

Kompresör Uygulaması İçin Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor Tasarımı, Üretimi ve Deneysel Doğrulanması

Permanent Magnet Synchronous Motor Design, Production and Experimental Verification For Compressor Application

Serhat GÜNERİ¹, Gamze TANÇ², Yasemin ERTUĞRUL², Güven KÖMÜRĞÖZ³

¹ASELSAN A.Ş., Yenimahalle, Ankara
sguneri@aselsan.com.tr

²ARCELİK A.Ş., Tuzla, İstanbul
gamze.tanc@arcelik.com, yasemin.ertugrul@arcelik.com

³Elektrik Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul
komurgoz@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışma kapsamında buzdolabı kompresör uygulaması için 3 faz Sürekli Mıknatıslı Senkron Motor (SMSM) tasarımı, prototip üretimi ve deneysel doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Tasarım kriterleri kompresörün mekanik kısıtları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Uygun oluk/kutup kombinasyonları belirlenmiş, daha önce bu uygulama için kullanılmayan oluk/kutup kombinasyonu hedef olarak ele alınmıştır. Motor ön tasarımı Speed[®] yazılımı kullanılarak yapılmış, Maxwell[®] 3D yazılımı ile optimizasyon çalışmaları ve detaylı sonlu eleman analizleri (SEA) gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tasarım kriterleri için motor prototip üretimi gerçekleştirilmiş, test sonuçları ve analiz sonuçlarının örtüştüğü çalışma sonunda ortaya konmuştur.

Abstract

In this study, 3 phase Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) for refrigerator application was designed and prototyped, experimental results carried out and validated. Design criteria was determined by taking into consideration constraints of the compressor. Proper slot/pole combination was identified and previously untested slot/pole combination was chosen as target. Speed[®] software was used for pre-design stage, optimization studies and detailed finite element analysis (FEA) was completed Maxwell[®] 3D software. The prototype of the motor was manufactured and motor performance was verified experimentally.

1. Giriş

Sürekli olarak çalışan ve günün her anı elektrik tüketen bir beyaz eşya olan buzdolabı için verimlilik son derece hassas bir konudur. Buzdolabı soğutma işlemini kompresör ile gerçekleştirir ve elektrik motorları kompresörler için güç kaynağı durumundadır. Bu açıdan bakıldığında buzdolabının enerji verimliliği direkt olarak kompresörde kullanılan elektrik motorunun verimi ile doğru orantılıdır.

Günümüzde buzdolabı kompresörlerinde bir faz asenkron motor yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu motorlar herhangi bir inverter olmadan direkt olarak şebekeden beslenmekte ve sabit bir hızda dönme hareketi sağlamaktadır. Kompresör bir

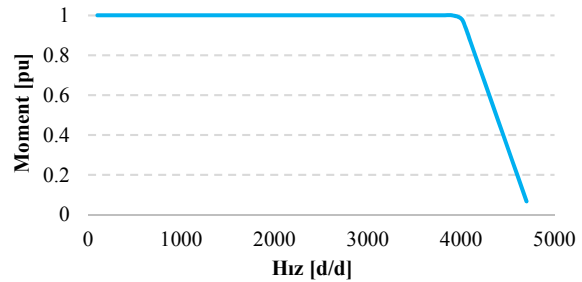
süre çalıştıktan sonra motor termostat üzerinden aldığı bilgi ile dönme hareketini kesmektedir. Buzdolabı belli bir soğutma kapasitesinin altına düştüğü anda ise motor tekrardan dönme hareketini gerçekleştirmektedir. Bir faz asenkron motorlar kalkış anında şebekeden yüksek akım çekerler ve bu tüketim açısından istenmeyen bir durumdur. Sürekli mıknatıslı motorlar bir güç elektroniği devresi üzerinden sürülerek farklı hızlarda kompresör içinde çalışabilmektedir. Değişken hızlarda sabit moment bölgesinde kesintisiz olarak çalışma yapılabilmesi bir faz asenkron motora göre en büyük avantajı olarak görülmektedir. Güç elektroniği elemanlarının teknolojik gelişimi ile ilişkili olarak sürücü devre tarafındaki verimlerin iyi bir hale gelmesi de sürekli mıknatıslı motorları kompresör uygulaması için daha ön plana çıkarmıştır.

2. Ön Tasarım Çalışmaları

Motor tasarım süreci buzdolabı kompresör uygulamasının ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda sabit moment bölgesinde çalışan bir motor tasarımı hedeflenmiştir. Tasarım kriterleri kompresörün mekanik kısıtları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

2.1. Tasarım Kriterleri

Tasarlanacak olan SMSM sabit moment bölgesinde çalışacaktır. Buna göre belirli bir hız aralığında ortalama aynı momenti sağlayacak bir tasarım çıktısı ortaya konmalıdır. Şekil 1'de tasarımı gerçekleştirilecek olan motora ilişkin moment-hız grafiği verilmiştir.



Şekil 1. SMSM Moment-Hız Karakteristiği.

SMSM kompresör içerisinde çalışacağından dolayı boyut açısından da kısıtlanmıştır. Mekanik kısıtlar belirlenerek stator dış çapının maksimum 120 mm ve paket yüksekliğinin maksimum 40 mm olacağı belirlenmiştir

Çizelge 1. Motor Tasarım Kriterleri.

Parametre	Değer
Zıt-EMK dalga şekli	Sinüzoidal
Motor kontrol tipi	Sinüzoidal
Hava aralığı momentli [pu]	1
Çalışma hızı aralığı [d/d]	1000-5000
Maksimum stator dış çapı [mm]	120
Maksimum paket boyu [mm]	40

2.2. Oluk/Kutup Konfigürasyonu Belirlenmesi

Çalışmanın bir sonraki aşamasında motora ait uygun oluk/kutup kombinasyonunun belirlenmiştir. Dünya genelindeki buzdolabı kompresör üreticilerinin ürettiği motorlara bakıldığında yalnızca 6/4 ve 9/6 oluk/kutup kombinasyonuna sahip motorların yer aldığı görülmektedir. Kutup sayısı arttıkça, motorun Nm/kg değerinin artacağı bilinmektedir. Ancak motor sürücü devresi açısından kutup sayısının artması kontrolü zorlaştırmaktadır. Bu yüzden motor sürücü devre açısından motorun sahip olacağı maksimum kutup sayısı 8 olarak sınırlandırılmıştır.

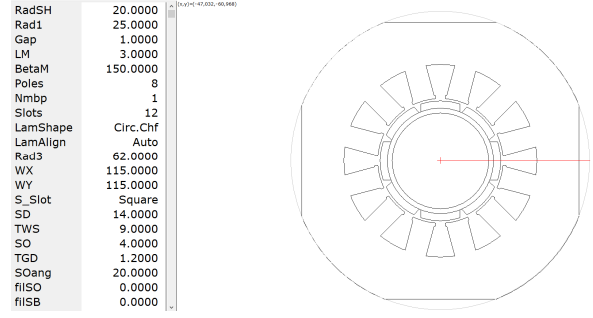
Oluk kutup kombinasyonuna karar verirken, sargı tipi de kısıt oluşturmaktadır. Konsantre sargının kullanılabilmesi bir oluk kutup kombinasyonu tercih edilmek istenmektedir. Dağıtılmış sargı yerine konsantre sargı kullanılmasının en temel sebepleri motor verimini arttırmak ve daha kolay bir üretim sağlamaktır. Konsantre sargıya sahip motor tasarımında birim hacimden alınan moment değeri yüksek ve çıkış momentinin dalgalılığı düşük olacaktır. Sargı başı uzunlukları dağıtılmış sargıya göre daha kısadır, bu sayede oluklara yerleştirilen sargı miktarı daha azdır. İletken boylarının kısalması ile direnç düşer, bakır kayıpları azalır ve motor verimini arttırmak mümkün hale gelir [1, 2, 3, 4, 5, 6].

6 oluk 4 kutup, 9 oluk 6 kutup seçenekleri mevcut kompresör motor uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki amaç daha önce bu uygulamaya yönelik denenmemiş özgün bir motor tasarımı olarak belirlenmiştir. Sargı faktörü bire yakın olmayan konfigürasyonlar dengesiz manyetik kuvvetlerin meydana geldiği oluk/kutup dizilimine sahiptir. Oluk ve kutup sayısı birbiri ile faz sayısının tam katı olmayan konfigürasyonlar ile iyi bir tasarım ortaya koymak mümkün değildir. Bu bilgiler ışığında motor tasarım kriterleri de dikkate alındığında 12 oluk ve 8 kutup sayısına sahip seçenek bu çalışma için ön plana çıkmıştır ve tasarım süreci bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir.

Oluk ve kutup sayısı seçiminden sonra Speed® yazılımında motor ön tasarımı tamamlanmıştır. Bu tasarım programı ile başlangıç tasarımı hızlı bir şekilde yapılmaktadır. Stator ve rotor geometrisine ilişkin büyüklükler paket programa girilerek tasarım çıktıları kısa süre içinde elde edilmiştir. Bu program sadece motor geometrisinin oluşturulması ve motorun çıkış parametreleri hakkında yorum yapılabilmesi için kullanılmıştır.

2.3. Malzeme Bilgisi

Stator ve rotorda kullanılan sacın kalitesi demir kayıplarına etki etmektedir. Sac laminasyonları 0.5 mm kalınlığa sahiptir ve düşük manyetik alan şiddetinde yüksek manyetik akı oluşturabilmektedir.



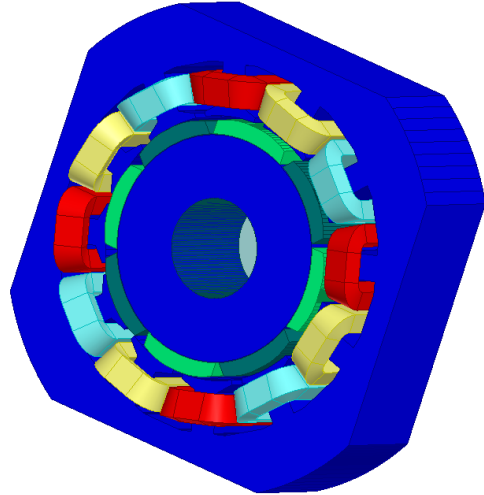
Şekil 2. 12/8 yüzey mıknatıslı motor kesiti ve temel büyüklükleri.

Rotorda yer alan mıknatıslar için de sert mıknatıs olan Ferrite tipi mıknatıs tercih edilmiştir. Tasarım gerçekleştirilirken çalışma ortamı sıcaklığı dikkate alınarak mıknatıs Br değeri belirlenmiştir.

Tasarıma oluklara yerleştirilecek olan sargı ve sargı çapının belirlenmesi ile devam edilmiştir. Bu tasarım için alüminyum tel kullanılmıştır ve doluluk oranı dikkate alınarak 150 sarım için uygun tel çapı seçilmiştir [5, 6].

3. Sonlu Eleman Analizleri

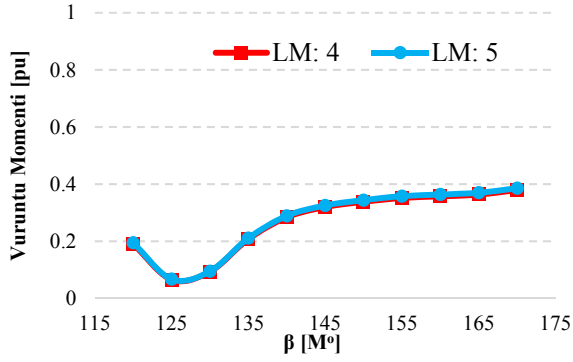
Ön tasarım çalışmasının tamamlanmasının ardından motor geometrisi Maxwell® yazılımına atılarak motor modeli oluşturulmuştur. Rotorda yer alan sürekli mıknatıslar doğrusal olarak mıknatıslanmıştır.



Şekil 3. 3D Motor Modeli.

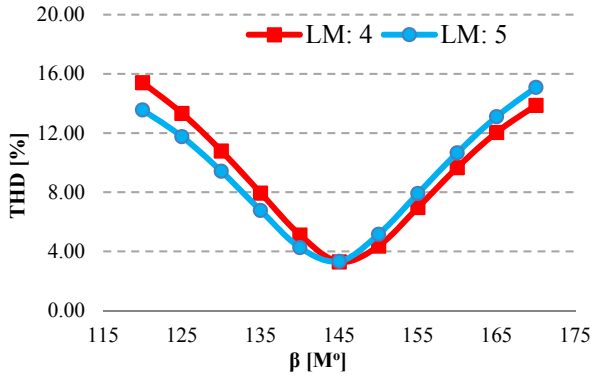
3.1. Optimizasyon Analizleri

Motor ön tasarımdan yola çıkılarak başlanan tasarım çalışmalarında iki önemli kriter parametrik olarak SEA ile detaylı bir biçimde incelenmiştir. Mıknatıs yay açısı (β) ve mıknatıs kalınlığındaki (LM) değişime göre motor karakteristiklerinde meydana gelen değişim ve etkiler incelenmiştir. Ön tasarım çalışması sonucu mıknatıs yay açısı 144° olarak belirlenmiştir. Yapılan parametrik çalışmalar ile bu değer 120° ile 170° arası için ele alınmıştır. Mıknatıs kalınlığı ise ön tasarımda 4 mm olarak belirlenmiş, parametrik çalışmalarda 4 mm ve 5 mm olarak incelenmiştir. Şekil 4'te mıknatıs kalınlığı ve mıknatıs yay açısına bağlı olarak motorun sahip olduğu vuru mu momenti seviyesinde meydana gelen değişimin grafiği yer almaktadır.



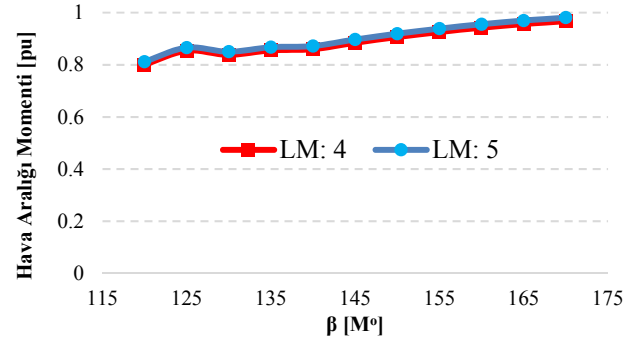
Şekil 4. Mıknatıs yay açısı ve kalınlığı için vuru mu momenti değişimi.

İncelenen mıknatıs kalınlıkları için vuru mu momenti seviyesi açısından bir fark meydana gelmediği görülmüştür. Motor maliyeti de göz önünde bulundurularak, mıknatıs kalınlığı 4 mm olması uygundur. Mıknatıs yay açısının vuru mu momenti üzerindeki etkisi incelendiğinde ise en iyi noktanın 125° olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 5. Mıknatıs yay açısı ve kalınlığı için THD değişimi.

Şekil 5'te mıknatıs yay açısı ve kalınlığına bağlı olarak toplam harmonik bozunum (THD) seviyesinin değişimine ait grafik yer almaktadır. Mıknatıs yay açısı değişimi boyunca harmonik bozunum seviyesi 5 mm kalınlığa sahip mıknatıslı motor için daha optimum bir çözüm olarak görülmüştür. Ancak mıknatıs yay açısının 145° olduğu durumda her iki kalınlıktaki mıknatıs için gerilim harmoniklerinin seviyesi en düşük ve en optimum durumdadır. Bu yüzden 4 mm mıknatıs kalınlığı ve 145°'lik yay açısı sistemin en optimum çözümü olarak görülmektedir. Son olarak, mıknatıs yay açısı ve kalınlık değişimi için hava aralığı momenti ortalamasının değişimi incelenmiş, sonuçlar Şekil 6'da yer alan grafik halinde paylaşılmıştır. Hava aralığı momenti mıknatıs açısına bağlı olarak lineer bir değişim göstermektedir. Optimum hava aralığı momenti en yüksek mıknatıs yay açısı durumu için elde edilmiştir. Ancak yüksek mıknatıs yay açısı durumu hem vuru mu momenti seviyesi hem de toplam harmonik bozunum seviyesi açısından en kötü senaryo durumundadır. Yüksek mıknatıs yay açısının seçilmesi, moment dalgalılığı yüksek bir motor tasarımına sebebiyet verecektir. Mıknatıs kalınlık değişiminin ise hava aralığı momentine etkisinin ihmal edilecek kadar düşük seviyede olduğu görülmüştür.



Şekil 6. Mıknatıs yay açısı ve kalınlığı için moment değişimi.

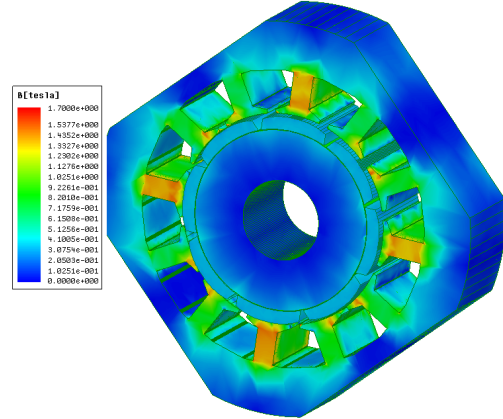
Yapılan parametrik çalışmaların ardından bütün kriterler göz önünde bulundurulduğunda sistemin en optimum durumu 4 mm mıknatıs kalınlığı ve 145° mıknatıs yay açısı içindir. Sonuç olarak paket boyu 35 mm, stator dış çapı 115 mm, mil çapı 32 mm ve rotorda bulunan mıknatıslarının boyutları parametrik çalışmalar sonucu elde edilerek motor boyutlandırma işlemi tamamlanmıştır.

3.2. Motor Performans Sonuçları

Optimizasyon çalışmasının ardından tasarımı tamamlanan motora ilişkin boşta ve yükte çalışma durumları için SEA gerçekteştirilmiştir.

3.2.1. Boşta Çalışma Analiz Sonuçları

Boşta çalışma durumu için motor manyetik akı yoğunluğunun dağılımı incelenmiştir. Manyetik akı yoğunluğunun, stator ve rotor laminasyonları üzerinde manyetik doymaya sebebiyet verecek seviyede olmadığı SEA sonucunda ortaya konmuştur.

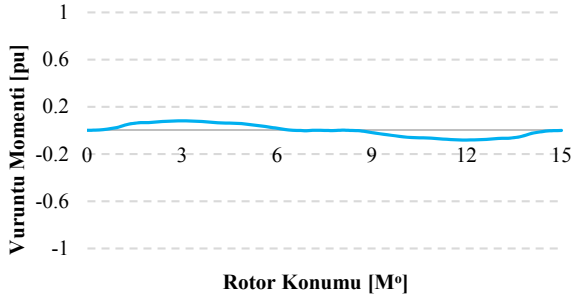


Şekil 7. Boşta çalışma durumu için manyetik akı yoğunluğu değişimi.

Vuru mu momenti, stator sargılarına herhangi bir akım uygulanmadan stator dişleri ile rotorda yer alan mıknatısların etkileşimi sonucu ortaya çıkan, istenmeyen bir durumdur. Aşağıdaki formül ile analitik olarak hesaplanmaktadır.

$$T_{vuru mu} = \frac{1}{2} B_r \frac{l_m}{\mu_0 \mu_r} \frac{d\phi_r}{d\theta} \quad (1)$$

Denklem 1'de yer alan B_r mıknatıs remanans değeri, l_m mıknatıs kalınlığı, ϕ_r mıknatıs akısı, μ_0 havanın manyetik geçirgenlik değeri ve μ_r ise mıknatısın bağlı manyetik geçirgenlik değeridir.



Şekil 8. Vuruntu Momenti Grafiği.

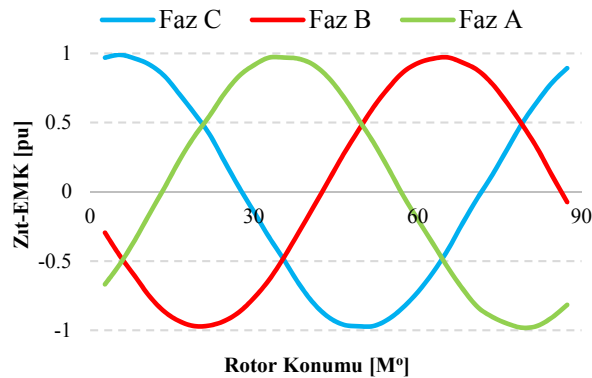
Analiz sonucunda bir periyot boyunca vuruntu momentinin maksimum değerinin 0.0748 pu olduğu görülmüştür ve çıkış momentine oranı 1000 d/d hız için %7.48 olarak elde edilmiştir.

Rotor üzerinde yer alan mıknatıslar manyetik akı kaynağı durumundadır. Rotor hareket ettirildiğinde stator sargılarında akıdaki değişime göre bir gerilim endüklenir. Bu gerilim zıt-EMK olarak ifade edilmektedir. Bu gerilimin değeri, stator sargılarına akım verilmeden, yani sargı iletkenliklerinin sıfır olduğu durumda sürekli mıknatısların kalıcı mıknatısiyetleri için hesaplanır.

$$E = 2NB_g L_{stk} R_0 w_m \quad (2)$$

$$E = K_e w_m \quad (3)$$

Denklem 2'de yer alan B_g değeri hava aralığı manyetik akı yoğunluğu, N sarım sayısı, L_{stk} paket yüksekliği ve R_0 ise mıknatıs yüzeyindeki hava aralığının yarıçap uzunluğudur. Denklem 3'te yer alan K_e ifadesi zıt-EMK sabitidir ve birimi [V.s/rad]'dır. Bir motorun zıt-EMK sabiti biliniyor ise farklı hızlarda stator sargılarında endüklenen gerilim değeri kolay bir şekilde hesaplanır.



Şekil 9. 1000 d/d için zıt-EMK grafiği.

Zıt-EMK analizi tamamlandığında tepeden tepeye değerinin 1 pu olduğu görülmüştür. 3D analiz sonucu için K_e sabiti 0.008 pu.s/rad olarak bulunmuştur. Motorun THD seviyesi analizler sonunda %0.75 olarak elde edilmiştir.

3.2.2. Yükte Çalışma Analiz Sonuçları

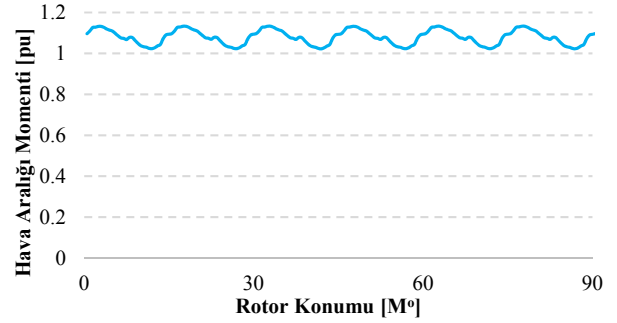
Moment üretimi stator sargılarından akım geçmesiyle gerçekleşir. Denklem 4'te hava aralığı moment değerine ilişkin analitik denklem verilmiştir.

$$T = \frac{Ei}{w_m} \quad (4)$$

Formülden anlaşılacağı gibi momenti meydana getiren aktif güçtür. Gücün açılma hız ile değişmesi sonucunda moment üretilmiş olur. Denklem 6'da moment sabiti denkliği verilmiştir ve birimi [Nm/A_{rms}]'dır.

$$T = \frac{Ei}{w_m} = (2NB_g L_{stk} R_0) i \quad (5)$$

$$T = k_t i \quad (6)$$



Şekil 30. 1000 d/d hız için hava aralığı moment grafiği.

Analizde motor 0.53 A_{rms} olan sinüs akım ile sürülmüştür. 0.53 A ile 1.07 pu çıkış momentini elde edilmiştir. 1 pu moment çıkışı elde etmek için motoru 0.5 A_{rms} ile sürmek yeterlidir. Buradan motorun moment sabitini hesaplamak mümkündür. K_t moment sabiti 2.14 pu/A_{rms} olarak hesaplanmıştır. Farklı hızlar için elde edilen moment değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Analiz Sonuçlarına Göre Hava Aralığı Moment Değerleri.

Hız [d/d]	T _{ort} [pu]	T _{maks} [pu]	T _{min} [pu]	T _{rip} [%]
1000	1.07	1.13	1.02	10.23
2000	1.07	1.13	1.02	10.24
3000	1.07	1.13	1.02	10.32
4000	1.07	1.13	1.02	10.28

Moment analizinin ardından kayıplar incelenmiştir. Motorun bakır kaybı (P_{cu}) ve demir kaybı (P_{fe}) hesaplanarak hız ve moment denklemlerinden verim değeri elde edilmiştir.

Çizelge 3. Analiz Sonuçları Kayıp ve Verim Değerleri.

Hız[d/d]	P _b [W]	P _d [W]	T _{ort} [pu]	P1 [W]	P2 [W]	Verim [%]
1000	4.92	1.42	1.07	47.06	40.72	86.53
2000	4.92	2.62	1.07	61.83	54.29	87.80
3000	4.92	6.71	1.07	113.42	101.79	89.75
4000	4.92	12.58	1.07	170.18	152.68	89.72

Maxwell® yazılımı rotorda meydana gelen demir kayıplarını moment analizi yaparken hesaba katmamaktadır. Elde edilen hava aralığı gücünden rotor kayıpları çıkartılırsa motorun mil gücü elde edilir. Sabit akım uygulanarak yüksek hızlara çıkıldığında mil moment (T_{mil}) değerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

Çizelge 4. Analiz Sonuçlarına Göre Hava Aralığı Momenti ve Mil Momenti Değerleri.

Hız[d/d]	T _{mil} [pu]	T _{ort} [pu]
1000	1.04	1.07
2000	1.03	1.07
3000	1.01	1.07
4000	0.99	1.07

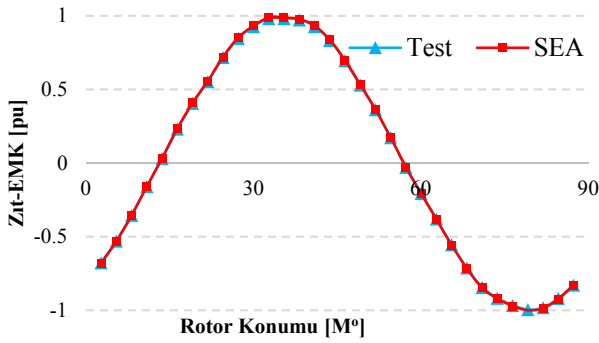
4. Prototip Üretim ve Deneysel Sonuçlar

Prototip üretimi gerçekleştirilen motorun laboratuvar ortamında test çalışmaları tamamlanmıştır. Motora ilişkin zıt-EMK ölçümleri ve 1 pu yük altında moment sonuçları elde edilmiştir. Şekil 11'de prototip üretim motor görülmektedir.



Şekil 11. Prototip Motor.

İlk olarak zıt-EMK ölçümü yapılmıştır. Stator sargılarından çıkarılan ortak uçtan osiloskop bağlantısı gerçekleştirilerek 1000 d/d hız değeri için gerilim ölçülmüştür.



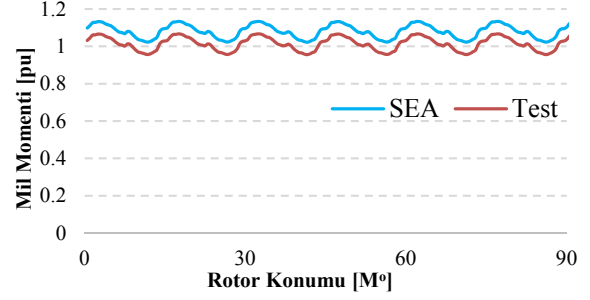
Şekil 42. 1000 d/d hızı için Zıt-EMK Ölçümü.

Ölçüm sonucundan motorun 1000 d/d hızında sargılarından endüklenen gerilimin tepeden tepeye değeri 0.995 pu olduğu görülmüştür. Çizelge 5'te zıt-EMK tepeden tepeye değerinin analiz ve ölçüm sonuçlarına ilişkin değerleri verilmiştir.

Çizelge 5. Zıt-EMK Analiz ve Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması.

Yöntem	Zıt-EMK [pu]	Bağlı Fark [%]
SEA	1	0
Test	0.995	0.05

Motor dinamo fren test sisteminde yaklaşık olarak sabit 1 pu moment verecek şekilde yüklenmiştir. Sekiz kutup sayısına sahip olan motor için ayrıca bir motor kontrol sürücü kartı tasarlanmadığından dolayı elde var olan hazır bir motor sürücü kartı ile bu motor sürülmüştür. Sürücü yazılımı SMSM için tam performanslı olarak uyumlaştırılmadığından dolayı ölçümler sırasında yüksek hızlara çıkıldığında yüksek gürültü sorunu meydana gelmiştir. Şekil 13'te yer alan grafikte 3000 d/d hızı için milinden alınan moment test sonucu ve analize ilişkin grafik çizdirilmiştir. Grafik incelendiğinde analiz ve test sonucu arasında ortalama mil momenti değerleri arasında %5.6'lık bir fark görülmüştür. Moment dalgalılığı arasındaki fark ise %6.1 olarak elde edilmiştir.



Şekil 13. 3000 d/d hızı için yükte çalışma SEA ve test sonuçları.

Aşağıda yer alan çizelgede farklı hız değerleri için alınmış moment ve akım ölçüm değerleri verilmiştir.

Çizelge 6. Farklı Hızlar için Moment-Akım Test Ölçüm Sonuçları.

Hız[d/d]	Moment [pu]	Akım [A_{rms}]	Verim [%]
1157	0.976	0.499	84.98
1632	1	0.511	86.23
2657	0.983	0.508	88.63
3513	0.986	0.517	88.62

5. Sonuç

Bu çalışmada buzdolabı kompresör uygulaması için 3 fazlı SMSM tasarımı gerçekleştirilmiş, prototip motor üretimi yapılmış, deneysel çalışmalar ile analiz ve ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Motor ön tasarımı Speed® yazılımı ile gerçekleştirilmiş, optimizasyon çalışmaları ve detaylı sonlu eleman analizleri Maxwell® 3D'de yürütülmüştür. Tasarım hedefi olarak belirlenen sinüzoidal zıt-EMK elde edilmiş, 0-5000 d/d hız aralığında moment dalgalılığı düşük 1 pu moment çıkışına sahip motor tasarımı ortaya konmuştur.

6. Kaynaklar

- [1] Hendershot J. R., ve Miller, T. J. E. 1994. Design of Brushless Permanent Magnet Motors, Magna Physics Publishing and Oxford University Press, USA.
- [2] EL-Refaie, A. M., 2010. Fractional-Slot Concentrated-Windings Synchronous Permanent Magnet Machines: Opportunities and Challenges, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 1, January 2010.
- [3] EL-Refaie, A. M., Zhu, Z. Q., Jahns, T. M., Howe, D., 2008. Winding Inductances of Fractional Slot-Surface-Mounted Permanent Magnet Brushless Machines, IEEE Industry Applications Society Annual Meeting IAS'08, pp: 1-8, 5-9 October 2008.
- [4] Wang, J., Atallah, K., Zhu, Z. Q., Howe, D., 2008. Modular Three-Phase Permanent Magnet Brushless Machines for in Wheel Applications, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 57, 5 September 2008.
- [5] Tañç, G., 2014. Elektrikli Bisikletler için Fırçasız Doğru Akım Motoru Tasarımı ve Üretimi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mayıs 2014.
- [6] Güneri, S., 2015. Kompresör Uygulaması için Sürekli Miknatıslı Senkron Motor Tasarımı, Ağustos 2015.

7. Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde her türlü imkanı sağlayan Arçelik A.Ş. Merkez Arge Direktörlüğü ve Eskişehir Kompresör İşletmesi'ne teşekkürlerini sunar.