

# Kuru Tip Transformatörlerde Nüve Materyallerinin Verime Etkisi

## Impact on Efficiency of Core Materials in Dry Type Transformers

Murat TÖREN<sup>1</sup>, Mehmet ÇELEBİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

murat.toren@erdogan.edu.tr

<sup>2</sup> Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Atatürk Üniversitesi

mcelebi@atauni.edu.tr

### Özet

Transformatörler (trafo) elektrik iletim ve dağıtım sistemlerinde önemli bir yere sahiptir. Enerji verimliliği bakımından transformatörlerin iletim ve dağıtım verimlerinin yüksek olması gerekmektedir. Her elektrik makinesinde olduğu gibi trafolar da verim önemli parametrelerden birini teşkil eder. Bununla birlikte trafolar da hareketli parça bulunmadığından ve hava aralığı çok küçük olduğundan dolayı verim yüksektir. Trafoların veriminin artırılmasına yönelik çalışmalar kapsamında farklı materyal alaşımlarının kullanılması durumunda çekirdek kayıpları da farklılık göstermektedir. Bu çalışmada endüstride trafo çekirdeklerinin imalatında kullanılan M85-23P, M120-27S, M105-30P sacları ile son zamanlarda üretilmeye başlanan amorf materyallerinin kuru tip bir dağıtım trafosunun nüvesinde kullanılması durumunda çekirdek kayıplarının ve dolayısıyla verimin nasıl etkilendiği incelenmektedir. Buna ek olarak bu sacların maliyet ve imalat bağlamında karşılaştırması yapılmaktadır. Bunun için 100 kVA gücünde kuru tip endüstriyel bir trafo Ansys Maxwell programı ile değişik materyaller kullanılarak analiz edilmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

### Abstract

Transformers have an important place in electric transmission and distribution systems. Transmission and distribution efficiency of transformers should be high in regard to energy efficiency. Efficiency is one of important parameters of transformers like every electric machine. Transformers are highly efficient because they do not have any moving parts, but a very small air gap. When alloys of different materials are used to increase efficiency of transformers, core loss shows differences. The present study aims to examine how core losses and efficiency are affected when M85-23P, M120-27S, M105-30P sheets, which are used in the production of core of transformers in industry, and amorphous materials, which have been started to be produced recently, are used in the core of dry type distribution transformers. Besides, it is aimed to compare these sheets in terms of cost and manufacturing in this study. For this purpose, a 100 kVA dry type industrial distribution transformer with various materials

was analyzed by Ansys Maxwell package program and the results were compared.

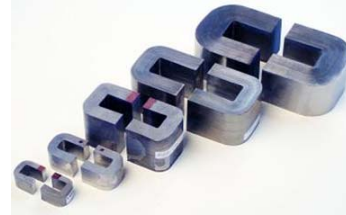
### 1. Giriş

Elektrik enerjisinin verimli kullanımı teknolojinin hızla geliştiği günümüzde oldukça önemlidir. Elektrik enerjisinin verimli kullanılması, elektriğin üretildiği noktadan tüketildiği noktaya ulaşırken en az kayıpla aktarılmasına bağlıdır. Trafolar elektrik enerjisinin aktarılmasında en önemli role sahip elektrik makineleridir. Trafolar kullanım alanlarına göre dağıtım trafoları olarak (25kVA-400 kVA), orta güç trafoları olarak (400kVA-40MVA) ve güç trafoları olarak (40 MVA-250MVA) üretilmektedir. Ancak trafonun gücü arttıkça üzerinde meydana gelecek kayıplarda o oranda artmaktadır.

Avrupa Birliği'ne üye 27 ülkede yapılan araştırmaya göre üretilen elektrik enerjisinin 8%'i şebekelerde kayıp olarak tüketilmektedir. Şebekelerdeki toplam kaybın 30%'u dağıtım transformatörleri üzerinde, bunun da 70%'i nüve kaybı olarak tüketilmektedir.[1]

Buna göre trafo nüvelerinde gelişen teknolojiye de bağlı olarak ucuz ve az kayıplı elektrik çeliklerinin kullanımına talep artmaktadır. Günümüzde endüstride nüve imalatında Si-Fe alaşımları nüve maddesi olarak kullanılmaktadır, fakat son yıllarda bazı alternatif maddelerin gelişmesi ile birlikte mevcut maddenin değiştirilmesi incelenmiştir [2-5]. Elektrik makinelerinde kullanılan Si-Fe malzemeye kullanım yerlerine göre ilave olarak amorf adı verilen malzemenin eklenmesi ile performans etkilerini inceleyen çalışmalar yapılmıştır [4,6].

Amorf, kristal yapıda olmayan anlamına gelmektedir. Bu malzeme metal alaşımları oluşturan elementler erime noktası üzerindeki sıcaklıklarda sıvı karışım halinde düzensiz bir yapıya soğutulmuş olarak Şekil 1 'de görüldüğü gibi kristalleştirilir.



Şekil 1 Amorf nüve şekli [7]

Ancak amorf malzeme elde edilebilmesi için katılaşma aşamasındaki eriyik karışıma özel teknikler uygulanarak 10<sup>6</sup> K/s yüksek hızlarda soğutma uygulanır[2]. Bu maddeler oldukça iyi manyetik özelliklerine rağmen ticari bakımdan maliyet fazlalığı nedeniyle kullanımı sınırlıdır[8].

## 2. Transformatör Nüve Materyali ve Kayıplar

### 2.1. Transformatör Kayıpları

Trafo larda meydana gelen kayıplar;

- Demir kayıpları
- Bakır Kayıpları

olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Demir kayıpları ya da çekirdek (nüve) kayıpları histerisiz ve fuko ( eddy akımları ) kayıpları ve anormal kayıplardan oluşmaktadır. Bu kayıplar trafoların boşta (yüksüz) çalışma durumlarında meydana gelen akımın oluşturduğu bakır kayıplarının dikkate alınmadığı durumda elde edilmektedir.

$$P_0 = P_h + P_e + P_{ano} \quad (1)$$

P<sub>0</sub> boşta kayıpları, P<sub>h</sub> histerisiz kayıplarını, P<sub>e</sub> fuko kayıplarını ve P<sub>ano</sub> anormal kayıpları ifade etmektedir.

Bu kayıplardan histerisiz kayıpları manyetik etki dolayısıyla oluşmaktadır. Manyetik devredeki akımın değerinin ani değişmesine bağlı olarak, amper-sarımın ve B manyetik alan yoğunluğunun değişmesi ile elde edilmektedir [1]. Demir kaybı P<sub>h</sub>,

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m^x \text{ (W/kg)} \quad (2)$$

Burada K<sub>h</sub> malzemenin histerezis kayıp katsayısıdır. B<sub>m</sub> de manyetik alan maksimum yoğunluğudur, birimi Wb/m<sup>2</sup>, f manyetik akı değişimi frekansını. Eş. 2’ de verilen x faktörü ise, malzemeden malzemeye göre değişen Steinmetz sabitidir ve demir için değeri 1.6 dır.

Fuko ( eddy akımları ) kayıpları ise demirin elektrik akımına gösterdiği elektriksel dirençten kaynaklanır. Bu durumda malzeme bir iletken gibi davranır ve değişken akımın etkisi ile demirde gerilim indüklenir. Bu gerilim malzemenin içinde akımların akmasına neden olur ki bu akımlara Fuko (Foucault) akımları adı verilir. Bunların demir içinde serbest olarak akması ile demirde “jul kayıpları” şeklinde hesaplanan ve ısı enerjisi olarak ortaya çıkar [9]. Fuko kayıpları P<sub>e</sub>,

$$P_e = K_g \cdot f^2 \cdot B_m^2 \text{ (W/kg)} \quad (3)$$

burada K<sub>g</sub> malzemenin fuko akımları kayıp katsayısıdır. Boşta kayıplarda histerisiz ve fuko kayıplarıyla açıklanamayan kayıplar anormal kayıplar olarak adlandırılırlar. Anormal kayıplar kristal büyüklüğü, madde içindeki gerilmeler, domain duvarı hareketleri, madde içindeki kusurlar, yanlış yerleşimler gibi birçok maddeye ait özelliklere bağlıdır. Anormal kayıplar P<sub>ano</sub> ile şu şekilde elde edilebilir.

$$P_{ano} = K_a \cdot f^{1.5} \cdot B_m^{1.5} \text{ (W/kg)} \quad (4)$$

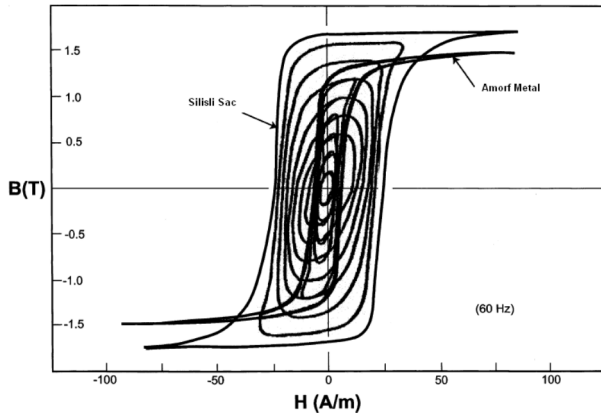
Trafoların boşta kayıpları karşılaştırıldığında düşük frekans değerlerinde büyük kısmını histerisiz kayıpları oluşturmaktadır[2].

### 2.2. Transformatörlerde Nüve Materyali

Trafo nüveleri elektriksel çeliklerden yapılmaktadır. Bu elektriksel çelik malzemelerin yapısında Si (Silisyum) ve Fe (Demir) elementinin karışımı bulunmaktadır. Bu çelikler trafo nüvesinde kullanılırken malzeme içeriğinde elementlerin kristalleri yönlendirilmiş ve yönlendirilmemiş malzemeler olarak iki kısma ayrılmaktadır. Yönlendirilmemiş elektrik çelikleri izotropik manyetik özellikler gösterir ve her yöndeki manyetik özellikleri hemen hemen aynıdır. Yönlendirilmemiş elektrik çeliklerinin, yönlendirilmiş elektrik çeliklerine göre güç kayıpları (manyetik veya çekirdek kayıpları) fazladır, manyetik geçirgenlikleri düşüktür ve daha ekonomiktirler[5]. Nüve malzemesi olarak kullanılan Si-Fe alaşımlı malzemeler yanı sıra 1975 yılında metal şerit halinde üretimi başlayan amorf malzemede nüve malzemesi olarak kullanılmaya başlamıştır. Trafo nüvelerinde kullanılan amorf malzemeler demir (Fe), silisyum (Si) ve bor (B) içeren alaşımlardır. Amorf metal sac lar yaklaşık 25 µm kalınlığındadır. Bu değer kristal yapıdaki silisli sacın yaklaşık 10%’ u kadardır[5]. Amorf malzemenin avantajları silisli sac malzemeye göre şu şekilde sıralanabilir [10].

- Kolay manyetik özellik kazanması dolayısıyla,
  - Düşük koersivite (dış manyetik alan büyüklüğü)
  - Düşük Histerisiz kayıpları
  - Yüksek permeabilite
- Düşük manyetik kayıpları olası dolayısıyla,
  - Düşük koersivite
  - Düşük fuko kayıpları
  - Yüksek permeabilite
  - Yüksek resistivite
- Hızlı geri dönüşümü dolayısıyla
  - Düşük manyetik kayıplar
- Harmonikler altında yüksek performans (Yüksek lineer yüklerde

Amorf malzeme ayrıca kristalize olmadığı için mıknatıslanması silisli sac malzeme ye göre daha kolaydır. Buda Şekil 2 ‘de manyetik malzemelerin mıknatıslanma eğrisinde materyal olarak kullanılan malzemelerden Silisli sac histerisiz eğrisi daha geniş aralıklı iken amorf materyalin histerisiz eğrisi daha dar aralıklıdır. Bu durum histerisiz eğrisiyle birlikte trafoda meydana gelecek demir kayıplarının bir parçası olan histerisiz kayıplarının da silisli sacda geniş aralığa bakılarak fazla , amorf materyaldeki dar aralığa bakılarak daha az olacağını göstermektedir..



Şekil 2: Amorf ile Si-Fe Malzeme Mıknatıslanma B-H (Histerisiz) Eğrisi [2]

Amorf malzemenin avantajları yanı sıra, malzemenin sınırlı üretim boyutlarının olması (140mm, 170 mm ve 213 mm), klasik elektrik çeliklerinden üretilen çeliklerin sargıları oval ya da yuvarlak sargılardan oluşurken, amorf nüve kare yada dikdörtgen şeklinde üretildiklerinden maliyeti etkileyen daha fazla sargı ve ağırlık gibi dezavantajları vardır.

Trafo ların histerisiz ve fuko kayıplarına göre nüvelerinde kullanılan Si-Fe malzeme ile amorf malzeme arasında kayıpların durumunu Çizelge 1 de gösterilmektedir. Bu çizelgede toplam kayıpların çarpım oranlarının amorf materyalde daha az olduğu görülmektedir.

Çizelge 1: Amorf ile Si-Fe Malzeme Kayıplarının Dağılımı [10]

|                | Amorf Malzeme   |                      | Si-Fe Malzeme   |                      |
|----------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|
|                | Fuko Kayıpları  | Histerisiz Kayıpları | Fuko Kayıpları  | Histerisiz Kayıpları |
| Lineer Yükte   | %33             | %67                  | %67             | %33                  |
| Yüksüz (Boşta) | 1,3x Lineer Yük |                      | 1,8x Lineer Yük |                      |

Amorf malzeme ile silisli sac malzemenin diğer özelliklerinin karşılaştırması da Çizelge 2 'de verilmektedir. Bu çizelgede özelliklere bakıldığında kayıpların oranının amorf materyalde diğer özgün özellikleri ile beraber silisli saca oranla çok daha düşük olduğu verilmektedir. Nüve kayıp oranı toplam kayıp oranının amorf materyalde 0.2 iken silisli sac 0.9 olmaktadır.

Çizelge 2: Amorf ile Si-Fe malzemenin Özellikleri [3]

|               | Birim              | Amorf Malzeme | Si-Fe Malzeme |
|---------------|--------------------|---------------|---------------|
| Özgül Ağırlık | gr/cm <sup>3</sup> | 7,15          | 7,65          |

|                   |       |             |           |
|-------------------|-------|-------------|-----------|
| Özgül Direnç      |       | 130         | 45        |
| Doyma Endüksiyonu | Tesla | 1,59-1,64   | 2,03      |
| Tipik Nüve Kaybı  |       | 0,20        | 0,9       |
| Kalınlık          | Mm    | 0,022-0,030 | 0,23-0,30 |
| Doldurma Faktörü  |       | 0,86        | 0,97      |

Trafo nüvelerinde kullanılan bu malzemelerden amorf malzemeli nüvenin doldurma faktörü ve manyetik doyma noktasının düşük olması silisli sac nüvelere göre daha büyük kesitli yapılmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla amorf nüveli transformatörlerde sargılar ve transformatör boyutları silisli saca göre daha büyüktür[2].

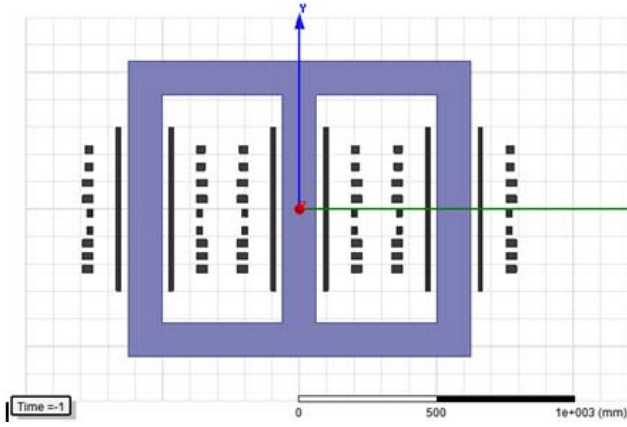
### 3. Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada yapılan simülasyonlarda M85-23P, M120-27S, M105-30P nüveli ve amorf nüveli 100kVA gücünde kuru tip bir trafonun Ansys Maxwell programında manyetik analizi yapılmaktadır. Analizi yapılan 100kVA gücündeki trafonun özellikleri Tablo 3 'te verilmektedir.

Çizelge 3: Simülasyonda Kullanılan 100 kVA trafo Özellikleri

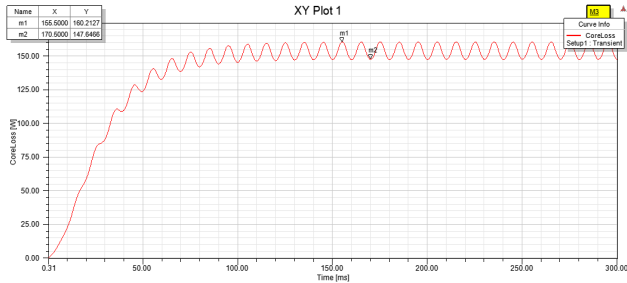
| Karakteristik                       |       | 3 fazlı 100kVA         |
|-------------------------------------|-------|------------------------|
| Tip                                 | Birim | Kuru tip Transformatör |
| Gucu                                | kVA   | 100                    |
| Primer Gerilimi                     | kV    | 33                     |
| Yüksüz Sekonder Gerilimi            | kV    | 0.4                    |
| Frekans                             | Hz    | 50                     |
| Faz Sayısı                          |       | 3                      |
| Baglantı Tipi                       |       | Yzn-11                 |
| Ortam Sıcaklığı                     | °C    | 40                     |
| Ortalama Maksimum Dayanım Sıcaklığı | °C    | 120                    |
| Standartlar                         |       | IEC 60076-11           |
| Nominal gerilimde Empedans          | %     | 6.0                    |
| Yüksüz Kayıplar                     | W     | Minimum                |
| 75 °C 'de yuklu kayıplar            | W     | Standart değer         |
| Gurultu Seviyesi                    | dB    | Minimum                |
| Sogutma                             |       | Hava (AN)              |
| Primer/Sekonder sargı materyali     |       | Alüminyum x Bakır      |

Ansys Maxwell programı kullanılarak analizi yapılacak olan kuru tip transformatörün manyetik analiz için tasarlanan devresi iki boyutlu olarak (2D) Şekil 3'te görülmektedir.

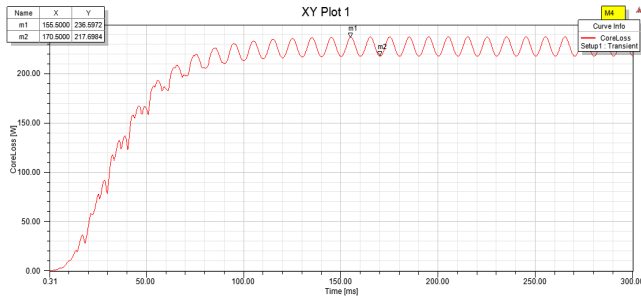


Şekil 3: 100kVA Kuru tip trafonun Ansys Maxwell Görüntüsü

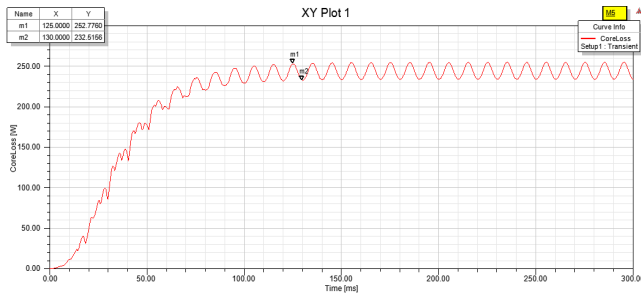
Kuru tip trafonun Ansys Maxwell’de tasarımı üzerinde nüve materyali olarak sırasıyla M85-23P, M120-27S, M105-30P ve amorf nüve materyali değerleri tanımlanarak yapılan manyetik analiz görüntüleri Şekil 4 ‘teki gibidir.



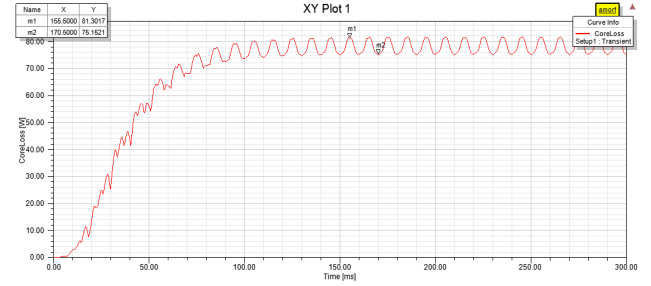
(a) M85-23P (M3) materyali Nüve Kaybı (Coreloss) Grafiği



(b) M120-27S (M4) materyali Nüve Kaybı (Coreloss) Grafiği



(c) M105-30P (M5) materyali Nüve Kaybı (Coreloss) Grafiği



(d) Amorf materyali Nüve Kaybı (Coreloss) Grafiği

Şekil 4: 100kVA Kuru tip trafonun Farklı Materyallerde Nüve Kaybı Grafikleri

Materyallerin manyetik analiz sonucunda elde edilen grafiklerin nüve kaybı değerleri resistif yük durumunda ve günlük ortalama yük durumu [11]’e göre Tablo 4 ‘te verilmektedir. Bu yüklem oranı dışında yüklenme arttıkça kayıplar da artmaktadır.

Çizelge 4: 100 kVA Kuru tip Trafoda Materyallerin Kayıp Değerleri

| Materyal Tipi | Histerisiz Kayıpları (W) | Fuko Kayıpları (W) | Toplam Nüve Kaybı (W) | Sargı Kayıpları (W) | Yükleme Oranı |
|---------------|--------------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|---------------|
| M85-23P (M3)  | 51,71                    | 102,21             | 153,92                | 461,76              | %58           |
| M120-27S (M4) | 75,59                    | 151,55             | 227,14                | 681,42              | %58           |
| M105-30P (M5) | 80,7                     | 161,94             | 242,64                | 727,92              | %58           |
| Amorf         | 81,3                     | 26,94              | 78,22                 | 472,42              | %55           |

Çizelge 5: 100 kVA Kuru tip Trafoda Materyallerin Amorf Nüveye Göre Kayıp Oran Değerleri

| Materyal Tipi                           | M85-23P (M3) | M120-27S (M4) | M105-30P (M5) | Amorf  |
|-----------------------------------------|--------------|---------------|---------------|--------|
| Toplam kayıp (W)                        | 615,68       | 908,56        | 970,56        | 550,64 |
| Amorf Nüve ile arasındaki yüzde değişim | 10,56        | 39,39         | 43,27         | 0      |

#### 4. Sonuç

Endüstride kuru tip bir trafonun nüvesinde kullanılan nüve materyallerinin trafonun toplam kaybında ve dolayısıyla veriminde ne kadar etkili olduğu incelenmektedir. Buradan verimin çıkışta alınan güç ile doğru orantılı olduğu bilindiğine göre, çıkış gücüne etki eden kayıpların verimi etkisi önemlidir. Aynı güçte üretilen bir trafo için M3 materyalindeki toplam kayıp amorf nüveye oranla %10,56, M4 materyalindeki kayıp %39,39, M5 materyalinde ise %43,27 daha fazla olduğu incelenmektedir. Materyallerden kristal yapıda olmayan amorf malzemenin dağıtım tipi trafolardaki nüve kayıp değerlerinin

diğer kristal yapılı malzemelere oranla düşük olduğu elde edilmektedir. Kayıpların azaltılması ve verimin artırılmasında, kristal yapının azaltıldığı, mıknatıslanma özelliği ve kalınlığının düşük olduğu materyal kullanımının daha iyi sonuçlar vereceği görülmektedir. İleride orta ve yüksek güçlü trafolarla da teknolojik gelişmelere bağlı olarak nüve materyali olarak amorf malzeme kullanılabilir.

## 5. Kaynaklar

- [1] Frau, J., “ Energy Efficiency and Security”, Endesa distribution, Project Effitrafo, 2008.
- [2] Bilici, M.S. "Transformatörlerde Enerji Verimliliği, Amorf Nüve Kullanımı", Eltaş Sanayi ve Tic. A.Ş. Yayınları, İzmir.
- [3] Yürekten, S., “Trafo Üretiminde inovasyon Çevreci-Yeşil Trafolar için (Fe Bazlı) Amorf Metal Nüveler”, 3E Electrotech, 2010
- [4] Işık F., Uyaroğlu Y., “Amorphous core transformers efficiency analysis in Turkish electrical distribution systems”, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 2014, 1-13
- [5] Erdem, S., " Transformatör Çekirdeklerinde Kullanılan Elektrik Çelikleri Ve Amorf Şeritlerin Uç Uca Gelen Birleşim Yerlerindeki Manyetik Akı Dağılımının DeneySEL Ve Kuramsal İncelenmesi", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2006.
- [6] Aybar, S., "Statik Elektrik Makinelerinde Farklı Oranda Silisyum İçeren Saclar Kullanılarak Makinenin Performans Parametrelerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [7] Wang L., Le J., Le S., Zhang G., Huang S., “Development of the New Energy-Efficient Amorphous Iron Based Electrical Motor”, 2011 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring, 2059-2061, 2011.
- [8] Moses, A. J. Development of Alternative Magnetic Core Materials and Incentives for Their Use. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 112, 150-155, 1992.
- [9] Mamizadeh, A., " Yağlı Tip Transformatorlerin Doğrusal Olmayan Dinamik Termal Modellemesi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2010
- [10] <http://www.enpay.com/>
- [11] ERDA Raporu “Transformer performance under harmonic conditions in industry”, Electrical Researc and Development Association, Vadodara, India, 2000

## TEŞEKKÜR

Teknik desteklerini esirgemeyen Astor A.Ş.(Özgüney Transformator), Enpay End. Paz. Ve Yat. A.Ş firmalarına teşekkür ederiz.