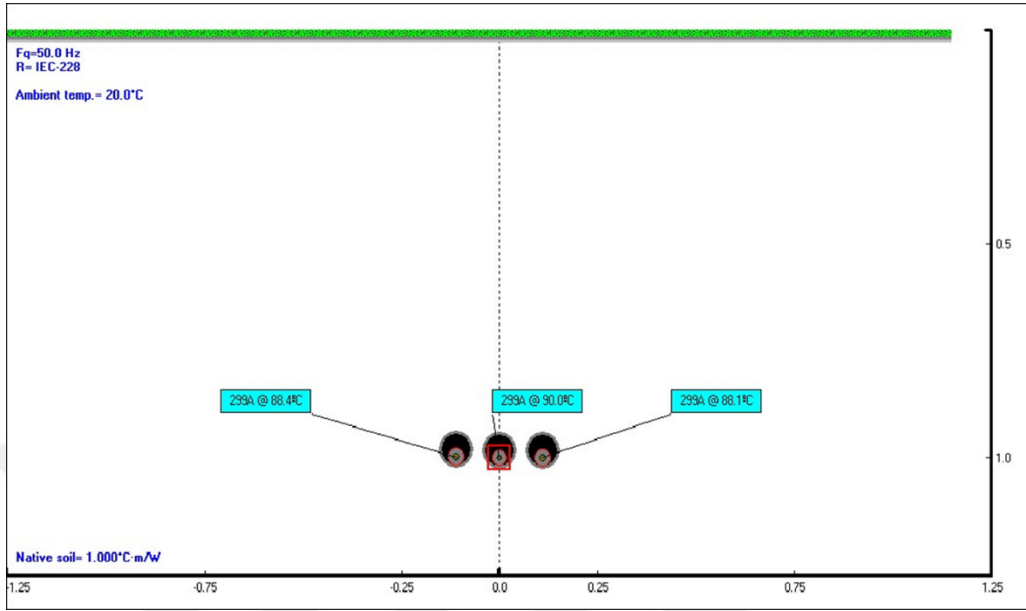
Bu bölümde gömülme yöntemi değişkeni için 150 mm² NA2XSY kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



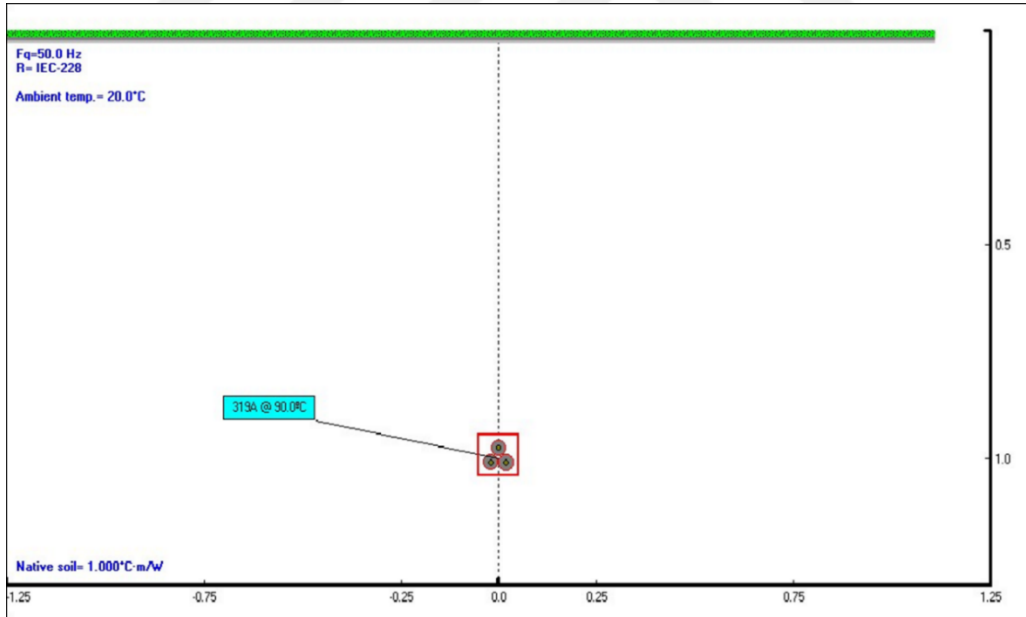
Şekil P.1. Yatayda direkt toprağa gömülü için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



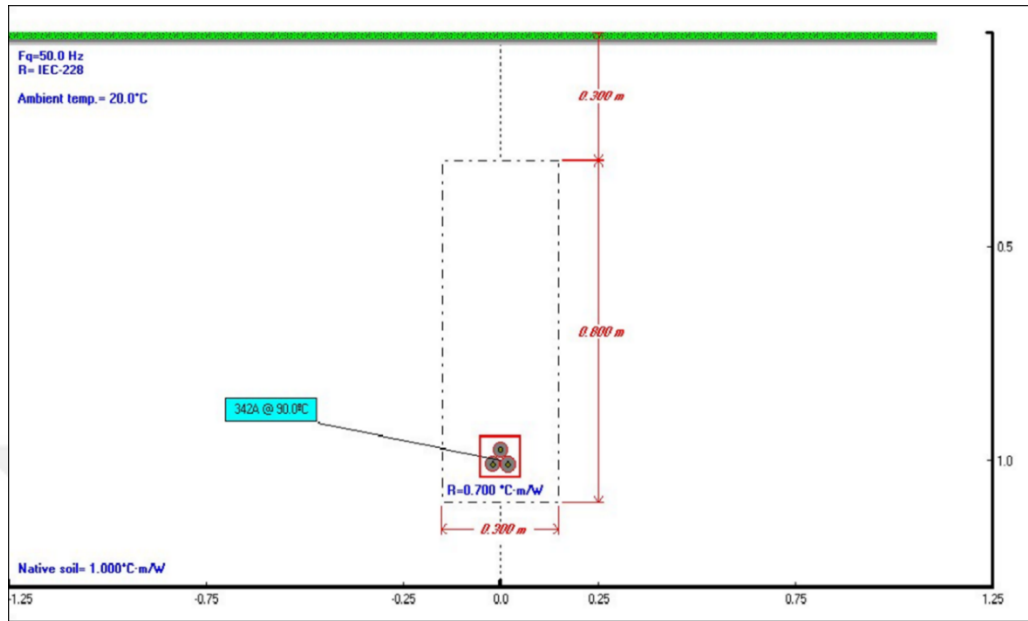
Şekil P.2. Yatayda termal dolgu içine gömülü için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



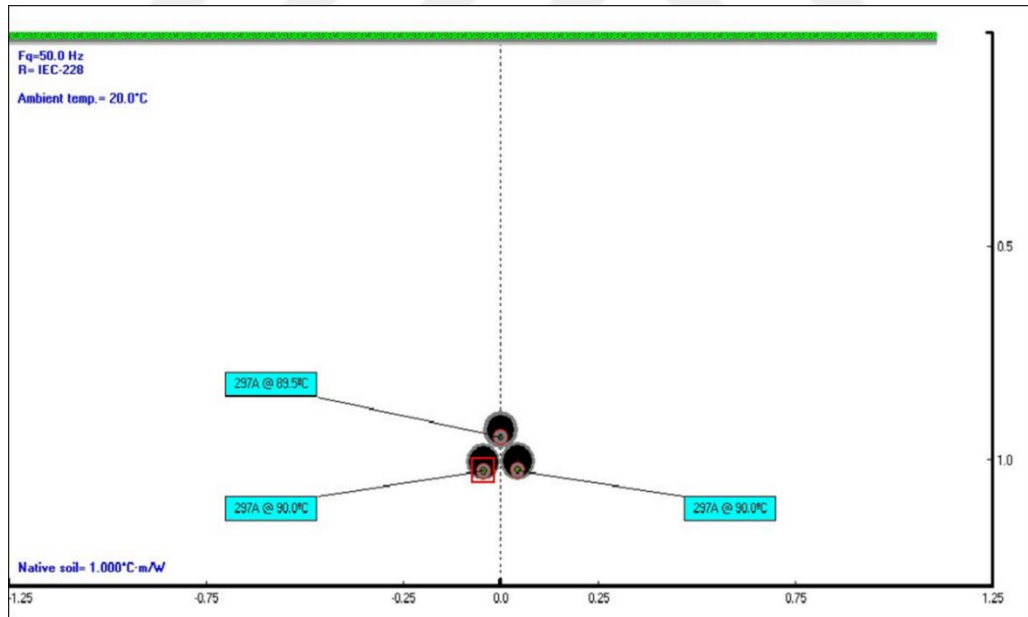
Şekil P.3. Yatayda kablo muhafazası içine gömülü için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



Şekil P.4. Trefoilde direkt toprağa gömülü için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



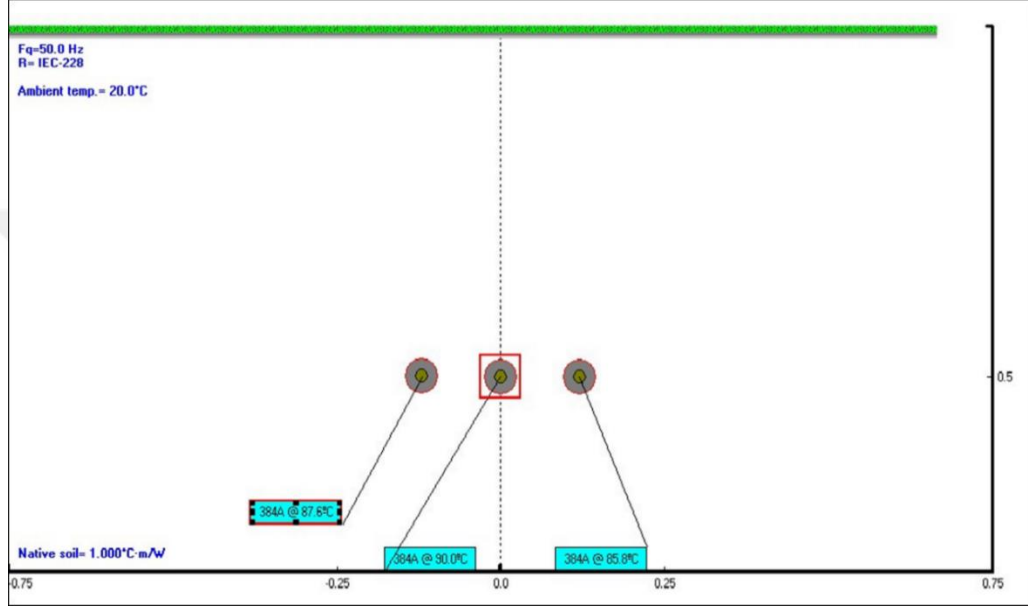
Şekil P.5. Trefoilde termal dolgu içine gömülü için CYMCAP Akım Taşıma sonucu



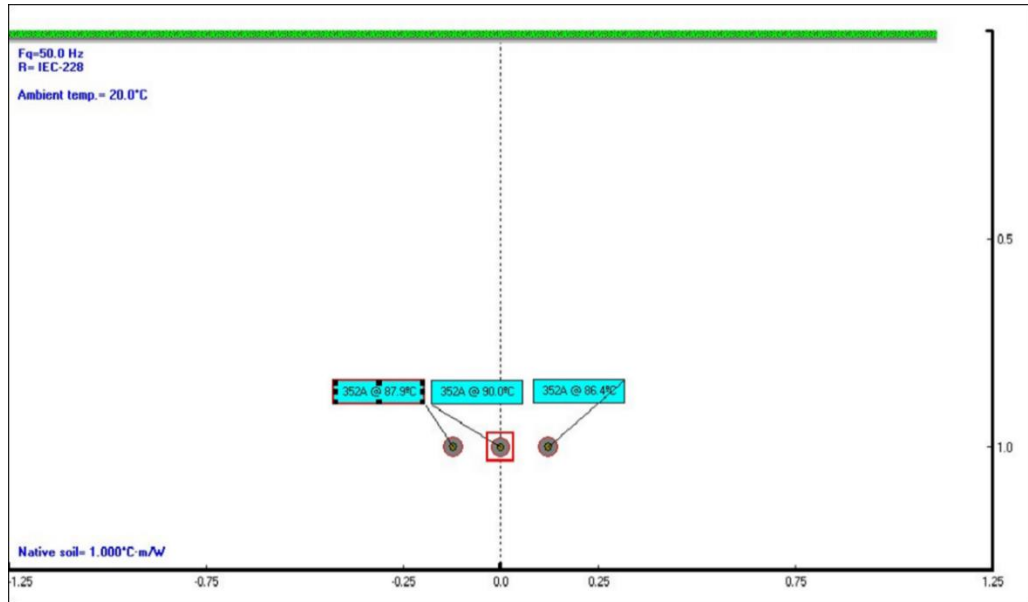
Şekil P.6. Trefoilde kablo muhafazası içine gömülü için CYMCAP Akım Taşıma sonucu

Ek-R 185 mm² NA2XSYR Kablo İçin Gömülme Derinliği Değişkeni Analiz Sonuçları

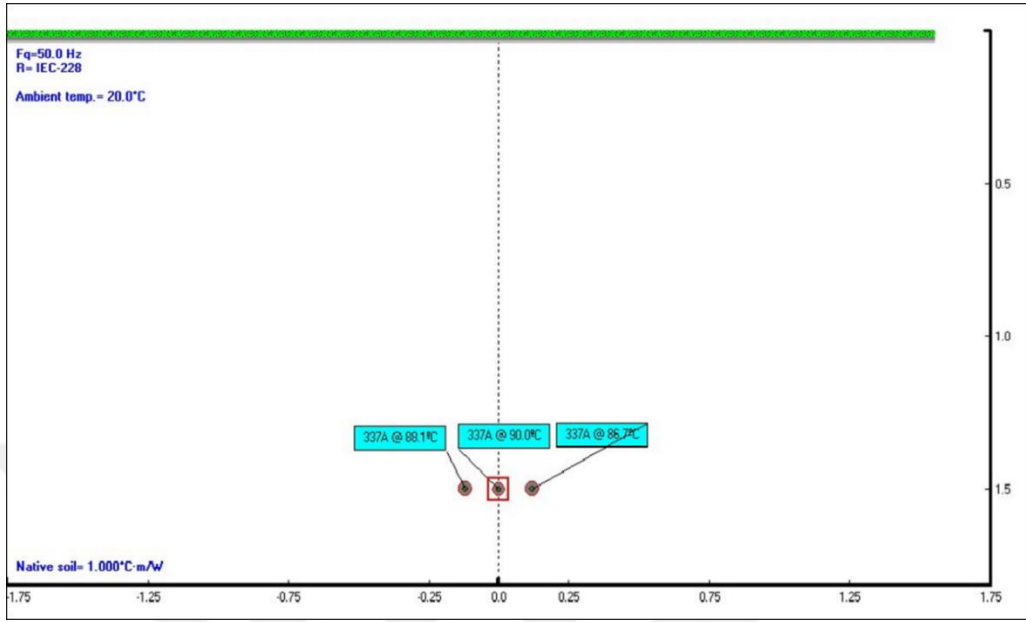
Bu bölümde gömülme derinliği değişkeni için 185 mm² NA2XSYR kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



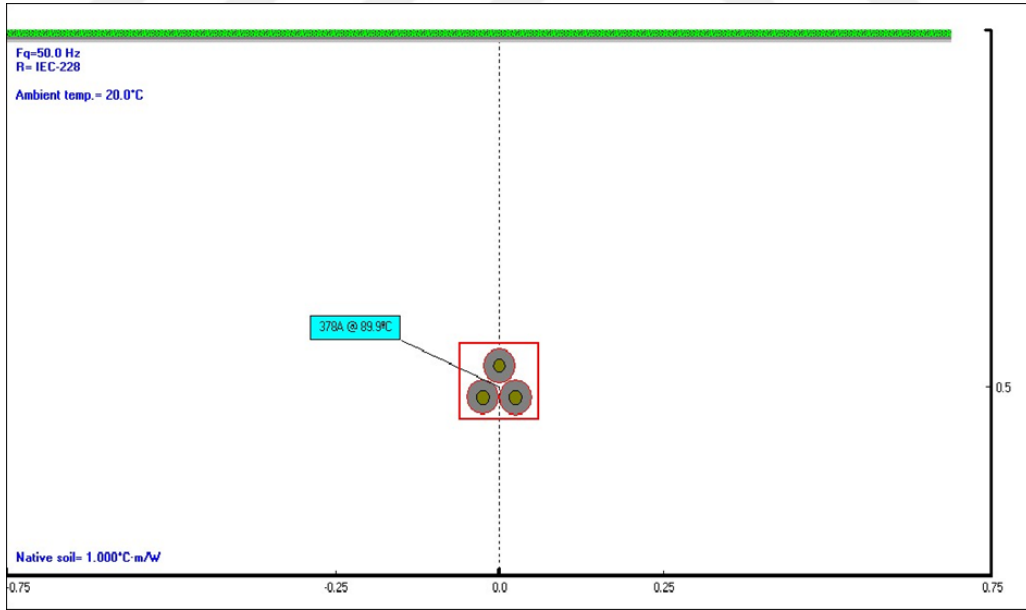
Şekil R.1. Yatayda gömülme derinliği 0,5 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



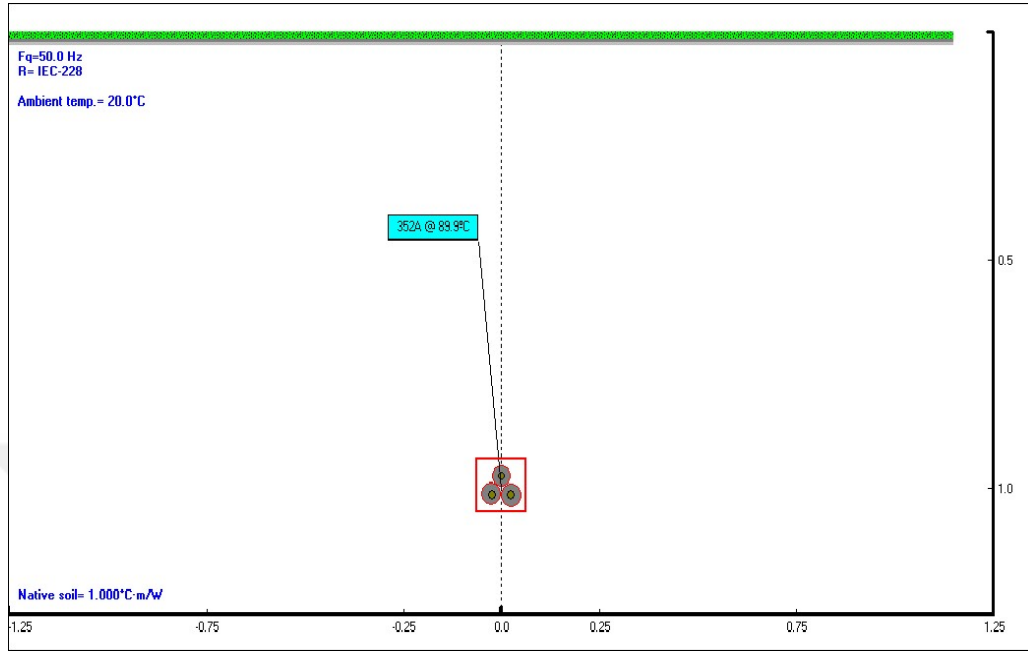
Şekil R.2. Yatayda gömülme derinliği 1 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



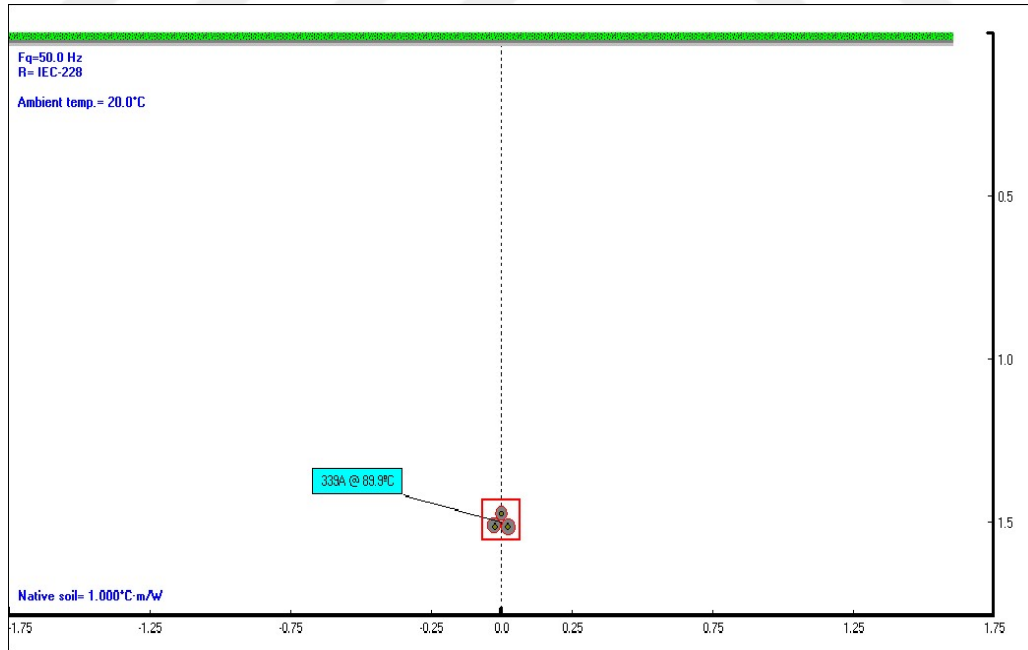
Şekil R.3. Yatayda gömülme derinliği 1,5 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil R.4. Trefoilde gömülme derinliği 0,5 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



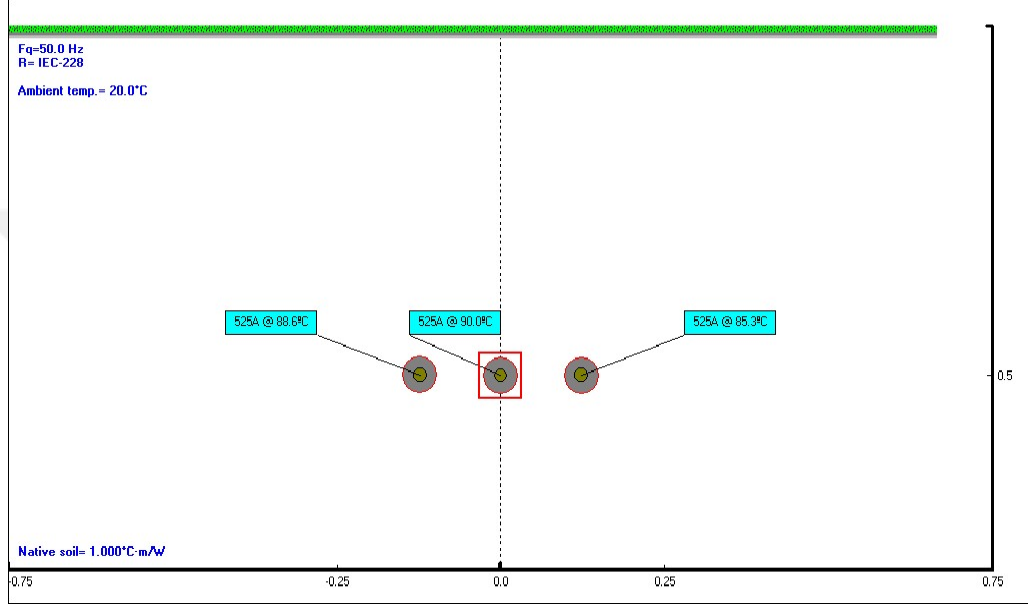
Şekil R.5. Trefoilde gömülme derinliği 1 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



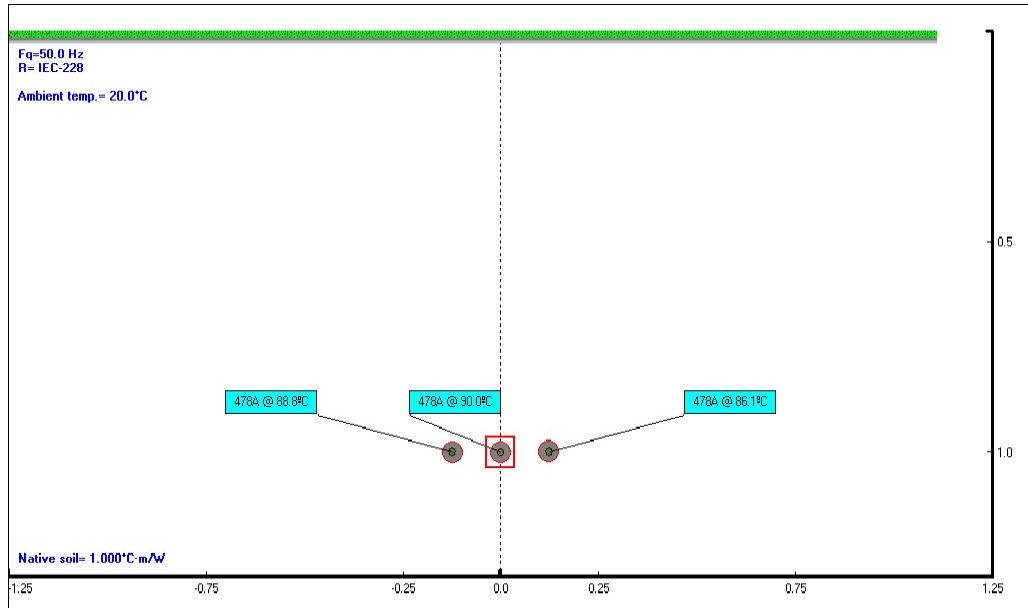
Şekil R.6. Trefoilde gömülme derinliği 1,5 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu

Ek-S 240 mm² N2XSYR Kablo İçin Gömölme Derinliği Değişkeni Analiz Sonuçları

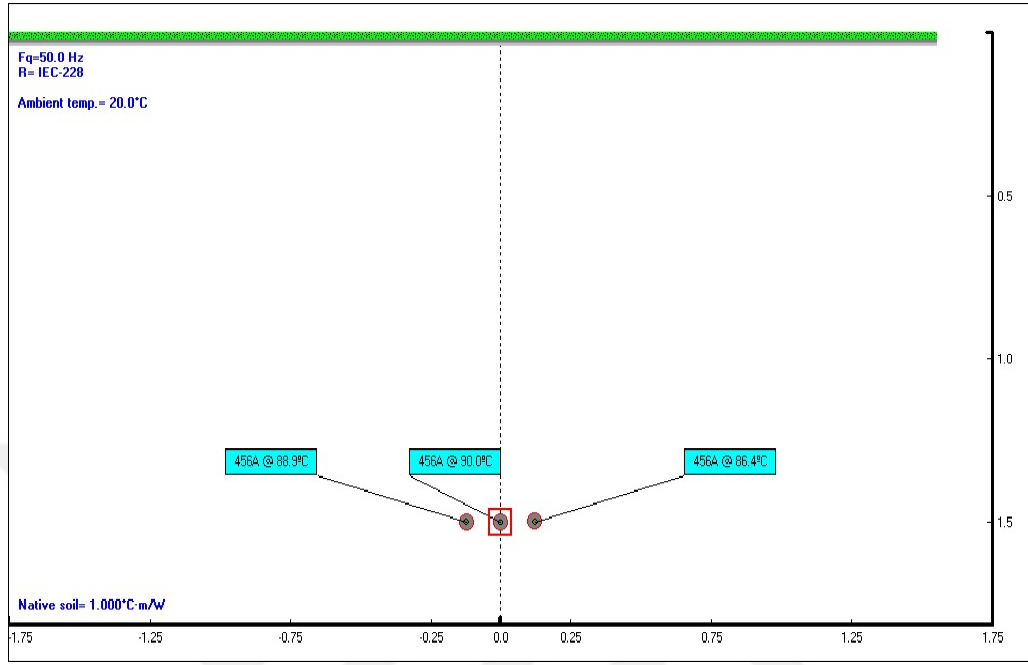
Bu bölümde gömölme derinliği değişkeni için 240 mm² N2XSYR kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



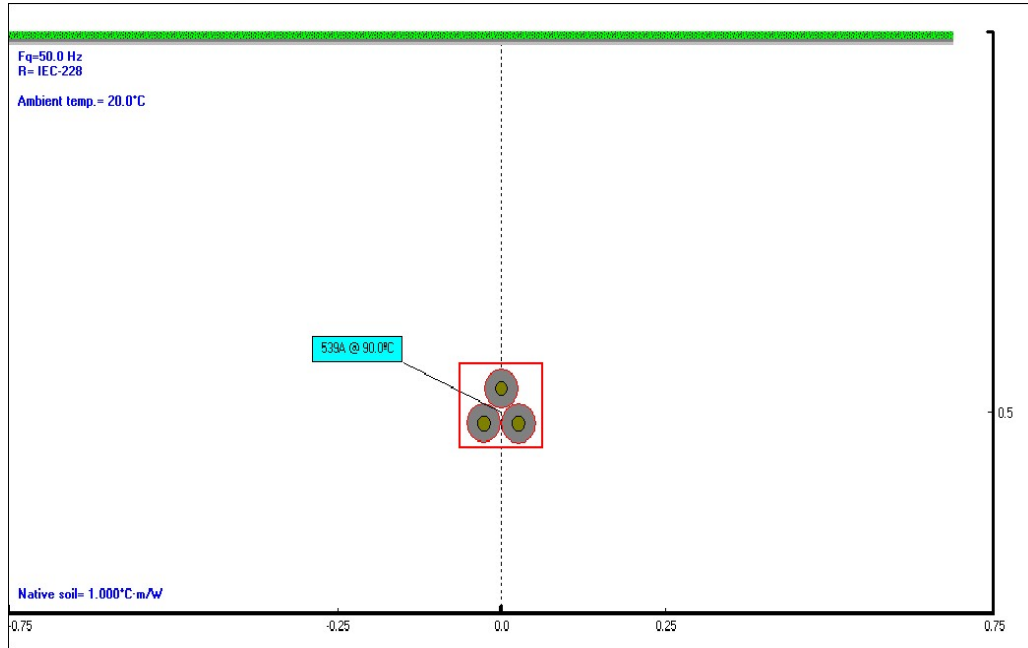
Şekil S.1. Yatayda gömölme derinliği 0,5 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



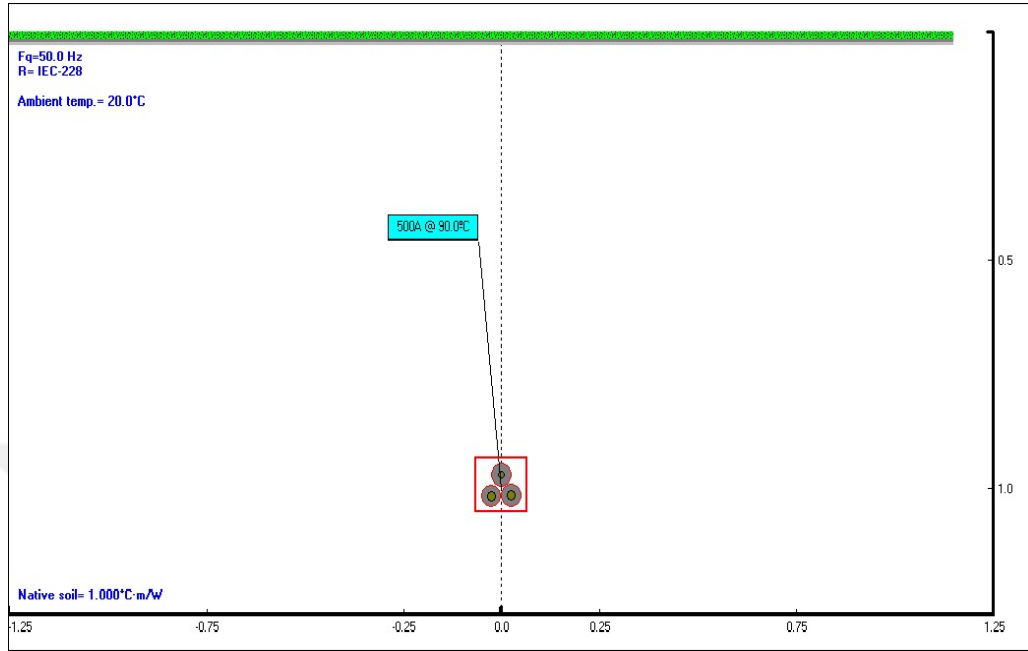
Şekil S.2. Yatayda gömölme derinliği 1 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



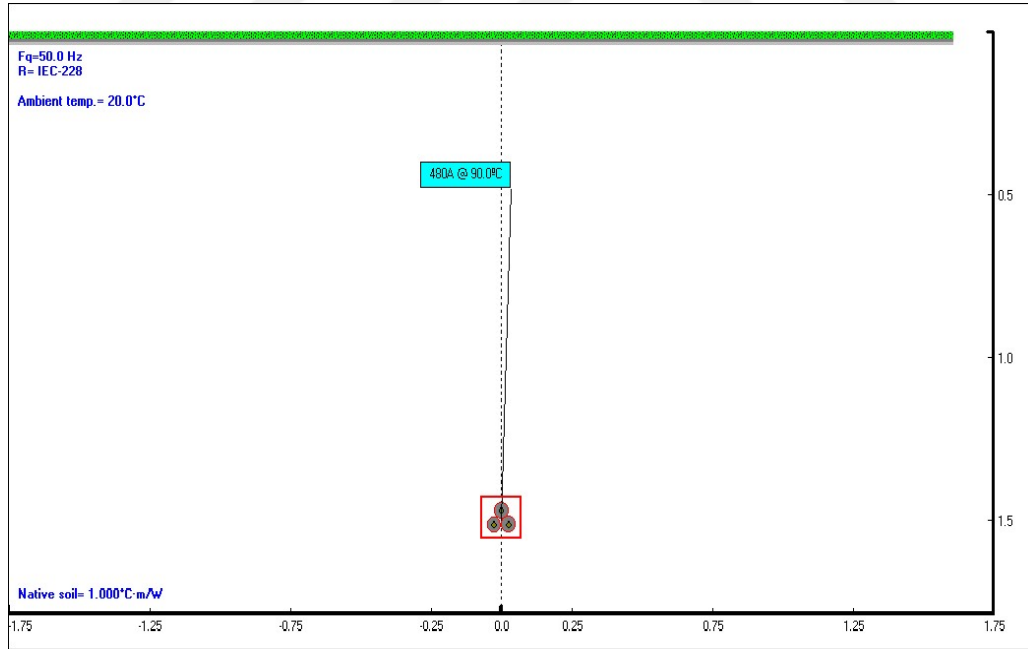
Şekil S.3. Yatayda gömülme derinliği 1,5 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil S.4. Trefoilde gömülme derinliği 0,5 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



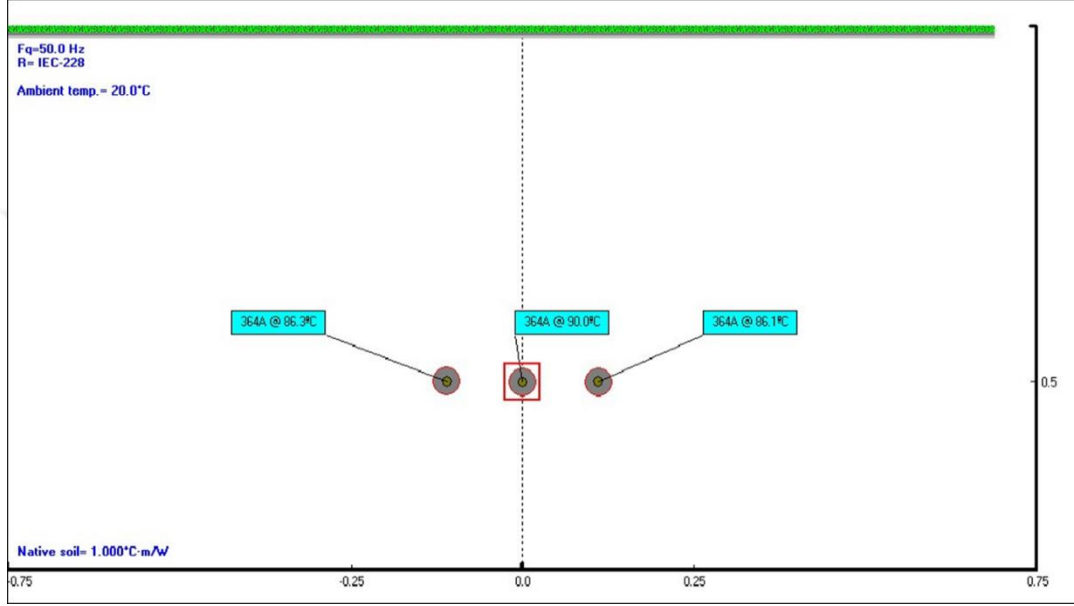
Şekil S.5. Trefoilde gömülme derinliği 1 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



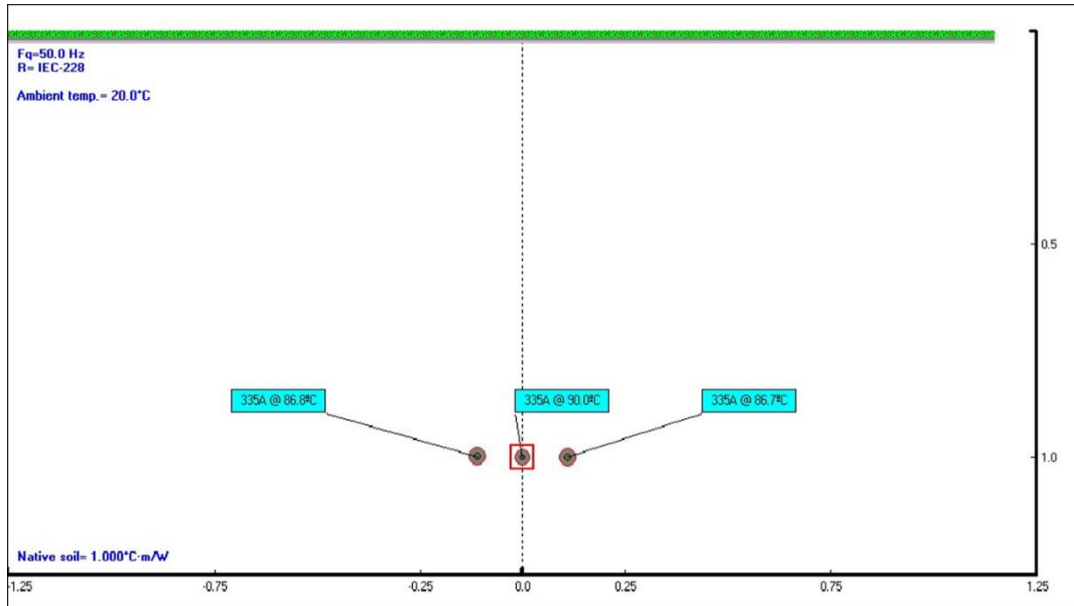
Şekil S.6. Trefoilde gömülme derinliği 1,5 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu

Ek-T 150 mm² NA2XSY Kablo İçin Gömülme Derinliği Değişkeni Analiz Sonuçları

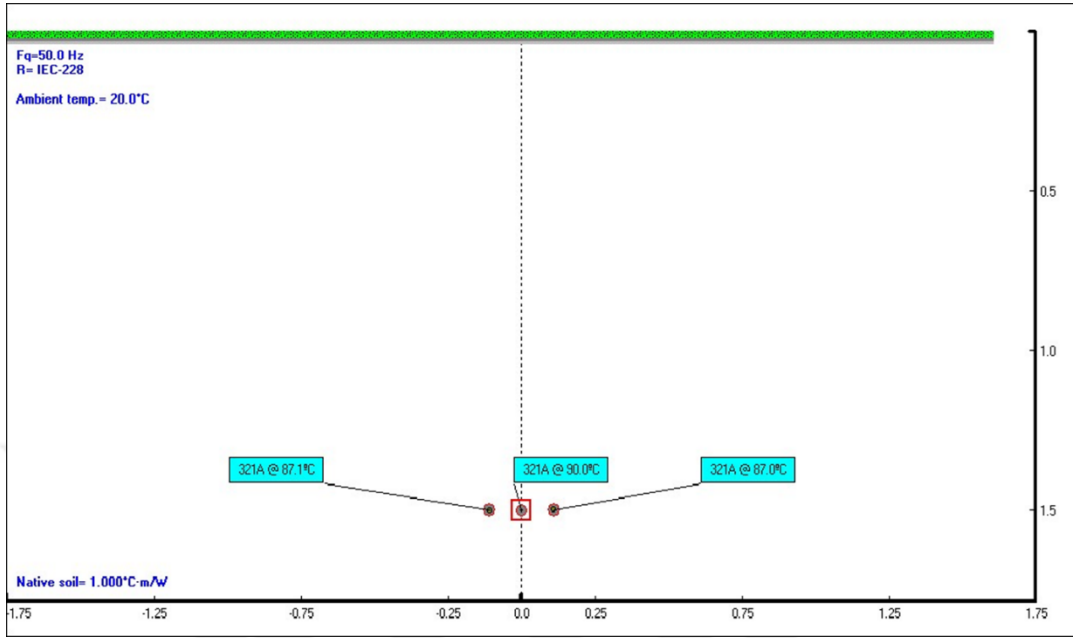
Bu bölümde gömülme derinliği değişkeni için 150 mm² NA2XSY kabloda gerçekleştirilen analiz çalışmalarının çıktıları paylaşılmıştır.



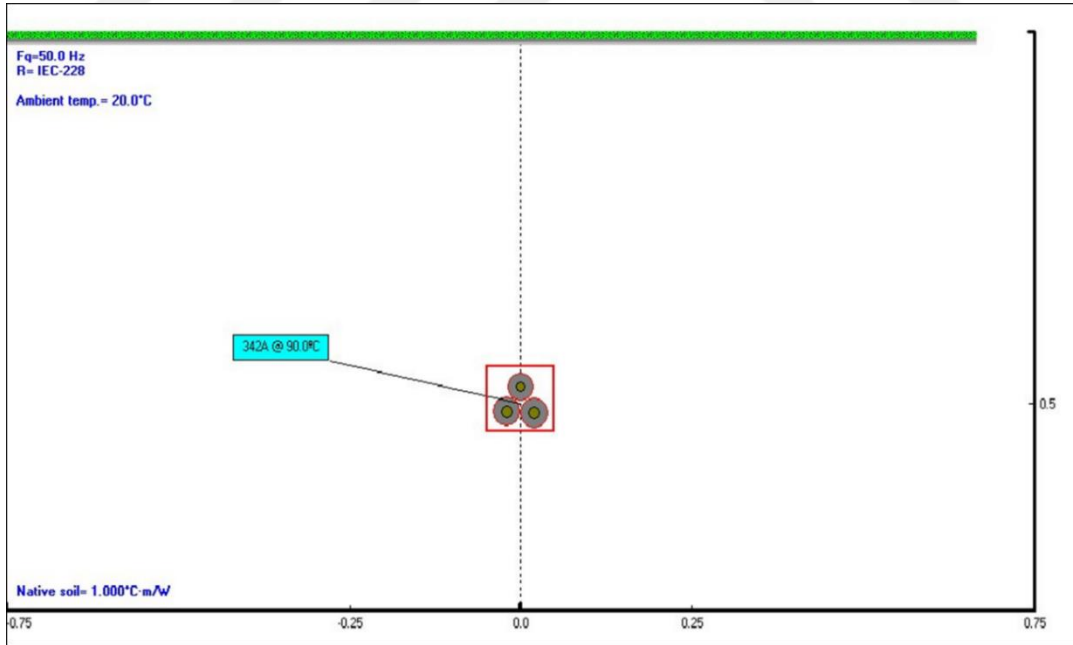
Şekil T.1. Yatayda gömülme derinliği 0,5 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



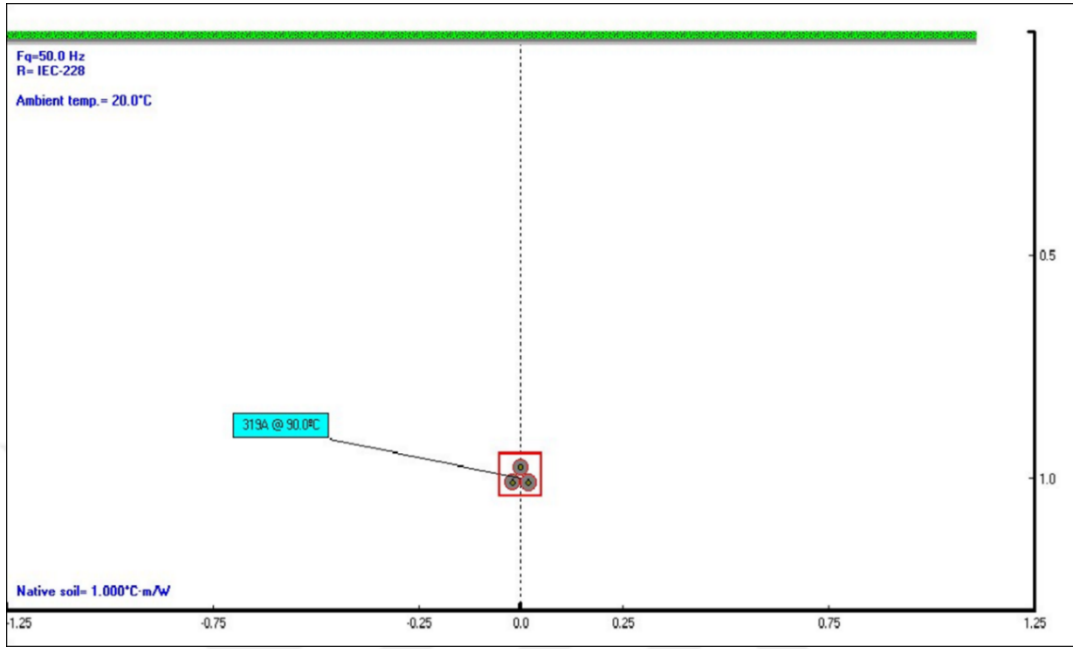
Şekil T.2. Yatayda gömülme derinliği 1 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



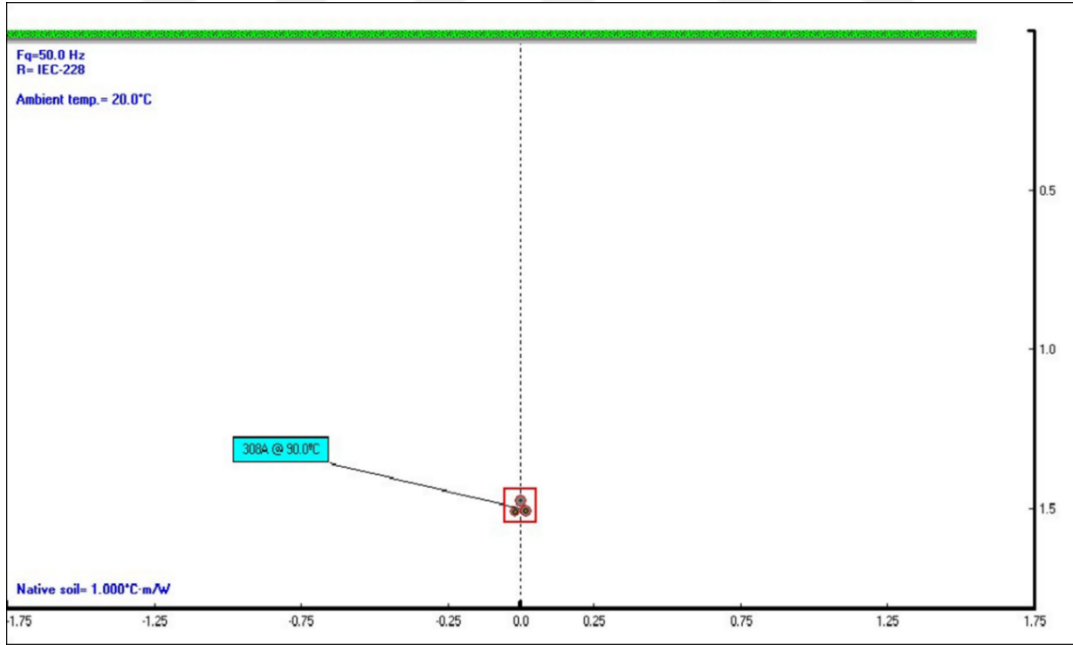
Şekil T.3. Yatayda gömülme derinliği 1,5 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil T.4. Trefoilde gömülme derinliği 0,5 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil T.5. Trefoilde gömülme derinliği 1 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu



Şekil T.6. Trefoilde gömülme derinliği 1,5 m için CYMCAP Akım Taşıma Kapasitesi sonucu

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Alboyacı, B., Kara, S., **Ozyesil, A.** (2022). Orta Gerilim Yeraltı Güç Kablolarında Zırh Topraklama Yöntemlerinin Analizi, *Politeknik Dergisi*, 25(4), 1587-1594.

Alboyacı, B., Altun, B., Demirol, Y.B., **Ozyesil, A.** (2024). The Effect of the Vertical Layout on Underground Cable Current Carrying Capacity. *Energies*, 17(3), 674.



ÖZGEÇMİŞ

Lise öğrenimini Avcılar Süleyman Nazif Anadolu Lisesi'nde tamamladıktan sonra 2015-2016 eğitim yılında Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünde lisans eğitime başladı. 2019 yılında mezun oldu ve 2019-2020 eğitim yılında Kocaeli Üniversitesi'nde Elektrik Mühendisliği alanında yüksek lisans öğrenimine başladı.

