

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YERALTI GÜÇ KABLOLARININ BİLGİSAYAR  
DESTEKLİ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yunus BİÇEN**

**Anabilim Dalı: Elektrik Eğitimi**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Faruk ARAS**

**KOCAELİ, 2006**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YERALTI GÜÇ KABLOLARININ BİLGİSAYAR  
DESTEKLİ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yunus BİÇEN**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25 Aralık 2006**

**Tezin Savunulduğu Tarih: 11 Ocak 2007**

**Danışman**

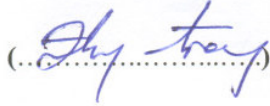
**Jüri Üyesi**

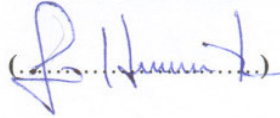
**Jüri Üyesi**


**Yrd. Doç. Dr. Faruk ARAS**

**Prof. Dr. Semra ÖZTÜRK**

**Doç. Dr. Güneş YILMAZ**

()

()

()

**KOCAELİ, 2006**

## **ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR**

Yeraltı güç kabloları, dünyada ve ülkemizde, enerji iletiminin en hayati parçalardan biridir ve günümüzde enerji iletimi içerisinde ayrı bir dal olarak incelenmeye başlanmıştır. Son yıllarda yeraltı güç kablolarının yapısı, tesisi ve işletilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar da hız kazanmıştır. Ülkemizde de bu konuda yapılan akademik çalışmalar artmakta ve bu artış ileride yeraltı güç kablolarıyla enerji iletiminin ülkemizde de yaygınlaşması bakımından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen program ile, yeraltı güç kablolarıyla ilgili çeşitli hesaplamalar, kararlı durum ve geçici durum analizleri yapılabilmektedir. Eğitsel açıdan görsel materyallerin taşıdığı önem göz önünde bulundurularak geliştirilen programda, değişkenlerin kablonun akım taşıma kapasitesine olan etkileri grafiksel bir şekilde incelenebilmektedir. Ayrıca, programda kullanıcıyı yönlendirici açıklamalar, yardım blokları ve şekillerin bulunmasının yanı sıra, anlamlı ve aşamalı gruplandırma yapılarak, tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

Yeraltı güç kablosu konusu ile ilgilenen veya öğrenmek isteyen kişilerin POWCABGUI programını etkin bir şekilde kullanılabileceğini umuyorum.

Tezimi hazırladığım süre içerisinde desteklerini her zaman hissettiğim sevgili aileme, tez konumla ilgili her konuda bilgisine başvurduğum danışmanım sayın Yrd.Doç.Dr. Faruk ARAS'a, programın eğitsel açıdan gelişimine katkıda bulunan sayın Yrd.Doç.Dr. Melih İNAL'a ve programlama deneyimime başlama aşamasında bana destek olan sayın Öğr. Gör. Murat KALE'ye teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca tüm çalışma arkadaşlarıma tez süresince bana gösterdikleri anlayış ve desteklerinden ötürü çok teşekkür ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
SİMGELEr DİZİNİ ve KISALTMALAR .....	vii
ÖZET .....	ix
ABSTRACT .....	x
BÖLÜM 1. GİRİŞ .....	1
1.1 Tezin Amacı ve Gerekçesi.....	1
1.2 Literatür Taraması.....	3
1.2.1 Yeraltı güç kabloları ve akım taşıma kapasitesi .....	3
1.2.2 Yeraltı güç kabloları ve programları .....	4
1.2.3 Bilgisayar destekli eğitim .....	5
BÖLÜM 2. YERALTI GÜÇ KABLOSUNUN MATEMATİKSEL MODELİ .....	7
2.1 Kablonun Yapısı .....	7
2.1.1 İletken ve damar.....	7
2.1.2 Yarı iletken .....	8
2.1.3 Ana yalıtkan.....	8
2.1.4 Ekran / metal kılıf.....	8
2.1.5 Zırh.....	8
2.1.6 Koruyucu dış yalıtkan kılıf.....	9
2.3 Elektrik- Isıl Devre Modeli .....	9
2.4 Yeraltı Güç Kablosu Parametreleri.....	11
2.4.1 İletken etkin $R_{ac}$ direnci.....	11
2.4.2 Dielektrik kaybı .....	13
2.4.3 Kılıf ve zırh kayıp faktörü .....	13
2.5 Kararlı Durum.....	15
2.6 Geçici Durum.....	20
2.6.1 Geçici durum ısıl devre modeli ve parametreleri.....	21
2.6.2 Kısa süreli ve uzun süreli geçici durum analizi .....	26
2.6.3 Geçici durumda toprağın ısıl etkisi .....	27
BÖLÜM 3. MATLAB BİLEŞENLERİ VE SEÇİLMESİ .....	30
3.1 Matlab Kaynak Dosyası (m-file) .....	31
3.2 Matlab-Simulink .....	31
3.3 Kullanıcı Grafik Arabirimi (Guide).....	32
3.4 MATLAB Programının Seçilme Nedeni.....	33

BÖLÜM 4. YERALTI GÜÇ KABLOLARI EĞİTİM PROGRAMI (POWCABGUI) TANITIMI.....	34
4.1 Kararlı Durum (Steady state) Bölümü .....	40
4.1.1 Veri girişi pencerelerinde istenen bilgiler ve sonuçlar.....	41
4.2 Geçici Durum (Transient) Bölümü .....	44
4.2.1 Geçici Durum Simulink Modeli.....	46
4.3 Program işleyişi .....	49
BÖLÜM 5. PROGRAMININ ÖRNEK UYGULAMASI ve EĞİTSEL ÖZELLİKLERİ .....	63
5.1 Seçilen Bir Kablo İçin Örnek Uygulama .....	63
5.1.1 Parametrelere göre kablo değerlerinin hesaplanması.....	64
5.1.2 Kararlı durum analizleri .....	70
5.1.3 Geçici durum analizleri .....	77
BÖLÜM 6. SONUÇ .....	80
KAYNAKLAR.....	82
EKLER.....	84
ÖZGEÇMİŞ.....	112

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bir yeraltı güç kablonun kesit görünüşü.....	7
Şekil 2.2. Kablo ısı dirençlerinin gösterimi .....	10
Şekil 2.3. Yeraltı güç kablosunun ısı devresi .....	11
Şekil 2.4. Tek çekirdekli kablonun ısı devresinin kararlı durumdaki hali .....	16
Şekil 2.5. Üç çekirdekli kablonun ısı devresinin kararlı durumdaki hali .....	16
Şekil 2.6. Borusuz (a) ve boru içerisinde (b) kabloların tesis şekli .....	17
Şekil 2.7. Yük değişimlerine kablonun ısı cevabı .....	21
Şekil 2.8. Boru içerisine tesis edilen bir kablonun geçici durum ısı devre modeli ...	22
Şekil 2.9. Geçici durumda ısı devrenin iki gözlü hali.....	25
Şekil 2.10. Uzun süreli (a) ve kısa süreli (b) geçici durum ısı devreleri arasındaki fark .....	26
Şekil 2.11. Kennelly hipotezinin gösterilişi .....	27
Şekil 3.1. Matlab programının görünümü .....	30
Şekil 3.2. Matlab bileşenleri.....	30
Şekil 3.3. Simulink kütüphanesi (a) ve model dosyası (b).....	31
Şekil 3.4. Şekil dosyası (a) ve kodların yazıldığı dosya (m-file) (b).....	32
Şekil 4.1. Programın açılış sayfası.....	34
Şekil 4.2. Program yeterlilikleri penceresi.....	35
Şekil 4.3. Program akış şeması birinci kısım .....	37
Şekil 4.4. Program akış şeması birinci kısım .....	38
Şekil 4.5. Yeraltı güç kablosu simulink modeli .....	46
Şekil 4.6. Kablonun kendisine ait ısı devre modeli .....	47
Şekil 4.7. Toprağın ve kabloların karşılıklı ısı etkilerinin modeli.....	48
Şekil 4.8. Yalıtkan malzemenin seçim penceresi .....	49
Şekil 4.9. Yalıtkan malzemenin seçim penceresi .....	50
Şekil 4.10. Program bünyesindeki farklı kablo yapıları .....	50
Şekil 4.11. Program bünyesindeki farklı kablo tesis biçimleri .....	51
Şekil 4.12. Program bünyesindeki farklı kablo tesis durumları .....	51
Şekil 4.13. Genel bilgiler veri girişi penceresi.....	52
Şekil 4.14. Tesis bilgileri veri girişi penceresi ve yardımcı şekiller .....	53
Şekil 4.15. Sonuç tablosu penceresi .....	54
Şekil 4.16. Kararlı durum analiz blokları.....	55
Şekil 4.17. Kararlı durum için değer aralığı giriş penceresi ve ampasite değişim grafiği .....	56
Şekil 4.18. Parametre değişim bloğu .....	57
Şekil 4.19. Parametre karşılaştırma grafikleri.....	58
Şekil 4.20. Geçici durum parametre pencereleri .....	59
Şekil 4.21. Geçici durum iletken sıcaklığı (a) ve toprağın ısı etkisi (b) .....	60
Şekil 4.22. Basamak yük-zaman fonksiyonu .....	61
Şekil 4.23. Basamak yük fonksiyonu uygulama penceresi .....	61
Şekil 4.24. Basamak yük fonksiyonunun kablo iletkenindeki ısı cevabı.....	62
Şekil 5.1. İletken tipi seçim penceresi .....	64

Şekil 5.2. Yalıtkan cinsi seçim penceresi.....	64
Şekil 5.3. Kablo tipi seçim penceresi.....	65
Şekil 5.4. Tesis biçimi seçim penceresi .....	65
Şekil 5.5. Tesis durumu seçim penceresi .....	66
Şekil 5.6. Genel bilgiler veri giriş penceresi .....	66
Şekil 5.7. Tesis bilgileri veri giriş penceresi .....	67
Şekil 5.8. İletken bilgileri veri giriş penceresi.....	67
Şekil 5.9. Yalıtkan bilgileri veri giriş penceresi .....	68
Şekil 5.10. Kılıf bilgileri veri giriş penceresi .....	68
Şekil 5.11. Ceket \ koruma yalıtkanı veri girişi penceresi .....	69
Şekil 5.12. Sonuç tablosu .....	69
Şekil 5.13. Ortam sıcaklığı değişim analizi .....	70
Şekil 5.14. İletken çapı değişim analizi .....	71
Şekil 5.15. Yalıtkan kalınlığı değişim analizi .....	71
Şekil 5.16. Frekans değişim analizi .....	72
Şekil 5.17. İletkenler arası mesafe değişim analizi .....	72
Şekil 5.18. Gömülme derinliği değişim analizi .....	73
Şekil 5.19. Toprak ısı direnç değişim analizi .....	74
Şekil 5.20. İletken etkin direnç değişim analizi .....	74
Şekil 5.21. İletken sıcaklığı değişim analizi.....	75
Şekil 5.22. Yalıtkan materyallerinin belli kalınlıklardaki karşılaştırma grafiği.....	76
Şekil 5.23. Geçici durum parametre tablosu ve kablonun ısı devre modeli.....	77
Şekil 5.24. Simulink modeli ve yük-sıcaklık sonuç grafiği .....	78
Şekil 5.25. Basamak yük fonksiyonu uygulama penceresi .....	78
Şekil 5.26. Örnek kablo için yük fonksiyonuna karşılık sıcaklık değişimi.....	79

## **TABLÖLAR DİZİNİ**

Tablo 2.1. İletken özellikleri.....	12
Tablo 2.2. Yalıtkan özellikleri .....	13
Tablo 5.1. Örnek kablo özellikleri.....	63



## SİMGELER DİZİNİ

### SİMGELER AÇIKLAMALAR

C	Elektriksel kapasite (F/m)
c	Üçlü kablolar için eksenler arası uzaklık (mm)
$d_c$	Kablo iletken çapı (mm)
$D_i$	Yalıtkan çapı (mm)
$D_s$	Kılıf çapı (mm)
$D_a$	Zırh çapı (mm)
$D_e$	Kablo dış çapı (mm)
$D_d$	Boru iç çapı (mm)
$D_o$	Boru dış çapı (mm)
f	Kablonun işletim frekansı (Hz)
L	Referans alınan kablonun gömülme derinliği (mm)
D	Ortalama kılıf kalınlığı (mm)
r	Yalıtkan kalınlığı (mm)
$p$	VanWormer katsayısı
$R_{ac}$	İletkenin atkin direnci (Ohm/m)
$R_{dc}$	İletkenin dc direnci (Ohm/m)
$R_s$	Metal kılıf direnci (Ohm/m)
S	Kablonun iletken kesit alanı (mm <sup>2</sup> )
s	Kablolar arasındaki mesafe (mm)
$t_1$	Yalıtkan çapı (mm)
$t_2$	Koruma kalınlığı (mm)
$t_j$	Ceket kalınlığı (mm)
$t_s$	Kılıf kalınlığı (mm)
$T_1$	Kablo ana yalıtkanının ısı direnci (K.m/W)
$T_2$	Ceketin ısı direnci (K.m/W)
$T_3$	Koruma ısı direnci (K.m/W)
$T_4$	Dış ısı direnci (K.m/W)
$T_a$	Boru içindeki havanın ısı direnci (K.m/W)
$T_d$	Borunun ısı direnci (K.m/W)
U	Fazlar arası gerilim (V)
$U_o$	Tek kablonun geçen gerilim değeri (V)
$W_t$	Toplam ısı kayıp (Watt)
$W_c$	İletkendeki ısı kayıp (Watt)
$W_d$	Yalıtandaki dielektrik kaybı (Watt)
$W_s$	Kılıftaki ısı kayıp (Watt)
$Y_s$	Deri etkisi
$Y_p$	Yaklaşım etkisi
$\theta$	Kablo iletkeninin sınır işletim sıcaklığı (°C)
$\theta_c$	İletkendeki anlık işletim sıcaklığı (°C)
$\theta_o$	Ortam sıcaklığı (°C)

$X$	Kılıf reaktansı ( $\Omega/m$ )
$Q_i$	İletken ısı kapasitesi (J/K.m)
$Q_s$	Kılıf ısı kapasitesi (J/K.m)
$Q_r$	Koruma ısı kapasitesi (J/K.m)
$Q_z$	Zırh ısı kapasitesi (J/K.m)
$c$	Hacimsel özgül ısı ( $J/m^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ )
$\alpha_{20}$	İletkenin 20 ( $^\circ\text{C}$ )’deki sıcaklık katsayısı
$\rho_{20}$	İletkenin 20 ( $^\circ\text{C}$ )’deki özdirenci ( $\Omega.m$ )
$\rho_s$	Toprak ısı özdirenci (K.m/W)
$\rho$	Yalıtkan ısı özdirenci (K.m/W)
$\rho_j$	Ceket ısı özdirenci (K.m/W)
$\rho_3$	Koruma ısı özdirenci (K.m/W)
$\rho_d$	Boru ısı özdirenci (K.m/W)
$n$	Tesisteki kablo sayısı
$d$	Ortalama kılıf çapı(mm)
$\lambda_1$	Kılıf kayıp faktörü
$\lambda_2$	Zırh kayıp faktörü

## KISALTMALAR

AIEE	: Amerikan Elektrik Mühendisleri Enstitüsü – American Institute of Electrical Engineers
CIGRE	: Büyük Elektrik Sistemleri Uluslararası Konseyi – International Council on Large Electric Systems
ERA	: Elektrik Araştırma Kurumu – Electrical Research Association
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Kurulu – International Electrotechnical Commission
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü – Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPCEA	: Yalıtılmış Güç Kablosu Mühendisleri Kurumu – Insulated Power Cable Engineers Association
PE	: Polietilen
PVC	: Polivinilklorid
EPR	: Etilen-propilen dien monomer kauçuk
PPLP	: Poli-propilen yapraklı kağıt
XLPE	: Çapraz bağlı polietilen – Crosslinked Polyethylene
MATLAB	: MATrix LABoratory – Matris Laboratuvarı

## YERALTI GÜÇ KABLolarININ BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ

Yunus BİÇEN

**Anahtar Kelimeler:** Yeraltı güç kabloları, Bilgisayar Destekli Eğitim , Simülasyon Programı, Eğitim Teknolojileri.

**Özet:** Bu çalışmada yeraltı güç kabloları konusunu öğretmek amacıyla, modern öğretim yaklaşımları kullanılarak tasarlanan, POWCABGUI bilgisayar simülasyon programı sunulmaktadır. Yeraltı güç kabloları ile ilgili yapılan çalışmalarda, IEC 60287 standartlarına dayanan, farklı ve uzun analitik işlemler kullanılmaktadır. Dolayısıyla kablo parametrelerinin hesaplanması veya ısı analizlerinin gerçekleştirilmesi çok uzun zaman almaktadır. Kablo yapısındaki veya tesis durumlarındaki herhangi bir değişme tüm bu hesaplamaların yeniden yapılması anlamına gelmektedir. Bu problemleri ortadan kaldırmak ve yeraltı güç kablolarının çeşitli işletim şartları altındaki akım taşıma kapasitesini (Ampasite) analiz etmek amacıyla Matlab tabanlı , Grafik Arayüzlü (GUI) bir simülasyon programı geliştirme ihtiyacı duyulmuştur. Kullanıcılar, POWCABGUI programını kullanarak, güç kablolarının parametrelerini farklı işletim ve tesis durumları için kolay bir şekilde hesaplayıp, görsel olarak inceleyebilir. Programın, aynı zamanda kararlı durum ve geçici durum ısı analizlerini de yapabilme yeteneği vardır. Bununla birlikte kullanıcı, işlemleri, yönlendirici açıklama çubukları ve resimler yardımıyla kolay bir şekilde gerçekleştirir. Böylece POWCABGUI, kullanıcıların yeraltı güç kablolarını etkin bir şekilde öğrenmelerini sağlamış olmaktadır.

## COMPUTER AIDED ANALYSIS OF UNDERGROUND POWER CABLE

**Yunus BİÇEN**

**Key Words:** Underground Power Cables, Computer Aided Education, Simulation Program, Educational Technologies.

**Abstract:** This study presents POWCABGUI computer simulation program that was designed by using modern teaching approaches in order to teach underground power cables. Different and long analytical processes based on IEC 60287 standards in studies on underground power cables. Any variation in cable structure or installation condition will need all these calculations to be done again. With a view to eliminate these problems, a Matlab Graphics User Interface (GUI) simulation program POWCABGUI was established to analyze the current carrying capacity (ampacity) of underground power cables under varies operation conditions. Users can compute and examine the rating of power cables, under different operating and install conditions and type-size of cables, simply and visually by using POWCABGUI. Moreover, program has the ability to do steady state and transient analysis. Also user can easily carry out the procedures of program by using guidelines of collimator text stick and figures. Thus, POWCABGUI allows the users to effectively learn the rating of underground power cables.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Günümüzde enerji iletimi ve dağıtımı iki farklı şekilde yapılmaktadır. Bunlardan ilki halen ülkemizde ve dünyada yaygın şekilde kullanılmakta olan hava hatlarıyla yapılan enerji iletimidir. İkincisi ise yatırım maliyetleri oldukça yüksek fakat her geçen gün kullanım oranı artan yeraltı güç kablolarıyla enerji iletimidir. Enerji iletimi uzmanlık gerektiren alanlardan biri olarak kabul edilmektedir [1,2]. Hiç kuşkusuz enerji iletiminde kullanılan hava hatları ve yeraltı kabloları bu sistemin en hayati parçalarından birisidir.

### **1.1 Tezin Amacı ve Gerekçesi**

Yeraltı güç kablolarının kullanımı, ekonomik ve teknolojik gelişimle paralel olarak düşen maliyetlerle birlikte yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle yerleşimin yoğun olduğu bölgelerde, güvenlik ve estetik kaygılarla, yeraltı güç kabloları iletim ve dağıtım tesis edilme durumu giderek kaçınılmaz bir hal almaktadır ve artmaktadır [3]. Bu nedenle ileride bu alanda yetişmiş uzman kişilere duyulacak gereksinim de artacaktır. Ancak bu alandaki, Yüksek Gerilim, Enerji İletimi ve Dağıtımı gibi derslerin müfredat programı içerisinde bu konuya yeteri kadar ayrıntılı yer verilmemektedir. Bu nedenle artan yeraltı kablosu üretimi ve tesisi talebine karşın, ilerisi için bu alanda yetişmiş eleman sayısında bir sıkıntı olduğu, kabloların kısa sürede devre dışı kalması, standartlara uygun tesis edilmemesi, ve çok sayıda kablo üreticisinin varlığı ile anlaşılmaktadır.

Bununla birlikte, son zamanlarda yeraltı güç kablolarıyla ilgili yayın ve tez gibi çalışmaların sayısında bir artış görülmektedir. Halen ülkemizde yeraltı güç kablosu ile enerji iletimi konusu sınırlı sayıda seçmeli ders olarak yüksek lisans düzeyinde verilmektedir. Yeraltı güç kablolarının konu itibarıyla anlatılması ve anlaşılması, kabloya ait parametrelerin hesaplanmasında kullanılan denklemlerin sayısı ve karmaşıklığı düşünüldüğünde, oldukça zaman alan bir konudur [4]. Çünkü her ne

kadar elektrik tesislerinin özel bir konusuymuş gibi görünse de, malzeme bilimi ve ısı transferi gibi çok özel konuları da kapsayan geniş boyutu bulunmaktadır [5]. Lisans eğitimi sırasında konuyla ilgili yeterli ön bilgilere sahip olmayan öğrenciler, konuyu algılamada ve kalıcı öğrenmede yetersiz kalabilmektedir. Üstelik çok sayıda parametreye bağlı olan hesaplamalarda bu parametre değişimlerinin kablo üzerine etkilerinin incelenmesi de oldukça zor ve zaman alan bir konudur. Bu nedenle algılama sorunlarını azaltmak, kalıcı bir öğrenme sağlamak ve öğrencilerin her türlü denemeyi ve analizi yapabilmeleri amacıyla, hiçbir ticari kaygı taşımadan, tamamen eğitim amaçlı kullanılmak üzere görsel bir analiz programı tasarlama ihtiyacı hissedilmiştir.

Mevcut yeraltı güç kablolarıyla ilgili ticari ve profesyonel simülasyon programlarının kullanılmaları belli bir uzmanlık ve deneyim gerektirmektedir. Üstelik bu programlar eğitsel amaçlı hazırlanmadıklarından, öğrencilerin konuyla ilgili analizleri ve çalışmaları yapması için uygun değildir. Bununla beraber çoğu ticari programda olduğu gibi çok kullanıcı tarafından kullanımı da mümkün değildir.

Tüm bunların yanında bilgisayar destekli eğitim çalışmalarının genelinin olumlu sonuçlanması, böyle bir konuda görsel ve kolay anlaşılabilir bir program hazırlanması için de teşvik edici bir unsur olmuştur. Günümüzde bilgisayar tabanlı simülasyon programları eğitimde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Dolayısıyla öğrenciler bu tip programları kullanmaya yatkın ve isteklidirler.

Belirtilen amaçlar doğrultusunda 2005 yılı güz yarıyılı içerisinde KOU Fen Bilimleri Enstitüsünde lisans üstü dersi olarak verilen “Yeraltı Güç Kabloları ile Enerji İletiminin Sınırları ” dersinde başlanan bu programı oluşturma çalışmaları, kapsamı genişletilerek bu tez çalışması ile birlikte tamamlanmıştır.

## 1.2 Literatür Taraması

### 1.2.1 Yeraltı güç kabloları ve akım taşıma kapasitesi

Yeraltı güç kablosu sorunsuz bir şekilde, uzun süre işletilebilmesi için akım taşıma kapasitesinin doğru belirlenmesi çok önemlidir. Güç kablolarının akım taşıma kapasitesine ilişkin yapılan çalışmalar 1893 yılında Kennelly ile başlamış ve 1980'li yıllarda en son standartlaşmış halini alıncaya kadar devam etmiştir [5].

Neher ve McGrath 1957 yılında daha önceki yıllarda yapılmış olan çalışmalara göre çok daha doğru sonuçlar veren bir model oluşturdular. Bu modelde iletkenden dışarıya doğru olan ısı enerji akışı, elektrik akımı akışına benzetiliyordu [6]. Neher-McGrath modeli olarak literatüre geçmiş olan bu model, günümüzde kablunun akım taşıma kapasitesi hesaplanmalarında kullanılan modellerin ve standardın temelini oluşturmuşlardır. Ancak bu modelin havadaki kablolar için yapılan hesaplamalarda hatalı sonuçlar verdiği ve sadece yeraltına döşenen güç kabloları için kullanılması gerektiği görüşü yaygın olarak kabul görmüştür [7].

1964 yılında Uluslar Arası Elektronik Komisyonu (International Electrotechnical Commission-IEC) tarafından, Neher – McGrath Modeli temel alınarak, bir CIGRE raporu sunuldu. Katılan tüm ülkelerin katkıda bulunmasıyla hazırlanan bu CIGRE raporu 1969 yılında IEC tarafından benimsenerek IEC 287 nolu standart yayınlandı [7].

İçerisinde geçici durum (transient rating) analizlerinin de bulunduğu analitik çözümlerini kapsayan en güncel IEC 287 nolu standart 1982 yılında ikinci kez, 1995 yılında üçüncü kez basıldı ve IEC 60 287 nolu standart olarak güncellendi [7].

Yeraltı güç kablolarının üretim ve tesis maliyetleri oldukça yüksektir. Dolayısıyla tesis edilecek sistemin beklenen kullanım ömrünü doldurması son derece önemlidir. Bunun için yeraltı güç kablolarının tesis edilecek ortamın değişkenlerine ve yukarıda belirtilen standartlara uygun olarak hesaplarının yapıp uygun özelliklerde seçilmesi

ve tesis edilmesi gerekmektedir [3]. Kablo parametrelerinin hesaplanması için kullanılan teknikler son derece karmaşık denklemler içerir. Bu noktada günümüzde büyük bir hızla gelişen bilgisayar teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Geliştirilen profesyonel programlar sayesinde oldukça karmaşık yapıdaki hesaplamalar kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir [8].

### **1.2.2 Yeraltı güç kabloları ve programları**

George J. Anders ve arkadaşları 1990 yılında güç kablolarının akım taşıma kapasitesini hesaplayan bir program geliştirdiler ve bu alanda yeni programların geliştirilmesine önayak oldular. Geliştirilen bu programda sürekli durum, geçici durum analizleri yapılabilmekteydi [9].

Daha sonraları bu programın ticari hakları CYME Int. tarafından satın alınmıştır. 2005 yılında günümüz bilgisayarları için yeniden tasarlanmıştır. Birçok kablo çeşidi, farklı tesis şekilleri için sürekli ve geçici durum analizleri yapabilen görsel bir program haline almıştır. Kabloya ait hesaplamaları, zaman-sıcaklık eğrilerini bir çok kablo için aynı anda grafiksel olarak gösterebilmektedir [10].

Bir başkası USi tarafından geliştirilen USAmp+ ismini taşıyan programdır. USAmp+ sadece yeraltı güç kabloları için tasarlanmış olan bir program olup yine IEC standartlarına bağlı kalarak çeşitli kablo tipleri için farklı tesis durumlarında sürekli ve geçici durum analizlerini yapabilmektedir [11].

Bir diğeri KEMA tarafından geliştirilen, yalnızca orta ve yüksek gerilim yeraltı güç kablolarının testlerinde kullanılan bir programdır [12]. Bu program diğer programlarda olan standart hesaplamaların yanı sıra özel bir takım özelliklere sahiptir. En önemli özelliği bir test programı olması dolayısıyla veri girişinin bir kısmının gerçekte tesis edilmiş yer altı güç kablosundan almasıdır. Böylece hesaplanan sonuçlar ortama bağımlı olarak çok daha gerçekçi bir şekilde yapılabilmektedir. Ayrıca yeraltı kablosunun oluşturduğu manyetik etkileri saptama yeteneği vardır.



Bu programlarla birlikte piyasada kapsamı daha geniş fakat içinde güç kablosunun akım taşıma kapasitesini hesaplayan çeşitli programlar da mevcuttur. Bunlardan bazıları ETAP, AmpCalc vb... programlardır [13,14].

Burada bahsedilen programların ortak özellikleri, IEC standartlarına bağlı kalarak, üretici ve işletmecilere dönük olarak hazırlanmış ve çok kapsamlı profesyonel programlar olmalarıdır. Bu nedenle gerçekte uygulanmayan kablo seçeneklerini, ortam ve tesis koşullarını dikkate almadıklarından eğitim amacıyla kullanılması oldukça zordur. Ayrıca bu tür programların temin edilmesi de büyük maliyet gerektirmektedir.

### **1.2.3 Bilgisayar destekli eğitim**

Eğitim sistemlerinde etkin olarak kullanılan teknolojilerden birisi de bilgisayar destekli eğitimidir. Bunun yanında bilgisayar teknolojisi bireyin oluşturacağı bilgileri belleğinde hem grafiksel hem de sembolik temsil biçimleri dahilinde depolamasına olanak sağlayarak bilgiyi yönlü ve çift boyutlu olarak depolatarak hem öğrenmeyi daha anlamlı hem de bilgi depolamasını uzun vadeli kılabilir [15].

Bu alanda yapılan çalışmalar, bilgisayar destekli eğitimin, geleneksel eğitim yöntemiyle karşılaştırıldığında, başarısının daha yüksek olduğunu göstermektedir [15].

Bilgisayar destekli eğitimin başarıyı artırmasının yanı sıra öğrencilerde üst düzey düşünme becerilerinin gelişmesini sağladığı, dolayısı ile öğrencilerin ezberden çok kavrayarak öğrendiği görülmüştür [15].

Boyce tarafından yapılan bir araştırmada bilgisayar teknolojisinin hesaplama prosedürlerindeki kullanımının başlangıç ve devam eden süreçte öğrenciler üzerindeki etkisi, pozitif ve negatif bakış açılarıyla birlikte incelenmiş, yararları ortaya konulmuştur [16].

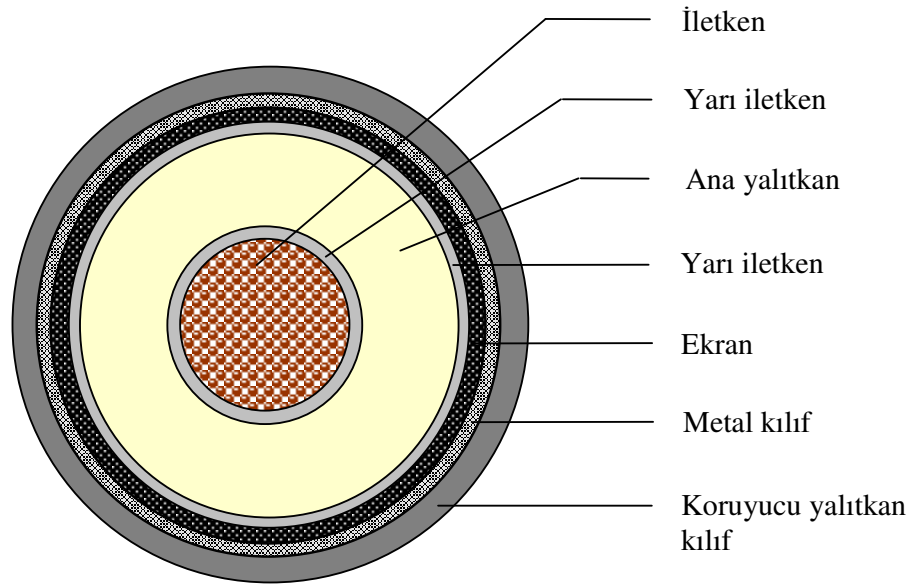
Bir başka çalışmada, bilgisayar tabanlı öğretim materyallerinin öğrenciler üzerindeki kavramsal gelişim, yanlış anlamaları ve tutumları incelemiştir. Sonuçta öğrencilerin kavramsal olarak anlama ve uygulama düzeylerine ulaşmasında bilgisayar destekli eğitimin son derece etkili olduğu gösterilmiştir [17].

Bilgisayar simülasyonları, karmaşık sistemleri öğretme ve öğrenmede verimli ve etkin bir yol olarak seçilmektedir. Bireysel öğrenmeyi desteklemek için simülasyonların da özel öğretim materyalleri kapsamına alınabileceğini belirtmiştir. Bununla birlikte aslına uygun simülasyon programlarıyla öğrenciler, inceledikleri anı, dondurarak olaya dışarıdan bakmak suretiyle gerçeği daha iyi anlaşılabilirliğini vurgulamaktadır[18]. Belirli amaçlar doğrultusunda yazılmış bilgisayar tabanlı programların, eğitsel yönleri bakımından, ticari programlara göre çok daha etkili oldukları vurgulanmaktadır[19].

## BÖLÜM 2. YERALTI GÜÇ KABLOSUNUN MATEMATİKSEL MODELİ

### 2.1 Kablonun Yapısı

Yeraltı güç kablosu her birisi farklı işlevlere sahip olan değişik katmanlardan meydana gelmektedir. Katmanlar iletken ve yalıtkan kısımlardan meydana gelirler. Yeraltı güç kablosunun matematiksel modelini daha iyi anlamak için bu katmanların özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Şekil 1.1'de standart bir yeraltı güç kablosunda bulunan katmanlar görülmektedir.



Şekil 2.1: Bir yeraltı güç kablonun kesit görünüşü

#### 2.1.1 İletken ve damar

İletken elektrik enerjisini iletmeye yarayan yalıtılmamış tel veya tel demetidir. Tel, tüm uzunluk boyunca çapı sabit kalacak veya önceden belirlenen tolerans sınırları içinde değişme gösterecek biçimde dairesel kesitli olarak çekilmiş ince, uzun ve som

bir metal mamuldür. Damar ise kablonun yalıtılmış her bir iletkenine verilen isimdir. İletken kısım ile bunu çevreleyen yalıtıktan oluşur.

### **2.1.2 Yarı iletken**

İletken kısımların yüzeyine kaplanmıştır. Amacı iletken yüzeyindeki elektron akışının yüzeye eşit şekilde dağılmasını sağlamaktır. Yani düzgün bir elektrik alan oluşturarak, yalıtıktaki istenmeyen alan şiddeti dalgalanmalarını engellemektir.

### **2.1.3 Ana yalıtkan**

Başlıca görevi yalıtımı sağlamak olan, aynı zamanda kablodaki oluşmuş zorlanmalardan (stress) da koruyan, iletkeni veya iletken damarları içine alan bir gömlek gibidir. Bu kısımda XLPE (Çapraz bağlı polietilen), PE (Polietilen), EPR (Etilen-propilen dien monomer kauçuk), PPLP (Poli-propilen yapraklı kağıt) gibi değişik yalıtkan türleri kullanılabilir.

### **2.1.4 Ekran / metal kılıf**

Ekran, yüksek gerilime karşı korumak veya enerji kablolarının haberleşme tesislerine etkisini azaltmak amacı ile kullanılan ve belirli noktalarda topraklanan metal kısımdır. Genellikle her damar üzerine sarılan bakır teller veya şeritlerden oluşur.

Metal kılıf, özellikle özellikle yüksek gerilim kablolarında dış kılıfın altında kullanılan, alüminyum veya bakırdan yapılmış koruyucu özelliğe sahip kısımdır.

### **2.1.5 Zırh**

Şekilde gösterilmemesine karşın, büyük çaplı yeraltı güç kablolarında, özellikle su ve basınç olan yerlerde kullanılan ve kabloyu mekaniki etkilerden koruyan yuvarlak tel veya yassı metal şeritlerden yapılmış örgü veya sargıdır. Koruyucu yalıtkanın hemen altında bulunur.

### 2.1.6 Koruyucu dış yalıtkan kılıf

Kablonun en dışındaki yalıtandır. Kabloyu dış etkilere (mekaniksel ve kimyasal) karşı korur. Koruyucu kılıftan önce bir yalıtkan daha varsa buna ceket adı verilir. PE, PVC vb.. gibi yalıtkanlar kullanılır

### 2.3 Elektrik- Isıl Devre Modeli

Yeraltı güç kablolarında işletim performansın artması, kablo iletkeninde oluşan  $W_c$  ısı enerjisinin dışarıya atılmasına bağlıdır. Fakat yeraltı güç kablolarında, kablo iletkeninden dışarıya doğru ısı akışına engel teşkil eden ve yukarıda da tanımlanmış olan bir çok katman vardır. Bu katmanların ısı enerjisi akışına karşı göstermiş oldukları zorluk, elektrik akımına karşı dirençlerin göstermiş olduğu zorlukla benzeştirilmiş ve buna ısı direnç denmiştir [5]. Kablo yüzey aşamalarındaki iletkenler (metal kılıf ,ekran...) hariç tüm yalıtkan katmanlar aynı zamanda birer ısı direnç özelliği gösterirler. İletkenin ısı dirençleri ihmal edilecek kadar küçüktür. Şekil 2.1’de örnek kablo için ısı dirençler gösterilmiştir.

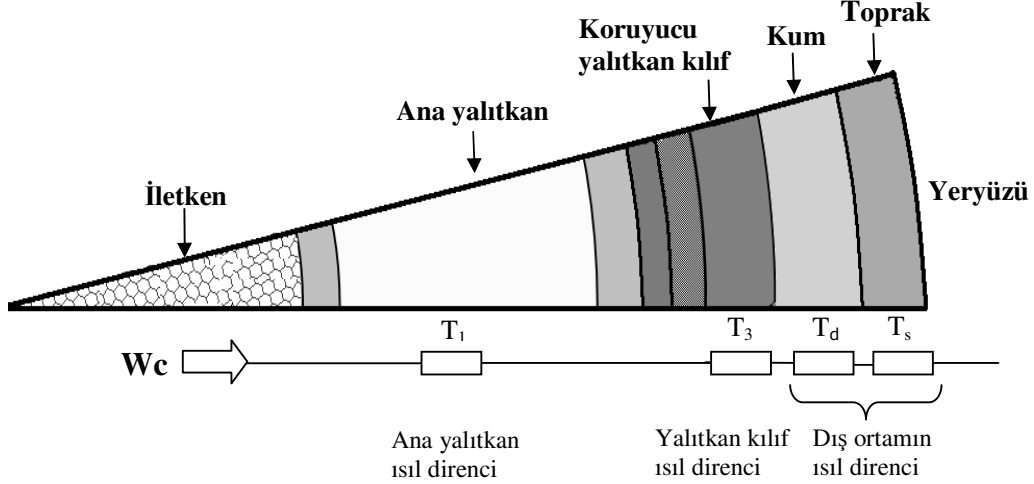
$$R = \frac{V_1 - V_2}{I} \quad (\Omega/m) \qquad T = \frac{\theta_c - \theta_a}{W_t} \quad (K.m/W) \qquad (2.1)$$

Isıl devredeki sıcaklık farklarının  $\Delta\theta$ , elektrik devresindeki potansiyel farka  $\Delta V$  benzetilmiş, akan ısı enerjisi miktarı da  $W_t$ , elektrik akımına ( $I$ ) benzetilmiştir [6].

Isıl dirençler (K.m/W) yazılırken  $T_1$ ’den sonra  $T_2$  gelmemiştir.  $T_2$  literatürde çoğu kez boru tipi denilen basınçlı sıvı (yağlı) soğutmalı özel kablolarda ısı direnci belirtmek için kullanılır. Burada ise  $T_2$ , eğer varsa koruyucu kılıftan önce gelen ceket için kullanılacaktır.

İletkende oluşan ısı enerjisi dışarıya doğru akışı sırasında ilk engeli, büyük ısı direnç değerine sahip ana yalıtkan kısmında ( $T_1$ ) görür, daha sonra sırasıyla ısı dirençleri

ihmal edilecek kadar küçük olan metal kılıf ve ekranı geçerek, ısıl direnç değeri ana yalıtkanla oranla daha küçük olan koruyucu yalıtkan kılıfa ( $T_3$ ) ulaşır.

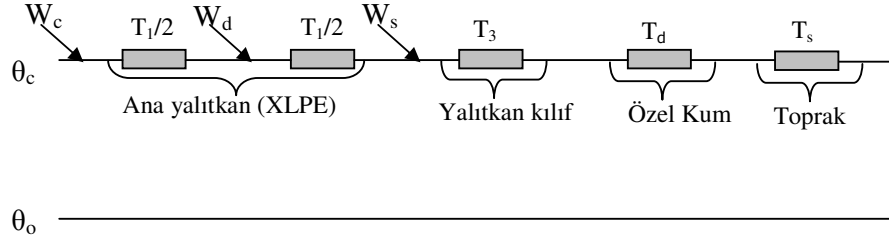


Şekil 2.2: Kablo ısıl dirençlerinin gösterimi

Daha sonra ısı enerjisi, kablunun yere tesis edilme şartlarına göre (özel kum, boru içinde, direkt toprağa) önce ısıl iletkenliği yüksek özel kum ( $T_d$ ) ve toprak ( $T_s$ ) aşamalarını geçerek havaya ulaşır. Elektriksel olarak düşünüldüğünde hava düşük potansiyel noktasıdır.

Kararlı bir durumda, örnek kabloya ait ısıl devre modeli şekil 2,3'teki gibi gösterilir [6]. Yeraltı güç kablolarında iki metal (iletken ve metal kılıf-ekran) arasında kalan yalıtkan bir dielektrik yapısı oluşturmaktadır. Yalıtkanın ideal olmaması ve işletim geriliminin saniyede 50-60 kez değişmesiyle birlikte yalıtkan kısımdaki elektronlar burada bir kayıp güç meydana getirirler. Bu kayıp güç, dielektrik kaybı ( $W_d$ ) olarak isimlendirilir. Dielektrik kayıplarını sisteme katmak amacıyla, ısıl devredeki ana yalıtkan direncinin değeri eşit iki parçaya bölünür [6].

Sistemde iletken ve dielektrik kaybindan başka, kablunun iletken yüzey katmanlarında (metal kılıf, ekran, zırh) kablo iletkeninin oluşturduğu manyetik alandan kaynaklanan kayıplar meydana gelmektedir. Bu kayıplar metal kılıf kaybı ( $W_s$ ) ve kullanılmışsa zırh kayıpları ( $W_a$ ) olarak adlandırılır ve koruyucu dış yalıtkanın hemen öncesinde ısıl devre modeline dahil edilmektedir [6].



Şekil 2.3: Yeraltı güç kablosunun ısıl devresi

## 2.4 Yeraltı Güç Kablosu Parametreleri

Yeraltı güç kablosunun analiz edilebilmesi için kablonun tüm kısımlarının özelliklerinin, tesis edilme biçiminin, yapısı ve döşendiği ortam koşulları özelliklerinin (sıcaklık, ısıl öz direç, vb...) bilinmesi ve parametrelerin buna göre, modele aktarılması gerekmektedir. Kablonun akım taşıma kapasitesini sınırlayan asıl unsur ise sıcaklık değeri olduğundan, her parametrenin sıcaklık ile bağıntısı matematiksel olarak ifade edilmektedir.

### 2.4.1 İletken etkin $R_{ac}$ direnci

İletkende ısı enerjisi şeklinde kayıp bir enerjinin ortaya çıkmasına neden olan dirençtir. Etkin direncin bulunması için kablo kesit alanı  $S(\text{mm}^2)$ , nominal sıcaklık değerindeki iletkenin öz direnci  $\rho_{20} (\Omega \cdot \text{m})$ , sıcaklık katsayısı  $\alpha_{20}$  kablo iletkeninin sınır işletim sıcaklığının  $\theta (^{\circ}\text{C})$  bilinmesi gerekir. Alüminyum ve bakıra ait öz direnç ve sıcaklık katsayıları aşağıdaki tablo 2.1'de verilmektedir [6].

$$R_{dc} = \frac{1.02 \cdot 10^6 \cdot \rho_{20}}{S} [1 + \alpha_{20} (\theta - 20)] \quad (2.2)$$

Eşitlik 2.2 ile iletkenin işletim sıcaklığındaki  $R_{dc} (\Omega/\text{m})$  direnci bulunabilir.

Daha sonra iletkenin gecen değişken frekanslı akımın oluşturduğu,  $Y_p$  yaklaşım ve  $Y_s$  deri etkileri de hesaba katıldığında iletkenin etkin direnci bulunmaktadır [6].

$$R_{ac} = R_{dc} (1 + Y_s + Y_p) \quad (2.3)$$

Tablo 2.1: İletken özellikleri

Materyal	Özdireç ( $\rho_{20}$ ). $10^{-8}$ 20 °C deki ( $\Omega.m$ )	Sıcaklık katsayısı 20 °C deki ( $\alpha_{20}$ )
Bakır	1.7241	3.93
Alüminyum	2.8264	4.03

Yaklaşım ve deri etkisi aşağıdaki denklemler ile bulunabilir. Burada kullanılan  $k_s$  ve  $k_p$  katsayıları dairesel kablo yapıları için sırasıyla 1 ve 0,8 alınabilir [7].

$$F_k = \frac{8 \pi f}{R_{dc}} 10^{-7} \quad X_s^2 = F_k \cdot k_s \quad (2.4)$$

$$X_p^2 = F_k \cdot k_p \quad F_p = \frac{X_p^4}{192 + 0,8X_p^4} \quad (2.5)$$

$$Y_s = \frac{X_s^4}{192 + 0,8X_s^4} \quad (2.6)$$

$$Y_p = F_p \left( \frac{d_c}{s} \right)^2 \left[ 0,312 \left( \frac{d_c}{s} \right)^2 + \frac{1,18}{F_p + 0,27} \right] \quad (2.7)$$

Burada,  $d_c$  (mm) iletkeninin çapı ve  $s$  (mm) iletkenler arası mesafedir.



## 2.4.2 Dielektrik kaybı

Yukarıda da bahsedildiği gibi dielektrik kaybı iki iletken arasında kalan yalıtkan kısımda meydana gelir. Dielektrik kaybı gerilimin karesine bağlı olduğundan, yüksek gerilim kablolarında önemlidir. 65 kV altındaki kablolar için ihmal edilebilir [7]. 10kV'luk kablo için yapılan örnek uygulamada dielektrik kaybının toplam kayıba oranı % 0,107 olarak hesaplanmıştır.

$$W_d = 2\pi f \cdot C \cdot U_o^2 \cdot \tan \delta \quad (2.8)$$

Burada C elektriksel kapasite değeri (F/m),  $U_o$  bir kablo için işletim faz-nötr gerilimini,  $\tan \delta$  ise kayıp faktörünü belirtir [7].

$$C = \frac{\epsilon}{18 \ln \left( \frac{D_i}{d_c} \right)} \cdot 10^{-9} \quad (2.9)$$

Burada gerekli olan dielektrik sabiti ve kayıp faktörü yalıtkanlar için aşağıdaki tabloda verilmektedir [6,7].

Tablo 2.2: Yalıtkan özellikleri

Kablo ana yalıtkanı	$\epsilon$	$\tan \delta$
PVC	4-8	0,1
PE	2,3	0,001
XLPE	2,5	0,008
EPR	3-4	0,04
PPL_kâğıt	2,8	0,001

## 2.4.3 Kılıf ve zırh kayıp faktörü

Yeraltı güç kablosunun diğer metal kısımları olan kılıf, ekran ve zırh üzerinde, kablo iletkeninden geçen akımın oluşturduğu alandan kaynaklanan eddy akımlarının

meydana getirdiği kayıplar oluşur. Eğer kablonun yanında başka kablolar varsa bunların manyetik etkileri de iletken kısımlarda bir sirkülasyon akımı meydana getirmektedirler. Büyük çaplı kablolarda bu etkiler dahil edilmelidir [5]. Bu kayıplar iletken kaybında olduğu gibi, iletkenen geçen akımın karesiyle orantılı olarak değişir.

Metal kılıf veya ekranda oluşan kayıp ile , zırhta oluşan kayıp iletken kaybı  $W_c$ 'nin bir oranı olarak sırasıyla,  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  kayıp katsayıları ile belirtilir.

$$\lambda_1 = \lambda_1' + \lambda_1'' \quad \lambda_2 = \lambda_2' + \lambda_2'' \quad (2.10)$$

Bu katsayıların belirlenmesi için aşağıdaki denklemlerden yararlanılır.

Kabloların tesis biçimine göre (düz - üçgensel) iki farklı kılıf reaktansı ( $\Omega/m$ ) hesaplanmaktadır [6],

$$X = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \ln \frac{2s}{d} \quad (2.11)$$

$$X_1 = 4\pi f \cdot 10^{-7} \cdot \ln \left[ 2 \sqrt[3]{2} \left( \frac{s}{d} \right) \right] \quad (2.12)$$

Metal kılıfın direnci ,

$$R_s = \frac{10^6 \cdot \rho_{20}}{\pi \cdot d \cdot t_s} [1 + \alpha_{20} (\theta_s - 20)] \quad (2.13)$$

ifadesiyle bulunur. Burada  $t_s$  (mm) kılıf kalınlığı,  $\theta_s$  ( $^{\circ}C$ ) kılıf sıcaklığı,  $d$  (mm) ise ortalama kılıf çapını simgeler.

Düz olarak toprağa döşenmiş tek iletkenli üç faz kablosu için,

$$\lambda_1' = \frac{R_s}{R} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s}{X_1}\right)^2} \quad \lambda_1'' = 0 \quad (2.14)$$

Üçgensel olarak toprağa döşenmiş tek iletkenli üç faz kablosu için,

$$\lambda_1' = \frac{R_s}{R} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s}{X}\right)^2} \quad \lambda_1'' = 0 \quad (2.15)$$

Eddy akımlarının oluşturduğu kayıplar ( $\lambda_1''$ ) kablo yapısı çok büyük değilse ihmal edilmektedir [6].

Eğer kablo üçgensel olarak tesis ediliyorsa,  $\omega = 2\pi f$  olmak üzere aşağıdaki ifadeyle kılıf kayıp faktörü hesaplanabilir.

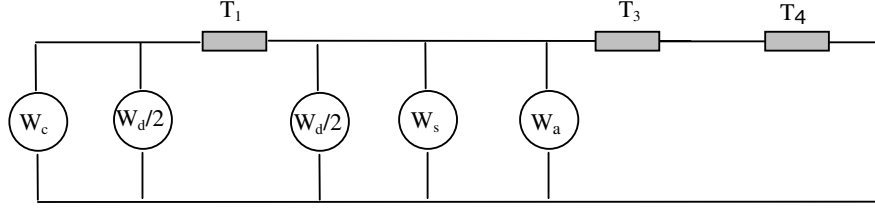
$$\lambda_1' = 0 \quad \lambda_1'' = \frac{3R_s}{R} \left[ \left(\frac{2c}{d}\right)^2 \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s 10^7}{\omega}\right)^2} + \left(\frac{2c}{d}\right)^4 \frac{1}{1 + 4 \left(\frac{R_s 10^7}{\omega}\right)^2} \right] \quad (2.16)$$

Zırh kayıp faktörü  $\lambda_2$  burada gösterilmemiştir. Ancak farklı kablo yapıları ve zırh biçimleri için IEC 60287 nolu standartlara göre hesaplanabilir.

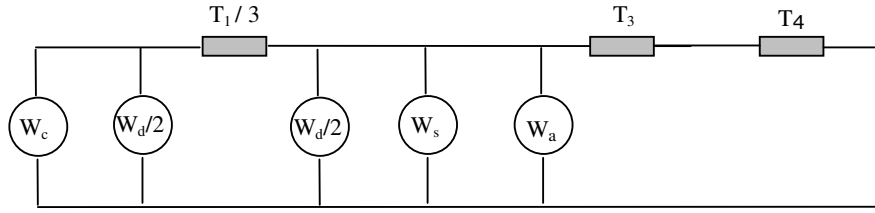
## 2.5 Kararlı Durum

Yeraltı güç kablosu sürekli ve kararlı halde çalışırken kablonun katmanları ve toprağın ısı direnç değerleri sabit olarak alınır. Gerçekte toprağın ısı direnç değeri hava şartlarının toprağı etkilediği oranda değişkenlik gösterir. Ancak değişken olmayan ortam koşulları için kararlı durum analizi yapılabilir.

Şekil 2.4'te kararlı durum için (a) tek iletkenli ve (b) üç iletkenli ısıl devre modeli gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Tek çekirdekli kablonun ısıl devresinin kararlı durumdaki hali [5]



Şekil 2.5: Üç çekirdekli kablonun ısıl devresinin kararlı durumdaki hali [5]

Kablo iletkeni ve diğer kısımlarda oluşan kayıp ısı enerjisinin bir kısmı bu katmanlarda depo edilir. Kabloda meydana gelen tüm joule kayıp güçlerinin (iletken, ekran-kılıf, zırh)ve dielektrik kayıp güçlerinin toplamı aşağıdaki eşitlik 2.17 ile gösterilmiştir [5].

$$W_t = W_c + W_s + W_a + W_d = W_c (1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d \quad (2.17)$$

Devrede gösterilen ısıl dirençlerden  $T_1$  (K.m/W) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$T_1 = \frac{\rho}{2\pi} \cdot \ln \left( 1 + \frac{2 \cdot t_1}{d_c} \right) \quad (2.18)$$

Burada  $t_1$ (mm) ana yalıtkan kalınlığı, $d_c$  (mm) iletken çapı,  $\rho$  (K.m/W) yalıtkan öz direncini ifade eder.

Kabloda ceket ısıl direncini ifade eden  $T_2$  ise ,

$$T_2 = \frac{\rho_j}{2\pi} \cdot \ln \left( 1 + \frac{2 \cdot t_j}{D_s} \right) \quad (2.19)$$

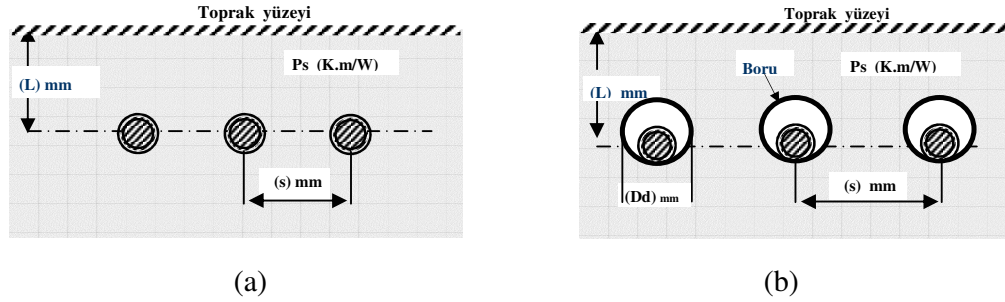
şeklinde hesaplanır. Burada  $t_j$  ceket kalınlığı,  $D_s$  (mm) kılıf dış çapı,  $\rho_j$  (K.m/W) ceketin özdirencini ifade eder. Eğer kabloda zırh kullanılmışsa formülde, kılıf dış çapını belirten  $D_s$  (mm) yerine zırh dış çapını belirten  $D_a$  (mm) kullanılmalıdır [20].

Benzer şekilde kablunun koruyucu yalıtkanının ısıl direnci,

$$T_3 = \frac{\rho_3}{2\pi} \ln \left( 1 + \frac{2t_3}{D_j} \right) \quad (2.20)$$

şeklinde hesaplanır.  $D_j$  (mm) ceket dış çapını,  $t_3$  (mm) koruma kalınlığı,  $\rho_3$  (K.m/W) koruma yalıtkanının ısıl özdirencini göstermektedir.

Dış ortamın ısıl direnci  $T_4$  döşeme biçimi ve şartlarına göre değişkenlik gösterir. Şekil 2.6 (a,b)'de direkt olarak toprağa gömülü ve boru içinde toprağa gömülü kablolar gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Borusuz (a) ve boru içerisinde (b) kabloların tesis şekli

Doğrudan toprağa döşenmiş kablolar için ısıl direnç,

$$T_{ref} = \frac{\rho_s}{2\pi} \ln \left( \frac{2L}{D_e} + \sqrt{\left( \frac{2L}{D_e} \right)^2 - 1} \right) \quad (2.21)$$

olarak hesaplanır [20,21]. Kablunun yanında başka kablolar varsa veya üçlü döşenen kablolar, diğer kabloların da etkisi hesaba katılmalıdır. Yeraltı güç kablolarında genellikle orta kablo yada merkezde bulunan kablo en çok zorlanmaya maruz kalır.

Bu nedenle sınır koşulları hesaplanırken en çok zorlanmaya maruz kalan kabloya göre yapılır. Referans kablonun yanındaki her kablo, ortamın sıcaklığını biraz daha artırır ve ısı aktarımını zorlaştırır. Referans kablo haricindeki diğer kabloların etkisi eşitlik 2.22 ile bulunmaktadır [20,21].

$$T_{4diğer} = \frac{\rho_s}{4\pi} \ln \left( \left( \frac{2L}{s} \right)^2 + 1 \right) \quad (2.22)$$

İfadedeki L döşeme derinliği (mm), s (mm) kablo merkezleri arasındaki mesafe ve  $\rho_s$  (mm) toprağın ısıl öz direncini gösterir. Sonuç olarak toplam dış ısıl direnç değeri;

$$T_4 = T_{ref} + n.T_{4diğer} \quad (2.23)$$

şeklinde hesaplanır.  $n$  devredeki kablo sayısını belirtir.

Yeraltı güç kablosu yol geçiş güzergahlarında veya özel koruma gerektiren durumlarda boru içerisinde tesis edilmektedir. Bu durumda ısı geçiş yolu üzerine ek ısıl dirençler eklenmiş olmaktadır.

Kablo ile boru arasında havanın ısıl direnci aşağıdaki ifadeyle bulunmaktadır [20].

$$T_a = \frac{U}{1 + 0,1(V + Y.\theta_m)D_e} \quad (2.24)$$

Burada U,V,Y değerleri EIC 60287 nolu standartlarda belirlenmiştir.  $D_e$  (mm) kablo dış çapı,  $\theta_m$  boru içindeki ortamın sıcaklık değeridir. Boruya ait ısıl direnci bulmak için,

$$T_d = \frac{\rho_d}{2\pi} \cdot \ln \left( 1 + \frac{2.t_d}{D_d} \right) \quad (2.25)$$

eşitliği kullanılır. Burada  $D_d$  (mm) boru iç çapını,  $t_d$  (mm) boru kalınlığını,  $\rho_d$  (K.m/W) koruma yalıtkanının ısıl öz direncini gösterir [20].

Sonuç olarak kablo üzerindeki bu ek ısı dirençler, tesis edilecek ortam koşullarına göre, sınır değerler hesaplanırken göz önüne alınmalı ve buna göre bir azaltma faktörü belirlenmelidir [3]. Borudan sonraki toprağın ısı direnci yine  $T_{ref}$  (K.m/W) ile benzer yapıda olup, eşitlik 2.26 ile tanımlanır.

$$T_{ref}^I = \frac{P_s}{2\pi} \ln \left( \frac{2.L}{D_o} + \sqrt{\left( \frac{2.L}{D_o} \right)^2 - 1} \right) \quad (2.26)$$

Yeraltına boru içinde döşenmiş kabloların toplam ısı direnci 2.27 ifadesiyle bulunabilir.

$$T_4 = T_{ref}^I + n.T_{4diğer} + T_a + T_d \quad (2.27)$$

Burada,  $T_a$  (K.m/W) boru içerisindeki ortamın ısı direnci,  $T_d$  (K.m/W) borunun ısı direncini belirtmektedir.

Isıl devre modeline göre sıcaklık değişimi için aşağıdaki gibi bir denklem yazılabilir [20].

$$\theta_c - \theta_a = \left( W_c + \frac{1}{2} W_d \right) T_1 + [W_c (1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d] n (T_3 + T_4) \quad (2.28)$$

Yeraltı güç kablosunun ne kadar akım geçireceği bilinmediği durumda, kablo yalıtkanına göre önceden standartlarda belirtilen işletim sıcaklığı değeri (örnek XLPE 90 °C) olarak verilen değer aşağıdaki ifadede yerine koyulmak suretiyle kablunun akım taşıma kapasitesine (Ampasite) ulaşılabilir [20,23].

$$I = \left[ \frac{\Delta\theta - W_d [0,5T_1 + n(T_3 + T_4)]}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)} \right]^{0.5} \quad (2.29)$$

Formül bu haliyle, ceket kullanılmadığı durumda kablunun akım taşıma kapasitesini vermektedir. Eğer ceket kullanılsaydı,  $T_2$  ısı direnci de  $T_3$  ve  $T_4$  ile birlikte ifadeye dahil edilmesi gerekirdi.

## 2.6 Geçici Durum

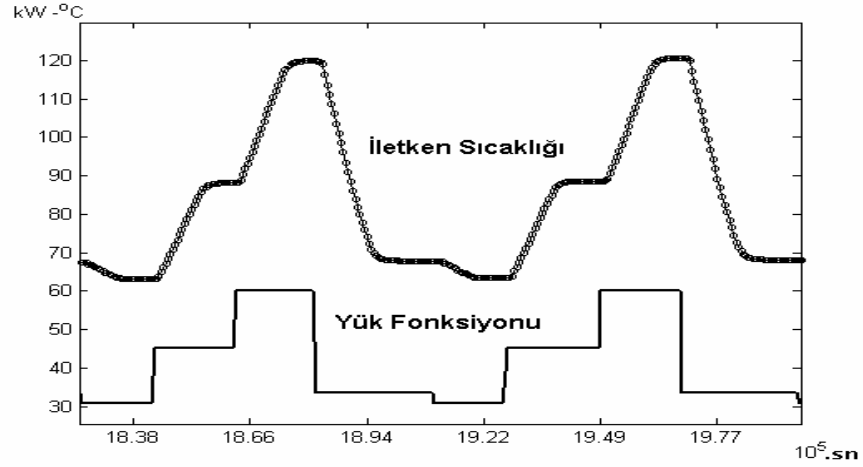
Yeraltı güç kablosu aksi bir durum olmadıkça, sürekli halde (kararlı durum) belirli bir yük faktöründe akım çekerken, kablo iletkeninin ve katmanlarının sıcaklık değerleri sabittir. Sistemden çekilen akımda bir değişme olduğunda kablodaki ısı enerjisi miktarı da buna bağlı olarak değişecektir. Çekilen akımın değişmesi, sistemden talep edilen gücün aniden ve çok artması veya azalması, kısa devre durumları gibi nedenlerden olabilir. Isı enerjisinin artışı eşitlik (2.30)'de zamanın bir fonksiyonu şeklinde hesaplanmaktadır[24].

$$\theta_i(t) = W_c \sum_{j=1}^n T_{ij} (1 - e^{-P_j t}) \quad (2.30)$$

Eşitlikteki  $\theta_i$ : i düğümündeki sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{ij}$ : katsayı ( $^{\circ}\text{C.m/W}$ ),  $t$ : yükün uygulanmaya başlamasından itibaren zaman (sn),  $P_j$ : zaman sabiti ( $\text{sn}^{-1}$ ),  $n$ : devredeki döngü sayısı,  $i$ : düğüm dizini,  $j$ : 1 den  $n$ 'e kadar dizin olarak tanımlanır. Ancak burada yeraltı güç kablosuna ait ısıl devre modeli MATLAB\_Simulink ortamında oluşturulduğundan, eşitlik (2.31) ifadesi sadece devrenin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla ayrı bir m-file içerisine yazılmıştır.

Geçici durum analizinde, kararlı durum (sürekli hal) analizinden farklı olarak değişken yük durumları için kablo sıcaklığındaki değişimler incelenmektedir. Isıl devre modelinde kararlı durum için bir önemi olmayan ısıl kapasiteler geçici durum analizinde sisteme dahil edilir. Kabloda kullanılan iletken ve yalıtkan katmanların cinsine göre farklı ısıl kapasiteleri vardır. Bu katmanlar, elektrik devresindeki bir kondansatörün akıma karşı gösterdiği kararlı duruma yumuşak geçiş görevini, ısı enerjisine karşı gösterirler. Şekilde basamak fonksiyonu şeklindeki bir yük eğrisine karşı kabloda oluşan sıcaklık değişimi şekil 2.7'de gösterilmektedir. Kararlı duruma geçiş süresi her kablo cinsi için farklılıklar göstermektedir.



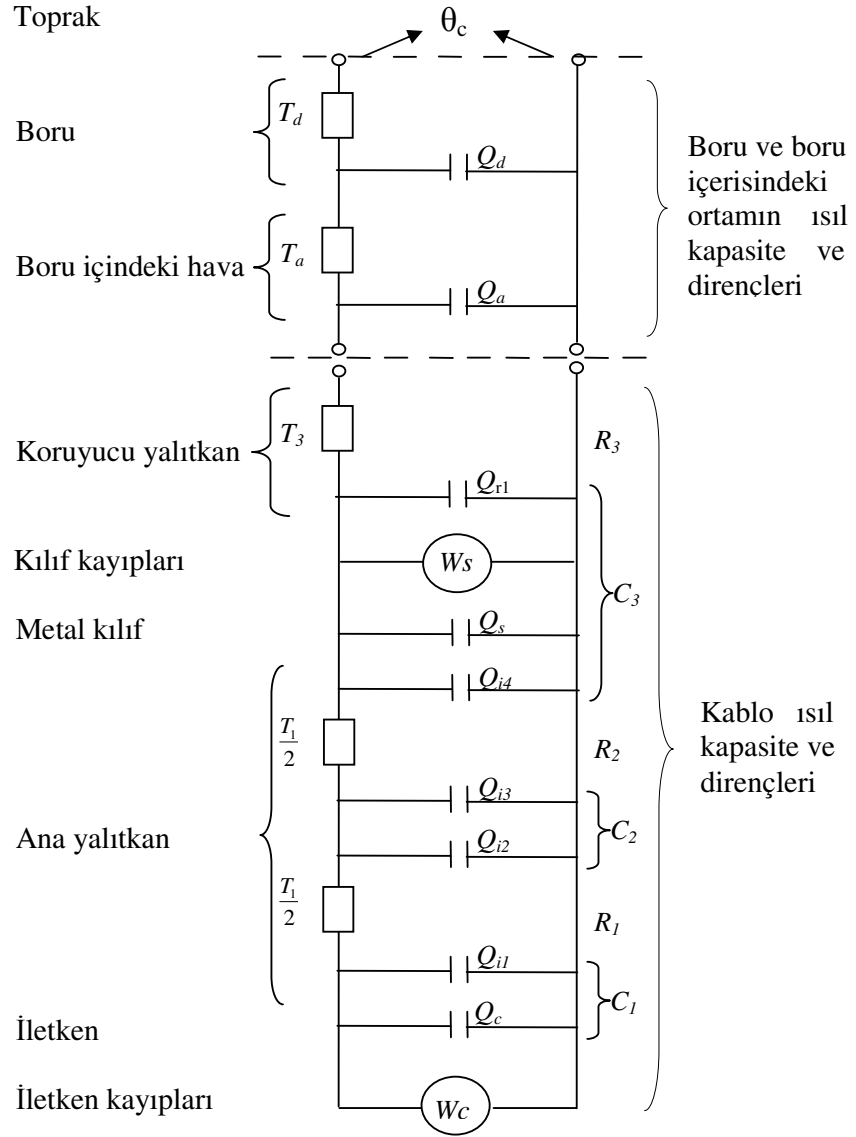


Şekil 2.7: Yük değişimlerine kablonun ısıl cevabı

Yeraltı güç kablosunun katmanlarındaki ısıl kapasite değerlerinin olabildiğince küçük değerlerde olması istenir. Bu katmanlardaki ısıl kapasitenin fazla olması ısının belli oranlarda hapsedilmesi anlamına geleceğinden, dışarıya atılmasında bir zorluk doğuracak ve kablonun akım taşıma kapasitesini düşürücü yönde bir etki yapacaktır. Bu nedenle özellikle ana yalıtkan için hem ısıl öz direnci hem de ısıl kapasite değeri küçük değerlikli yalıtkanlar kullanılmaktadır. Yalıtkanın dielektrik özellikleri ise diğer önemli parametredir.

### 2.6.1 Geçici durum ısıl devre modeli ve parametreleri

Seçilen bir güç kablosunun boru içerisinde döşenmiş hali için geçici durum ısıl devre modeli şekil 2.8'de gösterilmiştir. Toprak ısıl direnç ve kapasitesi ısıl devre modeline dahil edilmemiştir. Toprak sistemden çekilen enerjinin değişimine karşılık kablonun verdiği sıcaklık değişim cevabına göre çok daha yavaş bir cevap verir ve ayrı olarak sisteme dahil edilmesi daha uygundur. Şu halde kabloda oluşan sıcaklık artışına sebep olan iki etken vardır. Birincisi  $\theta_c$  (°C) kablonun kendisinden kaynaklanan bir ısı artışı, diğeri ise  $\theta_e$  (°C) kablo dış ortamından kaynaklanan bir sıcaklık artışıdır.



Şekil 2.8: Boru içerisine tesis edilen bir kablonun geçici durum ısı devre modeli [6]

Devredeki ısı kapasitelerin ( $J/K.m$ ) bulunmasında kullanılan ifadelerin genel yapısı,  $V$  katmanların hacimsel değeri ( $m^3$ ) ile  $c$  hacimsel özgül ısı ( $J/m^3 \text{ } ^\circ C$ ) değerinin çarpımından oluşur [6].

$$Q = V \cdot c \quad (2.31)$$

İletkenin ısı kapasite değeri, S (mm<sup>2</sup>) iletkenin kesit alanını belirtmek üzere, 2.32 ifadesine göre,

$$Q_c = S \cdot c \quad (2.32)$$

olarak hesaplanabilir. Ana yalıtkanın ısı kapasite değeri,

$$Q_i = \frac{\pi}{4} (D_i - d_c) c_i \quad (2.33)$$

olarak yazılabilir [6]. Yalıtkanın ısı kapasitesi dielektriğin kalınlığına göre değişen doğrusal bir fonksiyon değildir. Bu nedenle dielektriğin ısı devreye katılması Van Wormer katsayısı yardımıyla olur [21,22]. Ana yalıtkan için kullanılan katsayı p, koruyucu dış yalıtkan için kullanılan katsayı p' sembolleriyle ifade edilir.

$$p = \frac{1}{2 \ln \left( \frac{D_i}{d_c} \right)} - \frac{1}{\left( \frac{D_i}{d_c} \right)^2 - 1} \quad (2.34)$$

$$p' = \frac{1}{2 \ln \left( \frac{D_e}{D_s} \right)} - \frac{1}{\left( \frac{D_e}{D_s} \right)^2 - 1} \quad (2.35)$$

Eğer yeraltı güç kablosunun ana yalıtkan maddesi kağıt (PPLP) veya 275 kV' tan daha fazla gerilim değerinde işletiliyorsa, bu durumda kullanılan Van Wormer katsayısı aşağıdaki ifadeyle bulunur [21,22].

$$P_d = \frac{\left[ \left( \frac{D_i}{d_c} \right)^2 \ln \left( \frac{D_i}{d_c} \right) \right] - \left[ \ln \left( \frac{D_i}{d_c} \right) \right]^2 - \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{D_i}{d_c} \right)^2 - 1 \right]}{\left[ \left( \frac{D_i}{d_c} \right)^2 - 1 \right] \left[ \ln \left( \frac{D_i}{d_c} \right) \right]^2} \quad (2.36)$$

Ana yalıtıkana ait ısı kapasite değeri, kısa süreli ısı devre modelinde (ileride açıklanacak) kullanılacaksa aşağıdaki gibi parçalara ayrılmış şekilde hesaplanmaktadır [21,22].

$$\left. \begin{aligned} Q_{11} &= \frac{\pi}{4} (D_i \cdot d_c - d_c^2) c \\ Q_{12} &= \frac{\pi}{4} (D_i^2 - D_i \cdot d_c) c \end{aligned} \right\} \quad (2.37)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_{i1} &= p \cdot Q_{11} \\ Q_{i2} &= (1 - p) Q_{11} \\ Q_{i3} &= p \cdot Q_{12} \\ Q_{i4} &= (1 - p) Q_{12} \end{aligned} \right\} \quad (2.38)$$

Metal kılıfın ısı kapasite değeri ise,

$$Q_s = \frac{\pi}{4} \cdot (D_s - D_i) \cdot c_s \quad (2.39)$$

olarak yazılabilir. Koruyucu yalıtkanın ısı kapasite değeri de,

$$Q_r = \frac{\pi}{4} \cdot (D_e^2 - D_s^2) c_r \quad (2.40)$$

olarak bulunur ve dielektrik ile ilişkilendirilir ise,

$$\left. \begin{aligned} Q_{r1} &= p' \cdot Q_r \\ Q_{r2} &= (1 - p') Q_r \end{aligned} \right\} \quad (2.41)$$

halini alır.

Eğer kabloda koruma kemeri (şerit)  $Q_T$  ve zırh  $Q_Z$  bulunuyorsa, bu katmanlara ilişkin ısı kapasiteler aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [6].

$$Q_T = n_t \cdot \left[ w_t \cdot t_y \cdot \sqrt{\ell_t^2 + (\pi d_2)^2} \right] \cdot c \quad (2.42)$$

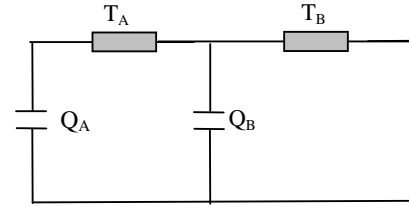
$$Q_Z = n_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_f^2}{4} \cdot \sqrt{\ell_a \cdot d_a} \cdot c \quad (2.43)$$

Zırh parametre sembol tanımlamaları aşağıda sıralanmıştır;

$n_t$ = Kullanılan bant sayısı	$n_1$ = Zırh tellerinin sayısı
$w_t$ = Bant genişliği,(m)	$d_f$ = Zırh telinin ortalama çapı,(m)
$t_t$ = Bant kalınlığı,(m)	$\ell_a$ = Yatırma uzunluğu,(m)
$\ell_t$ = Yatırma uzunluğu,(m)	$d_a$ = Ortalama zırh çapı,(m)
$d_2$ = Ortalama bant çapı,(m)	

Isıl devrede  $W_c$  iletken kaybı ve  $W_s$  metal kılıf kayıpları akım kaynağı olarak gösterilirken,  $W_d$  dielektrik kaybı gösterilmemiştir. Bunun nedeni geçici durum analizinde, ısıl devre modeli oluşturulurken dielektrik kayıplarının yarısının iletken kayıplarıyla, diğer yarısının ekran yada metal kılıf kayıpları içine katılmasıdır.

IEC 1985-89 yıllarında 853 (1-2) nolu yayınlarında, geçici durum analizi yapılırken, ısıl devre modelinin transfer fonksiyonu kullanarak iki gözlü devre haline dönüştürülmesinin bilgisayarlarda hızlı çözümlene yapılması için önermektedir [6].



Şekil 2.9: Geçici durumda ısıl devrenin iki gözlü hali

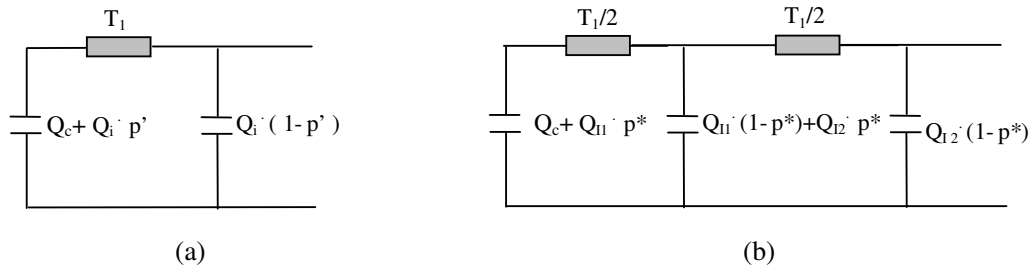
Fakat günümüz bilgisayar teknolojisi artık bunu bir sorun olmaktan çıkardı [6] ve burada ısıl devre modelinde hiçbir indirgeme yapılmadan çözümlene yapılmaktadır.

$$\left. \begin{aligned} T_A &= \frac{1}{2} \cdot T_1 \\ Q_A &= Q_c + Q_{i1} \end{aligned} \right\} \quad (2.44)$$

$$\left. \begin{aligned} T_B &= \frac{1}{2} \cdot T_1 + (1 + \lambda_1) \cdot T_3 \\ Q_B &= Q_{i2} + Q_{i3} + Q_{i4} + \left[ \frac{(1 + \lambda_1) T_3}{\frac{1}{2} T_1 + (1 + \lambda_1) T_3} \right]^2 (Q_s + Q_{r1}) \end{aligned} \right\} \quad (2.45)$$

### 2.6.2 Kısa süreli ve uzun süreli geçici durum analizi

Sistemin kararlı hale geçme süresine göre iki farklı ısı devre modeli vardır. Hangisinin tercih edileceği toplam eşdeğer kapasite  $\sum Q$  ve toplam ısı dirençlerinin  $\sum T$  çarpımları değeri bir saatten fazla ise uzun süreli geçici durum ısı devre modeli kullanılması daha uygun olmaktadır. İki ısı devre arasındaki fark aşağıdaki şekilde gösterilmektedir [21].



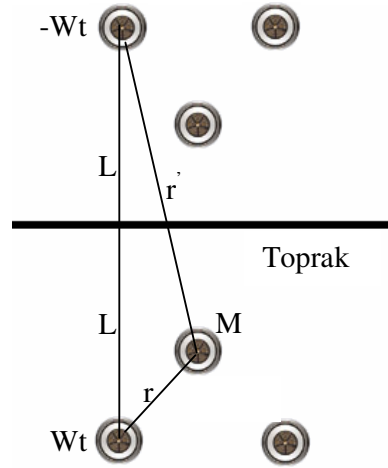
Şekil 2.10: Uzun süreli (a) ve kısa süreli (b) geçici durum ısı devreleri arasındaki fark

Kısa süreli geçici rejim analizinde kullanılan Van Wormer katsayısı ana yalıtkan için değişmektedir. Bu durumda yeni Van Wormer katsayısı  $p^*$  olarak gösterilir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır [22].

$$p^* = \frac{1}{\ln \left( \frac{D_i}{d_c} \right)} - \frac{1}{\left( \frac{D_i}{d_c} \right) - 1} \quad (2.46)$$

### 2.6.3 Geçici durumda toprağın ısıl etkisi

Toprağın ısıl etkisinin bulunmasında, pratik olması nedeniyle Kennelly modeli tercih edilmektedir. Kennelly modeline göre yeryüzü bir izotermdir ve toprak içindeki herhangi bir M noktasındaki sıcaklık artışı, herhangi bir zamanda, ısı kaynağı  $W_t$ 'nin neden olduğu sıcaklık artışı ve onun yer yüzeyinde simetrisinin  $-W_t$  oluşturduğu sıcaklık artışının toplamıdır [5].



Şekil 2.11: Kennelly hipotezinin gösterilişi

Buna göre şekil 2.11'de görüldüğü gibi, herhangi bir M noktasına, r kadar uzaklıkta bulunan ısı kaynağının neden olduğu sıcaklık artışının zamana göre değişimi aşağıda gösterilmiştir.

$$\theta_M(t) = W_t \cdot \frac{p_s}{4\pi} \cdot \left[ -Ei\left(-\frac{r}{4\delta t}\right) + Ei\left(-\frac{r^2}{4\delta t}\right) \right] \quad (2.47)$$

Bu eşitlik aslında  $-Ei(-x) = \int_x^\infty \frac{e^{-v}}{v} dv$  şeklinde bir eksponansiyel integral

ifadesidir. Bu eksponansiyel ifade bir seri şeklinde açılabilir [21].

$$-Ei(-x) = -5,777 - \ln x + x - \frac{x^2}{2.2!} + \frac{x^3}{3.3!} \dots \quad (2.48)$$

Toprağın ısı yayma gücü  $\delta$  bilinmiyorsa  $0,5 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/sn alınabilir. Bu değer toprağın ısı öz direncinin 1,0 K·m/W olduğu esasına dayanır. Ancak toprağın ısı öz direnci biliniyorsa ısı yayılma gücünü bulmak için aşağıdaki eşitlik kullanılır [6].

$$\delta = \frac{4.68}{\rho_s^{0.8}} \cdot 10^{-7} \quad (2.49)$$

Yeraltı güç kablosu için ise birincil ısı kaynağı kendisidir. Burada, şekil 2.6 (a)'daki gibi düz döşenmiş üç yeraltı güç kablosundan referans olarak orta kablo seçilirse,

$$\theta_{e\text{orta}}(t) = W_t \cdot \frac{P_s}{4\pi} \cdot \left[ -Ei\left(-\frac{De^2}{16\delta t}\right) + Ei\left(-\frac{L^2}{\delta t}\right) \right] \quad (2.50)$$

ifadesi elde edilir. Diğer kablunun sıcaklık etkisi aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$\theta_{e\text{diğer}}(t) = W_t \cdot \frac{P_s}{4\pi} \cdot \left[ -Ei\left(-\frac{s^2}{4\delta t}\right) + Ei\left(-\frac{\sqrt{(2L)^2 + s^2}}{4\delta t}\right) \right] \quad (2.51)$$

Sonuç olarak referans kablo için, topraktan kaynaklanan sıcaklık artışı aşağıdaki ifade ile bulunabilir [24].

$$\theta_e(t) = \theta_{\text{orta}}(t) + n \cdot \theta_{\text{diğer}}(t) \quad (2.52)$$

Bu ifadeler  $t = \infty$  için aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\theta_{\text{orta}}(\infty) = W_t \cdot \frac{P_s}{2\pi} \ln\left(\frac{4L}{D_e}\right) \quad (2.53)$$

$$\theta_{\text{diğer}}(\infty) = W_t \cdot \frac{P_s}{2\pi} \left( \frac{\sqrt{(2L)^2 + s^2}}{s} \right) \quad (2.54)$$



Böylece  $t = \infty$  için, topraktan kaynaklanan maksimum sıcaklık artış miktarı belirlenebilir.

Yeraltı güç kablosundaki herhangi bir zamandaki toplam sıcaklık artışı kendi kayıpları, diğer kablo devrelerindeki karşılıklı ısı etkileşimi ve onun görüntüsünden kaynaklanan sıcaklıkların toplamıyla bulunur ve aşağıdaki gibi ifade edilir [22].

$$\theta_{Tot}(t) = \theta_i(t) + \alpha(t) \cdot \theta_e(t) + \theta_d(t) + \alpha(t) \sum_{k=1}^{n-1} [\theta_r(t) + \theta_{dr}(t)] \quad (2.55)$$

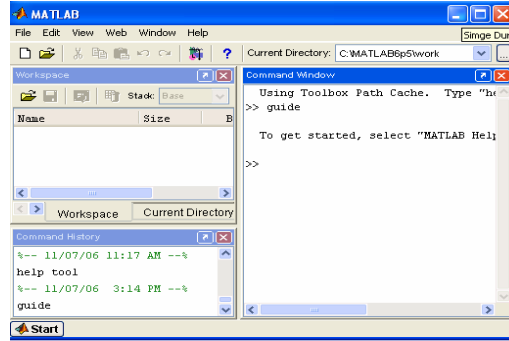
Erişme (attainment) faktörü  $\alpha(t)$  iletken ve kablo dış yüzeyindeki sıcaklık artışı için kullanılır ve kablo ilk işleme geçtiği anda ( $t = 0$ ) hesaba katılmalıdır. [anders] Kararlı durumda 1'e eşit olan erişme faktörü aşağıdaki gibi hesaplanır [22].

$$\alpha(t) = \frac{\theta_c(t)}{\theta_c(\infty)} = \frac{\theta_c(t)}{W_c [T_A + T_B]} \quad (2.56)$$

$\theta_d$  referans kablo içindeki,  $\theta_{dr}$  ise r kadar uzaklıktaki kablonun dielektrik kayıplarının referans kablo üzerinde meydana getirdiği sıcaklık artışını sembolize eder ve erişme katsayısı ile çarpılır.  $\theta_i$  kablo içindeki herhangi bir i noktasının sıcaklığı olup her katman için farklılık gösterir. Buradaki  $\theta_i$ ,  $\theta_d$ ,  $\theta_{dr}$  sıcaklıkları ısı devre modelinde üretilmektedir. Daha önceden de belirtildiği gibi, topraktan kaynaklanan  $\theta_e$  ısı devreden farklı olarak modellenmiş ve sisteme eklenmiştir.

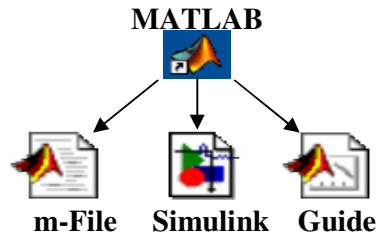
### BÖLÜM 3. MATLAB BİLEŞENLERİ VE SEÇİLMESİ

MATLAB® (MATrix LABoratory – Matris Labratuarı) olarak bilinen program, ilk olarak 1985 yılında C.B. Moler tarafından geliştirilmiş olup, teknik hesaplamalar ve matematiksel problemlerin çözümü ve analizi için tasarlanmış bir yazılım geliştirme aracıdır. Fortran programlama diline alternatif olarak, C programlama diliyle yazılmıştır. Dünyada, özellikle bilimsel araştırma ve geliştirme projelerinde yaygın olarak kullanılan MATLAB programı sahip olduğu üstün özellikleriyle neredeyse mühendislik alanlarının tümüne hitap etmektedir. Son yıllarda ülkemizde de özel sektörle birlikte, bir çok üniversitenin sayısal bölümlerinde (Mühendislik ve Teknik Eğitim, İstatistik, Matematik, ...) hesaplama, analiz ve modellemeye dayanan derslerde MATLAB programı yardımcı materyal olarak kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 3.1: Matlab programının görünümü

MATLAB programı aşağıdaki şekil 3.2'deki gibi üç temel kısımdan meydana gelir.



Şekil 3.2: Matlab bileşenleri

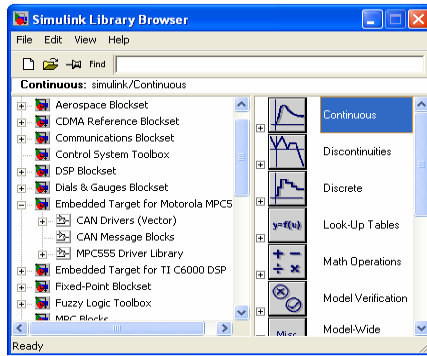
### 3.1 Matlab Kaynak Dosyası (m-file)

MATLAB komut satırında dışarıdan çağırılacak tüm programlar “.m” uzantılı dosyalar (M-file) olarak tanımlanabilir. MATLAB’ın kendi hazır program algoritmaları M-dosyaları şeklinde olabileceği gibi MATLAB için yazılan programlar da M-dosyaları şeklinde saklanıp MATLAB içinde çağrılabilir. Benzer şekilde veriler de M-dosyaları şeklinde oluşturup saklanarak daha sonra MATLAB içinde kullanılabilir.

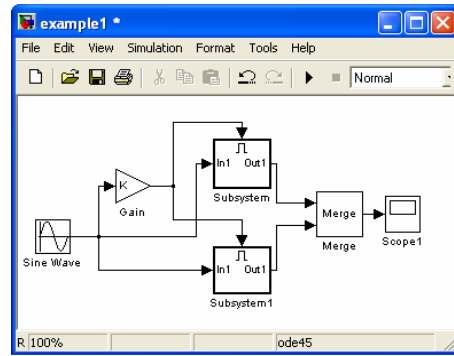
### 3.2 Matlab-Simulink

Simulink, MATLAB ile birlikte bütünleşik olarak çalışan, dinamik sistem modellerinin kurulması, benzetimi ve çözümlemesinde kullanılan bir simülasyon programıdır. Sürekli zamanlı ve ayrık zamanlı sistemleri ,veya her ikisini de içeren hibrit sistemleri desteklemektedir. Simulink, matematiksel mantığı olan tüm sistemlerin modellenip, simülasyonunun gerçekleştirilmesi, değişik durumlardaki cevabının test edilmesine olanak sağlar.

Şekil 3.3’te görüldüğü gibi kendi kütüphanesi içinde hazır bloklar kategorize edilip, grup veya alt gruplara ayrılmıştır. Bu gruplar, kullanım alanına göre finans, sayısal haberleşme, kontrol sistemleri, güç elektroniği, bulanık mantık, yapay sinir ağları,...vb gibi çok geniş bir yelpazede dağılmışlardır.



(a)

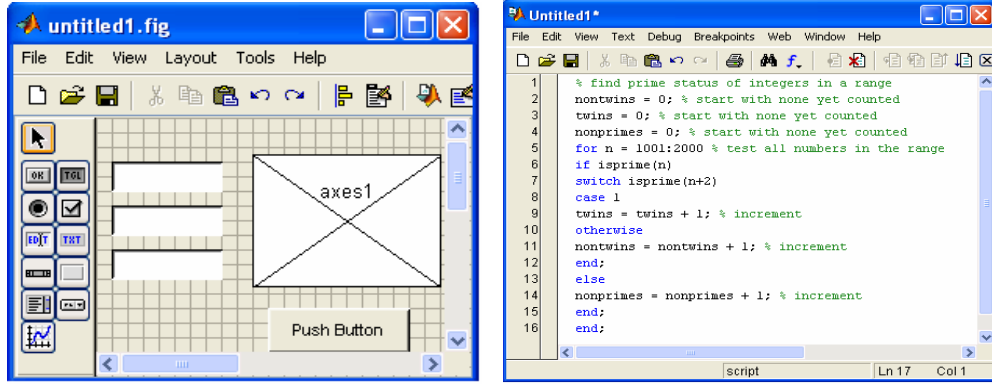


(b)

Şekil 3.3: Simulink kütüphanesi (a) ve model dosyası (b)

### 3.3 Kullanıcı Grafik Arabirimi (Guide)

MATLAB programının diğerk bir eki görsel programlar tasarlanmasına olanak veren ve Guide olarak isimlendirilen birimdir. Guide iki kısımdan oluşur. Birincisi şekil 3.4 (a)'da gösterilen görsel şekil ve nesnelerin oluşturulduğu arayüz , diğeri ise şekil 3.4 (b)'de gösterilen, arayüzdeki nesnelere işlevsel hale getirmek için kullanılan ve otomatik olarak aynı isimle oluşan, MATLAB fonksiyon dosyası (m-file).



(a)

(b)

Şekil 3.4: Şekil dosyası (a) ve kodların yazıldığı dosya (m-file) (b)

Şekil 3.4 (a)'da görüldüğü gibi grafik penceresinin solundaki bölümde, kullanıcının pencereye aktarabileceği, buton (push button), içerisine sayı yada yazı karakteri girilebilen boş kutucuk (edit box), işaret kutucukları (radio ve check button), listeden seçim yapmak için (list box, popup menu), sonuç grafiği oluşturabilmek için (axes), açıklama cümleleri için (static text), arka plan için (frame), kaydırma çubuğu (slider) gibi seçenekler sunulmaktadır. Kullanıcı bu elemanların hangisini istiyorsa herhangi bir sayı sınırlaması olmadan pencereye aktarabilir.

Şekil 3.4 (b)'deki m-file MATLAB figur dosyasına bağımlı olarak aynı isimle otomatik olarak oluşur. Elbette bu elemanların pencereye aktarılması, tek başına hiçbir anlam ifade etmez. İlgili elemanların hangi işlevleri yerine getireceği, kullanıcının ilgili m-file'da oluşturacağı programla belirlenir. M-file birimi içerisinde, grafik arabiriminde pencereye koyulan tüm aktif elemanlar için bir fonksiyon başlığı açılır.

Kullanıcı seçtiği aktif elemanın hangi işlevi yerine getirmesini istiyorsa, oluşturacağı program dizgisini bu fonksiyon başlığı altına yazmalıdır. Pasif elemanlar için m-file'da bir fonksiyon başlığı oluşturulmaz. Axes, Text, Frame elemanlarının üçüde pasif, bunların dışında kalan diğer tüm elemanlar aktif elemanlardır. Oluşturulan program hem grafik arabiriminden hem de m-file'dan çalıştırılabilir.

### **3.4 MATLAB Programının Seçilme Nedeni**

Yukarıda özellikleri belirtilen MATLAB programının analiz ve sentez yetenekleri bakımından güçlü özelliklere sahip olması ve matematiksel ifadelerin diğer programlara oranla son derece basit şekilde tanımlanabilmesi, seçilmesindeki en büyük etkenlerden birisidir. Bunun yanı sıra simulinkte hazır bloklar yardımıyla, normalde modellenmesi diğer programlarda çok zahmetli ve zaman alacak olan yeraltı güç kablosuna ait ısı devre modeli, çok daha kolay bir şekilde oluşturulmuştur. Ayrıca grafik arabirimi sayesinde görsel bir program hazırlamaya imkan verir. Bu üç birimin birbirleriyle entegre olarak çalışması, grafik arayüzünde tanımlanan bir veri, m-file'a ve oradan da simulinke aktarılabilmesi veya tersi bir işlemin gerçekleştirilmesi, çıkan sonuçların sayısal veya grafiksel bir şekilde sunulabilmesi, MATLAB programının tercih edilmesindeki diğer olumlu özelliklerdir.

## BÖLÜM 4. YERALTI GÜÇ KABLOLARI EĞİTİM PROGRAMI (POWCABGUI) TANITIMI

Powcabgui programının amacı programı kullanan kişinin yeraltı güç kabloları konusunda belli bir bilgi düzeyine ulaşmasını sağlamaktır. Bu nedenle program arayüzü çok sade, anlaşılır ve aşamalı bir biçimde dizayn edilmiştir. Her bölümde kullanıcıyı yönlendirmek ve ilerlemesine yardımcı olmak amacıyla açıklama blokları eklenmiştir.

**POWCABGUI**

**YERALTI GÜÇ KABLOLARI  
SÜREKLİ VE GEÇİCİ DURUM ANALİZ  
PROGRAMI**

— 2006 —

Yunus BİÇEN — Faruk ARAS — Melih İNAL  
TARAFINDAN HAZIRLANMIŞTIR

İLERİ

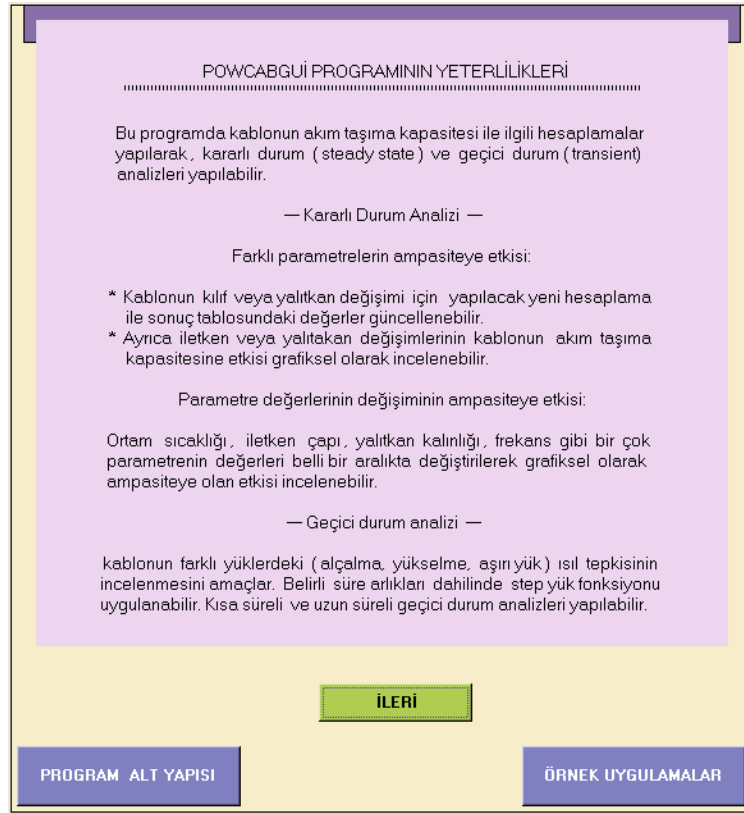
**PROGRAMIM HAZIRLANMA AMACI**

- Yeraltı güç kablolarının kullanımı, ekonomik ve teknolojik gelişimle paralel olarak, düşük maliyetlerle birlikte yaygınlaşmaya başlamıştır.
- İleride bu alanda yetişmiş uzman kişilere duyulacak gereksinim de artacaktır
- Bu program, kullanıcının elektrik iletiminde kullanılan yeraltı güç kabloları hakkında belli bir bilgi düzeyine ulaşmasını hedeflemektedir
- Bu amaçla 2005 yılı içerisinde başlanan program geliştirme çalışmaları, kapsamı genişletilerek 2006 yılı içerisinde şimdiki halini almıştır.
- Program hazırlanırken aşağıdaki standart ve raporlar dikkate alınmıştır
  - \* Neher - McGrath kararlı durum metodolojisi (AIEE -1957) ve geçici durum için (IEEE P.A.S -1964)
  - \* İteratif teknik IEC 60-287 (%100 yük faktörü) ve G.I.G.R.E. geçici durum analizi (Electra 1972-76)

Şekil 4.1: Programın açılış sayfası

Program çalıştırıldığında kullanıcı ekranda ilk olarak şekil 4.1'deki gibi bir pencereyle karşılaşacaktır. Burada, programı tanıtan bir başlık ve hangi amaçla tasarlandığını anlatan kısa bir özet bulunmaktadır.

Piyasada kullanılan güç kablolarıyla ilgili profesyonel programlar, kararlı durum analizi için Neher-McGrath (AIEE P.A.S.1957) metodolojisi, geçici durum analizi için Neher (IEEE P.A.S. 1964)'te verilen ifadelerle birlikte, bunları daha geniş biçimde kapsayan %100 yük faktörü için IEC 60287 (1969, 1982, 1994) , IEC 60853 1-2 (1985,1989) standartları ve C.I.G.R.E (1972 ve 1976) raporunu referans olarak alınmışlardır. Powcabgui programı geliştirilirken, bu standartlara atıf yapan kaynaklara bağımlı kalınmıştır.



Şekil 4.2: Program yeterlilikleri penceresi

Programda bir sonraki pencerede programın yeterliliklerini açıklayıcı paragraflar bulunmaktadır. Bu açıklamanın hemen altında programın altyapısı ve ilk defa kullanacaklar için örnek uygulamaların bulunduğu pencerelerin açılmasını sağlayan butonlar görülebilir. Program, kullanıcının grafik arayüzünde seçtiği parametre veya bastığı buton ile birlikte m-file'in işletilmesiyle başlar ve yeni durumlar için seçimler yapmasını veya veri girişinde bulunmasını gerektirir.

Kullanıcı tüm bunların sonucunda sonuçları analitik veya grafiksel olarak inceleme olanağı bulabilir.

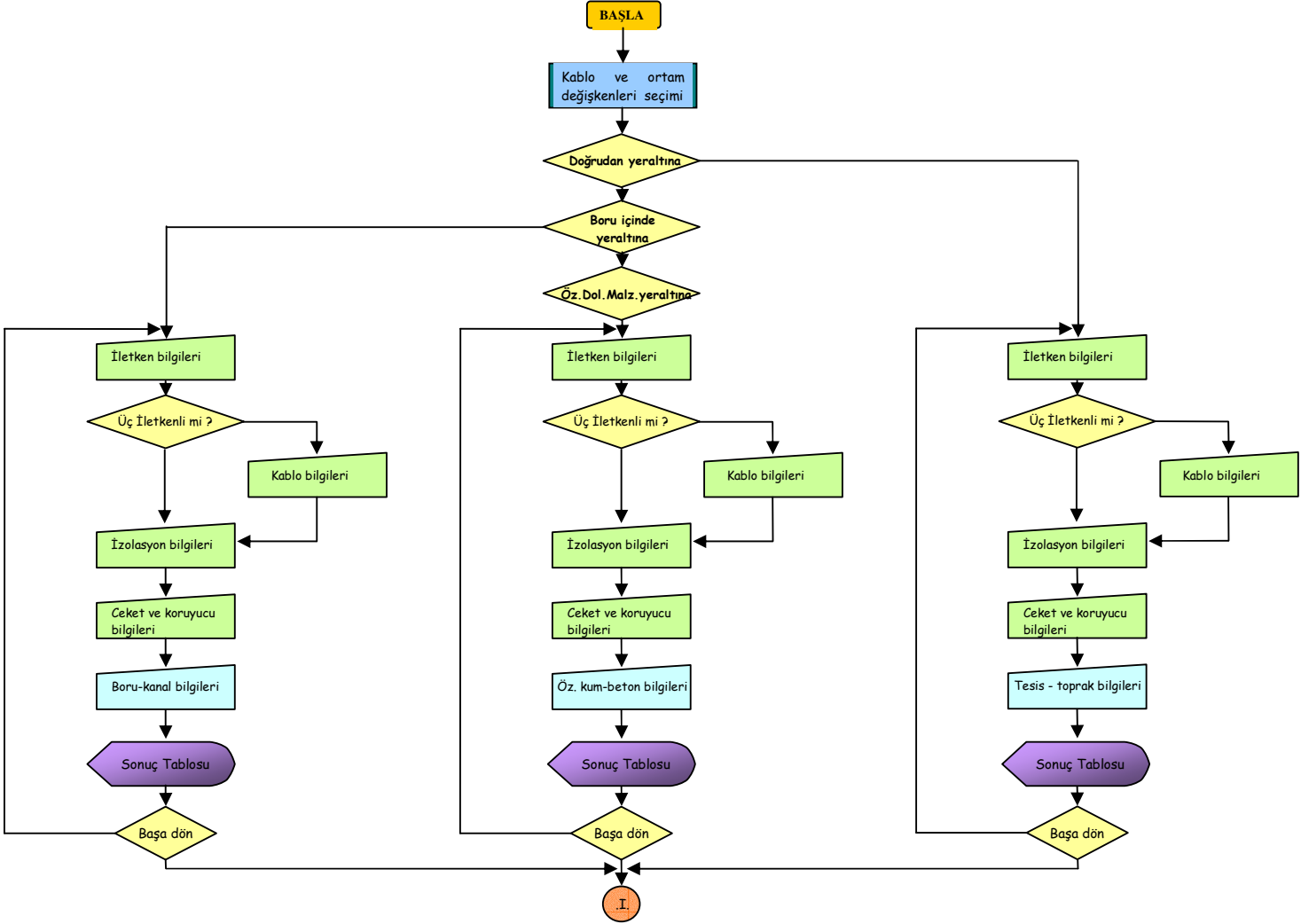
Program aşamalı bir yapı izlemektedir ve her bölümdeki işlem yerine getirildikten sonra kullanıcının bir sonraki adımı beklenir. Eğer m-file dosyasındaki ilgili bölümde simulink ile ilgili bir tanımlama varsa, bu durumda ilgili simulink dosyası çalıştırılır, elde edilen sonuçlar alınır ve seçimlere göre diğer prosedürler yerine getirilir. Dolayısıyla bu program için, kullanıcının seçimleri dahilinde, yürütücü görevini m-file dosyası üstlenmiştir.

Kullanıcının Powcabgui programını kullanmak suretiyle kazanacağı bilgiler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

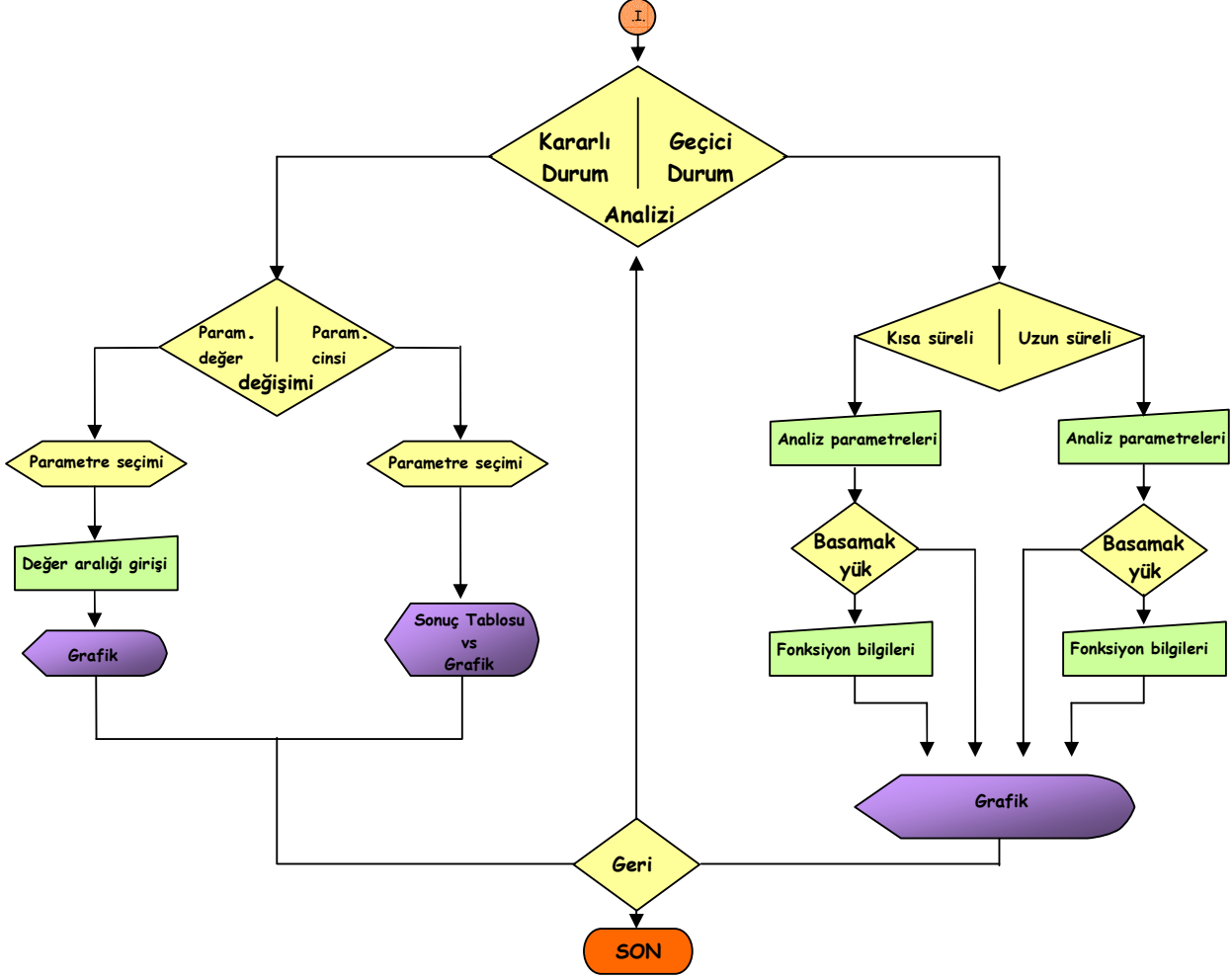
- Kararlı durum analizi
  - ❖ Yeraltı güç kablolarının farklı tasarım yapısı
  - ❖ Tesis biçimleri
  - ❖ Kablo parametreleri ve ampasite hesabı
  - ❖ Parametre değer aralığı değişim analizi
  - ❖ Parametre cinsi değişim analizi
  
- Geçici durum analizi
  - ❖ Isıl devre modeli oluşturma
  - ❖ İletken sıcaklık artış grafiklerinin incelenmesi
  - ❖ Kısa süreli geçici durum analizi
  - ❖ Uzun süreli geçici durum analizi
  - ❖ Değişken ve aşırı yüklenme durumlarının incelenmesi

Program kendi içinde grafik arayüzü, işletim dosyası (m-file) ve simulink dosyalarıyla birlikte, birbirleri ile bağımlı bir yapı oluşturur ve hepsi bir arada gösterilemeyecek kadar karmaşık bir akış diyagramına sahiptir. Ancak şekil 4.3 ve 4.4'te, kullanıcı esas alındığından, sadece program arayüzü için hazırlanmış akış diyagramı verilmektedir.





Şekil 4.3: Program akış şeması birinci kısım



Şekil 4.4: Program akış şeması birinci kısım

Öncelikle kablo ve tesis özellikleri seçilir, daha sonra seçimlere göre farklılıklar gösteren parametre değerleri uygun olarak girildikten sonra kullanıcının isteğine göre şekillenmiş olan yeraltı güç kablosuna ait hesaplamalar ve akım taşıma kapasitesi hesaplanır. Bu hesaplamalar yapıldıktan sonra kullanıcının isteğine bağlı olarak kararlı durum ve geçici durum analizleri yapılabilir.

Powcabgui programı kullanıcıya, farklı kablo parametreleri ve tesis özellikleri için 180 farklı kombinasyon yapabilecek kadar geniş seçim pencereleri sunar.

Seçim pencerelerindeki alternatifleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

➤ İletken tipi

- ❖ Alüminyum
- ❖ Bakır

➤ Yalıtkan cinsi

- ❖ XLPE (Çapraz bağlı polietilen)
- ❖ EPR (Etilen-Propilen-Kauçuk)
- ❖ PE (Polietilen)
- ❖ PVC (Polivinilklorid)
- ❖ PPL (Polipropilen-kağıt)

➤ Kablo tipi

- ❖ Tek iletkenli kablo
- ❖ Üç iletkenli kablo
- ❖ Tek iletkenli üç kablo

➤ Tesis biçimi

- ❖ Düz (flat) tesis
- ❖ Üçgensel (trefoil) tesis
- ❖ Düz ve bitişik tesis
- ❖ Üçgensel ve bitişik tesis

- Tesis durumu
- ❖ Toprağa doğrudan gömülü
- ❖ Özel kum veya beton içinde toprağa gömülü
- ❖ Boru ile birlikte özel kum veya beton içinde toprağa gömülü

#### 4.1 Kararlı Durum (Steady state) Bölümü

Yeraltı güç kablosuna ait, kararlı durum hesaplama ve analizlerinin gerçekleştiği bu bölüm aynı zamanda geçici durum analizine geçiş aşaması taşır. Bu aşama direkt olarak geçilemez. Bunun nedeni, geçici durum analizinde kullanılacak bir çok parametrenin bu bölümde hesaplanıyor olmasıdır. Bununla birlikte kararlı durumda sonuç tablosunda gösterilmeyen, ancak geçici duruma geçiş aşamasında hesaplanan kabloya ait sabit parametreler de kararlı durum bölümünün parçasıdır.

Yeraltı güç kablosuna ait,  $R_{ac}$  iletkenin etkin direnci (ohm/m),  $\lambda$  kayıp faktörleri, T kablunun bölümlerine ait ısı dirençler (K.m/W), W iletken ve yalıtkan kısımlarda oluşan kayıp güçler (W/m) ve bunlara bağımlı olarak değişen akım taşıma kapasitesi (Ampasite) değerlerinin hepsi bu bölüm içerisinde hesaplanmaktadır. Ayrıca belirli parametrelerin değer aralığı değişimi veya farklı parametreler için analizler gerçekleştirmek mümkündür. Bu bölüm için kullanılan ve bir önceki bölümde verilmiş olan formüller m-file içine yazılmış olup, kullanıcının seçmiş olduğu parametre ve kablo tesis durumlarına bağlı olarak yürütme algoritması değiştirilerek işletilir. Yürütme algoritmasının değişmesi demek, farklı algoritmalar için farklı veri girişi pencerelerinin açılması anlamına gelmektedir. Yürütme algoritmasının değişmesiyle değişmeyen tek veri girişi penceresi, ‘Genel bilgiler’ başlığı altında istenen bilgilerin bulunduğu penceredir. Bu bilgiler tüm kablo yapıları ve tesis durumları için programın ilk veri girişi penceresinde standart olarak istenen, kablunun işletim parametreleri olarak ta adlandırabileceğimiz bilgilerdir.

#### 4.1.1 Veri girişi pencerelerinde istenen bilgiler ve sonuçlar

Kullanıcı seçimlerine göre değişen algoritmalara bağlı kalmaksızın kullanıcıdan veri girişi pencerelerinde istenen kabloya ve tesis durumlarına ait, tüm liste aşağıda verilmektedir.

##### ➤ Genel bilgiler

- ❖ Sistem frekansı (Hz)
- ❖ Kablo işletim gerilimi (faz-faz)
- ❖ Günlük yük faktörü
- ❖ İletken sıcaklığı (°C)
- ❖ Ortam sıcaklığı (°C)

##### ➤ Kablo parametreleri

##### ❖ İletken bilgileri

- ▶ İletken kesit alanı (mm<sup>2</sup>)
- ▶ İletken dış çapı (mm)
- ▶ Kablo içindeki iletken sayısı

##### ❖ Üç iletkenli kablolar

- ▶ Aynı kesit alanına sahip iletkenlerden birinin çapı (mm)
- ▶ Kablo iletkenlerinin eksenleri arasındaki uzaklık (mm)
- ▶ Üçlü kablonun çevresel yarıçapı (mm)
- ▶ İletkenler arası yalıtkan kalınlığı (mm)

##### ❖ Kılıf bilgileri

- ▶ Kılıf çapı (mm)
- ▶ Ortalama kılıf çapı (mm)
- ▶ Kılıf kalınlığı (mm)
- ▶ Kılıf sıcaklığı (°C)

- ❖ Ceket \ Koruyucu yalıtkan kılıf
  - ▶ Ceket kalınlığı (mm)
  - ▶ Koruma kalınlığı (mm)
  - ▶ Ceket ısıl özdirenci (K.m/W)
  - ▶ Koruma yalıtkanı ısıl özdirenci (K.m/W)
  
- ➔ Tesis şartları
  
- ❖ Direkt olarak toprağa gömülü kablolar
  - ▶ Kabloların gömülme derinliği (mm)
  - ▶ Toprağın ısıl özdirenci (K.m/W)
  - ▶ Aynı devredeki iletkenler arası mesafe (mm)
  
- ❖ Özel kum-Beton bir kanal içinde toprağa gömülü kablolar
  - ▶ Kanal merkezinin toprak yüzeyine olan mesafesi (mm)
  - ▶ Kanal yüksekliği (mm)
  - ▶ Kanal genişliği (mm)
  - ▶ Kanal içine döşenmiş kabloların sayısı
  - ▶ Kanalın ısıl özdirenci (K.m/W)
  - ▶ Kanal üzerindeki toprağın ısıl özdirenci (K.m/W)
  - ▶ Kabloların gömülme derinliği (mm)
  - ▶ Aynı devredeki iletkenler arası mesafe (mm)
  
- ❖ Boru içinde özel kum-beton bir kanal ile toprağa gömülü kablolar
  - ▶ Boru iç çapı (mm)
  - ▶ Boru dış çapı (mm)
  - ▶ Boru içi ortamın sıcaklığı (°C)
  - ▶ Kabloların gömülme derinliği (mm)
  - ▶ Kanal merkezinin toprak yüzeyine olan mesafesi (mm)
  - ▶ Kanal yüksekliği (mm)
  - ▶ Kanal genişliği (mm)
  - ▶ Kanal içine döşenmiş kabloların sayısı

- ▶ Kanal üzerindeki toprağın ısıl özdirenci (K.m/W)
- ▶ Kanalın ısıl özdirenci (K.m/W)
- ▶ Aynı devredeki iletkenler arası mesafe (mm)

Powcabgui, yukarıda kullanıcı seçimlerine göre veri girişi pencerelerinde istenen bilgiler doğrultusunda m-file dosyası içinde, yine kullanıcı seçimlerine bağlı kalarak gerekli algoritmaları işletir ve hesaplamaları tamamlar. Gerçekleştirilen birçok ara işlemler ve hesaplamalar sonucunda yer altı güç kablosunun akım taşıma kapasitesine ilişkin gerekli parametreler ve ampasite değeri bir sonuç tablosu şeklinde ekrana getirilir. Bu sonuç tablosunda gösterilen parametreler aşağıda sıralanmıştır.

#### ➤ Sonuç tablosu

- ❖ İletkenin etkin direnci ( $\Omega/m$ )
- ❖ Dielektrik kaybı (W/m)
- ❖ Kılıf kayıp faktörü
- ❖ Zırh kayıp faktörü
- ❖ Yalıtkan ısıl direnci (K.m/W)
- ❖ Ceket ısıl direnci (K.m/W)
- ❖ Koruma ısıl direnci (K.m/W)
- ❖ Dış ısıl direnç (boru ve kanal dahil) (K.m/W)
- ❖ Akım taşıma kapasitesi – Ampasite (A)

Kararlı durum analizi sonuç tablosunda kabloya ait parametrelerin hesaplanmasıyla sınırlı değildir. Değişken parametrelerin kablonun akım taşıma kapasitesine olan etkisinin nasıl değiştiğini görmek, yeraltı güç kabloları konusunun anlaşılması açısından çok önemlidir. Bu amaçla iki ayrı kısımda değişken analizi yapılmaktadır. Birinci kısım sonuç tablosunun bulunduğu pencereyle aynı ekranda görülebilirken diğeri bir butona basılmak suretiyle ekrana getirilebilir. Bölüm 5'te programın bu bölümüne ait açıklamalar, şekilleriyle birlikte detaylı bir şekilde yapılmaktadır. İki kısımda yapılan kararlı durum analizlerinin birbirinden farkı, birinde seçilen parametrelerin belirli değer aralıkları için kablonun akım taşıma kapasitesine olan

etkisinin incelemesi, diğesinde ise yine akım taşıma kapasitesine etki eden parametrenin başka bir parametre ile yada tesis biçiminin değıştirilmesi şeklindedir.

Kullanıcı, bazı parametrelerin (frekans, kablo tesis derinliğı, iletken sıcaklığı vb...) değerlerini geriye dönerek değıştirmek suretiyle, ampasiteye olan etkisini sonuç tablosunda sayısal veri olarak görebilir. Fakat kablo çapı, yalıtkan kalınlığı gibi parametrelerin değıştirilmesi hatalı sonuçlar verecektir. Çünkü bunlar birbirine bağlı parametreler olup, örneğın iletken çapı dx kadar arttığında, onun üzerinde bulunan tüm katmanların çaplarının da dx kadar bir artış göstermesi gereklidir. Kullanıcının programı kullanım aşamasında bunu düşünmesi gereksiz bir zaman kaybına yol açacaktır. Bu iki blok kullanıcının düşünmesine gerek bırakmadan, parametreleri birbirine bağımlı olarak değıştirmekte ve sonuçların hatalı çıkmasını engellemektedir.

Ayrıca parametrelerin akım taşıma kapasitesine olan etkilerinin sadece sonuç tablosunda sayısal veriler olarak görülmesi eğitimsel açıdan düşünöldüğünde yetersiz kalabilir. Bu nedenle bahsedilen bloklar parametrelerin belli değer aralıkları için hesaplamaları iteratif bir şekilde gerçekleştirmekte ve sonuçları grafiksel olarak da ekrana getirebilmektedir. Böylece kullanıcının yeraltı güç kablosu konusunu tüm değişkenleriyle beraber incelenmesi ve algılaması son derece kolaylaşmaktadır.

#### **4.2 Geçici Durum (Transient) Bölümü**

Geçici durum analizinin yapılabilmesi için kararlı durum bölümünde hesaplanan parametrelere ihtiyaç vardır. Ayrıca geçici durum kısmında kablo verilerine bağlı kalmak koşulu ile zamanla değişim göstermeyen, sadece malzemenin özelliğine göre değişen, sabit parametrelerin hesaplanması gerekmektedir. Bu bilgilerin kullanıcı tarafından girilmesine gerek yoktur. Program bu sonuçları kendisi hesaplayarak bir tablo şeklinde kullanıcıya sunar.

Ayrıca programın bu kısmında değişik yük durumları (yük artışı-azalışı, aşırı yüklenme) için geçici durum davranışlarını analiz etmek mümkündür. Ancak burada



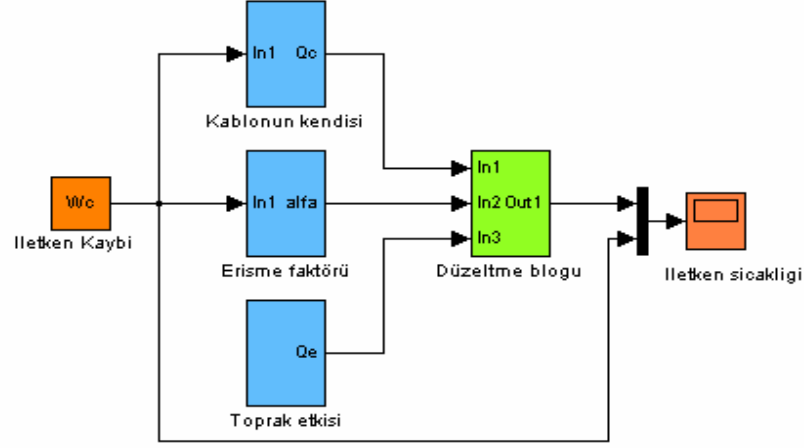
kayıp güç ( $W$ ) ve zaman aralıklarını (saat), belirtilen boşluklara kullanıcının girmesi gereklidir. Kullanıcının girdiği yük ve zaman bilgileri program tarafından bir matris şekline dönüştürülerek, ilgili simulink dosyasına gönderilecektir. Bu ifade simulink dosyasında zamana göre değişen basamak yük fonksiyonu halini alarak modele uygulanmaktadır.

Geçici durum analizi için gerekli parametreler aşağıda listelenmiştir.

➤ Geçici durum parametreleri

- ❖ İletken kaybı ( $W$ )
- ❖ Kılıf kaybı ( $W$ )
- ❖ Kablodaki toplam kayıp ( $W$ )
- ❖ Ana yalıtkanın ısı direnci ( $K.m/W$ )
- ❖ Ceket ve koruma yalıtkanının ısı direnci ( $K.m/w$ )
- ❖ Toplam (boru ve kanal dahil) dış ısı direnci ( $K.m/W$ )
- ❖ Boru içindeki ortamın ısı direnci ( $K.m/W$ )
- ❖ Borunun ısı direnci ( $K.m/W$ )
- ❖ İletkenin ısı kapasitesi ( $J/K.m$ )
- ❖ Ana yalıtkanın ısı kapasitesi ( $J/K.m$ )
- ❖ Ceket ve korumanın ısı kapasitesi ( $J/K.m$ )
- ❖ Kılıf ısı kapasitesi ( $J/K.m$ )
- ❖ Boru ve kablo arasındaki havanın ısı kapasitesi ( $J/K.m$ )
- ❖ Boru ısı kapasitesi ( $J/K.m$ )
- ❖ Ana yalıtkan için Van Wormer katsayısı (uzun süreli geçici durum)
- ❖ Ana yalıtkan için Van Wormer katsayısı (kısa süreli geçici durum)
- ❖ Ceket ve koruyucu için Van Wormer katsayısı
- ❖ Devrenin indirgenmiş ısı dirençleri
- ❖ Zaman sabiti

#### 4.2.1 Geçici durum simulink modeli

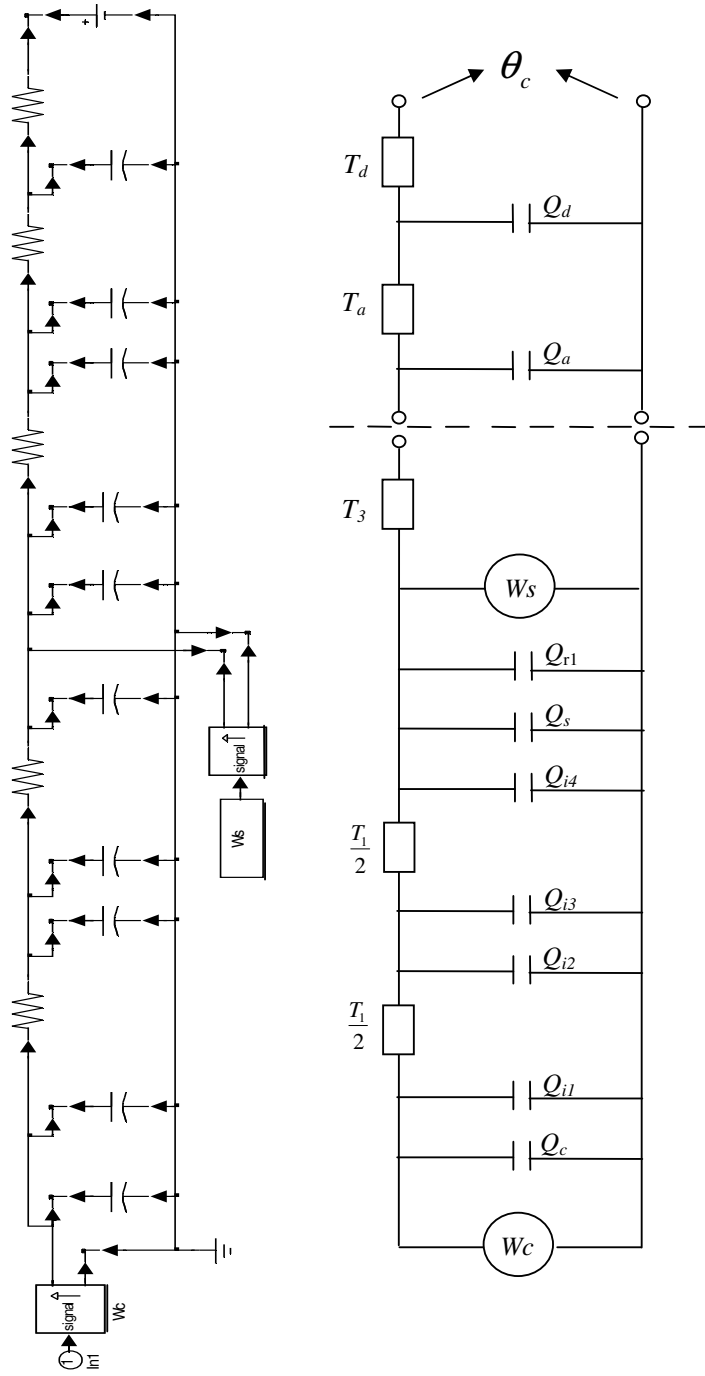


Şekil 4.5: Yeraltı güç kablosu simulink modeli

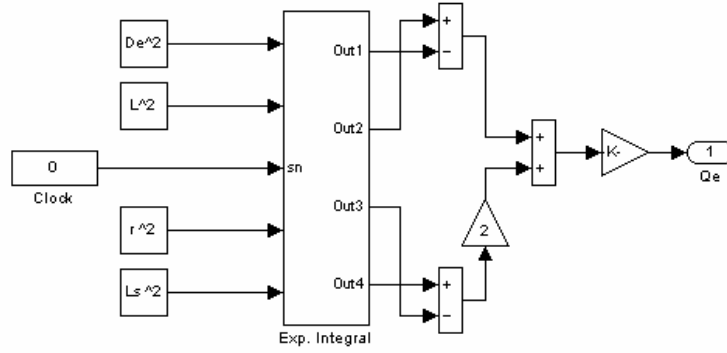
Geçici durum modeli incelediğinde kablonun kendinden kaynaklanan ısı artışını  $\theta_c$  (K) ile toprağın ısı etkisi  $\theta_e$  (K) ayrı olarak modellenmiştir. Kablonun kendisinden kaynaklanan ısı artış ikinci bölümde de bahsedildiği gibi bir elektrik devresi şeklinde düşünülüp simulinkte modellenmektedir.

Daha sonra her iki model standartlarda verilen bir düzeltme faktörü ile birleştirilerek kablo iletkenine ait sıcaklık değerine ulaşılmaktadır. Bu bölümdeki hesaplamalar tesis edilen kablolar arasında en çok strese maruz kalan tek bir kablo için yapılmaktadır. Toprak için, kablonun kendisinden ve diğer kablolarla olan karşılıklı etkileşiminden kaynaklanan ısı artışının hesaplandığı simulink modeli şekil 4.5'te gösterilmektedir.

Yer altı güç kablosu boru içerisinde tesis edilmiş ise borunun da burada modele dahil edilmesi gerekmektedir. Ancak boru dışında kalan tüm özel kum, beton kanal vb gibi dış unsurlar toprak ile birlikte modellenmektedir.



Şekil 4.6: Kablonun ısı devre modeli



Şekil 4.7: Toprağın ve kabloların karşılıklı ısı etkilerinin modeli

Kararlı durumda yalıtkan için standartlarda verilen sınır sıcaklık değeri alınarak yeraltı güç kablosuna ait maksimum akım taşıma kapasitesi bulunabilir. Yani sabit değerlikli olduklarından sıcaklık ve akım değerleri birbirlerinin fonksiyonu şeklinde ifade edilebilirler. Fakat geçici durum analizinde, kararlı durum analizinde belirlenen akım değerine göre saptanan parametreler doğrultusunda sıcaklık artışıdaki değişim incelenmektedir.

Kullanıcı tarafından analize başlama talimatı verildiği anda ısı devre modelindeki tüm parametreler programın görsel arayüzünden simulink modeline aktarılır ve hemen ardından model çalıştırılır. Geçici durumda analize başlangıç noktası ( $t = 0$ ) her zaman için kablonun ilk işletilmeye başlandığı andır. Yani kablo hiç işletilmemiş, yeni tesis edilmiş yada herhangi bir nedenle uzun süre devrede olamayan bir kablo olabilir. Buradaki uzun süreden kasıt kablonun toprak sıcaklığına eşit bir sıcaklık değerine gelene kadar geçen süredir.

Yeraltı güç kablosuna ait simulink modelinde toprağın sıcaklık artışına etkisinin bulunduğu kısmın işleyişi tüm tesis şartları için değişmez. Ancak kablonun kendisine ait ısı devre modeli, kablo yapısına, tesis edilme şartlarına, kısa yada uzun geçici durum analizi seçimine göre değişkenlik gösterir. Bu nedenle her durum için ayrı bir model oluşturulmuştur.

### 4.3 Program İşleyişi

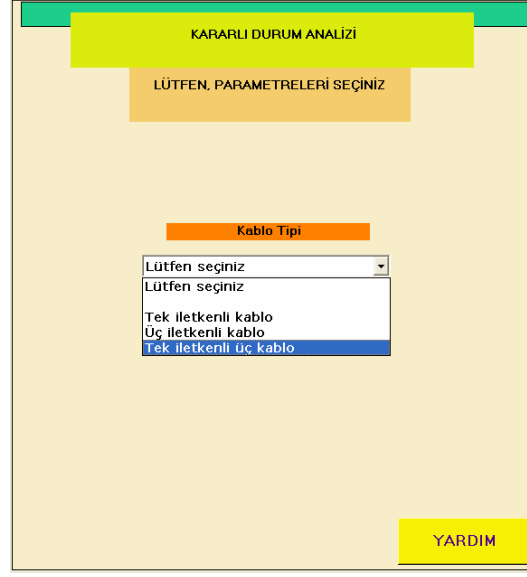
Powcabgui programı çalıştırıldıktan sonra, programa ait giriş sayfası ve program yeteneklerinin özetlendiği ilk iki sayfanın geçilmesinin ardından, parametre seçimlerinin gerçekleştirileceği şekil 4.8'deki pencerelere gelinecektir.

Kullanıcıların seçim pencerelerinde gerçekleştirdikleri seçim işlemlerini dikkatli bir şekilde yapmaları gerekmektedir. Çünkü veri girişi pencerelerine geçildiği anda tekrar seçim pencerelerine dönme imkanı yoktur. Ayrıca bir sonraki seçim penceresi bir öncekine bağlı olarak gelmektedir. Aynı şekilde programda veri girişi pencereleri de bu seçimlere göre değişen bir algoritmaya sahiptir. Farklı bir kablo ve tesis biçimi için programın tekrardan çalıştırılması gerekmektedir.

The screenshot shows a software window titled 'KARARLI DURUM ANALİZİ'. At the top, there is a yellow banner with the text 'LÜTFEN, PARAMETRELERİ SEÇİNİZ'. Below this, there is a section labeled 'Yalıtkan cinsi' with a dropdown menu. The dropdown menu is open, showing the following options: 'Lütfen seçiniz', 'Lütfen seçiniz', 'XLPE', 'EPR', 'PE', 'PVC', and 'PPL-Kağıt'. The 'XLPE' option is currently selected. In the bottom right corner of the window, there is a yellow button labeled 'YARDIM'.

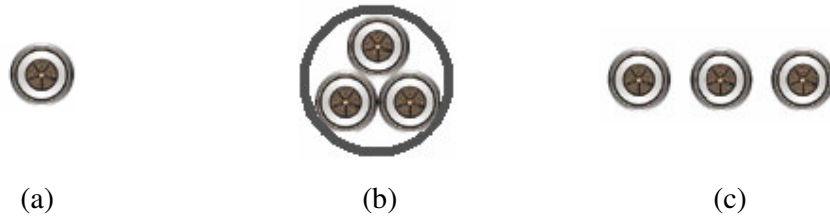
Şekil 4.8: Yalıtkan malzemenin seçim penceresi

Program, kullanıcı menüden seçimini gerçekleştirdiği anda bir sonraki seçim penceresine geçecektir. Seçim pencerelerinde genel olarak yaygın şekilde kabul gören uygulamalar ve parametreler tercih edilmiştir. İletken tipi olarak, enerji iletiminde en yaygın şekilde kullanılan alüminyum ve bakır iletkenleri bulunmaktadır. Yalıtkan materyali seçim parametreleri daha geniş tutulmuş, çoğu kez sadece koruyucu yalıtkan olarak tercih edilen PVC yalıtkanı da bu gruba dahil edilmiştir.



Şekil 4.9: Yalıtkan malzemenin seçim penceresi

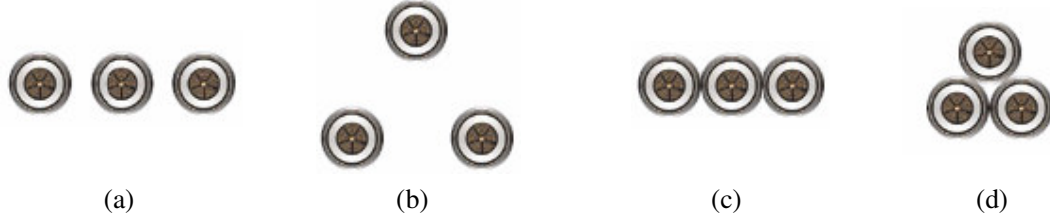
Kablo tipinin seçildiği şekil 4.9'daki seçim penceresinde üç farklı alternatif vardır. Normalde tek halde tesis edilmesi olası olmayan tek iletkenli bir kablo, etrafta başka bir kablo olmadığı durumda kablonun davranışının incelenebilmesi amacıyla seçeneğe dahil edilmiştir. Şekil 4.10'de bu seçimlere bağlı olarak ortaya çıkabilecek kablo yapıları gösterilmektedir. Bu pencerede yapılan seçimde, yalnızca 'tek iletkenli üç kablo (c)' seçeneği seçildiğinde bir sonraki tesis biçiminin belirlendiği seçim penceresi kullanıcı karşısına gelebilir. Diğer iki seçenek olan tek iletken (a) ve üçlü kabloda (b) bir sonraki aşama atlanarak doğrudan tesis durumu seçim penceresine geçilir.



Şekil 4.10: Program bünyesindeki farklı kablo yapıları

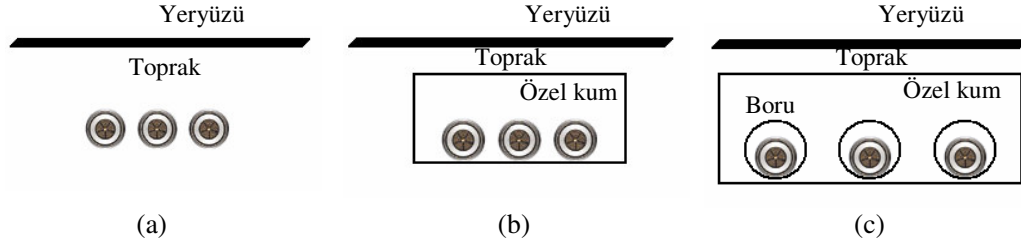
Kablolardan daha iyi performans almak için çok çeşitli tesis biçimleri uygulanmaktadır. Örneğin kablolarla birlikte soğutma amacıyla toprağa gömülen borular bulunmaktadır veya kablo sayılarının fazlalığına bağlı olarak ısıyı en kolay şekilde toprak yüzeyine iletme için farklı tesis biçimleri geliştirilmiştir. Ancak

program bünyesinde gerek kablo sayısının sınırlı oluşu, gerek bahsedilen diğer soğutucu faktörlerin olmayışı nedeniyle, dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan tesis biçimleri (Düz veya yonca – ayrı veya birleşik tesis) tercih edilmiştir. Böylece programın kullanımı çok fazla dallanmayıp, eğitsel amaca uygun şekilde oluşturulmuş olmaktadır. Şekil 4.11’de farklı tesis şekilleri görülmektedir.



Şekil 4.11: Program bünyesindeki farklı kablo tesis biçimleri

Son seçim aşaması ise tesis durumu ile ilgilidir. Burada uygulamada tercih edilen üç farklı tesis durumu görülmektedir. Kablo özel kum veya betondan oluşan bir kanal içine dönebilir. Kanalın üzeri toprakla kaplıdır. Yeraltı güç kablosu boru içerisinde de tesis edilebilir. Kullanıcı eğer bu seçeneği tercih edilirse aynı zamanda kanalı (özel kum-beton) da ihtiva eden bir yapı ile karşılaşacaktır.



Şekil 4.12: Program bünyesindeki farklı kablo tesis durumları

Tüm parametre seçim aşamaları gerçekleştirildikten sonra sırasıyla veri girişlerinin yapılacağı veri pencereleri açılacaktır. Kullanıcının yukarıda gerçekleştirdiği seçimlere bağlı olarak ekrana kablo, kablo tesis biçimi ve durumları için veri girişi amacıyla kullanılan boş kutucuklar ve bu kutucuklara hangi parametrenin sayısal değerinin gelmesi gerektiğini açıklayan bilgi çubuklarından oluşan grup gelir. Bu grubun bulunduğu pencereye veri girişi penceresi denmektedir ve şekil 4.13’te gösterilmektedir

Seçim pencerelerine göre değişmeyen ve seçimlerin gerçekleştirilmesinin hemen ardından ekrana gelen ilk veri girişı penceresi, kabloya ait işletme değerlerinin girildiği ‘GENEL BİLGİLER’ penceresidir.

KARARLI DURUM ANALİZİ	
GENEL BİLGİLER	
Sistem frekansı (Hz)	50
Kablo işletim voltajı (faz - faz) (V)	154000
Günlük yük faktörü	1
İletken sıcaklığı	90
Ortam sıcaklığı	20

İLERİ

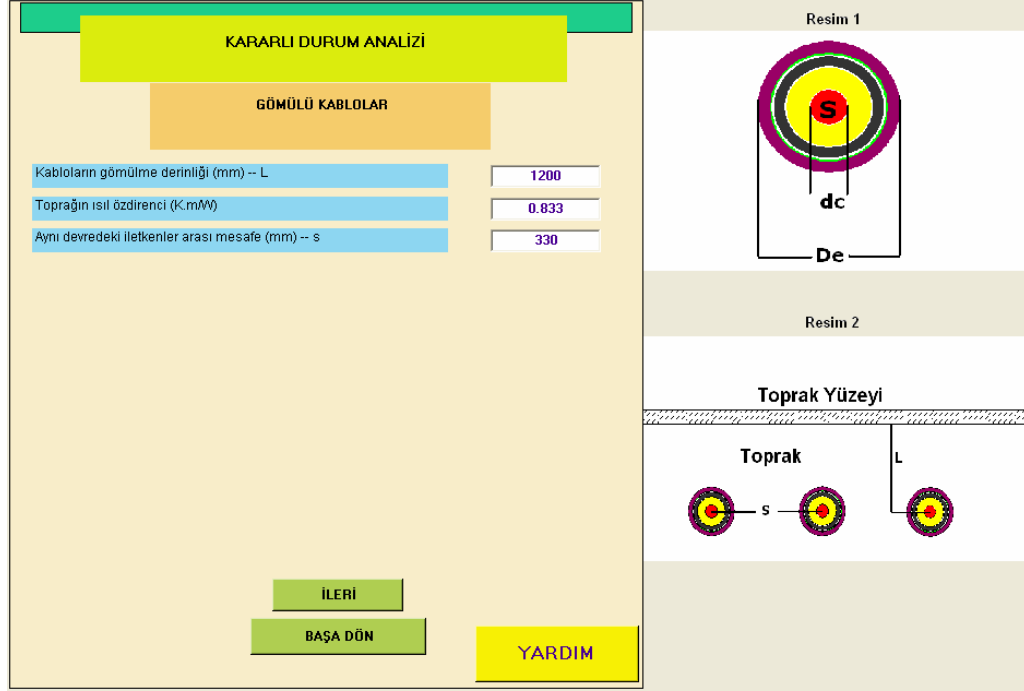
YARDIM

Şekil 4.13: Genel bilgiler veri girişı penceresi

İşletme bilgilerinin girilmesinin ardından İLERİ butonuna basılarak tesis bilgilerinin girileceği şekil 4.14’deki pencereye geçilir. Burada görüldüğü gibi tesis edilecek kablunun daha önceden seçim penceresinde yapılan tercihlere bağlı olarak veri girişı penceresinin hemen yanında yardımcı resimler belirmektedir. Altta kalan resim kablunun tesis edilme durumunu gösterirken üsteki resim kablunun katmanlarını göstermektedir.

Veri girişı açıklama çubuklarında kullanılan semboller, resimler üzerinde ait oldukları noktalara konumlandırılmışlardır. Kullanıcı bu sembollere bakarak uygun değerleri rahatlıkla girebilir. Bu pencereden itibaren ‘BAŞA DÖN’ butonu ekranda devamlı olarak görülecektir. Bu sayede kullanıcı herhangi bir veriyi yada tüm verileri yeniden girebilir.





Şekil 4.14: Tesis bilgileri veri girişi penceresi ve yardımcı resimler

Şekil 4.14'te görülen pencerenin hemen yanında bulunan resim 2 ortaya çıkışından itibaren hiçbir değişikliğe uğramaz. Çünkü bu resim kablunun ve tesis edilme şeklinin en genel görünümüdür. Resim 1 ise kullanıcıdan istenen veri girişi pencerelerindeki açıklama çubuklarına göre devamlı bir süratle her bir aşamada değişiklik göstermektedir. Resim 1 deki değişiklik her bir veri girişi penceresinde farklı kablo katmanlarının çaplarının ayrı sembollerle gösterilmesi şeklinde olur.

Programın seçim pencerelerinden itibaren tüm veri girişi pencerelerinde ve geçici durum analizlerinin yapıldığı aşamalarda sağ alt köşede 'YARDIM' butonu bulunmaktadır. Kullanıcı, programda izlenecek safhalara ilişkin olarak genel bilgi almak için bu butonu kullanabilir. Yardım bloğu pencerenin hemen yanında ortaya çıkar ve o anda pencerenin yanında resimler kaybolur yardım bloğunun altındaki kapat butonuna basıldığında eski konuma tekrar döner. Yardım bloğu, bulunulan aşamaya göre, kararlı durum ve geçici durum için iki farklı şekilde ortaya çıkar.

Veri girişi pencerelerinde 'YALITKAN BİLGİLERİ' ve son olarak ortaya çıkan 'KILIF BİLGİLERİ' penceresinde istenen veriler girildikten sonra ekrana şekil 4.15'deki gibi bir sonuç penceresi gelecektir.

### KARARLI DURUM ANALİZİ

#### SONUÇLAR

İletkenin R <sub>ac</sub> direnci (ohm/m)	2.57877e-005
Dielektrik kaybı (W/m)	3.56802
Kılıf kayıp faktörü	0.0520081
Zırh kayıp faktörü	0
Yalıtkan ısı direnci (K.m/W)	0.430813
Ceket ısı direnci (K.m/W)	0.0744236
Koruma yalıtkanı ısı direnci (K.m/W)	0
Dış ortamın ısı direnci (K.m/W)	1.03203
<b>Kablonun akım taşıma kapasitesi (A) – AMPACITY</b>	<b>1259.91</b>

Geçici durum analizine geçmek için , lütfen geçici durum butonuna basınız.

İLERİ
BAŞA DÖN
YARDIM

#### KABLO PARAMETRELERİNİN AMPASİTE ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Öncelikle bir kablo parametre değişkeni seçiniz. İkinci aşamada ekrana çıkan pencerede seçtiğiniz parametreye ait iki değer aralığı giriniz ve test butonuna basınız.

Bir ampasite değişim grafiği göreceksiniz.

Ortam sıcaklığı ile ampasite

İletken çapı ile ampasite

Yalıtkan kalınlığı ile ampasite

Frekans ile ampasite

İletkenler arasındaki mesafe ile ampasite

Kablo gömülme derinliği ile ampasite

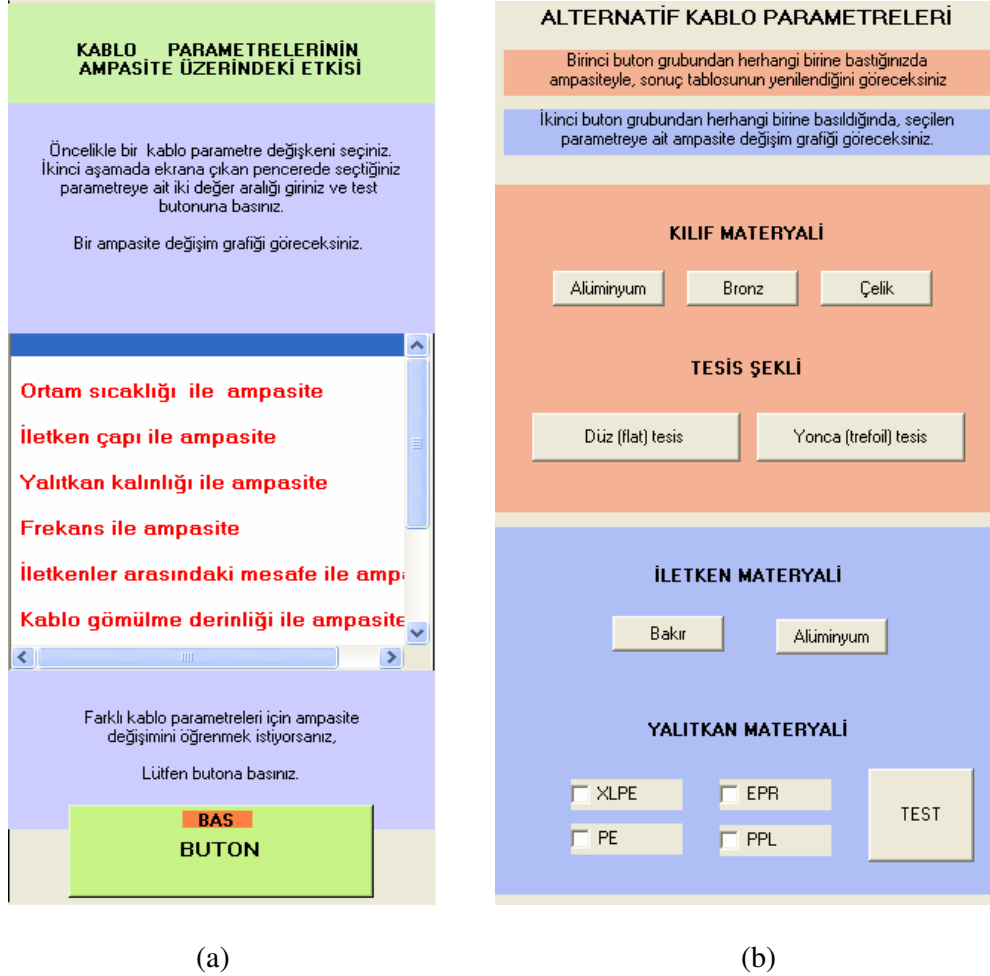
Farklı kablo parametreleri için ampasite değişimini öğrenmek istiyorsanız, Lütfen butona basınız.

TUS  
BUTON

Şekil 4.15: Sonuç tablosu penceresi

Sonuç tablosuyla birlikte aynı ekranda kararlı durum ve geçici durum analizlerinin gerçekleştirileceği seçenekler sunulmaktadır. Kararlı durum analizleri daha öncede belirtildiği üzere iki blokta yapılmaktadır. Parametre değer aralığı değişiminin incelendiği birinci blok şekil 4.15’de görüldüğü gibi hemen sonuç tablosunun yanında yerini almıştır. Parametre değişiminin gerçekleştirileceği ikinci bloğa geçmek için bloğun altındaki BUTON’a basmak yeterlidir. Geçici durum analizine geçmek için ise yine şekil 4.15’te sol alt köşedeki ‘GEÇİCİ DURUM’ butonuna basılması gerekmektedir. Bu bölümde kullanıcıyı yönlendirmek amacıyla açıklama satırları eklenmiştir.

Şekil 4.16 (a)’daki analiz bloğu, değer aralığı girişinin yapılacağı bölüme geçiş safhası olup, sadece analizi yapılacak parametrenin seçilmesinde kullanılır. Bunun için kullanıcının incelemek istediği bir parametreyi seçip şekil 4.15’deki ‘İLERİ’ butonuna basması gerekmektedir.



(a)

(b)

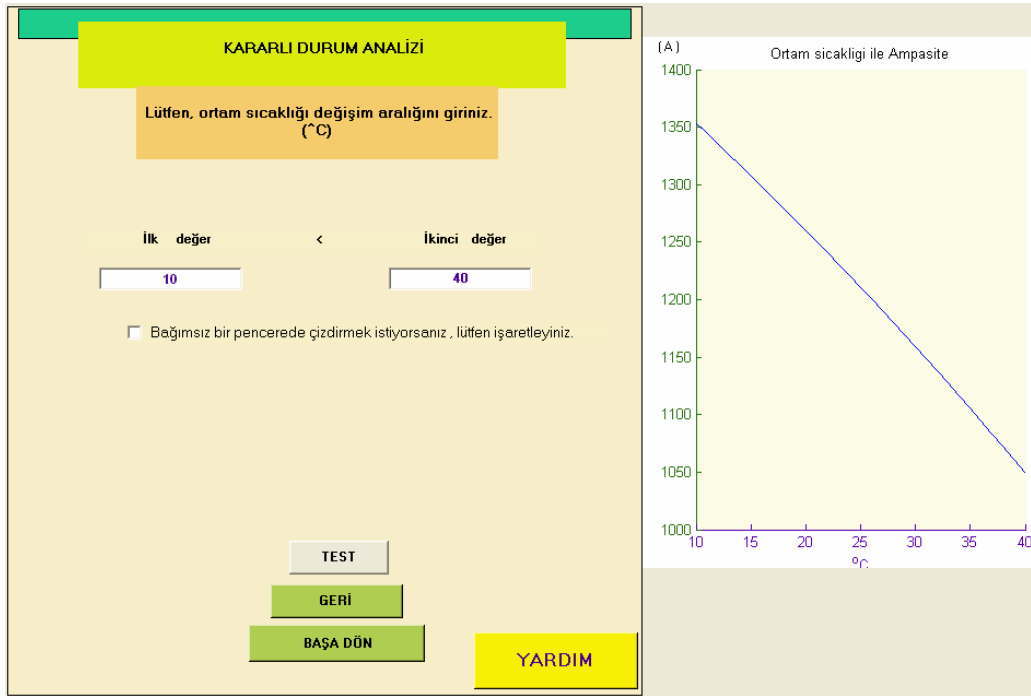
Şekil 4.16: Kararlı durum analiz blokları

Şekil 4.16 (b)'deki analiz bloğunun işleyişi diğer analiz bloğundan farklıdır ve iki kısımdan oluşur. Birinci kısımda bulunan 'KILIF MATERYALİ' ve 'TESİS ŞEKLİ' buton gruplarından herhangi birisine basıldığında, seçimi yapılan parametre için sonuç tablosu güncellenecektir. İkinci kısımda ise seçilen parametreler için program kendisi bir değer aralığı belirleyip grafiksel olarak parametrelerin, kablunun akım taşıma kapasitesine olan etkileri karşılaştırılmaktadır.

İkinci kısımda 'YALITKAN MATERYALİ' kısmında bulunan seçeneklerden bir yada birkaçı seçildikten sonra TEST butonuna basıldığında yalıtkan çeşitlerinin ampasiteye olan etkileri incelenebilir.

Aşağıda, şekil 4.16 (a)'daki analiz bloğunda gerçekleştirilebilecek seçimler listelenmektedir.

- Kararlı durum analiz bloğu
- ❖ Ortam sıcaklığı ile ampasite
- ❖ İletken çapı ile ampasite
- ❖ Yalıtkan kalınlığı ile ampasite
- ❖ Frekans ile ampasite
- ❖ İletkenler arası mesafe ile ampasite
- ❖ Kablo gömülme derinliği ile ampasite
- ❖ Toprak ısıl öz direnci ile ampasite
- ❖ Kablo etkin direnci ile ampasite
- ❖ İletken sıcaklığı ile ampasite



Şekil 4.17: Kararlı durum için değer aralığı giriş penceresi ve ampasite değişim grafiği

Birinci analiz bloğunda 'ortam sıcaklığı ile ampasite' değişim analizi seçilip, programdaki İLERİ tuşuna basıldığında kullanıcının karşısına şekil 4.17'deki gibi bir veri girişi penceresi çıkacaktır.

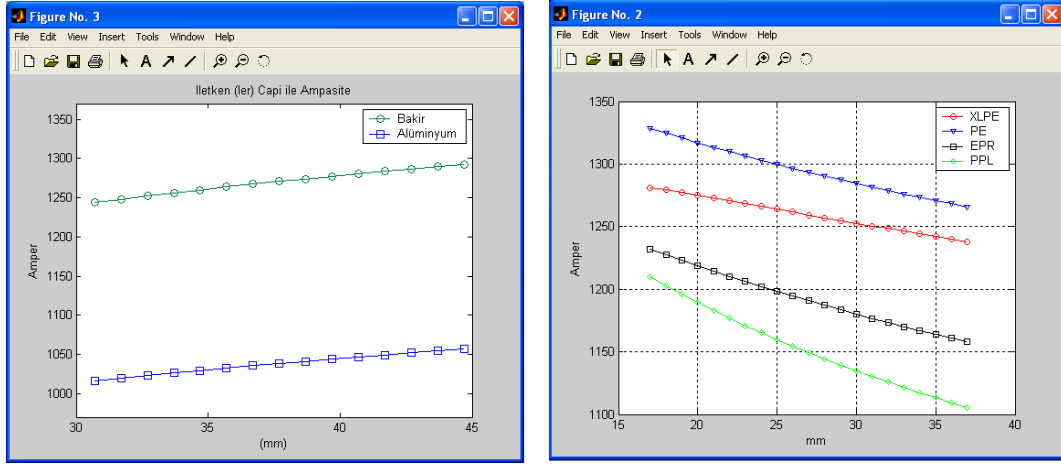
Bu pencerede bulunan boş kutucuklara pencerenin üstündeki açıklama uyarınca gerekli parametrenin ilk ve son değer aralığı girilmelidir. Değer aralığı uygun bir şekilde girildikten sonra 'TEST' butonuna basıldığında pencerenin hemen yanında şekil 4.17'te görüldüğü gibi ampasite'nin ortam sıcaklığına göre değişimi grafiksel olarak çizdirilmektedir.

Eğer kullanıcı ortaya çıkan değişimi daha ayrıntılı olarak incelemek için bağımsız bir pencerede görmek istiyorsa, veri girişi kutucuklarının altındaki bununla ilgili kutucuğu işaretlemesi ve tekrar 'TEST' butonuna basması yeterlidir. Kullanıcı aynı işlemleri bir başka parametre için tekrarlamak istediğinde 'GERİ' butonuna basarak analiz bloğunun bulunduğu pencereye dönüş yapabilir. Şekil 4.17'te ortam sıcaklığı değişkenine ait bir örnek yapılmıştır.

İkinci kısımdaki seçenekler için daha öncede belirtildiği gibi, programın kendisi parametreye ait bir değer aralığı üreterek, sonuçları karşılaştırma grafiği olarak gösterir. Kullanıcının bu parametreleri seçim pencerelerinde seçmekte ve bu noktaya tekrar geri dönüş olmamaktadır. Dolayısıyla burada sunulan alternatif kablo parametrelerinin karşılaştırılabilir bir grafikte ekrana getirilmesinin konunun anlaşılması bakımından yararlı bir özellik olduğunu söylenebilir.

The image shows a software interface for selecting cable materials. It is divided into two main sections: 'İLETKEN MATERYALİ' (Conductor Material) and 'YALITKAN MATERYALİ' (Insulation Material). Under 'İLETKEN MATERYALİ', there are two buttons: 'Bakır' (Copper) and 'Alüminyum' (Aluminum). Under 'YALITKAN MATERYALİ', there are four buttons: 'XLPE', 'EPR', 'PE', and 'PPL', each with a checkbox. To the right of these buttons is a larger button labeled 'TEST'.

Şekil 4.18: Parametre değişim bloğu

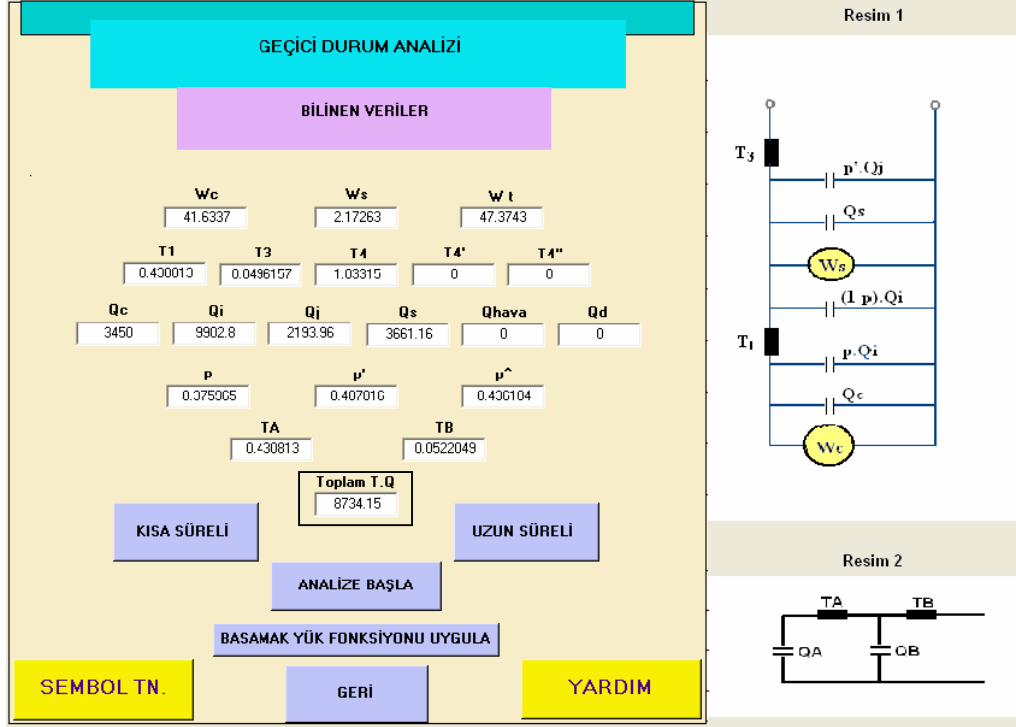


Şekil 4.19: Parametre karşılaştırma grafikleri

Şekil 4.15’de görülen sonuç tablosundaki ‘GEÇİCİ DURUM’ analizi butonuna basıldığında, ekranda şekil 4.20’deki gibi bir pencere açılacaktır. Buradaki değerler, kararlı durumda yapılan seçimler ve girilen parametreler doğrultusunda, program tarafından atanır ve geçici durum modelini oluşturacak önemli parametre değerlerini içermektedir. Model için gerekli parametreler bununla sınırlı değildir. Ancak modelde kullanılacak diğer parametreler seçilen kablo için kararlı durum analizinde kullanıcı tarafından girilmiş yada girilen verilere göre hesaplanmış sabit değerler olduğundan bu aşamada gösterilmemektedir.

Kullanıcıya bu bölümde iki seçenek sunulmuştur. Kullanıcı burada kutucukların en altında bulunan ‘Toplam T.Q’ ifadesiyle tanımlanan değeri referans alarak uzun yada kısa süreli geçici durum analizini seçebilir. Bölüm 2’de seçime ait bilgiler verilmiştir.

Kullanıcının bu kısımda her iki geçici durum analiz sonuçları arasındaki farkı görebilmesi seçimlere bir sınırlama getirilmemiştir. Buradaki simgelerin hangi anlama geldiğini öğrenmek için ‘SEMBOL TN.’ butonuna basılabilir.



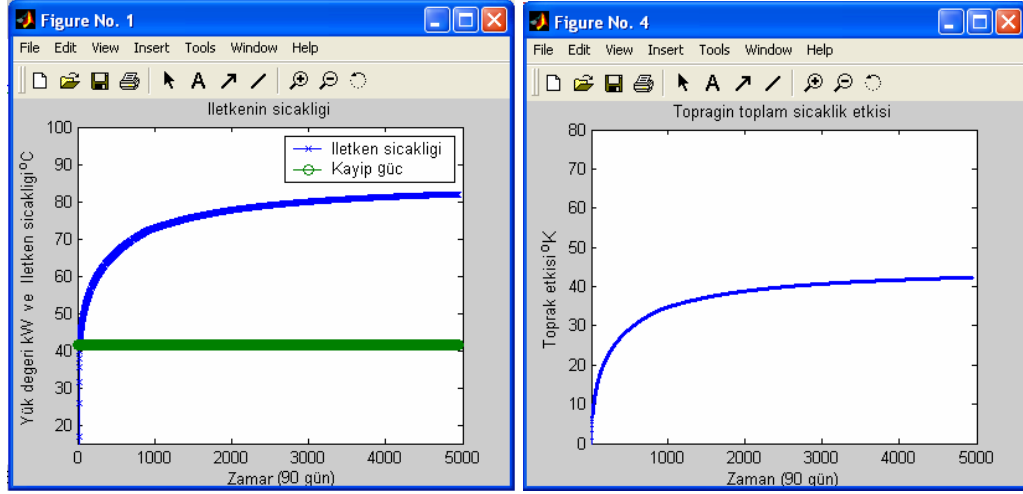
Şekil 4.20: Geçici durum parametre pencereleri

Kullanıcının seçimi gerçekleştirdiği anda o seçime ait kablo ısıl devre modeli ekrana gelecektir. Buradaki şekiller kablonun boru içerisinde gömülü olması veya kısa yada uzun geçici durum analizi seçimine göre dört farklı ısıl devre modeli ortaya çıkabilir. Şekil 4.20'deki resim 2 seçimlere göre değişmez ve devrenin transfer fonksiyonu kullanılarak sade hale getirilmiş şeklini gösterir.

Bu noktadan itibaren kullanıcı dilerse 'ANALİZE BAŞLA' butonuyla analiz aşamasına geçebilir. Bu butonun hemen altında bulunan diğer bir seçenek kullanıcının kendi belirlediği değişik zaman periyotları boyunca basamak (step) fonksiyonu şeklinde yük değerleri uygulamak amacıyla kullanılabilir.

Analize başla komutuyla birlikte, kısa bir süre sonra şekil 4.21'deki grafikler elde edilebilir. Bu iki grafikten şekil 4.21 (a) kablonun yük değeri ile birlikte iletken sıcaklığını vermektedir.

Şekil 4.21 (b) ise toprağın ısıl etkisini göstermektedir. Toprağın ısıl etkisinin içerisinde diğer kablolardan kaynaklanan karşılıklı ısıl etki de dahil edilmiştir.



(a)

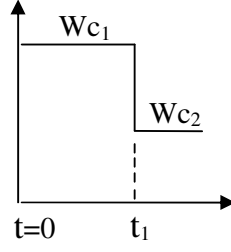
(b)

Şekil 4.21: Geçici durum iletken sıcaklığı (a) ve toprağın ısıl etkisi (b)

Analize başlandığında, ekrana kablonun simulinkte oluşturulmuş modeli de çıkacaktır. Sıcaklık değişimleri simulink modelindeki grafikler kullanılarak incelemek daha anlaşılır olmakla beraber, ısıl devre modelindeki parametrelerin veya simülasyon sürelerinin değiştirilmesi suretiyle iletken sıcaklığın nasıl değiştiği görülebilir.

Şekil 4.23’de basamak yük (kayıp güç) fonksiyonu uygulamak için açılmış zaman ve iletken kayıp güç kutucuklarının bulunduğu bir pencere görülmektedir. Kullanıcının burada girdiği zaman bilgileri sağa doğru gidildikçe artmasına dikkat edilmelidir. Kullanıcının burada ilk zaman kutucuğuna girdiği bilgi, program tarafından ikinci zaman dilimi olarak kabul edilecektir. Bir başka deyişle analiz her zaman  $t=0$  dan itibaren başlar. Kullanıcı tarafından ilk yük kutucuğuna girilen değer ise  $t=0$  anından kullanıcının ilk zaman kutucuğuna girdiği zaman (saat) bilgisi arasındaki yük değerini temsil eder. Şekil 4.22 de bu durum daha net anlaşılabilir.





Şekil 4.22: Basamak yük-zaman fonksiyonu

Kullanıcı dilerse zaman kutucukları ekleyerek daha fazla basamak yük fonksiyonu için yeraltı güç kablosunun ısıl cevabını inceleyebilir. Analiz yapılabilecek zaman aralığı doksan gün ile sınırlı tutulmuştur. Kullanıcının uygulayacağı fonksiyon bu süre içinde devamlı tekrar edecektir. Kullanıcı, incelenmesi daha kolay olan simulink modelindeki grafikleri tercih edebilir. Şekil 4.24'de, simulink modelinde belirli saat aralıklarına göre uygulanan basamak yük fonksiyonunun kablo iletkeninde oluşturduğu sıcaklık değeri, yük (kayıp güç) değerleri ile birlikte gösterilmiştir. Grafikteki x eksen, süreyi saniye bazında göstermektedir.

GEÇİCİ DURUM ANALİZİ

BASAMAK YÜK FONKSİYONU

<..saat...<..saat...<..saat...<

Zaman	saat	saat	saat	saat	saat	saat	saat	saat
Wc	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW

Zaman kutucuğu ekle

Not : Bu bölüme iletken kaybı (Wc) ve zaman (saat) kutucukları doldurmanız gerekmektedir. Böylece figür 2 deki gibi basamak fonksiyon şeklinde bir yükü modele uygulamış olursunuz.

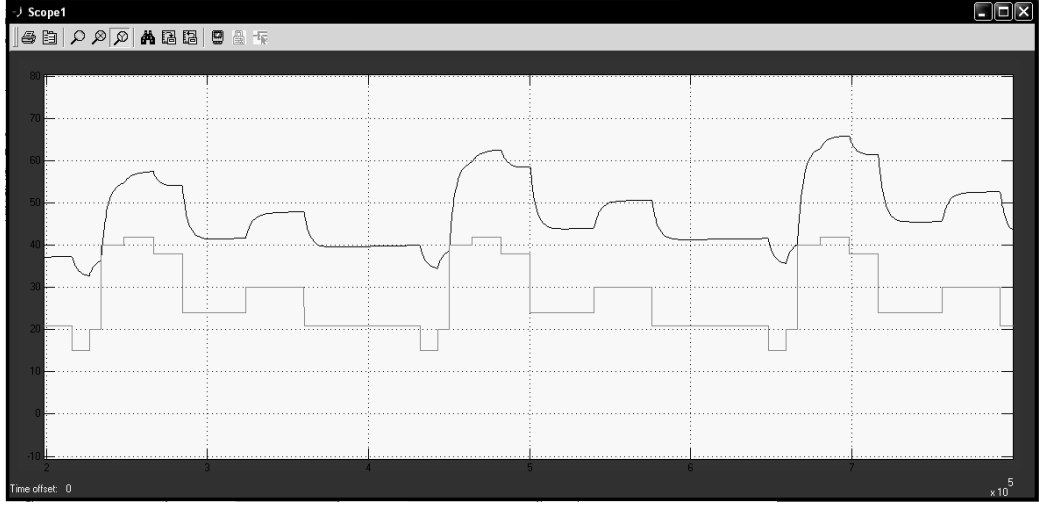
ANALİZE BAŞLA

SEMBOL TN.
GERİ
YARDIM

Resim 1

Resim 2

Şekil 4.23: Basamak yük fonksiyonu uygulama penceresi



Şekil 4.24: Basamak yük fonksiyonunun kablo iletkenindeki ısıl cevabı

## BÖLÜM 5. PROGRAMININ ÖRNEK UYGULAMASI ve EĞİTSEL ÖZELLİKLERİ

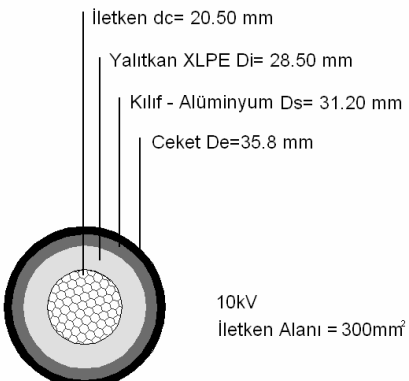
### 5.1 Seçilen Bir Kablo İçin Örnek Uygulama

Bir önceki bölümdeki açıklamalar programın işleyişi hakkında genel bir fikir oluşmasını yardımcı olabilir, ancak burada, seçilecek herhangi bir yeraltı güç kablosuna ait örnek uygulama yapılması, programın işleyişini daha iyi anlamak bakımından yararlı olacaktır.

Tablo 5.1’de, örnek olarak seçilen 10kV’luk kabloya ait kesit görünüşü ve kablo özellikleri bir tablo şeklinde verilmiştir. Kablo parametreleri (Anders 1997)’ye göre verilmiştir. Kablolar şekil 4.12 (a)’ya benzer şekilde yan yana (flat) tesis edilmiştir.

Tablo 5.1: Örnek kablo özellikleri

Parametreler	Özellikler	
İletken dc= 20.50 mm	İşletim gerilimi faz-faz (V)	10 000
Yalıtkan XLPE Di= 28.50 mm	İşletim frekansı (Hz)	50
Kılıf - Alüminyum Ds= 31.20 mm	İletken kesiti (S) (mm)	300
Ceket De=35.8 mm	Max izin ver. İlet. Sıcaklığı (°C)	90
	İletkenin cinsi	Bakır
	XLPE ana yalıtkanın ısı direnci (K.m/W)	3,5
	Dielektrik kaybı (Wd) (Watt)	-
	Ceket ısı öz direnci (K.m/W)	6
	Ceket kalınlığı (t <sub>3</sub> ) (mm)	2.2
	Kablolar arası uzaklık (s) (mm)	72
	Kablo döşeme derinliği (L) (mm)	1000
	Toprağın ısı öz direnci (K.m/W)	1
	Ortam sıcaklığı (°C)	20



Özellikleri verilen kablunun parametre hesapları, kararlı durum ve geçici durum analizlerinin tümü, aşağıda aşamaları gösterildiği şekliyle, gerçekleştirilmektedir.

### 5.1.1 Parametrelere göre kablo değerlerinin hesaplanması

KARARLI DURUM ANALİZİ

LÜTFEN, PARAMETRELERİ SEÇİNİZ

İletken tipi

Lütfen seçiniz  
Lütfen seçiniz  
Alüminyum  
Bakır

YARDIM

Şekil 5.1: İletken tipi seçim penceresi

KARARLI DURUM ANALİZİ

LÜTFEN, PARAMETRELERİ SEÇİNİZ

Yalıtkan cinsi

Lütfen seçiniz  
Lütfen seçiniz  
XLPE  
EPR  
PE  
PVC  
PPL-Kağıt

YARDIM

Şekil 5.2: Yalıtkan cinsi seçim penceresi

KARARLI DURUM ANALİZİ

LÜTFEN, PARAMETRELERİ SEÇİNİZ

**Kablo Tipi**

Lütfen seçiniz

Lütfen seçiniz

Tek iletkenli kablo

Üç iletkenli kablo

Tek iletkenli üç kablo

YARDIM

Şekil 5.3: Kablo tipi seçim penceresi

KARARLI DURUM ANALİZİ

LÜTFEN, PARAMETRELERİ SEÇİNİZ

**Tesis biçimi**

Lütfen seçiniz

Lütfen seçiniz

Düz (flat) tesis

Üçgensel (trefoil) tesis

Düz ve bitişik tesis

Üçgensel ve bitişik tesis

YARDIM

Şekil 5.4: Tesis biçimi seçim penceresi

KARARLI DURUM ANALİZİ

LÜTFEN, PARAMETRELERİ SEÇİNİZ

Tesis durumu

Lütfen seçiniz

Lütfen seçiniz

Toprağa direkt gömülü

Özel kum-beton içinde toprağa göm

Boru içinde ve özel kum-beton içind

YARDIM

Şekil 5.5: Tesis durumu seçim penceresi

Şekil 5.6’te ve bundan sonraki şekillerin tümünde girilen değerler örnek kablo için geçerli verilerdir.

KARARLI DURUM ANALİZİ

GENEL BİLGİLER

Sistem frekansı (Hz)	50
Kablo işletim voltajı (faz - faz) (V)	10000
Günlük yük faktörü	1
İletken sıcaklığı	90
Ortam sıcaklığı	20

İLERİ

YARDIM

Şekil 5.6: Genel bilgiler veri giriş penceresi

**KARARLI DURUM ANALİZİ**

**GÖMÜLÜ KABLULAR**

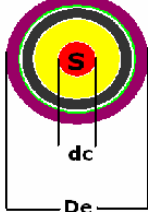
Kabloların gömülme derinliği (mm) -- L	1000
Toprağın ısıl öz direnci (K.m/W)	1
Aynı devredeki iletkenler arası mesafe (mm) -- s	72

İLERİ

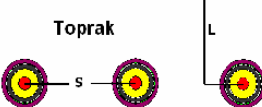
BAŞA DÖN

YARDIM

Resim 1



Resim 2



Şekil 5.7: Tesis bilgileri veri giriş penceresi

**KARARLI DURUM ANALİZİ**

**İLETKEN BİLGİLERİ**

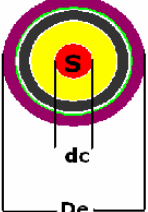
İletkenin kesit alanı (mm <sup>2</sup> ) -- S	300
Kabloların dış çapı (mm) -- De	35.8
İletkenin dış çapı (mm) -- dc	20.5
Kablo içindeki iletken sayısı	1

İLERİ


BAŞA DÖN

YARDIM

Resim 1



Resim 2



Şekil 5.8: İletken bilgileri veri giriş penceresi

**KARARLI DURUM ANALİZİ**

**YALITKAN BİLGİLERİ**

Ana yalıtkanın dış çapı (mm)--Di	29.5
İletken ve kılıf arasındaki yalıtkan kalınlığı (mm) -- t1	4.8

İLERİ

BAŞA DÖN

YARDIM

Resim 1

Resim 2

Şekil 5.9: Yalıtkan bilgileri veri giriş penceresi

**KARARLI DURUM ANALİZİ**

**KILIF BİLGİLERİ**

Kılıf çapı (mm) -- Ds	31.4
Kılıf ortalama çapı (mm) -- d	30.5
Kılıf kalınlığı (mm) -- ts	2.5
Kılıf sıcaklığı (°C)	60

İLERİ

BAŞA DÖN

YARDIM

Resim 1

Resim 2

Şekil 5.10: Kılıf bilgileri veri giriş penceresi



### KARARLI DURUM ANALİZİ

#### CEKET / KORUMA YALITKANI

Ceket kalınlığı (mm) -- t <sub>j</sub>	2.2
Koruma yalıtkanı kalınlığı (mm) -- t <sub>3</sub>	0
Ceketin ısıl özdirenci (K.m/W)	6
Koruma yalıtkanını ısıl özdirenci (K.m/W)	0

( "" ) Eğer ilgili parametre yoksa lütfen kutucuğa sıfır yazınız.

İLERİ
BAŞA DÖN
YARDIM

Resim 1

Resim 2

Toprak Yüzeyi

Toprak

Şekil 5.11: Ceket \ koruma yalıtkanı veri girişi penceresi

### KARARLI DURUM ANALİZİ

#### SONUÇLAR

İletkenin R <sub>ac</sub> direnci (ohm/m)	7.6201e-005
Dielektrik kaybı [W/m]	0.0353149
Kılıf kayıp faktörü	0.0603652
Zırh kayıp faktörü	0
Yalıtkan ısıl direnci (K.m/W)	0.21396
Ceket ısıl direnci (K.m/W)	0.125229
Koruma yalıtkanı ısıl direnci (K.m/W)	0
Dış ortamın ısıl direnci (K.m/W)	1.80892
Kablunun akım taşıma kapasitesi (A) – AMPACITY	636.537

Geçici durum analizine geçmek için lütfen geçici durum butonuna basınız.

İLERİ
BAŞA DÖN
YARDIM

GEÇİCİ DURUM
TUS BUTON

#### KABLO PARAMETRELERİNİN AMPASİTE ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Öncelikle bir kablo parametre değişkeni seçiniz. İkinci aşamada ekrana çıkan pencerede seçtiğiniz parametreye ait iki değer aralığı giriniz ve test butonuna basınız.

Bir ampasite değişim grafiği göreceksiniz.

Ortam sıcaklığı ile ampasite

İletken çapı ile ampasite

Yalıtkan kalınlığı ile ampasite

Frekans ile ampasite

İletkenler arasındaki mesafe ile ampasite

Kablo gömülme derinliği ile ampasite

Farklı kablo parametreleri için ampasite değişimini öğrenmek istiyorsanız, Lütfen butona basınız.

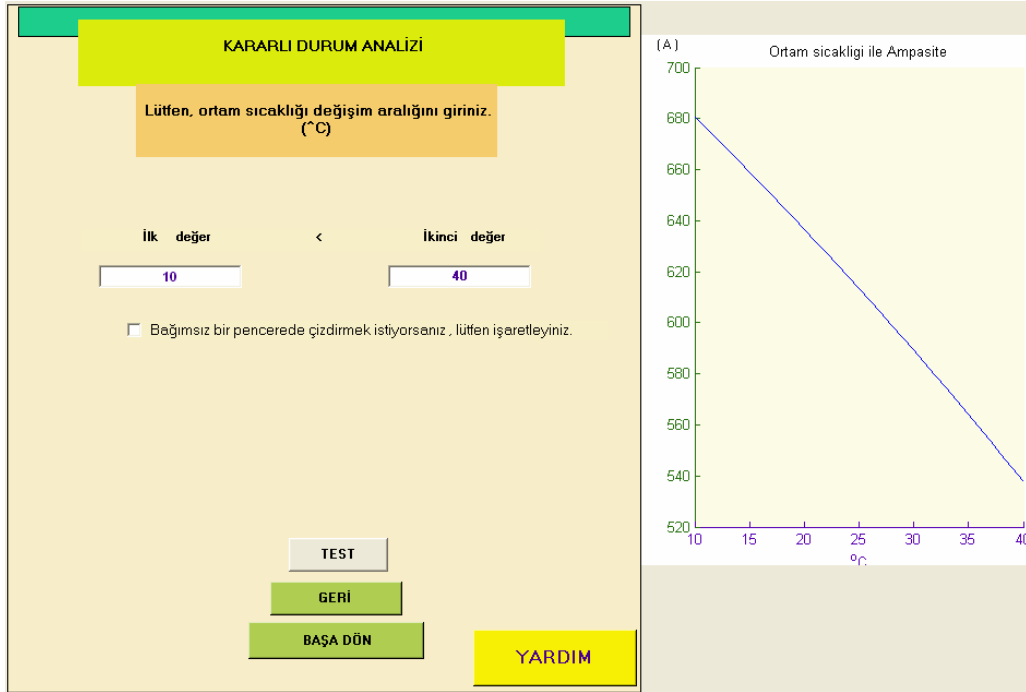
Şekil 5.12: Sonuç tablosu

Örnek kablo için girilen parametreler doğrultusunda program şekil 5.12’de görüldüğü gibi hesaplamaları yapmaktadır. Bu aşamadan itibaren kararlı durum ve geçici durum analizleri gerçekleştirilebilir.

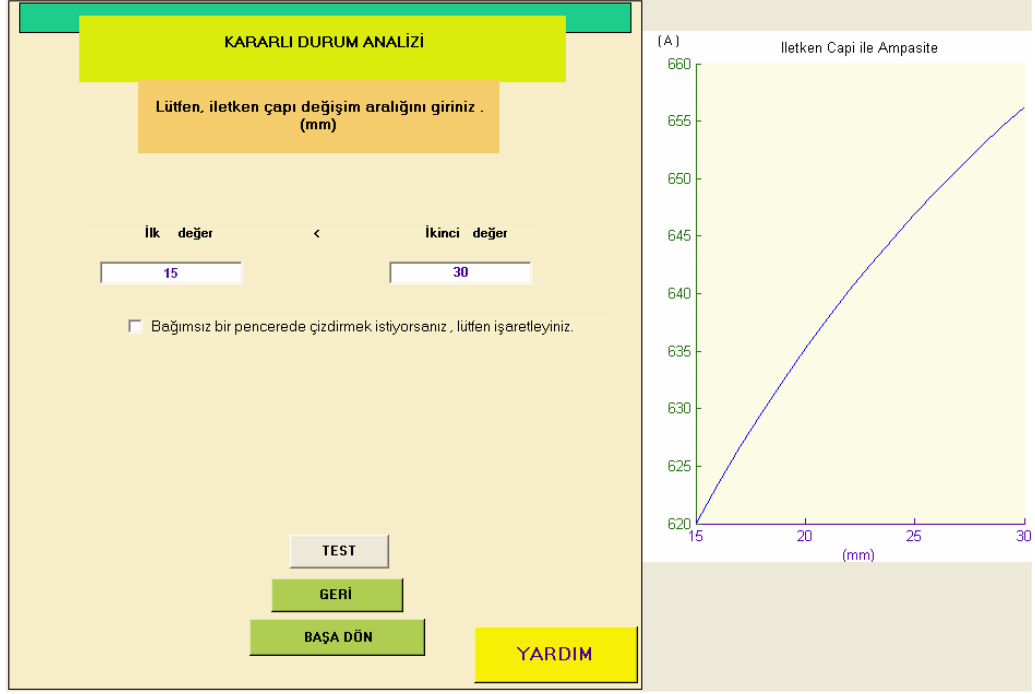
### 5.1.2 Kararlı durum analizleri

Örnek kabloya ait, bölüm 4’te bahsedilen, tüm kararlı durum analizleri aşağıda sırasıyla sunulmaktadır.

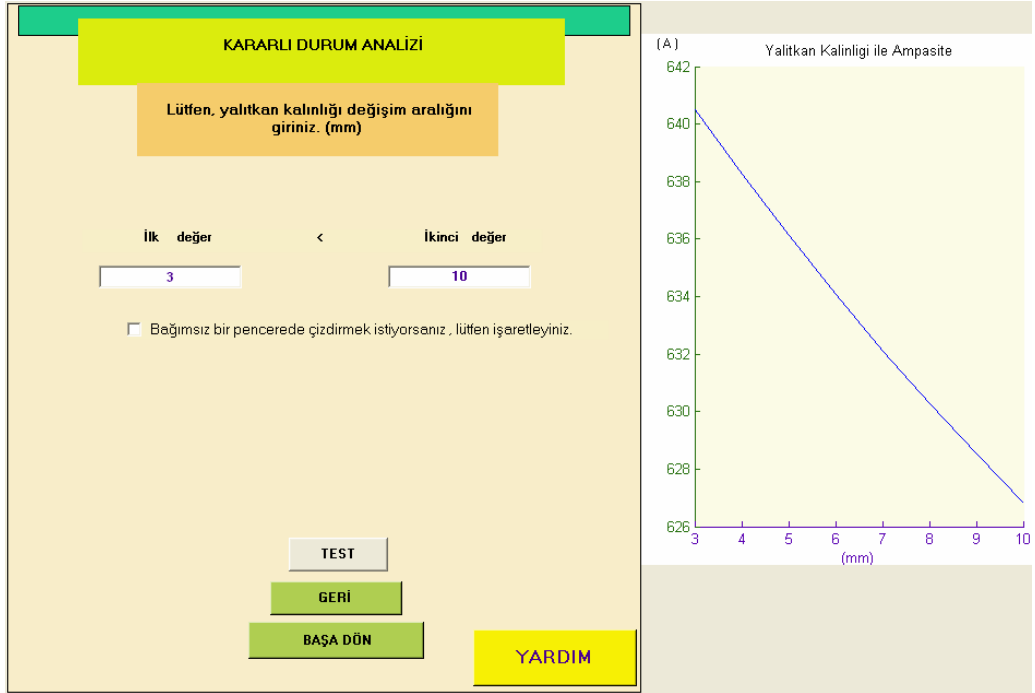
Ortam sıcaklığının akım taşıma kapasitesine olan etkisi şekil 5.13’de görülmektedir. Grafik incelendiğinde, ortam sıcaklığının ampasite üzerindeki olumsuz etkisinin oldukça fazla olduğu söylenebilir. Şekil 5.14’te ise iletken çapının ampasite üzerindeki etkisi incelendiğinde beklendiği gibi bir artış gözlenmekte fakat değer büyüdükçe grafiğin doğrusallığı azalmaktadır.



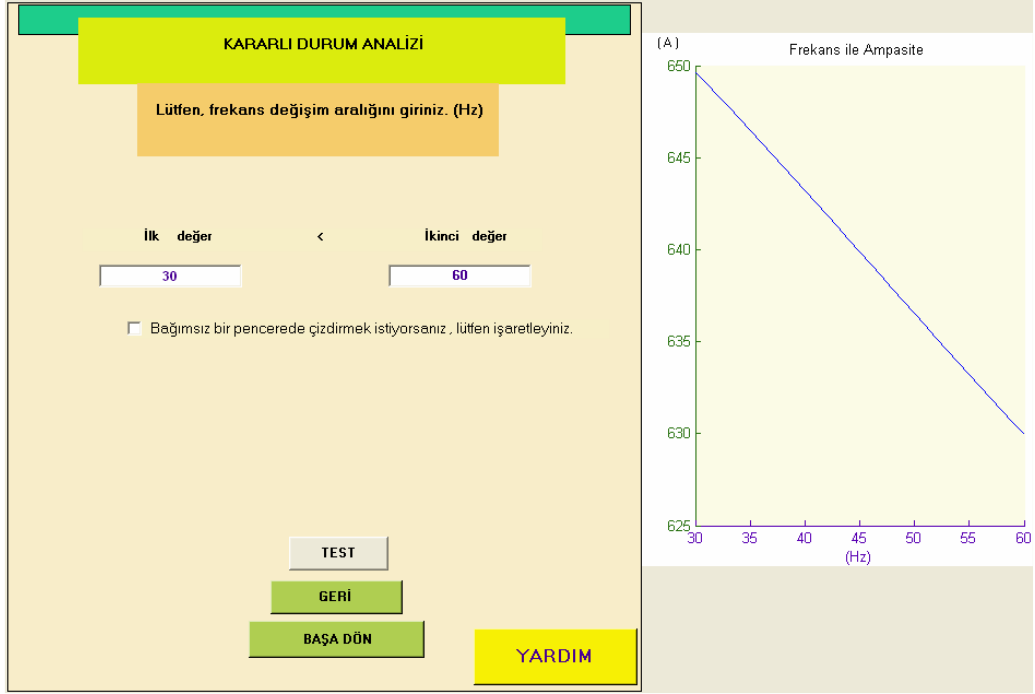
Şekil 5.13: Ortam sıcaklığı değişim analizi



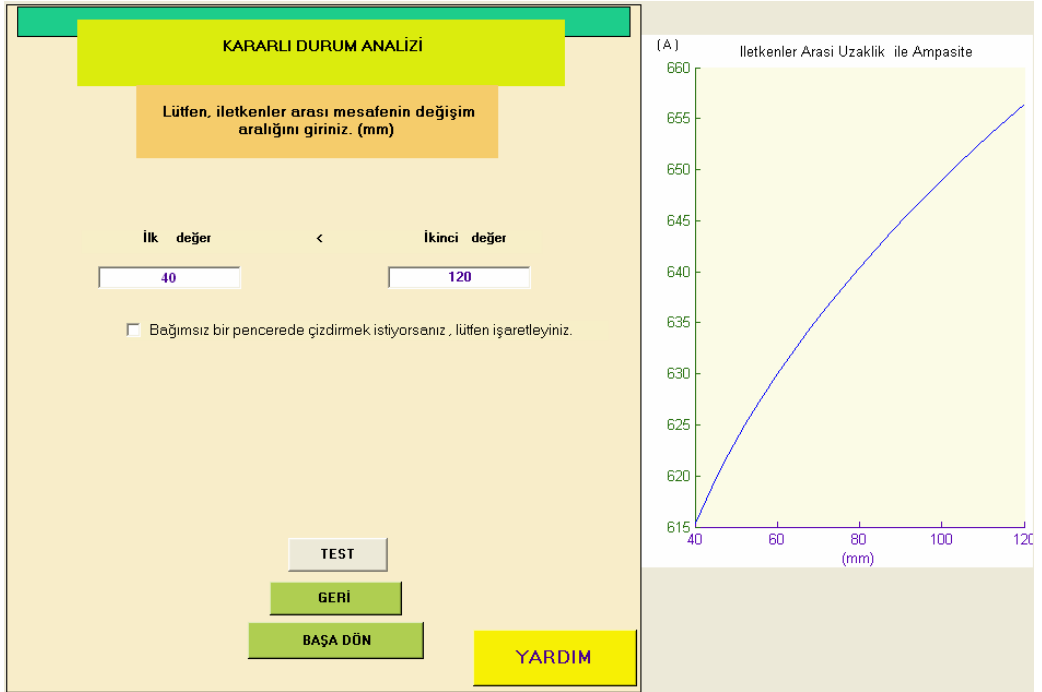
Şekil 5.14: İletken çapı değişim analizi



Şekil 5.15: Yalıtkan kalınlığı değişim analizi



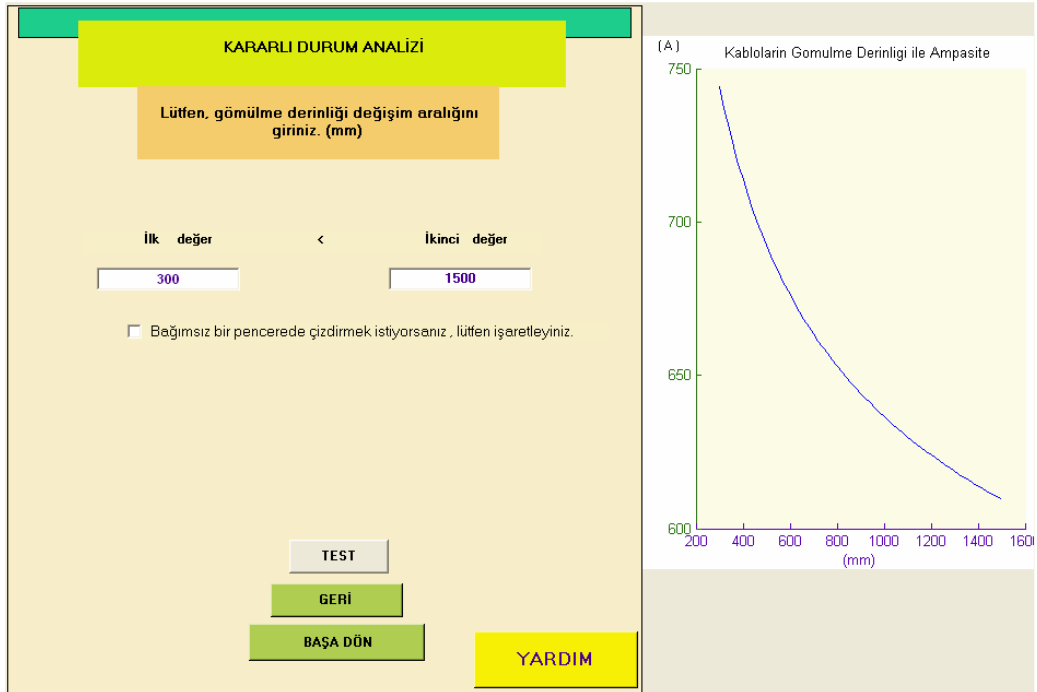
Şekil 5.16: Frekans değişim analizi



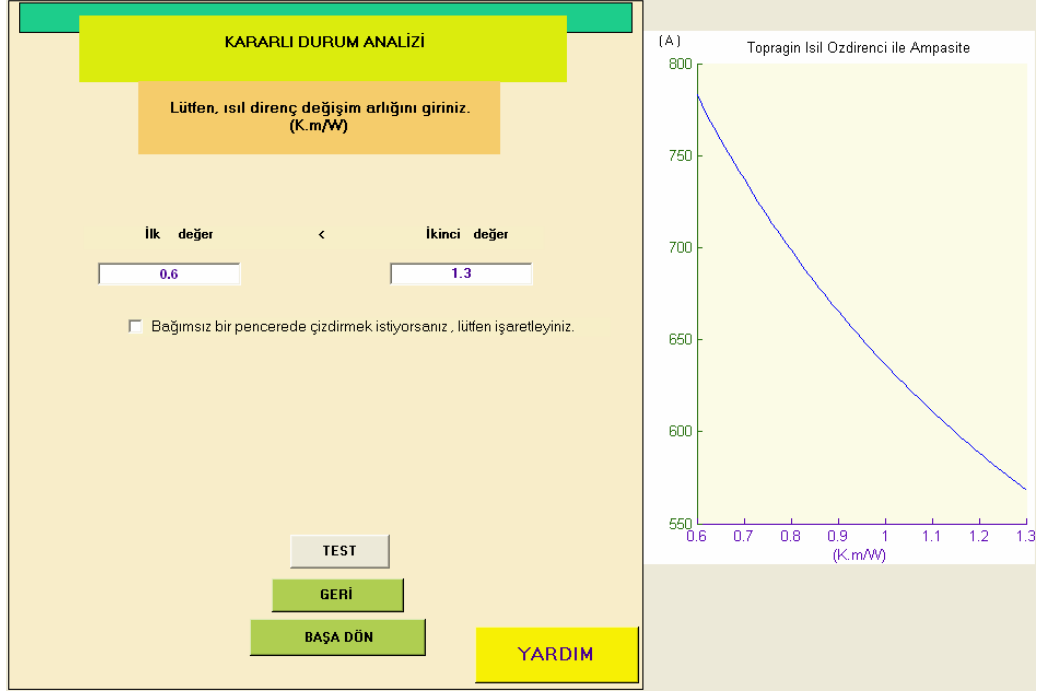
Şekil 5.17: İletkenler arası mesafe değişim analizi

Kablonun akım taşıma kapasitesiyle en doğrusal değişim gösteren parametre kablonun işletim frekansıdır. Frekans kablodaki dielektrik kayıplarını ve  $R_{ac}$  direncini etkileyen bir parametredir. Şekil 5.16’te frekans ile ampasitenin değişim grafiği görülmektedir.

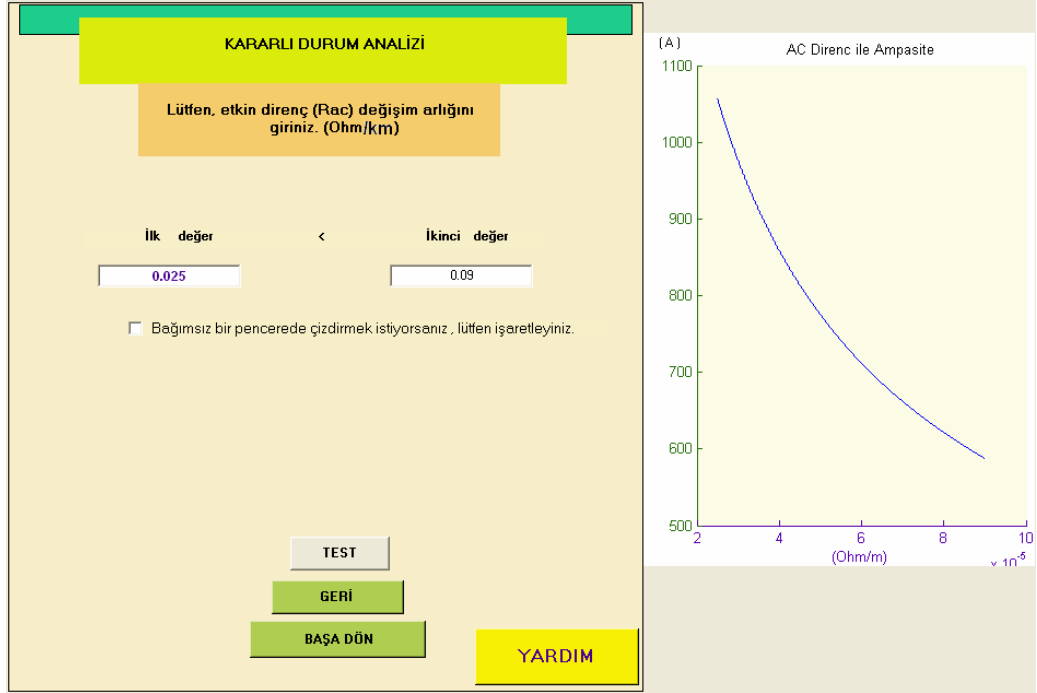
Gömülme derinliği ve iletkenler arası mesafenin kablonun akım taşıma kapasitesine etkisi bakımından, birbirleri ile ters orantılı olarak değiştiği şekil 5.17 ve 5.17’ye bakarak söylenebilir. Gömülme derinliğinin artması kablonun akım taşıma kapasitesini olumsuz yönde çok fazla etkilediği grafikten anlaşılmaktadır. Kablo dışındaki toprağın ısı dirençleri belli bir oranda değiştirildiğinde şekil 5.19’daki gibi bir grafik elde edilir. Burada toprak kelimesi ile genelleştirilen, özel kum, beton vb.. farklı dış ortamların farklı ısı dirençleri için ampasite değişim oranları grafiksel olarak incelenebilir. Şekil 5.20’da farklı  $R_{ac}$  direnci değeri değişimi için elde edilen ampasite değişim grafiği görülebilir. Normalde iletken çapı değiştirilmeden  $R_{ac}$  direnci değiştirilemez. Dolayısıyla kullanıcının buradaki direnç değerini değiştirmesi demek, kabloda kullanılan iletkenin elektriksel olarak bakır ve alüminyumdan farklı bir maddeden yapılmış olması anlamını taşır.



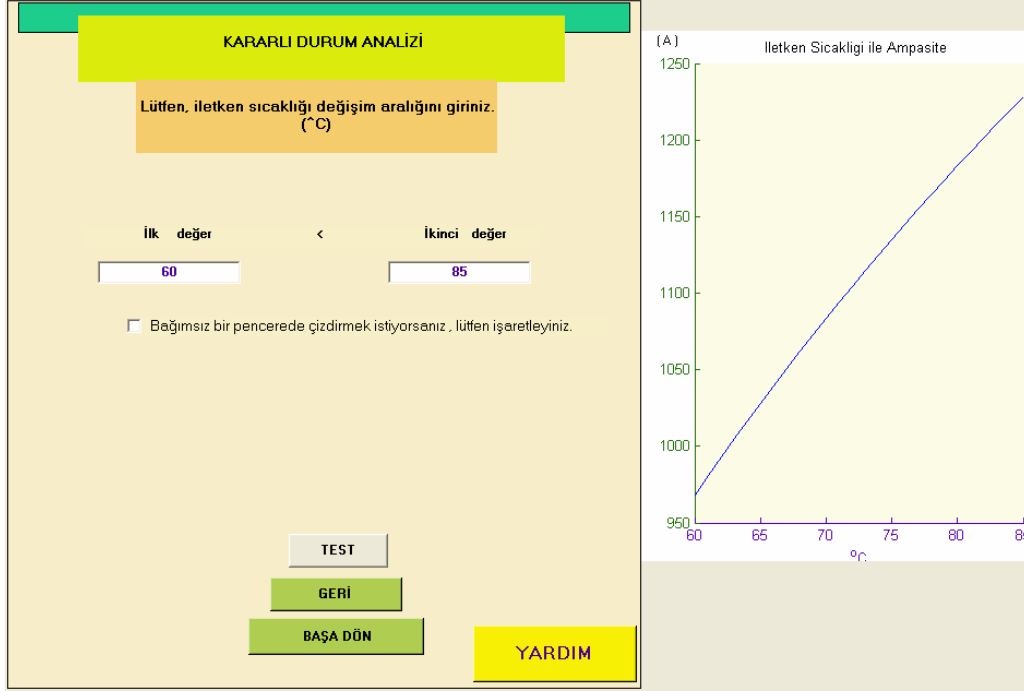
Şekil 5.18: Gömülme derinliği değişim analizi



Şekil 5.19: Toprak ısıl direnç değışim analizi



Şekil 5.20: İletken etkin direnç değışim analizi



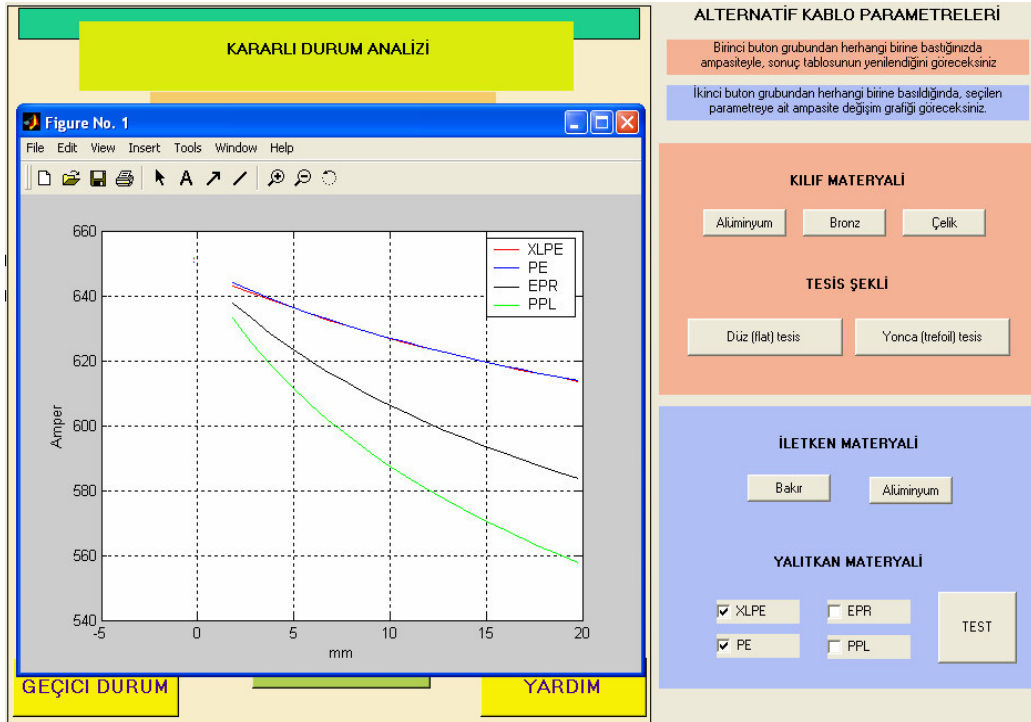
Şekil 5.21: İletken sıcaklığı değişim analizi

İletken sıcaklık değer değişiminin incelendiği şekil 5.20’de gösterilen son analiz penceresindeki grafiğin yorumu diğerlerinden farklıdır. Diğer tüm analizlerde ekrana gelen grafikler parametre değişiminin ampasiteye olan etkisinin bir sonucudur. Ancak son pencerede iletken sıcaklığı için gerçekleştirilen işlemde, kablunun akım taşıma kapasitesinin, kabloda meydana getirdiği sıcaklık artış değeri incelenmektedir. Yani burada girilen parametre değerleri ile, aslında bir sonuç aralığı tanımlanmış olmaktadır.

Şekillerdeki kararlı durum analizlerine ait grafikler incelendiğinde akım taşıma kapasiteleri değişimlerinin doğrusala yakın artış yada azalış eğrileri olduğu görülmektedir. Bu grafikteki eğrilerin aslında logaritmik ve eksponansiyel olarak değiştiği değer aralıklarının artırılmasıyla daha rahat görülebilir. Burada girilecek değer aralıklarında herhangi bir sınırlama getirilmemektedir. Bunun nedeni normal durumlarda uygulaması mantıksız olacak veya normalde hiç karşılaşılmayacak (gömülme derinliğinin çok büyük oluşu veya ortam sıcaklığının çok düşük oluşu gibi) durumların da kullanıcı tarafından incelenebilmesini sağlamaktır.

Grafiklerdeki ampasite değişimlerinin birbirleri ile karşılaştırılması, parametrelerin x eksenlerindeki değişim oranlarının farklılık göstermesi nedeniyle, anlamsız olacaktır.

İkinci blokta yapılan kararlı durum analizinde, ilk kısımda sadece sonuç tablosundaki değişmeler gözlenebileceğinden, burada ayrı bir sonuç tablosu gösterme gereği duyulmamıştır. İkinci kısımdaki seçenekler daha öncede belirtildiği gibi, kendisi bir değer aralığı üreterek, sonuçları karşılaştırma grafiği olarak gösterir. Şekil 5.22’de gösterilen grafikler örnek kablo için gerçekleştirilmektedir. Kullanıcının bu parametreleri seçim pencerelerinde seçtiğini ve bu noktaya tekrar geri dönüşün olmadığını düşünülürse, burada sunulan alternatif kablo parametrelerinin karşılaştırılabilir bir grafikte ekrana getirilmesinin konunun anlaşılması bakımından önemli bir özellik olduğunu söylenebilir. Böylece kararlı durum için yapılabilecek tüm analizler gerçekleştirilmiş olmaktadır.

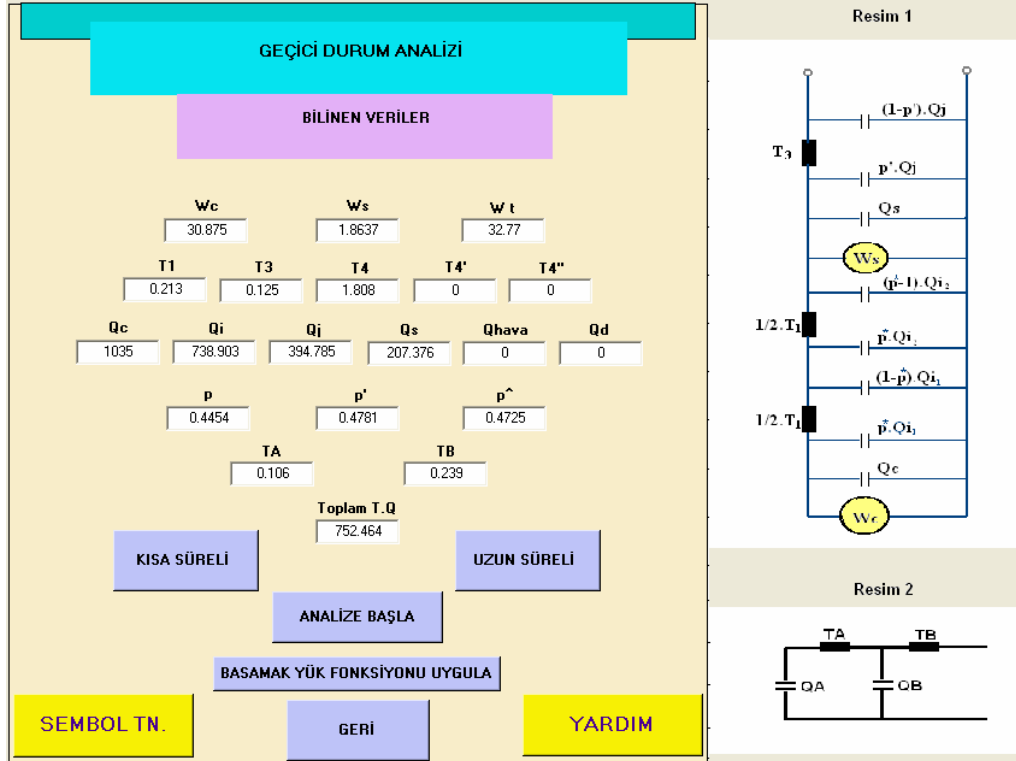


Şekil 5.22: Yalıtkan materyallerinin belli kalınlıklardaki karşılaştırma grafiği

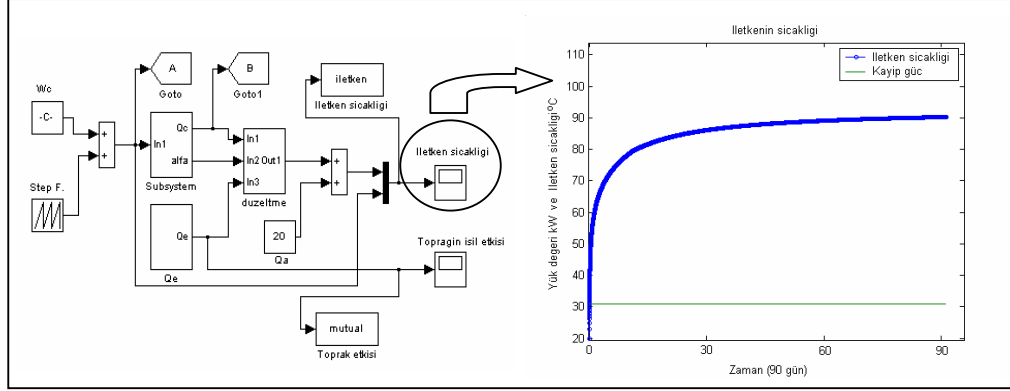


### 5.1.3 Geçici durum analizleri

Geçici durum kısmına geçildiğinde, örnek kablo için hesaplanan parametreler, açılan penceredeki ilgili yerlerde gösterilmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi uzun yada kısa süreli analiz seçeneklerini seçmeden önce referans olarak pencerenin en altında bulunan 'Toplam T.Q' kutucuğuna bakılmalıdır. Örnek kablo için kısa süreli geçici durum analizinin tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Ancak her iki analiz durumunda da sıcaklığın değerlerinde çok fazla bir değişiklik meydana gelmemektedir. Aşağıda 'ANALİZE BAŞLA' butonuna basılmasıyla birlikte ilgili simulink dosyası açılacak ve çalışmaya başlayacaktır. Program simülasyonun sonunda, sınırı doksan gün olan sıcaklık-yük eğrisi eğrisi ve toprağın ısı etkisini gösteren iki ayrı grafik ortaya çıkartacaktır. Şekil 5.24'te aynı anda açılan simulink dosyası ve iletken sıcaklığını gösteren grafik sunulmaktadır.

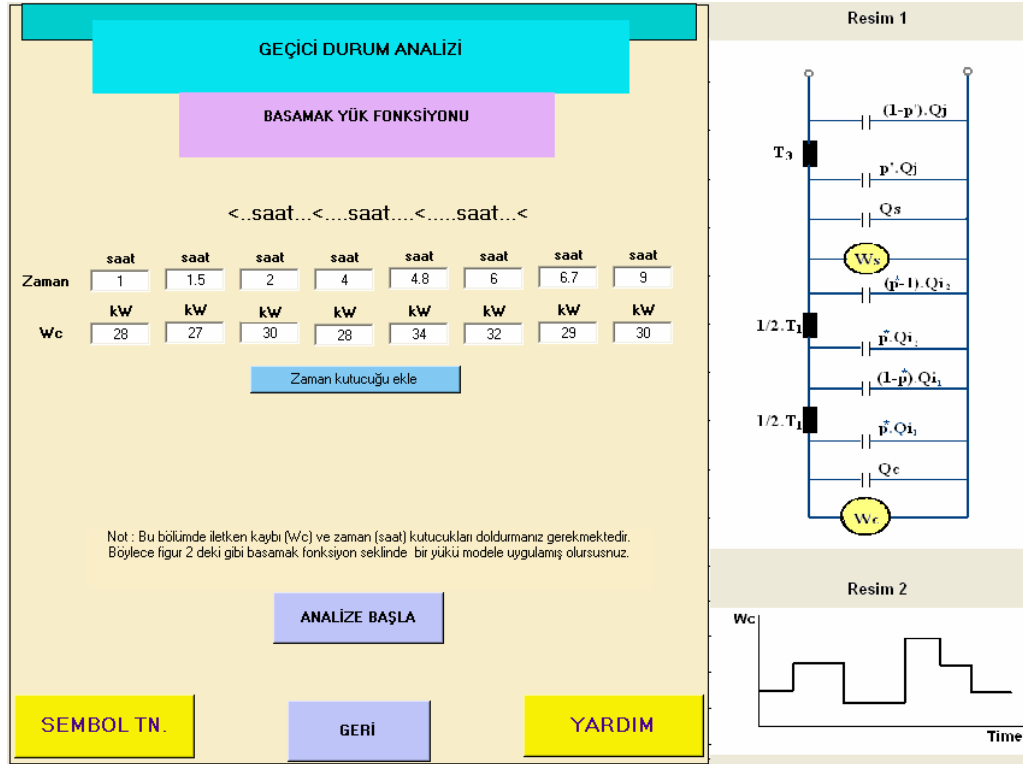


Şekil 5.23: Geçici durum parametre tablosu ve kablunun ısıl devre modeli



Şekil 5.24: Simulink modeli ve yük-sıcaklık sonuç grafiği

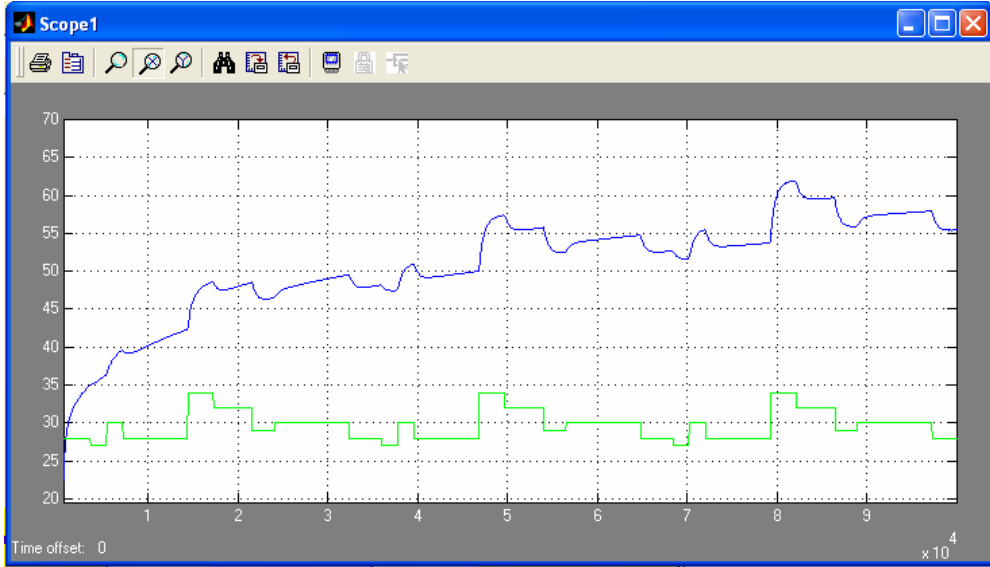
Simulink modeline dikkat edildiğinde  $W_c$  ve basamak yük fonksiyonu toplanıyormuş gibi görünmektedir. Aslında program, kullanıcının hangi yük (sabit veya basamak) ifadesi seçimine göre, birini sıfırlamakta diğerini aktif hale getirmektedir.



Şekil 5.25: Basamak yük fonksiyonu uygulama penceresi

Şekil 5.25'deki pencerede örnek kablo için zaman aralıkları ve bu zaman aralıklarına göre uygulanacak yük değerleri görülmektedir.

Bu değerlere bağlı olarak, analiz sonucunda oluşan grafik Şekil 5.26'te gösterilmektedir. Grafik, dokuz saatlik periyotlar halinde uygulanan yük fonksiyonuna karşılık sıcaklık artışını ifade etmektedir.



Şekil 5.26: rnek kablo için yk fonksiyonuna karşılık sıcaklık değişimi

Şekil 5.26 incelendiğinde yük fonksiyonunun değiştiği anlarda kablo iletken sıcaklığında gecikmeli bir değişme meydana gelmektedir. Kablo iletkenindeki sıcaklık artışı, Şekil 5.24 ve 5.26'daki grafiklerde, kararlı duruma ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Program daha öncede belirtildiği gibi 90 günü bir sınır olarak kabul eder. Bu süre, çoğu kablo için iletkenindeki sıcaklığın kararlı durum anındaki ( $t=\infty$ ) sıcaklığa çok yakın bir değere ulaşması nedeniyle belirlenmiş bir süredir.

## **BÖLÜM 6. SONUÇ**

Programın yapılma amacı, kullanıcının yeraltı güç kabloları ve enerji iletimi konusunda belli bir düzeyde bilgi sahibi olmasını sağlamaktır. Powcabgui bu amaca uygun olarak, kullanıcının yeni bir kablo tasarlamasına veya standartlarda varolan bir kablonun davranışını inceleyebilmesine olanak tanıyan, grafik arayüzlü bir programdır.

Kullanıcıdan istenen, kablo parametrelerine ait veriler anlamlı bir şekilde gruplandırılmakta ve sıralı bir yapı şeklinde ekrana gelmektedir. Aynı zamanda ekranda beliren yardımcı şekiller kullanıcının verileri girmesini kolaylaştırmaktadır. Şekillerin veri girişi pencerelerine göre değişmesi, üzerilerinde girilecek verilere ait sembollerin bulunması ve bilgi çubuklarında gerekli açıklamaların yapılıyor olması da kullanıcıya ayrıca kolaylık sağlar.

Kullanıcı programı kapatmadığı sürece sayısız deneme yapabilir. Alınan veriler korunduğundan, geriye dönülerek, verilerin herhangi birini veya bir kaçını değiştirmek suretiyle, akım taşıma kapasitesindeki değişimleri görülebilir.

Önceden girilen bilgiler doğrultusunda kablo parametrelerinin akım taşıma kapasitesine üzerindeki etkileri grafiksel olarak incelenebilmektedir. Burada yapılan analizler, hem parametrenin değiştirilmesi hem de aynı parametrenin değer aralıklarının değiştirilmesi şeklinde olabilir. Böylece kullanıcı aynı verilerle farklı kablolar elde etmekte ve parametrelerin etkisi konusunda fikir sahibi olabilmektedir.

Program ile geçici durum analizleri yapılarak, kullanıcının farklı kablo yapılarında ısı davranışları inceleyebilmesi sağlanmaktadır. Bu analizlerde gerekli olan parametreler, program tarafından önceden girilen veriler doğrultusunda üretildiğinden, kullanıcının burada ayrıca veri girmesine gerek yoktur.

Programda ilerlerken pencerelerde görülen, yönlendirme satırları, aşamalara göre kullanıcının yapması gereken işlemleri veya seçimleri kolaylaştırmaktadır. Buna ek olarak yardım (Ek-4) de menüsünden faydalanılabilir.

Yeraltı güç kablolarının parametre hesapları çok uzun denklemlerden, kararlı ve geçici durum analizleri ise ancak bilgisayarlar yardımıyla yapılabilecek şekilde çok tekrarlı denklemlerden oluşmaktadır. Bununla birlikte, birkaç farklı kablonun analiz edilmesi, hesaplamalar bilgisayar yardımıyla yapılsa dahi, denklemlerin yazılması oldukça fazla zaman alacak, her kablo çeşidi ve değişik tesis biçimleri için farklı denklemler yazılması gerekecektir. Oysa, geliştirilen bu program sayesinde, kısa bir sürede kullanıcının konuyu kavraması sağlanabilmektedir.

Programın hedeflediği kullanıcıların çalışma alanları ve Matlab programının yaygın kullanım alanı düşünüldüğünde, yapısal olarak, yazılan kodların anlaşılması ve geliştirilmesi mümkündür.

Bugün kullanılmakta olan profesyonel programların fiyatları oldukça yüksektir. Bu programlar, piyasaya dönük olarak hazırlandıklarından eğitsel özellikler taşımak gibi bir kaygıları yoktur. Bu program ise ticari beklentilerden uzak, yalnızca eğitsel amaçlı olarak tasarlanmıştır.

Yeraltı güç kabloları konusunda hazırlanmış, eğitim amaçlı Türkçe kaynaklar son derece sınırlıdır. Konunun kapsadığı alanlar (malzeme bilgisi, ısı transferi, enerji iletimi) itibariyle klasik öğretim-öğrenme materyalleri bu konuda yetersiz kalabilmektedir. Ayrıca klasik yöntemlerle bu konunun anlatılması çok fazla zaman gerektirecektir.

Hazırlanan program, kısa bir zaman dilimi içerisinde yeraltı güç kablolarının yapısı, tesis ediliş biçimleri ve bunların akım taşıma kapasitesine olan etkilerinin görsel bir şekilde incelenebilmesine olanak vermekte ve bu sayede kalıcı öğrenmeye katkıda bulunmaktadır.

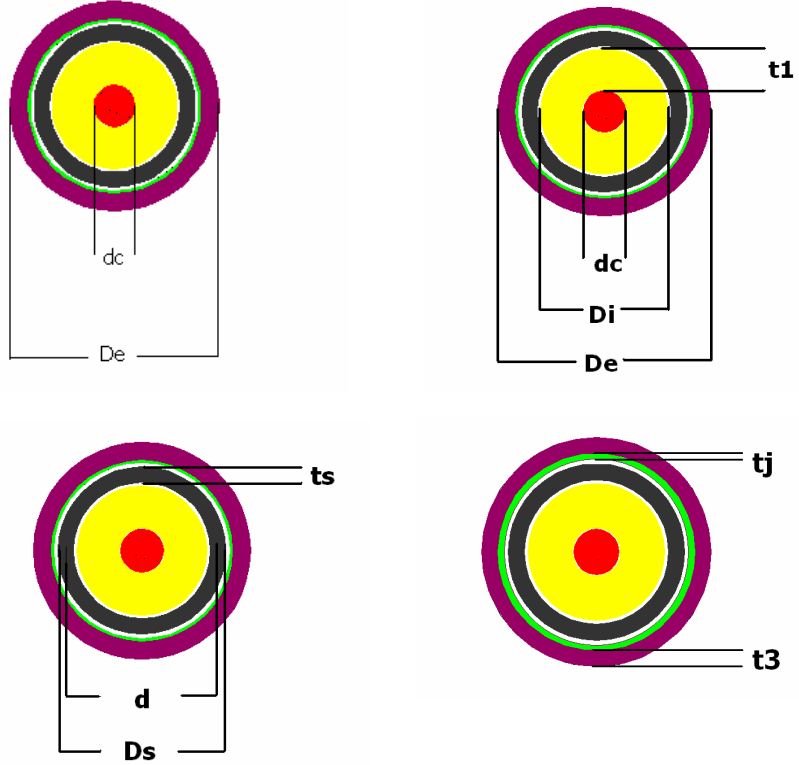
## KAYNAKLAR

- [1] Whitaker, J.C., “AC Power Systems Handbook-Second Edition ”, *Boca Raton: CRC Pres LLC*, pp. 77 – 78 , (1999)
- [2] Hammons, T. J., “ Power Cables in the Twenty-First Century ”, Electric Power Components and Systems, *Taylor & Francis* Vol:31 p.p. 967–994, (2003)
- [3] Faruk A., Yunus B., Kenan K., “Boru İçinde Tesis Edilen Yeraltı Güç Kabloları İçin Azaltma Faktörünün Belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi* Cilt:9 Sayı:2 s.1-6, (2006)
- [4] Wijeratna, D.G.A.K., Lucas, J.R., Peiris, H.J.C., Perera, H.Y.R., “Development of a Software Package for Calculating Current Rating of Medium Voltage Power Cables”, *Department of Transactions of the IEE Sri Lanka* – September (2003)
- [5] Anders, G.J, “ Rating of Electric Power Cables in Unfavorable Thermal Environment ” *The Institute of Electrical and Electronics Engine*, ISBN 0-471-67909-7 © (2004)
- [6] Anders, G.J., “Rating of Electric Power Cables. Ampacity Computations for Transmission, Distribution and industrial Applications”, *IEEE Press, New York*. pp16–20, p.p.197–221, (1997)
- [7] Aras, F., “Elektrik ve ısı gerilmeler altında 154 KV XLPE yeraltı güç kablosunun yaşlanma davranışının deneysel incelenmesi ve ampasite ile ilişkilendirilmesi”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmit, (2000)
- [8] Eduardo, L., Andres, E. H., Juan B., Elizabet D. S., Jorge R., Luis P. G., “Calculation of Thermal Capacity of Underground Cables in Multicircuit Systems”, *Departamento de Conversion y Transporte de Energia*, p.p 358-362
- [9] Anders, G.J., Ali, M., Roiz, J.A., “Advanced Computer Programs for Power Cable Ampacity Calculations”, *IEEE Computer Application in Power*, Vol:3 p.p. 2-46, (1990)
- [10] Canada & International © Copyright CYME International, August 2005 [online], <http://www.cyme.com> , (Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2006)
- [11] The Experts' System for Power Cable Ampacity Calculations, 1998, [online], <http://www.usi-power.com>, (Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2006)
- [12] Cable technology-High and medium voltage components testing and certification [online], <http://www.kema.com>, (Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2006)

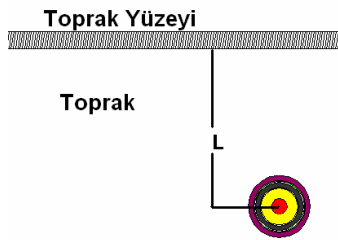
- [13] Operation Technology, Inc., 2006 [online], [http:// www.etap.com](http://www.etap.com) (**Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2006**)
- [14] CalcWare AmpCalc Cable Ampacity Software for Underground and Aerial Systems 2005, [online], <http://www.calcware.com> (**Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2006**)
- [15] Yüksel, Ç., Harun, Y., Barış Y., Ayşe S., “Bilgisayar Destekli Eğitimin Öğrenciler Üzerine Etkisi”, *The Turkish Online Journal of Educational Technology* - TOJET - Vol:2, Issue 4, Article 11, (2003)
- [16] Gordon, B., “Computer-assisted teaching and learning in accounting: pedagogy or product?”, *Journal of Accounting Education* Vol:17 p.p. 191-220, (1999)
- [17] Salih, Ç., Erol, T., Sacit, K., “The effects of computer-assisted material on students cognitive levels, misconceptions and attitudes towards science”, *Computers & Education* Vol:46, p.p. 192-205, (2006)
- [18] Garc\_ia-Luque, E., Ortega, T., Forja, J.M., Gomez-Parra, A., “Using a laboratory simulator in the teaching and study of chemical processes in estuarine systems”, *Computers & Education* Vol:43 p.p. 81-90, (2004)
- [19] Ramo´n, R.G., Javier, S.Q., Ramo´n, G.S., Pedro, I.A., Ivarez P., “Teaching CAD at the university: Specifically written or commercial software”, *Computers & Education Article in Press*, (2006)
- [20] IEC Standard 60287 (1969, 1982, 1994), " Calculation of the Continuous Current Rating of Cables (100% load factor) " 1st edition 1969, 2nd edition 1982, 3rd edition 1994-1995.
- [21] IEC Standard 60853, " Calculation of the Cyclic and Emergency Current Ratings of Cables ", Part 1-2, (853 1-2) , (1985-89)
- [22] Anders, G.J., El-Kady, M.A., “Transient Ratings of Buried Power Cables Part 1: Historical Perspective and Mathematical Model”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol: 7,No: 4, (1992)
- [23] Technical User Guide, © (2006), Brugg Cabel AG, [online] “High Voltage XLPE Cable Systems”, <http://www.brugg.com>, (**Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2006**)
- [24] Millar, R.J., “A Comprehensive Approach to Real Time Power Cable Temperature Prediction and Rating in Thermally Unstable Environments”, Doctoral Dissertation, *Helsinki University of Technology*, Finland, (2006)

## EK-1 Programın Kullanımı Sırasında Kullanıcıya Kılavuzluk Yapan Yardımcı Şekiller

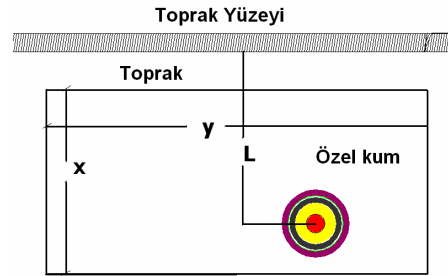
### Tek İletkenli Kablolar İçin Kablo Yapıları



### Tek İletkenli Kablolar İçin Tesis Durumları

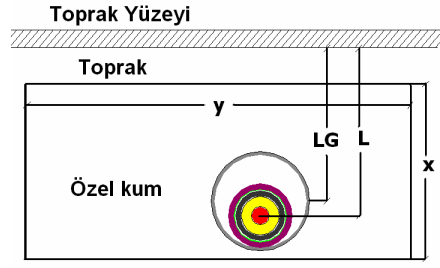


- Tek kablo, doğrudan gömülü durum

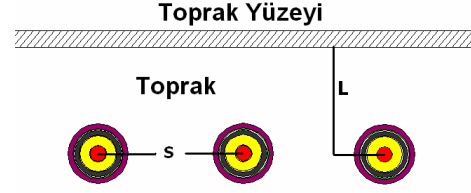


- Tek kablo, özel dolgu malzemesi ile gömülü

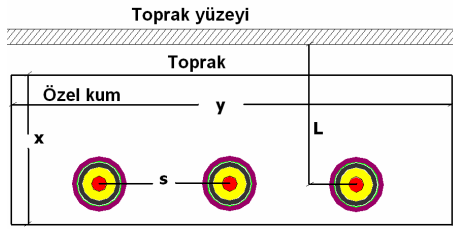




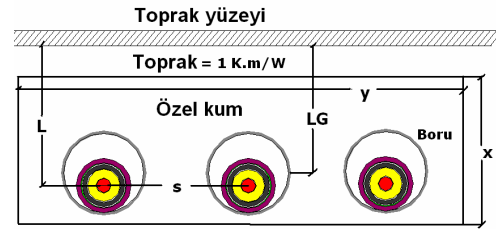
- Tek kablo, boru içerisinde gömülü



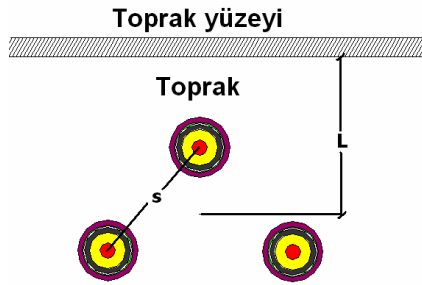
- Üç kablo, doğrudan gömülü durum



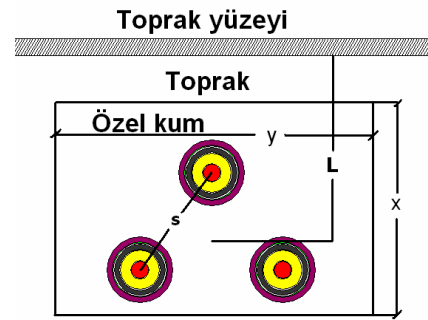
- Üç kablo, özel dolgu malzemesi ile gömülü



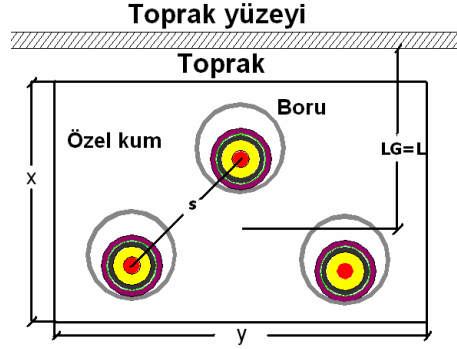
- Üç kablo, boru içerisinde gömülü



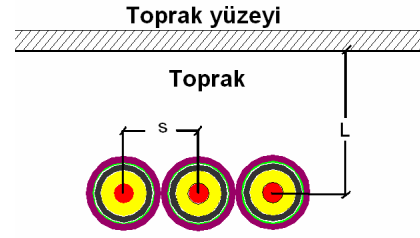
- Üç kablo, doğrudan gömülü durum



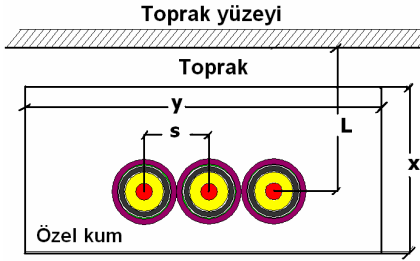
- Üç kablo, özel dolgu malzemesi ile gömülü



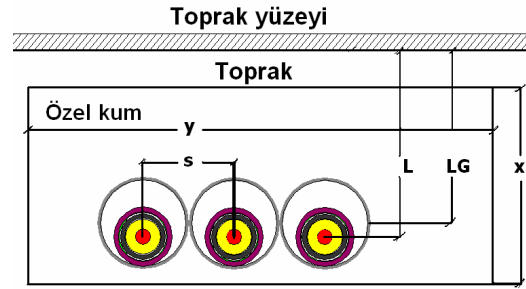
- Üç kablo, boru içerisinde gömülü



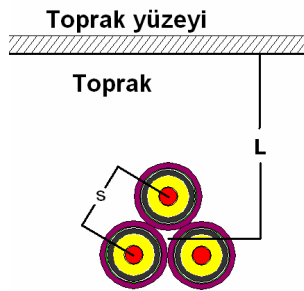
- Üç kablo, doğrudan gömülü durum



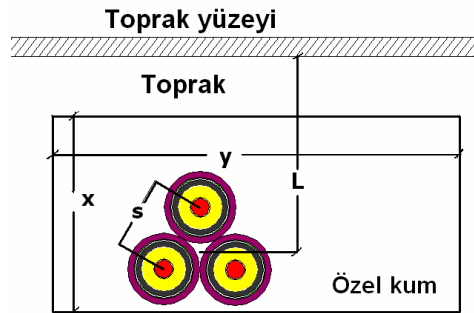
- Üç kablo, özel dolgu malzemesi ile gömülü



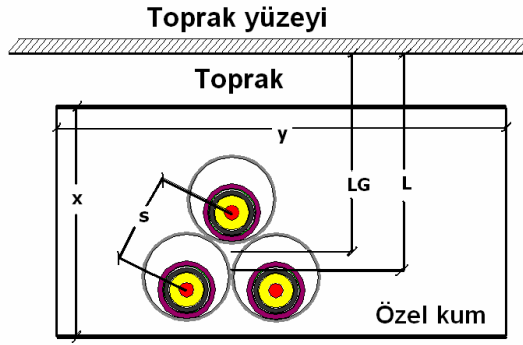
- Üç kablo, boru içerisinde gömülü



- Üç kablo, doğrudan gömülü durum

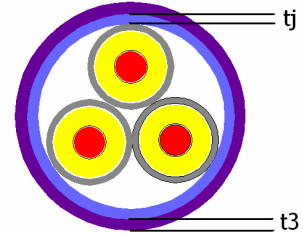
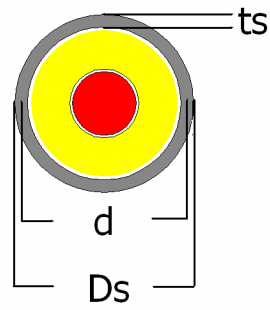
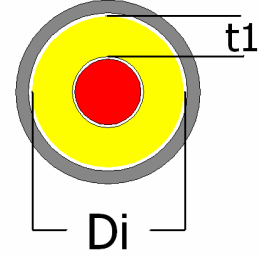
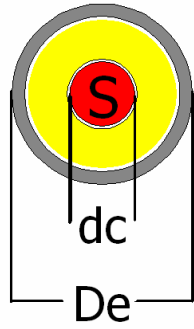


- Üç kablo, özel dolgu malzemesi ile gömülü

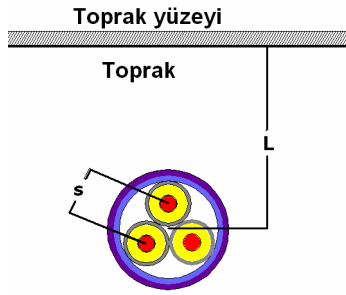


- Üç kablo, boru içerisinde gömülü

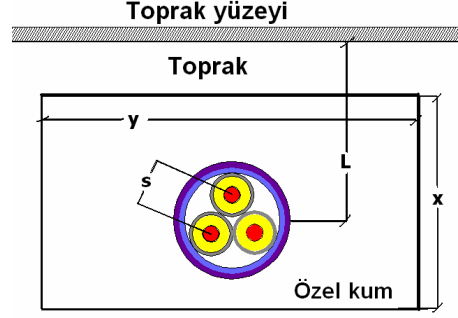
### Üç Çekirdekli Kablolar İçin Kablo Yapıları



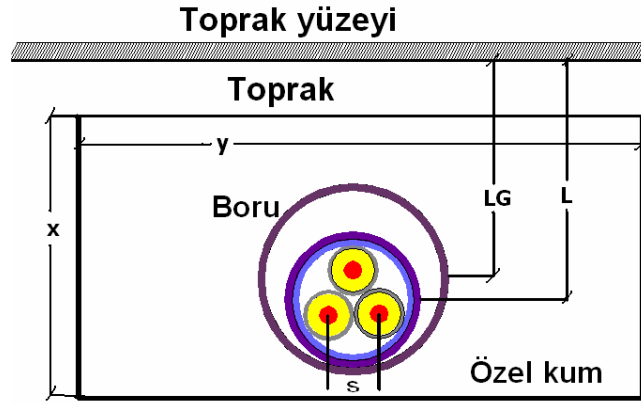
## Üç Çekirdekli Kablolar İçin Tesis Durumları



- Üçlü kablo, doğrudan gömülü durum



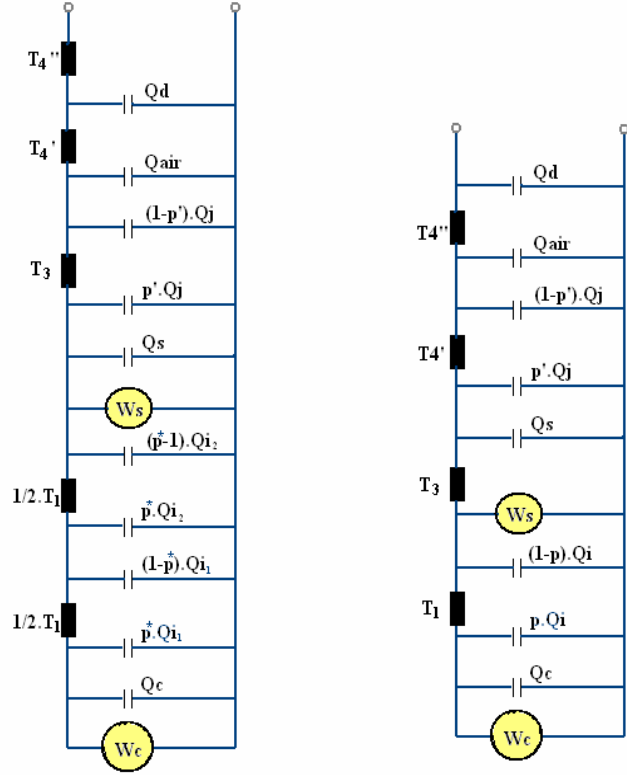
- Üçlü kablo, özel dolgu malzemesi ile gömülü



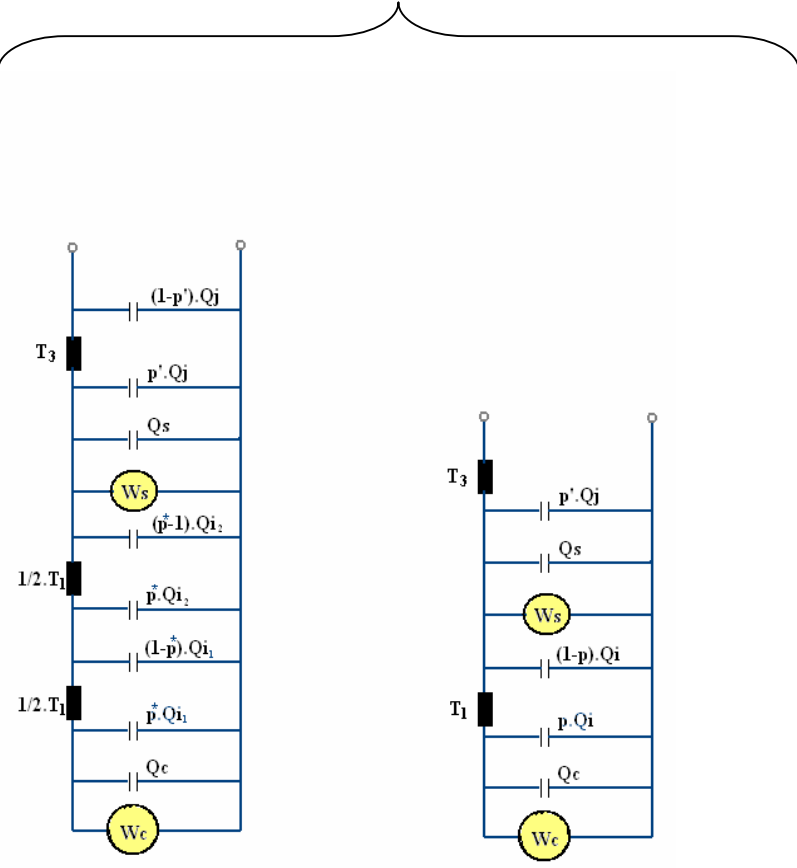
- Üçlü kablo, boru içerisinde gömülü

**EK-2 Kabloların Tesis Edilme Durumları için Isıl Devre Modelleri**

Boru içerisinde tesis edilen kabloların kısa ve uzun süreli ısı devre modeli



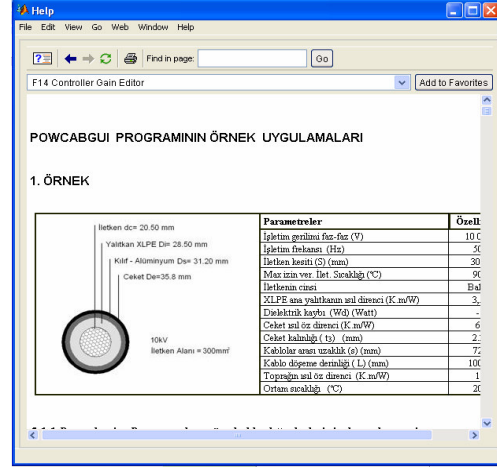
Toprağa doğrudan tesis edilen kabloların kısa ve uzun süreli ısı devre modeli



## EK-3 Yardımcı Dosya ve Sütunlar



Program özellikleri



Örnek uygulamalar

YARDIM MENÜSÜ - 1 -

- Öncelikle kablo parametrelerinin bulunduğu seçimler gerçekleştirilip ileri butonuna basılmalıdır.

İkinci adımda örnek kablolan verilerini giriniz

Yardımcı figürler sayesinde kabloya ait tanımlamalar kolaylıkla anlaşılabilir.

Veri girişleri tamamlandığında, örnek kabloya ait hesaplamalar bir sonuç penceresi şeklinde ortaya çıkacaktır.

Sonuç penceresinin ardından, kararlı durum analizlerini yapabileceğiniz seçim listesi bir blok halinde pencerenin hemen yanında ortaya çıkar.

Seçim gerçekleştirildikten hemen sonra ileri tuşuna basıp, değer aralığının girileceği pencereye ulaşabilirsiniz.

Seçilen parametreye ait uygun değer aralığı girildiğinde pencerenin hemen yanında ampasite değişim grafiği ortaya çıkacaktır

Yardım penceresini kapat

YARDIM MENÜSÜ - 2 -

Sonuçların görüldüğü listede kararlı durum ve geçici durum analizlerine ait butonlar vardır.

Parametrenin kendisini değiştirebileceğiniz kararlı durum analizine geçmek için analiz bloğunun altındaki butona basmanız yeterlidir.

Geçici durum analizi için sonuç penceresinin altındaki 'GEÇİCİ DURUM' butonuna basmanız gerekmektedir.

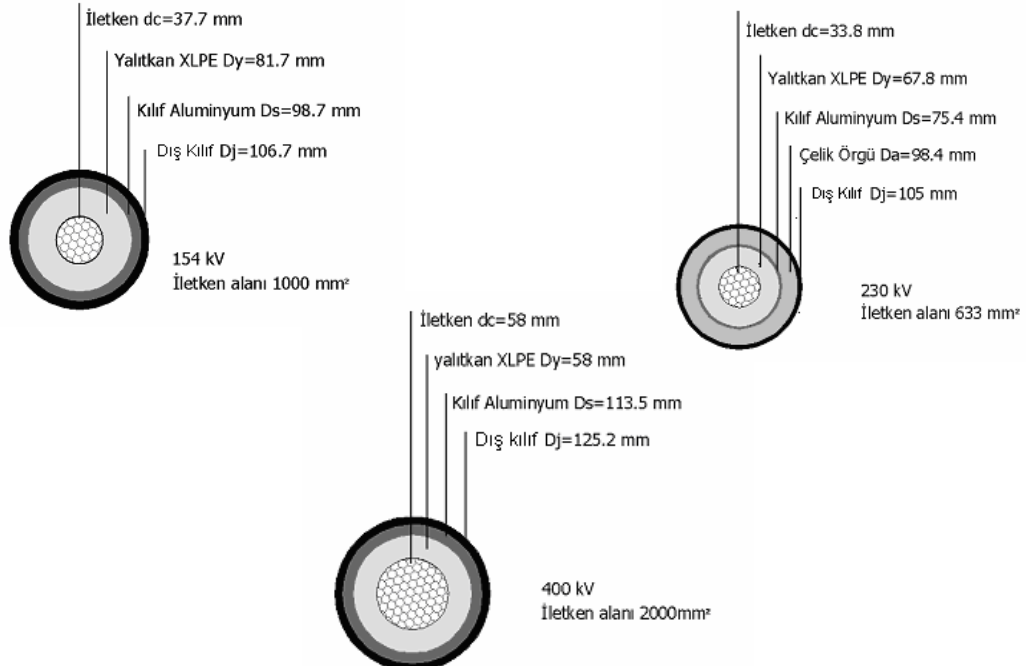
Analiz çeşidini (kısa-uzun) seçip 'ANALİZE BAŞLA' butonuna basıldığında, ekrana sonuç grafikleri çıkacaktır.

İsterseniz modele, zaman aralıklarını sizin girebileceğiniz step yük fonksiyonu uygulayabilirsiniz.

Yardım penceresini kapat

## EK-4 Örnek Kabloların Özellikleri

Parametreler	Kablo 1	Kablo 2	Kablo 3
İşletim gerilimi faz-faz (V)	400 000	10 000	154 000
İşletim frekansı (Hz)	60	50	50
İletken kesiti (S) (mm)	2000	300	1000
Metal kılıf dış çapı (Ds) (mm)	113,5	31,4	98,7
Zırh dış çapı (Da) (mm)	0	0	0
Kablo dış çapı (De) (mm)	125,2	35,8	106,7
İletken çapı (dc) (mm)	58	20,5	37,7
Max izin ver. İlet. Sıcaklığı (°C)	90	90	90
İletkenin cinsi	Bakır	Bakır	Bakır
İletkenin ac direnci (Rac) (Ω/m)	0,0000126	0,0000781	0,0000252
Ana yalıtkanın ısı direnci (K.m/W)	3,5	3,5	3,5
Dielektrik kaybı (Wd) (Watt)	6,53	-	3,57
Yalıtkan kalınlığı (t <sub>1</sub> ) (mm)	18	4,8	22
Yalıtkanın ısı direnci (K.m/W)	6,5	3,5	3,5
Kılıf kalınlığı (t <sub>2</sub> ) (mm)	6	2,5	4
Kılıf kayıp faktörü (λ <sub>1</sub> )	0,14	0,06	0,035
Zırh kayıp faktörü (λ <sub>2</sub> )	0	0	0
Dış kılıf yalıtkanının ısı öz direnci (K.m/W)	3,5	6	3,5
Dış kılıf kalınlığı (t <sub>3</sub> ) (mm)	6	2,2	4
Kablolar arası uzaklık (s) (mm)	500	72	330
Kablo döşeme derinliği (L) (mm)	1800	1000	1200
Toprağın ısı öz direnci (K.m/W)	0,833	0,833	0,833
Ortam sıcaklığı (°C)	20	20	20
Boru dış çapı (Dd) (mm)	250	150	200
Boru iç çapı (Di) (mm)	246	146	196



## EK-5 Program İşlem Kodları

```
% GENEL DATA
f=str2num(get(handles.edit1,'string'))
V=str2num(get(handles.edit2,'string'))
LF=str2num(get(handles.edit3,'string'))
Qcc=str2num(get(handles.edit4,'string'))
Qa=str2num(get(handles.edit5,'string'))
% DOĞRUDAN GÖMÜLÜ KABLolar İÇİN
L1=str2num(get(handles.edit6,'string'))
ps=str2num(get(handles.edit7,'string'))
sx=str2num(get(handles.edit8,'string'))
% ÖZEL DOLGU MALZEMESİ İLE GÖMÜLÜ İÇİN
LG1=str2num(get(handles.edit9,'string'))
x1=str2num(get(handles.edit10,'string'))
y1=str2num(get(handles.edit11,'string'))
N1=str2num(get(handles.edit12,'string'))
pc1=str2num(get(handles.edit13,'string'))
pe1=str2num(get(handles.edit14,'string'))
sxx=str2num(get(handles.edit15,'string'))
L2=str2num(get(handles.edit16,'string'))
% BORU İÇİNE DÖŞENEN KABLO İÇİN
Dd=str2num(get(handles.edit17,'string'))
Do=str2num(get(handles.edit18,'string'))
Qm=str2num(get(handles.edit19,'string'))
sxxx=str2num(get(handles.edit20,'string'))
L3=str2num(get(handles.edit21,'string'))
LG2=str2num(get(handles.edit22,'string'))
x2=str2num(get(handles.edit23,'string'))
y2=str2num(get(handles.edit24,'string'))
N2=str2num(get(handles.edit25,'string'))
pe2=str2num(get(handles.edit26,'string'))
pc2=str2num(get(handles.edit27,'string'))
% İLETKEN ÖZELLİKLERİ
S=str2num(get(handles.edit28,'string'))
De=str2num(get(handles.edit29,'string'))
dc=str2num(get(handles.edit30,'string'))
n=str2num(get(handles.edit31,'string'))
% ÜÇ İLETKENLİ KABLolar İÇİN VERİLER
dx=str2num(get(handles.edit32,'string'))
c=str2num(get(handles.edit33,'string'))
r1=str2num(get(handles.edit34,'string'))
t=str2num(get(handles.edit35,'string'))
% İZOLASYON PARAMETRELERİ
Di=str2num(get(handles.edit36,'string'))
t1=str2num(get(handles.edit37,'string'))
p=str2num(get(handles.edit38,'string'))
% KILIF BİLGİLERİ
Ds=str2num(get(handles.edit39,'string'))
dd=str2num(get(handles.edit40,'string'))
ts=str2num(get(handles.edit41,'string'))
Qss=str2num(get(handles.edit42,'string'))
%K=str2num(get(handles.edit43,'string'))
```



```

% KORUYUCU VE ZIRH ÖZELLİKLERİ
A=str2num(get(handles.edit44,'string'))
Da=str2num(get(handles.edit45,'string'))
da=str2num(get(handles.edit46,'string'))
df=str2num(get(handles.edit47,'string'))
Qz=str2num(get(handles.edit48,'string'))
na=str2num(get(handles.edit49,'string'))
La=str2num(get(handles.edit50,'string'))
% KORUYUCU KILIF
tj=str2num(get(handles.edit51,'string'))
t3=str2num(get(handles.edit52,'string'))
pj=str2num(get(handles.edit53,'string'))
pk=str2num(get(handles.edit54,'string'))

% İŞLEMLER BÖLÜMÜ .....

% Rac HESAPLANMASI

if durum3==3
Yp=0
p20=2.8264*(10^(-8)); a20=4.03*(10^(-3))
Rdc=((1.02*(10^6)*(p20))/S)*[1+a20*(Qcc-20)]
ks=1; kp=.8;
if durum4==7
ks=0.435; kp=0.37;
end
Fk=(8*pi*f*10^(-7))/Rdc;
Xs2=Fk*ks;
Ys=((Xs2)^2)/(192+0.8*(Xs2)^2)
end

if durum3==4
p20=1.7241*(10^(-8)); a20=3.93*(10^(-3));
Rdc=((1.02*(10^6)*(p20))/S)*(1+a20*(Qcc-20))
ks=1; kp=0.8;
if durum4==7
ks=0.435; kp=0.37;
end
Fk=(8*pi*f*10^(-7))/Rdc
Xp2=Fk*kp;
Xs2=Fk*ks;
Ys=((Xs2)^2)/(192+0.8*(Xs2)^2)
Fp=((Xp2)^2)/(192+0.8*(Xp2)^2);
if yun1==1
s=1; , Fp=0;
end
Yp=Fp*((dc/s)^2)*[0.312*((dc/s)^2)+(1.18/(Fp+0.27))]
if durum2==3
Yp=0
end
end
end

```

Rac=Rdc\*(1+Ys+Yp)

% Elektiriksel Kapasite (di.el. kay.) Hesabı

```
if durum4==3
    Ep=2.5; tan=0.008;
    p=3.5; ccc=2.4;
end
if durum4==4
    Ep=3; tan=0.005;
    p=5; ccc=2;
end
if durum4==5
    Ep=2.3; tan=0.001;
    p=3.5; ccc=2.4;
end
if durum4==6
    Ep=2.3; tan=0.001;
    p=6; ccc=1.7;
end
if durum4==7
    Ep=2.8; tan=0.001;
    p=6.5; ccc=2;
end
```

C=(Ep/(18\*log(Di/dc)))\*10^(-9)

Vo=V/3^(1/2);

Wd=2\*pi\*f\*C\*((Vo)^2)\*tan

% Kılıf Kayıpları (aliminyum kılıf)  
Rs=(2.84\*0.01\*(1+(4.03\*0.001\*(Qss-20))))/(pi\*dd\*ts)

% Kılıf Reaktansı  
% for single and pipe type coblos  
X=4\*pi\*f\*(10^(-7))\*log(2\*s/dd)  
% for single cond. cab. in flat formation  
X1=4\*pi\*f\*(10^(-7))\*log(2\*(2^(1/3))\*(s/dd))  
if yun1==1  
 X=f\*8.71\*.0000001  
 X1=f\*8.71\*.0000001  
end

% KILIF KAYIP FAKTÖRÜ  
% tekli kablolar TRİNGULAR şeklinde  
Y11=(Rs/Rac)\*1/(1+(Rs/X1)^2)  
% eğer kablolar düz döşenmişse aşağıdaki formül kullanılır (Y11)  
if durum6==3;  
 Y11=(Rs/Rac)\*1/(1+(Rs/X)^2)  
end  
if durum6==5;  
 Y11=(Rs/Rac)\*1/(1+(Rs/X)^2)  
end

```

% % Y111 nın üç tek iletkenli triangular kablolar için hesaplanması
% B1=[(4*pi*2*pi*f)/((10^(7))*K)]^(1/2);
% gs=1+((ts/Ds)^1.74)*((B1*Ds*10^(-3))-1.6);
% m=((2*pi*f)*(10^(-7)))/Rs;
% Yo=3*((d/2*s)^2)*((m^2)/(1+m^2))
% D1=(1.14*((m)^2.45)+0.33)*((d/(2*s))^(0.92*m+1.66))
% D2=0;
%
% % Y111 nın üç tek iletkenli düz flat döşenmiş kablolar için hesaplanması
% % ama sadece orta kablo için hesaplandı (en çok o etkileniyor)
% durum6=get(handles.listbox6,'value')
% if durum6==2
%   Yo=6*((d/2*s)^2)*((m^2)/(1+m^2))
%   D1=(0.86*(m^3.08))*((d/2*s)^(1.4*m+0.7))
%   D2=0
% end
% Y111=Rs/Rac*[gs*Yo*(1+D1+D2)+(((B1*ts)^4)/12)*(10^(-12))]
% % toplam

Y1=Y11%+Y111

% eğer kablo üç iletkenli ise Y111 in hesaplanması
if yun1==2
Y11=0
% 2-- sector shaped conductors
Y111=0.94*(Rs/Rac)*(((2*r1+t)/dd)^2)*1/(1+(Rs*(10^7)/2*pi*f)^2)
% 1-- round or oval conductors in common sheath , no armor
Y111=3*(Rs/Rac)*(((2*c/dd)^2)*1/(1+((Rs*(10^7))/2*pi*f)^2)+((2*c/dd)^4)*1/(1+(4*(((Rs*(10^7))/2*pi*f)^2))))

Y1=Y11+Y111
end

% THERMAL RESİSTANCES (ISIL DİRENÇLERİN HESAPLANMASI)

% YALITKANIN ISIL DİRENCİ HESABI
% tek iletkenli veya üç tane tek iletken için

T1=(p/(2*pi))*log(1+((2*t1)/dc))

% if yun1==2
% %----- üç iletkenli (belt) kemerli kablolar için
% G=[0.85+0.2*((2*t1/t)-1)]*log((8.3-2.2*((2*t1/t)-1))*(t1/dc)+1)
% T1=(p*G)/(2*pi)
% end

% CEKET ISIL DİRENCİ HESABI (JACKET THERMAL RESİST.)
T2=(pj/(2*pi))*log((1+(2*tj/Ds)))
% KANLONUN DIŞ ÖRTÜSÜNÜN ISIL DİRENCİ (SERVİNG THER. RES.)
T3=(pk/(2*pi))*log(1+((2*t3)/(Ds+t3)))

```

% GÖMÜLÜ KABLolarDA DIŞ ISIL DİRENÇLER (T4)

```
if yun==1
if yun1==1
T4=(ps/(2*pi))*log((2*L/De)+sqrt(((2*L/De)^2)-1))
T4=(ps/(2*pi))*log(1+(2*t1)/dc)
F=1
T4=(ps/(2*pi))*log((4*L*F)/De)
elseif yun1==3
T4=(ps/(2*pi))*log((2*L/De+sqrt((2*L/De)^2-1))*((2*L/s)^2+1))
if durum6==4
T4=(ps/(2*pi))*log((2*L/De+sqrt((2*L/De)^2-1))*(sqrt((2*L-
(s/sqrt(3))))^2+(s/2)^2)/s)*(sqrt((2*L-(s/sqrt(3))))^2+(s/2)^2)/s)
elseif durum6==6
T4=(ps/(2*pi))*log(2*(2*L/De)^3) % aynı sonuç aşağıdakiyle ama aşağıdaki
daha doğru
T4=(ps/(2*pi))*log((2*L/De+sqrt((2*L/De)^2-1))*(sqrt((2*L-
(De/sqrt(3))))^2+(De/2)^2)/De)*(sqrt((2*L-
(De/sqrt(3))))^2+(De/2)^2)/De)
end
elseif yun1==2
T4=(ps/(2*pi))*log((2*L/De)+sqrt(((2*L/De)^2)-1))
end
end
```

% ÖZEL DOLGU MALZEMESİ İLE GÖMÜLÜ KABLolar İÇİN

```
if yun==2
if yun1==1
T4a=(x/L)*(pc/(2*pi))*log((2*L/De)+sqrt(((2*L/De)^2)-1))
T4b=((L-x)/L)*(pe/(2*pi))*log((2*L/De)+sqrt(((2*L/De)^2)-1))
T4=T4a+T4b;
elseif yun1==3
T4a=(x/L)*(pc/(2*pi))*log((2*L/De+sqrt((2*L/De)^2-1))*((2*L/s)^2+1))
T4b=((L-x)/L)*(pe/(2*pi))*log((2*L/De+sqrt((2*L/De)^2-1))*((2*L/s)^2+1))
T4=T4a+T4b;
if durum6==4
T4a=(x/L)*(pc/(2*pi))*log((2*L/De+sqrt((2*L/De)^2-1))*(sqrt((2*L-
(s/sqrt(3))))^2+(s/2)^2)/s)*(sqrt((2*L-(s/sqrt(3))))^2+(s/2)^2)/s)
T4b=((L-x)/L)*(pe/(2*pi))*log((2*L/De+sqrt((2*L/De)^2-1))*(sqrt((2*L-
(s/sqrt(3))))^2+(s/2)^2)/s)*(sqrt((2*L-(s/sqrt(3))))^2+(s/2)^2)/s)
T4=T4a+T4b;
elseif durum6==6
T4a=(x/L)*(pc/(2*pi))*log((2*L/De+sqrt((2*L/De)^2-1))*(sqrt((2*L-
(De/sqrt(3))))^2+(De/2)^2)/De)*(sqrt((2*L-
(De/sqrt(3))))^2+(De/2)^2)/De)
T4b=((L-x)/L)*(pe/(2*pi))*log((2*L/De+sqrt((2*L/De)^2-1))*(sqrt((2*L-
(De/sqrt(3))))^2+(De/2)^2)/De)*(sqrt((2*L-
(De/sqrt(3))))^2+(De/2)^2)/De)
T4=T4a+T4b;
end
elseif yun1==2
T4a=(x/L)*(pc/(2*pi))*log((2*L/De)+sqrt(((2*L/De)^2)-1))
T4b=((L-x)/L)*(pe/(2*pi))*log((2*L/De)+sqrt(((2*L/De)^2)-1))
T4=T4a+T4b;
end
end
```

```

% BORU İÇİNE DÖŞENMİŞ KABLolar İÇİN
if yun==3
if yun1==1
U=5.2 , Ve=1.2 , Ye=0.006
T41=(U/(1+0.1*(Ve+Ye*Qm)*De))
T411=(pc/(2*pi))*log(Do/Dd)
T4111a=(x/L)*(pe/(2*pi))*log((2*L/Do)+sqrt(((2*L/Do)^2)-1))
T4111b=((L-x)/L)*(1/(2*pi))*log((2*L/Do)+sqrt(((2*L/Do)^2)-1))
T4111=T4111a+T4111b;
elseif yun1==3
U=5.2 , Ve=1.2 , Ye=0.006
T41=(U/(1+0.1*(Ve+Ye*Qm)*De))
T411=(pc/(2*pi))*log(Do/Dd)
T4111a=(x/L)*(pe/(2*pi))*log((2*L/Do+sqrt((2*L/Do)^2-1))*((2*L/s)^2+1))
T4111b=((L-x)/L)*(1/(2*pi))*log((2*L/Do+sqrt((2*L/Do)^2-1))*((2*L/s)^2+1))
T4111=T4111a+T4111b;
if durum6==4
T4111a=(x/L)*(pe/(2*pi))*log((2*L/Do+sqrt((2*L/Do)^2-1))*(sqrt((2*L-
(s/sqrt(3))))^2+(s/2)^2)/s)*(sqrt((2*L-(s/sqrt(3))))^2+(s/2)^2)/s)
T4111b=((L-x)/L)*(1/(2*pi))*log((2*L/Do+sqrt((2*L/Do)^2-1))*(sqrt((2*L-
(s/sqrt(3))))^2+(s/2)^2)/s)*(sqrt((2*L-(s/sqrt(3))))^2+(s/2)^2)/s)
T4111=T4111a+T4111b;
elseif durum6==6
T4111a=(x/L)*(pe/(2*pi))*log((2*L/Do+sqrt((2*L/Do)^2-1))*(sqrt((2*L-
(Do/sqrt(3))))^2+(Do/2)^2)/Do)*(sqrt((2*L-
(Do/sqrt(3))))^2+(Do/2)^2)/Do)
T4111b=((L-x)/L)*(1/(2*pi))*log((2*L/Do+sqrt((2*L/Do)^2-1))*(sqrt((2*L-
(Do/sqrt(3))))^2+(Do/2)^2)/Do)*(sqrt((2*L-
(Do/sqrt(3))))^2+(Do/2)^2)/Do)
T4111=T4111a+T4111b;
end
elseif yun1==2
U=5.2 , Ve=1.2 , Ye=0.006
T41=(U/(1+0.1*(Ve+Ye*Qm)*De))
T411=(pc/(2*pi))*log(Do/Dd)
T4111a=(x/L)*(pe/(2*pi))*log((2*L/Do)+sqrt(((2*L/Do)^2)-1))
T4111b=((L-x)/L)*(1/(2*pi))*log((2*L/Do)+sqrt(((2*L/Do)^2)-1))
T4111=T4111a+T4111b;
end
T4=T41+T411+T4111
end

```

```

% AMPASİTE HASABI
% GÖMÜLÜ KABLolar İÇİN AMPASİTE HESABI
DQ=Qcc-Qa;
I=((DQ-Wd*(0.5*T1+n*(T3+T4)))/(Rac*T1+n*Rac*(1+Y1)*(T3+T4)))^0.5
%if yun2==2
I=[(DQ-
Wd*[0.5*T1+n*(T2+T3+T4)])/(Rac*T1+n*Rac*(1+Y1)*T2+n*Rac*(1+Y1)*(T3
+T4))]^0.5
% I=[(DQ-
Wd*[0.5*T1+n*(T2+T3+T4)])/(Rac*T1+n*Rac*(1+Y1)*T2+n*Rac*(1+Y1+Ya2)
*(T3+T4))]^0.5

```

```

Wc=(I^2)*Rac+(Wd/2)
Ws=Y1*Wc+(Wd/2)
Wt=Wc+Ws+Wd

TA=0.5*(T1)
TB=0.5*(T1)+(1+Y1)*(T2+T3)
if yun==3
TB=0.5*(T1)+(1+Y1)*(T2+T3+T41+T411)
end

TA1=0.5*(T1)
TB1=0.5*(T1)+(1+Y1)*(T2+T3)
if yun==3
TB1=0.5*(T1)+(1+Y1)*(T2+T3+T41+T411)
end
set(handles.edit177,'value',TA1)
set(handles.edit178,'value',TB1)

TA2=(T1)
TB2=(1+Y1)*(T2+T3)
if yun==3
TB2=(1+Y1)*(T2+T3+T41+T411)
end
set(handles.edit179,'value',TA2)
set(handles.edit180,'value',TB2)

dpk=s
dpkyildiz=sqrt((s^2)+((2*L)^2))

if durum3==3
cc=8.06
else
cc=3.45
end

oran1=(Di/dc); oran2=(De/Ds);
pd275=((oran1^2)*log(oran1)-(log(oran1)^2)-0.5*((oran1^2)-1))/(((oran1^2)-1)*(log(oran1))^2);
pd=(1/(2*log(oran1)))-(1/((oran1^2)-1))
pyildiz=(1/(log(oran1)))-(1/((oran1)-1))
pustu=(1/(2*log(oran2)))-(1/((oran2^2)-1))

Qc=S*cc
Qi=(pi/4)*(Di^2-dc^2)*ccc
Qs=(pi/4)*(Ds^2-Di^2)*1.52 % her zaman aliminyum
Qj=(pi/4)*(De^2-Ds^2)*1.7
Qd=0; Qair=0;
if yun==3
Qair=0
Qd=(pi/4)*(Do^2-Dd^2)*1.9
end

```

```
QA=Qc+Qi*pd
QB=(1-pd)*Qi+Qs+pustu*Qj
```

```
TotalAB=(TA+TB)*(QA+QB)
```

```
set(handles.edit123,'string',Wc)
set(handles.edit124,'string',Ws)
set(handles.edit125,'string',Wt)
set(handles.edit126,'string',T1)
set(handles.edit127,'string',T2+T3)
set(handles.edit128,'string',T4)
T41s=0; T411s=0; Qds=0; Qairs=0;
```

```
set(handles.edit129,'string',T41s)
set(handles.edit130,'string',T411s)
set(handles.edit135,'string',Qairs)
set(handles.edit136,'string',Qds)
```

```
if yun==3
set(handles.edit129,'string',T41)
set(handles.edit130,'string',T411)
set(handles.edit135,'string',Qair)
set(handles.edit136,'string',Qd)
end
set(handles.edit131,'string',Qc)
set(handles.edit132,'string',Qi)
set(handles.edit133,'string',Qj)
set(handles.edit134,'string',Qs)
```

```
set(handles.edit137,'string',pd)
set(handles.edit138,'string',pustu)
set(handles.edit139,'string',pyildiz)
set(handles.edit140,'string',TA)
set(handles.edit141,'string',TB)
set(handles.edit142,'string',TotalAB)
```

```
add=get(handles.edit181,'value')
if add==3
```

```
hour1=str2num(get(handles.edit143,'string'))
hour1=str2num(get(handles.edit143,'string'))
hour2=str2num(get(handles.edit144,'string'))
hour3=str2num(get(handles.edit145,'string'))
hour4=str2num(get(handles.edit146,'string'))
hour5=str2num(get(handles.edit147,'string'))
hour6=str2num(get(handles.edit148,'string'))
hour7=str2num(get(handles.edit149,'string'))
hour8=str2num(get(handles.edit150,'string'))
```

```
loss1=str2num(get(handles.edit159,'string'))
loss2=str2num(get(handles.edit160,'string'))
loss3=str2num(get(handles.edit161,'string'))
loss4=str2num(get(handles.edit162,'string'))
loss5=str2num(get(handles.edit163,'string'))
```





```

set_param('kablo_3/Constant2','Value',num2str(Wc));
KKKK=[.000000001.000000002]
set_param('kablo_3/Repeating Sequence2','rep_seq_t',sprintf('[ %d
%d]',KKKK));
set_param('kablo_3/Repeating Sequence2','rep_seq_y',sprintf('[ %d
%d]',KKKK));
end

set_param('kablo_3/Qe/Gain','Gain',num2str(16*0.5e-6));
set_param('kablo_3/Qe/Gain2','Gain',num2str(0.5e-6));
set_param('kablo_3/Qe/Gain1','Gain',num2str(4*0.5e-6));
set_param('kablo_3/Qe/Gain3','Gain',num2str(4*0.5e-6));
set_param('kablo_3/Qe/Constant2','Value',num2str((Do^2)/1000000));
set_param('kablo_3/Qe/Constant3','Value',num2str((L^2)/1000000));
set_param('kablo_3/Qe/Constant1','Value',num2str((dpk^2)/1000000));
set_param('kablo_3/Qe/Constant4','Value',num2str((dpkyildiz^2)/1000000));
set_param('kablo_3/Qe/Constant5','Value',num2str(Y1+1));
set_param('kablo_3/Qe/Gain4','Gain',num2str((x/L)*pe/(4*pi)+((L-
x)/L)*1/(4*pi)));

fiie=2*Wt*((1/(2*pi))*log(4*L/Do))
set_param('kablo_3/Qe/Gain5','Gain',num2str(2));
if yun1==1
fiie=0
set_param('kablo_3/Qe/Gain5','Gain',num2str(0));
end
if yun1==2
set_param('kablo_3/Qe/Constant2','Value',num2str(((De/2)^2)/1000000));
end

set_param('kablo_3/Subsystem/Constant1','Value',num2str(TA));
set_param('kablo_3/Subsystem/Constant2','Value',num2str(TB));
set_param('kablo_3/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch1','C',num2str(Qc));
set_param('kablo_3/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch6','C',num2str(Qi*pd));
set_param('kablo_3/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch4','C',num2str(Qi*(1-pd)));
set_param('kablo_3/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch7','C',num2str(Qs));
set_param('kablo_3/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch8','C',num2str(Qj*pustu));
set_param('kablo_3/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch9','C',num2str((1-pustu)*Qj));
set_param('kablo_3/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch12','C',num2str(Qd));
set_param('kablo_3/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch2','A',num2str(T1));
set_param('kablo_3/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch5','A',num2str(T2+T3));
set_param('kablo_3/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch3','A',num2str(T41));
set_param('kablo_3/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch11','A',num2str(T411));
set_param('kablo_3/Subsystem/termal devre/Constant2','Value',num2str(Ws));

```

```

set_param('kablo_3/duzeltme/Constant1','Value',num2str(fiie));
set_param('kablo_3/duzeltme/Gain5','Gain',num2str(1/(234.5+Qa)));
set_param('kablo_3/Constant3','Value',num2str(Qa));

sim('kablo_3')
figure
plot(iletken)
title('Iletkenin sicakligi')
xlabel('Zaman (90 gün)')
ylabel('Yük degeri kW ve Iletken sicakligi ^oC ')
legend('Iletken sicakligi','Kayip güc')
axis([1 5000 0 120])
figure
plot(mutual)
title('Topragin toplam sicaklik etkisi')
xlabel('Zaman (90 gün)')
ylabel('Toprak etkisi ^oK ')
axis([15 5000 0 80])

else %++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++BURULU
DEĞİLSE++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++

    open_system('kablo_1');
if durum3==3
    cc=8.06
else
    cc=3.45
end

Qc=S*cc
Qi=(pi/4)*(Di^2-dc^2)*ccc
Qs=(pi/4)*(Ds^2-Di^2)*1.52 % her zaman aliminyum
Qj=(pi/4)*(De^2-Ds^2)*1.7

add=get(handles.edit181,'value')
if add==3

    hour1=str2num(get(handles.edit143,'string'))
    hour1=str2num(get(handles.edit143,'string'))
    hour2=str2num(get(handles.edit144,'string'))
    hour3=str2num(get(handles.edit145,'string'))
    hour4=str2num(get(handles.edit146,'string'))
    hour5=str2num(get(handles.edit147,'string'))
    hour6=str2num(get(handles.edit148,'string'))
    hour7=str2num(get(handles.edit149,'string'))
    hour8=str2num(get(handles.edit150,'string'))

    loss1=str2num(get(handles.edit159,'string'))
    loss2=str2num(get(handles.edit160,'string'))
    loss3=str2num(get(handles.edit161,'string'))
    loss4=str2num(get(handles.edit162,'string'))
    loss5=str2num(get(handles.edit163,'string'))
    loss6=str2num(get(handles.edit164,'string'))
    loss7=str2num(get(handles.edit165,'string'))
    loss8=str2num(get(handles.edit166,'string'))

```



```

set_param('kablo_1/Repeating Sequence2','rep_seq_y',sprintf('[ %d
%d]',KKKK));
end

set_param('kablo_1/Qe/Gain','Gain',num2str(16*0.5e-6));
set_param('kablo_1/Qe/Gain2','Gain',num2str(0.5e-6));
set_param('kablo_1/Qe/Gain1','Gain',num2str(4*0.5e-6));
set_param('kablo_1/Qe/Gain3','Gain',num2str(4*0.5e-6));
set_param('kablo_1/Qe/Constant2','Value',num2str((De^2)/1000000));
set_param('kablo_1/Qe/Constant3','Value',num2str((L^2)/1000000));
set_param('kablo_1/Qe/Constant1','Value',num2str((dpk^2)/1000000));
set_param('kablo_1/Qe/Constant4','Value',num2str((dpkyildiz^2)/1000000));
set_param('kablo_1/Qe/Constant5','Value',num2str(Y1+1));
if yun==2
set_param('kablo_1/Qe/Gain4','Gain',num2str((x/L)*pc/(4*pi)+((L-
x)/L)*pe/(4*pi)));
fiie=2*Wt*((pe/(2*pi))*log(4*L/De))
else
set_param('kablo_1/Qe/Gain4','Gain',num2str(ps/(4*pi)));
fiie=2*Wt*((ps/(2*pi))*log(4*L/De))
end

set_param('kablo_1/Qe/Gain5','Gain',num2str(2));
if yun1==1
fiie=0
set_param('kablo_1/Qe/Gain5','Gain',num2str(0));
end
if yun1==2
set_param('kablo_1/Qe/Constant2','Value',num2str(((De/2)^2)/1000000));
end

set_param('kablo_1/Subsystem/Constant1','Value',num2str(TA));
set_param('kablo_1/Subsystem/Constant2','Value',num2str(TB));
set_param('kablo_1/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch1','C',num2str(Qc));
set_param('kablo_1/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch6','C',num2str(Qi*pd));
set_param('kablo_1/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch4','C',num2str(Qi*(1-pd)));
set_param('kablo_1/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch7','C',num2str(Qs));
set_param('kablo_1/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch11','C',num2str(Qj*pustu));
set_param('kablo_1/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch2','A',num2str(T1));
set_param('kablo_1/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch3','A',num2str(T2+T3));
set_param('kablo_1/Subsystem/termal devre/Constant2','Value',num2str(Ws));

set_param('kablo_1/duzeltme/Constant1','Value',num2str(fiie));
set_param('kablo_1/duzeltme/Gain5','Gain',num2str(1/(234.5+Qa)));
set_param('kablo_1/Constant3','Value',num2str(Qa));

sim('kablo_1')
figure
plot(iletken)

```

```

title('İletkenin sıcaklığı')
xlabel('Zaman (100 gün)')
ylabel('Yük değeri kW ve İletken sıcaklığı  $\text{^oC}$  ')
legend('İletken sıcaklığı','Kayıp güç')
%set(gca,'XTickLabel',{'10';'20';'30';'40';'50';'60';'70';'80';'90';'100'})
axis([15 50000 0 200])
figure
plot(mutual)
title('Topragın toplam sıcaklık etkisi')
xlabel('Zaman (100 gün)')
ylabel('Toprak etkisi  $\text{^oK}$  ')
%set(gca,'XTickLabel',{'10';'20';'30';'40';'50';'60';'70';'80';'90';'100'})
axis([15 50000 0 200])
end

else %=====KISA
SÜRELİYSE=====
=====

if yun==3
%+++++++BORULUYSAYSA+++++++
+++++

    open_system('kablo_4');
if durum3==3
    cc=8.06
else
    cc=3.45
end

Qc=S*cc
Qi=(pi/4)*(Di^2-dc^2)*ccc
Qs=(pi/4)*(Ds^2-Di^2)*1.52 % her zaman aliminyum
Qj=(pi/4)*(De^2-Ds^2)*1.7
QI1=(pi/4)*(Di*dc-dc^2)*ccc
QI2=(pi/4)*(Di^2-dc*Di)*ccc
Qd=(pi/4)*(Do^2-Dd^2)*1.9

add=get(handles.edit181,'value')
if add==3

    hour1=str2num(get(handles.edit143,'string'))
    hour1=str2num(get(handles.edit143,'string'))
    hour2=str2num(get(handles.edit144,'string'))
    hour3=str2num(get(handles.edit145,'string'))
    hour4=str2num(get(handles.edit146,'string'))
    hour5=str2num(get(handles.edit147,'string'))
    hour6=str2num(get(handles.edit148,'string'))
    hour7=str2num(get(handles.edit149,'string'))
    hour8=str2num(get(handles.edit150,'string'))

```



```

Wc1=0;
set_param('kablo_4/Constant2','Value',num2str(Wc1));
% set_param('kablo_4/Repeating Sequence2','rep_seq_t',num2str(hour));
% set_param('kablo_4/Repeating Sequence2','rep_seq_y',num2str(Wc));
else
set_param('kablo_4/Constant2','Value',num2str(Wc));
KKKK=[ .000000001 .000000002]
set_param('kablo_4/Repeating Sequence2','rep_seq_t',sprintf('[ %d
%d]',KKKK));
set_param('kablo_4/Repeating Sequence2','rep_seq_y',sprintf('[ %d
%d]',KKKK));
end

set_param('kablo_4/Qe/Gain','Gain',num2str(16*0.5e-6));
set_param('kablo_4/Qe/Gain2','Gain',num2str(0.5e-6));
set_param('kablo_4/Qe/Gain1','Gain',num2str(4*0.5e-6));
set_param('kablo_4/Qe/Gain3','Gain',num2str(4*0.5e-6));
set_param('kablo_4/Qe/Constant2','Value',num2str((Do^2)/1000000));
set_param('kablo_4/Qe/Constant3','Value',num2str((L^2)/1000000));
set_param('kablo_4/Qe/Constant1','Value',num2str((dpk^2)/1000000));
set_param('kablo_4/Qe/Constant4','Value',num2str((dpkyildiz^2)/1000000));
set_param('kablo_4/Qe/Constant5','Value',num2str(Y1+1));
set_param('kablo_4/Qe/Gain4','Gain',num2str((x/L)*pe/(4*pi)+((L-
x)/L)*1/(4*pi)));
fiie=2*Wt*((1/(2*pi))*log(4*L/Do))

set_param('kablo_4/Qe/Gain5','Gain',num2str(2));
if yun1==1
fiie=0
set_param('kablo_4/Qe/Gain5','Gain',num2str(0));
end
if yun1==2
set_param('kablo_4/Qe/Constant2','Value',num2str(((De/2)^2)/1000000));
end

set_param('kablo_4/Subsystem/Constant1','Value',num2str(TA));
set_param('kablo_4/Subsystem/Constant2','Value',num2str(TB));
set_param('kablo_4/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch1','C',num2str(Qc));
set_param('kablo_4/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch6','C',num2str(pyildiz*QI1));
set_param('kablo_4/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch4','C',num2str((1-pyildiz)*QI1+pyildiz*QI2));
set_param('kablo_4/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch8','C',num2str(Qs+((1-pyildiz)*QI2)+pustu*Qj));
set_param('kablo_4/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch9','C',num2str(Qj*(1-pustu)));
set_param('kablo_4/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch12','C',num2str(Qd));
set_param('kablo_4/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch2','A',num2str(T1/2));
set_param('kablo_4/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch5','A',num2str(T1/2));
set_param('kablo_4/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch3','A',num2str(T2+T3));

```

```

set_param('kablo_4/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch11','A',num2str(T41));
set_param('kablo_4/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch13','A',num2str(T411));
set_param('kablo_4/Subsystem/termal devre/Constant2','Value',num2str(Ws));

set_param('kablo_4/duzeltme/Constant1','Value',num2str(fiie));
set_param('kablo_4/duzeltme/Gain5','Gain',num2str(1/(234.5+Qa)));
set_param('kablo_4/Constant3','Value',num2str(Qa));

sim('kablo_4')
figure
plot(iletken)
title('Iletkenin sicakligi')
xlabel('Zaman (90 gün)')
ylabel('Yük degeri kW ve Iletken sicakligi ^oC ')
legend('Iletken sicakligi','Kayip güc')
axis([1 5000 0 120])
figure
plot(mutual)
title('Topragin toplam sicaklik etkisi')
xlabel('Zaman (90 gün)')
ylabel('Toprak etkisi ^oK ')
axis([15 5000 0 80])

else %+++++++BORULU
DEĞİLSE+++++++

    open_system('kablo_2');
if durum3==3
    cc=8.06
else
    cc=3.45
end

Qc=S*cc
Qi=(pi/4)*(Di^2-dc^2)*ccc
Qs=(pi/4)*(Ds^2-Di^2)*1.52 % her zaman aliminyum
Qj=(pi/4)*(De^2-Ds^2)*1.7
QI1=(pi/4)*(Di*dc-dc^2)*ccc
QI2=(pi/4)*(Di^2-dc*Di)*ccc

add=get(handles.edit181,'value')
if add==3

    hour1=str2num(get(handles.edit143,'string'))
    hour1=str2num(get(handles.edit143,'string'))
    hour2=str2num(get(handles.edit144,'string'))
    hour3=str2num(get(handles.edit145,'string'))
    hour4=str2num(get(handles.edit146,'string'))
    hour5=str2num(get(handles.edit147,'string'))
    hour6=str2num(get(handles.edit148,'string'))
    hour7=str2num(get(handles.edit149,'string'))
    hour8=str2num(get(handles.edit150,'string'))

```





```

end
Wc1=0;
set_param('kablo_2/Constant2','Value',num2str(Wc1));
% set_param('kablo_2/Repeating Sequence2','rep_seq_t',num2str(hour));
% set_param('kablo_2/Repeating Sequence2','rep_seq_y',num2str(Wc));
else
set_param('kablo_2/Constant2','Value',num2str(Wc));
KKKK=[ .000000001 .000000002]
set_param('kablo_2/Repeating Sequence2','rep_seq_t',sprintf('[ %d
%d]',KKKK));
set_param('kablo_2/Repeating Sequence2','rep_seq_y',sprintf('[ %d
%d]',KKKK));
end

set_param('kablo_2/Qe/Gain','Gain',num2str(16*0.5e-6));
set_param('kablo_2/Qe/Gain2','Gain',num2str(0.5e-6));
set_param('kablo_2/Qe/Gain1','Gain',num2str(4*0.5e-6));
set_param('kablo_2/Qe/Gain3','Gain',num2str(4*0.5e-6));
set_param('kablo_2/Qe/Constant2','Value',num2str((De^2)/1000000));
set_param('kablo_2/Qe/Constant3','Value',num2str((L^2)/1000000));
set_param('kablo_2/Qe/Constant1','Value',num2str((dpk^2)/1000000));
set_param('kablo_2/Qe/Constant4','Value',num2str((dpkyildiz^2)/1000000));
set_param('kablo_2/Qe/Constant5','Value',num2str(Y1+1));

if yun==2
set_param('kablo_2/Qe/Gain4','Gain',num2str((x/L)*pc/(4*pi)+((L-
x)/L)*pe/(4*pi)));
fiie=2*Wt*((pe/(2*pi))*log(4*L/De))
else
set_param('kablo_2/Qe/Gain4','Gain',num2str(ps/(4*pi)));
fiie=2*Wt*((ps/(2*pi))*log(4*L/De))
end

set_param('kablo_2/Qe/Gain5','Gain',num2str(2));
if yun1==1
fiie=0
set_param('kablo_2/Qe/Gain5','Gain',num2str(0));
end
if yun1==2
set_param('kablo_2/Qe/Constant2','Value',num2str(((De/2)^2)/1000000));
end

set_param('kablo_2/Subsystem/Constant1','Value',num2str(TA));
set_param('kablo_2/Subsystem/Constant2','Value',num2str(TB));
set_param('kablo_2/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch1','C',num2str(Qc));
set_param('kablo_2/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch6','C',num2str(pyildiz*QI1));
set_param('kablo_2/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch4','C',num2str((1-pyildiz)*QI1+pyildiz*QI2));
set_param('kablo_2/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch8','C',num2str(Qs+((1-pyildiz)*QI2)+pustu*Qj));
set_param('kablo_2/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch11','C',num2str(Qj*(1-pustu)));

```

```

set_param('kablo_2/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch2','A',num2str(T1/2));
set_param('kablo_2/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch3','A',num2str(T1/2));
set_param('kablo_2/Subsystem/termal devre/Parallel RLC
Branch10','A',num2str(T2+T3));
set_param('kablo_2/Subsystem/termal devre/Constant2','Value',num2str(Ws));

set_param('kablo_2/duzeltme/Constant1','Value',num2str(fiie));
set_param('kablo_2/duzeltme/Gain5','Gain',num2str(1/(234.5+Qa)));
set_param('kablo_2/Constant3','Value',num2str(Qa));

sim('kablo_2')
figure
plot(iletken)
title('Iletkenin sicakligi')
xlabel('Zaman (90 gün)')
ylabel('Yük degeri kW ve Iletken sicakligi ^oC ')
legend('Iletken sicakligi','Kayip güc')
axis([1 160000 0 120])
figure
plot(mutual)
title('Topragin toplam sicaklik etkisi')
xlabel('Zaman (90 gün)')
ylabel('Toprak etkisi ^oK ')
axis([15 160000 0 80])

end
end

```

## ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Kastamonu'da doğdu. İlk öğrenimini Sivas'ta, orta öğrenimini Kocaeli Anadolu Teknik Lisesi Elektrik Bölümü'nde tamamladı. 1999 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Öğretmenliği Bölümü'nden 2004 yılında mezun oldu. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Halen, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü kadrosuyla, Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmalarını sürdürmektedir.