

HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
AKADEMİK BİLİM DERGİSİ

**HARRAN
ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK DERGİSİ**

HARRAN UNIVERSITY
JOURNAL OF ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

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

Dalgıç Pompa Elektrik Motorunun İyileştirilmesi

Improvement of Submersible Pump Electric Motor

Yazar(lar) (Author(s)): Kamil SAMUR¹, Nihan ALTINTAŞ²

¹ ORCID ID: 0000-0002-2963-4790

² ORCID ID: 0000-0002-6567-7675

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Samur K., Altıntaş N., "Dalgıç Pompa Elektrik Motorunun İyileştirilmesi", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(2): 82-93, (2020).

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



Dalgıç Pompa Elektrik Motorunun İyileştirilmesi

Kamil SAMUR¹, Nihan ALTINTAŞ^{1,*}

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Kampüsü, 34349, Esenler/İSTANBUL

Öz

Dalgıç pompalarda elektrik motoru olarak genellikle tek ve üç fazlı sincap kafesli asenkron motorlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ANSYS Rmxprt/Maxwell programı kullanılarak mevcut üç fazlı sincap kafesli asenkron dalgıç pompa motorunun verimini artırmak üzere çalışmalar yapılmıştır. Mevcut motorun verimini artırmak için stator ve rotor oluk yapıları, malzeme cinsi, stator paket boyu, sipir sayısı ve hava aralığı büyüklüklerinin analizleri yapılarak, optimum değerler elde edilmiştir. Yeni tasarım motora ait performans parametreleri ile mevcut motorun katalog değerleri karşılaştırılmıştır. Yeni tasarım sayesinde mevcut motorun nominal akımında %3, güç faktöründe %1, veriminde %2 oranında iyileşme sağlanmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 16/05/2020

Düzeltilme: 10/06/2020

Kabul: 29/06/2020

Anahtar Kelimeler

Dalgıç Pompa
Asenkron Motor
Enerji Verimliliği
Oluk Yapısı

Keywords

Submersible Pump
Asynchronous Motor
Energy efficiency
Slot Structure

Improvement of Submersible Pump Electric Motor

Abstract

Single and three phase squirrel cage asynchronous motors are generally used as submersible pumps in electric motors. In this study, efforts have been made to increase the efficiency of a three-phase squirrel cage asynchronous submersible pump motor using the ANSYS Rmxprt/Maxwell program. In order to increase the efficiency of the existing motor, optimum values are obtained by analyzing the stator and rotor slot structures, material type, stator package length, number of flies and air gap sizes. The performance parameters of the new design motor and the existing motor are compared. Thanks to the new design, an improvement of 3% in nominal current, 1% in power factor, and 2% efficiency in the current engine has been achieved.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik enerjisi, mevcut enerji türleri içinde en çok kullanılan enerji türüdür. Dünyada tüketilen elektrik enerjisinin yarısından fazlası ise elektrik motorlarında harcanmaktadır. Motorlarda harcanan enerjilerde tasarruf etmenin en iyi yöntemi ise daha verimli elektrik motorlarının kullanılmasıdır [1, 2]. Asenkron motorlar; dayanıklılık, ucuzluk ve az bakım ihtiyaçlarından dolayı, elektrik motorları içerisinde en yaygın kullanılan motor çeşitleridir [3].

Dalgıç pompalar, tek veya çok kademeli bir santrifüj pompanın su altında çalışmaya elverişli elektrik motoruna monte edilmesiyle meydana gelmektedir. Şekil 1'de, bir dalgıç pompa ve pompaya ait ana parçalar görülmektedir. Santrifüj pompalar teorik olarak deniz seviyesindeki atmosferik koşullarda 10m, pratikte ise 6-8m derinlikten su çekebilmektedir. Bu nedenle yeraltı sularının yeryüzüne çıkartılmasında çok kademeli santrifüj pompalar olarak bilinen derin kuyu pompaları kullanılmaktadır. Dalgıç pompalar genellikle anma çaplarına göre; 4", 6", 8", 10", 12" ve 14"lik seriler halinde imal edilmektedir. Dalgıç pompalarda elektrik motoru olarak maliyet ve kolaylık nedeniyle genellikle sincap kafesli asenkron motorlar kullanılmaktadır. Dalgıç pompalar, uygun kuyulara konularak kesintisiz bir şekilde sürekli olarak çalışmaktadır. Bu nedenle dalgıç pompalarda kullanılan elektrik motorlarının verimi oldukça önemlidir.

*İletişim yazarı, e-mail: naltin@yildiz.edu.tr



Şekil 1. Dalgıç Pompa ve Ana Parçaları [1]

Bu çalışmada, dalgıç pompalarda kullanılmak üzere daha verimli bir sincap kafesli asenkron motor tasarımı yapılmıştır. ANSYS Rmxprt/Maxwell programı yardımıyla dalgıç pompada kullanılan 7.5Hp gücündeki elektrik motorunun oluk yapıları, stator-rotor paket boyları, hava aralığı gibi parametreler analiz edilmiştir. Mevcut motor parametreleri değiştirilerek motor performansına etkisi incelenmiş ve optimum motor parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler kullanılarak yeni bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Yeni tasarlanan motorun kayıpları mevcut motora göre düşmüş ve böylece motor veriminde artış sağlanmıştır. Yapılan iyileştirme sonucunda, enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan elektrik motorlarında enerji tasarrufu sağlanmıştır.

1.1. Literatür Taraması (Literature Search)

Asenkron motorlarda stator ve rotor demir ve bakır kayıpları, sürtünme ve vantilasyon kayıpları ve kaçak kayıpları mevcuttur. Bu kayıplardan dolayı motorların verimi düşmektedir. Bu sebeple motor verimini arttırmaya yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir.

Rotor oluk tasarımının, motor moment performansı ve gürültüleri üzerindeki etkisini incelemek için 3 adet farklı rotor oluk tasarımı önerilmiştir. Önerilen oluk tasarımları; verim, kayıplar, moment cevabı ve gürültü açısından karşılaştırılmıştır [2]. Rotor çubuk şekillerinin ve stator oluk genişliğinin 3 fazlı asenkron motorun performansına etkileri incelenmiştir. Keskin olmayan köşelerle en iyi verimin elde edildiği görülmüştür [4]. Elektrikli araçlarda kullanılan asenkron motorun aracın ağırlığı ile verimini kötü etkilediği ve çözüm olarak motorun güç yoğunluğunun artırılması gerektiği ifade edilmiştir. Bunun için sargıların sipir sayıları azaltılıp, tel çapları artırılarak verim artırılmış fakat motorun ağırlığı aynı kalmıştır [5]. Açık ve kapalı oluk yapılarının asenkron motorun performans parametrelerine etkisi incelenmiştir. Açık tipli oluk yapısının kapalı oluk yapısına göre daha verimli olduğu görülmüştür [6]. Çift kafesli bir motorun yol alma anındaki moment ve verimi, üst oluğun çapı değiştirilerek incelenmiştir. Çubuk genişliği arttıkça verim değeri artmış olmasına karşın yol alma momenti azalmıştır. Ancak oluk yüksekliği arttıkça verimin azaldığı, yol alma momentinin arttığı görülmüştür [7]. Stator ve rotor oluk yapılarının ve eğim açılarının motor performansına etkisi incelenmiştir. Stator sarım sayısının artırılması ya da derin ve dar oluk yapısı kullanılması harmonik akımları bastırarak ve güç faktörünü iyileştirmiştir. Stator ve rotor eğim açısının optimum tasarımı ile verim artmıştır [8]. Yüksek kaliteli malzeme kullanılmasının verimi %0,4, rotorda alüminyum yerine bakır kullanılmasının ise verimi %1,4 arttırdığı görülmüştür [9]. Verimliliği arttırmaya yönelik çözümler maliyetin artmasına neden olmaktadır. Genetik algoritma kullanarak verim ve güç faktörü değerleri artarken, maliyet %5 oranında azaltılmıştır [10]. 3 fazlı bir asenkron motorda kullanılan sac kalınlığının motorun parametrelerine etkisi incelenmiştir. İnce sac malzeme kullanılması durumunda eddy kayıplarında %19.52'lik bir düşüş olurken, makinanın verimi %1.82, güç faktörü ise %3 artmıştır [11]. Stator sargılarının tasarımında yapılan değişikliklerle verim ve güç faktörü değerleri sırasıyla %7 ve %6 artmış, stator ve rotor kayıpları ise azalmıştır [12]. İkincil bakır kayıpları, motor verimi ve harmonik oluşumunu kötü yönde etkilemektedir. Rotor barlarının, oluk uzunluğunu tam doldurmayacak şekilde tasarlanması ve sacın kalitesinin artırılmasıyla kayıplar azaltılmıştır. Ayrıca yüksek verimli motorlar için bakır rotor barlarının kaynaklanması ve gümüş bilezik

kullanılması tavsiye edilmiştir [13]. Kutup sayısı, oluk sayısı ve rotor eğiminin asenkron motorlardaki gürültüye etkisi incelenmiştir. Rezonans değerini azaltabilmek için ise stator, rotor ve bilezik tasarımlarına yönelik çalışmalar yapılmıştır [14]. Motor boyutunun küçülmesi durumunda kaçak kayıpları artar ve verim azalır. Stator ve dış kılıf arasına diyamanyetik malzeme konularak kaçak kayıpları azaltılmış ve motorun ısınması engellenmiştir [15]. Faz farkının sıfır olmasından dolayı döner alan üzerinde 3. uzay harmoniğinin etkisi yok iken 5. ve 7. harmoniklerin ise etkisi görülür. 5. ve 7. uzay harmoniklerinin yok edilmesi için yeni bir oluk tasarımı yapılmıştır. L tipi oluk yapısı ile 5. ve 7. harmonikler yok edilmiştir. Bilinen bir yöntem olan bobin adımını kısaltarak, 7. harmoniğin neredeyse yok olduğu 5. harmoniğin ise %19 civarında olduğu gösterilmiştir [16]. 5Hp gücüne, %84 verime, 0,80 güç faktörüne sahip bir asenkron motorun eşdeğer devresi çıkarılmıştır. Motorun stator ve rotor akımları, toplam direnç, reaktans ve kayıp parametreleri katalog değerlerine yakın hesaplanmıştır [17].

2. MATERYAL ve METOD (MATERIAL and METHOD)

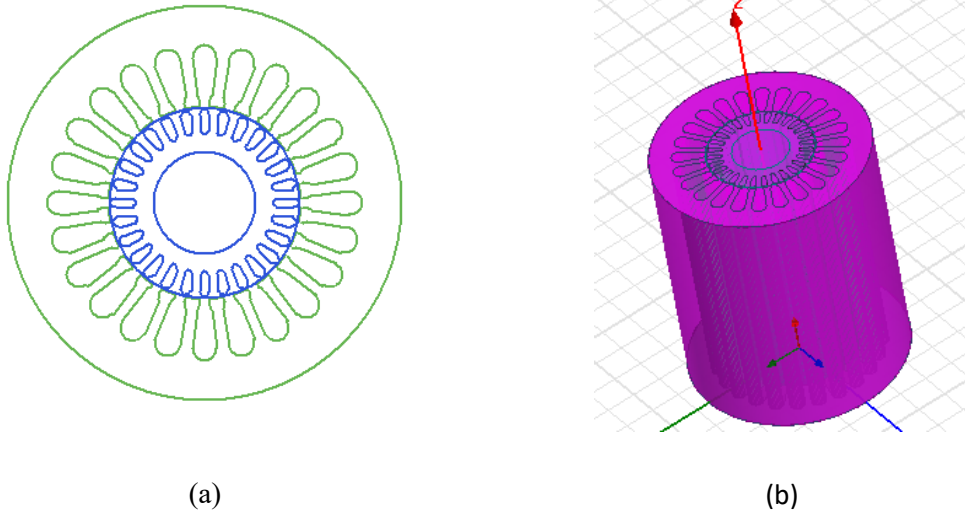
Bu çalışmada, motor anma çapı 6", gücü 7.5Hp olan mevcut sincap kafesli asenkron motorun performans parametrelerini iyileştirmek üzere yeni bir motor tasarımı yapılmıştır. ANSYS Rmxprt programı ile mevcut elektrik motorunun analitik çözümleri detaylı olarak alınmış ve daha sonra bu platformda yapılan tasarım Maxwell ortamına doğrudan aktarılıp, elektrik motorunun Ansys Maxwell'de analizleri gerçekleştirilmiştir. Dalgıç pompada kullanılan mevcut asenkron elektrik motoruna ait simülasyon programından alınan analiz sonuçları ve katalog bilgileri Tablo 1'de verilmiştir. Ansys Maxwell programında yapılan analizler ideal şartlar altında yapıldığından simülasyon ve katalog değerleri birbirinden farklı elde edilmiştir. Ayrıca, üretim esnasında kullanılan malzemenin kalitesi ve işçilik gibi diğer faktörlerde etkilemektedir.

Tablo 1. Mevcut Motora ait Performans Parametreleri

Performans Parametreleri	Değerler	
	Katalog	Simülasyon
Giriş Gücü [kW]	7,432	7,036
Çıkış Gücü [Hp]	7,5	7,5
Giriş Gerilimi [V]	380	380
Anma Akımı [A]	13,6	12,23
Hız [rpm]	2852	2867
Verim [%]	74	79,5
Güç Faktörü	0,84	0,867
Moment [Nm]	18,41	18,63
Toplam Kayıplar [W]	1932,4	1442,2

Şekil 2(a)'da mevcut asenkron motorun simülasyon programında çizilmiş stator ve rotor yapısı iki boyutlu olarak görülmektedir. Dış tarafta bulunan yeşil renkli kısım 24 oluklu stator, iç tarafta bulunan mavi renkli kısım ise 28 oluklu rotor yapısını göstermektedir. Şekil 2(b)'de ise mevcut motorun 3 boyutlu modeli verilmiştir.

Asenkron motorların stator ve rotorunda kullanılan malzeme, stator laminasyon paket boyu, stator ve rotor oluk yapıları, sipir sayısı ve hava aralığı motorların verimini etkileyen en önemli parametrelerdir. Mevcut elektrik motorunun bu parametreleri optimize edilerek yeni motorun tasarımı gerçekleştirilecektir.



Şekil 2. Motorun (a) Stator ve Rotor Yapısı, (b) 3 Boyutlu Modeli

2.1. Malzeme Seçimi (Material Selection)

Asenkron motorda stator ve rotor, silisli sacların preslenmesi ile oluşur. Motor verimini arttırmak için kullanılan malzemelerin kaliteli ve ince olması gerekir. Asenkron motorda kullanılan iki farklı silisli sac malzemelerine göre analizler yapılmıştır. Ayrıca sac malzeme kalınlığı 50mm'den 35 mm'ye indirilmiş ve analizler tekrarlanmıştır. Stator ve rotorda kullanılan malzeme cinsi ve sac kalınlığının motor parametreleri üzerindeki etkisi Tablo 2 ve 3'te sırasıyla verilmiştir. Yapılan çalışmada 530-50A ve 700-50A sacları kullanılmıştır. 50mm'lik saclardan, 530-50A sacı kullanıldığında hız değerinin 2 d/dk azaldığı görülmüştür. Ayrıca devrilme momenti, devrilme moment oranı ile güç faktörü azalırken, stator faz akımı ve verim artmıştır. Fakat verim değerindeki artış binde bir civarındadır. Verim değerleri birbirine çok yakın olduğundan endüstride çok kullanılan 700-50A sacı daha uygun fiyatlı olması nedeniyle tercih edilmiştir. Daha sonra sırasıyla rotorda, stator ve her ikisinde 35mm'lik sac kullanılmıştır. En yüksek verimin sadece stator 35mm'lik sac kullanılması durumunda elde edildiği görülmüştür. Sonuç olarak; mevcut motorun stator sacı 35mm'ye inceltilmiş, rotor sacı ise 50mm'de bırakılmıştır.

Tablo 2. Malzeme Cinsinin Motor Parametrelerine Etkisi

Malzeme	Hız [d/dk]	Devrilme Momenti [Nm]	Anma Momenti [Nm]	Giriş Gücü [kW]	Çıkış Gücü [kW]	Toplam Kayıplar [kW]	Devrilme Moment Oranı	Verim [%]	Güç Faktörü	Hava Aralığı Akı Yoğunluğu [mT]	Rotor Dış Akı Yoğunluğu [T]	Rotor Sırt Akı Yoğunluğu [mT]	Stator Dış Akı Yoğunluğu [T]	Stator Sırt Akı Yoğunluğu [T]	Stator Faz Akımı [A]
530-50A	2865,29	29,58	18,65	7025,42	5595,19	1430,23	1,59	79,64	0,859	612	1,64	935	1,46	1,47	12,33
700-50A	2867,21	30,17	18,63	7036,99	5594,79	1442,2	1,619	79,51	0,867	619	1,66	944	1,48	1,48	12,24

Tablo 3. Malzeme Kalınlığının Motor Parametrelerine Etkisi

Malzeme	Hız [d/dk]	Devrilme Momenti [Nm]	Anma Momenti [Nm]	Giriş Gücü [kW]	Çıkış Gücü [kW]	Toplam Kayıplar [kW]	Devrilme Moment Oranı	Verim [%]	Güç Faktörü	Hava Aralığı Akı Yoğunluğu [mT]	Rotor Dış Akı Yoğunluğu [T]	Rotor Sırt Akı Yoğunluğu [mT]	Stator Dış Akı Yoğunluğu [T]	Stator Sırt Akı Yoğunluğu [T]	Stator Faz Akımı [A]
Sadece Rotor Sacı 35mm	2865,31	29,54	18,65	7060,24	5595,51	1464,73	1,58	79,25	0,86	615	1,644	933	1,467	1,465	12,36
Sadece Stator Sacı 35mm	2867,73	30,17	18,63	7019,82	5595,24	1424,58	1,62	79,706	0,869	621	1,661	947	1,482	1,486	12,17
Stator ve Rotor Sacı 35mm	2865,73	29,54	18,64	7043,39	5595,34	1448,06	1,58	79,44	0,86	619	1,656	939	1,476	1,474	12,3

2.2. Stator Paket Boyunun Seçimi (Selection of Stator Package Length)

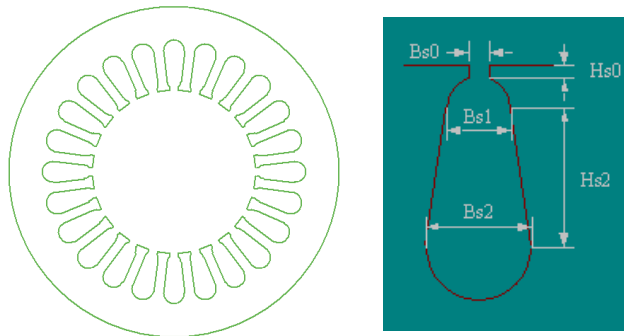
Motora ait stator paket uzunluğu mevcut motor paket boyu ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda, 100mm ve 200mm arasında değiştirilirken diğer parametreler sabit tutularak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen motor parametreleri Tablo 4'te verilmiştir. Stator paket boyunun artmasıyla hız ve verim değeri artmış, kayıp ve manyetik akı değerleri azalmıştır. Fakat belli bir artmadan sonra hız değeri, devrilme moment değeri ve verim azalmaktadır. Bu yüzden elektrik motorunun laminasyon paket boyunun çok düşük ve çok yüksek seçilmemesi gerekmektedir. Laminasyon paket boyunun 160mm ile 190mm arasındaki değerlerinde verim değeri %79 üzerindedir. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan elektromanyetik analizde, stator ve rotor dış ve sırt bölgelerindeki manyetik akı, verim parametresi ve güç faktörü parametreleri birlikte değerlendirilerek paket boyunun 180mm olmasına karar verilmiştir.

Tablo 4. Stator Laminasyon Paket Boyunun Motor Parametrelerine Etkisi

Stator Paket Boyu [mm]	Hız [d/dk]	Devrilme Momenti [Nm]	Anma Momenti [Nm]	Giriş Gücü [kW]	Çıkış Gücü [kW]	Toplam Kayıplar [kW]	Devrilme Moment Oranı	Verim [%]	Güç Faktörü	Hava Aralığı Akı Yoğunluğu [mT]	Rotor Dış Akı Yoğunluğu [T]	Rotor Sırt Akı Yoğunluğu [T]	Stator Dış Akı Yoğunluğu [T]	Stator Sırt Akı Yoğunluğu [T]	Stator Faz Akımı [A]
100	2831,12	29,3887	18,8726	9,47454	5,59524	3,8793	1,55721	59,0555	0,588384	754,423	2,01875	1,27369	1,80042	2,00002	14,0417
105	2842,34	29,97	18,7074	8,96981	5,56824	3,40157	1,60204	62,0775	0,602741	746,67	1,998	1,26061	1,78191	1,97947	12,9727
110	2850,59	30,6274	18,8314	8,58483	5,62141	2,96342	1,6264	65,4808	0,628445	738,358	1,97576	1,24657	1,76208	1,95743	11,9047
115	2858,87	31,0883	18,6871	8,18826	5,59454	2,59373	1,66362	68,3238	0,65135	732,151	1,95915	1,23609	1,74726	1,94098	10,952
120	2866,56	31,583	18,6366	7,83475	5,59444	2,24031	1,69468	71,4055	0,684518	726,844	1,94495	1,22411	1,7346	1,92216	9,96834
125	2872,72	32,0121	18,6612	7,5592	5,61388	1,94532	1,71543	74,2655	0,725715	724,126	1,93768	1,21256	1,72811	1,90402	9,0694
130	2874,69	32,0071	18,584	7,40172	5,59446	1,80726	1,7223	75,5832	0,748711	719,605	1,92558	1,19224	1,71732	1,87212	8,60634
135	2874,97	31,9066	18,5846	7,31114	5,5952	1,71594	1,71683	76,5298	0,769338	708,365	1,8955	1,16032	1,6905	1,82199	8,27231
140	2875,17	31,775	18,5837	7,22964	5,5953	1,63433	1,70983	77,394	0,790188	693,648	1,85612	1,12186	1,65538	1,7616	7,96356
145	2874,39	31,5648	18,5867	7,1774	5,59469	1,5827	1,69825	77,9488	0,806101	684,9	1,83272	1,09692	1,6345	1,72244	7,74951
150	2874,04	31,3598	18,5885	7,11983	5,59457	1,52526	1,68705	78,5773	0,824613	671,125	1,79586	1,06148	1,60163	1,66679	7,51429
155	2872,87	31,1005	18,5977	7,08514	5,59504	1,4901	1,67228	78,9687	0,838607	658,803	1,76288	1,03272	1,57222	1,62164	7,35262
160	2871,3	30,8102	18,6077	7,06135	5,59498	1,46637	1,65578	79,2339	0,849969	646,927	1,7311	1,00495	1,54388	1,57803	7,22977
165	2869,33	30,4991	18,6194	7,04698	5,59468	1,4523	1,63803	79,3912	0,85888	634,896	1,69891	0,977254	1,51517	1,53453	7,1401
170	2867,21	30,1743	18,6335	7,03699	5,59479	1,4422	1,61936	79,5054	0,866881	618,57	1,65522	0,944206	1,4762	1,48264	7,06408
175	2864,62	29,8452	18,6527	7,03716	5,59547	1,44168	1,60005	79,5133	0,872292	602,264	1,61159	0,910821	1,43729	1,43022	7,02043
180	2861,77	29,5189	18,6695	7,04154	5,59493	1,44661	1,58113	79,456	0,876029	588,826	1,57563	0,887091	1,40522	1,39296	6,99488
185	2858,61	29,1998	18,6911	7,05208	5,59522	1,45686	1,56224	79,3414	0,878449	575,521	1,54003	0,864565	1,37347	1,35758	6,98614
190	2855,45	28,8805	18,7102	7,06178	5,59477	1,46701	1,54357	79,226	0,880859	559,341	1,49673	0,837779	1,33486	1,31552	6,97667
195	2852,04	28,5706	18,733	7,07626	5,59488	1,48138	1,52515	79,0655	0,882291	546,416	1,46215	0,818012	1,30401	1,28448	6,97975
200	2848,54	28,2651	18,7551	7,09153	5,59461	1,49692	1,50706	78,8914	0,883443	530,78	1,42031	0,793867	1,2667	1,24657	6,98581

2.3. Stator Oluk Yapısının Seçimi (Selection of Stator Groove Structure)

Stator oluk yapısı, asenkron motor performansı için çok önemli bir parametredir. Şekil 3'de, stator oluk yapısı ve değişken uzunlukları görülmektedir. Stator oluk yapısında 5 değişken parametre değeri bulunmaktadır. Bunlar Hs2 stator oluk yüksekliği, Bs2 stator oluk üst genişliği, Bs1 stator oluk alt genişliği, Bs0 stator oluk ağız genişliği ve Hs0 stator oluk ağız yüksekliğidir. Hs2, Bs2 ve Bs1 parametre değerleri değiştirilerek optimum oluk yapısı elde edilir. Bs0 ve Hs0, motor parametrelerini fazla etkilemediğinden onlarla ilgili değişiklik yapılmamıştır.



Şekil 3. Stator Oluk Yapısı ve Değişken Parametreleri

Tablo 5. Stator Oluk Yüksekliğinin Motor Parametrelerine Etkisi

Stator Oluk Yüksekliği [mm]	Hız [d/dk]	Devrilme Momenti [Nm]	Anma Momenti [Nm]	Giriş Gücü [kW]	Çıkış Gücü [kW]	Toplam Kayıplar [kW]	Devrilme Moment Oranı	Verim [%]	Güç Faktörü	Hava Aralığı Akı Yoğunluğu [mT]	Rotor Diş Akı Yoğunluğu [T]	Rotor Sırt Akı Yoğunluğu [mT]	Stator Diş Akı Yoğunluğu [T]	Stator Sırt Akı Yoğunluğu [T]	Stator Faz Akımı [A]
7	2867,23	30,7801	18,631	6,99111	5,59407	1,39704	1,65209	80,0169	0,854991	596,949	1,59737	958,992	1,8387	1,0673	7,11524
7,5	2867,38	30,7391	18,634	6,99201	5,59526	1,39676	1,64963	80,0235	0,857006	599,935	1,60536	958,089	1,80376	1,09073	7,09944
8	2867,56	30,6967	18,6326	6,99164	5,59518	1,39647	1,64747	80,0266	0,858838	602,881	1,61324	957,002	1,77108	1,11504	7,08392
8,5	2867,73	30,6529	18,6316	6,99141	5,59521	1,3962	1,64521	80,0297	0,860697	605,696	1,62077	955,99	1,74015	1,14061	7,06838
9	2867,9	30,6076	18,6282	6,99061	5,59455	1,39607	1,64308	80,0294	0,862434	608,446	1,62813	954,908	1,71098	1,16736	7,05333
9,5	2867,95	30,5617	18,6294	6,99333	5,59497	1,39836	1,64051	80,0044	0,863661	610,519	1,63368	953,899	1,68168	1,19555	7,04607
10	2867,99	30,5145	18,6306	6,99615	5,59543	1,40071	1,63787	79,9788	0,864905	612,539	1,63909	952,894	1,65391	1,2252	7,0388
10,5	2868,08	30,4661	18,6276	6,99724	5,59468	1,40256	1,63554	79,9555	0,866138	614,563	1,6445	951,845	1,62766	1,25636	7,02989
11	2868,12	30,4168	18,6272	6,9999	5,59466	1,40524	1,63292	79,9248	0,867277	616,262	1,64905	950,974	1,60195	1,28948	7,02334
11,5	2867,99	30,3687	18,6305	7,00661	5,5954	1,41121	1,63005	79,8589	0,867619	617,075	1,65122	950,135	1,57528	1,32449	7,02736
12	2867,9	30,3201	18,6287	7,01147	5,59469	1,41678	1,6276	79,7934	0,867891	617,87	1,65335	949,224	1,54984	1,36142	7,03007
12,5	2867,77	30,2703	18,6315	7,01831	5,59528	1,42303	1,62468	79,724	0,868227	618,633	1,65539	948,196	1,52549	1,40038	7,03425
13	2867,51	30,2228	18,6315	7,02692	5,59476	1,43217	1,62214	79,6189	0,867593	619,694	1,65823	946,549	1,50296	1,44078	7,04811
13,5	2867,21	30,1743	18,6335	7,03699	5,59479	1,4422	1,61936	79,5054	0,866881	618,57	1,65522	944,206	1,4762	1,48264	7,06408
14	2866,65	30,1277	18,6371	7,0522	5,59478	1,45743	1,61654	79,3337	0,86474	617,769	1,65308	940,252	1,45129	1,52462	7,097
14,5	2865,85	30,0792	18,6424	7,07228	5,59479	1,4775	1,61348	79,1086	0,861387	617,066	1,6512	938,055	1,42759	1,57238	7,14508
15	2864,99	30,0257	18,6486	7,094	5,59497	1,49904	1,61007	78,8689	0,857826	613,455	1,64154	930,327	1,39817	1,61388	7,19695

Hs2 değerinin, mevcut motor ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda, 7mm'den 15mm'ye kadar 0,5mm aralıklarla değiştirilerek yapılan analiz sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Analiz sonuçlarından, motor hızında büyük bir değişim olmadığı görülmektedir. Oluk yüksekliği arttıkça, stator faz akımı ve hava aralığı akı yoğunluğu artmış, devrilme momenti ve verim değeri ise azalmıştır. Stator oluk yüksekliği 14,5mm seçilmiştir.

Bs2 stator oluk üst genişliğinin, mevcut motor ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda 5mm ve 13,5mm arasında, 0,5mm aralıklarla değiştirilmesi ile yapılan analiz sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Stator oluk üst genişliği arttıkça manyetik akı dağılımından dolayı hız, giriş gücü, stator diş akı yoğunluğu, stator faz akımı ve toplam kayıplar artmakta; verim, güç faktörü, hava aralığı akı yoğunluğu, rotor diş ve sırt akı yoğunluğu, oluk doluluk oranı azalmaktadır. Stator diş akı yoğunluğu incelendiğinde 11,5mm-13,5mm değerleri arasında malzemenin doyuma gitme ihtimalinden dolayı, bu değerler arasında seçilmesi uygun değildir. Stator üst oluk genişliği 10mm seçilmiştir.

Tablo 6. Stator Üst Oluk Genişliğinin Motor Parametrelerine Etkisi

Stator Oluk Üst Genişliği [mm]	Hız [d/dk]	Devrilme Momenti [Nm]	Anma Momenti [Nm]	Giriş Gücü [kW]	Çıkış Gücü [kW]	Toplam Kayıplar [kW]	Devrilme Moment Oranı	Verim [%]	Güç Faktörü	Hava Aralığı Akı Yoğunluğu [mT]	Rotor Diş Akı Yoğunluğu [T]	Rotor Sırt Akı Yoğunluğu [mT]	Stator Diş Akı Yoğunluğu [T]	Stator Sırt Akı Yoğunluğu [T]	Stator Faz Akımı [A]
5	2870,67	31,1571	18,6101	6,94794	5,59449	1,35345	1,67421	80,5201	0,87143	629,686	1,68497	958,212	1,01868	1,37537	6,93757
5,5	2869,81	30,8224	18,6167	6,96498	5,5948	1,37018	1,65563	80,3276	0,870884	628,495	1,68178	956,141	1,05142	1,38575	6,95908
6	2868,98	30,5136	18,6228	6,98109	5,59501	1,38608	1,63851	80,1453	0,870345	627,345	1,6787	954,146	1,08725	1,39643	6,97963
6,5	2868,55	30,3429	18,6272	6,99134	5,59551	1,39583	1,62895	80,0348	0,870425	623,595	1,66867	947,394	1,12191	1,4003	6,98931
7	2868,25	30,2716	18,629	6,99972	5,59545	1,40427	1,62497	79,9382	0,86993	623,112	1,66738	946,727	1,16642	1,41334	7,00174
7,5	2868,03	30,2336	18,63	7,00684	5,59534	1,4115	1,62284	79,8553	0,869489	622,704	1,66629	946,282	1,21603	1,42696	7,01248
8	2867,86	30,2095	18,6294	7,01308	5,59481	1,41827	1,6216	79,7768	0,869034	622,281	1,66515	945,95	1,27157	1,44105	7,02245
8,5	2867,64	30,193	18,6328	7,0213	5,59542	1,42588	1,62042	79,6921	0,868508	621,706	1,66362	945,73	1,33403	1,45559	7,035
9	2867,47	30,1812	18,632	7,02811	5,59483	1,43328	1,61986	79,6065	0,867897	620,879	1,6614	945,626	1,40487	1,47062	7,04684
9,5	2867,19	30,1734	18,6361	7,0383	5,59551	1,4428	1,61909	79,5008	0,866951	617,936	1,65353	941,695	1,48188	1,47995	7,06485
10	2866,61	30,1711	18,6369	7,0537	5,59463	1,45907	1,61889	79,3148	0,86399	613,586	1,64189	942,853	1,56922	1,49756	7,10468
10,5	2865,53	30,1669	18,6457	7,08054	5,59515	1,48539	1,6179	79,0215	0,858661	601,798	1,61034	939,731	1,65429	1,50868	7,1762
11	2863,36	30,1385	18,6581	7,12887	5,59466	1,53422	1,6153	78,4789	0,847594	586,011	1,5681	942,251	1,74941	1,5292	7,31992
11,5	2858,74	29,6458	18,6881	7,21988	5,59458	1,6253	1,58635	77,4885	0,830746	565,566	1,51339	941,813	1,85967	1,54531	7,56447
12	2845,64	28,8387	18,7751	7,4991	5,59487	1,90422	1,53601	74,6073	0,784111	545,72	1,46029	921,342	2,01811	1,52855	8,32672
12,5	2815,51	27,2172	18,9765	8,15354	5,59503	2,55851	1,43426	68,6208	0,716155	510,261	1,3654	861,476	2,19637	1,44532	9,91845
13	2755,19	24,8751	19,3881	9,36892	5,59392	3,775	1,28301	59,7072	0,66384	454,584	1,21642	767,477	2,44228	1,30228	12,3061
13,5	2875	17,9802	6,79592	7,38793	2,04604	5,34189	2,64574	27,6944	0,409891	381,347	1,02044	643,83	3,36075	1,10505	15,6909

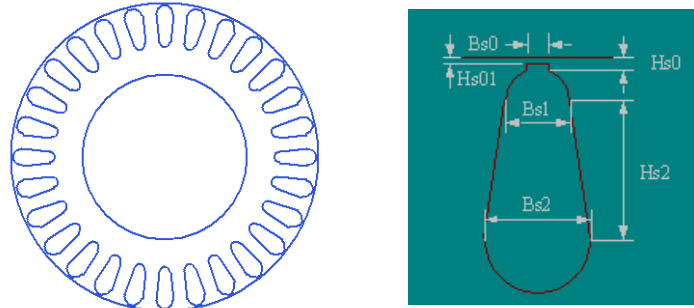
Bs1 stator oluk alt genişliği mevcut motor parametresi ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda 4mm ve 9mm arasında 0,5mm aralıklarla değiştirilerek analiz yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu motor parametrelerinin değişimi Tablo 7'de gösterilmiştir. Oluk alt genişliği arttıkça elektrik motorunun hızı, devrilme momenti, verim değeri, güç faktörü, hava akı yoğunluğu, rotor diş ve sırt akı yoğunluğu ve oluk doluluk oranı azalmıştır. Stator diş ve sırt akı yoğunluğu ve stator faz akımı artmıştır. Stator alt oluk genişliği 7mm seçilmiştir.

Tablo 7. Stator Alt Oluk Genişliğinin Motor Parametrelerine Etkisi

Stator Oluk Yüksekliği [mm]	Hız [d/dk]	Devrilme Momenti [Nm]	Anma Momenti [Nm]	Giriş Gücü [kW]	Çıkış Gücü [kW]	Toplam Kayıplar [kW]	Devrilme Moment Oranı	Verim [%]	Güç Faktörü	Hava Aralığı Akı Yoğunluğu [mT]	Rotor Dış Akı Yoğunluğu [T]	Rotor Sırt Akı Yoğunluğu [mT]	Stator Dış Akı Yoğunluğu [T]	Stator Sırt Akı Yoğunluğu [T]	Stator Faz Akımı [A]
4	2867,21	29,6989	18,6329	6,9862	5,5946	1,3916	1,5939	80,0808	0,867194	620,383	1,66007	942,605	1,32254	1,32647	7,0102
4,5	2867,47	29,8857	18,6321	6,99398	5,59485	1,39912	1,60399	79,9953	0,867427	621,567	1,66324	945,326	1,34009	1,38054	7,0161
5	2868,64	30,4928	18,6238	6,99175	5,59466	1,39709	1,6373	80,018	0,868113	625,803	1,67458	953,945	1,38439	1,42968	7,0084
5,5	2868,08	30,3593	18,6272	7,01075	5,59456	1,41619	1,62984	79,7997	0,867847	621,445	1,66292	947,216	1,41995	1,45211	7,0297
6	2867,3	30,1999	18,6331	7,0342	5,59481	1,43939	1,62077	79,5373	0,866865	619,541	1,65782	946,039	1,4701	1,48125	7,0614
6,07	2867,21	30,1743	18,6335	7,03699	5,59479	1,4422	1,61936	79,5054	0,866881	618,57	1,65522	944,206	1,4762	1,48264	7,0641
6,5	2866,35	30,0037	18,6382	7,06046	5,59449	1,46598	1,6098	79,2368	0,865398	615,45	1,64688	940,781	1,52489	1,50321	7,1
7	2864,88	29,7653	18,6504	7,0976	5,59529	1,50231	1,59596	78,8335	0,862196	607,627	1,62594	933,966	1,58155	1,52221	7,1641
7,5	2862,67	29,4753	18,6644	7,1486	5,59518	1,55342	1,57923	78,2696	0,856011	598,734	1,60215	932,916	1,64895	1,55059	7,2682
8	2859,65	29,1227	18,6818	7,21551	5,59449	1,62103	1,55888	77,5342	0,847093	585,312	1,56623	932,084	1,72113	1,57972	7,414
8,5	2855,71	28,7116	18,7108	7,30246	5,59546	1,70699	1,53449	76,6244	0,836078	564,192	1,50971	925,027	1,79273	1,59864	7,6029
9	2849,1	28,1971	18,7517	7,44551	5,59471	1,85079	1,50371	75,1421	0,816228	543,513	1,45438	917,615	1,89835	1,6172	7,9415

2.4. Rotor Oluk Yapısının Seçimi (Selection of Rotor Groove Structure)

Rotor oluk yapısı motor parametreleri üzerinde etkiye sahip bir başka parametredir. Rotor oluk yapısı ve değişken parametreleri Şekil 4’de görülmektedir. Statorda olduğu gibi rotor oluk yapısında da aynı değişken parametreler bulunmaktadır. Hs2, Bs2 ve Bs1 parametre değerleri değiştirilerek optimum oluk yapısı elde edilir. Rotor oluk yapısının yükseklik motor parametrelerine etkisi Tablo 8’de gösterilmiştir.

**Şekil 4. Rotor Oluk Yapısı ve Değişken Parametreleri****Tablo 8. Rotor Oluk Yüksekliğinin Motor Parametrelerine Etkisi**

Rotor Oluk Yüksekliği [mm]	Hız [d/dk]	Devrilme Momenti [Nm]	Anma Momenti [Nm]	Giriş Gücü [kW]	Çıkış Gücü [kW]	Toplam Kayıplar [kW]	Devrilme Moment Oranı	Verim [%]	Güç Faktörü	Hava Aralığı Akı Yoğunluğu [mT]	Rotor Dış Akı Yoğunluğu [T]	Rotor Sırt Akı Yoğunluğu [mT]	Stator Dış Akı Yoğunluğu [T]	Stator Sırt Akı Yoğunluğu [T]	Stator Faz Akımı [A]
5	2853,29	30,3152	18,7249	7,06542	5,59493	1,47049	0,17	79,1876	0,870514	624,335	1,60302	0,900783	1,48996	1,48165	7,06325
5,5	2859,73	30,2502	18,6824	7,05143	5,59483	1,4566	0,17	79,3432	0,869073	622,28	1,62541	0,918396	1,48506	1,48159	7,06084
6	2865,44	30,199	18,647	7,03923	5,59536	1,44387	0,16	79,4883	0,868053	617,082	1,64056	0,931234	1,47265	1,47287	7,05681
6,18	2867,21	30,1743	18,6335	7,03699	5,59479	1,4422	0,16	79,5054	0,866881	618,57	1,65522	0,944206	1,4762	1,48264	7,06408
6,5	2870,24	30,1412	18,6138	7,03313	5,59477	1,43836	0,15	79,5488	0,865345	618,838	1,67545	0,96086	1,47685	1,48935	7,07271
7	2874,69	30,0809	18,5854	7,0252	5,5949	1,43029	0,15	79,6405	0,863915	613,644	1,69288	0,976369	1,46445	1,48253	7,07636
7,5	2878,49	30,0227	18,5608	7,02247	5,59488	1,42759	0,14	79,6711	0,861307	611,34	1,71954	1,00017	1,45895	1,48706	7,09501
8	2881,95	29,9638	18,5399	7,02034	5,59531	1,42503	0,14	79,7014	0,859047	605,73	1,73825	1,01774	1,44556	1,48102	7,1115
8,5	2884,89	29,8907	18,5192	7,02269	5,59476	1,42793	0,13	79,6669	0,855383	603,255	1,76745	1,04505	1,43966	1,48771	7,14437
9	2887,66	29,8379	18,5029	7,02415	5,59519	1,42896	0,13	79,6565	0,852656	596,772	1,78647	1,06527	1,42418	1,48284	7,16872

Rotor oluk yüksekliği, mevcut motor ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda 5mm ve 9mm değerleri arasında, 0,5mm arttırılarak analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına bakıldığında rotor oluk yüksekliği arttırıldığında elektrik motorunun hızı, toplam kayıplar, rotor dış ve sırt akı yoğunluğu, stator faz akımı artmaktadır. Devrilme moment, anma moment, verim, güç faktörü, stator dış akı yoğunluğu azalmaktadır. Rotor oluk yüksekliği 7,5mm seçilmiştir.

Rotor oluk alt genişliği, mevcut motor ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda 2mm ile 4mm arasında, 0,2mm aralıklarla değiştirilerek analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonuçları Tablo 9’da verilmiştir. Rotor oluk alt genişliği arttıkça; hız, motorun çektiği akım, kayıplar, rotor ve stator sırt akı yoğunluğu, rotor dış akı yoğunluğu, devrilme moment oranı artmaktadır. Verim, güç faktörü, hava

Tablo 9. Rotor Oluk Alt Genişliğinin Motor Parametrelerine Etkisi

Rotor Oluk Alt Genişliği [mm]	Hız [d/dk]	Devrilme Momenti [Nm]	Anma Momenti [Nm]	Giriş Gücü [kW]	Çıkış Gücü [kW]	Toplam Kayıplar [kW]	Devrilme Moment Oranı	Verim [%]	Güç Faktörü	Hava Aralığı Akı Yoğunluğu [mT]	Rotor Dış Akı Yoğunluğu [T]	Rotor Sırt Akı Yoğunluğu [mT]	Stator Dış Akı Yoğunluğu [T]	Stator Sırt Akı Yoğunluğu [T]	Stator Faz Akımı [A]
2	2856,02	30,2576	18,7063	7,0538	5,5947	1,4591	1,61751	79,3147	0,871699	625,043	1,51049	931,702	1,49165	1,47655	7,04195
2,2	2859,47	30,2256	18,6831	7,04726	5,59452	1,45274	1,61781	79,3858	0,870547	625,007	1,55302	936,862	1,49157	1,48078	7,04468
2,4	2862,85	30,21	18,6626	7,04077	5,595	1,44577	1,61874	79,4657	0,869783	621,617	1,59029	936,327	1,48348	1,47599	7,04432
2,6	2865,87	30,1876	18,6443	7,03872	5,59542	1,44331	1,61913	79,4948	0,867839	620,288	1,63625	941,647	1,48031	1,48041	7,05804
2,69	2867,21	30,1743	18,6335	7,03699	5,59479	1,4422	1,61936	79,5054	0,866881	618,57	1,65522	944,206	1,4762	1,48264	7,06408
2,8	2868,68	30,1612	18,6242	7,03824	5,59484	1,4434	1,61946	79,492	0,865133	619,349	1,68735	951,534	1,47807	1,49194	7,07963
3	2871,4	30,1475	18,607	7,03814	5,59498	1,44316	1,62023	79,4952	0,86273	613,413	1,72916	952,066	1,4639	1,48876	7,09924
3,2	2873,91	30,1242	18,5902	7,04033	5,59482	1,44552	1,62044	79,4681	0,859643	606,989	1,77413	952,456	1,44857	1,48536	7,12697
3,4	2876,25	30,0914	18,577	7,04494	5,59538	1,44955	1,61982	79,4242	0,856329	599,294	1,82055	953,268	1,4302	1,48261	7,15927
3,6	2878,26	30,0677	18,5707	7,056	5,5974	1,45859	1,61909	79,3283	0,851973	590,243	1,86875	954,081	1,4086	1,47985	7,20726
3,8	2879,62	30,0239	18,5555	7,07735	5,59546	1,48189	1,61806	79,0616	0,843442	584,492	1,93489	967,285	1,39488	1,49626	7,30237
4	2879,49	29,9146	18,5566	7,13538	5,59555	1,53983	1,61207	78,4198	0,827316	566,649	1,96885	969,288	1,3523	1,49527	7,50623

aralığı akı yoğunluğu, stator dış akı yoğunluğu, güç faktörü azalmaktadır. Rotor oluk alt genişliği 3,2mm seçilmiştir.

Rotor oluk üst genişliği, mevcut motor ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda 3mm ile 5mm arasında, 0,5mm aralıklarla değiştirilmiş ve analiz edilmiştir. Tablo 10'da görüldüğü gibi, yapılan analiz sonucunda üst oluk genişliği arttıkça hız ve toplam kayıplar artmakta fakat belli bir seviyenin üzerinde azalmaktadır. Stator faz akımı, rotor dış akı yoğunluğu artmaktadır. Devrilme moment oranı, stator dış akı yoğunluğu, hava aralığı akı yoğunluğu azalmaktadır. Rotor oluk üst genişliği 4,3 mm seçilmiştir.

Tablo 10. Rotor Oluk Üst Genişliğinin Motor Parametrelerine Etkisi

Rotor Oluk Üst Genişliği [mm]	Hız [d/dk]	Devrilme Momenti [Nm]	Anma Momenti [Nm]	Giriş Gücü [kW]	Çıkış Gücü [kW]	Toplam Kayıplar [kW]	Devrilme Moment Oranı	Verim [%]	Güç Faktörü	Hava Aralığı Akı Yoğunluğu [mT]	Rotor Dış Akı Yoğunluğu [T]	Rotor Sırt Akı Yoğunluğu [mT]	Stator Dış Akı Yoğunluğu [T]	Stator Sırt Akı Yoğunluğu [T]	Stator Faz Akımı [A]
3	2841,67	29,8013	18,8023	7,09724	5,59517	1,50207	1,58498	78,8359	0,870946	622,104	1,37792	912,546	1,48464	1,46698	7,09179
3,2	2847,24	29,8789	18,7666	7,08273	5,59551	1,48722	1,59213	79,0021	0,870659	626,366	1,43202	923,335	1,49481	1,47777	7,07952
3,4	2852,52	29,9634	18,7294	7,06699	5,59475	1,47224	1,59981	79,1674	0,870569	626,896	1,48132	928,788	1,49608	1,48	7,06438
3,6	2857,27	30,0266	18,6998	7,05607	5,59522	1,46085	1,60572	79,2965	0,869976	626,647	1,53267	934,526	1,49548	1,48269	7,05819
3,8	2861,77	30,0966	18,6688	7,04431	5,59473	1,44958	1,61213	79,4219	0,869464	622,52	1,57858	934,927	1,48563	1,47693	7,05048
4	2865,83	30,1536	18,6437	7,03685	5,59514	1,44171	1,61736	79,512	0,868369	617,616	1,6268	935,643	1,47393	1,47172	7,05184
4,2	2869,24	30,2059	18,6216	7,03763	5,59517	1,44246	1,62209	79,5036	0,864977	618,366	1,69545	952,305	1,47572	1,49152	7,08028
4,4	2872,53	30,2622	18,5985	7,03683	5,59462	1,44221	1,62713	79,5048	0,861969	610,585	1,74685	954,201	1,45715	1,4881	7,10417
4,6	2875,47	30,3027	18,5792	7,04002	5,59454	1,44548	1,631	79,4677	0,858223	602,316	1,8031	955,932	1,43742	1,48444	7,13844
4,8	2878,06	30,3274	18,5624	7,04749	5,59453	1,45296	1,63381	79,3833	0,853517	591,563	1,85906	958,202	1,41175	1,48161	7,18548
5	2880,01	30,3468	18,5505	7,06684	5,59471	1,47213	1,6359	79,1685	0,845946	582,962	1,93064	966,577	1,39123	1,48818	7,26986

2.5. Sipir Sayısı Seçimi (Selection of Turn Number)

Sipir sayısının motor parametrelerine etkisini incelemek için, sipir sayısı mevcut motor ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda, 30 ile 55 değerleri arasında değiştirilmiştir. Simülasyon sonuçları Tablo 11'de verilmiştir. Sipir sayısı arttıkça hava aralığı, stator sırt ve dış, rotor sırt ve dış akı yoğunluğu, stator faz akımı, devrilme moment ve toplam kayıplar azalırken, verim ve güç faktörü artmaktadır. Sipir sayısı 49 seçilmiştir.

2.6. Hava Aralığının Seçimi (Selection of The Air Gap)

Stator ve rotor arasındaki hava aralığı, motor performansını etkileyen parametrelerden bir diğeridir. Hava aralığının optimum değerinden büyük veya küçük olması motor verimini düşürür. Hava aralığı değeri mevcut motor ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler sonucunda 1mm ile 0,30mm arasında değiştirilerek analizler yapılmıştır. Tablo 12'de görüldüğü gibi, stator ve rotor arasındaki hava aralığı arttıkça hız, devrilme moment, verim, güç faktörü, hava aralığı akı yoğunluğu, rotor sırt akı yoğunluğu, stator sırt ve dış akı yoğunluğu azalırken; toplam kayıplar ve stator faz akımı artmaktadır. Hava aralığı 0,5 mm seçilmiştir.

Tablo 11. Stator Sargı Sipir Sayısının Motor Parametrelerine Etkisi

Sipir Sayısı	Hız [d/dk]	Devrilme Momenti [Nm]	Anma Momenti [Nm]	Giriş Gücü [kW]	Çıkış Gücü [kW]	Toplam Kayıplar [kW]	Devrilme Moment Oranı	Verim [%]	Güç Faktörü	Hava Aralığı Akı Yoğunluğu [mT]	Rotor Dış Akı Yoğunluğu [T]	Rotor Sırt Akı Yoğunluğu [T]	Stator Dış Akı Yoğunluğu [T]	Stator Sırt Akı Yoğunluğu [T]	Stator Faz Akımı [A]
30	2928,03	52,1411	18,2458	13,1301	5,59457	7,53556	2,85771	42,6086	0,478122	787,207	2,10648	1,32904	1,87865	2,08693	23,9867
31	2926,32	50,7201	18,2586	11,9335	5,59523	6,33823	2,77788	46,8869	0,484191	774,078	2,07134	1,30688	1,84732	2,05213	21,5181
32	2924,67	49,3675	18,2677	10,9176	5,59488	5,32272	2,70244	51,2465	0,494312	763,362	2,04267	1,28879	1,82175	2,02372	19,2748
33	2923,03	48,0687	18,2769	10,067	5,59453	4,47252	2,63003	55,5727	0,508941	754,265	2,01833	1,27343	1,80004	1,9996	17,2548
34	2921,58	46,8691	18,2877	9,33371	5,59508	3,73863	2,56287	59,9449	0,52911	745,938	1,99605	1,25937	1,78017	1,97753	15,3813
35	2919,45	45,5596	18,2936	8,80201	5,59278	3,20924	2,49047	63,5398	0,552011	739,935	1,97998	1,24923	1,76584	1,96161	13,8982
36	2919,15	44,6398	18,303	8,18865	5,59509	2,59355	2,43893	68,3274	0,589834	731,257	1,95676	1,23458	1,74513	1,93861	12,0948
37	2918,08	43,5598	18,3085	7,76265	5,59473	2,16791	2,37921	72,0725	0,632016	726,563	1,9442	1,22294	1,73393	1,92033	10,6964
38	2916,49	42,4045	18,3193	7,45953	5,59499	1,86454	2,31474	75,0046	0,677073	724,2	1,93788	1,21352	1,72829	1,90553	9,59183
39	2913,97	41,1372	18,3359	7,08711	5,5952	1,67424	2,24354	76,9688	0,717278	718,455	1,9225	1,18652	1,71458	1,86313	8,82172
40	2910,09	39,7497	18,3599	7,17983	5,59506	1,58477	2,16503	77,9275	0,744534	706,841	1,89143	1,15513	1,68686	1,81385	8,39319
41	2905,91	38,4	18,3865	7,1149	5,59514	1,51976	2,08848	78,6397	0,769054	694,797	1,8592	1,12395	1,65812	1,76488	8,05154
42	2901,08	37,0838	18,4518	7,08711	5,60565	1,48146	2,00977	79,0964	0,790129	685,903	1,8354	1,10091	1,6369	1,7287	7,80593
43	2896,52	35,8164	18,446	7,04224	5,59509	1,44715	1,94169	79,4505	0,808327	678,396	1,81531	1,07912	1,61898	1,69449	7,58149
44	2891,57	34,6039	18,4779	7,01869	5,5952	1,4235	1,87272	79,7185	0,825899	665,946	1,782	1,04964	1,58927	1,6482	7,39518
45	2886,38	33,4397	18,5104	7,00345	5,59496	1,40849	1,80654	79,8887	0,841505	655,206	1,75326	1,02225	1,56364	1,60518	7,24214
46	2880,53	32,3082	18,5465	7,00492	5,59451	1,41041	1,74201	79,8654	0,852407	642,963	1,7205	0,99471	1,53442	1,56194	7,15102
47	2874,17	31,2189	18,5898	7,01658	5,59519	1,42139	1,67936	79,7424	0,861037	631,151	1,68889	0,969233	1,50623	1,52194	7,09123
48	2867,21	30,1743	18,6335	7,03699	5,59479	1,4422	1,61936	79,5054	0,866881	618,57	1,65522	0,944206	1,4762	1,48264	7,06408
49	2859,56	29,1769	18,6827	7,06671	5,59458	1,47214	1,56171	79,168	0,87051	606,138	1,62196	0,918422	1,44654	1,44215	7,06459
50	2851,26	28,223	18,74	7,10412	5,59545	1,50867	1,50603	78,7635	0,873031	593,777	1,58888	0,895494	1,41704	1,40615	7,08177
51	2842,27	27,312	18,798	7,14675	5,59509	1,55166	1,45292	78,2886	0,8743	573,078	1,53349	0,861727	1,36764	1,35313	7,11426
52	2832,29	26,4451	18,8646	7,19938	5,59517	1,6042	1,40184	77,7174	0,874062	560,071	1,49869	0,839859	1,3366	1,31879	7,16901
53	2821,22	25,619	18,9386	7,26111	5,59516	1,66595	1,35274	77,0565	0,872669	545,718	1,46028	0,815515	1,30234	1,28056	7,24251
54	2808,86	24,8301	19,0224	7,33353	5,59531	1,73821	1,30531	76,2977	0,870283	529,967	1,41813	0,791102	1,26476	1,24223	7,33536
55	2794,94	24,0758	19,1156	7,4174	5,59485	1,82255	1,25948	75,4288	0,866909	515,316	1,37893	0,769945	1,22979	1,20901	7,44878

Tablo 12. Hava Aralığının Motor Parametrelerine Etkisi

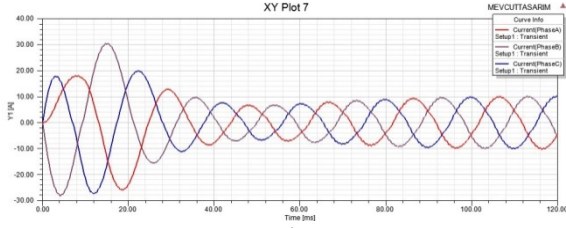
Hava Aralığı [mm]	Hız [d/dk]	Devrilme Momenti [Nm]	Anma Momenti [Nm]	Giriş Gücü [kW]	Çıkış Gücü [kW]	Toplam Kayıplar [kW]	Devrilme Moment Oranı	Verim [%]	Güç Faktörü	Hava Aralığı Akı Yoğunluğu [mT]	Rotor Dış Akı Yoğunluğu [T]	Rotor Sırt Akı Yoğunluğu [mT]	Stator Dış Akı Yoğunluğu [T]	Stator Sırt Akı Yoğunluğu [T]	Stator Faz Akımı [A]
1	2859,69	29,7429	18,6828	7,19696	5,59486	1,6021	1,59199	77,7392	0,825519	606,052	1,67016	930,485	1,44633	1,43757	7,58801
0,9	2861,59	29,8597	18,671	7,1552	5,59504	1,56016	1,59926	78,1954	0,835425	608,513	1,66451	931,587	1,4522	1,44516	7,45418
0,8	2863,49	29,9729	18,6583	7,11411	5,59496	1,51915	1,60641	78,6459	0,845703	610,791	1,65845	932,94	1,45764	1,45315	7,32097
0,7	2865,4	30,0783	18,6474	7,07456	5,59542	1,47914	1,613	79,0921	0,85646	613,073	1,65249	934,384	1,46309	1,46131	7,18851
0,6	2867,21	30,1743	18,6335	7,03699	5,59479	1,4422	1,61936	79,5054	0,866881	618,57	1,65522	944,206	1,4762	1,48264	7,06408
0,5	2869,03	30,3599	18,6224	7,00128	5,595	1,40629	1,63029	79,9138	0,877762	623,628	1,65675	953,433	1,48828	1,50316	6,94083
0,4	2871,21	30,5882	18,6085	6,96168	5,59505	1,36663	1,64378	80,3693	0,890421	625,091	1,64877	956,306	1,49177	1,51373	6,80314
0,3	2873,52	31,5548	18,5932	6,92177	5,59496	1,3268	1,69712	80,8314	0,903997	625,502	1,63815	960,321	1,49275	1,52616	6,66224

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

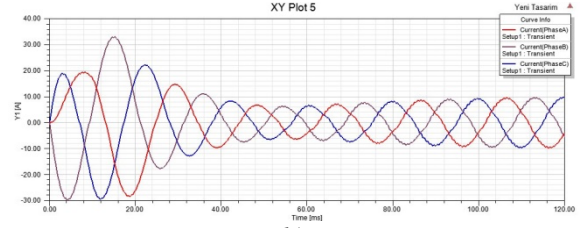
Mevcut elektrik motorunun parametreleri simülasyon programı yardımı ile optimize edilerek yeni motorun tasarım parametreleri seçilmiştir. Optimum motor parametrelerinin seçiminden sonra yeni tasarlanan elektrik motorunun analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonuçları Tablo 13'de görülmektedir.

Tablo 13. Yeni Tasarım Motoruna ait Performans Parametreleri

Giriş Gücü [W]	6876,91
Çıkış Gücü [Hp]	7,5
Giriş Gerilimi [V]	380
Anma Akımı [A]	11,92
Hız [d/dk]	2888,15
Verim [%]	81,3611
Güç Faktörü	0,8693
Moment [Nm]	18,50
Toplam Kayıplar [W]	1281,78

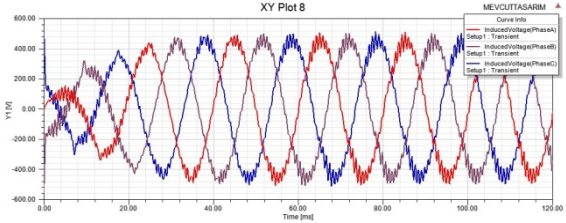


a)

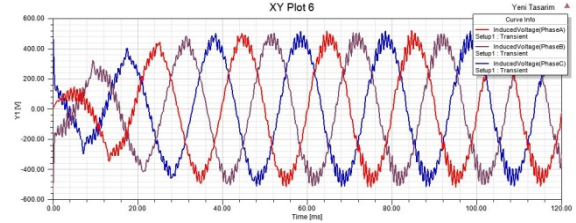


b)

Şekil 5. a) Mevcut b) Yeni tasarım motorun akımı

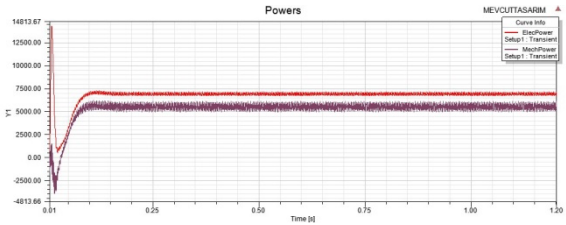


a)

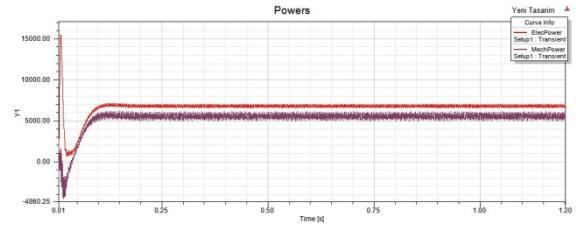


b)

Şekil 6. a) Mevcut b) Yeni tasarım motorun endüklenen gerilimi

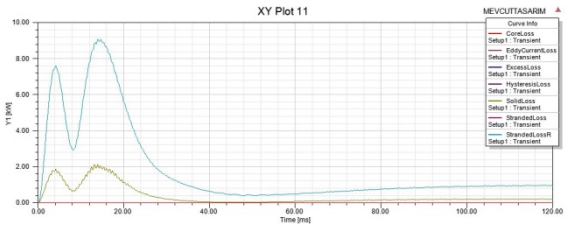


a)

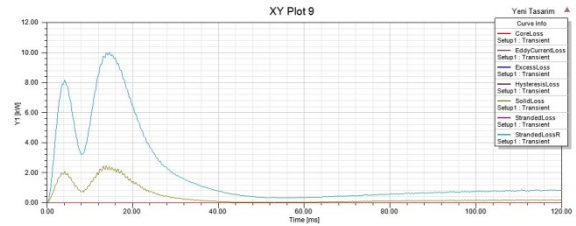


b)

Şekil 7. a) Mevcut b) Yeni tasarım motorun gücü



a)



b)

Şekil 8. a) Mevcut b) Yeni tasarım motorun kaybı

Yapılan çalışma sonucunda stator akımı 12,3 A'den 11,92 A'ye düşmüştür. Bu iyileştirme şebekeden %3'lük daha az akım çekilmesi anlamına gelir. 23d/dk'lık hız artışı sayesinde aynı güçte motorun daha efektif çalışması sağlanmıştır. Güç faktörü 0,86'den 0,87'ye yükseltilerek enerjinin daha verimli kullanılması sağlanmıştır. Verim değeri %2 artırılarak aynı güçte daha fazla enerji sağlanmış, giriş gücü azaltılarak şebekeden daha fazla enerji çekilmesi önlenmiştir. Bu devamlı çalışan dalgıç pompalar için önemli bir tasarruf sağlanması anlamına gelmektedir.

Şekil 5-8(a,b)'de, mevcut ve yeni tasarlanan motora ait akım, endüklenen gerilim, elektriksel ve mekaniksel güç ile kayıpların dalga şekilleri verilmiştir. Şekil 5'den yeni tasarım motorun mevcut tasarıma göre daha az akım çektiği görülmektedir. Şekil 6'da ise endüklenen gerilimin sinüsoidal formunu koruduğu görülmektedir. Şekil 7'de elektriksel giriş gücü ile mekaniksel çıkış gücü birbirine yaklaşmıştır. Buradan motor kayıplarının azaldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca Şekil 8'de yeni tasarlanan motorda kayıpların azaldığı görülmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada mevcut 7.5 Hp gücünde dalgıç pompa ya ait sincap kafesli asenkron elektrik motorunun parametreleri iyileştirilerek yeni bir motor tasarımı yapılmıştır. İlk olarak, katalog bilgileri baz alınan elektrik motorunun ANSYS Rmxprt/Maxwell programında analizleri yapılmıştır. Daha sonra motorun malzeme cinsi ve kalınlığı, stator ve rotor yapısı, stator laminasyon paket boyu, sipir sayısı ve hava aralığı parametrelerinde değişiklik yapılarak yeni tasarıma karar verilmiştir. Aynı program kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları yeni tasarlanan motorun mevcut tasarıma göre nominal akımında %3, güç faktöründe %1, hız değerinde 23d/dk, verim değerinde %2 daha iyi olduğunu göstermektedir. Kuyularda sürekli çalışan dalgıç pompalar için %2'lik bir verim artışı sağlanması kullanıcılar için ekonomik olarak önemli bir tasarruf sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma esnasında verdikleri desteklerden dolayı Üstünel Dalgıç Pompa Firmasına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Üstünel Dalgıç Pompa firmasına ait ürün kataloğu, 2019.
- [2] C. Shumei, D. Ying and S. Liwei, "Rotor Slots Design of Induction Machine for Hybrid Electric Vehicle Drives" 2006 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Windsor, 2006, pp.1-3. doi:10.1109/VPPC.2006.364375
- [3] I.Boldea and S.A.Nasar, "The Induction Machine Handbook" , pp.18-21.
- [4] E. Makhetha, M. Muteba and D. V. Nicolae, "Effect of Rotor bar Shape and Stator Slot Opening on the Performance of Three Phase Squirrel Cage Induction Motors with Broken Rotor Bars" 2019 Southern African Universities Power Engineering Conference / Robotics and Mechatronics / Pattern Recognition Association of South Africa (SAUPEC /RobMech), Bloemfontein, South Africa, 2019, pp.463-468. doi:10.1109/RoboMech.2019.8704850
- [5] P. Lumyong and P. Sarikprueck, "A Study on Induction Motor Efficiency Improvement for Implementing in Electric Vehicle," 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Jeju, 2018, pp.616-619, doi:10.23919/ICEMS.2018.8549478
- [6] Donolo, P., Bossio, G. ve De Angelo, C., "Analysis of Voltage Unbalance Effects on Induction Motors with Open and Closed Slots", Energy Conversion and Management, vol.52, pp.2024-2030, 2011. doi:10.1016/j.enconman.2010.10.045
- [7] J. L. Kirtley, J. G. Cowie, E. F. Brush, D. T. Peters and R. Kimmich, "Improving Induction Motor Efficiency with Die-cast Copper Rotor Cages", IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, FL, 2007, pp.1-6, doi:10.1109/PES.2007.385767
- [8] Y. Huang and H. Wang, "Structure design of asynchronous frequency conversion motor with cast copper rotor," 2016 19th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Chiba, 2016, pp. 1-5.
- [9] Ashwin D, Ashok S, M. Dixit and V. Chavan, "Design optimization of 15 kW, 2-pole induction motor to achieve IE4 efficiency level with copper die-casting," 2015 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy), Kollam, 2015, pp. 98-102, doi: 10.1109/TAPENERGY.2015.7229599.
- [10] P.W. Han, U.J.Seo, J.H.Choi, Y.D.Chun, D.H.Koo and J.Lee "Optimizing Design Variables for High Efficiency Induction Motor Considering Cost Effect by Using Genetic Algorithm" Journal of Electrical Engineering and Technology(JEET), vol.7, pp.948-953, 2012. doi:10.5370/JEET.2012.7.6.948

- [11] Y. Yanawati et al., "Efficiency increment of 0.5hp induction motor by using different thickness of rotor lamination steel sheet via FEM", 5th International Power Engineering and Optimization Conference, Shah Alam, Selangor, 2011, pp.188-192. doi:10.1109/PEOCO.2011.5970407
- [12] C.Saravanan, J.Sathiswar and S.Raja "Performance of Three Phase Induction Motor using Modified Stator Winding" International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), vol. 46, no.1, 2012
- [13] Ashwin D, Ashok S, M. Dixit and V. Chavan, "Design optimization of 15 kW, 2-pole induction motor to achieve IE4 efficiency level with copper die-casting," 2015 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy), Kollam, 2015, pp. 98-102, doi: 10.1109/TAPENERGY.2015.7229599.
- [14] D. Kim, J. Jung, J. Hong, K. Kim and C. Park, "A Study on the Design Process of Noise Reduction in Induction Motors" in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 48, no.11, pp. 4638-4641, Nov. 2012. doi:10.1109/TMAG.2012.2197187
- [15] C.Choudhury and N.K.Deshmukh, "A Novel Method for Reduction of Stray Loss in Induction Motor" IEEE Transactions on Magnetics, doi:10.1109/PECI.2013.6506042
- [16] A.İ.Çanakoğlu and U.Özel, "Asenkron Motorlarda Uzay Harmoniklerin Yok Edilmesi İçin Yeni Bir Stator Oluk Tasarımı" Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, doi:10.5578/fmbd.67809
- [17] J.Daut, K.Anayet, M.Irwanto, N.Gomesh, M.Muzhar, M.Asri and Syatirah, "Parameters Calculation of 5 Hp AC Induction Motor" Proceedings of International Conference on Applications and Design in Mechanical Engineering(ICADME), 11-13 October 2009, Batu Ferringhi, Penang, MALAYSIA, pp.12B(1-5).