

Çift Rotor Tek Stator Asenkron Motor Prototip Tasarımı ve Eşdeğer Devre Parametrelerinin Bulunması

Ali Can^{1*}, Bayram Akdemir²

¹Elektrik ve Enerji Programı, Ermenek Meslek Yüksekokulu, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Ermenek, Karaman, TÜRKİYE

²Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü /Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

*¹acan@kmu.edu.tr, ²bakdemir@ktun.edu.tr

(Geliş Tarihi: 15 Haziran 2023, Kabul Tarihi: 29 Haziran 2023)

ATIF/REFERENCE: CAN, A., Akdemir, B., (2023). Çift Rotor Tek Stator Asenkron Motor Prototip Tasarımı Ve Eşdeğer Devre Parametrelerinin Bulunması. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(6), 8-13.

Özet – Günümüzde elektrikli araçlar oldukça önem kazanmıştır. Bugüne kadar elektrikli araçların tahrikinde birçok farklı tipte elektrik motoru kullanılmıştır. Daha az bakım masrafı, uzun ömürlü ve maliyeti düşük olması gibi üstünlükleri bulunan asenkron motor, elektrikli araçlarda kullanılmak için bazı avantajlarıdır. Fakat asenkron motoru sürmek için gerekli inverterler önemli hale gelmektedir. Bu makalede asenkron motor için bu inverter yükünü azaltacak ve mekanik diferansiyeli ortadan kaldıracak bir motor tipi üzerine çalışılmıştır.

Bu çalışmada 0,75 kW iki adet asenkron motorun klemens bağlantısını söküp, her bir faz bobinini diğer motorun faz bobini ile seri şekilde birleştirilmiş ve bu seri faz bobin gruplarını üçgen bağlantı yapılmıştır. Bu şekilde birbirinden bağımsız hareket edebilen çift rotorlu tek statorlu bir motor tipi elde edilmiştir. Bu tip bir motorun güç, hız, moment, verim ve güç katsayısı gibi büyüklüklerini hesaplamak ve test edebilmek için eşdeğer devre parametreleri bulunmuştur. Bunun DC, boşa çalışma ve kilitli rotor deneyleri gerçekleştirilmiştir. Birbirinden bağımsız dönebilen motor milleri motorun iki tarafında farklı kaymalar meydana getirmektedir. Dolayısıyla rotor devrelerinin güç çarpanı da ($\cos\phi$) farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Motora ait eşdeğer devre çizilirken bu tespit dikkate alınarak rotor devreleri ayrı ayrı çizilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Çift Rotor, Eşdeğer Devre, Asenkron Motor, Boşa Çalışma, Kilitli Rotor

I. GİRİŞ

Asenkron motorların güç, döndürme momenti, kalkınma akımı, güç katsayısı ve çeşitli yüklerdeki verim hesapları için motorun eşdeğer elektrik devresini bilmek çok büyük kolaylıklar sağlar. Asenkron motorun eşdeğer devresinin çizimi ve kayıplarının bulunması için statorun etkin (efektif) direncinin bulunması deneyi (DC deney), motorun boş çalışma deneyi ve kilitli rotor deneyi yapılır [1],

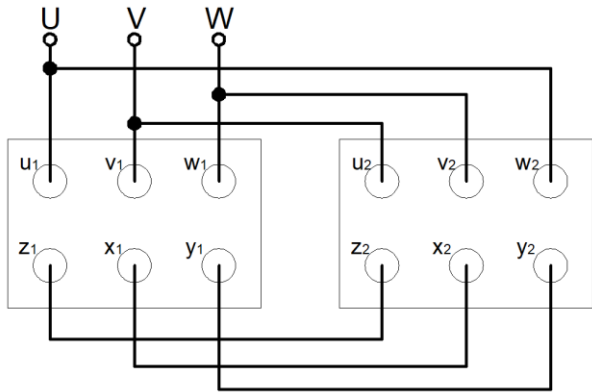
[2]. Kilitli rotor deneyi ile motora ait bakır kayıpları serbest dönme deneyinden ise manyetik ve sürtünme kayıplarını elde etmek mümkündür.

Asenkron motorlar tek stator ve tek rotordan oluşan ve rotor yapısı konvansiyonel yapılar için kısa devre kafesinden oluşan bakımsız bir motor türüdür. Bu çalışmada ise tek stator yapısının kapsadığı iki rotoru olan tek bir asm motorunun parametrelerinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Tek

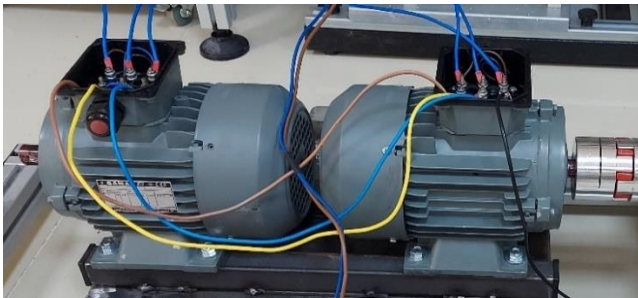
stator ve çift rotorlu asm motorları literatürde nadir incelenmiştir [3],[4]. Günümüzde elektrikli araçlar için kullanılan çeşitli tahrik düzenekleri vardır. Üzerinde çalıştığımız, çift rotor tek stator asenkron motor bunlardan bir tanesi olmaya adaydır [5],[6]. Bu motor, tek bir stator içerisinde aynı eksen üzerinde birbirinden bağımsız dönebilen iki rotorun elektrikli araçlar için, mekanik diferansiyele ihtiyaç duymadan kullanılabilmesini sağlayacaktır. Bu makalede bu motora eşdeğer özellik gösterebilecek aynı özellikte 0,75 kW gücünde iki asenkron motoru, milleri zıt yönlere çevrilerek aynı ekseninde birbirine seri şekilde bağlamak suretiyle, çift rotor tek stator bir asenkron motor prototipi tasarlanmıştır. Bu motor üzerinde çeşitli testler yapılarak, ilerideki performans testlerine temel oluşturması için eşdeğer devre parametreleri hesaplanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Tablo 1’de verilen özellikte 2 adet Gamak marka asenkron motor, milleri ters yönde olacak şekilde tesis edilmiştir. Motorlar birbirine, Şekil 1 ve Şekil 3 ‘de verilen bağlantılar kullanılarak, tek stator çift rotor bir asenkron motor elde edilmiştir.



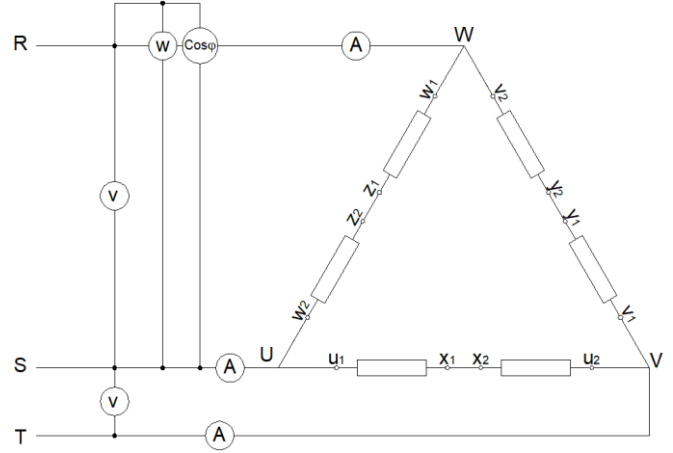
Şekil 1. Çift rotor tek stator motorun klemens bağlantısı



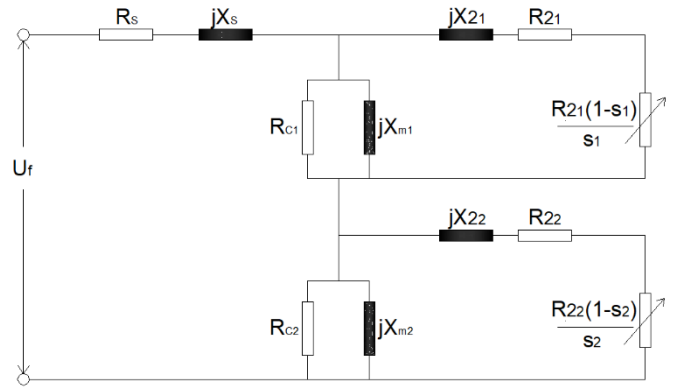
Şekil 2. Çift rotor tek stator asenkron motora ait fotoğraf

Tablo 1. 3 faz asenkron motor etiket bilgileri

	U (V)	F (Hz)	ÇIKIŞ GÜCÜ kW	DEVİR d/d	AKIM (A)	cosφ	η
Δ	230	50	0,75	1410	3,3	0,71	0,796
Y	400	50	0,75	1410	1,92	0,71	0,796



Şekil 3. Çift rotor tek stator asenkron motor faz bobin bağlantısı



Şekil 4. Çift rotor tek stator asenkron motor eşdeğer devre

Bu motorların faz bobinleri Şekil 3 ‘de gösterildiği gibi seri olarak bağlanmıştır. Eşdeğer devre parametrelerini bulmak için, seri olarak bağlanan faz bobin grupları, üçgen bağlantı yapıları boşa çalışma, kilitli rotor ve DC deneyler gerçekleştirilmiştir. Faz bobin grupları içinde ikinci motora ait bobinler ters bağlanmıştır. Bunun sebebi, bir araç için kullanılacağı düşünüldüğünde rotorların birbirine ters dönmesi gerektiğidir.

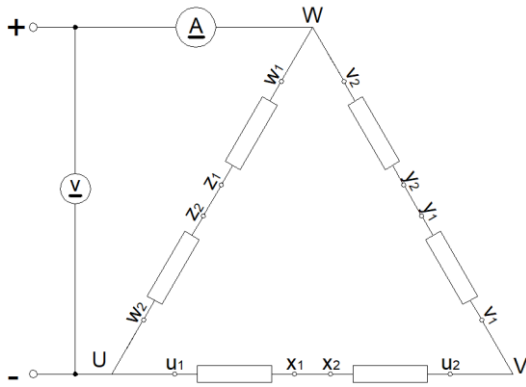
Şekil 1 ve Şekil 3’deki bağlantı şemasına göre birleştirilmiş iki asenkron motorun bir faz eşdeğer devresi Şekil 4’te verilmiştir [7], [8].

Motorun parametrelerinin bulunabilmesi için asenkron motora DC akım deneyi direnç ölçümü,

boşta çalışma deneyi ve kilitli rotor deneyi yapılır. Bu üç testten motora ait verilerin elde edilmesi mümkündür [9], [10].

A. DC Deneyi

Stator faz sargı dirençlerinin bulunabilmesi için, motor faz uçları Şekil 5'te görüldüğü gibi üçgen şeklinde bağlı olan fazların W-U uçlarına DC gerilim uygulanmıştır. Bu işlem uygulanmadan önce motor çalıştırmak suretiyle sargıların ısınması sağlanmıştır. Daha sonra DC gerilim, hat akımı nominal akım değerine ulaşıncaya kadar artırılmıştır. Ölçülen DC gerilim ve akım değerleri Tablo 2'de verilmiştir.



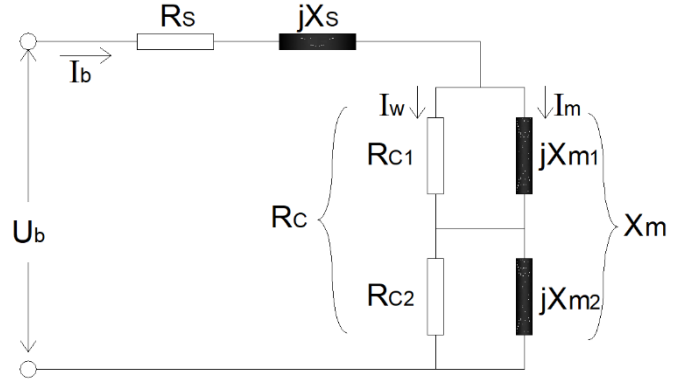
Şekil 5. Stator faz sargısının DC dirençlerinin ölçülmesi.

Devreye DC gerilim uygulandığı için sadece rezistif direnç özelliği gösterir ve bu şekilde alınan değerler ile stator faz sargısının rezistif direnci bulunmuştur.

B. Boşta Çalışma Deneyi

Boşta çalışma deneyinde, her iki motor miline de herhangi bir yük bağlamadan 440 V uygulanmıştır.

Bu durumda rotor devirleri stator döner alan hızına çok yakındır ve kayma (s) 0'a çok yakın olacağından R_y dirençleri çok yüksek değerler alır. Yük direnci çok yüksek olduğunda rotor akımı oldukça küçük olur ve Şekil 6'teki eşdeğer devrede rotor devresi ihmal edilerek oluşturulmuştur.

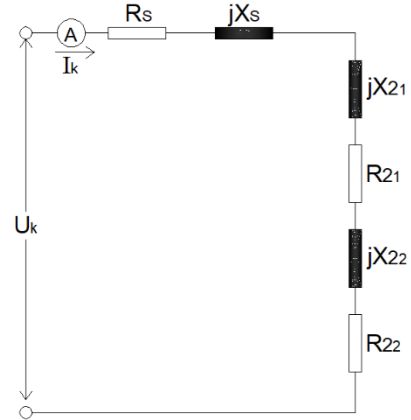


Şekil 6. Boşta çalışma eşdeğer devresi

Bu deneyde uygulanan gerilim seviyesi ve rotor hızı yüksek olacağından demir kaybı (X_m) ve sürtünme kaybı (R_c) değerleri bulunmuştur. Şekil 3'deki bağlı olan ölçü aletleri ile gerekli veriler alınarak Tablo 2'de verilmiştir.

C. Kilitli Rotor Deneyi

Bu deneyde her iki motorun milleri sabitlenerek dönmesi engellenmiştir. Bu durumda kayma (s) 1'e eşit olacağından eşdeğer devredeki mil yükünü gösteren R_y dirençleri 0 (sıfır) olur. Dolayısıyla eşdeğer devre Şekil 7'da gösterildiği gibi çizilir.



Şekil 7. Kilitli rotor eşdeğer devre

Bu devrenin eşdeğer empedansı minimum seviyede olacağından, motora nominal gerilim uygulanırsa, çok yüksek akım çeker ve böyle bir sonuç motorun sargılarının yanmasına sebep olur. Bunun için motora gerilim kademeli olarak uygulanmış ve hat akımı nominal değere ulaştığında ölçülen değerler kaydedilerek Tablo 2'de verilmiştir.

Bu deneyde uygulanan gerilim düşük ve rotor hareketsiz olduğundan demir ve sürtünme kayıpları ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Buna göre elde edilen değerler ile stator kaçak reaktansı ve rotor direnç ve kaçak reaktansı bulunmuştur.

III. BULGULAR

Asenkron motorlar çift rotor tek stator şeklinde birleştirdikten sonra yapılan deney sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Boşta çalışma, kilitli rotor ve DC deney verileri

Ölçüm	Boşta Çalışma	Çift Rotor Kilitli	DC Deney
U_H (V)	440	117	$U_{DC}=49,1$ V
I_H (A)	2,1	3,37	
n_{r1} (d/d)	1496	0	$I_{DC}=3,31$ A
n_{r2} (d/d)	1496	0	
P (W)	194	396	
$\cos\phi$	0,122	0,57	

Şekil 4’teki eşdeğer devrede R_s stator rezistif direncini bulmak için, Tablo 2 ‘de verilen DC deney verileri kullanılarak yeni prototip motorun bir faz R_s direnci aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanır. Üçgen bağlantı kullanıldığından;

$$R_{eş} = \frac{2}{3} R_{dc} \quad \text{olur. } R_{dc} \text{ bir fazın rezistif direncidir.}$$

$$R_{eş} = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} = \frac{49,1}{3,31} = \frac{2}{3} R_{dc} \quad R_{dc} = 22,25 \Omega$$

$$R_{s(etkin)} = 1,11 * 22,25 = 24,7 \Omega \quad \text{olur. [10]}$$

Boşta çalışma deneyinde uygulanan gerilim ve ölçülen değerler Tablo 2 ‘de ve bir faz eşdeğer devresi Şekil 6 ‘te verilmiştir.

Üçgen bağlı olduğundan;

$$I_b = \frac{I_H}{\sqrt{3}} = \frac{2,1}{\sqrt{3}} = 1,21 \text{ A/f}$$

$$P_{bf} = \frac{194}{3} = 64,66 \text{ W/f} \quad \text{olur.}$$

$$P_{cu} = I_b^2 * R_s = 1,21^2 * 24,7 = 36,16 \text{ W}$$

$$P_{bf} = P_{cu} + P_{Fe+sürt}$$

$$P_{Fe+sürt} = 64,66 - 36,16 = 28,5 \text{ W} \quad \text{tır.}$$

Uyartım devresinin gerilimi (E_s), U_b geriliminden stator direnç ve kaçak reaktansına düşen gerilim, vektörel çıkartılarak bulunmuştur.

$$E_s = 413,67 \text{ V}$$

$$P_{Fe+sürt} = \frac{E_s^2}{R_c} \quad R_c = \frac{413,67^2}{28,5} = 6 \text{ k}\Omega$$

$$I_w = \frac{E_s}{R_c} = \frac{413,67}{6000} = 0,069 \text{ A}$$

$$I_m = \sqrt{I_b^2 - I_w^2} = \sqrt{1,21^2 - 0,069^2} = 1,208 \text{ A}$$

$$X_m = \frac{E_s}{I_m} = \frac{413,67}{1,208} = 342,44 \Omega$$

$$R_c = R_{c1} + R_{c2} \quad \text{ve} \quad R_{c1} = R_{c2} = \frac{6k}{2} = 3 \text{ k}\Omega$$

$$X_m = X_{m1} + X_{m2} \quad \text{ve}$$

$$X_{m1} = X_{m2} = \frac{342,44}{2} = 171,22 \Omega$$

Olur.

Kilitli rotor deneyinde uygulanan gerilim ve ölçülen değerler Tablo 2 ‘de, bir faz eşdeğer devresi Şekil 7 ‘da verilmiştir.

Burada;

$$R_k = R_s + R_2 \quad X_k = X_s + X_2 \quad \text{‘dir.}$$

$$U_k = U_H = 117 \text{ V} \quad I_k = \frac{I_H}{\sqrt{3}} = \frac{3,37}{\sqrt{3}} = 1,94 \text{ A/f}$$

$$P_k = \frac{396}{3} = 132 \text{ W/f}$$

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{117}{1,94} = 60,31 \Omega$$

$$P_k = I_k^2 * R_k \quad R_k = \frac{132}{1,94^2} = 35,07 \Omega$$

$$R_k = R_s + R_2 \quad R_2 = 35,07 - 24,7 = 10,37 \Omega$$

$$R_2 = R_{21} + R_{22} \quad \text{‘dir. Motorlar denk olduğundan;}$$

$$R_{21} = R_{22} = \frac{10,37}{2} = 5,185 \Omega \quad \text{olur.}$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{60,31^2 - 35,07^2} = 49,06 \Omega$$

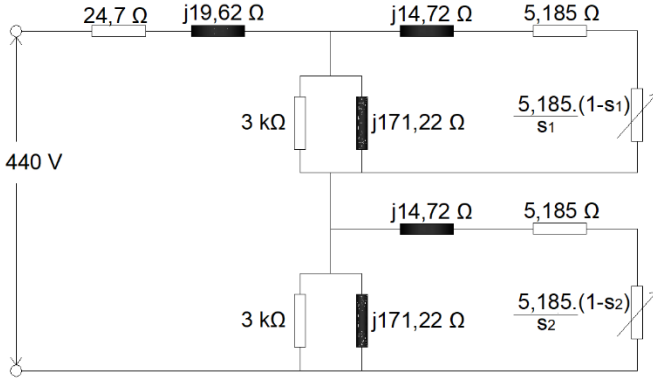
Kullanılan motorlar B sınıfı olduğundan;

$$X_s = 0,4 * X_k = 0,4 * 49,06 = 19,62 \Omega$$

$$X_2 = 0,6 * X_k = 0,6 * 49,06 = 29,44 \Omega$$

$$X_{21} = X_{22} = \frac{29,44}{2} = 14,72 \Omega \text{ olur.}$$

Çift rotor tek stator motor eşdeğer devre parametreleri deney sonuçlarına göre hesaplanarak Şekil 8’de görüldüğü gibi eşdeğer devre üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 8. Çift rotor tek stator motor eşdeğer devre

Demir kayıplarının toplam haline geldiği ve motor kayma parametrelerinin birbirlerinden etkilendiği eşdeğer devre üzerinden anlaşılmaktadır.

IV. TARTIŞMA

Çift rotor tek stator özellikle bir asenkron motor tasarlarırken her bir motorun faz akımı dikkate alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Motorlara zarar vermemek için faz akımının nominal değeri aşmaması sağlanmıştır.

Her bir motorun fazlarını seri bağladıktan sonra, üç faz bobini üçgen şekilde bağladık, boşta ve yükte 440 V gerilim uyguladık. Bu gerilimi uygulamamızın sebebi tekil olarak her bir motorun faz başına uygulanabilecek gerilim seviyesinin 220 V olmasıdır.

Çift rotor tek stator motorun eşdeğer devresinde, kayıplar (demir ve sürtünme kayıpları) ile rotor devreleri birlikte olmak üzere, her rotor birbirine seri olacak şekilde çizilmiştir [3]. Motorlarda rotor devri değiştiğinde, kaymadan dolayı $\cos\phi$ 'nin değiştiği bilinmektedir. Bu motorda her iki rotor birbirinden bağımsız döndüğünden, farklı hızlarda, rotor devrelerinin $\cos\phi$ 'leri farklılık gösterir. Aynı zamanda hızları farklı olduğundan sürtünme kayıpları da farklılık gösterecektir. Bu farklılıklar rotor devrelerinin gerilim düşümelerini

etkileyecektir. Bu durumların ayrıca test edilmesi gerekir.

V. SONUÇLAR

Çalışmada tek stator yatağı içerisinde bağımsız dönebilen iki rotorlu bir asenkron motor incelenmiş ve kurgulanan bir deney setinde bu özel yapıdaki motora ait eşdeğer parametreler hesaplanılmıştır. Eş değer devre her iki rotor parçası ve tek statorun durumunu tek bir eşdeğer devre üzerinden gösterimin içermektedir. Bu çalışmada çift rotor tek stator motorun eşdeğer devresinde, kayıplar (demir ve sürtünme kayıpları) ile rotor devreleri birlikte olmak üzere parametreler hesaplanmıştır. Demir kayıplarının motor davranışına etkisini eşdeğer devre üzerinden görmek mümkündür. Her bir rotor parçasına ait kayma değeri diğer rotorun karakteristiğinden etkilendiğinde rotorların dönme değerleri birbirinden etkilenmektedir.

TEŞEKKÜR

Deney ve test uygulamalarında laboratuvar ve teknik ekipman desteklerini esirgemeyen Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Ermenek Meslek Yüksekokulu Müdürlüğüne teşekkürlerimi borç bilirim.

KAYNAKLAR

- [1] Kartal, Mehmet Yasin. *3 faz asenkron motor verimlilik ve yenileme karlılık analizi*. MS thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- [2] McElveen, Robbie, and Mike Melfi. "Locked-rotor test methods for induction motors investigated." *IEEE Transactions on Industry Applications* 52.4 (2016): 3595-3602.
- [3] Sinha, S., et al. "Design and performance of a single stator, dual rotor induction motor." *2007 7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems*. IEEE, 2007.
- [4] Kelly, Donald H. "Double-rotor induction motor." *IEEE Transactions on Power apparatus and systems* 7 (1969): 1086-1092.
- [5] Platt, D., and B. H. Smith. "Twin rotor drive for an electric vehicle." *IEE Proceedings B (Electric Power Applications)*. Vol. 140. No. 2. IET Digital Library, 1993.
- [6] Kelecý, Patrick M., and Robert D. Lorenz. "Control methodology for single stator, dual-rotor induction motor drives for electric vehicles." *Proceedings of PESC'95-Power Electronics Specialist Conference*. Vol. 1. IEEE, 1995.

- [7] AKDEMİR, Bayram, and Abdullah ÜRKMEZ. "REALISATION OF A SPEED ADJUSTMENT SYSTEM FOR SMALL THREE PHASE SQUARREL CAGE ASYNCHRONOUS MOTORS." *Selçuk-Teknik Dergisi* 10.1 (2011): 63-73.
- [8] Gastli, A. "Identification of induction motor equivalent circuit parameters using the single-phase test." *IEEE Transactions on Energy Conversion* 14.1 (1999): 51-56.
- [9] PEŞİNT, M. Adnan, ÜRKMEZ, Abdullah, (2004), *Elektrik Makinaları II*. Ankara: Milli Eğitim Basımevi
- [10] Çolak, İlhami. *Asenkron motorlar*. Nobel Yayın dağıtım, 2001.