

Yeraltı Güç Kablolarının Isıl Analizi İçin Görsel Tabanlı Sıcaklık Ölçme ve İzleme Sistemi

Visual - Based Temperature Measurement and Monitoring System for Thermal Analysis of Underground Power Cables

Sezai Taşkın¹

Özcan Kalenderli²

¹ Celal Bayar Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Manisa

E-posta: sezai.taskin@cbu.edu.tr

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

E-posta: kalenderli@itu.edu.tr

Özet

Elektrik güç kablolarının ısı davranışı üzerine literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların bir kısmı deneysel olarak, diğer bir kısmı ise, çoğunlukla sayısal yöntemlerle, kuramsal olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada yeraltı güç kablolarının ısı analizi için deneysel uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanıp uygulanan görsel tabanlı bir sıcaklık ölçme ve izleme sistemi tanıtılmıştır. Sistem geliştirme sürecindeki deney çalışmaları, İstanbul Teknik Üniversitesi Maslak Kampüsü'nde bulunan Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Sıcaklık ölçme ve izleme sistemi, gerçek deney koşulları altında veri toplayıp izleyerek geliştirilmiştir. Amaç, kablo ısı deneyleri sırasında kabloya uygulanan akımı, kablounun iletken ve kılıf sıcaklıklarını sürekli ölçmek ve izlemektir. Oluşturulan ölçme ve izleme sistemi ile yeraltı kablolarının ısı deneyleri sırasında, kablo üzerindeki sıcaklık ve akımların sürekli ölçülebilir, izlenebilir ve belli aralıklarla kaydedilebilir olması sağlanmıştır.

Abstract

There are many studies in the literature on the thermal behavior of electric power cables. One part of these studies is experimental studies; the other part is theoretical studies which are often realized using numerical methods. In this study, a visual-based temperature measurement and monitoring system for thermal analysis of underground power cables is introduced. The experimental studies during the system development are performed at the High Voltage Laboratory of Istanbul Technical University-Maslak Campus. The temperature measurement and monitoring system has been developed by collecting data under real experimental conditions. The aim is continuously to measure and to monitor current applied to the cable, the temperatures of the cable conductor and sheath during the cable heat flow experiments. The temperature measuring and monitoring system for the underground cables and heat generated during the experiments, temperature and currents on the cable, continuously measured, monitored and ensured to be recorded at regular intervals.

1. Giriş

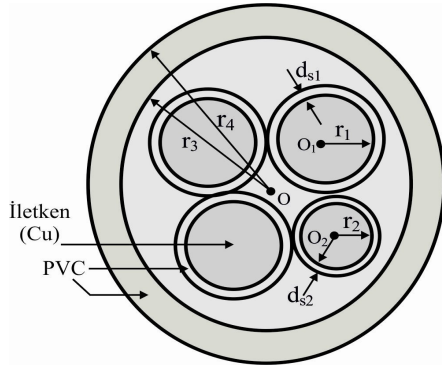
Yeraltı güç kablolarının ısı davranışının bilinmesi, kablounun tasarımında, işletilmesinde ve çalışma ömrünün belirlenmesinde önemli rol oynar. Bu nedenle elektrik güç kablolarının ısı davranışı üzerine literatürde pek çok çalışma mevcuttur [1-10]. Bu çalışmaların bir kısmı deneysel olarak, diğer bir kısmı ise, çoğunlukla sayısal yöntemlerle, kuramsal olarak gerçekleştirilmiştir. Elektrik güç kablolarında ısı transferi hesaplarındaki en önemli gelişme 1957'de yayınlanan Neher ve McGrath [11] çalışmasıyla sağlanmıştır. 1997 yılında George J. Anders, kabloların ısı davranışı üzerine IEEE makalelerinden yararlanarak yazdığı ilk kitabını [12] yayınlamıştır. Bu kitap, kabloların aşırı ısınmaksızın, sürekli taşıyabileceği maksimum akım değerlerinin hesaplanması üzerine yazılmış ilk kitaptır. George J. Anders'in 2005 yılında çıkardığı ikinci kitabında [13] ise elverişsiz koşullarda döşenen yeraltı güç kablolarının ısı hesaplamaları yer almaktadır.

Güç kablolarında başlıca iki ana ısı kaynağı mevcuttur. Birincisi, kablo iletkeni içerisinde akan akımın, iletkenin elektriksel direncinde oluşturduğu ($I^2.R$) dirençsel (omik) kayıplardan dolayı oluşan ısıdır. İkincisi ise kablo yalıtkanı içerisinde dielektrik kayıpların oluşturduğu ısıdır. Kablo, üretilen ısının bir kısmını kendinde tutarken, geri kalan kısmını çevreye yayar. Kablo içinde kalan ısı miktarı çevreye yayılan ısı miktarını aşarsa kablo, ısı olarak zorlanır ve bozulur [14]. Bu durum, kablo güvenilirliği için istenmeyen bir durumdur. Bu durumla karşılaşmamak için kablolar uygun şekilde tasarlanır, üretilir, döşenir ve işletilir. Kablolar, üretim sonrasında veya döşenme öncesinde ısıl başarımını ve özelliklerini görmek ve incelemek amacıyla ısı deneylerinden geçirilirler. Bu deneyler sırasında kablodan geçen akımın, çeşitli noktalardan kablounun iletken ve kılıf sıcaklıklarının ve deneyin yapıldığı ortam sıcaklığının, sürekli veya aralıklarla, mümkünse aynı anda ölçülmesi, izlenmesi ve kaydedilmesi gerekmektedir. Bu da deneyi yapanların donanım, zaman ve işlem bakımından deney düzenine bağlı kalmasına ve zorlanmasına yol açmaktadır.

Bu çalışmada, bu tür ısı deneylerinde kullanmak amacıyla kaliteli ve rahat çalışmak üzere tasarlanıp, uygulaması yapılan, görsel tabanlı bir sıcaklık ölçme-izleme sistemi tanıtılmıştır.

2. Kullanılan Yeraltı Kablosunun Özellikleri

Sıcaklık ölçme ve izleme sistemi, gerçek deney koşulları altında veri toplanıp izlenerek geliştirilmiştir. Amaç, ısı deney sırasında kabloya uygulanan akımı, kablunun iletken ve kılıf sıcaklıklarını ve ortam sıcaklığını sürekli olarak ölçmek ve izlemektir. Güç kablolarında ısı deneyler, kablunun anma geriliminden bağımsız olarak, hem alçak hem de yüksek gerilim kablolarında, kablo iletkeninden yüksek akım geçirilerek yapılmaktadır. Bunu göz önüne alarak, geliştirme çalışmaları sırasında, uygulama kolaylığı açısından, yapısı Şekil 1’de gösterilen, $3 \times 35 \text{ mm}^2 + 1 \times 16 \text{ mm}^2$ kesitli, YE3ŞV tipi, 0,6/1 kV’luk, çok telli, bakır iletkenli, PVC yalıtkanlı, yassı galvanizli çelik tel zırlı, PVC kılıflı, yeraltı güç kablosu kullanılmıştır. Kullanılan özellikteki kablo için kataloglarda verilen akım taşıma kapasitesi, toprakta 160 A, havada 132 A’dır. Buna göre deneyler, laboratuvar koşullarında, hava ortamında gerçekleştirildiğinden kablodan 132 A akım geçirilerek yapılmıştır.



Şekil 1: Deneylerde kullanılan kablunun kesiti

Şekil 1’de; O kablunun merkezini (eksenini), O₁ ve O₂ sırasıyla faz ve nötr iletkenlerinin merkezlerini (eksenlerini) göstermektedir. Çizelge 1’de, kesiti Şekil 1’de verilen kabloya ilişkin boyutlar verilmiştir.

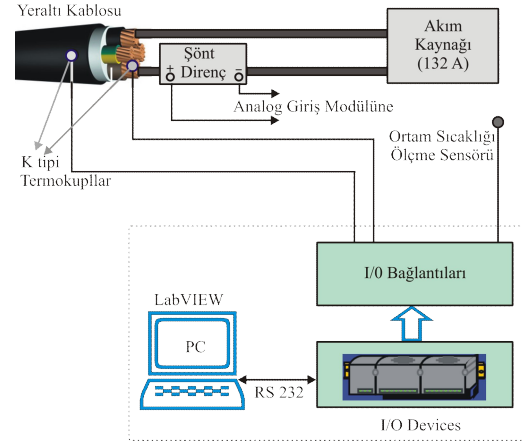
Çizelge 1: Kullanılan kablunun boyutları

Kablo Elemanı	Boyut (mm)
Faz iletkeni yarıçapı, r_1	4,3
Nötr iletkeni yarıçapı, r_2	3,4
Dolgu malzemesi yarıçapı, r_3	13,4
Dış kaplama yarıçapı, r_4	18,2
Faz damarı yalıtkan kalınlığı, d_{s1}	0,54
Nötr damarı yalıtkan kalınlığı, d_{s2}	0,33

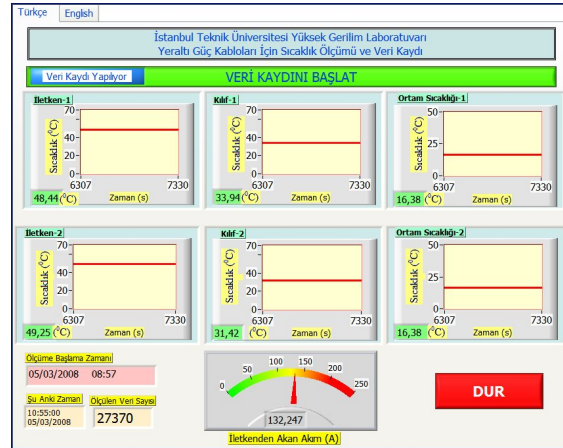
3. Deney düzeneği ve ölçme sistemi

Ölçme, izleme ve kayıt sistemi geliştirme çalışmaları sırasındaki deneysel çalışmalar, İTÜ Maslak Kampüsü’nde bulunan Yüksek Gerilim Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir. Veri toplama düzeneğinde, sıcaklık algılayıcıları olarak K tipi termokupllar, akım ölçümleri için şönt direnç ve bunların

bağlandığı analog giriş modülleri kullanılmıştır. Giriş modülleri (I/O bağlantı birimi), RS 232 protokolü kablo ile verilerin toplandığı ve izlendiği bir bilgisayara bağlanmıştır. Bilgisayarda veri toplama düzeneğine ilişkin yazılımı geliştirmek için, görsel tabanlı uygulamaya uygun bir program olan LabVIEW programından yararlanılmıştır. Şekil 2’de oluşturulan ölçüm düzeneği ve Şekil 3’te de veri toplama-izleme sistemine ilişkin geliştirilen bilgisayar arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 2: Oluşturulan deney düzeneği



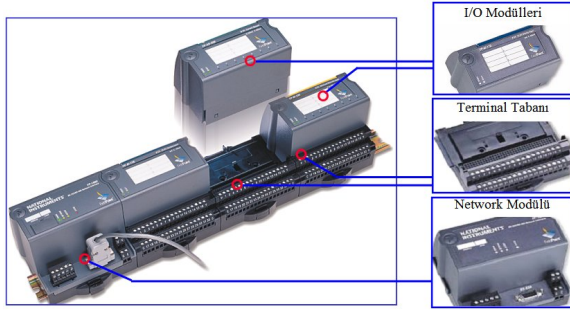
Şekil 3: Veri kaydı ve izleme ekranı

Tasarımı yapılan ve Şekil 3’te gösterilen arayüzde, kablunun her iki ucundan ölçülen iletken (iletken 1 ve iletken 2), kılıf (kılıf 1 ve kılıf 2) ve ortam sıcaklıkları (ortam sıcaklığı 1 ve ortam sıcaklığı 2) sürekli çizdirilen grafiklerde gösterilmiştir. Grafiklerin yatay eksenini veri noktalarını, dikey eksenini ise santigrat derece cinsinden sıcaklığı göstermektedir. Grafiklerin birer köşelerinde ölçülen son sıcaklık değerleri sayısal olarak yazdırılmıştır. Arayüzün alt bölümünde, deney yapılan kablunun iletkeninden geçen akımı gösteren, analog gösterge biçiminde tasarlanmış bir gösterge oluşturulmuştur. Göstergenin ibresi ile akım değişimi izlenirken sayısal olarak son ölçülen akım değeri de ibrenin altında gösterilmiştir. Arayüzde ayrıca ölçmenin başlangıç zamanı, gerçek zaman ve

başlangıçtan gerçek zamana kadar geçen zaman aralığında bir grafiği çizmek için alınan veri sayısı yazdırılmıştır. Arayüze veri kaydını başlatma ve durdurma butonları eklenerek sistemi kontrol olanağı sağlanmıştır. Arayüzde bir açıklama paneli ile (örneğin sistem kayıta iken “Veri kaydı yapılıyor” yazan) sistemin çalışma durumunun izlenmesini sağlayan bir panel yerleştirilmiştir.

Deneylerde uygulanan akımı ölçmek için, kablo ile akım kaynağı arasına seri olarak 60 mV/400 A’lık bir şönt direnç bağlanmıştır. Sıcaklık ölçmek için 250°C’ye kadar sıcaklık ölçümüne uygun, K tipi termokupllar kullanılmıştır. Bu elemanların bilgisayara bağlantıları National Instruments (NI) FieldPoint (FP) modülleri üzerinden yapılmıştır. FP cihazları, endüstriyel izleme, ölçme, kontrol ve veri toplama uygulamaları için kullanılan gerçek zamanlı dağıtık giriş-çıkış (I/O) sistemleridir.

Yapılan çalışmada, NI LabVIEW™ yazılımı, FP-1000 serisi haberleşme modülü, akım ölçümü işlemleri için 8 kanallı FP-AI-110 analog giriş modülü ve sıcaklık ölçümleri için de 8 kanallı FP-TC-120 termokupl modülü seçilmiştir. Şekil 4’te FP modülleri için genel bir görünüm verilmiştir [15].



Şekil 4: Sistemde Kullanılan Giriş/ Çıkış Donanımı

4. Sonuçlar

Oluşturulan ölçme ve izleme sistemi ile yeraltı kablolarının ısılı deneyleri sırasında, kablo üzerindeki sıcaklık ve akımların sürekli ölçülebilir, izlenebilir ve ölçüm verilerinin belli aralıklarla kaydedilebilir olması sağlanmıştır. Sistem için bir bilgisayar, bir akım şöntü, sıcaklığı ölçülecek nokta sayısı kadar termokupl, bilgisayara bağlantı için giriş/çıkış donanımı ve arayüz yazılımı gerekmektedir.

Deney verilerinin anlık olarak izlenmesini ve kaydedilmesini sağlayan arayüz yazılımı, ek modüller ve değişik ölçüm noktalarının eklenmesi durumunda da sisteme kolaylıkla uyarlanabilir yapıdadır. Ayrıca, deney verilerinin gösterildiği arayüze internet üzerinden de erişme olanağı bulunmaktadır.

Bu çalışmadaki gibi bir ölçme-izleme-kayıt sisteminin oluşturulması, deney kalitesini, kolaylığını ve güvenilirliğini sağlayacaktır. Aksi halde belli zaman aralıkları ile akımı ve her noktada sıcaklık ölçmeleri yapmak için deney yapılan kablo çevresinde dolaşmak, ölçme zamanlamasına uymak için hızlı hareket etmek ve uzun deney süreleri boyunca deney ortamından ayrılmaksızın çalışmaya devam etmek gerekmektedir. Anlaşılabileceği gibi bu durum, aynı zamanda deneyi yapanlar için zaman ve enerji kazancı demektir.

5. Kaynaklar

- [1] G. Gela and J. J. Dai, "Calculation of thermal fields of underground cables using the boundary element method", *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 3, No. 4, pp. 1341-1347, Oct. 1998.
- [2] M. Karahan, Ö. Kalenderli, Coupled Electrical and Thermal Analysis of Power Cables Using Finite Element Method, Heat Transfer-Engineering Applications, ISBN 978-953-307-361-3, InTech, pp. 205-230, 2011.
- [3] J. Nahman and M. Tanaskovic, "Determination of the current carrying capacity of cables using the finite element method", *Elsevier Electric Power Systems Research*, Vol. 61, pp. 109-117, 2002.
- [4] I. Kocar and A. Ertaş, "Thermal analysis for determination of current carrying capacity of PE and XLPE insulated power cables using finite element method", *IEEE Melecon, Dubrovnik Croatia*, pp. 905-908, May 12-15, 2004.
- [5] IEC TR 62095, *Electric Cables – Calculations for current ratings – Finite element method*, 2003.
- [6] S. Whitehead and E. E. Hutchings, "Current rating of cables for transmission and distribution", *J. IEE*, Vol. 38, pp. 517-557, 1939.
- [7] J. J. Desmet, D. J. Putman, F. D'hulster, and R. J. Belmans, "Thermal analysis of the influence of nonlinear, unbalanced and asymmetric loads on current conducting capacity of LV-cables", *IEEE Bologna PowerTech Conference, Bologna, Italy*, June 23-26, 2003.
- [8] J. J. Desmet, D. J. Putman, G. M. Vanalme, and R. J. Belmans, "Modelling and sensitivity analysis of the thermal behaviour of LV-cables for different current conditions", *11th Int. Conf. on Harmonics and Quality of Power, New York, USA*, pp. 471-476, Sept. 12-15, 2004.
- [9] S. P. Walldorf, J. S. Engelhardt, and F. J. Hoppe, "The use of real-time monitoring and dynamic ratings for power delivery systems and the implications for dielectric materials", *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 15, No. 5, pp. 28-33, 1999.
- [10] S. Taşkın, S. Şeker, M. Karahan, and C. Akıncı, "Spectral analysis for current and temperature measurements in power cables", *Electric Power Components and Systems*, Vol. 37, April 2009.
- [11] J. H. Neher and M. H. McGrath, "The calculation of the temperature rise and load capability of cable systems", *Trans. Amer. Inst. Electr. Eng., Part III*, Vol. 76, pp. 752-772, 1957.
- [12] G. J. Anders, *Rating of Electric Power Cables– Ampacity Calculations for Transmission, Distribution and Industrial Applications*, IEEE Press, New York, 1997.
- [13] G. J. Anders, *Rating of Electric Power Cables in Unfavorable Thermal Environment*, Wiley-IEEE Press, New Jersey, 2005.
- [14] M. Karahan, "Sonlu Elemanlar Metodu Kullanılarak Güç Kablolarının Isıl Analizi ve Akım Taşıma Kapasitesinin Değerlendirilmesi", Marmara Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2007.
- [15] S. Taşkın, "MPS Modüler Üretim Sisteminin Bilgisayar Destekli Gerçek Zamanlı Kontrolü ve Teknik Eğitime Uygulanması", Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2007.