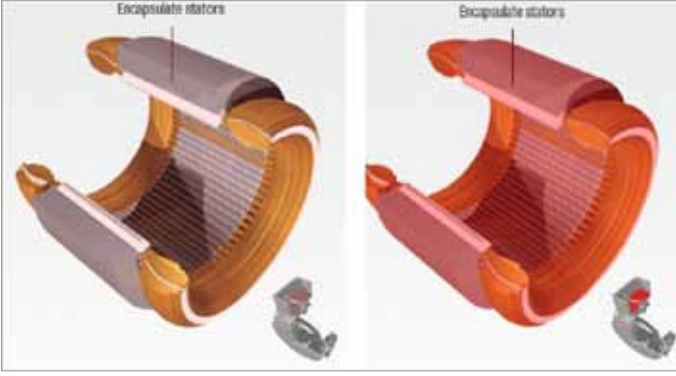


Şekil 2.1 PCB üzerinde epoksi ile enkapsüle edilmiş kart ve elektronik parçalar



Şekil 2.2 Elektrik motoru stator enkapsülasyonu

2.3. Epoksi Uygulamalarında Dikkat Edilmesi Gerekenler

Bir bileşenli epoksilerin kürleşmesi ısı ile gerçekleştiği için bu malzemelerin 10 ila 25 derece sıcaklıkta depolanması gerekmektedir.

İki bileşenli ürünlerde ise, ana malzeme ve katalizörün doğru oranlarda homojen karışımı bitmiş üründe istenilen özelliklerin sağlanması açısından önem taşımaktadır. Karışımın doğru oranda ve homojen yapılmadığı durumda tam kürleşme veya donmuş üründe kırılabilirliğin artması söz konusu olabilir.

Ayrıca epoksinin uygulama alanına dökümü esnasında hava kabarcığı oluşmaması için vakum ortamında çalışılması ve uygulamanın tek noktadan yapılması önerilir. Oluşabilecek hava kabarcıkları elektriksel ve/veya termal özellikleri olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

En önemlisi üretici firmanın verdiği malzeme güvenlik ve teknik bilgi formlarında bahsedilen uygulama şartlarına ve güvenlik önlemlerine uymak ve kürleşme esnasında tavsiye edilen koşulları oluşturabilmektir.

3. ELEKTRİK MOTORLARINDA EPOKSİ UYGULAMASI

Elektrik motorları elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinelerdir. Bu dönüşüm gerçekleşirken motor üzerinde mekanik ve elektriksel etkenlere bağlı bir ısı oluşur. Mekanik etkenler için rulman ve kaymalı yatak gibi sürtün-

meye maruz kalan elemanlar sayılabilirken, elektriksel etkenler için başlıca sebep motor sargılarından geçen akımın oluşturduğu ısıdır.

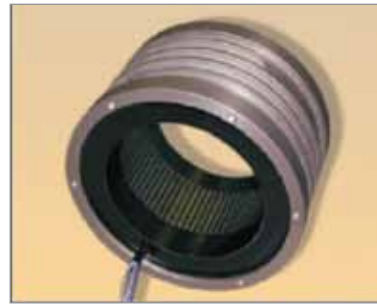
Elektrik motorunda oluşan ısı motor gövdesi üzerinden uzaklaştırılır. Bu sayede motorun aşırı sıcaktan dolayı veriminin düşmesi ve sargı izolasyonlarının hasar görmesi engellenmeye çalışılır.

Bu nedenle elektrik motoru üreticileri pasif soğutma amaçlı motor gövdesi üzerinde soğutma kanalları tasarlarken, gerekli durumlarda aktif soğutma için fan kullanılmaktadır. Malzeme teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu alanda ilerlemeler sağlanmıştır. Bunlardan bir tanesi motor gövdesi için termal iletkenliği yüksek epoksi kullanımıdır.



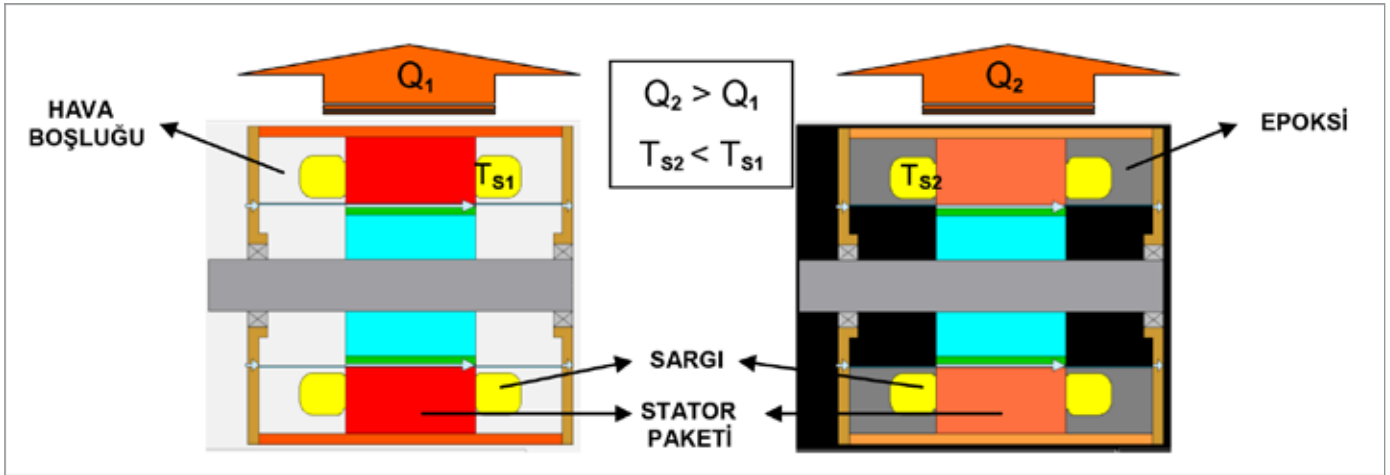
Şekil 3.1 Pasif ve aktif soğutmalı elektrik motorları

Epoksiler elektrik motorlarında daha çok elektriksel yalıtım (izolasyon) ve ısı transferi amacıyla kullanılmaktadır. Elektrik motoru stator paketi çevresindeki hava boşluğunun yerini dolduran epoksi malzemesi gövde ile stator sargıları arasında termal iletkenliği artırır. Artan bu iletkenlik sayesinde sargılarda oluşan ısı motor gövdesine daha hızlı iletilir ve sargı sıcaklığının daha az artması sağlanır. Kullanılan epoksi malzemesinin termal iletkenlik katsayısı burada önem arz etmektedir. Termal iletkenlik katsayısı ne kadar büyük olursa ısı transferi bir o kadar hızlı olmaktadır ve sargı sıcaklığı da azalmaktadır.



Şekil 3.2 Epoksi ile kaplanmış elektrik motoru statoru

Elektrik motoru gövdesi içerisindeki stator paketinin epoksi ile kaplanması (Şekil 3.2) ile motorun sıcaklık artışını azaltmaktadır. Bu durum "4.2 Testler" başlığı altında incelenmiştir. Sıcaklık artışının azalmasına bağlı olarak sargı izolasyonlarının ömrü uzamakta ve motor verimi artmaktadır.



TS1 : Epoksisiz motor sargı sıcaklığı

TS2: Epoksili motor sargı sıcaklığı

Q1 : Epoksisiz motor gövdesinden atılan ısı

Q2 : Epoksili motor gövdesinden atılan ısı

Şekil 3.3 Elektrik motorunda epoksi olmadan ve epoksi ile ısı transferi farkı

Elektrik motorlarında epoksi uygulamasının getireceği avantaj ve dezavantajlar Tablo 3.1'de belirtilmiştir.

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Motor sargı sıcaklığının düşmesi	Epoksi Maliyeti
Motorda verim artışı	Yatırım (ekipman) maliyeti
Sargı izolasyonlarının güçlenmesi	İşçilik gideri
Sargıda kısa devre riskinin azalması	Sargının yeniden sarılamaması
Sıcaklığa bağlı malzeme stresinin azalması	-
Motor ömrünün uzaması	-
Servis bakım aralıklarının uzaması	-
Servis bakım masraflarının azalması	-

Tablo 3.1 Elektrik Motorlarda Epoksi Uygulamasının Avantajları ve Dezavantajları

4. ELEKTRİK MOTORUNDA EPOKSİ KULLANIMININ İNCELENMESİ

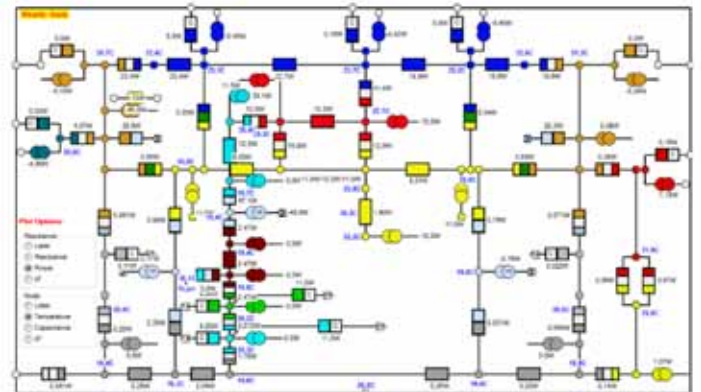
Bu çalışmada elektrik motoru üzerinde oluşan ısının uzaklaştırılması çeşitli bilgisayar analizleri ve laboratuvar testleri gerçekleştirilerek incelenmiştir. Bu analiz ve testlerde amaçlanan epoksinin motor performansına etkisini görmektir.

Bu çalışmada aynı özelliklere sahip etiket güçleri 800 watt olan üç adet elektrik motoru kullanılmıştır. Motorlardan birine termal iletkenlik katsayısı 0,85W/K.m ve diğerine 1,7W/K.m olan epoksiler uygulanmıştır.

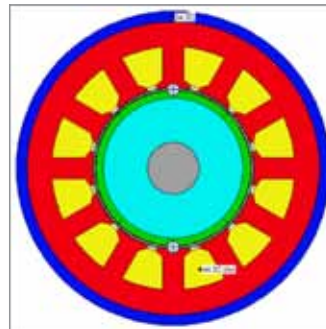
4.1. Bilgisayar Analizi

Bilgisayar analiz programında üç farklı motorun termal modeli oluşturularak analizler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.2'de kesiti görülen motor için gerçekleştirilen analizlerde çıkan motor gövde (mavi bölge) ve stator sargı (sarı bölge) sıcaklık sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.



Tablo 3.1 Elektrik Motorlarda Epoksi Uygulamasının Avantajları ve Dezavantajları



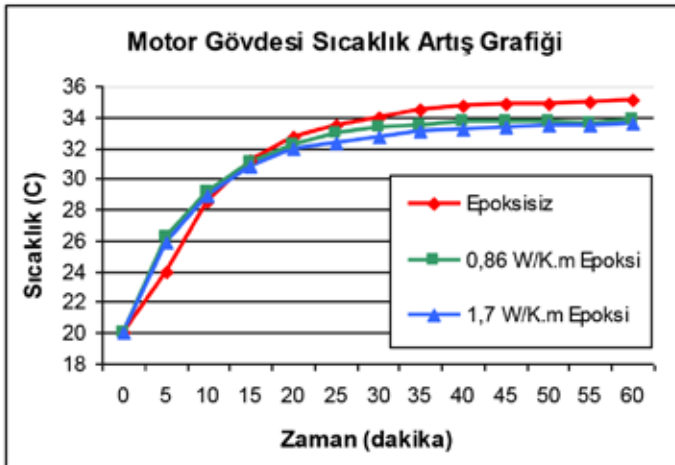
Şekil 4.2 Motor kesiti

Motor Tipi	Gövde Sıcaklığı	Sargı Sıcaklığı
Epoksisiz	34,3°C	44,3°C
0,85W/K.m	33,5°C	36,3°C
1,7W/K.m	32,1°C	34,2°C

Tablo 4.1 Motor sıcaklık analiz sonuçları

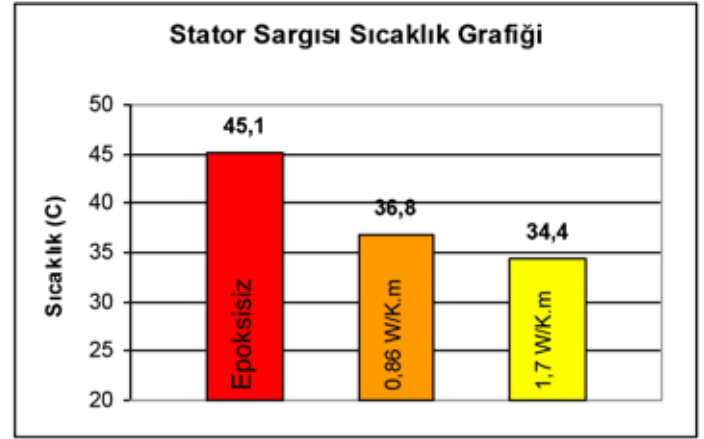
4.2. Testler

Söz konusu motorların sıcaklık ve performans testleri aynı ortam koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında 5'er dakika aralıklarla her bir motor gövdesine yerleştirilen sıcaklık sensörü ile motor gövde sıcaklığı ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Her bir motor için 60 dakika süren bu testlerde motor gövde sıcaklığı artışının ortalama 35 veya 40 dakika sonra durduğu gözlemlenmiştir. Testler boyunca zamana bağlı ölçülen sıcaklık grafiği "Grafik 4.1"de gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi epoksinin termal iletkenliğinin yüksek olması nedeniyle motorların gövde sıcaklığı artışı epoksisiz motora göre ilk 15 dakika daha hızlı olmuştur. Ancak sıcaklık artışı durduktan sonra epoksisiz motor gövde sıcaklığının epoksilik motorlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

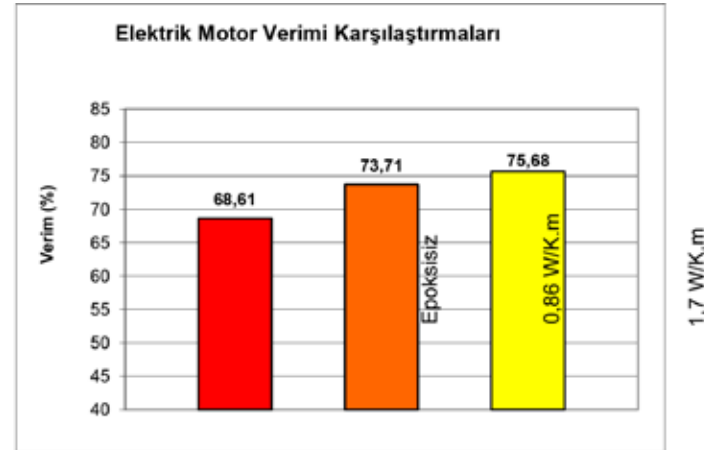


Grafik 4.1 Motor gövdesinin zamana bağlı sıcaklık değişimi

Gövde sıcaklığı dışında motor sargı sıcaklığını ölçmek için de çalışma yapılmıştır. Test başlangıcında ve sonunda ölçülen sargı direnci değerleri ile motor sargılarındaki sıcaklık değişimi hesaplanmıştır. Motorlara ait çıkan sargı sıcaklık değerleri "Grafik 4.2"de gösterilmiştir. Epoksisiz motorun sargı sıcaklığı 45,1°C'ye ulaşırken 0,85W/K.m termal iletkenlik katsayısına sahip epoksilik motorun sargı sıcaklığının 36,8°C'ye ve 1,7W/K.m termal iletkenlik katsayısına sahip epoksilik motorun sargı sıcaklığının 34,4°C'ye ulaştığı tespit edilmiştir. Motorların sıcaklık artış hızı durduktan sonra %100 yükte hesaplanan verim değerleri "Grafik 4.3"de gösterilmiştir. Üç elektrik motoru arasında termal iletkenlik katsayısı en yüksek olan motorun veriminin de en yüksek, epoksisiz olan motorun ise en düşük verim değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.



Grafik 4.2 Stator sargısı sıcaklık grafiği



Grafik 4.3 Elektrik motorlarının verim karşılaştırmaları

5.SONUÇ

Enerji verimliliğinin giderek önem kazandığı günümüzde enerji tüketimini azaltmak adına birçok çalışma yapılmaktadır. Elektrik motorlarının enerji tüketimindeki payı göz önüne alındığında bu alanda gerçekleştirilecek verimlilik artırıcı çalışmaların önemi açıktır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen çalışma sonucu epoksi kullanımı ile birlikte sargı sıcaklığının azalmasına bağlı olarak motor veriminin arttığı tespit edilmiştir.

Ayrıca sıcaklığın azaltılması ile sargı izolasyonlarının bozulması ve buna bağlı kısa devre riski de azalmıştır. Bu durum motor parçalarında sıcaklığa bağlı oluşan stresi azaltarak ömür kayıplarının önüne geçilmesini sağlayacaktır. Bu sayede elektrik motorunun bakım ihtiyacı azalacak ve motor ömrü uzayacaktır.

6.KAYNAKLAR

- 1.Donald A. Bolon, "Epoxy Chemistry for Electrical Insulation", IEEE Electrical Insulation Magazine, July/August 1995 - Vol. 11, NO. 4.
- 2.Wen-Ren Chen and Jeng-I Chen, "Characterization of a New Epoxy Resin System for Thermal Management Application", IEEE, 978-1-4244-3624/8/08, 2008.
- 3.Yasunori Okada, Shozo Kasai, "New Highly Reliable Heat Resistant Magnet Wire And Epoxy Potting Compound System For Electrical Devices", CH2788-8/89/0000-0284, 1989 IEEE