

DÜZENLİ-DÜZENSİZ DALGA ENERJİ SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ

Erdoğan Şahin ve İsmail H. Altaş
Karadeniz Teknik Üniversitesi
esahin@ktu.edu.tr, thaltas@ktu.edu.tr

Dalga enerjisi, sahip olduğu potansiyeli nedeniyle son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir. Elektrik enerjisi üretiminde etkin bir şekilde kullanılması amacıyla yapılan çalışmalar genelde iki kategoride toplanmaktadır. Bunlar türbin-jeneratör tasarımı ve güç düzenleyicilerdir. Deniz dalgasındaki düzensizlik ve belirsizlikler nedeniyle üretilen güçte süreklilik sorunları meydana gelmektedir. Güç düzenleyiciler kullanılarak hem üretilen güç kullanılabilir biçime getirilmekte hem de süreklilik sorunlarına çözüm aranmaktadır. Yapılan bu çalışma ile dalga enerjisi çalışacak araştırmacılara genel bilgiler sunulmaktadır. Verilen başlık altında düzenli ve düzensiz dalga karakteristikleri ve bu karakteristiklere ait tanımlar, dalga enerji spektrum çeşitleri, laboratuvar ortamında incelenen jeneratörün elektriksel ve ideal modelleri sunulmaktadır.

1. Giriş

Deniz dalgasından elektrik enerjisi üretmek üzere kurulan sistemler türbin-jeneratör ünitelerinin yanı sıra elektriksel güç düzenleyicilerden oluşur. Dalgaların düzensiz hareketinin üretilen güce etkisi türbin tasarımlarıyla ve güç düzenleyicilerle çözülmeye çalışılmaktadır. Sabit salınımlı su kabini kullanılan dalga enerji sisteminde sınır elemanlar yöntemi ile yapılan üç boyutlu dinamik model çalışması [1], periyodik dalga enerji dönüştürücünün dalga radyasyonuna dayalı modellenmesi [2] ve düzenli dalgalara dayalı birleşik dalga enerji dönüşüm sisteminin teorik modeli [3] bu çalışmalar için örnek gösterilebilir. Yatay ve düşey eksenli hidrokinetik enerji dönüşüm sistemleri ile ilgili teknoloji gelişmeleri [4] de detaylı olarak tanıtılmaktadır.

Dalga enerji sistemlerinde üretilen elektrik enerjisinin yüke ve şebekeye aktarılması da çalışmaların bir diğer aşamasını oluşturmaktadır. Bu konuda literatürde çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür [5-7]. Konuyla ilgili bazı çalışmalar bu makaledeki ekip tarafından da yapılmıştır [8-10]. Bu makalede, dalga enerjisi konusunda çalışacak araştırmacılara genel bilgiler sunulmaktadır. Verilen başlık altında düzenli ve düzensiz dalga karakteristikleri ve bu karakteristiklere ait tanımlar, dalga enerji spektrum çeşitleri, laboratuvar ortamında incelenen jeneratörün elektriksel ve ideal modelleri sunulmaktadır.

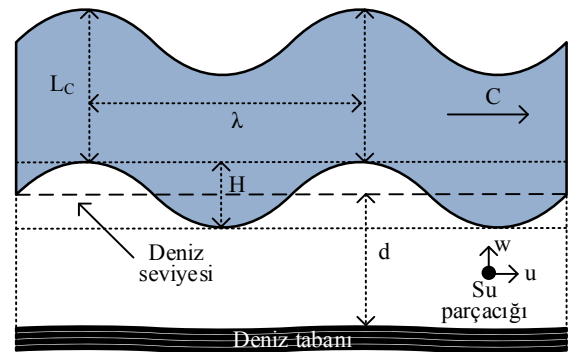
2. Dalga Modeli

Dalga oluşumları üç çeşit olay sonucunda meydana gelmektedir. Bu dalga tipleri rüzgâr temelli dalgalar, deprem oluşumlu dalgalar ve gel-git oluşumuna bağlı dalgalar. Deprem oluşumlu dalgalar, deniz tabanında depremlere bağlı meydana gelen kaymalar sonucunda ortaya çıkan dalgalar. Gel-git olayı sonucunda ise ortalama deniz seviyesinde meydana gelen değişimler dalga oluşumuna neden olmaktadır. Enerji üretimi ise genel olarak rüzgâr oluşumlu dalgalar ile sağlanmaktadır.

Rüzgârın deniz üzerinde esmesi sonucunda deniz yüzeyinde meydana gelen hareketlenmeler, deniz dalgasını oluşturur ve bu tip dalgalara rüzgâr oluşumlu deniz dalgaları adı verilir. Rüzgâr oluşumlu bir dalganın büyüklüğü, deniz üzerinde esen rüzgârın hızı, esme süresi ve feç uzunluğuna bağlıdır [11]. Feç, dalga tahmin modellerinde sıkça kullanılan bir terimdir ve rüzgâr yönünde önemli bir değişiklik olmadan, rüzgârda var olan enerjinin dalga oluşturmak üzere denize aktarılması için kullanılan kesintisiz mesafe anlamına gelmektedir [11].

2.1. Düzenli Deniz Dalgası

Düzenli deniz dalgası tek bir frekansa ve genliğe sahip bir sinüs dalgası gibi modellenebilir. Bu modelin karakteristiklerine ait gösterim Şekil 1'de verilmektedir [11].



Şekil 1. Düzenli dalga karakteristiği

Şekil 1’de, λ dalganın uzunluğunu (m), H dalganın yüksekliğini (m), d su derinliğini (m), LC dalga tepeleri arasındaki uzunluğu (m) ve C dalga hızını (m/s), u ve w sıra ile su parçacığının yatay ve dikey hız bileşenlerini ifade etmektedir. Bir periyotta (T), λ uzunluğu kadar yol alan bir dalganın hızı matematiksel olarak denklem (1)’de verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$C = \frac{\lambda}{T} \quad (1)$$

Hareket halindeki su parçacığı hızının yatay ve dikey birleşenleri ise aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir [12].

$$u = \frac{\pi H}{T} \cos(kx - \sigma t) \quad (2)$$

$$w = \frac{\pi H}{T} \sin(kx - \sigma t) \quad (3)$$

Yukarıda verilen eşitliklerde k açısal dalga numarasını, σ dalga açısal frekansını ve x yatay koordinatı sembolize etmektedir. Bu parametrelere ait eşitlikler sıra ile denklem (4) ve (5)’te verilmektedir. Açısal frekansın negatif değer alması dalganın soldan sağa doğru hareket ettiği, pozitif değer alması da sağdan sola doğru hareket ettiği anlamına gelmektedir.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (4)$$

$$\sigma = 2\pi f_d \quad (5)$$

Denklem (2) ve (4)’te verilen eşitlikler, gelecek bölümde incelenen düzenli ve düzensiz dalgadan üretilen 3-faz enerjinin ideal modellenmesinde kullanılmaktadır.

2.2. Düzensiz Deniz Dalgası

Düzenli deniz dalgası her ne kadar birçok çalışmada yer alsada gerçek deniz dalgaları düzensiz ve rastgele karakteristik yapıya sahiptir. Düzensiz deniz dalgası, farklı genlik ve frekansa sahip birden çok düzenli deniz dalgasının süper pozisyonu ile modellenebilir. Bu yöntem ile modellenen düzensiz dalgalar okyanus mühendisliğinde temel bir kavram olarak kabul edilmektedir. Gerçek deniz dalgalarının, gemi ve kıyı yapıları üzerindeki etkilerinin tahmininde bu modelin doğruluğu kanıtlanmıştır [13].

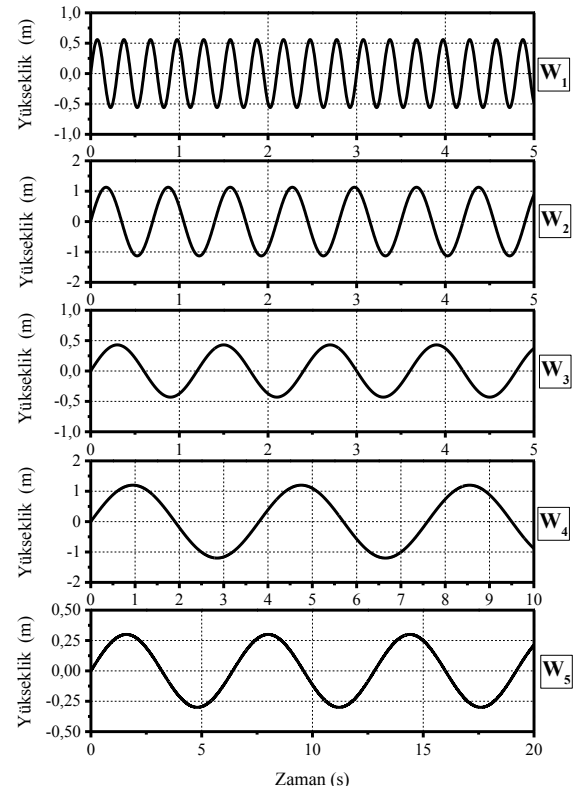
Şekil 2’de farklı genlik ve frekansa sahip beş adet sinüs dalgası (W_1, W_2, W_3, W_4, W_5) verilmektedir. Bu dalgalara ait genlik ve frekans bilgisi Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. (W_{1-5}) dalgalara ait genlik ve frekans bilgileri

	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
H (m)	0.56	1.13	0.43	1.20	0.30
F (Hz)	3.333	1.428	0.833	0.263	0.156

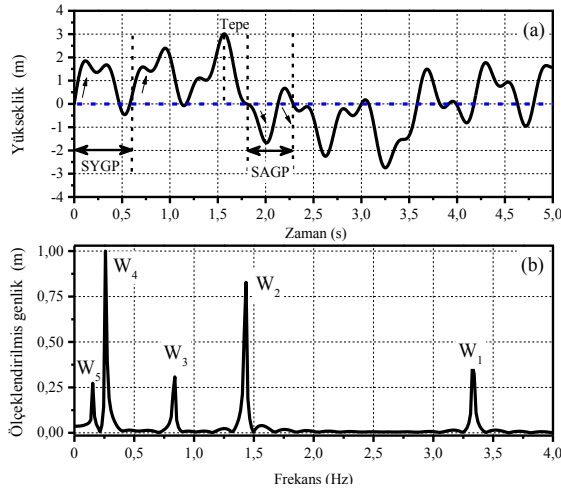
Bu sinyallerin toplanması ile elde edilen düzensiz dalga modeli ve bu dalga modelinin Fourier dönüşüm grafiği Şekil 3’te verilmektedir.

Şekil 3 (a)’da görüldüğü üzere düzensiz dalga karakteristiği farklı genlik ve periyotta birden fazla düzenli dalganın süper pozisyonu ile elde edilmiştir. Şekilde kullanılan kısaltmalardan SYGP, sıfır yukarı geçiş periyodunu, SAGP ise sıfır aşağı geçiş periyodunu ifade etmek için kullanılmıştır. Düzensiz dalgayı meydana getiren düzenli dalgaların frekans değerleri ise Şekil 3 (b)’de verilen Fourier analizinde açıkça görülmektedir.



Şekil 2. Farklı genlik ve frekanslardaki düzenli dalga karakteristikleri

DES ile yapılan çalışmalarda bu yöntem ile üretilen düzenli ve düzensiz karakteristikteki gerilim sinyali işlenerek farklı yapıda ve denetimli güç elektroniği devrelerine uygulanmaktadır. Bu sayede gerçek düzensiz deniz ortamında üretilebilecek olan enerji laboratuvar ortamında üretilebilir.



Şekil 3. Düzensiz dalga karakteristiği (a) ve Fourier analizi (b)

3. Dalga Enerji Spektrumları

Deniz alanlarındaki ölçüm istasyonlarının yetersizliği nedeniyle, rüzgâr oluşumlu deniz dalgalarının karakteristikleri, çoğunluğunu matematiksel analiz yöntemlerinin oluşturduğu farklı tip metotlar ile tahmin edilmektedir [14]. Bu metotlardan biri parametrik (deneysel) kestirim yöntemi, diğeri ise model tabanlı nümerik analiz yöntemidir.

3.1. Deneysel kestirim yöntemi

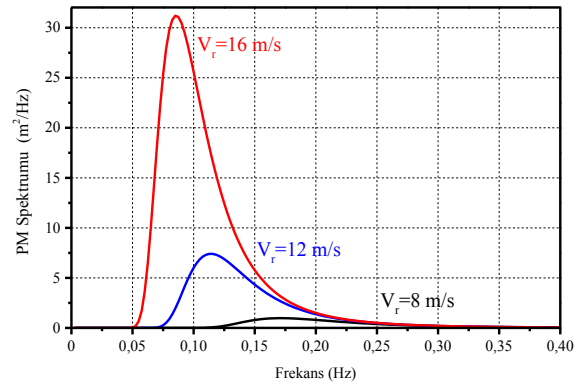
Pierson-Moskowitz (PM) [15] ve JONSWAP [16] modelleri bu yöneme ait çokça tercih edilen model çeşitleridir [17]. PM dalga spektral analiz yöntemine ait matematiksel eşitlikler aşağıda verilmektedir.

$$S(f)_{PM} = \alpha \frac{g^2}{f^5 (2\pi)^4} \exp \left[-1.25 \left(\frac{f_m}{f} \right)^4 \right] \quad (6)$$

$$f_m = 0.1396 \frac{g}{V_r} \quad (7)$$

Yukarıda verilen eşitlikte, sabit sayı $\alpha=0.0081$, yer çekimi ivmesi $g=9.81 \text{ m/s}^2$, f dalganın frekansı, f_m enerji yoğunluğunun maksimum frekansı ve V_r deniz seviyesinin 19.5 metre üstünde ölçülen rüzgâr hızı (genel olarak 10-21 m/s) olarak sembolize edilmektedir.

Bu modelden üretilen bazı tipik dalga spektrumları Şekil 4'te verilmektedir. Dalga enerjisinin, dalga periyodu (T) ile yaklaşık olarak eksponansiyel biçimde arttığı gözlenmektedir. Ayrıca rüzgâr hızındaki artışın hem dalga yüksekliği hem de periyodunu artırdığı da net bir şekilde grafikten görülmektedir.



Şekil 4. Farklı rüzgâr hızlarında Pierson-Moskowitz dalga spektrumu yanıtları

Deneysel yöntemler açık denizler ve durgun rüzgârlar için iyi bir başarımlı sağlasa da geçici rüzgâr durumları ve kısıtlamaları için yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, bu yaklaşımlar sadece belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodu için veriler sağlamaktadır [18].

3.2. Sayısal Model Tabanlı Dalga Enerji Spektrumları

Günümüzde tercih edilen diğeri bir dalga kestirim yöntemi sayısal modellerdir. Sayısal modeller (Mike21 [19], Wavewatch [20], SWAN [21] vb.), deneysel parametrik modellerden farklı olarak deniz durumu ile ilgili daha çok veri (dağılım-yön-güç bilgileri) sağlayabilmektedir.

3. nesil bir spektral dalga modeli olan SWAN (Simulating Waves Nearshore) dalga modelinin daha çok kıyı ve kıyılara yakın olan deniz alanları için başarımlı yüksektir ve aşağıda verilen temel hareket-denge eşitliği ile ifade edilmektedir.

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (8)$$

Yukarıda verilen eşitlik görüldüğü üzere 6 adet terimden oluşmaktadır. $N(\sigma, \theta; x, y, t)$ hareket yoğunluğu, sırası ile rölaf dalga frekansı (σ), dalga yönü (θ), yatay koordinat (x), dikey koordinat (y) ve zamanın (t) bir fonksiyonudur [22]. İlk terim, hareket yoğunluğunun zamana göre yerel değişim oranı, ikinci ve üçüncü terim c_x ve c_y hızları ile (x, y) uzayında yayılma hareketini, dördüncü terim, derinlik ve akıntılarda meydana gelen değişikliklerin neden olduğu rölaf frekanstaki kaymaları (c_σ yayılma hızı ile σ uzayında), son terim ise derinlik ve akım bazlı kırılmayı (c_θ yayılma hızı ile θ uzayında) temsil etmektedir [22]. Eşitliğin sağında yer alan S ifadesi ise dalganın ortaya çıkışı, kayboluşu ve doğrusal olmayan dalga-dalga etkileşimlerini ifade etmektedir [22].

Dalga enerji modellerinin sonuçlarından elde edilen sıfır-yukarı geçiş periyodu (T_c) ve belirgin dalga yüksekliği (H_s) verileri aşağıda verilen dalga gücü eşitliği formülünde kullanılmaktadır [23].

$$P(kW / m) = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_e \quad (9)$$

Yukarıda verilen eşitlikte ρ , su yoğunluğunu (ρ (Karadeniz)) = 1015 kg/m³ [24]) ve g , yer çekimi ivmesini ifade etmektedir. Bilinen değerlerin yerine koyulması ile elde edilen sadeleştirilmiş güç denklemi (10)'da verilmektedir.

$$P(kW / m) = 0.486 H_s^2 T_e \quad (10)$$

Araştırmacılar genellikle gözlemlenen dalga yüksekliğinin en yüksek üçte birinin ortalama dalga yüksekliğini, dalga boyu olarak karakterize ederler. Bu istatistiksel ortalama, belirgin dalga yüksekliği olarak ifade edilir ve $H_{1/3}$ veya H_s sembolleri ile ifade edilir. Belirgin dalga yüksekliği aşağıda verilen formül ile hesaplanabilir.

$$H_{\frac{1}{3}} = \frac{3}{n} \sum_{k=1}^{n/3} H_k \quad (11)$$

Yukarıda verilen eşitlikte n , kaydedilmiş dalga yükseklik verilerinin sayısını ifade etmektedir.

4. Jeneratör Modeli

Bu başlık altında dalga enerji sistemlerinde sıkça kullanılan sabit mıknatıslı doğrusal generatörün (SMDG) ideal ve elektriksel modelleri sunulmaktadır.

4.1. SMDG'nin İdeal Modeli

Bu çalışma kapsamında SMDG'nin ideal modeli için [25]'te verilen matematiksel eşitlikler kullanılmıştır. [25]'te SMDG'nin matematiksel modeli çıkarılarak, farklı yük altında elde edilen sonuçlar deneysel olarak doğrulanmıştır. Matematiksel denklemler ile karakterize edilen 3-faz düzenli-düzensiz gerilim



benzetim çalışmalarında kullanılmak üzere Matlab/ Simulink ortamında modellenmiştir. Tasarımda stator ile dikey hareket eden translator arasında kalan aktif bölge dikkate alınmamıştır.

Doğrusal bir jeneratörde, manyetik akı (Φ) translator üzerinde yer alan sabit mıknatıslar tarafından üretilmektedir. Sabit mıknatıslarda indüklenen bu akının sinüzoidal bir yapıya sahip olduğu düşünülebilir. Bu durumda manyetik akı eşitliği aşağıda verilen denklemle ifade edilebilir [25].

$$\Phi = \Phi_0 \sin(kx + \theta) \quad (12)$$

Yukarıda verilen eşitlikte sıra ile (Φ_0) manyetik akının genliği, (k) dalga numarası ($k=2\pi/\lambda$), (x) translator mesafesi ve (θ) faz kayması olarak sembolize edilmiştir.

Manyetik akının zamana göre değişimi ($d\Phi/dt$), translator mesafesinin zamana göre yer değişimine (dx/dt) bağlıdır. Dolayısıyla akının değişimi (13)'te gösterildiği gibi yazılabilir [25].

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{2\pi}{\lambda} \Phi_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} x + \theta\right) \frac{dx}{dt} \quad (13)$$

Faraday yasasına göre (N) sarımlı bir bobinde indüklenen gerilimin ifadesi, akının zamana göre değişiminin bir fonksiyonu olarak (14)'te verilen eşitlik kullanılarak ifade edilebilir.

$$V = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (14)$$

(13)'te verilen eşitlik, (14)'te yerine koyulursa, SM-DG'de indüklenen gerilime ait matematiksel ifade aşağıda verilen eşitlik ile elde edilmektedir [25].

$$V = -\frac{2\pi}{\lambda} N \Phi_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} x + \theta\right) \frac{dx}{dt} \quad (15)$$

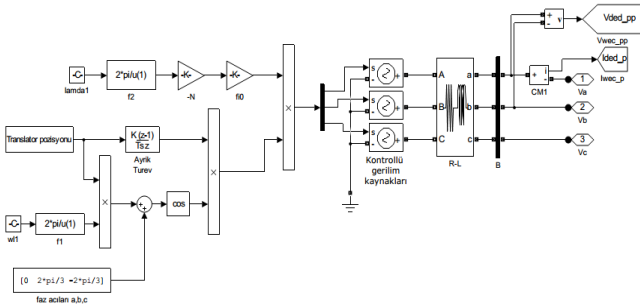
Sonuç olarak 3-faz bir generatör için faz kaymalarının da ($\theta=[0 \ 2\pi/3 \ -2\pi/3]$) dikkate alındığı 3-faz gerilim eşitliği aşağıda verilmektedir.

$$V_a = -\frac{2\pi}{\lambda} N \Phi_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} x\right) \frac{dx}{dt} \quad (16)$$

$$V_b = -\frac{2\pi}{\lambda} N \Phi_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} x + \frac{2\pi}{3}\right) \frac{dx}{dt} \quad (17)$$

$$V_c = -\frac{2\pi}{\lambda} N \Phi_0 \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{2\pi}{3}\right) \frac{dx}{dt} \quad (18)$$

Dalga enerji dönüştürücüsünde indüklenen 3-faz düzenli ve düzensiz gerilim yukarıda verilen eşitlikler yardımıyla benzetim ortamında modellenmiştir. Modele ait Matlab/Simulink gösterimi Şekil 5'te verilmektedir. Gelecek başlıklarda benzetim ortamında elde edilen sonuçlar, deneysel düzenden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak tartışılmaktadır.



Şekil 5. DED benzetim modeli

4.2. SMDG'nin Dinamik Modeli

SMDG mekanik olarak doğrusal hareket yapsa da, elektriksel eşdeğer devresi sabit mıknatıslı senkron jeneratör (SMSG) ile hemen hemen aynıdır [26]. Aradaki en temel fark rotorun hareketidir. SMSG'de döner hareket yapan rotor varken, SMDG'de rotor yerine doğrusal hareket eden translator vardır. Döner bir makinede mekanik açı, açısal hıza bağlı iken, doğrusal jeneratörde mekanik açı, doğrusal hıza bağlıdır [27]. Ayrıca, tork ve kuvvet eşitliklerinde bazı farklılıklar vardır. Jeneratöre ait dinamik dq-eksen eşitlikleri aşağıda verilmektedir [28].

$$\frac{d\lambda_{sd}}{dt} = V_{sd} - R_s i_{sd} + \omega_m \lambda_{sq} \quad (19)$$

$$\frac{d\lambda_{sq}}{dt} = V_{sq} - R_s i_{sq} - \omega_m \lambda_{sd} \quad (20)$$

$$\lambda_{sq} = L_s i_{sq} \quad (21)$$

$$\lambda_{sd} = L_s i_{sd} + \lambda_{SM} \quad (22)$$

Yukarıda verilen eşitliklerde, V_{sd} ve i_{sd} d-eksen gerilimini ve akımını, V_{sq} ve i_{sq} q-eksen gerilimini ve akımını, R_s sargı direncini, λ_{SM} sabit mıknatıslar tarafından üretilen akıyı, ω_m elektriksel açı frekansını sembolize etmektedir. (21) ve (22)'de verilen eşitlikler, (19) ve

(20)'de yerlerine koyulursa, (dq)-eksen gerilimleri aşağıda verilen eşitlikler ile ifade edilebilir.

$$\frac{d(L_{sd} i_{sd} + \lambda_{SM})}{dt} = V_{sd} - R_s i_{sd} + \omega_m L_s i_{sq} \quad (23)$$

$$L_{sq} \frac{di_{sq}}{dt} = V_{sq} - R_s i_{sq} - \omega_m L_s i_{sd} \quad (24)$$

5. Değerlendirmeler ve Sonuçlar

Dalga enerjisi son yıllarda artan bir hızla dikkatleri üzerine çekmektedir. Hızla gelişen teknoloji, dalga enerjisinden elektrik üretimini gün geçtikçe kolaylaştırmakta, bu durum da maliyetlerin düşmesine yol açmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde etkin bir şekilde kullanılması amacıyla yapılan çalışmalar genelde iki kategoride toplanmaktadır. Bunlar türbin-jeneratör tasarımı ve güç düzenleyicilerdir. Deniz dalgasındaki düzensizlik ve belirsizlikler nedeniyle üretilen güçte süreklilik sorunları meydana gelmektedir. Güç düzenleyiciler kullanılarak hem üretilen güç kullanılabilir biçime getirilmekte hem de süreklilik sorunlarına çözüm aranmaktadır. Yapılan çalışmalarda türbin modellerinin yanı sıra sağlıklı şebeke bağlantısı için güç elektroniği dönüştürücü modelleri de geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışma ile dalga enerjisi konusunda çalışacak araştırmacılara genel bilgiler sunulmuştur. Verilen başlık altında düzenli ve düzensiz dalga karakteristikleri ve bu karakteristiklere ait tanımlar, dalga enerji spektrum çeşitleri, laboratuvar ortamında incelenen jeneratörün elektriksel ve ideal modelleri tanıtılmıştır.



Kaynaklar

- [1]. Y.M.C. Delaure, A. Lewis, "3D hydrodynamic modelling of fixed oscillating water column wave power plant by a boundary element methods", *Ocean Engineering*, 30 (2003) 309-330.
- [2]. S.G. Siegel, "Wave radiation of a cycloidal wave energy converter", *Applied Ocean Research*, 49 (2015) 9-19.
- [3]. S. Zheng, Y. Zhang, "Theoretical modelling of a new hybrid wave energy converter in regular waves", *Renewable Energy*, 128 (2018) 125-141.
- [4]. M.J. Khan, G. Bhuyan, M.T. Iqbal and J.E. Quaiocoe, "Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review", *Applied Energy*, 86 (2009) 1823-1835.
- [5]. T. A. E. Ahmed, A. F. Zobaa, "Offshore power conditioning system connecting arrays of wave energy converters to the electric power grid", 8th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management (APSCOM 2009), Hong Kong, China, 8-11 Nov. 2009.
- [6]. F. Wu, vd. "Modeling, Control Strategy, and Power Conditioning for Direct-Drive Wave Energy Conversion to Operate With Power Grid", April 2013, *Proceedings of the IEEE* 101 (4):925-941.
- [7]. Z. Nie, P. Clifton, Y. Wu, R. A. McMahon, "Emulation and power conditioning of outputs from a Direct Drive Wave Energy Converter", 2008 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, pp. 1129-1133.
- [8]. E. Ozkop, I. H. Altas and Adel M. Sharaf, "A Novel Switched Power Filter-Green Plug (SPF-GP) Scheme for Wave Energy Systems", *Renewable Energy*, Volume 44, August 2012, Pages 340-358.
- [9]. E. Şahin, İ.H. Altaş, "FPA Tuned Fuzzy Logic Controlled Synchronous Buck Converter for a Wave/SC Energy System", *Advances in Electrical And Computer Engineering*, vol.17, pp.39-48, 2017.
- [10]. E. Şahin, İ.H. Altaş, "Optimized fractional order control of a cascaded synchronous buck-boost converter for a wave-UC hybrid energy system", *Electrical Engineering*, vol.1, pp.1-13, 2017.
- [11]. B. Godfrey, "Renewable energy; power for sustainable future", Oxford University Press 2nd edition, 2004.
- [12]. R.M. Sorensen, "Basic coastal engineering", Springer Science & Business Media; 2005.
- [13]. P.T. Jacobson, G. Hagerman ve G. Scott, "Mapping and assessment of the United States ocean wave energy resource", *Electric Power Research Institute Report*; 1 Aralık 2011.
- [14]. M.H. Moeini ve A. Etemad-Shahidi, "Application of two numerical models for wave hindcasting in Lake Erie", *Applied Ocean Research*, 29, (2007) 137-145.
- [15]. W.J. Pierson ve L. Moskowitz, "A proposed spectral form for fully developed seas based on the similarity theory of S.A. Kitaigorodskii", *Journal of Geophysical Research*, 69, (1964) 5181-5191.
- [16]. K. Hasselmann, vd. "Measurements of wind wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)", *Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift Reihe. Deutsches Hydrographisches Institute, Hamburg, Germany*, 1973.
- [17]. N. Yin Yeo ve P. Soo-Hong, "Analysis and Realization of Ocean Wave Surface by Utilizing Matlab", *Journal of the Korea institute of electronic communication sciences*, 5, 3 (2010) 281-287.
- [18]. A. Akpınar, G.P. Van Vledder, M.İ. Kömürçü ve M. Özger, "Evaluation of the numerical wave model (SWAN) for wave simulation in the Black Sea", *Continental Shelf Research*, 50 (2012) 80-99.
- [19]. I.R. Warren ve H. Bach, "MIKE 21: a modelling system for estuaries, coastal waters and seas", *Environmental Software*, 7, 4 (1992) 229-240.
- [20]. H.L. Tolman, "A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady and inhomogeneous depths and currents", *Journal of Physical Oceanography*, 21 (1991) 782-797.
- [21]. N. Booij, L.H. Holthuijsen ve R.C. Ris, "A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation", *Journal of Geophysical Research*, 104, C4 (1999) 7649-7666.
- [22]. R.C. Ris, L.H. Holthuijsen ve N. Booij, "A third generation wave model for coastal regions: 2. Verification", *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 104, C4 (1999) 7667-7681.
- [23]. S.H. Salter, "Wave power", *Nature*, 249, 5459 (1974) 720-724.
- [24]. A. Akpınar, M.İ. Kömürçü, M. Özger ve M. Kankal, "Dalga Simülasyonu için Karadeniz'de Swan Uygulaması", 7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Kasım 2011, Trabzon, *Bildiriler Kitabı*: 269-279.
- [25]. Y. Hong, vd. "Linear generator-based wave energy converter model with experimental verification and three loading strategies", *IET Renewable Power Generation*, 10, 3 (2016.) 349-359.
- [26]. R. Krishna vd. "Analysis of linear wave power generator model with real sea experimental results", *IET Renewable Power Generation*, 7, 5 (2013) 574-581.
- [27]. A.H. Vander Meulen, "Novel control of a permanent magnet linear generator for ocean wave energy applications", *Yüksek Lisans Tezi, Oregon State Üniversitesi*, 2007.
- [28]. N. Mohan, "Advanced electric drives: analysis, control, and modeling using MATLAB/Simulink", John Wiley & sons Ltd. publication, 2014. ■