



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Dalgıç Motorun Analitik, Sayısal, Performans Sonuçlarının Karşılaştırılması

Serdal ARSLAN

*Elektrik Programı, Birecik Meslek Yüksekokulu, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, TÜRKİYE
serdalarслан@harran.edu.tr*

ÖZET

Asenkron motorlar endüstride en fazla kullanılan motorlardır. Bu motorların geometrik ve tasarımsal bazı özellikleri değiştirilerek kullanım alanları çeşitlilik göstermiştir. Bu uygulama alanlarından biri de tarımsal sulama uygulamalarıdır. Dalgıç motor olarak kullanılan asenkron motorların; küçük çap, paket boyu uzunluğu ve çalışma ortamlarının farklılık göstermesi temel tasarım parametrelerini (akım yoğunluğu, sıcaklık, vb.) değiştirmektedir. Bu çalışmada; ANSYS-Maxwell paket programı kullanılarak 75KW (100Hp) dalgıç asenkron motorun analitik (RMxpirt), sonlu elemanlar çözümü Maxwell 2D kullanılarak gerçekleştirilmiştir. RMxpirt ve Maxwell 2D’de elde edilen çözüm sonuçları deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Asenkron motor, Dalgıç motor, RMxpirt, Ansys Maxwell*

Performance Comparison of Submersible Motor Based on Numerical and Analytical Results

ABSTRACT

Induction machines are the most popular due to their wide range of use in industry. Some properties of geometric structures and the schematic structures of these motors changed, so it has varied uses of the motor. One of these applications are in agricultural irrigations. If it used as submersible motor, it has small diameter, stacking length and variety of working area, basic design parameters (current density, temperature, etc.) will be changed. In this study, 100Hp submersible motor has been done as finite elements methods (Ansys Maxwell 2D program) with help of analytical way (RMxpirt). By this way, electrical and magnetic parameters and quantities have been calculated. The results of using RMxpirt and Ansys-Maxwell and application have been explored and compared.

Keywords: *Induction motor, Submersible motor, RMxpirt, Ansys Maxwell*

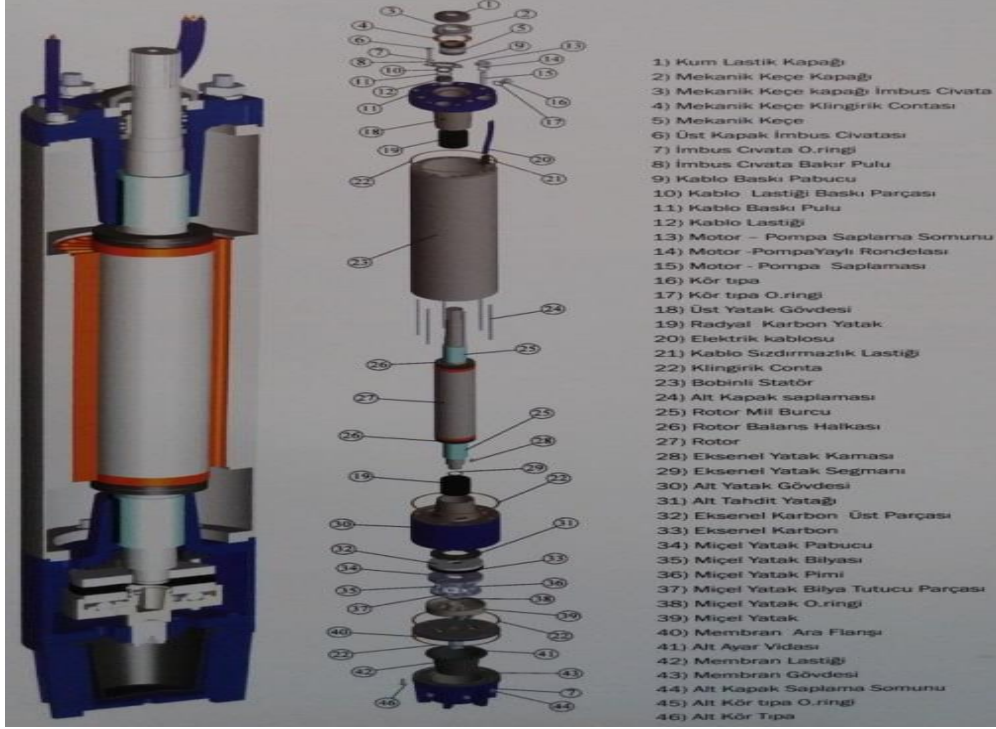
I. GİRİŞ

ELEKTRİK makinaları üreticileri rekabet gücünü ve karını arttırabilmek amacıyla düşük maliyetli, yüksek performanslı elektrik makinaları üretme eğilimindedir. Bilindiği gibi, bilgisayar yazılım teknolojisinin gelişmesiyle birlikte elektrik makinalarının tasarımı için sanal platformlar oluşturulmaktadır. Bu paket programlar ile tasarlanan motor/jenaratör performansı tahmin edilebilmektedir. Böylece, üretici firmalar bu tasarım araçları ile piyasalardaki üstünlüğünü ve rekabet gücünü arttırabilmektedir [1]. Elektrik, manyetik ve mühendislik problemlerin çözümünde kullanılan ABAQUS, ANSYS (MAXWELL), COMSOL, FEMLAB, FLUX 2D/3D ve INFOLYTICA (MAGNET, ELECNET, vb.), gibi birçok paket yazılım bulunmaktadır. Ancak; yeni ve mevcut yazılımların kullandığı çözüm yöntemi (sonlu elemanlar, yüzey elemanlar, vb.) ve çözümün yapılacağı problem çeşidine göre hangisinin daha etkili olduğunu belirlemektir. Bilindiği gibi, dönen elektrik makinalarının gücü; çapın karesi ve paket boyu ile orantılıdır (D^2L). Asenkron motorlarda motor çapı ve paket boyu belirli oranlarda değişebilirken, dalgıç motorlarda çap sabit kalır ve paket boyu uzatılarak güç arttırılabilmektedir. Ayrıca; dalgıç motorlarda gücü arttırmak için paket boyunun arttırılması yataklama ve bobinlerin oyuklara yerleştirilmesi probleminide beraberinde getirmektedir. Hava aralığının arttırılması mıknatıslanma akımını arttırdığı için demir kayıplarının artmasına güç faktörünün azalmasına yol açmaktadır [2].

Asenkron motorun bazı tasarım parametrelerinin veya nüve materyalinin değişimi RMxprt ve Maxwell kullanılarak inceleyen çalışmalar çoktur [1-4]. Dalgıç asenkron motorda (DASM) oluk yapısının değiştirilmesi verim üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu nedenle optimum oluk şekli ve boyutlandırma parametrelerinin hesaplanması önemlidir [4-5]. Ayrıca; DASM'un rotor yapıları değiştirilerek (kütle çelik rotor ve yarıklı rotor) küçük kayma değerlerinde iyi performans göstermektedir [6]. DASM'un eşdeğer devre modeli kullanılarak hız analitik olarak hesaplanabilir [7]. Yongming ve ark. [8] DASM'un SEY kullanılarak sargı sonu kaçak akı reaktansını hesaplamışlardır ve deneysel veriler ile karşılaştırmışlardır. Veri sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Arabacı ve ark.[9] ve Xin ve ark. [10] DASM'un stator akımlarını analiz ederek rotor arızalarının teşhisini incelemişlerdir. Meng ve diğ. [11] DASM'nin sıcaklık dağılımı ve termal modellemesini gerçekleştirmişlerdir. Gundale ve Kulkarni [12] bir fazlı dalgıç motorun analitik tasarımını gerçekleştirerek uygulamasını yapmışlardır.

DASM'den farklı olarak sürekli mıknatıslı senkron dalgıç motorlar konusunda olduğu görülmektedir [13-14]. Rotor yüzeyine yerleştirilen mıknatıslı senkron motorlarda [15] ve rotor içine gömülen mıknatıslı senkron motorlar [16-17] güç faktörü ve verim açısından DASM'ye üstünlük göstermektedir. DASM'ler yüksek gerilim altında çalışabilecek şekilde de üretilmektedir. Bu nedenle ızalasyon önemlidir. Çevresel faktörler ve motorun su altında çalışması ızalasyon ömrünü etkilemektedir [18]. Ayrıca; yüksek gerilime (1KV-2KV) dayanıklılık testlerinin yapılması önemlidir [19]. DASM'ların tasarımında, farklı amaç kriterlerini (düşük maliyetli, küçük boyutlu, yüksek verimi ve güç faktörüne sahip) aynı anda dikkate alınarak tasarım optimizasyonu gerçekleştiren çalışmalarda mevcuttur. DASM'lerde genetik algoritma kullanılarak tork optimizasyonu iyi sonuçlar elde edilmiştir [20]. Ayrıca; DASM'ların tasarım optimizasyonunu çok kriterli bulanık optimizasyon problemi olarak formüle edilebilmektedir [21]. Çunkaş ve diğ. [20] dalgıç asenkron motorun momentini iyileştirmek için genetik algoritma kullanarak motor verimi yükseltilmiş ve maliyeti düşürmüştür. Tasarım optimum değerlerinin uygunluğunu belirlemek için iki boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) kullanılmaktadır. Zaman ve analiz kolaylığı açısından iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi yaygın olarak tercih edilmektedir. İki boyutlu sonlu elemanlar modelinde son sargının direnç ve indüktans

etkisi analitik olarak uygun değerler verildiği takdirde hata azaltılabilir. Ancak; üç boyutlu analizde son sargı direnç ve indüktans değeri girilmesine gerek yoktur. Çünkü program otomatik olarak hesaplamaktadır. Şekil 1’de dalgıç motor kesiti verilmiştir:



Şekil 1. Dalgıç motorun genel görünümü (General view of the submersible motor)

Bu makalede, dalgıç motorlarla ilgili olarak literatürde yapılan çalışmalar incelenerek DASM analizi için hem analitik hemde sonlu elemanlar yöntemi tercih edilmiştir. Yapılan inceleme sonuçlarından, istatistiksel yöntemler ve sonlu elemanlar yöntemini birleştirip analizini gerçekleştiren çalışmaların çok az olması nedeniyle bu konu üzerinde durulmuştur. Rmxprt ile analitik analizi gerçekleştirilen motorun Maxwell 2D sonlu elemanlar yöntemi programında analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar uygulama sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

II. RMXPRT ve ANSYS-MAXWELL MODÜLLERİ

Son yıllarda teknolojiye paralel olarak bilgisayarların hesaplama yeteneklerinin artması ile analitik, nümerik veya her ikisini içeren yöntemler için paket programlar geliştirilmiştir. RMXprt; ANSYS-Maxwell programı içinde yer alan bir elektrik makinaları tasarım modülüdür. Dönen elektrik makinalar tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modül içerisinde;

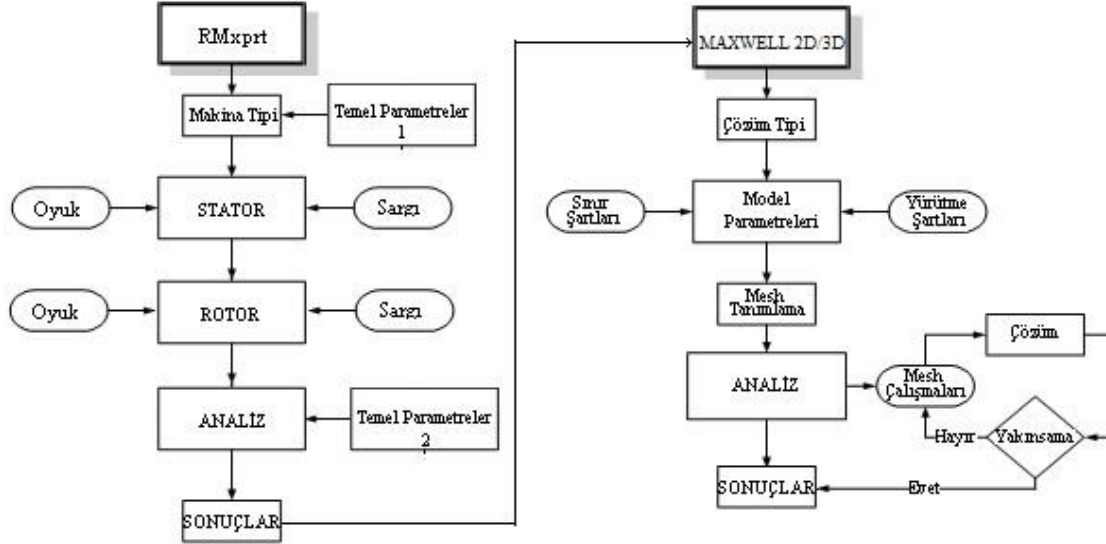
- 1-3 Fazlı Asenkron motor, asenkron jeneratör,
- Fırçalı-Fırçasız DC motor,

- Üniversal motor,
- Anahtarlama rekültans motor/jenaratör,
- Sürekli mıknatıslı senkron motor/jenaratör,
- Eksenel akılı motor/jenaratör,
- Çıkık kutuplu, yuvarlak kutuplu ve pençe tip alternatör,

ayrı ayrı alt modül olarak bulunmaktadır. Her alt modül tasarımı düşünülen elektrik makinanın mevcut analitik denklemlerini bünyesinde barındırmaktadır. Tasarımı yapılmak istenilen makina seçilerek, seçilen makinaya ait temel arayüz otomatik olarak oluşur. Temel boyutlandırma parametreleri (stator-rotor boyutları, sargı parametreleri, vb.) girilerek analiz yapmasının yanısıra bazı temel kısıtlar (doldurma faktörü, sipir sayısı, iletken çapı, oyuk şekli ve oyuk boyutları) altında uygun tasarıma ulaşılabilir. Böylece, elektromanyetik tasarıma geçilmeden tasarlanan makinanın tahmini performans analizi gerçekleştirilebilmektedir. Ancak, elde edilen sonuçlar makinanın uygulamadaki performans sonuçlarını tam anlamıyla yansıtmamaktadır. Çünkü, tasarlanan makinanın gerek nüve (ve/veya mıknatıs malzemenin lineer olmayan davranışı) materyalinin lineer olmayan davranışı gerekse, iletkenlerde meydana gelen deri-yakınlık etkisi ve diğer faktörler analitik çözümü gerçekleştirilen makinanın nümerik olarak çözülmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle sonlu elemanlar yöntemi nümerik çözüm için kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. RMXprt ile analitik analizi gerçekleştirilen makina 2D/3D (iki boyutlu/üç boyutlu) sonlu elemanlar çözümü için otomatik olarak tasarım parametreleri ile geçici zaman analizi (transient) Maxwell 2D/Maxwell 3D arayüzüne aktarılır. Bu arayüzde temel düzenlemeler (nüve kaybı/eddy kayıplarında hesaplanmasının kabulü) yapılarak çözüm gerçekleştirilir. Eğer kullanıcı sürekli hal tasarımı yapmak istiyor ise Maxwell 2D/ Maxwell 3D aktarılan kısımdan çözüm tipi kısmından sürekli hal (magnetostatic) olarak seçmelidir. Eğer yine kullanıcı tasarlanan makinanın eddy akımları veya elektrostatik çözümlerini gerçekleştirmek istiyor ise yine çözümden ilgili seçeneği seçerek gerekli düzenlemeler ile tasarımı gerçekleştirebilir.

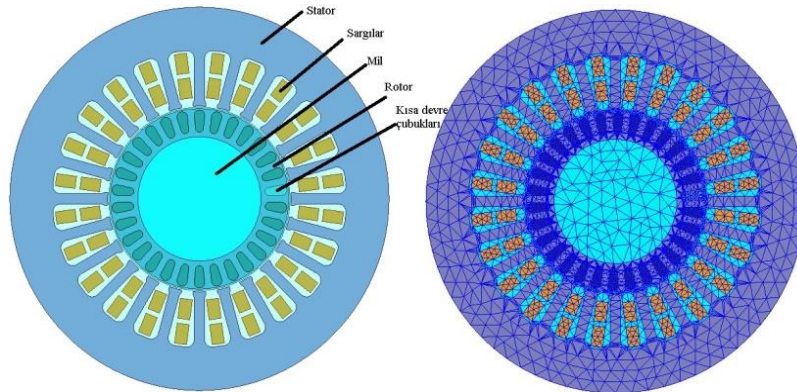
Dalgıç asenkron motor analizini RMXprt-Maxwell 2D’de gerçekleştirebilmek için ilgili program akış diyagramı Şekil 2.’de verilmiştir. Maxwell 2D’de ilk olarak makine geometrisi için tasarlanacak boyut seçilir. Hesaplanan geometri verilerine göre makine geometrisi oluşturulur yada RMXprt tarafından otomatik atanır. Model bölünüp simetrik hale getirilebiliyorsa model bölünür (Şekil 2). Bu tasarımda analizin hızlı olması için çeyrek simetrik model oluşturulmuştur. Model parametreleri olarak; sınır şartları (2D analiz için $A_z=0$ olarak atanır), sarım sayısı, direnç-indüktans parametreleri (RMXprt tarafından otomatik atanır) verilir. Tasarlanan makine analize hazır hale getirilir. Mesh tanımlama, program algoritmasında küçük gibi görünse de makinanın yeterli çözüm vermesi için çok önemlidir. Her ağ bölgesinde bilinmeyen büyüklükler (potansiyel, elektrik alan, ...) skaler veya vektörel kısmi diferansiyel eşitlikler ile temsil edilir. Analiz algoritmasına göre öncelikle modellenecek sistemde sonlu elemanlar ağı oluşturulur. Ağ eleman sayısı çözümün gerçekçi olabilmesi amacıyla; çözüm hassasiyetinin olması istenilen bölgelere ağ eleman sayısı artırılabilir. Çözüm sürecinde iterasyonlarla ağlar iyileştirilerek hata azaltılır. Alan çözümüne başlamadan önce iletkenlerdeki iletim akımının simülasyonu yapılır ve alan çözümü başlar. Her bir eleman 2. Dereceden kvadratik polinom olarak ifade edilir. Şekil 3’te ağ yapısı verilmiştir. Sonlu eleman ağındaki her üçgensel elemanın üç köşesi ve üç kenarın orta noktalarındaki manyetik alan şiddeti (H), akım yoğunluğu kullanılarak hesaplanmaktadır [22]. Çözümün bulunabilmesi için manyetik nüve malzemesinin BH eğrisi kullanılmaktadır. Çözücü tamamladığı çözümü bir dosyaya yazar ve hata analizini icra eder. Çözücü

adaptif analiz ile en hatalı dörtyüzlü elemanları küçülterek, belirlenen hata kriteri yerine getirilene kadar çözüme devam eder. Sonuç olarak akım yoğunluğu, manyetik alan şiddeti, manyetik akı yoğunluğu, elektromanyetik tork, demir ve bakır kaybı büyüklükleri elde edilir [23].



Şekil 2. Sonlu elemanlar yönteminin çalışma akış diyagramı

Maxwell 3D ile sistemin gerçek üç boyutlu yapısı dikkate alınır. 3D model mesh yapısından dolayı analiz süresi uzayacaktır. Bu nedenle kalınlık bilgisi ve simetri çarpanı eklenebildiğinden geometrinin en küçük simetriği üzerinde çalışmak hem zamandan tasarruf, hem de bilgisayar gücü anlamında bir tasarruf sağladığı için 2D analiz seçilmiştir (Şekil 3). Motorlarda kutup sayısı dikkate alınarak 4/1, 8/1, 16/1, 32/1, vb. gibi daha küçük parçalara bölünebilir ve eksenel simetrikler kullanılabilir. Ancak; iki boyutlu analiz son sargının indüktans ve direnç değerleri girilerek gerçek model dikkate alınabilir. Üç boyutlu analiz ile rotor çubuklarından geçen akım ve çubuklarda meydana gelen eddy etkileri de hesaplanmaktadır. Ayrıca; rotor son sargıların etkisi de hesaplanmaktadır [24].



Şekil 3. Asenkron motor iki boyutlu görünümü ($halfAxial=0, fractions=1$) ve Ansys-Maxwell 2D'de oluşturulan ağ yapısı

Torkun hesaplanabilmesi için sistemdeki manyetik alan şiddeti ve manyetik vektör potansiyelin hıza bağlı olarak değişiminin denkleminin bilinmesi gerekir [3]:

$$\nabla_x \nu \nabla_x A = J_s - \sigma \frac{\partial A}{\partial t} + \sigma \nabla V + \nabla_x H_c \quad (1)$$

Burada ν dönen kısmın hızı, A manyetik vektör potansiyeli, J_s kaynak akım yoğunluğu (iki boyutlu analizde z yönünde), σ iletkenlik, V elektriksel potansiyel, H_c kalıcı mıknatısın manyetik alan şiddetidir. Sistemde kalıcı mıknatıs olmadığı için H_c sıfır olarak alınır. Eşit. 2 zamana bağlı olarak çözülür [3-24];

$$J\beta + \lambda\omega = T_{em} + T_{load} \quad (2)$$

Burada J eylemsizlik momenti kg.m^2 , T_{em} elektromanyetik tork N.m , T_{load} yük N.m , ω açısal hız rad/s , β açısal hızlanma rad/s^2 , λ damping faktör N.m.s . Bu çalışmada da ilk olarak motor, Tablo 1'deki boyutlandırma verilerine göre Rmxprt ortamında tasarlanmıştır.

Tablo 1. Motor parametreleri

Anma Gücü (HP)	100	Stator Oluk Sayısı	24
Anma Gerilimi (V)	380	Rotor Oluk Sayısı	30
Yol Verme	Yıldız/Üçgen	Stator Dış Çapı (mm)	222
Kutup Sayısı	2	Stator İç Çapı (mm)	107,5
Anma Hızı (rpm)	2864	Mil İç Çapı (mm)	72
Frekans (Hz)	50	Paket Boyu (mm)	500
Stator/Rotor Malzemesi	M700	Hava Aralığı (mm)	3
Kablosuz Stator Sargı Direnci (ohm)	0,192	Çalışma Sıcaklığı (°C)	60

Dalgıç Asenkron Motorlar (DASM), yapı olarak asenkron motorlara benzemesine rağmen çalışma ortamlarından dolayı tasarımsal farklılıklar göstermektedir. DASM'lar, dalgıç pompa ile birlikte su

içerisinde çalıştığından dolayı motorun soğutulması su ile gerçekleştirilir. Bilindiği gibi, su soğutmalı motor tasarlanırken stator ve rotor akım yoğunlukları yüksek seçilir. Mil materyali olarak ısısal ve mekanik dayanımı yüksek SS416 kullanılmaktadır. Ayrıca; ısısal yükleme ve elektriksel yükleme değerleri motor gücü ile değişmektedir. IEEE Standart 112 göre ek kayıplar [25]; 1-125 Hp 1.8%, 126-500 Hp 1.5%, 501-2499 Hp 1.2% olarak alınabilir.

Asenkron motorun verimi çıkış gücün giriş güce oranı şeklinde bulunur. Verimi etkileyen temel faktörler kayıplardır. Burada P_o çıkış gücü, P_i giriş gücü, P_{cu} rotor ve statorda meydana gelen bakır kaybı toplamı, P_{fe} stator ve rotorda meydana gelen demir kayıpları toplamı (eddy ve histerisiz), P_{wf} sürtünme ve rüzgar kayıpları toplamı, P_{wfr} referans sürtünme ve rüzgar kaybı, $n_{referans}$ referans hız, n_{anma} anma hızı ω açısal hız, m faz sayısı, T_m elektromanyetik tork, s kayma I_2 rotor akımı ve R_2 rotor direnci olarak verilmiştir:

$$P_m = 3I_2^2 R_2 / s \quad (3)$$

$$T_m = P_m / \omega \quad (4)$$

$$T_2 = T_m - T_{wf} \quad (5)$$

$$P_2 = T_2 / \omega_2 \quad (6)$$

$$\cos \varphi = P_i / mU_1 I_1 \quad (7)$$

$$P_{wf} = P_{wfr} \frac{n_{referans}}{n_{anma}} \quad (8)$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_i - P_{cu} - P_{fe} - P_{wf}}{P_i} \quad (9)$$

Dalgıç motorun analizi için I7 Cpu 2.67Ghz İşlemcili-10Gb Ram'li bilgisayar kullanılmıştır ve üç deneyde 7770 mesh çözümü toplam 7sa 4dk sürmüştür.

III. UYGULAMA ve ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Dalgıç motorun testlerini gerçekleştirmek için Elsan motor firması test laboratuvarı kullanılmıştır. Schenck marka dinamometre kullanılmıştır. Deney anına ait görüntü Şekil 4'te ve analitik analiz, sonlu elemanlar sonuçları ve uygulama sonuçları Tablo 2'de verilmiştir:



Şekil 4. Dalgiç motorun test edilmesi

Tablo 2. Boş çalışma, Kilitli rotor, yüklü çalışma analitik, sonlu elemanlar ve deney sonuçları

Boş Çalışma	RMxprt	Ansys-Maxwell 2D FEM	Deney Sonuçları	HATA(%)
I (A)	8,803	9,1512	9,68	5,4
U (V)	380	380	380,6	-
(U/Un)²	1	1	1.003	-
Pfe (W)	713,269	1249,59	1276	2
N_r (d/d)	2999,45	2999,45	≈ 3000	-
Kilitli Rotor	RMxprt	Ansys-Maxwell 2D FEM	Deney Sonuçları	HATA(%)
Ik/In	4,4	3,99	3,91	2
Un (V)	380	380	380	-

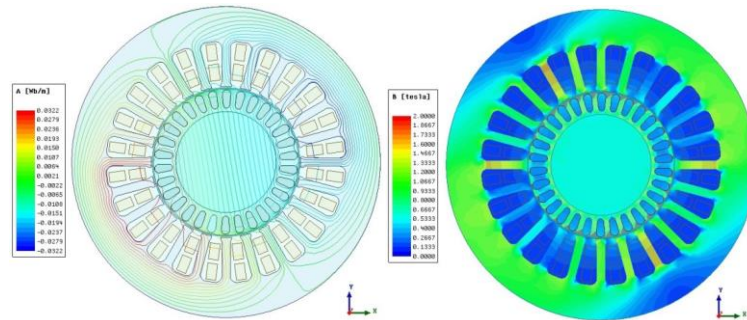
%100 Yük	RMxpirt	Ansys-Maxwell 2D FEM	Deney Sonuçları	HATA(%)
P₁ (Çekilen Güç) <i>kW</i>	86,244	87,432	88,2	0,9
T/N_r <i>(Nm)/(d/d)</i>	247,95/2881	250,7/2881	247,4/2883	-1,3/-
U/I <i>(V)/(A)</i>	380/47,45	380/54,03	378,3/51	-/5,9
P_{fe} (Demir Kayıpları) <i>W</i>	713,269	1031	1276	19,2
P_{cu1} (Stator Bakır Kaybı) <i>W</i>	5962,17	6180,8	5216	18,4
P₂ (Ek Kayıplar) <i>W</i>	423,435	423,435	441	3,9
P_{cu2} (Rotor Bakır Kaybı) <i>W</i>	3120,32	3057,7	3685	17
P_{mec} (Mekanik Kayıplar) <i>W</i>	1346,4	1346,4	2804	51,9
P_T (Toplam Kayıplar) <i>W</i>	11449	12257.93	13422	8,6
P₂ (Çıkış Gücü) <i>kW</i>	74,795	76,740	74,8	2,5
cos Φ/ η (%)	0,90/86,72	0,82/87,7	0,88/84,7	6,8/3,5

Deney sonuçları ile sonlu elemanlar sonuçları arasındaki hata oranı mekanik kayıplarda %51,9 civarındadır. Bu kadar yüksek kayıp çıkmasının nedeni sonlu elemanlar yönteminde ek kayıplar çalışma ortamından dolayı sıfır olarak belirlenmiştir. Akımdaki %5.4'lük hata bakır kayıplarında akımın karesi olarak yansıdığı için yüksek çıkmıştır. Ayrıca; sonlu elemanlarda yapılan analizler anma hızından 2 rpm daha düşük olması da hata değerlerini önemli ölçüde etkilemektedir.

Tablo 3. Dalgıç motorun %50, %75 ve %125 yüklenmesi ile elde edilen performans sonuçları

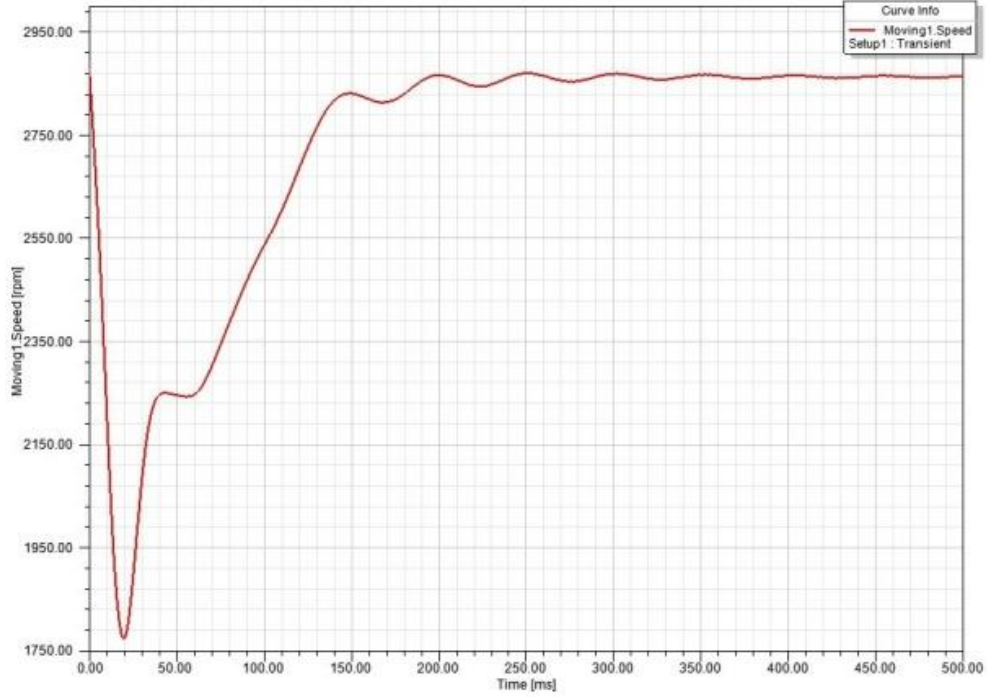
	Deney Sonuçları		
	%50 Yük	%75 Yük	%125 Yük
T (Nm)	123,7	185,6	309,3
U (V)	381,3	380,4	375,7
I (A)	77,9	114,8	203,6
N_r (d/d)	2949	2919	2824
Aktif Güç (kW)	43,16	66,14	114,5
Reaktif Güç (kW)	27,83	36,50	66,4
Toplam Kayıplar (kW)	4,96	9,43	23,05
Çıkış Gücü (kW)	38,2	56,7	91,4
cos Φ (Güç Katsayısı)	0,84	0,876	0,865
η (Verim)(%)	88,5	85,7	79,9

Sonlu elemanlar yöntemi ile motorun manyetik akı çizgileri ve manyetik akı yoğunluğu Şekil 5'te verilmiştir:

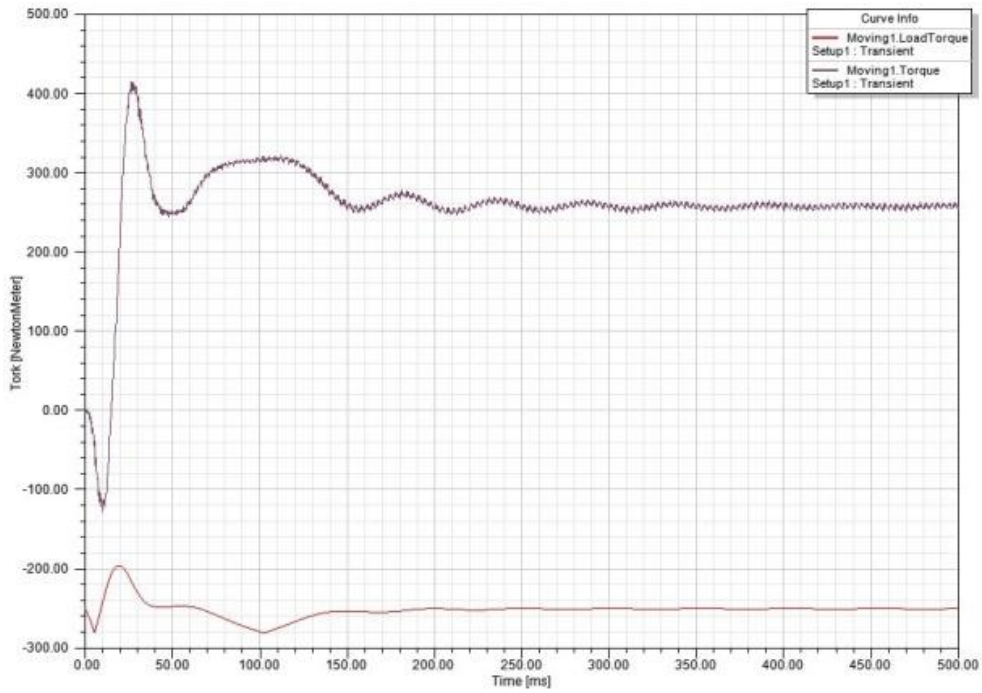


Şekil 5. Dalgıç asenkron motorun manyetik akı çizgileri ve manyetik akı yoğunluğu dağılımı

Şekilde görüldüğü gibi dalgıç motorun rotor ve stator boyunduruğu (1.7T altında), rotor ve stator dişleri (2.2T altında) nüve materyalinin doyum noktası altında çalışmaktadır. Motor mili çözüme dahil edildiğinden manyetik akı çizgileri milden geçmektedir ve manyetik akı yoğunluğu 0.53T olduğu görülmektedir. Ayrıca; dalgıç motorun tam yükteki hız ve tok değişimi Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir:



Şekil 6. Dalgıç asenkron motorun tam yükteki hız değişimi



Şekil 7. Dalgıç asenkron motorun tam yükteki tork değişimi

IV. SONUÇ

Bu çalışmada; Ansys firmasının Ansoft Maxwell modülünde yer alan Rmxprt ve Maxwell 2D kullanılarak, 100Hp bir dalgıç motorun sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizi ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Literatür incelendiğinde asenkron motorlar üzerine çok çalışma bulunmasına karşın dalgıç asenkron motorlar üzerine çalışmalar sınırlıdır. Çünkü, çalışma şartlarının (örneğin; akım yoğunluğu parametresinin uygun seçilmesi çok önemlidir), mekanik ve ısısal karakteristiğinin farklı olması ve ticari nedenler olarak verilebilir. Yapılan çalışmalarda daha çok iki boyutlu analiz kullanılmıştır. Akım hata oranı literatürdeki diğer çalışmalara benzer şekilde bulunmuştur. Dalgıç motorların tasarım optimizasyonunda, istatistiksel yöntemler kimi uygulamalarda yakın sonuçlar vermesine karşın elektrik makinaları tasarımında deterministik yöntemler tercih edilmektedir. Ancak; her iki yöntemin kullanıldığı Ansys yazılımı gibi paket programlar daha doğru sonuç vermektedir. Çalışma ortamı bakımından ısısal analizlerin yapılması motorun ısısal karakteristiğinin belirlenmesi açısından önemlidir. Ayrıca; dalgıç asenkron motorlarda güce göre mekanik kayıplar değişiminin belirlenmesi toplam kayıplardaki hata oranını önemli ölçüde azaltacaktır.

TEŞEKKÜR: Deneysel verilerin elde edilmesi ve teknik desteklerini esirgemeyen Mehmet Üzümcü ve FERHAT Dalgıç Motor ve Elsan Motor Firmalarına teşekkür ederim.

V. KAYNAKLAR

- [1] İ. Tarımer *Politeknik Der.* **8(1)** (2005) 19.
- [2] M. Çunkaş *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Der.* **27(4)** (2012) 136.
- [3] Z. Ping, S. Scott, J. C. Zoltan, *Dynamic modeling of three phase and single phase induction motor*, **International Conference IEMD'99, Electric Machines and Drives**, Seattle-USA, (1999) 556.
- [4] A. Deshmukh, A. A. Bhole *IJEET* **5(9)** (2014) 39.
- [5] M. Sundaram, P. Navaneethan *American Journal of Applied Sciences* **8(4)** (2011) 393.
- [6] J. B. Danilevich, V. N. Antipov, I. Y. Kruchinina, Y. Khozikov, *Design considerations of submersible unprotected solid-rotor induction motor*, **ICEM 18th International Conference on Electrical Machines**, Vilamoura-Portugal, (2008) 1.
- [7] M. A. Choudhury, M. A. Rahman *IEEE Transactions on Industry Applications* **28(3)** (1992) 680.
- [8] X. Yongming, M. Dawei, W. Jiabin, *Numerical Calculation of End Leakage Reactance of Submersible Motor*, **ICEET'09 In Energy and Environment Technology**, Guilin-China, (2009) 184.
- [9] H. Arabacı, O. Bilgin, A. Ürkmez, *The Detection of Rotor Faults in the Manufacturing of Submersible Induction Motor*, **Int. Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP '07)**, Bodrum-Turkey, (2007) 222.
- [10] L. Xin, H. Zhuo, W. Liguo, L. Linlin, X. Dianguo, *Submersible Motor Rotor Bars Broken Fault Analysis Based on HHT*, **IEEE 7th International Power Electronics and Motion Control Conference**, Harbin-China, (2012) 2398.
- [11] D. Meng, Y. Liu, Y. Xu, Q. Zhang, *Analysis and Calculation of 3-D Temperature Field of Submersible Motor Rotor*, **Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)**, Chengdu- Asia-Pacific, (2010) 1.

- [12] V.A. Gundale, M.S. Kulkarni *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* **2(1)** (2012) 299.
- [13] Z. Bingyi, L. Bingxue, F. Guihong, Z. Fuyu, *Research of multipolar permanent magnet synchronous submersible motor for screw pump*, **ICMA In Mechatronics and Automation**, Harbin-China, (2007) 1011.
- [14] L. Jianjun, Z. Jibin, J. Xintong, F. Xinghe, *Electrical-thermal Coupled Calculation of a Submersible Motor Used for Deep-sea Electromagnetic Propeller*, **14th Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (CEFC)**, Chicago, USA, (2010) 1.
- [15] W. Jiabin, Y. Pan, *Research of six-pole permanent magnet submersible motor design*, **6th International Forum on Strategic Technology (IFOST)**, Harbin-China, (2011) 545.
- [16] S. F. Rabbi, M. A. Rahman, S. D. Butt, *Modeling and operation of an interior permanent magnet motor drive for electric submersible pumps*, **IEEE In Oceans-St. John's, St. John's, Canada**, (2014) 1.
- [17] Z. Bingyi, Z. Liu, H. Ding, K. Liu, G. Feng, *Study on unit combination type direct-driven submersible permanent magnet motor*, **17th Electrical Machines and Systems (ICEMS)**, Hangzhou-China, (2014) 3087.
- [18] B. Liu, XH. Bao, J. Liu, QL. Zhu, *Insulation Life Prediction of High Voltage Submersible Motor Based on BP Neural Network*, **Int. Conference on Consumer Electronics Communications and Networks (CECNet)**, XianNing-China, (2011) 418.
- [19] I.A. Metwally, A. Gastli, M. Al-Sheikh *Electric power systems research* **77(8)** (2007) 1065.
- [20] M. Cunkas, R. Akkaya, O. Bilgin, *Torque optimization of submersible motors using evolutionary algorithms*, **Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)**, Istanbul-Turkey, (2011) 365.
- [21] M. Çunkaş, A. Ürkmez *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* **23(3)** (2008) 645.
- [22] Anonim, http://ansoft-maxwell.narod.ru/en/CompleteMaxwell2D_V12.pdf (Erişim tarihi: 01th of May, 2015).
- [23] A. Fenercioğlu, İ. Tarimer *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Der.* **6(3)** (2007) 221.
- [24] R. De Weerd, R. Belmans, *Squirrel cage induction motor end effects using 2D and 3D finite elements*, **Seventh International Conference, In Electrical Machines and Drives**, Durham-England, (1995) 62.
- [25] Anonim, *IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators*, **IEEE Standard**, 112, 1991.