



**TAŞITLARDA KABLO AKIM TAŞIMA KAPASİTELERİNİN
BENZETİMLERLE BELİRLENMESİ VE FARKLI SICAKLIKLAR İÇİN
DENEYSEL OLARAK DOĞRULANMASI**

Muhammed Rafet BAKCAN



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAŞITLARDA KABLO AKIM TAŞIMA KAPASİTELERİNİN
BENZETİMLERLE BELİRLENMESİ VE FARKLI SICAKLIKLAR İÇİN
DENEYSEL OLARAK DOĞRULANMASI**

MUHAMMED RAFET BAKCAN

(Danışman)

PROF.DR. GÜNEŞ YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2016

TEZ ONAYI

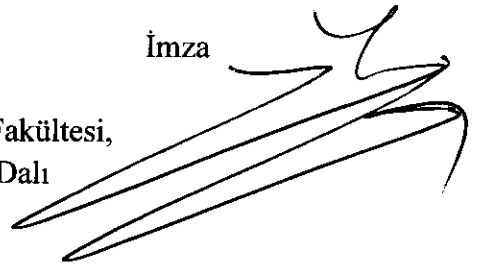
Muhammed Rafet BAKCAN tarafından hazırlanan “Taşıtlarda Kablo Akım Taşıma Kapasitelerinin Benzetimlerle Belirlenmesi ve Farklı Sıcaklıklar İçin Deneysel Olarak Doğrulanması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Güneş YILMAZ

Başkan : Prof. Dr. Güneş YILMAZ

İmza

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Yrd. Doç. Dr. Esin KARPAT

İmza

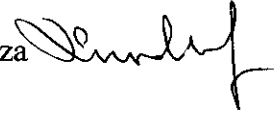
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Yrd. Doç. Dr. Emrah YÜRÜKLÜ

İmza

Bursa Orhangazi Üniversitesi Mühendislik
Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım
Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü

.. /.. /....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde et-tiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uy-gun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

17 /06 /2016

İmza

Muhammed Rafet BAKCAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TAŞITLARDA KABLO AKIM TAŞIMA KAPASİTELERİNİN BENZETİMLERLE BELİRLENMESİ VE FARKLI SICAKLIKLAR İÇİN DENEYSEL OLARAK DOĞRULANMASI

MUHAMMED RAFET BAKCAN

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Güneş YILMAZ

Araçlarda kullanılan kablolar yakıt etkinliği, araç performansı ve araç güvenliği açısından dolaylı olarak önemlidir. Kabloların araç içerisindeki kullanım yerine ve ortam şartlarına göre uygun olarak seçimi ile araç toplam ağırlığını optimum düzeyde tutar ve fazla yakıt tüketimi azaltılmış olur. Zorlu ortam şartlarında aracın kullanımında uygun kablonun seçimi ile kablo sisteminde olabilecek olası arıza ve yangınları önleyerek güvenliği sağlar. Bu tez çalışmasında araçta kullanılan her modüle giden tek damarlı bakır kabloların kesitlere göre maksimum akım taşıma kapasitesi belirlenmiştir. İlk olarak benzetimler ile kablo çapına göre maksimum akımlar hesaplanmıştır. Çıkan sonuçlar sonlu elemanlar metodun kullanılarak modellenen geometri üzerinde uyarlanıp düzeltme faktörü elde edilmiştir. Sonlu elemanlar metodu ile bilgisayar ortamında yapılan simülasyonda elde edilen sonuçlar deneysel olarak örnek kablolar üzerine uygulanmıştır. Son olarak farklı ortam sıcaklıklarında deneysel ve simülasyon ile elde edilen termal ve elektriksel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Kablolama, kablo demeti, otomotiv, sonlu elemanlar metodu, akım taşıma kapasitesi.

2016, xii + 96 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF VEHICLE CABLE CURRENT CAPACITIES BY SIMULATIONS AND EXPERIMENTAL VALIDATION FOR DIFFERENT TEMPERATURES

MUHAMMED RAFET BAKCAN

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronics Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Güneş YILMAZ

Cables used in vehicle is important indirectly for fuel efficiency, vehicle performance and vehicle safety. Optimum cable and cable size selection by user and environmental conditions in the vehicle reduce the total weight of the vehicle and it leads to reduce fuel consumption. However, the use of the vehicle in difficult environment conditions that may select of the appropriate cable wiring which prevents possible damage and fire and that provides safety conditions. In this thesis, current carrying capacities were determined in single core automotive cables which is used in vehicles. Firstly, current carrying capacities accordance with cable size were determined with mathematical models. Obtained results were used in finite element methods and correlation factors were added on obtained results. Finite elements methods simulation results were applied to the sample cables in the testing apparatus. Finally, mathematical, simulation and experimental thermal and electrical results were compared for different ambient temperatures.

Key words: Harness, wiring, automotive, current carrying capacities, FEM.

2016, xii + 96 pages

TEŞEKKÜR

Akademik çalışmam boyunca ilminden ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Prof. Dr. Güneş YILMAZ'a teşekkürlerimi borç bilirim ve bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Muhammed Rafet BAKCAN

17/06/2016

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	9
3.1 Otomotive Kullanılan Kablolama ve Kablo Demetleri	9
3.2 Araç İçerisindeki Elektriksel Yükler ve Kabloların Yerleşimi	20
3.3 Otomotivde Kullanılan Kabloların Sınıflandırılması	23
3.4 Isı Transferi.....	27
3.4.1 İletimle Isı Tranferi	28
3.4.2 Taşınım ile Isı Transferi	30
3.5 Kablolar Üzerindeki Termal Etki	33
3.6 Termografi Metodu	38
3.7 Sonlu Elemanlar Metodu	41
4. BENZETİMLER ve DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	43
4.1 Benzetim ile Yapılan Çalışma	43

4.2 Sonlu Elemanlar Metodu ile Otomotiv Kablolarının Simulasyonu	45
4.3 Deneysel Çalışma.....	52
5.BULGULAR	59
6. SONUÇ	66
KAYNAKLAR.....	68
EKLER.....	71
EK 1	71
EK 2	72
EK 3	79
EK 4	90
EK 5	93
ÖZGEÇMİŞ.....	96

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
ABS	Kilitlemesiz fren sistemi
AC	Alternatif akım
AM	Genlik modülasyonu
CAN	Kontrolör alan ağı
CE	İletimle yayılım
CI	İletime bağışıklık
CISPR	Uluslararası özel radyo girişimi komitesi
DC	Doğru akım
ECU	Motor kontrol birimi
EMC	Elektromanyetik uyumluluk
EMI	Elektromanyetik girişim
FM	Frekans modülasyonu
IEC	Uluslararası elektroteknik komisyonu
INPE	Ulusal uzay araştırma enstitüsü
IRPA/INIRC	Uluslararası iyonize olmayan radyasyon komitesi
ISO	Uluslararası standartlar organizasyonu
LISN	Hat empedansı dengeleme şebekesi
MRI	Manyetik rezonans görüntüleme
OEM	Orjinal ürün üreticisi
PCB	Baskı devre kartı
PVC	Polivinil klörür
RE	Işınım ile yayılım
RF	Radyo frekansı
RI	Işınım bağışıklık

Simgeler	Açıklama
$\dot{Q}$	Isı akısı
μ_0	Manyetik geçirgenlik
A	Isı transferi alanı
B	Manyetik akı yoğunluğu
C	Termal ısı kapasitesi
D	Geometrik çap
E	Elektrik alan
f	Frekans
G	Termal iletkenlik
h	Isı iletim katsayısı
H	Manyetik alan
I	Akım
k	Isı iletim katsayısı
Nu	Nusselt sayısı
P	Güç
r	Geometrik yarıçap
R	Ohmik direnç
S	Kesit alanı
T	Salt sıcaklık
V	Gerilim
Z	empedans
α	Lineer sıcaklık katsayısı
ΔT	Sıcaklık farkı
ε	Dielektrik sabiti
λ	Dalgaboyu
λ	Lineer termal iletkenlik
ρ	Özdirenç
σ	Stefan-Boltzmann katsayısı
Q	Transfer edilen ısı
τ	Zaman sabiti

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Araç üretiminin yıllara göre dağılımı.....	1
Şekil 1.2. Henry Ford'un ürettiği ilk binek araç	2
Şekil 1.3. Genel elektrikli araç blok diyagramı.....	4
Şekil 3.1. Sistem taslağı	11
Şekil 3.2. Kablo demeti elemanları	11
Şekil 3.3. Araç içerisine PVC kaplı kabloların genel yapısı	13
Şekil 3.4. Yan yana yerleştirilerek plastik kaynağa sahip kablolar	14
Şekil 3.5. Araç içerisinde bulunan kablo demetleri	15
Şekil 3.6. E ve H tipi araç içi kablo yerleşim taslağı	16
Şekil 3.7. Geleneksel araç içi kablolama yapısı	16
Şekil 3.8. Araç içerisinde yerleşimin mantıksal gösterimi	18
Şekil 3.9. Güç dağıtım modülü blok diyagramı	19
Şekil 3.10. Araç içerisindeki kabloların yerleşimi	22
Şekil 3.11. Duvar yüzeyinde meydana gelen ısı iletimi	28
Şekil 3.12. Sıcak yüzeyden havaya taşınım ile ısı transferi	31
Şekil 3.13. Sıcak yüzey üzerinde doğal ve zorlanmış taşınım ile ısı transferi	32
Şekil 3.14. Tek iletkenli yapıdaki ısı dirençleri	34
Şekil 3.15. Dış çap iletimi tarafından oluşan termal direnç	36
Şekil 3.16. $T(t)$ 'nin analitik ve nümerik metodlarla karşılaştırılması.....	37
Şekil 3.17. $T(t)$ 'nin bazı nümerik yöntemlerle kıyaslanması	38

Şekil 3.18. Elektromanyetik tayf	39
Şekil 3.19. Termal kamera ile elde edilmiş sıcaklık dağılımı	39
Şekil 4.1. Geometrinin hacimlere bölünmesi	46
Şekil 4.2. Düğüm yapısı.....	46
Şekil 4.3. Ağ yapısına bölünen kablo kesiti	47
Şekil 4.4. Kablo geometrisi üzerine uygulanan ağ yapısı	47
Şekil 4.5. 0.75 mm ² Kesiti analiz sonucu sıcaklık dağılımı	50
Şekil 4.6. Analiz sonucu kablonun 3 boyutlu görünümü.....	51
Şekil 4.7. 0.75 mm ² kesitli kablo için zaman-sıcaklık dağılımı.....	52
Şekil 4.8. Deney düzeneği blok şeması	53
Şekil 4.9. Deney düzeneği.....	53
Şekil 4.10. Deney başlangıcı	54
Şekil 4.11. Deney 1. aşama	54
Şekil 4.12. Deney 2. aşama	55
Şekil 4.13. Deney 3. aşama	56
Şekil 4.14. Aşırı akım sonrası deforme olan kablo	56
Şekil 4.15. Ek yerine sahip bakır kablolar	57
Şekil 5.1. Deney sonrası varyak üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı	59
Şekil 5.2. 6 mm ² kablonun 80 saniyede sağ uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı	60
Şekil 5.3. 6 mm ² kablonun 80 saniyede sol uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı	60
Şekil 5.4. 6 mm ² kablonun 130 saniyede sağ uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı ...	61

Şekil 5.5. 6 mm ² kablonun 150 saniyede merkezde meydana gelen sıcaklık dağılımı	61
Şekil 5.6. 6 mm ² kablonun 180 saniyede sağ uç uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı	62
Şekil 5.7. 0.75 mm ² kablonun 1000 saniyede sol uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı	62
Şekil 5.8. 0.75 mm ² kablonun 1000 saniyede merkezde meydana gelen sıcaklık dağılımı	63
Şekil 5.9. 0.75 mm ² kablonun 1000 saniyede sağ uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı	63
Şekil 5.10. 2.5 mm ² kesitli ek noktalarına sahip bakır numune.....	64
Şekil 5.11. 2.5 mm ² ek yerine sahip kablonun merkez sıcaklık dağılımı.....	64
Şekil 5.12. 2.5 mm ² ek yerine sahip kablonun sağ uctaki sıcaklık dağılımı.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

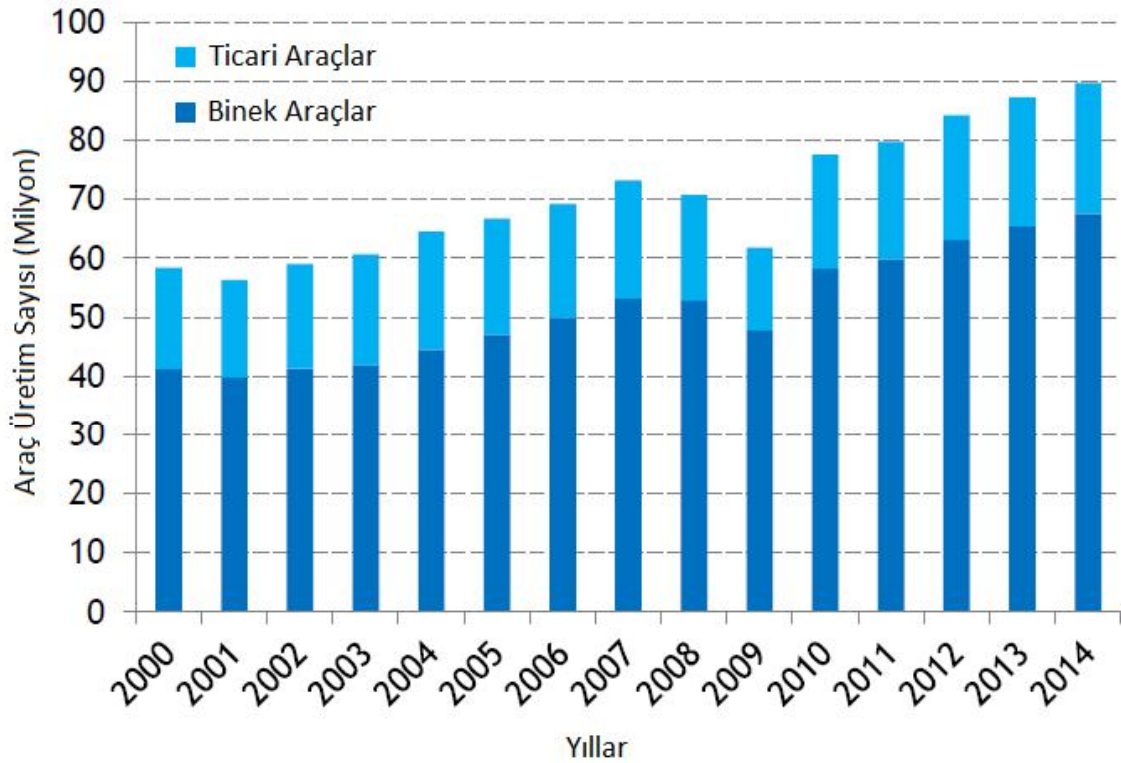
Çizelge 1.1. Çeşitli enerji kaynaklarının karşılaştırılması	3
Çizelge 3.1. Geleneksel araçlardaki kablolardaki gerilim düşümü	9
Çizelge 3.1. Geleneksel araçlardaki kablolardaki gerilim düşümü(devam)	10
Çizelge 3.2. Kablolar ve bazı uygulama alanları.....	10
Çizelge 3.3. Üç farklı kablo tipinin kıyaslanması	12
Çizelge 3.4. Farklı araç sistemlerinde kullanılan röle kontrolleri	20
Çizelge 3.5. Binek araçta bulunan sigorta kutusu ve izin verilen maksimum akımlar ..	21
Çizelge 3.6. Araç içerisinde bulunan kablolar	23
Çizelge 3.7. Sıcaklık sınıflandırma aralığı.....	24
Çizelge 3.8. İletken teknik özellikleri.....	24
Çizelge 3.9. Kabloları uygulanan testler	25
Çizelge 3.10. ISO 6722 Standartına göre iletken kesitleri.....	26
Çizelge 3.11. ISO 6722 'e göre iletken kesitine göre bakır direnç değerleri	27
Çizelge 3.12. Malzemelere göre ısı iletim katsayıları	30
Çizelge 3.13. Taşınım türüne göre ısı taşınım katsayıları.....	32
Çizelge 4.1. 0.75 mm ² kablo için 20 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi.....	44
Çizelge 4.2. 0.75 mm ² kablo için 40 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi.....	44
Çizelge 4.3. 0.75 mm ² kablo için 60 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi.....	44
Çizelge 4.4. Kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri.....	48
Çizelge 4.5. 0.75 mm ² kablo için 20 C-100 C arası akım taşıma kapasitesi	49

Çizelge 4.6. 0.75 mm ² kablo için 40 C-100 C arası akım taşıma kapasitesi	49
Çizelge 4.7. 0.75 mm ² kablo için 60 C-100 C arası akım taşıma kapasitesi	50
Çizelge 5.1. Akım değerlerine göre 0.75 mm ² kesitli kablo üzerinde oluşan sıcaklıklar	59
Çizelge 5.2. 2.5 mm ² Ek yerine sahip kablonun sıcaklık-akım ilişkisi	65



1.GİRİŞ

Otomobil tarihi elektrik, mekanik, termodinamik ve malzeme bilimlerinde meydana gelen önemli gelişmeler ile başlamaktadır. 18.yy'da buharın araçlarda kullanımı başlamıştır. Şekil 1.2'de Henry Ford'un ürettiği ilk binek araç görülmektedir. Ardından petrolün araçlarda kullanımı ile içten yanmalı motorlu araçlar gelişmeye başlamıştır. Birinci dünya savaşı yıllarında dünya üzerindeki otomobil sayısı 250000 seviyelerinde iken ikinci dünya savaşı yıllarında bu sayı 50 milyonu aşmıştır. 1975'li yıllarda dünyadaki araç sayısı 300 milyona ulaşırken günümüzde yıllık araç üretimi 90 milyonlar seviyesinde seyretmektedir. 2021 yılında toplam üretilen araç sayısının yıllık 100 milyonun üzerinde olması tahmin edilmektedir. (Gölcü 2014)



Şekil 1.1. Araç üretiminin yıllara göre dağılımı (Tröscher 2015)

İnsanın otomobile olan ihtiyacı günden güne artmaktadır. Bu sebeple araç üretimi yıldan yıla artmaktadır.



Şekil 1.2. Henry Ford'un ürettiği ilk binek araç (Denton 2004)

Artan üretim ile yakıt ihtiyacı artmıştır buda doğaya salınan karbon emisyon oranını arttırmıştır. Ayrıca araç üretimine bağlı olarak geleneksel içten yanmalı motora sahip araçların yakıt tüketimi daha verimli hale getirmek için çalışmalarda hız kazanmıştır. Bu sayede hem karbon salınımı azaltılıp hemde yakıt maliyetinin azaltılması hedeflenmiştir. Bu çalışmalarda üç tip yol izlenmektedir. İlki araçların mevcut motor verimlerini arttırmaktır. Motor verimine ilave olarak aktarma organlarının geliştirilip mekanik kayıpların azaltılmasında dahil edilmektedir. İkinci yöntem mevcut araçların üzerindeki aksamardan ağırlığını belirli oranlarda optimizasyona gidip azaltılarak daha az yakıt tüketiminin sağlanmasıdır. Üçüncü olarak artan ihtiyaca cevap verebilmek için ve gelecek geleneksel içten yanmalı motorlara sahip araçların yerini alacak olan alternatif yakıtlara sahip elektrikli, hibrit ve hidrojen araçlarının tasarlanıp geliştirilmesidir.

19. yy in başlarında elektrikli araçlar ilk kez gündeme gelmiştir. Bu dönemde şarj edilemeyen piller kullanılmaktaydı. Bataryaların geliştirilmesinin ardından 19. yy'ın sonlarına doğru tekrar şarj edilebilen piller sayesinde elektrikli araçlar oldukça yaygın kullanılmaya başlandı. Şekil 1.2'de New York'da 1891 yılında taksi olarak kullanılan elektrikli araç gösterilmektedir. Ancak 20.yy'ın başlarında elektrikli taşıtlar geleceğin karayolu taşıtları olarak görülmeye başlandı. Elektrikli araçlardan ziyade içten yanmalı motora sahip araçlar daha güvenilir görülüyordu. Fakat içten yanmalı motora sahip araçları harekete geçirmek için ilk tahriğin elle verilmesi gerekiyordu, buharlı motorlar içinde motor içerisinde buhar oluşumu için yakıtın tutuşturulması gerekiyordu ayrıca bu araçların termal verimliliğide oldukça düşüktü. 1920'li yıllarda araba, taksi, minibüs gibi elektrikli araçlar üretildi, ancak petrolün yaygınlaşmasıyla beraber içten yanmalı

motorlar popüler hale geldi ve ekonomik olarakda uygun olduğu için içten yanmalı motorlar tercih edildi.

Petrolün spesifik enerjisinin elektrik pilleriyle kıyaslandığında daha üstün olduğuda açıktır. Petrol için spesifik enerji değişkenlik göstermektedir. İçten yanmalı motorda kullanılan petrol türevi yakıtın spesifik enerjisi 9000Wh/kg iken kurşun asit batarya 30 Wh/kg'dır. Mekanik aksamın kayıpları ele alındığında 1800 Wh/kg'lık enerji kalırken, yüksek verimli bir elektrik motoru ele alındığında 27Wh/kg'lık enerji elde edilir. Ayrıca ağırlık olarak 4 kg'lık ağırlığa sahip olan 4.5 litrelik yakıtla katedilen mesafeyi elektrikli araçla almak için yaklaşık 270 kg'lık bataryalara ihtiyaç duyulmaktaydı. Bu sebeple içten yanmalı motorlar bir adım önde bulunmaktaydı. Tablo 1.1'de bataryalarda kullanılan bileşenler ve petrol ürünü yakıt tiplerinin spesifik enerji yoğunluğu, hacimsel enerji yoğunlukları kıyaslanmıştır.

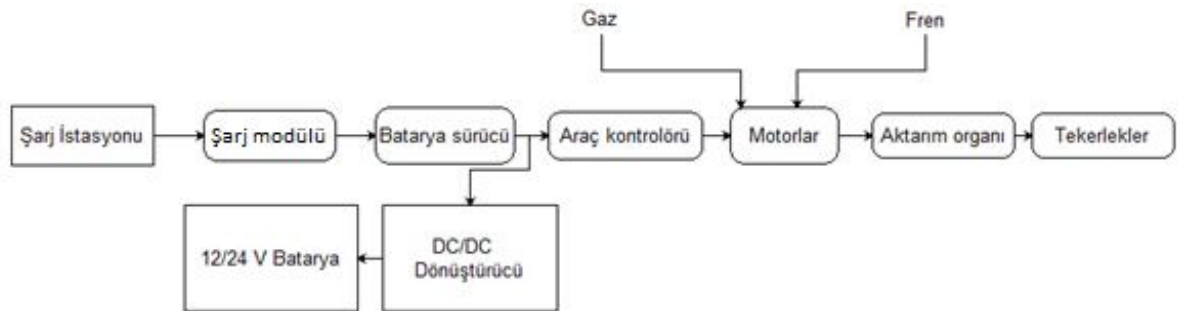
Gelişen teknolojiyle birlikte bataryaların şarj kısımları için yenileyici frenleme sistemleri geliştirilmiştir. Şekil 1.2'de gösterilen sistemde, fren sistemi ile araç frenleme esnasında jeneratör gibi çalıştırılıp araçtaki kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek depolanması verimin artmasını sağlamıştır.

Çizelge 1.1. Çeşitli enerji kaynaklarının karşılaştırılması (Larminie ve ark. 2012)

Enerji kaynağı	Özgül enerji yoğunluğu [MJ/kg]	Hacimsel enerji yoğunluğu [MJ/l]	Özgül enerji yoğunluğu [kWh/kg]	Hacimsel enerji yoğunluğu [kWh/l]
Fosil yakıtlar				
Dizel	42.8	35.9	11.9	9.96
Benzin	43	31	11.9	8.61
Doğal gaz	50	28.7	13.9	7.97
Bio yakıtlar				
Biodizel	37.8	35.7	10.5	9.92
Etanol	26.8	21.2	7.4	5.89
Metanol	22.7	15.9	6.3	4.42
EESS				
Kurşun asit batarya	0.108	0.1	0.03	0.028
Nikel kadmiyum batarya	0.288	0.24	0.08	0.067
Lityum kobalt batarya	0.72	1.9	0.2	0.53
Lityum iyon fosfat batarya	0.4	0.792	0.11	0.22
Lityum titan batarya	0.274	0.236	0.072	0.062

Günümüze doğru batarya teknolojisinde kurşun asit yerine, lityum polimer, sodyum nikel, nikel klorid, nikel kadmiyum gibi bileşenler ile batarya kapasiteleri ve verimliliği arttırılmıştır. Öncelikli olarak hibrid araçlar olarak adlandırılan hem elektrik ve hemde içten yanmalı motora sahip araçlar geliştirilmeye başlanmıştır. İki çeşit hibrid araç tipi mevcuttur. İlki seri hibrid taşıtlardır. Taşıt, pil ve içten yanmalı motor tahrikli fakat tahrik kuvvetinin tamamı ya elektrik motorundan yada içten yanmalı motordan alınır. İkincisi ise paralel hibrid taşıttır. Taşıtta tahrik kuvveti doğrudan tekerleklere iletimi hem içten yanmalı motor hemde elektrik motorundan aktarma organları tarafından sağlanır. (Larminie ve ark. 2012)

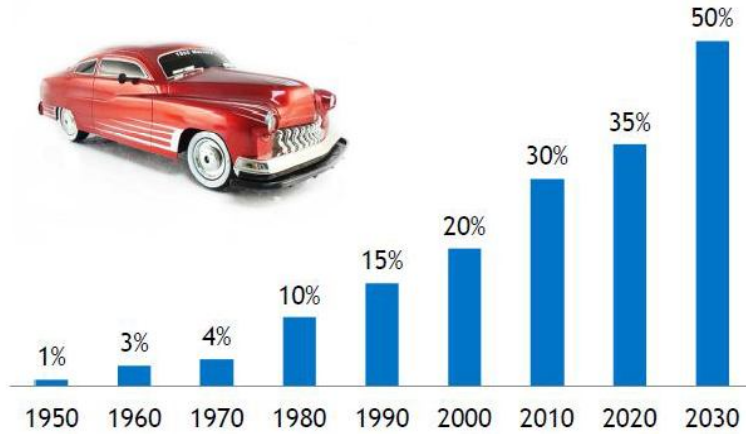
Son yıllarda fosil olmayan yakıtlı araçların üretiminin yapılması için baskılar artmaktadır. Bundaki en önemli etken sıfır emisyonlu araçların gerekliliğinin mevzuatlar içinde yer almasıdır. Bir çok büyük araç üretici firma bu konuda çalışmalarını arttırarak genel kullanım amaçlı elektrikli araçları piyasaya sürmüştür. 1990 yılında General Motor 100 km/h 'ye 8 sn'de çıkan, maksimum hızı 160 km/h olan ve tam dolu batarya ile 240 km menzile sahip aracını duyurmuştu. Araç içten yanmalı motorlarla karşılaştırılarak yeniden tasarlanmıştır. Ayrıca bu araç ile frenleme yapıldığında fren sistemi jeneratör olarak çalışmaya başlar ve araç bataryası şarj edilmeye başlar. Aracın batarya ünitesi jel elektrolitik ve kurşun asitten oluşup 397 kg ağırlığa sahiptir ve aracın ön tekerleklerinde iki adet AC motor bulunmaktadır. Şarj süresi yaklaşık 2 saat süreydi fakat acil durumlarda hızlı şarj için bu süre 1 saate kadar düşürülmekteydi.



Şekil 1.3. Genel elektrikli araç blok diyagramı

Şekil 1.3 'de elektrikli araçların genel blok diyagramı gösterilmektedir. Aracın motor kısmı 300-400 V arasında gerilime ihtiyaç duyarken, ışıklandırma, sensör, aktüatör gibi diğer bileşenlerin çalışması için 12V/24V 'a ihtiyaç duyulur.

Taşıtlarda bir çok alt sistem bulunmaktadır. Bilgisayar sistemi, yakıt sistemi, ateşleme sistemi, dizel enjeksiyon sistemi, sarj sistemi, ısıtma soğutma sistemi, emisyon ve egzoz kontrol sistemi belli başlı alt sistemlerdir. Her alt sistemin kontrolü merkezi elektronik kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle elektronik sistemlerin sayısı artmaktadır. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi ayrıca araçlar içerisinde bulunan elektronik ekipmanların sayısında yıllara göre artmaktadır. Buda araç içerisindeki elektronik sistemlerin maliyetlerinin tüm aracın maliyetine oranlandığında meydana çıkan artış hızlı bir şekilde olmaktadır. Maliyetinin artışının yanısıra elektronik ekipmanların artışı araç toplam ağırlığında arttırmaktadır. Artan ağırlıkla yakıt verimi düşmektedir ve tüketim artmaktadır. Bu sebeple araçların teknolojik seviyesi arttırılırken, elektronik ekipman sayıları arttırılırken ağırlığının azaltılması yönünde ve alternatif yakıtlarla yakıt tüketim verimliliğinin arttırılması için çalışmalar günden güne artmaktadır.



Şekil 1.4. Araçlar içerisindeki elektronik sistemlerin tüm sistem maliyetine oranı (Tröscher 2015)

2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tezin bu bölümünde farklı amaçlarda kullanılan güç ve sinyal kablolarındaki akım taşıma kapasitelerinin deneysel ve simülasyon ortamında farklı metodlar kullanılarak yapılan tezler incelenmiştir.

Karahan'ın yaptığı tez çalışmasında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak Comsol Multiphysics yazılımı ile sürekli rejim ve geçici rejimde kablolar üzerinde oluşan termal analizler gerçekleştirilmiştir. Paket programda bulunan matematik modeller üzerinden bu analizler gerçekleştirilmiştir. Kablo sıcaklık dağılımı hesaplanırken çevresel koşullarda dikkate alınmıştır. Yapılan analizlerde 10kV'luk orta gerilim kablosu modellenip incelenmiştir. Ardından yağ emdirilen kağıt yalıtkanlı kablodaki yalıtkan kısım içerisinde bulunan suyun etkisi incelenip su oranı değiştirilerek dielektrik kayıpların ısı etkisi üzerindeki etkileri incelemiştir. Deneysel olarak yapılan çalışmada 0.6/1 kV'luk gerilime taşıyabilen enerji kablolarının iki hafta süreyle akım, gerilim etkisiyle kablo üzerinde oluşan ısı ve sıcaklığın değişimi incelenip sayısal olarak modellenmesi incelenmiştir. Deneysel ve simülasyon modelleri arasındaki uyum ayrıca ele alınmıştır. (Karahan 2007)

Mollamahmutoğlu'nun yaptığı tez çalışmasında, enerji aktarımında kullanılan kabloların ve kablo eklerinin akım taşıma kapasitelerinin, kablo ve ekler üzerlerinde biriktirdiği kayıp yükler ve ısı dirençler incelenmiştir. Tez kapsamında akım taşıma kapasitelerini etkileyen parametreler incelenmiştir. Ortam koşullarına göre ısı dirençler akım taşıma kapasitesini etkilemektedir. Bu kapsamda havanın, güneş ışınlarının, rüzgarın, toprağın, suyun ısı karakteristikleri ve dirençleri teorik olarak hesaplanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda $1 \times 25 \text{ mm}^2$ kesite sahip 0,6/1 kV gerilim taşıyabilen kablolar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan örnekler kablolar üzerinde 8 saatlik dönemler halinde 126 kez gerilim uygulanmıştır. Bu kısımda kablo ve kablo eki hava ile direk temas halinde bulunmaktadır. Devam eden deney aşamalarında 63 tanesinde kablo havada kablo eki ise suda bulunmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda uygulanan akım süresine göre kablonun dış kılıf sıcaklığı, iletken sıcaklığı, uygulanan akım, ortam sıcaklığı ve akım trafosundan geçen akımlar belirlenmiştir. Sonuç kısmında ise havada ve suda demet halinde 20 C ortam sıcaklığında bulunan kablo ve eklerinin akım taşıma

kapasiteleri elde edilerek bu iki ortam arasındaki farklar tartışılmıştır. (Mollamahmutoğlu 2009)

Yıldız'ın yaptığı tez çalışmasında alçak gerilim elektrik dağıtım sistemine sahip bir gemide bulunana elektrik sistemindeki kısa devre akımları tespit edilerek incelenmiştir. Akımların tespiti için gemi içerisindeki yük analizi yapılmıştır. Yük analizinin ardından kısa devre akımı hesabı ilgili standart çerçevesinde hesaplanarak gemi içerisindeki yüklere göre uygun koruma elemanlarının seçilip montajının belirlenmesi hedeflenmiştir. Yapılan çalışmadaki elektrik güç sistemleri tasarım, bilgisayar ortamında simülasyonu ve kontrolü ETAP adı verilen programla gerçekleştirilmiştir. Bu program ile tek hat şeması, yük akış analizi, kısa devre analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler farklı kullanım yerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda zamana ve kullanım yerlerine göre DC ve AC kısa devre akımları, oluşan toplam hata akımları, DC bileşen üzerinde harcanan akım oranları karşılaştırılarak tartışılmıştır. (Yıldız 2015)

Karaca'nın yaptığı tez çalışmasında yer altı kablolarının bulunduğu ortama göre toprak koşulu, kablonun yerleşimi, kablonun gömülme derinliği, toprak yüzey sıcaklığı gibi şartların kablo üzerinde oluşturduğu sıcaklık dağılımlarının incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizde 8,7/ 15 kV anma gerilimine sahip PVC yalıtkanaya sahip orta gerilim güç kablosu kullanılmıştır. Analiz için sonlu elemanlar metodu kullanılarak kablo bu metod ile modellenmiştir. Analiz ile kablo yalıtkanı üzerindeki potansiyel dağılım, kablo üzerinde bulunan eş potansiyel eğrilerine karşı dik elektrik alan çizgileri, kablo yalıtkanı üzerindeki elektrik alan dağılımı grafiksel olarak elde edilmiştir. Güç kablolarının ısı analiz yönteminde ise 20,3/35 kV anma gerilimine sahip tek damarlı ve XLPE yalıtkanaya sahip orta gerilim güç kablosu kullanılmıştır. Bu analizde farklı gömülme derinliklerinde, farklı ısıl öz dirence sahip topraklar üzerinde kablo üzerinde olan ve kablonun temas ettiği kablo etrafındaki topraktaki sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada yan yana gömülmüş kablolarında farklı gömülme derinliklerinde ve bu kablolar arasındaki mesafeler değiştirilerek kabloların oluşturduğu sıcaklık dağılımlarında analiz edilmiştir. (Karaca 2006)

Biçen'in yaptığı tez çalışmasında yeraltı güç kabloları tasarlanan bilgisayar simülasyon programı ile analiz edilmiştir. İncelenen kabloların analizi için IEC 60287'de

belirlenmiş olan standartlar kullanılmıştır. Tasarlanan program MATLAB tabanlı olup kabloların farklı tesislerde farklı şartlarda işletimini ve kabloların ısı analizleri yapılabilmektedir. Tasarlanan program için örnek olarak seçilen 10 kV'lık bakır güç kablosu kullanım parametreleri ve kullanım ortamı değerleri girilerek kararlı dırım analizleri yapılmıştır. Bu analiz çerçevesinde ortam sıcaklığının akım taşıma kapasitesine etkisi de incelenmiştir. Ayrıca iletken çapı, frekans, iletkenler arası mesafe, gömülme derinliği, toprak ısı direncinin değişimlerinin akım taşıma kapasiteleri üzerindeki değişimleri de tek tek incelenmiştir. (Biçen 2006)



3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1 Otomotive Kullanılan Kablolama ve Kablo Demetleri

Yıllardan bu yana araçlarda meydana gelen ihtiyaçlardan dolayı bir çok yeni fonksiyon eklenmiştir. Buda beraberinde araç içinde kullanılan kabloların sayısının artmasına neden olmaktadır. Son yıllarda müşterilen ihtiyaçları doğrultusunda çevreye uyumlu yüksek gerilim kablo demetlerine sahip elektrikli araç ve hibrit araç teknolojileri gelişmiştir ve yakıt tüketimindeki verim artırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda hem müşterilerin ihtiyaçlarına cevap vermek hemde araçlar için ağırlıktan tasarruf edilecek sistemler ele alınmıştır. Geleneksel araçlarda kullanılan ortalama kablo ağırlığı 30 kg bulurken, ağırlık tasarrufu yapılarak geliştirilmiş araçlarda bu ağırlık %30' a kadar azaltılmaktadır. (Williams 2007)

Kablolar genellikle araçlarda demet halinde ve PVC ile izole edilmiş şekilde kullanılır. Bakır $1.7 \times 10^{-8} \Omega m$ gibi düşük dirence sahip olmasının yanısıra sünek ve esnekliğide kullanım açısından tercih edilebilirliğini arttırmaktadır. Elektrik kabloları için polipropilen veya PVC izolasyon malzemesi kullanılmaktadır. Bunun sebebi $10^{15} \Omega m$ seviyesindeki yüksek direncinin yanısıra, petrol, yağ ve diğer kirletici maddelere karşıda yüksek direnç göstermeleridir.

Kablo ölçüleri kullanıcı tarafından belirlenen akım kapasitesine göre değişkenlik gösterir. Gerilim düşmeside kablo boyutu seçiminde bir diğer parametredir. Büyük çaplı kabloların seçimi bu oranda ağırlık artışına neden olur. Bu nedenle gerilim düşümü ve maksimum kablo çapı arasındaki ilişki tespit edilmelidir. Çizelge 3.1'de bazı devreler için gerilim düşümleri gösterilmiştir. Genellikle devre içerisindeki bileşenlerin besleme gerilimleri sistemin genel besleme geriliminin %90 'ından daha az olmamalıdır.

Çizelge 3.1. Geleneksel araçlardaki kablolardaki gerilim düşümü (Denton 2004)

Devre (12V)	Yük	Kabloda gerilim düşümü (V)	Tüm gerilim düşümü (V)
Işıklandırma devresi	< 15W	0.1	0.6
Işıklandırma devresi	>15W	0.3	0.6

Çizelge 3.1. Geleneksel araçlardaki kablolardaki gerilim düşümü(devam)

Devre (12V)	Yük	Kabloda gerilim düşümü (V)	Tüm gerilim düşümü (V)
Şarj devresi	Nominal	0.5	0.5
Ateşleme devresi	Maksimum 20C'de	0.5	0.5
Ateşleme bobini	Pull-in	1.5	1.9
Diğer devreler	Nominal	0.5	1.5

Kablolar üzerindeki gerilim düşümü formül olarak ifade etmek gerekirse;

$$\text{Hesaplanan akım : } I = P / V_s \quad (3.1)$$

$$\text{Gerilim düşümü : } V_d = I \rho (l/A) \quad (3.2)$$

I akım değeri(A), P bileşen üzerindeki güç değeri (W), V_d gerilim düşümü (v),

ρ bakır öz direnci (Ω), l kablo uzunluğu(m), A kablo kesiti (m^2)

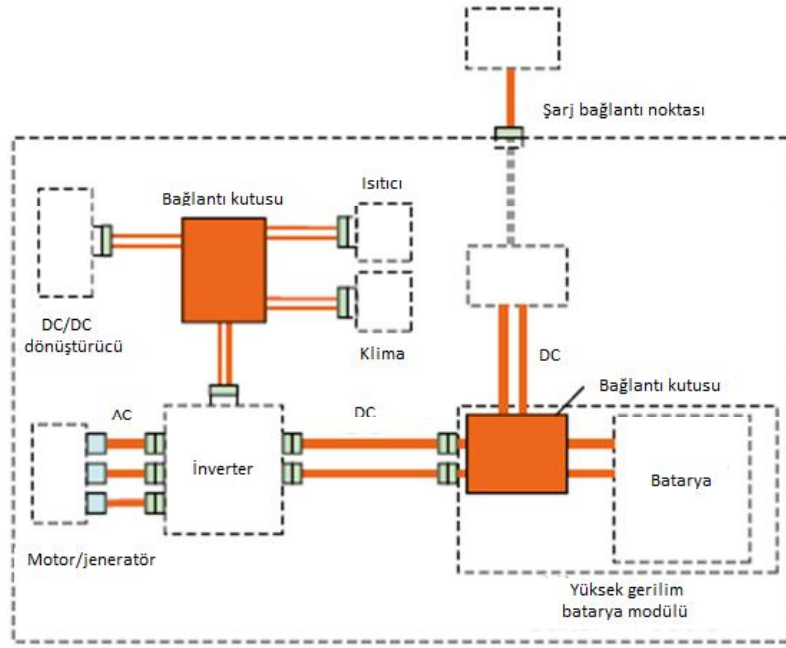
Formül dahada düzenlenirse kablo kesiti şu şekilde hesaplanır;

$$A = I \rho l / V_d \quad (3.3)$$

Kablo tipleri çok telli, yüksek esnekliğe sahip olmak üzere ve kullanım yerleri dikkate alındığında standartlar çerçevesinde ele alındığında örnek olarak bazı kullanım alanları çizelge 3.2'de görülmektedir.(Denton 2004)

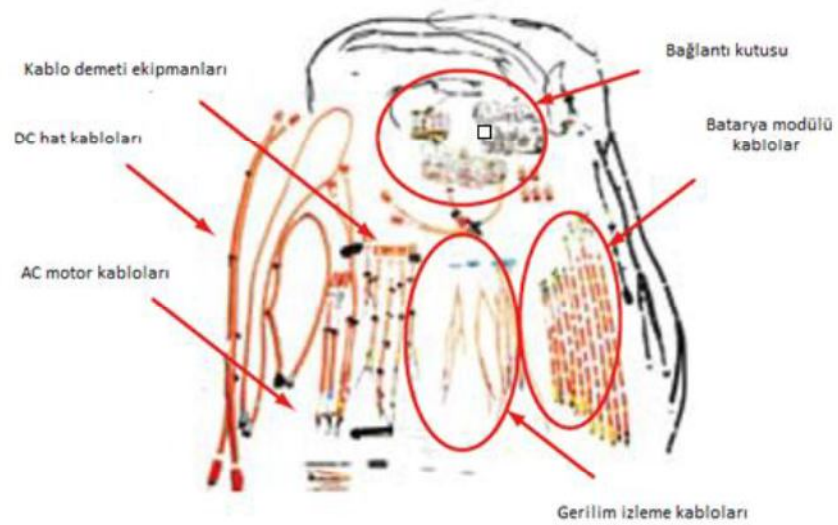
Çizelge 3.2. Kablolar ve bazı uygulama alanları (Oba 2013)

Kesit alanı(mm^2)	Sürekli akım oranı(A)	Örnek uygulamalar
0.6	5.75	Yan ışıklandırma
0.7	6	Saat, radyo
1	8.75	Ateşleme
2	17.5	Farlar
3.1	27.5	Farlar
4.6	35	Ana besleme
5.9	45	Ana besleme
6.9	50	Şarj kabloları
8.5	60	Şarj kabloları
39	700	İlk çalıştırma



Şekil 3.1. Sistem taslağı (Oba 2013)

1990'lı yıllardan itibaren araç üreticileri piyasaya yeni tür araçlar sürmek için çalışmaktadır. Bunlardan biriside çevre dostu karbon salınımı direk olarak olmayan elektrikli araçlardır. Yüksek gerilimli kablo demeti tasarımı şekil 3.1 'deki araç şemasına uygun olarak şekil 3.2'de görüldüğü gibi geleneksel 12V'luk sistemden farklıdır.



Şekil 3.2. Kablo demeti elemanları (Oba 2013)

Ağırlık tasarrufu ve araç kablolarının inceltilmesi yönündeki çalışmalar mekanizma içerisindeki izolasyonun inceltilip iletkenin dairesel biçimde sıkıştırılmasıyla başarıya ulaştırılmıştır. Örnek vermek gerekirse piyasadaki tasarlanmış üç farklı tip kablo şu şekilde sıralanır. İlki alüminyum alaşımlı otomotiv kablosu, bu kabloda yüksek mekanik dayanım ve yüksek iletkenliğe sahiptir. İkincisi bakır kaplı alüminyum otomotiv kablosu, bu kablo batarya gibi kalın kablo ihtiyacı olan yerlerde kullanılır. Üçüncü olarakta yüksek mekanik dayanıma sahip ilk tip kablonun dörtte biri yoğunluğunda sinyal hatlarında kullanılan kablodur. Üç kablo ağırlık ve kablo boyutu olarak karşılaştırılması çizelge 3.3’de görülmektedir.

Çizelge 3.3. Üç farklı kablo tipinin kıyaslanması (Oba 2013)

Güncel kablo kesiti mm²	Geliştirilmiş kablo kesiti mm²	Uygun kablo malzemesi	Faydası
0.13	0.08	Yüksek mukavemetli kablo	Yüksek mukavemet/yüksek iletkenlik
0.5 ~ 2	0.75 ~ 2.5	Alüminyum kablo	Düşük yoğunluk/yüksek mukavemet
3 ve üzeri	5 ~ 100	Bakır- alüminyum kablo	Düşük yoğunluk/yüksek iletkenlik yüksek iletkenlik

Alüminyum alaşımlı kablolar genellikle 2.5 mm²’den küçük kesite sahip kabloya ihtiyaç duyan devrelerde kullanılır. Malzeme karakteristiklerine bakıldığında 140 Mpa gerilmeye dayanıklı, %10 boyca uzayabilen, %58 ve üzeri iletkenliğe sahip bir yapısı vardır. Bakır kaplı düşük ağırlıklı alüminyum kablo kesit alanı 2.5 mm² üzerinde ihtiyaç olan devrelerde kullanılır. Bakır - alüminyum kablolarında karakteristik olarak yüksek iletkenlik ve saf alüminyum kabloya göre ağırlık-iletkenlik oranı yüksetir. Ayrıca saf alüminyum kabloda 0.18 mm iletken çapının sağlanması üretim açısından oldukça zordur. Ayrıca bakır kaplı alüminyum kablo kalın olmasına karşın hafiftir ve aynı zamanda esnektir, buda güvenilirliğini arttırmaktadır.

Bakır iletkenler otomotiv kablo demetleri için ana malzemelerdir. Yakın gelecekte alüminyum alaşım ve bakır-alüminyum kablolar ihtiyaçlar doğrultusunda araçlardaki yakıt tüketim verimliliğini arttırmak için kablo demetlerindeki ağırlığı azaltacak yönde

ana malzeme kapsamına girecektir. Ağırlığın bu yöntemler ile azalmakta günümüzde 30 kg civarında olan kablo ağırlığının %30 un üzerinde azaltılması yönünde çalışmalar devam etmektedir. (Oba 2013)

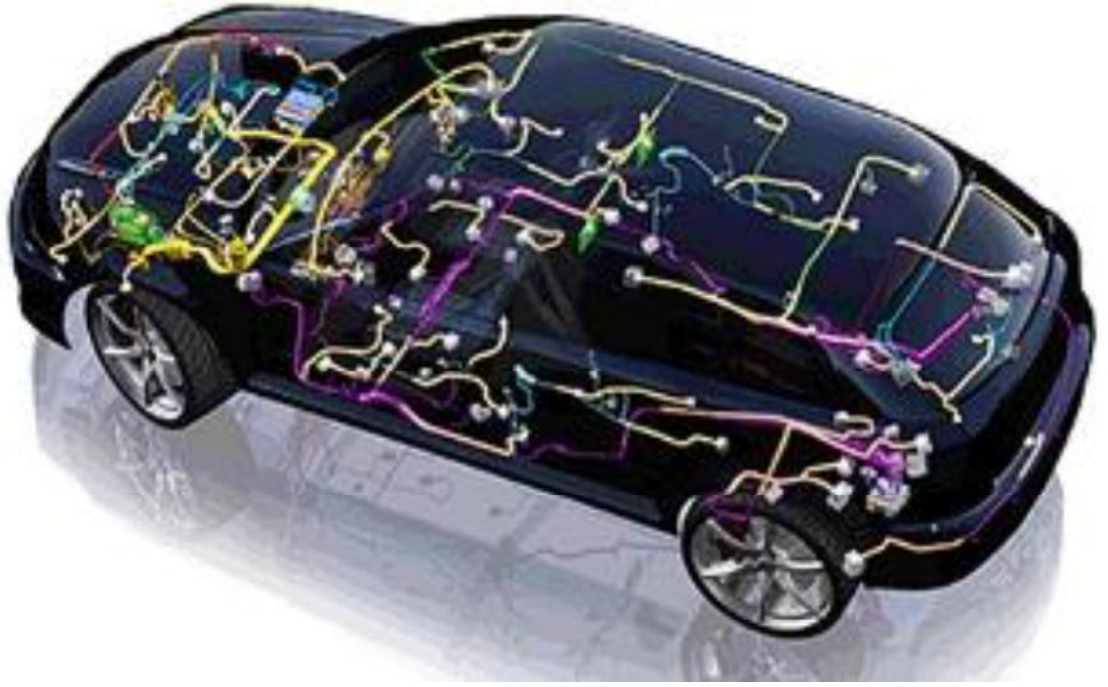
Araç kablo demetindeki tasarımı, bir kaç kablodan 1000 üzerinde farklı kabloyu bulacak şekilde uzun yıllardır gelişmektedir. sağlamaktır. Genelleme yapmak gerekirse araç içerisindeki kablolar fiziksel olarak şöyle ifade edilebilir:

Toplam araç içindeki uzunluk : 1.7 – 2 .8 km

Toplam kablo sayısı: 1100- 1900

Toplam bağlantı noktası: 1800 -2500

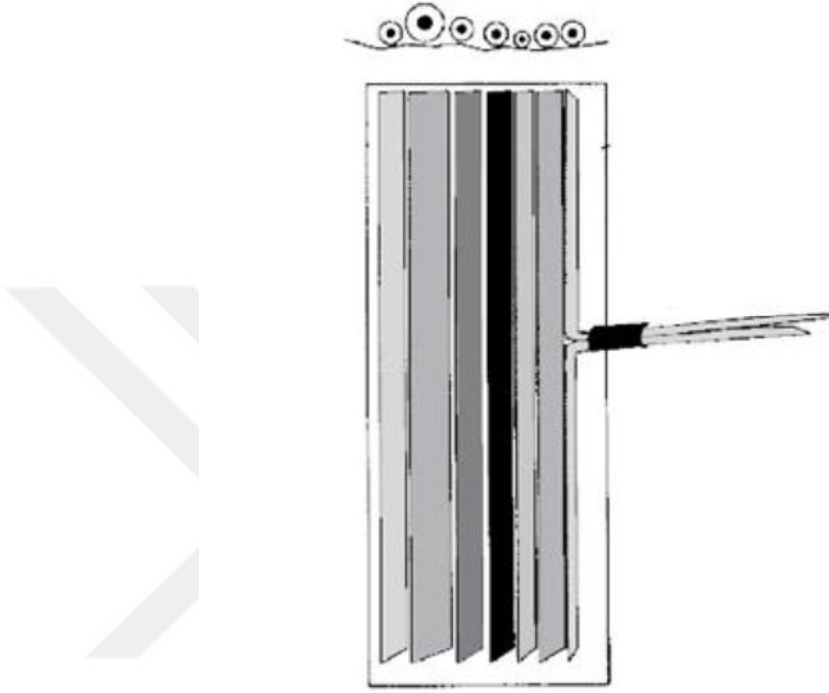
Yığın başına kablo sayısı: 200'e kadar



Şekil 3.3. Araç içersine PVC kaplı kabloların genel yapısı

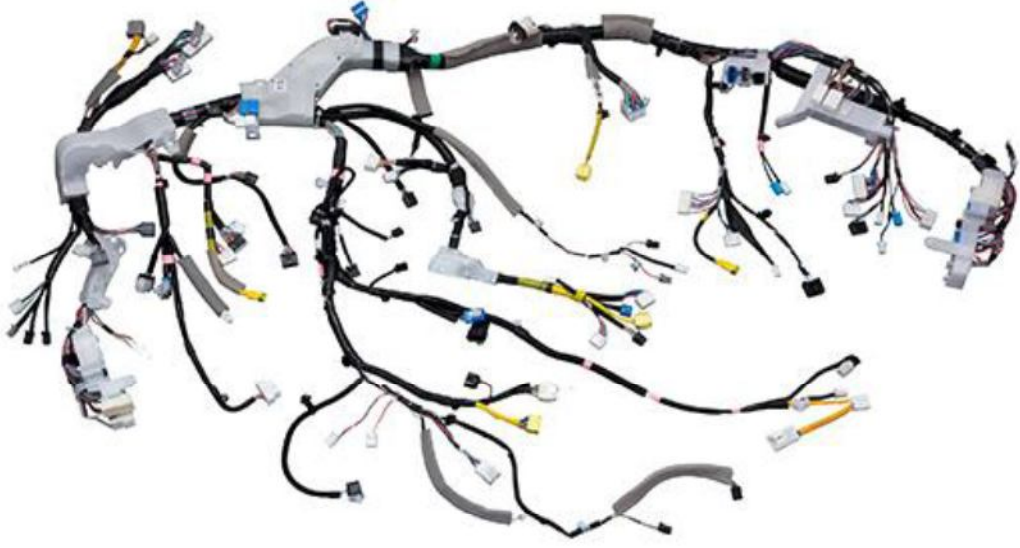
Günümüz araçlarında kablo demetleri bir kaç farklı metodlar oluşturulmaktadır. En popüler olan teknik, kablolar bir araya getirilerek yapışkan olmayan PVC bant ile örgülü olarak bir araya getirilir. Bantın yapışkan olmamasının nedeni ise demet halindeki kabloların esnekliğinin korunmasıdır.

Kablolamada kullanılan bir teknikte, şekil 3.4’de görüldüğü gibi kablolar yan yana yerleştirilerek plastik kaynak ile bir arada tutulması sağlanır. Bu yöntem ile araç içi döşeme altı gibi yerlerde bulunan kablo kanallarında kabloların yan yana montajı için kullanılır.



Şekil 3.4. Yan yana yerleştirilerek plastik kaynağa sahip kablolar (Denton 2004)

Farklı bir kablo gruplama tekniği olarakda şekil 3.5’de görüldüğü gibi PVC tüpü içerisine kablolar yerleştirilir. Bu tekniğin avantajı olarak, dış kılıf serttir ve PVC tüpü uygun şekilde kablolar etrafına kaplanarak su geçirmezlik özelliğide kazandırılır.



Şekil 3.5. Araç içerisinde bulunan kablo demetleri

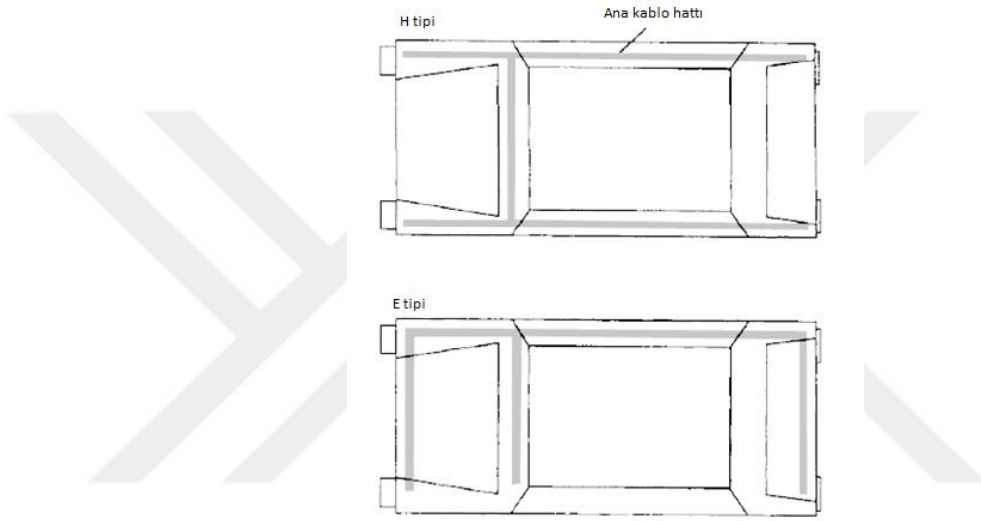
Araç içerisinde kablo kanalları planlanırken bir çok durum göz önünde bulundurulmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekildedir;

- Kablolar mümkün olduğunca kısa olmalıdır,
- Fiziksel darbelere karşı kablo kanalları dayanıklı olmalıdır,
- Kablo bağlantı sayısı olabildiğince az tutulmalıdır,
- Modüler tasarım uygun olabilir,
- Kazada hasar olabilecek bölümler düşünülmelidir,
- Üretim hattı tekniği düşünülmelidir,
- Bakım amaçlı ana bileşene ve alt bileşenlere ulaşım kolay olmalıdır.

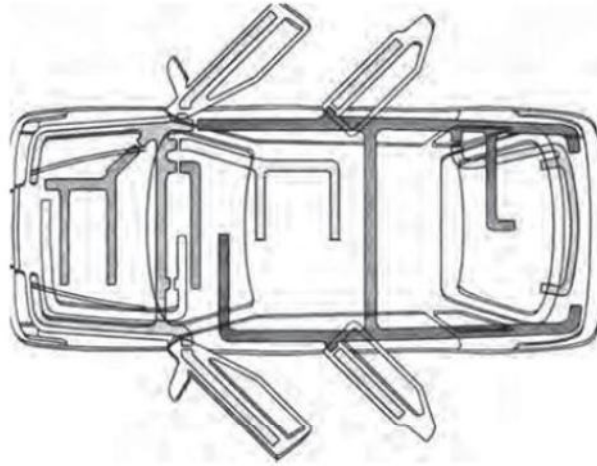
Kablolama sistemi tasarlanırken yukarıda verilenlerin yanısıra tüm araç içindeki bileşenlere ulaşılacak şekilde ilk montaj için ve satış sonrası servis, market gibi işlemlerin kolaylıkla gerçekleşmesi gerekmektedir. Bununla birlikte araç içi bileşenlere giden kablolarda çok uçlu olması avantajdır. Çünkü, kablo kanalları geniştir ve çoğunlukla alt bileşenlerin kontrol edilebilmesi açısından modüller ayrılabilir şekildedir. Kablo kanalları bu yüzden çok sayıda bağlantı noktasına sahiptir. Bağlantı noktasının çok olmasının avantajı, hasar anında kablo kanalının münferit olarak değiştirilebilir olmasıdır. Kabloların mümkün olduğunca kısa tutulması ayrıca gerilim düşme probleminide azaltır. İnce kablo kullanılarak kablo demetinin ağırlığı azaltılmasıda oldukça önemli bir konudur.

Bir araçta genel kablo kanalı düzeni iki farklı yerleşim şekilde bulunur. Bunlar şekil 3.6’da görüldüğü gibi E ve H şeklindedir. ‘H’ tipi en yaygın kullanılan yerleşim biçimidir. İki ana hat arasında bir yada iki tane ana bağlantı noktası vardır. Bu noktalar arasında oluşan normda genellikle sigorta kutusu ve röle plakası mevcuttur.

Şekil 3.7’de kablo demeti yerleşim düzenini taslak olarak göstermektedir. Ayrıca bu şekil, yerleşimin karmaşıklığını ve araç içerisindeki kabloların kaç farklı ana bağlantı noktasına sahip olduğunu taslak olarak göstermektedir. (Denton 2004)



Şekil 3.6. E ve H tipi araç içi kablo yerleşim taslağı

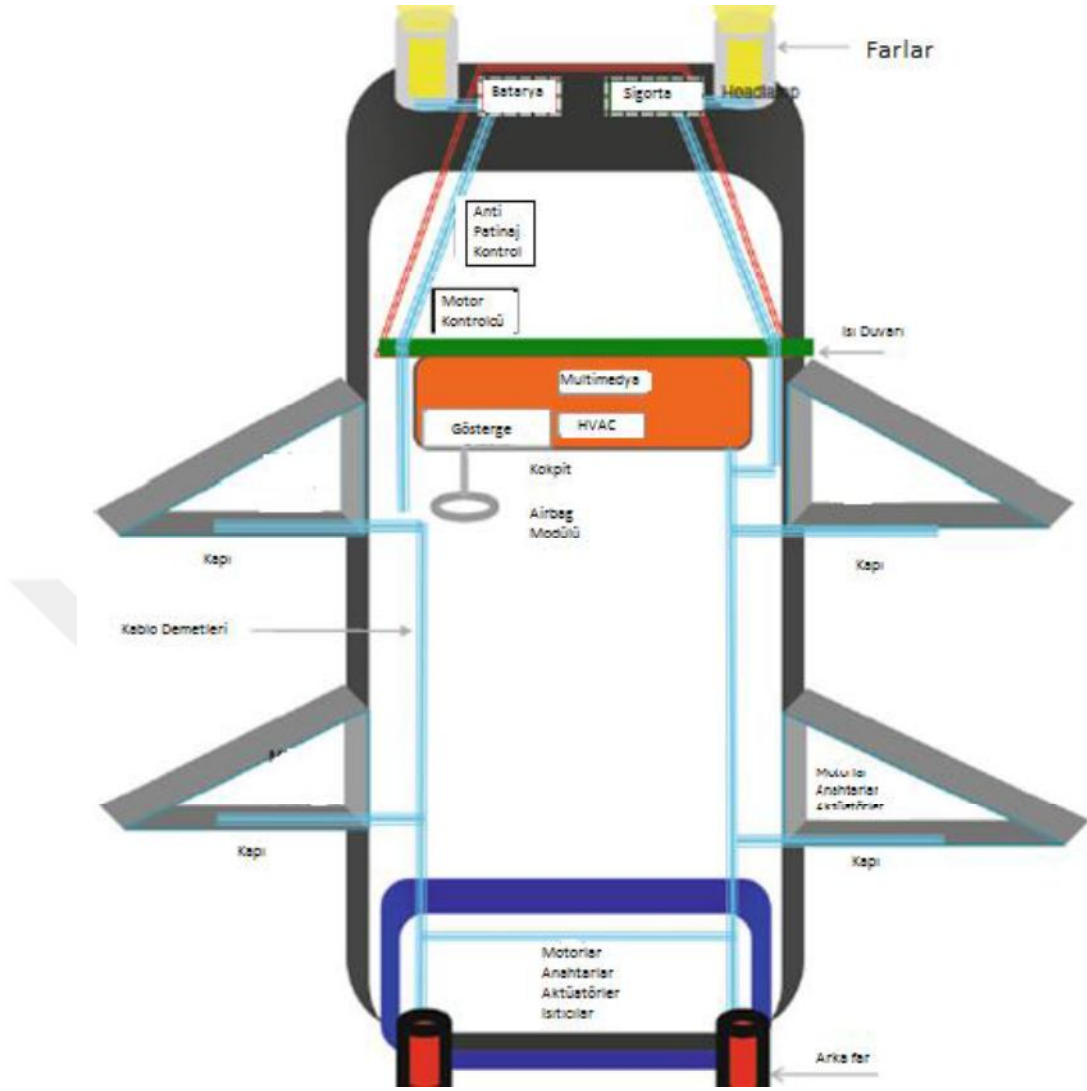


Şekil 3.7. Geleneksel araç içi kablolama yapısı

Modüller arasındaki elektrik sinyalleri kablo demetleri ile aktarılır. Kablolamanın tamamlanması için yardımcı eleman olan konnektörler, elektronik kontrol modülünün araç içerisindeki diğer elektronik bileşenlerle bağlantısını sağlar. Bu bileşenler sensörler, aktüatörler, selenoidler, lambalar, batarya, sigortalar ve anahtarlar olmakla birlikte sadece bunlarla sınırlı değildir. Ara bağlantı konnektörleri modül, bileşen ve bağlantı gereken noktaların montajı ve çıkarılması kolay olacak şekilde seçilir. Bunun yanı sıra bakımı, tamiri, aksaklıkları ve problemliliğin değişiminde yardımcı olur. Kablo demetleri ve kablolama ölçüleri, kesitleri ve kablo yerleşimi ilgilenilen alan tarafından yönetilecek şekilde özel olarak tasarlanır. Genel yerleşim, şekiller ve kabloların çiftleştirme konnektörleri, aracın ölçülerine, araç içerisinde bulunan modüllere, muhtemel yerleşim şemasına bağlı olarak değişir. Kablo demetleri önceden geliştirilip, test edilip, güvenilirliği ve kullanılabilirliği teyit edilmelidir. Daha önceki araç prototip tasarımı evresinde kablo demetleri araç içerisine yerleştirilip gövdeye bağlantısı yapılmasının ardından fonksiyonlarının doğruluğu için test edilip teyit edilmektedir.

Her bileşene bağlanacak konnektörler yanlış bağlantı eşleşmesinden kaçınmak için dikkatli tasarlanıp seçilmelidir. Aracın üretim işlemi esnasında insan kaynaklı sorunlar meydana gelebilir. Olası yanlışlıklardan kaçınmak için konnektör anahtar şeması her aşamada kullanılır. Konnektör anahtar şeması doğru bağlantı olasılığını artırır ve hataları en aza indirir. Hatalı çiftleşme bağlantısı sisteme tamamen zarar verir yada araç elektronik sistemi içerisinde fonksiyon bozukluklarına yol açar.

Araç içerisindeki kablo montajı, modüller ve elektronik cihazlar şekil 3.8’de araç içerisinde gösterilmektedir. Araç kapısında bulunan elektronik bileşenler bir yada bir kaç noktadan konnektör ile araç kablo sistemine eşleşecek şekilde bağlanması tercih edilir. Benzer olarak kokpitteki kablo demetleri araç içerisindeki diğer kablo demetleriyle eşleştirilmiş şekilde bağlıdır. Fakat kokpit içerisindeki bağlantı ayrı olarak gerçekleştirilir. Kokpit kablolaması birçok elektronik cihazı kapsar. Örneğin, torpido gözü lambası ve anahtarları, hava yastığı ateşleme modülü, radyo ve multimedya kontrolü kokpit içindeki bir kaç elektronik bileşendir.



Şekil 3.8. Araç içerisinde yerleşimin mantıksal gösterimi (Oba 2013)

Araç içi kablolar ve yerleşimi diyagramlarına bakıldığında düz ve sade gibi gözüksede oldukça karmaşıktır. Bu sebeple tasarım iyi şekilde planlanıp gerçekleştirilir. Kablo demetlerinin uzunlukları, yerleşimi, demetlerin güvenli birleşimi, tasarımı ve her elektrik birleşim noktasının testi araç içine tüm bu sistemin yerleştirilmesinden önce otomotiv disiplini çerçevesinde gerçekleştirilir. Araç içerisindeki kablo demetleri ve konnektörlerin tüm ağırlığı ve maliyetleri araçların elektronik sistemi mimarisinde güvenilirlik ve sağlamlığı açısından önemli yere sahiptir.

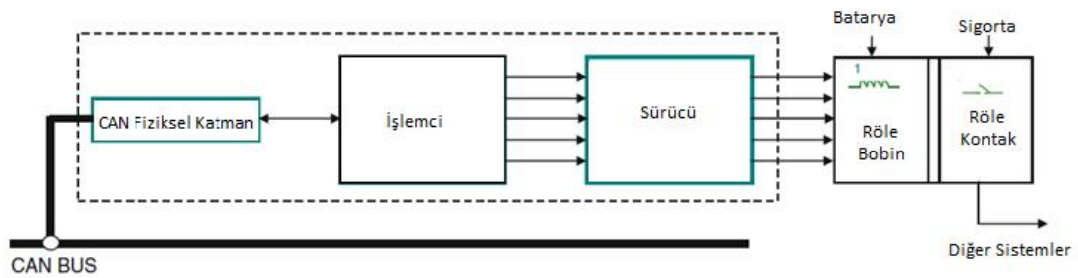
Bir ilginç konuda araç içine yerleştirilmiş modüllerin yerleri, kablolar, konnektörler, fonksiyonlar ve pin atamaları üreticiden üreticiye göre değişmektedir. Hatta bazen

benzer araç tipleri için farklı özelliğe ve fonksiyonlardan dolayı da bu parametreler farklılık göstermektedir.

Araç kabloları, konnektörleri ve çiftleştirme pinleri sert çevre koşullarına, titreşim, ısı, toz, kar, tuz, kimyasallar, su girişi, yağ, sıcaklık değişimi, termal genişleme, aşırı çekme kuvveti gibi etmenlere karşı yeterince dayanıklı olmalıdır. Kablo ve kablo demeti geliştirilmesi ana otomotiv firmaları tarafından yapılmaz. Genellikle yan sanayi üzerinden bu sistem geliştirilmesi ve testi yapılır ardından ana sanayi kendi araçlarına bu ürünleri OEM olarak doğrulattırır.

Araçlar içerisinde güç dağıtım modülü bulunur. Bu modül röleler, sigortalar ve elektronik anahtarlarla dolu işlemci tarafından kontrol edilen bölümdür. Röleler uygulama modüllerini kontrol etmek için kullanılan birimlerdir, fakat güç dağıtım modülü içerisinde sigorta ve röle kutusunda bulunur. Mikroişlemci ve gömülü yazılım ile bu sistem boyunca istenilen kontrol sağlanır. Uygun komutlar oluşturulan ağ üzerinde CAN haberleşme sistemi ile aktarılır. CAN sistemi ilgili komutu göndererek rölelerin açkını yoksa kapalı şekilde duracağı iletilir.

Sigortalarda güç dağıtım modülü ile beslenen araç sistemine entegre edilmiştir. Bu sistemin giriş arayüzü CAN ile sağlanır. Bununla birlikte sistemde birçok çıkış mevcuttur. Şekil 3.9’de basit olarak blok diyagramda gösterilmiştir. (Oba 2013)



Şekil 3.9. Güç dağıtım modülü blok diyagramı (Denton 2004)

Araç içerisinde kullanılan rölelerin adlandırılması çizelge 3.4’de listelenmiştir. Bu röleler genellikle motor kontrol bilgisayarı yada gövde kontrol modülü tarafından kontrol edilir. Akıllı güç dağıtım modülünün fonksiyonlarının işlevselliğinin kontrolü yine bu sistem tarafından otomatik olarak yerine getirilir. (Najamuz 2015)

Çizelge 3.4. Farklı araç sistemlerinde kullanılan röle kontrolleri (Najamuz 2015)

<i>CAN Kontrollü Röle Bobinleri</i>	
AC röle	Gaz kontrol röle
ECM röle	Soğutma fanı röle
Havalandırma fanı röle	Sağ yan farlar röle
Arka ışık röle	Sol yan farlar röle
Ön silecek	Arka far röle

3.2 Araç İçerisindeki Elektriksel Yükler ve Kabloların Yerleşimi

Araç içi yükler düşünüldüğünde iki çeşit yük tipi vardır; sürekli ve aralıklı yüklerdir. Batarya ve sarj sistemi çeşitli çalışma koşullarında bu yüklerle başa çıkmalıdır. Çeşitli araçlar için tipik elektrik tüketimi çizelge 3.5’ de gösterilmiştir.

Yıllara oranla incelendiğinde akım gereksinimi yıllar geçtikçe artmıştır ve gelecekte de dahada artacağı tahmin edilmektedir. Sürekli artan güvenlik ve konfor özellikleri, üst klasman araçlarda yüzlerceyi bulan farklı elektrik ve elektronik elemanında beraberinde getirmektedir. Elektrikle harekete geçirilen cihazların yalnızca mekanik cihazlarla karşılaştırıldığında avantajları şöyledir;

- Hızlı cevap süreleri,
- Çalışmadığı sürece güç tüketimi olmaz,
- Hız ve tork açısından oldukça esnektir,
- Yüksek verimliliğe sahiptir,

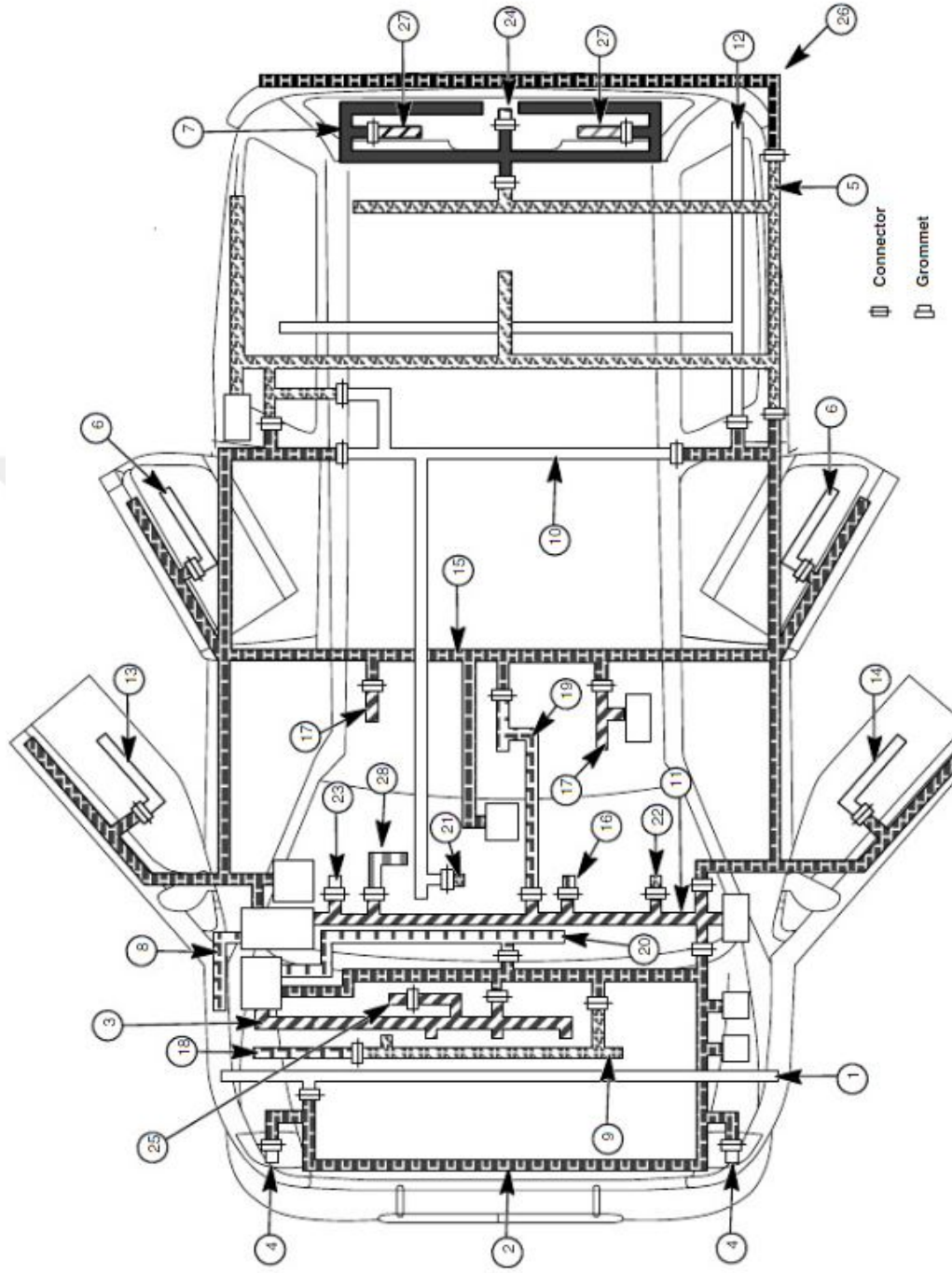
Bu avantajlar incelendiğinde hızlı ve yaygın bir biçimde mekanik iticilerin yerlerini elektrikli iticiler almıştır. Modern araçlardaki elektrifikasyonun artması ile elektrik güç talebi artmıştır ve ortalama 2 kW’ dan fazla bir ihtiyaç ortaya çıkmıştır.

Elektrikli yüklerin fazla oluşu araç içerisindeki tüm elemanların elektriksel güç veriminin önemini işaret etmektedir. Şekil 3.5’de araç içinde kabloların yerleşimi ve hangi amaçla kullanıldığı görülmektedir. Araç içerisindeki kabloların kesiti kullanım amacına göre farklılık göstermektedir. Buda farklı kablo tipleri ihtiyacını doğurmaktadır. Yüksek akım ve gerilimli yerlerde iletken kesiti büyükken sensör data ve haberleşme kabloları genelde daha incedir. Çizelge 3.6’da kullanım amaçları ve yükün çekeceği maksimum akımlar görülmektedir. (Anonim 2010)

Çizelge 3.5. Binek araçda bulunan sigorta kutusu ve izin verilen maksimum akımlar (Anonim 2010)

Akım	Kullanıldığı yer	Akım	Kullanıldığı yer
10A	Dış aydınlatma	10A	Koltuk ısıtması, açılır tavan camı, dış aydınlatma, klima, gösterge paneli, aktarma organları, elektrikli camlar
10A	Dış aydınlatma	10A	Dış aydınlatma
20A	Gösterge paneli	25A	Çok fonksiyonlu kontrol birimi, merkezi kilit, aynalar, iç aydınlatma, klima
20A	Açılır tavan camı	7.5A	Dış aydınlatma
20A	Gösterge aydınlatma, gösterge paneli dış, iç aydınlatma, aynalar, merkezi kilitleme	15A	Dış aydınlatma
7.5A	Aynalar ve elektrikli camlar	10A	Aktarma organları
10A	Klima sistemi	7.5A	El freni
10A	Telefon	25A	Merkezi kilit
10A	Dış aydınlatma	15A	Silecek ve yıkama
10A	Hız kontrol, ısıtma/havalandırma, alarm	15A	Gösterge paneli
15A	Silecek ve yıkama	10A	İç aydınlatma ve aynalar
20A	Dış aydınlatma	20A	Çakmak, merkezi kilit, elektrikli camlar
15A	Dış aydınlatma	10A	Navigasyon, ses
25A	Elektrikli camlar	10A	Dış aydınlatma
7.5A	Dış aydınlatma	20A	Koltuk ısıtması
7.5A	Dış aydınlatma	10A	Aynalar ve elektrikli camlar
20A	Gösterge aydınlatma, gösterge paneli dış, iç aydınlatma, aynalar, merkezi kilitleme	15A	Ses ve saat

Şekil 3.10’da gösterilen yerleşimi görülen kabloların kullanım amaçları ve adlandırılması çizelge 3.6’da açıklanmaktadır.



Şekil 3.10. Araç içerisindeki kabloların yerleşimi (Anonim 2010)

Çizelge 3.6. Araç içerisinde bulunan kablolar (Anonim 2010)

Sıra	Açıklama
1	Kablo demeti – Süspansiyon basınç gösterge anahtarı
2	Kablo demeti – Motor kontrol sensör
3	Kablo demeti – Motor bölümü
4	Kablo demeti – Farlar
5	Kablo demeti – Arka lamba bağlantıları
6	Kablo demeti – Kapı kilit beslemesi
7	Anahtar ve kablolama bağlantısı
8	Kablo demeti – Batarya çıkışı
9	Kablo demeti – Doğrultucu sistemi
10	Kablo demeti – İç aydınlatma
11	Kablo demeti – Ana DC hat
12	Kablo demeti – Arka lamba
13	Kablo demeti – Sağ ön kapı ve cam kontrolü
14	Kablo demeti – Sol ön kapı ve cam kontrolü
15	Kablo demeti – Gövde ana hat
16	Kablo demeti – Sigara çakmağı ve aydınlatması
17	Kablo demeti – Koltuk güç kısmı
18	Kablo demeti – Röle ve batarya toprağı
19	Kablo demeti – Gösterge paneli
20	Kablo demeti – Arka lamba anahtarı ve beslemesi
21	Kablo demeti – Tavan cam kontrol anahatarı
22	Kablo demeti – El freni anahtarı
23	Kablo demeti – Isıtıcı motor, ön
24	Kablo demeti – Plaka ışığı
25	Kablo demeti – Sıcaklık sensörü
26	Kablo demeti – Alarm
27	Kablo demeti –Yan ışıklandırma
28	Kablo demeti – Ayna ve ışıklandırma

3.3 Otomotivde Kullanılan Kabloların Sınıflandırılması

Araçlar insan hayatının değışilmez parçasıdır ve dünya üzerinde insan faktörünün olduğu her noktada otomobil çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Dünya üzerinde araçların kullanıldığı bölgelerde mevsimsel ve coğrafi olarak sıcaklık farklılıkları görülmektedir. Dünya üzerinde ölçülen en yüksek sıcaklık 56,7 °C iken ortalama en yüksek sıcaklık 34,4 °C ‘dır. En düşük ölçülen sıcaklık ise -89,2 °C iken ortalama en düşük sıcaklık -56,7 °C ‘dir. (Anonim 2016)

Bakır kablolar sıcaklık açısından sınıflandırıldığında sekiz farklı sınıf çizelge 3.7’de görüldüğü gibi oluşmaktadır.

Çizelge 3.7. Sıcaklık sınıflandırma aralığı (ISO 6722 2011)

Sınıf	Sıcaklık
A	-40 °C / +85 °C aralığı
B	-40 °C / +100 °C aralığı
C	-40 °C / +125 °C aralığı
D	-40 °C / +150 °C aralığı
E	-40 °C / +175 °C aralığı
F	-40 °C / +200 °C aralığı
G	-40 °C / +225 °C aralığı
H	-40 °C / +250 °C aralığı

İletken cinsinden ele alındığında sadece bakır yada bakır ile kaplanmış alaşımdan oluşmaktadır. İletken kesiti 0.5 mm^2 ’den büyük kablolar yumuşak tavllanmış bakır yada tavlansız sıkıştırılmış bakırdan oluşur. Kesit alanı 0.5 mm^2 ’den küçük kablolarda yumuşak tavlmalı bakır, yumuşak tavlansız sıkıştırılmış bakır, sert tavlansız bakır yada bakır alaşımından imal edilir.

Çizelge 3.8. İletken teknik özellikleri (ISO 6722 2011)

ASTM B1	Sert çekilmiş bakır tel
ASTM B3 yada EN 13602	Yumuşak yada tavlansız bakır tel
ASTM B33 yada EN 13602	Kalay kaplı yada tavlansız bakır tel
ASTM B298	Gümüş kaplı yada tavlansız bakır tel
ASTM B355	Nikel kaplı yada tavlansız bakır tel

Üretilen tamamlanan kablolar bir takım testlerden geçmesi gerekmektedir. Çizelge 3.9’da kabloların hangi testlerin ne aşamada yapılacağı gösterilmektedir.

Çizelge 3.9’da belirtilen test türleri kablo üzerinde uygulanacağı zaman, test yapılacak ürün için özel bir test gereksinimi gerekmiyorsa normal şartlarda 16 saat, oda sıcaklığında (23 ± 5) °C sıcaklıkta ve %45-%75 nem düzeyine sahip ortamda 1 m’lik

örneklere test yapılmalıdır. AC uygulanarak yapılacak kablolardaki normal şartlar için gerekli frekans 50-60 Hz'dir. Daha yüksek frekanslı testlerde özel test ortamına ihtiyaç duyulur.

İletken kablonun üzerinde bulunan yalıtkan malzeme genellikle PVC olup minimum ve maksimum et kalınlıkları, kalın izolasyon, ince izolasyon ve ultra ince izolasyon yapıldığında oluşan toplam kablo çapı ölçüleri çizelge 3.10'da gösterilmektedir.

İletken kısmın direnci kabloların kullanımındaki bir diğer önemli parametredir. Yapılacak bir diğer test standarı ile kablonun direnci teorik olarak hesaplanıp belirlenen değerin aşmaması amaçlanmaktadır.

Çizelge 3.9. Kabloları uygulanan testler (ISO 6722 2011)

<i>Test Tanımı</i>	<i>Başlangıçta</i>	<i>Periyodik</i>
Dış kablo çapı	x	x
İzolasyon kalınlığı	x	x
İletken çapı	-	-
İletken direnci	x	x
Test gerilimi	x	x
İzolasyon kaçığı	-	x
İzolasyon hacim direnci	x	-
Yüksek sıcaklıkta basınç testi	x	x
Gerilme testi	-	-
Uzun süreli ısı yaşlandırması 3000 saat	x	-
Kısa süreli ısı yaşlandırması 240 saat	x	x
Aşırı ısı yüklenme	-	x
Sıcak su direnci	x	x
Alev yayılma direnci	-	x

Çizelge 3.10. ISO 6722 Standartına göre iletken kesitleri (ISO 6722 2011)

ISO iletken ölçüleri		Kalın İzolasyon		İnce İzolasyon		Ultra İnce İzolasyon	
Kesit mm ²	Çap mm	İzolasyon kalınlığı mm	Kablo dış çapı mm	İzolasyon kalınlığı mm	Kablo dış çapı mm	İzolasyon kalınlığı mm	Kablo dış çapı mm
0.13	0.55	-	-	0.25	1.05	0.2	0.95
0.22	0.7	-	-		1.2		1.05
0.35	0.9	-	-		1.4		1.2
0.5	1.1	0.6	2.3	0.28	1.6		1.4
0.75	1.3		2.5	0.3	1.9		1.6
1	1.5		2.7		2.1		1.75
1.25	1.7		2.95		2.3		2
1.5	1.8		3	0.35	2.4	0.25	2.1
2	2		3.3		2.8		2.4
2.5	2.2	0.7	3.6	0.4	3	-	2.7
3	2.4	0.8	4.1		3.4		-
4	2.8		4.4		3.7		-
5	3.1		4.9		4.2		-
6	3.4		5		4.3		-
8	4.3		5.9		5		-
10	4.5	1	6.5	0.6	6	-	-
12	5.4		7.4		6.5	-	-
16	5.8		8.3	0.65	7.2	-	-
20	6.9	1.1	9.1		7.8	-	-
25	7.2	1.3	10.4	0.8	8.7	-	-
30	8.3		10.9		9.6	-	-
35	8.5		11.6		10.4	-	-
40	9.6	1.4	12.4	0.9	11.1	-	-
50	10.5	1.5	13.5		12.2	-	-
60	11.6		14.6	1	13.3	-	-
70	12.5		15.5		14.4	-	-
95	14.8	1.6	18	1.1	16.7	-	-
120	16.5		19.7	-	-	-	-

1m'lik örnek üzerine yapılacak deneysel çalışma için denklem 3.4 kullanılarak ± 0.5 doğruluk payına sahip standart direnç değerleri belirlenir.

$$R_{20} = \frac{R_t}{L [1 + 0,00393 (t - 20)]} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'de bulunan,

R_{20} , 20 °C oda sıcaklığında doğrulanan referans iletken direncidir (mΩ/m),

R_t , iletken sıcaklığında ölçülen iletken direncidir (mΩ),

L, kablo boyudur m, t ise ölçüm zamanındaki iletken sıcaklığıdır (°C).

Kesitlere göre standartların hesapladığı saf bakır, Sn kaplı bakır ve Ni kaplı bakır kabloların öz dirençleri çizelge 3.11’de gösterilmektedir. (ISO 6722 2011)

Çizelge 3.11. ISO 6722 ‘e göre iletken kesitine göre bakır direnç değerleri (ISO 6722 2011)

ISO İletken Ölçüsü mm	Uzunluk Başına Maksimum İletken Direnci mΩ/m 20 °C		
	Bakır	Kalay kaplı bakır	Nikel kaplı bakır
0.13	136	140	142
0.22	84.4	86.5	87.9
0.35	54.4	55.5	56.8
0.5	37.1	38.2	38.6
0.75	24.7	25.4	25.7
1	18.5	19.1	19.3
1.25	14.9	15.9	16
1.5	12.7	13	13.2
2	9.42	9.69	9.82
2.5	7.6	7.82	7.92
3	6.15	6.36	6.41
4	4.71	4.85	4.91
5	3.94	4.02	4.11
6	3.14	3.23	3.27
8	2.38	2.52	2.6
10	1.82	1.85	1.9
12	1.52	1.6	1.66
16	1.16	1.18	1.21
20	0.955	0.999	1.03
30	0.647	0.684	0.706
35	0.527	0.538	0.549
40	0.473	0.5	0.516
50	0.368	0.375	0.383
60	0.315	0.333	0.344
95	0.196	0.2	0.204
120	0.153	0.156	0.159

3.4 Isı Transferi

Isı bir çeşit enerji olup bir sistemden diğer sisteme sıcaklık farkı sonucu olarak transfer edilir. Termodinamik analizler sistemin çalışma esnasında bir miktar ısıнын diğer sisteme aktararak dengelerin sağlanması üzerinde durur. Bilim ısı transferi gibi enerji aktarım oranı üzerine çalışmaktadır. Enerji transferi her zaman yüksek sıcaklıklı

ortamdan düşük sıcaklıklı ortama doğru olur ve bu iki ortam ne zaman eşit sıcaklığa ulaşırsa ısı transferi durur.

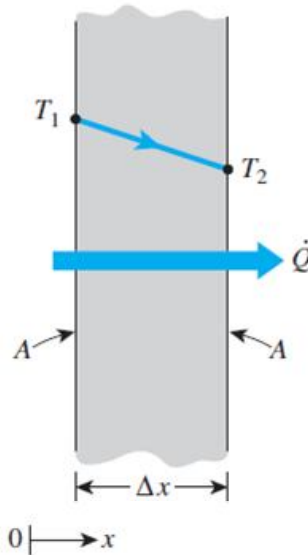
Isı transferi ortamlar arasında üç farklı şekilde aktarılır. Bunlar iletim, taşınım ve ışıdır. Tüm ısı transferi türleri için sıcaklık farkı olması gerekmektedir.

3.4.1 İletimle Isı Transferi

İletimle ısı transferi fazla enerjiye sahip kısımdaki enerji daha az enerjili komşu kısımla etkileşime girerek meydana gelir. İletim katı, sıvı ve gaz formlarda gerçekleşebilir. Gaz ve sıvı formdaki iletim moleküllerin rastgele hareketi esnasında meydana gelen çarpışma ve difüzyonu ile oluşur. Katılarda ise kafes yapısı içindeki moleküllerin titreşim kombinasyonu ve serbest elektron hareketi tarafından iletim gerçekleşir.

Isı iletim oranı, ortamlar arası sıcaklık farklarının yanısıra ortamın geometrisine, kalınlığa ve malzeme türüne bağlı olarak değişiklik gösterir. Kalın et kalınlığına sahip izolasyon ısı kaybını azaltır.

Kararlı halde düşünülen şekil 3.11’de görülen yüzeye alanı A , kalınlık $\Delta x = L$ ve yüzeyler arası sıcaklık farkları $\Delta T = T_2 - T_1$ ’dir.



Şekil 3.11. Duvar yüzeyinde meydana gelen ısı iletimi

Deneysel çalışmalarda düzlem boyunca sıcaklık farkı iki katına çıktığında ısı transferi $\dot{Q}$ 'de iki katına çıkmaktadır. Ancak yüzey kalınlığı L iki katına çıktığında ters orantılı olarak ısı transferide azalır.

$$\text{Isı transfer oranı} \sim \frac{\text{Yüzey sıcaklık farkı}}{\text{Kalınlık}},$$

Formüsel olarak ifade edildiğinde,

$$\dot{Q}_{\text{iletim}} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \text{ (W)} \quad (3.5)$$

Denkelemden bulunan $\dot{Q}_{\text{iletim}}$ iletimle olan ısı transferi, orantısal sabit olan k , malzemenin ısı iletim katsayısıdır. Isı iletim katsayısı malzemenin ısıyı iletebilme kabiliyetini gösterir. $\Delta x \rightarrow 0$ 'a gitmesi durumunda fark formu dahada kısalır.

$$\dot{Q}_{\text{iletim}} = kA \frac{dT}{dx} \text{ (W)} \quad (3.6)$$

Denklemin fourierin iletimle ısı transferi yasasını göstermektedir. dT/dx ifadesi sıcaklık gradyanıdır. T - x diyagramı içerisindeki sıcaklık değişim oranını ifade eder. Ayrıca verilen ilişkide iletimle ısı oranı verilen yönde orantısal olarak ısı gradyanı ile değiştiğini göstermektedir. Isı, ısının düştüğü yönde iletme geçer ve sıcaklık gradyanı sıcaklık düşüp x arttığında negatife düşer.

Farklı malzemeler farklı miktarda ısı depolar. Özgül ısı olan C_p malzemenin ısı enerjisi tutma kabiliyetini gösterir. Örneğin oda sıcaklığında su için $4.18 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ iken demir için $0.45 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ 'dir. Burada birim kütle başına su 10 kat daha fazla ısı tuttuğunu göstermektedir. Aksine termal iletkenlik olan k ise malzemenin ısı iletim kabiliyetidir. Örneğin, su için 0.607 W/mK iken demir için bu değer 80.2 W/mK 'dir. Isı iletkenliği birim ısı değişiminde, birim malzeme yüzey alanında, birim kalınlıktaki malzeme başına meydana gelen ısı transferi oranıdır. Isı iletim katsayısının büyük olması malzemenin çok iyi oranda iletken olduğunu gösterir. Çizelge 3.12'de oda sıcaklığında sıklıkla kullanılan malzemelerin ısı iletim katsayıları gösterilmektedir.

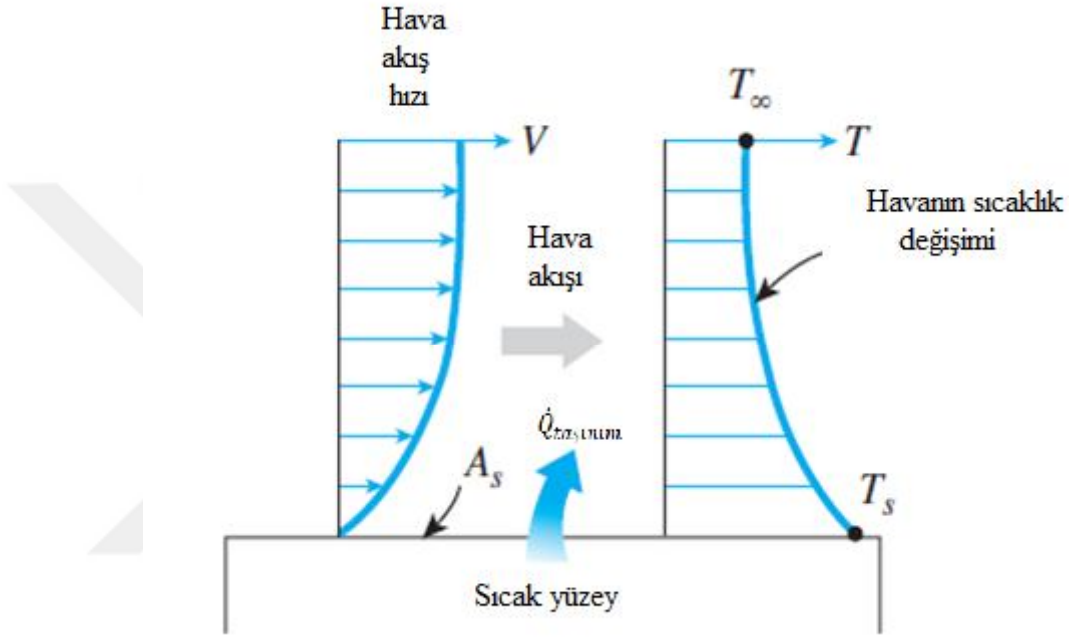
Çizelge 3.12. Malzemelere göre ısı iletim katsayıları

Malzeme	K (W/mK)
Gümüş	429
Bakır	401
Aluminyum	237
Demir	80.2
Cam	0.78
Tuğla	0.72
Su	0.607
Odun	0.17
Helyum	0.152
Yumuşak kauçuk	0.13
Cam fiber	0.043
Hava	0.026

3.4.2 Taşınım İle Isı Transferi

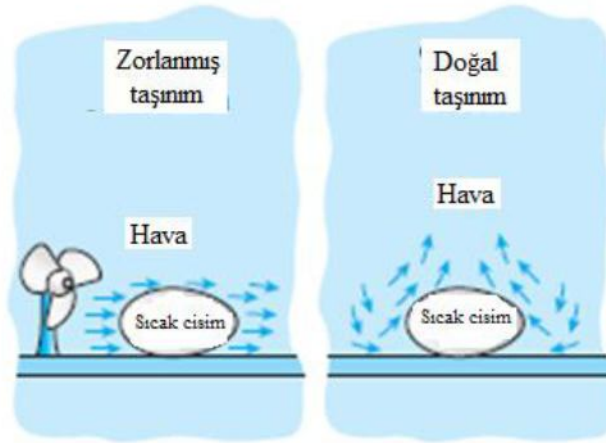
Taşınım, enerji transferinin katı yüzey ve komşu sıvı yada gaz bölge arasında meydana gelen enerji hareketidir ve iletim ve akışkan hareketinin birleşimi etkisini barındırır. Hızlı akış hareketi taşınım ile ısı transferini artırır. Herhangi toplu akışkan hareket yokluğunda, katı yüzey ve komşu akışkan arasındaki ısı transferi doğal taşınım tarafından olur. Yığın halindeki akışkanın varolan hareketi katı yüzey ve sıvı arasındaki ısı transferini artırır.

Şekil 3.12'deki gibi sıcak yüzeyi soğutmak için üflenene soğuk hava üst yüzeyde sıcaklık değişimine neden olur. Isı öncelikle hava katmanına yakın yüzeye iletimle geçmeye başlar. Ardından yüzeyden ısı taşınımıyla uzaklaşmaya başlar. Makroskobik yada yığın hava moleküllerinin rastgele hareketi yakın yüzey alandaki ısınmış havayı uzaklaştırıp yerine soğuk hava gelmesi ile meydana gelen etki tarafından bu ısı uzaklaşması meydana gelir.



Şekil 3.12. Sıcak yüzeyden havaya taşınımıyla ısı transferi

Taşınımında akışkan yüzey üzerinden fan, rüzgar yada pompa gibi etken ile belirli kuvvet uygulanarak geçiriliyorsa zorlanmış taşınım olarak adlandırılır. Aksine akışkan yüzey üzerinde sıcaklık farkından dolayı ve yoğunluk farkından dolayı şekil 3.13'deki gibi hareket ediyorsa doğal taşınım olarak adlandırılmaktadır. Yüzey ve hava arasında bazen sıcaklık farkından kaynaklı olarak oluşan direnci yenmek için ve doğal taşınımın oluşması için gerekli kuvvet yeterli olmadığında zorlanmış kuvvet ile ısı transferi sağlanmalıdır.



Şekil 3.13. Sıcak yüzey üzerinde doğal ve zorlanmış taşınım ısı transferi

Isı transferi işlemi akışkanın faz değişiminide barındırır. Taşınımın kompleksliğinin yanında taşınım ısı transferi oranı sıcaklık değişimi ile orantısal olarak Newtonun soğuma kanunda belirtildiği gibi ifade edilir.

$$\dot{Q}_{\text{taşınım}} = h A_s (T_s - T_{\infty}) \text{ (W)} \quad (3.7)$$

Denklemden bulunan $\dot{Q}_{\text{taşınım}}$ taşınım ısı transferi, h ısı taşınım katsayısı $\text{W/m}^2\text{K}$, A_s ise taşınımın gerçekleşeceği yüzey alanıdır, T_s yüzey sıcaklığı, T_{∞} ise yüzeyden yeterince uzaklıkta bulunan akışkanın sıcaklığıdır. Yüzey üzerinde akışkan ve katı yüzey sıcaklıkları eşittir.

Isı taşınım katsayısı olan h akışkanın direk bir özelliği değildir. Bu katsayı deneysel olarak taşınımı etkileyen yüzey geometrisi, akışkan hareketi, akışkanın özelliği, yığın akışkan hızı gibi faktörler incelenerek belirlenmiştir. Çizelge 3.13’de ısı taşınım katsayısı örnekleri verilmiştir.

Çizelge 3.13. Taşınım türüne göre ısı taşınım katsayıları

Taşınım türü	$h \text{ (W/m}^2\text{K)}$
Gazlarda serbest taşınım	2-25
Sıvılarda serbest taşınım	10-1000
Zorlanmış yüzeyde gazlarda taşınım	25-250
Zorlanmış yüzeyde sıvılarda taşınım	50-20000
Kaynama ve yoğuşma	2500-100000

3.5 Kablolar Üzerindeki Termal Etki

Konfor, güvenlik ve estetik açıdan son yıllarda araç içerisinde elektronik cihazların sayısı artmıştır. Buda beraberinde güç ihtiyacını doğurmuştur. Güç artışı ile araç içerisindeki kablo demetlerindeki artış beraberinde getirmektedir. Artan kablo demetlerindeki her kablonun uzunluğu ve kesiti birçok otomotiv firması kabloların termal davranışına göre belirlemektedir. Kablonun kesit alanının seçiminde çeşitli kısıtlamalar vardır. Örneğin, ortam sıcaklığı ve izolasyon malzemesinin kalınlığı gibi faktörler bu kısıtlamalardandır. Termal davranışa göre kablo seçiminin avantajları da vardır. Bunlardan ilki, araç içerisindeki olası yangınları önlemek için elektrik sistemindeki aşırı ısınma dikkate alınır. İkincisi ise tasarım süresince kabloların ağırlığı ve elektrik kablolarının maliyetlerinin azaltılmasıdır.

Matematik model, iletken akım verildiği zaman iletken üzerinde sıcaklık ve gecici termal rejimi tahmini kolaylaştırmak için kullanılır. Geliştirilen metodolojik yapının geometrik alt dallarına dayalı olarak sonlu farklı metodlardan esinlenerek birkaç ağ yapısı oluşturulur. Ağ metodunun uygulanmasıyla kablo sonlu elemanlar metodu kablo üzerinde uygulanabilir. Her ağ yapısı arasındaki ısı transferi tahmini olarak tanımlanır.

Cebirsel eşitlik her düğüm için yazılır, her düğüm kablonun tüm termal devresini beraberinde getirir. Ardından düğümler matris sistemine transfer edilir. Elde edilen sistemin lineer olmamasından dolayı Crank Nicolson nümerik metodu istenilen çözünürlüğe ulaşmak için en iyi yöntemdir.

Her düğümde geçici termal durum ve iç güç üretimi için ısı denge denklem 3.8’de görüldüğü gibi sağlanır.

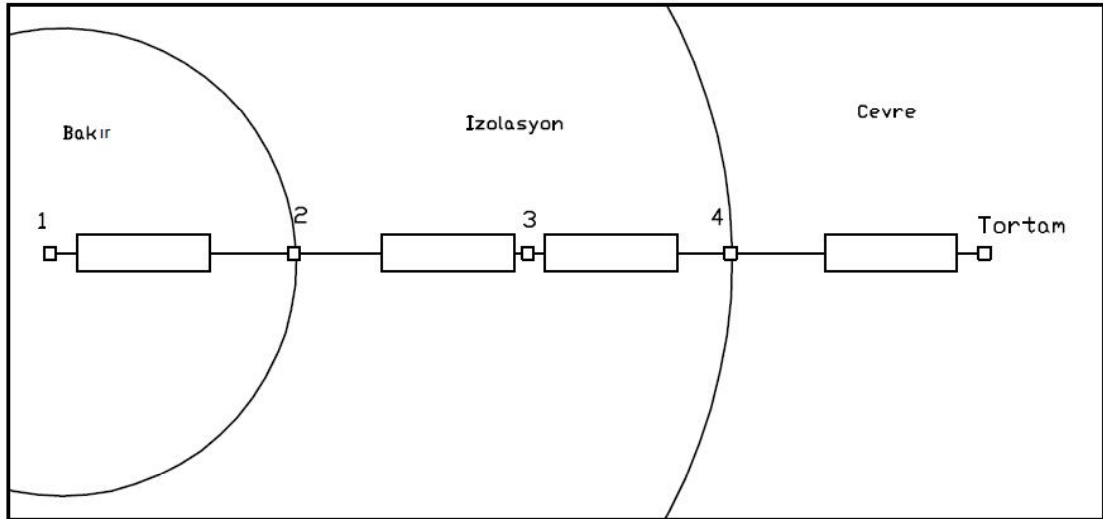
$$E_{giriş} + E_{üretilen} = E_{çıkış} + E_{depolanan} \quad (3.8)$$

N düğüm için, N’nin analitik sistem eşitliği kolayca elde edilir ve N^2 boyutlu matris formuna dönüştürülerek sistem çözümü elde edilir.

$$[G_{ij}].[T_i] + [\dot{Q}_i] = [C_{ij}].\left[\frac{dT_i}{dt}\right] \quad (3.9)$$

Denklem 3.9’da $[G_{ij}]$ termal iletkenlik matrisidir, bu iletim ve yayılım ile ısı transferi olarak düşünülebilir. Bundan dolayı radyasyonik $[T_i]$ sıcaklık vektörü olarak verilir, i yapının izotermal hacminin numarasını karakterize eder. $[\dot{Q}_i]$ vektörü iç güç üretimini temsil eder.

Şekil 3.14’de iki boyutlu olarak kabloyu temsil eder. Bu özellikle elde edilen termal devrenin yanısıra seçilen düğümlerin alt bölgelerinde gösterir. Termal devre basit olarak pasif elektronik devre elemanları ile oluşturularak temsil edilir. Termal direnç için elektrik direnci, termal yoğunluk için kondansatör kullanılır. Aynı şekilde akım kaynağı ısı kaynağını, iki elektrik potansiyeli arasındaki farkı oluşturan gerilim kaynağıda sıcaklık farkını temsil eder.



Şekil 3.14. Tek iletkenli yapıdaki ısı dirençler

Şekil 3.14’de görülen 1 nolu düğümdeki izotermal hacim iç güç üretimini göstermektedir. Düğüm 1 ve düğüm 2 arasında yer alan direnç iletim kaynaklı ısı akısının etkisidir. Düğüm 2 bakır ve elektriksel izolasyon arasındaki arabirimdir. Oysa düğüm 4 kablo etrafı boyunca olan hava ile iletim, taşınım ve ışıınım tarafından katı ve akışkanın arasındaki ısı transferini yapmasına izin verir. Bu ağ yapısında atmosfer sıcaklığı ortam sıcaklığına eşit kabul edilerek iletim tarafından olan akı ihmal edilmiştir. Sistem iki adet sınır koşuluna sahiptir, dış düğümde dT/dt sıfıra eşit olduğunda homojen Neumann ve harici sıcaklığın bilgisi $T_{\text{çevre}}$ ve T_{atmosfer} sabit olduğunda Dirichlet’dir.

Geçici rejimde termal durum incelendiğinde, üzerine düşünülen malzemenin ısı kapasitesi C_{th} , malzemin $\rho_{materyal}$ yoğunluğu, $S_{malzeme}$ kesit alanı, malzemenin özgül ısısı $C_{materyal}$ ve düşünülen alanın kesiti ile bir metre uzunluğundaki örnek için hesaplanabilir. İç enerjinin ve ısı kapasitesinin değişimin ifadesi sırasıyla denklem 3.10 ve 3.11’de gösterilmektedir.

$$\dot{Q}_{th} = S_{malzeme} \cdot \rho_{malzeme} \cdot C_{malzeme} \cdot \frac{dT}{dt} \quad (3.10)$$

$$C_{th} = S_{malzeme} \cdot \rho_{malzeme} \cdot C_{malzeme} \quad (3.11)$$

Araç uygulamalarındaki ısı transferinde öncelikli olarak, araç hızından dolayı harici iletim önemsiz olarak düşünülebilir. Dış sınır koşulları atmosfer sıcaklığının çevre sıcaklığına eşit olarak alınır , bu aracın iç gövdesinin yüzeyiyle uyumludur. Sonuç olarak sadece bir iletim olgusu düşünülür, buda kablonun dış yüzeyinin ve iç hava arasındaki iletimdir. Bunun dışında tüm kablo demetleri nispeten bu iletimi hapseder. Bu hapsediş şekil 3.14’de görülen dış çap R_0 tarafından yapılır.

İç iletim olgusunu modellemek için Churchill ve Usagi denklem 3.12’deki eşitliği geliştirmiştir.

$$Nu_{conv} = S_{pi} + [Nu^{-n}Tr + Nu^{-n}bl]^{-\frac{1}{n}} \quad (3.12)$$

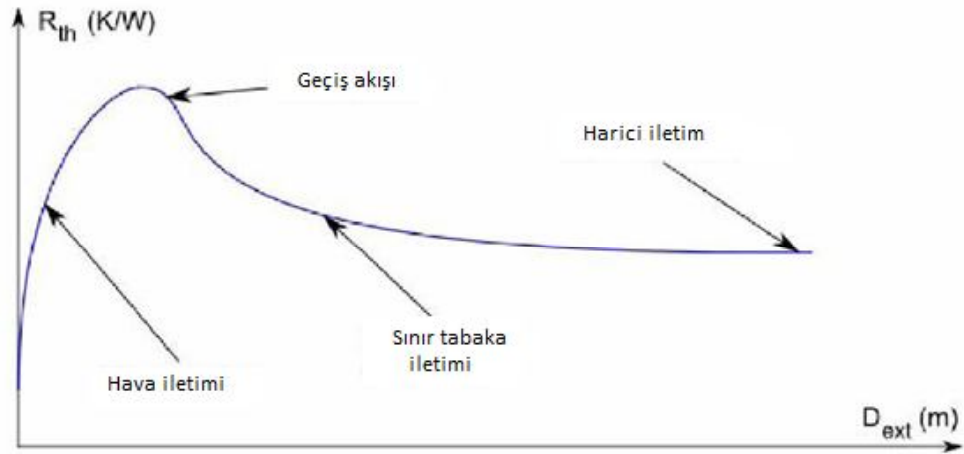
Formülde dış yarıçapta olan üç farklı evrede ısı iletimi düşünülmektedir;

İletim şekli faktörü S_{pi}^* Fourier yasası tarafından hava iletimini temsil etmektedir ve önemli hapsedme durumunda etkilidir.

$$S_{pi}^* = \frac{2}{\ln(\frac{R_0}{R_i})} \quad (3.13)$$

İkinci evre Nu_{bl} sınır tabaka iletimini temsil eder, ısı hapsedmenin önemsiz olduğu noktada, asimptot serbest iletim eğiliminde olur.

İletim akışı ve sınır tabaka iletimi arasında geçici fazda başlangıçta meydana gelen Nu_{tr} tarafından geçici iletim akışı olur.



Şekil 3.15. Dış çap iletimi tarafından oluşan termal direnç (Grandvuillemin ve ark. 2007)

Şekil 3.15’de dış yarıçapa göre bu evre farklarını göstermektedir. Dış yarıçap büyüdüğünde halkasal iletim olgusu sabit olur. Sonuç olarak serbest iletim için iç termal iletim tanımlanmış Nusselt sayısı ile denklem 3.14 ve 3.15 ‘de görüldüğü gibi hesaplanabilir.

$$G_{conv} = h \cdot S = h \cdot \pi \cdot D_i = \frac{\lambda \cdot Nu_{conv}}{D_i} \cdot \pi \cdot D_i \quad (3.14)$$

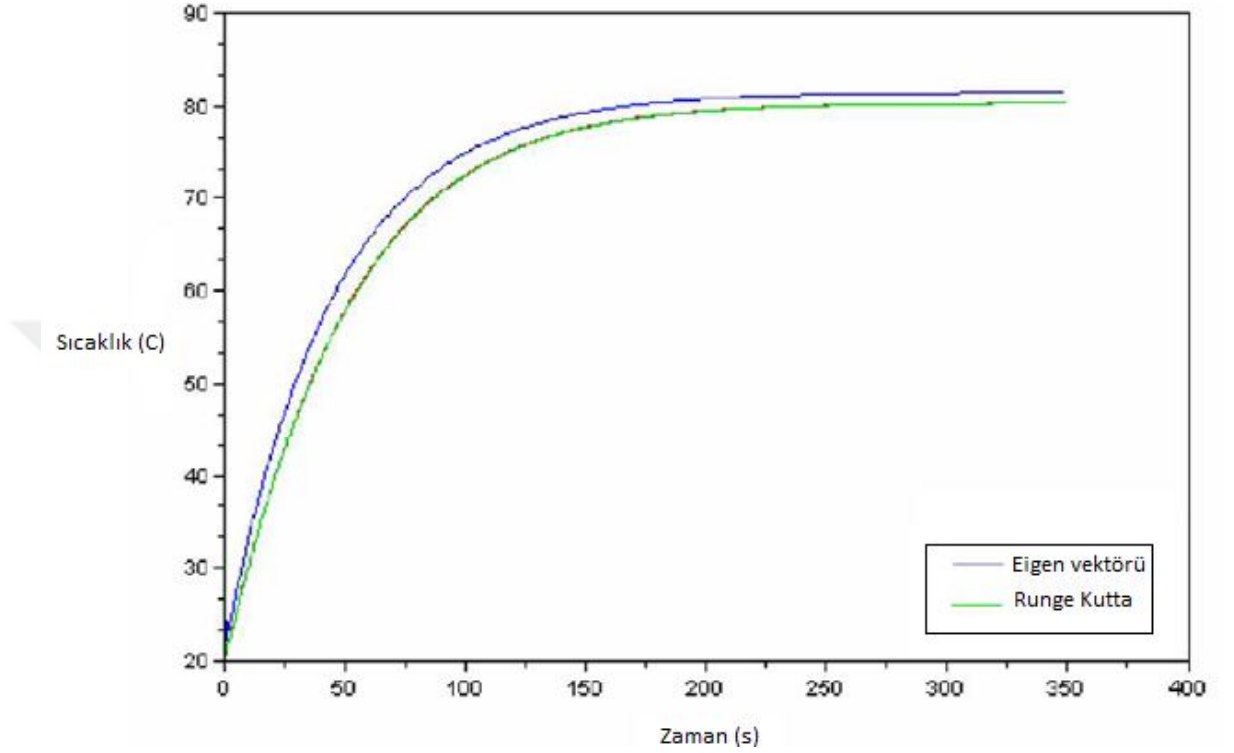
$$G_{conv} = \lambda \cdot Nu_{conv} \cdot \pi \quad (3.15)$$

Her düğüm için ısı ifadesi cebrik olarak yazıldıktan sonra kolay çözülebilmesi için martis formuna çevrilir.

Şekil 3.14’ deki düğüm 1 ‘deki iletim ve ısıtım olgusu için referans olan akı yada sıcaklık sebebiyle joule kayıplarından ($\dot{Q}_1$) dolayı sistemin son vektöründe ısı üretimi olduğu görülür. Bu sıcaklıklar aslında sabittir ve ısı güç kaynağı vektörüne aktarımı kolaydır. İletim, ısıtım ve omik kayıp parametreleri sıcaklığa bağlı olarak aşağıdaki iki yolu takip eder;

- Sistem katsayıların sabitlenmesiyle çözülür ve ardından özvektör metodu kullanılır,
- Değişken parametreleri dikkate alarak ve Euler, Runge-Kutta gibi klasik metodları kullanarak sistem nümerik olarak çözülür.

Şekil 3.16’da Eigen vektörü ve iki nümerik metod olan Euler ve Runge-Kutta ile 30A ile beslenen 1.5 mm²’lik kablo karşılaştırılmaktadır. Farklı çözünürlük derecesin sahip metodlarda nümerik sonuçlar birbirine yakındır.



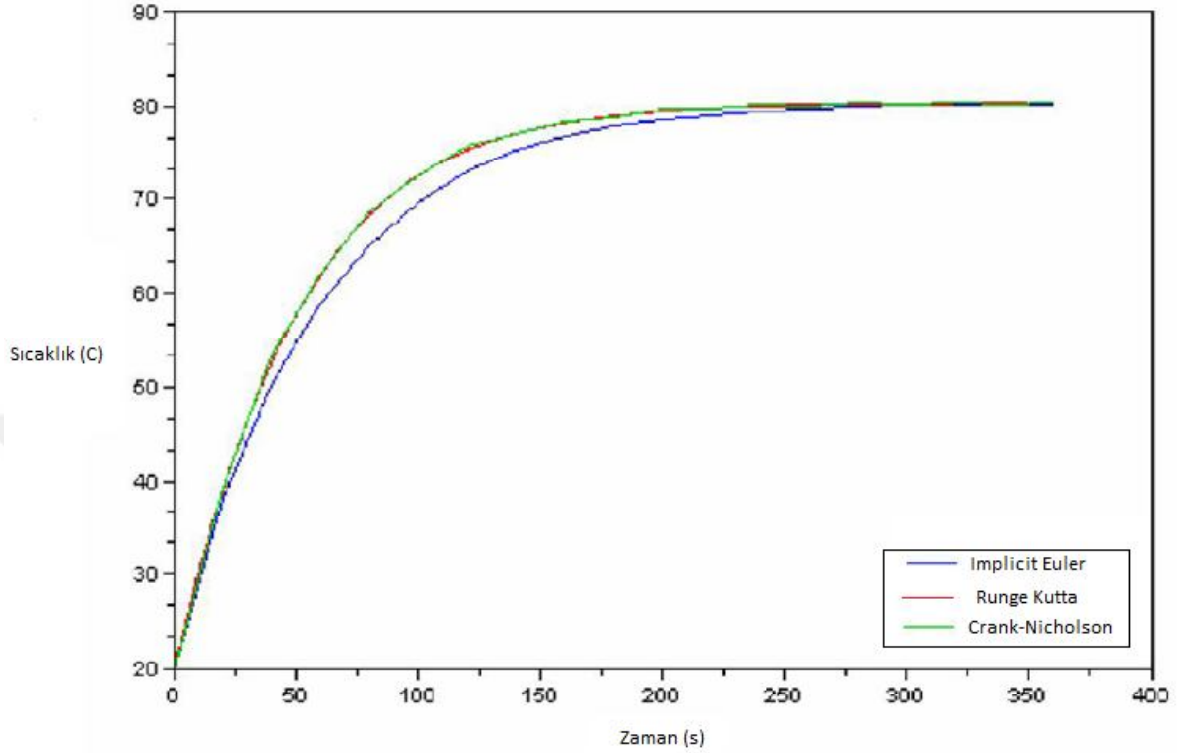
Şekil 3.16. T(t)'nin analitik ve nümerik metodlarla karşılaştırılması (Grandvuillemin ve ark. 2007)

İncelenilen birçok metod içerisinde denklem 3.16’da gösterilen Crank-Nicolson metdou en doğru sonuç veren yöntemdir. Bu üstü kapalı metod sürekli kararlıdır ve hatta ikinci derecede Euler yöntemi ile kıyaslandığında daha doğru sonuç vermektedir.

$$[T_n^{i+1}] = \left[\left[\frac{[C_n]}{\Delta T} - \frac{[G_n]}{2} \right] \right]^{-1} * \left[[T_n^i] * \left[\frac{[G_n]}{2} + \frac{[C_n]}{\Delta T} \right] + [\dot{Q}_n] \right] \quad (3.16)$$

Şekil 3.17’de birkaç nümerik yöntem karşılaştırılmıştır. Runge-Kutta çözünürlüğü 4. derecede olduğu yerde diğer üstü kapalı metodların zaman basamakları 20 saniyeye sabitken kesin referans basamak zamanı 1 saniye ile düşünülebilir. Bu önemli zaman basamağı farkına rağmen Crank-Nicolson yöntemi Runge – Kutta yöntemiyle

çözünürlük zamanının kısıtlı olması durumunda mükemmel hassasiyeti sağlayarak neredeyse aynı sonuçları verir. (Grandvuillemin ve ark. 2007)

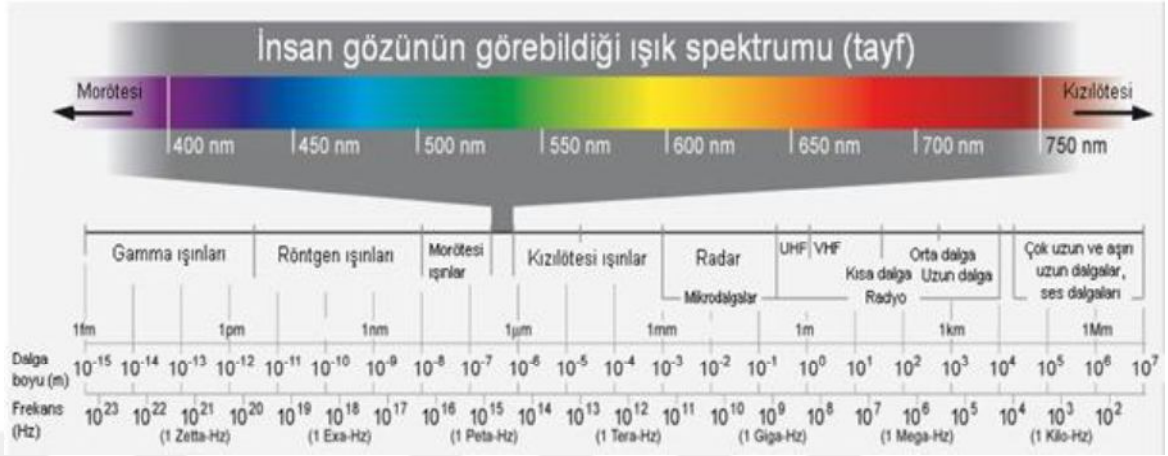


Şekil 3.17. $T(t)$ 'nin bazı nümerik yöntemlerle kıyaslanması (Grandvuillemin ve ark. 2007)

3.6 Termografi Metodu

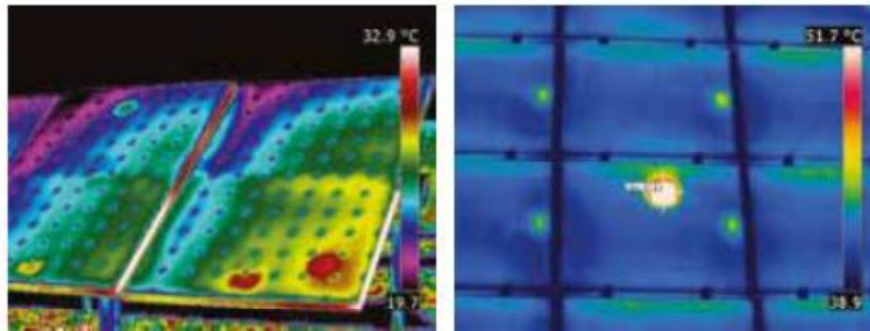
Kızılötesi termografi ve termal görüntüleme nesnelerin üzerinden yayılan kızılötesi enerjinin yakalanması için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ile nesnelerin üzerinden gelen enerji sıcaklığa çevrilerek, sıcaklık dağılımı görsel olarak ölçeklenmiş şekilde oluşturulur. Termografik kameralar genellikle elektromanyetik spektrumun uzun kızılötesi aralığındaki ışıınımı (9000-14000 nanometre) yakalar ve bu ışıınımı resime çevirir ve bu durum termograms olarak adlandırılır. Siyah yüzey ışıınım kanununa göre mutlak sıfırın üzerindeki sıcaklıkta tüm nesneler üzerinden yayılan kızılötesi ışıınım termografi sayesinde çevrede görünüm ışıığın olup olmamasına bağlı olmaksızın görüntülenebilir. Işıınımla yayılım miktarının artması ile sıcaklık doğru orantılı olarak artar. Termal görüntü olarak kameranın algıladığı sıcak nesne arka plandan ayırt edilecek şekilde renk ayrımına sahip olur. Örneğin, insan ve diğer sıcak kanlı hayvanlar

gece ve gündüz olmaksızın çevreden kolayca ayırt edilir. Sonuç olarak termografi özellikle askeri ve diğer gözlem kameralarında yaygın olarak kullanılır.



Şekil 3.18. Elektromanyetik tayf (Anonim 2016)

Termografinin tarihçesine bakıldığında uzun bir geçmişe sahip olmasına rağmen ticari ve endüstriyel alanda son 50 yılda kullanımı artmıştır. Kullanım alanlarına örnek vermek gerekirse termal kameralar, itfaiyecilerin duman tespitinde, güç hatlarında ve bağlantı noktalarında meydana gelen ısınmaların tespitinde, binaların yalıtımında meydana gelen hataların tespitinde, mahallerde nem tespitinde, solar sistemler üzerinde sıcak ve soğuk noktaların tespitinde kullanılmaktadır.



Şekil 3.19. Termal kamera ile elde edilmiş sıcaklık dağılımı (Anonim 2011)

Özel olmayan CCD ve CMOS'lar görünür ışık dalgaboyu aralığındaki ışıkları algılayabilmektedir. Bununla birlikte kızılötesi spektrum olarak yakın kızılötesi olarak adlandırılan bölgede bu sensörlerin kullanıldığı CCTV kameralarda uygun koşullarda 280 °C seviyesine kadar doğru şekilde algılar.

Özel olarak termal kameralarda kullanılan odak düzelemi dizleri orta ve uzun kızıl ötesi dalgaboyuna cevap vermektedir. Odak düzelemi olarak kullanılan başlıca bileşenler InSb, InGaAs, HgCdTe ve QWIP'dir. Termal kameralarda bulunan çözünürlük diğer optik kameralara oranla daha düşüktür ve genellikle 160 x 120 yada 320 x240 piksel'dir. Ancak yüksek maliyetli kameralarda bu çözünürlük 1024 x 768 piksele kadar çıkmaktadır.

Termal görüntü ilgili cisimden yansıyan ışınlama ile elde edilir. Ancak çevrede birden fazla ısı kaynağı varsa bu ilgili cismin gerçek doğru sıcaklığı okumada hatalar oluşabilir. Bu sebeple işlem altındaki nesne çevresel sıcaklıklar dikkate alınarak cismin yaklaşık sıcaklığı kamera tarafından hesaplanır. Kamera bu hesaplamayı aşağıdaki olgu ile gerçekleştirir. Bu olgu her yerde meydana gelmektedir. Bu işlem radyant ısı değişimi olarak adlandırılır.

İndüklenen radyant güç = yayılan radyant güç + aktarılan radyant güç + yansıyan radyant güç

Termografi ile IR filmi arasında fark bulunmaktadır. Termografi sıcaklığı yaklaşık 50°C - 2000°C arasında iken IR filmi 250 °C – 500 °C aralığında hassastır. Bu sebeple IR filmi termografik çalışması için nesneden olan ışınlamanın en az 250 °C'den sıcak olacak şekilde yansımalıdır. Gece görüşlü kızılötesi cihazların resimleri yakın kızılötesinde, görsel spektrumun ötesinde, yansıyan yada ışıyan enerjinin tamamını görsel karanlıkta algılar.

Termografinin avantajlarından bahsetmek gerekirse:

- Gerçek zamanlı olarak hareket eden nesneler yakalanabilir,
- Yüksek sıcaklıklı komponent bulunduran sistemdeki aksaklık ve bozukluklar tespit edilebilir,
- Tehlikeli bölgelerin uzaktan izlenip sıcaklık takibini sağlar,
- Tahribatsız test metodudur,
- Karanlık ortamlarda nesnelerin algılanmasını sağlar,
- Birçok endüstriyel alanda kullanıma olanak sağlar,

Termografinin dezavantajları ve kısıtlamaları ise şu şekildedir:

- Termal kameralar için çözünürlüğün artmasıyla fiyatının doğru orantılı olarak artması,
- Birçok kamerada ışık şiddeti ölçümü mevcut değildir bu sebeple mesafe, ortam sıcaklığı, mutlak nem ve yayılım kalibrasyonu doğru olarak sağlanamamaktadır,
- Doğru sıcaklık ölçümü diğer nesnelerden meydana gelen yansıma ile tam olarak gerçekleşemez,
- Bir çok kameranın elde ettiği sıcaklık değerleri temas metodu ile elde edilen sonuç ile $\pm 2\%$ farklıdır. (Anonim 2016)

3.7 Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar yöntemi birçok mühendislik probleminde çözüm için kullanılan kısmi diferansiyel denklem yada fonksiyonları kısaltarak formüle edebilen problemlerin çözümünde yaklaşım metodu kullanılarak kullanılan sayısal bir yöntemdir.

Bu metod fizik ve matematiğin kullanıldığı, gerilme analizi, akışkanlar mekaniği, ısı transferi, dalga yayılımı, darbe analizi, elektrik ve manyetik alanların hesaplanması gibi konuların çözümünde kullanılır. Sonlu elemanlar metodunun birçok avantajı vardır. Geometrisi karmaşık olan problemlerde bu geometriyi alt sınıflara bölerek daha detaylı çözüme imkan sağlar, parça geometrisinin genelinde basitleştirmeye gerek kalmaz, matematiksel olarak genelleştirilerek birden fazla problem için tek model kullanılabilir. Dezavantajları ise bazı problemlerde bulunan sınır şartlarının uygulanmasında ve ağ yapısının bölünmesinde zorluklar vardır, problemde doğru sonuçların elde edilmesi için uygulanacak ağ yapısında deneyime ihtiyaç vardır. Sonlu elemanlar metodunu bilgisayar ortamında kullanmak üzere bir takım paket programlar geliştirilmiştir. Bu programların bir kaç tanesi Fortran, ABAQUS, ANSYS, Nastran, Patran, Marc'dır. Bu programlarda çözüm için problem geometrisi 3 boyutlu olarak yada istenen problem tipine göre 2 boyutlu olarak CAD programlarınca yada sonlu elemanlar yönteminin uygulandığı paket programların CAD araç kutusunda modellenir. Modellemenin ardından çözüm istenen geometrik bölüm tüm geometriye göre alt kısımlara ayrılarak ağ yapısına ayrılır. Geometriyi alt birimlere ayırıp ağ yapısını olabildiğince az sayıda tutmak çözüm süresini kısaltır fakat beraberinde çözümlerde elde edilen sonuçların hassasiyetinin düşmesi sorununda beraberinde getirir. Bu sebeple sonlu elemanlar

metodu kullanılacak programın yüksek hızlı bilgisayarda yapılması çözüm süresi ve elde edilen sonucun doğruluğı ulaşması açısından öneme sahiptir. Ağ yapısı uygulanan geometri üzerinde sınır koşulları girilerek sonuç elde edilir. Günümüzde bu programlarla elde edilen sonuçlarla deneysel olarak elde edilen sonuçlar yapılan çalışmalar incelendiğinde büyük doğruluk oranına sahiptir. (Moaveni 2015)



4. BENZETİMLER ve DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan benzetim ve deneysel çalışmaların amacı, farklı ortam sıcaklıklarında araç içerisinde kullanılacak kabloların maksimum yüklenme koşulunda, kısa devre rejiminde, kablo sıcaklık sınıfları dikkate alınarak akım taşıma kapasitesinin deneysel ve simülasyon ortamında belirlenmesidir.

4.1 Benzetim ile Yapılan Çalışma

Benzetim ile yapılan çalışmada kablolardan geçebilecek maksimum akım matematiksel olarak modellenmiştir. Matematik model içerisinde kablonun öz direnci üzerinden maksimum direnci gibi hesaplanır. Ardından iletken kesit alanına göre direncin hesaplama öncesi değeri denklem 4.1'deki gibi belirlenir. τ_{max} değeri denklem 4.2'de görüldüğü gibi öz dirence bağlı olarak hesaplanır. Sınır şartı olarak kablonun kullanılacağı ortamın sıcaklığı T_{Ortam} denklem 4.3'de yerine konulur. Ardından kablo üzerinden geçecek akım ve uygulanacak zamanda denklemde ilgili yerlere konulur. Excell üzerinde yapılan hesaplamalar sonucu deneme yanılma yöntemi ile maksimum kablo sıcaklığı 100 °C' ye gelecek şekilde zaman sabit tutularak akım değiştirilerek maksimum akım taşıma kapasitesi bulunmaya çalışılmıştır. Deneme yanılma yolunu ortadan kaldırmak için denklem 4.3'deki parametreler excell tablosunda yalnızca kablonun ulaşacağı maksimum sıcaklık, ortam sıcaklığı ve akımın uygulanacağı süre girilerek maksimum akım kapasitesinin bulunması yoluna gidilmiştir. Benzetim ile modelleme yöntemine göre kullanılan formuller:

$$R_{kablo} = \frac{R_c^{1,275}}{354,8} \quad (4.1)$$

R_c Kesite göre kablo öz direnci, R_{kablo} maksimum kesit direncidir.

$$\tau_{max Rc} = \frac{194,98}{R_c^{0,645}} \quad (4.2)$$

$\tau_{max Rc}$, zaman sabitidir.

$$I_{kapasite} = \sqrt{\frac{(T_{Kablo} - T_{Ortam})}{R_{kablo} * \left(1 - e^{-\frac{zaman(sn)}{\tau_{max Rc}}}\right)}} \quad (4.3)$$

T_{Ortam} ortam başlangıç sıcaklığı, T_{Kablo} işlem sonucu kablonun ulaşacağı sıcaklıktır.

$I_{kapasite}$ ise kablonun taşıyacağı akım taşıma kapasitesidir.

Zamana ve kesite bağılı olarak benzetim ile hesaplanan maksimum akım değerleri aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir. 0.75 mm² için 20 °C - 100 °C, 40 °C - 100 °C ve 60 °C - 100 °C sıcaklık koşullarına göre zamana bağılı akım taşıma kapasitesi çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3'de gösterilmiştir. Diğer kesitlere ait hesaplanan değerler ek 4'de çizelgeler halinde gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. 0.75 mm² kablo için 20 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi

0.75 mm ²	20 °C -100 °C
Zaman (sn)	Akım (A)
1	110
2	78
5	51
10	38
100	23
1000	22
3600	22

Çizelge 4.2. 0.75 mm² kablo için 40 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi

0.75 mm ²	40 °C -100 °C
Zaman (sn)	Akım (A)
1	94
2	67
5	44
10	32
100	19
1000	18
3600	18

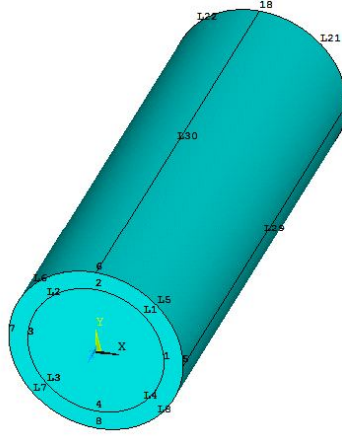
Çizelge 4.3. 0.75 mm² kablo için 60 °C -100 °C arası akım taşıma kapasitesi

0.75 mm ²	60 °C -100 °C
Zaman (sn)	Akım (A)
1	77
2	55
5	36
10	27
100	16
1000	15
3600	15

4.2 Sonlu Elemanlar Metodu ile Otomotiv Kablolarının Simulasyonu

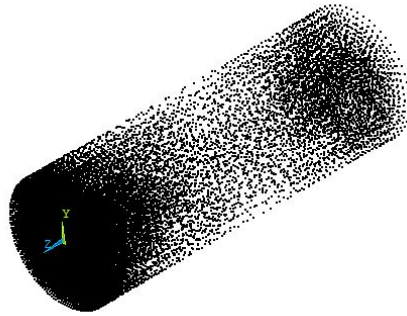
Yapılan çalışmada farklı kesitlerdeki araç içerisinde kullanılan alüminyum kabloların akım taşıma kapasiteleri zamana göre deneysel ve benzetim ile belirlenmiştir. Araçların kullanıldığı ortam sıcaklığı coğrafi bölgesel olarak farklılık göstermektedir. Buda farklı sınır koşullarını oluşturmaktadır. Bu sebepten dolayı B tipi $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ / $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında çalışan kablolar üzerinde deneysel çalışma yapılmıştır. Bu tip kablonun maksimum fiziksel dayanım sıcaklığı $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ı aşan kablolar deforme olarak dış yalıtkan kısmı erimeside deneysel olarak gözlenen bir sonuçtur. Benzetim ile yapılan çalışmada 3 farklı ortam sıcaklığına göre akım kapasiteleri belirlenmiştir. Maksimum sıcaklık $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ alınarak başlangıç sıcaklığı $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ için üç farklı başlangıç koşulunda analiz yapılmıştır. Yapılan analizlerde 1 metrelik kablo örnekleri ele alınmıştır. 8 farklı kablo tipi için farklı sürelerde akım uygulandığı varsayılarak sonuca varılmıştır. Akım uygulama süreleri her kablo için 1, 2, 5, 10, 100, 1000 ve 3600 saniye olarak belirlenmiştir. Uygulanan akım süresi boyunca kablolar üzerindeki sıcaklık değişimi ve sıcaklığın sürekli rejime oturma süreside gözlenmiştir. Ek 4'deki tablolarda benzetim ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Yapılan çalışmada bilgisayar üzerinde bakır kabloların ısı analizide yapılmıştır. Isıl analiz için ANSYS programının Mechanical APDL modülü kullanılmıştır. Yapılan deneylerde tek damarlı bakır kablolar kullanılmıştır. Simülasyon aşamasında izlenen adımlarda öncelikle ANSYS içerisinde şekil 4.1'de görüldüğü gibi geometrik model hem iletken hemde yalıtkanı kapsayacak şekilde oluşturulmuştur. Oluşturulan geometri alt geometrilere bölünerek sınır şartlarının geometriye uygulanarak kolaylaştırılır. Yapılan çizimdeki tüm kablolar için kablo boyu 0.02 m, kablo iletken ve yalıtkan çapları ise çizelge 3.12'deki standartın belirlediği boyutlar kullanılarak çizilmiştir.

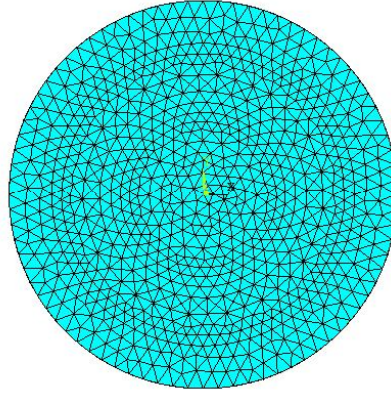


Şekil 4.1. Geometrinin hacimlere bölünmesi

Sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm için geometrinin oluşmasının ardından bu geometri ağ yapısına bölünmelidir. Ağ yapısı içerisinde bulunan şekil 4.2’de gösterilen düğüm noktaları ne kadar sık olursa çözümde elde edilen sonuçların hassasiyeti o kadar fazla olur. Fakat ağ yapısındaki düğümlerin fazla oluşu çözüm süresinide uzatmaktadır. Bu sebeple geometrideki çözüm açısından öncelikli kısımlara daha sık ağ yapısına bölünürken diğer kısımlarda daha seyrek yapı uygulanabilir. Şekil 4.3’de bakır kabloun kesiti alınarak ağ yapısı uygulanmış hali görülmektedir.

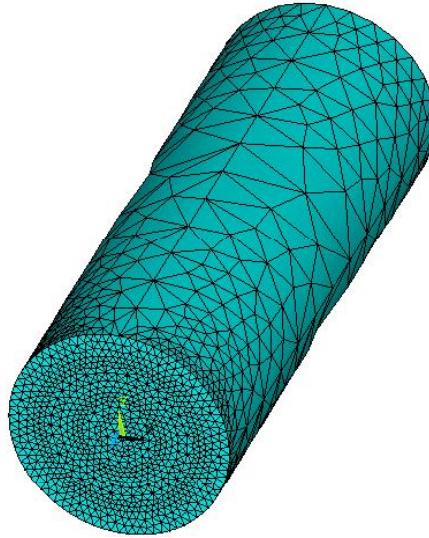


Şekil 4.2. Düğüm yapısı



Şekil 4.3. Ağ yapısına bölünen kablo kesiti

Şekil 4.4’de görülen yapıda geometrisi çizilerek ağ yapısı homojen olarak oluşturulmayan bir yapı görülmektedir. Geometrinin kesiti çözüm açısından önemli olduğu için çözüm süresi kısaltılması adına kablo kesitine daha sık ağ yapısı uygulanarak homojen olmayan bir yapı seçilmiştir.



Şekil 4.4. Kablo geometrisi üzerine uygulanan ağ yapısı

Simülasyon için oluşturulan geometride bakır ve PVC temel incelenen malzemelerdir. Ayrıca analizin yapıldığı ortamda havadır. Bu sebeple analizde bu malzemelerin

termofiziksel özellikleri tanımlanmalıdır. Kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kullanılan malzemelerin termofiziksel özellikleri

Malzeme Adı	Yoğunluğu (kg/m^3)	Termal iletkenlik (W/mC)	Özgül ısı (J/kgC)	Özdirenç ($\Omega \cdot \text{m}$)
Bakır	8933	400	385	$1.72 \cdot 10^{-8}$
PVC	1350	0.14	900	-
Hava	1.1614	0.026	1007	-

Simülasyon ortamında yapılan hesaplamalarda ortaya çıkan ısı denklem 4.5’deki gibi hesaplanır. Isının hesaplanması için en önemli parametreler iletkenin direnci ve iletken üzerinden geçen akımdır. Denklem 4.7’de iletken kablo üzerinde özdirenç ile birlikte kablunun boyu ve çapına göre direnç hesaplaması yapılmaktadır. Direnç çizilen geometri ölçüleri otomatik olarak program tarafından algılanarak tanımlanan özdirenç ile hesaplanır. Denklem 4.9’da ısı transferi için ortaya çıkan sıcaklık farkı hesaplanır. Sıcaklık farkı hedeflenen sıcaklık olan $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’dir, başlangıç sıcaklığı ise $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak her analizde farklı olmak üzere üç farklı şekildedir.

$$Q_c = \alpha T_c I - 1/2 I^2 R - K \Delta T \quad (4.4)$$

$$\alpha = |\alpha_1| + |\alpha_2| \quad (4.5)$$

$$R = (\rho_1 + \rho_2) * L / A \quad (4.6)$$

$$K = (\lambda_1 + \lambda_2) * A / L \quad (4.7)$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (4.8)$$

Yukarıdaki denklemlerde verilen ifadelerde, Q_c transfer edilen ısı miktarı, α birleştirilmiş seedback katsayısı, R elektriksel iç direnç, K iç termal iletkenlik, ΔT uygulanan sıcaklık farkıdır.

Kabloya verilen akımın iç direnç etkisiyle ortaya çıkarttığı ısının bakır kablo ve PVC arasında olan iletimle ısı transferi ve PVC ile ortam arasındaki taşınım ile olan ısı transferinin toplamı denklem 4.10’da hesaplanmaktadır.

Güç girişi P ,

$$P = \alpha * I * (\Delta T) + I^2 * R \quad (4.9)$$

Hesaplanmak istenirse analizin performans katsayısı ortaya çıkan ısı ve gücün birbirine oranı şeklinde denklem 4.11'deki gibi hesaplanır.

Performans katsayısı β ise,

$$\beta = Q_c / P \quad (4.10)$$

Benzetim ile daha önce yapılan çalışmada kablolar içi akım taşıma kapasiteleri hesaplanmıştı. Bunun doğruluğu için simülasyon ortamında yapılan denemelerde daha önce belirlenen akımların belirli düzeltme faktörleriyle çarpılmasıyla nihai akımlar belirlenmiştir.

Simülasyon çalışması sırasında hedeflenen sıcaklık değeri girilip analize bir kısıtlama yapılamadığı için akımlar deneme yanılma yoluyla sınır şartları ve başlangıç koşulları sabit tutularak yalnızca akım değeri değiştirilerek elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların benzetim ile elde edilmiş sonuçlarla oranlanmasıyla düzeltme faktörleri çizelge 4.5, 4.6 ve 4.7'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Burada D:DeneySEL, B:Benzetim, D.F: Düzeltme faktörüdür.

Çizelge 4.5. 0.75 mm² kablo için 20 C-100 C arası akım taşıma kapasitesi

0.75 mm ²	Sıcaklık 20-100		
Zaman(sn)	D(A)	B(A)	D.F.
1	180	110	1,65
2	125	78	1,60
5	79	51	1,54
10	57	38	1,50
100	31	23	1,35
1000	26	22	1,20
3600	23	22	1,05

Çizelge 4.6. 0.75 mm² kablo için 40 C-100 C arası akım taşıma kapasitesi

0.75 mm ²	Sıcaklık 40-100		
Zaman(sn)	D(A)	B(A)	D.F.
1	155	94	1,65
2	107	67	1,60
5	67	44	1,54
10	48	32	1,50
100	26	19	1,35
1000	22	18	1,20
3600	19	18	1,05

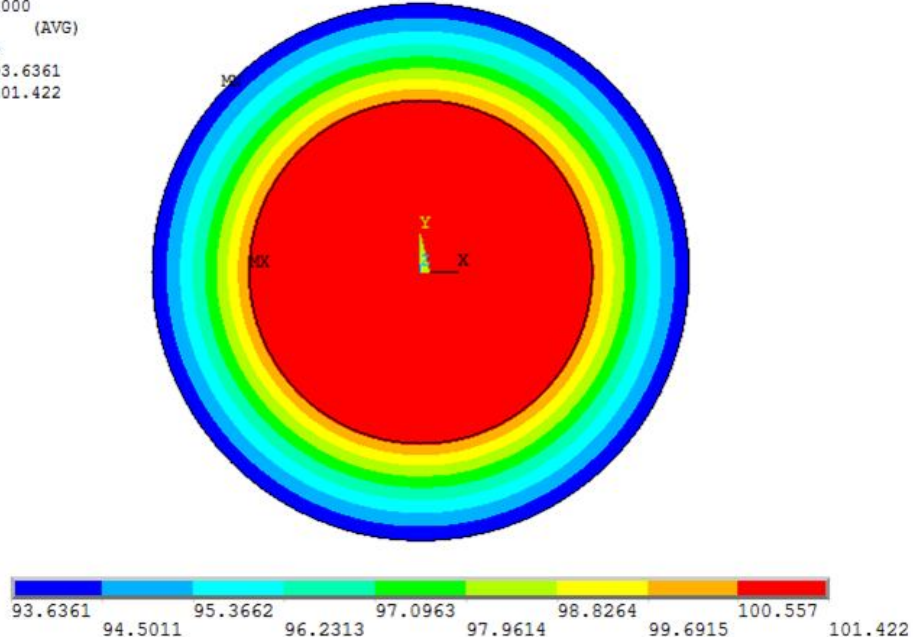
Çizelge 4.7. 0.75 mm² kablo için 60 C-100 C arası akım taşıma kapasitesi

0.75 mm2	Sıcaklık 60-100		
Zaman(sn)	D(A)	B(A)	D.F.
1	127	77	1,65
2	88	55	1,6
5	56	36	1,55
10	41	27	1,5
100	22	16	1,4
1000	18	15	1,2
3600	17	15	1,1

Sınır şartları girilen 0.75mm² kesit alanına sahip iletken bakır kabloya 1000 saniye süresince 20 °C başlangıç ortamında, 12 V gerilim ve çizelge 4.1’de gösterilen 26 A akım değeri girilmiştir. 1000 saniye işlem süresini kısaltmak amacıyla alt zaman dilimleri 50 eşit parçaya bölünerek 20 saniyede bir yakınsama yapılmıştır. Ağ yapısının sık olması nedeniyle yakınsama 2 ile 5 deneme arasında her çözüm basamağı için elde edilmiştir. İşlem sonunda elde edilen kablo kesiti sıcaklık dağılımı görüntüsü şekil 4.5’deki gibi elde edilmiştir.

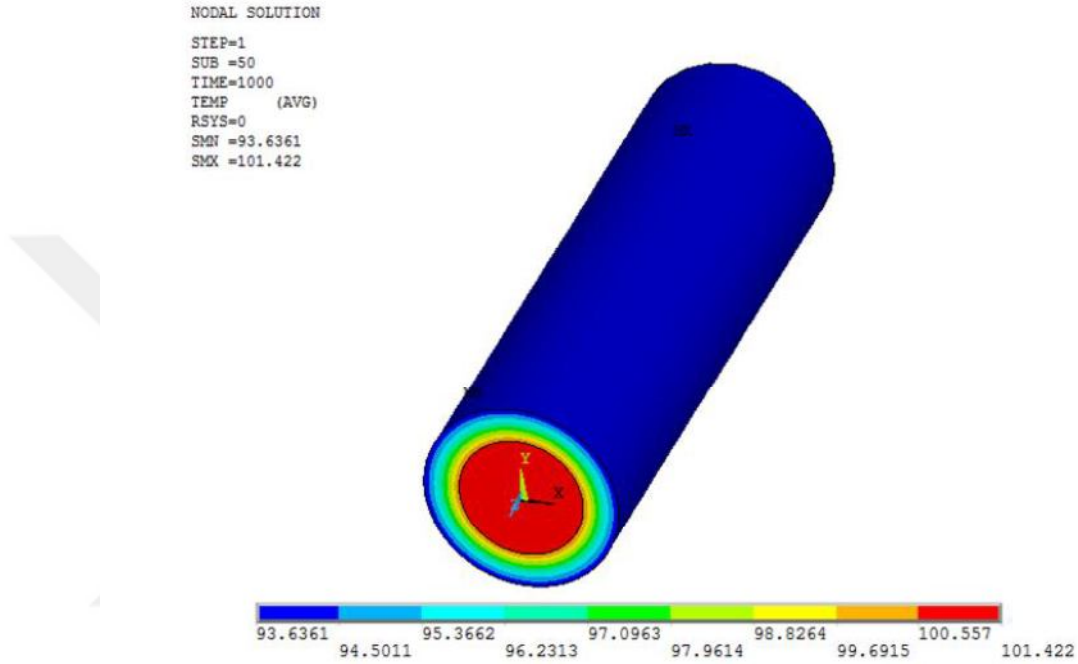
NODAL SOLUTION

STEP=1
SUB =50
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =93.6361
SMX =101.422



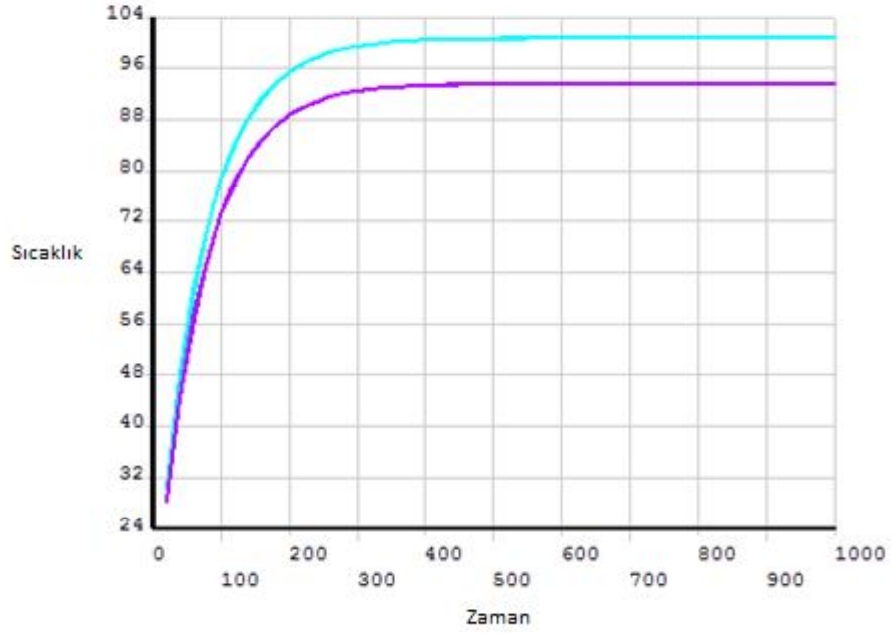
Şekil 4.5. 0.75 mm² Kesiti analiz sonucu sıcaklık dağılımı

Analiz açısından kesit görüntüsü önemlidir. Ancak ağ yapısının kablo boyunca sık atılmadığı göz önüne alındığında kablo boyunca meydana gelen sıcaklık dağılımının incelenmesi açısından 3 boyutlu kablo görüntüsünde alınmıştır. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi kablo boyunca sıcaklık değişimi sabit olduğu, yalnızca kesit boyunca değişimin olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6. Analiz sonucu kablonun 3 boyutlu görünümü

Simülasyon sonucunda kablo kesitinin incelemenin ardından daha ayrıntılı sıcaklık dağılımı görmek amacıyla ve ayrıca sıcaklığın zamana göre değişimini incelemek için kablo iletkeni olan bakırın merkez noktasında bir tane düğüm noktası ve izolasyon malzemesi olan PVC’nin çapının en dış noktasından bir tane düğüm noktası seçilmiştir. Analiz başlangıç anından itibaren ortam sıcaklığı, kabloya uygulanan akım ve gerilim değerleri sabit tutularak yalnızca zaman parametresi değişmektedir. Zamana bağlı olarak iletken ve yalıtkan kesit üzerindeki sıcaklık değişimi şekil 4.7’de gösterilmektedir. Şekil 4.7 incelendiğinde 200. saniyeye kadar akımın etkisiyle kablonun iletken ve yalıtkan kısımlarında meydana gelen sıcaklık değişimi yüksek iken, yaklaşık 300. Saniyeden itibaren kablo sürekli rejim formuna geçerek sıcaklık değişimi minimum düzeyde değiştiği görülmektedir.

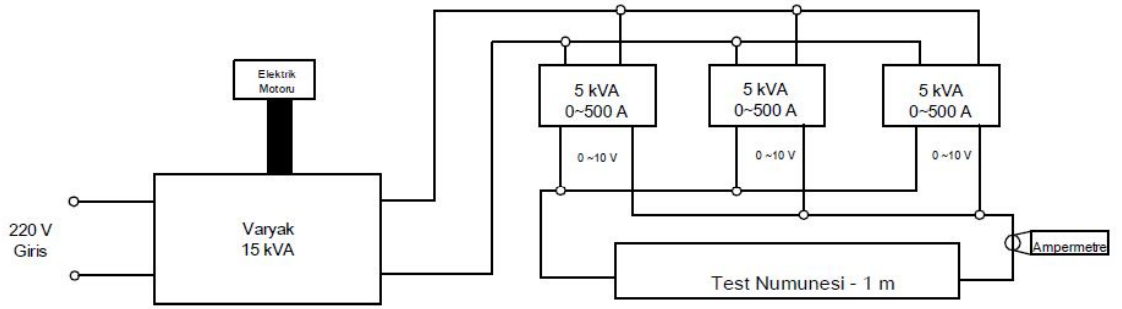


Şekil 4.7. 0.75 mm² kesitli kablo için zaman-sıcaklık dağılımı

4.3 Deneysel Çalışma

Deneysel olarak yapılan çalışma için deney düzeneği şekil 4.8'deki gibi tasarlanmıştır. Deney düzeneği üç adet paralel transformatörün bağlanması ile oluşturulmuştur. Bunun sebebi çok büyük tek bir transformatörün taşınması ve yerleşimi zor olacağından, daha düşük güce sahip transformatörleri paralel bağlayarak güç ve akım seviyesini arttırmaktır. Kullanılan her transformatör 5 kVA 'lık kompleks güce sahiptir. Her bir transformatörün çıkış akımı 0 ile 500 amper arasında, gerilimi ise 0 ile 10 V arasında değişmektedir. Bu sayede test numunesi üzerine 1500 ampere kadar uzun süreli akım uygulanabilmektedir. Ancak kısa süreli 1 ~ 2 saniye için gecici akımlarda bu akım düzeyi 5000 ~ 6000 amper seviyelerine çıkabilmektedir. Deney için gerekli gerilim tek faz şehir şebekesinden alınmıştır. Bu sebeple gelen gerilimi trafolarla göndermeden önce ayarlamak üzere 15 kVA'lık güce sahip varyak kullanılmıştır. Varyakın kullanılmasının sebebi numune üzerinde test yapılırken, numuneye uygulanacak akım değişken olacağından bu değişimi varyak ile sağlamaktır.

Varyak girişı 220 V olacak şekilde sabitken, çıkışı 0 – 220 V arasında ayarlanabilmektedir. Numune üzerine düşen akımı ayarlamak için varyak üzerine elektrik motoru yerleştirilmiştir. Ancak istenildiği takdirde elektrik motoru yerine dümen takılarak yine akım değeri bu dümen vasıtasıyla el ile ayarlanabilmektedir. Deney süresince numunelere verilecek akım hassasiyeti 1 A olduğu için elektrik motoru yerine dümen tercih edilmiştir. Deney düzeneğinde numune üzerine giden iki kol üzerinde bulunan iki adet ampermetre bulunmaktadır. Bu ampermetrelerden iki tane olması okunan değerin doğruluğunu tespit etmek amacıyla konulmuştur. Deneyler başlamadan önce bir adet kablo üzerine uygulanan akım ile ampermetrelerde okunan değerlerin farklı olmadığı gözlemlenmiştir. Okuduğu değerin doğruluğu onaylanan ampermetrelerden bir tanesi deney boyunca kullanılmıştır.

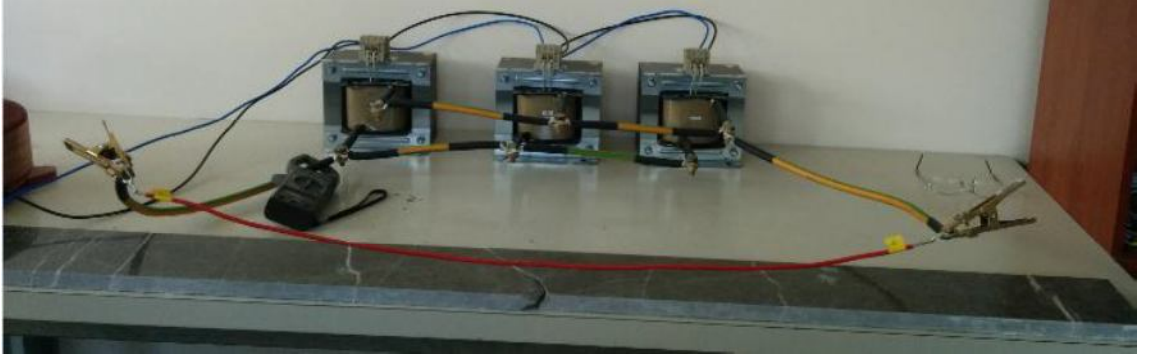


Şekil 4.8. Deney düzeneği blok şeması



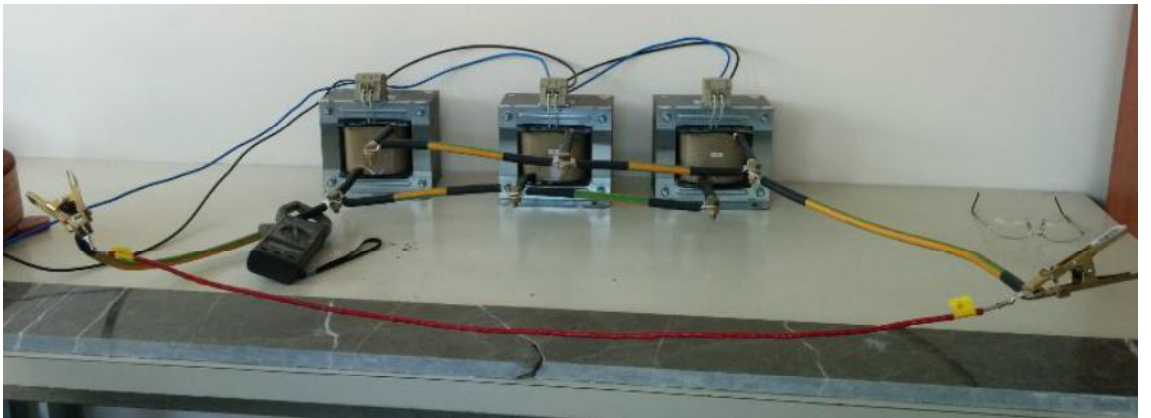
Şekil 4.9. Deney düzeneği

Kısa devre rejiminde yapılacak olan deneye numunelerin yerleşimi için transformatörlerden gelen iki ana kola ayrı ayrı şekil 4.10’da görüldüğü gibi pirinçten imal edilmiş yüzey alanı büyük pabuçlarla kablo bağlantı noktaları sabitlenmiştir.



Şekil 4.10. Deney başlangıcı

Deneyisel çalışmada akım kapasitesinin belirlenmesinin yanısıra B tipi bakır kabloların akım taşıma kapasitesi sınırının üzerinde akım verildiğinde meydana gelecek deformasyonun gözlemlenmeside amaçlanmıştır. Bu kapsamda şekil 4.10’da görüldüğü gibi yerleştirilen 6 mm^2 ’lik kesite sahip bakır kablo üzerine yaklaşık 200 saniye boyunca 133 A akım uygulanmıştır. Bu kesit ve akım için uygulanması gereken süre 100 saniyedir’dir. Ancak deformasyonu gözlemlemek için sınır değerlerinin üzerine çıkılmıştır. Şekil 4.11’de gösterilen deney 1. aşamada 100 saniyenin üzerinde aynı akım verilmeye devam edilmiştir. Kablo $115 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ulaştığında kablo yalıtkan malzemesinde genleşmeler oluşmaya başlamıştır.



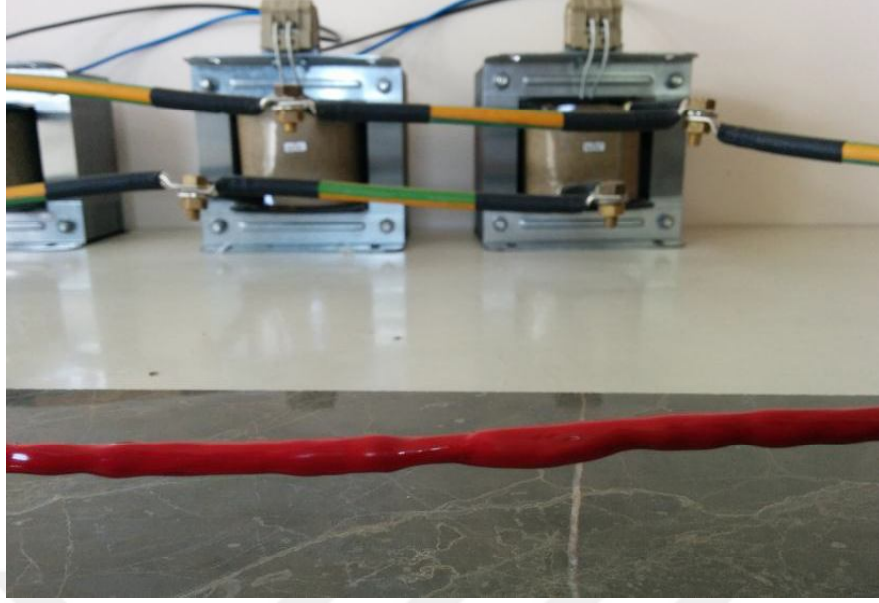
Şekil 4.11. Deney 1. aşama

Şekil 4.12’de görülen deney 2. aşamada akım verilmeye devam edilmektedir. Kablo sıcaklığı yaklaşık 125 °C’e geldiğinde kablonu boyunca izolasyon malzemesi olan PVC’nin genleşme miktarı daha belirgin hale gelmektedir ve kablo uçlarında test düzeneğinden gelen ana kablolara bağlantı kısımlarında duman oluşumu gözlenmiştir.



Şekil 4.12. Deney 2. aşama

Şekil 4.13’de görülen deney 3. aşamada akım sabit tutularak kablo üzerine verilmeye devam edilmektedir. Kablo sıcaklığı yaklaşık 140 °C’e geldiğinde kablonun her noktasında dumanlanma artarak gözlenmektedir. Kablo içerisinde bulunan iletken etrafındaki PVC yalıtkan malzemesi bazı kısımlarda bakırdan ayrılarak erimeye başlamıştır.



Şekil 4.13. Deney 3. aşama

Şekil 4.14’de görüldüğü gibi kablo 145 °C’a geldiğinde PVC yalıtkan malzemesi tamamen erimektedir ve kablo aşırı deformasyondan dolayı iletkenliğinin devam etmesine rağmen kullanılamaz hale gelmiştir. Yukarıda bahsedilen adımlar ile ayrıca test düzeneğinin çalışırlığında test edilib kullanılabirliğine karar verilmiştir.



Şekil 4.14. Aşırı akım sonrası deforme olan kablo

Deney düzeneğininde çalışabilirliği test edilmesi ardından 0.75 mm², 1 mm², 1.25 mm², 1.5 mm², 2.5 mm², 3 mm², 5 mm² ve 6 mm² tek damarlı bakır kablolarının akım taşıma kapasitesi deneyi yapılmıştır. Deney boyunca başlangıç ortam sıcaklığı

20 °C kabul edilmiştir ve uygulanan süre sonunda kablonun yatay kesiti 100 °C sıcaklığa gelinceye kadar deneyler tekrarlanmıştır. Deneyler 1, 2, 5, 10, 100, 1000 ve 3600 saniye olmak üzere 7 farklı süre için uygulanmıştır. Benzetim ile belirlenen değerden yola çıkılarak bilgisayar ortamında simülasyonlar ile elde edilen sonuçlar arasına düzeltme faktörü ilave edilmiş olup bu değerler deneysel olarak uygulanmıştır.

Deneysel çalışmada kullanılan diğer kablo tipide ek noktasına sahip kablolardır. Bu kablolarda eşit uzunlukta ve kesite sahip üç adet bakır kablo toplam boyu 1 metre olacak şekilde iki adet ek noktasıyla birbirlerine bağlanmıştır. Aynı tip kablolar üzerinde yapılan bu çalışmadaki amaç ek noktalarında oluşan dirençle birlikte kablo üzerinde meydana gelen sıcaklık artışı ve ek olmayan yerlere oranla bu sıcaklığın ne oranda farklı olduğunu tespit etmektir.

Şekil 4.15’de deney düzeneğine yerleştirilen örnekte 2.5 mm^2 kesitli eşit uzunluklu üç adet bakır kablonun eklenmesiyle oluşturulan numune deney düzeneğine yerleştirilmiştir. İzlenen yöntem yine diğer kablolarda olduğu gibi aynı şekildedir. 1, 2, 5, 10, 100, 1000 ve 3600 saniye boyunca 2.5 mm^2 ’lik bakır kablo için tespit edilen akım değeri bu deney için uygulanmıştır.



Şekil 4.15. Ek yerine sahip bakır kablolar

Tüm deneysel çalışmalarda sıcaklık takibi 160 x 120 IR sensör çözünürlüğüne sahip ,

-20°C ile +350°C arasında ölçüm yapabilen, 9 Hz resim yenileme hızına sahip yalnızca fotoğraf çekip ses kayıt edebilme özelliğine sahip termal kamera ile izlenerek veriler kaydedilmiştir.



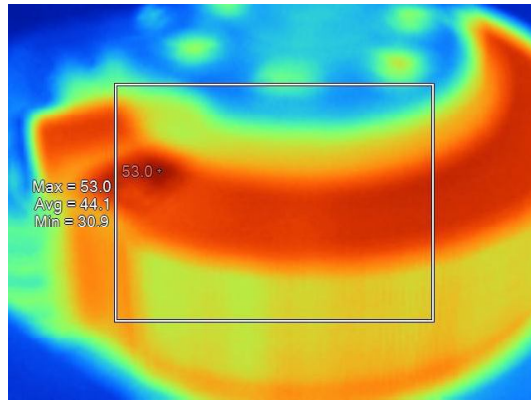
5.BULGULAR

Aşağıda deneysel olarak akım taşıma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla elde edilen 20 °C başlangıç koşullarında bulunan 1 metre uzunluğa sahip bakır kabloların 0.75mm² için sol bağlantı noktası, kablo merkezi ve sağ bağlantı noktalarındaki sıcaklık değişimi karşılaştırmak amacıyla zaman ve akımla ilişkisi çizelge 5.1’de gösterilmektedir. 0.75 mm², 1 mm², 1.25 mm², 1.5 mm², 2.5 mm², 3 mm², 5 mm² ve 6 mm² kablolarının zaman, akım taşıma kapasitesi ve sıcaklık ilişkileri ek 4’de çizelgeler halinde verilmiştir.

Çizelge 5.1. Akım değerlerine göre 0.75 mm² kesitli kablo üzerinde oluşan sıcaklıklar

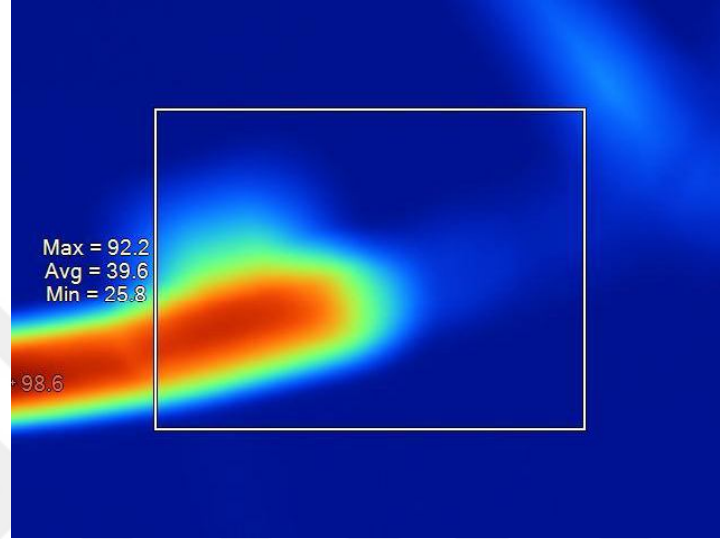
0.75 mm ²				
Zaman(sn)	Akım(A)	Sol Pabuç(°C)	Merkez(°C)	Sağ Pabuç(°C)
1	180	103	95	101
2	125	100	95	99
5	79	102	96	100
10	57	100	97	100
100	31	102	97	100
1000	26	102	98	101
3600	23	101	98	102

Termal kamera ile yapılan şekil 5.1’deki ölçümde kablonun deformasyon gözlem deneyinin ardından varyakta meydana gelen ısı dağılımı incelenmiştir. Maksimum sıcaklık 53 °C olarak saptanmıştır ve diğer deneyler için deney düzeneğinin çalışabilir olduğuna karar verilmiştir.



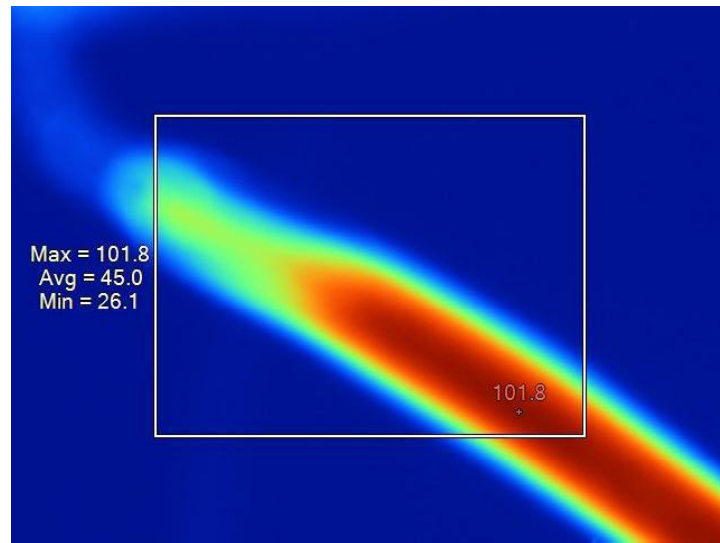
Şekil 5.1. Deney sonrası varyak üzerinde oluşan sıcaklık dağılımı

6 mm² kesite sahip kabloya uygulanan deformasyon inceleme deneyinde 133 A akım verilen kablo üzerinde farklı sürelerde çekilen termal görüntüler aşağıda verilmiştir. Normal şartlarda 100 saniye uygulanması gereken deney süresi 200 saniye seviyesinde tutulmuştur. Deneyin 80. saniyesinde şekil 5.2’de görülen sağ uçta 98.6 °C’lik sıcaklığa ulaşılmıştır.



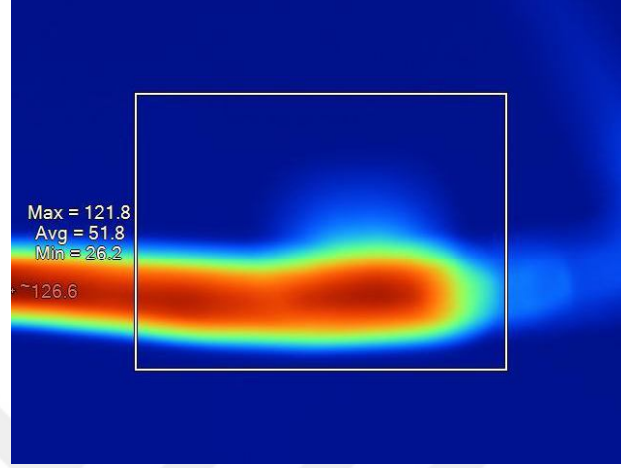
Şekil 5.2. 6 mm² kablonun 80 saniyede sağ uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı

Aynı numunenin deneyinde 80 saniye sonunda sol uçtaki maksimum sıcaklık şekil 5.3’de görüldüğü gibi 101.8 °C’a yükselmiştir.



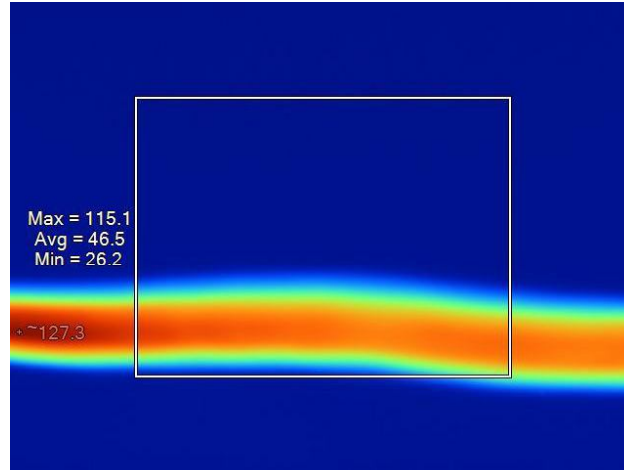
Şekil 5.3. 6 mm² kablonun 80 saniyede sol uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı

6 mm² kesitli B tipi kablo için maksimum sıcaklık 100 °C iken maksimum ulaştığı sıcaklık 125 °C ‘a çıkabilir. Ancak bu sıcaklık üzerine çıkılması durumunda kablo tekrar kullanılmamalıdır. Şekil 5.4’de bu kabloya 133 A akım 150 saniye boyunca verildiğinde merkez kısmında 126.6 °C ulaşan maksimum sıcaklık görülmektedir.



Şekil 5.4. 6 mm² kablonun 130 saniyede sağ uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı

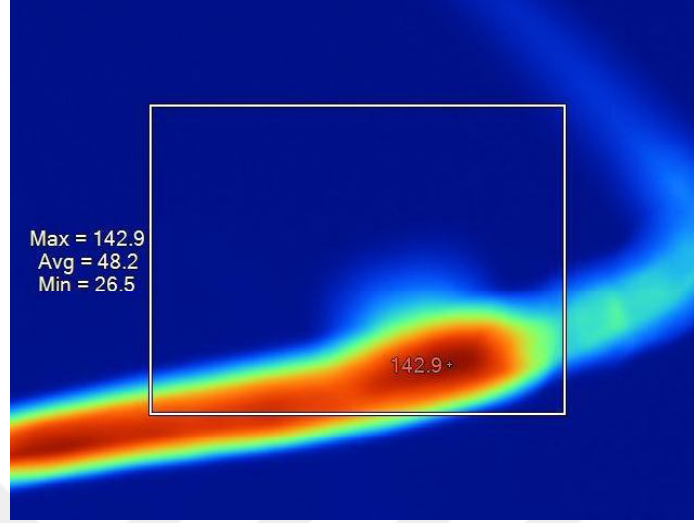
Merkez noktasında 125 °C seviyesine yaklaşması için 150. Saniyeye kadar bu akım kabloya verilmeye devam edilmiştir. Elde edilen bulguda şekil 5.5’de kablo 127.3 °C’a kadar ısındığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.5. 6 mm² kablonun 150 saniyede merkezde meydana gelen sıcaklık dağılımı

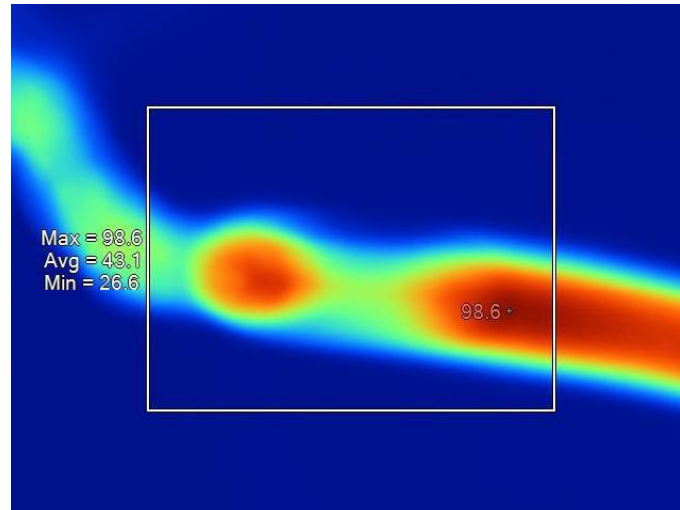
Deformasyonu incelemek için 180. Saniyeye kadar sabit 133 A akım verilmeye devam edilmiştir. Bu süre sonunda sağ uçta 142.9 °C sıcaklığa ulaşılmıştır. Bu sıcaklıkla

birlikte kablo izolasyon malzemesi eriyerek deforme olmuştur ve deney sonlandırılmıştır.



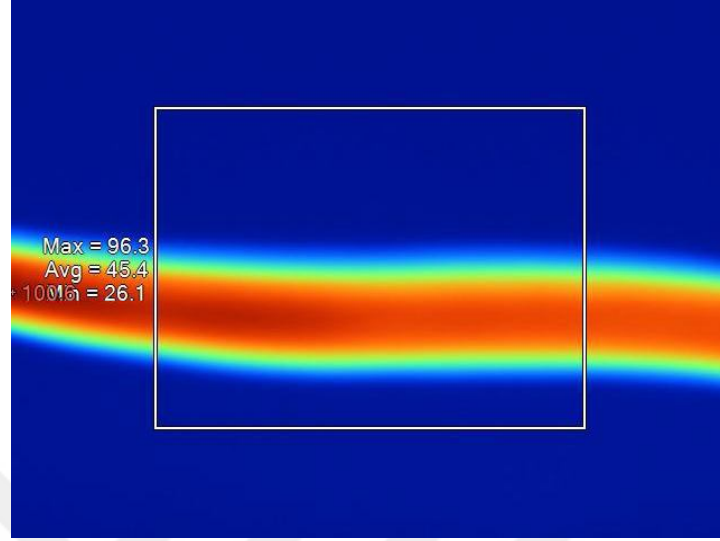
Şekil 5.6. 6 mm² kablonun 180 saniyede sağ uç ucta meydana gelen sıcaklık dağılımı

Bu kısımda daha önce simülasyonundan bahsedilmiş 0.75 mm² bakır kablo üzerinde yapılan deneyin termal görüntüleri bulunmaktadır. Kablo üzerine 1000 saniye boyunca 26 A verilerek yapılan deneyde sol bağlantı ucunun görüntüsü şekil 5.7’de gösterilmiştir. Maksimum sıcaklık 98.6 °C olarak kaydedilmiştir.



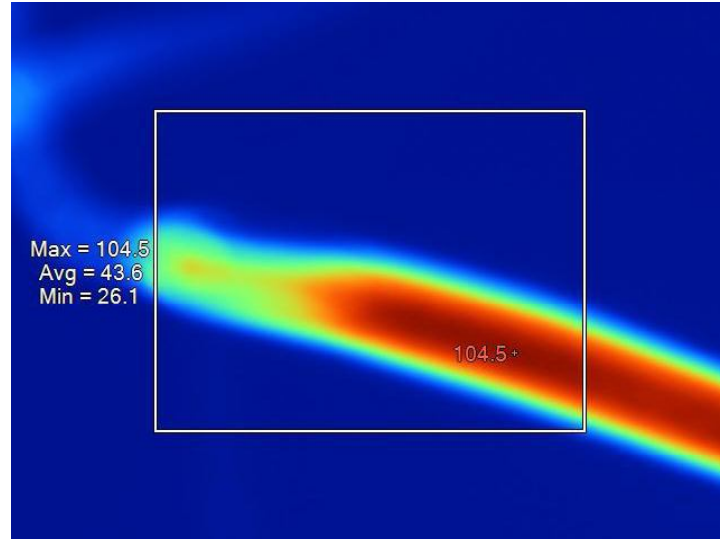
Şekil 5.7. 0.75 mm² kablonun 1000 saniyede sol uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı

0.75 mm² 'lik kablonun merkezi 100.6 °C olarak ölçüldüğünde sol uçtaki sıcaklıkda nihai olarak şekil 5.8'de görüldüğü gibi 104.5 °C değerine ulaşmıştır.



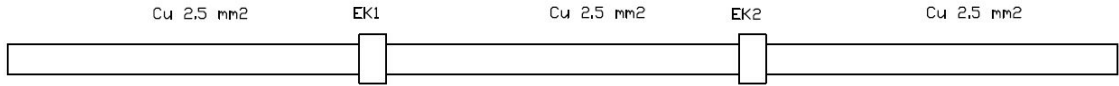
Şekil 5.8. 0.75 mm² kablonun 1000 saniyede merkezde meydana gelen sıcaklık dağılımı

Şekil 5.8'de merkez sıcaklığı 96.3°C'e geldiğinde sağ uçta ölçülen maksimum sıcaklık 104.5 °C olarak şekil 5.4'de görülmektedir.



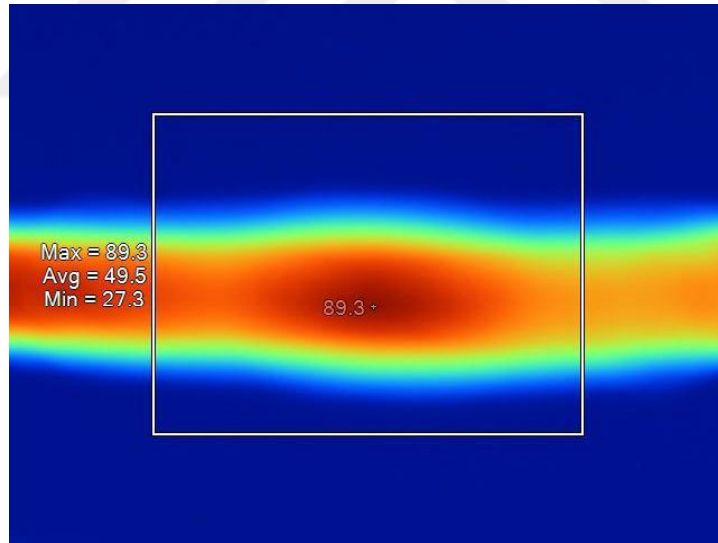
Şekil 5.9. 0.75 mm² kablonun 1000 saniyede sağ uçta meydana gelen sıcaklık dağılımı

Deneysel olarak incelenmiş bir diğer tipte ek noktalara sahip şekil 5.10’da görülen ek noktalara sahip kablodur. Ek noktası 1 ve ek noktası 2 ölçüleri ve tipleri aynı olup numunenin toplam uzunluğu 1 metreden oluşmaktadır.



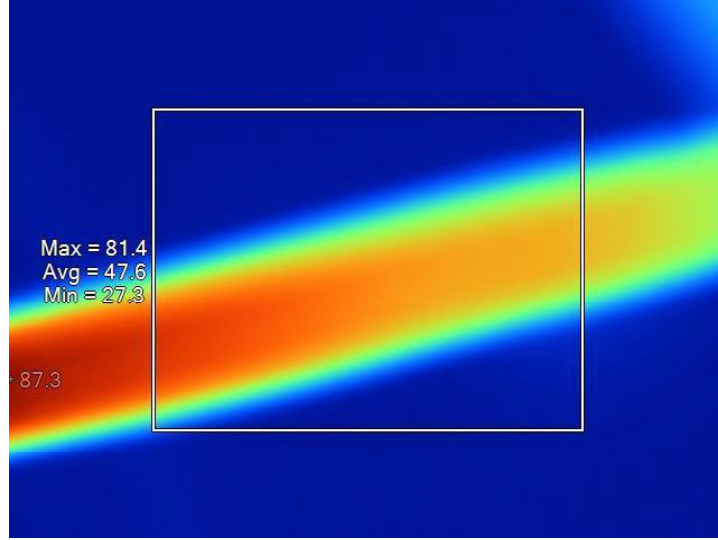
Şekil 5.10. 2.5 mm² kesitli ek noktalarına sahip bakır numune

Şekil 5.10’de görülen termal resimde 2.5 mm²’lik kabloya 100 saniye boyunca 64 A akım uygulanmıştır. Ancak alınan görüntüler yaklaşık 80 saniye seviyesinde çekilmiştir. Bu sayede ek noktasındaki kablo ile diğer kısımdaki noktalar arasındaki sıcaklık farkları daha net şekilde görülebilmektedir. Uygulanana akım değerleri simülasyon aşamasında elde edilen 2.5 mm²’lik bakır kablo için elde edilen değerlerdir. Uygulama süreleride tüm deneydeki kablolara uygulanan standartlar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.11. 2.5 mm² ek yerine sahip kablonun merkez sıcaklık dağılımı

Merkez noktasında 89.3 °C sıcaklığa sahip olan kablo 80 saniyede sol ucunda 27.3 °C ‘lık sıcaklığa sahip olduğu şekil 5.11’de görülmektedir.



Şekil 5.12. 2.5 mm² ek yerine sahip kablunun sağ uctaki sıcaklık dağılımı

Deneyssel olarak 2.5 mm²'lik kablo nun ek yeri ve diğer noktalarının sıcaklığının akım ve zamanla değişimi çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. 2.5 mm² Ek yerine sahip kablunun sıcaklık-akım ilişkisi

Zaman(sn)	Akım(A)	Cu (2.5mm ²) (°C)	Ek1(C)	Cu (2.5mm ²) (°C)	Ek2(°C)	Cu (2.5mm ²) (°C)
1	520	81	106	81	104	81
2	364	83	108	82	106	84
5	225	86	110	83	108	88
10	154	90	103	92	102	89
100	64	95	102	96	99	95
1000	54	98	100	96	100	97
3600	48	98	101	97	100	97

6. SONUÇ

Tek damarlı bakır kablolardaki akım taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla benzetim, deneysel ve simülasyon çalışmaları tamamlanmıştır. Benzetim ile yapılan çalışmada kablo kesitine göre akım taşıma kapasitesi matematiksel hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler simülasyon ortamında denenerek bu değerlere düzeltme faktörü eklenmiştir. Bu sayede gerçek akım taşıma kapasitesi değerleri simülasyon ortamında doğrulanmıştır. Simülasyonun tamamlanmasının ardından deneysel olarak elde bulunan akım değerleri kablolar üzerine belirlenen zaman boyunca uygulanmış ve bulgular elde edilmiştir.

Araç kablolarında kullanılan bakır kablolardaki akım taşıma kapasitesi yapılan çalışma sonucu belirli parametrelere bağlı olarak değiştiği saptanmıştır. Akım taşıma kapasitendeki en önemli parametre ortam sıcaklığıdır. Otomotivde kullanılan kabloların minimum ve maksimum çalışma sıcaklıkları standartlarca belirlenmiştir. Bu sebeple başlangıç başlangıç sıcaklığı ve kablonun ulaşacağı maksimum sıcaklık olan 100 °C (B tipi kablo için) arasındaki fark ne kadar fazla ise kapasite o kadar artacaktır. 20 °C başlangıç ile yapılan deney bulguları 40 °C ve 60 °C için elde edilen bulgularla kıyaslandığında iletebileceği akım değeri daha fazla olduğu görülmektedir. Buda ortam sıcaklığı ile akım taşıma kapasitesi arasında ters orantı olduğunu göstermektedir.

Kabloları uygulanan akım süresi kısa olduğunda akımdan dolayı ortaya çıkan ısı taşınımıyla kısa sürede dış ortama uzaklaştırılmaz. Bu nedenle kablo sıcaklığı taşınımın gerçekleşmemesinden dolayı 100 °C'nin üzerine çıktığı bulgularda saptanmıştır.

Kablolar üzerindeki termal davranış incelendiğinde uygulanan akım süresi arttıkça 1000 saniye ve sonrasında sıcaklık artış oranı azalmıştır ve kablonun üzerinde ısı transferi sürekli rejim haline oturmuştur.

Kabloların kesitleri ile elde edilen sıcaklık bulguları bakıldığında kesit arttıkça uygulanan akım süresince kablonun merkez ve uç noktaları arasındaki sıcaklık farkı zamanla ters orantılı olarak değişmektedir. Yani büyük kesitli kabloya kısa süre uygulanan akım ile merkez ile sağ ve sol uçların arasındaki sıcaklık farkı %15'e kadar daha fazlayken, daha küçük kesitli kabloları merkez ve uçları arasındaki sıcaklık farkı %10'a kadar farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca uygulanan akım süresi arttıkça merkez

ve uçlar arasındaki sıcaklık farkları tüm kablo tipleri azalmıştır. 1000 saniye ve 3600 saniye akım uygulanarak yapılan deneylerde merkez ve uçlar arasındaki sıcaklıklar %3'e kadar farklı olduğu belirlenmiştir.

Ek içeren kablolarda yapılan çalışmalarda kontak bölgesindeki direnç yaklaşık %1 artmaktadır buda ortaya çıkan ısıyı orantılı olarak arttırarak daha kısa sürede sıcaklığın artmasını beraberinde getirmiştir. Kısa süreli yapılan deneylerde ek bölgesi ve diğer bölgelerdeki sıcaklık farkları %20'ye ulaşırken, uzun süreli yapılan deneyde bu sıcaklık farkı maksimum %3'e ulaştığı gözlemlenmiştir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, bu tez çalışmasında elde edilen akım taşıma kapasiteleri ilgili kablolar üzerine belirli sürelerde uygulanarak kablo ve kablo demetleri üzerinde meydana gelene elektromanyetik oluşumun simülasyon ve deneysel olarak yapılarak karşılaştırılması ve elektromanyetik etkinin azaltılması yönünde optimizasyon çalışmasının yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Anonim, 2002. Focus wiring diagrams. Ford Werke AG 2003. Germany.

Anonim, 2010. Electrical wiring diagrams section 5. Ford Motor Company Ltd, Unites States of America

Anonim, 2011. Thermal imaging guidebook for building and renewable energy applications. www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820325/T820325_EN.pdf - (Eriřim tarihi: 26.06.2016)

Anonim, 2013. ANSYS Mechanical APDL Coupled- Field Analysis Guide. <http://148.204.81.206/Ansys/150/ANSYS%20Mechanical%20APDL%20Coupled-Field%20Analysis%20Guide.pdf> – (Eriřim tarihi: 06.03.2016)

Anonim, 2015. Electromagnetic compability specification for electrical / electronic components and subsystems. <http://www.fordemc.com/docs/download/FMC1278.pdf> - (Eriřim tarihi: 04.06.2016)

Anonim, 2016. BMW i3. https://en.wikipedia.org/wiki/BMW_i3-(Eriřim tarihi: 30.05.2016)

Anonim, 2016. Elektromanyetik spektrum. <http://www.infolla.com/elektromanyetik-spektrum> - (Eriřim tarihi: 26.06.2016)

Anonim, 2016. Maksimum ve minimum sıcaklık dağılımları. <http://www.mgm.gov.tr/genel/ssss.aspx?s=sicakliklenleri2>-(Eriřim tarihi: 30.05.2016)

Anonim, 2016. Sonlu elemanlar yöntemi. https://tr.wikipedia.org/wiki/Sonlu_elemanlar_y%C3%B6ntemi-(Eriřim tarihi: 30.05.2016)

Anonim, 2016. Termografi. <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermography> - (Eriřim tarihi: 26.06.2016)

Berger, H. 2009. CarEcology: New Technological and Ecological Standards in Automotive Engineering Module 3.Alternative Drive Systems. Department of Electronics & Technology Management University of Applied Sciences, Austria.

Bıçen, Y. 2006. Yeraltı güç kablolarının bilgisayar destekli analizi. *Yüksek lisans tezi*, Kocaeli Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Çengel, Y.A., Ghajar, A.J. 2015. Heat and mass transfer: Fundamentals & Applications. McGraw-Hill Education. New York, United States of America, 968 p.

Denton, T. 2004. Automobile electrical and electronics systems. Oxford, 463 pp.

Duffy, J. E. 2009. Modern automotive technology. The Goodheart-Willcox Company, United States of America, 1613 p.

Gölcü, M. 2014. Otomotiv mühendisliğine giriş ders notları. Pamukkale Üniversitesi. Denizli.

Grandvailllemin, J., Chamagne, D., Glises, R., Tiraby, C., Butel Degrange , F.2007. Thermal Modelling of Enclosed Cables in Automotive Applications. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 9-12 September 2007, Arlington, USA.

IEC TS 62153-4-1. 2014. Metallic communication cable test methods – Part 4-1: Electromagnetic compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic screening measurements, Geneva, Switzerland.

ISO 6722-1 International Standart. 2011. Road vehicles- 60 V and 600V single core cables- Part 1: Dimensions, test methods and requirements for copper conductor cables, France.

Karaca, G. 2006. Kablolarda elektriksel ve ısııl zorlanmaların sonlu elemanlar yöntemiyle çoklu analizi. *Yüksek lisans tezi*, İstanbul Teknik Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Karahan, M. 2007. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak güç kablolarının ısııl analizi ve akım taşıma kapasitesinin değerlendirilmesi. *Doktora tezi*, Marmara Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik Eğitimi Programı, İstanbul.

Karataş, M. H. 2010. Elektromanyetik uyumluluk araştırması ve kablolar üzerinde testleri. *Yüksek lisans tezi*, Gazi Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Larminie, J., Lowry, J. 2012. Electrical vehicle technology explained. Wiley publication. West Sussex, United Kingdom, 314 p.

Moaveni, S., Ayhan, A.O. 2015. Sonlu elemanlar analizi teori ve ANSYS ile uygulamalar. Palme yayıncılık, Ankara, 906 s.

Mollamahmutoğlu, H. H. 2009. Kablo eklerinin elektriksel ve ısııl analizi. *Yüksek lisans tezi*, İstanbul Teknik Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Najamuz, Z. 2015. Automotive electronics design fundamentals. Springer, Switzerland, 262 pp.

O'Hara, M., Colebrooke, J. 2003. Automotive EMC test harnesses: Standart lengths and their effect on conducted emissions. Electromagnetic Compatibility, 2003. EMC '03. 2003 IEEE International Symposium, 16 May 2003, Istanbul, Turkey.

Oba, K. 2013. Wiring harnesses for next generation automobiles. *Fujikura technical review*.

Rybak, T., Steffka, M. 2004. Automotive electromagnetic compability. Kluwer Academic Publishers. Unites States of America, 295p.

Sevgi, L. 2015. Tasarımdan piyasaya elektromanyetik uyumluluk. Okan Üniversitesi Yayınları. İstanbul, 313 s.

Tröschner, M. 2015. CST's Simulation Capabilities for Automotive Applications. Europe automotive workshop, 23 Nov 2015, Munich, Germany.

Williams, T. 2007. EMC for product designers. Elsevier Ltd, Great Britania, 498 p.

Yıldız, B. 2015. Ticari bir gemide kısa devre akımı hesapları. *Yüksek lisans tezi*, İstanbul Teknik Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



EKLER

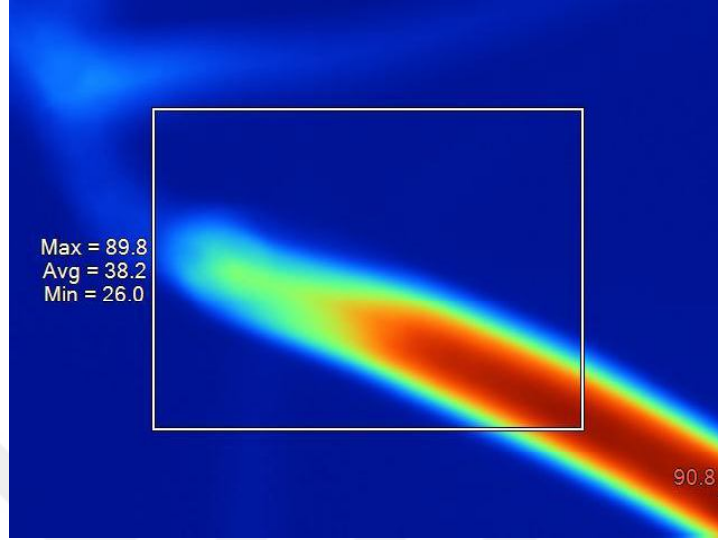
EK 1

Otomotivde Kullanılan Kablolama Standartları

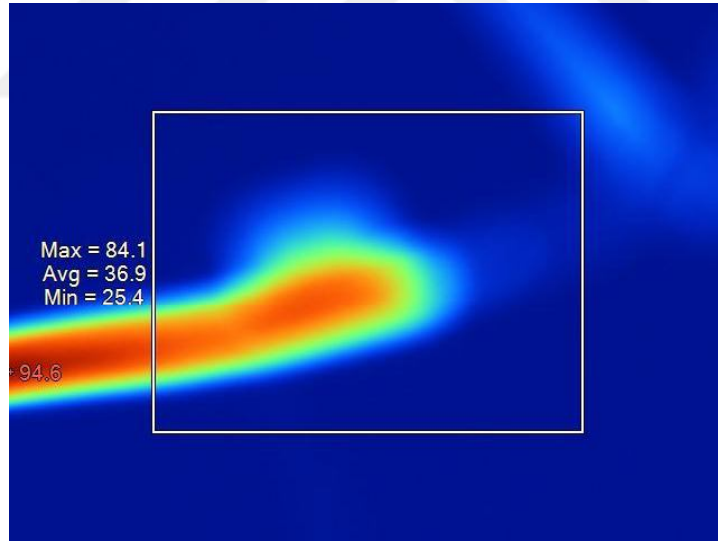
Standart Adı	Standartın Açıklaması
J1292	Otomotbil, kamyon, traktör ve deniz motorlari kablolaması
J1742	Binek araçların yüksek gerilim bağı kabloları ve kablolama sistemi, test metodları
J2223/1	Binek araçlar elektrik kablolama sistemi bağlantısı, part1- tek kutuplu konnektörler
J2223/2	Binek araçlar Elektrik kablolama sistemi bağlantısı, Part2- test ve genel performans gereksinimleri
J2223/3	Binek araçlar Elektrik kablolama sistemi bağlantısı, part3- çok kutuplu konnektörler ve özel gereksinimleri
J1673	Yüksek gerilim otomotiv kablo montaj tasarımı
J2618	Kablo demetlerinde fiziksel koruma için performans özellikleri
J2192	Kablo demetlerinde fiziksel koruma için test metodları

EK 2

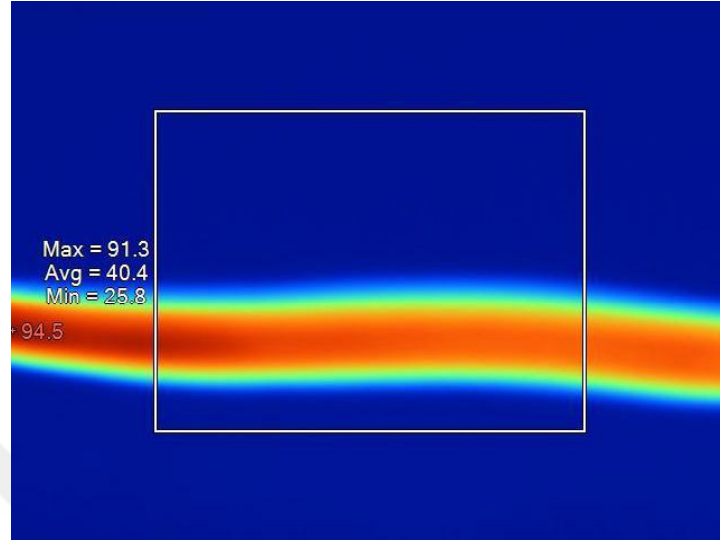
Termal Görüntüler



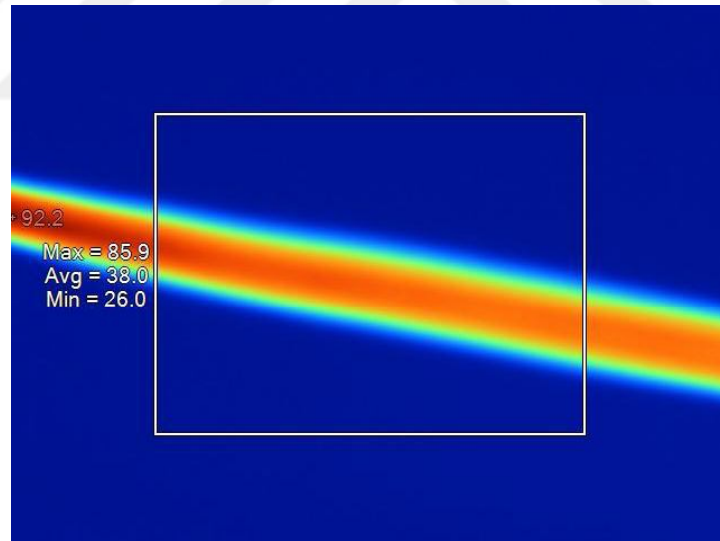
0.75 mm² 100 saniyede sol uçta sıcaklık dağılımı



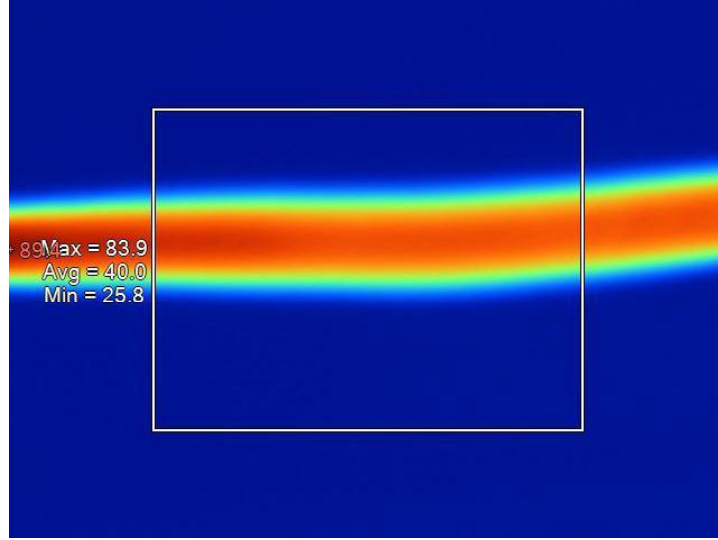
0.75 mm² 800 saniyede sağ uçta sıcaklık dağılımı



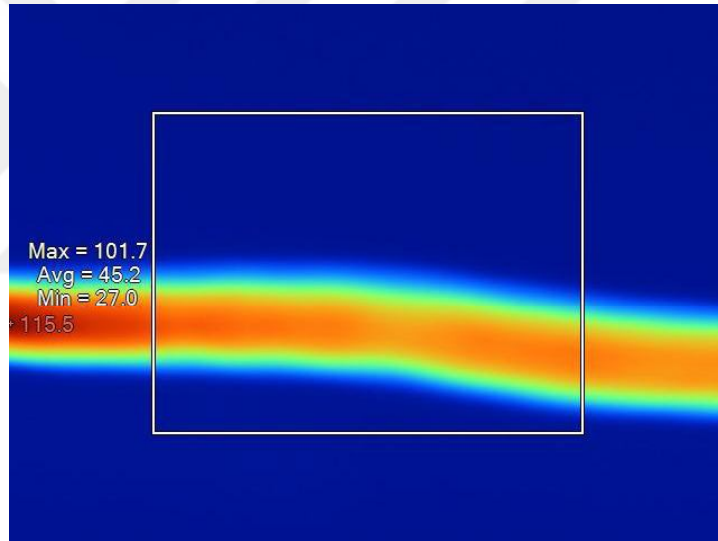
0.75 mm² 1000 saniyede merkezde sıcaklık dağılımı



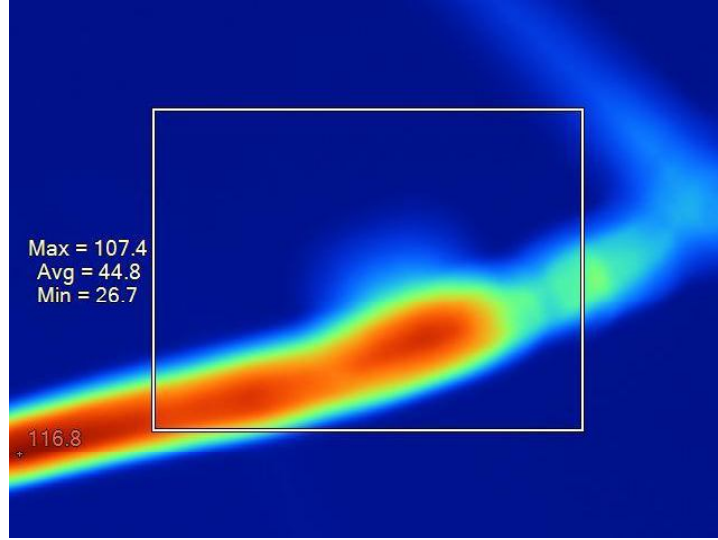
1 mm² 800 saniyede merkezde sıcaklık dağılımı



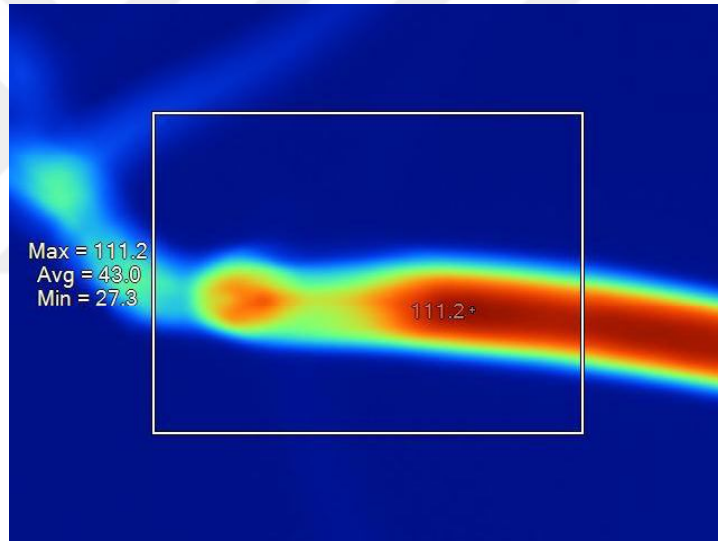
1 mm^2 800 saniyede merkezde sıcaklık dağılımı



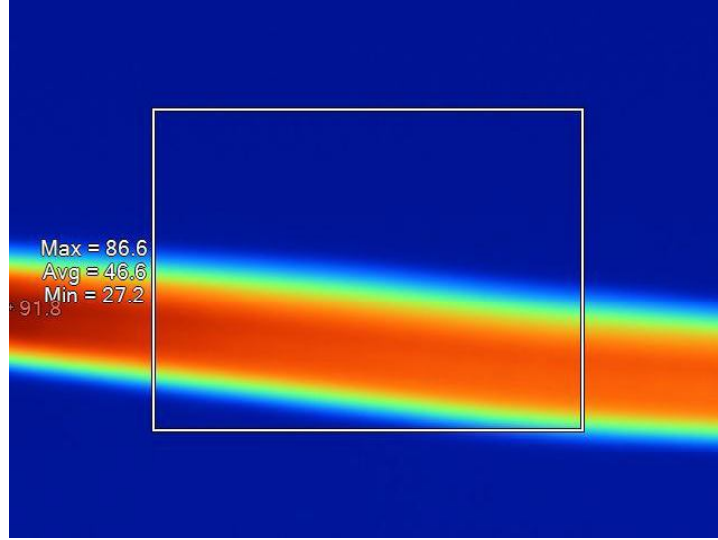
1.5 mm^2 1000 saniyede merkezde sıcaklık dağılımı



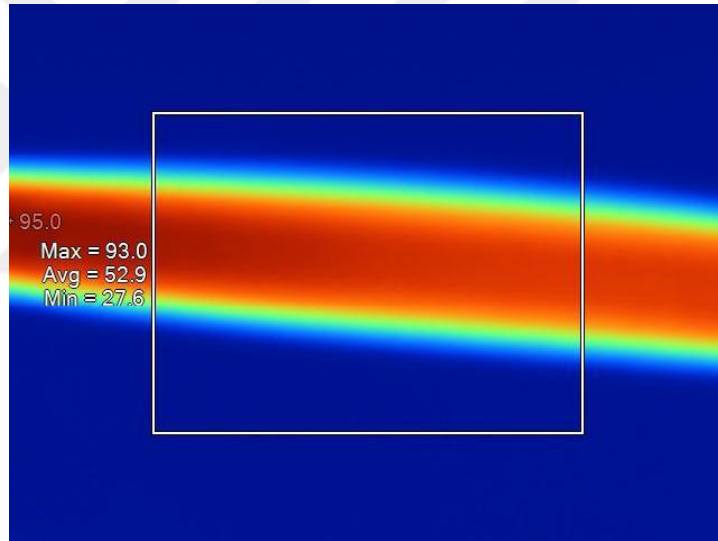
1.5 mm^2 1000 saniyede sağ uçta sıcaklık dağılımı



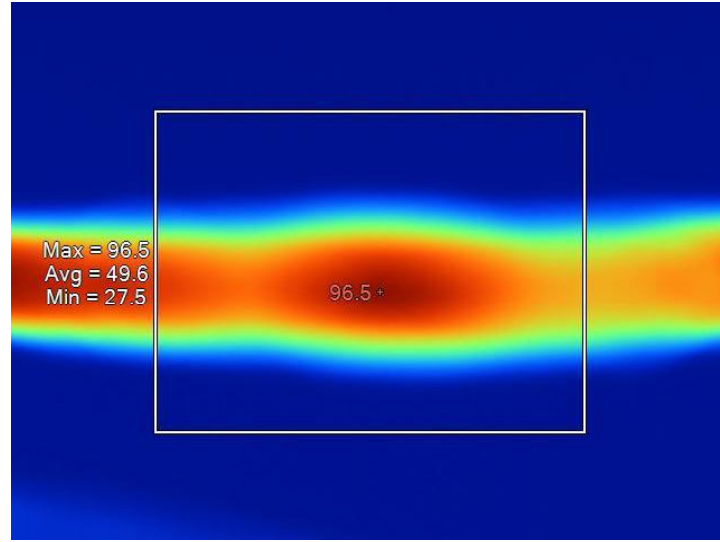
1.5 mm^2 10 saniyede sol uçta sıcaklık dağılımı



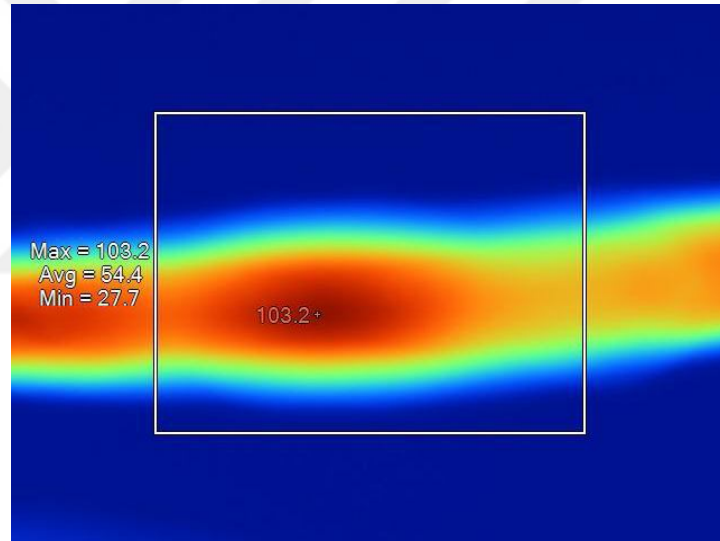
1.25 mm^2 80 saniyede merkezde sıcaklık dağılımı



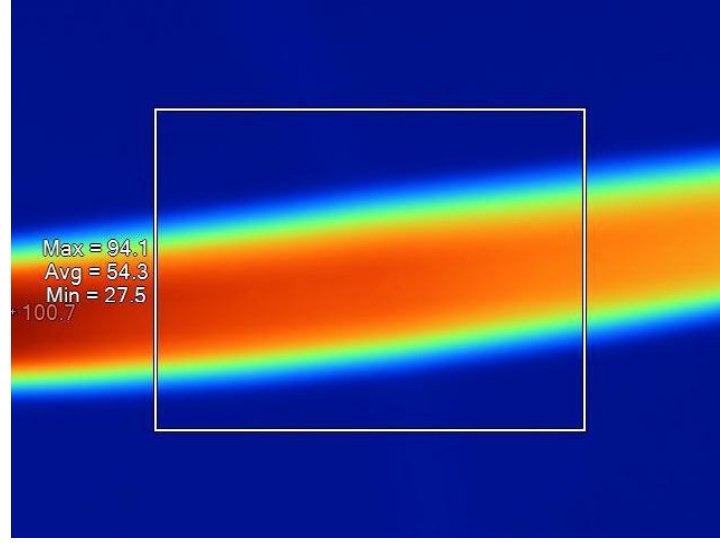
2.5 mm^2 100 saniyede merkezde sıcaklık dağılımı



2.5 mm²ekli 900 saniyede ek noktasında sıcaklık dağılımı



2.5 mm²1000 saniyede ek noktasında sıcaklık dağılımı

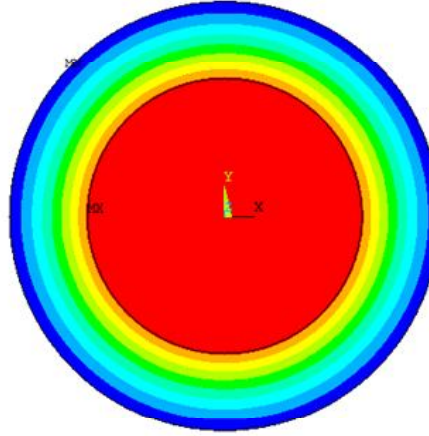


3 mm²100 saniyede merkezde sıcaklık dağılımı

EK 3

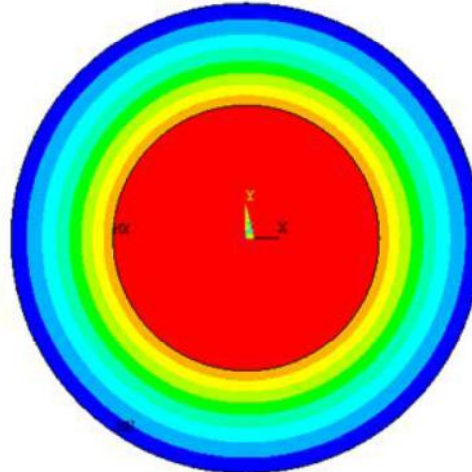
Simülasyon Analizi Çıktıları

NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =50
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =95.6397
SMX =103.637



0.75 mm² 1000 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

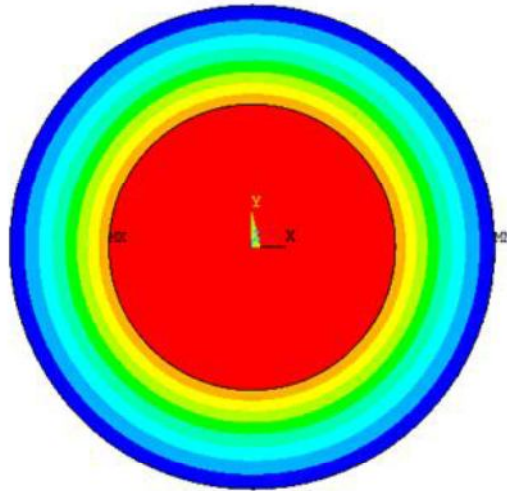
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =50
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =86.1504
SMX =98.6484



1 mm² 1000 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION

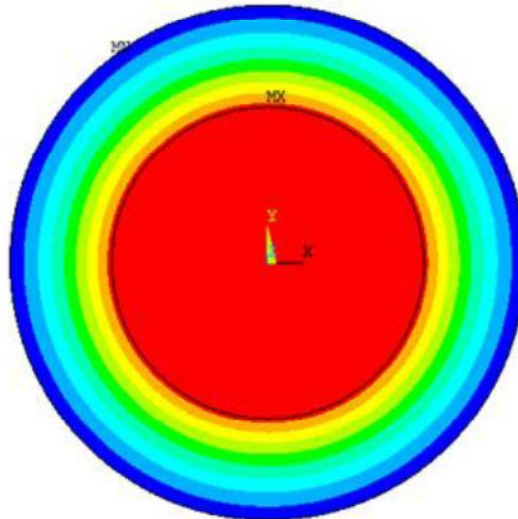
STEP=1
SUB =50
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =86.0625
SMX =98.6014



1.25 mm^2 1000 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION

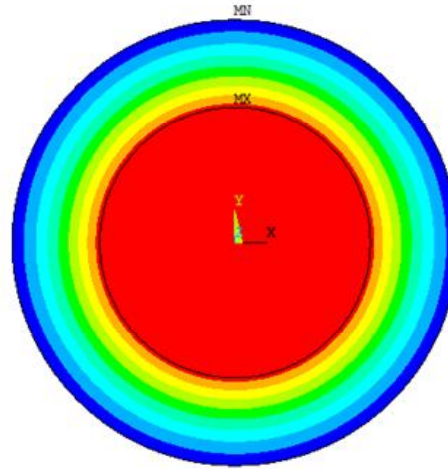
STEP=1
SUB =50
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =84.33
SMX =97.3435



1.5 mm^2 1000 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION

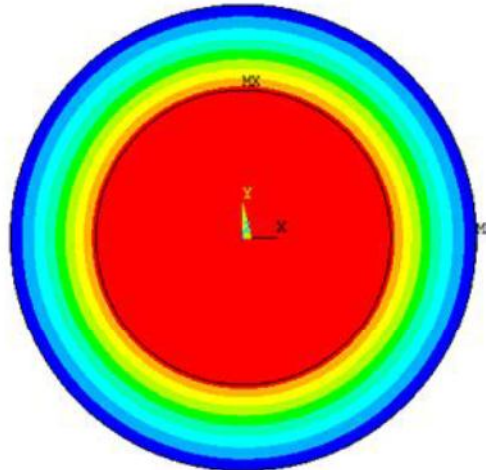
STEP=1
SUB =50
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =88.0168
SMX =102.79



2.5 mm²1000 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION

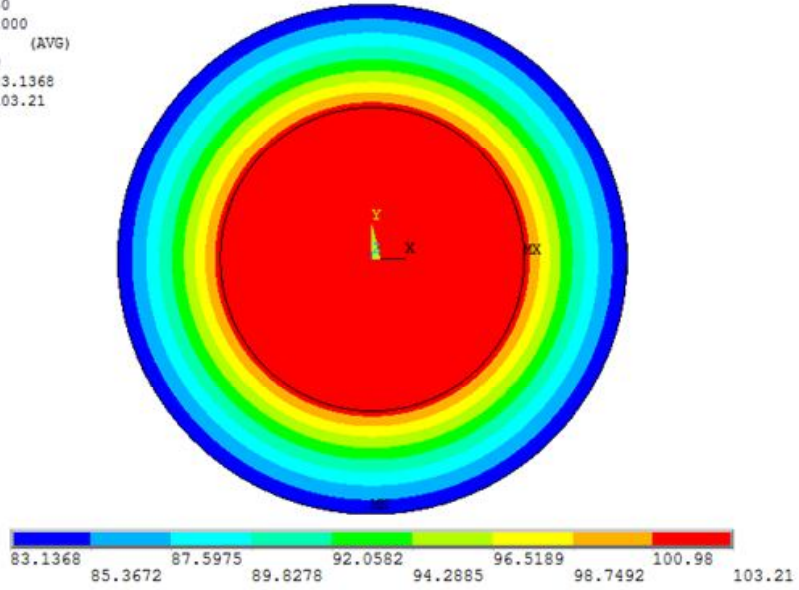
STEP=1
SUB =50
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =84.5813
SMX =99.2524



3 mm²1000 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION

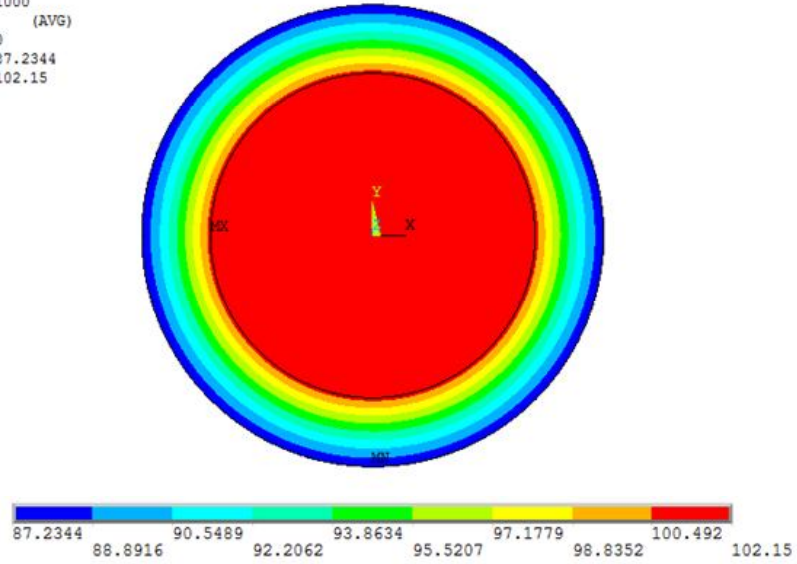
STEP=1
SUB =50
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =83.1368
SMX =103.21



5 mm²1000 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

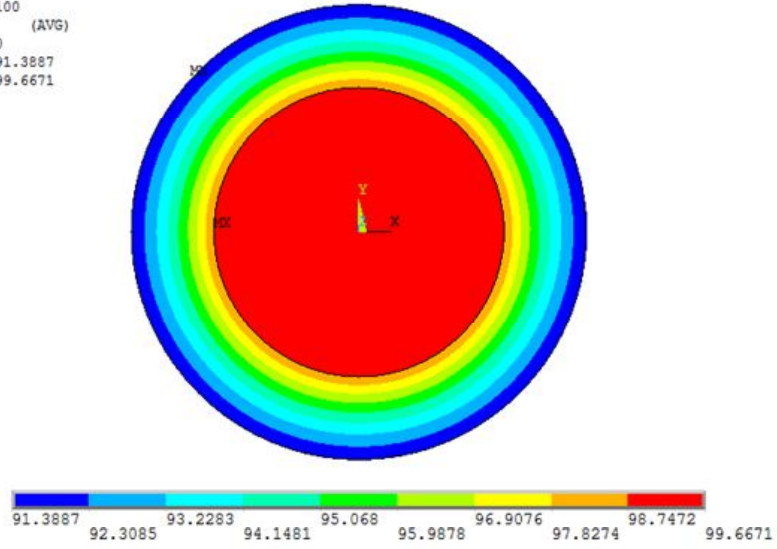
NODAL SOLUTION

STEP=1
SUB =50
TIME=1000
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =87.2344
SMX =102.15



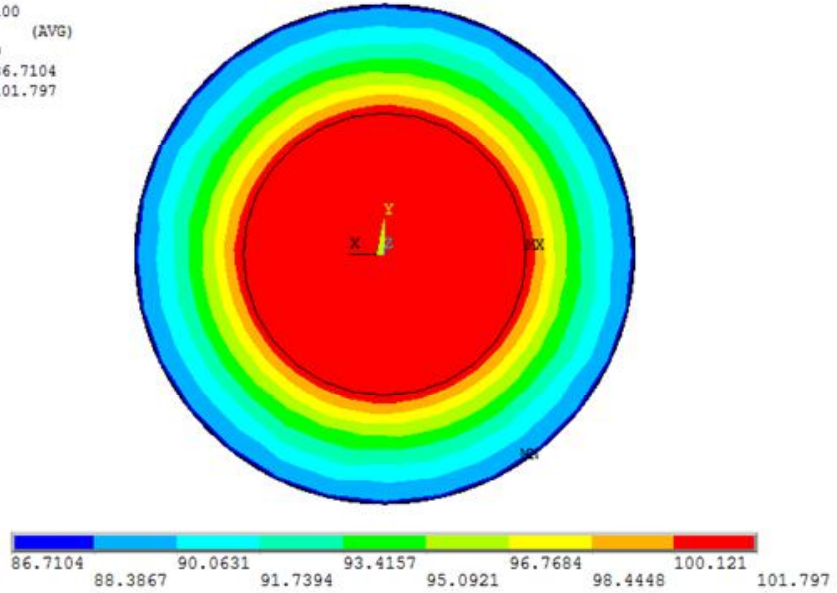
6 mm²1000 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =50
 TIME=100
 TEMP (AVG)
 RSYS=0
 SMN =91.3887
 SMX =99.6671



0.75 mm^2 100 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

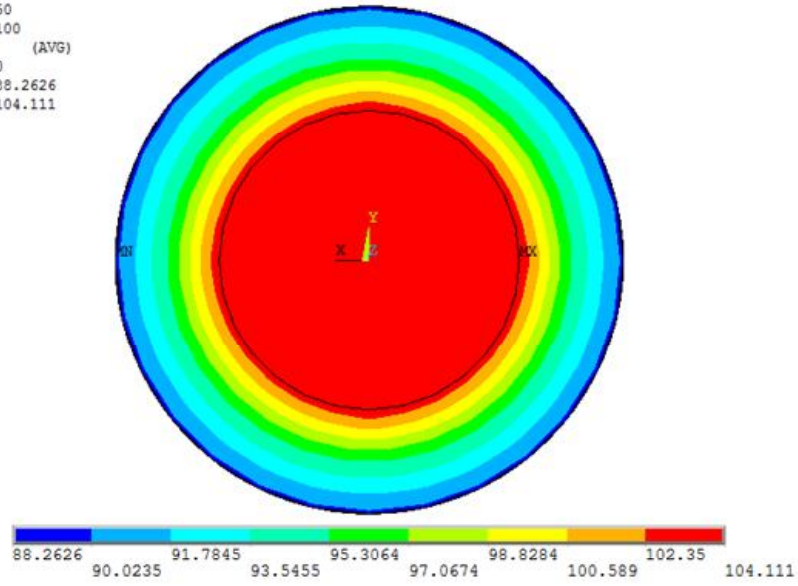
NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =50
 TIME=100
 TEMP (AVG)
 RSYS=0
 SMN =86.7104
 SMX =101.797



1 mm^2 100 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION

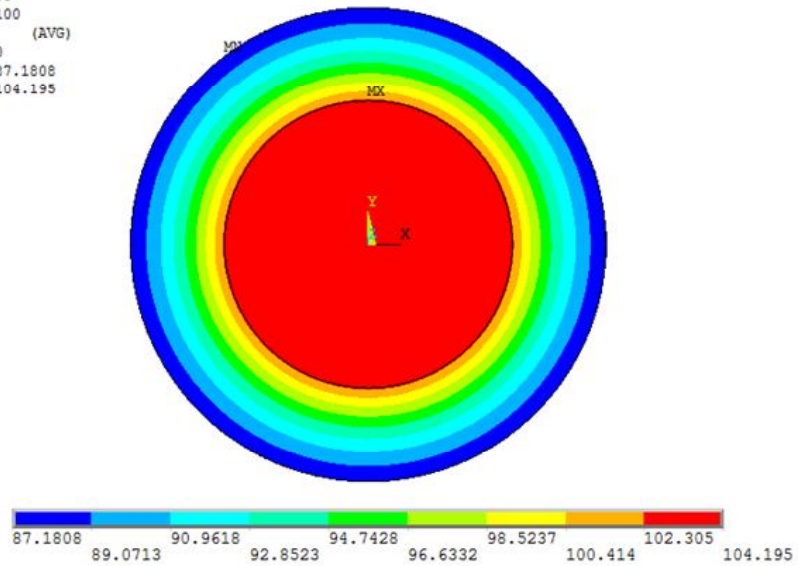
STEP=1
SUB =50
TIME=100
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =88.2626
SMX =104.111



1.25 mm²100 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

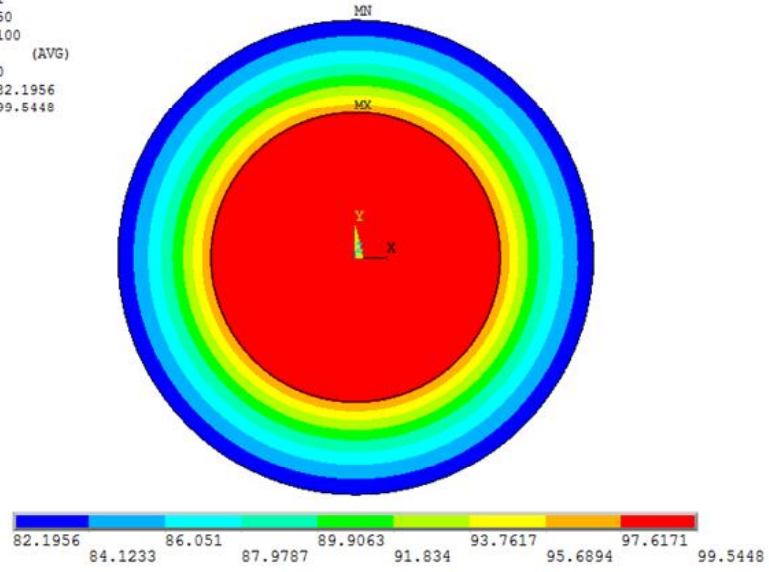
NODAL SOLUTION

STEP=1
SUB =50
TIME=100
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =87.1808
SMX =104.195



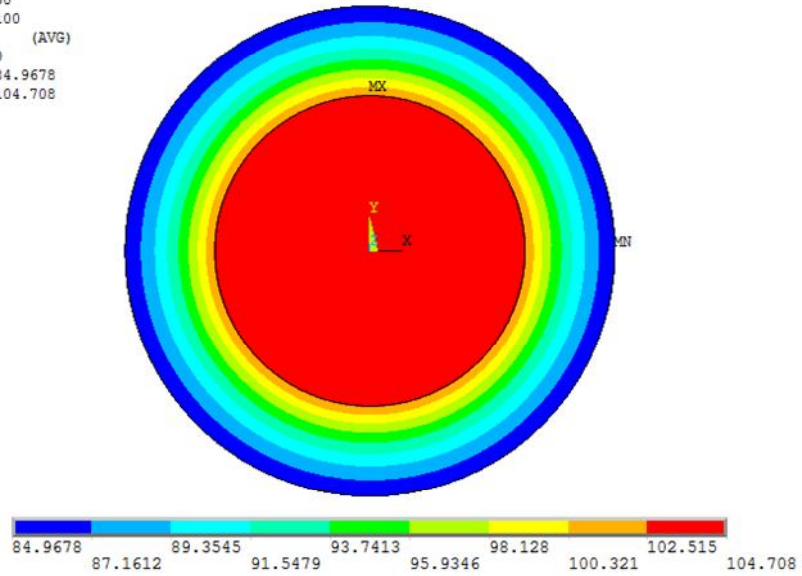
1.5 mm²100 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =50
 TIME=100
 TEMP (AVG)
 RSYS=0
 SMN =82.1956
 SMX =99.5448



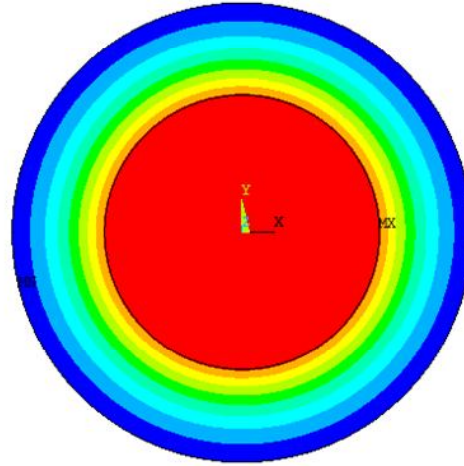
2.5 mm² 100 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =50
 TIME=100
 TEMP (AVG)
 RSYS=0
 SMN =84.9678
 SMX =104.708



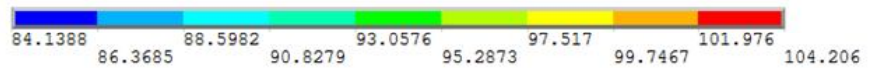
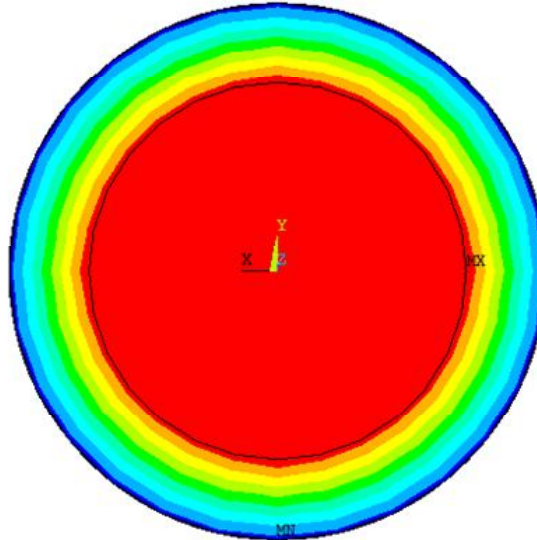
3 mm² 100 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =50
 TIME=100
 TEMP (AVG)
 RSYS=0
 SMN =72.5107
 SMX =97.5677



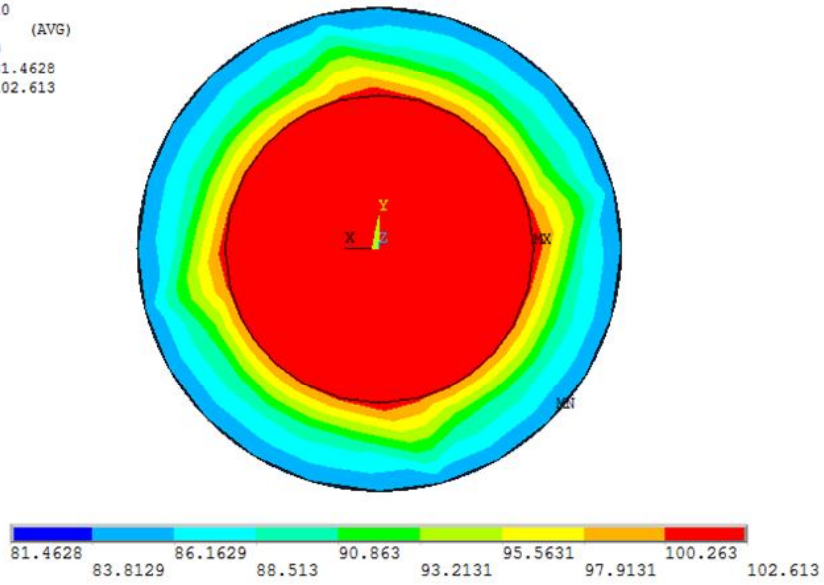
5 mm² 100 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =50
 TIME=100
 TEMP (AVG)
 RSYS=0
 SMN =84.1388
 SMX =104.206



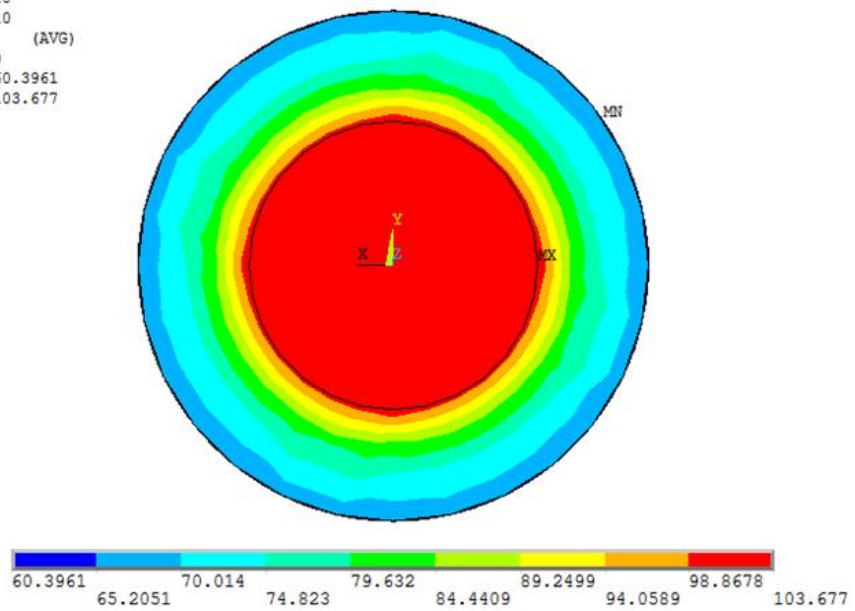
6 mm² 100 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =20
 TIME=10
 TEMP (AVG)
 RSYS=0
 SMN =81.4628
 SMX =102.613



0.75 mm^2 10 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

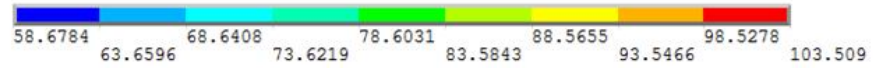
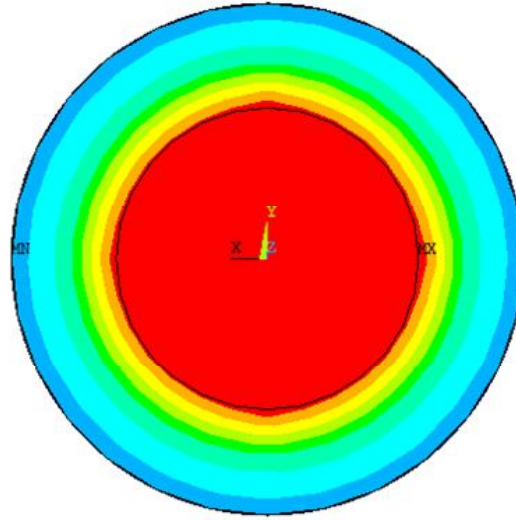
NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =20
 TIME=10
 TEMP (AVG)
 RSYS=0
 SMN =60.3961
 SMX =103.677



1 mm^2 10 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION

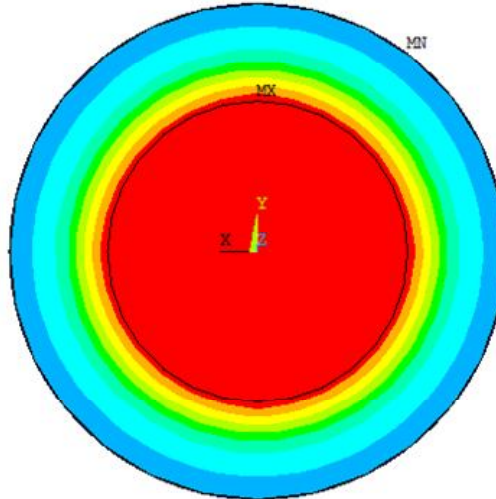
STEP=1
SUB =20
TIME=10
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =58.6784
SMX =103.509



1.25 mm² 10 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION

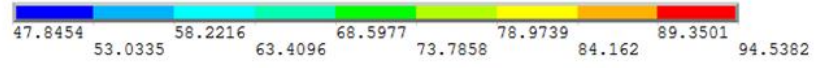
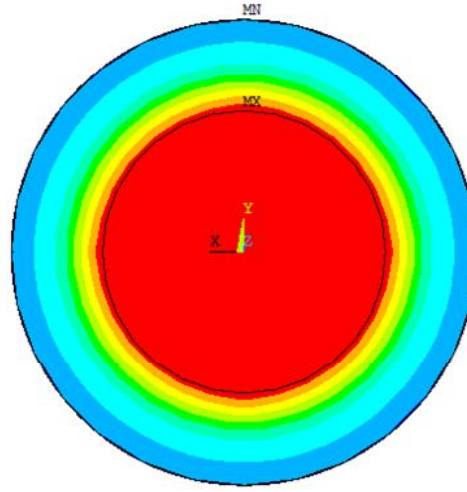
STEP=1
SUB =20
TIME=10
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =54.2009
SMX =101.083



1.5 mm² 10 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

NODAL SOLUTION

STEP=1
SUB =20
TIME=10
TEMP (AVG)
RSYS=0
SMN =47.8454
SMX =94.5382



2.5 mm² 10 saniyede kablo kesiti sıcaklık dağılımı

EK 4

Benzetim ve Deneysel Olarak Elde Edilen Akım Taşıma Kapasiteleri

0.75 mm2	Sıcaklık 20°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	180	110	1,65
2	125	78	1,60
5	79	51	1,54
10	57	38	1,50
100	31	23	1,35
1000	26	22	1,20
3600	23	22	1,05

1 mm2	Sıcaklık 20°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	207	145	1,45
2	144	103	1,40
5	91	67	1,35
10	65	49	1,30
100	34	27	1,30
1000	29	26	1,10
3600	26	26	1,00

1.25 mm2	Sıcaklık 20°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	270	178	1,50
2	186	127	1,45
5	117	82	1,40
10	81	60	1,35
100	41	31	1,30
1000	36	30	1,20
3600	32	30	1,10

1.5 mm2	Sıcaklık 20°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	329	208	1,60
2	228	148	1,55
5	143	95	1,50
10	98	70	1,40
100	46	35	1,30
1000	39	33	1,20
3600	36	33	1,10

2.5 mm2	Sıcaklık 20°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	520	337	1,60
2	364	240	1,55
5	225	155	1,50
10	154	110	1,40
100	64	50	1,30
1000	54	46	1,20
3600	48	46	1,10

3 mm2	Sıcaklık 20°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	620	415	1,50
2	426	293	1,45
5	264	190	1,40
10	180	135	1,35
100	73	59	1,25
1000	61	53	1,20
3600	55	53	1,10

5 mm2	Sıcaklık 20°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	968	630	1,55
2	675	450	1,50
5	413	285	1,45
10	287	208	1,40
100	108	83	1,30
1000	77	70	1,10
3600	73	70	1,05

6 mm2	Sıcaklık 20°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	1255	790	1,60
2	870	559	1,55
5	555	358	1,50
10	371	255	1,45
100	133	100	1,35
1000	92	82	1,10
3600	87	82	1,05

0.75 mm2	Sıcaklık 40°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	155	94	1,65
2	107	67	1,60
5	67	44	1,54
10	48	32	1,50
100	26	19	1,35
1000	22	18	1,20
3600	19	18	1,05

1 mm2	Sıcaklık 40°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	180	124	1,45
2	123	88	1,40
5	76	57	1,35
10	55	42	1,30
100	30	23	1,30
1000	24	22	1,10
3600	22	22	1,00

1.25 mm2	Sıcaklık 40°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	228	152	1,50
2	156	108	1,45
5	98	70	1,40
10	69	51	1,35
100	34	27	1,30
1000	30	26	1,20
3600	28	26	1,10

1.5 mm2	Sıcaklık 40°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	283	177	1,60
2	195	126	1,55
5	123	82	1,50
10	84	59	1,40
100	39	30	1,30
1000	34	28	1,20
3600	31	28	1,10

2.5 mm2	Sıcaklık 40°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	464	290	1,60
2	317	205	1,55
5	199	143	1,50
10	133	96	1,40
100	56	43	1,30
1000	48	40	1,20
3600	44	40	1,10

3 mm2	Sıcaklık 40°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	531	354	1,50
2	363	251	1,45
5	227	162	1,40
10	157	117	1,35
100	63	50	1,25
1000	54	45	1,20
3600	49	45	1,10

5 mm2	Sıcaklık 40°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	840	542	1,55
2	576	384	1,50
5	360	248	1,45
10	252	178	1,40
100	93	72	1,30
1000	66	60	1,10
3600	63	60	1,05

6 mm2	Sıcaklık 40°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	1078	674	1,60
2	740	478	1,55
5	460	307	1,50
10	319	220	1,45
100	116	86	1,35
1000	77	70	1,10
3600	73	70	1,05

0.75 mm2	Sıcaklık 60°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	127	77	1,65
2	88	55	1,6
5	56	36	1,55
10	41	27	1,5
100	22	16	1,4
1000	18	15	1,2
3600	17	15	1,1

1 mm2	Sıcaklık 60°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	149	101	1,45
2	104	72	1,40
5	67	41	1,35
10	47	35	1,30
100	25	19	1,30
1000	20	18	1,10
3600	19	18	1,00

1.25 mm2	Sıcaklık 60°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	188	125	1,50
2	130	89	1,45
5	80	57	1,40
10	57	42	1,35
100	29	22	1,30
1000	25	21	1,20
3600	23	21	1,10

1.5 mm2	Sıcaklık 60°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	232	145	1,60
2	160	103	1,55
5	100	66	1,50
10	79	64	1,40
100	33	25	1,30
1000	28	23	1,20
3600	25	23	1,10

2.5 mm2	Sıcaklık 60°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	380	238	1,60
2	262	169	1,55
5	162	108	1,50
10	133	95	1,40
100	46	35	1,30
1000	38	32	1,20
3600	35	32	1,10

3 mm2	Sıcaklık 60°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	438	292	1,50
2	300	207	1,45
5	184	132	1,40
10	134	122	1,35
100	52	41	1,25
1000	43	37	1,20
3600	40	37	1,10

5 mm2	Sıcaklık 60°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	692	447	1,55
2	475	317	1,50
5	290	202	1,45
10	237	180	1,40
100	77	58	1,30
1000	54	49	1,10
3600	51	49	1,05

6 mm2	Sıcaklık 60°C -100 °C		
Zaman(sn)	D (A)	B (A)	D.F.
1	900	556	1,60
2	610	394	1,55
5	376	251	1,50
10	265	183	1,45
100	96	71	1,35
1000	62	57	1,10
3600	60	57	1,05

EK 5**Akım Zaman Sıcaklık İlişkisi**

1 mm2				
Zaman(sn)	Akım(A)	Sol Pabuç(°C)	Merkez(°C)	Sağ Pabuç(°C)
1	207	106	95	104
2	144	103	95	102
5	91	100	96	101
10	65	105	97	102
100	34	103	98	102
1000	29	103	99	102
3600	26	105	100	103

1.25 mm2				
Zaman(sn)	Akım(A)	Sol Pabuç(°C)	Merkez(°C)	Sağ Pabuç(°C)
1	270	109	93	106
2	186	107	93	107
5	117	102	94	105
10	81	106	95	107
100	41	104	96	104
1000	36	103	98	102
3600	32	102	100	102

1.5 mm2				
Zaman(sn)	Akım(A)	Sol Pabuç(°C)	Merkez(°C)	Sağ Pabuç(°C)
1	329	109	95	108
2	228	108	95	106
5	143	106	97	105
10	98	106	97	105
100	46	103	98	103
1000	39	101	98	102
3600	36	101	99	101

2.5 mm ²				
Zaman(sn)	Akım(A)	Sol Pabuç(°C)	Merkez(°C)	Sağ Pabuç(°C)
1	520	110	92	108
2	364	108	93	109
5	225	104	96	105
10	154	103	96	102
100	64	102	98	100
1000	54	101	100	101
3600	48	102	100	103

3 mm ²				
Zaman(sn)	Akım(A)	Sol Pabuç(°C)	Merkez(°C)	Sağ Pabuç(°C)
1	620	110	91	106
2	426	108	93	102
5	264	106	95	102
10	180	104	96	100
100	73	102	98	100
1000	61	102	100	100
3600	55	103	100	102

5 mm ²				
Zaman(sn)	Akım(A)	Sol Pabuç(°C)	Merkez(°C)	Sağ Pabuç(°C)
1	968	108	92	103
2	675	104	95	102
5	413	102	94	101
10	287	100	96	99
100	108	104	100	102
1000	77	101	98	100
3600	73	101	99	101

6 mm ²				
Zaman(sn)	Akım(A)	Sol Pabuç(°C)	Merkez(°C)	Sağ Pabuç(°C)
1	1255	110	92	107
2	870	108	93	108
5	555	105	94	106
10	371	102	96	103
100	133	100	98	106
1000	92	99	99	103
3600	87	100	100	102

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Muhammed Rafet BAKCAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara - 1992

Yabancı Dili : İngilizce, Almanca

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise	:Ahmet Hamdi Gökbayrak Anadolu Öğretmen Lisesi	2009
Lisans	:Uludağ Üniversitesi Elektronik Mühendisliği	2014
	:Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği	2015
Yüksek Lisans	:Uludağ Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı	

Çalıştığı Kurum : Platin Endüstriyel Elektronik & Serigrafi Ltd. Şti. 2015- ...

İletişim(E-posta) : m.rafet.1992@gmail.com

Yayınlar : **Bakcan, M.R., Sarnık, M. 2016.** Araçların kabin kablolarında alüminyum iletken kullanımı. 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, 23-24 Mayıs 2016, Bursa.