

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORTA GÜÇLÜ SİNCAP KAFESLİ ASENKRON MOTOR TASARIM  
PROGRAMI GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Emre GÜRLEYEN**

**Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Programı**

**HAZİRAN 2013**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORTA GÜÇLÜ SİNCAP KAFESLİ ASENKRON MOTOR TASARIM  
PROGRAMI GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Emre GÜRLEYEN  
(504091048)**

**Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Derya Ahmet KOCABAŞ**

**HAZİRAN 2013**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504091048 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Emre GÜRLEYEN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ORTA GÜÇLÜ SİNCAP KAFESLİ ASENKRON MOTOR TASARIM PROGRAMI GELİŞTİRİLMESİ** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Yrd. Doç. Dr. Derya Ahmet KOCABAŞ**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof.Dr.İbrahim Şenol**      .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Deniz YILDIRIM**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **03 Mayıs 2013**  
**Savunma Tarihi :**      **18 Haziran 2013**



*Aileme,*





## ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında tüm sorularıma sabır ve içtenlikle cevap verip, ortaya çıkan tüm sorunlarda benden desteğini esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Derya Ahmet KOCABAŞ'a çok teşekkür ediyorum.

Hayatıma girdiği günden beri eksik parçalarımı tamamlayan eşim Nuray GÜRLEYEN'e, aralarında olduğum günden beri beni yetiştirmek için emek veren ve beni asla yalnız bırakmayan, desteğini her zaman yanımda hissettiğim annem Beyaz GÜRLEYEN'e, babam Şaban GÜRLEYEN', kardeşlerim Hüseyin ve Soner GÜRLEYEN'e, sonsuz teşekkürlerimi ve sevgimi sunuyorum.

Çalışmalarım sırasında gerekli olan kaynak ve dökümanları temin etmem de yardımları olan başta Yüksel MESUT olmak üzere tüm Miksan Motor A.Ş. çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca her ihtiyacım olduğunda yardımını aldığım değerli meslektaşım Elektrik-Elektronik Müh. Yasemin IŞIK' a ve buraya ismini sığdıramayacağım tüm dostlarıma sevgi ve saygılarımı sunuyorum.

Mayıs 2013

Emre Gürleyen



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| ÖNSÖZ.....                                                  | vii       |
| İÇİNDEKİLER .....                                           | ix        |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                        | xi        |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                          | xiii      |
| SEMBOL LİSTESİ .....                                        | xv        |
| ÖZET.....                                                   | xvii      |
| SUMMARY .....                                               | xix       |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                       | <b>1</b>  |
| <b>2. GENEL KAVRAMLAR.....</b>                              | <b>5</b>  |
| 2.1 Asenkron Motorun Yapısı .....                           | 5         |
| 2.1.1 Stator .....                                          | 5         |
| 2.1.2 Rotor.....                                            | 6         |
| 2.2 Asenkron Motorun Çalışma Prensibi .....                 | 6         |
| 2.3 Asenkron Motorun Eşdeğer Devresi .....                  | 7         |
| 2.4 Asenkron Motorun Kayıpları ve Verim .....               | 11        |
| <b>3. ORTA GÜÇTE ASENKRON MOTOR TASARIMI .....</b>          | <b>13</b> |
| 3.1 Amaç .....                                              | 13        |
| 3.2 Motorun Ana Boyutları .....                             | 13        |
| 3.3 Stator Sargısı ve Direnç.....                           | 15        |
| 3.4 Kirişlenme Faktörü, Sargı Faktörü, Dağılma Faktörü..... | 17        |
| 3.5 Rotor Sargısı Ve Dirençler .....                        | 18        |
| 3.6 Mıknatıslanma Akımı.....                                | 19        |
| 3.7 Kaçak Reaktanslar .....                                 | 21        |
| 3.8 Kalkış Akımı ve Kalkış Momenti .....                    | 23        |
| 3.9 Kayıplar ve Verim .....                                 | 24        |
| 3.9.1 İletim kayıpları.....                                 | 24        |
| 3.9.1.1 Stator iletim kayıpları.....                        | 24        |
| 3.9.1.2 Rotor iletim kayıpları .....                        | 24        |
| 3.9.2 Demir kayıpları .....                                 | 24        |
| 3.9.2.1 Stator dişlerindeki demir kayıpları.....            | 24        |
| 3.9.2.2 Stator boyunduruğundaki demir kayıpları .....       | 25        |
| 3.9.3 Yüzey kayıpları .....                                 | 26        |
| 3.9.3.1 Stator yüzey kayıpları .....                        | 26        |
| 3.9.3.2 Rotor yüzey kayıpları.....                          | 27        |
| 3.9.4 Pulzasyon kayıpları .....                             | 27        |
| 3.9.4.1 Stator pulzasyon kayıpları.....                     | 27        |
| 3.9.4.2 Rotor pulzasyon kayıpları .....                     | 28        |
| 3.9.5 İlave kayıplar.....                                   | 28        |
| 3.9.6 Hava ve yatak sürtünme kayıpları.....                 | 28        |
| 3.10 Mekanik Tasarım.....                                   | 28        |
| <b>4. MOTOR TASARIM YAZILIMININ GERÇEKLENMESİ.....</b>      | <b>31</b> |

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1 Visual Basic.....                                                          | 31        |
| 4.2 Tasarım Arayüzü Ve Motor Hesaplama.....                                    | 31        |
| 4.2.1 Mıknatıslanma akımı hesaplama.....                                       | 36        |
| 4.2.2 Reaktanslar ve kalkış parametreleri .....                                | 39        |
| 4.2.3 Kayıplar ve verim.....                                                   | 39        |
| 4.3 Program Akış Diyagramı.....                                                | 42        |
| <b>5. ÖRNEK MOTOR HESAPLAMA .....</b>                                          | <b>45</b> |
| 5.1 Örnek Motora Ait Veri Giriş Değerleri.....                                 | 45        |
| 5.2 Stator ve Rotor Geometrisi, Sargı Büyüklükleri ve Malzeme Ağırlıkları..... | 46        |
| 5.3 Manyetik Büyüklükler ve Mıknatıslanma Akımının Hesabı.....                 | 50        |
| 5.4 Kısadevre Akımı Hesabı.....                                                | 50        |
| 5.5 Kayıplar ve Verim .....                                                    | 50        |
| 5.6 Hız-Moment Grafiği.....                                                    | 55        |
| 5.7 Örnek Tasarımın Gerçeklenmesi.....                                         | 55        |
| 5.8 Örnek Tasarımın Tasarımın Test Edilmesi.....                               | 56        |
| 5.9 Deney Sonuçları Ve Karşılaştırma .....                                     | 58        |
| 5.10 Hesaplanan Hız-Moment Grafiği .....                                       | 59        |
| <b>6. SONUÇ .....</b>                                                          | <b>63</b> |
| <b>EK A: 4 Kw 4 KUTUPLU MOTOR TEST RAPORU .....</b>                            | <b>67</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                          | <b>69</b> |

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1 : Faydalanma katsayıları tablosu.....                           | 14 |
| Çizelge 3.2 : Verim hesaplarında kullanılan A, B, C, D katsayıları.....     | 15 |
| Çizelge 3.3 : Bobin başı dağılma iletkenliği değerleri.....                 | 22 |
| Çizelge 3.4 : Rotorun hava aralığı dağılımında kullanılan K2 katsayısı..... | 22 |
| Çizelge 5.1 : 4 kW iki kutuplu motora ilişkin giriş verileri.....           | 45 |
| Çizelge 5.2 : Sonuçların Karşılaştırılması.....                             | 60 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1 : Ferrari 'nin tasarladığı motor .....                               | 1  |
| Şekil 1.2 : Tesla'nın tasarladığı motor .....                                  | 2  |
| Şekil 2.1 : Sincap kafesli asenkron motorun yapısı .....                       | 5  |
| Şekil 2.2 : Transformatör devresi .....                                        | 8  |
| Şekil 2.3 : Primere indirgenmiş tam eşdeğer devre .....                        | 8  |
| Şekil 2.4 : Rotor eşdeğer devresi a)herhangi bir s anında b)durma anında ..... | 9  |
| Şekil 2.5 : Üç fazlı bir motorun tek faz yaklaşık eşdeğer devresi .....        | 10 |
| Şekil 3.1 : Döner alan oluşumu.....                                            | 16 |
| Şekil 3.2 : Kirişlenmiş bobinde endüklenen gerilim.....                        | 18 |
| Şekil 3.3 : Stator iç çapının dış çapına oranı olarak khb katsayıları.....     | 25 |
| Şekil 3.4 : Stator iç çapının dış çapına oranı olarak kwb katsayıları .....    | 26 |
| Şekil 3.5 : $\beta$ nın $b_0/\delta$ ya bağlı olarak değerleri. ....           | 27 |
| Şekil 4.1 : Tasarım arayüzü görünümü.....                                      | 32 |
| Şekil 4.2 : Stator oluk geometrisi .....                                       | 33 |
| Şekil 4.3 : Rotor oluk geometrisi.....                                         | 34 |
| Şekil 4.4 : Hesaplanan değerler sayfasının görünümü.....                       | 35 |
| Şekil 4.5 : Programa girilen sac karakteristikleri.....                        | 36 |
| Şekil 4.6 : Mıknatıslanma akımı hesap sayfası.....                             | 37 |
| Şekil 4.7 : Mıknatıslanma akımı hesap sayfasının ikinci kısmı.....             | 38 |
| Şekil 4.8 : Reaktans hesaplama sayfası .....                                   | 40 |
| Şekil 4.9 : Kayıplar ve verim sayfası.....                                     | 41 |
| Şekil 4.10 : Program akış diyagramı.....                                       | 43 |
| Şekil 5.1 : 4 kw 4 kutuplu motor için stator geometrik ölçüleri .....          | 46 |
| Şekil 5.2 : 4 kw 4 kutuplu motor için stator oluk geometrik ölçüleri.....      | 47 |
| Şekil 5.3 : 4 kW 4 kutuplu motor için rotor geometrik ölçüleri .....           | 47 |
| Şekil 5.4 : 4 kW 4kutuplu motor için rotor oluk geometrik ölçüleri .....       | 47 |
| Şekil 5.5 : 4 kW 4 kutuplu motor için veri giriş ekranı .....                  | 48 |
| Şekil 5.6 : 4 kw 4 kutuplu motor için hesaplanan değerler sayfası .....        | 49 |
| Şekil 5.7 : 4 kW 4 kutuplu motor için mıknatıslama akımı hesap sayfası .....   | 51 |
| Şekil 5.8 : Mıknatıslanma akımı sayfasının ikinci kısmı.....                   | 52 |
| Şekil 5.9 : 4 kw 4 kutuplu motor için reaktanslar sayfası.....                 | 53 |
| Şekil 5.10 : 4 kW 4 kutuplu motor için verim sayfası .....                     | 54 |
| Şekil 5.11 : Hesaplanan motorun hız-moment grafiği.....                        | 55 |
| Şekil 5.12 : İmal edilen motorun görünümü .....                                | 56 |
| Şekil 5.13 : Test düzeneği.....                                                | 57 |
| Şekil 5.14 : Ayarlı gerilim regülatörleri .....                                | 57 |
| Şekil 5.15 : Laboratuar ölçümünde belirlenen hız-moment grafiği.....           | 59 |
| Şekil 5.16 : Maxwell Rmxprt programında hesaplanan hız-moment grafiği .....    | 59 |





## SEMBOL LİSTESİ

|                                    |                                                                          |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| $V$                                | : Manyetik gerilim                                                       |
| $E_1$                              | : Statorda endüklenen gerilim                                            |
| $E_2$                              | : Rotorda endüklenen gerilim                                             |
| $\phi$                             | : Akı                                                                    |
| $p$                                | : Kutup çifti sayısı                                                     |
| $X$                                | : Reaktans                                                               |
| $n_s$                              | : Temel frekansta senkron devir sayısı                                   |
| $M$                                | : Moment                                                                 |
| $s$                                | : Kayma                                                                  |
| $f, f_1$                           | : Frekans                                                                |
| $\dots_1, \dots_S$                 | : Tasarım kısmında statora ait büyüklükler için alt indis                |
| $\dots_2, \dots_R$                 | : Tasarım kısmında rotora ait büyüklükler için alt indis                 |
| $\dots_j$                          | : Stator ve rotor boyunduruk büyüklükleri için alt indis                 |
| $\dots_d$                          | : Stator ve rotor dış büyüklükleri için alt indis                        |
| $\dots_\delta$                     | : Hava aralığı büyüklükleri için alt indis                               |
| $\dots_o, \dots_{o1}, \dots_{o2},$ | : Oluğa ait büyüklükler için alt indisi (1 ve 2, stator ve rotor indisi) |
| $\dots_o$                          | : Akım, gerilim, güç faktörü gibi büyüklüklerde boşa çalışma indisi      |
| $\dots_k$                          | : Kısadevre ya da kalkış büyüklükleri                                    |
| $\dots_{\phi k}$                   | : Rotor çubuklarına ilişkin büyüklükler                                  |
| $\dots_{ha}$                       | : Rotor kısadevre halkasına ilişkin büyüklükler                          |
| $P_1, P_2,$                        | : Aktif güç                                                              |
| $Q_1$                              | : Reaktif güç                                                            |
| $P_{k-\dots}$                      | : İlgili yerdeki kayıp güç                                               |
| $Q_{s1}, Q_{s2}$                   | : Statora ve rotora ilişkin oluk sayısı                                  |
| $q$                                | : Faz ve kutup başına oluk sayısı, iletken kesidi                        |
| $D_i$                              | : Stator iç çapı                                                         |
| $L$                                | : Stator uzunluğu,                                                       |
| $S$                                | : Görünür güç, ilgili yerdeki akım yoğunluğu                             |
| $\tau_p, \tau_o$                   | : Kutup adımı, oluk adımı                                                |
| $\delta$                           | : Hava aralığı uzunluğu                                                  |
| $\phi$                             | : Hava aralığı akısı                                                     |
| $B_{\dots}$                        | : İlgili bölgedeki akı yoğunluğu                                         |
| $w_1$                              | : Stator toplam sarım sayısı                                             |
| $L_{iletken}$                      | : Ortalama iletken uzunluğu                                              |
| $L_{\dots}$                        | : İlgili yerin endüktansı                                                |
| $R_{\dots}$                        | : İlgili yerin direnci                                                   |
| $G_{\dots}$                        | : İlgili yerin ağırlığı                                                  |
| $Z_{\dots}$                        | : İlgili yerdeki iletken sayısı                                          |
| $h_{\dots}$                        | : İlgili yerin yüksekliği                                                |
| $b_{\dots}$                        | : İlgili yerin genişliği                                                 |

|                        |                                                                      |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| $k_c, k_{c1}, k_{c2},$ | : Toplam, stator ve rotor Carter faktörleri                          |
| $H_{...}$              | : İlgili bölgedeki akı yoğunluğuna karşı düşen manyetik alan şiddeti |
| $l_{...}$              | : İlgili bölgenin uzunluğu                                           |
| $X_{\sigma...}$        | : İlgili yerin kaçak reaktansı                                       |
| $X_{\sigma o}$         | : Oluk dağılma reaktansı                                             |
| $X_{\sigma bb}$        | : Bobin başı dağılma reaktansı                                       |
| $X_{\sigma ha}$        | : Hava aralığı dağılma reaktansı                                     |
| $X_m$                  | : Miknatıslama reaktansı                                             |
| $\sigma_1, \sigma_2$   | : Stator ve rotor dağılma faktörü                                    |
| $\eta$                 | : Verim                                                              |
| $\cos \varphi_{...}$   | : İndisteki çalışma şekline göre güç faktörü                         |

## **ORTA GÜÇLÜ KAFESLİ ASENKRON MOTOR TASARIM PROGRAMI GELİŞTİRİLMESİ**

### **ÖZET**

Yaklaşık olarak 100 yılın üzerinde insanlığın hizmetinde olan asenkron motorların üretimi günümüz teknolojisi ile daha kolay ve hızlı hale gelmiş, böylelikle asenkron motorlar endüstrinin vazgeçilmez parçalarından biri olmuştur. Güç elektroniği teknolojisinin gelişmesi sonucu kontrol edilebilirliklerinin artması ile imalatı daha kolay olan ve az bakım gerektiren sincap kafesli asenkron motorlar her geçen gün daha fazla miktarda kullanılır hale gelmiş ve rotoru sargılı olan bilezikli asenkron motorların popülariteleri azalmıştır.

Üretimi yaygınlaşan asenkron makinenin tasarımı karmaşık ve zor bir iştir. Çoğu üretici firma daha çok üretilmiş bir motoru söküp aynısı yapmaya çalışarak piyasada tutunmaya çalışmaktadır. Kurumsallaşmış ve Araştırma-Geliştirme Bölümü olan firmalar ise yüksek maliyetli yazılımlar kullanmaktadırlar. Sincap kafesli asenkron motor tasarımı yapabilen çok sayıda yazılım geliştirilmiştir. Ticari kaygılar sebebi ile tasarım yapan programların kodlarına erişme imkânı yoktur. Bir asenkron motoru tasarlama aşamasında gerekli olan denklemler ve parametreler son derece karmaşıktır. El ile hesap yapıldığında hata yapma olasılığı son derece fazladır. Yazılım ücretlerinin pahalı olması ve el ile hesap yapmanın karmaşıklığı sebebi ile literatürde yer alan bilgi kaynaklarını kullanarak hızlı hesap yapan, sayısallaştırılmış bir veri tabanından veri okuyan gerekli hesaplamalar sonucunda üretilmiş bir motorla örtüşen değerler üreten bir yazılım hazırlanması düşünülmüştür.

Çoğu zaman asenkron motor tasarımı farklı gerilim ve frekansta çalışacak motor sargıları imal etmeyi gerektirmektedir. Özellikle yurtdışı ile çalışan motor üretim firmaları ve yeni motor tiplerine geçmek isteyen üreticiler, asenkron motor tasarımını farklı güç, gerilim ve frekansta çalışacak şekilde imal etme gereği duymaktadırlar. Böyle bir durumda yeni tasarımın hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılması gerekir. Bu sebeple hesaplamaları doğru bir şekilde tasarlanmış, güvenilir bir bilgisayar program ile yapmak tasarımı hem hızlı hale getirecek, hem de olası hataları en aza indirecektir.

Motor plaka değerlerinden yola çıkılarak son aşamaya kadar, stator ve rotor çekirdek sargısı, mıknatıslanma akımı, yolverme büyüklükleri, kayıplar ve işletme büyüklüklerinin hesabı, hesap aşamalarının alt bileşen hesapları da gerçekleştirilerek tamamlanmıştır.

Kullanıcı dostu olması ve veri aktarımının kolaylığı, daha önceden elde edilmiş tecrübeler sebebi ile Visual Basic programlama dili kullanılarak hesaplar gerçekleştirilmiştir.

Program yazım aşamasında, kullanılmak üzere sayısallaştırılan görsel veriler taranarak çizim programına aktarılmış ve elde edilen sonuçlar Excel programında işlenerek uygun hale getirilmişlerdir.

Elde edilen son tasarım verilerinin doğruluğunun teyid edilmesi amacı ile Miksan Motor A.Ş. desteği ile tasarlanan örnek bir motor üretilmiş ve işletme verileri ile program çıktıları karşılaştırılmıştır. İki değer arasındaki fark beklentiler dahilinde çıkmış ve hazırlanan yazılımın başarı ile sonuca ulaştığı görülmüştür. Hesap hatası oranları yüzde olarak verilmiştir.

Bu çalışma ile kaynak kodları gizli tutulan yüksek fiyatlı ticari yazılımlar yerine kullanıcı dostu bir tasarım programı hazırlanması amaçlanmış, tasarım için mil gücü üst sınırı 50 kW olarak seçilmiş, seçilen kısıtlar dahilinde yazılım tamamlanmış ve uygulamalı bir örnek çalışma ile güvenilirliği test edilmiştir. Asenkron motor tasarımı için hızlı ve doğru hesap yapan farklı ve ulusal bir program hazırlanmıştır.

## **DEVELOPMENT DESIGN SOFTWARE OF SQUIRREL CAGE INDUCTION MOTOR IN MEDIUM POWER**

### **SUMMARY**

The production of induction motors which are in service of humanity approximately for 100 years became cheaper, easier and faster by today's technology level, thus induction motors are one of the indispensable part of the industry. Squirrel cage induction motors which can be easily produced are widely used after the loss of intention for wound rotor induction motors having windings on the rotor and the improvements in power electronics.

An induction or asynchronous motor is an AC electric motor in which the electric current in the rotor needed to produce torque is induced by electromagnetic induction from the magnetic field of the stator winding. An induction motor therefore does not require mechanical commutation or separate-excitation for all or part of the energy transferred from stator to rotor, as in universal, DC and synchronous motors. An induction motor's rotor can be either a wire-wound type or a squirrel-cage type.

Three-phase squirrel-cage induction motors are widely used in industrial drives because they are rugged, reliable and economical. Single-phase induction motors are used extensively for smaller loads, such as household appliances like fans. Although traditionally used in fixed-speed service, induction motors are increasingly being used with variable-frequency drives (VFDs) in variable-speed service. VFDs offer especially important energy savings opportunities for existing and prospective induction motors in variable-torque centrifugal fan, pump and compressor load applications. Squirrel cage induction motors are very widely used in both fixed-speed and VFD applications.

The stator of an induction motor consists of poles carrying supply current to induce a magnetic field that penetrates the rotor. To optimize the distribution of the magnetic field, the windings are distributed in slots around the stator, with the magnetic field having the same number of north and south poles. Induction motors are most commonly run on single-phase or three-phase power, but two-phase motors exist; in theory, induction motors can have any number of phases. Many single-phase motors having two windings can be viewed as two-phase motors, since a capacitor is used to generate a second power phase  $90^\circ$  from the single-phase supply and feeds it to the second motor winding. Single-phase motors require some mechanism to produce a rotating field on startup. Cage induction motor rotor's conductor bars are typically skewed to reduce noise.

The main purpose of designing an induction motor is to obtain the complete physical dimensions of all the parts of the machine as mentioned below to satisfy the customer specifications. The following design details are required; The main dimensions of the stator, details of stator windings, design details of rotor and its windings, performance characteristics.

Choice of power factor and efficiency under full load conditions will increase with increase in rating of the machine. Percentage magnetizing current and losses will be lower for a larger machine than that of a smaller machine. Further the power factor and efficiency will be higher for a high speed machine than the same rated low speed machine because of better cooling conditions. Taking into considerations all these factors the above parameters will vary in a range based on the output of the machine.

In today's designing programmes, user give informations about dimensions of the motor. With dimensions also customers give information about stator and rotor windings. Because most of the motor manufacturers have same type laminations so this kind of producers want to calculate motors which are appropriate for their laminations.

Designing the induction which production of it expanding is a complex and difficult task. Most of the producers try to copy the motor which produced before and try to survive in the market like that. Institutionalized companies having R&D department use high cost designing softwares. At the present time, a wide range of motor design software are developed for cage induction motors. It is mostly impossible to obtain the codes for these software depending on the commercial apprehensions. The equations and also the parameters used in the design procedure of an induction motor are too complex, thus calculation errors are likely when performed manually. Since the cost of design software are high and the calculation steps are too complicated, it is thought to design software making fast calculations by using resources in the literature, getting information from a digitalized database and also creating an output corresponding to that of a motor produced after the performed calculations.

Most of the time designers calculate motor winding for different voltages and frequency. Especially manufactureres working with overseas companies and manufactureres aimed to produce new type motors, are needed to design motors for different power, voltage and frequency. In that situation it is needed to design new motor fastly and reliably. For that reason, designing motors with computer software will accelerate the speed of designing and minimize potential errors.

In created software, calculations start from the motor nameplate values, and it calculates windings for stator and parameters for rotor, magnetizing current, starting values like torque, losses and efficiency, nominal values when working at nominal output power. Also sub-components of the stages of the account are calculated.

Also in created software, efficiency and power factors are updated to today's values. Because all of the calculations about the induction motors starts from the output power, efficiency and power factors. And this values are taken from the motors which is manufactured in the past.

In these days, energy-saver machines are important for all customers. In the international standards efficiency of the motors calculated as maximum as. For example, new efficiency categories are created. IE1, IE2, IE3 and IE4. For now the last category is not calculated. But others are determined. So if you want to calculate new motors you have to calculate it for new categories.

With all of these reasons, to make the design of squirrel cage type induction motor a program was created with a computer software. The selected computer software is, Visual Basic. The reasons for this choice; the software is user-friendly, this software works done before and the ease of transferring data can be shown.

In the stage of writing program, graphics scanned and sent to drawing programme, and the values converted to the formulas.

To check the accuracy of the software with help of Miksan Motor Company, a calculated motor produced and tested in laboratory. And test values compared with the calculation results. The difference between two values seen like as expected. And in this thesis, all of the aims were succeeded with success. Also error rates was given in the percentages.

In this study, the source code is kept secret program has been developed that can be used instead of proprietary software. For design, the maximum output power was choosen 50 kW. The program is completed within the selected constraints. The reliability was checked with a practical working. A new and national program was prepared for designing asynchronous motor.

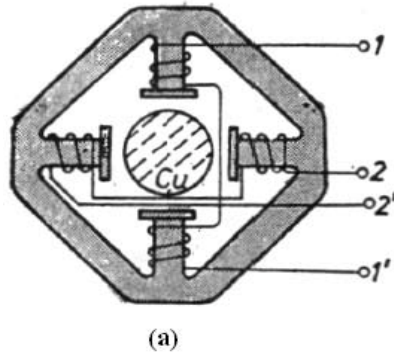




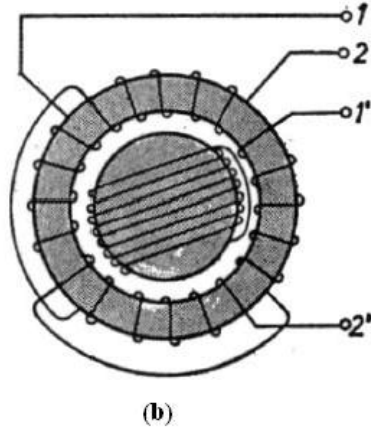
## 1. GİRİŞ

Günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan sincap kafesli asenkron makineler genellikle bir ve üç fazlı olarak imal edilirler. Daha çok motor çalışma durumunda kullanılırlar. İcadından itibaren günümüze kadar teknolojiadaki gelişmeler ile birlikte aynı güç değeri için boyutları ve fiyatları oldukça düşmüştür. Bugün birkaç wattan 35MW'a kadar güçlerde imal edilebilen asenkron motorların gerilim seviyeleri ise 110V ile 27 kV arasında değişmektedir [1]. Sincap kafesli asenkron motorlar; doğrudan bir fazlı ya da üç fazlı alternatif akım şebekesinden beslenebilmesi, çalışmaları sırasında elektrik arkı meydana gelmemesi, dayanıklı, bakım gerektirmeyen yapısı ve düşük maliyetleri nedeniyle, hem sanayide hem de ev aletlerinde en çok kullanılan motor türü haline gelmiştir.

Asenkron motorların icadı 1885'lere dayanır. Galileo Ferrari ve Nicola Tesla bu motoru ilk olarak üreten ve patentini alan bilim adamlarıdır. Ferrari'nin ürettiği makine doğru akım makinesine benzer şekilde, iki çift kutuplu bir stator sargısına sahip ve rotoru bakır bir silindirden meydana gelmiştir. Teslanın makinesinde ise stator sargısı, karkas boyunca yayılmış ve bununla birlikte rotorda da kısadevre edilmiş bir sargı daha bulunmaktadır. Her iki makinenin kesiti şekil 1.1 ve şekil 1.2'de verilmiştir [2].



Şekil 1.1 : Ferrari 'nin tasarladığı motor.



**Şekil 1.2 :** Tesla'nın tasarladığı motor.

İlk olarak asenkron makinalar üç fazlı olarak bir Alman firması tarafından, 3 HP gücünde ve bilezikli olarak imal edilmeye başlanmış ve rotor sargılarına basitçe direnç bağlanarak moment ayarının dönemin şartlarına göre kolay yapılabilmesi sebebiyle sanayide doğru akım makinesine rakip olmuştur.

İmalat tekniklerinin ve malzeme biliminin gelişmesi ile kafesli asenkron motor tasarımı ilk olarak Mikhail Dolivo Dobrovolsky tarafından 1891 yılında yapılmıştır [15]. Rotoruna müdahale edilememesi sebebi ile ilk başlarda ekonomik kontrol zorluğu yaşansa da güç elektroniği devrelerinin gelişmesi, küçülmesi ve ucuzlaması ile kafesli asenkron motorlar daha fazla miktarda kullanılmaya başlamışlardır. Günümüzde kafesli asenkron makine daha yaygın bir kullanım alanına sahip olup dünya çapında çok sayıda üreticisi vardır.

Bunun yanısıra asenkron motor tasarımı kolay bir iş değildir. Oldukça karmaşık formüller ve tecrübeler ile elde edilmiş işletme verileri, grafikler ve tablolar kullanılarak çok sayıda hesaplama yapılmalıdır. Bu tasarım şekli hataya müsait, zor ve uzun süren bir yöntemdir. Halen piyasada bu işi gören ve oldukça yüksek fiyatlı, başarılı yazılımlar mevcuttur. Ancak ticari kaygılar sebebi ile kaynak kodları gizlidir.

Tarihsel olarak bakıldığında birçok kişinin asenkron motor tasarımı ile ilgilendiği görülür. Anton H. ve arkadaşları, Maxwell Stress Tensor (MST) yöntemini kullanarak asenkron motorun rotor pozisyonuna bağlı olarak moment grafiğini çizdirmişlerdir. Ayrıca MTS yöntemini ayrıntılı bir biçimde vererek motorun alan dağılım grafiğini de vermişlerdir [3].

Langraf S. V. ve Chernyshev A. Y., asenkron motorun Moment-Hız karakteristik eğrisini üç farklı analitik yöntem kullanarak elde etmişlerdir[4].

Szabados ve arkadaşları IEEE 112-1978 standardı ve A-D çeviri kullanarak asenkron motorun moment-hız karakteristiklerini incelemiş ve aralarındaki farklılıkları göstermişlerdir[5].

Burow ve arkadaşları ise asenkron motorun hız-moment grafiğini hem analitik olarak hem de sonlu elemanlar yönteminin bir parçası olan mesh modelini kullanarak elde etmişlerdir [6].

Lindenmeyer, Dommel, Moshref ve Kundur, asenkron motor eşdeğer devre parametreni hesaplama yöntemlerinden bahsetmişlerdir ve Solnp optimizasyon tekniği ile asenkron motor eşdeğer devre parametrelerinin hesaplanmasını ve karakteristik eğrilerinin çıkartılmasını gerçekleştirmişlerdir [7].

Bu çalışmada ise hesap aşamaları ve kaynaklarının sayısallaştırılması ile tasarım hesabının kişisel imkanlar dahilinde hızlandırılması, basitleştirilmesi ve güvenilir hale getirilmesi açısından ve kullanılabilecek yazılım dilleri için kısıtlama olmadığından Visual Basic yazılım dili kullanılarak program hazırlanması öngörülmüştür.

Visual Basic bir programın ekran tasarımına görsel olarak izin veren bir programlama dilidir. Microsoft Excel programının daha gelişmiş olarak adlandırabileceğimiz Basic'te kullanıcıdan metin kutuları ile veri girişi yapmasını istemek veya bilgi bankası oluştururak gereken yerlerde bu bilgileri kullanmak mümkündür. Yapılması gereken metin kutularını uygun yere yerleştirip gerekli komut butonuna uygun kodlamayı yazmaktır.

Bahsedilen hedefleri yerine getirmek için öncelikle asenkron motor ve tasarımı hakkında bilgi verilecek olup tasarım aşamaları detaylı olarak irdelenecektir. Tasarıma kısıt koyabilmek adına güç seviyesi 50 kW olarak belirlenmiş ve orta güçlü kafesli asenkron motor tasarımı hedeflenmiştir. Tüm veriler sayısal ortama aktarılarak yazılım halinde hesaplamalar tamamlanmış ve sonuçlar uygulamalı tasarım ile kontrol edilmiştir.

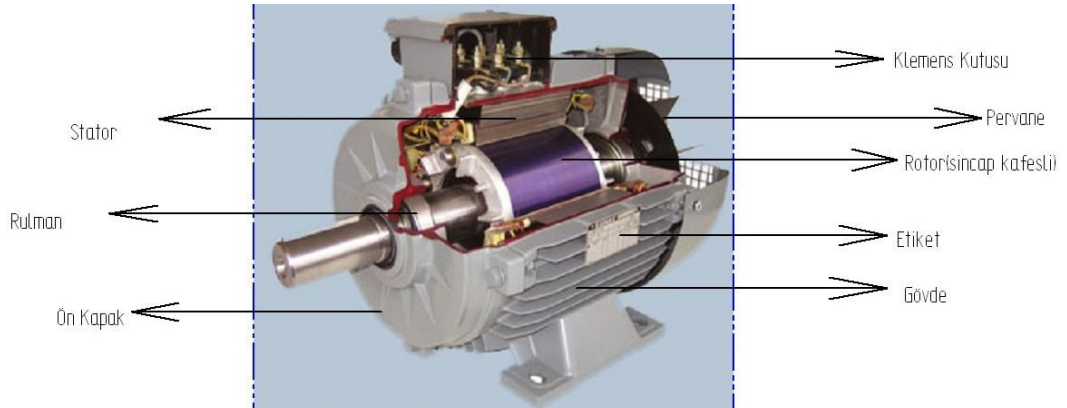


## 2. GENEL KAVRAMLAR

### 2.1 Asenkron Motorun Yapısı

Asenkron makine, yapısı itibariyle iki kısımdan oluşur. Bu kısımlardan birinin görevi manyetik alanı yaratmak, diğerinin görevi ise hareketi sağlayacak olan kuvveti üretmektir. Bu parçalardan hareketsiz olana ‘stator’, hareketli olana ise ‘rotor’ denir. Rotor, statorun her iki tarafına takılan ve rulman içeren kapaklar sayesinde yataklanır ve seçilen uygun hava aralığı ile birlikte rahatlıkla dönmektedir. Sincap kafesli asenkron motorun yapısı şekil 2.1 te görülmektedir.

Genel olarak sincap kafesli asenkron motorlar milin arka tarafına yerleştirilen pervane sayesinde kendiliğinden soğutulmalıdır.



**Şekil 2.1 :** Sincap kafesli asenkron motorun yapısı.

#### 2.1.1 Stator

Stator, manyetik alanı yaratan ve alternatif akımla beslenen sargıları taşıyan kısımdır. Sargılar alternatif akımla beslendiğinden, histeresiz ve fuko kayıplarının oluşması kaçınılmazdır. Demir yapıyı ısıtan bu kayıpların azaltılması için statorda kullanılan malzemenin büyük endüksiyonlu ve histeresiz kayıpları küçük olan sac malzemeden olması gerekir. Bu malzemeler özel presler ve kalıplar yardımıyla kesilir ve bir tarafı

elektiriksel olarak yalıtılarak fuko akımlarının akmasına engel olunur. Oluşturulan saclar preste sıkıştırılarak stator sac paketinin oluşması sağlanır. Oluşan sac paketinin içine özel kalıplar yardımıyla hazırlanan sargılar yerleştirilir. Elde edilen sargılı stator grubu, önceden ısıtılmış gövdenin içine presle çakılır. Soğuduktan sonra genleşeceğinden stator gövdenin içinden çıkamaz ve sabit hale getirilmiş olur. Oluşturulan statorlu gövde yapısı motor kapakları yardımıyla kapatılır. Kapaklar rulmanları taşıyacak yatakları içerdiğinden, rotorun dönmesi için uygun zemin hazırlanmış olur.

### 2.1.2 Rotor

Rotorda da alternatif akımdan dolayı oluşan histeresiz ve fuko kayıplarını azaltmak amacı ile sac paketi oluşturulur. Sac paket oluştuktan sonra kanalların içine erimiş aliminyum basılır ve rotor her iki taraftan yine aliminyumdan yapılan halkalar yardımı ile kısadevre edilir. Son olarak hesaplanan hava aralığına uygun olarak rotor dış çapı belirlenen ölçüye getirilir.

## 2.2 Asenkron Motorun Çalışma Prensibi

Endüksiyon yasasına göre; manyetik alan içerisinde bulunan bir iletkenin yarattığı düzleme dik açı yapacak şekilde geçen akı miktarının zamana göre değişmesi ile bu iletkenin uçlarında bir gerilim endüklenir [8]. Bu değişim alternatif manyetik alan kullanılıp iletkeni sabit tutarak ya da alternatif olmayan manyetik alan kullanıp iletkeni hareket ettirerek sağlanır. Sincap kafesli asenkron motor için ilk yöntem geçerlidir.

Üç fazlı asenkron motorun statorunda sargı eksenleri arasında 120° açı olan sargılar yerleşiktir. Bu sargıların üç fazlı alternatif gerilim ile beslenmesi sonucunda bir faz sargısının alan şekli makine uzayında konum olarak sabit kalsa da toplamda makinenin hava aralığında yürüyen bir alan elde edilir. Makinenin silindirik yapısı gereği bu alan döner alan olarak adlandırılır. Aşağıdaki denklemler döner alanı ifade eder.

$$N_R(\theta) = N \cdot e^{j0^\circ} \quad (2.1)$$

$$N_S(\theta) = N \cdot e^{-j120^\circ} \quad (2.2)$$

$$N_T(\theta) = N \cdot e^{-j240^\circ} \quad (2.3)$$

$$F_R(\theta, t) = N_R(\theta) \cdot i_R(t) \quad (2.4)$$

$$F_S(\theta, t) = N_S(\theta) \cdot i_S(t) \quad (2.5)$$

$$F_T(\theta, t) = N_T(\theta) \cdot i_T(t) \quad (2.6)$$

$$F_{Top}(\theta, t) = F_R(\theta, t) + F_S(\theta, t) + F_T(\theta, t) = \frac{3}{2} \times N \times e^{j\omega t} \quad (2.7)$$

Sincap kafesli rotorda, stator sargılarında oluşan üç fazlı döner alan, hava aralığından geçerek rotora gelir ve yukarıda açıklanan endüksiyon yasasına göre rotorda gerilim endükler. Rotor her iki taraftan halkalar yardımıyla kısıadevre edilmiş olduğundan, rotorda akım akışı başlar.

Biot-Savart yasasına göre, manyetik alan içerisine yerleştirilen bir iletkenin akım geçirildiğinde, iletkeni dik bir kuvvet etkiler. Bu kuvvet, iletkeni manyetik alan içerisinde hareket ettirmeye çalışacaktır [8]. Böylece motorun hareket ilkesi açıklanmış olur.

Rotor hızlandıkça, döner alanın rotor çubuklarını kesmesi azalacağından, rotor çubuklarında endüklenen gerilimler ve akımlar azalır. Dolayısıyla rotoru döndüren moment de azalacaktır. Bu yüzden rotor hızı, senkron hızdan daima düşük olacaktır. Senkron hız döner alanı hızıdır (2.8). Stator döner alanı hızı ve rotor hızı arasındaki farka ‘**Kayma**’ denir (2.9).

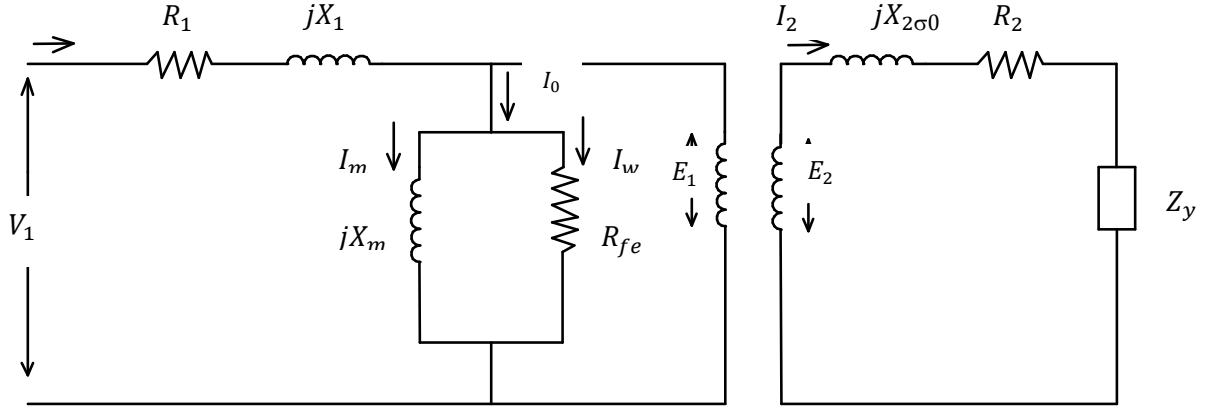
$$n_s = \frac{60 \times f}{p} \quad (2.8)$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (2.9)$$

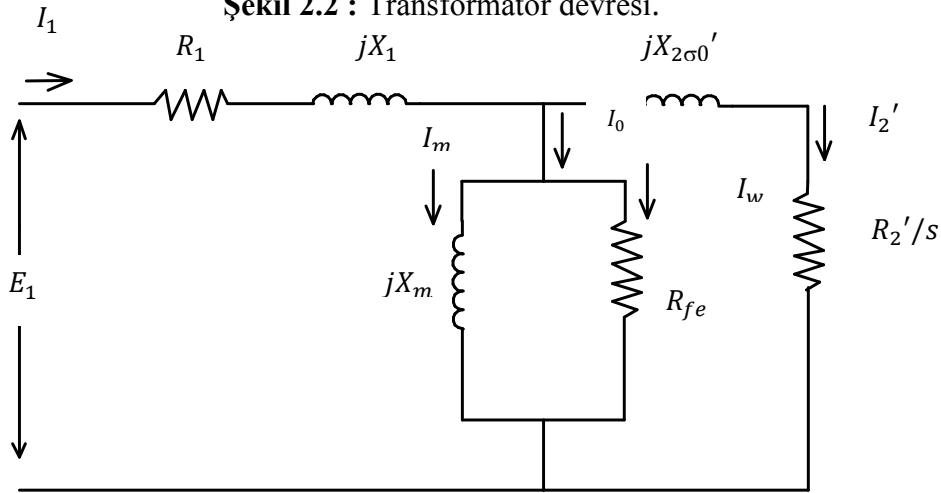
### 2.3 Asenkron Motorun Eşdeğer Devresi

Asenkron makinenin eşdeğer devresi ile transformatörün eşdeğer devresine çok benzer. Transformatörün ve asenkron motorun eşdeğer bir faz eşdeğer devresi şekil 2.2 ve şekil 2.3’te verilmiştir. Transformatörün birincil sargısının sinüs biçimli gerilimle beslenmesi sonucu oluşan sinüs biçimli manyetik alanı halkayan ikincil sargıda Faraday yasasına göre bir gerilim endüklenir. Burada sargıya düşen akının zamana göre değişimi akının değişken olmasından kaynaklanır. Asenkron makine ise oluşan alanın değeri sabit olup makine içinde konumu değişmektedir. Bu durumda manyetik alanın kendinden farklı hızda hareket eden (ya da duran)

sargılarda değişken alan etkisi yaratması söz konusudur. Sargılar alan ile aynı hızda dönerse endükleme olmaz. Bu sebeple rotorda endüklenen gerilim ve frekans bahsedilen hız farkına bağlıdır.



**Şekil 2.2 :** Transformör devresi.



**Şekil 2.3 :** Primere indirgenmiş tam eşdeğer devre.

Statora  $V_1$  geriliminin uygulanması ile mıknatıslanma reaktansı  $X_m$  , primer ve sekonder devreyi bağlayan  $\Phi_m$  akısını oluşturur ve  $I_m$  mıknatıslanma akımının geçmesini sağlar. Hava aralığında zamana göre değişen bu akı, rotorda  $I_2$  akımını oluşturacak bir emk indükler. Toplam  $I_1$  stator akımı  $I_2$  rotor akımı ile boşta çalışma akımı olan  $I_0$  ' ın fazör toplamıdır.

Rotor büyüklüklerinin bulunması stator büyüklüklerine göre daha zordur. Çünkü rotor döner alana göre  $n_2$  değişken hızı ile döner. Bunun sonucunda birçok büyüklük kaymanın fonksiyonu olur. Motor hızının etkisi eşdeğer devredeki  $(R_2/s)$  parametresi ile belirlenir. Rotor dururken  $s=1$  olduğu için bu gerilim de  $f_1$  frekansında olur.



Rotor dururken indüklenen gerilimi ve durmadaki diğer büyüklükleri “0” alt indisi ile gösterirsek, rotorda indüklenen gerilim ve rotor frekansı aşağıdaki gibi verilebilir.

$$E_2 = (4.44 \times f_2 \times N_2 \times f_1 \times \varphi) \times s \quad (2.10)$$

$$E_2 = s E_{20} \quad (2.11)$$

$$E_2 = I_2 \cdot (R_2 + jX_{2\sigma}) \quad (2.12)$$

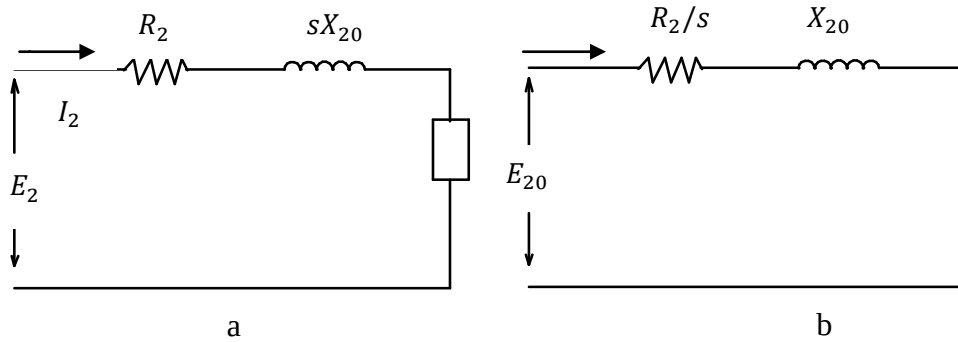
$$E_{20} = I_2 \cdot [(R_2/s) + jX_{2\sigma 0}] \quad (2.13)$$

$$X_{2\sigma} = 2 \times \pi \times f_2 \times L_{2\sigma} = 2 \times \pi \times s \times f_1 \times L_{2\sigma} = s \times X_{2\sigma 0} \quad (2.14)$$

$$n_r = n_s \quad s = 0 \text{ ve } E_2 = 0 \quad (2.15)$$

$$n_r = 0 \quad s = 1 \text{ ve } E_2 = E_{20} \quad (2.16)$$

Motorun herhangi bir kayma anındaki ve durma anındaki rotor eşdeğer devresi ise Şekil 2.4’ de verilmiştir.[9]



**Şekil 2.4 :** Rotor eşdeğer devresi a) değişken frekansta b) sabit frekansta

Kayma  $s=0$  iken, motor mil hızı  $n_r$ , döner alanın hızı olan  $n_s$ ’e eşit olur. Hava aralığındaki döner alan rotor iletkenlerini kesemez ve böylece rotor iletkenlerinde indüklenen elektromotor kuvvet ve rotor akımı sıfır olur.

Şekil 2.5’ deki eşdeğer devreden de görüleceği gibi  $s = 0$  iken  $I_2 = 0$  olur (sekonder açık devre).

Genel olarak  $I_2$ ;

$$\vec{I}_2 = \frac{\vec{E}_1}{[R_2/s] + jX_2} \quad (2.17)$$

olarak Amper cinsinden hesaplanabilir. İndirgenmiş rotor akımının genliği,

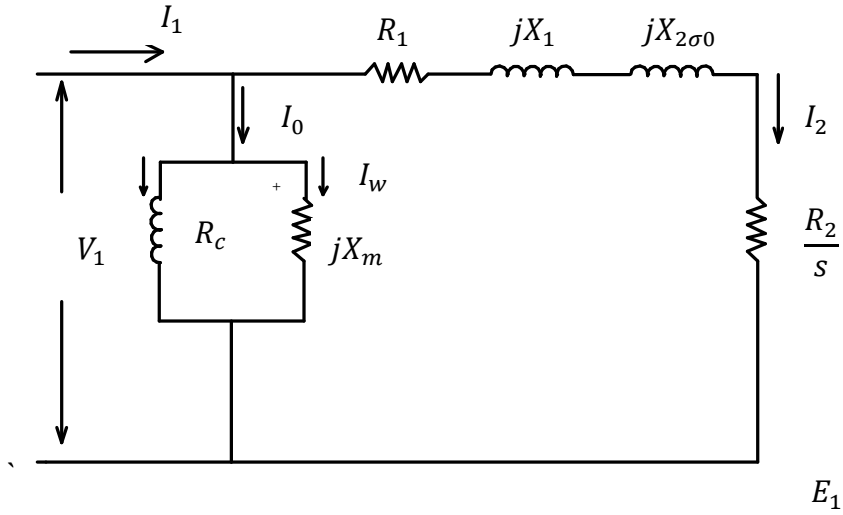
$$I_2 = \frac{E_1}{\sqrt{(R_2/s)^2 + X_2^2}} \quad (2.18)$$

formülü ile hesaplanabilir.

Şekil 2.3 teki eşdeğer devreden, stator sargılarında indüklenen  $E_1$  gerilimi stator gerilimi cinsinden yazılacak olursa;

$$\vec{E}_2 = \vec{V}_1 - (R_1 + jX_{1\sigma})xI_1 \quad (2.19)$$

$[(R_1 + jX_{1\sigma})] \times I_{10}$  gerilim düşümü ihmal edilirse; yaklaşık bir faz eşdeğer devre elde edilir. (Şekil 2.5)



**Şekil 2.5 :** Üç fazlı bir motorun tek faz yaklaşık eşdeğer devresi.

Şekil 2.5 'e göre;

$$I_m = \frac{V_1}{jX_m} \quad (2.20)$$

$$I_w = \frac{V_1}{R_c} \quad (2.21)$$

olur. Stator ve rotor akımları;

$$I_1 = \frac{V_1}{[(R_1 + (R_2/s)) + j(X_1 + X_2) // (jX_m // R_c)]} \quad (2.22)$$

$$I_2 = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + (R_2/s)) + j(X_1 + X_2)}} \quad (2.23)$$

## 2.4 Asenkron Motorun Kayıpları ve Verim

Asenkron motorlar elektromekanik enerji dönüşümü yaparlar. Statora verilen elektrik enerjisi, milden mekanik güç olarak alınır. Bu dönüşüm yapılırken, statora verilen elektrik enerjisi stator sargılarına girdikten sonra sırasıyla hava aralığı ve rotor sargılarından geçer ve milde son bulur. Giren enerji ile çıkan enerji arasındaki fark kayıpları verecektir

Asenkron makinede kayıplar boşta ve yükte olmak üzere ikiye ayrılır. Boştaki kayıplar demir ve sürtünme kayıplarını kapsar. Yükteki kayıplar ise stator ve rotor sargılarındaki iletim kayıpları ve yüke bağlı ilave kayıplardır. Asenkron makinede meydana gelen kayıplar aşağıdaki gibidir:

- İletim kayıpları
  - Stator iletim kayıpları
  - Rotor iletim kayıpları
- Demir kayıpları
  - Stator dişlerindeki demir kayıpları
  - Stator boyunduruğundaki demir kayıpları
- Yüzey kayıpları
  - Stator yüzey kayıpları
  - Rotor yüzey kayıpları
- Pulzasyon kayıpları
  - Stator pulzasyon kayıpları
  - Rotor pulzasyon kayıpları
- İlave kayıplar
- Hava ve yatak sürtünme kayıpları



### 3. ORTA GÜÇTE ASENKRON MOTOR TASARIMI

#### 3.1 Amaç

Tasarım aşamasında kullanılan formüller, bölüm 2’de görüldüğü gibi son derece karmaşık ve hata yapmaya müsait formüllerdir. Ayrıca denklemleri çözmek için gereken süre göz önüne alındığında, bir motoru tasarlamak için uzun süreler gerekmektedir.

Asenkron motorlar, farklı şebeke değerleri altında çalışabilirler. Farklı şebeke değerlerine gerilim veya frekans örnek gösterilebilir. Örneğin ülkemizde 400 V gerilim ve 50 Hz frekansında çalışacak motor, farklı bir ülkeye gittiğinde bahsedilen değerlerden farklı gerilim ve frekansta çalışabilir. Bu durum göz önüne alındığında ihtiyaca çabuk cevap vermek ve tasarımı hızlandırmak için bilgisayar programları kullanılır.

Bu bölümde tasarımda kullanılan kavramlar açıklanacak ve tasarım aşamaları hakkında detaylı bilgi verilecektir.

#### 3.2 Motorun Ana Boyutları

Bir asenkron makinenin vereceği güç makinenin boyutları, elektriksel ve magnetik zorlanması ile dakikadaki devir sayısına bağlıdır.[10].

Makinenin ana boyutları stator iç çapı  $D_i$ , stator sac paketinin uzunluğu  $L_i$ , stator çevre akım yoğunluğu ve hava aralığındaki endüksiyonun birinci harmonik genliği  $B_8$ ’dir. Makinanın ana boyut denklemi;

$$P_{sn} = C \times D_i^2 \times L_i \times n \quad (3.1)$$

Burada C Faydalanma katsayısı (Esson Sabiti) dır. Makinenin birim hacminden bir dakikada alınabilecek enerjiyi vermektedir. Dolayısıyla malzemedan ne derece faydalanıldığının bir ölçüsüdür.  $[kVA.dakika/m^3]$  Sanal iç güç kVA, paket boyu ve stator iç çapı ise mm cinsindedir.

**Çizelge 3.1:** Faydalanma katsayıları tablosu.

| kW   | 2p=2 | 2p=4 | 2p=6 | 2p=8 | 2p=10 | 2p=12 |
|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 0,1  | 0,90 | 1,00 | 1,03 | 1,05 | 1,08  | 1,10  |
| 0,2  | 0,93 | 1,03 | 1,05 | 1,08 | 1,10  | 1,13  |
| 0,3  | 0,95 | 1,05 | 1,08 | 1,10 | 1,13  | 1,15  |
| 0,4  | 0,98 | 1,08 | 1,10 | 1,13 | 1,15  | 1,18  |
| 0,5  | 1,00 | 1,10 | 1,13 | 1,15 | 1,18  | 1,20  |
| 0,6  | 1,06 | 1,14 | 1,17 | 1,20 | 1,23  | 1,26  |
| 0,7  | 1,12 | 1,18 | 1,22 | 1,25 | 1,29  | 1,32  |
| 0,8  | 1,18 | 1,22 | 1,26 | 1,30 | 1,34  | 1,38  |
| 0,9  | 1,24 | 1,26 | 1,31 | 1,35 | 1,40  | 1,44  |
| 1,0  | 1,30 | 1,30 | 1,35 | 1,40 | 1,45  | 1,50  |
| 2,0  | 1,33 | 1,40 | 1,50 | 1,60 | 1,70  | 1,80  |
| 3,0  | 1,36 | 1,50 | 1,63 | 1,75 | 1,88  | 2,00  |
| 4,0  | 1,40 | 1,70 | 1,85 | 2,00 | 2,15  | 2,30  |
| 5,0  | 1,46 | 1,90 | 2,03 | 2,16 | 2,28  | 2,41  |
| 6,0  | 1,53 | 1,98 | 2,12 | 2,25 | 2,39  | 2,53  |
| 7,0  | 1,59 | 2,06 | 2,20 | 2,35 | 2,49  | 2,64  |
| 8,0  | 1,65 | 2,14 | 2,29 | 2,45 | 2,60  | 2,75  |
| 9,0  | 1,71 | 2,22 | 2,38 | 2,54 | 2,70  | 2,86  |
| 10,0 | 1,78 | 2,30 | 2,47 | 2,64 | 2,81  | 2,98  |
| 15,0 | 1,84 | 2,55 | 2,68 | 2,82 | 2,95  | 3,09  |
| 20,0 | 1,90 | 2,80 | 2,90 | 3,00 | 3,10  | 3,20  |
| 25,0 | 1,95 | 3,00 | 3,08 | 3,16 | 3,24  | 3,32  |
| 30,0 | 2,00 | 3,10 | 3,18 | 3,27 | 3,35  | 3,43  |
| 30,0 | 2,00 | 3,10 | 3,18 | 3,27 | 3,35  | 3,43  |
| 32,0 | 2,01 | 3,15 | 3,25 | 3,29 | 3,38  | 3,49  |
| 34,0 | 2,05 | 3,18 | 3,28 | 3,33 | 3,56  | 3,54  |
| 36,0 | 2,06 | 3,21 | 3,30 | 3,38 | 3,59  | 3,58  |
| 37,0 | 2,07 | 3,25 | 3,34 | 3,42 | 3,59  | 3,59  |
| 40,0 | 2,10 | 3,30 | 3,39 | 3,48 | 3,59  | 3,67  |
| 42,0 | 2,11 | 3,5  | 3,48 | 3,53 | 3,62  | 3,71  |
| 45,0 | 2,13 | 3,4  | 3,5  | 3,59 | 3,68  | 3,78  |
| 46,0 | 2,14 | 3,48 | 3,55 | 3,61 | 3,7   | 3,8   |
| 48,0 | 2,15 | 3,49 | 3,58 | 3,68 | 3,79  | 3,86  |
| 50,0 | 2,17 | 3,5  | 3,6  | 3,7  | 3,8   | 3,9   |

Tasarımı yapılacak olan motorun verim ve  $\cos\Phi$  değerleri için önceden imal edilmiş makinelere ait değerler kullanılır. IEC 60034-30 standardına göre, motor verimleri dört sınıfa ayrılmıştır. IE1 düşük verimli, IE2 yüksek verimli, IE3 ve IE4 ise daha yüksek verim sınıflarıdır. Şu an itibarıyla dördüncü verim sınıfına ait veriler bilinmemektedir.

Bir, iki ve üçüncü verim sınıfı için aşağıdaki formül ve çizelge 3.2 kullanılır

$$\eta = A[\log_{10} \frac{P_n}{1kW}]^3 + B[\log_{10} \frac{P_n}{1kW}]^2 + C[\log_{10} \frac{P_n}{1kW}]^1 + D \quad (3.2)$$

**Çizelge 3.2 :** Verim hesaplarında kullanılan A, B, C, D katsayıları.

| Verim sınıfı | Katsayılar | 50 Hz ve 200 Kw a kadar |         |         |
|--------------|------------|-------------------------|---------|---------|
|              |            | 2 kutup                 | 4 kutup | 6 kutup |
| IE1          | A          | 0,5234                  | 0,5234  | 0,0786  |
|              | B          | -5,0499                 | -5,0499 | -3,5838 |
|              | C          | 17,4180                 | 17,4180 | 17,2918 |
|              | D          | 74,3171                 | 74,3171 | 72,2383 |
| IE2          | A          | 0,2972                  | 0,0278  | 0,0148  |
|              | B          | -3,3454                 | -1,9247 | -2,4978 |
|              | C          | 13,0651                 | 10,4395 | 13,2470 |
|              | D          | 79,0770                 | 80,9761 | 77,5603 |
| IE3          | A          | 0,3569                  | 0,0773  | 0,1252  |
|              | B          | -3,3076                 | -1,8951 | -2,6130 |
|              | C          | 11,6108                 | 9,2984  | 11,9963 |
|              | D          | 82,2503                 | 83,7025 | 80,4769 |

Sonraki aşama hava aralığının belirlenmesidir. Mekanik ve elektriksel nedenlerden ötürü hava aralığının uygun seçilmesine çok dikkat edilmelidir. Düşük seçilen hava aralığı, stator ve rotorun birbirine sürterek motorun yanmasına neden olabildiği gibi motorda oluşan gürültüleri arttıracaktır.

Hava aralığın seçilmesinde aşağıdaki formüller kullanılabilir.

4 ila 12 kutuplu ve gücü 30 kW a kadar olan motorlar için;

$$\delta = 0,2 + \frac{D_i}{1000} \quad (3.3)$$

2 kutuplu ve gücü 30 kW a kadar olan motorlar için;

$$\delta = 0,3 + \frac{D_i}{666} \quad (3.4)$$

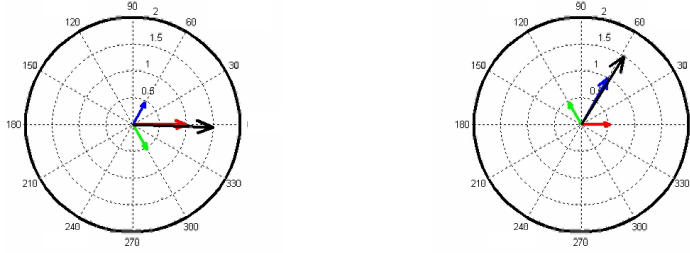
Burada stator iç çapı m cinsinden yazıldığında hava aralığı mm cinsinden hesaplanır.

Hava aralığı genel olarak motor gücü ile artar. Bunun yanı sıra hava aralığı kutup sayısı ile ters orantılı olmalıdır. Yani iki kutuplu motorlarda en büyük hava aralığı kullanılırken, dört kutupta biraz daha küçük hava aralığı seçilmelidir.

### 3.3 Stator Sargısı ve Direnç

Asenkron makinenin çalışmasının temelini oluşturan döner alanın oluşabilmesi için iki şart gereklidir. İlk şart makine uzayında birbiri ile 120° geometrik faz farkı ile yerleştirilmiş simetrik üç fazlı sargının olması, ikincisi de bu sargıların 120°

elektriksel faz farkına sahip üç fazlı gerilim ile beslenmesidir. Böylelikle her fazın ampersarımı birbiri ile aynı genliğe sahip olacak, toplam ampersarım bir fazın ampersarımının  $(3/2)$  katı olacak ve bu genlik sabit kalacaktır. Bu sabit genlikli hava aralığı ampersarımı da her t anı için farklı bir konum alacak ve döner alan oluşacaktır [14]. (Şekil 3.1)



**Şekil 3.1** : Döner alan oluşumu[14].

Anlaşılabileceği üzere döner alanın oluşmasının ilk şartı imal edilecek makinenin üç fazlı alternatif akım sargısına sahip olmasıdır. Her üç faz için iki kutup altında bir gidiş ve bir dönüş iletken grubu ve toplam altı iletken grubu olması gerektiği; aynı faza ait gidiş ve dönüş iletken grupları arasında  $180^\circ$ , her bir fazın başlangıcı arasında  $120^\circ$  fark olması gerektiği kolayca anlaşılabılır. Buradan yola çıkarak klasik makinelerde bir kutup altında her bir faza  $60^\circ$ 'lik bir faz bandı düşecektir ve her olukta aynı sayıda iletken bulunacaktır. Aralarında faz farkı bulunan eşit genlikli gerilimler endükleyen bu iletkenler, bobin oluşturacak şekilde birbirleri ile bağlanır. Toplam gerilim her birinin etkin değerinin toplamına eşit olmayacak ve toplamda bir azalma meydana gelecektir. Elde edilen gerilimin hesaplanan gerilime oranı ise sargı faktörünü verecektir. Sargı faktörü yayılma, kırışleme ve form faktörü olarak üç kısımdan oluşur ve bunların çarpımına eşittir [11].

Bir sargının kalitesi sargı faktörünün büyüklüğü ile ölçülür. Sargı faktörü ile çarpılmış toplam faz başına sarım sayısına etkin sarım sayısı gözü ile bakılabilir. Bu değer büyüdükçe aynı akı ile daha fazla gerilim endüklenebilir ya da aynı gerilim için daha az sarım sayısına ihtiyaç duyulur.

Stator sargı tasarımında öncelikle faz ve kutup başına oluk sayısı seçimi yapılır. Genellikle bu değer 2 den büyük alınır. Çünkü iki alınması halinde çift halkalanma dağılması yüksek olacağından motorun kısadevre akımı ile üstün yüklenme kabiliyeti



düşük olur. Bu açıdan genel olarak faz ve kutup başına düşen oluk sayısı 3 olarak alınır [10].

Stator oluklarının geometrik yapısı ve kullanılan bakır telin kesiti bilindiğinden oluk doluluğu ve iletken uzunluğu bulunabilir. Ayrıca kullanılan bakır telin ağırlığı [3.5] ağırlığı ve stator direnci elde edilebilir [3.6].

İletken uzunluğu için bir adet sargının stator içerisinde aldığı yol düşünülürse toplam iletken boyuna ait değer daha kolay hesaplanabilir. Bu açıdan bakılacak olursa bir sarım stator içerisinde iki adet stator paket boyu, dört adet ilave bobin uzunluğu ve stator başlangıç ve bitişinde olmak üzere toplamda 2 adet sargı adımı kadar çevresel olarak ilerler. Böylelikle sadece stator çevresini ve paket boyunu bilerek bir adet telin uzunluğu ve toplam sarım sayısı ile çarpılarak toplam uzunluk metre cinsinden belirlenebilir.

$$G_{cu1} = m_1 \times Z_1 \times l_{iletken} \times q_{cu1} \times 10^{-3} \quad (3.5)$$

$m_1$  stator sargısının faz sayısı,  $Z_1$  statordaki her bir fazın toplam iletken sayısı,  $l_{iletken}$  metre olarak ortalama faz sargısı iletken uzunluğu,  $q_{cu1}$  mm<sup>2</sup> olarak faz sargısı iletken kesiti,  $\gamma_{cu1} = 8,9 \text{ gr/cm}^3$  bakırın özgül ağırlığıdır.

$$R_1 = \frac{Z_1 \times l_{iletken}}{q_{cu1} \times \lambda} \quad (3.6)$$

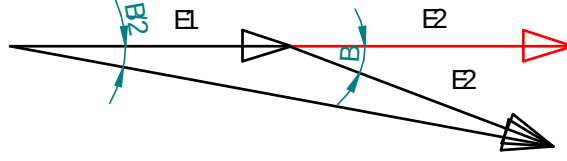
Denklem 3.6 da  $\lambda$  m/mm<sup>2</sup>. Ohm olarak bakırın iletkenliğidir

### 3.4 Kirişlenme Faktörü, Sargı Faktörü, Dağılma Faktörü

Bir çap bobinde endüklenen gerilim daha önce belirtilmişti. Formül tekrarlanırsa;

$$E_1 = 4,44 \times f \times Z \times \phi \times 10^{-8} \quad (3.7)$$

Bobin çap bobin değilse yani iki bobin yanı arasındaki uzaklık 180° den farklı ise bu bobine kırılenmiş bobin denir ve bu tip bobinlerde endüklenen gerilimler cebirsel olarak toplanamaz çünkü aralarında şekil 3.2 te görüldüğü gibi faz farkı oluşmuştur.



**Şekil 3.2** : Kirişlenmiş bobinde endüklenen gerilim.

Burada gerilim fazörlerinin geometrik toplamının cebirsel toplamına oranı kirişlenme faktörü olarak adlandırılır.

Şekil 3.4 ten kirişlenmiş bir bobinin bobin yanları arasındaki açının  $\pi$  den farklı olduğu görülür bu durumda faz farkını  $\pi$  den farklı yapan B açısı;

$$B = \Pi - \frac{y}{\tau_p} \cdot \Pi \quad (3.8)$$

Şekil 3.2 den toplam bileşke gerilim vektörü;

$$E = 2 \cdot E_1 \cdot \cos \frac{B}{2} \quad (3.9)$$

İki vektörün cebirsel toplamı ise  $2 \cdot E_1$  olacaktır. Geometrik toplam ve cebirsel toplam oranlandığında kirişlenme faktörü;

$$k_p = \cos \frac{\beta}{2} \quad (3.10)$$

Sargı dağılma faktörü de aynı hesaplama yöntemi kullanarak bulunur. Bir elektrik motorunda birden fazla bobin ve bobin yanı bulunduğundan bu bobin yanlarında oluşacak gerilimlerin geometrik ve cebirsel toplamları farklılık gösterecektir. Geometrik toplam ve cebirsel toplam yazılıp oranlandığında sargı dağılma faktörü denklem 3.11 deki gibi ifade edilir.

$$k_d = \frac{\sin q \frac{Y}{2}}{q \sin \frac{Y}{2}} \quad (3.11)$$

### 3.5 Rotor Sargısı Ve Dirençler

Kısa devre kafesli rotorda genellikle ağız kapalı oluklar kullanılır. Fakat hesaplanan hava aralığını oluşturmak için rotor çapı tornalandığında olukların ağızlarının açılıp açılmadığı dikkate alınmalıdır.

Rotor oluştururken dikkat edilmesi gereken diğer bir husus rotor oluk sayısıdır. Rotor oluk sayısı, stator oluk sayısının %70-85 i veya %115-120'si kadar olmalıdır [10]. Manyetik sesleri azaltmak ve iyi kalkınma momenti elde etmek için rotor olukları mile paralel değil, eğimli olarak oluşturulur. Bu eğim rotor laminasyon saclarının dizilerek rotor paketi oluşturulması sırasında elde edilir. Ayrıca bu tip rotorlar genellikle tek veya çift kafesli olarak üretilir. Tek kafesli rotorlarda kalkış momenti oldukça düşüktür bu yüzden kalkış sırasında çekilen akım nominal akımın çok üzerindedir. Çift kafesli rotorda ise biri yüksek dirençli olmak üzere dışta, diğeri daha düşük dirençli olmak üzere içte iki adet oluk vardır.

$N_2$  oluklu bir kafesin toplam ağırlığı kg cinsinden;

$$G_k = (N_2 \times l_{\text{çk}} \times q_{\text{çk}} \times \gamma_{\text{çk}} \times 10^{-3}) + (2 \times \pi \times D_h \times q_h \times \gamma_h \times 10^3) \quad (3.12)$$

Burada  $N_2$  rotordaki oluk dolayısıyla çubuk sayısı,  $l_{\text{çk}}$  m olarak çubuk uzunluğu,  $q_{\text{çk}}$  mm<sup>2</sup> olarak çubuk kesiti,  $\gamma_{\text{çk}}$  çubukların özgül ağırlığı,  $D_h$  m olarak halka çapıdır. Yine  $N_2$  oluklu bir rotorun direnci aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir[5].

$$R_2 = \frac{l_{\text{çk}}}{q_{\text{çk}} \cdot \lambda_{\text{çk}}} + \frac{D_h \cdot N_2}{2 \cdot \pi \cdot p^2 \cdot q_h \cdot \lambda_h} \quad (3.13)$$

$$\ddot{u}_r = 4 \cdot \frac{m_1}{N_2} \cdot \frac{w_1}{f_{\text{eğik}}} \quad (3.14)$$

$f_{\text{eğik}}$  , eğiklik faktörüdür ve denklem 3.10' daki gibi hesaplanır.

$$f_{\text{eğik}} = \frac{\sin(b\pi / 2\tau_p)}{(b\pi / 2\tau_p)} \quad (3.15)$$

Burada  $b\pi/2\tau_p$  eğik oluşun başlangıç ve sonu arasındaki radyan cinsinden faz farkıdır.

### 3.6 Mıknatıslanma Akımı

Mıknatıslanma akımını hesaplamak için hava aralığındaki manyetik gerilim, stator ve rotor dişlerindeki manyetik gerilim, stator ve rotor boyunduruğundaki manyetik gerilim değerlerinin bulunması gerekir. Hava aralığındaki manyetik gerilim aşağıdaki gibi Amper cinsinden hesaplanır.

$$V_{\delta} = 0,8 \times k_c \times \delta \times B_{\delta} \quad (3.16)$$

Boyutları değişen dişler için ortalama değerler ile hesap yapılabilir. Simpson kuralına göre stator dişlerindeki en büyük, ortalama ve en küçük akı yoğunluklarına karşı düşen alan şiddetleri ( $H_{d1max}$ ,  $H_{d1ort}$  ve  $H_{d1min}$ ) kullanılarak ortalama alan şiddeti ( $H_{d1}$ ) şu şekilde hesaplanabilir [5].

$$H_{d1} = \frac{H_{d1max} + 4 \cdot H_{d1ort} + H_{d1min}}{6} \quad (3.17)$$

Stator ve rotor diş akı yoğunluklarının kat ettiği yol uzunlukları ( $l_{d1}$ ,  $l_{d2}$ ) diş derinliklerine eşittir. Toplam stator ve rotor diş manyetik gerilimleri ( $V_{d1}$ ,  $V_{d2}$ ) belirlenmelidir:

$$V_{d1} = l_{d1} \times H_{d1} \quad (3.18)$$

$$V_{d2} = l_{d2} \cdot H_{d2} \quad (3.19)$$

Boyunduruk için alan şiddetleri ( $H_{j1}$ ,  $H_{j2}$ ) A/m cinsinden okunmalı ve ortalama boyunduruk uzunlukları ( $l_{j1}$ ,  $l_{j2}$ ) metre cinsinden hesaplanmalıdır. Buna göre boyunduruk manyetik gerilimleri ( $V_{j1}$ ,  $V_{j2}$ ) belirlenebilir.

$$l_{j1} = \frac{\pi (D_1 - h_{j1})}{2p} \quad (3.20)$$

$$V_{j1} = l_{j1} \times h_{j1} \quad (3.21)$$

$$V_{j2} = l_{j2} \times h_{j2} \quad (3.22)$$

Toplam manyetik gerilim;

$$\sum V = 2V_{\delta} + 2V_{d1} + 2V_{d2} + V_{j1} + V_{j2} \quad (3.23)$$

Bu durumda mıknatıslanma akımı hesaplanabilir.

$$I_{\mu} = \frac{p \sum V}{0,9 m_l w_l k_{w1}} \quad (3.24)$$

Hava aralığındaki manyetik gerilimi hesaplamada kullanılan Carter Faktörü, bu bölgede stator ve rotor dişlerinin periyodik olarak karşı karşıya düşmelerinden dolayı meydana gelen dalgalılığın hesaba katılmasını sağlar.

Carter faktörü stator ve rotor için ayrı ayrı oluk adımına ( $\tau_0$ ), oluk genişliğine ( $b_0$ ) ve hava aralığı uzunluğuna bağlıdır. Toplam Carter faktörü, stator Carter faktörü ( $k_{c1}$ ) ile rotor Carter faktörü'nün ( $k_{c2}$ ) çarpımına eşittir.

$$k_c = k_{c1} \cdot k_{c2} = \frac{\tau_{01}}{\tau_{01} - \frac{(b_{01}/\delta)^2}{5 + (\frac{b_{01}}{\delta})}} - \frac{\tau_{02}}{\tau_{01} - \frac{(b_{02}/\delta)^2}{5 + (\frac{b_{02}}{\delta})}} \quad (3.25)$$

### 3.7 Kaçak Reaktanslar

Asenkron makinelerde stator ve rotor reaktansları ( $X_{\sigma 1}$  ve  $X_{\sigma 2}$ ) üç parçanın toplamından oluşur. Bunlar oluk ( $X_{\sigma o}$ ), bobin başı ( $X_{\sigma bb}$ ) ve hava aralığı ( $X_{\sigma ha}$ ) dağılma reaktanslarıdır. Hesapları tamamen oluk şekillerine ve sargı yapısına bağlıdır. Öncelikle her üç bileşen için stator dağılma iletkenliği hesaplanır. Toplam reaktans şu şekilde hesaplanır

$$X_{\sigma 1} = 1,6 \cdot \pi^2 \cdot \left( \frac{f}{p} \right) \cdot w_1^2 \cdot (\Lambda_{\sigma 1} + \Lambda_{\sigma bb} + \Lambda_{\sigma ha}) \quad (3.26)$$

Parantez içinde bulunan üç adet toplanan ifade sırasıyla oluk dağılma iletkenliği, bobin başı dağılma iletkenliği ve hava aralığı dağılma iletkenliğidir.

Oluk dağılma iletkenliği;

$$\Lambda_{\sigma 1} = (k_{cu} \times \frac{h_1}{3b_0}) + k_0 (\frac{h_2}{b_0} + \frac{h_3}{b_3} + \frac{h_4}{b_4}) \quad (3.27)$$

Burada  $k_{cu}$  ve  $k_0$  düzeltme faktörleri,  $b_4$  oluk ağız genişliği,  $h_4$  oluk ağız yüksekliği,  $h_1$  oluk yüksekliği,  $b_0$  oluk genişliği,  $h_1$  oluk içindeki iletkenin yüksekliğidir.

$\Lambda_{\sigma bb}$  bobin başı dağılma iletkenliğinin ortalama değeridir ve bobin başı uzunluğu ( $l_{bb}$ ) ile oluk ortasında ölçülmüş kutup taksimatına ( $\tau_p$ ) bağlıdır.

$$\Lambda_{\sigma bb} = 0,425 \cdot (l_{bb} - 0,715 \cdot \tau_p) \quad (3.28)$$

Hava aralığı dağılması için ise Carter Faktörü ve Doyma Faktörünün hesaplanması gereklidir. Carter faktörü daha önceden belirtilmiştir. Doyma faktörü ( $k_d$ ) ve hava aralığı dağılması aşağıda belirtildiği gibidir.

$$k_d = \frac{V_\delta + V_{d1} + V_{d2}}{V_\delta} \quad (3.29)$$

$$\Lambda_{\sigma ha} = \tau_p \times L_i \times \left( \frac{m}{\pi^2} \right) \times \frac{0,01}{k_c \times k_d \times \delta} \quad (3.30)$$

Rotor dağılma reaktansı için de aynı yol izlenir. Öncelikle oluk dağılması, bobin başı ve hava aralığı dağılması bulunur. Daha sonra her üçünün toplamını alınarak, aşağıdaki formül yardımıyla toplam rotor reaktansı bulunabilir.

$$X_{\sigma 2} = 0,8 \times \pi^2 \times \left( \frac{f}{p} \right) \times w_1^2 \times (\Lambda_{\sigma 2} + \Lambda_{\sigma bb} + \Lambda_{\sigma ha2}) \quad (3.31)$$

Rotor için oluk dağılma reaktansı;

$$\Lambda_{\sigma 2} = 0,5 \cdot \sin^{-1} \left( \sqrt{1 - \left( \frac{b_4}{b_0} \right)} \right) \quad (3.32)$$

Burada  $b_4$  rotor oluğunun genişliği,  $b_0$  ise rotor oluk ağız genişliğidir. Eğer rotorda çift oluk kullanılırsa denkleme  $(0,66 \cdot \frac{b_4}{b_0})$  ilavesi yapılır.

Bobin başı dağılma iletkenliği için aşağıdaki tablo kullanılır[8]

**Çizelge 3.3:** Bobin başı dağılma iletkenliği değerleri.

| Rotor Sargısı      | Stator Sargısı |              |
|--------------------|----------------|--------------|
|                    | Bir tabakalı   | İki Tabakalı |
| Bir tabakalı       | 0,5            | 0,4....0,3   |
| İki tabakalı       | 0,4            | 0,3          |
| Kısa devre kafesli | 0,35           | 0,25....0,15 |

Son olarak rotor hava aralığı dağılmasını hesaplamak için şu formülden yararlanılır:

$$\Lambda_{\sigma ha2} = \frac{Z_2 \tau_p L_i K_2}{2p \pi k_c k_d \delta} \quad (3.33)$$

Bu denklemde kullanılan  $K_2$  katsayısı rotor oluk sayısı ve kutup sayısına bağlı bir sabit olup, aşağıdaki tablodan belirlenir.

**Çizelge 3.4:** Rotorun hava aralığı dağılımında kullanılan  $K_2$  katsayısı.

| Z2/2p | 3      | 4      | 5     | 6     | 7      | 8      | 9      | 10     |
|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| K2    | 0,097  | 0,053  | 0,036 | 0,023 | 0,017  | 0,013  | 0,010  | 0,0083 |
| Z2/2p | 12     | 15     | 20    | 25    | 30     | 40     | 50     |        |
| K2    | 0,0057 | 0,0036 | 0,002 | 0,001 | 0,0009 | 0,0005 | 0,0003 |        |

### 3.8 Kalkış Akımı ve Kalkış Momenti

Sincap kafesli asenkron motorlar kalkışta nominal akımlarından yedi ya da sekiz kat fazla akım çekerler. Bunun sonucu olarak ilk kalkış momentleri nominal momentlerinden duran parçaların ataleti nedeniyle büyüktür. Bu iki parametre motorun yol alabilmesi için çok önemlidir. Özellikle yük altında kalkış yapan motorlarda, kalkış akımının yüke ilk hareketi verebilmesi için büyük olması gerekir. Aksi takdirde motor yol almayı başaramaz ve çalışmasına devam edilirse kısa süre içerisinde sargıları yüksek akıma dayanamayacağından yanacaktır. Aşağıda bu iki parametrenin hesaplanmasına ilişkin teorik bilgiler verilmiştir.

L tipi eşdeğer devreden kalkış akımı;

$$I_k = \frac{\tau_1 \times U_1}{\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (3.34)$$

$$R_k = (\tau_1 \times R_1) + (\tau_1^2 \times R_2') \quad (3.35)$$

$$X_k = (\tau_1 \times X_{1\sigma}) + (\tau_1^2 \times X_{2\sigma}') \quad (3.36)$$

Boşta çalışmada E gerilimi, uç gerilimi Udan mıknatıslanma akımının stator sargısı dağılma reaktansında meydana gelen gerilim düşümü kadar küçüktür.

$$E_1 = U_1 - I_\mu X_{1\sigma} = U_1 \left(1 - \frac{I_\mu X_{1\sigma}}{U_1}\right) = U_1 \frac{1}{1 + \tau} \quad (3.37)$$

Buradan heyland dağılma faktörünün ifadesi şu şekilde elde edilir.

$$\tau_1 = \frac{x_{1\sigma} \times I_\mu}{U_1 - X_{1\sigma} I_\mu} \quad (3.38)$$

Programda bu değer için  $1/(1 + \tau)$  değerinin kutup sayısına bağlı grafiğinden değer okunarak hesaplamalar yapılmaktadır [10].

Son olarak boşta çalışmada güç katsayısı ve kalkış momenti ifadeleri şu şekilde verilir.

$$\cos \phi_k = \frac{R_k}{\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (3.39)$$

$$M_k = \frac{60}{2\pi n} \cdot m_1 \cdot \frac{U_1^2}{R_k^2 + X_k^2} \quad (3.40)$$

### 3.9 Kayıplar ve Verim

Bu kısımda ve yazılan programda hesaplanan tüm kayıplar Watt cinsindendir. Her biri ayrı ayrı formüllerle karakterize edilir.

#### 3.9.1 İletim kayıpları

##### 3.9.1.1 Stator iletim kayıpları

Stator sargılarından geçen akımlar, sargının oluşturduğu dirençten dolayı iletim kayıplarına neden olurlar. Bu kayıplar ısı enerjisi olarak açığa çıkarlar ve sargıdan geçen akımın karesi ve sargının direnci ile doğru olarak artar. Watt cinsinden,

$$P_{i1} = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 \quad (3.41)$$

##### 3.9.1.2 Rotor iletim kayıpları

Rotorda olukların içine doldurulmuş saf alüminyumdan geçen akımlar, statorda olduğu gibi ısı enerjisi olarak açığa çıkan ve yine statorda olduğu gibi direnç ve geçen akımın karesi ile doğru orantılı olan kayıpların oluşmasına neden olurlar. Bu kısımda dikkat edilmesi gerek husus, rotorda çubuk ve halkaların dirençlerinin birbirlerinden farklı olması dolayısıyla, çubuk ve halka iletim kayıplarının birbirlerinden farklı oluşudur.

$$P_{i2} = 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2 \quad (3.42)$$

#### 3.9.2 Demir kayıpları

Mıknatıslamanın periyodik olarak yön değiştirmesi sonucu sac paketinde meydana gelen demir kayıpları histeresiz ve fuko akımları kayıplarından oluşmaktadır. Bu kayıpların değeri akan akımın frekansına, manyetik akı yoğunluğuna ve sac paketin imal edildiği sacın fiziksel özelliklerine bağlıdır. Demir kayıpları dişlerde, boyundurukta gerçekleşir.

##### 3.9.2.1 Stator dişlerindeki demir kayıpları

Stator dişlerindeki demir kayıplarını bulmak için aşağıdaki formül kullanılır[10].

$$P_{kd1} = 1.25 \times p_1 \times B_{d1ort}^2 \times G_{d1} \quad (3.43)$$



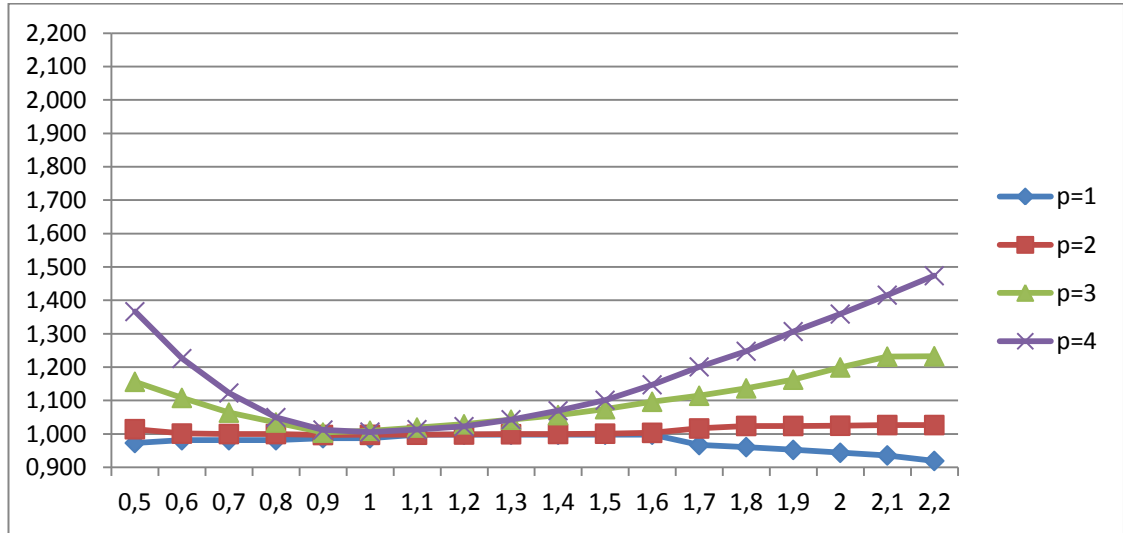
Burada  $p_1$  sacın W/kg birimi ile verilen kg başına kaybı,  $B_{d1ort}$  dişlerdeki ortalama manyetik akı yoğunluğu ve  $G_{d1}$  dişlerin ağırlığıdır. Demir kayıpları ise birimler yerine konulduğunda Watt cinsinden elde olunacaktır. Stator dişlerinin ağırlığı ise aşağıdaki gibi verilebilir. Burada uzunluk ölçüleri metre olarak , sac birim ağırlığı ise kg/m olarak alınırsa, toplam ağırlık kg olarak bulunabilir.

$$G_{d1} = [\pi \left( \frac{D_i + 2h_{01}}{2} \right) - \pi \left( \frac{D_i}{2} \right)^2 - N h_{01} b_{01}] k_{fe} L_i \gamma_{fe} \quad (3.44)$$

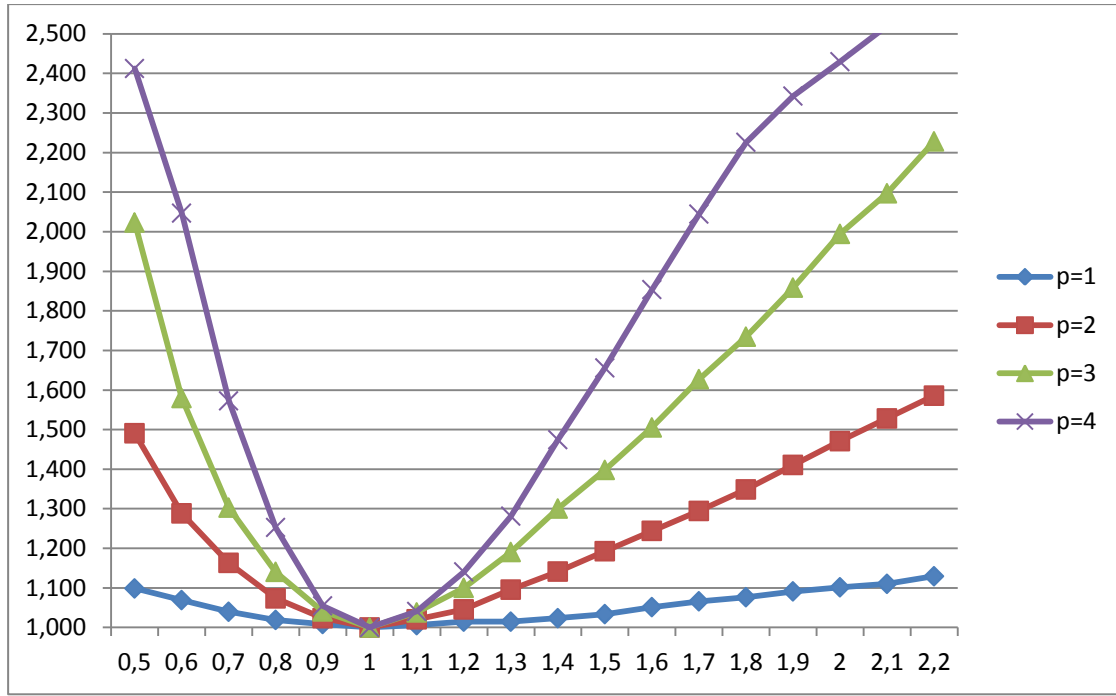
### 3.9.2.2 Stator boyunduruğundaki demir kayıpları

Burada  $k_{hb}$  ve  $k_{wb}$  manyetik akının boyunduruk kesitine homojen olarak dağılmamasından kaynaklanan faktörler olup stator çapına göre değişiklik gösterirler, aşağıdaki grafikte belirtilen değerlere göre programa otomatik olarak atanırlar.  $\phi$  stator sacının W/kg olarak kayıp bilgisinin girildiği katsayıdır.  $B_{j1}$  boyunduruk endüksiyonu ve  $G_b$  stator boyunduruk demir ağırlığıdır ve değeri kg cinsinden (uzunluk değerleri metre olmak şartıyla) aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$G_b = \gamma k_{fe} L_1 \left[ \left( \frac{D_a}{2} \right)^2 - \left( \frac{D_i + 2h_{01}}{2} \right)^2 \right] \pi \quad (3.45)$$



Şekil 3.3 : Stator iç çapının dış çapına oranı olarak khb katsayıları.



Şekil 3.4 : Stator iç çapının dış çapına oranı olarak kwb katsayıları.

$$P_{kj1} = 1.25 [k_{hb} b p_1 (f/100) + k_{wb} p_1 (f/100)^2] B_{j1}^2 G_b \quad (3.46)$$

$p_1$  sacın W/kg olarak kayıpları,  $B_{j1}$  boyunduruk endüksiyonudur. Ve Birimi Tesladır.

Burada ise  $k_{fe}$  demir doldurma faktörü olup değeri 0,98 dir.  $\gamma$  ise kg/cm olarak sacın birim ağırlığıdır.

### 3.9.3 Yüzey kayıpları

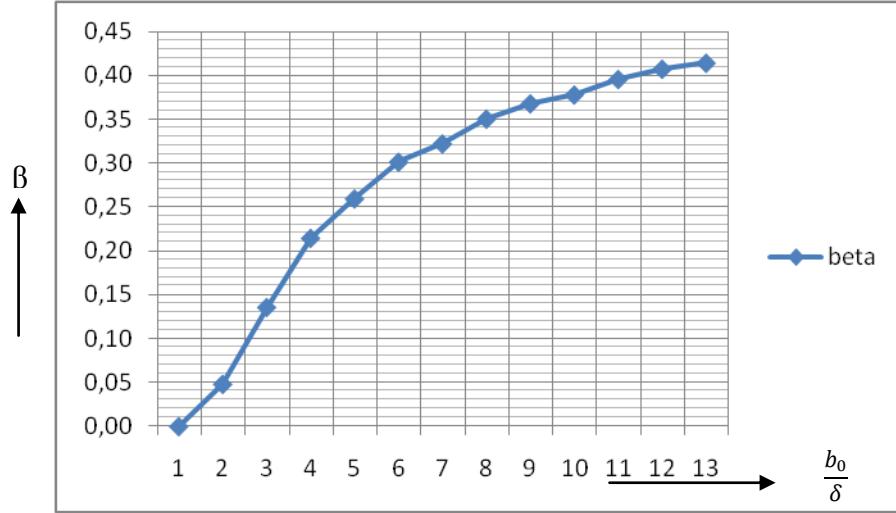
#### 3.9.3.1 Stator yüzey kayıpları

Stator ve rotorda olukların bulunması nedeni ile bu iki parçadan her biri diğerinin olukları yüzeyinde yüzey kayıplarının meydana gelmesine neden olur

$$P_{ky1} = L_i \times \frac{k_0}{2} \times \left( \left( \frac{N_2 \times n}{10000} \right)^{1.5} \right) \times (\tau_{o1} \times \beta_2 \times k_{c2} \times B_\delta \times 10)^2 \times \pi \times D_i \times \frac{\tau_{o1} - a_{o1}}{\tau_{o1}} \quad (3.47)$$

Burada  $L_i$  paket boyu(mm),  $N_2$  rotor oluk sayısı,  $n$  rotor devir sayısı,  $\tau_{o1}$  stator boyunduruk genişliği (mm),  $k_{c2}$  rotor için kullanılan Carter faktörü,  $B_\delta$  hava aralığındaki manyetik akı yoğunluğu,  $D_i$  stator iç çapı,  $a_{o1}$  stator oluk ağız genişliği (mm) dir.

Burada  $k_0 = 2.5$  olarak alınır[8].  $\beta_2$  ise oluk ve hava aralığı genişliklerine bağlı bir fonksiyondur ve değeri Şekil 3.5 ile belirlenir.



Şekil 3.5 :  $\beta$  nın  $b_0/\delta$  ya bağlı olarak değerleri.

### 3.9.3.2 Rotor yüzey kayıpları

Rotor yüzey kayıplarını bulmak için, denklem 2.13 deki 1 numaralı indisler 2 ile değiştirilir. Yani stator yüzey kayıplarını bulmak için rotor, rotor yüzey kayıplarını bulmak için stator büyüklükleri kullanılır.

### 3.9.4 Pulzasyon kayıpları

Asenkron makinelerde stator ve rotorun her ikisinde de oluklar bulunduğundan dişlerin karşılıklı durumlarını periyodik olarak değiştirmeleri sonucunda diş akısı da periyodik olarak değişir. Dişlerdeki bu alan pulzasyonu ilave kayıplara yol açar. Bu kayıplara diş pulzasyon kayıpları denir[10].

#### 3.9.4.1 Stator pulzasyon kayıpları

$$P_{p1} = \frac{k_p}{2} \times a \times \frac{1}{36} \left( \frac{N_2 \times n}{10000} \frac{B_{p1}^2}{0.1} \right) G_{d1} \quad (3.48)$$

Burada  $k_p$  saçların işlenmesinden dolayı fuko kayıplarındaki artışı kapsayan bir faktör olup değeri 1.8 ile 2 arasında değişir.  $a$  ise matriyal sabitidir.

$B_{p1}$  ise indüksiyon pulzasyonunun genliğidir ve değeri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$B_{p1} = \frac{\gamma_2 \times \delta}{2 \times \tau_{o1}} B_{d1ort} \quad (3.49)$$

Denklem 2.4 de  $B_{d1ort}$  ortalama diş endüksiyonudur.  $\gamma_2$  ise denklem 2.16 daki gibi ifade edilir.

$$\gamma_2 = \frac{(a_{02} / \delta)^2}{5 + (a_{02} / \delta)^2} \quad (3.50)$$

Denklem 2.5 de  $a_{02}$  rotor oluk ağız genişliği ve  $\delta$  hava aralığı genişliğidir.

#### **3.9.4.2 Rotor pulzasyon kayıpları**

Rotor pulzasyon kayıplarını bulmak için denklem 2.16 daki 1 indisli değerler, 2 indisli değerler ile değiştirilir.

#### **3.9.5 İlave kayıplar**

IEC 60 034-2-1 standardına göre ek kayıplar 0.1 kW'tan 1000 kW' a kadar olan güçlerde giriş gücünün %1 ile % 2.5 arasında değişen oranlarda hesaba katılmalıdır.

#### **3.9.6 Hava ve yatak sürtünme kayıpları**

Hava ve yatak sürtünmesinden ileri gelen kayıplar makinenin yapılış ve havalandırma şekline bağlıdır. Oldukça küçük çevre hızlı çok kutuplu makinelerde bu kayıplar nominal gücün %0.3 ü kadar iken çok yüksek çevre hızlı ve az kutuplu makinelerde nominal gücün %1.5 i civarındadır.

### **3.10 Mekanik Tasarım**

Dikkatle hesaplanması gerek diğer bir husus mekanik tasarımıdır. Çünkü mekanik özellikleri tam olarak hesaplanmayan veya hesaplarına göre üretilmeyen bir motor statoruna ne kadar verimli sargı sarılırsa sarılsın, istenen performansta çalışmayacaktır.

Örneğin kapaklarda bulunan rulmanların yataklamasının son derece hassas olması için kapakların salgısız bir biçimde işleme merkezlerinde işlenmesi gerekir. Rulman yerlerinde işleme esnasında salgı olması motorun titreşimli çalışmasına ve ısınarak veriminin düşmesine hatta sargılarının yanmasına sebep olacaktır.

Rulmanlardan sonra diğer bir husus rotorun tam olarak statora merkezlenmesidir. Bu yüzden hidrolik pres yardımıyla mile sıkı geçirilen rotorun pozisyonun tam olarak

hesaplanması gerekir. Eğer rotor stator ile eşleşmiyorsa motordan tam verim alınamayacaktır.

Son olarak milin uzunluğunun tam hesaplanması ve salgısız olarak işleme merkezlerinde işlenmesi gerekmektedir.



#### **4. MOTOR TASARIM YAZILIMININ GERÇEKLENMESİ**

Bu kısımda sincap kafesli asenkron motor tasarım ara yüzünün hazırlandığı program olan Visual Basic hakkında bilgi verildikten sonra oluşturulan yazılımın tasarım aşamaları hakkında bilgi verilecektir.

##### **4.1 Visual Basic**

Visual Basic, Microsoft tarafından, Basic programlama dili üzerinde geliştirilmiş, olay yönlendirmeli, üst seviye, nesne tabanlı ve görsel bir programlama dilidir. En güzel özelliklerinden birisi ise Windows ile tam uyumlu olmasıdır. Windows bileşenlerine (API, COM gibi) erişmek çok kolaydır ayrıca ActiveX Component gibi bir özelliği kullanma yeteneğine sahiptir. Görsel programlama anlayışı, önceki yıllarda kullanılan temel programlama dillerindeki bir düzenleyici (editör) ekran üzerine satır satır yazılan programlamanın yerine, Grafiksel Kullanıcı Arabirimi (GUI)'nin ve bu arabirim içerisinde program geliştirme amacıyla bulunan Entegre Geliştirme Ortamı (IDE) adlı bir araçlar koleksiyonunun almasıyla ortaya çıkmıştır. Basic (**B**eginners-**A**ll Purpose **S**ymbolic **I**nstruction **C**ode) kelime anlamı olarak "*Yeni Başlayanlar İçin Çok Amaçlı Sembolik Talimat Kodu*" anlamına gelmektedir [13].

##### **4.2 Tasarım Arayüzü Ve Motor Hesaplama**

Tasarım arayüzünün ekran görünüşü şekil 4.1 'de verilmiştir. Arayüz Visual Basic programının bir özelliği olan metin kutusu ve komut düğmelerinden oluşmaktadır. Komut düğmelerine tıklandığında program metin kutularına girilen bilgiler ışığında hesaplamaları yapar. Hesaplanan verileri bazı metin kutularına yazar.

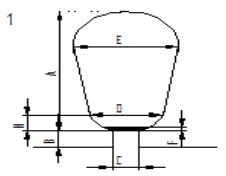
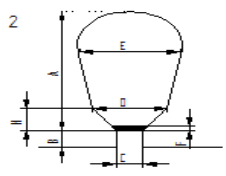
**ASENKRON MOTOR TASARIM PROGRAMI**

Giris Verileri
Hesaplanan Degerler
Miknatısma Akımı

|                     |                      |                                      |                      |
|---------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------|
| ÇIKIŞ GÜCÜ(kw)      | <input type="text"/> | KIRISLENME ORANI                     | <input type="text"/> |
| FAZ-FAZ UC GERİLİMİ | <input type="text"/> | SARGI TİPİ                           | <input type="text"/> |
| SENKRON HIZ         | <input type="text"/> | AKIM YOĞUNLUĞU                       | <input type="text"/> |
| FREKANS             | <input type="text"/> | BAĞLANTI ŞEKLİ                       | <input type="text"/> |
| VERİMLİLİK SINIFI   | <input type="text"/> | <input type="button" value="TAMAM"/> |                      |
| FAZ SAYISI          | <input type="text"/> |                                      |                      |

|          |        |            |
|----------|--------|------------|
| Verim(%) | cosfi  | Fayd.Kats. |
| IE1      | Text7  | Text8      |
| IE2      | Text12 | Text13     |
| IE3      | Text17 | Text18     |

GİRİŞ VERİLERİ

|   |      |                           |                                    |
|---|------|---------------------------|------------------------------------|
| A | 14,5 | PARALEL İLETKEN SAYISI    | <input type="text" value="2"/>     |
| B | 0,5  | STATÖR OLUK SAYISI        | <input type="text" value="36"/>    |
| C | 3    | MYLAR KALINLIĞI(mm)       | <input type="text" value="0,1"/>   |
| D | 4    | İLAVE BOBİN UZUNLUĞU (mm) | <input type="text" value="20"/>    |
| E | 6,1  | PAKET BOYU(mm)            | <input type="text" value="120"/>   |
| F | 0,1  | STATÖR İÇ CAPI(mm)        | <input type="text" value="108,5"/> |
| G |      | STATÖR DİŞ CAPI (mm)      | <input type="text" value="170"/>   |
| H | 0,3  |                           |                                    |

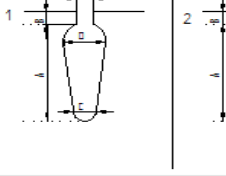
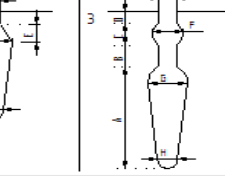
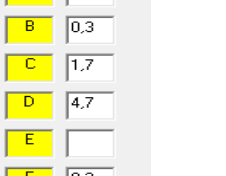
STATÖR TİPİ  
SEÇİMİ

1

SARGI ŞEKLİ

1

STATÖR OLUK YAPISI VE SARGI TİPİ BİLGİ GİRİŞİ

|   |      |
|---|------|
| A | 15,5 |
| B | 0,3  |
| C | 1,7  |
| D | 4,7  |
| E |      |
| F | 0,3  |
| G |      |
| H |      |

RÖTÖR TİPİ  
SEÇİMİ

1

RÖTÖR OLUK  
SAYISI

28

KISA DEVRE  
HALKASI  
KALINLIĞI(mm)

10

KISA DEVRE  
HALKASI  
UZUNLUĞU(mm)

10

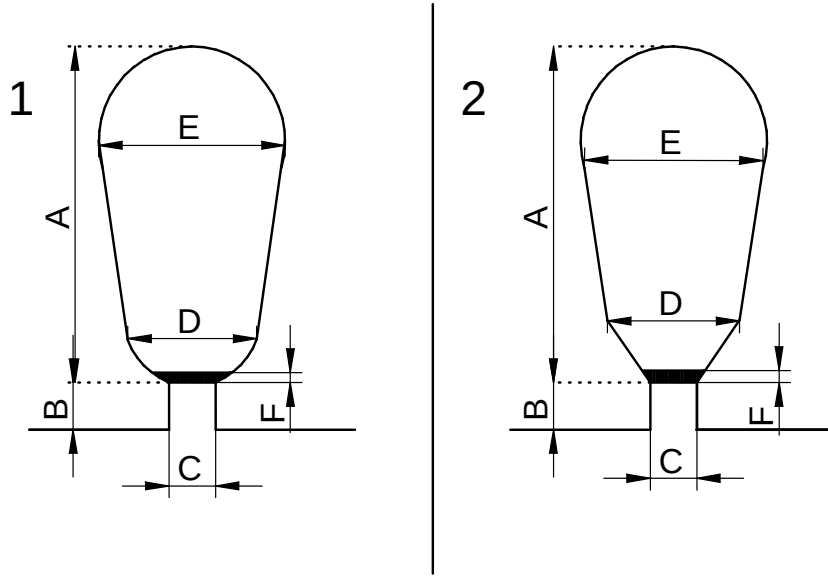
Şekil 4.1 : Tasarım arayüzü görünümü.



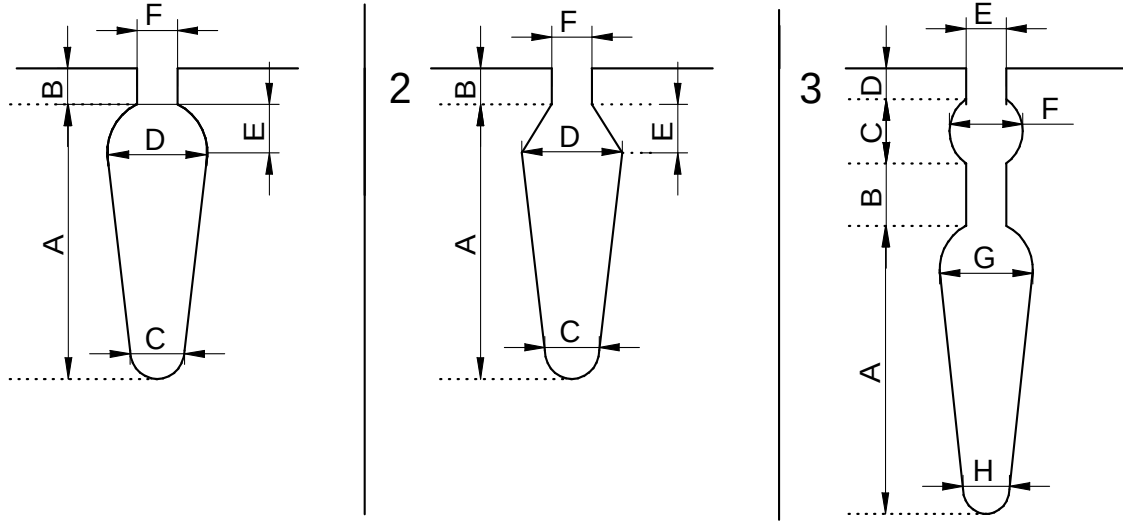
Hesaplara başlamak için öncelikle gerekli olan verilen programa girilmesi gerekmektedir. Bunlar Motor çıkış gücü, faz - faz arası gerilim değeri, senkron hız, frekans, verimlilik sınıfı, faz sayısı ve bağlantı şeklidir. Yıldız veya üçgen bağlantı ilgili kısımdan seçilir. Ayrıca sargı tipinin ve akım yoğunluğunun belirtilmesi gerekir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, rotor ve stator ile ilgili kısımları doldurmadan, ilk komut düğmelerine basılmamasıdır.

Stator ve rotor oluk geometrileri için şekil 4.2 ve şekil 4.3’ te olduğu gibi oluk ölçülerine karşılık gelen harflere uygun ölçüler arayüzde ilgili kısımlara milimetre cinsinden yazılır. Şekillerden de görüleceği gibi stator için iki, rotor için ise üç farklı tip oluk bulunmaktadır. Hesap yapılması istenen oluk tipi, ilgili kısımlara girilmelidir. Örneğin birinci tip stator oluğu ile işlem yapılmak istendiğinde, stator oluk tip seçimi ile ilgili kısma ‘1’ yazılması yeterlidir.

Ayrıca sargı tipi kısmına 1 girilmesi halinde normal el tipi sargı, 2 girilmesi halinde eşit adımlı sargı seçilmiş olacaktır.



Şekil 4.2 : Stator oluk geometrileri.



**Şekil 4.3 :** Rotor oluk geometrisi.

Programın ilk sayfasına veriler girildikten sonra, ikinci sayfada hesaplara başlanır. Sanal iç güç, faz başına sarım sayısı, nominal akım, bobin uzunluğu gibi değerler hesaplanır. Hesaplanan tüm değerler şekil 4.4 te görülebilir.

**ASENKRON MOTOR TASARIM PROGRAMI**

Giris Verileri
Hesaplanan Degerler
Miknatısma Akımı

|                     |                |                                   |                           |                       |                              |                                  |                            |                            |                            |
|---------------------|----------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Psn                 | In             | Kutup basına<br>dusen oluk sayısı | Stator Oluk Sayısı        | KIRISLENME<br>FAKTORU | SARGI FAKTORU                | TOPLAM SARGI<br>FAKTORU          | Kutup<br>Taksimatı(mm)     | Aki (w/b) Hava<br>aralığı  | Sogutma kanalı<br>sayısı   |
|                     |                |                                   |                           |                       |                              |                                  |                            |                            |                            |
| E(V)                | Oluk adımı(mm) | ÇİFT KUTUP<br>SAYISI              | iletken çapı (mm)         | OLUK ALANI(mm2)       | İZOLELİ TEL<br>KESİTİ(mm2)   | TOPLAM TEL<br>KESİTİ(mm2)        | STATOR OLUK<br>ÇEVRESİ(mm) | TOPLAM MYLAR<br>ALANI(mm2) | Faz basına sarım<br>sayısı |
|                     |                |                                   |                           |                       |                              | Text6                            |                            |                            |                            |
| OLUK<br>DOLULUGU(%) | BOBIN ADIMI    | BOBIN<br>UZUNLUGU(m)              | FAZ DIRENCİ<br>(ohm)      | 75 C DIRENC(ohm)      | SEKSIYON SAYISI              | STATOR SARGISI<br>BAKIR AGIRLIGI | Hava Aralığı(mm)           |                            |                            |
|                     |                |                                   |                           |                       |                              |                                  |                            |                            |                            |
|                     |                |                                   |                           |                       |                              |                                  |                            |                            |                            |
| CUBUK AKIMI(A)      | HALKA AKIMI(A) | CUBUK KESİT<br>ALANI(mm2)         | HALKA KESİT<br>ALANI(mm2) | ROTOR<br>DIRENCİ(ohm) | İNDİRGENMİS<br>ROTOR DIRENCİ | CUBUK+HALKA<br>AGIRLIGI          |                            |                            |                            |
|                     |                |                                   |                           |                       |                              |                                  |                            |                            |                            |

Tek Telin İkili Tel Karşılığı

|      |   |      |   |      |
|------|---|------|---|------|
| 0,28 | → | 0,2  | + | 0,2  |
| 0,30 | → | 0,2  | + | 0,2  |
| 0,32 | → | 0,2  | + | 0,25 |
| 0,40 | → | 0,28 | + | 0,28 |
| 0,45 | → | 0,28 | + | 0,28 |
| 0,50 | → | 0,35 | + | 0,35 |
| 0,55 | → | 0,35 | + | 0,4  |
| 0,60 | → | 0,4  | + | 0,45 |
| 0,65 | → | 0,45 | + | 0,45 |
| 0,70 | → | 0,5  | + | 0,5  |
| 0,75 | → | 0,5  | + | 0,55 |
| 0,80 | → | 0,55 | + | 0,55 |
| 0,85 | → | 0,6  | + | 0,6  |

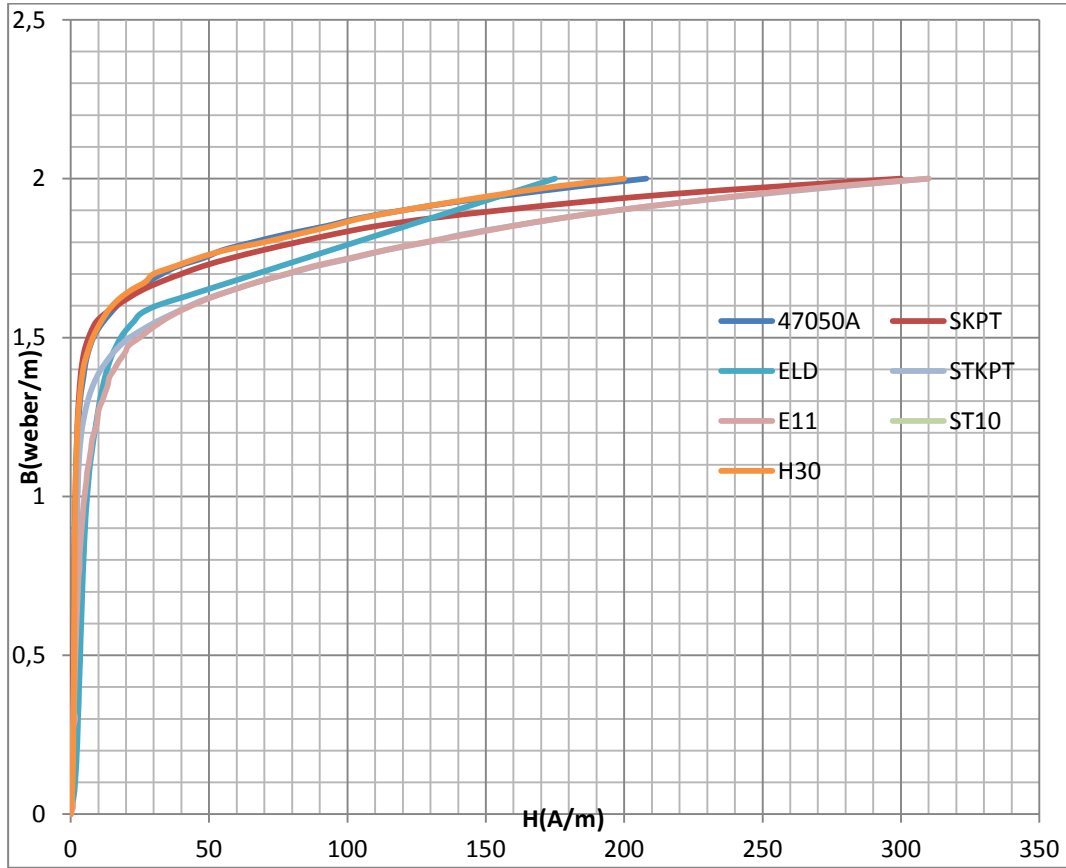
Text41

**Şekil 4.4 :** Hesaplanan değerler sayfasının görünümü.

Burada tek tel kesitine karşı gelen ikili iletkenin her birinin kesidi verilmiştir. Yani, aynı doluluğu ve akım yoğunluğunu sağlayacak şekilde, statora tek tel yerine ikili tel sarılabilir. Örneğin 0,6 çaplı bakır telin ikili karşılığı 0,4+0,45 tir. Bu amaçla bu sayfada bulunan oluk doluluğu kısmına dikkat edilmelidir. Oluk doluluğu bir sonraki sayfada mıknatıslanma akımı hesaplandıktan sonra hesaplanır. Daha sonra bu sayfaya geri dönüp doluluk oranına bakılmalıdır. Aşırı dolu olan sargı stator oluklarına sığmayacağından sargılı stator imalatı yapılamayacaktır.

#### 4.2.1 Mıknatıslanma akımı hesaplama

Mıknatıslama akımını hesaplamak için karakteristiği programa yüklenen (B-H eğrisi) saclardan bir tanesi seçilir. Programa yüklenen sacların isimleri ve karakteristikleri şekil 4.5 te verilmiştir. Sacların bu eğrilerine üretici firmalardan erişilebilir [16].



Şekil 4.5 : Programa girilen sac karakteristikleri.

Form1

**ASENKRON MOTOR TASARIM PROGRAMI**

Giris Verileri | Hesaplanan Degerler | **Mıknatısma Akımı**

**SAC TIPI SEÇİMİ**

SAC TİPİ

CARTER FAKTÖRÜ

HAVA ARL.MANY.GRL

STATÖR VE ROTÖR DİP ENDÜKSİYONLARI VE BUNLARA KARŞI DÜŞEN ALAN BİDDETLERİ

|              |              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Bd1dip(T)    | Bd1ort(T)    | Bd1bas(T)    | Bd2dip(T)    | Bd2ort(T)    | Bd2bas(T)    |
|              |              |              |              |              |              |
| Hd1dip(A\mm) | Hd1ort(A\mm) | Hd1bas(A\mm) | Hd2dip(A\mm) | Hd2ort(A\mm) | Hd2bas(A\mm) |
|              |              |              |              |              |              |

HESAPLA

Şekil 4.6 : Mıknatısma akımı hesap sayfası.

Form2

MIKNATISLANMA AKIMI | REAKTANSLAR | KAYIPLAR VE VERİM

|                                                   |                                                  |                                                              |                                                             |                      |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------|
| ORTALAMA ALAN<br>SIDDETİ(A/mm)<br>Hd1(STATÖR DİS) | ORTALAMA ALAN<br>SIDDETİ(A/mm)<br>Hd2(ROTOR DİS) | STATÖR<br>DİSLERİNDEKİ<br>TOPLAM<br>MANYETİK<br>GERİLİM 2vd1 | ROTOR<br>DİSLERİNDEKİ<br>TOPLAM<br>MANYETİK<br>GERİLİM 2vd2 | ROTOR DİS<br>CAP(mm) |
|                                                   |                                                  |                                                              |                                                             |                      |

|                                 |                                |                                            |                                           |                               |                        |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| STATÖR<br>BOYUNDURUK İ1<br>(mm) | ROTOR<br>BOYUNDURUK İ2<br>(mm) | STATÖR<br>BOYUNDURUK<br>ENDÜKSİYONU<br>BJ1 | ROTOR<br>BOYUNDURUK<br>ENDÜKSİYONU<br>BJ2 | TOPLAM<br>MANYETİK<br>GERİLİM | MIKNATISLANMA<br>AKIMI |
|                                 |                                |                                            |                                           |                               |                        |

|                                                           |                                                          |                                                                               |                                                                              |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| STATÖR<br>BOYUNDURUK<br>TOPLAM<br>MANYETİK<br>GERİLİM VJ1 | ROTOR<br>BOYUNDURUK<br>TOPLAM<br>MANYETİK<br>GERİLİM VJ2 | STATÖR<br>BOYUNDURUK<br>ENDÜKSİYONUNA<br>KARŞI DÜŞEN<br>ALAN<br>SIDDETİ(A/MM) | ROTOR<br>BOYUNDURUK<br>ENDÜKSİYONUNA<br>KARŞI DÜŞEN<br>ALAN<br>SIDDETİ(A/MM) |
|                                                           |                                                          |                                                                               |                                                                              |

HESAPLA

Project Group - Group1

Forms

Form1 (tasprg.frm)

Form2 (Form2.frm)

Şekil 4.7 : Mıknatıslanma akımı hesap sayfasının ikinci kısmı.

Bu aşamada yapılması gereken şekil 4.5 teki saclardan bir tanesini ‘Sac Tipi’ kısmından seçmektir. Daha sonra hesapla butonuna basıldığında oluk dibindeki, ortasındaki ve başındaki manyetik endüksiyon hesaplanır.

İkinci kısımda yine karakteristik eğriden uygun olan manyetik endüksiyon bulunup, hesapla butonuna basıldığında artık mıknatıslanma akımı biliniyor demektir.[Şekil 4.7]

#### **4.2.2 Reaktanslar ve kalkış parametreleri**

Bir sonraki aşama reaktansların, kalkış akımının, kalkış momenti ve kalkış güç katsayısının hesaplanmasıdır. Bunun için Şekil 4.8 de görülen sayfadaki hesapla butonuna basmak yeterlidir.

#### **4.2.3 Kayıplar ve verim**

Programın son aşaması kayıpların ve verimin hesaplanmasıdır. Arayüzün bu kısmının görünüşü şekil 4.9 daki gibidir. Bu kısımda kullanıcının veri girişi olarak sacın watt kayıplarını ve birim ağırlığını belirtilen birim cinsinden ilgili alana girmesi gerekir. Bu bilgilere sac üretici firmalardan ulaşılabilir.

| MIKNATISLANMA AKIMI                      |                                      | REAKTANSLAR                            |                                  | KAYIPLAR VE VERİM                      |                      |                       |                         |
|------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|
| STATOR SARGISI<br>DAGILMA<br>ILETKENLIGI | BOBIN BASI<br>DAGILMA<br>ILETKENLIGI | HAVA ARALIGI<br>DAGILMA<br>ILETKENLIGI | STATOR<br>REAKTANSI<br>(ohm/faz) | Kd                                     | KALKIS AKIMI(A)      | KALKIS<br>MOMENTI(Nm) | KALKIS GUC<br>KATSAYISI |
| <input type="text"/>                     | <input type="text"/>                 | <input type="text"/>                   | <input type="text"/>             | <input type="text"/>                   | <input type="text"/> | <input type="text"/>  | <input type="text"/>    |
| ROTOR SARGISI<br>DAGILMA<br>ILETKENLIGI  | BOBIN BASI<br>DAGILMA<br>ILETKENLIGI | HAVA ARALIGI<br>DAGILMA<br>ILETKENLIGI | ROTOR<br>REAKTANSI<br>(ohm/faz)  | STATORA INDIRGENMIS<br>ROTOR REAKTANSI | K2                   |                       |                         |
| <input type="text"/>                     | <input type="text"/>                 | <input type="text"/>                   | <input type="text"/>             | <input type="text"/>                   | <input type="text"/> |                       |                         |

Hesapla

Şekil 4.8 : Reaktans hesaplama sayfası.



Form2

MIKNATISLANMA AKIMI | REAKTANSLAR | KAYIPLAR VE VERIM

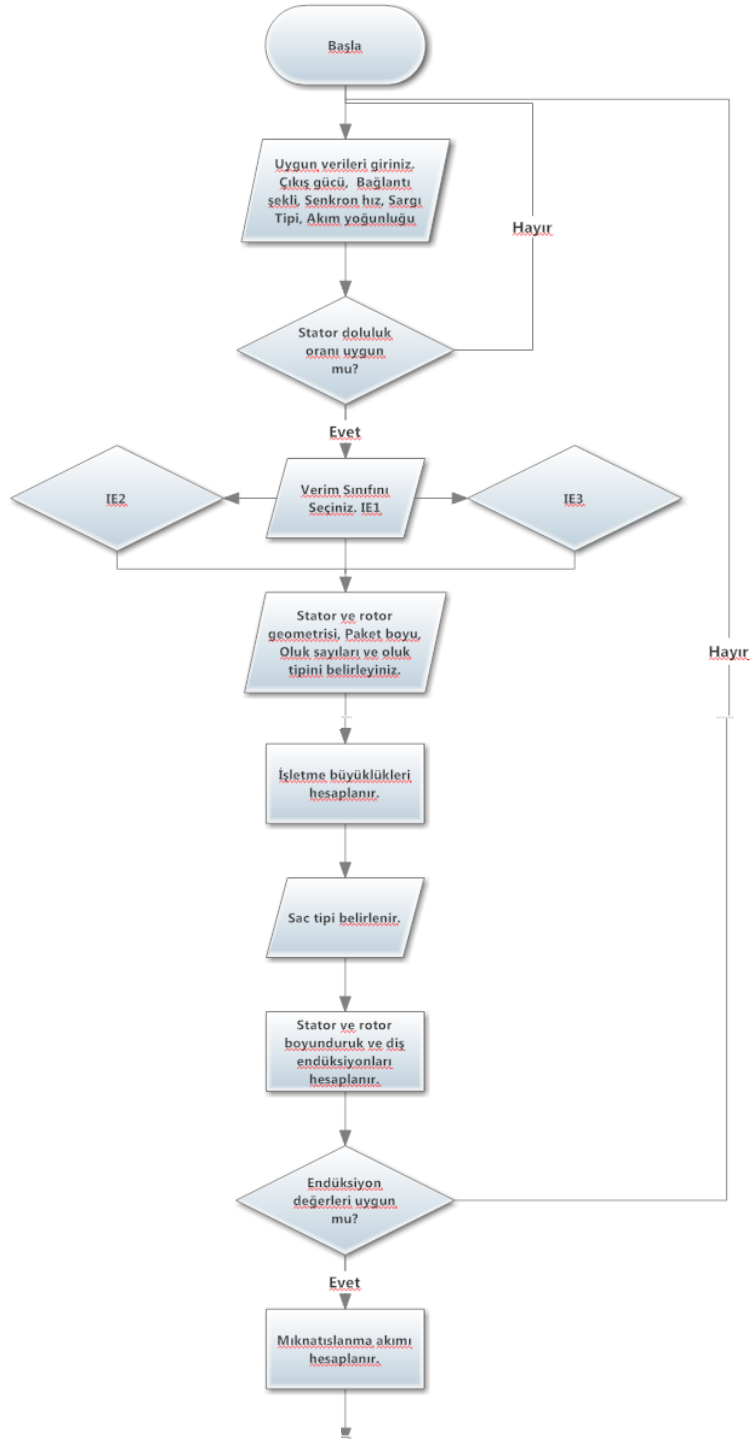
|                                  |  |                                           |  |                             |   |
|----------------------------------|--|-------------------------------------------|--|-----------------------------|---|
| Stator Cu Kaybi(W)               |  | Stator dislerinin ağırlığı(kg)            |  | W/kg (Sac Watt kayıpları)   | 3 |
| Rotor Cu Kaybi(W)                |  | Stator boyunduruk demir ağırlığı(kg)      |  | kg/mm3 (Sac birim ağırlığı) | 5 |
| Stator dislerindeki Fe Kaybi(W)  |  | Stator iç çapı/stator dış çapı            |  | k <sub>hb</sub>             |   |
| Stator boyunduruk Fe Kaybi(W)    |  | Rotor dislerinin ağırlığı(kg)             |  | k <sub>wb</sub>             |   |
| Stator Yüzey Kaybi(W)            |  | VERİM(%)                                  |  |                             |   |
| Rotor Yüzey Kaybi(W)             |  | Bosta çalışma akımı(A)                    |  |                             |   |
| Stator Pulzasyon Kaybi(W)        |  | Bosta çalışmada güç faktörü               |  |                             |   |
| Rotor Pulzasyon Kaybi(W)         |  | Yükte çalışmada güç faktörü               |  |                             |   |
| İlave Kayıpları(W)               |  | Yükte çalışmada çekilen reaktif güç(kVar) |  |                             |   |
| Sürtünme ve Ventilasyon Kaybi(W) |  | Yükte çalışmada çekilen aktif güç(kW)     |  |                             |   |
| Toplam Kayıplar(W)               |  |                                           |  |                             |   |

Hesapla.

Text61  
Text62  
Text65

Şekil 4.9 : Kayıplar ve verim sayfası.

### 4.3 Program Akış Diyagramı





**Şekil 4.10 :** Program akış diyagramı.



## 5. ÖRNEK MOTOR HESAPLAMA

4 kw çıkış gücü değerindeki iki kutuplu IE2 verim sınıflı motor hesaplandıktan sonra laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler ile kıyaslanacaktır. Hesap sonucu elde edilen motorun imalatına ilişkin detaylar verilecektir. Ayrıca Miksan Motor A.Ş. laboratuvarında motorun işletme değerlerini belirlemek için yapılan testler ilişkin detaylar verilecektir.

### 5.1 Örnek Motora Ait Veri Giriş Değerleri

Veri giriş ekranına girilmesi gereken değerler daha önce bahsedildiği gibi faz-faz uç gerilimi, senkron hız, frekans, verimlilik sınıfı, stator oluk sayısı, bakır iletken çapı, stator paralel iletken sayısı, çıkış gücü sargı tipi ve akım yoğunluğu girilir. Girilecek değerlerin tablosu aşağıda verilmiştir

**Çizelge 5.1 : 4 kW iki kutuplu motora ilişkin giriş verileri.**

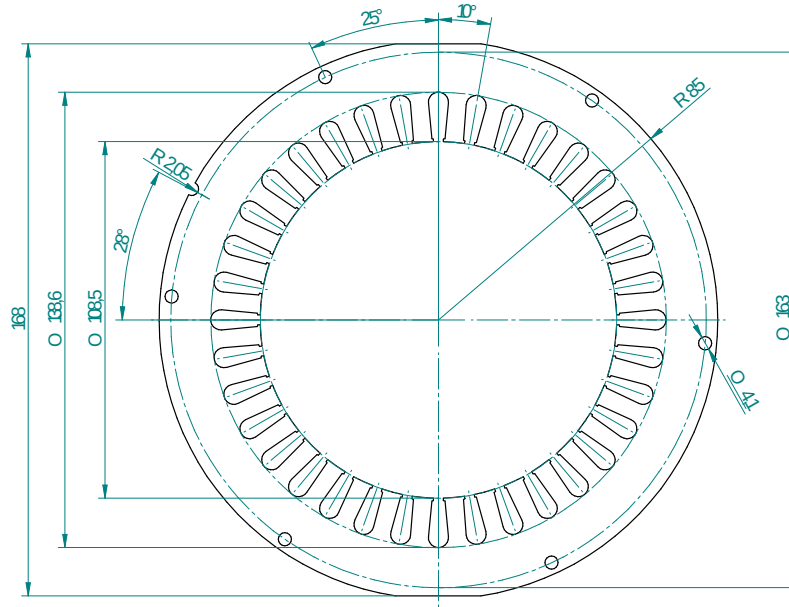
|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| Faz-faz uç gerilimi                | 400(üçgen) |
| Akım Yoğunluğu(A/mm <sup>2</sup> ) | 8          |
| Senkron Hız                        | 1500       |
| Frekans                            | 50         |
| Verimlilik Sınıfı                  | IE2        |
| Stator Oluk Sayısı                 | 36         |
| Paralel İletken Sayısı             | 2          |
| Oluk izolasyon kalınlığı(mm)       | 0,1        |
| Çıkış gücü(kW)                     | 4          |

## 5.2 Stator ve Rotor Geometrisi, Sargı Büyüklükleri ve Malzeme Ağırlıkları

Sarım tipi tek tabakalı sargıdır. 50 kW a kadar olan motorlar tek tabakalı olarak sarılır. Bunun için motor tek tabakalı sargı ile hesaplanacaktır. Sarım bilgisi ile birlikte motorun stator ve rotoruna ait geometrik ölçüler girilir. Motorun stator ve rotor laminasyon sacının ölçüleri aşağıdaki gibidir. Mylar kalınlığı, stator oluklarına yerleştirilen izolasyon malzemesi kalınlığıdır.

İki kutuplu motorlarda akım yoğunluğu 6 ve 8 A/mm<sup>2</sup> arasında değişir. Dört kutuplu motorlarda ise pervane soğutmasının devir sayısı sebebiyle daha az olması nedeniyle daha düşük tutulmalıdır.

Programda kullanılacak stator ve rotor sac geometrisi aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 5.1 : 4 kw 4 kutuplu motor için stator geometrik ölçüleri.



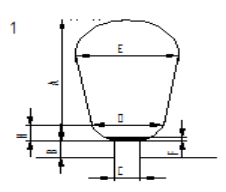
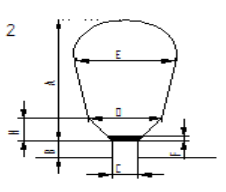
**ASENKRON MOTOR TASARIM PROGRAMI**

Giris Verileri
Hesaplanan Degerler
Miknatısma Akımı

|                     |      |                  |                    |
|---------------------|------|------------------|--------------------|
| ÇIKIŞ GÜCÜ(kw)      | 4    | KIRISLENME ORANI | /                  |
| FAZ-FAZ UC GERİLİMİ | 690  | SARGI TİPİ       | TEK TABAKALI SARGI |
| SENKRON HIZ         | 1500 | AKIM YOĞUNLUĞU   | 8                  |
| FREKANS             | 50   | BAĞLANTI ŞEKLİ   | YILDIZ             |
| VERİMLİLİK SINIFI   | IE2  | TAMAM            |                    |
| FAZ SAYISI          | 3    |                  |                    |

|            |            |            |
|------------|------------|------------|
| Verim(%)   | cosφ       | Fayd.Kats. |
| IE1        | Text7      | Text8      |
| IE2        | 85,4061104 | 0,76581377 |
| IE3        | Text17     | Text18     |
|            |            | Text9      |
| TAMAM(IE2) |            |            |

**GIRIS VERILERI**

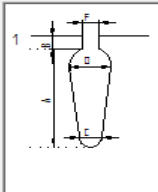
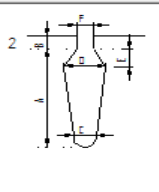
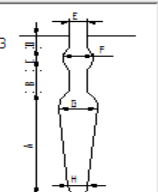
|   |      |
|---|------|
| A | 14.5 |
| B | 0.5  |
| C | 3    |
| D | 4    |
| E | 6.1  |
| F | 0.1  |
| G |      |
| H | 0.3  |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| PARALEL İLETKEN SAYISI    | 2   |
| STATOR OLUK SAYISI        | 36  |
| MYLAR KALINLIĞI(mm)       | 0.1 |
| İLAVE BOBIN UZUNLUĞU (mm) | 20  |
| PAKET BOYU(mm)            | 120 |
| STATOR İC CAPI(mm)        | 108 |
| STATOR DİS CAPI (mm)      | 170 |

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| STATOR TIP SECİMİ | SARGI SEKLİ |
| 1                 | 1           |

STATOR OLUK YAPISI VE SARGI TİPİ BİLGİ GİRİŞİ

TAMAM

|   |      |
|---|------|
| A | 15.5 |
| B | 0.3  |
| C | 1.7  |
| D | 4.7  |
| E |      |
| F | 0.3  |
| G |      |
| H |      |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| ROTOR OLUK SAYISI                | 28 |
| KISA DEVRE HALKASI KALINLIĞI(mm) | 10 |
| KISA DEVRE HALKASI UZUNLUĞU(mm)  | 10 |

|                  |   |
|------------------|---|
| ROTOR TIP SECİMİ | 1 |
|------------------|---|

TAMAM

Şekil 5.5 : 4 kW 4 kutuplu motor için veri giriş ekranı.



| ASENKRON MOTOR TASARIM PROGRAMI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                  |                                   |                           |                       |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------|---|-----|---|-----|------|---|-----|---|-----|------|---|-----|---|------|------|---|------|---|------|------|---|------|---|------|------|---|------|---|------|------|---|------|---|-----|------|---|-----|---|------|------|---|------|---|------|------|---|-----|---|-----|------|---|-----|---|------|------|---|------|---|------|------|---|-----|---|-----|
| Giris Verileri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                  | Hesaplanan Degerler               |                           | Miknatısma Akımı      |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| Psn                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | In               | Kutup basına<br>dusen oluk sayısı | Stator Oluk Sayısı        | KIRISLENME<br>FAKTORU | SARGI FAKTORU                | TOPLAM SARGI<br>FAKTORU          | Kutup<br>Taksimatı(mm)     | Akı (wb) Hava<br>aralığı   | Sogutma kanalı<br>sayısı   |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 6,1157239700955E                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 4,37564042077071 | 9                                 | 36                        | 1                     | 0,9598354203154E             | 0,9598354203154E                 | 84,78                      | 0,047714184                | 0                          |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| E(V)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Oluk adımı(mm)   | ÇİFT KUTUP<br>SAYISI              | iletken çapı (mm)         | OLUK ALANI(mm2)       | İZOLELİ TEL<br>KESİTİ(mm2)   | TOPLAM TEL<br>KESİTİ(mm2)        | STATOR OLUK<br>ÇEVRESİ(mm) | TOPLAM MYLAR<br>ALANI(mm2) | Faz basına sarım<br>sayısı |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 374,91329479768E                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 9,42             | 4                                 | 0,79808688446762          | 95,052895             | 0,5                          | 37,627686555824E                 | 32,177                     | 0,32177                    | 37,627686555824E           |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| OLUK<br>DOLULUGU(%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | BOBIN ADIMI      | BOBIN<br>UZUNLUGU(m)              | FAZ DIRENCİ<br>(ohm)      | 75 C DIRENCİ(ohm)     | SEKSIYON SAYISI              | STATOR SARGISI<br>BAKIR AGIRLIGI | Hava Aralığı(mm)           |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,7789473684210E                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 9                | 34,1488187953061                  | 4,7100782787989E          | 5,17                  | 3                            | 3,2823844626048E                 | 0,308                      |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| CUBUK AKIMI(A)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | HALKA AKIMI(A)   | CUBUK KESİT<br>ALANI(mm2)         | HALKA KESİT<br>ALANI(mm2) | ROTOR<br>DIRENCİ(ohm) | INDIRGENMİS<br>ROTOR DIRENCİ | CUBUK+HALKA<br>AGIRLIGI          |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,4523142174964E                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 0,5041718984832E | 38,2626771118141                  | 3140                      | 9,8918160019302E      | 5922                         | 358,823790864                    |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| <p>Tek Telin İkili Tel Karşılığı</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tbody> <tr><td>0,28</td><td>→</td><td>0,2</td><td>+</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>0,30</td><td>→</td><td>0,2</td><td>+</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>0,32</td><td>→</td><td>0,2</td><td>+</td><td>0,25</td></tr> <tr><td>0,40</td><td>→</td><td>0,28</td><td>+</td><td>0,28</td></tr> <tr><td>0,45</td><td>→</td><td>0,28</td><td>+</td><td>0,28</td></tr> <tr><td>0,50</td><td>→</td><td>0,35</td><td>+</td><td>0,35</td></tr> <tr><td>0,55</td><td>→</td><td>0,35</td><td>+</td><td>0,4</td></tr> <tr><td>0,60</td><td>→</td><td>0,4</td><td>+</td><td>0,45</td></tr> <tr><td>0,65</td><td>→</td><td>0,45</td><td>+</td><td>0,45</td></tr> <tr><td>0,70</td><td>→</td><td>0,5</td><td>+</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>0,75</td><td>→</td><td>0,5</td><td>+</td><td>0,55</td></tr> <tr><td>0,80</td><td>→</td><td>0,55</td><td>+</td><td>0,55</td></tr> <tr><td>0,85</td><td>→</td><td>0,6</td><td>+</td><td>0,6</td></tr> </tbody> </table> |                  |                                   |                           |                       |                              |                                  |                            |                            |                            | 0,28 | → | 0,2 | + | 0,2 | 0,30 | → | 0,2 | + | 0,2 | 0,32 | → | 0,2 | + | 0,25 | 0,40 | → | 0,28 | + | 0,28 | 0,45 | → | 0,28 | + | 0,28 | 0,50 | → | 0,35 | + | 0,35 | 0,55 | → | 0,35 | + | 0,4 | 0,60 | → | 0,4 | + | 0,45 | 0,65 | → | 0,45 | + | 0,45 | 0,70 | → | 0,5 | + | 0,5 | 0,75 | → | 0,5 | + | 0,55 | 0,80 | → | 0,55 | + | 0,55 | 0,85 | → | 0,6 | + | 0,6 |
| 0,28                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | →                | 0,2                               | +                         | 0,2                   |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | →                | 0,2                               | +                         | 0,2                   |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,32                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | →                | 0,2                               | +                         | 0,25                  |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | →                | 0,28                              | +                         | 0,28                  |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | →                | 0,28                              | +                         | 0,28                  |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | →                | 0,35                              | +                         | 0,35                  |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | →                | 0,35                              | +                         | 0,4                   |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,60                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | →                | 0,4                               | +                         | 0,45                  |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,65                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | →                | 0,45                              | +                         | 0,45                  |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,70                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | →                | 0,5                               | +                         | 0,5                   |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,75                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | →                | 0,5                               | +                         | 0,55                  |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,80                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | →                | 0,55                              | +                         | 0,55                  |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,85                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | →                | 0,6                               | +                         | 0,6                   |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |
| 0,94                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                  |                                   |                           |                       |                              |                                  |                            |                            |                            |      |   |     |   |     |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |      |      |   |      |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |      |   |     |   |      |      |   |      |   |      |      |   |     |   |     |

Şekil 5.6 : 4 kw 4 kutuplu motor için hesaplanan değerler sayfası.

### **5.3 Manyetik Büyüklükler ve Mıknatıslanma Akımının Hesabı**

Daha sonra Mıknatıslama akımı sayfasına geçilerek daha önce belirlenen sac tiplerinden biri seçilir. Bu hesap için 47050A sacı seçilmiştir. Program oluk diplerinde, oluk ortasında ve oluk başındaki endüksiyon değerlerini otomatik olarak hesaplayacaktır.

Bu kısımda da bir önceki sayfada olduğu gibi hesaplanan eğrilere karşı düşen manyetik gerilim (H) eğrideki B kısmına getirilip 'HESAPLA' butonuna basıldığında toplam manyetik gerilim ve mıknatıslama akımı hesaplanır. (Değer fazla ondalıklı olduğu için metin kutusuna sığmayabilir.)

Daha sonra kısa devre akımı için reaktanslar sayfasına geçilir.

### **5.4 Kısadevre Akımı Hesabı**

Reaktanslar sayfasında 'HESAPLA' butonuna basılmasıyla kalkış akımı ve kalkış momenti hesaplanır.

Artık son adım olan kayıplar ve verim sayfasına gidilebilir.

### **5.5 Kayıplar ve Verim**

Programın son aşaması olan verim hesaplama sayfası şu şekildedir. Burada sac kayıpları ve sacın birim ağırlığı girilir, khb ve kwb program kendiliğinden hesaplar. Sayfanın ve sayfada hesaplanan parametrelerin görünümü şekil 5.8 'de verilmiştir

**ASENKRON MOTOR TASARIM PROGRAMI**

Giris Verileri
Hesaplanan Degerler
Mıknatıslama Akımı

CARTER  
FAKTÖRÜ

1,46473252128163

HAVA  
ARL.MANY.GRL.

505,274130541311

SAC TIPI SECİMİ

47050A

STATOR VE ROTOR DIŞ ENDÜKSİYONLARI VE BUNLARA KARŞI DÜŞEN ALAN ŞİDDETLERİ

| Bd1dip(T)        | Bd1ort(T)        | Bd1baş(T)        | Bd2dip(T)        | Bd2ort(T)        | Bd2baş(T)        |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2,30981119129303 | 2,11526246122027 | 0,81001688819390 | 0,62970181407037 | 0,55952883456851 | 0,48365254593797 |
| Hd1dip(A\mm)     | Hd1ort(A\mm)     | Hd1baş(A\mm)     | Hd2dip(A\mm)     | Hd2ort(A\mm)     | Hd2baş(A\mm)     |
| 1131,40126143294 | 627,485149698893 | 62,8483622974915 | 193,859287998538 | 271,719132227079 | 376,094957789901 |

HESAPLA

**Şekil 5.7** : 4 kW 4 kutuplu motor için mıknatıslama akımı hesap sayfası.

| MIKNATISLANMA AKIMI                                       |                                                          | REAKTANSLAR                                                                   |                                                                              | KAYIPLAR VE VERİM             |                        |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| ORTALAMA ALAN<br>SIDDETİ(A/mm)<br>Hd1(STATÖR DIS)         | ORTALAMA ALAN<br>SIDDETİ(A/mm)<br>Hd2(ROTÖR DIS)         | STATÖR<br>DISLERİNDEKİ<br>TOPLAM<br>MANYETİK<br>GERİLİM 2Vd1                  | ROTÖR<br>DISLERİNDEKİ<br>TOPLAM<br>MANYETİK<br>GERİLİM 2Vd2                  | ROTÖR DIS<br>CAP(mm)          |                        |
| 617                                                       | 276,138462449455                                         | 833,24616                                                                     | 373,508065424226                                                             | 107,692                       |                        |
|                                                           |                                                          |                                                                               |                                                                              | TOPLAM<br>MANYETİK<br>GERİLİM | MIKNATISLANMA<br>AKIMI |
| STATÖR<br>BOYUNDURUK İ1<br>(mm)                           | ROTÖR<br>BOYUNDURUK İ2<br>(mm)                           | STATÖR<br>BOYUNDURUK<br>ENDÜKSİYONU<br>BJ1                                    | ROTÖR<br>BOYUNDURUK<br>ENDÜKSİYONU<br>BJ2                                    | 1718,27413054131              | 7,0483001274946        |
| 6,28                                                      | 67,002576                                                | 9,30722068130147                                                              | 1,1454123868488                                                              |                               |                        |
| STATÖR<br>BOYUNDURUK<br>TOPLAM<br>MANYETİK<br>GERİLİM VJ1 | ROTÖR<br>BOYUNDURUK<br>TOPLAM<br>MANYETİK<br>GERİLİM VJ2 | STATÖR<br>BOYUNDURUK<br>ENDÜKSİYONUNA<br>KARŞI DÜŞEN<br>ALAN<br>SIDDETİ(A/MM) | ROTÖR<br>BOYUNDURUK<br>ENDÜKSİYONUNA<br>KARŞI DÜŞEN<br>ALAN<br>SIDDETİ(A/MM) |                               |                        |
| 7,998                                                     | 0,469                                                    | 1333,00005946614                                                              | 7,31092558301317                                                             |                               |                        |
| <div>HESAPLA</div>                                        |                                                          |                                                                               |                                                                              |                               |                        |

Şekil 5.8 : Mıknatıslanma akımı sayfasının ikinci kısmı.

| MIKNATISLANMA AKIMI                      |                                      | REAKTANSLAR                            |                                  | KAYIPLAR VE VERİM                     |                  |                       |
|------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------------|
| STATOR SARGISI<br>DAGILMA<br>ILETKENLIGI | BOBIN BASI<br>DAGILMA<br>ILETKENLIGI | HAVA ARALIGI<br>DAGILMA<br>ILETKENLIGI | STATOR<br>REAKTANSI<br>(ohm/faz) | Kd                                    | KALKIS AKIMI(A)  | KALKIS<br>MOMENTİ(Nm) |
| 16,8163311489906                         | 76,7646336                           | 761,600481830196                       | 2,38523496158209                 | 3,38811881188118                      | 75,5884434919883 | 97,1886267930191      |
| RÖTOR SARGISI<br>DAGILMA<br>ILETKENLIGI  | BOBIN BASI<br>DAGILMA<br>ILETKENLIGI | HAVA ARALIGI<br>DAGILMA<br>ILETKENLIGI | RÖTOR<br>REAKTANSI<br>(ohm/faz)  | STATORA İNDÜGENMİS<br>RÖTOR REAKTANSI | K2               |                       |
| 18,6661275753796                         | 0,35                                 | 13,5657053976952                       | 1,28698240243646                 | 598,170845804741                      | 0,017            |                       |

Hesapla

Şekil 5.9 : 4 kw 4 kutuplu motor için reaktanslar sayfası.

|                                  |                  |
|----------------------------------|------------------|
| Stator İletim Kaybı(W)           | 164,976674008387 |
| Rotor İletim Kaybı(W)            | 22,6659815124195 |
| Stator dislerindeki Fe Kaybı(W)  | 14,1661763701198 |
| Stator boyunduruk Fe Kaybı(W)    | 14,8846479320448 |
| Stator Yüzey Kaybı(W)            | 9,30242053689119 |
| Rotor Yüzey Kaybı(W)             | 18,6048410737824 |
| Stator Pulzasyon Kaybı(W)        | 13,0540511075196 |
| Rotor Pulzasyon Kaybı(W)         | 52,5938082739184 |
| İlave Kayıpları(W)               | 360              |
| Sürtünme ve Ventilasyon Kaybı(W) | 55               |
| Toplam Kayıplar(W)               | 721              |

|                                       |                   |
|---------------------------------------|-------------------|
| Stator dislerinin ağırlığı(kg)        | 4,2214617320325   |
| Stator boyunduruk demir ağırlığı(kg)  | 4,2919976736      |
| Stator iç çapı/stator dış çapı        | 0,635294117647059 |
| Rotor dislerinin ağırlığı(kg)         | 3,21523891589204  |
| VERİM(%)                              | 84,7278119042576  |
| Bosta çalışma akımı(A)                | 2,34009661835749  |
| Bosta çalışmada güç faktörü           | 0,17463768115942  |
| Yükte çalışmada güç faktörü           | 0,76581377146903  |
| Yükte çalışmada çekilen aktif güç(kW) | 4,721             |

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| W/kg (Sac Watt kayıpları)   | 3 |
| kg/mm3 (Sac birim ağırlığı) | 5 |

|                 |        |
|-----------------|--------|
| k <sub>hb</sub> | 1,0213 |
| k <sub>wb</sub> | 1,6566 |

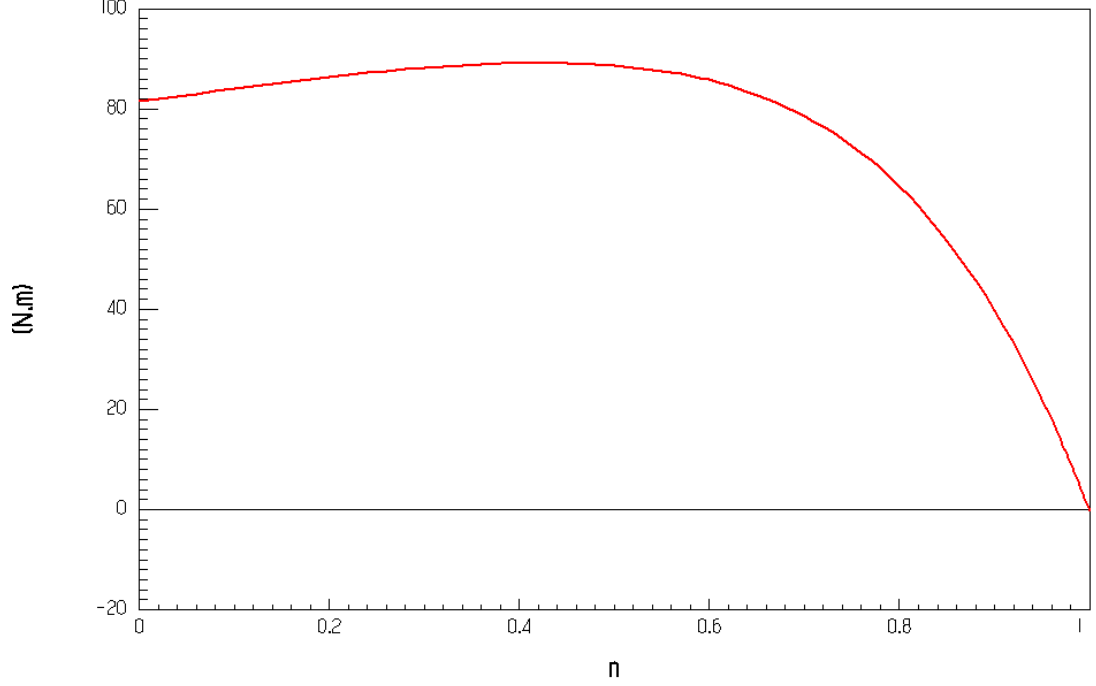
Hesapla.

0,10522180  
4

Şekil 5.10 : 4 kW 4 kutuplu motor için verim sayfası.

## 5.6 Hız-Moment Grafiği

Hesaplanan motorun hız-moment grafiği Maxwell-Rmxprt programında hesaplanmıştır. Yazılan programda hız-moment grafiği çizilemediği için aynı giriş verileri kullanmış ve şekil 5.11' deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.11 : Hesaplanan motorun hız-moment grafiği.

## 5.7 Örnek Tasarımın Gerçeklenmesi

Programda hesaplanan motor imal edilerek teste tabi tutulmuş böylelikle programın doğruluğu test edilmiştir. İmalat aşamasına sargılı statorun imalatı ile başlanır. Programda hesaplanan paket boyu, faz başına sarım sayısı ve iletken çapına göre statora sargı sarılır. Paket boyu 150 mm olarak hesaplanmış ve faz başına sarım sayısı 38 olarak belirlenmiştir. İletken çapı ise 0.8 + 0.8 olarak belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında statora sarım yapılır.

Daha sonra elde edilen sargılı stator, alüminyum enjeksiyon presinde imal edilmiş, gövdeye pres yardımıyla, uygun geometrik ölçüler göz önünde bulundurularak çakılır. Çakma işleminden evvel gövde ısıtıldığından, gövdenin soğuması sonucu stator gövdenin içinden çıkmayacak şekilde sabitlenmiş olur.

Rotor imalat kısmında ise hesaplanan paket boyuna göre, enjeksiyon presinde saf alüminyum rotor oluklarına basılır. Elde edilen rotor, mile yine pres yardımı ile geçirilir ve yataklamaların yapılması için mile iki adet rulman geçirilir.

Böylece montaj aşamasına başlanabilir. Öncelikle gövdeye ön kapak uygun cıvata ve somun yardımı ile sabitlenir. Sonra daha önce oluşturulmuş milli ve rulmanlı rotor grubu takılır. Ve arka kapak yine uygun cıvata ve somun yardımı ile sabitlendikten sonra mile soğutma pervanesi ve soğutma tası takılır. Böylece motor artık test edilmeye hazırdır. İmal edilen motorun fotoğraflarını şekil 5.11 de görmek mümkündür.



**Şekil 5.12 :** İmal edilen motorun görünümü.

### **5.8 Örnek Tasarımın Tasarımın Test Edilmesi**

İmal edilen motor, işletme büyüklükleri, sargı direnci, kalkış momenti ve kalkış akımı, boşta çalışma parametreleri belirlenmek üzere Miksan Motor A.Ş. laboratuvarında test edilmiştir. Kullanılan düzeneğe ilişkin fotoğraf şekil 5.11 ve 5.12 de olduğu gibidir.





**Şekil 5.13 :** Test düzeneği.



**Şekil 5.14 :** Ayarlı gerilim regülatörleri.

Test düzeneği İtalyan şirketi olan API'nin ürünüdür. Su soğutmalı elektromanyetik dinamometredir. Şekil 5.12' de ayarlı gerilim regülatörlerinin üzerinde bulunan elektronik düzenek vasıtasıyla sargılarına doğru akım verilerek motorun yüklenmesi sağlanır. Bu yükü ayarlamak için yine şekil 5.12'de görülen elektronik terazi kullanılır. Elektronik terazinin ağırlığı algılayan kısmı şekil 5.11'de bulunan silindirik kısma bağlıdır. Doğru gerilim verildikçe teraziden ağırlık değeri kg cinsinden okunur. Düzenekte ağırlık almacının, sistemin merkezine olan uzaklığı metre cinsinden bilindiğinden  $kg \cdot m$  cinsinden motor momenti belirlenir. Bu değer Newton-metreye çevrilir.

Asenkron motorda çıkış gücünün formülü;

$$P_2 = \frac{n \times M \times 2 \times \pi}{60} \quad (5.1)$$

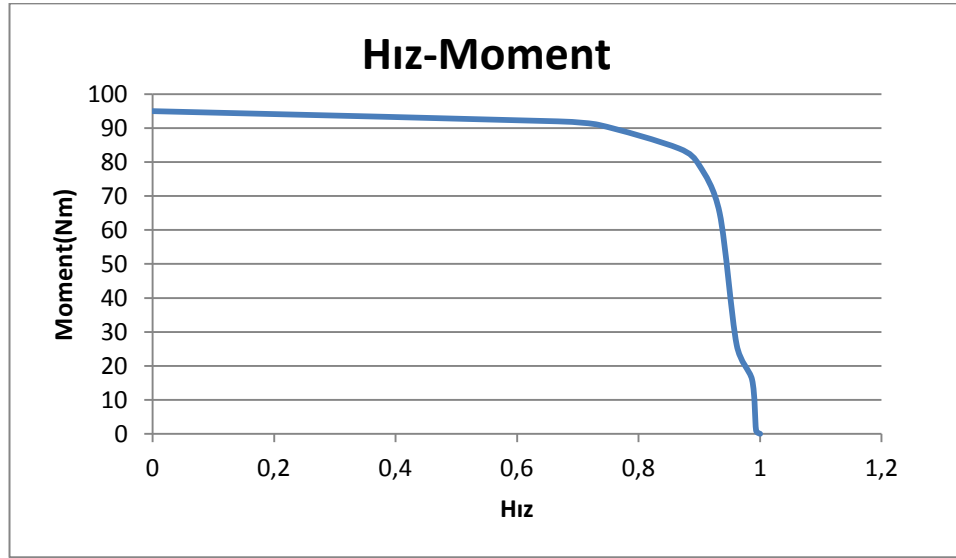
Böylelikle motorun çıkış gücü Watt cinsinden belirlenmiş olur.

Giriş gücünü belirlemek için ise motor giriş elektriksel değerlerinin uygun ölçü aletleri yardımı ile ölçülür. Motorun her fazdan çektiği akım bilindiği için toplam giriş gücü ölçülerek bulunmuştur. Motorun test sonucu Ek-A da detaylı olarak incelenebilir.

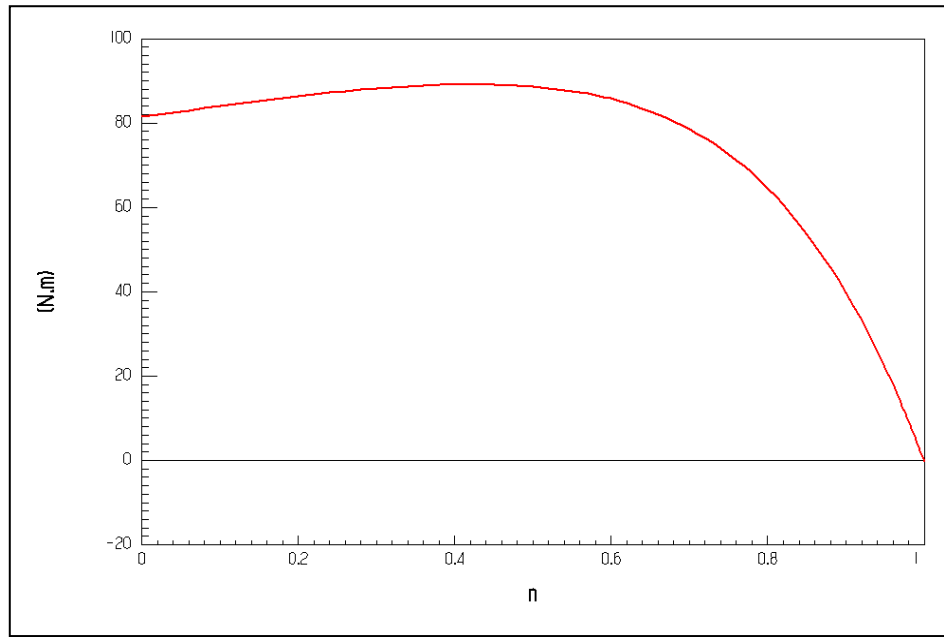
### **5.9 Deney Sonuçları Ve Karşılaştırma**

Hesaplanan ve hesap sonucu elde edilen değerler yardımı ile imal edilip laboratuvar ortamında test edilen motorun test ve hesap sonuçları çizelge 5.2'de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada en büyük farkın kalkış momenti değerinde olduğu görülür. Bu durum simülasyon ile gerçek değerler arasındaki farkı gösterir. Bu durum için kalkış momenti hesaplanırken bu fark dikkate alınmalı ve daha sonra hesaplanan motorlarda mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü hesaplanan değerler ile test sonuçları arasında farklar mutlaka olacaktır. Bu durumun sebepleri arasında, motorlarda kullanılan malzemelerin kalite farkları, test aşamasında ölçmede yapılan hatalar, test esnasında gerilim dalgalılığı gibi gösterilebilir.

### 5.10 Hesaplanan Hız-Moment Grafiği



Şekil 5.15 : Laboratuar ölçümünde belirlenen hız-moment grafiği.



Şekil 5.16 : Maxwell Rmxprt programında hesaplanan hız-moment grafiği.

**Çizelge 5.2 : Sonuçların karşılaştırılması.**

| Değer                                  | Hesaplanan<br>Değer | Deney<br>Sonuçları | Fark(%) |
|----------------------------------------|---------------------|--------------------|---------|
| Giriş Gerilimi(V)                      |                     | 400                |         |
| Boşta Çalışma Akımı                    | 4,972               | 5,317              | 6,94%   |
| Boşta Çekilen Güç(W)                   | 294                 | 261                | -11,22% |
| Mekanik Kayıp(W)                       | 55                  | 34,68              | -36,95% |
| Toplam Bakır Ağırlığı(kg)              | 3,28                | 3,1                | -5,49%  |
| Yükte Çalışma Akımı(A)                 | 7,56                | 8,5                | 12,43%  |
| Yükte Çalışma Güç Faktörü              | 0,76                | 0,79               | 3,95%   |
| Nominal Moment(Nm)                     | 28                  | 26,23              | -6,32%  |
| Nominal Devir sayısı(rpm)              | 1448                | 1442               | 7,96%   |
| Giriş Gücü(W)                          | 4721                | 4645               | -1,61%  |
| Verim                                  | %84,72              | %85,25             | 0,63%   |
| Faz Direnci(ohm)                       | 4,71                | 5,25               | 11,46%  |
| Sargı Sıcaklık Artışı(°C)              |                     | 74,6               |         |
| Kalkış Momenti (Nm)                    | 97,18               | 95                 | -2,24%  |
| Isıl Kararlılık Gövde<br>Sıcaklığı(°C) |                     | 58                 |         |
| Ortam Sıcaklığı(°C)                    |                     | 17                 |         |

Maxwell Rmxprt programında hesaplanan hız-moment eğrisi Şekil 5.16 da görülebilir. Laboratuar ortamında yapılan testler sonucu elde edilen hız-moment

eğrisi ise şekil 5.15 te görülebilir. Burada motor eksenin alt kısmında belirtilen hızlara göre yüklenmiş ve moment değeri hesaplanmıştır. Her iki grafiğinde kabul edilebilir sınırlar dahilinde benzer olduğu söylenebilir.



## 6. SONUÇ

Bu çalışma ile kaynak kodları gizli tutulan yüksek fiyatlı ticari yazılımlar yerine kullanıcı dostu bir tasarım programı hazırlanması amaçlanmış, tasarım için mil gücü üst sınırı 50 kW olarak seçilmiş, seçilen kısıtlar dâhilinde yazılım tamamlanmış ve uygulamalı bir örnek çalışma ile güvenilirliği test edilmiştir. Asenkron motor tasarımı için hızlı ve doğru hesap yapan farklı ve ulusal bir program hazırlanmıştır.

Motor plaka değerlerinden yola çıkılarak son aşamaya kadar, stator ve rotor çekirdek sargısı, mıknatıslanma akımı, yol verme büyüklükleri, kayıplar ve işletme büyüklüklerinin hesaplarının yapılması, hesap aşamalarında kullanıcının doğru olarak yönlendirilmesi hedeflenen bu çalışmada hesaplanan motorun imal edilip test edilmesiyle sonuca başarıyla ulaşılmıştır.

Programın tasarım aşamalarını literatürde anlatıldığı gibi adım adım hesaplayabilmesi, ara hesap sonuçlarını kullanıcıya görsel olarak verebilmesi, oluşmuş tecrübeler ile seçilen yazılım dilindeki kolaylıklar sebebi ile yazılacak olan yazılımın kullanıcı dostu olması hedefine ulaşılmıştır. Böylelikle tasarım denklemlerinin karmaşıklığından kaynaklanan hata yapma riski en aza indirilmiş ve yapılacak olan tasarımlar hızlandırılmıştır. Bu durumda bu çalışmada elde edilen tasarım programı, sonuçları hızlı ve doğru bir şekilde vermesi sebebiyle asenkron motor tasarımı yapan mühendisler için ışık tutacaktır.

Elle yapılan hesaplarda, tablo veya çizelgelerden gözle okunarak alınan ve hesaplara katılan değerler, oluşturulan veri tabanı yardımıyla kolaylıkla hesaplara ilave edilmektedir. Bu durum tasarımın hızlı ve doğru şekilde yapılması için daha önce bahsedildiği gibi son derece önemlidir. Bu hızlanma özellikle farklı gerilim ve frekanslarda çalışacak motor tasarımı yaparken kendini gösterecektir. Çünkü kullanıcı sadece gerilim ve frekans değerini değiştirerek yeni tasarımını kolaylıkla ve hızlı bir biçimde yapacaktır.

Gerçek değerler ile hesaplanan değerlerin arasında farklar olması beklenen bir durum olup piyasada var olan diğer ticari tasarım programlarının yaptığı hesaplamalarda da hata payı mevcuttur. Bu durumda tasarımcıya düşen hesabı yapılan motorlar ile test sonuçları arasında bağ kurarak yeni tasarımların gerçek sonucunu daha doğru oranda tahmin etmektir. Çünkü hesaplamaları ve imalatı yanlış yapılan ve seri üretimden çıkmış bir elektrik motoru çalışacağı fabrikaya gittiğinde, yanması ya da plaka değerleirnden farklı değerlerde çalıştırılması söz konusu olabilir. Bu durum ısınma deneyi ile plaka değerleri teyid ya da tespit edilerek aşılabilir.

Programda hesaplanan verim ile test sonucu ölçülen verim arasında % 0,63 oranında fark vardır. Gerçek sonuca yakın olarak belirteceğimiz bu değer ile beraber programın verim değerini yüksek doğrulukla hesapladığı söylenebilir. Yükte çalışma akımı yaklaşık olarak %12 oranında farkla hesaplanmıştır. Bunun sebepleri ısı değişimlerin elektriksel ve manyetik büyüklüklerde meydana getirdiği değişim, motorun test edildiği andaki gerilim değeri ve motorun statoruna sarılan emaye bakır telin tam hesaplanan çapta olmayışı gibi öngörülemeyen etkilerden kaynaklanması öngörülebilir. Boşta çalışma akımının hesaplanan ve test sonucu elde edilen değeri arasındaki fark %6,94 iken yükte çalışma akımı için bu değer %12,43 'tür. Yazılan programda moment hesaplanmadığı için aynı değerler kullanılarak MaxwellRmxprt programında hesap yapılmıştır. Burada hesap sonucu elde edilen değer ile test sonucu elde edilen değer arasındaki fark %6,32' dir. Nominal motor hızı, yine Maxwell Rmxprt programında akım-hız eğrisi çizdirilerek ve nominal akımdaki hız değeri eğriden okunarak belirlenmiştir. Aradaki fark yaklaşık %8 dir.

Programın bir sonraki sürümünde bir fazlı motorların hesaplanması, nominal moment ve nominal hızın hesaplanması, stator ve rotor laminasyon tasarımlarının eklenmesi, motorun hız-moment grafiğinin programa çizdirilmesi, görsel olarak daha estetik ve kullanımı daha kolay arayüz oluşturulması hedeflenmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Akman O. Ürkmez** (2005). Asenkron Motor Tasarımının Bilgisayar Programı İle Gerçekleştirilmesi, Makine Tek Dergisi
- [2] **Önel İ.Y** (2005). Üç Fazlı Asenkron Motorlarda Rulman Arızalarını Tespit Etmek Üzere X – Y Dönüşümü Ve RTFA Yapay Sinir Ağı Algoritması İçeren Yeni Bir Yöntemin Tasarlanması Ve Uygulanması, Yüksek Lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,98 s
- [3] **Anton H., Bozidar H., Matjaz L., Nikola G.** (1995). Torque Calculation by Bernstein Bezier's Surfaces IEEE Transactions on Magnetics VOL. 31, NO: 3., pp1885-1887
- [4] **Langraf S. V., Cheernyshev A. Y.** (2001), *The Calculation of Parameters for Equivalent Circuits of Induction Motor on Basis of Catalogue Data, Modern Techniques and Technology* ,pp 113-114,
- [5] **Szabados, J.H. Dableh, G.M. Obermeyer, R.E. Draper** (1990). *Measurement of The Torque- Speed Characteristics of induction Motors Using An Improved New Digital Approach, IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 5, No. 3, pp 565-571
- [6] **D. W. Burow, S. J. Salon, C. J. Slavik, M. J. DeBortoli** (1995). *Dependence of Torque Calculation on Mesh in Induction Machines*, IEEE Transactions on Magnetics, VOL. 31, NO. 6, November, pp 3593-3595
- [7] **Lindermeyer, D., H. W., Dommel, A., Moshref, P.Kundur** (2001). *An induction motoRr parameter estimation method, Electrical Power and Energy Systems* 23, pp 251-262,
- [8] **Mergen A.F., Sibel Z.** (2005). *Elektrik Makineleri II Asenkron Makineler*, Birsen YayınEvi
- [9] **Çetin İ** (1993). *Asenkron Makina Problemleri (Çözümlü)*, 1. Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi, s 192.

- [10] **Boduroğlu, T.**, (1994). *Elektrik Makinaları Dersleri, Cilt 2, Kısım 3, Asenkron makinelerin Hesap ve Konstrüksiyonu*, Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş., İstanbul
- [11] **Kocabaş D.A.** (2004). Asenkron Makinalarda Uzak Harmoniklerini Azaltmaya Katkılar ,Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [12] **Boduroğlu, T.**, (1994). *Elektrik Makinaları Dersleri, Cilt 2, Kısım 2, Asenkron makinelerin Hesap ve Konstrüksiyonu*, Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş.,
- [13] **Karagülle İ, Pala Z.**, (2001), *Visual Basic 6.0*, Türkmen Kitabevi
- [14] **Url-1** <<http://www.ece.umn.edu/users/riaz/animations/spacevectors.html>>, alındığı tarih: 29.07.2012.
- [15] **Url-1** <<http://tr.wikipedia.org>>, alındığı tarih: 29.06.2012.
- [16] **Url-1** <<http://www.somalsac.com.tr>>, alındığı tarih: 29.06.2012.
- [17]**Url-1**<[http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/alternatif-akim-motorlari-\(-alternating-current-\)>](http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/alternatif-akim-motorlari-(-alternating-current-)>)>, alındığı tarih: 01.05.2013.
- [18]**Url-1**<<http://www.tee.com.tr>>, alındığı tarih: 01.02.2013.
- [19]**Url-1**<<http://www.miksanmotor.com>>, alındığı tarih: 01.01.2013.
- [20]**Url-1**<<http://www.gamak.com>>, alındığı tarih: 01.02.2013.
- [21]**Url-1**<<http://www.voltmotor.com.tr>>, alındığı tarih: 01.02.2013.

# EK A: 4 Kw 4 KUTUPLU MOTOR TEST RAPORU

## Çizelge EK-A: Motor test raporu

|                                                                                   |        |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------|------|-------|------------|------------|---|----|----|
|  |        | 3 FAZLI MOTOR LAB. TEST RAPORU |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
|                                                                                   |        |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| MOTOR TİPİ : MİKSAN 11244                                                         |        |                                |                    |                      | IE1 83.1 /IE2 86.6/IE3 88.6 |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
|                                                                                   |        |                                |                    |                      | 84,6                        |                    |                   |                  |                   | 86,9              |            |      |       |            |            |   |    |    |
| Nominal Güç (kw)                                                                  | 4      | İzolasyon                      |                    | F                    | Tarih                       |                    | 09.04.2013        |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| Nominal Devir (rpm)                                                               | 1450   | Ortam sic.                     |                    | 17                   | °C                          | Testi Yapan        | Emre Gürleyen     |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| Nominal Akım (A)                                                                  | 8,50   | Paket Boyu                     |                    | 120                  | Kontrol                     |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| Cosφ                                                                              | 0,78   | Eğim                           |                    | Normal               | NOT:                        |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| Nominal Gerilim (V)                                                               | 400    | Ring                           |                    | Normal               |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| Frekans                                                                           | 50     | ROTOR                          |                    | 108,05               | +0,05                       |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| SARGI DEĞERLERİ                                                                   |        | 37/2x0,8                       |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| Gerilim                                                                           | Ω      | R <sub>1</sub>                 | R <sub>2</sub>     | R <sub>3</sub>       | Sıcaklık Artışı °C          | Sargı Sıcaklığı °C | Ortam Sıc. °C     |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
|                                                                                   | Soğuk  | 3,50                           | 3,50               | 3,50                 |                             |                    | 17                |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 400                                                                               | Sıcak  | 4,30                           | 4,20               | 4,20                 | 57,6                        | 74,6               | 17                |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 380                                                                               | Sıcak  |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 415                                                                               | Sıcak  |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 440                                                                               | Sıcak  |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| BOŞTA ÇALIŞMA TESTİ                                                               |        |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| U <sub>0</sub> (V)                                                                | IR (A) | IS (A)                         | IT (A)             | I <sub>ort</sub> (A) | P <sub>0</sub> (w)          | Cosφ <sub>d</sub>  | Cosφ <sub>h</sub> | P <sub>cuo</sub> | P <sub>mek</sub>  | P <sub>fe</sub>   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 400                                                                               | 5,386  | 5,224                          | 5,340              | 5,317                | 300                         | 0,09               | 0,08              | 195,89           | 34,68             | 69,43             |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 380                                                                               | 4,669  | 4,447                          | 4,493              | 4,536                | 249                         | 0,08               | 0,08              | 142,61           | 34,68             | 71,71             |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 173                                                                               | 1,483  | 1,414                          | 1,396              | 1,431                | 71                          | 0,16               | 0,17              | 14,19            | 34,68             | 22,13             |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 87                                                                                | 0,733  | 0,771                          | 0,806              | 0,770                | 46                          | 0,39               | 0,40              | 4,11             | 34,68             | 7,21              |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 44                                                                                | 0,681  | 0,716                          | 0,681              | 0,693                | 38                          | 0,72               | 0,72              | 3,32             | 34,68             | -                 |            |      |       |            |            |   |    |    |
| KİLİTLİ ROTOR TESTİ                                                               |        |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| U <sub>k</sub> (V)                                                                | M(kg)  | M(Nm)                          | I <sub>k</sub> (A) | P <sub>k</sub> (kw)  | Cosφ <sub>d</sub>           | Cosφ <sub>h</sub>  | km                | kl               |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 307,000                                                                           | 22,000 | 56,243                         | 49,580             | 18,01                | 0,67                        | 0,68               | 2,1               | 5,8              |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| ISIL KARARLILIK VE YÜKTE ÇALIŞMA                                                  |        |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| Saat                                                                              | U1     | M                              | M                  | n                    | IR                          | IS                 | IT                | I <sub>ORT</sub> | Cosφ <sub>d</sub> | Cosφ <sub>h</sub> | P1         | P2   | η(%)  | Gövde Sıc. | Ortam Sıc. |   |    |    |
|                                                                                   | V      | KG                             | Nm                 | rpm                  | A                           |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            | Kw         | W | °C | °C |
| 400V/50Hz                                                                         |        |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 11:00                                                                             | 400    | 10,250                         | 26,204             | 1457                 | 8,572                       | 8,432              | 8,702             | 8,57             | 0,77              | 0,77              | 4,559      | 3996 | 87,65 | 22         | 17         |   |    |    |
| 12:00                                                                             | 400    | 10,260                         | 26,230             | 1444                 | 8,629                       | 8,438              | 8,550             | 8,54             | 0,78              | 0,78              | 4,629      | 3964 | 85,64 | 52         | 17         |   |    |    |
| 12:45                                                                             | 401    | 10,270                         | 26,255             | 1442                 | 8,483                       | 8,488              | 8,569             | 8,51             | 0,79              | 0,79              | 4,644      | 3963 | 85,33 | 58         | 17         |   |    |    |
| 13:00                                                                             | 402    | 10,260                         | 26,230             | 1442                 | 8,503                       | 8,497              | 8,509             | 8,50             | 0,79              | 0,78              | 4,646      | 3959 | 85,21 | 58         | 17         |   |    |    |
| 13:15                                                                             | 399    | 10,260                         | 26,230             | 1442                 | 8,589                       | 8,515              | 8,509             | 8,54             | 0,79              | 0,79              | 4,645      | 3959 | 85,23 | 58         | 17         |   |    |    |
| 380V/50Hz *                                                                       |        |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
|                                                                                   |        |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 440V/50Hz *                                                                       |        |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
|                                                                                   |        |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 415V/50Hz *                                                                       |        |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
|                                                                                   |        |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| AKIM BALANSI                                                                      |        |                                |                    |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   | SES ÖLÇÜMÜ |      |       |            |            |   |    |    |
| I <sub>ort</sub>                                                                  | IR (%) | IS (%)                         | IT (%)             | dB                   |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 8,57                                                                              | -0,04  | 1,59                           | -1,56              | BOŞTA                |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 8,54                                                                              | -1,05  | 1,18                           | -0,13              | YÜKTE                |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |
| 8,51                                                                              | 0,36   | 0,30                           | -0,65              |                      |                             |                    |                   |                  |                   |                   |            |      |       |            |            |   |    |    |



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Emre GÜRLEYEN

**Doğum Yeri ve Tarihi:** ŞİŞLİ-İSTANBUL/27.04.1987

**Adres:** Akşemsettin mah. Alperen cad. Arı sok. No:28/3 Eyüp-İST

**E-Posta:**emregurleyen57@hotmail.com

**Lisans:** Kocaeli Üniversitesi

**Mesleki Deneyim ve Ödüller:**

Miksan Motor A.Ş.-Elektrik Mühendisi-3 yıl