

- ❖ ISITMA
- ❖ HAVA KOŞULLANDIRMA
- ❖ HAVALANDIRMA
- ❖ SU ŞARTLANDIRMA
- ❖ SU ARITIMI
- ❖ ENERJİ
- ❖ OTOMATİK KONTROL
- ❖ BİNA OTOMASYON

- ❖ İŞ YÖNETİMİ VE ORGANİZASYON
- ❖ MALİYE / FİNANS
- ❖ MÜHENDİSLİK GELİŞTİRME
- ❖ PAZARLAMA / SATIŞ
- ❖ HALKLA İLİŞKİLER / REKLAM
- ❖ EĞİTİM
- ❖ AR-GE
- ❖ KİŞİSEL GELİŞİM
- ❖ ÜRETİM
- ❖ İHRACAT / İTHALAT
- ❖ MÜŞTERİ HİZMETLERİ
- ❖ SERVİS HİZMETLERİ

Alarko Carrier San. Ve Tic. A.Ş.  
GOSB – Gebze Organize Sanayi Bölgesi  
Şahabettin Bilgisu Cad. 41480 Gebze / KOCAELİ  
[www.alarko-carrier.com.tr](http://www.alarko-carrier.com.tr)  
[info@alarko-carrier.com.tr](mailto:info@alarko-carrier.com.tr)

Cem AYBAR

## SİRKÜLASYON POMPALARINDA HİDROLİK VE ELEKTRİKSEL TASARIMIN ENTEGRASYONU

\* Yayın Tarihi: Nisan 2011

\* Yayınlayan: Tesisat Dergisi

\* Kaynak gösterilerek kısmen ya da tamamen yayınlanabilir.



## **Cem AYBAR**

Alarko Carrier Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Mühendislik Bölümü / Arge Şefi

1980 yılında Kocaeli İzmit'te doğdu. Kocaeli Körfez Fen Lisesi'nin ardından, 2002 Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2008 yılında Alarko Carrier Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de çalışmaya Arge Departmanı'nda başladı. Mayıs 2010 yılı itibariyle Arge Mühendislik Bölümü'nde Arge Şefi olarak görevine devam ediyor.

### **Sirkülasyon Pompalarında Hidrolik ve Elektriksel Tasarımın Entegrasyonu**

Sirkülasyon pompası, salyangoz ve fandan oluşan ve sıvıların kapalı bir tesisat içinde sirkülasyonunu sağlayan pompa ve bu pompayı tahrik ederek fana gerekli torku ve gücü sağlayan elektrik motorundan oluşmaktadır. Motor ve pompa tasarım programları kullanılarak hesaplamalarda hata yapma olasılığı düşürülmekte ve imali zor tasarımlar belirlenerek gereksiz maliyetler engellenmektedir. Bilgisayar ortamında yapılan bir tasarımla kısa sürelerde istenilen çıkış gücünü, hızı ve tork maksimum verimlilikte sağlayabilen tasarımlar yapılabilmektedir. Tasarımcı her seferinde parametrelerden birini değiştirerek bunun sistem verimliliği, basma yüksekliği gibi özelliklerin üzerindeki etkisini görmekte, tasarımda yapılması gereken değişiklikler belirlenebilmektedir. Motor ve pompa tasarım süreçlerinin beraber yürütülmesiyle maksimum sistem verimliliğine sahip tasarımlar gerçekleştirilmektedir.

#### **1. Giriş**

Ürün tasarımları, kaliteli ve düşük maliyetli aynı zamanda mevcut yasal mevzuata uygun ürünleri ortaya çıkarmak amacıyla yapılmaktadır. Günümüz dünyasında gerek kanuni zorunluluklar, gerek daha bilinçli insanlar gerekse şirketler arası rekabet, pompa ve motor dünyasında tasarımların yenilenmesi, yüksek verimli, daha küçük ve daha az maliyetli pompa ve bunu tahrik eden motorların yapılmasını gerektirmektedir. Mevcut Eko-tasarım Direktifim ürünün sadece çalışma koşullarında değil, tasarım, üretim, çalışma ve geri dönüşüm süreçlerinin toplamında en az enerji kullanımını ve çevreye en az atık üretimini zorunlu kılmaktadır.

Diğer yandan ilerleyen teknoloji ile birlikte birçok uzmanlık alanına bir arada gereksinim duyulan ürünler ortaya çıkmaktadır. Sirkülasyon pompalarında da Akışkanlar Mekaniği, Isı Transferi, Elektrik Motor Tasarımı ve Sürücü Tasarımı gibi ana başlıklar altında toplayabileceğimiz pek çok uzmanlık alanında tasarım süreçleri söz konusudur. Birçok uzmanlık alanının bir arada olduğu bu projelerin geliştirilmesi uzun süreler alabilmektedir. Pompa ve motor sistemlerinin paralel tasarımına ve büyük

ölçekte araştırma ve geliştirme yatırımlarına ihtiyaç duymaktadır. Günümüzün hızlı gelişen dünyasında bilgisayarlı tasarım programlarını kullanmak kaçınılmaz olmuştur.

## 2. Bilgisayar Destekli Tasarım

Motor ve pompa tasarım programları, daha verimli pompa ve motorların tasarımında mühendislere ve şirketlere büyük kolaylıklar sunmaktadır. Bu programlar sayesinde sistem tasarım süreçleri çok kısalmaktadır. Bir tasarımın prototip olarak gerçekleştirilmesi için harcanan zaman ve bunun yarattığı maliyet, programlar sayesinde en aza indirilmekte ve tasarım aşamasında optimizasyon sağlanabilmektedir.

Bilgisayar ortamında yapılan bir tasarımla kısa sürelerde istenilen çıkış gücüne, hıza ve torka sahip motorlar ve bu motorlara akuple edilmiş, istenilen debi ve basma yüksekliğini en yüksek verimlilikte sağlayan hidrolik tasarımlar yapılabilmektedir.

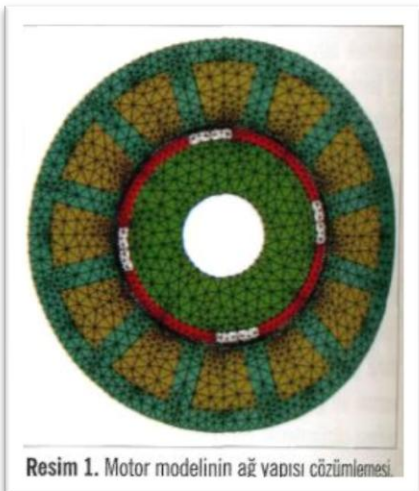
## 3. Hidrolik ve Elektriksel Tasarımın Gerçekleştirilmesi ve Entegrasyonu

Tasarımın ana hedefi belirli bir debi aralığında, istenilen basma yüksekliğini minimum enerji kullanımı ile maksimum verimliliği sağlayacak sirkülasyon pompası ortaya çıkarmaktır. Bunun için motorun tasarlanması, motorun belirli hızlarda çalışmasını sağlayacak sürücünün tasarlanması, fan ve salyangozun tasarlanması, kullanılan malzeme ve yapısal tasarım sonucu ortaya çıkan ısı transfer modelinin çıkarılması gerekmektedir.

### 3.1. Motor Tasarımının Yapılması ve Dinamik Analiz

Bilgisayar Destekli Tasarım ve Simülasyon programı kullanılarak hedeflenen mil gücünü verecek şekilde motor parametreleri programa girilir. Tasarımda kullanılan malzemelerin gerekli teknik özellikleri (bakır tel için iletkenlik, sac için manyetik karakteristiği vb.) tanımlandıktan sonra model analiz edilmek için hazırlanır.

Analizi yapabilmek için hazırlanan motor modelinin program aracılığıyla ağ yapısı (mesti) çıkarılır (Resim 1). Bu yapı programlar tarafından otomatik olarak oluşturulabileceği gibi kritik bölgelerde hesaplamaların daha sağlıklı olması için kullanıcı tarafından da oluşturulabilir.



Motorun belirli bir devir hızında istenen torku vermesi ve tasarımın bu devir hızında maksimum verimde olması amaçlanır. Senkron bir motor için elektromanyetik tork Formül (1) de belirtildiği gibidir.

$$T_e = -\frac{m}{w_s} \left[ \frac{V_{sph} E_f}{z_d} \sin(\psi_L - \alpha) - \frac{E_f^2 R_s}{Z_d} \right] \quad (1)$$

Burada T; Elektromanyetik tork, cos; Senkron açısal hız Rs; Stator direnci, Vsph; Stator faz gerilimi, Ef; Alan akım uyarıtımı tarafında en-düklene gerilim, Zd; Senkron empedans, a; arcsin ( —), u.; Yük açısı değeridir.

Dinamik analizde motorun çözümlenmesi, önceden belirlenen çalışma parametreleri istenilen aralıkta ve istenilen adım aralığında değişken olarak tanımlanarak sonlu elemanlar yöntemi ile yapılır ve performans parametreleri ortaya konur. Devir hızı değişken olarak tanımlanarak dinamik analiz yapıldığında elektromanyetik tork Grafik 1'deki gibi oluşur. Yine devir hızına bağlı olarak elde edilen verim ve şebekeden çekilen akım Grafik 2'de verilmiştir. Motorun dinamik analizi sonucu elde edilen veriler veritabanına aktarılır. Bu veriler hidrolik analizde giriş verisi olarak kullanılır. Hidrolik analiz sonucu belirlenen pompa parametreleri de motor tasarımında optimizasyon için kullanılır.

Motorun istenen su gücünü, minimum enerji kullanımını sağlamak ve istenen devir sayısında çalıştırabilmek için sürücü kullanılmaktadır. Sürücü devresi, sistemin o anki yük profilini belirleyerek anahtarlama hızı ve besleme gerilimini uygun değere ayarlar. Anahtarlama hızı motor devir hızının değişiminde ana etkindir. Yapılan tasarımın anahtarlama hızına bağlı veriminin değişimi Grafik 3'te verilmiştir. Sürücü devresi benzer şekilde motora uygulanan gerilimin efektif değerini değiştirerek, elektromanyetik tork değerinin değişmesini sağlar. Yapılan tasarımın besleme geriliminin efektif değerine bağlı veriminin değişimi Grafik 4'te verilmiştir.

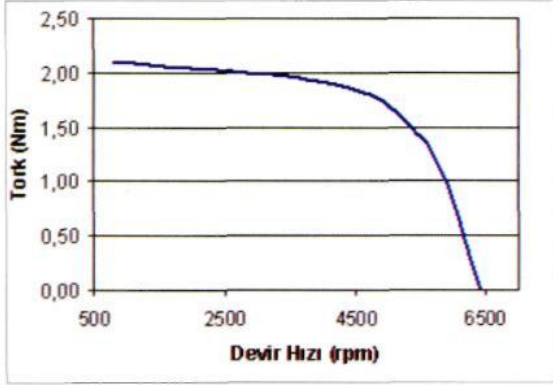
### 3.2. Pompa Performans Eğrileri ve Akış Alanının Belirlenmesi

Akış incelemeleri Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucu sirkülasyon pompasına ait performans eğrileri elde edilmiş ve pompa akış alanları incelenebilmiştir. Pompa akış analizinde katı modelin analize uygun hale getirilmesi için salyangoz ve fan katı modellerine ek olarak analizde Dönel Bölgeyi tanımlayacak fanı çevreleyen 3 boyutlu bir parça oluşturulmuştur. Yine modelde suyun salyangoza giriş ve çıkış hacimlerini tanımlayacak bölgelere yerleştirilen uzun silindirik hacimler oluşturulmuştur. Bu işlemlerden sonra CFD analizi için gerekli olan katı model hazırdır. (Resim 2)

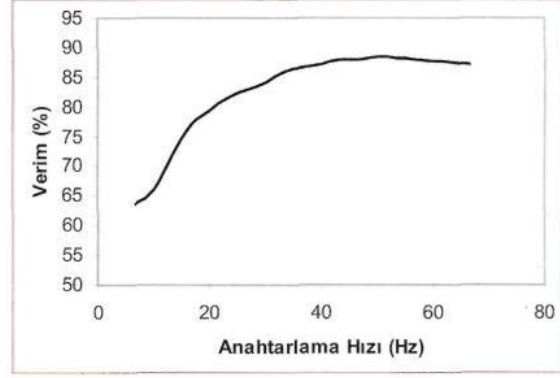
Daha sonra analiz ile elde edilmek istenen büyüklükleri çözümde verecek olan sınır koşulları olan debi, basınç ve devir sayısı değerleri tanımlanmıştır.



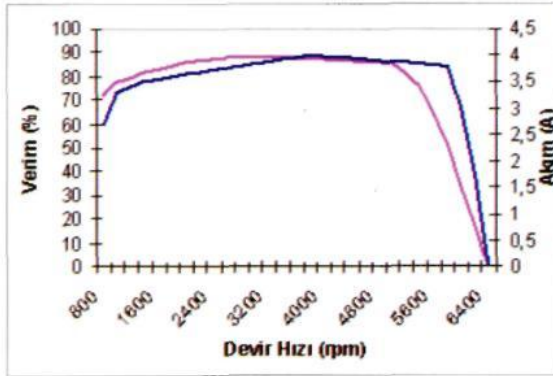
Resim 2. Sirkülasyon pompasının katı modeli.



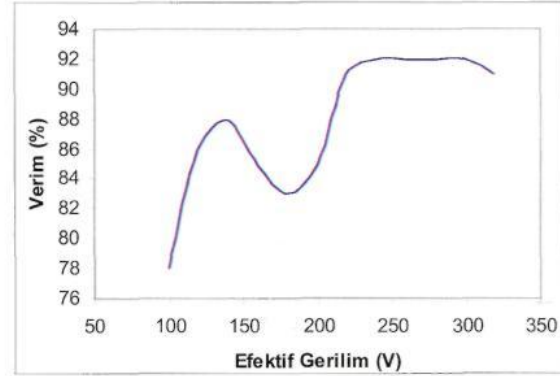
Grafik 1. Tork-Hız Karakteristiği



Grafik 3. Anahtarlama Hızı - Verim

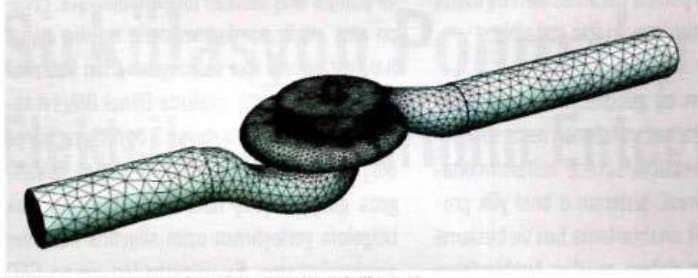


Grafik 2. Devir Hızı- Verim/Akım Grafiği

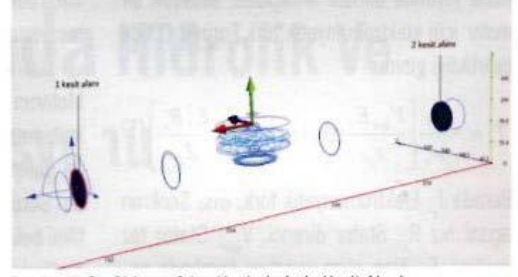


Grafik 4. Efektif Belseme Gerilimi -Verim

Analizlerde su giriş yüzeyinde debi, çıkış yüzeyinde ise basınç değerleri sınır koşulları olarak tanımlanmış sonuçta giriş basıncı elde edilmiştir. Ağ yapısı (mesh) işleminde analiz için en kritik bölge olan (yüksek hızda, zamana bağlı) fan ve çevresi için ince ağ, fandan uzaklaştıkça daha kaba ağ kullanılmıştır. (Resim 3)



Resim 3. Fan, dönen bölge ve akışkan hacmi ağ yapısı.



Resim 4. Su Giriş ve Çıkış Hacimlerinde Kesit Alanları.

Çalışma sonucunda altı farklı debi değeri için çözümler yapılmış ve bu debilerdeki basma yüksekliği değerleri ile tork değerleri elde edilmiştir.

Pompanın basma yüksekliği Resim 4'te gösterilen 1 kesit alanı ile 2 kesit alanı arasında Bernoulli Eşitliği (2) yazılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + H = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_c \quad (2)$$

Bu eşitlikte  $P_1$  ve  $V_1$  sırasıyla 1 kesit alanındaki basınç değeri ve ortalama hız değerini ifade ederken,  $P_2$  ve  $V_2$  yine sırasıyla 2 kesit alanındaki basınç değeri ve ortalama hız değerleridir.  $H$ , pompanın basma yüksekliği,  $h_c$  ise kot farkıdır.

Bu eşitlikten elde edilen  $H$  basma yüksekliği değeri sürücü motor tarafından pompaya aktarılan güç değerinin hesaplanması için kullanılmıştır. Tork değerleri CFD programının tork çıktıları dosyasından okunmuştur. Bu değer motorun akışkana fanın girişi ve çıkışı arasında kazandırdığı açısal momentum olarak ifade edilebilir.

(3) denklemi tork değerinin hesaplanmasında kullanılan eşitliğin ifadesidir.

$$T = \rho \cdot g \cdot (r_2 \cdot V_2 \cdot \cos \alpha_2 - r_1 \cdot V_1 \cdot \cos \alpha_1) \quad (3)$$

Bu eşitlikte  $V_2 \cdot \cos \alpha_2$  Resim 5'te görüldüğü gibi mutlak açısal hız  $V_{12}$  olarak ifade edilebilir. Pompaya ait hidrolik verim değeri analiz sonucu elde edilen basma yüksekliği ve tork değerleri kullanılarak (4) denklemi ile hesaplanmıştır.

$$\eta_h = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{T \cdot \omega} \quad (4)$$

#### 4. Sonuç

Sirkülasyon pompalarında verim hesabı en basit şekilde motorun verimi ile pompanın veriminin çarpımıdır.

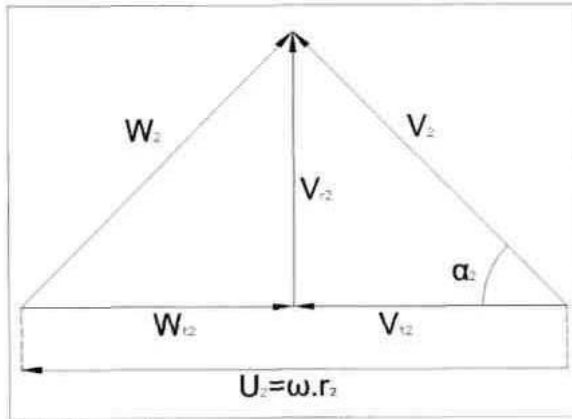
Tasarımın amacı sistem veriminin maksimum olmasıdır. Bu sebepten elektriksel tasarımın analizi sonucu ortaya çıkan veriler, hidrolik tasarımın analizinde girdi olarak kullanılarak maksimum sistem verimliliği sağlanmaya çalışılır. Toplam sistem verimi, farklı hızlar için yapılan analizinde Grafik 5'teki gibi değerler elde edilir.

### Kaynaklar

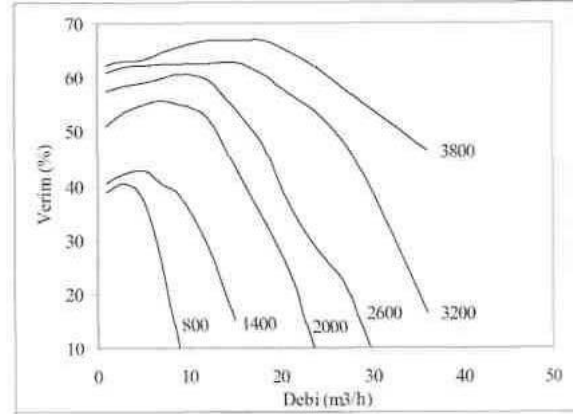
[1] DIRECTIVE 2005/32/EC OF THE EU-ROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 6 July 2005 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products.

[2] Miller T. J. E, "Brushless Permanent Magnet and Reluctance Motor Drives", pp 28-33, Oxford University Press, Oxford, 1993.

Bu makale, 28-30 Nisan 2011 'de düzenlenen 7. Pompa - Vana Kongresi'nde bildiri olarak sunulmuştur.



Resim 5. Fan çıkış hız üçgeni.



Grafik 5. Farklı Devir hızları için Debi-Sistem Verimi.