SETSCI Conference Indexing System,
Volume 3 (2018), 482-486

ISAS 2018-Winter
2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies
November 30 – December 2, 2018, Samsun, Turkey

Tek Fazlı Şebeke Kalkışlı Sabit Mıknatıslı Senkron Motor Tasarımı

Enver Anıl GÜLÇİN[1*+], Mehmet AKAR[1]

[1]Department of Mechatronics Engineering, Gaziosmanpaşa University, Tokat, Turkey
[*]Corresponding author: enveranilgulcin@hotmail.com
[+]Speaker: enveranilgulcin@hotmail.com
Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Özet **–** Tek Fazlı Şebeke Kalkışlı Sabit Mıknatıslı Senkron motorlar (TF-ŞKSM) günümüz endüstrisinde kullanılan standart indüksiyon motorlarına göre özellikle küçük boyutlarda daha yüksek verimlilik sunabilmektedirler. Verimliliğin artması çevre üzerindeki olumsuz etkilerin azalmasına ve elektrik maliyetlerinin düşmesine neden olur. Bu çalışmada, TF-ŞKSM'ler için yapılan yeni bir tasarımın geliştirilebilmesi amacıyla gerçekleştirilen modelleme ve Ansoft Maxwell programı yardımıyla yapılan çalışmanın aşamaları açıklanmıştır. Motor kalkışını bir indüksiyon motor gibi yaptıktan sonra sürekli hal çalışmasında senkron hızda senkron motor olarak çalışır. Tasarlanan motorun statoru ve sargıları tek fazlı standart indüksiyon motor değerlerine sahiptir. Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) analizi sonucunda elde edilen verim değeri aynı güçteki indüksiyon motora göre yaklaşık %8 daha iyi çıkmıştır. Pompa, fan ve kompresörlerde kullanılan indüksiyon motorları bu gibi uygulamalarda önemli bir yer tutmaktadırlar. Fakat bilinmelidir ki bu alanlarda göstermiş oldukları verimlilik değerleri düşüktür. Bunları TF-ŞKSM ile değiştirmek rekabeti arttıracak ayrıca işletme maliyetinde de önemli bir kazanç sunacaktır. Bu çalışma, elektrik makinelerinin tasarımındaki yenilikleri sunmakta ve motor verimliliğini artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler– *Elektrik motorları, Sabit mıknatıslı senkron motor, Sonlu Elemanlar Analizi, Tek fazlı motor, Motor tasarımı.*

Single Phase Line Start Permanent Magnet Synchronous Motor Design

Abstract **–** Single Phase Line Start Permanent Magnet Synchronous motors (SP-LSSM) can offer higher efficiency especially in small dimensions compared to standard induction motors used in today's industry. Increasing productivity leads negative impacts over environment to go down and reduce electricity costs. In this study, the stages of the modeling carried out to develop a new design SP-LSSM and the study with the help of Ansoft Maxwell program have been explained. Motor operates as a synchronous motor at synchronous speed in steady state operation after making the motor start as induction motors. The stator and windings of the designed motor have single-phase standard induction motor values. The yield value obtained as a result of Finite Element Method (FEM) analysis is about 8% better than the same power induction motor. Induction motors used in pumps, fans and compressors have an important place in such applications. But it should be recognized that the productivity values they show in these areas are low. Replacing these with SP-LSSM will increase competition and provide a significant gain in operating cost. This study presents innovations in the design of electrical machines and provides an enhancing effect on motor efficiency.

Keywords – Electric motors, Permanent magnet synchronous motors, Finite Element Method, Single phase motor, Motor design.

I. GİRİŞ

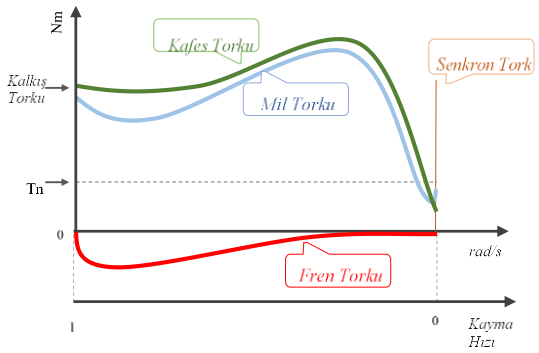
Tek fazlı indüksiyon motorlar, sunmuş oldukları birçok avantajdan dolayı uygulama alanlarında çok sık tercih edilirler. Sağlam ve ucuz olmaları bu motorların sık kullanılmasının en temel nedenlerindendir. Ayrıca üç fazlı motorlardan daha düşük gerilim değerlerinde kullanılıyor olması da bu motorları avantajlı duruma getirmektedir. Bu özelliklerine rağmen tek fazlı motorlarda oluşturulan manyetik alanın üç fazlı sistemlere oranla daha zor meydana getirilmesi dezavantaj olarak görülmektedir [1]. Bu motorlar üç fazlı güç kaynaklarının mevcut olmadığı alanlarda 50 Hz – 60 Hz frekans değerlerinde, 110 V ~ 220 V kullanılabilen konut ve ticari yerlerde, özellikle de buzdolabı, kompresör ve klima cihazlarında yaygın olarak kullanılırlar. Bu motorların verimlilikleri motor türüne, gücüne ve tasarımına bağlı olarak %40-65'lik verimlilik oranına kadar değişiklik göstermektedirler [2].

Yapı olarak tek fazlı indüksiyon motorlara benzeyen TF-ŞKSM'lerin rotorlarına eklenen sabit mıknatıs, bu motorları tek fazlı indüksiyon motorlardan ayırmaktadır. Tek fazdan beslenen ve sabit frekansta çalışan TF-ŞKSM'ler, yapı olarak benzedikleri tek fazlı indüksiyon motorlara oranla daha iyi performans sunmaktadırlar [3]. Motorun stator yapısı standart tek fazlı indüksiyon motorun stator yapısıyla aynıdır. Stator yapısı içerisinde bulunan bir fazlı sargı, ana ve yardımcı sargıdan oluşmaktadır [4]. Bu motorlarda ayrıca yardımcı sargıya seri bağlanan kondansatör devre elemanı bulunur. Kondansatör ve yardımcı sargının yer aldığı devrenin empedans değeri azalırken, akım değeri ise büyümektedir. Böylelikle de moment değerinde artış olmaktadır. Moment değerinin artışı ile birlikte motorun yol alabilmesi sağlanmaktadır [5]. Motor kalkışını tamamlarken devreye seri bağlı merkez kaç anahtarı açılarak kondansatör ve yardımcı sargıyı devre dışı bırakır. Böylelikle motor ana sargı üzerinden senkron hızla maksimum verimle çalışması sağlanır [6].

II. METERYAL VE METOT

Motorun tasarımı yapılırken bütün parametreler dikkate alınmalı ve motor bir bütün olarak adım adım ilerlenmelidir. TF-ŞKSM'nin tasarımı ANSYS Elektromagnetics Suite 17.2 programı yardımıyla gerçekleşmiştir [7]. Tasarlanan motorun çözümlenmesinin oldukça güç olduğu bilindiği için SEY kullanılarak bilgisayar ortamında analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sürelerinin uzaması nedeniyle motorun yarım modeli oluşturulmuştur. Motora ait faz gerilimleri, tork, hız ve akım gibi parametreler incelenmiş ve bu parametreleri etkileyen geometri değişkenleri de değiştirilerek optimum modeli oluşturmak hedeflenmiştir.

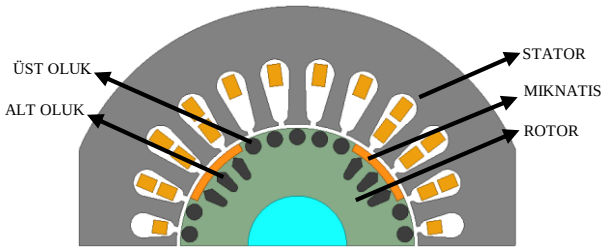
Tasarımı yapılan motorun rotor yapısında bulunan mıknatıs ile motor verimini artırmak amaçlanırken, senkron hızda gerekli torku sağlamak ve motorun kalkış esnasında mıknatıslar tarafından üretilen frenleme torkunu da azaltmak hedeflenmektedir. Bu doğrultuda kafes momenti ve frenleme momentleri ile birlikte motorun mil momenti Şekil 1'de gösterilmiştir. Frenleme momenti negatif yönlüdür ve motora frenleme etkisi yaparak moment değerini azaltıcı etkide bulunur. Ayrıca frenleme momenti kafes momentini azaltıcı etki yaparak motor mil momentini oluşturmaktadır. Motorun kalkış süresinde frenleme momenti fazladır ve motor senkron hıza yaklaştıkça frenleme momenti azalmaktadır. Motor kalkış ananında ihtiyaç duyduğu moment frenleme momentinin negatif yönlü etkisinden dolayı fazladır. Motor sürekli hal çalışmasında frenleme momentinin etkisi çok azdır. Tasarım yapılırken mıknatıs tarafından üretilen manyetik akı, motora iyi kalkış sağlamak için düşük, senkron hızda gerekli momenti sağlamak için yüksek olabilecek şekilde tasarlamak gerekmektedir [8].



Şekil. 1 TF-ŞKSM tork-hız grafiği

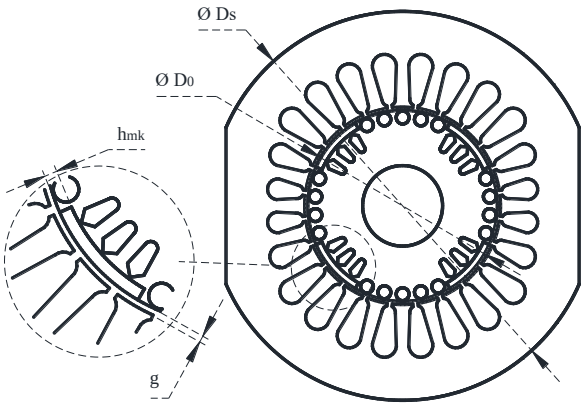
A. TF-ŞKSM Tasarımının Geliştirilmesi

Tasarımı gerçekleştirilen 97 W güç değerine sahip, iki kutuplu TF-ŞKSM'nin geometri yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir. Motorun stator yapısı tek fazlı standart indüksiyon motorlar ile aynıdır. Motor sargıları ana sargı ve yardımcı sargıdan oluşmaktadır. Motorda ayrıca yer alan kalkış kondansatörü yardımcı sargıyı devre dışı bırakırken motorun kalkış yapmasını da sağlamaktadır. Rotor yapısında ise mıknatıslar ve tasarlanan iki farklı rotor oluk tipi yer almaktadır. Tasarlanan rotor olukları motorun daha iyi kalkış yapmasını ve senkron hızda daha verimli çalışmasının sağlamaktadır. Motor 30 rotor oluğu ve 24 stator oluğuna sahiptir [7].



Şekil. 2 TF-ŞKSM geometrisi

Tasarımı yapılan motorun ana boyutlarının oluşturulmasın da öncelikle tek fazlı standart indüksiyon motorlar referans alınmıştır. Motorun stator yapısı boyutları tek fazlı standart indüksiyon motorların yapısı ile aynıdır. Stator, paketlenmiş sac laminasyonlardan, stator oluklarından ve bu oluklara sarılmış sargı bobinlerinden oluşmaktadır. Stator sac paketleri, fiziksel olarak stator sargılarını korurlar ve sac paketleri uygun bir şekilde kesilmesiyle stator oluklarını meydana getirirler [9]. Şekil 3'de TF-ŞKSM'ye ait geometri değişkenleri ve Tablo 1'de değişken değerleri yer almaktadır [7].

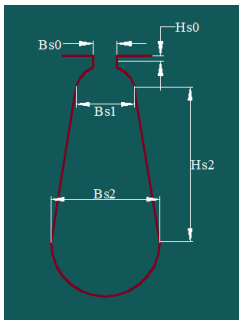


Şekil. 3 TF-ŞKSM geometri değişkenleri

Tablo 1. TF-ŞKSM geometri değerleri

Ad	Sembol	Değer	Birim
Stator dış çapı	D_s	120.193	mm
Stator iç çapı	D_i	61.011	mm
Rotor dış çapı	D_0	59	mm
Rotor iç çapı	D_r	24.9	mm
Sac paket uzunluğu	L_s	46	mm
Mıknatıs kalınlığı	h_{km}	2	mm
Hava aralığı	g	1	mm

Stator oluk tasarımı sırasında öncelikle stator çapı ve stator iç çapı değerlerine uygun oluk tasarımı geçekleştirmek gerekir. Statorda oluşan akı oluklardan geçerek manyetik devresini tamamlar. Stator oluk tasarımı yapılırken oluk sayısının bir tam sayı ve dengeli bir sarımın yerleştirilebileceği bir sayıda olmalıdır. Uygun bir rotor-stator oluk seçimi makinanın performansında en ciddi harmoniklerin etkisinin azaltılmasına ve hafifletilmesine yardım eder [9]. Motorun stator oluk geometri değişkenleri Şekil 4'de ve stator oluğu geometri değerleri Tablo 2'de verilmiştir [7].

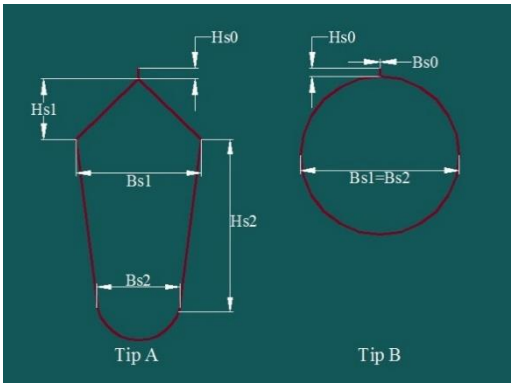


Şekil. 4 Stator oluğu geometri değişkenleri

Tablo 2. Stator oluğu geometri değerleri

Sembol	Değer	Birim
H_{s0}	0.79	mm
H_{s2}	10.2	mm
B_{s0}	1.62	mm
B_{s1}	4.2	mm
B_{s2}	7.52	mm

Motor da rotor tasarımı yapılırken öncelikle rotor oluk tipleri belirlenmiş ve gövdeye mıknatıslar yerleştirilmiştir. Rotor gövdesine yerleştirilen sabit mıknatıslar motorun analizi, performansı ve tasarımı açısından önem taşımaktadırlar. Mıknatısın üretmiş olduğu akının hava aralığına geçişi motorun verimine etki etmektedir. Rotor oluklarının en önemli görevi ise motorun dinamik çalışma sırasında akım taşıyarak motorun dönmesini sağlamaktır. Tasarımı yapılan motorda iki farklı rotor oluğu kullanılmıştır [7]. Tasarımda alt ve üst oluk olarak adlandırılan rotor olukları Şekil 5'de geometri değişkenleri ve Tablo 3'de geometri değerleri ile tanıtılmıştır.



Şekil. 5 Rotor oluğu geometri değişkenleri

Tablo 3. Rotor oluğu geometri değerleri

Sembol	Değer		Birim
	Tip A	Tip B	
H_{s0}	0.2675	0.2	mm
H_{s1}	1.525	10.2	mm
H_{s2}	4	-	mm
B_{s0}	-	0.0001	mm
B_{s1}	3.15	4	mm
B_{s2}	2.14	4	mm

Tasarımı yapılan motorda NdFeB olarak bilinen yüksek enerjili mıknatıs kullanımı tercih edilmiştir. NdFeB sınıfının bir cinsi olan N40SH mıknatıs motora uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. Stator sargılarında ise kullanılan malzeme bakırdır. Özellikle stator sargılarında tercih edilen bakır malzemesi kolay işlenebilir olması, haddelenebilir özelliği ve yumuşak metal olması kullanılabilirliğini arttırmıştır. Ayrıca elektriksel iletkenliğinin yüksek olması ve mekanik özelliklerinin verimli olması da yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur. Rotorun kısa devre kafesinde ise alüminyum malzemesi kullanılmıştır. Bakır'a oranla daha ucuz olan alüminyumun erime sıcaklığı da bakıra oranla daha düşüktür. Özellikle elektrik makinalarında kafes sargılarının üretiminde sık sık tercih edilmektedirler [9]. Motorun stator ve rotor yapılarında kullanılan malzeme M19G24 olarak bilinen AISI Amerikan standartlarına göre isimlendirilmiş çelik malzemesidir. Çeliğin, silikon ve alüminyum malzemeleriyle alaşımı sonucunda elde edilerek elektrik direnci arttırılır, malzemede oluşan kayıplar azaltılırken malzemenin iletkenliği de arttırılmış olunur. M19G24 çeliği % 0.5-3.25 oranında silikon, % 5 oranına kadar alüminyum ve % 0.005 oranında karbon içermektedir. Elektrik motorlarının laminasyon yapılarında sıklıkla tercih edilirler [10]. Tasarımında kullanılan malzemelerin isimleri ve kütle iletkenliği özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Motor parçalarına ait malzeme özellikleri

Motor parçası	Malzeme özelliği	Kütle iletkenliği (Siemens/M)
Stator sargısı	Bakır	58 000 000
Stator	M19G24	1 960 000
Kısa devre kafesi	Alüminyum	36 000 000
Rotor	M19G24	1 960 000

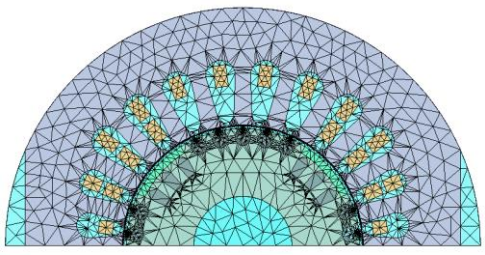
B. TF-ŞKSM Analiz ve Sonuçlar

Modelin stator, rotor, mıknatıs gibi parçaların nihai geometri değerleri ve malzeme özellikleri programa tanıtılarak tasarım oluşturulmuştur [7]. Tasarımı yapılan motorun analiz çalışmasına geçilmeden önce bilinmesi gereken etiket değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Motor etiket değerleri

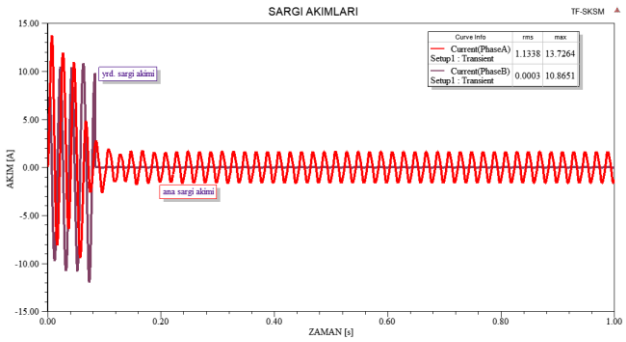
Motor parametresi	Değeri	Birim
Motor çıkış gücü	97	W
Giriş gerilimi	220	V
Anma hızı	3000	rpm
Frekans	50	Hz
Kutup sayısı	2	

Motorun analiz çalışması yapılmadan önce model küçük ağ elemanlarına bölünür. Yani modele mesh uygulanır. Burada önemli olan modelin daha iyi parçalara bölünerek analiz sonuçlarının doğruluğunu arttırmaktır. Şekil 6'da tasarımı yapılan modelin üçgen ağlara bölünmüş şekli görülmektedir.



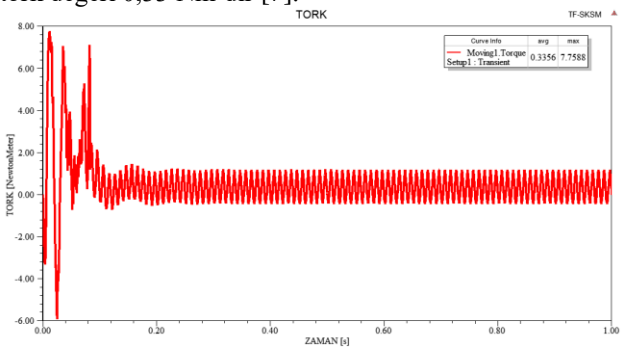
Şekil. 6 Modelin mesh görünümü

TF-ŞKSM'nin ana ve yardımcı sargı üzerindeki akım grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir. Motor kalkışta yüksek akım çekmekte, senkron hıza yaklaştıkça akım değeri düşmektedir. Bu durumun sebebi motorun kalkış anında ihtiyaç duyduğu tork değerinin maksimum olmasıdır. Merkez kaç anahtarı yaklaşık 83 ms sonra yardımcı sargıyı devre dışı bırakır ve motor ana sargı üzerinden çalışmasına devam etmektedir[7].



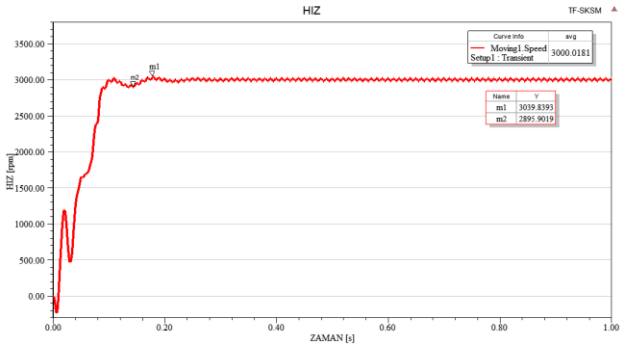
Şekil. 7 Ana ve yardımcı sargı akım grafiği

Şekil 8'de TF-ŞKSM'nin tork grafiği gösterilmiştir. Motorun kalkış anında ihtiyaç duyduğu tork değeri yüksektir ve bu değer 7.75 Nm, motor senkron hızda çalışırken ortalama tork değeri 0,33 Nm'dir [7].



Şekil. 8 TF-ŞKSM tork grafiği

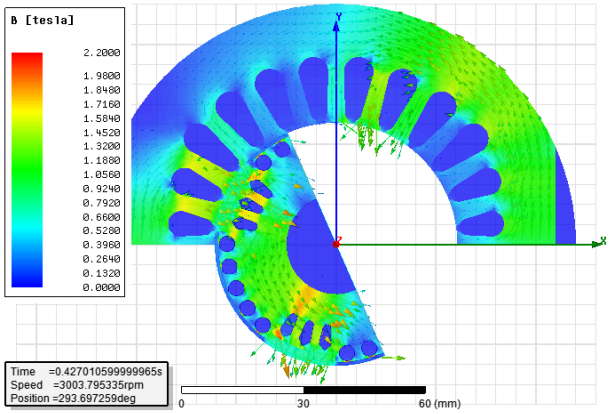
Motorun hız grafiği Şekil 9'da gösterilmiştir. Motor kalkış yaparken asenkron motor gibi, kalkışını tamamladıktan sonra senkron motor olarak çalışmaktadır. Motor yaklaşık 300 ms gibi sürede nominal hızı olan 3000 rpm'e ulaşmıştır [7].



Şekil. 9 TF-ŞKSM hız grafiği

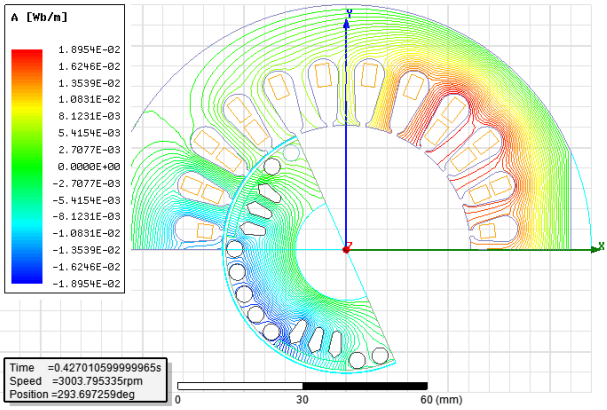
Tasarımı gerçekleştirilen motorun, kutup sayısına bağlı güç değerlerinde değişiklik gösterebilmektirler. Motorun çalışma hızı yine kutup sayısına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Tek fazlı indüksiyon motorların verim tablolarına baktığımızda küçük güçlerdeki motorların verimleri %50-65 aralığında değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Motor ebatlarına bakıldığında ise küçük güçteki motorlar için uzunluk olarak yaklaşık 20-30 cm aralığında, genişlik 11-16 cm aralığında ve yükseklik 18-21 cm aralığında motorun bağlantı şekillerine göre ana boyutları değişmektedir [7].

Motorun manyetik analizi için Ansoft Maxwell programı kullanılarak oluşturulan ½ kesitli modelin manyetik akı yoğunluğu dağılımı Şekil 10'da gösterilmiştir.



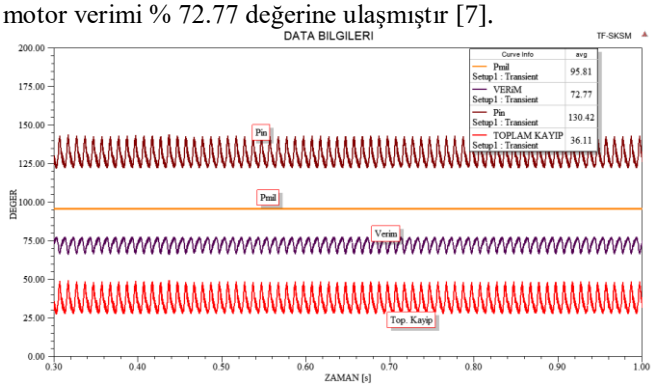
Şekil. 10 Manyetik akı yoğunluğu değişimi

Şekil 11'de manyetik analizi yapılan motorun manyetik vektörel potansiyeline ilişkin akı çizgileri gösterilmektedir.



Şekil. 11 Manyetik vektörel potansiyel değişimi

Şekil 12'de Motorun giriş gücü (Pin), çıkış gücü (Pmil), meydana gelen toplam kayıplar ve elde edilen verim grafiği gösterilmiştir. Motorun giriş gücü 130.42 W, motorda meydana gelen toplam kayıplar 36.11 W, motorun çıkış gücü 95.81 W olarak elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda motor verimi % 72.77 değerine ulaşmıştır [7].



Şekil. 12 TF-ŞKSM data bilgileri grafiği

III. SONUÇ

Pompa, fan, buzdolabı ve kompresörler gibi uygulamalarda indüksiyon motorların yerine kullanılabilecek olan TF-ŞKSM'ler verim ve enerji maliyetinde önemli bir kazanç sunacaktır. Tasarımı ve analizi gerçekleştirilen motorun verim değeri aynı güçteki standart tek fazlı indüksiyon motorlara göre yaklaşık %8 daha iyi sonuç elde edilmiştir.

REFERENCES

[1] T. Fırdolaş, "Çift kondansatörlü tek fazlı asenkron motorun anahtarlanma kapasite kontrolü," Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Elektrik Elektronik Ana Bilim Dalı, Elazığ, 2007.

[2] M. Jannati, "A review on variable speed control techniques for efficient control of single-phase induction motors: evolution, classification, comparison," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1306-1319, 2017.

[3] H. M. Zubayer, "Design analysis of line-start interior permanent magnet synchronous motor," Master thesis, Faculty of Engineering and Applied Science Memorial University of Newfoundland, Canada, 2011.

[4] A. Fırat, "Tek fazlı şebeke kalkışlı sürekli mıknatıslı senkron motor," Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2006.

[5] S. Tuncer, "Tek fazlı asenkron Motorların vektör denetimi," Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2015.

[6] T. Ding, "Study and optimization of line-start permanent magnet motors," Ph. D. thesis, Faculte Des Sciences Et Technologies, Nancy University, 2011.

[7] E. A. Gülçin, "Tek fazlı şebeke kalkışlı sabit mıknatıslı senkron motor tasarımı," Yüksek lisans tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, 2018.

[8] A. Chama, A. J. Sorgdrager, and R. Wang, "Analytical synchronization analysis of line-start permanent magnet synchronous motors," *Progress In Electromagnetics Research M*, Vol. 48, 183-192, 2016.

[9] O. Gürdal, "Elektrik Makinalarının Tasarımı," Nobel akademik yayıncılık, 518s, Bursa, 2015.

[10] J. C. Akiror, "Model for core loss prediction at high frequency and high flux density," Master thesis, The Department of Electrical and Computer Engineering, Concordia University, Canada, 2012.