

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MARİN UYGULAMASI İÇİN BENZİNLİ BİR MOTORUN SOĞUTMA  
SİSTEMİ OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Özgür KAYA**

**Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mekatronik Mühendisliği Programı**

**ŞUBAT 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MARİN UYGULAMASI İÇİN BENZİNLİ BİR MOTORUN SOĞUTMA  
SİSTEMİ OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Özgür KAYA  
(518111031)**

**Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mekatronik Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ali Fuat ERGENÇ**

**ŞUBAT 2015**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 518111031 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Özgür KAYA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MARİN UYGULAMASI İÇİN BENZİNLİ BİR MOTORUN SOĞUTMA SİSTEMİ OPTİMİZASYONU**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Yrd. Doç. Dr. Ali Fuat ERGENÇ**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Metin Gökaşan**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Alp Tekin ERGENÇ**      .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **8 Aralık 2014**  
**Savunma Tarihi :**      **16 Şubat 2015**



*Eşime,*



## **ÖNSÖZ**

Bu çalışma boyunca desteklerini ve bilgisini benden esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ali Fuat Ergenç ve Yrd. Doç. Dr. Alp Tekin Ergenç'e, her zaman yanımda olup beni destekleyen sevgili eşim Emine Kaya'ya ve aziz dostum İsmail Can Gündoğdu'ya teşekkür ederim.

Aralık 2014

Özgür Kaya  
(Makina Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                            |      |
|----------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                                 | vii  |
| İÇİNDEKİLER .....                                                          | ix   |
| KISALTMALAR .....                                                          | xi   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                       | xiii |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                         | xv   |
| ÖZET.....                                                                  | xvii |
| SUMMARY .....                                                              | xix  |
| 1. GİRİŞ .....                                                             | 1    |
| 2. ISI ANALİZİ .....                                                       | 3    |
| 2.1 Yakıt.....                                                             | 3    |
| 2.2 Çalışma Parametreleri .....                                            | 3    |
| 2.3 Atmosferik Basınç, Sıcaklık ve Artık Gazlar .....                      | 7    |
| 2.4 Emme Süreci .....                                                      | 8    |
| 2.4.1 Emme sonu basıncı .....                                              | 9    |
| 2.4.2 Artık gaz katsayısı.....                                             | 10   |
| 2.4.3 Emme sonu sıcaklığı .....                                            | 10   |
| 2.4.4 Volumetrik verim .....                                               | 11   |
| 2.5 Sıkıştırma Süreci .....                                                | 12   |
| 2.5.1 Sıkıştırma sonundaki ortalama mol özgül ısıların hesabı .....        | 15   |
| 2.5.1.1 Yakıt-hava (taze dolgu) karışımının ortalama mol özgül ısısı ..... | 15   |
| 2.5.1.2 Artık gazlar.....                                                  | 16   |
| 2.5.1.3 İş gazı (taze dolgu+ artık gazlar).....                            | 17   |
| 2.6 Yanma Süreci .....                                                     | 18   |
| 2.7 Genişleme ve Egzoz Süreçleri.....                                      | 23   |
| 2.8 İndike Parametreler .....                                              | 26   |
| 2.9 Motor Performans Verileri .....                                        | 28   |
| 2.10 Silindir ve Motor Ana Parametreleri .....                             | 29   |
| 3. ISIL DENGİ .....                                                        | 31   |
| 3.1 Yakıt ile Motora İletilen Isı .....                                    | 31   |
| 3.2 Efektif İşin Isısı .....                                               | 31   |
| 3.3 Soğutucuya Verilen Isı .....                                           | 31   |
| 3.4 Egzoz Isısı .....                                                      | 32   |
| 3.5 Diğer Isılar.....                                                      | 34   |
| 4. EŞANJÖR HESAPLARI VE TASARIMI.....                                      | 35   |
| 4.1 Eşanjör Çeşitleri .....                                                | 35   |
| 4.1.1 Zıt akışlı eşanjör.....                                              | 36   |
| 4.2 Motor Soğutma Suyu Pompası.....                                        | 36   |
| 4.3 Motor Soğutma Suyu Eşanjörü .....                                      | 37   |
| 4.4 Egzoz Gazları için Eşanjör .....                                       | 44   |
| 4.4.1 Egzoz gazının termofiziksel özellikleri.....                         | 45   |
| 4.4.2 Egzoz eşanjörü soğutma suyu pompası .....                            | 46   |

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4.3 Egzoz gazları eşanjörü boyutları .....              | 47        |
| <b>5. GÜC AKTARMA SİSTEMİ TASARIMI.....</b>               | <b>55</b> |
| 5.1 Marin Şanzımanı Seçimi .....                          | 55        |
| 5.1.1 Frenleme gücü .....                                 | 55        |
| 5.1.2 Şaft gücü.....                                      | 55        |
| 5.1.3 Güç ve çalışma devri .....                          | 56        |
| 5.2 Pervane Hesapları ve Seçimi .....                     | 56        |
| 5.2.1 Pervane hatvesi(pitch) ve kayma(slip) .....         | 56        |
| 5.2.1.1 Pervane hatvesi için motor devri .....            | 58        |
| 5.2.1.2 Hatveyi kayma olmadığı kabulü ile belirleme ..... | 58        |
| 5.2.1.3 Kayma .....                                       | 58        |
| 5.2.1.4 Hatvenin kayma hesaba katılarak bulunması .....   | 59        |
| 5.2.2 Pervane çapı hesabı .....                           | 60        |
| 5.2.3 Pervane hatve ve çapı kontrolü .....                | 62        |
| <b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                          | <b>63</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                     | <b>65</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                         | <b>67</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                      | <b>79</b> |

## KISALTMALAR

|                        |                                                                      |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| $H_u$                  | : Yakıtın alt ısı değeri                                             |
| $L_0$                  | : Teorik kmol olarak hava miktarıdır                                 |
| $l_0$                  | : Teorik kg olarak hava miktarıdır                                   |
| $\alpha$               | : Hava fazlalık katsayısı                                            |
| $M_1$                  | : Kg yakıt başına kmol yanıcı karışım miktarı                        |
| $M_2$                  | : Toplam Yanma ürünleri miktarı                                      |
| $T_r$                  | : Artık gazların sıcaklığı                                           |
| $p_r$                  | : Artık gazların basıncı                                             |
| $\rho$                 | : Yoğunluk                                                           |
| $R_a$                  | : Gaz sabiti                                                         |
| $\gamma_r$             | : Artık gaz katsayısı                                                |
| $T_a$                  | : Emme sonu sıcaklığı                                                |
| $\eta_v$               | : Volumetrik verim                                                   |
| $k_1$                  | : Adyabat üst                                                        |
| $n_1$                  | : Sıkıştırma politrop üst                                            |
| $p_c$                  | : Sıkıştırma sonundaki basınç                                        |
| $T_c$                  | : Sıkıştırma sonundaki sıcaklık                                      |
| $(mc_V)_{t_0}^{t_c}$   | : Sıkıştırma sonunda yakıt hava karışımının ortalama mol özgül ısısı |
| $(mc_V'')_{t_0}^{t_m}$ | : Sıkıştırma sonunda artık gazların ortalama mol özgül ısısı         |
| $(mc_V')_{t_0}^{t_c}$  | : Sıkıştırma sonunda karışımın ortalama mol özgül ısısı              |
| $\mu$                  | : İş gazı kimyasal moleküler değişim katsayısı                       |
| $H_{w,m}$              | : İş gazı yanma ısısı                                                |
| $\xi_z$                | : Isı kullanım katsayısı                                             |
| $T_z$                  | : Görünür yanma sonundaki sıcaklık                                   |
| $p_z$                  | : Yanmanın sonunda maksimum teorik yanma basıncı                     |
| $p_{za}$               | : Maksimum gerçek yanma basıncı                                      |
| $\lambda$              | : Basınç artış oranı                                                 |
| $n_2$                  | : Genişleme politropik üst                                           |
| $p_b$                  | : Genişleme sonundaki basınç                                         |
| $T_b$                  | : Genişleme sonundaki sıcaklık                                       |
| $n$                    | : Motor devri                                                        |
| $p_i$                  | : Teorik ortalama indike basınç                                      |
| $\eta_i$               | : İndike verim                                                       |
| $g_i$                  | : İndike özgül yakıt tüketimi                                        |
| $p_m$                  | : Ortalama mekanik basınç                                            |
| $v_{pm}$               | : Ortalama piston hızı                                               |
| $p_e$                  | : Ortalama efektif basınç                                            |
| $\eta_m$               | : Mekanik verim                                                      |
| $\eta_e$               | : Efektif verim                                                      |
| $g_e$                  | : Efektif özgül yakıt tüketimi                                       |
| $V_l$                  | : Motor hacmi                                                        |

|                           |                                                     |
|---------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>S</b>                  | : Stroke                                            |
| <b>B</b>                  | : Bore                                              |
| <b>N<sub>e</sub></b>      | : Efektif güç                                       |
| <b>M<sub>e</sub></b>      | : Efektif döndürme momenti                          |
| <b>G<sub>f</sub></b>      | : Yakıt tüketimi, kg/saat cinsinden                 |
| <b>Q<sub>0</sub></b>      | : Yakıt ile motora iletilen toplam ısı              |
| <b>Q<sub>e</sub></b>      | : Efektif işin ısı olarak karşılığı                 |
| <b>Q<sub>c</sub></b>      | : Soğutucuya verilen ısı                            |
| <b>Q<sub>r</sub></b>      | : Egzoz ısısı                                       |
| <b>ṁ</b>                 | : Su debisi                                         |
| <b>c<sub>p</sub></b>      | : Özgül ısı                                         |
| <b>m</b>                  | : Hacimsel debi                                     |
| <b>k</b>                  | : Isıl iletkenlik katsayısı                         |
| <b>μ</b>                  | : Vizkozite                                         |
| <b>p<sub>r</sub></b>      | : Prandtl sayısı                                    |
| <b>D<sub>i</sub></b>      | : Eşanjör iç çap                                    |
| <b>D<sub>o</sub></b>      | : Eşanjör dış çap                                   |
| <b>ΔT<sub>lm</sub></b>    | : Logaritmik sıcaklık farkı                         |
| <b>U</b>                  | : Isı iletim katsayısı                              |
| <b>h<sub>o</sub></b>      | : Dış akışkan ısı iletim katsayısı                  |
| <b>h<sub>i</sub></b>      | : İç akışkan ısı iletim katsayısı                   |
| <b>δ<sub>1</sub></b>      | : Soğutucu duvar kalınlığı                          |
| <b>λ<sub>1</sub></b>      | : Soğutucu duvar malzemesi ısı iletkenlik katsayısı |
| <b>L</b>                  | : Eşanjör boru uzunluğu                             |
| <b>Re<sub>D</sub></b>     | : Reynolds sayısı                                   |
| <b>u<sub>m</sub></b>      | : Boru kesitalanında ortalama akışkan hızı          |
| <b>Nu<sub>D</sub></b>     | : Nusselt sayısı                                    |
| <b>D<sub>h</sub></b>      | : Hidrolik çap                                      |
| <b>T<sub>egzoz</sub></b>  | : Egzoz gazı sıcaklığı                              |
| <b>ṁ<sub>egzoz</sub></b> | : Egzoz gazı debisi                                 |
| <b>M</b>                  | : Mol ağırlığı                                      |
| <b>f</b>                  | : Sürtünme faktörü                                  |
| <b>BHP</b>                | : Fren beygir bücü                                  |
| <b>SHP</b>                | : Şaft beygir gücü                                  |
| <b>Kts</b>                | : Knot olarak tekne hızı                            |
| <b>LB</b>                 | : Pound olarak teknenin deplasmanı                  |
| <b>P</b>                  | : Pervane hatvesi                                   |
| <b>D</b>                  | : Pervane çapı                                      |

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 : Artık gazların sıcaklığı..                                       | 7  |
| Çizelge 2.2 : Atık gazların basıncı..                                          | 8  |
| Çizelge 2.3 : Ön ısıtma değeri..                                               | 8  |
| Çizelge 2.4 : Emme manifoldu girişi sonundaki basınç..                         | 9  |
| Çizelge 2.5 : Artık gaz katsayısı..                                            | 10 |
| Çizelge 2.6 : Emme sonu sıcaklığı..                                            | 11 |
| Çizelge 2.7 : Volumetrik verim..                                               | 12 |
| Çizelge 2.8 : Adyabat üssü..                                                   | 14 |
| Çizelge 2.9 : Sıkıştırma sonundaki basınç..                                    | 15 |
| Çizelge 2.10 : Sıkıştırma sonundaki sıcaklık..                                 | 15 |
| Çizelge 2.11 : Sıkıştırma sonunda taze dolgu ortalama mol özgül ısısı..        | 16 |
| Çizelge 2.12 : Artık gazların ortalama mol özgül ısısı..                       | 16 |
| Çizelge 2.13 : Isı kullanım katsayısı..                                        | 20 |
| Çizelge 2.14 : Yanma sonundaki sıcaklık değeri..                               | 22 |
| Çizelge 2.15 : Yanma sonunda maksimum teorik yanma basıncı..                   | 22 |
| Çizelge 2.16 : Maksimum gerçek yanma basıncı..                                 | 22 |
| Çizelge 2.17 : Basınç artış oranı..                                            | 23 |
| Çizelge 2.18 : Genişleme politropik üssü..                                     | 24 |
| Çizelge 2.19 : Genişleme sonundaki basınç ve sıcaklık..                        | 25 |
| Çizelge 2.20 : Egzoz gazların sıcaklığı..                                      | 25 |
| Çizelge 2.21 : Gerçek çevirimin ortalama indike basıncı..                      | 27 |
| Çizelge 2.22 : İndike verim ve indike özgül yakıt tüketimi..                   | 27 |
| Çizelge 2.23 : Ortalama mekanik basınç..                                       | 28 |
| Çizelge 2.24 : Ortalama efektif basınç ve mekanik verim..                      | 28 |
| Çizelge 2.25 : Efektif verim ve efektif özgül yakıt tüketimi..                 | 28 |
| Çizelge 2.26 : Yakıt tüketimi kg/saat..                                        | 29 |
| Çizelge 3.1 : Yakıt ile motora iletilen toplam ısı..                           | 31 |
| Çizelge 3.2 : Efektif işin ısısı..                                             | 31 |
| Çizelge 3.3 : Soğutucuya verilen ısı..                                         | 32 |
| Çizelge 3.4 : Egzoz ısısı..                                                    | 33 |
| Çizelge 3.5 : Egzoz gazlarının sıcaklığı..                                     | 33 |
| Çizelge 3.6 : Diğer ısılar..                                                   | 34 |
| Çizelge 4.1 : Motor soğutma suyu eşanjörü su sıcaklıkları..                    | 37 |
| Çizelge 4.2 : Motor soğutma suyu eşanjörü tatlı su sıcaklıkları..              | 37 |
| Çizelge 4.3 : Motor soğutma suyu eşanjöründe suyun özellikleri..               | 39 |
| Çizelge 4.4 : Motor soğutma suyu eşanjörü logaritmik ortalama sıcaklık farkı.. | 39 |
| Çizelge 4.5 : Motor soğutma suyu eşanjör boru çapları..                        | 40 |
| Çizelge 4.6 : Reynold Sayısı..                                                 | 42 |
| Çizelge 4.7 : Nusselt sayısı..                                                 | 42 |
| Çizelge 4.8 : Egzoz gazının termodinamik özellikleri..                         | 46 |
| Çizelge 4.9 : Egzoz eşanjörü logaritmik ortalama sıcaklık farkı..              | 47 |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 4.10 :</b> Su ve egzoz gazının özellikleri.....               | 48 |
| <b>Çizelge 4.11 :</b> Egzoz eşanjörü boru çapları.. .....                | 48 |
| <b>Çizelge 5.1 :</b> Sürekli çalışma için önerilen motor devirleri ..... | 56 |
| <b>Çizelge 5.2 :</b> Tekne boyutları.....                                | 57 |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 : Benzinli motorda ısı analizi için başlangıç verileri .....            | 5  |
| Şekil 2.2 : Sıkıştırma sürecinde basınç değişimi. ....                            | 13 |
| Şekil 2.3 : Adyabat üssü $k_1$ için nomograf. ....                                | 14 |
| Şekil 2.4 : Sabit hacimde belirli gazların ortalama molar ısı kapasitesi.....     | 16 |
| Şekil 2.5 : Genişleme süreci boyunca basınç değişimi.....                         | 23 |
| Şekil 2.6 : Benzinli motorlarda genişleme adyabatik üssü $k_2$ için nomograf..... | 24 |
| Şekil 4.1 : Eşanjörlerin sınıflandırılması... ..                                  | 35 |
| Şekil 4.2 : Isı değiştirgeci türlerine ait şematik gösterimler. ....              | 35 |
| Şekil 4.3 : Karşıt akışlı ısı eşanjörü ve logaritmik ortalama sıcaklık farkı..... | 36 |
| Şekil 4.4 : Suyun özelliklerinin sıcaklıkla değişimi. ....                        | 38 |
| Şekil 4.5 : Motor soğutma suyu için zıt akışlı eşanjör.....                       | 40 |
| Şekil 4.6 : Motor soğutma suyu eşanjörü şematik gösterimi.....                    | 41 |
| Şekil 4.7 : Egzoz eşanjörü sıcaklıkları.....                                      | 49 |
| Şekil 4.8 : Egzoz gazı eşanjörü şematik gösterimi. ....                           | 49 |
| Şekil 5.1 : Kaymanın tekne hızına bağlı bulunması. ....                           | 59 |
| Şekil 5.2 : Pervane çapı – güç ilişkisi.....                                      | 61 |



## MARİN UYGULAMASI İÇİN BENZİNLİ BİR MOTORUN SOĞUTMA SİSTEMİ OPTİMİZASYONU

### ÖZET

Yapılan çalışmanın amacı benzinli bir motorun kendisi ve soğutma sistemi için gerekli hesaplamaları yaparak soğutma sistemini marin uygulamalarında kullanılabilecek şekilde yeniden dizayn etmektir. Bahsedilen değişiklik için motorda hali hazırda soğutma için kullanılan radyatör yerine içinden soğutma suyu geçen bir eşanjör, makine dairesinde egzoz gazlarını soğutacak ek bir eşanjör ve bir de dışarıdan soğutma suyunu basacak ek bir pompaya ihtiyaç vardır. Bu şekilde bilinen benzinli bir motor alınarak marin uygulamalarında kullanılabilecek hale getirilmek amaçlanmıştır. Bu çalışmada gücü, stroğu ve silindir çapı gibi parametreleri bilinen ve şu anda otomobillerde kullanılan 1 lt'lik benzinli bir motor seçilmiştir. İlk etapta motorun bilinen parametrelerinden yararlanarak bilinmeyen çalışma parametreleri her bir çalışma stroğu için hesaplanmıştır. Sonraki adımda ise yakıt ile motora verilen ısı, efektif işin ısısı, soğutucuya verilen ısı ve egzoz gazlarına verilen ısılar hesaplanmıştır. Tüm bu hesaplanan ısılar ve bazı motor verileri motorun maksimum tork ve maksimum güç devirlerini de içeren toplam dört çalışma noktası için tekrarlanmıştır. Pompa ve eşanjör hesapları maksimum güç noktasına karşılık gelen çalışma devri için gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan bu ısılardan yararlanarak motor soğutma suyuna verilen ısı için motor soğutma suyu eşanjörü hesapları ve tasarımı yapıp gerekli pompa debileri belirlenmiştir. Motor soğutma suyu için tasarlanan eşanjörün iç tarafından dışarıdan alınan soğutma suyu geçerken bu soğutma suyunun dışından motor suyu geçmektedir. Aynı şekilde egzoz gazlarına verilen ısı için egzoz eşanjörü hesapları ve tasarımı yapıp gerekli pompa debileri belirlenmiştir. Egzoz gazları için tasarlanan eşanjörün iç tarafından motorun çalışması sonucu ortaya çıkan egzoz gazları geçerken bu gazlardan bir boru ile ayrılan diğer kısımdan ise dışarıdan alınan tatlı su geçerek soğutulma yapılmaktadır. Her iki eşanjördeki sıvı ve gazların soğutulması için dışarıdan tatlı su kaynağından alınan su kullanılmıştır. Motor dairesi kısıtları göz önüne alınarak eşanjörün boru çapları için optimizasyon yapıp en uygun çap değerleri belirlenmiştir. Ayrıca çalışmamın devamında marinize edilmesi planlanan motorun boyutları bilinen bir tekne ana makina olması durumunda, uygun marin şanzımanı seçilmiş ve teknenin yapısına ve motoruna uygun pervane boyutları (çap ve hatve vb.) hesaplanmıştır. Bu çalışmada uygulanan hesaplama yöntemi ve adımlar kullanılarak başka bir benzinli motor da aynı şekilde marinize edilebilir.



## **COOLING SYSTEM OPTIMIZATION OF A GASOLINE ENGINE FOR MARINE APPLICATION**

### **SUMMARY**

The objective of this research is, by calculating engine and cooling system base parameters, to redesign the cooling system of a gasoline engine that is aimed to be used for marine applications.

Although in some cases an air-cooled system can be used for internal combustion engines, the most common usage for vehicle application is to use a radiator to cool the heat of engine to protect the engine and surrounding environment. Heat resulted from the combustion of fuel and friction of engine components is transferred to engine coolant that is forced to flow through and cool the engine block, head and other components. Conventionally engine coolant that is cooled by the air passing through the radiator needs to be cooled with a fluid from a water source via a heat exchanger for internal combustion engine marine applications. To perform this, instead of currently used radiator, a heat exchanger for the heat of cooling water is required.

Another source of heat is the gases that are passing through the exhaust system. Although this heat is not a big issue for engines used for automobile applications since there is a heat convection via the flow of air passing through the engine compartment, in case of indoor usages of internal combustion engine such as in the closed engine department of ships in absence of cooling air, a remarkable amount of heat needs to be cooled to not to cause any damage in engine room. Considering the outstanding heat of exhaust gases, an exhaust heat exchanger that can carry out the heat transfer between the fluid and exhaust gases is required for marine applications. For ships, the available source of coolant fluid is most commonly the water that the ship sails.

For both engine coolant and exhaust gases heat exchangers, water is drawn from outer environment via an additional water pump. The flow rate of water pump is defined considering the amount of heat to be rejected from both exhaust gases and engine cooling water heat exchangers.

By using this method a gasoline engine of a vehicle, currently in use in the market, is modified for a marine application. In this study, a gasoline engine with the known parameters of power, stroke, cylinder bore diameter etc. is preferred.

Firstly, the unknown working parameters of engine are calculated for each stroke by using know parameters of engine. Working parameters of intake stroke such as pressure and temperature of gases at the end of intake process are calculated. Volumetric efficiency that is a measure of charge air and fuel mixture of an engine is defined for this stroke as well. The mean molar specific heats of fresh mixture, residual gases and working mixture are defined at the end of compression process. Pressure and temperature of gases at the end of compression process are calculated.

In addition, maximum pressure and maximum temperature of gases for the combustion process are calculated. Finally, temperature and pressure values of gases are calculated for the expansion and exhaust processes.

Secondly, the indicated parameters of working cycle such as theoretical mean indicated pressure, indicated efficiency, and the indicated specific fuel consumption are computed. Additionally, engine performance figures such as mean pressure of mechanical losses, mean effective pressure and mechanical efficiency, effective efficiency and effective specific fuel consumption are defined.

Determination of all these parameters and carrying out the heat analysis of the engine is repeated for four different operating conditions(engine speeds) separately that are predefined considering the operation with minimum speed providing stable operation of the engine, operation with maximum torque, operation with maximum (rated) power and operation with maximum automobile speed.

For this specific engine, based on these recommendations and the design specification of this engine, the heat analysis is carried out in succession for  $n = 1000, 3700, 6000$  and  $6500$  rpms. Engine heat balance is specified by defining the total amount of heat introduced into the engine with fuel, heat equivalent to effective work per second, the heat transferred to the coolant, the exhaust heat and the remaining other heats.

Furthermore, pump and heat exchangers are designed considering the maximum power condition of the engine. Given the predefined engine coolant-in and engine coolant-out temperatures in heat exchanger and amount of heat to be transferred to the outer environment water, the required mass flow rate of the pump is estimated.

For the heat transferred to the engine coolant, engine cooling system heat exchanger calculations are conducted and heat exchanger is designed. The temperature of the water drawn from the outer environment is a variable that could not be controlled or changed but to accurately carry out the calculations its average value is known. However the temperature of the water that is discharged back to the environment needs to be within a certain limit that does not harm the environment and ecosystem. Considering these requirements, all limits are defined and engine-cooling heat exchanger is designed such that the water that is pumped from the outer environment is passing through the pipes of heat exchanger and the engine cooling water is flowing just outside these pipes. The flow type of these two fluids in heat exchanger is a counter-flow and a logarithmic mean temperature difference is considered during the calculations and design of heat exchanger. The diameter of the inner and outer pipes that both fluids are flowing is predefined and at the end of the calculations depending on the total length of pipes, these diameters are optimized by iteration taking the environment, engine package, engine room restrictions and manufacturability of the pipes into consideration.

To design the aforementioned heat exchanger heat transfer coefficients need to be determined. Firstly, the type of the flow that is laminar or turbulent needs to be determined for both fluids depending on the Reynolds number as a function of velocity, flow rate, viscosity and diameter of the pipes. After that, depending of the type of flow, diameter of the pipes and thermal conductivity, heat transfer coefficients are defined to be used for heat transfer analysis. At the end, length of pipes are estimated by using the both heat transfer coefficients, temperature difference and wet surface area of heat exchanger.

Likewise, for the exhaust heat, heat exchanger calculations and design study is carried out and required pump flow rates are estimated. Here the flow rate of exhaust gases is a parameter that is specific to the engine and could not be controlled for an already in production engine. Flow rate of exhaust gases for a specific engine speed is calculated by considering the fuel type and air fuel ratio at this engine speed. The exhaust gases that are produced by the combustion of fuel are passing through the pipes of exhaust heat exchanger and to cool the gases the water pumped from the outer environment is passing outside these pipes. To cool both the engine water and the exhaust gases the water that is pumped from the outer environment is used. Therefore, the total amount of water required for the heats of engine cooling water and exhaust gases needs to be provided by the same unique water pump selected for this specific purpose.

Furthermore, a suitable marine gearbox is selected by taking the maximum and operation speed of the ship end engine. The gear ratio is selected as 2,8 - 1 since the used internal combustion engine is a gasoline engine that has a higher maximum(rated) power engine speed. Also, to define the continuous operation speed of the engine for a ship application, %75 of the maximum engine RPM is recommended and used for this converted light-duty gasoline automotive engine.

In addition, a small ship that the engine is considered to be used in is selected with its known sizes such as length overall, waterline length, beam overall, waterline beam, hull draft and displacement. The propeller pitch is calculated for an engine speed and power that correspond to the %90 of the maximum engine RPM and related ship speed by taking the slip into account. At the end, the propeller diameter is calculated for an engine speed and power that corresponds to the %95 of the maximum engine RPM.

In conclusion, with this study the cooling and power train system of an internal combustion automobile engine is converted and optimized to use it for marine applications. Other similar gasoline engines may be modified for marine applications by using the same approach used in this study.



## 1. GİRİŞ

Bu çalışmanın temel amacı, marin uygulamalarında kullanılabilmek için benzinli bir motorun kendisi ve soğutma sistemi için gerekli hesaplamaları yaparak soğutma sistemini yeniden dizayn etmektir. Böylelikle otomobillerde kullanılan bu motor düşük güç ve tork gerektiren küçük boyutlu deniz araçlarında da kullanılabilecektir. Bu amaçla şu anda piyasada kullanımda olan 1,0 lt'lik benzinli bir motor verileri kullanılacaktır.

Bu çalışmanın bir kısmını teorik ve ampirik verilerden yararlanarak bilinmeyen motor verilerini elde etmek için yapılan hesaplamalar oluşturmaktadır. Bunlar motorun çalışma esnasında emme, sıkıştırma, yanma-genişleme ve egzoz süreçleri sırasındaki kritik çalışma koşulları için belirlenmiş her bir devir için basınç ve sıcaklık değerleri ve motorun indike ve efektif parametreleridir.

Verim içten yanmalı bir motorda yaklaşık %30 - %35 arasındadır. Bu yakıttan elde edilen enerjinin üçte biri kullanılabilir işe çevriliyor anlamına gelmektedir. Yani üretilen enerjinin %65 - %70'i kullanılmadan atılmaktadır. Toplam üretilen enerjinin yaklaşık %30'u motorun soğutulmasına, yaklaşık %30-%32'si egzoz gazlarına geri kalanı ise radyasyon ve diğer etkilerle çevreye atılmaktadır. Bu çalışmada yakıt ile motora verilen ısı, efektif işin ısısı, soğutucuya verilen ısı ve egzoz gazlarına verilen ısılar hesaplanmıştır.

Bu çalışmanın diğer kısmında ise biri motor soğutma suyunu soğutmak için diğeri ise egzoz gazlarını soğutmak için iki adet eşanjör tasarlanmıştır. Bu motorun tatlı suda kullanılacağı göz önüne alınarak dışarı verilen suyun sıcaklığının belli bir değeri aşmamasına dikkat edilmiştir. Bu değer motor suyunu soğutan eşanjör için 32 °C, egzoz gazlarını soğutan eşanjör için ise 26 °C olarak hesaplanmıştır. Egzoz gazları gemilerde soğutma suyu olarak dışarıdan alınan ve tekrar dışarı atılan deniz suyu ile beraber aynı hattan atılmaktadır. Burada da aynı prensip uygulanacaktır. Literatürde bu çalışmaya benzer bazı çalışmalar mevcut olmakla birlikte yapılan çalışmaların çoğu daha büyük silindir hacmine sahip dizel motor uygulamaları içindir.



## 2. ISI ANALİZİ

### 2.1 Yakıt

$H_u$  kullanılan yakıtın alt ısı değeri olup aşağıda verilen Mendeleyev formülü ile belirlenmektedir.

$$H_u = 33,91C + 125,60H - 10,89(O - S) - 2,51x(9H + W) \quad (2.1)$$

$$H_u = 33,91x0,855 + 125,60x0,145 - 2,51x(9x0,145)$$

$$H_u = 43,93 \frac{Mj}{kg} = 43930 \frac{Kj}{kg}$$

Yukarıda C, H, O, W ve S birim miktardaki yakıt içerisindeki hidrojen, karbon, oksijen kükürt ve su buharının kütle oranlarını göstermektedir. Yakıt olarak 9,4-1 sıkıştırma oranına uygun olarak benzin (gradeAII 93) kullanılmıştır.

Kullanılan yakıtın birim miktarı için yakıt içindeki elementlerin kütle oranları ve yakıtın bir kmol'ünün kütlesi aşağıdaki gibidir.

$C = 0,855$ ,  $H = 0,145$  ve  $m_f = 115 \text{ kg/kmol}$  dür [1].

Isı analizi ve ısıl denge hesaplamaları Kolchin ve Demidov 'un Design of Automotive Engines kitabındaki teorik formüller kullanılarak gerçekleştirilmiştir [1, 2].

### 2.2 Çalışma Parametreleri

Teorik olarak bir kg havanın yanması için gerekli yakıt miktarı aşağıdaki gibi bulunur.

Burada;

$l_0$  : Bir kg yakıtın yanması için gerekli teorik kg olarak hava miktarıdır.

$L_0$  : Bir kg yakıtın yanması için gerekli teorik kmol olarak hava miktarıdır.

Ayrıca burada 0,23 bir kg havada kütle olarak oksijen oranı olup, 0,208 ise bir

kmol havada hacimsel olarak oksijen oranıdır.

$$L_0 = \frac{1}{208} + \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{208} + \left( \frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{4} \right) \quad (2.2)$$

$$L_0 = 0,516 \frac{\text{kmol hava}}{\text{kg yakıt}}$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left( \frac{8}{3} C + 8H - O \right) = \frac{1}{0,23} \left( \frac{8}{3} 0,855 + 8 \times 0,145 \right)$$

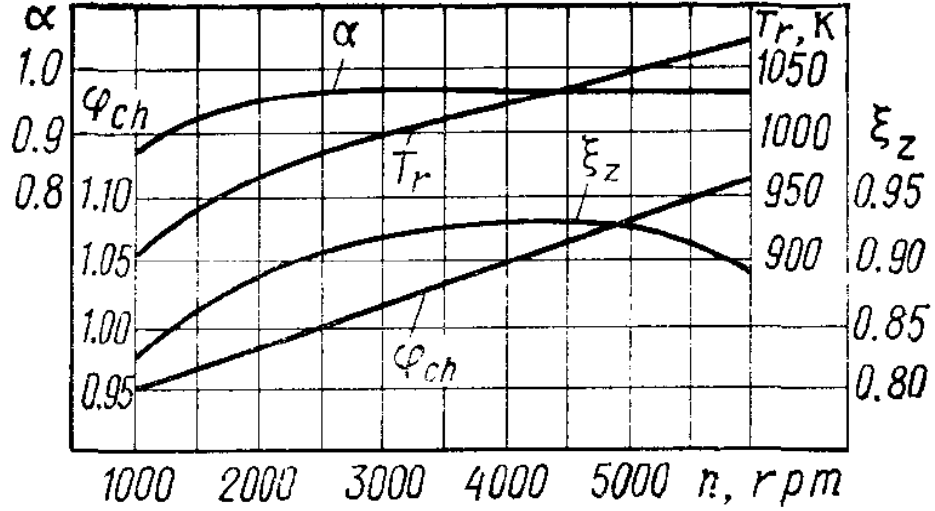
$$l_0 = 14,957 \frac{\text{kg hava}}{\text{kg yakıt}}$$

Motor gücü kontrol şekli, hava yakıt karışım şekli ve yanma koşulları gibi motorun çalışma şartlarına bağlı olarak her bir yakıt hacmi veya kütlesi belirli bir miktar havaya ihtiyaç duyar. Bu hava yakıtın tam yanması için gerekli teorik hava miktarından fazla, ona eşit veya ondan az olabilir. Bir kg yakıtın yanmasında gerçek koşullarda harcanan hava  $l$  (veya  $L$ ) ile aynı miktarda yakıtın yanması için gerekli teorik hava miktarı  $l_0$  (veya  $L_0$ ) arasındaki ilişki hava fazlalık katsayısı( $\alpha$ ) olarak adlandırılır. Bu değer benzinli motorlarda  $\alpha = 0,80 - 0,96$  arasındadır.

$$\alpha = \frac{l}{l_0} = \frac{L}{L_0} \quad (2.3)$$

Hava fazlalık katsayısı birden büyük olduğunda ( $\alpha > 1$ ) fakir karışım, birden küçük bir değerde olduğunda ( $\alpha < 1$ ) ise zengin karışım elde edilir. Motora zengin karışım vermenin(boosting of engine) bir yolu  $\alpha$ 'nın azaltılmasıdır. Ayrıca belli bir motor için hava fazlalık katsayısı belirli bir dereceye kadar azaltılarak silindir boyutları da azaltılabilir. Tabi bu olay tamamlanmamış bir yanma anlmına gelip motorda termal gerilmelere neden olur ve motor ekonomik olmayan bir bölgede çalışmış olur.

Hava fazlalık katsayısı belirlenirken bazı kriterler göz önüne alınır. Yeteri kadar yakıt ekonomisi sağlayan ve daha az toksik yanma gazlarına sahip bir motor için hava fazlalık katsayısı  $\alpha \approx 0,95 - 0,98$  arasında seçilebilir. Bu bilgi motorun asıl çalışma koşullarında hava fazlalık katsayısını  $\alpha = 0,96$  olarak, rölantide ise hava fazlalık katsayısını  $\alpha = 0,86$  almamızı sağlar. Hava fazlalık katsayısı aşağıdaki grafikten farklı motor hızları için verilmiştir. Hava fazlalık katsayısının değeri düşük devirlerde(1000-2500 devir arasında) devir sayısı ile artış göstermektedir.



Şekil 2.1 : Benzinli motorda ısı analizi için başlangıç verileri

Yanıcı karışım(fresh charge) benzinli motorlarda hava ve buharlaşmış yakıttan oluşur ve aşağıdaki gibi hesaplanır. Burada  $M_1$  kg yakıt başına kmol yanıcı karışım miktarı olup,  $m_f$  ise kg/kmol olarak buhar halindeki yakıtın kütesidir.

$$M_1 = \alpha L_0 + 1/m_f \quad (2.4)$$

$n = 850$

$$M_1 = 0,86 \times 0,516 + \frac{1}{115} = 0,4525 \frac{\text{kmol yanıcı karışım}}{\text{kg yakıt}}$$

$n = 3700, 6000$  ve  $6500$

$$M_1 = 0,96 \times 0,516 + \frac{1}{115} = 0,5041 \frac{\text{kmol yanıcı karışım}}{\text{kg yakıt}}$$

Yanma tam olarak gerçekleşmediğinde( $\alpha < 1$ ), yanma ürünleri karbon monoksit  $CO$ , karbon dioksit  $CO_2$ , Su buharı  $H_2O$ , serbest hidrojen  $H_2$  ve serbest nitrojenden  $N_2$  oluşan bir karışım oluşturur. Sıvı bir yakıt olan benzin için eksik yanma durumunda yanma ürünlerindeki her bir bileşen her bir devir ve  $K = 0,50$  için aşağıdaki gibi hesaplanır.

$K = 0,45 - 0,50$  sabit bir değer olup yanma ürünlerinde hidrojenin karbon monoksit oranını gösterir.

$n = 850$  için

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - 2 \frac{(1 - \alpha)}{1 + K} 0,208 L_0 \quad (2.5)$$

$$M_{CO_2} = \frac{0,855}{12} - 2 \frac{(1 - 0,86)}{1 + 0,5} 0,208 \times 0,516 = 0,0512 \frac{\text{kmol } CO_2}{\text{kg yakıt}}$$

$$M_{CO} = 2 \frac{(1 - \alpha)}{1 + K} 0,208 L_0 \quad (2.6)$$

$$M_{CO} = 2 \frac{(1 - 0,86)}{1 + 0,5} 0,208 \times 0,516 = 0,0200 \frac{\text{kmol } CO}{\text{kg yakıt}}$$

$$M_{H_2O} = \frac{C}{2} - 2K \frac{(1 - \alpha)}{1 + K} 0,208 L_0 \quad (2.7)$$

$$M_{H_2O} = \frac{0,145}{2} - 2 \times 0,5 \frac{(1 - 0,86)}{1 + 0,5} 0,208 \times 0,516 = 0,0625 \frac{\text{kmol } H_2O}{\text{kg yakıt}}$$

$$M_{H_2} = 2K \frac{(1 - \alpha)}{1 + K} 0,208 L_0 \quad (2.8)$$

$$M_{H_2} = 2 \times 0,5 \frac{(1 - 0,86)}{1 + 0,5} 0,208 \times 0,516 = 0,0100 \frac{\text{kmol } H_2}{\text{kg yakıt}}$$

$$M_{N_2} = 0,792 \alpha L_0 \quad (2.9)$$

$$M_{N_2} = 0,792 \times 0,86 \times 0,516 = 0,3515 \frac{\text{kmol } N_2}{\text{kg yakıt}}$$

n = 3700, 6000 ve 6500

$$M_{CO_2} = \frac{0,855}{12} - 2 \frac{(1 - 0,96)}{1 + 0,5} 0,208 \times 0,516 = 0,0655 \frac{\text{kmol } CO_2}{\text{kg yakıt}}$$

$$M_{CO} = 2 \frac{(1 - 0,96)}{1 + 0,5} 0,208 \times 0,516 = 0,0057 \frac{\text{kmol } CO}{\text{kg yakıt}}$$

$$M_{H_2O} = \frac{0,145}{2} - 2 \times 0,5 \frac{(1 - 0,96)}{1 + 0,5} 0,208 \times 0,516 = 0,0696 \frac{\text{kmol } H_2O}{\text{kg yakıt}}$$

$$M_{H_2} = 2 \times 0,5 \frac{(1 - 0,96)}{1 + 0,5} 0,208 \times 0,516 = 0,0029 \frac{\text{kmol } H_2}{\text{kg yakıt}}$$

$$M_{N_2} = 0,792 \times 0,96 \times 0,516 = 0,3923 \frac{\text{kmol } N_2}{\text{kg yakıt}}$$

Toplam Yanma ürünleri miktarı ise;

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,792\alpha L_0 \quad (2.10)$$

$$n = 850$$

$$M_2 = 0,0512 + 0,02 + 0,0625 + 0,01 + 0,3515 = 0,4952 \frac{\text{kmol yanma ürünü}}{\text{kg yakıt}}$$

Tekrar kontrol edersek;

$$M_2 = \frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{2} + 0,792 \times 0,86 \times 0,516 = 0,4952 \frac{\text{kmol yanma ürünü}}{\text{kg yakıt}}$$

$$n = 3700, 6000 \text{ ve } 6500 \text{ için}$$

$$M_2 = 0,0655 + 0,0057 + 0,0696 + 0,0029 + 0,3923 = 0,5360 \frac{\text{kmol yanma ür.}}{\text{kg yakıt}}$$

olarak hesaplanmıştır [1].

### 2.3 Atmosferik Basınç, Sıcaklık ve Artık Gazlar

Doğal emişli bir motorda ortam basıncı  $p_h = p_0 = 0,1 \text{ Mpa}$  ve ortam sıcaklığı  $T_k = T_0 = 293 \text{ K}$  alınır. Sıkıştırma oranı sabit olup  $\varepsilon = 9,4$ ,  $\alpha$  'da sabit olduğu durumda yanmamış gazların sıcaklığı hızla orantılı olarak artar. Karışım zenginleştirildiğinde ise azalır.

Artık gazların sıcaklığı benzinli motorda ısı analizi başlangıç verileri için kullanılabilecek Şekil 2.1'den aşağıdaki gibi bulunur. Rölanti devri için  $\alpha = 0,86$  ve diğer çalışma koşullarında  $\alpha = 0,96$  olduğu göz önünde tutulmuştur.

**Çizelge 2.1 : Artık gazların sıcaklığı.**

| n (rpm)   | 850 | 3700 | 6000 | 6500 |
|-----------|-----|------|------|------|
| $T_r$ (K) | 900 | 1010 | 1070 | 1080 |

Artık gazların basıncı maksimum güç devrinde aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$p_{rN} = 1,18p_0 = 1,18 \times 0,1 = 0,118 \text{ Mpa} \quad (2.11)$$

Her bir devirdeki atık gazların basıncı ise şu şekilde bulunur [1,3].

$$A_p = (p_{rN} - p_0 \times 1,035) 10^8 / (n_N^2 p_0) = 0,4028 \quad (2.12)$$

$$p_r = p_0 (1,035 + A_p 10^{-8} n^2) = 0,1035 + 0,4028 \times 10^{-9} n^2 \quad (2.13)$$

**Çizelge 2.2 : Atık gazların basıncı.**

|                      |        |        |        |        |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| n (rpm)              | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
| p <sub>r</sub> (Mpa) | 0,1038 | 0,1090 | 0,1180 | 0,1205 |

## 2.4 Emme Süreci

Emme prosesi sırasında içeri giriş hava sıcaklığı sıcak motor parçaları nedeni ile yükselir. Taze dolgunun emme süresince motorun sıcak ceperlerinden aldığı ek ısıdan kaynaklanan sıcaklık artışıdır. Ön ısıtma değeri  $\Delta T$  emme manifoldunun ve soğutma sisteminin yapısına, özel ön ısıtma sisteminin varlığına, motor hızı ve süpersarj olup olamamasına bağlı değişebilir. Sıcaklığın artması yakıt buharlaşmasını arttırtırken giriş havası yoğunluğunu düşürerek volumetrik verime etki eder.  $\Delta T$  bulunurken yüksek olan  $\Delta T$  değerinin bu iki faktöre olan negatif etkisi hesaba katılmalıdır.

Benzinli motorlar için  $\Delta T = 0 - 20^\circ$  aralığındadır.

$\Delta T$  motorun çalışma hızına ve bağlı aşağıdaki gibi kabaca hesaplanabilir.

$$\Delta T = A_f(110 - 0,0125n) \quad (2.14)$$

Motorun verimli bir şekilde emme yapması için maksimum güç noktasındaki motor devrinde( $n_N$ ) ön ısıtma değerini  $\Delta T_N = 8^\circ\text{C}$  alabiliriz.

$$\begin{aligned} A_f &= \Delta T_N / (110 - 0,0125n_N) = 8 / (110 - 0,0125 \times 6000) \\ &= 0,2286 \end{aligned} \quad (2.15)$$

**Çizelge 2.3 : Ön ısıtma değeri.**

|                              |      |      |      |      |
|------------------------------|------|------|------|------|
| n (rpm)                      | 850  | 3700 | 6000 | 6500 |
| $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ | 22,7 | 14,6 | 8    | 6,6  |

Ön ısıtma değeri her bir motor devri, için yukarıdaki gibi hesaplanır. Emme havasının yoğunluğu aşağıdaki şekilde hesaplanır. Burada  $R_a = 287 \text{ J/kg}$  der gaz sabitidir [1].

$$\rho_0 = p_0 \times 10^6 / (R_a T_0) = 0,1 \times 10^6 / (287 \times 293) = 1,189 \text{ kg/m}^3 \quad (2.16)$$

#### 2.4.1 Emme sonu basıncı

Emme girişindeki dirençten dolayı basınç düşüşü  $\Delta p_a$  ve silindir içine giriş hızı bazı kabullerle Bernoulli denkleminde bulunabilir.

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{in})(\omega_{in}^2/2) \rho_R \times 10^{-6} \quad (2.17)$$

Burada  $\beta$  silindir içine girişteki hava katsayısı,  $\xi_{in}$  sistemin en dar kesit alanına karşılık gelen giriş direnç katsayısı,  $\rho_R$  ve  $\rho_0$  da süperşarjlı ve süperşarjsız giriş hava yoğunluğudur ( $p_R = p_0$  iken  $\rho_R = \rho_0$ ’dır).  $(\beta^2 + \xi_{in}) = 2,5 - 4,0$  arasında bir değer alırken,  $\omega_{in}^2 = 50 - 130 \text{ m/s}$  arasında değer alır. Motor hızına ( $n = 6000 \text{ rpm}$ ) uygun olarak ve giriş manifoldunun iç yüzeyinin iyi işlendiği göz önüne alınarak bu motorda  $(\beta^2 + \xi_{in}) = 2,8$  ve  $\omega_{in}^2 = 95 \text{ m/s}$  alınabilir.

$$A_n = \omega_{in}/n_N = 95/6000 = 0,015 \quad (2.18)$$

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{in}) A_n^2 n^2 \rho_R \times 10^{-6} / 2 \quad (2.19)$$

$$n = 850$$

$$\Delta p_a = 2,8 \times 0,0158^2 \times 850^2 \times 1,189 \times 10^{-6} / 2 = 0,00030 \text{ MPa}$$

$$n = 3700$$

$$\Delta p_a = 2,8 \times 0,0158^2 \times 3700^2 \times 1,189 \times 10^{-6} / 2 = 0,00057 \text{ MPa}$$

$$n = 6000$$

$$\Delta p_a = 2,8 \times 0,0158^2 \times 6000^2 \times 1,189 \times 10^{-6} / 2 = 0,01500 \text{ MPa}$$

$$n = 6500$$

$$\Delta p_a = 2,8 \times 0,0158^2 \times 6500^2 \times 1,189 \times 10^{-6} / 2 = 0,01760 \text{ MPa}$$

Emme manifoldu girişi sonundaki basınç aşağıda verilmiştir [1].

$$p_a = p_0 - \Delta p_a \quad (2.20)$$

**Çizelge 2.4 :** Emme manifoldu girişi sonundaki basınç.

| n (rpm)     | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| $p_a$ (MPa) | 0,0997 | 0,0943 | 0,0850 | 0,0824 |

## 2.4.2 Artık gaz katsayısı

Artık gaz katsayısı  $\gamma_r$  yanma gazlarının silindirden nasıl çıktığının bir karakteristiğidir.  $\gamma_r$ 'ın artışıyla emme sırasında içeri giren taze havanın miktarı azalır.  $\gamma_r$  bulunurken süperşarjsız motorlarda süpürme katsayısı  $\varphi_s = 1$ , ve maksimum motor hızında doldurma katsayısı  $\varphi_{ch} = 1,12$  alınır. Bu değerler 30-60 derece arasında geç kapanma avansı seçimi ile elde edilecek rakamlardır. Rolanti hızda  $\varphi_{ch} = 0,95$  olarak alınabilir. Şekil 2.1'de diğer hızlarda  $\varphi_{ch}$  hızla doğru orantılı olarak artıyormuş gibi bulunabilir. Süper şarjlı ve süper şarjsız benzinli motorlar için  $\gamma_r = 0,04 - 0,10$  aralığındadır [1,3].

$$\gamma_r = \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \times \frac{\varphi_s p_r}{\varepsilon \varphi_{ch} p_a - \varphi_s p_r}$$

$$n = 850$$

$$\gamma_r = \frac{293 + 22,7}{900} \times \frac{1 \times 0,1038}{9,4 \times 0,95 \times 0,0997 - 1 \times 0,1038} = 0,0463$$

$$n = 3700$$

$$\gamma_r = \frac{293 + 14,6}{1010} \times \frac{1 \times 0,1090}{9,4 \times 1,035 \times 0,0943 - 1 \times 0,1090} = 0,0411$$

$$n = 6000$$

$$\gamma_r = \frac{293 + 8}{1070} \times \frac{1 \times 0,1180}{9,4 \times 1,12 \times 0,0850 - 1 \times 0,1180} = 0,0427$$

$$n = 6500$$

$$\gamma_r = \frac{293 + 6,6}{1080} \times \frac{1 \times 0,1205}{9,4 \times 1,14 \times 0,0824 - 1 \times 0,1205} = 0,0438$$

Artık gaz katsayısı her bir devir için aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

**Çizelge 2.5 : Artık gaz katsayısı.**

| n (rpm)    | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| $\gamma_r$ | 0,0463 | 0,0411 | 0,0427 | 0,0438 |

## 2.4.3 Emme sonu sıcaklığı

Emme sonundaki sıcaklık ise her bir motor devri için daha önce bulunan parametreler kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır [3].

$$T_a = (T_0 + \Delta T + \gamma_r T_r)/(1 + \gamma_r) \quad (2.21)$$

$$n = 850$$

$$T_a = (293 + 22,7 + 0,0463 \times 900)/(1 + 0,0463) = 342 \text{ K}$$

$$n = 3700$$

$$T_a = (293 + 14,6 + 0,0411 \times 1010)/(1 + 0,0411) = 335 \text{ K}$$

$$n = 6000$$

$$T_a = (293 + 8 + 0,0427 \times 1070)/(1 + 0,0427) = 332 \text{ K}$$

$$n = 6500$$

$$T_a = (293 + 6,6 + 0,0438 \times 1080)/(1 + 0,0438) = 332 \text{ K}$$

**Çizelge 2.6 :** Emme sonu sıcaklığı.

| n (rpm)  | 850 | 3700 | 6000 | 6500 |
|----------|-----|------|------|------|
| $T_a(K)$ | 342 | 335  | 332  | 332  |

#### 2.4.4 Volumetrik verim

Volumetrik verim sıcaklık ve basıncın içeri giren hava yakıt karışımının geldiği dış ortam ile silindir içinde aynı olduğu durumda, bir strokta silindir içine alınan hava yakıt karışım miktarının, silindir içine alınabilecek maksimum teorik hava yakıt karışım miktarına olan oranıdır.

$$\eta_v = (G_a/G_0) = (V_a/V_0) = (M_a/M_0) \quad (2.22)$$

Volumetrik verim benzinli motorlarda tam güçte yaklaşık  $\eta_v = 0,70 - 0,90$  aralığında olması beklenir.

$p_0$  ve  $T_0$  veya  $p_R$  ve  $T_R$  basınç ve sıcaklığında  $G_a$ ,  $V_a$  ve  $M_a$  motora giren hava yakıt karışımının kg,  $m^3$ , ve mol olarak miktarı olup;  $G_0$ ,  $V_0$  ve  $M_0$  teorik hava yakıt karışımını ifade eder.  $\eta_v$  diğer karakteristik ve parametreler ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir [1,3].

$$\eta_v = \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} \frac{1}{\varepsilon - 1} \frac{1}{p_0} (\varphi_{ch} \varepsilon p_a - \varphi_s p_r) \quad (2.23)$$

$$n = 850$$

$$\eta_v = \frac{293}{293 + 22,7} \frac{1}{9,4 - 1} \frac{1}{0,1} (0,95 \times 9,4 \times 0,0997 - 1 \times 0,1038) = 0,8690$$

$$n = 3700$$

$$\eta_v = \frac{293}{293 + 14,6} \frac{1}{9,4 - 1} \frac{1}{0,1} (1,035 \times 9,4 \times 0,0943 - 1 \times 0,1090) = 0,9169$$

$$n = 6000$$

$$\eta_v = \frac{293}{293 + 8} \frac{1}{9,4 - 1} \frac{1}{0,1} (1,12 \times 9,4 \times 0,0850 - 1 \times 0,1180) = 0,9008$$

$$n = 6500$$

$$\eta_v = \frac{293}{293 + 6,6} \frac{1}{9,4 - 1} \frac{1}{0,1} (1,14 \times 9,4 \times 0,0824 - 1 \times 0,1205) = 0,8883$$

**Çizelge 2.7 : Volumetrik verim.**

| n (rpm)  | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| $\eta_v$ | 0,8690 | 0,9169 | 0,9008 | 0,8883 |

## 2.5 Sıkıştırma Süreci

Sıkıştırma esnasında ortamda ateşleme ve verimli bir yanma için uygun zemin oluşturan silindir içi basınç ve sıcaklığı artar. Gerçek koşullarda sıkıştırma termodinamik kurallara uymayan karışık bir yasaya göre gerçekleşir.

Bu proseste sıcaklık ve basınç, piston segmanları arasındaki boşluktan kaçan gazların, aşırı doldurma(emme subabı kapanana kadar), yanma odası ile silindir duvarları arasındaki ısı değişiminin yönü ve yoğunluğu, yakıtın buharlaşması ve sıkıştırma sonundaki ateşleme gibi faktörlerinin etkisindedir.

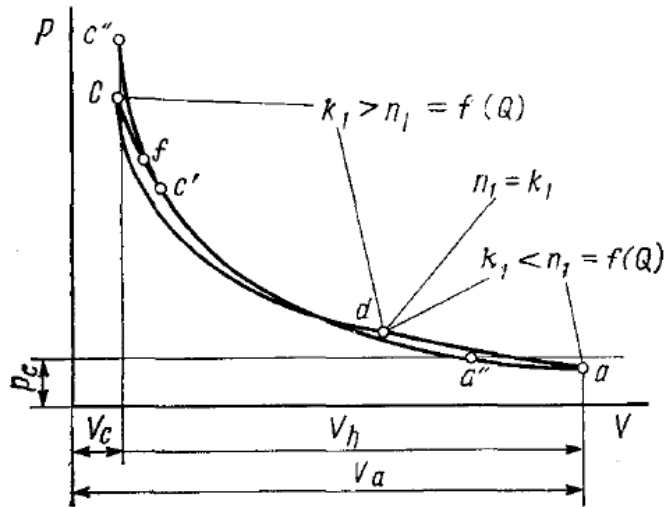
Esasen sıkıştırma işleminin gerçekte değişken bir  $n_1$  sabiti ile politropik bir eğri izlediği kabul edilir (aşağıdaki şekilde  $acd$  eğrisi). Aşağıda sıkıştırma eğrisinin gösterildiği şekilde sıkıştırmanın başladığı  $ad$  eğrisi boyunca sıkıştırma politrop üssü( $n_1$ ) adyabat üssü'nden( $k_1$ ) büyüktür ki bunun anlamı ısı geçişinin daha sıcak olan silindir duvarlarından yanma odasına doğru olduğudur. İki üssün eşit olduğu tam  $d$  noktasında yanma odası ve silindir duvarı arasında ısı denge olup  $n_1$ ' in  $k_1$ 'den küçük olduğu sıkıştırmanın devamı olan  $dc$  eğrisi boyunca ise ısı yanma odasından silindir duvarına doğru geçer.  $n_1$  değerinin değişen değerlerini bulmanın ve hesapların zorluğu nedeni ile genelde sıkıştırma prosesinin sabit bir

$n_1(aa''cc''$  eğrisi) ile sıkıştırma işlemi esnasında değişken  $n_1$  ile aynı miktarda işi veren politropik bir eğriyi izlediği kabul edilir.

Sıkıştırma işlemi sırasında politrop üssü( $n_1$ ), sıkıştırma parametreleri olan  $T_c$  ve  $p_c$  ve  $(mc'_V)_{t_0}^{t_m}$  sıkıştırma sonundaki özgül ısı hesaplanır. Burada  $t_m(^{\circ}C)$  karışımın sıkıştırma sonundaki sıcaklığıdır.

$n_1$  değeri motor hızına, sıkıştırma oranına, silindir boyutlarına, piston ve silindir malzemesine, ısı transferi ve diğer faktörlere bağlı ampirik verilerden belirlenir. Çok hızlı sıkıştırma prosesleri sırasında(0,015-0,005s) yanma odası ile silindir duvarı arasındaki ısı geçişi gözardı edilebilip  $n_1$  değeri adyabat üss( $k_1$ ) değeri yardımı ile hesaplanabilir. Aşağıdaki nomograf yardımı ile  $k_1$ , sıkıştırma oranı  $\epsilon = 9.4$  ve emme sonundaki sıcaklık  $T_a$ 'ya bağlı belirlenebilir. Bu nomograf  $k_1$  ve  $T_a$ ,  $T_c$ ,  $\epsilon$  ve  $(mc'_V)_{t_0}^{t_m}$ 'yi içeren aşağıdaki iki formülün ortak çözümü ile elde edilir.

Politrop üst ( $n_1$ )' in adyabat üst ( $k_1$ )' ile olan ilişkisi benzinli motorlar için ( $k_1 - 0.00$ ) ile ( $k_1 - 0.04$ ) limitler içindedir.



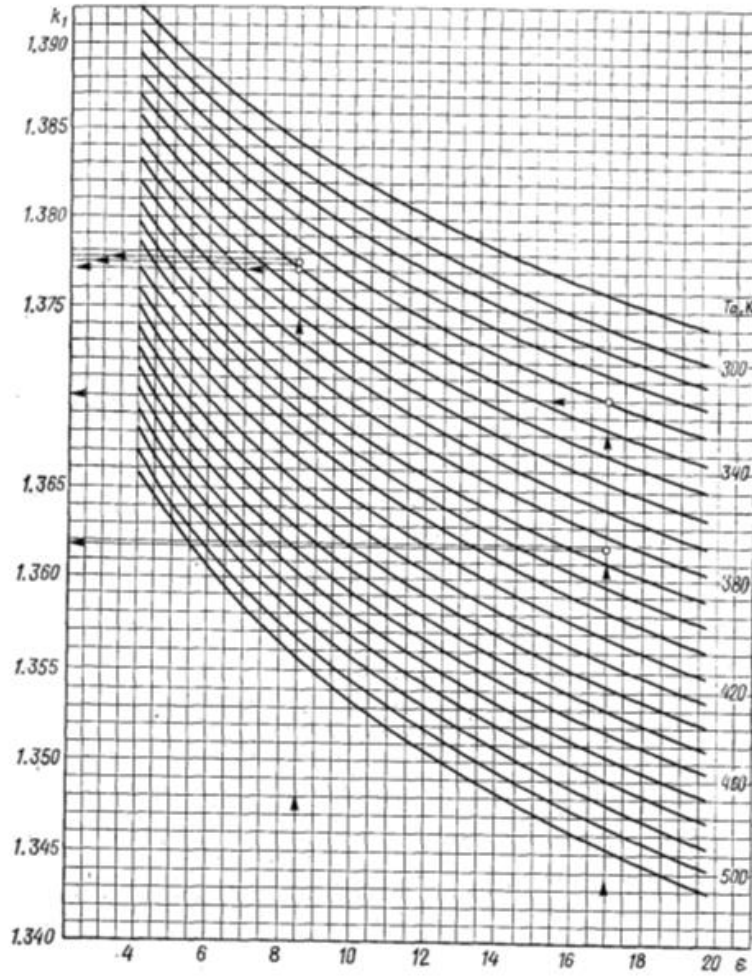
Şekil 2.2 : Sıkıştırma sürecinde basınç değişimi.

$$k_1 = 1 + (\log T_c - \log T_a) / \log \epsilon \quad (2.24)$$

$$k_1 = 1 + 8,315 / (mc'_V)_{t_0}^{t_m} \quad (2.25)$$

Politrop üssü( $n_1$ ) adiyabat üssüne( $k_1$ ) bağlı belirlerken, politrop üssün motor hızıyla ve soğutma yüzeyinin silindir hacmine oranının azalması ile arttığı unutulmamalıdır.

Ayrıca sıkıştırma sırasındaki ortalama sıcaklığın artışı ve motor soğutma yoğunluğunu arttırmak politrop üssü'nü azaltır. Diğer durumlar aynı ise hava soğutmalı motorlarda  $n_1$  su soğutmalılara nazaran daha yüksek olur. Ayrıca açık bir soğutma sisteminden kapalı olanına geçmek de  $n_1$ 'i artırır.



Şekil 2.3 : Adyabat üssü  $k_1$  için nomograf.

Adyabat üss( $k_1$ ) değeri bir önceki nomograftan  $\epsilon = 9.4$  ve daha önce hesaplanan  $T_a$  emme sonu sıcaklık değerlerinden herbir motor hızı için aşağıdaki gibi bulunur. Politrop üst seçiminde,  $k_1$  ile karşılaştırıldığında politrop üst( $n_1$ ) azalırken azalan motor hızıyla gazdan silindir duvarına geçen ısıнын arttığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 2.8 : Adyabat üss.

| n (rpm)  | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| $k_1$    | 1,3760 | 1,3768 | 1,3774 | 1,3774 |
| $T_a(K)$ | 342    | 335    | 332    | 332    |
| $n_1$    | 1,3693 | 1,3757 | 1,3772 | 1,3772 |

Sıkıştırma sonundaki basınç  $p_c$  ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1} \quad (2.26)$$

$$n = 850, \quad p_c = 0,0997 \times 9,4^{1,3693} = 2,1439 \text{ MPa}$$

$$n = 3700, \quad p_c = 0,0943 \times 9,4^{1,3757} = 2,0573 \text{ MPa}$$

$$n = 6000, \quad p_c = 0,0850 \times 9,4^{1,3772} = 1,8613 \text{ MPa}$$

$$n = 6500, \quad p_c = 0,0824 \times 9,4^{1,3772} = 1,8045 \text{ Mpa}$$

**Çizelge 2.9 : Sıkıştırma sonundaki basınç.**

| n (rpm)  | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| $\eta_v$ | 2,1439 | 2,0573 | 1,8613 | 1,8045 |

Sıkıştırma sonundaki sıcaklık  $T_c$  ise aşağıdaki gibi hesaplanır [1,3].

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} \quad (2.27)$$

$$n = 850 \quad T_c = 342 \times 9,4^{1,3693-1} = 781 \text{ K}$$

$$n = 3700 \quad T_c = 335 \times 9,4^{1,3757-1} = 778 \text{ K}$$

$$n = 6000 \quad T_c = 332 \times 9,4^{1,3772-1} = 774 \text{ K}$$

$$n = 6500 \quad T_c = 332 \times 9,4^{1,3772-1} = 774 \text{ K}$$

**Çizelge 2.10 : Sıkıştırma sonundaki sıcaklık.**

| n (rpm)  | 850 | 3700 | 6000 | 6500 |
|----------|-----|------|------|------|
| $T_c(K)$ | 781 | 778  | 774  | 774  |

## 2.5.1 Sıkıştırma sonundaki ortalama mol özgül ısıların hesabı

### 2.5.1.1 Yakıt-hava (taze dolgu) karışımının ortalama mol özgül ısısı

$(mc_V)_{t_0}^{t_c}$  sıkıştırma sonundaki yakıt hava karışımının(taze dolgu) ortalama mol özgül ısısı olup taze havanın özgül ısısına eşit kabul edilip aşağıdaki şekilden alınan aşağıdaki formülden hesaplanır [1].

$$(mc_V)_{t_0}^{t_c} = 20,6 + 2.638 \times 10^{-3} t_c \quad (2.28)$$

|                                | 0 to 1500°C                                       | 1501 to 2800°C                    |
|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Air                            | $mc_V = 20.600 + 0.002638t$                       | $mc_V = 22.387 + 0.001449t$       |
| Oxygen O <sub>2</sub>          | $mc_{VO_2} = 20.930 + 0.004641t - 0.00000084t^2$  | $mc_{VO_2} = 23.723 + 0.001550t$  |
| Nitrogen N <sub>2</sub>        | $mc_{VN_2} = 20.398 + 0.002500t$                  | $mc_{VN_2} = 21.951 + 0.001457t$  |
| Hydrogen H <sub>2</sub>        | $mc_{VH_2} = 20.684 + 0.000206t + 0.000000588t^2$ | $mc_{VH_2} = 19.678 + 0.001758t$  |
| Carbon monoxide CO             | $mc_{VCO} = 20.597 + 0.002670t$                   | $mc_{VCO} = 22.490 + 0.001430t$   |
| Carbon dioxide CO <sub>2</sub> | $mc_{VCO_2} = 27.941 + 0.019t - 0.000005487t^2$   | $mc_{VCO_2} = 39.123 + 0.003349t$ |
| Water vapour H <sub>2</sub> O  | $mc_{VH_2O} = 24.953 + 0.005359t$                 | $mc_{VH_2O} = 26.670 + 0.004438t$ |

Şekil 2.4 : Sabit hacimde belirli gazların ortalama molar ısı kapasitesi.

$$t_c = T_c - 273^\circ\text{C} \quad (2.29)$$

Çizelge 2.11 : Sıkıştırma sonunda taze dolgu ortalama mol özgül ısısı.

| n (rpm)                                                               | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|-----------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| $t_c(^{\circ}\text{C})$                                               | 508    | 505    | 501    | 501    |
| $(mc_V)_{t_0}^{t_c} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{kmol der}} \right)$ | 21,941 | 21,932 | 21,922 | 21,921 |

### 2.5.1.2 Artık gazlar

$(mc_V)_{t_0}^{t_m}$  sıkıştırma sonundaki artık gazların ortalama mol özgül ısısı aşağıdaki çizelgeden extrapolasyon ile bulunabilir [1].

Çizelge 2.12 : Artık gazların ortalama mol özgül ısısı.

|      | 0.70   | 0.75   | 0.80   | 0.85   | 0.90   | 0.95   | 1.00   | 1.05   | 1.10   |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0    | 21.683 | 21.786 | 21.880 | 21.966 | 22.046 | 22.119 | 22.187 | 22.253 | 22.315 |
| 100  | 21.902 | 22.031 | 22.149 | 22.257 | 22.356 | 22.448 | 22.533 | 22.612 | 22.688 |
| 200  | 22.140 | 22.292 | 22.431 | 22.559 | 22.676 | 22.784 | 22.885 | 22.979 | 23.068 |
| 300  | 22.445 | 22.618 | 22.776 | 22.921 | 23.055 | 23.173 | 23.283 | 23.386 | 23.483 |
| 400  | 22.777 | 22.968 | 23.143 | 23.303 | 23.450 | 23.586 | 23.712 | 23.831 | 23.944 |
| 500  | 23.138 | 23.345 | 23.534 | 23.707 | 23.867 | 24.014 | 24.150 | 24.278 | 24.400 |
| 600  | 23.507 | 23.727 | 23.929 | 24.113 | 24.284 | 24.440 | 24.586 | 24.725 | 24.858 |
| 700  | 23.882 | 24.115 | 24.328 | 24.523 | 24.702 | 24.868 | 25.021 | 25.169 | 25.312 |
| 800  | 24.249 | 24.493 | 24.715 | 24.919 | 25.107 | 25.280 | 25.441 | 25.597 | 25.748 |
| 900  | 24.608 | 24.861 | 25.092 | 25.304 | 25.500 | 25.680 | 25.847 | 26.009 | 26.166 |
| 1000 | 24.949 | 25.211 | 25.449 | 25.668 | 25.870 | 26.056 | 26.229 | 26.398 | 26.562 |
| 1100 | 25.276 | 25.545 | 25.791 | 26.016 | 26.224 | 26.415 | 26.593 | 26.757 | 26.917 |
| 1200 | 25.589 | 25.866 | 26.118 | 26.349 | 26.562 | 26.758 | 26.940 | 27.109 | 27.274 |
| 1300 | 25.887 | 26.168 | 26.426 | 26.662 | 26.879 | 27.080 | 27.265 | 27.436 | 27.602 |
| 1400 | 26.099 | 26.416 | 26.719 | 26.959 | 27.180 | 27.385 | 27.574 | 27.748 | 27.917 |
| 1500 | 26.436 | 26.728 | 26.995 | 27.240 | 27.465 | 27.673 | 27.866 | 28.044 | 28.217 |
| 1600 | 26.685 | 26.982 | 27.253 | 27.501 | 27.729 | 27.941 | 28.136 | 28.315 | 28.489 |
| 1700 | 26.924 | 27.225 | 27.499 | 27.751 | 27.983 | 28.197 | 28.395 | 28.578 | 28.757 |
| 1800 | 27.147 | 27.451 | 27.728 | 27.983 | 28.218 | 28.434 | 28.634 | 28.819 | 28.999 |
| 1900 | 27.359 | 27.667 | 27.948 | 28.205 | 28.442 | 28.661 | 28.863 | 29.058 | 29.248 |
| 2000 | 27.559 | 27.870 | 28.153 | 28.413 | 28.652 | 28.873 | 29.078 | 29.274 | 29.464 |

$n = 850 \text{ rpm}$ ,  $\alpha = 0,86$  ve  $t_c = 508^\circ\text{C}$

$$(mc_V'')_{t_0}^{500} = 23,707 + (23,867 - 23,707)0,01/0,05 = 23,739 \text{ KJ}/(\text{kmol der})$$

500 °C'de  $\alpha = 0,85$  ve  $\alpha = 0,90$  için yanma ürünlerinin özgül ısıları 23,707 ve 23,867 aynı çizelgeden alınmıştır.

$$(mc_V'')_{t_0}^{600} = 24,113 + (24,284 - 24,113)0,01/0,05 = 24,147 \text{ KJ}/(\text{kmol der})$$

600 °C'de  $\alpha = 0,85$  ve  $\alpha = 0,90$  için yanma ürünlerinin özgül ısıları 24,113 ve 24,284 aynı çizelgeden alınmıştır.

$t_c = 508^\circ\text{C}$  de atık gazların ortalama mol özgül ısısı;

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_m} = 23,739 + (24,147 - 23,739)8/100 = 23,772 \text{ KJ}/(\text{kmol der})$$

$n = 3700 \text{ rpm}$ ,  $\alpha = 0,96$  ve  $t_c = 505^\circ\text{C}$

$$(mc_V'')_{t_0}^{500} = 24,014 + (24,150 - 24,014)0,01/0,05 = 24,041 \text{ KJ}/(\text{kmol der})$$

500 °C'de  $\alpha = 0,95$  ve  $\alpha = 1$  için yanma ürünlerinin özgül ısıları 24,014 ve 24,150 aynı çizelgeden alınmıştır.

$$(mc_V'')_{t_0}^{600} = 24,440 + (24,586 - 24,440)0,01/0,05 = 24,469 \text{ KJ}/(\text{kmol der})$$

600 °C'de  $\alpha = 0,95$  ve  $\alpha = 1$  için yanma ürünlerinin özgül ısıları 24,440 ve 24,586 aynı çizelgeden alınmıştır.

$t_c = 505^\circ\text{C}$  de atık gazların ortalama mol özgül ısısı;

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_m} = 24,041 + (24,469 - 24,041)5/100 = 24,062 \text{ KJ}/(\text{kmol der})$$

$n = 6000$  ve  $n = 6500 \text{ rpm}$ ,  $\alpha = 0,96$  ve  $t_c = 501^\circ\text{C}$

$t_c = 501^\circ\text{C}$  de atık gazların ortalama mol özgül ısısı;

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_m} = 24,041 + \frac{(24,469 - 24,041)1}{100} = 24,045 \frac{\text{KJ}}{\text{kmol der}}$$

### 2.5.1.3 İş gazı (taze dolgu + artık gazlar)

Sıkıştırma sonundaki karışımın ortalama mol özgül ısısı aşağıdaki gibi hesaplanır [1].

$$(mc_V')_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{1 + \gamma_r} [(mc_V)_{t_0}^{t_c} + \gamma_r (mc_V'')_{t_0}^{t_c}] \quad (2.30)$$

$$n = 850$$

$$(mc'_V)_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{1 + 0,0463} [21,941 + 0,0463 \times 23,772] = 22,022 \text{ KJ}/(\text{kmol der})$$

$$n = 3700$$

$$(mc'_V)_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{1 + 0,0411} [21,932 + 0,0411 \times 24,062] = 22,016 \text{ KJ}/(\text{kmol der})$$

$$n = 6000$$

$$(mc'_V)_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{1 + 0,0427} [21,922 + 0,0427 \times 24,045] = 22,009 \text{ KJ}/(\text{kmol der})$$

$$n = 6500$$

$$(mc'_V)_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{1 + 0,0438} [21,921 + 0,0438 \times 24,045] = 22,010 \text{ KJ}/(\text{kmol der})$$

## 2.6 Yanma Süreci

Yanma prosesi yakıtın yanması ile ısıнын açığa çıktığı ve mekanik işin yapıldığı prosestir.

Termodinamik hesapları kolaylaştırmak için yanma olayının buji ateşlemeli benzinli motorlarda sabit hacimde (V constant) olduğu kabulü yapılır.

Yanma prosesi hesaplarının amacı görünür yanmanın sonundaki basınç ve sıcaklığı hesaplamaktır.

Yakıt-hava karışımının kimyasal moleküler değişim katsayısı  $\mu_0 = M_2/M_1$  ve iş gazı(working mixture) için  $\mu = (\mu_0 + \gamma_r)/(1 + \gamma_r)$ 'dir. Burada  $M_1$  kg yakıt başına kmol yanıcı karışım miktarı olup,  $M_2$  toplam yanma ürünleri miktarıdır.

$$n = 850$$

$$\mu_0 = 0,4952/0,4525 = 1,0944$$

$$\mu = (1,0944 + 0,0463)/(1 + 0,0463) = 1,0902$$

$$n = 3700$$

$$\mu_0 = 0,5360/0,5041 = 1,0633$$

$$\mu = (1,0633 + 0,0411)/(1 + 0,0411) = 1,0608$$

$$n = 6000$$

$$\mu_0 = 0,5360/0,5041 = 1,0633$$

$$\mu = (1,0633 + 0,0427)/(1 + 0,0427) = 1,0607$$

$$n = 6500$$

$$\mu_0 = 0,5360/0,5041 = 1,0633$$

$$\mu = (1,0633 + 0,0438)/(1 + 0,0438) = 1,0606$$

$\Delta H_u$  Kimyasal olarak yakıtın tam yanmaması(eksik yanma) sonucu oluşan ısı kaybı olup bu hesap aşağıdaki gibi yapılır.

$$\Delta H_u = 119\,950(1 - \alpha)L_0 \quad (2.31)$$

Burada hava fazlalık katsayısı daha önce açıklandığı gibi minimum rejim hızında  $\alpha = 0,86$  ve asıl çalışma koşullarında ise  $\alpha = 0,96$  olarak alınmıştır. Bir kg yakıtın yanması için gerekli teorik hava miktar ise  $L_0 = 0.516 \frac{\text{kmol hava}}{\text{kg yakıt}}$  olarak hesaplanmıştır.

$$n = 850$$

$$\Delta H_u = 119950(1 - 86)0,516 = 8665 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$n = 3200, 6000 \text{ ve } 6500$$

$$\Delta H_u = 119950(1 - 96)0,516 = 2476 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

İş gazının(working mixture) yanma ısısı(yanma sonucu açığa çıkan ısı) ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$H_{w.m} = (H_u - \Delta H_u)/[M_1 (1 + \gamma_r)] \quad (2.32)$$

$$n = 850$$

$$H_{w.m} = (43930 - 8665)/[0,4525 \times (1 + 0,0463)] = 74\,485 \text{ kJ/kmol iş gazı}$$

$$n = 3700$$

$$H_{w.m} = (43930 - 2476)/[0,5041 \times (1 + 0,0411)] = 78\,987 \text{ kJ/kmol iş gazı}$$

$$n = 6000$$

$$H_{w.m} = (43930 - 2476)/[0,5041 \times (1 + 0,0427)] = 78\,866 \text{ kJ/kmol iş gazı}$$

$$n = 6500$$

$$H_{w.m} = (43930 - 2476)/[0,5041 \times (1 + 0,0438)] = 78\,782 \text{ kJ/kmol iş gazı}$$

$(mc_V'')_{t_0}^{t_2}$  yanma ürünleri ortalama molar özgül ısısıdır.

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_2} = (1/M_2)[M_{CO_2}(mc_{VCO_2}'')_{t_0}^{t_2} + M_{CO}(mc_{VCO}'')_{t_0}^{t_2} + M_{H_2O}(mc_{VH_2O}'')_{t_0}^{t_2} + M_{H_2}(mc_{VH_2}'')_{t_0}^{t_2} + M_{N_2}(mc_{VN_2}'')_{t_0}^{t_2}] \quad (2.33)$$

Burada her bir gazın sabit hacimde ortalama molar ısı kapasitesi ampirik formüllerle ifade edilmiş olan şekil 2.4' den alınmıştır.

n = 850

$$\begin{aligned} (mc_V'')_{t_0}^{t_z} &= (1/0,4952)[0,0512 (39,123 + 0,003349 t_z) + 0,02 (22,49 \\ &+ 0,00143 t_z) + 0,0625 (26,67 + 0,004438 t_z) + 0,01 (19,678 \\ &+ 0,001758 t_z) + 0,3515 (21,951 + 0,001457 t_z)] \\ &= 24,298 + 0,002033 t_z \text{ kJ/kmol der} \end{aligned}$$

n = 3700, 6000 ve 6500

$$\begin{aligned} (mc_V'')_{t_0}^{t_z} &= (1/0,5360)[0,0655 (39,123 + 0,003349 t_z) + 0,0057 (22,49 \\ &+ 0,00143 t_z) + 0,0696(26,67 + 0,004438 t_z) + 0,0029 (19,678 \\ &+ 0,001758 t_z) + 0,3923 (21,951 + 0,001457 t_z)] \\ &= 24,656 + 0,002077 t_z \text{ kJ/kmol der} \end{aligned}$$

$\xi_z$  yanma süresince ısı iletimi, disosiyasyon ve soğuk silindir cidarları yakınında alev cephesinin sönmesinden dolayı ısı kayıplarını hesaba katan ısı kullanım katsayısıdır. statistik bilgilere göre benzin motorlarında ısı kullanım katsayısı  $\xi_z = 0,80 - 0,95$  arasındadır.  $\xi_z$  deneysel verilerden elde edilip; motor konstrüksiyonu, motor çalışma hızı, soğutma sistemi, yanma odası şekli, karışım oluşturma şekli, hava fazlalık katsayısına bağlı bir değer alır. Şekil 2.1'de motor hızına bağlı değeri verilmiştir.  $\xi_z$  küçük olması karışımın tam olmadığı anlamına gelir.

n = 6000 ve 6500'de  $\xi_z$  değeri genişleme prosesi sırasındaki yanma sonu gazlarından dolayı düşer. n = 850 rpm'de silindir duvarındaki ısı kayıpları ve piston ve silindir arasındaki boşluklardan dolayı aşırı şekilde düşer. Değişen motor devirlerinde  $\xi_z$  değeri Şekil 2.1'den alınmıştır.

**Çizelge 2.13 : Isı kullanım katsayısı.**

| n (rpm) | 850  | 3700 | 6000 | 6500 |
|---------|------|------|------|------|
| $\xi_z$ | 0,80 | 0,93 | 0,89 | 0,87 |

Görünür yanma sonundaki sıcaklık değeri her bir motor devri için aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\xi_z H_{w.m} + (mc'_V)_{t_0}^{t_c} t_c = \mu (mc''_V)_{t_0}^{t_z} t_z \quad (2.34)$$

Burada  $H_{w.m}$  iş gazı(working mixture) yanma ısısı,  $(mc'_V)_{t_0}^{t_c}$  sıkıştırma sonundaki karışımın ortalama mol özgül ısısı ve  $(mc''_V)_{t_0}^{t_z}$  ise yanma ürünleri ortalama molar özgül ısısıdır.

$$n = 850$$

$$0,80 \times 74485 + 22,022 \times 508 = 1,0902(24,298 + 0,002033 t_z) t_z$$

$$0,002216 t_z^2 + 26,490 t_z - 70775 = 0$$

$$t_z = (-26,490 + \sqrt{26,490^2 + 4 \times 0,002216 \times 70775}) / (2 \times 0,002216) = 2249^\circ\text{C}$$

$$T_z = t_z + 273 = 2249 + 273 = 2522 \text{ K}$$

$$n = 3700$$

$$0,93 \times 78987 + 22,016 \times 505 = 1,0608 (24,656 + 0,002077 t_z) t_z$$

$$0,002203 t_z^2 + 26,155 t_z - 84576 = 0$$

$$t_z = (-26,155 + \sqrt{26,155^2 + 4 \times 0,002203 \times 84576}) / (2 \times 0,002203) = 2645^\circ\text{C}$$

$$T_z = t_z + 273 = 2645 + 273 = 2918 \text{ K}$$

$$n = 6000$$

$$0,89 \times 78866 + 22,009 \times 501 = 1,0607(24,656 + 0,002077 t_z) t_z$$

$$0,002203 t_z^2 + 26,153 t_z - 81217 = 0$$

$$t_z = (-26,153 + \sqrt{26,153^2 + 4 \times 0,002203 \times 81217}) / (2 \times 0,002203) = 2555^\circ\text{C}$$

$$T_z = t_z + 273 = 2555 + 273 = 2828 \text{ K}$$

$$n = 6500$$

$$0,87 \times 78782 + 22,010 \times 501 = 1,0606(24,656 + 0,002077 t_z) t_z$$

$$0,002202 t_z^2 + 26,150 t_z - 79567 = 0$$

$$t_z = (-26,150 + \sqrt{26,150^2 + 4 \times 0,002202 \times 79567}) / (2 \times 0,002202) = 2512^\circ\text{C}$$

$$T_z = t_z + 273 = 2512 + 273 = 2785 \text{ K}$$

**Çizelge 2.14 :** Yanma sonundaki sıcaklık değeri.

|          |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|
| n (rpm)  | 850  | 3700 | 6000 | 6500 |
| $T_z(K)$ | 2522 | 2918 | 2828 | 2785 |

Yanmanın sonunda maksimum teorik yanma basıncı  $p_z$ ;

$$p_z = p_c \mu T_z / T_c \quad (2.35)$$

$$n = 850 \quad p_z = 2,1439 \times 1,0902 \times 2522 / 781 = 7,5440 \text{ MPa}$$

$$n = 3700 \quad p_z = 2,0573 \times 1,0608 \times 2918 / 778 = 8,1848 \text{ MPa}$$

$$n = 6000 \quad p_z = 1,8613 \times 1,0607 \times 2828 / 774 = 7,2117 \text{ MPa}$$

$$n = 6500 \quad p_z = 1,8045 \times 1,0606 \times 2785 / 774 = 6,8879 \text{ MPa}$$

**Çizelge 2.15 :** Yanma sonunda maksimum teorik yanma basıncı.

|            |        |        |        |        |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| n (rpm)    | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
| $p_z(MPa)$ | 7,5440 | 8,1848 | 7,2117 | 6,8879 |

Maksimum gerçek yanma basıncı  $p_{za}$  ;

$$p_{za} = 0.85 \ p_z \quad (2.36)$$

$$n = 850 \quad p_{za} = 0.85 \times 7,5440 = 6,4124 \text{ MPa}$$

$$n = 3700 \quad p_{za} = 0.85 \times 8,1848 = 6,9571 \text{ MPa}$$

$$n = 6000 \quad p_{za} = 0.85 \times 7,2117 = 6,1300 \text{ MPa}$$

$$n = 6500 \quad p_{za} = 0.85 \times 6,8879 = 5,8547 \text{ MPa}$$

**Çizelge 2.16 :** Maksimum gerçek yanma basıncı.

|               |        |        |        |        |
|---------------|--------|--------|--------|--------|
| n (rpm)       | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
| $p_{za}(MPa)$ | 6,4124 | 6,9571 | 6,1300 | 5,8547 |

Basınç artış oranı  $\lambda$ ;

$$\lambda = p_z / p_c \quad (2.37)$$

$p_c$  burada sıkıştırma sonu basıncıdır [1,3].

$$n = 850 \quad \lambda = 7,5440 / 2,1439 = 3,519$$

$$n = 3700 \quad \lambda = 8,1848 / 2,0573 = 3,978$$

$$n = 6000 \quad \lambda = 7,2117/1,8613 = 3,875$$

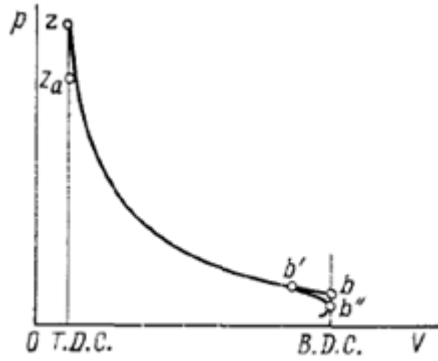
$$n = 6500 \quad \lambda = 6,8879/1,8045 = 3,817$$

**Çizelge 2.17 : Basınç artış oranı.**

| n (rpm)   | 850   | 3700  | 6000  | 6500  |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| $\lambda$ | 3,519 | 3,978 | 3,875 | 3,817 |

## 2.7 Genişleme ve Egzoz Süreçleri

Genişleme sayesinde yakıtın ısı enerjisi mekanik işe çevrilir. Hesapları kolaylaştırmak adına genişleme eğrisi sabit bir  $n_2$  indisi ile politropik bir eğri olarak kabul edilebilir (aşağıdaki  $pV^n = \text{const}$  eğrisi).



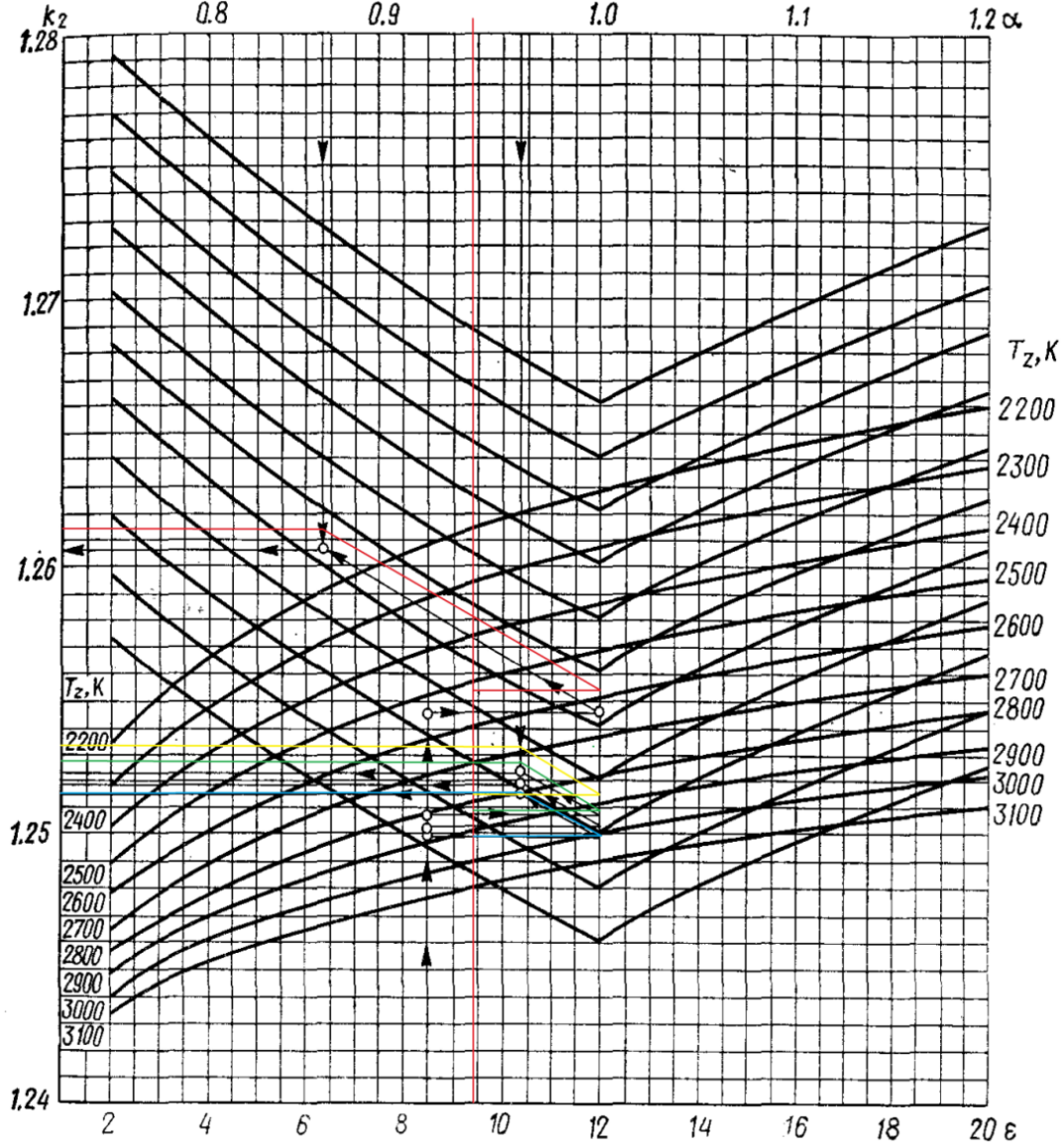
**Şekil 2.5 : Genişleme süreci boyunca basınç değişimi.**

Genişleme politropik üssü  $n_2$  deneysel veriden elde edilip,  $n_2$  ısıdan yararlanma katsayısının artışı, piston stroğunun (S) silindir çapına(B) oranının artışı, ve soğutma oranının artışıyla artar. Motor yükünün artışı ve silindir boyutlarının lineer artışı ile (S/B sabit iken)  $n_2$  azalır. Motorun hızının artışı ile  $n_2$  azalırken bu tüm motor çeşitlerinde ve tüm hızlarda geçerli değildir. Deneysel verilere göre genişleme politropik üssü  $n_2$  ortalama değeri  $k_2$  adyabatik üssüne göre çok az miktarda değişir. Kural olarak  $n_2$ ,  $k_2$ 'nin çok az altında bir değer olup  $\epsilon, \alpha, T_z$  ' den elde edilen  $k_2$  değerinden hesaplanır.

$k_2$  adyabatik üssü aşağıdaki nomograftan belirlenir. Sıkıştırma oranından yukarı bir dikme çıkılır, sıcaklık çizgisine doğru dik çiz, sıcaklık eğrisi boyunca ilerleyip  $\alpha$  ile çakıştırılır ve  $k_2$  eksenine birleştirilir, o nokta  $k_2$  değeridir. Benzinli motorlarda  $n_2 = 1,23 - 1,30$  değerini alır.

**Çizelge 2.18 : Genişleme politropik üssü.**

| n (rpm)  | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|----------|--------|--------|--------|--------|
| $\alpha$ | 0,86   | 0,96   | 0,96   | 0,96   |
| $T_z(K)$ | 2522   | 2918   | 2828   | 2785   |
| $k_2$    | 1,2615 | 1,2515 | 1,2528 | 1,2534 |
| $n_2$    | 1,261  | 1,251  | 1,252  | 1,253  |



**Şekil 2.6 : Benzinli motorlarda genişleme adyabatik üssü  $k_2$  için nomograf.**

Genişleme stroğunun sonundaki basınç ve sıcaklık ise aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir.

$$p_b = p_z / \epsilon^{n_2} \quad (2.38)$$

$$T_b = T_z / \epsilon^{n_2 - 1} \quad (2.39)$$

$$n = 850, p_b = 7,5440/9,4^{1,261} = 0,4472 \text{ MPa}, T_b = 2522/9,4^{1,261-1} = 1405 \text{ K}$$

$$n = 3700, p_b = 8,1848/9,4^{1,251} = 0,4962 \text{ MPa}, T_b = 2918/9,4^{1,251-1} = 1663 \text{ K}$$

$$n = 6000, p_b = 7,2117/9,4^{1,252} = 0,4362 \text{ MPa}, T_b = 2828/9,4^{1,252-1} = 1608 \text{ K}$$

$$n = 6500, p_b = 6,8879/9,4^{1,253} = 0,4157 \text{ MPa}, T_b = 2785/9,4^{1,253-1} = 1580 \text{ K}$$

**Çizelge 2.19 :** Genişleme sonundaki basınç ve sıcaklık.

| n (rpm)     | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|-------------|--------|--------|--------|--------|
| $p_b$ (MPa) | 0,4472 | 0,4962 | 0,4362 | 0,4157 |
| $T_b$ (K)   | 1405   | 1663   | 1608   | 1580   |

İlk hesaplara başlarken öncelikle genişleme stroğu ve egzoz parametreleri olan  $p_r$  ve  $T_r$  bulunmuştu. Egzoz gazların basınç ve sıcaklığı aşağıdaki formülden kontrol edilebilir.

$$T_r' = \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{p_b}{p_r}}} \quad (2.40)$$

$$n = 850 \quad T_r' = \frac{1405}{\sqrt[3]{\frac{0,4472}{0,1038}}} = 863 \text{ K}$$

$$n = 3700 \quad T_r' = \frac{1663}{\sqrt[3]{\frac{0,4962}{0,1090}}} = 1003 \text{ K}$$

$$n = 6000 \quad T_r' = \frac{1608}{\sqrt[3]{\frac{0,4362}{0,1180}}} = 1039 \text{ K}$$

$$n = 6500 \quad T_r' = \frac{1580}{\sqrt[3]{\frac{0,4157}{0,1205}}} = 1045 \text{ K}$$

**Çizelge 2.20 :** Egzoz gazların sıcaklığı.

| n (rpm)    | 850 | 3700 | 6000 | 6500 |
|------------|-----|------|------|------|
| $T_r'$ (K) | 863 | 1003 | 1039 | 1045 |
| $T_r$ (K)  | 900 | 1010 | 1070 | 1080 |

$$n = 850$$

$$\Delta = 100 \times \frac{(T_r' - T_{r-\text{Başlangıç}})}{T_{r-\text{Başlangıç}}} = 100 \times \frac{(863 - 900)}{900} = -4 < \%5$$

$$n = 3700$$

$$\Delta = 100x \frac{(T_r' - T_{r-\text{Başlangıç}})}{T_{r-\text{Başlangıç}}} = 100x \frac{(1003 - 1010)}{1010} = -0,66 < \%5$$

$$n = 6000$$

$$\Delta = 100x \frac{(T_r' - T_{r-\text{Başlangıç}})}{T_{r-\text{Başlangıç}}} = 100x \frac{(1039 - 1070)}{1070} = -2,8 < \%5$$

$$n = 6500$$

$$\Delta = 100x \frac{(T_r' - T_{r-\text{Başlangıç}})}{T_r} = 100x \frac{(1045 - 1080)}{1080} = -3,2 < \%5$$

$T_r'$  ile  $T_r$  arasındaki fark %5 den küçük olması başta ampirik olarak hesaplanan  $T_r$  değerinin kabul edilebilir olduğunu gösterir [1,3].

## 2.8 İndike Parametreler

İndike parametreler teorik ortalama indike basınç  $p_i'$ , indike verim  $\eta_i$ , ve indike özgül yakıt tüketimi  $g_i$  dir.

$$p_i' = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[ \frac{\lambda}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] \quad (2.41)$$

$$n = 850$$

$$p_i' = \frac{2,1439}{9,4 - 1} \left[ \frac{3,519}{1,261 - 1} \left( 1 - \frac{1}{9,4^{1,261-1}} \right) - \frac{1}{1,3693 - 1} \left( 1 - \frac{1}{9,4^{1,3693-1}} \right) \right] \\ = 1,1347 \text{ MPa}$$

$$n = 3700$$

$$p_i' = \frac{2,0573}{9,4 - 1} \left[ \frac{3,978}{1,251 - 1} \left( 1 - \frac{1}{9,4^{1,251-1}} \right) - \frac{1}{1,3757 - 1} \left( 1 - \frac{1}{9,4^{1,3757-1}} \right) \right] \\ = 1,2987 \text{ MPa}$$

$$n = 6000$$

$$p_i' = \frac{1,8613}{9,4 - 1} \left[ \frac{3,875}{1,252 - 1} \left( 1 - \frac{1}{9,4^{1,252-1}} \right) - \frac{1}{1,3772 - 1} \left( 1 - \frac{1}{9,4^{1,3772-1}} \right) \right] \\ = 1,1349 \text{ MPa}$$

$$n = 6500$$

$$p_i' = \frac{1,8045}{9,4 - 1} \left[ \frac{3,817}{1,253 - 1} \left( 1 - \frac{1}{9,4^{1,253-1}} \right) - \frac{1}{1,3772 - 1} \left( 1 - \frac{1}{9,4^{1,3772-1}} \right) \right] \\ = 1,0775 \text{ MPa}$$

Gerçek çevirimin ortalama indike basıncı şu bağıntı ile bulunur:

$$p_i = \varphi_r p_i' \quad (2.42)$$

Burada,  $\varphi_r$  teorik çevrimi geçiş noktalarında yuvarlatarak gerçek çevrime yaklaştırmak için kullanılan yuvarlatma katsayısıdır benzinli motorlarda  $\varphi_r = 0,94 - 0,97$  alınır. Burada  $\varphi_r = 0,96$  alınmıştır [1,3].

$$n = 850 \quad p_i = 0,96 \times 1,1347 = 1,0893 \text{ MPa}$$

$$n = 3700 \quad p_i = 0,96 \times 1,2987 = 1,2468 \text{ MPa}$$

$$n = 6000 \quad p_i = 0,96 \times 1,1349 = 1,0895 \text{ MPa}$$

$$n = 6500 \quad p_i = 0,96 \times 1,0775 = 1,0344 \text{ MPa}$$

**Çizelge 2.21 :** Gerçek çevrimin ortalama indike basıncı.

| n (rpm)      | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|--------------|--------|--------|--------|--------|
| $p_i'$ (MPa) | 1,1347 | 1,2987 | 1,1349 | 1,0775 |
| $p_i$ (MPa)  | 1,0893 | 1,2468 | 1,0895 | 1,0344 |

İndike verim  $\eta_i$ , ve indike özgül yakıt tüketimi  $g_i$  ;

$$\eta_i = p_i l_0 \alpha / (H_u \rho_0 \eta_v) \quad (2.43)$$

$$g_i = 3600 / (H_u \eta_i) \quad (2.44)$$

$$n = 850 \quad \eta_i = 1,0893 \times 14.957 \times 0,86 / (43.93 \times 1,189 \times 0,8690) = 0,3087$$

$$g_i = 3600 / (43.93 \times 0,3087) = 265 \text{ g/(kW h)}$$

$$n = 3700 \quad \eta_i = 1,2468 \times 14.957 \times 0,96 / (43.93 \times 1,189 \times 0,9169) = 0,3738$$

$$g_i = 3600 / (43.93 \times 0,3738) = 219 \text{ g/(kW h)}$$

$$n = 6000 \quad \eta_i = 1,0895 \times 14.957 \times 0,96 / (43.93 \times 1,189 \times 0,9008) = 0,3325$$

$$g_i = 3600 / (43.93 \times 0,3325) = 246 \text{ g/(kW h)}$$

$$n = 6500 \quad \eta_i = 1,0344 \times 14.957 \times 0,96 / (43.93 \times 1,189 \times 0,8883) = 0,3201$$

$$g_i = 3600 / (43.93 \times 0,3201) = 256 \text{ g/(kW h)}$$

**Çizelge 2.22 :** İndike verim ve indike özgül yakıt tüketimi.

| n (rpm)        | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
| $\eta_i$       | 0,3087 | 0,3738 | 0,3325 | 0,3201 |
| $g_i$ (g/kW h) | 265    | 219    | 246    | 256    |

## 2.9 Motor Performans Verileri

$p_m$  mekanik (sürtünme ve yardımcı mekanizmalara giden) ve pompalama kayıplarını içeren ortalama mekanik basınçtır. İlk tasarım hesaplarında  $p_m$ , motor silindir sayısı,  $S/B$  (strok/çap) oranı ve ortalama piston  $w_p$  hızına bağlı olarak ampirik ifadelerden hesaplanır. Altı silindire kadar ve  $S/B \leq 1$  için aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$p_m = 0,034 + 0,0113 v_{pm} \quad (2.45)$$

Bu motorda  $S = 62\text{mm}$  olup, ortalama piston hızı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$v_{pm} = Sn/(3 \times 10^4) = 62 n/(3 \times 10^4) = 0,00207n \text{ m/s} \quad (2.46)$$

$$p_m = 0,034 + 0,0113 \times 0,00207n \quad (2.47)$$

**Çizelge 2.23 : Ortalama mekanik basınç.**

| n (rpm)              | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| $v_{pm}(\text{m/s})$ | 1,76   | 7,65   | 12,40  | 13,43  |
| $p_m(\text{MPa})$    | 0,0539 | 0,1204 | 0,1741 | 0,1858 |

Ortalama efektif basınç  $p_e$  ve mekanik verim  $\eta_m$ :

$$p_e = p_i - p_m \quad (2.48)$$

$$\eta_m = p_e / p_i \quad (2.49)$$

**Çizelge 2.24 : Ortalama efektif basınç ve mekanik verim.**

| n (rpm)           | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| $p_i(\text{MPa})$ | 1,0893 | 1,2468 | 1,0895 | 1,0344 |
| $p_e(\text{MPa})$ | 1,0355 | 1,1264 | 0,9154 | 0,8486 |
| $\eta_m$          | 0,9506 | 0,9034 | 0,8402 | 0,8204 |

Efektif verim ve efektif özgül yakıt tüketimi aşağıdaki formüllerde hesaplanır [1,3].

$$\eta_e = \eta_i \eta_m \quad (2.50)$$

$$g_e = 3600/H_u \eta_e \quad (2.51)$$

**Çizelge 2.25 : Efektif verim ve efektif özgül yakıt tüketimi.**

| n (rpm)             | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| $\eta_i$            | 0,3087 | 0,3738 | 0,3325 | 0,3201 |
| $\eta_e$            | 0,2934 | 0,3377 | 0,2794 | 0,2626 |
| $g_e(\text{g/kWh})$ | 279    | 243    | 293    | 312    |

## 2.10 Silindir ve Motor Ana Parametreleri

Motor hacmi daha önce belirlenmiş olan  $V_1 = 0,954$  l, stoku  $S = 62$  mm ve silindir çapı  $B = 70$  mm'dir.

Silindir hacmi  $V_h = V_1/4 = 0,954/4 = 0,2385$  l olarak hesaplanır.

$$F_p = \pi \times B^2 / 4 = 3,14 \times 70^2 / 4 = 3848 \text{ mm}^2 = 38,48 \text{ cm}^2$$

Efektif güç:

$$N_e = p_e V_1 n / 30 \tau \quad (2.52)$$

Burada  $\tau$  silindir sayısı,  $V_1$ (l) motor hacmini gösterip,  $p_e$ (MPa) ise daha önce bulunan ortalama efektif basınçtır [1,3].

Efektif döndürme momenti(tork);

$$M_e = \frac{3 \times 10^4}{\pi} \times \frac{N_e}{n} \quad (2.53)$$

Yakıt tüketimi kg/saat cinsinden;

$$G_f = N_e \times g_e \times 10^{-3} \quad (2.54)$$

**Çizelge 2.26 :** Yakıt tüketimi kg/saat.

| n (rpm)         | 850    | 3700   | 6000   | 6500   |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| $p_e$ (MPa)     | 1,0355 | 1,1264 | 0,9154 | 0,8486 |
| $N_e$ (kW)      | 7,00   | 33,13  | 43,66  | 43,85  |
| $M_e$ (Nm)      | 78,6   | 85,5   | 69,5   | 64,4   |
| $G_f$ (kg/saat) | 1,954  | 8,040  | 12,809 | 13,684 |

Litre başına motor gücü ise:

$$N_l = N_e / V_1 = 43,66 / 0,954 = 45,765 \text{ kW/l}$$



### 3. ISIL DENGE

#### 3.1 Yakıt ile Motora İletilen Isı

Yakıt ile motora iletilen toplam ısı aşağıdaki gibi bulunur [2].

$$Q_0 = H_u G_f / 3.6 = 43930 G_f / 3.6 = 12203 G_f \quad (3.1)$$

**Çizelge 3.1 :** Yakıt ile motora iletilen toplam ısı.

| n (rpm)         | 850   | 3700  | 6000   | 6500   |
|-----------------|-------|-------|--------|--------|
| $G_f$ (kg/saat) | 1,954 | 8,040 | 12,809 | 13,684 |
| $Q_0$ (J/s)     | 23845 | 98118 | 156302 | 166992 |

#### 3.2 Efektif İşin Isısı

Birim zamandaki efektif işin ısı olarak karşılığı  $Q_e$ :

$$Q_e = 1000 N_e \quad (3.2)$$

**Çizelge 3.2 :** Efektif işin ısısı.

| n (rpm)     | 850  | 3700  | 6000  | 6500  |
|-------------|------|-------|-------|-------|
| $Q_e$ (J/s) | 7000 | 33133 | 43664 | 43851 |

#### 3.3 Soğutucuya Verilen Isı $Q_c$

Soğutucuya verilen ısı aşağıdaki gibi hesaplanır. Burada C, 4 stroklu motorlarda orantı sabiti olup  $C = 0,45 - 0,53$  arasında bir değer alır. Hesap yapılırken  $C = 0,5$  olarak alınmıştır.

B silindir iç çapı olup  $B = 7\text{cm}$  değerini alırken;  $i = 4$  ise silindir sayısını göstermektedir. Ayrıca  $m = 0,6 - 0,7$  dört stroklu motorlarda güç indeksi olup burada  $n = 850$  rpm için  $m = 0,6$  ve diğer hızlar için  $m = 0,65$  olarak hesaplara katılmıştır [2].

$$Q_c = ciB^{1+2m}n^m (H_u - \Delta H_u) / (\alpha \Delta H_u) \quad (3.3)$$

Soğutucuya verilen ısı belirlenen her bir motor devri için aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$n = 850$$

$$Q_c = 0,5 \times 4 \times 7^{1+2 \times 0,6} \times 850^{0,6} (43930 - 8665) / (0,86 \times 43930) = 7726 \text{ J/s}$$

$$n = 3200$$

$$Q_c = 0,5 \times 4 \times 7^{1+2 \times 0,65} \times 3700^{0,65} (43930 - 2476) / (0,96 \times 43930) = 36026 \text{ J/s}$$

$$n = 6000$$

$$Q_c = 0,5 \times 4 \times 7^{1+2 \times 0,65} \times 6000^{0,65} (43930 - 2476) / (0,96 \times 43930) = 49327 \text{ J/s}$$

$$n = 6500$$

$$Q_c = 0,5 \times 4 \times 7^{1+2 \times 0,65} \times 6500^{0,65} (43930 - 2476) / (0,96 \times 43930) = 51962 \text{ J/s}$$

Soğutucuya verilen ısı miktarı aşağıdaki çizelgede özet olarak her devir için gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3 : Soğutucuya verilen ısı.**

| n (rpm)             | 850  | 3700  | 6000  | 6500  |
|---------------------|------|-------|-------|-------|
| $Q_c \text{ (J/s)}$ | 7726 | 36027 | 49328 | 51962 |

### 3.4 Egzoz Isısı $Q_r$

Egzoz ısısı aşağıdaki gibi hesaplanır [2].

$$Q_r = \left( \frac{G_f}{3,6} \right) \times \{ M_2 [(mc_V'')_{t_0}^{tr} + 8,315] t_r - M_1 [(mc_V)_{t_0}^{20} + 8,315] t_0 \} \quad (3.4)$$

$$n = 850$$

$$Q_r = (1,954/3,6) \times \{ 0,4952 \times [24,110 + 8,315] \times 591 - 0,4525 \times [20,775 + 8,315] \times 20 \} = 5008 \text{ J/s}$$

$$n = 3700$$

$$Q_r = (8,040/3,6) \times \{ 0,5360 \times [25,023 + 8,315] \times 730 - 0,5041 \times [20,775 + 8,315] \times 20 \} = 28448 \text{ J/s}$$

$$n = 6000$$

$$Q_r = (12,809/3,6) \times \{ 0,5360 \times [25,176 + 8,315] \times 767 - 0,5041 \times [20,775 + 8,315] \times 20 \} = 47946 \text{ J/s}$$

$$n = 6500$$

$$Q_r = (13,684/3,6) \times \{0,5360 \times [25,200 + 8,315] \times 773 - 0,5041 \times [20,775 + 8,315] \times 20\} = 51668 \text{ J/s}$$

**Çizelge 3.4 : Egzoz ısısı.**

| n (rpm)              | 850  | 3700  | 6000  | 6500  |
|----------------------|------|-------|-------|-------|
| Q <sub>r</sub> (J/s) | 5008 | 28448 | 47946 | 51668 |

Yukarıdaki hesaplarda kullanılmak üzere özgül ısılar aşağıda hesaplanmıştır.

$$t_r = T_r' - 273$$

**Çizelge 3.5 : Egzoz gazlarının sıcaklığı.**

| n (rpm)              | 850 | 3700 | 6000 | 6500 |
|----------------------|-----|------|------|------|
| T <sub>r</sub> ' (K) | 863 | 1003 | 1039 | 1045 |
| t <sub>r</sub> (°C)  | 591 | 730  | 767  | 773  |

$$n = 850 \text{ rpm}, \alpha = 0,86 \text{ ve } t_r = 591^\circ\text{C}$$

$$(mc_V'')_{t_0}^{500} = 23,707 + (23,867 - 23,707)0,01/0,05 = 23,739 \text{ KJ/(kmol der)}$$

500 °C'de  $\alpha = 0,85$  ve  $\alpha = 0,90$  için yanma ürünlerinin özgül ısıları 23,707 ve 23,867 aynı çizelgeden alınmıştır.

$$(mc_V'')_{t_0}^{600} = 24,113 + (24,284 - 24,113)0,01/0,05 = 24,147 \text{ KJ/(kmol der)}$$

600 °C'de  $\alpha = 0,85$  ve  $\alpha = 0,90$  için yanma ürünlerinin özgül ısıları 24,113 ve 24,284 aynı çizelgeden alınmıştır.

$t_c = 591^\circ\text{C}$  de atık gazların ortalama mol özgül ısısı;

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_r} = 23,739 + (24,147 - 23,739)91/100 = 24,110 \text{ KJ/(kmol der)}$$

$$n = 3700 \text{ rpm}, \alpha = 0,96 \text{ ve } t_c = 730^\circ\text{C}$$

$$(mc_V'')_{t_0}^{700} = 24,868 + (25,021 - 24,868)0,01/0,05 = 24,899 \text{ KJ/(kmol der)}$$

700 °C'de  $\alpha = 0,95$  ve  $\alpha = 1$  için yanma ürünlerinin özgül ısıları 24,868 ve 25,021 aynı çizelgeden alınmıştır.

$$(mc_V'')_{t_0}^{800} = 25,280 + (25,441 - 25,280)0,01/0,05 = 25,312 \text{ KJ/(kmol der)}$$

800 °C'de  $\alpha = 0,95$  ve  $\alpha = 1$  için yanma ürünlerinin özgül ısıları 25,280 ve 25,441 aynı çizelgeden alınmıştır.

$t_c = 730^\circ\text{C}$  de atık gazların ortalama mol özgül ısısı;

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_r} = 24,899 + (25,312 - 24,899)30/100 = 25,023 \text{ KJ}/(\text{kmol der})$$

$n = 6000 \text{ rpm}$ ,  $\alpha = 0,96$  ve  $t_r = 767^\circ\text{C}$

$t_r = 767^\circ\text{C}$  de atık gazların ortalama mol özgül ısısı;

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_r} = 24,899 + (25,312 - 24,899)67/100 = 25,176 \text{ KJ}/(\text{kmol der})$$

$n = 6500 \text{ rpm}$ ,  $\alpha = 0,96$  ve  $t_r = 773^\circ\text{C}$

$t_r = 773^\circ\text{C}$  de atık gazların ortalama mol özgül ısısı;

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_r} = 24,899 + (25,312 - 24,899)73/100 = 25,200 \text{ KJ}/(\text{kmol der})$$

$(mc_V)_{t_0}^{20} = 20,775 \text{ KJ}/\text{kmol der}$  ise taze havanın özgül ısısı olup taze havanın özgül ısısının sıcaklıkla değişim çizelgesinden  $t_0 = T_0 - 273 = 20^\circ\text{C}$  için interpolasyon ile bulunmuştur.

### 3.5 Diğer Isılar

Kimyasal olarak yakıtın tam yanmamasından kaynaklanan ısı kaybı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_{ic} = \Delta H_u \times G_f / 3,6 \quad (3.5)$$

**Çizelge 3.6 :** Diğer ısılar.

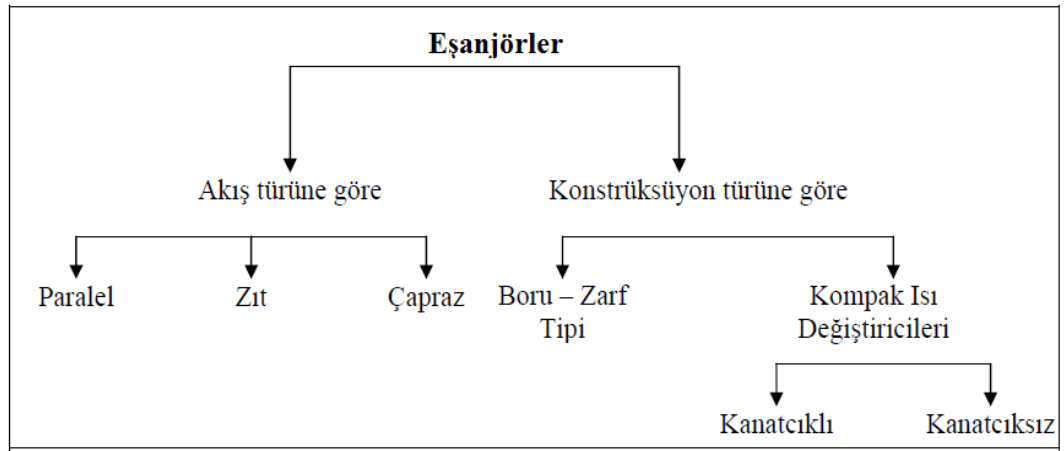
| n (rpm)                | 850  | 3700 | 6000 | 6500 |
|------------------------|------|------|------|------|
| $Q_{ic} \text{ (J/s)}$ | 4703 | 5530 | 8809 | 9411 |

Geri kalan kayıplar  $Q_{etc}$  ise ışıınım vb. kayıplardır [2].

## 4. EŞANJÖR HESAPLARI VE TASARIMI

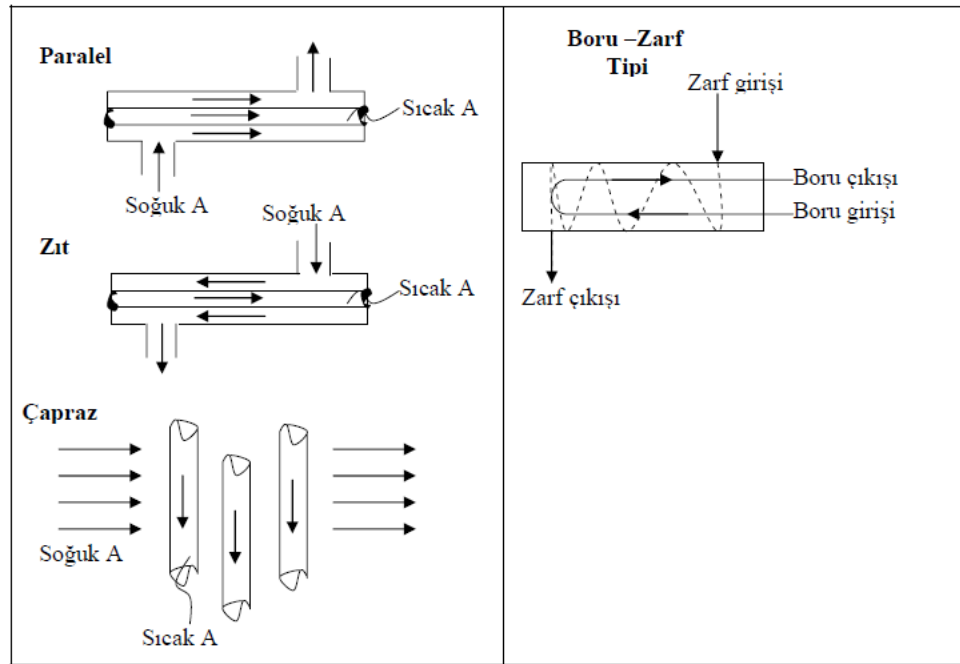
### 4.1 Eşanjör Çeşitleri

Eşanjörler farklı sıcaklıktaki akışkanlar arasında ısı alış verişinin gerçekleştiği cihazdır. Eşanjörler genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılır [4].



Şekil 4.1 : Eşanjörlerin sınıflandırılması.

Bazı eşanjör çeşitleri aşağıdaki şekilde şematik olarak gösterilmiştir.

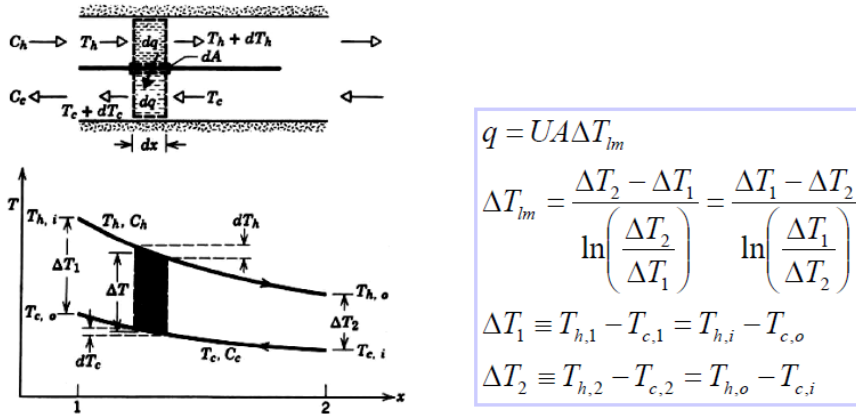


Şekil 4.2 : Isı değiştirgeci türlerine ait şematik gösterimler.

Burada zıt akışlı eşanjör tipi seçilip boyutlandırması ve gerekli hesaplar bu doğrultuda yapılmıştır.

#### 4.1.1 Zıt akışlı eşanjör

Isı değiştirgeçlerinde soğuk ve sıcak akışkanlar aynı veya zıt yönde akabilir. Burada zıt yönde akışın olduğu ısı değiştirgeci seçilmiştir. Zıt akışlı eşanjörde akışkanlar karşıt boru sonlarından girerler, zıt yönde hareket eder ve karşıt boru sonlarından çıkarlar. Bu tür bir ısı değiştirgecinde soğuk akışkanın çıkış sıcaklığı, sıcak akışkanın çıkış sıcaklığını aşabilir. Aşağıda şematik olarak diferansiyel sıcaklık farkı ve sıcak ve soğuk akışkanların sıcaklık değişimi gösterilmiştir [5].



Şekil 4.3 : Karşıt akışlı ısı eşanjörü ve logaritmik ortalama sıcaklık farkı.

#### 4.2 Motor Soğutma Suyu Pompası

Isı denkleminde:

Soğutucudan geçen suyun debisi  $\dot{m}$ (kg/s) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_c = \dot{m}_h \Delta T_m = \dot{m}_h (T_{hi} - T_{ho}) \quad (4.1)$$

Burada zorlanmış akış durumunda motora giren suyun sıcaklık farkı benzinli motorlarda genellikle  $\Delta T_m = 6 - 12$  K arasındadır. Bu motorda ise  $\Delta T_m = 10$  K olarak alınmıştır [2].

Suyun ortalama özgül ısı  $c_h = 4201,4$  J/kg K .

Su debisi;

$$\dot{m}_h = \frac{Q_c}{c_h (T_{hi} - T_{ho})}$$

$$\dot{m}_h = \frac{49328}{4201,4 \times (90 - 80)} = 1,1741 \text{ kg/s}$$

Suyun hacimsel debisi ise;

$$\dot{m}_h = m \rho_1 \quad (4.2)$$

Burada suyun yoğunluğu  $\rho_h = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$m_h = \dot{m}_h / \rho_1$$

$$m_h = \frac{1,1741}{1000} = 0,0011741 \text{ m}^3/\text{s}$$

$m_h = 0,0011741 \text{ m}^3/\text{s}$  su pompasının motordan soğutma suyuna verilen ısıyı soğutabilmesi için gerekli hacimsel debidir. Bu değer motor suyu pompasının yeterli debiyi sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek için kullanılabilir.

#### 4.3 Motor Soğutma Suyu Eşanjörü

Soğutucuya verilen ısı en yüksek güç devrinde 49328 (J/s) olarak hesaplanmıştı. Hesaplanan bu ısıyı soğutmak için gerekli hesaplamalar yapılacaktır. Burada motor soğutma suyu sıcaklıkları aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Ayrıca tatlı suda çalışacak bu motorun dış ortamdan aldığı suyun ortalama sıcaklığı ve yine ortama geri vereceği suyun sıcaklığı aynı çizelgede verilmiştir. Yapılan hesaplardan bu ısının soğutulması için gerekli olan eşanjör yüzey alanı ve pompa debisi hesaplanacaktır.

$$Q_c = 49328 \text{ (J/s)}.$$

**Çizelge 4.1 :** Motor soğutma suyu eşanjörü su sıcaklıkları.

|                                      | Soğutucuya<br>Giriş $T_{hi}$ | Soğutucudan<br>çıkış $T_{ho}$ | Ortalama<br>Sıcaklık |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Motor Soğ. Suyu<br>Sıcaklıkları (°C) | 90                           | 80                            | $T_{hm} = 85$        |

**Çizelge 4.2 :** Motor soğutma suyu eşanjörü tatlı su sıcaklıkları.

|                               | Soğutucuya<br>Giriş $T_{ci}$ | Soğutucudan<br>çıkış $T_{co}$ | Ortalama<br>Sıcaklık |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Tatlı Su<br>Sıcaklıkları (°C) | 20                           | 32                            | $T_{cm} = 26$        |

Motor suyu çıkış sıcaklığı yani soğutucuya giren suyun sıcaklığı ise benzinli motorlarda  $T_{hi} = 353 - 368$  K aralığındadır. Bu motorda motor suyu çıkış sıcaklığı motor verilerinden  $T_{hi} = 90^{\circ}\text{C} = 363$  K olarak alınmıştır.

Soğuk su iç borulardan sıcak su dış borudan akmaktadır. Dış ortamdan alınan tatlı soğutma suyunun değerleri aşağıdaki şekilde verilmiştir. Burada suyun özgül ısısının sıcaklıkla değişimi göz ardı edebilecek kadar az olup yoğunluğunun değişimi hesaba katılmıştır.

| Sıcaklık | Basınç  | Özgül<br>Hacim<br>(m <sup>3</sup> /kg) | Buhar<br>laşma<br>Gizli<br>Isısı | Özgül ısı<br>(Kj/kgK) | Viskozite<br>N.s/m <sup>2</sup> | Termal                           |              | Prandtl Sayısı |        |        |       |       |
|----------|---------|----------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------|----------------|--------|--------|-------|-------|
|          |         |                                        |                                  |                       |                                 | İletkenlik<br>Katsayısı<br>W/m K |              |                |        |        |       |       |
|          |         |                                        |                                  |                       |                                 | $\mu_f 10^6$                     | $\mu_g 10^6$ |                |        |        |       |       |
| T        | P       | $v_f 10^3$                             | $V_g$                            | $h_{fg}$<br>kJ/kg     | $C_{p,f}$                       | $C_{p,g}$                        | $k_f 10^3$   | $k_g 10^3$     | $Pr_f$ | $Pr_g$ |       |       |
| K        | (bar)   |                                        |                                  |                       |                                 |                                  |              |                |        |        |       |       |
| 273.15   | 0.00611 | 1.000                                  | 206.3                            | 2502                  | 4.217                           | 1.854                            | 1750         | 8.02           | 569    | 18.2   | 12.99 | 0.815 |
| 275      | 0.00697 | 1.000                                  | 181.7                            | 2497                  | 4.211                           | 1.855                            | 1652         | 8.09           | 574    | 18.3   | 12.22 | 0.817 |
| 280      | 0.00990 | 1.000                                  | 130.4                            | 2485                  | 4.198                           | 1.858                            | 1422         | 8.29           | 582    | 18.6   | 10.26 | 0.825 |
| 285      | 0.01387 | 1.000                                  | 99.4                             | 2473                  | 4.189                           | 1.861                            | 1225         | 8.49           | 590    | 18.9   | 8.81  | 0.833 |
| 290      | 0.01917 | 1.001                                  | 69.7                             | 2463                  | 4.184                           | 1.864                            | 1080         | 8.69           | 598    | 19.3   | 7.56  | 0.841 |
| 295      | 0.02617 | 1.002                                  | 51.94                            | 2449                  | 4.181                           | 1.868                            | 959          | 8.89           | 606    | 19.5   | 6.62  | 0.849 |
| 300      | 0.03531 | 1.003                                  | 39.13                            | 2438                  | 4.179                           | 1.872                            | 855          | 9.09           | 613    | 19.6   | 5.83  | 0.857 |
| 305      | 0.04712 | 1.005                                  | 29.74                            | 2426                  | 4.178                           | 1.877                            | 769          | 9.29           | 620    | 20.1   | 5.20  | 0.865 |
| 310      | 0.06221 | 1.007                                  | 22.93                            | 2414                  | 4.178                           | 1.882                            | 695          | 9.49           | 628    | 20.4   | 4.62  | 0.873 |
| 315      | 0.08132 | 1.009                                  | 17.82                            | 2402                  | 4.179                           | 1.888                            | 631          | 9.69           | 634    | 20.7   | 4.16  | 0.883 |
| 320      | 0.1053  | 1.011                                  | 13.98                            | 2390                  | 4.180                           | 1.895                            | 577          | 9.89           | 640    | 21.0   | 3.77  | 0.894 |
| 325      | 0.1351  | 1.013                                  | 11.06                            | 2378                  | 4.182                           | 1.903                            | 528          | 10.09          | 645    | 21.3   | 3.42  | 0.901 |
| 330      | 0.1719  | 1.016                                  | 8.82                             | 2366                  | 4.184                           | 1.911                            | 489          | 10.29          | 650    | 21.7   | 3.15  | 0.908 |
| 335      | 0.2167  | 1.018                                  | 7.09                             | 2354                  | 4.186                           | 1.920                            | 453          | 10.49          | 656    | 22.0   | 2.88  | 0.916 |
| 340      | 0.2713  | 1.021                                  | 5.74                             | 2342                  | 4.188                           | 1.930                            | 420          | 10.69          | 660    | 22.3   | 2.66  | 0.925 |
| 345      | 0.3372  | 1.024                                  | 4.683                            | 2329                  | 4.191                           | 1.941                            | 389          | 10.89          | 668    | 22.6   | 2.45  | 0.933 |
| 350      | 0.4163  | 1.027                                  | 3.846                            | 2317                  | 4.195                           | 1.954                            | 365          | 11.09          | 668    | 23.0   | 2.29  | 0.942 |
| 355      | 0.5100  | 1.030                                  | 3.180                            | 2304                  | 4.199                           | 1.968                            | 343          | 11.29          | 671    | 23.3   | 2.14  | 0.951 |
| 360      | 0.6209  | 1.034                                  | 2.645                            | 2291                  | 4.203                           | 1.983                            | 324          | 11.49          | 674    | 23.7   | 2.02  | 0.960 |
| 365      | 0.7514  | 1.038                                  | 2.212                            | 2278                  | 4.209                           | 1.999                            | 306          | 11.69          | 677    | 24.1   | 1.91  | 0.969 |
| 370      | 0.9040  | 1.041                                  | 1.861                            | 2265                  | 4.214                           | 2.017                            | 289          | 11.89          | 679    | 24.5   | 1.80  | 0.978 |
| 373.15   | 1.0133  | 1.044                                  | 1.679                            | 2257                  | 4.217                           | 2.029                            | 279          | 12.02          | 680    | 24.8   | 1.76  | 0.984 |
| 375      | 1.0815  | 1.045                                  | 1.574                            | 2252                  | 4.220                           | 2.036                            | 274          | 12.09          | 681    | 24.9   | 1.70  | 0.987 |
| 380      | 1.2849  | 1.049                                  | 1.337                            | 2239                  | 4.226                           | 2.057                            | 260          | 12.29          | 683    | 25.4   | 1.61  | 0.999 |
| 385      | 1.5233  | 1.053                                  | 1.142                            | 2225                  | 4.232                           | 2.080                            | 248          | 12.49          | 685    | 25.8   | 1.53  | 1.004 |
| 390      | 1.794   | 1.058                                  | 0.980                            | 2212                  | 4.239                           | 2.104                            | 237          | 12.69          | 686    | 26.3   | 1.47  | 1.013 |
| 400      | 2.455   | 1.067                                  | 0.731                            | 2183                  | 4.256                           | 2.158                            | 217          | 13.05          | 688    | 27.2   | 1.34  | 1.033 |
| 410      | 3.302   | 1.077                                  | 0.555                            | 2153                  | 4.278                           | 2.221                            | 200          | 13.42          | 688    | 28.2   | 1.24  | 1.054 |
| 420      | 4.370   | 1.088                                  | 0.425                            | 2123                  | 4.302                           | 2.291                            | 185          | 13.79          | 688    | 29.8   | 1.16  | 1.075 |
| 430      | 5.699   | 1.099                                  | 0.331                            | 2091                  | 4.331                           | 2.369                            | 173          | 14.14          | 685    | 30.4   | 1.09  | 1.10  |
| 440      | 7.333   | 1.110                                  | 0.261                            | 2059                  | 4.36                            | 2.46                             | 162          | 14.50          | 682    | 31.7   | 1.04  | 1.12  |
| 450      | 9.319   | 1.123                                  | 0.208                            | 2024                  | 4.40                            | 2.56                             | 151          | 14.85          | 678    | 33.1   | 0.99  | 1.14  |
| 460      | 11.71   | 1.137                                  | 0.167                            | 1989                  | 4.44                            | 2.68                             | 143          | 15.19          | 673    | 34.6   | 0.95  | 1.17  |
| 470      | 14.55   | 1.152                                  | 0.136                            | 1951                  | 4.48                            | 2.79                             | 136          | 15.54          | 667    | 36.3   | 0.92  | 1.20  |
| 480      | 17.90   | 1.167                                  | 0.111                            | 1912                  | 4.53                            | 2.94                             | 129          | 15.88          | 660    | 38.1   | 0.89  | 1.23  |
| 490      | 21.83   | 1.184                                  | 0.0922                           | 1870                  | 4.59                            | 3.10                             | 124          | 16.23          | 651    | 40.1   | 0.87  | 1.25  |
| 500      | 26.40   | 1.203                                  | 0.0766                           | 1825                  | 4.66                            | 3.27                             | 118          | 16.59          | 642    | 42.3   | 0.86  | 1.28  |
| 510      | 31.66   | 1.222                                  | 0.0631                           | 1779                  | 4.74                            | 3.47                             | 113          | 16.95          | 631    | 44.7   | 0.85  | 1.31  |
| 520      | 37.70   | 1.244                                  | 0.0525                           | 1730                  | 4.84                            | 3.70                             | 108          | 17.33          | 621    | 47.5   | 0.84  | 1.35  |
| 530      | 44.58   | 1.268                                  | 0.0445                           | 1679                  | 4.95                            | 3.96                             | 104          | 17.72          | 608    | 50.6   | 0.85  | 1.39  |
| 540      | 52.38   | 1.294                                  | 0.0375                           | 1622                  | 5.08                            | 4.27                             | 101          | 18.1           | 594    | 54.0   | 0.86  | 1.43  |
| 550      | 61.19   | 1.323                                  | 0.0317                           | 1564                  | 5.24                            | 4.64                             | 97           | 18.6           | 580    | 58.3   | 0.87  | 1.47  |
| 560      | 71.08   | 1.355                                  | 0.0269                           | 1499                  | 5.43                            | 5.09                             | 94           | 19.1           | 563    | 63.7   | 0.90  | 1.52  |
| 570      | 82.16   | 1.392                                  | 0.0228                           | 1429                  | 5.68                            | 5.67                             | 91           | 19.7           | 548    | 76.7   | 0.94  | 1.59  |
| 580      | 94.51   | 1.433                                  | 0.0193                           | 1353                  | 6.00                            | 6.40                             | 88           | 20.4           | 528    | 76.7   | 0.99  | 1.68  |
| 590      | 108.3   | 1.482                                  | 0.0163                           | 1274                  | 6.41                            | 7.35                             | 84           | 21.5           | 513    | 84.1   | 1.05  | 1.84  |
| 600      | 123.5   | 1.541                                  | 0.0137                           | 1176                  | 7.00                            | 8.75                             | 81           | 22.7           | 497    | 92.9   | 1.14  | 2.15  |
| 610      | 137.3   | 1.612                                  | 0.0115                           | 1068                  | 7.85                            | 11.1                             | 77           | 24.1           | 467    | 103    | 1.30  | 2.60  |
| 620      | 159.1   | 1.705                                  | 0.0094                           | 941                   | 9.35                            | 15.4                             | 72           | 25.9           | 444    | 114    | 1.52  | 3.46  |
| 625      | 169.1   | 1.778                                  | 0.0085                           | 858                   | 10.6                            | 18.3                             | 70           | 27.0           | 430    | 121    | 1.65  | 4.20  |
| 630      | 179.7   | 1.856                                  | 0.0075                           | 781                   | 12.6                            | 22.1                             | 67           | 28.0           | 412    | 130    | 2.0   | 4.8   |
| 635      | 190.9   | 1.935                                  | 0.0066                           | 683                   | 16.4                            | 27.6                             | 64           | 30.0           | 392    | 141    | 2.7   | 6.0   |
| 640      | 202.7   | 2.075                                  | 0.0057                           | 560                   | 26                              | 42                               | 59           | 32.0           | 367    | 155    | 4.2   | 9.6   |
| 645      | 215.2   | 2.351                                  | 0.0045                           | 361                   | 90                              | —                                | 54           | 37.0           | 331    | 178    | 12    | 26    |
| 647.3°   | 221.2   | 3.170                                  | 0.0032                           | 0                     | ∞                               | ∞                                | 45           | 45.0           | 238    | 238    | ∞     | ∞     |

Şekil 4.4 : Suyun özelliklerinin sıcaklıkla değişimi.

Suyun özelliklerinin sıcaklıkla değişim şekilde yukarıda verilmiştir. Burada suyun sıcaklık ile değişen ısıl iletkenlik katsayısı  $k$  (W/m K), vizkozite  $\mu$  (N.s/m<sup>2</sup>) ve prandlt sayısı  $p_r$ 'dir. Bu değerler suyun özellikleri çizelgesinden enterpolasyonla hesaplanmıştır [6].

**Çizelge 4.3 :** Motor soğutma suyu eşanjöründe suyun özellikleri.

|                              | 26 °C 'deki suyun<br>değerleri | 85°C 'deki suyun<br>değerleri |
|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| $c_p$ (J/kg K)               | 4179,4                         | 4201,4                        |
| $\rho$ ( kg/m <sup>3</sup> ) | 997                            | 968                           |
| $k$ (W/m K)                  | 0,6116                         | 0,6728                        |
| $\mu$ (N. s/m <sup>2</sup> ) | $876 \times 10^{-6}$           | $331,6 \times 10^{-6}$        |
| $p_r$                        | 5,988                          | 2,068                         |

Eşanjördeki tatlı soğutma suyunun sıcaklıkları aşağıda verilmiştir. Tatlı suyun motor suyu soğutma eşanjöründen 32°C’de çıktığını düşünürsek tatlı su debisi aşağıdaki gibi hesaplanır.

**Çizelge 4.4 :** Motor sogutma suyu eşanjörü logaritmik ortalama sıcaklık farkı.

|                               | Soğutucuya<br>Giriş $T_{ci}$ | Soğutucudan çıkış<br>$T_{co1}$ | Logaritmik<br>ort. sıcaklık<br>farkı |
|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Tatlı Su<br>Sıcaklıkları (°C) | 20                           | 32                             | $T_{lm} = 60$                        |

$$Q_c = \dot{m}_c c_c (T_{co} - T_{ci})$$

$$\dot{m}_c = \frac{Q_c}{c_c (T_{co1} - T_{ci})}$$

$$\dot{m}_c = \frac{49328}{4179,4 \times (32 - 20)} = 0,9856 \text{ kg/s}$$

Suyun hacimsel debisi ise;

$$\dot{m}_c = m_c \rho_{26}$$

$$m_c = \dot{m}_c / \rho_{26}$$

$$m_c = \frac{0,9856}{997} = 0,0009865 \text{ m}^3/\text{s}$$

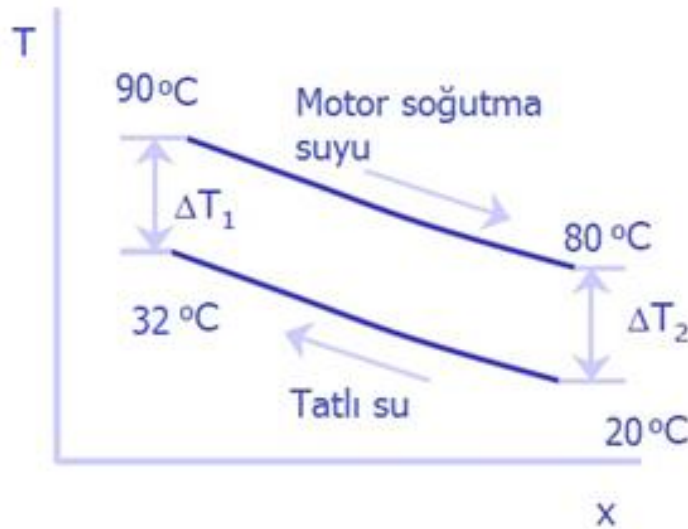
$m_c = 0,0009865 \text{ m}^3/\text{s}$  tatlı su pompasının motordan soğutma suyuna verilen ısıyı soğutabilmesi için gerekli hacimsel debidir.

Zıt akışlı eş merkezli ısı değiştirgecinin iç çapı  $D_i$  ve dış çapı  $D_o$  dizayn ve üretilebilirlik göz önüne alınarak aşağıdaki gibi seçilmiştir. Ayrıca motor soğutma suyu eşanjöründe  $\delta_1 = 3 \text{ mm}'$  lik çelik boru kullanılmıştır.

**Çizelge 4.5 : Motor soğutma suyu eşanjör boru çapları.**

| Eşanjör iç çap $D_i$ | Eşanjör dış çap $D_o$ |
|----------------------|-----------------------|
| 25 mm                | 45 mm                 |

Motor soğutma suyu ve tatlı suyun eşanjöre giriş ve çıkış sıcaklıkları aşağıdaki şekilde belirtilmiş olup logaritmik ortalama sıcaklık farkı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.



**Şekil 4.5 : Motor soğutma suyu için zıt akışlı eşanjör.**

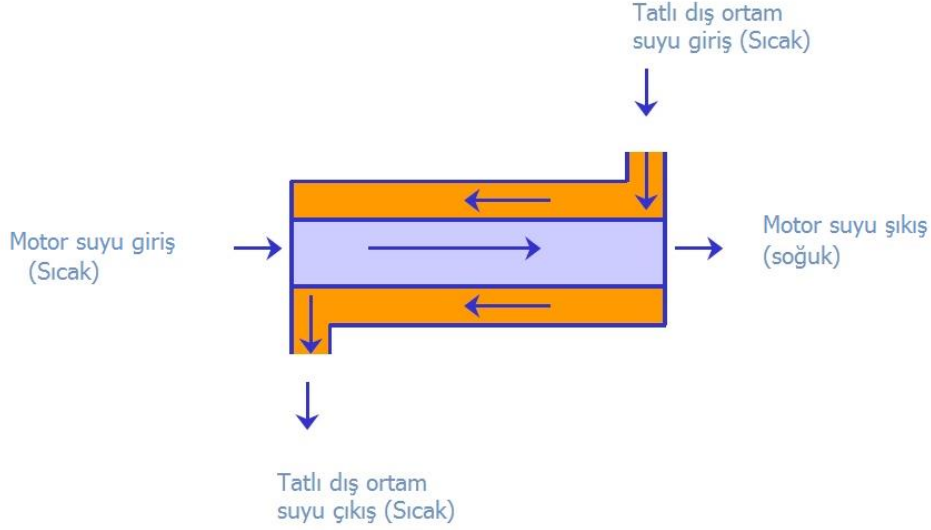
$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} \quad (4.3)$$

$$\Delta T_1 = 90 - 32 = 58 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 80 - 20 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{60 - 58}{\ln\left(\frac{60}{58}\right)} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$



**Şekil 4.6 :** Motor soğutma suyu eşanjörü şematik gösterimi

Bu veriler ışığında gerekli ısı değiştirgeci uzunluğu aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_c = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad (4.4)$$

$$A = \pi D_i L \quad (4.5)$$

Burada  $U$  ( $W/m^2 K$ ) ısı iletim katsayısı olup aşağıda hesaplama şekli verilmiştir.

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{h_o}\right)} \quad (4.6)$$

Burada da  $h_o$  ( $W/m^2 K$ ) motor suyundan soğutucu duvarına ısı iletim katsayısı,  $h_i$  ( $W/m^2 K$ ) tatlı sudan soğutucu duvarına ısı iletim katsayısı,  $\delta_1$  (m) soğutucu duvarı kalınlığı ve  $\lambda_1$  ( $W/m^2 K$ ) soğutucu duvar malzemesi ısı iletkenlik katsayısıdır. Genelde hesaplarda ortadaki terim göz ardı edilir.

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}\right)}$$

$$Re_D = \frac{\rho u_m D}{\mu} \quad (4.7)$$

$$\dot{m} = \rho A u_m \quad (4.8)$$

$$Re_D = \frac{4\dot{m}_c}{\pi D_i \mu} \quad (4.9)$$

Burada  $\rho$  akışkan yoğunluğu,  $u_m$  boru kesitalanında ortalama akışkan hızı,  $D$  boru çapı ve  $\mu$  akışkan viskozitesidir. Reynold sayısı atalet ve viskoz kuvvetlerin oranıdır ve akışın laminar yada türbülanslı oluşu bu oranın aldığı değerle belirlenebilir. Re aşağıdaki değerlerin arasında yer alıyor ise akış geçiş bölgesindedir.

**Çizelge 4.6 : Reynold Sayısı.**

| Re < 2300    | Re > 10000       |
|--------------|------------------|
| Laminar akış | Türbülanslı akış |

$$Re_D = \frac{4\dot{m}_c}{\pi D_i \mu} = \frac{4 \times 0,9856}{\pi \times 0,025 \times 876 \times 10^{-6}} = 57301,6$$

Re = 57301,6 > 10000 olup akış türbülanslıdır.

Nusselt sayısı;

$$Nu_D = \frac{hD}{k} \quad (4.10)$$

Burada  $h$  ısı transfer katsayısıdır. Nusselt sayısı yüzeydeki boyutsuz sıcaklık gradyeni gösterir. Laminar akışta Nusselt sayısı sabittir fakat türbülanslı akışta Reynold sayısı ve Prandtl sayısının bir fonksiyonudur [3].

**Çizelge 4.7 : Nusselt sayısı.**

| Bağıntı                         | Koşullar                                                                                                       |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Nu_D = 4.36$                   | Laminar, sabit $\dot{q}$ , $p_r > 0,6$                                                                         |
| $Nu_D = 3.66$                   | Laminar, sabit yüzeysıcaklığı,<br>$p_r > 0,6$                                                                  |
| $Nu_D = 0,023 Re_D^{4/5} p_r^n$ | Türbülanslı, $0,6 < p_r < 160$ , $Re > 10000$ , $L/D > 10$ , ısıtma için $n = 0,4$ ,<br>soğutma için $n = 0,3$ |

$$Nu_D = 0,023 Re_D^{4/5} p_r^n \quad (4.11)$$

$$Nu_D = 0,023 \times 57301,6^{4/5} \times 5,988^{0,4} = 301$$

$h_i$  (W/m<sup>2</sup> K) tatlı sudan soğutucu duvarına ısı iletim katsayısı;

$$h_i = Nu_D \frac{k}{D_i}$$

$$h_i = 301 \times \frac{0,6116}{0,025} = 7364 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$h_i = 7364 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Motor soğutma suyu boru dışından aktığı için hidrolik çap değeri göz önüne alınır.

$$D_h = \frac{4 \left( \frac{\pi}{4} \right) (D_o^2 - D_i^2)}{\pi D_o + \pi D_i} = D_o - D_i \quad (4.12)$$

$$D_h = D_o - D_i = 0,045 - 0,031 = 0,014 \text{ m}$$

$$Re_D = \frac{\rho u_m D_h}{\mu} = \frac{\rho (D_o - D_i)}{\mu} \frac{\dot{m}_h}{\rho \pi (D_o^2 - D_i^2)/4} \quad (4.13)$$

$$Re_D = \frac{4 \dot{m}_h}{\pi (D_o + D_i) \mu} = Re_D = \frac{4 \times 1,1741}{\pi (0,045 + 0,031) \times 331,6 \times 10^{-6}} = 59318,1$$

$Re = 59318,1 > 10000$  olup akış türbülanslıdır.

Yine laminar akışta Nusselt sayısı sabittir fakat türbülanslı akışta Reynold sayısı ve Prandtl sayısının bir fonksiyonudur. Motor suyu soğutulduğu için soğutma için  $n = 0,3$  kullanılır.

$$Nu_D = 0,023 Re_D^{4/5} Pr^n$$

$$Nu_D = 0,023 \times 59318,1^{4/5} \times 2,068^{0,3} = 188,3$$

$h_o$  (W/m<sup>2</sup> K) motor suyundan soğutucu duvarına ısı iletim katsayısı;

$$h_o = Nu_D \frac{k}{D_h}$$

$$h_o = 188,3 \times \frac{0,6728}{0,014} = 9049 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$h_o = 9049 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Daha önce de bahsedildiği gibi iletme ait terim genellikle ihmal edilir, bu durumda karma ısı iletim katsayısı;

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}\right)} = U = \frac{1}{\left(\frac{1}{7364} + \frac{1}{9049}\right)} = 4060 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$U = 4060 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Buradan gerekli boru uzunluğu L olup aşağıdaki gibi hesaplanır [3].

$$Q_c = U A \Delta T_{lm} = U (\pi D_i L) \Delta T_{lm} \quad (4.14)$$

$$A = \pi D_i L$$

$$L = \frac{Q_c}{U (\pi D_i) \Delta T_{lm}} = \frac{49328}{4060 (\pi 0,025) 60} = 2,57 \text{ m} \quad (4.15)$$

$$L = 2,5 \text{ m}$$

Yeterli yer olmaması nedeni ile boru uzunluğu düz 2,5 m'lik bir boru yerine makina dairesinin şekli ve kısıtlar göz önüne alınarak tasarımda bu uzunluk daha efektif bir biçimde kullanılacaktır.

Eşanjör boyutunun 0,5 m olduğunu varsayarsak boru sayısı  $n = 5$  olarak hesaplanır.

$$n = \frac{L}{0,5} = \frac{2,5}{0,5} = 5$$

#### 4.4 Egzoz Gazları için Eşanjör

Egzoz verilen ısı daha önce  $Q_r = 47946 \text{ (J/s)}$  olarak hesaplanmıştı. Egzoz gazlarını soğutacak bir eşanjör için gerekli hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılır.

Egzoz gazı debisini bulmak için motorun bu devirdeki yakıt tüketimini bilinmeli ve hava yakıt oranı kullanılarak toplam egzoz gazı debisi  $m_{\text{egzoz}} \text{ (kg/s)}$  bulunabilir.

Daha önce saatte yakıt tüketimi motor ana parametreleri bulunurken her bir devir için hesaplanmıştı. Maksimum güç noktasında bu değer aşağıdaki gibidir. Ayrıca daha önce hesaplanan hava yakıt oranı  $l_0$  da havanın debisi bulunurken kullanılmıştır [7,8].

$$G_f = 12,809 \text{ kg/saat} = 12,809 / 3600 = 3,56 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$m_{\text{yakıt}} = 12,809 / 3600 = 3,56 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$l_0 = 14,957 \frac{\text{kg hava}}{\text{kg yakıt}}$$

$$l_0 = \frac{m_{hava}}{m_{yakıt}} = \frac{m_{hava}}{3,56 \times 10^{-3}} = 14,957$$

$$m_{hava} = 0,053247 \text{ kg/s}$$

$$m_{egzoz} = m_{hava} + m_{yakıt} = 0,053247 + 3,56 \times 10^{-3} = 0,056807 \text{ kg/s}$$

Egzoz gazlarının debisi  $\dot{m}_{egzoz} = 0,056807 \text{ kg/s}$  olarak hesaplanır.

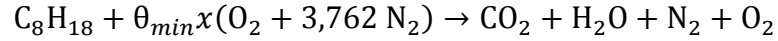
Egzoz gazların sıcaklığı daha önce her bir motor devri için bulunmuştu. Hesaplarda maksimum güçteki sıcaklık kullanılacaktır.

$$T_r' = 1039K, \quad t_r = 767^\circ C$$

$$T_{egzoz} = 767^\circ C$$

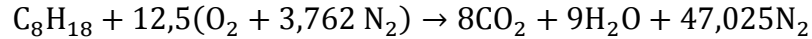
#### 4.4.1 Egzoz gazının termofiziksel özellikleri

Egzoz gazlarının termofiziksel özellikleri eşanjör tasarlarken kullanılacaktır [7,8]. Aşağıda egzoz gazlarının her birinin mol oranları hesaplanmıştır. Hava fazlalık katsayısı  $\alpha = 0,96$  bu hesaplarda 1 olarak alınmıştır.



$$\theta_{min} = c + 0,25xh = 8 + 0,25 \times 18 = 12,5$$

Yakıttaki karbon sayısı c ve hidrojenin sayısı h'dir. Denklem aşağıdaki gibi düzenlenir.



Hava yakıt oranı ise daha önce hesaplanmış olup aşağıdaki gibidir.

$$l_0 = 14,9 \frac{\text{kg hava}}{\text{kg yakıt}}$$

Bu özelliklere dayanarak ve maksimum güç noktasında (6000 devir) egzoz gazı değerleriyle yani;  $T_{egzoz} = 767^\circ C$  ve EK A [9]'daki çizelgedeki bilgiler enterpolasyonla bu sıcaklık için bulunup aşağıda yapılan hesaplamalarla egzoz gazının termodinamik özellikleri bulunur [8,10].

**Çizelge 4.8 :** Egzoz gazının termodinamik özellikleri.

|                          | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | N <sub>2</sub> | Egzoz       |
|--------------------------|-----------------|------------------|----------------|-------------|
| M                        | 44,0098         | 18,1520          | 28,0134        |             |
| N                        | 8               | 9                | 47,025         |             |
| c <sub>p</sub> (J/kg K)  | 1244,4          | 2320             | 1175           | 1290,4      |
| ρ ( kg/m <sup>3</sup> )  | 0,5166          | 0,2111           | 0,3288         | 0,3544      |
| k (W/m K)                | 0,0731188       | 0,1026           | 0,067921       | 0,07201     |
| μ (N. s/m <sup>2</sup> ) | 0,000042396     | 0,000039128      | 0,00004267     | 0,000042301 |
| v (m <sup>2</sup> /s)    | 0,000082071     | 0,00018534       | 0,00013158     | 0,0001268   |
| p <sub>r</sub>           | 0,7218          | 0,8857           | 0,7384         | 0,7483      |

Egzoz gazının termofiziksel özellikleri aşağıdaki gibi bulunur [7].

$$c_{p-egzoz} = \frac{\sum M_i x_{N_{xi}} c_{pi}}{\sum M_i x_{N_{xi}}} = \frac{2351825,5}{1832,78} = 1290,4$$

$$\rho_{egzoz} = \frac{\sum M_i x_{N_{xi}} \rho_i}{\sum M_i x_{N_{xi}}} = \frac{701,1}{1832,78} = 0,3544$$

$$k_{egzoz} = \frac{\sum M_i x_{N_{xi}} k_i}{\sum M_i x_{N_{xi}}} = \frac{128,4}{1832,78} = 0,07201$$

$$\mu_{egzoz} = \frac{\sum M_i x_{N_{xi}} \mu_i}{\sum M_i x_{N_{xi}}} = \frac{0,0800562}{1832,78} = 0,000042301$$

$$v_{egzoz} = \frac{\sum M_i x_{N_{xi}} v_i}{\sum M_i x_{N_{xi}}} = \frac{0,2532961}{1832,78} = 0,0001268$$

#### 4.4.2 Egzoz eşanjörü soğutma suyu pompası

Soğutucudan geçen suyun debisi  $\dot{m}$ (kg/s) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_r = \dot{m} c_c \Delta T_m = \dot{m} c_c (T_{co} - T_{ci})$$

Burada zorlanmış akış durumunda egzoz eşanjörüne giren suyun sıcaklık farkı  $\Delta T_m = 6$  K olarak seçilmiştir. Suyun ortalama özgül ısısı  $c_c = 4179,4$  J/kg K bir sonraki adımda 26 °C için hesaplanmıştır.

Su debisi;

$$\dot{m}_c = \frac{Q_r}{c_c(T_{co} - T_{ci})}$$
$$\dot{m}_c = \frac{47946}{4179,4 \times (26 - 20)} = 1,912 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$
$$\dot{m}_c = 1,912 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Suyun hacimsel debisi ise;

$$\dot{m}_c = m \rho_{30}$$

Burada suyun yoğunluğu  $\rho_{26} = 998 \text{ kg/m}^3$

$$m_c = \dot{m}_c / \rho_{30}$$
$$m_c = \frac{1,912}{998} = 0,001916 \text{ m}^3/\text{s}$$

$m_c = 0,001916 \text{ m}^3/\text{s}$  tatlı su pompasının egzozdan eşanjöre verilen ısıyı soğutabilmesi için gerekli hacimsel debidir.

#### 4.4.3 Egzoz gazları eşanjörü boyutları

Dışarıdan tatlı su kaynağından alınan su ayrı bir hatla bu eşanjöre yollanmıştır. Burada sıcak egzoz gazları iç borulardan soğuk tatlı dış ortam suyu ise dış borudan geçmektedir.

Egzoz gazı debisi daha önce  $\dot{m}_{\text{egzoz}} = 0,056807 \text{ kg/s}$  olarak ve tatlı su soğutma suyunun debisi ise daha önce  $\dot{m}_c = 1,912 \text{ kg/s}$  olarak hesaplanmıştı.

Eşanjördeki tatlı soğutma suyunun sıcaklıkları aşağıda verilmiştir. Tatlı suyun motor suyu soğutma eşanjöründen  $26^\circ\text{C}$  'de çıktığı düşünülerek tatlı su debisi yukarıda hesaplanmıştı.

**Çizelge 4.9 :** Egzoz eşanjörü logaritmik ortalama sıcaklık farkı.

|                                               | Soğutucuya<br>Giriş $T_{ci}$ | Soğutucudan<br>çıkış $T_{co}$ | Logaritmik<br>ortalama<br>sıcaklık |
|-----------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Tatlı Su<br>Sıcaklıkları ( $^\circ\text{C}$ ) | 20                           | 26                            | $T_{lm} = 308$                     |

Egzoz gazlarını soğutmak için dışardan tatlı su kaynağından alınan suyun 20 °C ve eşanjörden çıkış sıcaklığının ise 26 °C derece olarak alınıp boyutlandırma bu değerlere göre yapılmıştır [10].

**Çizelge 4.10 : Su ve egzoz gazının özellikleri.**

|                              | 23°C' deki suyun<br>değerleri | $T_{egzoz-i} = 767^{\circ}\text{C}$ 'deki<br>egzoz gazı |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------|
| $c_p$ (J/kg K )              | 4181                          | 1290,4                                                  |
| $\rho$ ( kg/m <sup>3</sup> ) | 998                           | 0,3544                                                  |
| $k$ (W/m K)                  | 0,606                         | 0,07201                                                 |
| $\mu$ (N.s/m <sup>2</sup> )  | $959 \times 10^{-6}$          | 0,000042301                                             |
| $\gamma$ (m <sup>2</sup> /s) |                               | 0,0001268                                               |
| $Pr$                         | 6,62                          | 0,7483                                                  |

Egzoz gazı çıkış sıcaklığını bulalım. Egzoz ile verilen ısı daha önce  $Q_r = 47946$  (J/s) olarak hesaplanmıştı.

$$\dot{m}_{egzoz} = 0,056807 \text{ kg/s}$$

$$T_{egzoz-i} = 767^{\circ}\text{C}$$

$$Q_r = \dot{m}_{eg} c_{p-eg} (T_{eg-i} - T_{eg-o})$$

$$47946 = 0,056807 \times 1283,2 (767 - T_{eg-o})$$

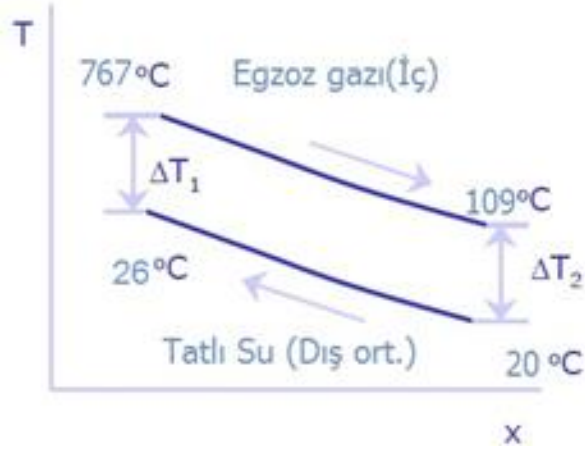
$$T_{eg-o} = 109^{\circ}\text{C}$$

Zıt akışlı eş merkezli ısı değiştirgecinin iç çapı  $D_i$  ve dış çapı  $D_o$  dizayn ve üretilebilirlik göz önüne alınarak aşağıdaki gibi seçilmiştir.

**Çizelge 4.11 : Egzoz eşanjörü boru çapları.**

| Eşanjör iç çap $D_i$ | Eşanjör dış çap $D_o$ |
|----------------------|-----------------------|
| 20 mm                | 40 mm                 |

Egzoz gazının ve tatlı suyun eşanjöre giriş ve çıkış sıcaklıkları aşağıdaki şekilde belirtilmiş olup logaritmik ortalama sıcaklık farkı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.



Şekil 4.7 : Egzoz eşanjörü sıcaklıkları.

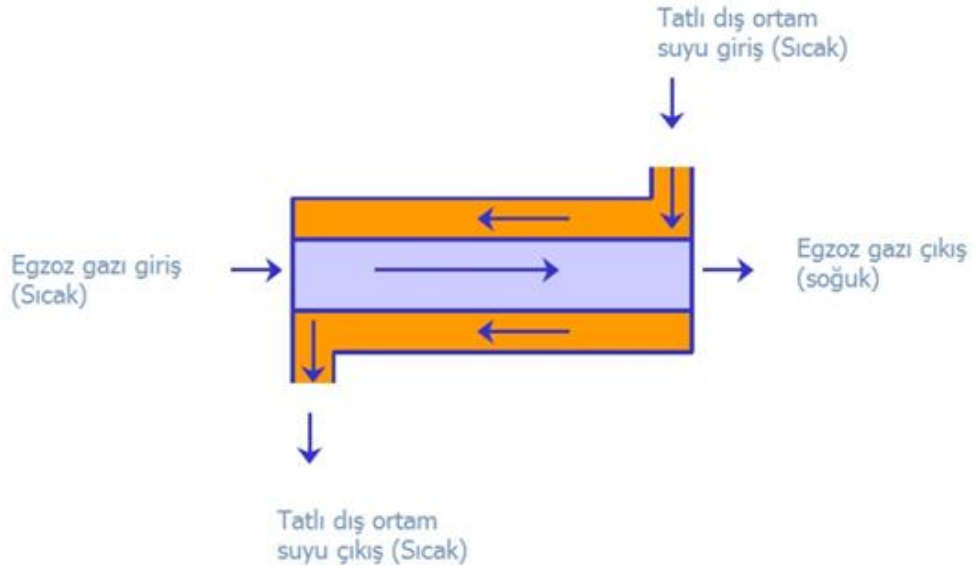
$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$\Delta T_1 = 767 - 26 = 741 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_2 = 109 - 20 = 89 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{741 - 89}{\ln\left(\frac{741}{89}\right)} = 308 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{lm} = 308 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Şekil 4.8 : Egzoz gazı eşanjörü şematik gösterimi

Bu veriler ışığında gerekli ısı değiştirgeci uzunluğu aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_r = UA \Delta T_{lm}$$

$$A = \pi D_i L$$

Burada  $U(W/m^2 K)$  ısı iletim katsayısı olup aşağıda hesaplama şekli verilmiştir.

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{h_o}\right)}$$

Burada da  $h_i(W/m^2 K)$  egzoz gazlarından soğutucu duvarına ısı iletim katsayısı,  $h_o(W/m^2 K)$  tatlı sudan soğutucu duvarına ısı iletim katsayısı,  $\delta_1(m)$  soğutucu duvarı kalınlığı ve  $\lambda_1(W/m^2 K)$  soğutucu duvar malzemesi ısı iletkenlik katsayısıdır.

Egzoz manifoldunun çapı  $D_{egzoz} = 20 \text{ mm}$  olarak alınmıştır [6].

$$Re_D = \frac{\rho u_m D}{\mu}$$

$$\dot{m} = \rho A u_m$$

$$Re_D = \frac{4\dot{m}_{eg}}{\pi D_i \mu}$$

Reynolds sayısı,

$$Re_D = \frac{4\dot{m}_{eg}}{\pi D_i \mu} = \frac{4 \times 0,056807}{\pi \times 0,02 \times 0,000042301} = 85493,2$$

$Re = 85493,2 > 10000$  olup akış türbülanslıdır.

Soğutma suyu eşanjöründe pürüzsüz yüzede türbülanslı akış için Nusselt sayısını bulurken Dittus – Boelter denklemi kullanılmıştır. Dittus – Boelter denklemi:

$$Nu_D = 0,023 Re_D^{\frac{4}{5}} p_r^n$$

Burada ise pürüzlülük ve egzoz gazlarından kaynaklanan iç duvardaki kurum oluşumu da göz önüne alınarak Nusselt sayısını Gnielinski korelasyonu kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır [9,11].

$$Nu_D = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) (Re_D - 1000) p_r}{1 + 12,7 \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} \left(p_r^{\frac{2}{3}} - 1\right)} \quad (4.16)$$

Gnielinski korelasyonunun geçerli olduğu şartlar;

$$0,5 < p_r < 2000$$

$$3000 < Re_D < 5 \times 10^6$$

Ayrıca sürtünme faktörü moody diyagramından yada aşağıdaki formülden bulunur [11].

$$f = (0,790 \ln Re_D - 1,64)^{-2} \quad (4.17)$$

$$f = (0,790 \ln(85493,2) - 1,64)^{-2} = 0,018605$$

$$Nu_D = \frac{\left(\frac{0,018605}{8}\right) (85493,2 - 1000) \times 0,7483}{1 + 12,7 \left(\frac{0,018605}{8}\right)^{\frac{1}{2}} \left(0,7483^{\frac{2}{3}} - 1\right)} = 164,8$$

$$Nu_D = \frac{h_i \times d}{k}$$

Olduğu için iç taraftaki (egzoz gazı tarafı) ısı taşınım katsayısı,

$$h_i = \frac{Nu_D k}{d} = \frac{164,8 \times 0,07201}{0,020} = 593,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Dış ortam suyundan soğutucu duvarına ısı iletim katsayısını  $h_o$  (W/m<sup>2</sup> K) bulmak için ise, dış ortam soğutma suyunun boru dışından aktığı için hidrolik çap değeri göz önüne alınır. İç borunun cidar kalınlığı  $\delta_1 = 3\text{mm}$  olarak alınmıştır.

$$D_h = \frac{4 \left(\frac{\pi}{4}\right) (D_o^2 - D_{id}^2)}{\pi D_o + \pi D_{id}} = D_o - D_i$$

$$D_h = D_o - D_{id} = 0,040 - 0,026 = 0,014 \text{ m}$$

$$Re_D = \frac{\rho u_m D_h}{\mu} = \frac{\rho (D_o - D_{id})}{\mu} \frac{\dot{m}_c}{\rho \pi (D_o^2 - D_{id}^2) / 4}$$

$$\dot{m}_c = 1,912 \text{ kg/s}$$

$$Re_D = \frac{4 \dot{m}_c}{\pi (D_o + D_{id}) \mu} = Re_D = \frac{4 \times 1,912}{\pi (0,040 + 0,026) \times 959 \times 10^{-6}} = 38462,3$$

$Re = 38462,3 > 10000$  olup akış türbülanslıdır [5].

Burada Nusselt sayısını Gnielinski korelasyonu kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Nu_D = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) (Re_D - 1000) p_r}{1 + 12,7 \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} \left(p_r^{\frac{2}{3}} - 1\right)}$$

Gnielinski korelasyonunun geçerli olduğu şartlar;

$$0,5 < p_r < 2000$$

$$3000 < Re_D < 5 \times 10^6$$

Ayrıca sürtünme faktörü moody diyagramından yada aşağıdaki formülden bulunur [11].

$$f = (0,790 \ln Re_D - 1,64)^{-2}$$

$$f = (0,790 \ln(38462,3) - 1,64)^{-2} = 0,022274$$

$$Nu_D = \frac{\left(\frac{0,022274}{8}\right) (38462,3 - 1000) \times 6,62}{1 + 12,7 \left(\frac{0,022274}{8}\right)^{\frac{1}{2}} \left(6,62^{\frac{2}{3}} - 1\right)} = 256,5$$

$$Nu_D = \frac{h_o \times D_h}{k}$$

Olduğu için dış taraftaki(dış ortam suyu) ısı taşınım katsayısı,

$$h_o = \frac{Nu_D k}{D_h} = \frac{256,5 \times 0,606}{0,014} = 11100,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$h_o = 11100,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$\delta_1 = 3 \text{ mm}'$  lik çelik borular hem motor soğutma suyu hem de egzoz eşanjöründe kullanılmıştır.

Çeliğin ısıl iletkenlik katsayısı  $k = 50 \text{ W/m K}$  [4] olup boru uzunluğu aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_r = \frac{\Delta T_{lm}}{\frac{1}{2\pi r_i L h_i} + \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{2\pi r_o L h_o}} = U A \Delta T_{lm} \quad (4.18)$$

Eğer toplam ısı iletim katsayısı  $U_i$  iç çap için hesaplanırsa,  $A_i = 2\pi r_i L$  olduğundan ısı iletim katsayısı aşağıdaki şekli alır [9].

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_i}{k} \ln(r_o/r_i) + \frac{r_i}{r_o} \frac{1}{h_o}} \quad (4.19)$$

$$U_i A_i = U_o A_o = \frac{1}{R} \quad (4.20)$$

$$Q_r = U_i A_i \Delta T_{lm} = U_i (\pi D_i L) \Delta T_{lm} \quad (4.21)$$

$$A_i = \pi D_i L$$

$$L = \frac{Q_r}{U_i (\pi D_i) \Delta T_{lm}} \quad (4.22)$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{593,3} + \frac{0,020}{50} \ln(0,024/0,020) + \frac{0,020}{0,026} \frac{1}{11100,7}} = 537,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$L = \frac{47946}{537,7 (\pi 0,020) 308} = 4,6 \text{ m}$$

$$L = 4,56 \text{ m}$$

Eşanjör boyunun 0,5 m olduğunu varsayarsak boru sayısı,

$$n = \frac{L}{0,5} = \frac{4,6}{0,5} = 9$$

Yeterli yer olmaması nedeni ile boru uzunluğu tek bir 4,6 m'lik bir boru yerine makina dairesinin şekli ve kısıtlar göz önüne alınarak tasarımda bu uzunluk daha efektif bir biçimde kullanılacaktır. Birbirine paralel  $n = 9$  adet borudan oluşan bir eşanjör dizayn edilmiştir.

Buradan görüleceği gibi daha önce motor soğutma suyu eşanjör dizaynında ihmal edilen cidar rezistansı doğru bir yaklaşımdır. Eşanjör cidarı için kalınlığı 4mm olan çelik seçilmiştir.



## **5. GÜC AKTARMA SİSTEMİ TASARIMI**

### **5.1 Marin Şanzımanı Seçimi**

Şanzıman için giriş gücü, maksimum giriş devri ve redüksiyon oranı göz önüne alınarak seçim yapılmıştır. Kullanılan motorun benzinli ve yüksek devirde çalışan bir motor olmasından dolayı şanzımanın maksimum giriş devri önem kazanmıştır. Teknenin daha sonra da gösterileceği gibi seyir hızı 4500 devir olup maksimum güçte istenildiği takdirde kısa süreli daha yüksek devirlerde de kullanılabileceği göz önüne alınarak 5500 gibi oldukça büyük bir giriş devrinde çalışabilecek redüksiyon oranı (2,8-1) olan ZF 25 marin hidrolik şanzıman seçilmiştir. Detayları eklerde gösterilmiştir.

#### **5.1.1 Frenleme gücü**

Belli bir devirde motor tarafından üretilen maksimum güçtür. Genellikle krank milinden ölçülen ve motor tarafından üretilen gerçek gücü gösterir. Fren gücü denmesi mildeki gücün bir frenleme mekanizması tarafından absorbe edilmesinden ileri gelmektedir. Frenleme gücü ölçümünde şanzıman, alternatör, jeneratör, kompresör, diferansiyel, su pompası gibi parçalar motora bağlı değildir.

#### **5.1.2 Şaft gücü**

Şaft beygir gücü gemide şafttan pervaneye iletilen güçtür. Şaft beygir gücü fren beygir gücünden eğer BHP ölçülürken hesaba katılmamış ise Şanzımanda kaybedilen yaklaşık %3`lük gücün ve şaft yataklarındaki sürtünmeden dolayı yaklaşık yatak başına %1,5`lik gücün çıkarılması ile bulunabilir.

Pervane hesaplamaları yaparken şaft gücünü kullanmak gerektiğini hatırlatmak çok büyük önem arz eder. Detaylı bilgi yok ise maksimum şaft beygir gücü maksimum fren beygir gücünün %96`sı olduğu kabulü yapılabilir.

### 5.1.3 Güç ve çalışma devri

Marin motorları devamlı ya da kısa süreli maksimum devirde çalışmak üzere iki şekilde üretilirler. Aşağıdaki çizelgede farklı amaçlarda kullanılan birçok marin motoru için önerilen devamlı çalışma devirleri (continuous operating RPMs) maksimum güç devrinin belirli bir yüzdesi olarak gösterilmiştir. Burada kullanılan motor ilk sınıfa girip maksimum güç devrinin yaklaşık %70-80 oranında bir motor hızında kullanılacaktır.

**Çizelge 5.1 : Sürekli çalışma için önerilen motor devirleri.**

| Motor Çeşidi                          | Maksimum RPM'in %'si olarak sürekli çalışma aralığı |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Otomotiv hafif-hizmet benzin ve dizel | 70-80 %                                             |
| Hafif-hizmet marin dizel              | 80-85 %                                             |
| Aralıklı hizmet marin dizel           | 88-92 %                                             |
| Sürekli-hizmet ağır marin dizel       | 98-100 %                                            |

## 5.2 Pervane Hesapları ve Seçimi

Crouch's Propeller Method'u kullanılarak uygun pervane boyutları seçilecektir. Pervane hem geminin formuyla hem de motor ile uyumlu olmalıdır. Uygun pervanenin seçiminde Geer'in pervane el kitabından yararlanılmıştır [12].

### 5.2.1 Pervane hatvesi(pitch) ve kayma(slip)

Tekne gerekli itme gücünü pervaneden karsılar. Çalışma hızında maksimum itmeyi sağlayacak bir pervaneye ihtiyacımız vardır. Örnek olarak aşağıda bazı özellikleri verilen tekne için pervane hesapları yapılmıştır. Burada ilk etapta pervane hatvesi hesaplanacaktır.

Normalde teknenin belirlenen bir hız için makine gücü bulunurken burada motor ve motor gücü belli olduğu için öncelikle bu güç ile sürekli çalışma koşulunda teknenin yapacağı hız belirlenmiştir. Bu tarz marin motorlarında daha önce bahsedildiği gibi teknenin istenilen hızı maksimum güç devrinin %75'lik bir devrinde vermesi önerilmektedir.

**Çizelge 5.2 : Tekne boyutları.**

|         |         |                                           |
|---------|---------|-------------------------------------------|
| 34 ft   | 10,36 m | LOA (Length Overall) - Tam Boy            |
| 30 ft   | 9,14 m  | WL (Waterline Length) - Su Hattı Boyu     |
| 9 ft    | 2,7 m   | BOA (Beam Overall) - Tam Genişlik         |
| 7 ft    | 2,13 m  | BLW (Waterline Beam) - Su Hattı Genişliği |
| 1,64 ft | 0,5 m   | Hd (Hull Draft) - Su Çekimi               |
| 7200 lb | 3266 kg | Displacement - Deplasmana                 |

Seçtiğimiz 6000 devirde fren beygir gücü 49,6 BHP(37 kw) olan motor pervane şaftını daha önce bahsedilen sürtünme ve şanzıman kayıplarından dolayı daha düşük bir güç ile(%96) tahrik eder. Buradaki yaklaşımda fren beygir gücünün 49,6 BHP %75`lik kısmı olan (49,6HP x 0,75 = 37,2HP) 37,2 SHP(27,7 kw) ile hız hesabı yapılabilir. Bu yaklaşımda 37,2 SHP, seçilen bu motor için motordan 4500 devirde (maksimum güçteki motor devrinin (6000 RPM) %75`lik kısmı) BHP cinsinden alacağımız güçten bir miktar düşüktür. Bu da sürtünme ve şanzıman kayıplarına tekabül eder.

Crouch`un hız formülünü kullanarak teknenin bu devirdeki hızı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Kts = \frac{C}{\left(\frac{LB}{SHP}\right)^{0,5}} \quad (5.1)$$

Burada,

Kts: Knot olarak tekne hızı,

C: Detayları verilen tekne formu için seçilen sabit,

LB: Pound olarak teknenin deplasmanı,

SHP: Pervane şaftındaki beygir gücüdür.

$$Kts = \frac{150}{\left(\frac{7200}{37,2}\right)^{0,5}} = 10,8 \text{ knot}$$

Motor 49,6 BHP gücü 6000 RPM`de verip maksimum güçte pervane daha önce seçilen şanzıman oranına (2,8-1) göre 2140 RPM ile döner.

### 5.2.1.1 Pervane hatvesi için motor devri

Motorun daimi devri maksimum güç devrinin %70-85 olması gerektiği daha önce önerilmişti. Burada pervane sabit hatveli olacağı için eğer hatvesi ideal çalışma koşulu olarak belirlenen maksimum güç devrinin %75'ine göre seçilirse maksimum güç devrinden çok uzakta seçilmiş olur. İdeal olan hatveyi maksimum güç devrinin %90'lık bir kısmında çalışacak şekilde seçmektir. Bu devir de daha önce de bahsedildiği gibi maksimum gücün SHP cinsinden %90'nına karşılık gelir. Burada motor devri 5400 RPM, pervane devri 1930 RPM olup güç ise 44,6 SHP(33,3 kw) olarak hesaplanır. Yüzde 75 devirde ulaştığımız seyir hızımız bu devirde hesaplayacağımız hızdan biraz düşük olsa da gerekli olması durumunda tekne bu hıza da çıkarılabilecektir. Şimdi hatve hesapları aşağıda maksimum güç devrinin %90'nına göre hesaplanan seyir hızı(11,8 knot) için yapılacaktır.

$$Kts = \frac{150}{\left(\frac{7200}{44,6}\right)^{0,5}} = 11,8 \text{ knot}$$

### 5.2.1.2 Hatveyi kayma olmadığı kabulü ile belirleme

Tekne hızı (11,8 knot) belirlendikten sonra belirlenmesi gereken tekne bu hızda giderken dakikada aynı ileri hareketi verebilecek bir pervane hatvesi belirlemektir. Hesaplarda tüm birimleri kullanılabılır hale getirmek için 11,8 knot = 1195 feet/dak olarak ifade edilir. Teknenin bu hızında pervane devri 1930 RPM olup hatve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Hatve} = \frac{1195 \text{ feet/dak}}{1930 \text{ RPM}} = 0,62 \text{ feet} = 0,19\text{m} = 7,44 \text{ inch}$$

### 5.2.1.3 Kayma

Gerçekte su katı bir cisim gibi davranmadığı için pervane dönerken hem biraz kayar ve kaçıklık oluşur. Kayma pervanenin bir dönüşünde teknenin aldığı yol ile teorik olarak pervane hatvesi kadar alması gereken yoldur. Bu görünen kayma olup teorik pervane ilerlemesinin(Hatve x RPM) bir yüzdesi olarak ifade edilir. Kaymanın bulunmasının yolu belirli bir mesafede teknenin sürülmesi ile olur.

Teknenin bu mesafeyi ne kadar zamanda kat edeceğini yani hızı ölçüp, RPM ve hatveyi de bildiğimiz için yukarıdaki ilişki ve aşağıdaki formül ile kayma bulunur.

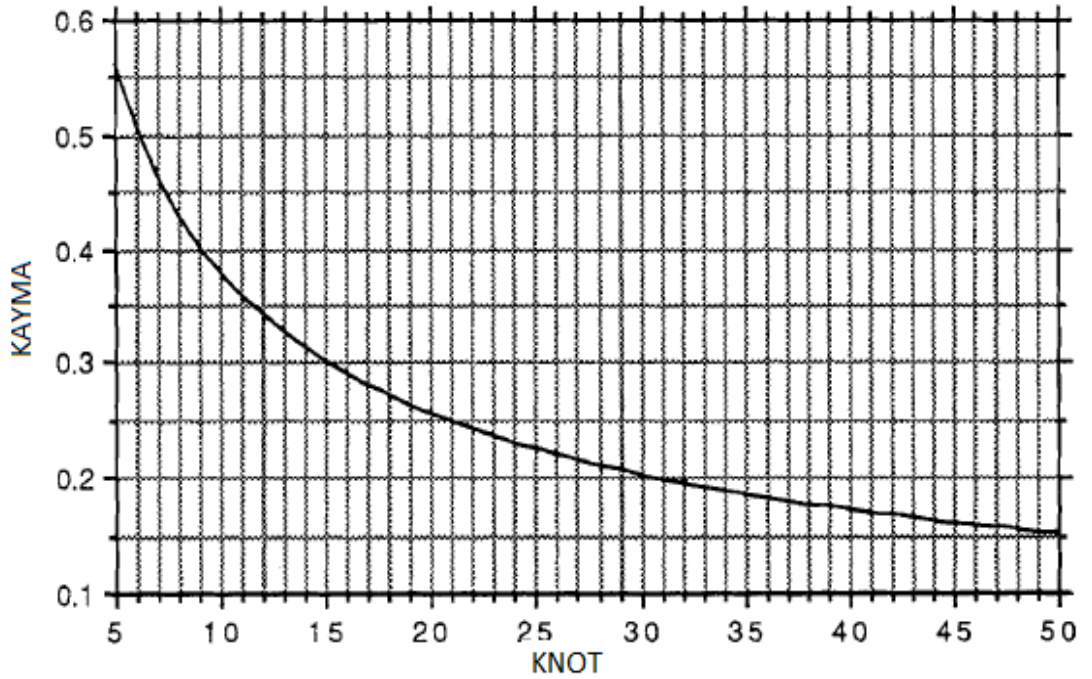
$$\text{Görünür Kayma} = \frac{\left(\frac{P}{12} \times \text{RPM}\right) - (Kts \times 101,3)}{\left(\frac{P}{12} \times \text{RPM}\right)} \quad (5.2)$$

Daha uygun bir şekilde yazacak olursak;

$$P = \frac{Kts \times 1215,6}{\text{RPM} \times (1 - \text{Görünür Kayma})} \quad (5.3)$$

Burada P pervane hatvesi, Kts knot olarak tekne hızı ve RPM pervane devridir.

Aşağıdaki şekil kaymayı aşağıdaki formülden elde edilen tekne hızının (knot olarak) bir fonksiyonu olarak gösterir.



**Şekil 5.1 :** Kaymanın tekne hızına bağlı bulunması.

$$\text{Kayma} = \frac{1,4}{Kts^{0,57}} \quad (5.4)$$

Bu formül birçok kaynaktan alınan kayma değerleri göz önüne alınarak oluşturulmuştur [12].

#### 5.2.1.4 Hatvenin kayma hesaba katılarak bulunması

Yukarıdaki kayma hesaplama formülü ya da kaymanın tekne hızına bağlı bulunması için grafik kullanılarak kayma şu şekilde bulunur.

$$\text{Kayma} = \frac{1,4}{11,8^{0,57}} = \%34$$

Bir sonraki adım daha önce kayma hesaba katılmadan bulunan hatve değerini(0,62 feet, 0,19 m, 7,44 inç) %34 oranında arttırmak olacaktır.

$$7,44 \text{ inc} \times \frac{134}{100} = 10 \text{ inç} = 0,25 \text{ m}$$

Hatve 10 inç = 0,25 olarak hesaplanır.

### 5.2.2 Pervane çapı hesabı

Pervane çapını kontrol eden RPM'e bağlı motor beygir gücü ve tekne direnci gibi iki önemli faktör vardır. Yüksek hızlı tekneler hariç büyük çaplı pervane her zaman daha verimlidir. Aynı motor ile daha büyük pervane çapı seçilirse daha fazla itme sağlanır. Tabi tekne yapısı, teknenin su çekimi ve motorun yeterli gücü sağlayamaması gibi sebeplerden çapı istediğimiz kadar büyük tutamayız. Temelde RPM ne kadar düşük olursa motorun çevirebileceği pervane çapı o kadar büyük olur. Burada önemli olan motor hızı değil vites düşüm oranına bağlı olan şaft hızıdır.

Hatveyi bulurken %90 oranında hız(RPM) ve güç(SHP) kullanılmıştı. Fakat çap hesaplanırken %100 yada ona yakın bir RPM değeri kullanılmalıdır çünkü çap pervanesinin ne kadar güç tüketeceğini belirleyen en önemli faktördür. Eğer daha düşük bir devir için çap belirlenir ise motor devrini daha aşağıda tutmuş oluruz yani motor daha yüksek devirlerde gerekli gücü bu büyüklükteki bir pervane ile sağlayamaz. Bu durum tekne ve motor hızına bir limit getirip motora zarar verebilir.

Yatlar ve yüksek hızlı tekneler için çap en yüksek devir ve şaft gücünde hesaplanır. Buda pervane güç ergisinin motor güç ergisini maksimum güç noktasında kesmesi anlamına gelir.

Daha ağır iş tekneleri için tam gaz seyir hızında maksimum itme ve maksimum verimi almak en yüksek tekne hızına ulaşmaktan daha önemlidir, bu nedenle pervane çapını maksimum güç devrinin %95-98'inde bulmak uygundur. Bu durum pervane güç eğrisinin motor güç ergisi ile en yüksek güç devrinden hemen önce kesişmesine neden olur. Motor devrini bu yolla daha düşük tutmak motora zarar vermez ve elde edilen daha büyük çaplı pervane teknenin sürekli çalışma koşullarında daha verimli sonuç verebilir. Fakat maksimum tekne hızı çok az miktarda azalmış olur.

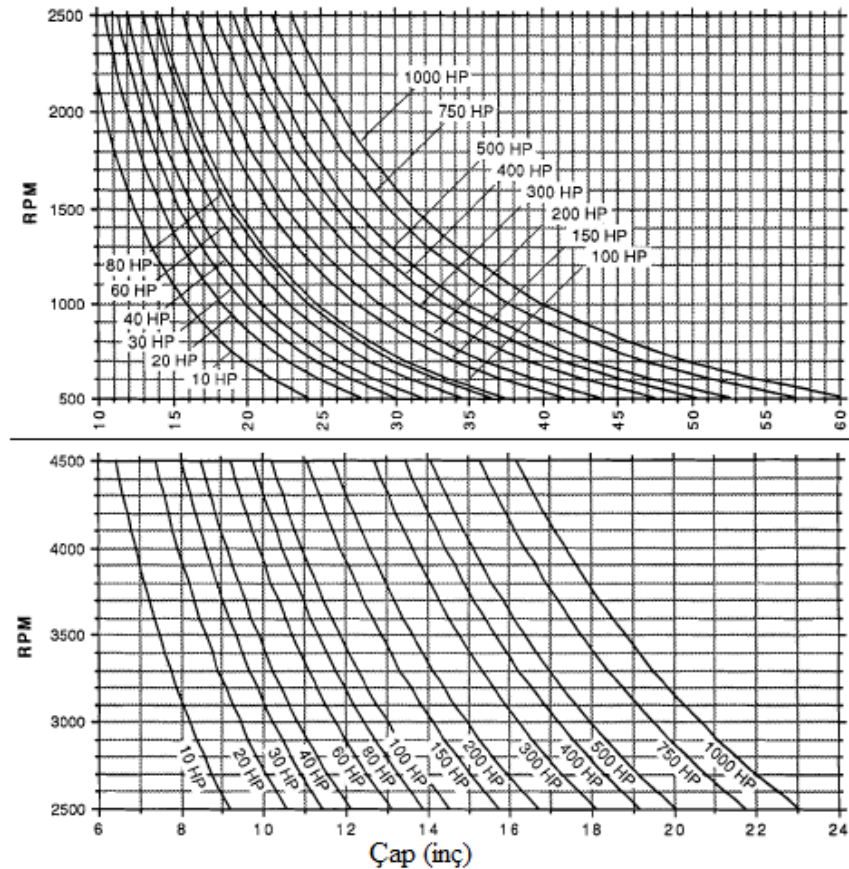
Pervane çapı beygir gücü ve pervane devrine bağlı olarak aşağıdaki grafikler ya da aynı anlama gelen formülден bulunur. Bu grafikler üç kanatlı standart eliptik konturlu, düz yüz(ogival) kesitli ve 0,33 ortalama kanat genişlik oranına sahip (Mean width ratio) pervaneler için verilmiştir.

Pervane kanat çapı aşağıdaki gibi hesaplanır. Burada tekne yüksek hızlı bir yat yada sürat teknesi olmadığı için pervane çapı, hem pervane devri hem de güç %95 oranında alınarak 5700 RPM(Pervane 5700/2,8=2035 RPM) ve 47,1 SHP için hesaplanmıştır.

$$D = \frac{632,7 \times \text{SHP}^{0,2}}{\text{RPM}^{0,6}} \quad (5.5)$$

$$D = \frac{632,7 \times 47,1^{0,2}}{2035^{0,6}} = 14,1 \text{ inc} = 0,36 \text{ m}$$

Pervaneler genellikle 36 inç'e kadar birer inç aralıklarla üretildiği için burada çap olarak 14 inç'lik bir pervane seçilebilir. Böylelikle pervane çapı D=14 inç ve hatvesi P=10 inç olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.2 : Pervane çapı – güç ilişkisi.

### 5.2.3 Pervane hatve ve çapı kontrolü

Hatvenin alt ve ust limitleri ve çapın alt limiti kontrolu yapılarak hesaplanan pervane çap ve hatve degerinin kullanılıp kullanılmayacağına karar verilir.

$$\frac{P}{D}_{\min} = 0,39 \times Kts^{0,23} = 0,39 \times 11,8^{0,23} = 0,69 \quad (5.6)$$

$$\frac{P}{D}_{\max} = 0,52 \times Kts^{0,28} = 0,52 \times 11,8^{0,28} = 1,04 \quad (5.7)$$

$$\frac{P}{D}_{\min} < \frac{P}{D} = \frac{10}{14} = 0,71 < \frac{P}{D}_{\max}$$

$$D_{\min} = 0,47 \times (BWL \times Hd)^{0,5} = 0,47 \times (7 \times 1,64)^{0,5} = 13,8 \quad (5.8)$$

$$D_{\min} < D$$

Pervane apı ve hatvesi doğru seilmistir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu motor için yapılan hesaplamalar sonucunda toplam yakıttan elde edilen enerjinin yaklaşık %31,5'i motorun soğutulmasına ve yaklaşık %30,6'sı ise egzoz gazlarına verilmiştir. Bu da ilk başta yapılan kabul ve piyasada üretilen diğer motor verileri ile çok benzer sonuçlar anlamına gelmektedir. Bu çalışmada yapılan hem motor soğutma suyu hem de egzoz ejanjörü hesapları maksimum güç noktasındaki soğutma için yapılmıştır. Eşanjörler için hesaplanan boru cidar kalınlıkları ve boru çapları akışın şekli ve bununla bağlantılı olan ısı iletimi açısından büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada birçok cidar kalınlığı ve boru çapı için hesaplar tekrarlanmış olup excel programı kullanılarak boru çapı ve kalınlığı verileri girilerek ısı iletim katsayılarının ve buna bağlı boru uzunluğunu hesaplayan bir yazılım da yazılmıştır. Buradaki hesaplamalar en uygun boru cidar kalınlığı ve en uygun boru uzunluğu için gösterilmiştir. Motor soğutma suyu eşanjörü ve egzoz eşanjörü hesaplanan boru uzunlukları ve cidar kalınlıkları ile piyasadaki diğer eşanjörler de göz önüne alınarak boyutlandırılmış, resimleri çizilmiş ve ek olarak verilmiştir. Çalışmamın devamında marine edilmesinde planlanan motorun boyutları bilinen bir teknede ana makina olması durumunda, uygun marin şanzıman seçimi ile teknenin yapısına ve motoruna uygun pervane boyutları (çap ve hatve vb.) hesaplanmıştır.

Bu çalışma ile bir içten yanmalı otomobil motorunun marin uygulamasına dönüşümde, soğutma sistemi ile güç aktarım sistemi optimizasyonu yapılmış ve örnek bir sistem projelendirilmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Kolchin, A. ve Demidov, V.** (1984) Analysis of Actual Cycle. In; Design of Automotive Engines, 2. Baskı, sf:47-78, Moskov, Mir Publisher.
- [2] **Kolchin, A. ve Demidov, V.** (1984) Heat Analysis and Heat Balance. In; Design of Automotive Engines, 2. Baskı, sf: 82-105, Moskov, Mir Publisher.
- [3] **Motor Konstrüksiyonu 6. Hafta.** Alındığı tarih: 11.08.2014, adres: <http://www.yildiz.edu.tr/~aergenc/dersler.html>
- [4] **Kakaç, S. ve Liu, H.** (2002) Selection, Rating and Thermal Design of Heat Exchangers, 2. Baskı, Florida, CRC Press.
- [5] **DEN 322 Gemi Makinaları ve Donanımı.** Alındığı tarih: 15.02.2008, adres: <http://160.75.46.2/staff/sogut/Home/lectures.htm>
- [6] [http://eng.harran.edu.tr/moodle/moodledata/20/Yesilata/Ders\\_Notlari/3HeatT\\_ch3\\_pg79-109.pdf](http://eng.harran.edu.tr/moodle/moodledata/20/Yesilata/Ders_Notlari/3HeatT_ch3_pg79-109.pdf), alındığı tarih: 12.09.2014.
- [7] **Kavaklı, A. K.** (2005) *Egzoz Gazı ile çalışan absorpsiyonlu soğutma sisteminin otobüslerde kullanımı* (Y.L. tezi). Adres: <http://193.255.184.8/tezpdf/17902.pdf>
- [8] **Özdenal, A.** (2006) *Motor egzoz gazını ısı kaynağı olarak kullanan absorpsiyonlu soğutma sistemle taşıt kabini soğutulmasının teorik incelenmesi.* kullanımı (Y.L. tezi). Adres: <http://fbetebankasi.gazi.edu.tr/belge-goster/2218030>
- [9] **Incropera, F. P. ve DeWitt, D. P.** (1990) Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 3. baskı, United States of America, John Wiley & Sons.
- [10] **Url-1** <<http://www.sisweb.com/referenc/source/exactmas.htm>>, alındığı tarih: 22.10.2014.
- Url-2** <<http://www.sisweb.com/referenc/tools/exactmass.htm>>, alındığı tarih: 22.10.2014.
- Url-3** <<http://www.engineeringtoolbox.com/>>, alındığı tarih: 22.10.2014.
- [11] **Boran, K., Daştan, F., Şahin H. M ve Aktaş, M.** (2014) Isı Eşanjörlerinde Isı Transferi İyileştirme Yöntemlerinin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi. *Journal of Polytechni*, 17, 183-191.
- [12] **Gerr, D.** (2001) The Empirical Method for Calculating Propellers Using Slip, Propeller Handbook - The complete Reference for Choosing, Installing and Understanding Boat Propellers, sf:46-53, USA, International Marine.



## **EKLER**

**EK A:** Atmosfer basıncında gazların termodinamik özellikleri

**EK B:** Motor soğutma suyu eşanjörü boyutları

**EK C:** Egzoz gazları eşanjörü boyutları

**EK D:** Şanzıman ve konfigürasyonu

**EK E:** Şanzıman katalog değerleri

**EK F:** Şanzıman katalog boyutları

**EK G:** Sistemin şematik olarak gösterimi- önden

**EK H:** Sistemin şematik olarak gösterimi- yandan

**EK A** Atmosfer basıncında gazların termofiziksel özellikleri [9].

| Temp.<br>$T$ , °C | Density<br>$\rho$ , kg/m <sup>3</sup> | Specific<br>Heat<br>$c_p$ , J/kg·K | Thermal<br>Conductivity<br>$k$ , W/m·K | Thermal<br>Diffusivity<br>$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s | Dynamic<br>Viscosity<br>$\mu$ , kg/m·s | Kinematic<br>Viscosity<br>$\nu$ , m <sup>2</sup> /s | Prandtl<br>Number<br>Pr |
|-------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|
| -150              | 2.866                                 | 983                                | 0.01171                                | $4.158 \times 10^{-6}$                                 | $8.636 \times 10^{-6}$                 | $3.013 \times 10^{-6}$                              | 0.7246                  |
| -100              | 2.038                                 | 966                                | 0.01582                                | $8.036 \times 10^{-6}$                                 | $1.189 \times 10^{-5}$                 | $5.837 \times 10^{-6}$                              | 0.7263                  |
| -50               | 1.582                                 | 999                                | 0.01979                                | $1.252 \times 10^{-5}$                                 | $1.474 \times 10^{-5}$                 | $9.319 \times 10^{-6}$                              | 0.7440                  |
| -40               | 1.514                                 | 1002                               | 0.02057                                | $1.356 \times 10^{-5}$                                 | $1.527 \times 10^{-5}$                 | $1.008 \times 10^{-5}$                              | 0.7436                  |
| -30               | 1.451                                 | 1004                               | 0.02134                                | $1.465 \times 10^{-5}$                                 | $1.579 \times 10^{-5}$                 | $1.087 \times 10^{-5}$                              | 0.7425                  |
| -20               | 1.394                                 | 1005                               | 0.02211                                | $1.578 \times 10^{-5}$                                 | $1.630 \times 10^{-5}$                 | $1.169 \times 10^{-5}$                              | 0.7408                  |
| -10               | 1.341                                 | 1006                               | 0.02288                                | $1.696 \times 10^{-5}$                                 | $1.680 \times 10^{-5}$                 | $1.252 \times 10^{-5}$                              | 0.7387                  |
| 0                 | 1.292                                 | 1006                               | 0.02364                                | $1.818 \times 10^{-5}$                                 | $1.729 \times 10^{-5}$                 | $1.338 \times 10^{-5}$                              | 0.7362                  |
| 5                 | 1.269                                 | 1006                               | 0.02401                                | $1.880 \times 10^{-5}$                                 | $1.754 \times 10^{-5}$                 | $1.382 \times 10^{-5}$                              | 0.7350                  |
| 10                | 1.246                                 | 1006                               | 0.02439                                | $1.944 \times 10^{-5}$                                 | $1.778 \times 10^{-5}$                 | $1.426 \times 10^{-5}$                              | 0.7336                  |
| 15                | 1.225                                 | 1007                               | 0.02476                                | $2.009 \times 10^{-5}$                                 | $1.802 \times 10^{-5}$                 | $1.470 \times 10^{-5}$                              | 0.7323                  |
| 20                | 1.204                                 | 1007                               | 0.02514                                | $2.074 \times 10^{-5}$                                 | $1.825 \times 10^{-5}$                 | $1.516 \times 10^{-5}$                              | 0.7309                  |
| 25                | 1.184                                 | 1007                               | 0.02551                                | $2.141 \times 10^{-5}$                                 | $1.849 \times 10^{-5}$                 | $1.562 \times 10^{-5}$                              | 0.7296                  |
| 30                | 1.164                                 | 1007                               | 0.02588                                | $2.208 \times 10^{-5}$                                 | $1.872 \times 10^{-5}$                 | $1.608 \times 10^{-5}$                              | 0.7282                  |
| 35                | 1.145                                 | 1007                               | 0.02625                                | $2.277 \times 10^{-5}$                                 | $1.895 \times 10^{-5}$                 | $1.655 \times 10^{-5}$                              | 0.7268                  |
| 40                | 1.127                                 | 1007                               | 0.02662                                | $2.346 \times 10^{-5}$                                 | $1.918 \times 10^{-5}$                 | $1.702 \times 10^{-5}$                              | 0.7255                  |
| 45                | 1.109                                 | 1007                               | 0.02699                                | $2.416 \times 10^{-5}$                                 | $1.941 \times 10^{-5}$                 | $1.750 \times 10^{-5}$                              | 0.7241                  |
| 50                | 1.092                                 | 1007                               | 0.02735                                | $2.487 \times 10^{-5}$                                 | $1.963 \times 10^{-5}$                 | $1.798 \times 10^{-5}$                              | 0.7228                  |
| 60                | 1.059                                 | 1007                               | 0.02808                                | $2.632 \times 10^{-5}$                                 | $2.008 \times 10^{-5}$                 | $1.896 \times 10^{-5}$                              | 0.7202                  |
| 70                | 1.028                                 | 1007                               | 0.02881                                | $2.780 \times 10^{-5}$                                 | $2.052 \times 10^{-5}$                 | $1.995 \times 10^{-5}$                              | 0.7177                  |
| 80                | 0.9994                                | 1008                               | 0.02953                                | $2.931 \times 10^{-5}$                                 | $2.096 \times 10^{-5}$                 | $2.097 \times 10^{-5}$                              | 0.7154                  |
| 90                | 0.9718                                | 1008                               | 0.03024                                | $3.086 \times 10^{-5}$                                 | $2.139 \times 10^{-5}$                 | $2.201 \times 10^{-5}$                              | 0.7132                  |
| 100               | 0.9458                                | 1009                               | 0.03095                                | $3.243 \times 10^{-5}$                                 | $2.181 \times 10^{-5}$                 | $2.306 \times 10^{-5}$                              | 0.7111                  |
| 120               | 0.8977                                | 1011                               | 0.03235                                | $3.565 \times 10^{-5}$                                 | $2.264 \times 10^{-5}$                 | $2.522 \times 10^{-5}$                              | 0.7073                  |
| 140               | 0.8542                                | 1013                               | 0.03374                                | $3.898 \times 10^{-5}$                                 | $2.345 \times 10^{-5}$                 | $2.745 \times 10^{-5}$                              | 0.7041                  |
| 160               | 0.8148                                | 1016                               | 0.03511                                | $4.241 \times 10^{-5}$                                 | $2.420 \times 10^{-5}$                 | $2.975 \times 10^{-5}$                              | 0.7014                  |
| 180               | 0.7788                                | 1019                               | 0.03646                                | $4.593 \times 10^{-5}$                                 | $2.504 \times 10^{-5}$                 | $3.212 \times 10^{-5}$                              | 0.6992                  |
| 200               | 0.7459                                | 1023                               | 0.03779                                | $4.954 \times 10^{-5}$                                 | $2.577 \times 10^{-5}$                 | $3.455 \times 10^{-5}$                              | 0.6974                  |
| 250               | 0.6746                                | 1033                               | 0.04104                                | $5.890 \times 10^{-5}$                                 | $2.760 \times 10^{-5}$                 | $4.091 \times 10^{-5}$                              | 0.6946                  |
| 300               | 0.6158                                | 1044                               | 0.04418                                | $6.871 \times 10^{-5}$                                 | $2.934 \times 10^{-5}$                 | $4.765 \times 10^{-5}$                              | 0.6935                  |
| 350               | 0.5664                                | 1056                               | 0.04721                                | $7.892 \times 10^{-5}$                                 | $3.101 \times 10^{-5}$                 | $5.475 \times 10^{-5}$                              | 0.6937                  |
| 400               | 0.5243                                | 1069                               | 0.05015                                | $8.951 \times 10^{-5}$                                 | $3.261 \times 10^{-5}$                 | $6.219 \times 10^{-5}$                              | 0.6948                  |
| 450               | 0.4880                                | 1081                               | 0.05298                                | $1.004 \times 10^{-4}$                                 | $3.415 \times 10^{-5}$                 | $6.997 \times 10^{-5}$                              | 0.6965                  |
| 500               | 0.4565                                | 1093                               | 0.05572                                | $1.117 \times 10^{-4}$                                 | $3.563 \times 10^{-5}$                 | $7.806 \times 10^{-5}$                              | 0.6986                  |
| 600               | 0.4042                                | 1115                               | 0.06093                                | $1.352 \times 10^{-4}$                                 | $3.846 \times 10^{-5}$                 | $9.515 \times 10^{-5}$                              | 0.7037                  |
| 700               | 0.3627                                | 1135                               | 0.06581                                | $1.598 \times 10^{-4}$                                 | $4.111 \times 10^{-5}$                 | $1.133 \times 10^{-4}$                              | 0.7092                  |
| 800               | 0.3289                                | 1153                               | 0.07037                                | $1.855 \times 10^{-4}$                                 | $4.362 \times 10^{-5}$                 | $1.326 \times 10^{-4}$                              | 0.7149                  |
| 900               | 0.3008                                | 1169                               | 0.07465                                | $2.122 \times 10^{-4}$                                 | $4.600 \times 10^{-5}$                 | $1.529 \times 10^{-4}$                              | 0.7206                  |
| 1000              | 0.2772                                | 1184                               | 0.07868                                | $2.398 \times 10^{-4}$                                 | $4.826 \times 10^{-5}$                 | $1.741 \times 10^{-4}$                              | 0.7260                  |
| 1500              | 0.1990                                | 1234                               | 0.09599                                | $3.908 \times 10^{-4}$                                 | $5.817 \times 10^{-5}$                 | $2.922 \times 10^{-4}$                              | 0.7478                  |
| 2000              | 0.1553                                | 1264                               | 0.11113                                | $5.664 \times 10^{-4}$                                 | $6.630 \times 10^{-5}$                 | $4.270 \times 10^{-4}$                              | 0.7539                  |

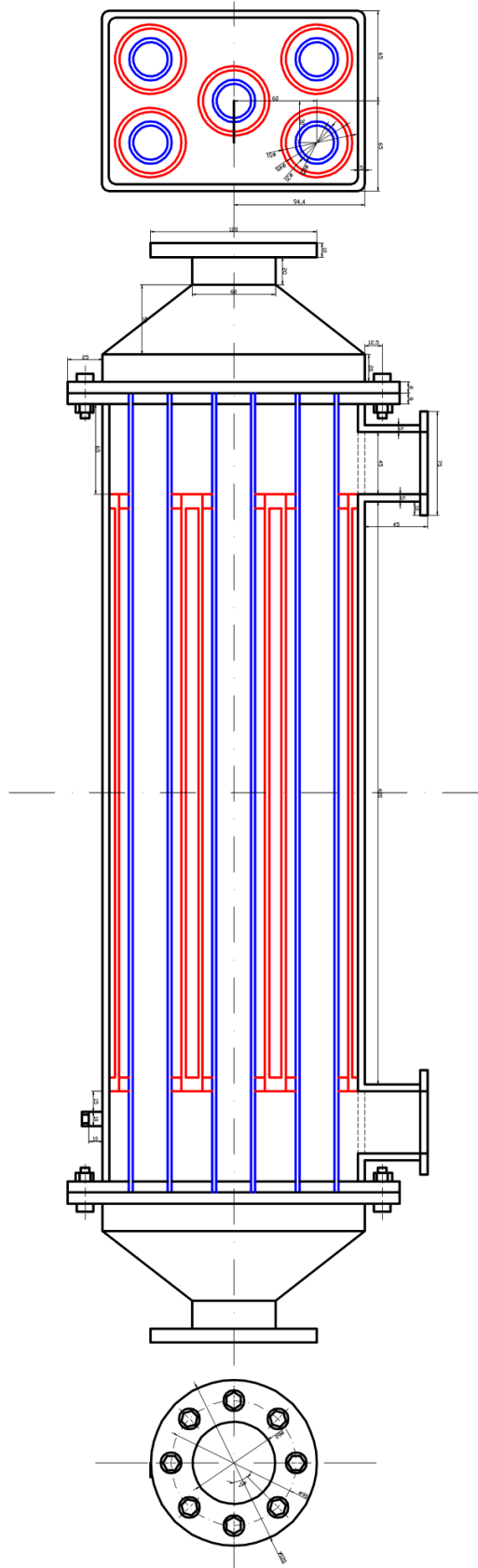
# **EK A** Atmosfer basıncında gazların termofiziksel özellikleri [9].

| Temp.<br>$T, ^\circ\text{C}$          | Density<br>$\rho, \text{kg/m}^3$ | Specific<br>Heat<br>$c_{\text{gr}}, \text{J/kg}\cdot\text{K}$ | Thermal<br>Conductivity<br>$k, \text{W/m}\cdot\text{K}$ | Thermal<br>Diffusivity<br>$\alpha, \text{m}^2/\text{s}$ | Dynamic<br>Viscosity<br>$\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$ | Kinematic<br>Viscosity<br>$\nu, \text{m}^2/\text{s}$ | Prandtl<br>Number<br>Pr |
|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------|
| <i>Carbon Dioxide, CO<sub>2</sub></i> |                                  |                                                               |                                                         |                                                         |                                                         |                                                      |                         |
| -50                                   | 2.4035                           | 746                                                           | 0.01051                                                 | $5.860 \times 10^{-6}$                                  | $1.129 \times 10^{-5}$                                  | $4.699 \times 10^{-6}$                               | 0.8019                  |
| 0                                     | 1.9635                           | 811                                                           | 0.01456                                                 | $9.141 \times 10^{-6}$                                  | $1.375 \times 10^{-5}$                                  | $7.003 \times 10^{-6}$                               | 0.7661                  |
| 50                                    | 1.6597                           | 866.6                                                         | 0.01858                                                 | $1.291 \times 10^{-5}$                                  | $1.612 \times 10^{-5}$                                  | $9.714 \times 10^{-6}$                               | 0.7520                  |
| 100                                   | 1.4373                           | 914.8                                                         | 0.02257                                                 | $1.716 \times 10^{-5}$                                  | $1.841 \times 10^{-5}$                                  | $1.281 \times 10^{-5}$                               | 0.7464                  |
| 150                                   | 1.2675                           | 957.4                                                         | 0.02652                                                 | $2.186 \times 10^{-5}$                                  | $2.063 \times 10^{-5}$                                  | $1.627 \times 10^{-5}$                               | 0.7445                  |
| 200                                   | 1.1336                           | 995.2                                                         | 0.03044                                                 | $2.698 \times 10^{-5}$                                  | $2.276 \times 10^{-5}$                                  | $2.008 \times 10^{-5}$                               | 0.7442                  |
| 300                                   | 0.9358                           | 1060                                                          | 0.03814                                                 | $3.847 \times 10^{-5}$                                  | $2.682 \times 10^{-5}$                                  | $2.866 \times 10^{-5}$                               | 0.7450                  |
| 400                                   | 0.7968                           | 1112                                                          | 0.04565                                                 | $5.151 \times 10^{-5}$                                  | $3.061 \times 10^{-5}$                                  | $3.842 \times 10^{-5}$                               | 0.7458                  |
| 500                                   | 0.6937                           | 1156                                                          | 0.05293                                                 | $6.600 \times 10^{-5}$                                  | $3.416 \times 10^{-5}$                                  | $4.924 \times 10^{-5}$                               | 0.7460                  |
| 1000                                  | 0.4213                           | 1292                                                          | 0.08491                                                 | $1.560 \times 10^{-4}$                                  | $4.898 \times 10^{-5}$                                  | $1.162 \times 10^{-4}$                               | 0.7455                  |
| 1500                                  | 0.3025                           | 1356                                                          | 0.10688                                                 | $2.606 \times 10^{-4}$                                  | $6.106 \times 10^{-5}$                                  | $2.019 \times 10^{-4}$                               | 0.7745                  |
| 2000                                  | 0.2359                           | 1387                                                          | 0.11522                                                 | $3.521 \times 10^{-4}$                                  | $7.322 \times 10^{-5}$                                  | $3.103 \times 10^{-4}$                               | 0.8815                  |
| <i>Carbon Monoxide, CO</i>            |                                  |                                                               |                                                         |                                                         |                                                         |                                                      |                         |
| -50                                   | 1.5297                           | 1081                                                          | 0.01901                                                 | $1.149 \times 10^{-5}$                                  | $1.378 \times 10^{-5}$                                  | $9.012 \times 10^{-6}$                               | 0.7840                  |
| 0                                     | 1.2497                           | 1048                                                          | 0.02278                                                 | $1.739 \times 10^{-5}$                                  | $1.629 \times 10^{-5}$                                  | $1.303 \times 10^{-5}$                               | 0.7499                  |
| 50                                    | 1.0563                           | 1039                                                          | 0.02641                                                 | $2.407 \times 10^{-5}$                                  | $1.863 \times 10^{-5}$                                  | $1.764 \times 10^{-5}$                               | 0.7328                  |
| 100                                   | 0.9148                           | 1041                                                          | 0.02992                                                 | $3.142 \times 10^{-5}$                                  | $2.080 \times 10^{-5}$                                  | $2.274 \times 10^{-5}$                               | 0.7239                  |
| 150                                   | 0.8067                           | 1049                                                          | 0.03330                                                 | $3.936 \times 10^{-5}$                                  | $2.283 \times 10^{-5}$                                  | $2.830 \times 10^{-5}$                               | 0.7191                  |
| 200                                   | 0.7214                           | 1060                                                          | 0.03656                                                 | $4.782 \times 10^{-5}$                                  | $2.472 \times 10^{-5}$                                  | $3.426 \times 10^{-5}$                               | 0.7164                  |
| 300                                   | 0.5956                           | 1085                                                          | 0.04277                                                 | $6.619 \times 10^{-5}$                                  | $2.812 \times 10^{-5}$                                  | $4.722 \times 10^{-5}$                               | 0.7134                  |
| 400                                   | 0.5071                           | 1111                                                          | 0.04860                                                 | $8.628 \times 10^{-5}$                                  | $3.111 \times 10^{-5}$                                  | $6.136 \times 10^{-5}$                               | 0.7111                  |
| 500                                   | 0.4415                           | 1135                                                          | 0.05412                                                 | $1.079 \times 10^{-4}$                                  | $3.379 \times 10^{-5}$                                  | $7.653 \times 10^{-5}$                               | 0.7087                  |
| 1000                                  | 0.2681                           | 1226                                                          | 0.07894                                                 | $2.401 \times 10^{-4}$                                  | $4.557 \times 10^{-5}$                                  | $1.700 \times 10^{-4}$                               | 0.7080                  |
| 1500                                  | 0.1925                           | 1279                                                          | 0.10458                                                 | $4.246 \times 10^{-4}$                                  | $6.321 \times 10^{-5}$                                  | $3.284 \times 10^{-4}$                               | 0.7733                  |
| 2000                                  | 0.1502                           | 1309                                                          | 0.13833                                                 | $7.034 \times 10^{-4}$                                  | $9.826 \times 10^{-5}$                                  | $6.543 \times 10^{-4}$                               | 0.9302                  |
| <i>Methane, CH<sub>4</sub></i>        |                                  |                                                               |                                                         |                                                         |                                                         |                                                      |                         |
| -50                                   | 0.8761                           | 2243                                                          | 0.02367                                                 | $1.204 \times 10^{-5}$                                  | $8.564 \times 10^{-6}$                                  | $9.774 \times 10^{-6}$                               | 0.8116                  |
| 0                                     | 0.7158                           | 2217                                                          | 0.03042                                                 | $1.917 \times 10^{-5}$                                  | $1.028 \times 10^{-5}$                                  | $1.436 \times 10^{-5}$                               | 0.7494                  |
| 50                                    | 0.6050                           | 2302                                                          | 0.03766                                                 | $2.704 \times 10^{-5}$                                  | $1.191 \times 10^{-5}$                                  | $1.969 \times 10^{-5}$                               | 0.7282                  |
| 100                                   | 0.5240                           | 2443                                                          | 0.04534                                                 | $3.543 \times 10^{-5}$                                  | $1.345 \times 10^{-5}$                                  | $2.567 \times 10^{-5}$                               | 0.7247                  |
| 150                                   | 0.4620                           | 2611                                                          | 0.05344                                                 | $4.431 \times 10^{-5}$                                  | $1.491 \times 10^{-5}$                                  | $3.227 \times 10^{-5}$                               | 0.7284                  |
| 200                                   | 0.4132                           | 2791                                                          | 0.06194                                                 | $5.370 \times 10^{-5}$                                  | $1.630 \times 10^{-5}$                                  | $3.944 \times 10^{-5}$                               | 0.7344                  |
| 300                                   | 0.3411                           | 3158                                                          | 0.07996                                                 | $7.422 \times 10^{-5}$                                  | $1.886 \times 10^{-5}$                                  | $5.529 \times 10^{-5}$                               | 0.7450                  |
| 400                                   | 0.2904                           | 3510                                                          | 0.09918                                                 | $9.727 \times 10^{-5}$                                  | $2.119 \times 10^{-5}$                                  | $7.297 \times 10^{-5}$                               | 0.7501                  |
| 500                                   | 0.2529                           | 3836                                                          | 0.11933                                                 | $1.230 \times 10^{-4}$                                  | $2.334 \times 10^{-5}$                                  | $9.228 \times 10^{-5}$                               | 0.7502                  |
| 1000                                  | 0.1536                           | 5042                                                          | 0.22562                                                 | $2.914 \times 10^{-4}$                                  | $3.281 \times 10^{-5}$                                  | $2.136 \times 10^{-4}$                               | 0.7331                  |
| 1500                                  | 0.1103                           | 5701                                                          | 0.31857                                                 | $5.068 \times 10^{-4}$                                  | $4.434 \times 10^{-5}$                                  | $4.022 \times 10^{-4}$                               | 0.7936                  |
| 2000                                  | 0.0860                           | 6001                                                          | 0.36750                                                 | $7.120 \times 10^{-4}$                                  | $6.360 \times 10^{-5}$                                  | $7.395 \times 10^{-4}$                               | 1.0386                  |
| <i>Hydrogen, H<sub>2</sub></i>        |                                  |                                                               |                                                         |                                                         |                                                         |                                                      |                         |
| -50                                   | 0.11010                          | 12635                                                         | 0.1404                                                  | $1.009 \times 10^{-4}$                                  | $7.293 \times 10^{-6}$                                  | $6.624 \times 10^{-5}$                               | 0.6562                  |
| 0                                     | 0.08995                          | 13920                                                         | 0.1652                                                  | $1.319 \times 10^{-4}$                                  | $8.391 \times 10^{-6}$                                  | $9.329 \times 10^{-5}$                               | 0.7071                  |
| 50                                    | 0.07603                          | 14349                                                         | 0.1881                                                  | $1.724 \times 10^{-4}$                                  | $9.427 \times 10^{-6}$                                  | $1.240 \times 10^{-4}$                               | 0.7191                  |
| 100                                   | 0.06584                          | 14473                                                         | 0.2095                                                  | $2.199 \times 10^{-4}$                                  | $1.041 \times 10^{-5}$                                  | $1.582 \times 10^{-4}$                               | 0.7196                  |
| 150                                   | 0.05806                          | 14492                                                         | 0.2296                                                  | $2.729 \times 10^{-4}$                                  | $1.136 \times 10^{-5}$                                  | $1.957 \times 10^{-4}$                               | 0.7174                  |
| 200                                   | 0.05193                          | 14482                                                         | 0.2486                                                  | $3.306 \times 10^{-4}$                                  | $1.228 \times 10^{-5}$                                  | $2.365 \times 10^{-4}$                               | 0.7155                  |

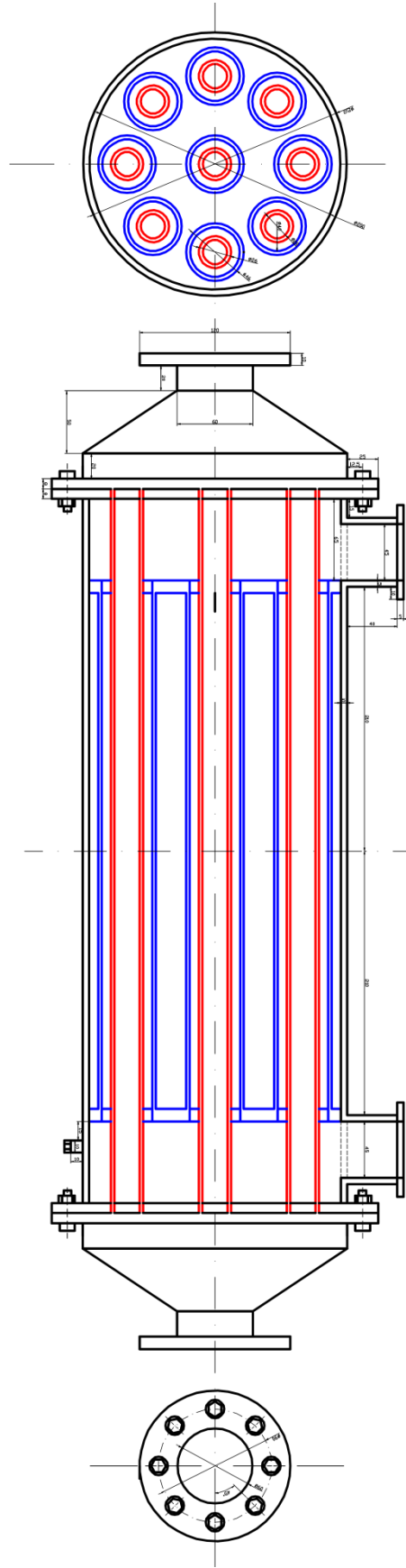
**EK A** Atmosfer basıncında gazların termofiziksel özellikleri [9].

| Temp.<br>$T, ^\circ\text{C}$          | Density<br>$\rho, \text{kg/m}^3$ | Specific<br>Heat<br>$c_p, \text{J/kg}\cdot\text{K}$ | Thermal<br>Conductivity<br>$k, \text{W/m}\cdot\text{K}$ | Thermal<br>Diffusivity<br>$\alpha, \text{m}^2/\text{s}$ | Dynamic<br>Viscosity<br>$\mu, \text{kg/m}\cdot\text{s}$ | Kinematic<br>Viscosity<br>$\nu, \text{m}^2/\text{s}$ | Prandtl<br>Number<br>Pr |
|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------|
| 300                                   | 0.04287                          | 14481                                               | 0.2843                                                  | $4.580 \times 10^{-4}$                                  | $1.403 \times 10^{-5}$                                  | $3.274 \times 10^{-4}$                               | 0.7149                  |
| 400                                   | 0.03650                          | 14540                                               | 0.3180                                                  | $5.992 \times 10^{-4}$                                  | $1.570 \times 10^{-5}$                                  | $4.302 \times 10^{-4}$                               | 0.7179                  |
| 500                                   | 0.03178                          | 14653                                               | 0.3509                                                  | $7.535 \times 10^{-4}$                                  | $1.730 \times 10^{-5}$                                  | $5.443 \times 10^{-4}$                               | 0.7224                  |
| 1000                                  | 0.01930                          | 15577                                               | 0.5206                                                  | $1.732 \times 10^{-3}$                                  | $2.455 \times 10^{-5}$                                  | $1.272 \times 10^{-3}$                               | 0.7345                  |
| 1500                                  | 0.01386                          | 16553                                               | 0.6581                                                  | $2.869 \times 10^{-3}$                                  | $3.099 \times 10^{-5}$                                  | $2.237 \times 10^{-3}$                               | 0.7795                  |
| 2000                                  | 0.01081                          | 17400                                               | 0.5480                                                  | $2.914 \times 10^{-3}$                                  | $3.690 \times 10^{-5}$                                  | $3.414 \times 10^{-3}$                               | 1.1717                  |
| <i>Nitrogen, <math>N_2</math></i>     |                                  |                                                     |                                                         |                                                         |                                                         |                                                      |                         |
| -50                                   | 1.5299                           | 957.3                                               | 0.02001                                                 | $1.366 \times 10^{-5}$                                  | $1.390 \times 10^{-5}$                                  | $9.091 \times 10^{-6}$                               | 0.6655                  |
| 0                                     | 1.2498                           | 1035                                                | 0.02384                                                 | $1.843 \times 10^{-5}$                                  | $1.640 \times 10^{-5}$                                  | $1.312 \times 10^{-5}$                               | 0.7121                  |
| 50                                    | 1.0564                           | 1042                                                | 0.02746                                                 | $2.494 \times 10^{-5}$                                  | $1.874 \times 10^{-5}$                                  | $1.774 \times 10^{-5}$                               | 0.7114                  |
| 100                                   | 0.9149                           | 1041                                                | 0.03090                                                 | $3.244 \times 10^{-5}$                                  | $2.094 \times 10^{-5}$                                  | $2.289 \times 10^{-5}$                               | 0.7056                  |
| 150                                   | 0.8068                           | 1043                                                | 0.03416                                                 | $4.058 \times 10^{-5}$                                  | $2.300 \times 10^{-5}$                                  | $2.851 \times 10^{-5}$                               | 0.7025                  |
| 200                                   | 0.7215                           | 1050                                                | 0.03727                                                 | $4.921 \times 10^{-5}$                                  | $2.494 \times 10^{-5}$                                  | $3.457 \times 10^{-5}$                               | 0.7025                  |
| 300                                   | 0.5956                           | 1070                                                | 0.04309                                                 | $6.758 \times 10^{-5}$                                  | $2.849 \times 10^{-5}$                                  | $4.783 \times 10^{-5}$                               | 0.7078                  |
| 400                                   | 0.5072                           | 1095                                                | 0.04848                                                 | $8.727 \times 10^{-5}$                                  | $3.166 \times 10^{-5}$                                  | $6.242 \times 10^{-5}$                               | 0.7153                  |
| 500                                   | 0.4416                           | 1120                                                | 0.05358                                                 | $1.083 \times 10^{-4}$                                  | $3.451 \times 10^{-5}$                                  | $7.816 \times 10^{-5}$                               | 0.7215                  |
| 1000                                  | 0.2681                           | 1213                                                | 0.07938                                                 | $2.440 \times 10^{-4}$                                  | $4.594 \times 10^{-5}$                                  | $1.713 \times 10^{-4}$                               | 0.7022                  |
| 1500                                  | 0.1925                           | 1266                                                | 0.11793                                                 | $4.839 \times 10^{-4}$                                  | $5.562 \times 10^{-5}$                                  | $2.889 \times 10^{-4}$                               | 0.5969                  |
| 2000                                  | 0.1502                           | 1297                                                | 0.18590                                                 | $9.543 \times 10^{-4}$                                  | $6.426 \times 10^{-5}$                                  | $4.278 \times 10^{-4}$                               | 0.4483                  |
| <i>Oxygen, <math>O_2</math></i>       |                                  |                                                     |                                                         |                                                         |                                                         |                                                      |                         |
| -50                                   | 1.7475                           | 984.4                                               | 0.02067                                                 | $1.201 \times 10^{-5}$                                  | $1.616 \times 10^{-5}$                                  | $9.246 \times 10^{-6}$                               | 0.7694                  |
| 0                                     | 1.4277                           | 928.7                                               | 0.02472                                                 | $1.865 \times 10^{-5}$                                  | $1.916 \times 10^{-5}$                                  | $1.342 \times 10^{-5}$                               | 0.7198                  |
| 50                                    | 1.2068                           | 921.7                                               | 0.02867                                                 | $2.577 \times 10^{-5}$                                  | $2.194 \times 10^{-5}$                                  | $1.818 \times 10^{-5}$                               | 0.7053                  |
| 100                                   | 1.0451                           | 931.8                                               | 0.03254                                                 | $3.342 \times 10^{-5}$                                  | $2.451 \times 10^{-5}$                                  | $2.346 \times 10^{-5}$                               | 0.7019                  |
| 150                                   | 0.9216                           | 947.6                                               | 0.03637                                                 | $4.164 \times 10^{-5}$                                  | $2.694 \times 10^{-5}$                                  | $2.923 \times 10^{-5}$                               | 0.7019                  |
| 200                                   | 0.8242                           | 964.7                                               | 0.04014                                                 | $5.048 \times 10^{-5}$                                  | $2.923 \times 10^{-5}$                                  | $3.546 \times 10^{-5}$                               | 0.7025                  |
| 300                                   | 0.6804                           | 997.1                                               | 0.04751                                                 | $7.003 \times 10^{-5}$                                  | $3.350 \times 10^{-5}$                                  | $4.923 \times 10^{-5}$                               | 0.7030                  |
| 400                                   | 0.5793                           | 1025                                                | 0.05463                                                 | $9.204 \times 10^{-5}$                                  | $3.744 \times 10^{-5}$                                  | $6.463 \times 10^{-5}$                               | 0.7023                  |
| 500                                   | 0.5044                           | 1048                                                | 0.06148                                                 | $1.163 \times 10^{-4}$                                  | $4.114 \times 10^{-5}$                                  | $8.156 \times 10^{-5}$                               | 0.7010                  |
| 1000                                  | 0.3063                           | 1121                                                | 0.09198                                                 | $2.678 \times 10^{-4}$                                  | $5.732 \times 10^{-5}$                                  | $1.871 \times 10^{-4}$                               | 0.6986                  |
| 1500                                  | 0.2199                           | 1165                                                | 0.11901                                                 | $4.643 \times 10^{-4}$                                  | $7.133 \times 10^{-5}$                                  | $3.243 \times 10^{-4}$                               | 0.6985                  |
| 2000                                  | 0.1716                           | 1201                                                | 0.14705                                                 | $7.139 \times 10^{-4}$                                  | $8.417 \times 10^{-5}$                                  | $4.907 \times 10^{-4}$                               | 0.6873                  |
| <i>Water Vapor, <math>H_2O</math></i> |                                  |                                                     |                                                         |                                                         |                                                         |                                                      |                         |
| -50                                   | 0.9839                           | 1892                                                | 0.01353                                                 | $7.271 \times 10^{-6}$                                  | $7.187 \times 10^{-6}$                                  | $7.305 \times 10^{-6}$                               | 1.0047                  |
| 0                                     | 0.8038                           | 1874                                                | 0.01673                                                 | $1.110 \times 10^{-5}$                                  | $8.956 \times 10^{-6}$                                  | $1.114 \times 10^{-5}$                               | 1.0033                  |
| 50                                    | 0.6794                           | 1874                                                | 0.02032                                                 | $1.596 \times 10^{-5}$                                  | $1.078 \times 10^{-5}$                                  | $1.587 \times 10^{-5}$                               | 0.9944                  |
| 100                                   | 0.5884                           | 1887                                                | 0.02429                                                 | $2.187 \times 10^{-5}$                                  | $1.265 \times 10^{-5}$                                  | $2.150 \times 10^{-5}$                               | 0.9830                  |
| 150                                   | 0.5189                           | 1908                                                | 0.02861                                                 | $2.890 \times 10^{-5}$                                  | $1.456 \times 10^{-5}$                                  | $2.806 \times 10^{-5}$                               | 0.9712                  |
| 200                                   | 0.4640                           | 1935                                                | 0.03326                                                 | $3.705 \times 10^{-5}$                                  | $1.650 \times 10^{-5}$                                  | $3.556 \times 10^{-5}$                               | 0.9599                  |
| 300                                   | 0.3831                           | 1997                                                | 0.04345                                                 | $5.680 \times 10^{-5}$                                  | $2.045 \times 10^{-5}$                                  | $5.340 \times 10^{-5}$                               | 0.9401                  |
| 400                                   | 0.3262                           | 2066                                                | 0.05467                                                 | $8.114 \times 10^{-5}$                                  | $2.446 \times 10^{-5}$                                  | $7.498 \times 10^{-5}$                               | 0.9240                  |
| 500                                   | 0.2840                           | 2137                                                | 0.06677                                                 | $1.100 \times 10^{-4}$                                  | $2.847 \times 10^{-5}$                                  | $1.002 \times 10^{-4}$                               | 0.9108                  |
| 1000                                  | 0.1725                           | 2471                                                | 0.13623                                                 | $3.196 \times 10^{-4}$                                  | $4.762 \times 10^{-5}$                                  | $2.761 \times 10^{-4}$                               | 0.8639                  |
| 1500                                  | 0.1238                           | 2736                                                | 0.21301                                                 | $6.288 \times 10^{-4}$                                  | $6.411 \times 10^{-5}$                                  | $5.177 \times 10^{-4}$                               | 0.8233                  |
| 2000                                  | 0.0966                           | 2928                                                | 0.29183                                                 | $1.032 \times 10^{-3}$                                  | $7.808 \times 10^{-5}$                                  | $8.084 \times 10^{-4}$                               | 0.7833                  |

**EK B** Motor soğutma suyu eşanjörü boyutları



## EK C Egzoz gazları eşanjörü boyutları



## EK D Şanzıman ve konfigrasyonu

### ZF 25 Hidrolik şanzıman

|                  |          |
|------------------|----------|
| Redüksiyon Oranı | 2.8      |
| Maksimum Devir   | 5500 RPM |

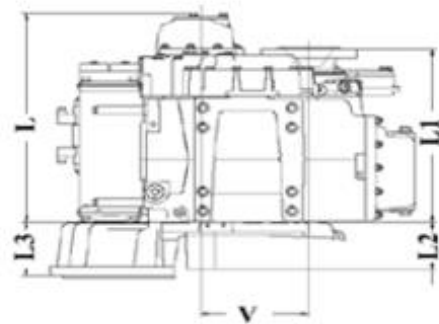
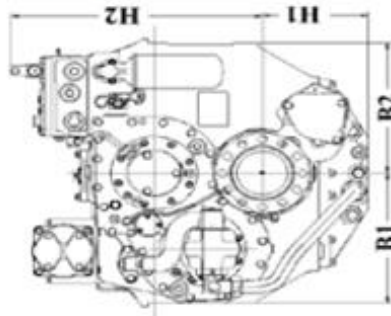


|                          | PARALLEL OFFSET                                               | COAXIAL | OFFSET DOWN-ANGLE     | V-DRIVE   |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------|---------|-----------------------|-----------|
| TRANSMISSION FAMILY      |                                                               |         |                       |           |
| <b>ZF M (mechanical)</b> | ZF 6 M, ZF 10 M, ZF 12 M,<br>ZF 15 M,<br>ZF 25 M, ZF 30 M<br> |         | ZF 15 MA,<br>ZF 25 MA | ZF 15 MIV |
| <b>ZF 25</b>             | <b>ZF 25</b>                                                  |         | ZF 25 A               |           |

EK E Şanzıman katalog değerleri

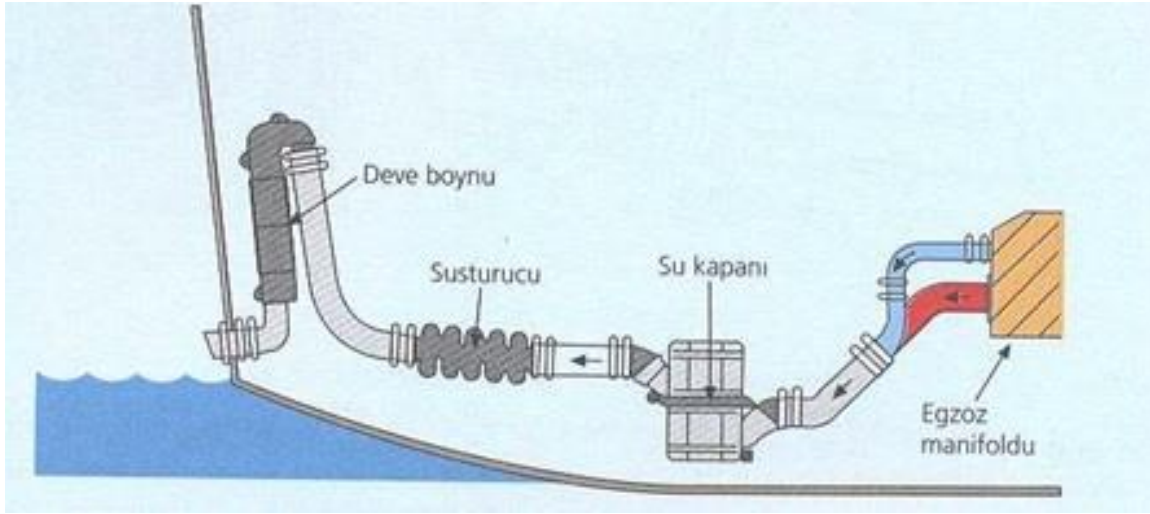
| MODEL                               | RATIOS  |         |               | INPUT POWER CAPACITY |          |          |          |          |     | MAX<br>RPM | WEIGHT |     | BELL HSGS.<br>AND NOTES                                         |
|-------------------------------------|---------|---------|---------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|-----|------------|--------|-----|-----------------------------------------------------------------|
|                                     | 'A' Pos | 'B' Pos | POWER/RPM     | KW                   | hp       | KW       | hp       | KW       | hp  |            | kg     | lb  |                                                                 |
| ZF 25                               | 1.969   | 1.969   | 0.0249 0.0334 | 52                   | 70       | 62       | 84       | 70       | 94  | 5500       | 24     | 53  | SAE 3, 4, 5, BW, Yanmar<br>JH                                   |
|                                     | 2.800   | 2.800   | 0.0239 0.0320 | 50                   | 67       | 60       | 80       | 67       | 90  | 5500       |        |     |                                                                 |
|                                     | 1.548   | 1.548   | 0.0249 0.0334 | 52                   | 70       | 62       | 84       | 70       | 94  | 5500       | 24     | 53  |                                                                 |
| ZF 25 A<br>8 degrees                | 1.926   | 1.926   |               |                      |          |          |          |          |     |            |        |     | SAE 3, 4, 5, BW, Yanmar<br>JH                                   |
|                                     | 2.292   | 2.292   |               |                      |          |          |          |          |     |            |        |     |                                                                 |
|                                     | 2.480*  | 2.480   |               |                      |          |          |          |          |     |            |        |     |                                                                 |
| ZF 45 A<br>8 degrees                | 2.714   | 2.714   | 0.0239 0.0320 | 50                   | 67       | 60       | 80       | 67       | 90  | 5500       |        |     | SAE 3, 4, 5, Yanmar 4LH-<br>4JH, Volvo 30-40, Volvo<br>D4-D6    |
|                                     | 1.256   | 1.256   | 0.0450 0.0604 | 95                   | 127      | 113      | 151      | 126      | 169 | 5500       | 28     | 62  |                                                                 |
|                                     | 1.514   | 1.514   |               |                      |          |          |          |          |     |            |        |     |                                                                 |
| ZF 45 C <sup>1</sup>                | 2.034   | 2.034   |               |                      |          |          |          |          |     |            |        |     | SAE 3, 4, Yanmar 4LH-<br>4JH, Volvo 30-40, Volvo<br>D4-D6       |
|                                     | 2.435   | 2.435   | 0.0418 0.0560 | 88                   | 118      | 104      | 140      | 117      | 157 | 5500       |        |     |                                                                 |
|                                     | 1.000   | 1.031   | 0.0414 0.0555 | 87                   | 116      | 103      | 139      | 116      | 155 | 5500       | 31     | 68  |                                                                 |
| ZF 45 IV <sup>1</sup><br>20 degrees | 1.207   | 1.244   | 0.0414 0.0555 | 2800 rpm             | 3300 rpm | 3300 rpm | 3800 rpm | 3800 rpm |     |            |        |     | SAE 3, 4, Yanmar 4LH-<br>4JH, Volvo 30-40, Volvo<br>D4-D6       |
|                                     | 1.462   | 1.507   |               | 116                  | 155      | 136      | 183      | 157      | 211 | 5500       | 47     | 103 |                                                                 |
|                                     |         |         |               |                      |          |          |          |          |     |            |        |     |                                                                 |
| ZF 45-1                             | 2.200   | 2.200   | 0.0455 0.0611 | 2100 rpm             | 2500 rpm | 2500 rpm | 2800 rpm | 2800 rpm |     |            |        |     | SAE 2, 3, 4, BW, Yanmar<br>4LH-4JH, Volvo 30-40,<br>Volvo D4-D6 |
|                                     | 2.512   | 2.512   |               | 96                   | 128      | 114      | 153      | 128      | 171 | 5500       | 60     | 132 |                                                                 |
|                                     | 3.031   | 3.031   |               |                      |          |          |          |          |     |            |        |     |                                                                 |
| ZF 45-1 IV <sup>1</sup>             | 3.741   | 3.741   |               |                      |          |          |          |          |     |            |        |     | SAE 3, 4, Yanmar 4LH,                                           |
|                                     |         |         |               | 2800 rpm             | 3300 rpm | 3300 rpm | 3800 rpm | 3800 rpm |     |            |        |     |                                                                 |
|                                     |         |         |               | 135                  | 181      | 159      | 213      | 183      | 245 | 5500       | 47     | 103 |                                                                 |

# EK F Şanzıman katalog boyutları

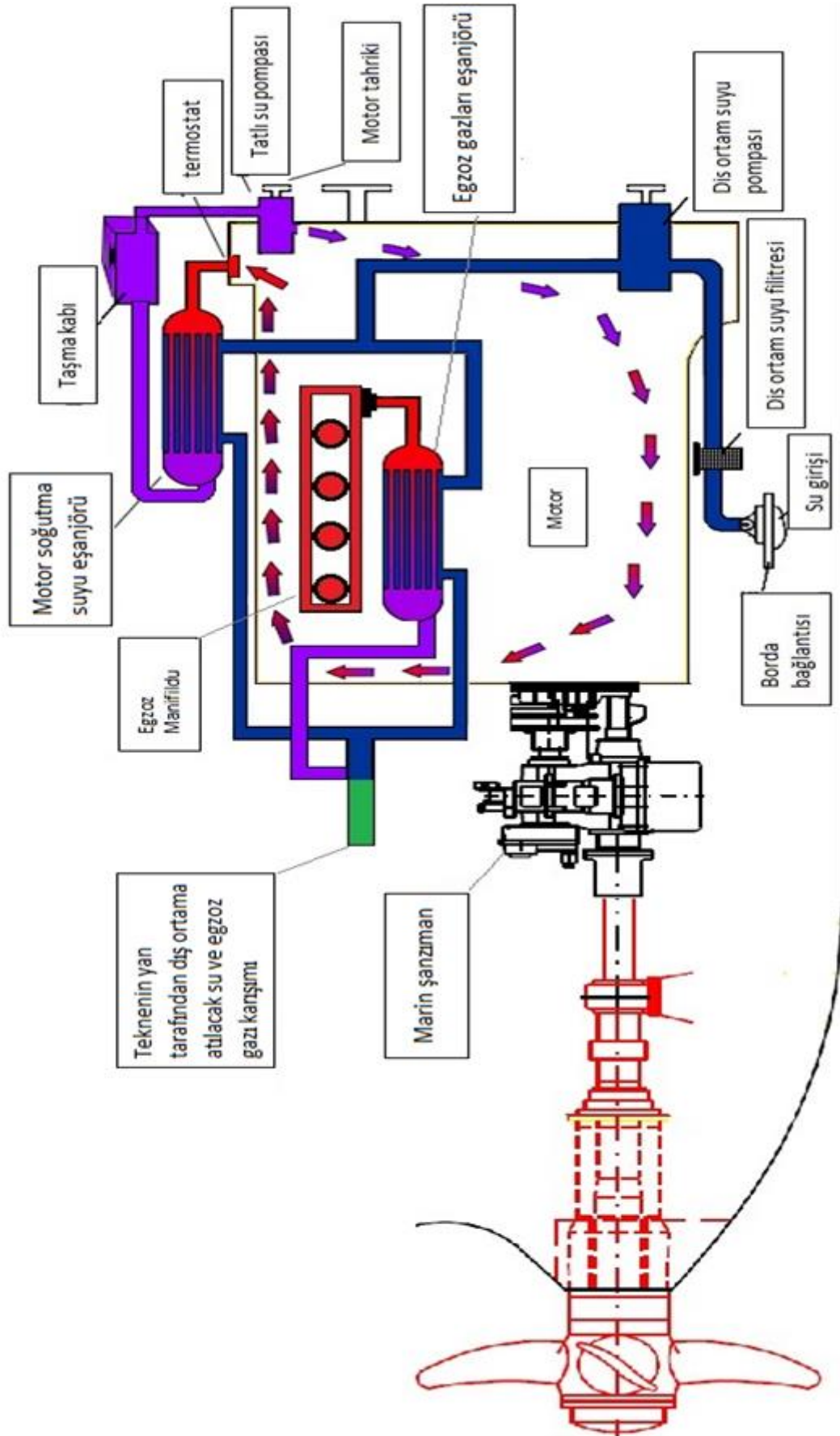


| MODEL     | mm (inches) |                |                |                |                |            |                |                |                |              | Weight<br>kg (lb) | Oil<br>I (US qt) |
|-----------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|----------------|----------------|----------------|--------------|-------------------|------------------|
|           | A           | B <sub>1</sub> | B <sub>2</sub> | H <sub>1</sub> | H <sub>2</sub> | L          | L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | L <sub>3</sub> | BELL<br>HSG. |                   |                  |
| ZF 25     | 99.0 (3.90) | 147 (5.79)     | 147 (5.79)     | 101 (3.98)     | 212 (8.35)     | 296 (11.7) | 270 (10.6)     | 82.5 (3.25)    | 17.5 (0.69)    | B/W          | 24.0 (53.0)       | 2.00 (2.10)      |
| ZF 45-1   | 151 (5.94)  | 170 (6.69)     | 170 (6.69)     | 139 (5.47)     | 271 (10.7)     | 303 (11.9) | 221 (8.70)     | 74.0 (2.91)    | 20.0 (0.79)    |              | 60.0 (132)        | 3.00 (3.20)      |
| ZF 63     | 127 (4.98)  | 178 (6.99)     | 178 (6.99)     | 118 (4.67)     | 266 (10.5)     | 329 (13.0) | 273 (10.8)     | 65.0 (2.56)    | 11.0 (0.43)    | 3            | 46.0 (103)        | 3.80 (4.00)      |
| ZF 220    | 135 (5.31)  | 215 (8.46)     | 175 (6.89)     | 125 (4.92)     | 281 (11.1)     | 386 (15.2) | 287 (11.3)     | 94.5 (3.72)    | 35.5 (1.40)    | 2            | 63.0 (139)        | 3.50 (3.71)      |
| ZF W220   | 210 (8.27)  | 218 (8.58)     | 218 (8.58)     | 210 (8.27)     | 425 (16.7)     | 397 (15.6) | 309 (12.2)     | 87.0 (3.43)    | 13.0 (0.51)    | 2            | 105 (231)         | 7.00 (7.40)      |
| ZF 280-1  | 146 (5.75)  | 230 (9.06)     | 175 (6.89)     | 131 (5.16)     | 301 (11.9)     | 394 (15.5) | 299 (11.8)     | 71.0 (2.80)    | 34.5 (1.36)    |              | 73.0 (161)        | 4.00 (4.20)      |
| ZF 286    | 146 (5.75)  | 230 (9.06)     | 230 (9.06)     | 150 (5.91)     | 315 (12.4)     | 457 (18.0) | 316 (12.4)     | 55.0 (2.17)    | 34.5 (1.36)    |              | 86.0 (189)        | 5.30 (5.60)      |
| ZF 305-3  | 155 (6.10)  | 254 (10.0)     | 254 (10.0)     | 147 (5.79)     | 372 (14.7)     | 444 (17.5) | 330 (13.0)     | 55.0 (2.17)    | 45.0 (1.77)    |              | 98.0 (216)        | 5.50 (5.80)      |
| ZF W320   | 245 (9.65)  | 295 (11.6)     | 295 (11.6)     | 248 (9.76)     | 395 (15.6)     | 598 (23.5) | 443 (17.4)     | 83.0 (3.27)    | 70.0 (2.76)    | 1            | 270 (595)         | 21.0 (22.3)      |
| ZF 325-1  | 165 (6.50)  | 265 (10.4)     | 265 (10.4)     | 156 (6.14)     | 355 (14.0)     | 489 (19.2) | 382 (15.0)     | 55.0 (2.17)    | 45.0 (1.77)    | 1            | 130 (286)         | 7.20 (7.60)      |
| ZF W325   | 245 (9.65)  | 295 (11.6)     | 295 (11.6)     | 248 (9.76)     | 453 (17.8)     | 572 (22.5) | 390 (15.4)     | 64.0 (2.52)    | -              | 1            | 315 ( 694)        | 16.0 (17.0)      |
| ZF W350-1 | 335 (13.2)  | 335 (13.2)     | 335 (13.2)     | 315 (12.4)     | 585 (23.0)     | 636 (25.0) | 500 (19.7)     | 92.0 (3.62)    | -              |              | 500 ( 1,101)      | 23.0 (24.4)      |
| ZF 360    | 180 (7.09)  | 290 (11.4)     | 290 (11.4)     | 167 (6.57)     | 358 (14.1)     | 633 (24.9) | 544 (21.4)     | -              | -              |              | 185 ( 407)        | 9.00 (9.50)      |
| ZF 500    | 180 (7.09)  | 290 (11.4)     | 290 (11.4)     | 167 (6.57)     | 358 (14.1)     | 633 (24.9) | 544 (21.4)     | -              | -              |              | 185 ( 407)        | 9.00 (9.50)      |
| ZF 550    | 200 (7.87)  | 310 (12.2)     | 310 (12.2)     | 200 (7.87)     | 400 (15.8)     | 676 (26.6) | 537 (21.1)     | -              | -              | 1            | 242 ( 533)        | 16.0 (17.0)      |
| ZF W650   | 365 (14.4)  | 355 (14.0)     | 355 (14.0)     | 340 (13.4)     | 652 (25.7)     | 517 (20.4) | 390 (15.4)     | 99.0 (3.90)    | 100 (3.94)     | 1            | 561 ( 1,235)      | 26.0 (27.6)      |
| ZF 665    | 200 (7.87)  | 310 (12.2)     | 310 (12.2)     | 200 (7.87)     | 400 (15.8)     | 676 (26.6) | 537 (21.1)     | -              | -              |              | 248 ( 546)        | 16.0 (17.0)      |
| ZF W1700  | 390 (15.4)  | 400 (15.8)     | 400 (15.8)     | 364 (14.3)     | 692 (27.2)     | 595 (23.4) | 435 (17.1)     | 132 (5.19)     | 115 (4.53)     |              | 642 ( 1,412)      | 45.0 (47.7)      |
| ZF W1800  | 390 (15.4)  | 400 (15.8)     | 400 (15.8)     | 364 (14.3)     | 692 (27.2)     | 595 (23.4) | 435 (17.1)     | 132 (5.19)     | 115 (4.53)     |              | 642 ( 1,412)      | 45.0 (47.7)      |
| ZF 2000   | 220 (8.66)  | 320 (12.6)     | 320 (12.6)     | 203 (8.00)     | 515 (20.3)     | 595 (23.4) | 421 (16.6)     | 115 (4.53)     | 115 (4.53)     | 1            | 340 ( 748)        | 21.0 (22.3)      |
| ZF 2050   | 220 (8.66)  | 320 (12.6)     | 320 (12.6)     | 203 (8.00)     | 515 (20.3)     | 595 (23.4) | 421 (16.0)     | 115 (4.53)     | 115 (4.53)     | 1            | 342 ( 752)        | 21.0 (22.3)      |
| ZF 2060   | 220 (8.66)  | 320 (12.6)     | 320 (12.6)     | 203 (8.00)     | 515 (20.3)     | 595 (23.4) | 421 (16.6)     | 115 (4.53)     | 115 (4.53)     | 1            | 342 ( 752)        | 21.0 (22.3)      |
| ZF 2070   | 220 (8.66)  | 320 (12.6)     | 320 (12.6)     | 203 (8.00)     | 515 (20.3)     | 595 (23.4) | 421 (16.6)     | 115 (4.53)     | 115 (4.53)     | 0            | 342 ( 752)        | 21.0 (22.3)      |
| ZF 2075   | 220 (8.66)  | 320 (12.6)     | 320 (12.6)     | 203 (8.00)     | 515 (20.3)     | 595 (23.4) | 421 (16.6)     | 115 (4.53)     | 115 (4.53)     |              | 342 ( 752)        | 21.0 (22.3)      |

**EK G** Sistemin şematik olarak gösterimi- önden



EK H Sistemin şematik olarak gösterimi- yandan





## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Özgür Kaya  
**Doğum Yeri ve Tarihi:** Mazgirt, 1986  
**E-Posta:** kayaozgur85@gmail.com

### **ÖĞRENİM DURUMU:**

**Lisans:** 2011, İTÜ, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği  
**Lisans-2:** 2010, İTÜ, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi,  
Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği

### **MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:**

FORD Motor - AVL Araştırma ve Mühendislik - Ürün Geliştirme Mühendisi.  
İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakülte Birinciliği.