



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Asenkron motorlarda rotor oluğunun farklı optimizasyon yöntemleri ile optimizasyonunun gerçekleştirilmesi ve performansa etkilerinin incelenmesi

Optimizing the rotor slot dimensions of asynchronous motor using different optimization methods and investigating effects on the motor performance

Yazar(lar) (Author(s)): Burak YENİPİNAR¹, Cemal YILMAZ², Yusuf SÖNMEZ³, Mehmet Fatih IŞIK⁴

ORCID¹: 0000-0002-5997-944X

ORCID²: 0000-0003-2053-052X

ORCID³: 0000-0002-9775-9835

ORCID⁴: 0000-0003-3064-7131

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Yenipınar B., Yılmaz C., Sönmez Y. ve Işık M. F., “Asenkron motorlarda rotor oluğunun farklı optimizasyon yöntemleri ile optimizasyonunun gerçekleştirilmesi ve performansa etkilerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 21(1): 1-6, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

DOI: 10.2339/politeknik.372682

Asenkron Motorlarda Rotor Oluğunun Farklı Optimizasyon Yöntemleri ile Optimizasyonunun Gerçekleştirilmesi ve Performansa Etkilerinin İncelenmesi

Burak YENİPİNAR¹, Cemal YILMAZ², Yusuf SÖNMEZ³, Mehmet Fatih İŞİK⁴

¹Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

²Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara

³Gazi Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Ankara

⁴Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Çorum

(Geliş/Received : 17.02.2017 ; Kabul/Accepted: 27.03.2017)

ÖZ

Bu çalışmada asenkron motorlarda optimal rotor oluk ölçülerinin, Sequential Nonlinear Programming (SNP), Genetik Algoritma (GA) ve Sequential Mixed Integer NonLinear Programming (SMINP) yöntemleri ile bulunması gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmalı olarak motor performansına olan etkisi incelenmiştir. Gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasındaki amaç maksimum motor veriminin sağlandığı oluk geometrisini elde etmektir. Simülasyon çalışmaları, Ansys Maxwell paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen optimizasyon çalışması sonrasında elde edilen rotor oluk geometrisine göre Ansys Maxwell 2D programında motor modeli oluşturulmuş ve gerekli analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en verimli motor geometrisi GA algoritması kullanıldığında elde edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Asenkron motor tasarımı, rotor oluk optimizasyonu, sequential nonlinear programlama, genetik algoritma, sequential mixed integer nonlinear programlama.

Optimizing the Rotor Slot Dimensions of Asynchronous Motor Using Different Optimization Methods and Investigating Effects on the Motor Performance

ABSTRACT

In this paper, finding optimal rotor slot measurements in asynchronous motors has been realized by using optimization methods Sequential Nonlinear Programming (SNP), Genetic Algorithm (GA) and Sequential Mixed Integer Nonlinear Programming (SMINP) and effects of them on the motor performance have been investigated comparatively. The purpose of the work is to obtain the slot geometry that provides maximum motor efficiency. Simulation studies have been done by using Ansys Maxwell package programming. According to the rotor slot geometry obtained from simulation results, the motor model has been created in Ansys Maxwell 2D and required analyses of the motor have been realized. According to the results obtained, the most efficient rotor geometry has been occurred when using GA.

Keywords: Asynchronous motor design, Rotor slot optimization, sequential nonlinear programming, genetic algorithm, sequential mixed integer nonlinear programming

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Verimlilik noktasında, elektrik makinalarının tasarımı ve optimizasyonu çok büyük önem arz etmektedir. Tasarımın başlangıç noktası ne kadar doğru seçilir ise optimizasyon süreci de o kadar verimli ilerler ve nihai tasarım kalitesi de o derece yüksek olur.

Optimizasyon çalışmasında elde edilecek sonucun doğruluğunu test etmenin bir yöntemi de farklı optimizasyon yöntemlerinin karşılaştırılmasıdır.

Her ne kadar sürekli mıknatıslı motor teknolojisi gelişse de sincap kafesli asenkron motorlar sağlamlığı, basit yapısı ve düşük maliyeti sebebi ile sanayi sektöründe ciddi bir pazara sahiptir [1].

Dünya pazarındaki rekabetin ve elektrik enerjisi maliyetlerinin artması sebebi ile elektrik makinalarının optimizasyonuna olan ilgi yüksektir [2].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta: cemal@gazi.edu.tr

Ayrıca, enerji verimliliğinin gün geçtikçe önem kazandığı ülkemizde, sanayi elektrik tüketiminin yaklaşık %70'i üç fazlı AC indüksiyon elektrik motor sistemlerinde kullanılmaktadır [3]. Durum böyle iken pazar payını koruması için asenkron motorun performansını etkileyen her parametrenin optimizasyon çalışması büyük önem taşımaktadır.

Klasik asenkron motorların optimum tasarımı elektromanyetik tork açısından çelişkili olan iki gereksinime cevap vermek zorundadır. Bunlar yüksek kalkış momenti ve yüksek devrilme momentleridir. Bu momentler ise rotor oyuk geometrisine doğrudan bağlıdır [4-6].

Oluk yapılarının farklılığı, motorun kalkış, devrilme ve nominal işletmesindeki rotor direnç ve endüktans değerlerini, dolayısıyla moment değerlerini değiştirmektedir. Sincap kafesli asenkron motorun performansını belirleyen parametrelerin başında ise rotor direnci ve kaçak endüktans değerleri gelmektedir [7-8].

Sincap kafesli asenkron motorlarda rotor oluk optimizasyonu ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. Simon ve Monzon, SEY kullanarak üç fazlı sincap kafesli bir asenkron motoru analiz etmişlerdir. Çalışmalarında 5 farklı rotor oluk geometrisi kullanmışlardır ve bu rotor oluk geometrileri için parametrik model tanımlamalarını elde etmişlerdir [9].

Jang ve arkadaşları elektrikli araçlar için sincap kafesli asenkron motorun çift kafesli rotor oluk optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucu rotor oluğu derinleştirilmiş ve genişletilmiştir. Yeni oluk yapısı analiz edildiğinde ise momentte ve verimde yaklaşık olarak %1 iyileşme görülmüştür [10].

Sivaraju ve Devarajan, 2,2kW gücünde 3 fazlı bir asenkron motorda GA optimizasyon yöntemini kullanarak optimum güç faktörü elde etmeye çalışmıştır. Yapılan çalışmanın neticesinde verimde ve güç faktöründe iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir [11].

Fireteanu, Tudorache yüksek güçlü asenkron motorlarda optimum sincap kafesli rotor oluğu tasarımının ve bakır kısa devre çubuklarının kalkış torku, devrilme torku, verim ve güç faktörüne etkilerini incelemiştir [12].

Galindo yaptığı çalışmada rotor oluk geometrisinin akım ve momenti nasıl etkilediği beş farklı rotor oluk geometrisinde incelemiştir [13].

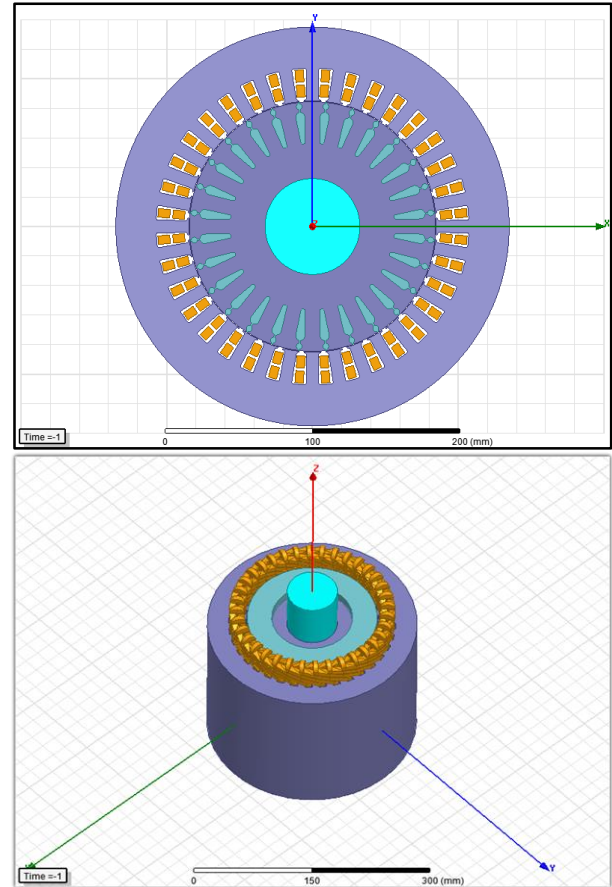
Bakır rotorlu asenkron motorlarda rotor iletim kayıpları düşüklüğü sebebiyle verimin daha yüksek olması ve kaymanın daha düşük olması sebebi ile daha avantajlı gibi görünse de yüksek maliyet ve bakır enjeksiyon işleminin zorluğu sebebi ile bu çalışmada alüminyum rotor çubukları üzerine çalışılmıştır.

Yapılan bu çalışmada, yalnızca rotor oluk ölçüleri optimize edilmiştir. Stator oluğu, motor iç ve dış çap, sargı sayıları, nüve uzunluğu vb. değerler değiştirilmemiştir. Double Cage Rotor oluk geometrisi SNP, GA ve SMINP optimizasyon teknikleri ile optimize edilmiştir. Yapılan optimizasyon çalışmalarında maksimum performans değerine ulaşılmaya çalışılmıştır.

Analizler Ansys Maxwell programında gerçekleştirilmiş ve her optimizasyon tekniğinde alınan optimum sonuçlar 2 boyutlu sonlu eleman analizine tabi tutularak incelenmiştir.

2. MOTOR MODELİ (MOTOR MODEL)

Optimizasyonu yapılacak motorun başlangıç rotor ölçülerine karşılık performans çıktıları ve simülasyon modelleri aşağıda yer almaktadır.



Şekil 1. Başlangıç değerlerindeki motorun 2D ve 3D Maxwell Modelleri (Initial values of motor 2D and 3D Maxwell Models)

Tablo 1. Motor Özellikleri (Motor specifications)

Parametre	Değer
Giriş Gerilimi	380 V
Çıkış Gücü	22 kW
Kutup Sayısı	4
Devir Sayısı	1466 rpm
Nominal Tork	143,2 Nm
Verim	% 89,2
Güç Katsayısı	0,82

Optimizasyon çalışması yapılacak 22kW gücündeki sincap kafesli asenkron motorun rotor oluk ölçüleri Tablo 2'de verilmiştir. Optimizasyon çalışmasında Tablo 2'de

ki değişkenler kullanılacak olup sonuçları karşılaştırılacaktır. Karar verilen optimum tasarımın FEA analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Optimizasyon Parametreleri (Optimization Parameters)

Parametreler	Optimizasyon Parametreleri		
	Başlangıç Değeri	Minimum Değer	Maksimum Değer
W1	4	2.174	5.985
W2	6.41	3.205	7.618
W3	3.17	2.155	4.755
H1	2	1	3
H2	16.75	8.375	20.45

3. OPTİMİZASYON SONUÇLARI VE KARŞILAŞTIRILMASI (OPTIMIZATION RESULTS AND COMPARISON)

Optimizasyon çalışması tamamlandıktan sonra, başlangıç ve optimize edilmiş parametreler Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 4'te optimizasyon sonucunda elde edilen performans değerleri verilmiştir. Optimizasyon çalışmasının sonucu incelendiğinde, her 3 optimizasyon çalışmasının sonucunun da başlangıç performans değerlerine göre iyileşmeler olduğu görülmüştür.

Tablo 3'te yer alan oluk boyutlarının değerleri birbirine yakın olmasına rağmen motor performansını önemli bir şekilde etkilediği gözlemlenmiştir.

Bir asenkron motorda maliyeti en az etkileyen malzemelerden birisi alüminyum maliyetidir. Rotor oluk alanında en fazla artış alan bazında GA ile elde edilen sonuçtur ki o da %14,8'dir. Fakat bu farkın toplam maliyete etkisi ise yok denecek kadar azdır.

S. Scott Crump tarafından icat edilen FDM baskı teknolojisinin patent koruma süresinin sona ermesi ile açık kaynak kodlu donanım ve yazılım kullanımı yaygınlaşmıştır [19]. Açık kaynak kod geliştirici topluluklar oluşarak, 3b baskı teknolojilerinin açık ve anlaşılır hâle getirilmesi sağlanılmıştır [1]. RepRap (Replicating Rapid-prototyper), insanlara pek çok 3b yazıcıyı açık kaynak kodlu donanım hâlinde sunan ve günümüzde de giderek yaygınlaşan en büyük açık kaynak kodlu projelerden birisidir. Bu proje, araştırmacılara kişiselleştirilmiş 3b yazıcı tasarımı ve üretimi imkânı sağlamaktadır [1].

MendelMax (MM) Maxbots tarafından 2011'in Kasım ayında tasarlanan açık kaynak kodlu bir RepRap 3b yazıcı

dır [1]. Şase bileşenleri olarak ucuz alüminyum ekstrüzyon ve basılı destekler kullanılmaktadır [1]. Bileşenleri dünya genelinde çeşitli tedarikçilerden sağlanabilmektedir. MM 1.5, MM 3b yazıcısının iyileştirilmiş bir versiyonudur.

Tablo 3. Optimizasyon Sonucunda Elde Edilen Değerler (Values Obtained as a Result of Optimization)

Parametre	Başlangıç Değerleri	SNP	GA	SMINP
W1	4	5,781177	5,927407	4
W2	6.41	6,781854	6,189633	7
W3	3.17	3,1521	1,684759	3
H1	2	1,384512	1,131383	1
H2	16.75	15,74411	22,11145	19
Rotor Oluk Alanı (mm ²)	115,56	128,45	132,65	131,97

Asenkron motorlarda kalkış akımı, motorun nominal akımının 7-8 katı kadar yüksek olabilirken; kalkınma momentinin, nominal momente oranı ise en az 2 civarında olması gerekmektedir.

SNP Optimizasyon yöntemi sonucunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde motor veriminin, kalkış moment ve akımının arttığı, buna karşılık güç faktöründe bir miktar azalma olduğu gözlemlenmiştir.

GA optimizasyon yöntemi sonucunda ise göze çarpan en önemli sonuç verimde meydana gelen iyileşmedir. Buna karşılık güç faktörü ve kaymanın (s) az bir miktar azaldığı görülmektedir. Rotor oluk alanının %14,8 artmasına karşılık verim; %0,07 oranında bir artış göstermektedir. SMINP optimizasyon yöntemine göre gerçekleştirilen ve elde edilen parametrelere göre yapılan analiz sonucunda ise GA ile elde edilen sonuçlara paralel sonuçlar elde edilmiştir lakin GA ile elde edilen verim ve güç faktörü SMINP ile elde edilen sonuçlara göre daha yüksektir.

Tablo 4. Optimizasyon Sonucunda Performans Değerleri (Performance Values as a Result of Optimization)

Parametre	Başlangıç Değerleri	SNP	SMINP	GA
Verim	%89,2	%89,32	%89,35	%89,39
Güç Katsayısı	0,820	0.813	0.81	0.816
Nominal Hız	1466	1469	1470	1470
Nominal Tork (Rpm)	143.2	143	142,9	142,9
Kalkınma Torku (Nm)	283,1	324,9	312,6	317,9
Kalkınma Akımı (A)	186,5	217	221	216

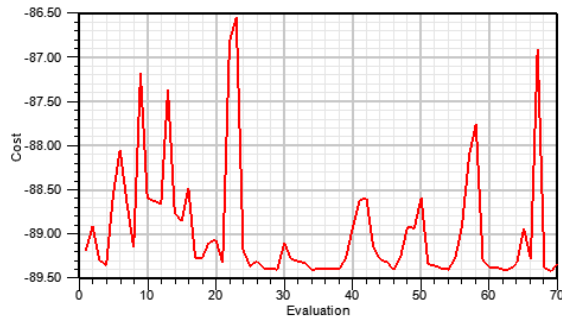
Tablo 5’de Rotor Akı Yoğunluğu değerleri verilmiş olup bu değerler incelendiğinde GA ile elde edilen parametrelere göre analizi gerçekleştirilen sincap kafesli asenkron motorun rotor akı yoğunluğu parametrelerinin gerek başlangıç durumu gerekse de diğer optimizasyon yöntemleri neticesinde elde edilen değerlerden daha yüksek olsa da nüve doyuma gitmediğinden dolayı akı yoğunluk değerleri uygun kabul edilebilecek seviyededir.

GA ile yapılan optimizasyon sonucunda rotor sırt bölgesindeki akı yoğunluğunun artmasının sebebi, rotor oluşu derinleştiği için rotor sırt alanı küçülmüştür ki bu sebep ile o bölgedeki akı yoğunluğu artış göstermektedir.

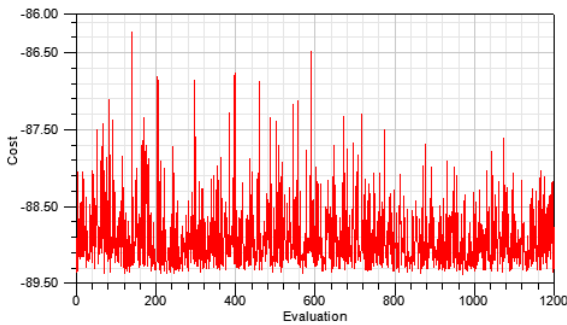
Tablo 2. Rotor Akı Yoğunluğu (Rotor Flux Intensity)

Parametre	Başlangıç Değerleri	SNP	GA	SMINP
Rotor Dışı Akı Yoğunluğu	1.19699	1,38322	1,40344	1,18887
Rotor Boyunduruğu Akı Yoğunluğu	0.75086	0,764149	1,52908	0,780161

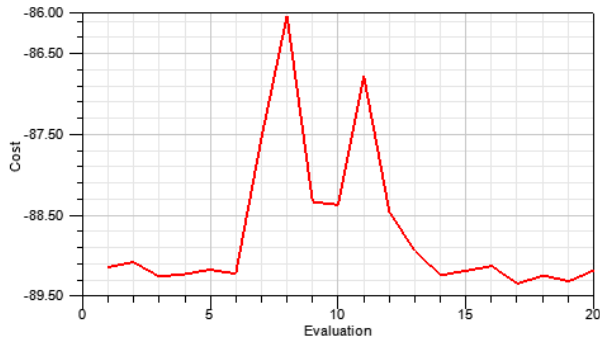
Şekil 2, 3 ve 4’te gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasında, optimizasyon yöntemine karşılık iterasyon sayıları ve sonuca ne kadar yaklaştıkları yer almaktadır.



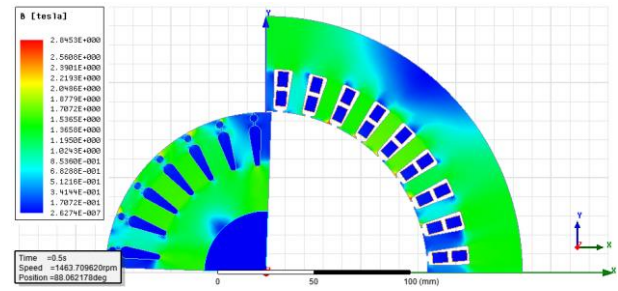
Şekil 2. SNP İterasyon (SNP İteration)



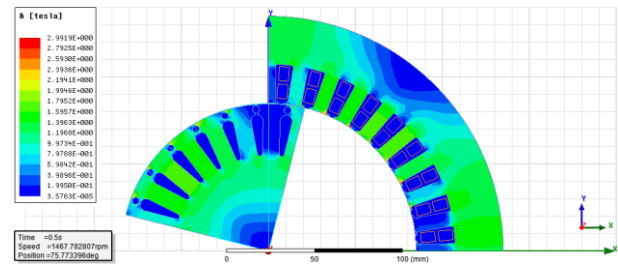
Şekil 3. GA İterasyon (GA İteration)



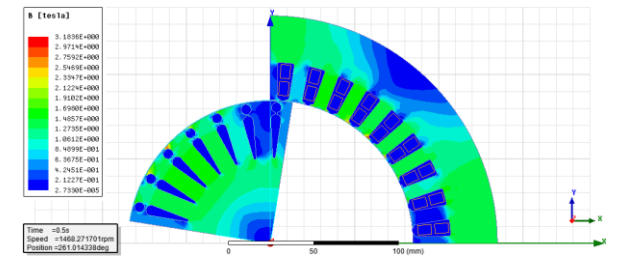
Şekil 4. SMINP İterasyon (SMINP İteration)



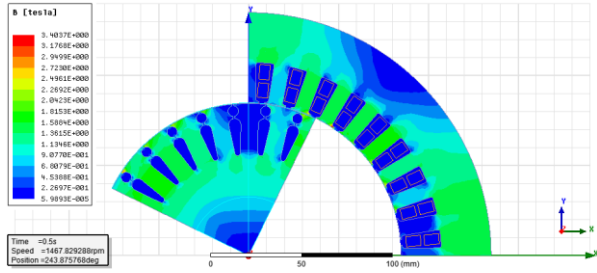
Şekil 5. Başlangıç Değerlerinde 0.5 ms Manyetik Akı Yoğunluğu (0.5 ms at initial values Magnetic Flux Density)



Şekil 6. SMINP 0.5 ms Manyetik Akı Yoğunluğu (SMINP 0.5 ms Magnetic Flux Density)

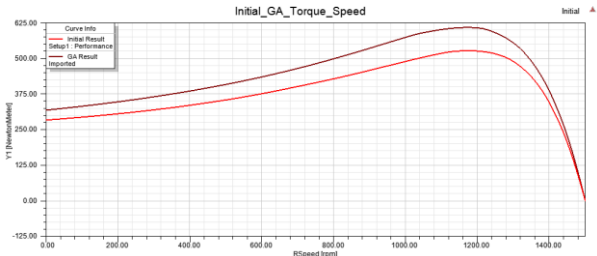


Şekil 7. GA 0.5 ms Manyetik Akı Yoğunluğu (GA 0.5 ms Magnetic Flux Density)

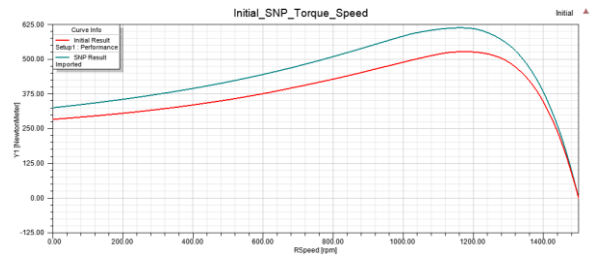


Şekil 8. SNP 0.5 ms Manyetik Akı Yoğunluğu (SNP 0.5 ms Magnetic Flux Density)

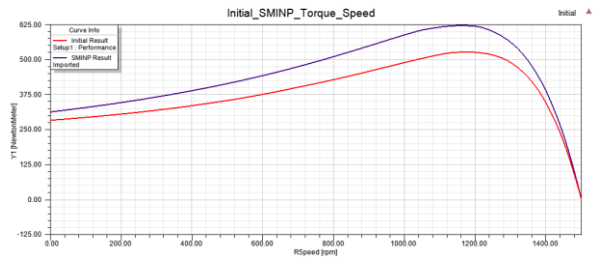
Şekil 9, 10 ve 11'de başlangıç parametrelerindeki Tork-Hız grafiğine karşılık gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları sonucunda elde edilen değerlere göre elde edilen Tork-Hız grafikleri yer almaktadır. Her 3 optimizasyon yöntemine göre de Tork-Hız karakteristiği başlangıç kabul edilen motordan daha iyi olduğu görülmektedir. Gerek kalkış ve devrilme momentlerinin yüksek olması gerekse de kaymanın (s) daha küçük olması bunun bir göstergesidir.



Şekil 9. Başlangıç ve GA Tork-Hız Eğrisi (Start and GA Torque-Speed Curve)



Şekil 10. Başlangıç ve SNP Tork-Hız Eğrisi (Start and SNP Torque-Speed Curve)



Şekil 11. Başlangıç ve SMINP Tork-Hız Eğrisi (Start and SMINP Torque-Speed Curve)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada rotor oluk geometrisindeki meydana gelen değişikliklerin motor performansına etkileri incelenmiştir.

Uygulanan 3 ayrı optimizasyon (GA, SNP, SMINP) yönteminde de ana amaç maksimum verime ulaşmak olduğundan dolayı diğer performans değerlerinde kabul edilebilecek miktarlarda düşüş olmuştur. Örneğin, güç faktöründeki bu düşüş kabul edilebilir bir seviyede olduğundan dolayı optimizasyon parametrelerinde bir değişiklik yapılmamıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada farklı rotor oluk geometrisine sahip 3 analizde de başlangıç değerinden daha yüksek bir verim elde edilmiştir. Güç faktörü, kayma, kalkış akımı ve torku ise her 3 optimizasyon tekniği ile elde edilen sonuçta da kabul edilebilir bir düzeydedir.

Analitik analiz sonuçlarının haricinde 2 boyutlu sonlu eleman analiz sonuçları doğrultusunda akı yoğunlukları ve kalkış performansı incelendiğinde GA optimizasyon yöntemi ile elde edilen sonuçların bu çalışma için en optimum değerler olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR (RESOURCES)

- [1] Çunkas, M., Akkaya, R., "Design optimization of induction motor by genetic algorithm and comparison with existing motor", *Mathematical and Computational Applications*, 11(3): 193-203, 2006.
- [2] Kadhim, H. H., "Technical and Economic Design of Three Phase Induction motor Using The Multicriterion Optimization Method", *Journal of Babylon University, Engineering Sciences*, 1(22): 2014.
- [3] www.eie.gov.tr/verimlilik/document/Elektrik_Motorlari.pdf, Erişim: 08.06.2016, 12:05
- [4] Brojboiu, M., "Concerning the influence of the rotor bar geometry on the induction motor performances", Proc. of *5th TELSIKS'01 International Conference*, Sept. 2001.
- [5] Kirtley, J. L., "Designing Squirrel Cage Rotor Slots with High Conductivity", *Proc. of ICEM'04 Conference*, Sept. 2004.
- [6] Turcanu, O.A., Tudorache, T., Fireteanu, V., "Influence of squirrel-cage bar cross-section geometry on induction motor performances", *Proc. Of SPEEDAM'06*, May 2006.
- [7] Şal, S., İmeryüz, M., Ergene, L. T., "The Analysis of The Squirrel Cage Induction Motor Rotor Bars under the Cost Constraint", *EMO Bilimsel Dergi*, 2(3): 23 - 28, 2012.
- [8] Ünlükaya, E., Yetkin, A. G., Çanakoğlu, A. İ., Turan, M., "Rotor Oluk Şekillerinin Asenkron Motor Performansına Etkileri", *Eleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 27 – 29 Kasım 2014.
- [9] Simon, L. ve Monzon, J. M., "The Finite Element Method for Parametric Identification of a Three – Phase Induction Machine with Genetic Algorithms", *11th Spanish Portuguese Conference on Electrical Engineering*, 2009.

- [10] Jang, S., Jeon, K-W., Kim, Y-J., Jung, S-Y., "Numerical Analysis and Optimal Design of Double Squirrel Cage Induction Motor for Electric Vehicle" School of Electronic and Electrical Engineering, Sungkyunkwan Univeristy, Kore. 2013.
- [11] Sivaraju, S.S., Devarajan, N., "GA based optimal design of three phase squirrel cage induction motor for enhancing performance" , *International Journal of Advanced Engineering Technology*– E-ISSN 0976-3945
- [12] Fireteanu, V., Tudorache, T., Turcanu, O.A., "Optimal Design of Rotor Slot Geometry of Squirrel-Cage Type Induction Motors", *Electric Machines & Drives Conference*,1: 537-542, May 2007.
- [13] Galindo, V. A., Fdez, X. M. L., Pinto, D. J. A., Coimbra, A. P., "Parametric Study of Rotor Slot Shape on a Cage Induction Motor", *10th International Symposium on Electromagnetic Fields in Electrical Engineering*, 190 – 195, 2002.