

İSTANBUL BOĞAZINDAKİ AKINTI ENERJİSİ YARDIMIYLA ELEKTRİK ELDESİ

Onur TULGAS

Prof.Dr. Ayşen DEMİRÖREN, Prof. Dr. Ömer GÖREN, Y.Doç.Dr.Özgür ÜSTÜN

1. Giriş

Dünyamızda gerçekleşen ve hızla ilerleyen teknolojik gelişmeler, enerjinin hayatımızdaki yerini daha da arttırmıştır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde gerçekleştirilen yeni yatırımlar ve insanların yaşam biçimlerinin değişmesi enerjiye olan vazgeçilmez ihtiyacı arttırmaktadır. Ülkelerin uygarlık seviyesini ortaya koyan önemli bir unsur da kişi başına düşen enerji tüketimi değeri olmuştur. Dünya bu enerji ihtiyacını enerji üretimi sırasında çevreye önemli derecede tahribat yapan fosil kaynaklı yakıtlardan karşılamaktadır. Günümüzde açıkça hissedilebilir şekilde yaşanan çevre kirliliği sorunlarına çözüm sağlamak ve ortaya çıkan ve sürekli bir artış gösteren enerji ihtiyacını karşılamak konusunda en etkili ve verimli çözüm olarak temiz ve çevreci olan yenilenebilir enerji kaynakları görülmüştür.

Türkiye açısından enerji ihtiyacını sahip olmadığı fosil yakıtlardan sağlıyor olması enerjide dışa bağımlı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca sahip olduğumuz linyit kömürlerimiz de düşük kalorili olmalarının yanı sıra yüksek kükürt ve kül içeriği değerleriyle çevreyi olumsuz etkilemektedir. Bu açıdan bakıldığında Türkiye için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin ne derece önemli olduğu açıktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlilerinden biri de deniz kökenli yenilenebilir enerjilerdir.

2. Deniz Akıntıları Türbinlerinin Tanımı

Deniz akıntıları türbinlerinin çalışma prensibi rüzgar türbinleriyle benzerdir. Tek fark deniz akıntı türbinleri rüzgarla değil suyun akışıyla tahrik edilir. Sıklıkla, deniz akıntı türbinleri birkaç kanattan, bu kanatların bağlı olduğu bir şaft ve generatörden oluşur. Düşey eksenli türbinler ileride daha ayrıntılı olarak anlatılacaktır ancak en genel ifadesiyle akıntı kuvveti kanatları şaft eksenini etrafında döndürür. Bu dönüş denizlerden hidrokinamik enerji elde edilmesini sağlar. Generatörler bu hidrokinamik enerjiyi önce mekanik enerjiye sonra da yerel tüketicilere iletmek üzere elektrik enerjisine dönüştürür.

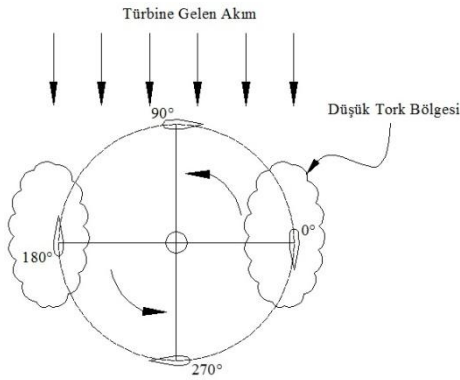
2.1 Akıntı Türbinlerinin Tipleri

Eksenin yönüne bağlı olarak, akıntı türbinleri yatay eksenli akıntı türbinleri ve düşey eksenli akıntı türbinleri olarak iki gruba ayrılır. Yatay eksenli akıntı türbinlerinin şaftı yatay eksene, düşey eksenli akıntı türbinlerinin şaftı ise düşey eksene yerleştirilmiştir. Yatay eksenli türbinlerde dönme eksenini akıntıya paralel, kanatlar ise dik açı yapacak şekilde dizayn edilmiştir. Düşey eksenli türbinlerde ise dönme eksenini akıntı yönüne dik kanatları ise düşey durumdadır. Bu çalışmada düşey eksenli akıntı türbinleri üzerine çalışılmıştır. Bunun en önemli sebebi düşey eksenli türbinlerin akıntıyı her yönde kabul edebilmesi ve bakım tutum probleminin daha az olmasıdır.

3. Düşey Eksenli Türbinin Hidrokinamik Modellemesi

Düşey eksenli türbinlerin akış yönünden bağımsız olarak çalışması, kanatların akış yönüne göre değiştirilmesi gibi pahalı bir sistemin kurulmasına gerek bırakmaz. Ayrıca düşey eksenli türbin dişli kutusu ve generatör gibi ekipmanların su üzerinde yüzer platformlara yerleştirme imkanını sunar. Bu sayede bakım tutum masrafları ciddi şekilde azalır. Bu durum uzun vadede düşey eksenli türbinin enerji üretim maliyetinin oldukça düşmesini sağlar.

3.1 Düşey Eksenli Türbinde Akış Dinamiği



Düşey eksenli türbinin her bir kanadı Şekil’de gösterilen dairesel bir yolu takip eder. Bu dönüş sırasında kanatların akıntıya hücum açısı kanat üzerinde oldukça kararsız bir akış dinamiği oluşturan sürekli bir değişim gösterir. 0° ve 180° faz açılarında kanatlar küçük hücum açlarına sahip olurlar. Bu durum düşük tork veya negatif tork üretmelerine neden olur. Diğer taraftan, 90° ve 270° faz açılarında kanatlar yüksek hücum açlarına sahiptirler ve çok yüksek tork değerleri üretirler.

Düşey eksenli türbinin kanatlarındaki yükler belirlenirken aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Türbine gelen akıntı düzgün ve daimidir.
- Türbinin çalışması sırasında etrafında akımı bozacak başka bir türbin ya da herhangi bir eklenti yoktur.
- Türbini oluşturan şaft ve türbinin çalışmasını sağlayan kanatların bu şafta bağlanmasını sağlayan kolların türbinin performansına etkisi bulunmamaktadır.
- Türbinin birden çok kanattan oluşması halinde kanatların birbirlerinin performansını etkileyecek bir etkisi yoktur.

Türbinde kullanılan kanatlar laboratuvar ortamında geliştirilen ve uçaklarda kullanılmak üzere dizayn edilmiş profillerdir. Bu profillerin özellikleri akıntıya belirli bir hücum açısı(α) ile girdiklerinde akım doğrultusuna dik profili kaldırmaya sebep olan kaldırma kuvvetini ve akım doğrultusundaki profilin akışkana gösterdiği direnç olan direnç kuvvetini oluşturmalarıdır.

Akıntının oluşturduğu kaldırma kuvveti aşağıdaki gibi yazılabilir.

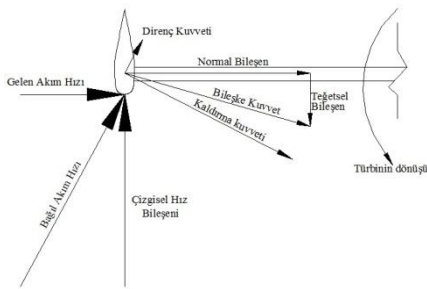
$$L = \frac{1}{2} \rho W^2 S C_L$$

Burada;

L ; kaldırma kuvvet, ρ akışkanın yoğunluğu, W profile etkiyen bağıl hız, S yüzey alanı ve C_L kaldırma kuvveti katsayısını tanımlamaktadır.

Benzer şekilde akıntının oluşturduğu direnç kuvveti;

$$D = \frac{1}{2} \rho W^2 S C_D$$



Burada dikkat edilmesi gereken husus kaldırma kuvvetinin ve direnç kuvvetinin bağıl akım hızı doğrultusuna ve büyüklüğüne göre şekillendiğidir. Dairesel yol üzerinde kanadın her bir durumunda kaldırma kuvvetlerinin ve direnç kuvvetlerinin türbine olan etkisi incelenmelidir. Her bir durumda bağıl akım hızının doğrultusu belirlenmelidir. Bu durum hücum açısının hesaplanması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Burada yaklaşım olarak türbinin saat yönünün tersine döndüğünü ve profil 0° ’de iken akım ile aynı doğrultuda olduğunu kabul edelim. Bu durumda bağıl akım hızının normal ve teğetsel bileşeni Şekil’de gösterildiği doğrultularda ve herbir θ faz açısında aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$W_n = -U_\infty \sin \theta$$

$$W_t = R\Omega - U_\infty \cos \theta$$

$$W = \sqrt{(W_t^2 + W_n^2)}$$

Kirişin ortasındaki yerel hücum açısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{W_n}{W} \right)$$

Kanada etkiyen teğetsel kuvvet F_t ve normal kuvvet F_n , kaldırma ve direnç kuvvetleri cinsinden her bir θ faz açısında hücum açısına (α) bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$F_t = L \sin \alpha - D \cos \alpha$$

$$F_n = L \cos \alpha + D \sin \alpha$$

Bu kuvvetlerin hesabından sonra her faz açısı için türbinin ürettiği tork aşağıdaki gibi olur.

$$T_i(\theta) = F_t R + F_n \left(\kappa - \frac{1}{4} \right) C$$

Burada κ kolun kanada bağlantı noktasıdır.

N adet kanadı olan türbinin her bir kanat başına ürettiği ortalama tork değeri aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{T}_i}{N}$$

Burada; $\bar{T}_i$ i'inci kanadın bir dönüşte ürettiği ortalama tork değeridir.

N adet kanadı olan türbinin güç katsayısı aşağıdaki gibi tanımlanır.

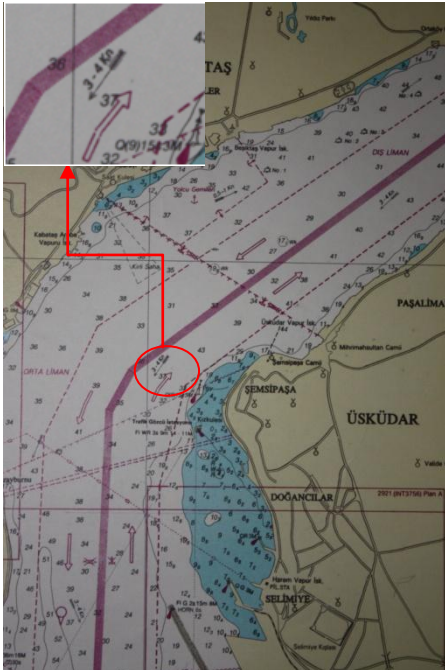
$$C_p = \frac{\bar{T}\Omega}{P_{\max}}$$

$P_{\max}$ serbest akımdan türbinin ön yüz alanından elde edilebilecek maksimum güç değeridir.

Bu da aşağıdaki ifadeye eşittir:

$$P_{\max} = 0.5 \rho U_\infty^3 A \quad ; A = 2RH$$

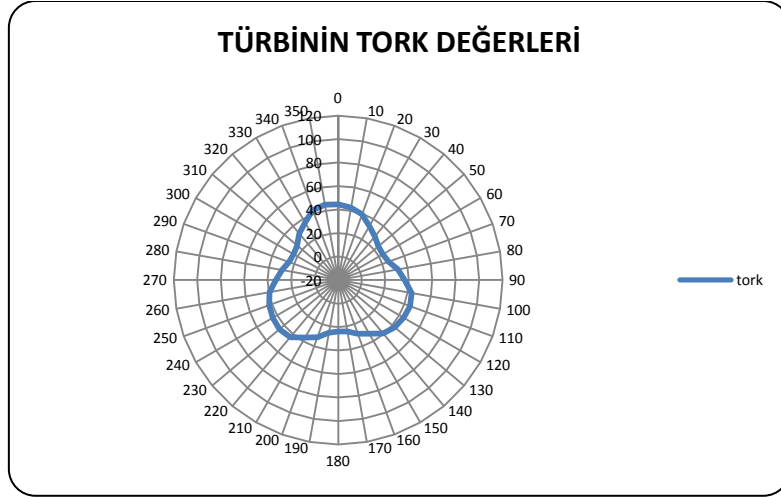
3.2 Sayısal çalışma



Çalışmaya başlarken belirlenen amaçlardan biri yapılacak sayısal çalışmanın Türkiye'deki akıntı şartlarına uyan bir değer seçerek gerçekleştirmektir. Bu amaçla akıntının yoğun olduğu İstanbul Boğazı seçilmiştir. T.C Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesinin hazırlamış olduğu İstanbul Boğazı Güneyi Haritası incelendiğinde Üsküdar kıyısında Şemsipaşa Burnu açıklarında 3-4 knot (1 knot=0.5144 m/s) akıntı hızının haritaya işlenmiş olduğu görülmektedir. Bu değer çerçevesinde sayısal çalışmada akıntı hızının 3 knot hıza yakın olan 1.5 m/s seçilmesine karar verilmiştir. Sayısal çalışmada kullanılacak türbinin parametreleri çizelge'de gösterilmiştir.

Parametre	Değeri
Türbin Çapı (D)	0.9144 m
Türbin Yüksekliği(H)	0.6858 m
Kiriş Uzunluğu (C)	0.0685 m
Kanat Sayısı (N)	3
Kiriş Profili	NACA 63 ₄ -021
Kanat uç hızı oranı(TSR)	3.0
Suyun yoğunluğu	1025 kg/m ³

Bölüm 3’de belirtilen yaklaşım kullanılarak 3 kanatlı olarak dizayn edilen türbinin her bir kanadı için hesaplamalar yapılmıştır. Birinci kanat başlangıçta 0° faz açısında bulunmaktadır. Hesaplamalar 10 derece faz arttırımı gerçekleştirilerek tekrarlanmıştır. Birinci kanat 0° faz açısında iken ikinci kanat 120° faz açısında üçüncü kanat ise 240° faz açısında bulunmaktadır. İkinci kanat ve üçüncü kanat için de hesaplamalar yapılmıştır. Tüm bu hesaplar sonucu elde edilen türbinin bir dönüşte ürettiği tork değerleri grafiği aşağıda verilmiştir.



Akıntıdan elde edilebilecek maksimum güç değeri

$$P_{\max} = \frac{1}{2} (1025) (1.5)^3 (0.9144) (0.6858) = 1085 \text{ W}$$

Türbinden elde edilen güç değeri

$$P = \bar{T} \omega = 343 \text{ W}$$

Türbinin güç katsayısı

$$C_p = \frac{P}{P_{\max}} = \frac{343}{1085} = 0.317$$

4. SÜREKLİ MIKNATISLI SENKRON MAKİNA

Sürekli mıknatıslı senkron generatörler herhangi bir enerji kaynağına gerek duymadan kendinden uyarımlı olması nedeniyle tercih edilmektedir. En büyük artısı herhangi bir hızda güç üretebilmesidir. Bakım maliyeti düşüktür. Küçük ve hafif uygulamalar için uygundur. Sürekli mıknatıslı senkron generatörün statoru sargılıdır ve rotoruna sürekli mıknatıslar yerleştirilmiştir. Generatörün yapımında kullanılan mıknatısların malzeme özellikleri makinenin tüm performansını etkilemektedir. Sürekli mıknatısların bir dezavantajı ise

manyetik özelliklerinin sıcaklıkla değişmesidir. Yüksek sıcaklıklarda ve kısadevre durumlarında mıknatıslar manyetik özelliklerini kaybetmektedirler.

4.1 Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatörün Simulink Simulasyonu

Newton'un ikinci hareket yasası kullanıldığında ve mekanik açısal hız kullanılarak makinenin mekanik dinamiğine ilişkin aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\frac{d\omega_m}{dt} = -\frac{3P\psi_m}{4J} i_{qs}^r - \frac{B_m}{J} \omega_m + \frac{1}{J} T_{pm}$$

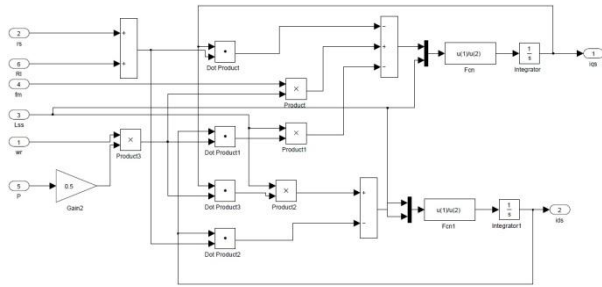
Burada P kutup sayısını, ψ_m mıknatıs akısını, B_m viskos sürtünme katsayısını, ω_m makine açısal hızını, J atalet momentini, T_{pm} tahrik makinesinin torkunu temsil etmektedir. i_d ve i_q akımlarına ait diferansiyel denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\frac{di_{qs}^r}{dt} = -\frac{r_s + R_L}{L_{ls} + \frac{3}{2}\bar{L}_m} i_{qs}^r - \frac{\psi_m}{L_{ls} + \frac{3}{2}\bar{L}_m} \frac{P}{2} \omega_m - \frac{P}{2} i_{ds}^r \omega_m$$

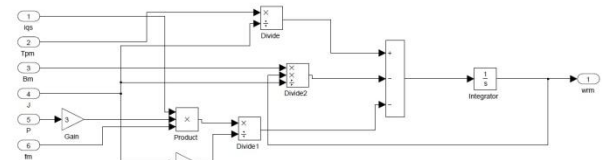
$$\frac{di_{ds}^r}{dt} = -\frac{r_s + R_L}{L_{ls} + \frac{3}{2}\bar{L}_m} i_{ds}^r + \frac{P}{2} i_{qs}^r \omega_m$$

Burada; r_s stator sargı direncini, R_L faz yükü direncini, ψ_m mıknatıs akısını, B_m viskos sürtünme katsayısını, P kutup sayısını, ω_m makine açısal hızını, $\bar{L}_m$ manyetik endüktansların ortalamasını, L_{ls} kaçak endüktansı temsil etmektedir. Bu denklemlerde yer alan $L_{ls} + \frac{3}{2}\bar{L}_m$

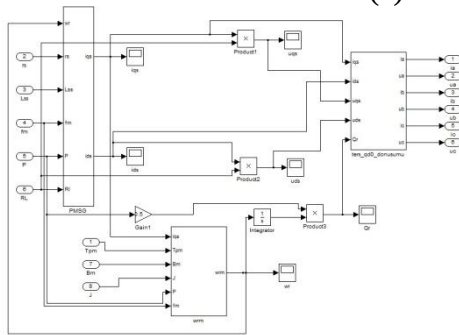
toplamına stator sargılarının öz endüktansı denir ve L_{ss} ile ifade edilir. Elde edilen bu büyüklükler kullanarak ve ters dq0 dönüşümü uygulanarak 3 fazlı sistem gerilim ve akım büyüklükleri hesaplanabilir. Bu üç denklemin simulinkte oluşturulmuş modelleri sırasıyla aşağıda verilmiştir. Şekil d'de türbin ile sürekli mıknatıslı senkron generatörün birlikte oluşturulmuş modeli verilmiştir.



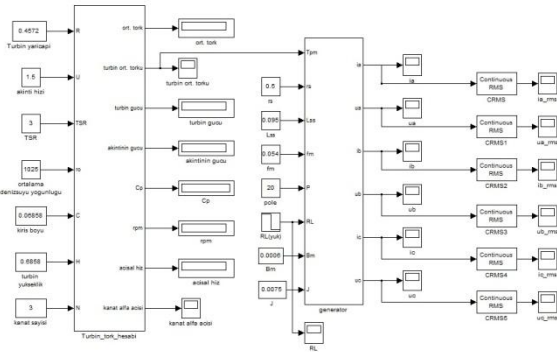
(a)



(b)



(c)



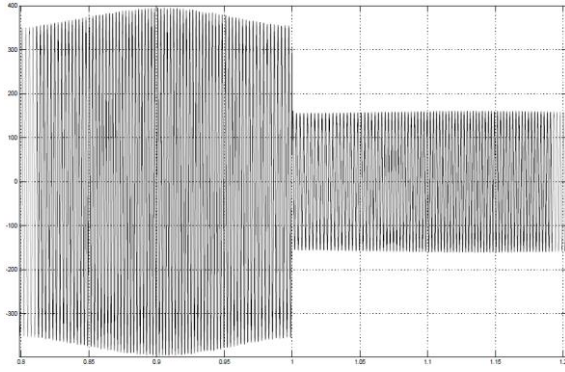
(d)

4.2 Hesaplamalı çalışma

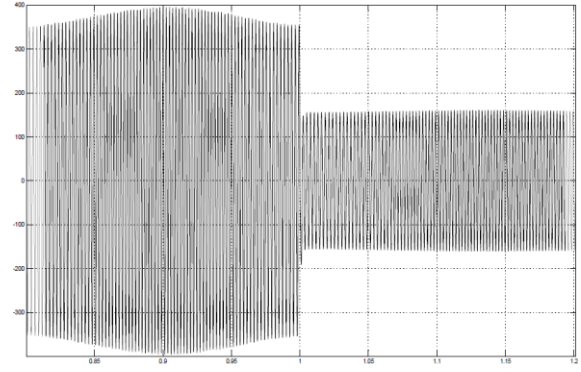
Simülasyon sırasında kullanılan sürekli mıknatıslı senkron generatörün parametre değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

<i>Makine Parametresi</i>	<i>Değeri</i>
Stator sargı direnci	0.0918 Ω
Stator sargılarının özendüktansı	0.000975 H
Kutup sayısı	4
Atalet momenti	0.003945 kgm ²
Viskos sürtünme katsayısı	0.0004924 Nms/rad
Mıknatıs akısı	0.1688 NmA-1

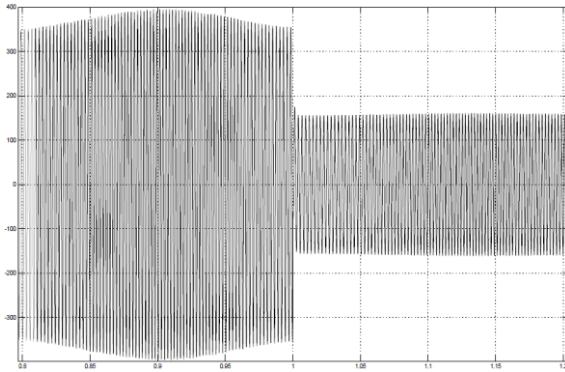
Simülasyon sonucunda generatörün beslediği yükün değerinin değişiminin etkisinin görülmesi açısından faz yükü direnci 0-1 saniye aralığında 5 ohm, 1-1.5 saniye aralığında ise 1 ohm olarak ayarlanmıştır. Yapılan simülasyon sonucu elde edilen 3 faz akım ve gerilim grafikleri aşağıda verilmiştir.



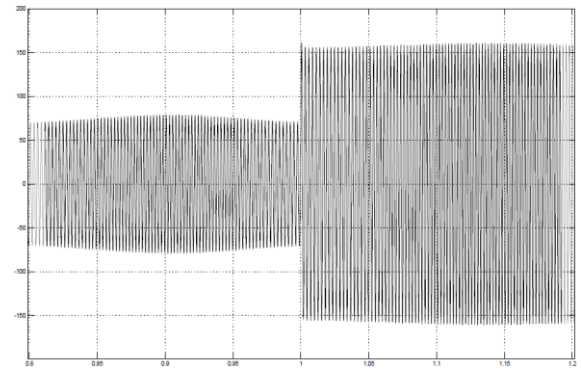
a fazı gerilim çıkışı



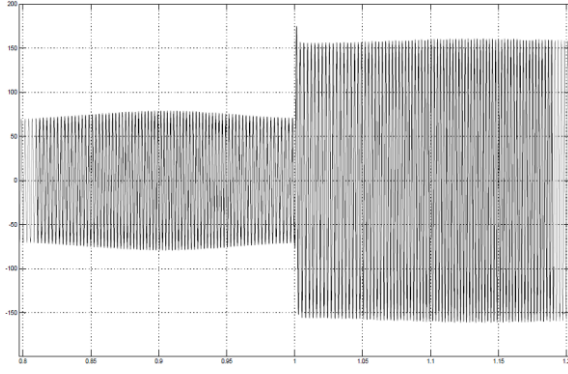
c fazı gerilim çıkışı



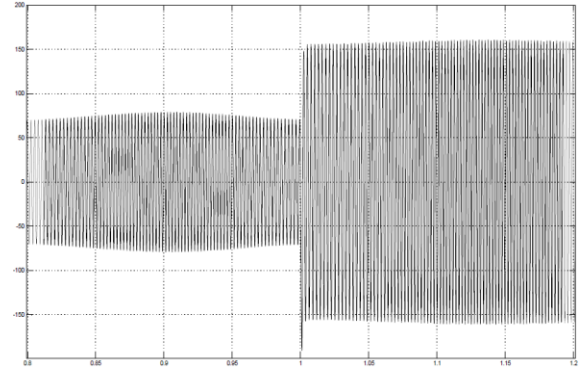
b fazı gerilim çıkışı



a fazı akım çıkışı



b fazı akım çıkışı



c fazı akım çıkışı

5. GERÇEKLEME

Çalışmada sayısal çalışmaları yapılan deniz akıntıları türbini ve deniz akıntıları türbinin tahrik ettiği sürekli mıknatıslı senkron generatörün gerçekleştirilmesinin yapılmasına çalışılmıştır. Çalışma süresince Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarındaki sirkülasyon tüneline yapılması planlanan deney için deniz akıntı türbini için model tankına uygun birçok farklı dizayn 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Üretimi gerçekleştirilmiş olan türbin modelinin Ata Nutku Gemi Model Deney Laboratuvarındaki sirkülasyon tüneline yerleştirilmiş halini gösteren fotoğrafı aşağıda verilmiştir. Gerçeklemenin generatör gibi diğer elemanlarının yapılması çalışmaları sürmektedir.



6. SONUÇLAR

Bu çalışmada deniz akıntı türbinin tahrik ettiği sürekli mıknatıslı senkron generatörle elektrik elde edilmesine yönelik gerekli sistemlerin dinamikleri elde edilmiş ve simülasyonları yapılmıştır. Çalışmada öncelikli olarak tahrik makinası olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji sağlayacak olan deniz akıntı türbinin tanımı yapılmış ve kullanımı yaygın olan türlerinden bahsedilmiştir. Bu bilgilere dayanarak düşey eksenli türbin modeli seçilerek, düşey eksenli türbinin hidrodinamik modellemesine yönelik çalışmalar yapılmış ve türbinin belirlenen parameterelere bağlı olarak akıntıdan elde edilebilecek gücün profil dinamiği yardımıyla hesap edilmesine yönelik yöntem ortaya konmuştur. Sayısal bir çalışma yapılmış ve türbinin bir tam dönüşte faz açılarına göre tork değerleri ve güç değerleri elde edilmiştir.

Tahrik makinesinin modellemesinin elde edilmesinden sonra sistemden elde edilen mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde kullanılması planlanan sürekli mıknatıslı senkron generatörün tanımı yapılmıştır. Matlab/Simulink programında yapılacak simülasyon için dq0 modelinin diferansiyel denklemleri elde edilmiş ve bu denklemler yardımıyla sürekli mıknatıslı senkron generatörün modellemesi yapılmıştır. Bu model Simulink programında oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model kullanılarak akıntı türbinin de zaman bölgesinde modeli oluşturularak Simulink'te sürekli mıknatıslı senkron generatörle sayısal çalışması yapılmıştır. Elde edilen sürekli mıknatıslı senkron generatörün üç faz akım ve gerilim grafikleri elde edilmiştir.