

Klasik ve Karşıt Kuplajlı Anahtarlama Relüktans Motorlarda Geometrik Parametrelerin Çıkış Performansına Etkileri

The Effects of Geometric Parameters on Performance of Conventional and Mutually Coupled Switched Reluctance Motors

Murat Ayaz¹, Kadir Yılmaz²

¹Teknik Eğitim Fakültesi
Kocaeli Üniversitesi
murat6680@yahoo.com

²Teknik Eğitim Fakültesi
Kocaeli Üniversitesi
kayel@kocaeli.edu.tr

Özet

Bu çalışmada Anahtarlama Relüktans Motor(ARM) iki farklı sargı yapısında incelenmektedir. Birincisi klasik ARM (kısa adımlı) ikincisi ise karşıt kuplajlı (tam adımlı) KKARM'dur. Her iki sargı yapısı için, motorun geometrik boyutları değiştirilerek bu parametrelerin çalışma karakteristiklerine olan etkileri ortaya konulmaktadır. Bu doğrultuda her iki makine için tasarım açısından önemli bir parametre olan hava aralığı ile stator-rotor kutup açısı değerleri belirlenen aralıklarda değiştirilerek oluşturulan modeller sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmektedir. Yapılan statik analizler sonucunda azalan hava aralığı değişimi ile makinenin daha erken manyetik doymaya girdiği ve çıkış moment değerleri üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Yine belirlenen uygun stator-rotor kutup açılarında momentte oluşan tepe değerlerinin genliğinin azaltılabildiği gösterilmektedir. Bu çalışma ile klasik ARM'unun moment dalgalılığını azaltmak için kullanılan yöntemlerin karşıt kuplajlı ARM içinde kullanılabileceği sonucu ortaya konulmaktadır.

Abstract

This study investigates the SR motor for two different winding structures. The first one is classical SR (Short pitched) and the second one is mutually coupled SR (fully pitched) motor. For both winding structures the geometric dimensions of the motor have been changed, and the effects of these parameters on the motor characteristics have been determined. In this regard, for both motors the air-gap and stator-rotor pole arcs, which are important design parameters, have been varied in definite intervals. Then the developed models have been analysed using the Finite Element Method (FEM). According to the resulting of the static analyses it has been found that the motor will reach the magnetic saturation earlier when the air gap is varied. Its seen that, for the properly determined stator-rotor pole arcs, the amplitude of torque peaks can be

decreased using the analyses results the torque ripples ratios in both motors have been determined. It has been found that the methods used for decreasing torque ripple in classical SR motors can also be used in Mutually Coupled SR motors.

1. Giriş

Elektrik makinelerinin performansını ve verimini arttırmaya yönelik çalışmalar, her zaman araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Genellikle, tasarım esnasında yapılan bu çalışmalar ile performansını yükseltmek, başka bir deyişle elektrik makinesinden en iyi şekilde yararlanmak amaçlanmaktadır [1], [2]. Anahtarlama Relüktans Motorunun yapısının ve kontrol devresinin basit olmasından dolayı, son dönemlerde, endüstride kullanım alanı her geçen gün artmaktadır [3], [4]. Yoğun bir şekilde gerçekleştirilen kontrol temelli çalışmaların bir miktar doymaya ulaşması ile tasarım aşamasını temel alan ve motorun performansını arttırmaya yönelik çalışmalar hız kazandı. Bu çalışmalarda genel amaç, hava aralığı açısından daha fazla faydalanmak ve bunu gerçekleştirmek için değişik stator ve rotor şekilleri kullanılmaktadır [5], [6]. Ayrıca sadece değişik stator ve rotor şekilleri kullanmanın yanı sıra stator ve rotor kutup şekilleri üzerinde yapılan fiziksel değişiklikler ile de hava aralığı açısından daha fazla verim elde edilmiştir [7], [8], [9]. Bu doğrultuda yapılan çalışmalarda amaç, motorun olumsuz yönlerini gidermek ve verimini arttırmaktır.

Çalışmanın hedefi, klasik bir ARM'un fiziksel boyutları değiştirilerek hava aralığı ve stator, rotor kutup boyutları değişiminin motor temel parametreleri üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Ayrıca aynı klasik AR motorun tam kutup adımlı sarılarak elde edilen KKAR motor içinde aynı fiziksel değişiklikler yapılarak motor parametreleri üzerindeki etkiler değerlendirilmektedir ve eşit şartlarda klasik AR motor ile KKAR motor karşılaştırmaları yapılmaktadır. Bu amaçla, Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile fiziksel boyutları değiştirilen klasik AR motor ve KKAR motor modelleri oluşturulduktan sonra manyeto statik analizi gerçekleştirilerek motorlara ait temel karakteristikler çıkarılmaktadır. Klasik AR

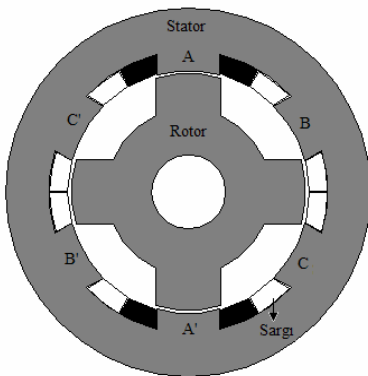
motor ve KKR motor arasında karşılaştırma yapılırken fiziksel boyutlarının aynı olması, aynı manyetik çalışma noktasında veya eşit bakır kayıplarında karşılaştırma yapma zorunluluğu getirdiğinden bu çalışmada eşit bakır kayıpları dikkate alınarak karşılaştırmalar yapılmaktadır. Eşit bakır kayıplarında karşılaştırma yapabilmek için, gerekli olan bakır alanlarındaki hacim artış oranları SOLIDWORKS paket programı kullanılarak hesaplanmaktadır. Her iki makine sargı yapıları ile birlikte üç boyutlu çizilerek faz başına düşen bakır hacmindeki artış hesaplanıp bu artışlar yardımı ile faz direncindeki artış ortaya konmaktadır. Faz direncindeki artış oranının üç boyutlu analiz sonucu elde edilmesinin literatüre kazandırılan bir zenginlik olduğu düşünülmektedir. Karşıt kuplajlı anahtarlamalı relüktans motorda sargı direnci daha yüksek olacağından iki makineyi karşılaştırırken aynı akım değerinde karşılaştırma yapmak hatalı sonuçlar vereceğinden, her iki makine eşit bakır kayıplarını verecek akım değerleri hesaplanarak bu akım değerleri için manyetik karakteristikler Maxwell 2D programı ile elde edilmektedir.

2. Motor Tanımı ve Geometrik Parametrelerin Seçimi

2.1. Motor Tanımı

2.1.1. Klasik Anahtarlamalı Relüktans Motor

ARM'u yapı bakımından adım motorlarına ve çıkık kutuplu senkron motorlara benzer. ARM diğer motorlara göre daha basit bir yapıya sahiptir ve hem rotorunda ve hem de statorunda çıkık kutuplar yer almaktadır. Stator ve rotor nüvelerinin her ikisi de, imalat uygunluğu ve demir kaybını azaltmak için, ince yaprak halinde lamine saçlardan imal edilirler. Faz sargıları statordaki çıkık kutupların üzerine ince teller ve yoğun olarak sarılır. Rotorunda ise sargı, kısa devre halkası veya mıknatıs bulunmamaktadır. Statorla karşılıklı kutuplardaki sargılar seri veya paralel bağlanarak faz sargılarını oluşturmaktadır. ARM'ları stator/rotor kutup oranlarına göre sınıflandırılırlar. Şekil 1'de endüstride oldukça fazla uygulama alanı bulmuş üç fazlı 6/4 kutuplu ARM'unun kesiti verilmektedir.



Şekil 1: Üç fazlı 6/4 kutuplu ARM kesiti.

Şekil 1'deki üç fazlı ARM'unda 6 stator, 4 rotor kutbu olup, statordaki 6 bobin ile üç faz sargıları oluşturulmaktadır. ARM'unda rotorun bir tam dönüş yapabilmesi için faz sargılarının bir defadan fazla uyarılması gerekmektedir. Her

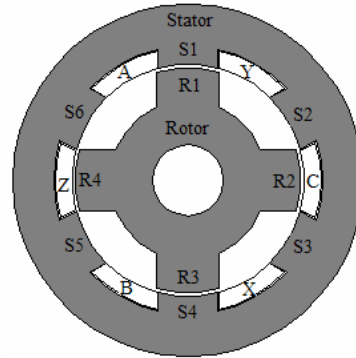
bir faz sargısı uyarıldığında, rotor bir adım açısı (θ) kadar dönme hareketi yapar, m faz sayısı, Nr rotor kutup sayısı olmak üzere rotor $m \cdot Nr$ adımda bir tam dönüşü tamamlar ve mekanik adım açısı ile belirlenebilir.

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{mNr} \quad (1)$$

ARM'da, kalkış sırasında rotor ataletini yenerken fazla titreşim oluşmasını ve akı değişiminin çok fazla değişmesini engellemek için asenkron motorlarda olduğu gibi, rotor hafif eksenel kayıklıkta imal edilmektedirler. ARM'larında sürekli bir dönme hareketinin oluşabilmesi için stator ve rotor kutup sayıları birbirine eşit değildir ve uygulamada stator kutuplarının sayısı rotor kutup sayılarından daha fazla olacak şekilde imal edilir. Rotor kutup sayısının stator kutup sayısına yakın değerlerde olması veya daha az sayıda olması uygulama amacına göre değişir. Yüksek moment istenen uygulamalarda rotor kutup sayısı stator kutup sayısına göre yakın seçilirken, yüksek hız istenen uygulamalarda ise rotor kutup sayısı stator kutup sayısına göre daha az seçilir. Ayrıca faz sargıları uyarıldığında oluşan manyetik alandan daha fazla fayda sağlanabilmesi ve sargı alanını daha geniş tutulabilmesi için stator kutupları rotor kutuplarına göre daha dar imal edilir. Rotor kutup genişliğinin stator kutup genişliğine göre daha büyük olması negatif moment üretimini de engelleyecektir. Oluşturulacak tahrik sisteminin özelliğine bağlı olarak stator ve rotor kutuplarının ve genişliklerinin seçimi yapılmaktadır.

2.1.2. Karşıt Kuplajlı Anahtarlamalı Relüktans Motor

Karşıt Kuplajlı Anahtarlamalı Relüktans Motor, Klasik ARM'unun sargılarının sarım şeklinin değiştirilmesi ile ortaya çıkmış bir motordur. Sargılarda yapılan bu değişiklik, klasik ARM'unun yapısal üstünlüklerini büyük ölçüde değiştirmemektedir. Sargı yapısının değişmesinden dolayı uyarma yapısında da değişiklikler meydana gelmektedir.



Şekil 2: Karşıt kuplajlı ARM'un genel yapısı.

Ayrıca sargı yapısı ve buna bağlı olarak uyarma yapısının değişmesi ile birlikte çalışma ilkesinde de önemli değişiklikler meydana gelmektedir.

Yeni oluşan bu makinede sargılar tam kutup adım sargı yapısına sahiptir ve tüm oluğu kaplamaktadır. Şekil 2'de gösterildiği gibi oluğu kaplayan sargıların karşılıklı olanları makinenin bir fazını oluşturmaktadır. Herhangi bir "t" anında makine fazlarından en az ikisi iletim konumundadır. Bu sargı yapısı 6/4 stator ve rotor kutup yapısına sahip motorda

uygulanmış olsa da aynı sarım şekli diğer stator ve rotor kutup sayısına sahip motorlar için de uygulanabilmektedir.

2.2. Geometrik Parametrelerin Seçimi

Bu çalışmada 6/4 ARM'unun hava aralığı (g), stator ve rotor kutup açısı değerlerinin değişiminin çalışma eğrileri üzerindeki etkileri incelenmektedir. Bu doğrultuda ARM'unda sadece hava aralığı, stator ve rotor kutup açısı değerlerinin değişim aralığının belirlenmesi ayrı ayrı ele alınmaktadır.

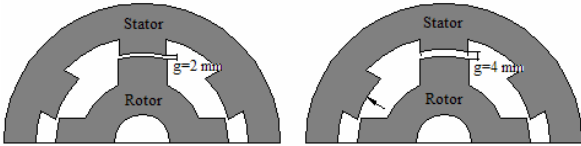
2.2.1. Hava Aralığı Değerinin Değişim Aralığının Belirlenmesi

Anahtarlamalı relüktans motorlarda hava aralığı, çalışma karakteristiklerine etkisi bakımından önemli bir parametredir. Bundan dolayı ARM'da hava aralığının mümkün olduğunca küçük değerlerde olması istenmektedir. Hava aralığı değişimi ile hava aralığı relüktans değerinde doğru orantılı olarak değişmektedir. Denklem 2 hava aralığı ile hava aralığı relüktansı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Hava aralığı relüktansı ile endüktans arasındaki ilişki ise denklem 3'de verilmektedir. Denklemden anlaşılabileceği gibi hava aralığı relüktansının değeri ile endüktans değeri ters orantılı olarak değişmektedir. Dolayısıyla endüktans değerindeki bu değişim moment değerinin de değişmesine yol açmaktadır. Buradan hareketle hava aralığı değişimi, ARM'unun en önemli çalışma karakteristiklerinden moment değerini değiştirmektedir.

$$R_h = \frac{g}{\mu_0 A} \quad (2)$$

$$L = \frac{N^2}{R_h} \quad (3)$$

Hava aralığı değerinin küçük olması momentin maksimum değerinin artmasını ve kullanılan sürücü devresinde akımın ve gerilimin minimum seviyede yeterli olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, faz akımının dengede kalabilmesi ve akustik gürültüyü minimum seviyede tutulabilmesi için düzgün bir hava aralığına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak tasarım esnasında, milin esnemesi ve kullanılan malzemelerin sıcaklıktan dolayı genişlemesi göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bundan dolayı her türlü çalışma koşulu düşünülerek toleranslı bir şekilde seçim yapılmalıdır.



Şekil 3: 6/4 ARM'unda hava aralığı değişimi.

Bu çalışmada hava aralığı Şekil 3'de gösterildiği gibi ok yönünde stator kutupları daraltılarak değiştirilmektedir. Böylece motorun diğer geometrik boyutlarını değiştirmeden sadece stator kutuplarının, dolayısıyla sargı alanının daraltılmasıyla hava aralığı değişimi gerçekleştirilmektedir. Bu doğrultuda hava aralığı değeri 2mm, 3mm ve 4mm olacak şekilde incelenmektedir.

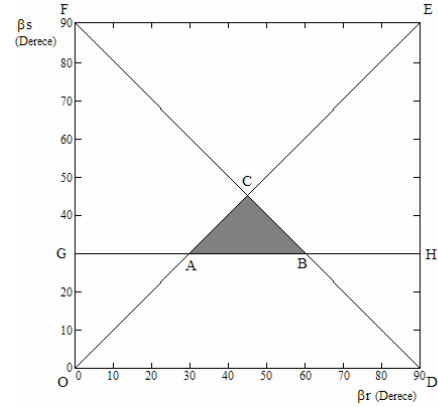
2.2.2. Stator ve Rotor Kutup Açısı Değerlerinin Belirlenmesi

ARM tasarımının stator ve rotor kutup açısı değerlerinin seçimi önemli bir parçasıdır. Bu seçim işlemi yapılırken, atalet momentini yenebilme, statik moment şekli ve rotor pozisyon karakteristikleri gibi birçok nokta göz önünde bulundurulmaktadır. Kalkış esnasında atalet momentini yenebilmesi için stator ve rotor kutup açılarının mümkün olduğunca küçük olması istenir. Stator ve rotor kutup açısı değerlerinin belirlenmesini üç madde olarak inceleyelim.

1. Pratikte stator kutup açısı değeri (β_s), rotor kutup açısı değerine (β_r) eşit ya da daha küçük olmalıdır ($\beta_s \leq \beta_r$).
2. Stator kutup açısı değeri (β_s), adım açısına (ϵ) eşit ya da daha büyük olmalıdır ($\beta_s \geq \epsilon$). Stator kutup açısı adım açısından küçük seçildiği zaman bazı rotor konumları için motorun ilk hareketi sağlanamaz. Adım açısı denklem 1'de verilmektedir.
3. Maksimum kutup açısı değerleri, stator ve rotor kutuplarının örtüştüğü durumda hesaplanır. Denklem 4'de ifade edildiği gibi hesaplanabilir.

$$\beta_s < \frac{2\pi}{Nr} - \beta_r \quad (4)$$

Yukarıda belirtilen stator ve rotor kutup açısı değer seçim aralıklarını bir şekil üzerinde ifade etmek mümkündür. Bu doğrultuda, 6/4 ARM için stator ve rotor kutup açısı değerlerinin seçim aralıkları Şekil 4'de verilmektedir. Şekil dikkatlice incelendiğinde OE eğrisinin alt bölgesi 1. maddeyi, GH eğrisinin üstündeki bölge 2. maddeyi ve DF eğrisinin altındaki bölge ise 3. maddeyi göstermektedir. Bu bölgelerin kesiştiği alan ise stator ve rotor kutup açısı değerlerinin aralıklarını ifade etmektedir.



Şekil 4: 6/4 ARM için kutup açısı değer aralığı.

Bu çalışmada stator kutup açısı 30° ve rotor kutup açısı değeri ise 31° , 32° , 33° olacak şekilde seçilerek analiz yapılacaktır.

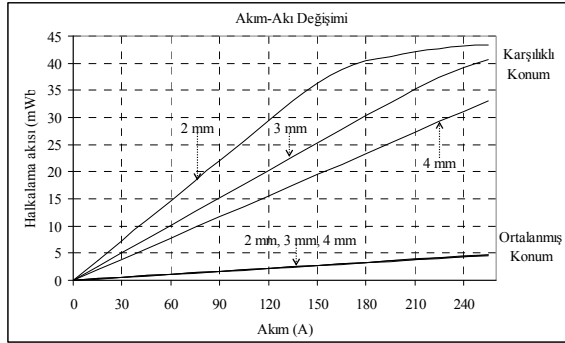
3. Analiz Sonuçları

Bu kısımda klasik ve karşıt kuplajlı ARM'larının çalışma karakteristikleri çıkartılmaktadır ve geometrik parametrelerin (hava aralığı, rotor kutup açısı) değişiminin çıkış karakteristiklerine etkileri incelenmektedir. Bu amaca uygun

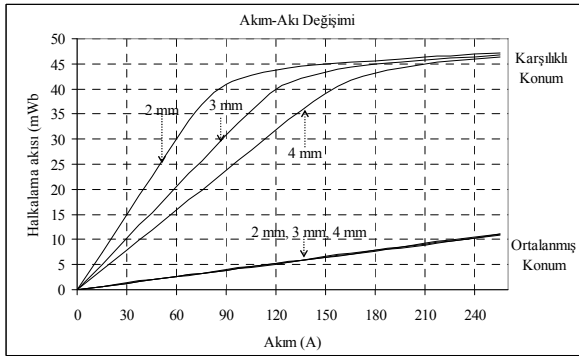
olarak hava aralığı değeri ve rotor kutup açısı değeri değiştirilerek 9 adet model oluşturulmaktadır. Ayrıca her analiz için ($0^\circ \dots 45^\circ$) aralığında 10 adet rotor konumu ve (15A...255A) aralığında 17 adet akım değeri için toplam 170 adet farklı hesaplama yapılmaktadır.

3.1. Hava Aralığı Değişiminin Klasik ve Karşıt Kuplajlı ARM'larının Çalışma Karakteristikleri Üzerindeki Etkileri

Klasik ve karşıt kuplajlı ARM'larında, hava aralığının çalışma karakteristiklerine manyetik doymadan önce ve doymadan sonraki etkilerini belirlemek için anma akım değerinin altında ve üstünde değerlerin alınması gerekmektedir. Her iki motor içinde çalışma karakteristiklerinden ilk olarak akı eğrisi her hava aralığı değeri için çizilerek karşılaştırılmaktadır. Rotorun karşılıklı ($\theta=0^\circ$) ve ortalanmış ($\theta=45^\circ$) konumlarında, seçilen her hava aralığı değeri için şekil 5'de klasik ARM'una, şekil 6'da ise karşıt kuplajlı ARM'una ait halkalanma akısı-akım değişimi verilmektedir.



Şekil 5: Klasik ARM halkalanma akısı-akım eğrisi.

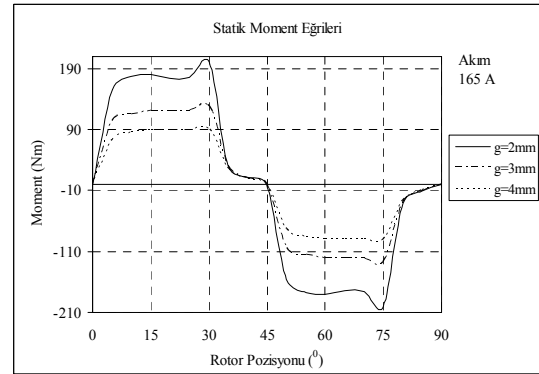


Şekil 6: KKARM'nun halkalanma akısı-akım eğrisi.

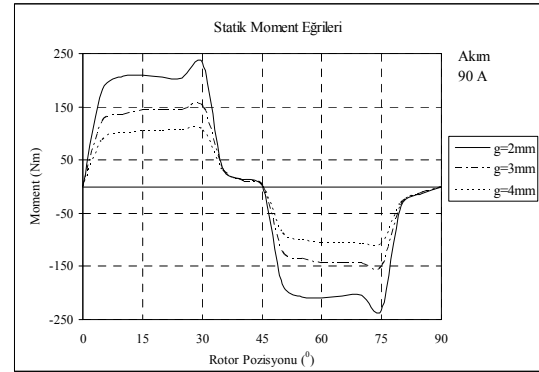
Manyetik doymanın başladığı akım değerinin altındaki değerler doğrusal bölgeye, üstündeki değerler ise doğrusal olmayan bölgeye aittir. Akı karşılıklı (aligned) konumda en büyük değere, ortalanmış (unaligned) konumda ise en küçük değere sahiptir. Şekil 5'de gösterilen akı eğrileri dikkatle incelendiğinde hava aralığı 2 mm olarak seçildiğinde 165 A civarında, 3 mm olarak seçildiğinde 225 A civarında manyetik doymanın başladığı görülmektedir. Ancak hava aralığı 4 mm olarak seçildiğinde ise manyetik doymanın başlamadığı veya daha büyük akım değerlerinde manyetik doymanın başlayacağı görülmektedir. Şekil 6'da ise hava aralığı 2 mm seçildiğinde 90 A civarında, 3 mm olarak seçildiğinde 135 A civarında ve 4 mm olarak seçildiğinde 165 A civarında manyetik doymanın

başlayacağı görülmektedir. Buradan hareketle her iki motor içinde, hava aralığı değeri küçük seçildiğinde manyetik doymanın daha düşük akım değerlerinde başladığı ve hava aralığı değeri büyüdükçe daha büyük akım değerlerinde manyetik doymanın başladığı söylenebilir. Ayrıca aynı boyutlara sahip karşıt kuplajlı ARM'unda, sargı yapısındaki farklılıktan dolayı klasik ARM'una göre daha düşük akım değerlerinde manyetik doyma başlamaktadır.

Manyetostatik analiz sonuçlarından elde edilen statik moment eğrileri şekil 7 ve şekil 8 ile verilmektedir. Şekillerden de anlaşılabileceği üzere hava aralığı değişimi maksimum moment değerine ve düzgün moment oranına etki etmektedir. Aynı akım değerinde, hava aralığı büyüdükçe maksimum moment değeri düşmektedir.



Şekil 7: Klasik ARM statik moment eğrileri.

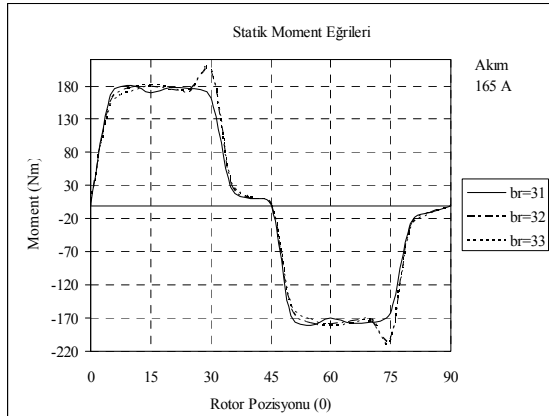


Şekil 8: KKARM'nun statik moment eğrileri.

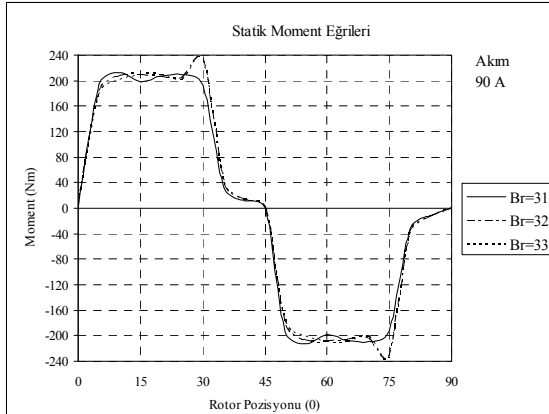
3.2. Rotor Kutup Açısı Değişiminin Klasik ve Karşıt Kuplajlı ARM'larının Çalışma Karakteristikleri Üzerindeki Etkileri

Değişik rotor kutup açılarına sahip manyeto statik analiz sonuçlarından elde edilen statik moment eğrileri şekil 9'da ve şekil 10'da verilmektedir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere rotor kutup açısı değişimi, rotorun konumuna göre maksimum momente ve moment eğrisindeki tepe değerlerinin genliğine etki etmektedir. Bu doğrultuda aşağıdaki eğrilerden moment dalgalılığını hesaplamak için, eğrilerin en yüksek değeri (M_{max}) ve en küçük değeri (M_{min}) bulunur. Elde edilen bu değerler denklem 5'de yerine yazıldığında % olarak moment dalgalılığı hesaplanmaktadır.

$$\%M_d = \frac{M_{max} - M_{min}}{M_{max} + M_{min}} * 100 \quad (5)$$



Şekil 9: Klasik ARM statik moment eğrileri.



Şekil 10: KKARM statik moment eğrileri.

Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmektedir. Her iki motoru eşit şartlar altında karşılaştırma yapabilmek için bakır kayıpları göz önünde bulundurularak hesaplanan akım değerleri tabloda gösterilmektedir. Tablodaki değerler incelendiğinde karşıt kuplajlı ARM'un moment dalgalılık oranının klasik ARM'una göre yüksek olduğu gözükmemektedir. Rotor kutup açısı değeri 31° seçildiğinde moment dalgalılık oranı, diğer açılar değerlerine göre %5 – 10 arasında düşük değere sahiptir. Buradan hareketle her iki motor içinde uygun rotor kutup açısı değeri seçildiğinde, moment dalgalılık oranında bir iyileştirme yapılabileceği ortaya çıkmaktadır.

Tablo 1: Moment dalgalılık oranı

Klasik ARM ve Karşıt Kuplajlı ARM					
Akım (A)		% M_d (Dalgalılık Oranı)			
		$\beta_r = 31^\circ$		$\beta_r = 33^\circ$	
ARM (I_k)	KKARM (I_{kk})	ARM (%)	KKARM (%)	ARM (%)	KKARM (%)
120	60	24,8	27,5	28,4	31,6
165	90	24,8	27,1	30,8	32,2
210	120	25,3	27,4	31,4	33,6

4. Sonuçlar

Yapılan bu analizlerde hava aralığı değerinin değiştirilmesi hem klasik ARM'unun hemde karşıt kuplajlı ARM'unun çalışma karakteristikleri üzerinde aynı etkileri göstermektedir. Hava aralığının büyük değerlerde seçilmesi endüktans değerinin düşük olmasına dolayısı ile moment değerinin düşük olmasına neden olmaktadır. Moment eğrisindeki dalgalılık oranı hava aralığı değişiminden çok fazla etkilenmemektedir ve belirtildiği gibi sadece moment değerinin değişmesine neden olmaktadır. Ayrıca büyük değerlerde hava aralığı kaçak akıların artmasına ve faydalı akının azalmasına neden olmaktadır. Akı-akım eğrisi göz önüne getirildiğinde, hava aralığı değeri büyüdükçe motorda manyetik doymanın başlaması için gereken akım değeri artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı ARM'larında hava aralığı değeri mümkün olduğunca düşük değerlerde seçilmesi istenmektedir.

Stator ve rotor kutup açısı değerlerinin uygun değerlerde seçilmesi moment eğrisinde oluşan dalgalılık oranının %5-10 gibi bir değerde azaltılmasını sağlamaktadır. Ayrıca kutup açılarının değiştirilmesi ile motorun endüktans profili değiştirilmektedir ve böylece endüktans profilindeki ölü kısımlar azaltılarak daha fazla moment üretimi gerçekleştirilmektedir. Moment eğrisindeki dalgalılık oranının düşürülmesi motorda oluşan gürültü miktarının azalması anlamına gelmektedir.

5. Kaynaklar

- [1] Arumugam, R. ve Krishnan, R., "Sensitivity of Pole Arc/Pole Pitch Ratio on Switched Reluctance Motor Performance", *IEEE Tran. On Magnetics*, 1988.
- [2] Finch, J., Faiz J. ve Metwally H., "Design Study of Switched Reluctance Motor Performance", *IEEE Trans. on Industry Applications*, 1992.
- [3] Reeve, J. M. ve Pollock, C., "Dynamic Simulation Model for Two-Phase Mutually Coupled Reluctance

- Machines", *IEEE Trans. on Industry Applications*, (2001).
- [4] Xu, Y. ve Torrey, D. A., " Study of The Mutually Coupled Switched Reluctance Machine Using The Finite Element-Circuit Coupled Method", *IEE Proc.-Electr. Power Appl.*, (2002).
- [5] Hong, J., Ha K. ve Lee J., "Stator Pole and Yoke Design for Vibration Reduction of Switched Reluctance Motor", *IEEE Trans. On Magnetics*, 2002.
- [6] Mao, S. H. ve Tsai, M. C., "A Novel Switched Reluctance Motor With C-Core Stators", *IEEE Trans. On Magnetics*, 2005.
- [7] Ayaz, M., "Klasik ve Karşıt Kuplajlı Anahtarlama Relüktans Motorlarda Geometrik Parametrelerin Çıkış Performansına Etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2008.
- [8] Faiz, J. ve Finch, J. W., "Aspects of Design Optimisation for Switched Reluctance Motors", *IEEE Trans. On Energy Conversion*, 1993.
- [9] Wichert, T., Kub, H. ve Schuffenhauer, U., " Modern Dimensioning of Switched Reluctance Machines", *IEEE Trans. on Industry Applications*, (2001).