

# **SENKRON GENERATÖR TASARIMI**

## **İÇİNDEKİLER**

<b>1.GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2.SENKRON GENERATÖR TASARIMI.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Stator Tasarım Denklemleri.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2 Rotor Tasarım Denklemleri.....</b>	<b>5</b>
<b>3. SENKRON GENERATÖR ANALİTİK HESAPLAMA.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1 Yıldız Bağlı Çıkkı Kutuplu Senkron Generatöre Ait Spesifik Değerler.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2 Çıkış Katsayısı ve Temel Stator Geometrisi.....</b>	<b>7</b>
<b>3.3 Stator Sargısı Tasarımı.....</b>	<b>8</b>
<b>3.4 Stator Çekirdeğinin Tasarımı .....</b>	<b>10</b>
<b>3.5 Stator ve Rotor Hava Boşluğunun Hesaplaması.....</b>	<b>11</b>
<b>3.6 Temel Rotor Geometrisi .....</b>	<b>12</b>
<b>3.7 Alan Sargılarının Tasarımı .....</b>	<b>12</b>
<b>4.SENKRON GENERATÖR TASARIMINA AİT VERİLER.....</b>	<b>14</b>
<b>5.SONUÇ .....</b>	<b>17</b>

## **KAYNAKLAR**

## SİMGELİSTESİ

ac : Özgül elektrik yükü

af : Saha iletkeninin kesit alanı

Ag : Etkili boşluk alanı

ATa : Kutup başına armatür amper sargıları

ATfl : Kutup başına tam yük alanı amper sargıları

ATg : Hava boşluğu amper sargıları

ATfo : Kutup başına yük alanı amper sargısı

as : Stator iletken kesit alanı

Bav : Ortalama akı yoğunluğu

Bg : Hava boşluğunundaki max akı yoğunluğu

Bp : Kutup gövdesindeki akı yoğunluğu

bs : Stator yuva genişliği

Co : Çıkış katsayısı

D : Statorun çapı

df : Alan bobinin derinliği

Dr : Rotor çapı

Eph : Faz voltajı

hf : Alan bobininin yüksekliği

If : Alan akımı

Iph : Faz akımı

Kf : Alan form faktörü

kg : Hava boşluğu katsayısı

Kw : Sargı faktörü

L : Brüt çekirdek uzunluğu

lg : Hava boşluğu uzunluğu

Li : Çekirdeğin net demir uzunluğu

Lmt : Ortalama stator dönüş uzunluğu

Lp : Eksenel kutup uzunluğu

m : Faz

Ns : Senkron hız (rpm)

ns : Senkron hız (rps)

Nt : Kutup arkı başına dış sayısı

p : Kutup sayısı

Pcus: Stator sargısında bakır kayıpları

Pcu: Sahadaki bakır kayıpları

qf : Alan bobinin soğutma yüzeyinin metrekare başına izin verilen kayıp

Q : Generatör çıkıştı (kVA)

qs : Kutup Faz Başına Yuva Sayısı

Rf : Alan Sargısının Direnci

Rph : Stator Sargı Direnci

SCR: Kısa devre oranı

sf : bakır boşluk faktörü

Ss : Stator yuva sayısı

Tf : Bobin başına alan dönüşleri

Tph : Faz başına dönüş

Va : Çevresel hız

Ve : Uyarıcı voltaj

Vc: Bobin başına voltaj

Zs : İletken sayısı

Zss: Yuva Başına İletken Sayısı

Zph = no of conductors/phase;

$\varphi$  : Faz başına akı

$\varphi_c$  : Stator çekirdeğindeki akı

$\varphi_p$  : Kutup gövdesindeki akı

$\delta$  : Akım yoğunluğu

$\delta f$  : Akım yoğunluğu

$\tau_p$  : Kutup aralığı

$\tau_s$  : Yuva aralığı

$\zeta$  : Bakırın özgül direnci

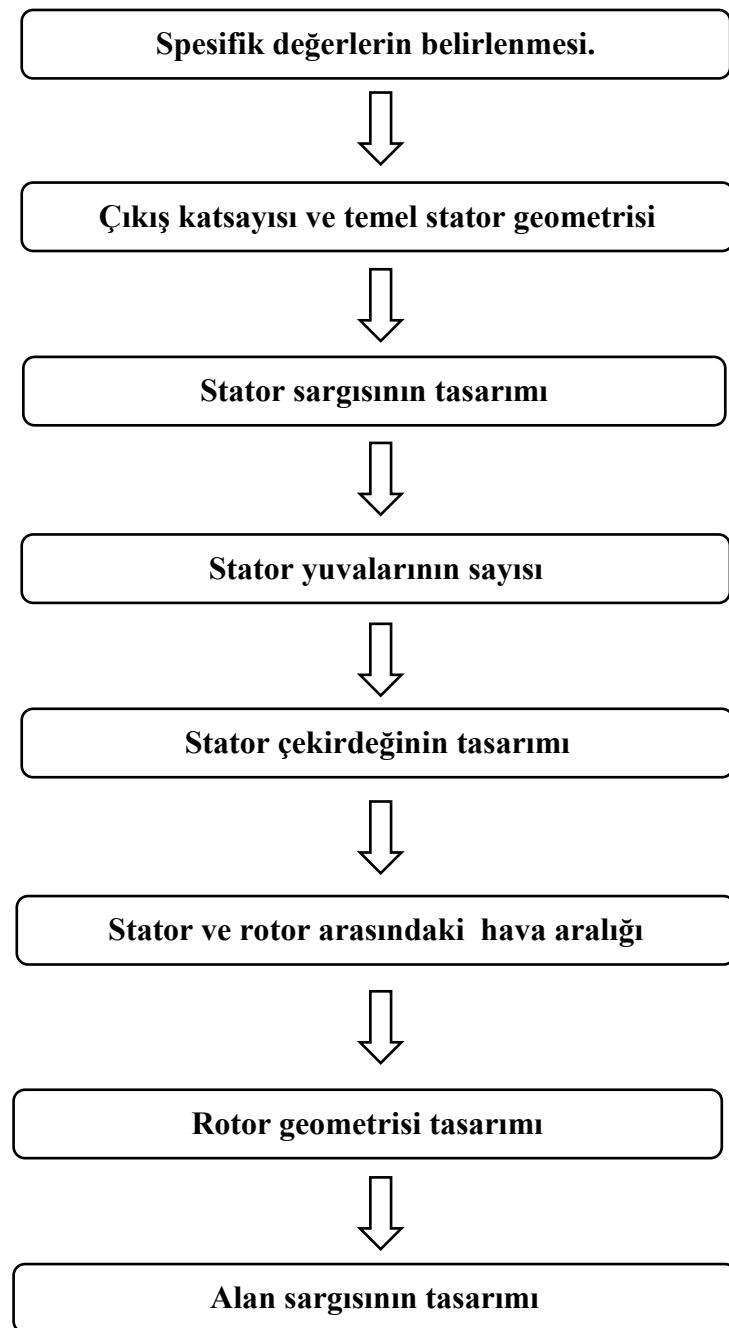
## **1.GİRİŞ**

Senkron generatörler, harici bir DC kaynağı tarafından sağlanan bir saha devresine sahip AC makinelerdir. Elektrik enerjisinin üretiminde kullanılıp güçleri kVA (kilovolt amper) veya MVA (megavolt amper) olarak verilir. Senkron generatörler yapısal olarak iki ana bölümden oluşur. Armatür (stator) sabit parça, alan (rotor) ise dönen parça olarak işlev görür. Esas olarak iki tip senkron generatör kullanılmaktadır. Çıkık kutuplu ve silindirik kutuplu senkron generatör. Genellikle çıkışlı kutup tipi jeneratör, düşük ve orta hızlı uygulamalar için kullanılır ve geniş çaplı, kısa eksenel uzunluğa ve çok sayıda çıkışlı kutba sahiptir. Silindirik kutuplu senkron jeneratör ise dairesel bobin ile büyük eksenel uzunluk ve küçük çaplı yüksek hızlı uygulamalar için kullanılmaktadır. Senkron jeneratörün yüksek hızlı uygulamalar için temel gereksinimi, yüksek güç yoğunluğu, kompakt tasarım, daha az bileşen, yüksek sıcaklığa dayanma yeteneği ve yüksek verimlilikle yüksek güvenilirliktir. [1]

Elektrik enerjisi üretim sistemlerinin ana teçhizatlarından biri senkron generatörlerdir. Enerji üretiminde kullanılan bu donanımların iyi analiz edilmesi hem ekonomik hem de işletme anlamında büyük önem taşımaktadır. Senkron generatöre tasarıma ait analitik hesaplama imalattan önce generatöre ait verilerin doğrulukla analiz edilmesi, parametrelerin hesaplanması, sanal ortamda daha gerçekçi benzetimler ile imalatından önce generatörün görülmeye imkân sağlamaktadır. Bu benzetimler ile generatörlerin istenilen değerlere ulaşma durumları, negatif yanlarının görülmesi anlamında büyük kolaylık sağlanmasıdır. [2]

Rüzgar türbinleri için teknolojik ve ekonomik bir Çıkık Kutuplu Senkron Makine tasarıımı üzerine yapılan çalışmada Çıkık Kutuplu Senkron Makine ile Sabit Miknatıslı Senkron Makine Eddy akımı, hava aralığındaki akı yoğunluğu ve verim yönünden sonlu elemanlar yöntemiyle karşılaştırılmış, ekonomik olarak analiz edilmiştir. Çıkık Kutuplu Senkron Makine de daimi miknatıs yerine sargılar kullanılmasının dolayı göre daha temiz ve ucuz olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışmada manyetik malzemelerin maliyet açısından karşılaştırılmasında aynı boyuttaki manyetik malzemelerin % 50 oranında fiyatlarının değişebildiği görülmüştür. Örnek araştırılmada görüldüğü gibi istenilen değerlere ulaşmada, imalattan önce avantaj ve dezavantajların öngörülmesinde analitik tasarım büyük önem taşımaktadır.

## AKIŞ DİYAGRAMI

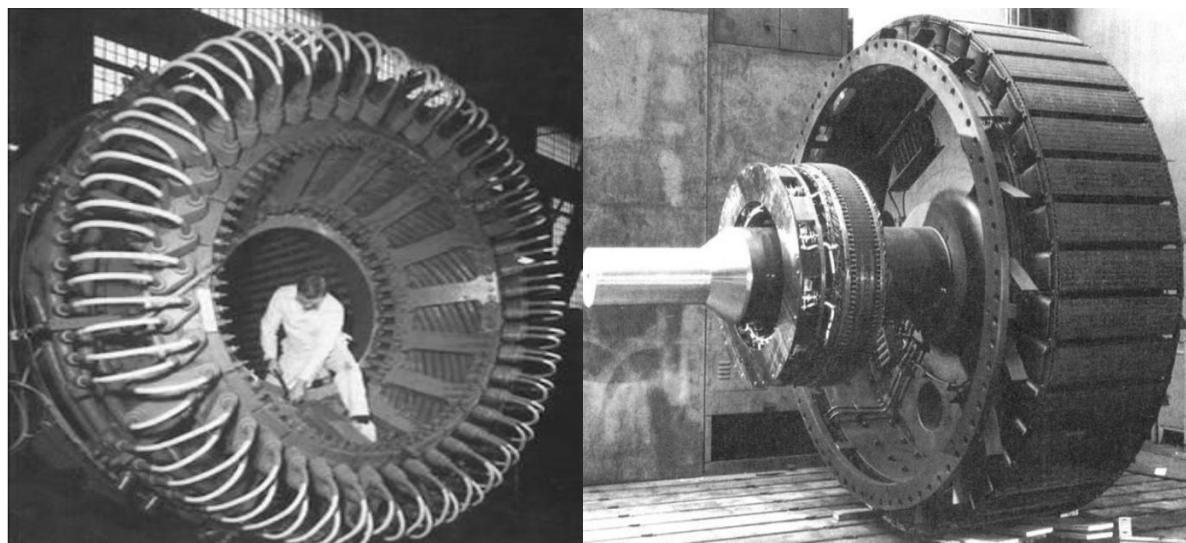


## 2.SENKRON GENERATÖR TASARIMI

Elektrik makinelerinin tasarımı, esas olarak, makinenin çeşitli parçalarının belirli özelliklere uyacak şekilde boyutlarının elde edilmesi, mevcut malzemenin ekonomik olarak kullanılması ve daha sonra bu verilerin makinenin üreticisine sunulmasından oluşur.

Tasarımcının amacı:

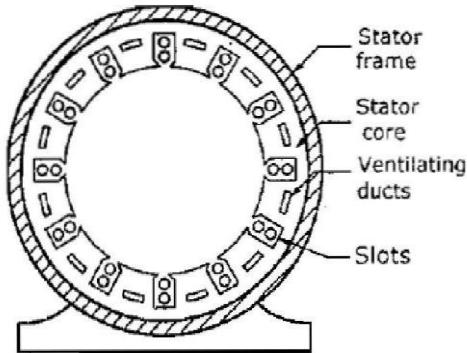
- Düşük maliyet
- Daha küçük boyut
- Daha geniş sıcaklık sınırı
- Alt ağırlığı
- Minimum kayıplar
- Yüklü ve yüksüz şartlarda daha iyi performans elde etmektir. [3]



**Şekil.1** Sırasıyla çıkış kutuplu generatörün stator ve rotoru [1]

## 2.1 STATOR TASARIM DENKLEMLERİ

Statorun iç çapı ve brüt uzunluğu makinenin ana boyutlarını oluşturur. Ana boyutları elde etmek için çıktı ile makinenin ana boyutları arasındaki ilişkiyi geliştirmek gerekir. Bu ilişki çıkış denklemi olarak bilinir. Makinenin çıktı denkleminden, makinenin hacminin makinenin çıktı ile doğru orantılı olduğu ve makinenin hızı ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Daha yüksek hızlı sahip makinelerin boyutu ve maliyeti düşecektir. Özel yüklemelerin daha büyük değerleri, daha küçük makinenin boyutu olacaktır. [1]



**Şekil.2** Sırasıyla stator çerçevesi,stator çekirdeği , havalandırma kanalı ve yuvalar[4]

### Çıkış Denklemi:

$$\text{Makinenin çıkış denklemi : } Q = C_o \cdot D^2 \cdot L \cdot n_s$$

$$\text{Çıkış katsayısı : } C_o = 1,11 \cdot K_w \cdot B_{av} \cdot a_c \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Çevresel hız : } V_a = \pi D \cdot n_s$$

$$\text{Generatörün EMF denklemi(Faz başına EMF) : } E_{ph} = 4,44 \cdot f \cdot \varphi \cdot T_{ph} \cdot K_w$$

$$\text{Faz başına sarım sayısı : } T_{ph} = \frac{E_{ph}}{4,44 \cdot f \cdot \varphi \cdot K_w}$$

$$\text{Kutup başına akı : } \varphi = \frac{B_{av} \cdot \pi D L}{p}$$

$$\text{Stator yuva aralığı : } \tau_s = \frac{D\pi}{S_s}$$

$$\text{İletken sayısı : } Z_s = 6 \cdot T_{ph}$$

$$\text{İletken kesit alanı : } a_s = \frac{I_{ph}}{\delta}$$

$$\text{Çekirdeğin net demir uzunluğu : } L_i = (L - n_d \times w_d) \text{ ki}$$

$$\text{Diş genişliği : } b_t = \frac{\varphi}{B_t \times L_i \times N_t}$$

$$\text{Stator dışlarındanaki akı yoğunluğu : } B_t = \frac{\varphi}{b_t \times L_i \times N_t}$$

$$\text{Stator yuva genişliği : } b_s = \tau_s - b_t$$

Ortalama stator dönüş uzunluğu :  $L_{mt} = (2L + 2.5\tau_p + 0.05 \times kV + 0.15)m$

$$\text{Stator kutup aralığı : } \tau_p = \frac{D\pi}{p}$$

$$\text{Stator sargısının direnci : } R_{ph} = \frac{\rho L_{mt} T_{ph}}{as}$$

$$\text{Stator sargısının bakır kayıpları : } P_{cus} = I_{ph}^2 R_{ph}$$

$$\text{Kutup faz başına yuva sayısı : } q_s = \frac{\pi D}{Y_{ss} * m * p}$$

$$\text{Toplam yuva sayısı : } S_s = q_s * m * p$$

$$\text{Yuva başına iletken sayısı : } Z_{ss} = \frac{Z_s}{S_s}$$

$$\text{Tam yük akımı : } I_{ph} = \frac{Q}{3E_{ph} * 10^{-3}}$$

$$\text{Stator çekirdeğindeki akı : } \varphi_c = \frac{\varphi}{2}$$

$$\text{Stator çekirdeğinin akı yoğunluğu : } B_c = \frac{\varphi_c}{A_c}$$

$$\text{Stator çekirdeğinin kesit alanı : } A_c = L_i * d_c$$

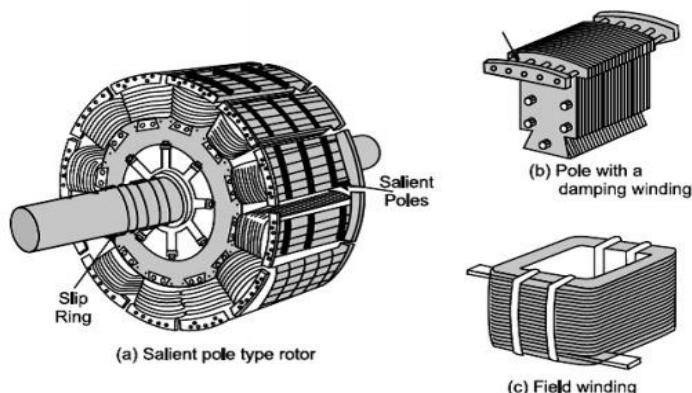
$$\text{Stator çekirdeğinin derinliği : } d_c = \frac{\varphi_c}{L_i * B_c}$$

$$\text{Stator çekirdeğinin dış çapı : } D_o = D + 2(d_c + d_{ss})$$

$$\text{Kutup başına armatür amper sarımları : } A_{Ta} = \frac{2.7 * I_{ph} * T_{ph} * K_w}{p}$$

## 2. 2 ROTOR TASARIM DENKLEMLERİ

Çıkıntılı kutup jeneratörünün saha sistemi tasarımları; kutup yüzünün şekli, kutup boyutları, rotor kutbunun derinliği ve çıkışlı jeneratör için yüksüz amper dönüşlerinden oluşur. Çıkık kutuplu senkron makine miknatıslanmak için, çıkışlı kutplarda bulunan sargılara fırçalar ve kayma halkaları aracılığıyla doğru akım ile beslenir. Doğru akımın yarattığı ana akı, kutup pabucundan statora akar ve aynı anda statorun çok fazlı yarık sargısına nüfuz eder.[5]



**Şekil. 3** (a) Çıkık kutup tipli rotor (b) Sönümleme sargılı kutup (c) Alan sargısı [6]

$$\text{Kutup gövdesinin enine kesit alanı : } A_p = \frac{\varphi p}{B_p}$$

$$\text{Kutup genişliği : } b_p = \frac{A_p}{L_p}$$

$$\text{Etkili boşluk alanı : } A_g = K_f * \tau_p * L$$

$$\text{Hava boşluğunundaki max akı yoğunluğu : } B_g = \frac{\varphi}{A}$$

$$\text{Hava boşluğu amper dönüşleri : } A T_g = 0.8 B_g * K_g * L_g * 10^6$$

$$\text{Hava boşluğu uzunluğu : } l_g = \frac{A T_g}{0.8 * B_g * K_g * 10^6}$$

$$\text{Rotor çapı : } D_r = D - 2 L_g$$

$$\text{Alan bobininin yüksekliği : } h_f = \frac{I_f * T_f}{10^4 \sqrt{(d_f * s_f * q_f)}}$$

$$\text{Bobin başına voltaj : } V_c = \frac{0.8 * V_e}{p}$$

$$\text{Saha iletkeninin kesit alanı : } a_f = \frac{\rho * L_m t * I_f * T_f}{V_c}$$

$$\text{Alan akımı : } I_f = a_f * \delta$$

$$\text{Bobin başına alan dönüşleri : } T_f = \frac{A T_f l}{I_f}$$

$$\text{Alan sargısının direnci : } R_f = \frac{\rho * L_m t * T_f}{a_f}$$

$$\text{Sahadaki bakır kayıpları : } P_{cu} = I_f^2 R_f$$

$$\text{Toplam alan bakır kaybı : } P_{total cu} = P_{cu} * p$$

### **3. SENKRON GENERATÖR ANALİTİK HESAPLAMA**

Senkron generatörlerin uluslararası standartlarda kabul edilen kalitede AA gerilim üretebilmelerinde tasarım aşamasında belirlenen stator ve rotorun mekanik yapısı büyük önem taşımaktadır.

Generatörlerde stator ve rotor arasındaki hava aralığında manyetik akı yoğunluğu sinüzoidal olmalıdır. Ayrıca stator yapılarındaki olukların yerleşimi ve sargı adımı gibi tasarım parametreleri üretilen gerilimin harmonik bileşenlerini etkilemektedir. Makinenin kVA veya MVA cinsinden nominal çıkış, kV cinsinden makinenin nominal gerilimi, Hız, frekans, jeneratörün rotor tipi, stator sargısının bağlantısı, sıcaklık sınırı, ana taşıyıcı detayları Tasarım prosedürünü başlatmak için gerekli olan önemli özelliklerdir. Bu rapor çalışmasında senkron generatör tasrarımı verilen bilgileri göz önünde bulundurarak elde edilmiştir. [5]

### **3.1 YILDIZ BAĞLI ÇIKIK KUTUPLU SENKRON GENERATÖRE AİT SPESİFİK DEĞERLER**

- Çıkış Gücü : 500 kVA
- Terminal Voltajı : 6,6 kV
- Çevresel Hız : 35 m/s
- Frekans : 50 Hz
- Kutup Sayısı : 12
- Faz : 3
- Elektrik yükü (ac) : 26000 ac/m
- Ortalama akı yoğunluğu (Bav) : 0,56 T
- Sargı faktörü (Kw) : 0,955

### **3.2 ÇIKIŞ KATSAYISI VE TEMEL STATOR GEOMETRİSİ**

- Çıkış katsayısı hesabı :  $Co = 1,11 * \pi^2 * Kw * Bav * ac * 10^{-3}$

$$Co = 1,11 * \pi^2 * 0,955 * 0,56 * 26000 * 10^{-3}$$

$$Co = 152,331$$

- rps cinsinden senkron hız :  $ns = \frac{Ns}{60}$

$$Ns = \frac{120f}{p} = \frac{120 * 50}{12} = 500 \text{ rpm}$$

$$ns = \frac{Ns}{60} = \frac{500}{60} = 8,333 \text{ rps}$$

- Çıkış denklemini kullanarak  $D^2L$  hesaplaması :  $Q = Co * D^2L * ns$

$$D^2L = \frac{Q}{Co * ns} = \frac{500}{152 * 8,333} = 0,394 \text{ m}^3$$

- Çevresel hız denklemini kullanarak D ve L değerlerinin hesaplaması :  $Va = \pi D * ns$

$$D = \frac{Va}{ns * \pi} = \frac{35}{8,333\pi} = 1.336 \text{ m}$$

$$D^2L = 1.336^2 * L \text{ ise } L = 0,221 \text{ m}$$

### 3.3 STATOR SARGISININ TASARIMI

- Ortalama akı yoğunluğunu kullanarak kutup başına akı yoğunluğunun hesaplanması :  $Bav = \frac{p * \varphi}{\pi D L}$

$$\varphi = \frac{Bav * \pi D L}{p} = \frac{0,56 * \pi * 1,336 * 0,221}{12} = 0,043 \text{ wb}$$

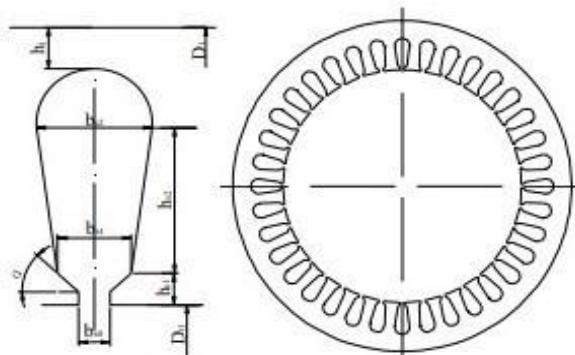
- Generatörün EMF denklemini faz başına dönüş sayıları hesabı :  $Eph = 4,44 * f * \varphi * Tph * Kw$

Yıldız bağlı olduğu için ;  $Eph = \frac{6600}{\sqrt{3}} = 3810,511 \text{ V}$

$$Tph = \frac{Eph}{4,44 * f * \varphi * Kw} = \frac{3810,511}{4,44 * 50 * 0,043 * 0,955} = 417,982$$

$$Iph = \frac{Q}{3Eph * 10^{-3}} = \frac{500}{3 * 3810,511 * 10^{-3}} = 43,738 \text{ A}$$

**Yukarıdaki hesaplanan değerlere göre stator yuva hesaplaması ;**



**Şekil.4 Stator yuva gösterimi [7]**

- Yuva aralığı için olağan değerler  $\tau_s$ ;

$\tau_s \leq 25 \text{ mm}$  alçak gerilim makineleri

$\tau_s \leq 40 \text{ mm}$  6 KV alçak gerilim makinesi

$\tau_s \leq 60 \text{ mm}$  15 KV'ya kadar olan makineler [1]

Spesifik değer olan 6,6 kV terminal voltajına bakılarak 40mm kabul edilir.

- Daha sonra kutup faz başına yuva sayısı :  $q_s = \frac{\pi D}{\tau_s * m * p}$

$$q_s = \frac{1,336\pi}{0,04 * 3 * 12} = 2,914 \approx 3$$

Kutup faz başına yuva sayısı tam sayı oluklu sargılarda 3 ve üzeri değerde alınır.

- Toplam yuva sayısı :  $S_s = q_s * m * p$

$$S_s = 3 * 3 * 12 = 108$$

- Stator iletken sayısı hesabı :  $Z_s = 6 * \text{Tph}$

$$Z_s = 6 * 417,982 = 2507,892 \approx 2508$$

- Yuva başına iletken sayısı :  $Z_{ss} = \frac{Z_s}{S_s}$

$$Z_{ss} = \frac{2508}{108} = 23,222 \approx 23$$

- İletken kesit alanı, faz akımı ve stator akım yoğunluğu kullanılarak hesaplanır. Çıkık kutuplu senkron generatör akım yoğunluğu  $3,5\text{-}4 \text{ amp/mm}^2$  arasında seçilir [5].  $\delta = 3,5 \text{ amp/mm}^2$  alındığı varsayılsın. Rph değerini dolayısıyla stator sargısındaki bakır kayıplarını küçültmek amacıyla  $\delta = 3,5 \text{ amp/mm}^2$  varsayıldı.

- İletken kesit alanı :  $as = \frac{I_{ph}}{\delta}$

$$as = \frac{43,738}{3,5} = 12,496 \text{ mm}^2$$

- Çıkıntılı kutup alternatörü için yuvarlak kutup kullanılarak çekirdek uzunluğunun kutup aralığına oranı ( $L/\tau$ )  $0,65$  ve kutup arkının çekirdek uzunluğuna eşit olduğu varsayılarak;

- Kutup arkı  $= 0,65 * \tau_p$  hesaplanır.

$$\tau_p = \frac{D\pi}{p} = \frac{1,336\pi}{12} = 0,349 \text{ m}$$

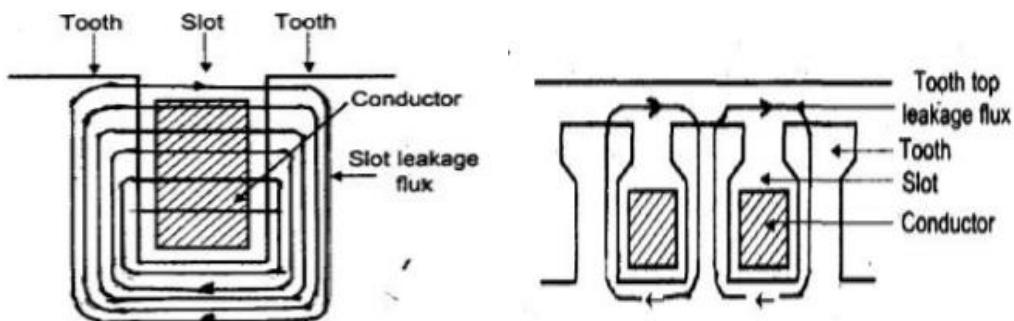
$$\text{Kutup arkı} = 0,65 * \tau_p = 0,227 \text{ m}$$

- Stator diş sayısı = Stator yuva sayısı =  $108$

- Stator yuva aralığı :  $\tau_s = \frac{D\pi}{S_s} = 0,039 \text{ m}$

- $N_t$  : Kutup arkı başına diş sayısı  $= \frac{\text{kutup arkı}}{\text{yuva aralığı}} = \frac{0,227}{0,039} = 5,82 \approx 6$

- Stator dişlerindeki akı yoğunluğu:  $B_t = \frac{\varphi}{bt \times Li \times N_t}$  ; Stator dişlerindeki akı yoğunluğu  $1,7\text{T}$  varsayılmıştır.



Şekil.5 Sırasıyla yuva ve diş üzerindeki kaçak akı [8]

Makine parçalarının sıcaklık artışını azaltmak için çekirdek hem radyal hem de eksenel havalandırma kanalları ile donatılmıştır. Radikal kanallar,  $5\text{-}7 \text{ cm}$  genişliğindeki göbek paketleri arasında menfez veya kanal ayırıcıları sağlanarak oluşturulur. Radyal kanal genişliği pratikte  $0,8$  ile  $1,0 \text{ cm}$  arasındadır. Burada ki, demir veya istifleme faktörü olarak adlandırılır ve pratikte yaklaşık  $0,9$ 'dur. [1]

### **Varsayımlar:**

Havalandırma kanal sayısı : nd = 3

Havalandırma kanal genişliği : wd=1cm

Demir boşluk faktörü : ki=0,92

•Çekirdeğin net demir uzunluğu : Li = ( L – nd x wd)ki

$$Li = (0,221 - 3 \cdot 0,01) \cdot 0,92 = 0,176 \text{ m}$$

• Diş genişliği : bt =  $\frac{\varphi}{Bt \times Li \times Nt}$

$$bt = \frac{0,043}{1,7 \times 0,176 \times 6} = 0,024 \text{ m}$$

Bu verilen değerlere göre ;

•Stator yuva genişliği : bs = ts – bt

$$bs = 0,039 - 0,024 = 0,015 \text{ m}$$

•Ortalama stator sarım uzunluğu : Lmt = ( 2L+2.5tp+0.05×kV+0.15)m

$$Lmt = (2 \cdot 0,221 + 2,5 \cdot 0,349 + 0,05 \cdot 500 + 0,05) = 1,794 \text{ m}$$

•Stator sargısının direnci : Rph =  $\frac{\rho Lmt Tph}{as}$

$$Rph = \frac{0,021 \cdot 1,794 \cdot 417,982}{12,496} = 1,26 \Omega$$

•Stator sargısının bakır kaybı : Pcus=Iph<sup>2</sup>Rph

$$Pcus = 2410,396 \text{ w}$$

•Kutup başına armatür amper sargası : ATa=  $\frac{2,7 * Iph * Tph * Kw}{p}$

$$ATa = \frac{2,7 * 43,738 * 417,982 * 0,955}{12} = 3928,279 \text{ AT}$$

### **3.4 STATOR ÇEKİRDEĞİNİN TASARIMI**

Stator çekirdeğinin derinliği olarak adlandırılan statordaki yuvaların altında belirli bir katı kısım olacaktır . Stator çekirdeğinin bu derinliği, stator çekirdeğindeki akı yoğunluğu Bc için uygun değer varsayılarak hesaplanabilir. Genel olarak stator çekirdeğindeki akı yoğunluğunun 1,2 ila 1,4 Tesla arasında değiştiği varsayılabılır. [1]

•Stator çekirdeğindeki akı :  $\varphi c = \frac{\varphi}{2}$

$$\varphi c = \frac{0,043}{2} = 0,021 \text{ wb}$$

•Stator çekirdeğinin akı yoğunluğu : Bc = 1,3 T

$$Ac = \frac{\varphi c}{Bc} = \frac{0,021}{1,3} = 0,016 \text{ m}^2$$

- Stator çekirdeğinin derinliği :  $dc = \frac{\varphi c}{Li * Bc}$

$$dc = \frac{0,021}{0,176 * 1,3} = 0,092 \text{ m}$$

- Stator çekirdeğinin dış çapı :  $D_o = D + 2dc$

$$D_o = 1,336 + 2 * 0,092 = 1,52 \text{ m}$$

### 3.5 STATOR VE ROTOR ARASINDAKİ HAVA BOŞLUĞU HESABI

Çıkık kutuplu senkron makineler için SCR değeri 0,9 ila 1,3 arasında değişir [1]. Gerçekleştirdiğimiz tasarım örneğinde SCR değerini 1,1 varsayılarak;

- Kutup başına yük alanı amper sargı sayısı :  $AT_{fo} = SCR * AT_a$

$$AT_{fo} = 1,1 * 3928,279 = 4321,106 \text{ AT}$$

Hava boşluğu için gerekli amper dönüşleri, kutup başına yüksüz alan amper dönüşlerinin yaklaşık % 80 eşit olacaktır. [5]

- Hava boşluğu için gerekli amper sarımı :  $AT_g = 0,8 * AT_{fo}$

$$AT_g = 0,8 * 4321,106 = 3456,884 \text{ AT}$$

Carter'ın hava boşluğu katsayısının (kg) 1,15 ve alan form faktörünün (Kf) 0,7 olduğu varsayılarak;

- Etkili boşluk alanı :  $A_g = Kf * \tau_p * L$

$$A_g = 0,7 * 0,349 * 0,221 = 0,054 \text{ m}^2$$

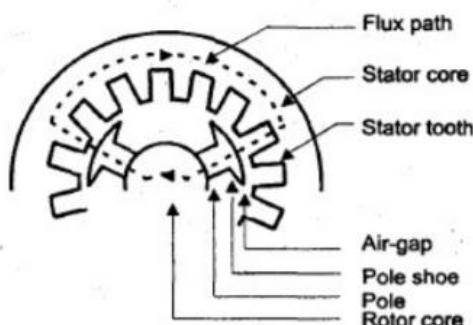
- Hava boşluğunundaki max akı yoğunluğu :  $B_g = \frac{\varphi}{A}$

$$B_g = \frac{\varphi}{A_g} = \frac{0,043}{0,054} = 0,796 \text{ wb/m}^2$$

Hava boşluğu amper sarım denklemini kullanarak hava boşluğu uzunluğu hesaplanması ;

- Hava boşluğu amper sarımı :  $AT_g = 800000 B_g K_g * l_g$

$$l_g = \frac{AT_g}{800000 B_g K_g} = \frac{3456,884}{800000 * 0,796 * 1,15} = 4,72 \text{ mm}$$



**Şekil.6** Sırasıyla akı yolu, stator çekirdeği, stator dışı, hava aralığı, kutup pabucu, kutup ve rotor çekirdeği gösterilmiştir.[8]

### 3.6 TEMEL ROTOR GEOMETRİSİ HESABI

- Rotor çapı :  $Dr = D - 2lg$

$$Dr = 1,336 - 2*0,0047 = 1,326 \text{ m}$$

- Kutbun eksenel uzunluğu :  $L_p = L - 1 \text{ cm}$

Eksenel uzunluğun , statorun brüt uzunluğundan 1cm daha az olduğu varsayıldığında;

$$L_p = 0,221 - 0,01 = 0,211 \text{ m}$$

- Kutup gövdesindeki akı :  $\varphi_p = \varphi * \text{sızıntı faktör}\check{g}$

Kutup için sızıntı faktörünün 1,15 olduğu varsayılırsa;

$$\varphi_p = 1,15 * 0,043 = 0,049 \text{ wb}$$

- Kutup gövdesinin enine kesit alanı :  $A_p = \frac{\varphi_p}{B_p}$

Kutup gövdesindeki akı yoğunluğu  $B_p$  1,5T olduğu kabul edilirse ;

$$A_p = \frac{0,049}{1,5} = 0,032 \text{ m}^2$$

- Kutup genişliği :  $b_p = \frac{A_p}{L_p}$

$$b_p = \frac{0,032}{0,211} = 0,152 \text{ m}$$

### 3.7 ALAN SAGILARININ TASARIMI

- Kutup başına tam yük alanı amper sargıları :  $AT_{fl} = 2 * AT_a$

$$AT_{fl} = 2 * 3928,279 = 7856,558 \text{ AT}$$



Şekil.7 Rotor alan sargıları [9]

$$\bullet \text{Alan bobininin yüksekliği : } hf = \frac{If*Tf}{10^4\sqrt{(df*sf*qf)}}$$

### Alan bobini yüksekliği için varsayımlar

Alan bobininin derinliği = 4 cm

Alan bobini için uzay faktörü = 0,7

Birim alan başına izin verilen kayıp = 700 w/m<sup>2</sup>

**Tablo.1** Yuva aralığına göre alan bobininin derinliğinin seçilmesi

Yuva Aralığı(mm)	df (mm)
100	25
200	35
400	45

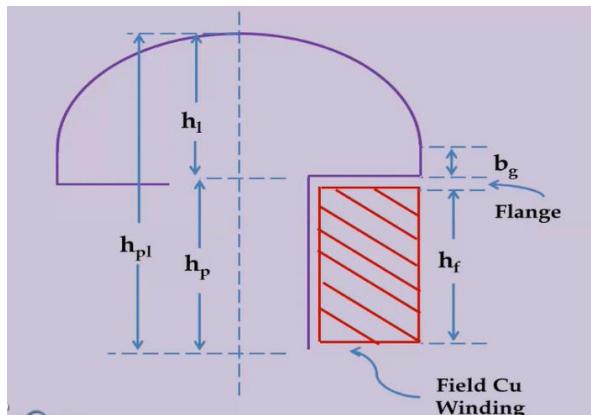
$$If*Tf = ATfl$$

$$hf = \frac{7856,558}{\sqrt{10^4(0,04*0,7*700)}} = 0,177m$$

• Kutup yüksekliği : hp = hf + kutup ayağının yüksekliği + izolasyonla alınan yükseklik

kutup pabucunun yüksekliği + izolasyonla alınan yükseklik = 0,04 m varsayılırsa ;

$$hp = 0,177 + 0,04 = 0,217 \text{ m}$$



**Şekil.8** Kutup gövde boyutları [10]

• Toplam ısı yayan yüzey :  $S = 2 * lmt (hf + df )$

$$S = 2 * 1,794 * (0,177 + 0,04) = 0,778 \text{ m}^2$$

• Saha iletkeninin kesit alanı :  $af = \frac{\rho * Lmt * If * Tf}{V_c}$

Bobin başına voltaj (Vc) 5V varsayılsın.

$$af = \frac{0,021 * 1,794 * 7856,558}{5} = 59,197 \text{ mm}^2$$

- Alan akımı :  $I_f = af * \delta f$

$\delta f$ , 2,5-3 A/mm<sup>2</sup> aralığında değer alır.  $\delta f = 2,5$  A/mm<sup>2</sup> olduğu varsayılsın.

$$I_f = 59,197 * 2,5 = 147,992 \text{ A}$$

- Bobin başına alan sarımları :  $T_f = \frac{ATfl}{I_f}$

$$T_f = \frac{7856,558}{147,992} = 53,087 \approx 53 \text{ sarım}$$

- Alan Sargısının Direnci :  $R_f = \frac{\rho * Lmt * T_f}{af}$

$$R_f = \frac{0,021 * 1,794 * 53}{59,197} = 0,033 \Omega$$

- Sahadaki bakır kayıpları :  $P_{cu} = I_f^2 R_f$

$$P_{cu} = 147,992^2 * 0,033 = 722,753 \text{ W}$$

- Toplam alan bakır kaybı :  $P_{totalcu} = P_{cu} * p$

$$P_{totalcu} = 722,753 * 12 = 8673,036 \text{ W}$$

#### 4. SENKRON GENERATÖR TASARIMINA AİT VERİLER

Hesaplanan tasarım verileri aşağıdaki Tablo 2 ile 6'te gösterilmektedir.

**Tablo 2.** Senkron generatör spesifik değerleri ve stator temel uzunlukları

ÖZELLİKLER	SEMBOL	BİRİM	DEĞER
Çıkış gücü	Q	KVA	500
Terminal voltajı	V	KV	6,6
Frekans	f	Hz	50
Kutup	p		12
Faz	m		3
Ortalama aki yoğunluğu	Bav	Tesla	0,56
Sargı faktörü	Kw		0,955
Elektrik yükü	ac	Ac/m	26.000
Stator iç çapı	D	m	1,336
Stator uzunluğu	L	m	0,221
Çevresel hız	Va	m/s	35
Çıkış katsayısı	Co		152,331

**Tablo 3.** Stator geometrisi ve stator sargı değerleri

ÖZELLİKLER	SEMBOL	BİRİM	DEĞER
Kutup başına akı	$\Phi$	wb	0,043
Faz başına EMF	$E_{ph}$	V	3810,511
Faz başına sarım sayısı	$T_{ph}$		417,982
Tam yük akımı	$I_{ph}$		
Toplam yuva sayısı	$S_s$		108
İletken sayısı	$Z_s$		2508
Yuva başına iletken sayısı	$Z_{ss}$		23
İletken kesit alanı	$a_s$	$\text{mm}^2$	12,496
Stator kutup aralığı	$t_p$	m	0,349
Kutup arkı		m	0,227
Stator yuva aralığı	$t_s$	m	0,039
Kutup arkı başına dış sayısı	$N_t$		6
Cekirdeğin net demir uzunluğu	$L_i$	m	0,176
Dış genişliği	$b_t$	m	0,024
Yuva genişliği	$b_s$	m	0,015
Ortalama stator sarım uzunluğu	$L_{mt}$	m	1,794
Stator sargısının direnci	$R_{ph}$	$\Omega$	1,26
Stator sargısının bakır kaybı	$P_{cus}$	W	2410,396
Kutup başına armatür amper sargısı	$A_{Ta}$	AT	3928,279
Stator çekirdeğindeki akı	$\Phi_c$	wb	0,021
Stator çekirdeğinin kesit alanı	$A_c$	$\text{m}^2$	0,016
Stator çekirdeğinin derinliği	$d_c$	$\text{m}^2$	0,092
Stator çekirdeğinin dış çapı	$D_o$	m	1,52

**Tablo 4.** Stator ve rotor hava boşluğu değerleri

ÖZELLİKLER	SEMBOL	BİRİM	DEĞER
Kutup başına yük alanı amper sargı sayısı	$A_{Tfo}$	AT	4321,106
Hava boşluğu için gerekli amper sarımı	$A_{Tg}$	AT	3456,884
Etkili boşluk alanı	$A_g$	$\text{m}^2$	0,054
Hava boşluğunundaki max akı yoğunluğu	$B_g$	$\text{wb}/\text{m}^2$	0,796
Hava boşluğu uzunluğu	$l_g$	mm	4,72

**Tablo 5.** Rotor geometrisi değerleri

ÖZELLİKLER	SEMBOL	BİRİM	DEĞER
Rotor çapı	$D_r$	m	1,326
Kutbun eksenel uzunluğu	$L_p$	m	0,211
Kutup gövdesindeki akı	$\Phi_p$	wb	0,049
Kutup gövdesinin enine kesit alanı	$A_p$	$\text{m}^2$	0,032
Kutup genişliği	$b_p$	m	0,152

**Tablo 6.** Alan sargası değerleri

ÖZELLİKLER	SEMBOL	BİRİM	DEĞER
Kutup başına tam yük alanı amper sargıları	ATfl	AT	7856,558
Alan bobininin yüksekliği	hf	m	0,177
Kutup yüksekliği	hp	m	0,217
Toplam ısı yayan yüzey	S	$m^2$	0,778
Saha iletkeninin kesit alanı	af	$mm^2$	59,197
Alan akımı	If	A	147,992
Bobin başına alan sarımları	Tf		53
Alan sargasının direnci	Rf	$\Omega$	0,033
Sahadaki bakır kayıpları	Pcu	W	722,753
Toplam alan bakır kaybı	Ptotalcu	KW	8,67

## **5.SONUÇ**

Bu raporda çıkış kutuplu senkron generatör tasarımları ele alınmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada çıkış kutuplu senkron generatörün yapısının incelenmesi, stator ve rotor geometrisi ve sargılarının analitik hesaplanması ve tasarım eşitliklerinin üzerinde duruldu. Tasarımın adımlarının ilerleyebilmesi için çıkış kutuplu senkron generatöre ait parametrelerin hesaplanmasında değişen değer aralıklarına yer verildi. Değişen değer aralıklarına göre belli varsayımlarda bulunurmuştur.

Önemli bir husus olarak çıkışlı kutuplu jeneratörün tasarımda, jeneratörün çıkış voltajını sinüs dalgası yapmak, en yüksek sinüzoidal dağıtım için hava boşluğu akı yoğunluğu dalga formunun açık gereksinimleri vardır. Bununla birlikte, çıkışlı kutuplu jeneratör uyarma sargısının konsantrasyonu nedeniyle, manyetik potansiyel dağılımı dikdörtgen dalgadır. Bu nedenle, genellikle çıkışlı kutuplu jeneratör için eşit hava boşlukları yoktur.[7]

Stator çerçevesinin iç çapı ve brüt uzunluğu ana boyutlarıdır. Çıkış denklemi, makinenin çıkışını statorun ana boyutları ile ilişkilendiren senkron makine tasarımlını başlatmak için temel araçtır. Tasarlanan jeneratör çıkışlı kutuplu makine olduğu için statorun iç çapı stator çekirdeğinin eksenel uzunluğundan daha büyktür. Senkron makinelerde hava boşluğunun uzunluğu da önemli bir tasarım parametresidir. Dahası, stator yuvalarının sayısı, senkron makinenin malyetini ve performansını etkileyen gibi doğru seçilmelidir. Boşluk yüzeyinde bulunan stator dışındaki akı yoğunluğu alternatörlerde 1.8 Tesla'yı geçmemelidir, aksi takdirde dış kayıpları fazla olacaktır. Ayrıca, akım yoğunluğunun uygun değerinin seçimi de önemlidir. Ekonomik değerlendirme için yüksek akım yoğunluğu seçilebilir. Ancak stator sargısının direnci artar, bu da stator sargısında daha yüksek bakır kayıplarına neden olarak makinenin verimini düşürür. Stator sargısındaki akım yoğunluğu için olağan değerlerin 3 ila 5 A / mm<sup>2</sup> arasında değiştiği varsayılabılır.

Rotorun dizaynı eksenel direk uzunluğu, direk genişliği, direk yüksekliği, hava boşluğu uzunluğu ve rotor dış çapına sahiptir. Kayıplar, toplam stator sargası kayıplarından, toplam demir kayıplarından, toplam alan bakır kayıplarından, uyarıcı kayıplarından ve sürtünme ve rüzgar kayıplarından oluşur. Elektrik uyarma sargası rotor demir çekirdeği üzerine sarılır ve iki bitişik sargı zıt yönlerde sarılır. Sargı dönüşlerinin sayısı eşittir. Komşu iki çıkışlı kutup yüzeyinde N kutuplu ve S kutuplu düzenlenmiş aralıklı elektriksel uyarm rotoru oluşturulmuştur.

## KAYNAKLAR

- [1] **10EE63** Electrical Machine Design
- [2] **Ahmet Kemal Geyik** , 142103113, T.C. Munzur Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Çıkık Kutuplu Senkron Generatörün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi , Yüksek Lisans Tezi.
- [3] **International Journal of Scientific & Engineering Research** , Volume 10, Issue 8, August-2019, ISSN 2229-5518 Design of Synchronous Generator
- [4] <https://electricalamazon2019.blogspot.com/2019/11/salient-pole-and-non-salient-pole.html>
- [5] **EE2355** Design Of Electrical Machines
- [6] bee\_unit4\_lecture5.pdf
- [7] **Zhang et al. Chin. J. Mech. Eng** , Development and Analysis of the Magnetic Circuit on Double-Radial Permanent Magnet and Salient-Pole Electromagnetic Hybrid Excitation Generator for Vehicles
- [8] **Rajasekaran Assoc. Prof/EEE** , Design Of Electrical Machines, UNIT-II
- [9] [http://distributor.tecowestinghouse.com/products/Custom\\_Engineered/Synchr\\_CopperRotor.html](http://distributor.tecowestinghouse.com/products/Custom_Engineered/Synchr_CopperRotor.html)
- [10] <https://www.youtube.com/watch?v=p-uMRvZyLnM>