

Güç Trafolarında Yeni Nesil Hibrit Soğutma Sisteminin Geliştirilmesi ve Pilot Bölge Saha Uygulaması

Mustafa Uğur Törüner^{1*}, Bilal Bağcı¹, Kutay Koldemir², Fatih Kaymak² ve Büşra Büyükbaş³

¹Proneji Elektrik Mühendislik Arge Danışmanlık Antalya, Türkiye

²Dicle Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi, Diyarbakır, Türkiye

³Yeşilirmak Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi, Samsun, Türkiye

*(ugur.toruner@proneji.com)

(Received: 22 August 2024, Accepted: 28 August 2024)

(5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2024, August 25-26, 2024)

ATIF/REFERENCE: Törüner, M. U., Bağcı, B., Koldemir, K., Kaymak, F. & Büyükbaş, B. (2024). Güç Trafolarında Yeni Nesil Hibrit Soğutma Sisteminin Geliştirilmesi ve Pilot Bölge Saha Uygulaması. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 8(7), 211-217.

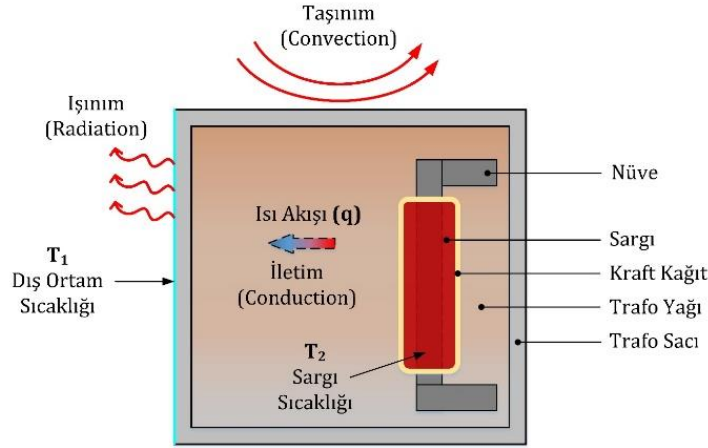
Özet – Dağıtım şebekelerinde kullanılan transformatörlerinde istenmeyen ısınma problemini içerisinde barındırdığı termoelektrik soğutucu (peltier soğutucu), grafen katkılı izolasyon kâğıdı ve özel grafen katkılı kaplama sayesinde transformatörlerin daha uzun ömürlü ve daha verimli çalışmasını amaçlanmıştır. Bu kapsamda transformatör sargılarının dış kısmında yer alan izolasyon yağı emdirilmiş kraft kağıdın dış çevresine ve trafo kazanının iç kısmına, ısıl iletkenlik katsayısı yüksek özel grafen alaşımlı kaplama uygulayarak yeni bir transformatör tasarımı ve soğutma teknolojisi geliştirilmiştir. Bu sayede ısınma kaynaklı verim kaybını minimize ederek hem daha verimli hem de daha uzun ömürlü bir transformatör elde edilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca çalışma da kullanılan termoelektrik soğutucuların güç ihtiyaçları PV paneller ile sağlanmış bu sayede gelecek için sürdürülebilir, karbon emisyonu düşük olan ve enerjide dışa bağımlılığı azaltan yerli sermaye ile çalışan bir sistem ile şebekeden elektrik çekmeden kendi kendini idare edebilir hale getirilmiştir. Çalışma sonucunda, Mardin'in Midyat ilçesinde devreye alınan 630 KVA gücündeki yeni nesil hibrit soğutmalı transformatörün çalıştığı 1 aylık süreçte demonte edilen eski transformatöre kıyasla %56,05 doluluk oranında ortalama 14,58 derece daha az ısınarak, ekonomik ömrü 30 yıl olan standart bir O.G. transformatörünün ömrü %20 oranında arttırmış ve bu sayede 85.015,8 TL kar getireceği öngörülmektedir. Ayrıca kırsalda ve tarımsal sulamada kayıtdışı tüketiminde etkisiyle ortaya çıkan aşırı yükten dolayı ısınan trafolarının yanmalarının önüne geçileceği beklenilmektedir.

Anahtar Kelimeler – Güç Trafo, Grafen, Termal İletkenlik, COMSOL Simülasyon, Fayda Maliyet Analizi.

I. GİRİŞ

Transformatörün nominal yüklenme altında bakır kayıpları nedeniyle sargılarında oluşan maksimum sıcaklık değeri yaklaşık 80°C - 90°C arasında değişmektedir. Yüklenme oranının değişmediği düşünülürse, transformatörün her bir fazına ait sargısı birer ısı kaynağı olarak görülebilir. Sargılarda üretilen bu ısı ise doğal olarak daha düşük sıcaklıktaki dış ortama ısıl iletim yoluyla aktarılmaktadır. Isının hangi oranda dış ortama aktarıldığı ise sargı sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı ve ikisi arasında bulunan malzemelerin ısıl iletkenlik/direnç değerleriyle ilişkilidir [1-4].

Şekil 1’de verilen yapıda, birim zamanda dış ortama aktarılan ısı miktarının (q) artması, sargı sıcaklığının azalmasını sağlayacaktır. Sargı sıcaklığının azalması transformatörün aynı yük altında daha düşük sıcaklıklarda çalışabilmesine, transformatörün daha düşük ısıl zorlanmalara maruz kalması nedeniyle işletme ömrünün artmasına, ısıl zorlanmaya bağlı meydana gelen arızaların azalmasına, transformatörün yüklenme kapasitesinin artmasına ve transformatörün bakır kayıplarının ve dolayısıyla kayıp maliyetlerinin azalmasına olanak sağlayacaktır [5,6]. Bunu sağlamak için sargıdan dış ortama doğru olan ısı akış miktarının mümkün mertebe artırılması gerekmektedir. Sargıdan dış ortama olan ısı akışını (q) arttırabilmek için ΔT farkının artırılması ve/veya $R_{\text{eş}}$ değerinin azaltılması gerekmektedir. Teorik olarak ifade edilen bu iki seçeneğin gerçek bir transformatör üzerinde uygulanabilmesi için ya transformatör sacının dış yüzey sıcaklığının düşürülerek ΔT farkının artırılması (Peltier Soğutucu Uygulaması) ya da sargı ile dış ortam arasında bulunan malzemelerin ısıl iletkenliğinin kaplama ile arttırılarak ısıl direnç değerlerinin düşürülmesi (Grafen Kaplama Uygulaması) gerekmektedir [7].



Şekil 1 Transformatörün bir fazına ait iç yapısı

Geliştirilecek trafonun sargılarında ve izolasyon yağında yapılan iyileştirmeler, sargı kayıplarının azalmasına ve sargı akım taşıma kapasitesinin artmasına olanak sağlayacaktır. Özellikle grafen kaplamalı izolasyon kağıdı ve özel grafen alaşımli kaplama gibi ileri teknolojilerin kullanılması yer almaktadır. Güç transformatörlerinde sargı ve izolasyon yağı arasında kullanılan Kraft kağıdının, grafen filmi ile kaplanmasıyla izolasyon yağına aktarılan ısı miktarı artacaktır. Kraft kağıdının termal iletkenliği yüksek dielektrik malzemelerle kaplanmasıyla, özellikle bor nitür ve grafen gibi yüksek termal iletkenlikli fiberlerin kullanımıyla, trafonun ısıl yönetimi ve dayanıklılığı önemli ölçüde iyileştirilecek ve trafonun uzun ömürlü kullanımı sağlanması beklenmektedir [8-10].

Diğer taraftan, soğutma hızını arttırmak için dış kazana aktarılan ısı miktarının birim zamanda en yüksek değerlere ulaşmasını sağlamak için trafo sacının iç yüzünün grafen film ile kaplanması yeterli olacaktır. Böylece birim zamanda maksimum ısı enerjisinin trafo kazanına aktarılması sağlanması öngörülmektedir.

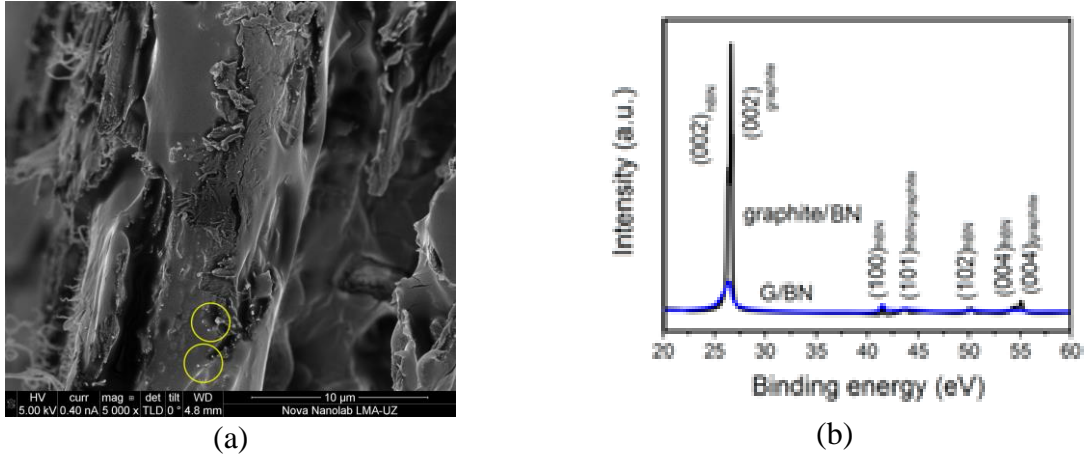
II. MATERYAL VE YÖNTEM

Hibrit Soğutmalı Trafo üretim sürecinde farklı olarak trafo kazanın soğutması için dış yapısı ve yağ emprenyeli kraft kâğıt uygulamasının ısıl iletkenliği değişecek olup kullanılacak trafo çekirdeği ve sargı yapısı güncel ürünlerle aynı olacaktır. Isıl iletkenliği arttırılmış Kraft kağıt üretiminde nano dielektrik sıvılar empresyon (daldırma) işlemi ile Kraft yüzeyine tatbik edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2 Dielektrik sıvı emdirilmiş Kraft kağıt örnekleri

Şekil 3'de kraft yapı içerisindeki grafen esaslı bor nitrür yapısının selüloz lifleri üzerinde homojen olarak dağıldığı SEM görüntüleri ile anlaşılmaktadır. Nanoyapıların homojen olarak dağılması iletkenlik ağında olumlu etki etmesi beklenmektedir. Bu kapsamda yapılan termal iletkenlik değeri ölçümlerinde %5 hacimce G/BN emdirilmiş Kraft kağıtlarında 1,62 W/mK gibi katkısız Kraft kağıda göre %170 oranında artış tespit edilmiştir.



Şekil 3. (a) G/BN emdirilmiş (sarı daireler) Kraft kağıt yapılarının SEM görüntüsü ve (b) grafen ve BN yapılarının XRD analizi ile varlıklarının ispatı

III. BULGULAR

Yeni nesil transformatörün kurulumunda aşağıda maddeler halinde sıralanmış adımlar takip edilerek kurulmuştur.

- 4.4 kW kurulu güce sahip fotovoltaik (PV) güç kaynağı ile 1.5 kW peltier soğutucular başarıyla enerjilendirilmiştir (Şekil 4a). Bu süreçte, PV panellerinden elde edilen elektrik enerjisi, peltier soğutucuların ihtiyaç duyduğu enerjiye dönüştürülmüş ve kesintisiz enerji sağlanmıştır. Bu durum, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı açısından projeye büyük bir avantaj sağlamıştır.
- Tek hat şemasına uygun olarak tesis edilen panolar, 1. Grup ve 2. Grup olarak aynı şekilde tasarlanmıştır. Her iki grup için de benzer konfigürasyonlar kullanılarak, sistemde homojen bir yapı elde edilmiştir. Panolarda toplamda 2 adet 30 amper ve 1 adet 40 amper olmak üzere, 220 V AC ve 12 V DC aktif soğutmalı (fanlı) güç kaynakları kullanılarak peltierler beslenmiştir (Şekil

4b). Bu yapılandırma, ısınma problemlerinin önüne geçmek ve güç kaynaklarının daha uzun ömürlü olmasını sağlamak amacıyla yapılmıştır.

- Peltier sistemi kurulmadan önce yapılan termal ölçümlerde, eski transformatör üzerindeki sacın 77,5 dereceye ulaştığı ve trafo oda sıcaklığının 39,5 derece olduğu ve trafo doluluk oranının %47,8 olduğu tespit edilmiştir. Bu ölçümler, 07.06.2024 tarihinde termal kamera kayıtlarına dayanarak gerçekleştirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4. Trafo binası üzerindeki PV panel sistemi (b) yeni hibrit soğutma sistemli trafonun görünümü

IV. TARTIŞMA

Geleneksel (eski) ve Hibrit soğutmalı trafo üzerinde yapılan ölçümler Tablo 1'de verilmiştir. Tablo'da transformatörün yan yüzeyinin üst kısmından alınan ölçümler yer almaktadır.

Tablo 1. Yeni Nesil Hibrit Soğutma Sistemi Kurulmadan Önce ve Sonrası Termal Ölçüm Sonuçları

Yeni Nesil Hibrit Soğutma Sistemi Kurulmadan Önce ve Sonra				
Trafo Tipi	Saat Tarih	Maks. Trafo Gövde Sıcaklığı (°C)	Dış Sıcaklık (°C)	Doluluk Bilgisi
Eski Trafo	5.06.2024 14:50	61,1	35	66,48%
Eski Trafo	6.06.2024 15:43	61,8	34,3	67,27%
Eski Trafo	7.06.2024 20:40	65	27	63,81%
Eski Trafo	8.06.2024 15:01	55,6	35,6	46,16%
Eski Trafo	8.06.2024 19:57	63,9	26	44,13%
Eski Trafo	9.06.2024 17:57	57,5	30,3	45,78%
Eski Trafo	10.06.2024 15:55	61,2	24,8	59,11%
Eski Trafo	11.06.2024 16:42	60,1	30,6	56,29%
Hibrit Trafo	9.07.2024 17:00	54,8	31,2	63,87%
Hibrit Trafo	11.07.2024 02:00	41,6	26	38,76%
Hibrit Trafo	11.07.2024 03:00	40,5	24,1	36,76%
Hibrit Trafo	11.07.2024 16:00	51,2	37,6	71,17%
Hibrit Trafo	11.07.2024 16:00	49,5	37,6	71,17%
Hibrit Trafo	12.07.2024 16:00	53,4	37	71,37%
Fan Tahliyeli Hibrit Trafo	15.07.2024 15:00	45,3	37,6	50,25%
Fan Tahliyeli Hibrit Trafo	15.07.2024 15:00	47,3	37,6	50,25%
Fan Tahliyeli Hibrit Trafo	16.07.2024 15:00	49,2	37,9	69,94%
Fan Tahliyeli Hibrit Trafo	17.07.2024 16:00	47,9	37	69,71%
Fan Tahliyeli Hibrit Trafo	17.07.2024 22:00	41,3	28,7	49,84%

Elde edilen termal görüntüler, OSOS sistemi üzerinden alınan ölçüm sırasındaki doluluk bilgileri ve <https://open-meteo.com/> üzerinden alınan dış hava sıcaklıkları ile Comsol programında iç sargı sıcaklığı simüle edilmiştir. Trafo bölgesinin çevre sıcaklığı simülasyona dâhil edilmiştir. Trafo doluluk oranı yapılan ölçüm ortalamalarında birbirine yakın çıkması nedeniyle %56,05 olarak benzer dolulukta simüle edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. COMSOL simülasyon sonuçları

COMSOL Multiphysics Simülasyonu			
Trafo	Konvansiyonel Trafo	Hibrit Soğutmalı Trafo	Hibrit Soğutmalı ve Hava Tahliye Fanlı Trafo
Gövde Sıcaklığı Ölçüm Ortalaması (°C)	60,78	48,5	46,2
Midyat Sıcaklık Meteoroloji Ölçüm Ortalaması (°C)	30,45	32,25	35,76
Hacimsel Kayıp Katsayısı (w/m³)	55800	48400	46800
1 metre AG Sargı Kayıp (W)	1,95	1,69	1,64
Transformatör Sargı İletken Isısı (°C)	91,7	78,2	75,6
Teknik Kayıp (kWh) (Saatlik)	1,40	1,22	1,18

Yapılan ölçümlerde, dalga duvarı olmayan yeni tasarımda peltierlerle ekstra soğutma sağlanarak 14,58 derece soğutma elde edilmiştir. Bu soğutma, trafonun sargı kayıplarına 230 Watt olarak yansımış ve yapılan analizler sonucunda, trafonun maliyet analizinde 4955 gün içerisinde amorti edildiği belirlenmiştir. 30 yıllık amortisman ömründe, sargı kayıplarının azaltılması sayesinde teknik kayıpların azaldığı ve ekonomik kazanç sağlandığı görülmüştür (Tablo 3). Ayrıca, trafo soğutulması ile trafo yağının ömrüne katkı sağlanarak trafo ömrü yaklaşık %20 oranında artırılmıştır.

Tablo 3. Fayda Maliyet Analizi

Hesap	Birim	Değer
Mevcut Trafo 630KVA Hermetik Fiyatı (9000 USD ANKATEK)	TL	487.950
kW Birim Fiyatı (EPİAŞ PTF 01.07.24)(Aritmetik Ortalama)	TL	2,569
Hibrit Soğutmalı Transformator Maliyeti Artışı Mevcuta Oranla	%	14,4%
Maliyet Farkı	TL	70.265
Ortalama Güneşlenme Süresi	Saat	8,10
Azaltılan Sargı Kaybı Saatte (%56,05 Doluluk)	kW	0,23
Amortisman Yaklaşık Gün Sayısı	Gün	4954,9
Amorisman Yaklaşık Yıl	Yıl	13,58

V. SONUÇLAR

Sonuç olarak, mevcut transformatörlere kıyasla yeni hibrit soğutma sistemli trafoda transformatör sargılarının etrafında yer alan grafen katkılı kraft kağıtın sargılarda oluşan ısı tahliyesini hızlandırması ve peltier ile transformatörün gövde sıcaklığı düşürülerek yağının soğutulması sayesinde gövde sıcaklığında %24 oranında düşüş yaşanmıştır. 230w saatlik teknik kaybı düşürmüş olup senelik 2014,8 kW avantaj sağlamaktadır. Konvansiyonel transformatöre göre %14,4 ek maliyeti olup 13,58 Yıl da amorti etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından onaylanan “Güç Trafolarında Yeni Nesil Hibrit Soğutma Sisteminin Geliştirilmesi ve Pilot Bölge Saha Uygulaması” isimli Ar-Ge projesi kapsamında desteklenmektedir. Yazarlar bu destek için EPDK'ya teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] Y. Saner, *Güç Dağıtımı (Enerji Dağıtımı) Dağıtım Transformatörleri*, İstanbul, 2000.
- [2] Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş., TEDAŞ-MLZ/99-032.E *Hermetik Tip OG/AG Dağıtım Güç Transformatörleri Teknik Şartnamesi*, 2017
- [3] B. Türkaç ve T. Artaç, Genetik Algoritma İle Dağıtım Şebekelerinin Optimum Tasarımı, M.Sc. Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2003
- [4] V. Glamocanin, “Optimal Loss Reduction of Distribution Networks”, IEEE Transactions on Power Systems, vol.5, no.3, sç 774-782, Aug. 1990.
- [5] Elektrik Elektronik Teknolojisi Güç Transformatörleri, 2012 [Online] Available: http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/G%C3%BC%C3%A7%20Transformat%C3%B6rleri.pdf
- [6] T. Biçer, Elektrik güç sistemleri ve kayıpları, M.Sc. Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, 2009.
- [7] Ş. Sargın, Üretimden Tüketime Elektrik Enerjisi Sistemlerinde Meydana Gelen Kayıplar ve Giderilmesine Yönelik Çalışmalar, M.Sc. Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, 2006.
- [8] M. Kurt, Enerji Şebekelerinde Güç ve Enerji Kayıplarının Azaltılması Metotları, M.Sc. Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, 2001.
- [9] K. Özel, Losses in Electric Distribution Systems, M.Sc. Thesis, M.Sc. Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ODTÜ, 2006.
- [10] M. Pustu, Güç Transformatörleri ve Saha Testleri, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara, 2015.