# Hidro Generator Yenilemesinde Optimizasyon

## 1. Giriş

Bu rapor hidro generatorlerin yenilenmesi için geliştirilen optimizasyon yönteminin çalışma prensibini içermektedir. Ayrıca, kurulan alt yapının nasıl kullanılacağını anlatmaktadır. Geliştirilen optimizasyon metodu yeni generator tasarımı çalışmasının otomatize bir şekilde yapılmasını ve daha iyi tasarımların çıkarılmasını amaçlamaktadır. Raporun yöntem kısmında kullanılan optimizasyon algoritmasını içermektedir. Eklerde ise bu algoritma için geliştirilen alt yapının kullanım kılavuzu yer almaktadır. Yöntem kısmından sonra bulgular kısmında algoritma çıktıları tartışılmış olup sonuç kısmında potansiyel çalışmalara değinilmektedir.

## 2. Yöntem

Optimizasyon algoritmaları bir veya birden fazla objektif fonksiyonların minimum veya maksimum değerlerini bulmak için kullanılmaktadır. Şimdiye dek analitik ve deneme-yanılma üzerine kurulan birçok algoritma geliştirilmiştir. Analitik ve yinelemeli algoritmalar hızlı çalışsalar da sistemin analitik modelini çıkarmak her zaman kolay olmamaktadır. Bunun için de genetik algoritmalar (GA) çıkarılmış ve deneme-yanılma metoduyla optimize edilebilmektedir. Makine tasarımında da elektrik makinelerinin doğru bir analitik modelini çıkarmak zor olduğundan ANSYS Maxwell yazılımı kullanılarak genetik algoritmalar ile optimizasyon çalışması yapmak daha kolay olmaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada da genetik algoritmanın bir varyasyonu kullanılmıştır. Genetik algoritmaların artıları ve eksileri ise aşağıda sunulmuştur.

**Genetik Algoritmanın Avantajları:**

* Türevli olmayan objektif fonksiyonlarında da kullanılabilir.
* Yeterince kısa sürede yeterince iyi sonuçlar sunmaktadır.
* Birden fazla objektif fonksiyon ile çalışabilmektedir.
* Hem sürekli hem ayrık objektif fonksiyonlarda çalışabilmektedir.

**Genetik Algoritmanın Dezavantajları:**

* Objektif fonksiyonun kompleksliğine göre sayısal hesaplama olarak masraflı olabilmektedir.
* Optimum çözümü garanti etmez.
* Algoritma parametreleri doğru ayarlanmazsa sonuca yaklaşmaz.

Genetik algoritmalar evrimden esinlenilmiştir. Genetik algoritmaları daha iyi anlamak için jenerasyon, popülasyon, birey, gen, mutasyon ve cross-over terimlerini anlamak gerekmektedir.

**Jenerasyon:** İsminden de anlaşılacağı üzere algoritmanın kaç defa tekrarlanacağını belirten parametredir. Örneğin 10 jenerasyon çalıştırılan bir genetik algoritmada ilk oluşturulan jenerasyondan sonra 9 defa evrim gerçekleştirilir ve 10. jenerasyonda sonuçlar elde edilmektedir.

**Popülasyon:** Bir jenerasyon içerisindeki varyasyonların tamamına verilen isimdir.

**Birey:** Popülasyon içerisindeki her bir farklı varyasyona birey denmektedir.

**Gen:** Değişkenlerin her birine verilen isimdir. Örneğin, dış çap, hava aralığı veya ankuş sayısı gibi.

**Mutasyon:** Bir geni rastgele olarak değiştirmeye verilen isimdir.

**Cross-over:** İsminden de anlaşılabileceği üzere seçilen iki bireyin birbiri ile gen değişimi yapmasıdır. Örnek olarak bir bireydeki dış çap diğerine aktarılırken o da diğerinin dış çap değerini alır. Bu seçilen iki birey ise ebeveyn ismini alır.

Genetik algoritmaların çalışma prensibi ile şöyledir:

1. İlk popülasyon oluşturulur. Simülasyon çalıştırılır, sonuçlar elde edilir.
2. Sonuçlar üzerinden sıralama yapılır.
3. İkinci ve daha sonraki popülasyonları oluşturabilmek için ebeveynler seçilir.
4. Mutasyon ve cross-over ile sonraki popülasyonlar oluşturulur.
5. Belirtilen jenerasyon sayısına ulaşıncaya dek simülasyonlar devam eder.
6. Maksimum jenerasyon sayısına ulaşıldığına simülasyon bitirilir ve elde edilen sonuçlara göre sıralama yapılarak optimum tasarımlar elde edilir.

## 2.1. NSGA – II

Genetik algoritmanın bir varyasyonu da NSGA – II’dir (Non-dominated sorting genetic algorithm – II). Bu çalışmada da genetik algoritmanın bu varyasyonu kullanılmıştır. NSGA – II’nin genel özelliklerine geçmeden önce dominasyon terimini anlamak gerekmektedir. Optimizasyon sırasında elde edilen iki sonucumuz ve olsun. Herhangi bir objektif fonksiyonda ise ’yi domine etmektedir. NSGA – II algoritmasının genel özellikleri şöyledir:

* Çoklu objektif fonksiyonlu genetik algoritma tabanlıdır.
* Elitist ilkesini kullanır. Elitizm her jenerasyondaki en iyi bireyin genellikle mutasyona da uğramadan bir sonraki jenerasyona aktarılmasıdır.
* “Crowding Distance” metoduyla çeşitliliği sağlar. “Crowding Distance” bir bireyin komşularına olan yakınlığının bir ölçüsüdür.
* Domine edilmeyen çözümlere önem verir.

NSGA – II de tıpkı GA gibi çalışmaktadır. Sadece sıralama ve ebeveyn seçimlerinde farklılık görülebilmektedir. Ayrıca, NSGA – II çoklu objektif optimizasyon metodudur.

## 2.2. İleri Tasarım Çalışmasında Kullanılan Yöntem

İleri generator tasarım çalışmalarında NSGA – II kullanılmıştır. Tasarım çalışmalarından önce diğer generatorler incelenmiş ve yeni tasarımlarda tam adımlı sargı ile sargı üretimi kolaylaştırılırken kutup geometrisinde ikinci bir radyus ile harmonikler elimine edilmiştir. Bundan esinlenilerek tasarım çalışmaları 3 aşamalı planlanmıştır:

1. Kısa adımlı sargı ile kutup geometrisini sabit tutarak mevcut dış çap değeri için optimum tasarımların elde edilmesi.
2. Kısa adımlı sargı ile kutup geometrisini sabit tutarak farklı dış çap değerleri için optimum tasarımların elde edilmesi.
3. Tam adımlı sargı ile kutup geometrisinde oynanarak faklı dış çap değerleri için optimum tasarımların elde edilmesi.

Değişkenler de bu planlar çerçevesinde seçilecektir. Öncelikle dış çap değerleri olarak 6000 mm, 6858 mm (mevcut çap), 7500 mm ve 8000 mm değerleri seçilmiştir. Farklı dış çap değerlerinden dolayı eksenel uzunluk ile de oynanmak gerekmektedir çünkü güçte bir artışa gidilmeyecektir. Yine dış çap değerinin değişmesi beraberinde iç çapta ve ankuş geometrisinde bir değişimi de zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, eksiklik olmaması adına ankuş sayısı da optimizasyon parametrelerine dahil edilmiştir. Bütün bunlara ek generator karakteristiklerini en çok etkileyen parametrelerden biri olan hava aralığını da parametrik yapmak gerekmektedir.

Geometrik olarak mümkün olmayan tasarımları elemek için rotor çapı dış çapa bağlı bir katsayıyla çarpılmaktadır. Daha sonra hava aralığı parametresi ile de iç çap değeri bulunmaktadır. Böylece rotor hiçbir zaman statordan büyük olamamaktadır. Yine ankuşların stator içine sığabilmesi için de kısıtlamalar hesaplanarak tanımlanmıştır.

Bu durumda optimizasyon algoritmasında girdi olan değişken sayısı 6 olmaktadır. Bu değişkenler ise şöyledir: (rotor çapının dış çapa oranı), (hava aralığı), (eksenel uzunluk), (ankuş genişliği), (ankuş yüksekliği), ve (ankuş sayısı). Algoritmanın objektif fonksiyonları üretim maliyeti ve verimliliktir. Kısıtlamalarımız ise ankuşların statora, kutupların ise rotor çevresine sığmasıdır.

Matematiksel olarak objektif fonksiyonları, kısıtlamaları ve penaltıları ifade etmek gerekirse

Değişkenlerin örneklem uzayı ise şu şekilde tanımlanmıştır:

Yukarıda belirtildiği gibi optimizasyon algoritması farklı dış çap değerleri için tekrarlanmıştır. Bu değerler 6000, 6858, 7500 ve 8000 mm’dir. Ayrıca, AC kayıpları içeren ve içermeyen 2 farklı varyasyon oluşturulmuş olup bir sonraki bölümde elde edilen bulgular sunulmuştur.

## 3. Bulgular

### 3.1. AC Kayıpların İncelenmediği Model

RMxprt yazılımı AC kayıpları ve sargı sonu (end winding) kayıplarını hesaplamaz. Bundan dolayı AC kayıpları analitik olarak hesaplayarak RMxprt yazılımının çıktısına eklemek gerekir. Aynı şekilde sargı sonu kayıplarını hesaba katmak içinse RMxprt yazılımından elde edilen bakır kayıplarını gerçek sargı boyunun aktif bölgedeki sargı boyuna oranı ile çarpılarak orantılanabilir çünkü sargı sonu kısmında AC kayıplar aktif bölgedeki kadar çok olmamaktadır. Bu düzeltmelerin yapıldığı model bir sonraki bölümde anlatılacaktır.

AC kayıpsız modelin oluşturulma sebebi ise mantıklı sayıda bir spir seçimi ile AC kayıplar DC kayıpların yaklaşık olarak 1.1 – 1.2 katı olmaktadır.