



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Manyetik Yataklı Güneş Motoru Tasarımı ve Aydınlık Düzeyi – Hız Karakteristiğinin Belirlenmesi

Gökhan ALTINTAŞ^{a,*}, Ahmet Kubilay ATALAY^a, Derya Ahmet KOCABAŞ^a, Mehmet Onur GÜLBAHÇE^a

^a*Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik - Elektronik Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE*

** Sorumlu yazarın e-posta adresi: altintasgo@itu.edu.tr*

ÖZET

Günümüzde elektrik motorları günlük hayatın gereksinimlerini karşılamak amacıyla hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Endüstriyel uygulamalara yönelik olarak üretilen birçok elektrik motoru olduğu gibi eğitim ve araştırma amaçlı olarak üretilen elektrik motorları da bulunmaktadır. Manyetik yataklı güneş motoru da bunlardan birisidir. Bu çalışmada manyetik olarak yataklanmış ve enerji ihtiyacını üzerindeki güneş hücreleriyle karşılayan bir elektrik motorunun tasarım ölçütleri açıklanmış, bu ölçütlere göre motor imalatı gerçekleştirilmiştir. Motorun doğal ışık kaynağı olan güneş altındaki performansı değerlendirildikten sonra yapay ışık kaynağı kullanılarak motor üzerindeki aydınlık düzeyi ile motorun hızının değişimi ölçülerek aydınlık düzeyi – hız karakteristiği elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Güneş enerjili motor, Manyetik yataklı motor*

Magnetically Levitated Solar Motor Design and Determination of Illuminance – Speed Characteristics

ABSTRACT

Nowadays, electrical machines are used in many applications to meet human beings typical requirements. There are so many electrical machine types to be used in industrial applications as well as for research purposes. Magnetically levitated solar motor is one of them. In this study, magnetically levitated and solar powered electric motor design is described, based on the descriptions the motor is manufactured. Performance analysis of motor at natural source is evaluated via sun and then illuminance is changed by using artificial source to obtain illuminance – speed characteristics.

Keywords: *Solar motor, Magnetically levitated motor*

I. GİRİŞ

ELEKTRİK motorları elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinalar olarak endüstride ve evsel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir elektrik motoru sabit ve dönen olmak üzere iki temel kısımdan oluşur. Bu kısımlar da kendi içinde elektrik akımını taşıyan sargılar, manyetik akıyı ileten bileşenler ve diğer yapılar olarak alt kısımlara ayrılır. Gerek alternatif akımla, gerekse doğru akımla çalışan elektrik motorları mevcuttur [1-3]. Günümüzde, elektrik enerjisinin bulunduğu ve mekanik enerjiye ihtiyaç duyulan her alanda kullanılan elektrik motorları insan hayatının vazgeçilmez bir unsuru olmuş durumdadır. Sürekli gelişen teknoloji ile birlikte elektrik motorlarının verimini artırma, imalatını kolaylaştırma, maliyetini düşürme çabalarının yanı sıra farklı ve sıra dışı motor tasarımları üzerine çalışmalar da mevcuttur. Kendine has bir yapısı olan manyetik yataklı güneş motorları da bu sıra dışı tasarımlardan birisidir.

Elektrik motorlarını güneş enerjisiyle işletme fikri ilk olarak Daryl Chapin tarafından 1962 yılında ortaya atılmıştır [4]. Daryl Chapin tarafından yapılan ilk güneş motoru ışık komütasyonludur ve manyetik yataklama kullanılmamıştır. 1994 yılında ise Larry Spring California-Mendocino'daki atelyesinde manyetik yataklamayı da geliştirerek motoru "Larry Spring'in Manyetik Yataklanmış Güneş Enerjili Fırçasız Mendocino Motoru" olarak adlandırmış olup günümüzde bu motor kısaca Mendocino motoru olarak da anılmaktadır [5]. Literatürde motorun 4 hücreli kare kesitli ve 6 hücreli altıgen kesitli tipleri mevcuttur [5-6].

Manyetik yataklı güneş motorları mekanik yüklerin sürülmesinden ziyade eğitim ve araştırma amaçlı olarak kullanılabilir. İlgili çekici tasarımları sayesinde reklam uygulamalarında kullanılabilir. Büyük güçlerde üretilmesi durumunda çatılara yerleştirilerek havalandırma amaçlı olarak kullanılmaları mümkündür. Ayrıca uydularda sürekli mekanik dönüş hareketinin ihtiyaç duyulduğu yörünge kontrol uygulamalarında da kullanılabilirler.

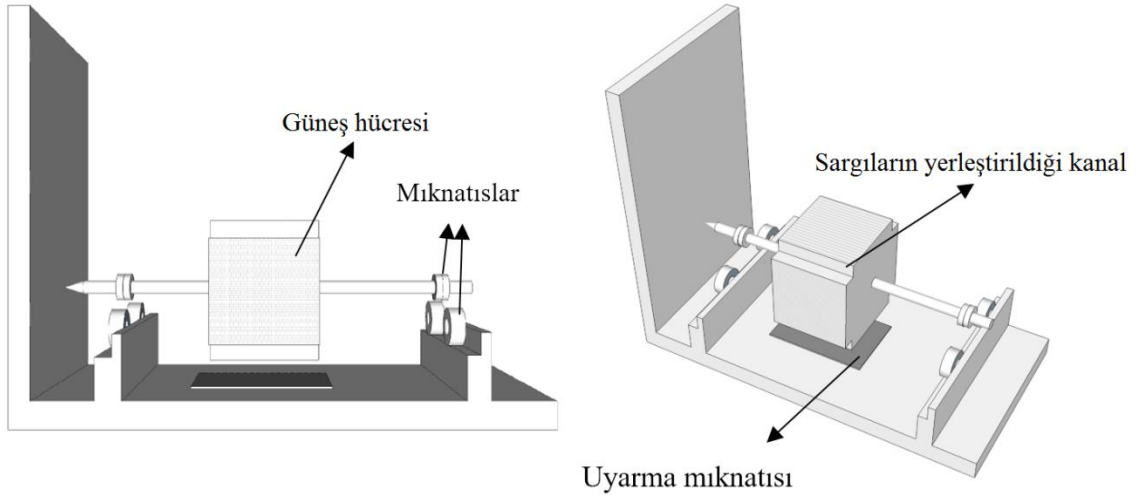
Bu çalışmada literatürde tasarım aşamaları, hesap kriterleri ve işletme büyüklüklerinin belirlenme yöntemi verilmemiş olan Mendocino motorunun tasarımı iyileştirilmiş ve 4 hücreli kare kesitli bir manyetik yataklı güneş motoru tasarlanarak imal edilmiştir. Öncelikle motorun tasarım aşamaları adım adım açıklanmıştır. Daha sonra bu tasarım adımlarına uygun olarak motor imal edilmiştir. İmal edilen motorun doğal ışık kaynağı güneş altında başarıyla çalıştığı gözlenmiştir. Son olarak ise motorun performansını değerlendirebilmek için yapay ışık kaynağı kullanılarak çeşitli aydınlık düzeyi değerlerine göre motorun aydınlık düzeyi – hız karakteristiği elde edilmiştir. Motorun hızı bir optik takometre ile ölçülmüştür.

II. ÇALIŞMA İLKESİ

Manyetik yataklı güneş motoru basit olarak dış yüzeyi güneş hücreleriyle kaplanmış hücre sayısı kadar kenarlı çokgen kesitli bir rotordan, rotora sarılmış sargılardan ve manyetik yataklama için üzerinde güçlü kalıcı mıknatıslar bulduran iki taşıyıcı kaideden oluşmaktadır. Kaidelerde bulunan mıknatıslar rotor milinin her iki ucuna yerleştirilmiş kalıcı mıknatıslarla etkileşime girerek manyetik yataklamayı sağlar. 4 hücreli tasarımda rotorda iki sargı bulunur ve bunlar rotor yüzeyine yayılmış güneş hücrelerine bağlanır. Güneş hücrelerinde üretilen elektrik enerjisi rotordaki sargılardan akım akmasına yol açar. Bu akım ise sargı düzlemine dik bir manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan, kaideler

arasında tabana yerleştirilmiş bir kalıcı mıknatısın manyetik alanıyla etkileşerek motorun dönmesini sağlar. [7]. Şekil 1’de manyetik yataklı güneş motorunun temel çizimi verilmiştir.

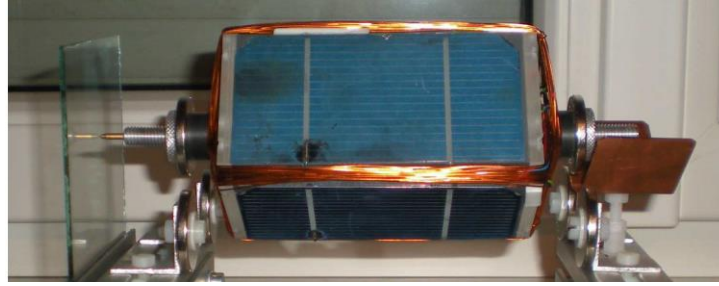
Esasında motor yapısal olarak ana hatlarıyla dönen kısımdan (rotor) oluşmakta olup duran kısmı (stator) tabana yerleştirilmiş olan kalıcı mıknatıstır. Rotor ise rotor gövdesi, mil, sargılar ve güneş hücrelerinden oluşmaktadır. Güneş hücreleri ve sargılar rotor gövdesi üzerine sabitlenir. Manyetik yataklamanın daha kolay gerçekleşebilmesi için rotorun mümkün oldukça hafif olması gerekir. Bu nedenle gerek rotor gövdesi, gerekse mil hafif malzemelerden imal edilmelidir. Rotor gövdesi ahşaptan imal edilebileceği gibi plastik cam veya akrilik gibi temin edilmesi ve istenilen şekile sokulması kolay ve hafif malzemelerden de imal edilebilir. Sargılar bu hafif ve manyetik olmayan malzemeler etrafına sarıldığından tasarlanan motor “Hava çekirdekli” olarak addedilebilir. Benzer şekilde mil de alüminyum, plastik veya ahşap malzemeden üretilebilir. Bu tip motorların güç seviyesi düşük olduğu ve tasarım değişkenleri sınırlı olduğundan sürtünme kayıplarını azaltmak adına manyetik yataklama kullanılır. Kullanılan manyetik yataklama motor milinin eksen boyunca hareketine kısıt getirmediği için motorun kararlı çalışmasına destek olmak için motor yatay eksenine dik bir yüzey yerleştirilir ve bu yüzeye rotor milinin bir ucu temas ettirilir. Milin yüzeye temas eden ucu bu noktadaki sürtünmeyi en aza indirmek amacıyla sivri olmalıdır. Rotor gövdesinin ve milin, gerek milin uçlarında gerekse kaidelerde bulunan ve manyetik yataklamayı sağlayan mıknatıslarla etkileşime girmesini önlemek için, ahşap, plastik cam veya alüminyum gibi manyetik olmayan malzemelerden yapılması oldukça önemlidir. Manyetik yataklı güneş motorları hücrelerde üretilen güç ile motorun ağırlığı arasındaki dengeye bağlı olacak şekilde istenilen boyutlarda üretilebilir.



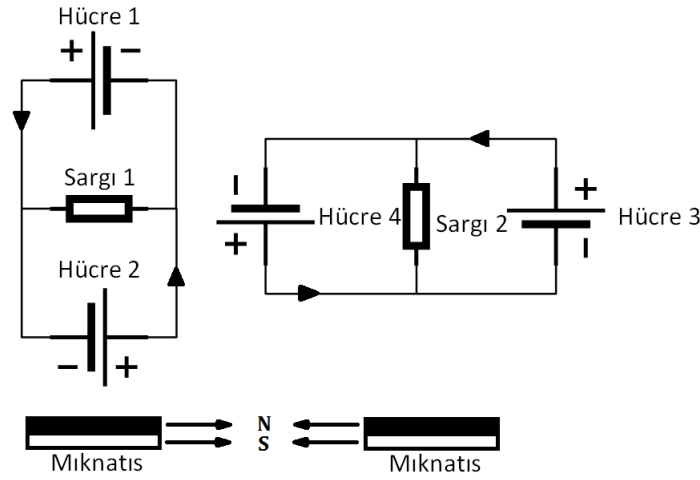
Şekil 1. Manyetik yataklı güneş motoru

Rotor, mekanik elemanlar haricinde güneş hücreleri ve sargılardan oluşur. Sargılar manyetik olmayan rotor gövdesine yerleştirilir. Sargıların yerleştirilmesi ve sarım yönleri, hücrelerden herhangi biri en yüksek ışık şiddetine maruz kaldığında bu hücreye bağlı bobinin bir bobin yanı, kaideler arasına yerleştirilen kalıcı mıknatısa en yakın olacak ve dönüş yönünde kuvvet oluşturacak şekilde hazırlanır. Diğer hücre ve bobinlerin yerleşimi buna uygun biçimde sıra ile eş açılarla kaydırılarak belirlenir. Güneş hücreleri ise ihtiyaç duyulan güce yetecek şekilde büyüklük, güç ve ağırlık temel alınarak seçilir.

4 hücreli tip motorların rotor gövdesinde iki sargı bulunur. Bu sargılar rotor gövdesinin alt-üst yüzeylerinin köşegenleri ve yanal yüzeylerinin kenarları üzerinden geçecek şekilde sarılır. Böylece iki sargı çaprazlama olarak yanal yüzeylerin kenarlarına yerleştirilmiş olur. Şekil 3'te rotor sargılarının ve hücrelerin yerleşimi verilmiştir [7]. Şekil 4'te gösterildiği şekilde her sargının yanal yüzeylerde karşılıklı olarak birbirine bakan iki güneş hücresine birden bağlanması gerekir. Hücrelerden herhangi birisi üst konumdayken ve güneş ışığına maruz kaldığında gerilim üretir. Bu gerilim hücrenin bağlı olduğu sargıdan akım akmasını ve sargının bir manyetik alan oluşturmasını sağlar. Sargı sarım yönleri ve bağlantı biçimleri oluşan manyetik alan ile uyarma mıknatısının manyetik alanının kutuplarının aynı olması prensibine göre hazırlanır. Böylece sargının alanı ile uyarma mıknatısının alanı birbirini iter ve rotorda bir dönme etkisi belirir. Başka bir deyişle hücrenin en yüksek gerilimi ürettiği konumda akım taşıyan bobine ait bobin yanı yerde konumlandırılmış mıknatısın manyetik alanı içinde teğetsel kuvvete maruz kalır ve kuvvet sayesinde motor yatakladığı ekseninde döner. Bu etkiyle dönüş sonrasında sargıyı enerjilendiren hücrenin güneş ışığı ile bağlantısını keser. Dönüş etkisiyle bir sonraki hücre üst konuma gelir. Bu hücre ise diğer sargıyı enerjilendirir. Bu şekilde arka arkaya sürekli bir dönüş etkisi oluşur ve rotor döner.



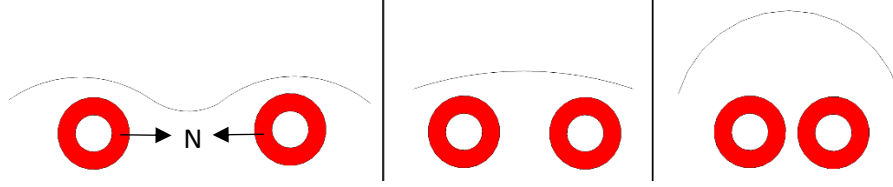
Şekil 3. Rotor sargıları



Şekil 4. Hücrelerin iki sargıya bağlantı şeması

Motorun manyetik yataklamasını sağlayacak mıknatısların yüksek B-H karakteristik değerlerine sahip olması gerekir. Bu amaçla manyetik yataklama için yüksek koherzif kuvvet ve kalıcı mıknatıslanma değerlerine sahip neodyum demir bor (NdFeB) mıknatıslar kullanılır. Kaideye yerleştirilmiş iki mıknatısın bileşke alanı ile mildeki mıknatısın manyetik alanı birbirine karşılık getirilerek manyetik yataklama sağlanır. Manyetik yataklama için mıknatısların doğru konumlandırılması çok önemlidir [7]. Mıknatısların birbirine yakın yerleştirilmesi dengesiz bir yataklamaya yol açarak en küçük

salınımlarda dahi motorun eksenden çıkmasına neden olur. Mıknatısların uzak konumlandırılması ise zayıf bir bileşke alan oluşturur ve yetersiz yataklama ile sonuçlanır. Şekil 5’te manyetik yataklama durumları verilmiştir. Verilen şekilde mıknatısların sayfa düzleminden dışarı yönde olan kutupları aynıdır. Milin iki ucuna yerleştirilmiş mıknatıslar sayesinde manyetik dengeleme sağlanır. Milin her iki ucu için de taşıyıcı katedeki mıknatıslar ile milin bahsi geçen ucundaki mıknatısın aynı kutupları birbirleri ile karşılıklı gelmelidir.



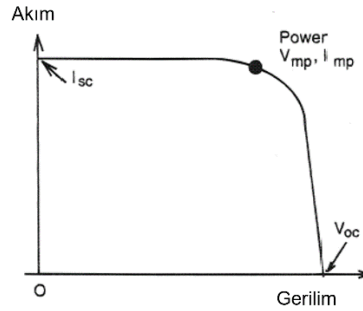
Şekil 5. Bileşke manyetik alanın mıknatıs konumlarıyla ilişkisi

III. TASARIM ve İMALAT

Tasarım aşamaları güneş hücresinin seçimi, seçilen hücreye göre işletme noktasının belirlenmesi bu noktaya göre bobin tasarımı, sarılması ve motorun bütünleşik hale getirilmesidir.

A. GÜNEŞ HÜCRELERİ

Motor tasarımında kullanılacak hücre seçiminde hücrelerin akım–gerilim karakteristiğinden faydalanılır. Şekil 5’te bir güneş hücresinin akım gerilim karakteristiği verilmiştir [8].



Şekil 5. Güneş hücresi akım – gerilim karakteristiği ve en büyük güç noktası

Grafik üzerinde yer alan I_{sc} hücre kısa devre akımını, V_{oc} ise hücre açık devre gerilimini göstermektedir. Bu değerler hücre üreticisi tarafından verilmektedir. Hücrenin en büyük güç noktası ise grafik üzerinde yer alan P_{max} ile gösterilmiştir. Hücreden alınan gücün en yüksek değerini aldığı bu nokta hücrenin en iyi çalışma noktası olarak adlandırılır. Motorda kullanılacak hücrelerin seçiminde motorun en yüksek güç noktasında çalışabilmesi amacıyla en büyük güç noktasına ait işletme büyüklükleri olan V_{mp} ve I_{mp} noktaları dikkate alınmalı ve bu değerlere karşı düşen direnç değeri hesaplanmalıdır [9]. Bobinden geçen akım değerinin bu akım olabilmesi için bobin direncinin hesaplanan direnç değeri ile aynı olması gereklidir.

Motorun yapısına uyumlu olacak şekilde piyasadaki birçok güneş hücresi incelenmiş ve akım gerilim karakteristikleri doğrultusunda en iyi çalışma noktasındaki direnç değerleri ve en yüksek güç değerleri belirlenmiştir. Tablo 1’de incelenen hücrelerin verileri listelenmiştir. Bu tablodaki güneş hücrelerinin tamamı monokristal yapıdadır bu seçimin nedeni monokristal yapıdaki güneş hücrelerinin veriminin polikristal yapıdaki güneş hücrelerine göre daha yüksek olmasıdır [10].

Tablo 1. İncelenen güneş hücrelerinin verileri

Hücre		V_{mp} (V)	I_{mp} (A)	R (Ω)	P (W)
V_{oc}	I_{sc}				
0.5V	830mA	0,48	0,83	0,57	0,398
0.5V	280mA	0,48	0,28	1,71	0,134
1.0V	415mA	0,98	0,42	2,36	0,406
1.0V	175mA	0,98	0,18	5,60	0,171
2.0V	200mA	1,92	0,20	9,60	0,384
1.5V	135mA	1,42	0,14	10,51	0,191
2.0V	92mA	1,92	0,09	20,86	0,176
2.0V	45mA	1,92	0,05	42,66	0,086
5.0V	100mA	5,00	0,10	50,00	0,500
3.0V	45mA	3,50	0,05	77,78	0,157
3.0V	25mA	2,88	0,03	115,20	0,072
4.0V	20mA	3,88	0,02	194,00	0,077
4.2V	100mA	4,10	0,10	41,00	0,410

Güneş hücrelerinin akım–gerilim karakteristiklerinin dışında önemli olan bir başka ölçüt ise hücrelerin boyutlarıdır. Güneş hücreleri rotor yüzeyini tamamen kaplayacağı için, Şekil 1’de de görüleceği üzere hücre boyutları doğrudan motorun boyutlandırılmasında da belirleyici etken olmaktadır. Bu nedenle Tablo 2’de de Tablo 1’de karakteristikleri verilen hücrelerin boyutları verilmiştir.

Tablo 2. İncelenen güneş hücrelerinin boyutları

Hücre		Boy (mm)	Genişlik (mm)	Derinlik (mm)
V_{oc}	I_{sc}			
0.5V	830mA	60	60	2,8
0.5V	280mA	60	30	2,8
1.0V	415mA	60	60	2,8
1.0V	175mA	65	36	3,0
2.0V	200mA	60	60	2,5
1.5V	135mA	70	50	3,0
2.0V	92mA	61	61	3,0
2.0V	45mA	31	31	3,0
5.0V	100mA	100	40	2,5
3.0V	45mA	54	43	3,0
3.0V	25mA	40	20	3,0
4.0V	20mA	40	26	2,8
4.2V	100mA	60	60	2,0

5V 100 mA gerilim-akım değerine sahip hücrelerin P_{max} değeri daha yüksek olmasına rağmen boyutları da büyük olması nedeniyle seçilmemiştir. Tüm bu veriler ışığında motorun imalatında hem geometrik boyutlarının uygunluğu, hem de yüksek en büyük güç değeri sebebi ile 4,2V, 100 mA

gerilim-akım değerlerine sahip hücresinin kullanılmasına karar verilmiştir.. Şekil 6’da motorun imalatında kullanılan güneş hücrelerinin görüntüsü verilmiştir.

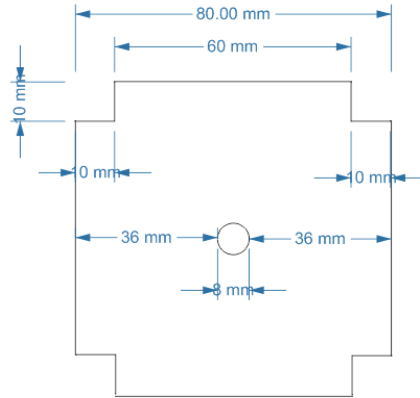


Şekil 6. Motorun imalatında kullanılan güneş hücreleri

B. ROTOR GÖVDESİ

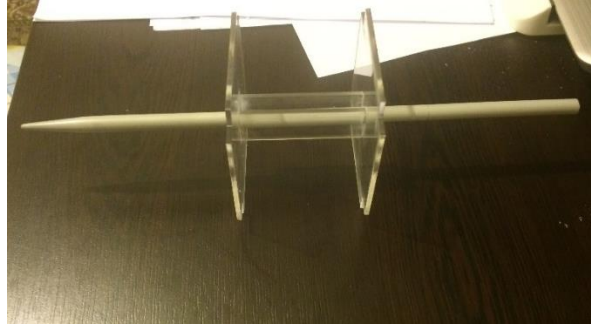
Mil için alüminyum malzeme, rotor gövdesi için ise $1,18 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğa sahip şeffaf cam malzeme kullanılmıştır. Bu seçimler daha önceki bölümde izah edildiği üzere rotoru olabildiğince hafif üretebilmek amacıyla yapılmıştır.

Şekil 1’de de görüldüğü gibi rotor gövdesi esasen köşeleri eksiltilmiş bir kare prizma şeklindedir. Rotor gövdesinin yan yüzeylerine güneş hücreleri yerleştirilecektir. Seçilen hücrenin boyutları $60 \times 60 \text{ mm}$ ’dir. Rotor gövdesi de bu ölçülere uygun olarak tasarlanmıştır. Şekil 7’de rotor gövdesinin kesit çizimi ölçülendirilmiş olarak verilmiştir.



Şekil 7. Rotor gövdesinin kesidi

Milin uzunluğu 27 cm, çapı 8 mm olarak alınmış olup ve mil rotor gövdesinin tam ortasından geçmektedir. Bu husus ise azami önem taşımaktadır. Milde bir eksen kaçıklığı olması durumunda çalışma esnasında salınımlar meydana gelir ve manyetik yataklama başarısız olur. Ayrıca, daha önce de belirtildiği üzere, rotorun kaideye temas ettiği noktadaki sürtünmeyi azaltmak için milin bir ucu sivri olacak şekilde hazırlanmıştır. Şekil 8’de tamamlanan rotor gövdesi ve mil verilmiştir.



Şekil 8. Tamamlanan rotor gövdesi

C. SARGILAR

Seçilen güneş hücresinin en iyi çalışma değerleri olan en büyük güç noktasında çalışabilmesi için sargılardan her birinin direnç değerinin en büyük güç noktasındaki işletme değerlerini sağlaması gerekir. Bu değer Tablo 1’de verilen 41Ω olması gerekir. Bu değeri sağlayacak bobin hesabı için, tasarlanan rotor gövdesinin boyutlarına göre sargının ortalama sarım uzunluğu ve bu direnç değerini sağlamak için gerekli olan sarım sayısı hesaplanır.

Ortalama sarım uzunluğu rotor gövdesinin boyutları ve sargının geçtiği yol temel alınarak kolayca hesaplanabilir. Sargılar rotor alt ve üst yüzeylerinin köşegenleri ile yanal yüzeylerinin kenarları üzerinden geçtiği için bu uzunlukların toplanması ile ortalama sarım uzunluğu 29cm olarak hesaplanmıştır.

Sonrasında ise bir sarımın direnci hesaplanarak, belirlenen direnç değerini sağlamak için gerekli sarım sayısı hesaplanır. Sargıda kullanılan iletkenin özgül direnci ρ , ortalama sarım uzunluğu l , iletken kesidi ise q ile gösterilmek üzere Eşit. 1’de verilen bağıntıyla bir sarımdaki direnç değerleri hesaplanabilir.

(1)

$$R = \frac{\rho \times l}{q}$$

Sargılarda bakır iletken kullanıldığı için sargı direnci hesabında da bakırın özgül direnci olan $0.0172 \Omega \times mm^2/m$ değeri kullanılmıştır. Kullanılacak olan iletken kesiti içinse çeşitli seçenekler mevcuttur. Buna göre Tablo 3’te kullanılacak iletken çapına göre bir sarımdaki direnç değerinin hesaplarına yer verilmiştir.

Tablo 3. İletken çapı değişimi ile direnç değişimi

İletken Çapı (mm)	Bir Sarımdaki Direnç (Ω)
0,81	0,0096
0,64	0,0155
0,51	0,0244
0,40	0,0396
0,30	0,0705

0,25	0,1016
0,20	0,1587
0,16	0,2480
0,13	0,3757
0,10	0,6350
0,05	2,5403

Tablo 3'ten görüleceği üzere iletken çapı azaldıkça bir sarımdaki direnç değeri artmaktadır bu da istenen 41 Ω değerine daha az sarım sayısı ile ulaşabileceğini göstermektedir. Örneğin, 0,05 mm çaplı iletken ile 41 Ω direnç değerine 16 sarım ile ulaşılırken 0,25 mm çaplı iletken ile sarım sayısı 403 olmaktadır.

Aynı sargı direncini farklı sarım sayısı ve iletken kesidi ile sağlamak mümkün olduğundan, seçim kriteri olarak üretilecek amper-sarım değeri temel alınır. Manyetomotor kuvveti olarak da bilinen Amper-Sarım büyüklüğünün hesaplanması N sarım sayısı, I akım olmak üzere Eş. 2'te gösterilmiştir.

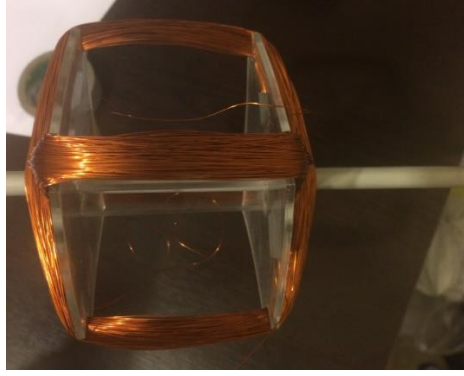
$$F = N \times I \quad (2)$$

Tablo 4'te incelenen güneş hücreleri için 0,25 mm çaplı iletken kullanılması durumunda elde edilecek amper-sarım büyüklüğü değerlerine yer verilmiştir.

Tablo 4. Amper-Sarım büyüklüğünün sarım sayısı ve akım ile değişimi

Güneş Hücresi	Sarım Sayısı	Manyetomotor Kuvveti (A.S)
0.5V 830mA	5,691	4,723
0.5V 280mA	16,870	4,723
1.0V 415mA	23,239	9,644
1.0V 175mA	55,110	9,644
2.0V 200mA	94,474	18,894
1.5V 135mA	103,513	13,974
2.0V 92mA	205,379	18,894
2.0V 45mA	419,886	18,894
5.0V 100mA	492,054	49,205
3.0V 45mA	765,418	34,443
3.0V 25mA	1133,694	28,342
4.0V 20mA	1909,172	38,183
4.2V 100mA	403,484	40,348

Tablo 4'ten çıkarılabilecek sonuç amper-sarım büyüklüğünün akım ve sarım sayısına bağlı olmasından dolayı yüksek sarım sayısının her durumda yüksek manyetomotor kuvveti sağlayamayacağıdır. Tablodan elde olunacak bir başka sonuç ise seçilen 4.2V 100mA'lik güneş panelinin diğer panellere nazaran daha yüksek amper-sarım değeri sağladığıdır. Bu bağlamda seçilen hücrenin bu kriterde de uygun olduğu doğrulanmış olur. 0.25 mm çaplı iletken seçilerek bir sargı 403 sarımdan oluşacaktır. Şekil 9'da sargıların sarılması gösterilmiştir.



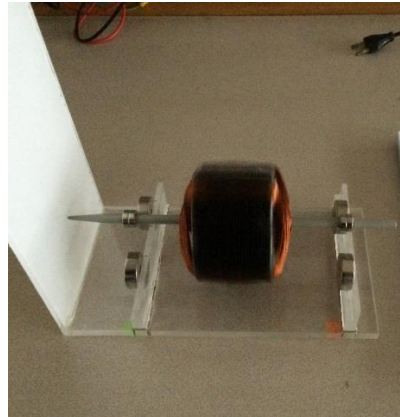
Şekil 9. Sargı sarımı

D. MANYETİK YATAKLAMA ve UYARMA MIKNATISI

Manyetik yataklama için kalıcı manyetik akı yoğunluğu 1.3T olan neodyum demir bor (NdFeB) mıknatıslar kullanılmıştır. Manyetik yatağın taşıyıcı mıknatısları için 4 adet özdeş, mil iki ucuna yerleştirilmek üzere 2 adet özdeş mıknatıs gereklidir. Mil üzerinde kullanılan mıknatıslar 15 mm dış çap, 8 mm iç çap ve 5 mm kalınlıkta seçilmiştir. Taşıyıcı kaidede 25 mm dış çap, 8,5 mm iç çap ve 10 mm kalınlıkta dört adet mıknatıs kullanılmıştır. Uyarma mıknatısı olarak ise taşıyıcı kaideye 30 mm x 10 mm boyutlarında 2 mm kalınlığında blok neodyum demir bor (NdFeB) mıknatıs yerleştirilmiştir.

D. MOTOR İMALATI

Seçilen malzemeler ve üretilen parçalar en son aşamada birleştirilmiş ve rotor gövdesi, taşıyıcı ve yanal kaideler, uyarma mıknatısı bir araya getirilmiştir. Motorun işletmeye hazır son hali Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Tamamlanan motor yapısı

IV. DENEYSEL ÇALIŞMA

Motorun imalatı tamamlandıktan sonra öncelikle doğal ışık kaynağı olan güneş altındaki performansına izlenmiştir. Işık altında rotorun manyetik yatak üzerine bırakılmasıyla taşıyıcı kaideye

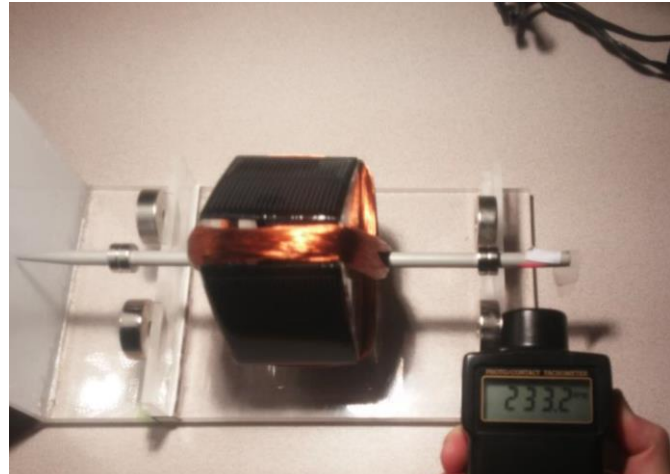
konumlandırılmış uyarma mıknatısının etkisiyle kendi kendine yol alabildiği gözlenmiştir. Güneş ışığı ile yapılan deneyler esnasında ölçülen en yüksek stabil hız 164 d/dk olmuştur.

Doğal güneş ışığı ile değişimi yakalamak zor olduğundan, farklı ışık şiddetlerinde motorun davranışını gözlemleyebilmek için yapay ışık kaynağı kullanılarak deney tekrarlanmıştır. Şekil 11’de deneyde kullanılan yapay ışık kaynağı gösterilmiştir. SG-800 model numaralı, güneş tabancası da denilen ve aydınlatma cihazlarının bazı testlerinde ya da aydınlatma laboratuvarlarında eğitim amaçlı bulunan bu kaynakla yapılan deneyler esnasında ulaşılan en yüksek stabil hız 240 d/dk olmuştur. Bu hızdan sonra motorun manyetik yataktan çıkarak devrildiği gözlenmiştir.



Şekil 11. Kullanılan yapay ışık kaynağı

Motorun yüzeyine yayılmış güneş hücreleri üzerindeki aydınlık düzeyi değiştikçe hücrelerde üretilen gerilimin değeri de değişmektedir. Motorun tasarımından kaynaklı olarak, testler esnasında sargı uçlarının dışarı alınarak güneş hücrelerinde üretilen gerilimin ölçülmesi mümkün değildir. Bu nedenle motorun hız karakteristiğinin çıkarılması için Şekil 12’de gösterilen deney düzeneği kurularak güneş hücrelerinin üzerindeki aydınlık düzeyi değiştirilmiştir.



Şekil 12. Deney düzeneği

Işık kaynağının ışık şiddeti sabit kabul edilerek, kaynak motordan uzaklaştıkça E aydınlık düzeyi, I ışık şiddeti, r uzaklık olmak üzere aydınlık düzeyinin Eş 4’te verildiği gibi uzaklıkla karesel olarak azalması beklenir.

$$E = \frac{I}{r^2}$$

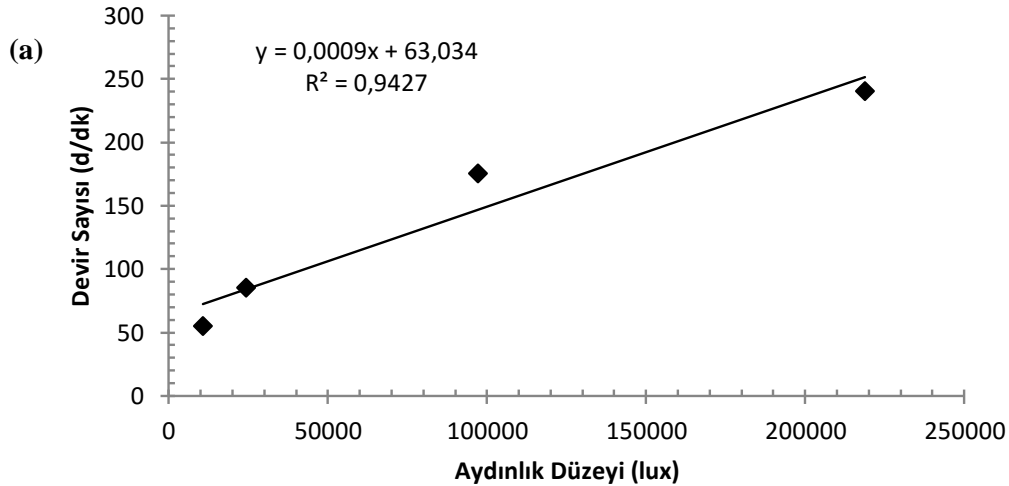
Buna göre ilk önce kullanılan lüxmetrenin en fazla 3000 lüx gösterebilmesinden dolayı ışık kaynağı 180 cm uzaklıktan lüxmetreye tutularak aydınlık düzeyi 2700 lüx olarak ölçülmüştür. Daha sonra ışık kaynağı motora farklı uzaklıklardan tutularak gerekli hız ölçümleri alınmıştır. Elde edilen ölçümler Tablo 5'te verilmiştir.

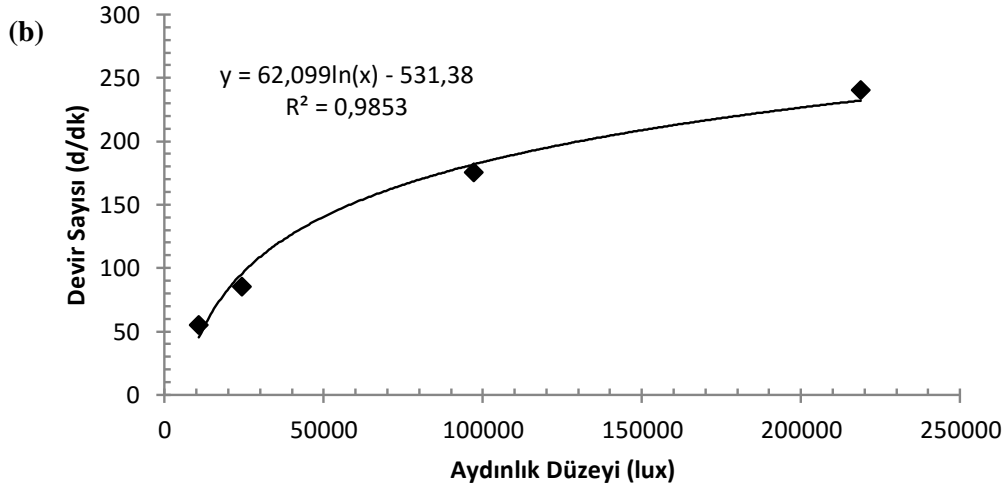
Tablo 5'te yer alan veriler ışığında, aydınlık düzeyi arttıkça motorun hızının artışı izlenmiştir. Bunun sebebi daha yüksek aydınlık düzeyinde hücrelerde daha fazla gerilim üretilmesi, sargılardan daha fazla akım akması ve dolayısıyla daha fazla kuvvet oluşmasıdır. Motorun en yüksek çalışma hızını kısıtlayan üç etken vardır. Birincisi manyetik yataklamanın dayanıklılığı, ikincisi ise güneş hücrelerinin karakteristiğidir. Üçüncüsü motorun ağırlığı ve eylemsizliğidir. Güneş hücrelerinde üretilen en yüksek gerilim ve akım değeri bellidir. Bu nedenle motorun hızının her zaman bir üst sınırı olacaktır. Diğer yandan motorun hızı arttıkça meydana gelen salınımlardan dolayı manyetik yataktan devrilmesi nedeniyle de motorun hızı kısıtlanır.

Tablo 5. Aydınlık düzeyinin değişimi ile devir sayısının değişimi

Kaynak Uzaklığı (cm)	Aydınlık Düzeyi (lux)	Devir Sayısı (d/dk)
20	218700	240
30	97200	175
60	24300	85
90	10800	55

Tablo 5'teki verilere göre elde edilen aydınlık düzeyi – hız karakteristiği Şekil 11'de yer almaktadır.





Şekil 11. (a) Aydınlik düzeyi-hız karakteristiği (doğrusal) (b) Aydınlik düzeyi-hız karakteristiği (logaritmik)

Elde edilen sonuçlara en küçük kareler yöntemi kullanılarak ayrı ayrı doğrusal ve logaritmik eğriler uydurulmuştur. Bu eğrilere ait korelasyon ve belirleme katsayıları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Verilere uydurulan eğrilerin korelasyon ve belirleme katsayıları

Eğri Tipi	Korelasyon Katsayısı (R)	Belirleme Katsayısı (R^2)
Doğrusal	0.9709	0.9427
Logaritmik	0.9926	0.9853

Tablo 6’da da görüldüğü üzere verilere logaritmik eğri uydurulması durumunda korelasyon ve belirleme katsayılarının daha yüksek olması nedeniyle aydınlık düzeyi ve hız arasındaki ilişkinin logaritmik eğriyle daha iyi ifade edilebileceği kanaatine varılmıştır.

V. SONUÇ

Bu çalışmada öncelikle manyetik yataklı güneş motorunun çalışma ilkesi ve tasarımı açıklanmış, sonrasında ise bu bilgiler ışığında imal edilen bir motorun deneysel sonuçlarına yer verilmiştir. Farklı güneş hücreleri içinden amaca uygun güneş hücresinin seçim kriterleri verilmiş, işletme büyüklükleri, en büyük güçte çalışma noktası, geometrik boyutlar açısından nasıl değerlendirme yapılması gerektiği uygulamalı örnek ile açıklanmıştır. Uygulamalı çalışmada hücrelerdeki aydınlık düzeyinin artışı ile motorun hızlandığı gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara doğrusal ve logaritmik eğri uydurulmuş ve korelasyon ve belirleme katsayılarının kıyaslanması sonucunda logaritmik eğrinin daha makul olduğu, aydınlık düzeyi ile hızın arasında logaritmik ilişki olduğu anlaşılmıştır. İmal edilen motor milinden yüklenemediğinden güç ve moment ölçümü yapılamamıştır. İleriye dönük çalışmalarda motorun matematiksel modeli ve uyarma alanıyla hız arasındaki ilişkisi incelenebilir.

TEŞEKKÜR: Yazarlar, bu çalışmaya verdiği destek için Dr. Cavit Fatih Küçüktezcan'a teşekkür eder.

VI. KAYNAKLAR

- [1] J.S. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 4. Baskı, McGraw Hill, (2005)
- [2] A.E. Fitzgerald, C. Kingsley, Jr., (S.D. Umans), *Electric Machinery*, 6. Baskı, McGraw-Hill, (2002)
- [3] N. Güzelbeyoğlu, *Elektrik Makinaları 1-2*, Birsen Yayınevi, (2005)
- [4] D.M. Chapin, *Bell System Science Experiment No. 2: Energy from the Sun*, 4.Baskı, Waverly Press,, (1962)
- [5] Z. Novák and M. Hofreiter, *Mendocino motor and a different approaches to its control*, **MECHATRONIKA, 2012 15th International Symposium**, Prag – Çek Cumhuriyeti, (2012), pp. 1-6.
- [6] H. Mitterhofer, E. Marth, G.Bramerdorfer, *Aufbau eines Mendocino-Motors*, Yüksek Lisans Tezi, Johannes Kepler Üniversitesi, Linz – Avusturya, (2010)
- [7] T. Rachcha, A. Gaikwad, N. Dhopare, *Magnetically Levitated Solar Motor*, **2015 2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)**, Yeni Delhi – Hindistan, (2015), pp. 233-240.
- [8] M. Watt, (2011) **DOI: 10.1615/AtoZ.s.solar_cells.**
- [9] R. Mesenger, J. Ventre, *Photovoltaic Systems Engineering*, CRC Press, (2000)
- [10] Yenilenebilir Enerji Müdürlüğü, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (*Erişim tarihi: 28th of April, 2016*).