

ENDÜSTRİYEL UYGULAMALAR İÇİN YENİ BİR PIC MİKRODENETLEYİCİ TABANLI ELEKTROMANYETİK KARIŞTIRICI

Osman KALENDER

Teknik Bilimler Bölümü, Kara Harp Okulu Dekanlığı, Bakanlıklar, Ankara
okalender@kho.edu.tr

(Geliş/Received: 13.12.2006; Kabul/Accepted: 21.08.2007)

ÖZET

Bu çalışmada PIC mikrodenetleyici denetimli yeni bir döner manyetik karıştırıcı sistem tasarlanmıştır. Tasarım, aksel akılı sürekli mıknatıslı senkron motor yapısındaki bir döner manyetik alan kaynağı(stator), ısıtıcı, karıştırılacak sıvının bulunduğu kap ve karıştırma işlemi sağlayan manyetik balık olarak adlandırılan farklı büyüklüklerdeki mıknatıs çubuklardan(rotor) oluşmaktadır. Döner manyetik alan kaynağı, yıldız bağlanmış üç sargı grubundan oluşmaktadır. Döner manyetik alanın sağlanması için bu sargılar, aralarında 120° derece faz farkı olan kare dalga biçimindeki gerilimlerle beslenmiştir. Bu sargıların besleme geriliminin farklı karıştırma devirleri için gerekli olan frekansının ayarlanması işlemi de geliştirilen PIC mikrodenetleyici denetimli yeni bir besleme devresi ile sağlanmaktadır. Bu makale kapsamında, döner manyetik karıştırıcıyla ulaşılabilecek dönü hızı büyüklüğünün hangi parametrelere bağlı olduğu, karıştırıcının besleme ünitesinin çalışma ilkeleri ve bu sistemle yapılan deneylerin sonuçları ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Döner manyetik alan, manyetik karıştırıcı, manyetik balık, faz farkı, aksel akılı sürekli mıknatıslı motor.

A NEW TYPE OF PIC MICROCONTROLLER BASED ELECTROMAGNETIC STIRRER FOR INDUSTRIAL USE

ABSTRACT

In this research, a microcontroller based rotating magnetic stirrer system has been developed. The system consists of a rotating magnetic field source in the form of an axial flux permanent magnet motor (stator), a heater, a container and magnetic stir bars (rotors) of different size. Magnetic stirrer system comprises three groups of coils. These coils are fed with square wave voltages of 120° phase difference to create the rotating magnetic field. Adjustment of the frequencies required for different stirring rotations of the supply voltage applied to these coils is done through a new supply circuit with developed PIC microcontroller. Within the scope of this study, the following are discussed in detail: the parameters that determine the magnitude of the rotational speed that can be obtained by the rotating magnetic stirrer, the operating principles of the stirrer supply unit, and the results of the experiments conducted using this system.

Keywords: Rotating magnetic field, electromagnetic stirrer, magnetic stir bar, phase difference, axial flux permanent magnet motor.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

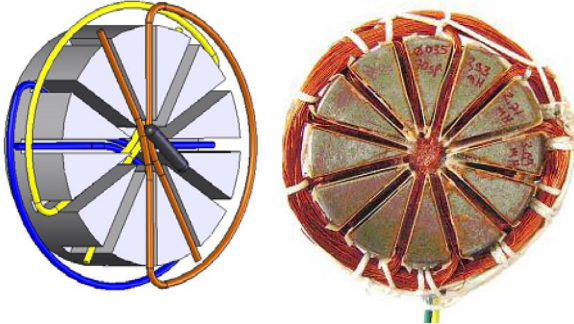
Günümüz endüstriyel uygulamalarında, viskozitesi farklı sıvı ürünlerin karıştırılmasında geleneksel elektrik motorunun rotoruna sabitlenmiş mıknatıs çiftlerinden faydalanılmaktadır. Motorlu karıştırıcılar olarak adlandırılan bu tip manyetik karıştırıcılarda, karıştırma işlemi yapan çubuk mıknatıslar, motora

bağlı mıknatıs çiftinin dönmesine bağlı olarak dönmekte ve içerisinde bulunduğu sıvıyı karıştırmaktadır. Fakat özellikle düşük hızlarda sıvı içindeki mıknatıs, dönme merkezini terk ederek dönmeyi sağlayan mıknatıs çiftinden birine yapışmaktadır. Bu durum, karıştırma işleminin niteliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

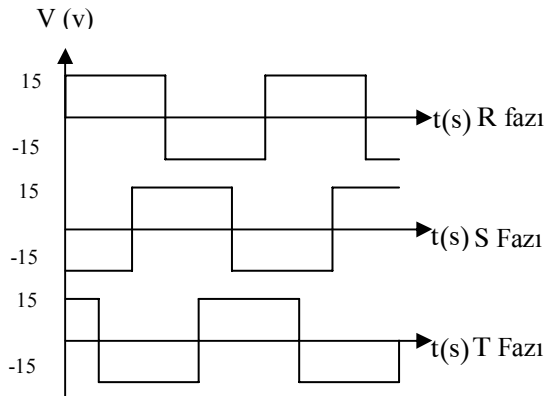
Son zamanlarda bu sistemlerden farklı olarak karıştırma işlemi için çizgisel ya da döner manyetik karıştırıcılar kullanılmaktadır[1]. Bu çalışmada ekonomik ve kullanım kolaylığına sahip PIC mikrodenetleyici denetimli besleme ünitesi, yeni bir döner manyetik karıştırıcı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu manyetik karıştırıcının çalışma prensibi ve denetimi bu çalışma kapsamında ayrıntılı olarak irdelenmiş ve bazı deneysel sonuçlar verilmiştir.

2. DÖNER MANYETİK KARIŞTIRICI (ROTATING MAGNETIC STIRRER)

Geliştirilen döner manyetik karıştırıcının yapısı ve görünümü Şekil 1'de görülmektedir. Çalışma prensibi, eksenel akılı sürekli mıknatıslı senkron motor çalışma prensibinin benzeridir[2-6]. Sistemde R, S, T ile isimlendirilen yarım adım olarak sarılmış üç sargı yer almakta ve bu sargılar 120° faz farkına sahip kare dalga gerilimle beslenerek döner manyetik alan meydana getirilmektedir. Bu besleme gerilimlerinin zamana göre değişimi de Şekil 2'de verilmektedir.



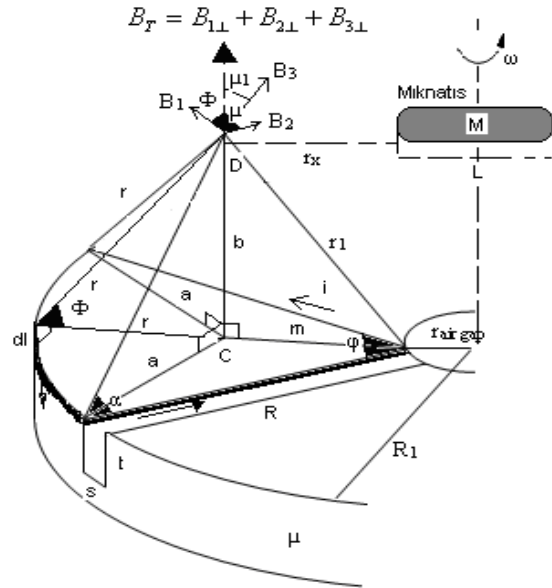
Şekil 1. Döner manyetik karıştırıcının yapısı ve görünümü (Figure 1. The structure and appearance of the rotating magnetic stirrer)



Şekil 2. Besleme gerilimlerinin zamana göre değişimi. (Time-change graph for supply voltages.)

Şekil 2'den de görüleceği gibi herhangi bir t anında, üç faza ait gerilimlerden ikisi aynı yönlü iken üçüncüsü farklı yönlüdür. Ancak, gerilimlerdeki bu duruma rağmen Şekil 1 incelendiğinde, herhangi bir t anında, sargı akımlarının yarısı merkeze doğru hareket ederken, diğer yarısının da merkezden

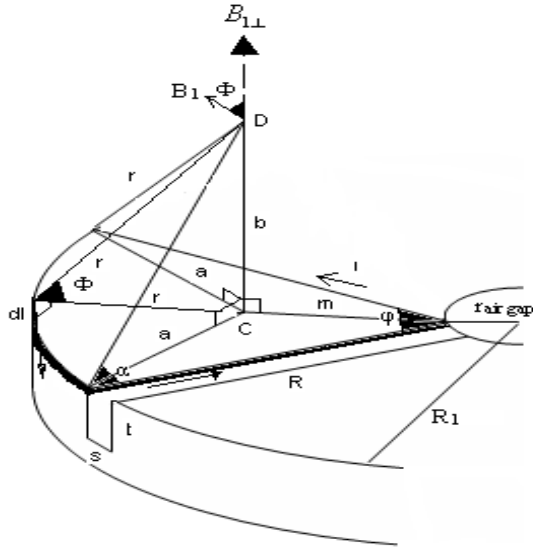
uzaklaştığı görülecektir. Bu nedenle bu sargıların sarıldıkları daire biçimli demir gövdenin bir yarısı N , diğer yarısı da S kutbu gibi davranacaktır. Besleme geriliminin değişimine bağlı olarak sargılardan geçen akımların yönleri sürekli olarak değişecektir. Akımdaki bu sıralı ve düzenli döner değişimin etkisiyle, manyetik alan vektörü de saat ibreleri ya da zıttı yönünde dönecektir. Böyle bir döner manyetik alanın içine manyetik balık bulunduğu, manyetik alan vektörünün açısal hızıyla aynı hızda dönecektir. Tabii ki manyetik balığın bu döner manyetik alan vektörünü takip edebilmesi, manyetik balığın kazanacağı dönme kinetik enerjisinin büyüklüğüne de bağlıdır. Dolayısıyla döner manyetik alanın manyetik balığa kazandıracakı manyetik enerji, dönme kinetik enerjisinden küçük olursa, manyetik balık döner manyetik alan vektörünü takip edemez ve savrulur. Böyle bir alanda manyetik balığın kazanabileceği açısal hız sınırlıdır. Bu sınırı tespit edebilmek için, ilk önce Şekil 3'teki gibi üzerine N tane sarım sarılmış döner manyetik alan karıştırıcı parçasının D gibi bir noktada oluşturacağı manyetik alanın büyüklüğünü bulmak gerekmektedir.



Şekil 3. Manyetik karıştırıcının bir parçasının toplam manyetik alanının gösterimi. (Total magnetic field of one section of the magnetic stirrer)

Şekil 3'te de görüldüğü gibi D noktasındaki mıknatısın dönmesinde etkili olan manyetik alan, üzerinden akım geçen R uzunluktaki iki parça telin manyetik alanının dik bileşeni ile ϕ derecelik yay şeklindeki tel parçasının manyetik alanının dik bileşeni toplamına eşittir. Şimdi sırasıyla bu manyetik alanları ve daha sonrada D noktasındaki manyetik alanların dik bileşenlerinin toplam büyüklüğünü veren bağıntıyı tespit edelim.

Şekil 4'teki gibi üzerinden akım geçen ϕ derecelik yay şeklindeki tel parçasının D noktasında



Şekil 4. ϕR_1 uzunluğunda içinden akım geçen telin D noktasındaki manyetik alanı (Magnetic field of ϕR_1 long wire with current at D point.)

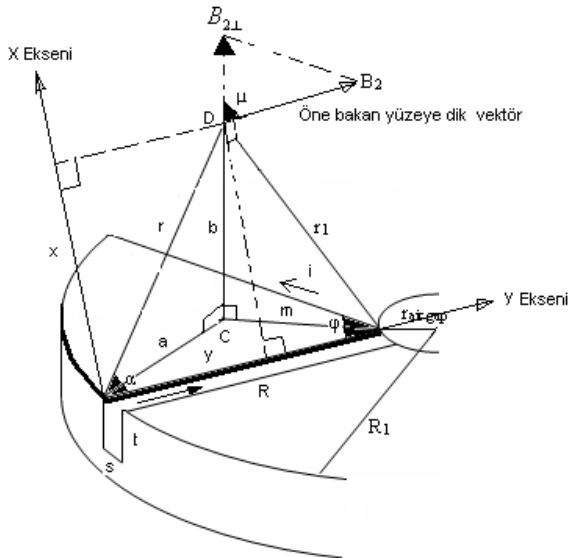
oluşturacağı manyetik alanın dik bileşeni ($B_{1\perp}$) için Biort Savart yasası uygulanırsa, bu alan

$$dB_{1\perp} = \frac{mi dl}{4pr^2} = \frac{mi dl}{4pr^2} \cos f$$

$$B_{1\perp} = \frac{mia}{4p(a^2 + b^2)^{3/2}} \int dl \quad (1)$$

$$= \frac{mia}{4p(a^2 + b^2)^{3/2}} j R_1$$

bağıntısıyla bulunabilir.



Şekil 5. R sonlu uzunluğunda içinden akım geçen telin D noktasındaki manyetik alanı (Magnetic field of R finite long wire with current at D point)

Sonlu uzunluktaki bir telin akımın giriş noktasından r kadar uzaklıktaki bir noktada oluşturduğu manyetik alan;

$$B = \frac{mi}{4px} \frac{y}{(x^2 + y^2)^{1/2}} - \frac{(y - R)}{((y - R)^2 + x^2)^{1/2}} \quad (2)$$

ile verilir[7,8]. O halde Şekil 5'teki $B_{2\perp}$ manyetik alan büyüklüğünü bulmak için bu bağıntı uygulanırsa, x ve y yerin $x = r \sin a$, $y = r \cos a$ yazılmalıdır. r ise şekilden

$$r_1^2 = r^2 + R^2 - 2rR \cos a$$

$$r^2 = a^2 + b^2 \text{ ve } r_1^2 = m^2 + b^2$$

$$a^2 = R^2 + m^2 - 2mR \cos(j/2) \quad (3)$$

$$r = \frac{R - m \cos(j/2)}{\cos a}$$

bulunur. O halde, $B_{2\perp}$ için,

$$B_2 = \frac{mi}{4p[R - (m \cos j/2)] \tan a}$$

$$\frac{\cos a}{((m \cos j/2)^2 + ((R - (m \cos j/2))^2 \tan^2 a))^{1/2}}$$

$$B_{2\perp} = B_2 \cos m \vee \cos m = \frac{((r^2 \sin^2 a) - b^2)^{1/2}}{r \sin a} \quad (4)$$

$$B_{2\perp} = \frac{mi((r^2 \sin^2 a) - b^2)^{1/2}}{4pr[R - (m \cos j/2)] \tan a \sin a}$$

$$\frac{\cos a}{((m \cos j/2)^2 + ((R - (m \cos j/2))^2 \tan^2 a))^{1/2}}$$

bağıntısı elde edilir. Bağıntıda,

$$\cos a = \frac{R - (m \cos j/2)}{r}$$

$$r^2 \sin^2 a = r^2 - (R - (m \cos j/2))^2 \quad (5)$$

$$\tan^2 a = \frac{r^2 - (R - (m \cos j/2))^2}{R - (m \cos j/2)^2}$$

$$r^2 = a^2 + b^2$$

yazılırsa;

$$B_{2\perp} = \frac{mi(a^2 - (R - (m \cos j/2))^2)^{1/2}}{4p(a^2 + b^2 - (R - (m \cos j/2))^2)^{1/2}}$$

$$\frac{R - (m \cos j/2)}{(a^2 + b^2)^{1/2}} \cdot \frac{(m \cos j/2)}{(m \cos j/2)^2 + (a^2 + b^2 - (R - (m \cos j/2))^2)^{1/2}}$$

$$(6)$$

olarak yazılır.

Tablo1. Açısal hızın değerini etkileyen değişkenler ve çalışmamızdaki değerleri (Variables affecting the value of angular velocity, and corresponding values in our study)

Değişken	Değişken adı	Çalışmamızdaki Değerleri
m	Dilimin köşesinden yüzey alan merkezine olan uzaklık	0,014 m
\square	Dilimin açısı	30^0
b	Yüzey alan merkezinden balığın konum eksenine olan dik mesafe	0,004 m
R	Dilimin yarıçapı	0,0273 m
s	Kanal kalınlığı	0,03 m
t	Kanal derinliği	0,044 m
n	Tel çapı	0,0004 m
a	Dilim yayının yüzey alan merkezine olan mesafesi	0,0143 m
R_I	Karıştırıcı diskinin yarıçapı	0,035 m
k	Faz sayısı	3
B	Balığın manyetik alanı (sırasıyla; küçük, orta, büyük)	(0,981-0,702-0,694) $\times 10^{-3}$ T
r_x	Balık eksenindeki manyetik alan merkezinin balığa uzaklığı(sırasıyla; küçük, orta, büyük)	(0,01523- 0,01273-0,00923) m
M	Mıknatısın kütlesi (sırasıyla; küçük, orta, büyük)	(0,00204, 0,00271-0,00391) kg
L	Mıknatısın boyu (sırasıyla; küçük, orta, büyük)	(1,4- 2,2- 2,8) cm
\square	Stirrer nüvesinin manyetik geçirgenliği	0,000028 H/m
i	Akım	2 A
$r_{air\ gap}$	İç boşluğu yarı çapı	0.00773 m

Tablo 2. Manyetik balıkları etkileyen tork, manyetik enerji ve açısal hıza ait hesaplanan değerler. (The calculated values showing the torc affecting the stir bars, magnetic energy and angular velocity.)

Balık Boyu	Tork, τ (N.m)	Enerji, w_m (J)	Açısal Hız, w (rad/dak)
Küçük (Tip1)	$10,703 \times 10^{-6}$	$18,538 \times 10^{-6}$	2001,455
Orta (Tip2)	$7,644 \times 10^{-6}$	$13,240 \times 10^{-6}$	1027,278
Büyük (Tip3)	$5,562 \times 10^{-6}$	$9,634 \times 10^{-6}$	521,080

$B_{3\perp}$ manyetik alanı için de Denklem 2 uygulanırsa ve x ile y yerine $x = r_1 \sin a_1$, $y = r_1 \cos a_1$, r_1 yerine ise şekilden

$$r^2 = r_1^2 + R^2 - 2r_1R \cos a_1$$

$$r_1 = \frac{m \cos(j/2)}{\cos a_1}$$

yazılırsa;

$$B_3 = \frac{ni}{4p [m \cos j / 2] \tan a_1} \quad (7)$$

$$\cos a_1 = \frac{(m \cos j / 2) - R}{((m \cos j / 2) - R)^2 + ((m \cos j / 2)^2 \tan^2 a_1)^{1/2}}$$

$$B_{3\perp} = B_3 \cos m_1 \text{ ve } \cos m_1 = \frac{((r_1^2 \sin^2 a_1) - b^2)^{1/2}}{r_1 \sin a_1} \quad (8)$$

$$B_{3\perp} = \frac{ni((r_1^2 \sin^2 a_1) - b^2)^{1/2}}{4pr_1 [m \cos j / 2] \tan a_1 \sin a_1}$$

$$\cos a_1 = \frac{(m \cos j / 2) - R}{((m \cos j / 2) - R)^2 + ((m \cos j / 2)^2 \tan^2 a_1)^{1/2}}$$

formülü de edilir. Bu formülde

$$\cos a_1 = \frac{(m \cos j / 2)}{r_1}$$

$$r_1^2 \sin^2 a_1 = r_1^2 - (m \cos j / 2)^2$$

$$\tan^2 a_1 = \frac{r_1^2 - (m \cos j / 2)^2}{(m \cos j / 2)^2}$$

$$r_1^2 = m^2 + b^2$$

yazılırsa

(9)

$$B_{3^{\circ}} = \frac{m_i(m \sin j / 2)}{4p \phi^2 + (m \sin j / 2)^2 \mu} \cdot \frac{(m \cos j / 2) - R}{\phi(m^2 + b^2)^{1/2} - \phi(m \cos j / 2) - R^2 + \phi^2 + (m \sin j / 2)^2 \mu} \quad (10)$$

Mıknatısın dönmesinde etkili olan D noktasındaki toplam manyetik alan ise;

$$B_T = \frac{10st}{n^2} (B_{1^{\circ}} + B_{2^{\circ}} + B_{3^{\circ}}) \quad (11)$$

ifadesiyle bulunabilir. Bu büyüklükteki bir alana manyetik balığı yerleştirdiğimizde, manyetik torkun etkisiyle manyetik balık, alan doğrultusuna gelecektir. Döner manyetik alan ϕ derecelik açıyla yön değiştirdiğinde manyetik balık da eşzamanlı olarak alanı takip edecektir. Şekil 7'de alanın dönmesiyle manyetik balığın hareketi gösterilmektedir.

Manyetik balığın toplam manyetik alandan kazanacağı manyetik enerjinin büyüklüğü ise,

$$W_m = m_m B_T \cos j \quad (12)$$

bulunabilir[9]. Manyetik balığa etkileyen manyetik tork büyüklüğü ise;

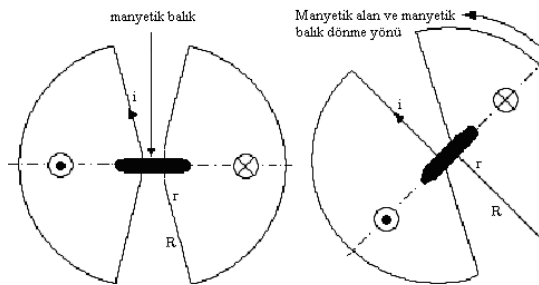
$$t = m_m B_T \sin j \quad (13)$$

ile bulunabilir. Burada m_m balığın manyetik momenti olup, $m_m = 2Br_x^2 L$ 'ye eşittir. Buna karşılık manyetik balığın dönme kinetik enerjisi ise,

$$W_{dönme} = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (14)$$

bağıntısıyla bulunabilir. Böyle bir manyetik balığın kütle merkezinden geçen bir eksenle göre eylemsizlik momenti $I = mL^2 / 12$ 'dir [10]. O halde $W_{dönme}$ enerjisi,

$$W_r = \frac{ML^2 \omega^2}{24} \quad (15)$$



Şekil 6. Döner manyetik karıştırıcı üzerine konan balığın hareketi. (The rotation of the magnetic stir bar placed on the rotating magnetic stirrer)

ile bulunur. Manyetik balığın savrulmaması için $W_{dönme} \leq W_{manyetik}$ olmalıdır. O halde manyetik balığın döner manyetik karıştırıcı üzerinde ve kütle merkezi ekseninde savrulmadan dönebilmesi için ;

$$\omega \leq \sqrt{\frac{48BB_T r_x^2 \cos j}{ML}} \quad (16)$$

olmalıdır. Tablo 1'de bu açısal hızın değerini etkileyen değişkenler ve çalışmamızdaki değerleri

Tablo 3. Balık boylarına bağlı hızlar (Rotation speeds regarding the sizes of stir bars)

Balık boyu	Boy çarpanı	İlk hızlar (dev/dk)	Yazılımın kullandığı ilk hızlar (dev/dk)	En büyük hız lar (dev/dk)
Tip 3	3	333	222	500
Tip 2	2	500	333	1000
Tip 1	1	1000	666	2000

görülmektedir.

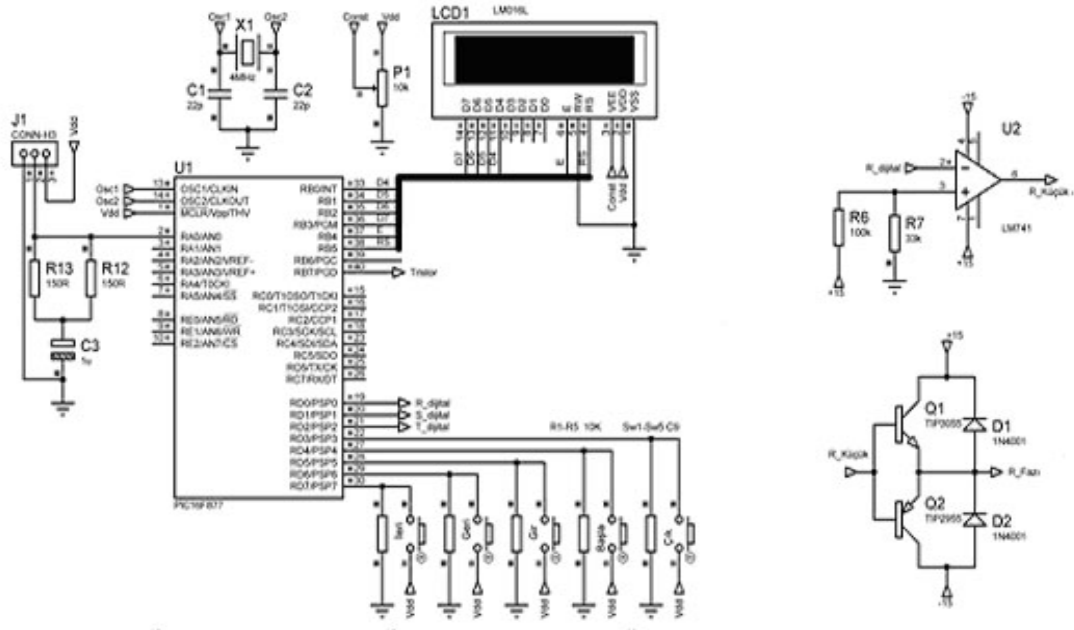
Tablo 1'deki değişkenlerin değerleri Denklem 11'de yerine yazıldığında $B_T = 3,3598$ T bulunur. Manyetik balıkları etkileyen tork, manyetik enerji ve açısal hızla ait hesaplanan değerler ise, Tablo 2'de gösterilmiştir.

3. BESLEME VE DENETİM ÜNİTESİ (POWER SUPPLY AND CONTROL UNIT)

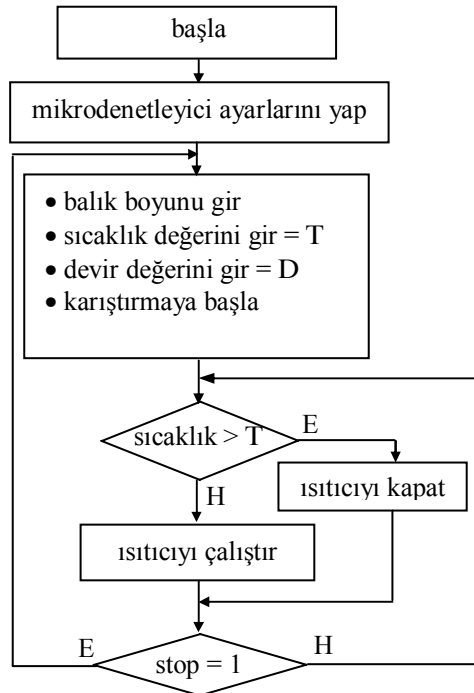
Döner manyetik karıştırıcının besleme ünitesinin elektronik devre şeması Şekil 7'de görülmektedir. Üniteye enerji verildiğinde kullanıcıdan manyetik balık boyu bilgisini istemektedir. Geliştirilen denetim sistemi, üç farklı boyda manyetik balık ile çalışacak biçimde tasarlanmıştır. Manyetik balık boyu girildikten sonra, eğer karıştırılmak istenen sıvının aynı zamanda ısıtılması da isteniyorsa, istenen sıcaklık değeri girilmelidir.

Sistem, bir sonraki aşamada kullanıcının, "karıştırma devri (ω)" bilgisini girmesini istemektedir. Tasarımda, karıştırma devri kullanılan manyetik balık boyuna bağlanmıştır. Küçük boy için dakikadaki en büyük devir 2000, orta boy için 1000 ve büyük boy için de 500 olarak sınırlandırılmıştır. Yine tüm balık boyları için sisteme girilebilecek dakikadaki en küçük devir değeri de 60'dır.

Bu ön ayarlardan sonra karıştırma işlemi başlamaktadır. Bu işlemin akış şeması Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Besleme – Denetim ünitesinin elektronik devre şeması. (The control unit and the power supply electronic circuit scheme)



Şekil 8. Besleme – Denetim ünitesinin işleyiş akış şeması. (Flow chart for the Supply-Control unit)

3.1. Karıştırma Alt Programının İşleyişi (Operation of the Stirring Subprogram)

Şekil 9’da Karıştırma alt programının işleyiş şeması gösterilmektedir. Yazılımda devir sabiti olarak “sayı” adlı bir sabit hesaplanmaktadır. Çalışma frekansı bu sabit ile belirlenmekte ve bu sabitin alacağı değere bağlı olarak devir değişmektedir. Ayrıca yazılımda değeri balık boyu ile değişen adım, periyot gibi değişkenler de hesaplanmakta ve bu sayede

karıştırıcının çalışmaya başlayacağı ilk devir değerinin hedef devir değerine en kısa sürede ulaşılması amaçlanmaktadır. Tablo 3’de balık boyuna göre yazılımın mücade ettiği ilk çalışma hızları ve deneysel olarak bulunan en büyük hızlar gösterilmektedir.

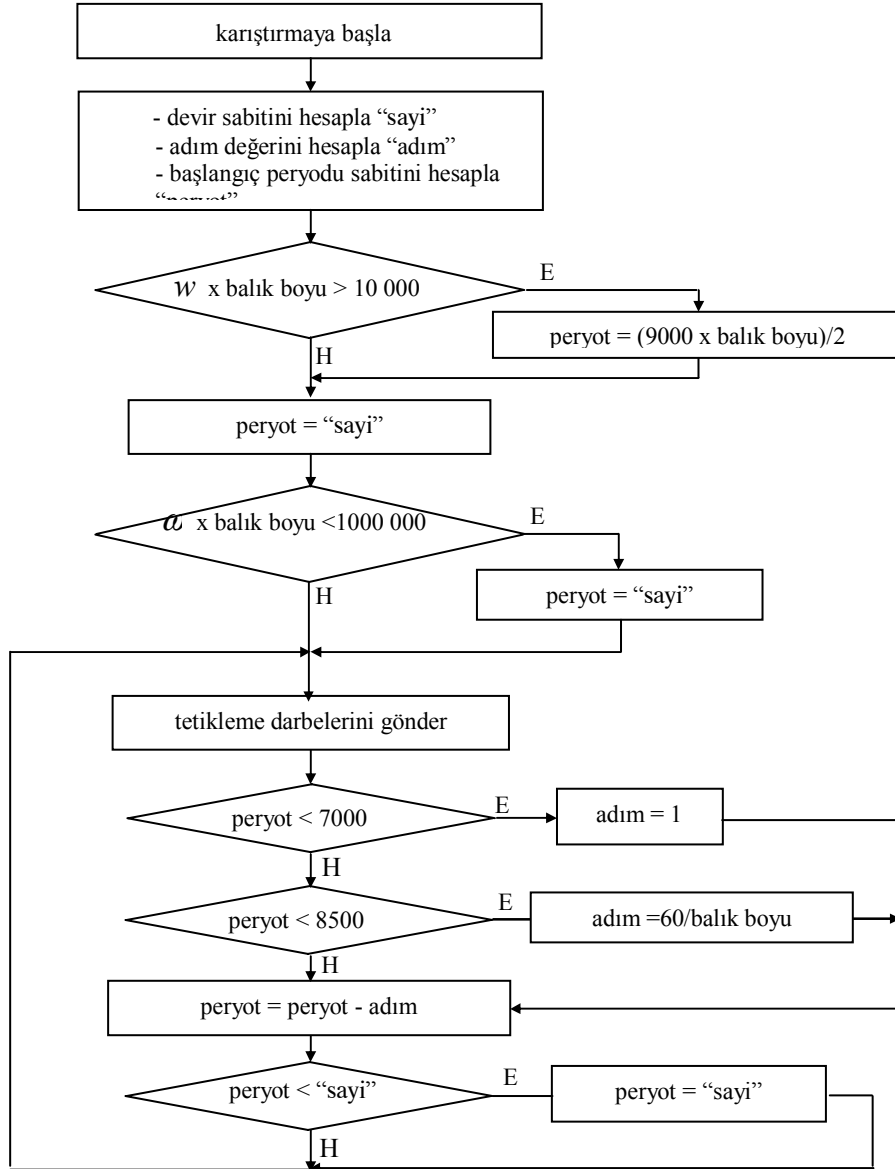
4. UYGULAMA SONUÇLARI (APPLICATION RESULTS)

Deneysel çalışmamızda prototipi gerçekleştirilen döner manyetik karıştırıcının her bir fazı 150 sarımdan oluşmaktadır. Bu fazlar aralarında 120° faz farkı olan ve genlikleri 15V ile -15V arasında değişen gerilimlerle beslenmiştir. Stator çapı 7 cm olan karıştırıcının üzerine, beher içine konmuş 800 ml su oturtulmuştur. Stator çapı, sarım sayısı, oluk ölçüleri ve stator iç çapı, kullanılan en küçük balık boyu için optimize edilmiştir.

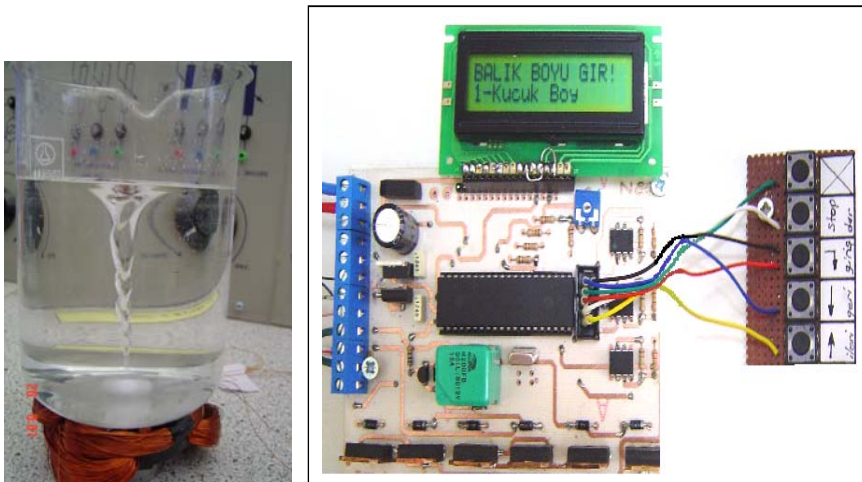
Deneyler, üç farklı kütle ve uzunlukta manyetik balık ile yapılmıştır. İlk olarak her bir balığın döner manyetik karıştırıcı sayesinde beherdeki su içerisinde kazanabileceği en büyük açılma hızları tespit edilmiştir. Şekil 10’da toplu deney düzeneği ve küçük balıklarla yapılmış bir deneyin fotoğrafı görülmektedir.

Deneylerin sonunda en büyük hız limitleri Tip 3 için 560 dev/dak, Tip 2 için 1015 dev/dak, Tip 1 içinse 2050 dev/dak olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar Tablo 2’deki teorik değerlerle de uyumaktadır.

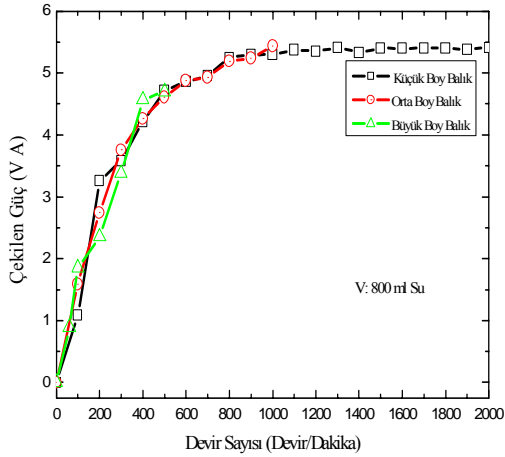
Ayrıca, kullanılan manyetik balık boyuna ve çalışma devrine bağlı olarak çekilen güç değerlerinin değişimi belirlenmiştir. Bu değişimin grafiği Şekil 11’de görülmektedir.



Şekil 9. Karıştırma alt programının işleyiş şeması. (Flow chart for the stirring subprogram)



Şekil 10. a) Küçük balıkla yapılan bir deneyin görünümü, b) Besleme denetim düzeneği. (a) An experiment with small bar, b) Supply-control setup)



Şekil 11. Balığın boyuna ve devir sayısına göre çekilen gücün değişimi. (Power consumption-rotation change graph with respect to the size of the bar)

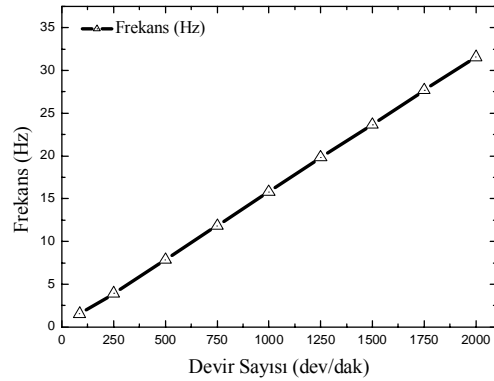
Şekil 11'den çekilen gücün manyetik balığın cinsine bağlı olmadığı görülmektedir. Fakat Tablo 2'den de görüleceği gibi manyetik balıkların manyetik alandan kazandıkları enerjiler birbirinden farklıdır. Manyetik balıkların kazandıkları enerjiler balığın cinsine bağlıyken çekilen gücün balığın cinsine bağlı olmaması, manyetik balıkların beher içindeki suya aynı hareketi kazandırmak için geçen sürelerin farklı olması anlamına gelir. Dolayısıyla Tablo 2'ye göre küçük manyetik balığın kazandığı enerji büyük, fakat buna paralel olarak beherdeki suyu tamamen döndürmek için geçen süre uzun; öte yandan büyük balığın kazandığı enerji küçük, fakat beher içindeki suyu tamamen döndürmek için gereken süre de küçük olması gerekir. Deneysel olarak yapılan ölçümlerde manyetik balığın cinsine göre beherdeki suda oluşan girdabın oluşma zamanlarının farklı olması, manyetik balıkların suyu döndürme etkilerinin aynı olmadığını göstermekte ve harcanan enerji ile harcanan zamandaki paralellikten dolayı çekilen gücün sabit kalmasını doğrulamaktadır.

Çekilen gücü bu durumda etkileyecek iki unsur, suyun miktarı ve çalışma frekansıdır. Çünkü su miktarı fazlaştıkça balığın birim yüzeyine yapılan basınç artmakta, dönmesi için gerekli torku sağlayacak döner manyetik alanın değeri büyümekte ve sonuç olarak çekilen akım ve güç artmaktadır. Öte yandan Şekil 12'den de görüldüğü üzere frekans arttıkça dönü hızı artacak ve birim zamanda harcanan enerji de artacaktır. Bu da güç değerinin yükselmesi anlamına gelmektedir.

Üçüncü olarak da su miktarının devir sınırı üzerine etkisi incelenmiş ve su miktarının artmasıyla her bir balık için devir sınırlarının azaldığı gözlenmiştir. Bunun sebebi denetim ünitesinin sisteme sağladığı gücün belirli bir sınırdan kalmasıdır. Eğer yeteri kadar güç sağlanabilirse, aynı devir sınırı değerlerini elde etmek mümkün olacaktır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada endüstriyel amaçlı bir manyetik karıştırıcı tasarımı amaçlanmıştır. Çalışma iki ana başlık altında gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işleminin yapıldığı aksel akı sabit mıknatıslı senkron motor, ve besleme kaynağı tasarımı. Bu çalışmada kullanılan motor yapısı, geleneksel yapıdan farklıdır. Çünkü burada farklı boydaki rotorların kullanımı söz konusu iken, rotorun konumu da statorun merkezi olmak durumundadır. Elde edilen matematiksel modelden, stator-rotor arasındaki akı yolu uzunluğunun rotor boyuna bağlı olduğu, bu nedenle tasarımın en küçük rotor boyu referans alınarak yapılmasının zorunlu olduğu görülmüştür. Bunun sonucu olarak seçilen stator iç çapı her faz için sarım sayısını, güç değerlerini, faz sayısını ve stator dış çapını sınırlamaktadır. Bu sınırlamalar ulaşılabilecek en büyük açısal hız değerini de belirlemektedir.



Şekil 12. Devir sayısının çalışma frekansına göre değişimi (Frequency-rotation change graph)

Açısal hızlara etki eden diğer husus, aksel akı motorun beslendiği sinyalin kaynağıdır. Döner manyetik alanın sağlanması için faz farkının yaratılması ve bu ilişkinin bozulmadan frekansın değişmesi gerekmektedir. Motorun hedeflenen devir değerine ulaşması için küçük bir devir değerinden başlayarak zamanla hızlandırılması gerekmektedir. Hedef devir değerine hızla ulaşabilmek için başlangıç değeri seçiminin ve hızlanma hızının önemli olduğu da görülmüştür.

Sonuç olarak; maliyeti, fiziki boyutu ve işlevselliği bakımından üstün olan PIC mikrodenetleyicili manyetik karıştırıcılar, motorlu tipteki karıştırıcılara alternatif olarak laboratuvar ve endüstriyel uygulamalarda etkin biçimde kullanılabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Milind, S.; Ramanarayanan, V., "Design and analysis of a linear type electromagnetic stirrer", **IEEE Industry Applications Conference 2004. 39th IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2004**, Volume 1, 188-194, 3-7 Oct. 2004
2. Aydın, M., Huang, S., Lipo, T. A.; "Torque Quality and Comparison of Internal and External Rotor Axial Flux Surface-Magnet Disc Machines", **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, Volume: 53, N0 3, 822-830, 2006
3. Aydın, M., Huang, S., Lipo, T. A.; "TORUS Concept Machines: Pre-Prototyping Design Assesment for Two Major Topologies", **IEEE 2001**, 1619-1625, 2001
4. Aydın, M., Huang, S., Lipo, T. A.; "Optimum Design and 3D Finite Element Analysis Of Nonslotted and Slotted Internal Rotor Type Axial Flux PM Disc Machines", **IEEE Power Engineering Society Summer Meeting 2001**, Vancouver, CA, 1409-1416, 2001.
5. Wang, R., Kamper, M.J., Westhuizen, K.V., Gieras, J.F., "Optimal Design of a Coreless Stator Axial Flux Permanent-Magnet Generator", **IEEE Transactions On Magnetics**, Vol. 41, No. 1, 55-64, 2005.
6. Spooner, E., Williamson, A.C., "Direct coupled, permanent magnet generators for wind turbine applications", **IEEE ProcElectr. Power Appl.**, Vol. 143, No. 1, 1-8, January 1996.
7. H. David, R. Resnick, "Fundamental of Physics II", Çev: Y. Cengiz, **Arkadaş Yayınevi**, 141, Ankara, 1990.
8. Gürdal, O., " Elektromanyetik Alan Teorisi", **Nobel Yayınevi**, Ankara, 213, 2000.
9. Gündüz, E., "Modern Fiziğe Giriş", **Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları**, İzmir, 13, 1993.
10. H. David, R. Resnick, "Fundamental of Physics I", Çev: Y. Cengiz, **Arkadaş Yayınevi**, Ankara, 244, 1990