

Davlumbazlarda Kullanılan Tek Fazlı Sürekli Kondansatörlü Asenkron Motor Analizi

Analysis of a Permanent Capacitor Split Phase Induction Motor Used in Cooking Hood Applications

U. E. Doğru, N. G. Özçelik, L. T. Ergene

¹Elektrik Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi

uguremre.dogru@gmail.com, ozceliknezih@gmail.com, ergenel@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada davlumbaz uygulamalarında sıkça kullanılan daimi kondansatörlü tek fazlı asenkron motorlar performans açısından incelenmiştir. Motorun sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla analizleri yapılmış, bu analiz sonuçları deneysel sonuçlarla desteklenmiştir. Her iki yöntem sonucu elde edilen veriler motor performansı açısından karşılaştırılmış ve sonuçların uyumluluğu incelenmiştir.

Abstract

In this study, a permanent capacitor split phase induction motor, which has been frequently used in cooking hood applications, has been analyzed. Beside the finite element method analysis of the motor, experimental results are also provided. Both results are compared in terms of the motor performance.

1. Giriş

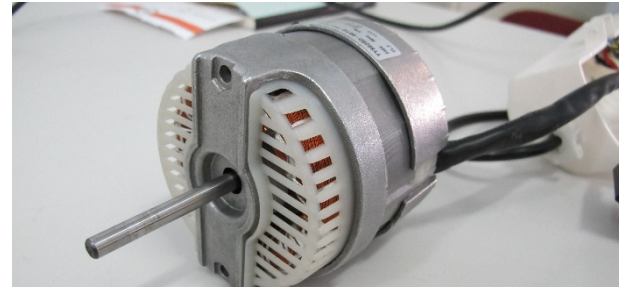
Asenkron motor teknolojisi, 1800'ü yılların başında döner alan kavramının bulunmasının ardından, 1890 yılların sonuna doğru ortaya çıkmıştır. Tek fazlı asenkron motor, önce doğru akım makinelerindeki kutup başına birden fazla oluk yapısı dikkate alınarak tasarlanmıştır. Daha sonra ise çok fazlı asenkron makinelerin tasarlanmasında basamak görevi üstlenmiştir [1]. Tek fazlı asenkron motorlar; sahip oldukları manyetik yapıdan dolayı, dışarıdan uygulanan yardımcı bir kuvvet olmadan dönme işlevlerini yerine getiremezler. Motor tasarlanırken yardımcı sargılar kullanılarak; makine içinde ana sargının oluşturduğu manyetik alanın haricinde, yardımcı sargıların destekleyici bir manyetik alan oluşturması sağlanır. Ana sargılar ve yardımcı sargılar tarafından oluşturulan manyetik alanların birbirine dik konuma gelip motorun dönebilmesi için kalkış durumunda, işletme durumunda ve hem kalkışta hem de işletme durumunda görev yapan kondansatörler kullanılmaktadır. Tek fazlı asenkron motorlar genellikle küçük güçlü makinelerdir.

Davlumbaz uygulamalarında kullanılan motor tipine bakıldığında; şu ana kadar tercih edilen motor tipi, fan uygulamalarında ve pompa uygulamalarında kullanılan sürekli kalkış kondansatörüne sahip tek fazlı asenkron motorlardır [2].

Bu çalışmada, ev tipi bir uygulama olan davlumbazların fan motoru olarak kullanılan tek fazlı daimi kondansatörlü asenkron motorun performans testleri laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen performans testlerinin ardından sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, ileriki çalışmalara temel oluşturması ve ışık tutması açısından analiz edilmiştir. Sonlu elemanlar analizleri için için iki boyutlu paket program (Flux2D) kullanılmıştır.

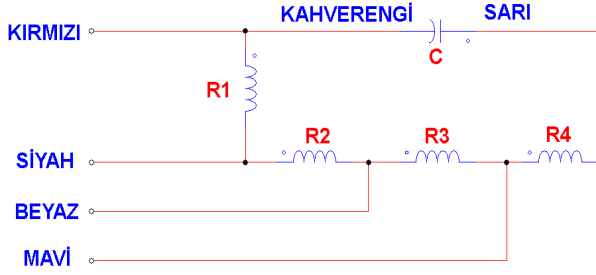
2. Test Motoru

Davlumbaz uygulamasında kullanılan bu test motoru, tek fazlı daimi kondansatörlü asenkron motordur. Fan uygulamasında devir sayısının önemli olması sebebiyle iki kutuplu olarak tasarlanan motor, üç farklı hız kademesinde çalışabilmektedir. Davlumbaz fan motoru olarak kullanılan bu motor şebeke gerilimi ve frekansı olan 230 Volt'luk gerilim ve 50 Hz'lik frekans seviyesinde çalışmaktadır. Şekil 1'de davlumbaz fan motoruna ait genel bir görünüm verilmiştir.



Şekil 1: Motorun genel görünümü.

Motorun elektriksel devresi ise Şekil 2 de sunulmaktadır. Motor hız kontrolü, yardımcı ve ana sargı düzenlerinin bağlantı uçlarının değiştirilmesiyle gerçekleştirilir. Maksimum hız için ana sargı R1 direnci iken yardımcı sargı R2, R3 ve R4 dirençlerinin toplamı olur.



Şekil 2: Motorun elektriksel eşdeğer devresi.

Hız düşürülürken ana sargı direnç değerleri artırılarak, hızın azalması sağlanır. Bu durumda, minimum hız için ana sargı direnç değeri R1, R2 ve R3 değerlerinin toplamı iken yardımcı sargı R4 direnç değerine sahip olur. Elektriksel devreye ait ilgili direnç değerleri Çizelge 1 de verilmektedir.

Çizelge 1: Elektriksel eleman büyüklükleri

Ölçüm Yapılan Uçlar	Direnç ve Kondansatör değerleri
Kırmızı-Siyah (R1)	95,8 Ω
Siyah-Beyaz (R2)	40,1 Ω
Beyaz-Mavi (R3)	15,8 Ω
Mavi-Sarı (R4)	41,5 Ω
Kahverengi-Sarı (C)	5 μ F

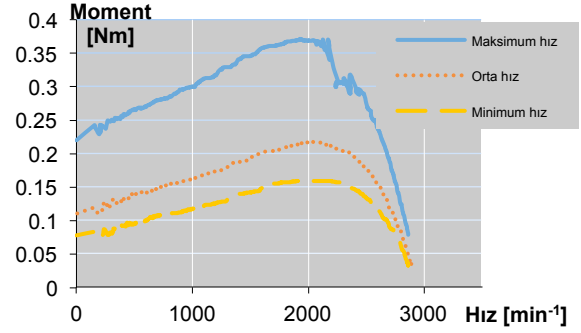
3. Performans Testleri

Test motoru, performans testleri için dinamo fren istasyonuna bağlanmıştır. Motorun dinamofrene bağlandığı test düzeneği Şekil 3 te verilmektedir.



Şekil 3: Dinamo fren test istasyonu.

İlk olarak bağlantı noktaları değiştirilerek yapılan üç ayrı hız kademesi için moment - hız öz eğrileri elde edilmiştir. Bunlara ek olarak, kilitli rotor ve yükte testleri yapılarak motorun akım, giriş gücü ve verim gibi parametrelerine ulaşılmıştır. Bu testlere üç ayrı hız değeri için göre moment – hız grafiği Şekil 4 teki gibidir.



Şekil 4: Motor moment öz eğrileri

Şekil 3'te verilen öz eğriler test motorunun maksimum, orta ve minimum hız kademelerine aittir. Testlere göre kalkış momentleri maksimum, orta ve minimum hız değerleri için sırasıyla ortalama 0,22, 0,11 ve 0,0775 Nm'dir. Dinamo fren yardımıyla motor, üç hız kademesi için yüklenip kilitli rotor konumunda çektiği akım ve ürettiği moment sonuçları Çizelge 2 de verilmektedir.

Çizelge 2: Kilitli rotor test sonuçları

Hız kademesi	Kilitli Rotor Akımı (A)	Kilitli Rotor Momenti (Nm)
Minimum Hız	0,628	0,067
Orta Hız	0,714	0,108
Maksimum Hız	0,944	0,203

Son olarak davlumbaz uygulamasının yükü olan fanın ihtiyaç duyduğu moment değerleri tespit edilmiştir. Motor fana bağlanarak üç ayrı hız kademesinde test istasyonunda çalıştırılmıştır. Motorun şebekeden çektiği akım ve tükettiği güç değerleri kaydedilmiştir. Bu değerler performans testleri sonucunda elde edilen veriler ile eşleştirilerek, motorun o hız kademesinde ürettiği yük moment değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 3: Yük moment değerleri

Hız Kademesi	Şebekeden Çekilen Akım [A]	Şebekeden Çekilen Güç [W]	Yük Moment Değeri [Nm]
Minimum	0,6	124	0,155
Orta	0,648	135	0,21
Maksimum	0,741	162	0,3

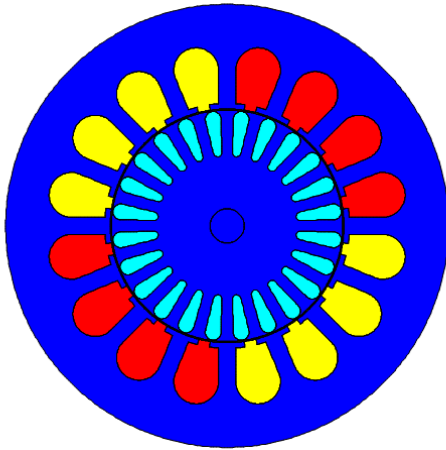
4. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analiz

IEC-60034 standardına uygun olarak yapılan laboratuvar performans testlerinin ardından davlumbaz fan motorunun, sonlu elemanlar yöntemi ile analizi gerçekleştirilmiştir. Motorda 16 stator, 24 rotor oluğu bulunmaktadır. Motorun genel geometrik büyüklüklerinin listesi Çizelge 4 te sunulmaktadır.

Çizelge 4: Geometrik parametreler

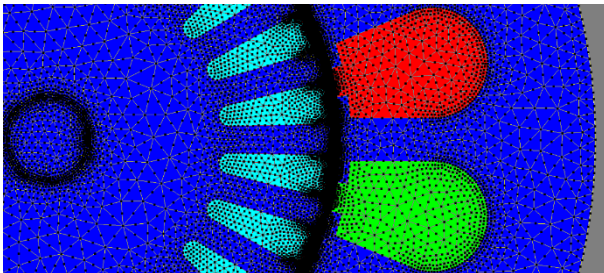
Hava Aralığı	0,195 mm
Stator Dış Çapı	78 mm
Stator İç Çapı	41,12 mm
Stator Oluk Yüksekliği	11,31 mm
Rotor Çubuk Yüksekliği	8 mm
Rotor Dış Çapı	40,73 mm
Rotor Barı Üst Yarıçapı	1,40 mm

İlgili geometrik parametreler dikkate alınarak oluşturulan iki boyutlu motor genel görünümü Şekil 5 te verilmektedir.



Şekil 5: Motor geometrik modeli.

Analizi gerçekleştirebilmek için fiziksel sınırlar ve problemler tanımlanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi için gerekli olan ağ yapısı oluşturulmuştur. Belirli bir zaman aralığı için çözümler gerçekleştirilmiştir. Ağ yapısı üzerinde toplam olarak 46534 düğüm bulunmaktadır. Hava aralığı gibi manyetik akının ani değişim gösterdiği bölgelerde yoğun ağ yapısı kullanılarak çözümlerdeki hassasiyet artırılır. Motora ait ağ yapısını hava aralığı bölgesinde gösteren bir kesit Şekil 6 da verilmektedir.

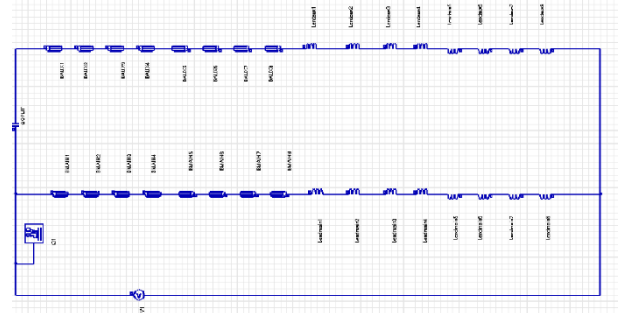


Şekil 6: Model ağ yapısı.

Elektromanyetik çözümde manyetik ve elektriksel devreler zamana bağlı olarak ani çözüm yapmaktadırlar. Motor için oluşturulan elektriksel devre Şekil 7 de verilmiştir. İki boyutlu analiz yapıldığından üçüncü boyut etkisi elektriksel devreye uç sarım endüktansları eklenerek sağlanmıştır. Uç endüktans paket boyu dışında kalan sargının eşdeğer endüktans değerine denk gelmektedir.

$$L_{u\zeta} = \frac{p\mu_0\tau_{cp}N^2}{2} \ln\left(\frac{\tau_{cp}\sqrt{p}}{\sqrt{2}A_s}\right) \quad (1)$$

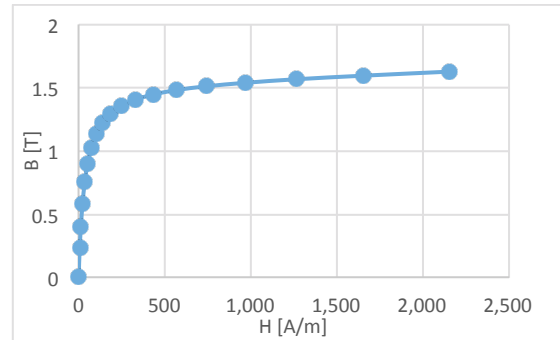
(1) ile gösterilen denklemde p kutup çifti sayısını, μ_0 hava aralığı manyetik geçirgenliğini, τ_{cp} sargı adımını, N sarım sayısını, A_s ise tel kesit alanını temsil etmektedir [3].



Şekil 7: Elektriksel eşdeğer devre.

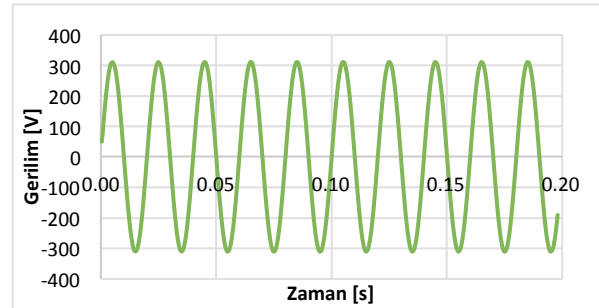
Yapılan hesaplamalar doğrultusunda uç endüktans değeri 0,5 mH olarak belirlenmiştir. Her bir oluk sargı iletkeni ile temsil edilirken; her bir oluk için uç endüktans değerleri de ayrı olarak verilmiştir.

Üçüncü adım olarak da motorun malzemeleri belirlenmiş ve bunlar geometrik yüzeylerle eşleştirilmiştir. Stator ve rotor laminasyonu olarak kullanılan saca ait mıknatıslanma eğrisi Şekil 8'de verilmiştir.



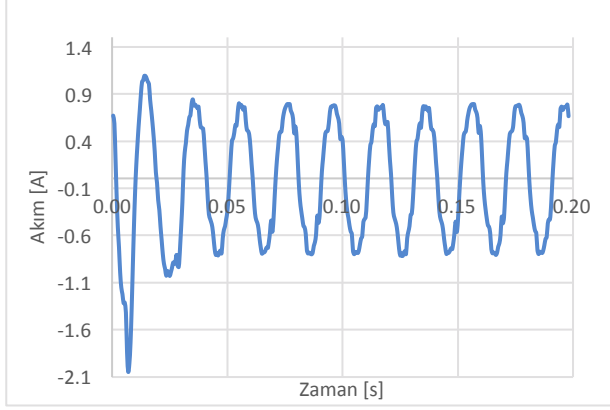
Şekil 8: Laminasyon malzemesi B-H eğrisi.

Motor modelinin zamana bağlı elektromanyetik analizi yapılmıştır. Uygulanan kaynak gerilimi 230 V tepe değere sahiptir (Şekil 9).



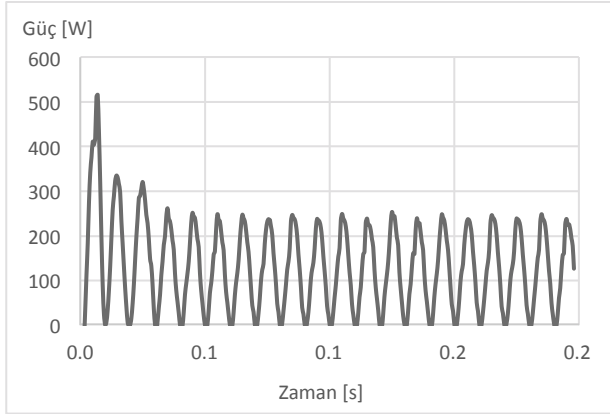
Şekil 9: Motor giriş gerilimi.

Şekil 10 da stator ana sargı akım dalga şekli verilmiştir ve 0,70 A etkin değere sahiptir. Kalkışta oluşan akım darbesi grafikte açıkça gözükmektedir.

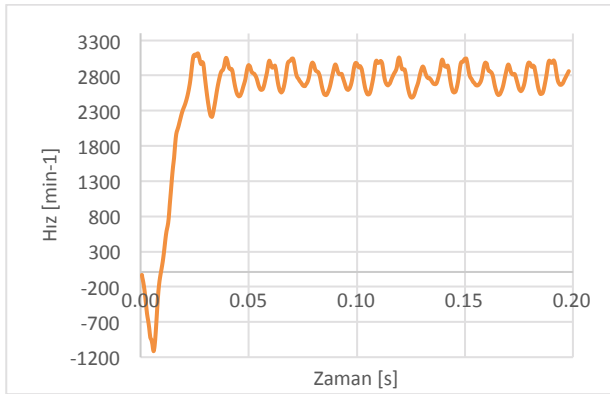


Şekil 8: Akım-zaman grafiği.

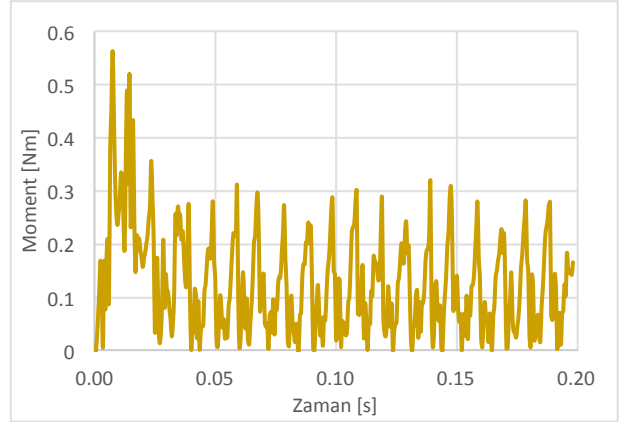
Giriş gerilimi ve akımı bilgilerine ek olarak giriş gücü, geçici hal hız – zaman ve moment – zaman özgeçirileri sırasıyla Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13 te verilmektedir. Motor girişte 160 W elektriksel güç çekmektedir. Bu yapılan analizlerle doğrulanmıştır. Şekil 13 te verilen zamana bağlı moment grafiğinde ortalama değer 0.3 Nm dir ve bu değer motorun yük momenti değerini karşılamaktadır.



Şekil 9: Giriş gücü – zaman grafiği.

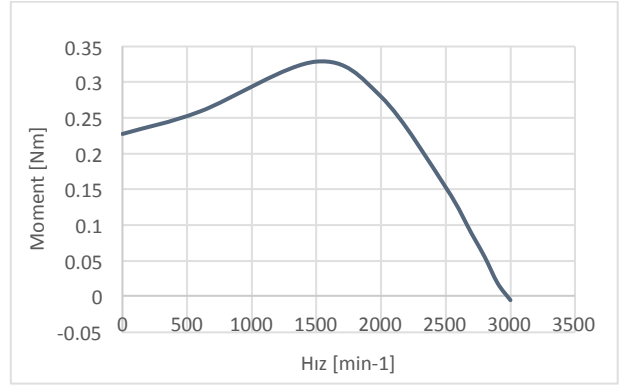


Şekil 10: Geçici hal hız – zaman grafiği.



Şekil 11: Moment – zaman grafiği.

Motorun farklı kayma değerlerinde yapılan sürekli hal analizleri sonucunda elde edilen moment hız karakteristiği Şekil 14 te verilmektedir.



Şekil 12: Moment – hız değişimi

5. Sonuç

Yapılan bu çalışmanın ilk aşamasında davlumbaz uygulamasında kullanılan tek fazlı daimi kondansatörlü asenkron motorun laboratuvar ortamında standartlara uygun testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise sonuçların doğruluğunu göstermek ve gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutması için davlumbaz fan motorunun sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yapılmıştır.

Performans testleri sonucunda motor mil momentinin 0,3 Nm olduğu ve motorun şebekeden 160 W güç çektiği tespit edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen analiz sonuçlarına göre motor mil momentinin 0,295 Nm ve motorun şebekeden çektiği gücün 166 W olduğu hesaplanmıştır. Performans test sonuçları referans noktası alındığında, sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan hesaplamalar, üretilen mil moment değeri için %1,6; şebekeden çekilen güç değeri için ise %3,75 bağıl hata değerine sahiptir. Sonuçların bağıl hata değerinin düşük olması, yapılan çalışmanın performans testleri ile uyumluluğunu göstermektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Lamme, B. G., “The story of the induction motor,” American Institute of Electrical Engineers, Vol. 40, Issue. 3, pp. 203-223, 1921.
- [2] Fitzgerald, A.E., Kingsley C., Umans S.D., “Electric machinery,” Indiana, ABD, Mc. Graw Hill Press, July 25, 2002.
- [3] Ergene, L.T., Dönmezer, Y., “ A study of end turn inductance calculation of BLDC motors,” International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2010.