



Rüzgâr Enerjisi Güç Sistemi Maksimum Güç Noktası Takibinde Saptır ve Gözle (S & G) ve Bulanık Mantık Denetleyici (BMD) Yöntemlerinin Sistem Üzerindeki Çalışmalarının Karşılaştırılması

Comparison of P&O and FLC Methods on the System in the Wind Energy Power System Maximum Power Point Tracking

Burhan AKSOY^{1,*} Ercüment KARAKAŞ²

¹Enerji Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-8061-0954

²Enerji Sistemleri Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-4219-5160

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 24/07/2020

Kabul Tarihi : 28/11/2020

Anahtar Kelimeler

Bulanık Mantık
Kalıcı Miknatıslı Senkron Generatör
Maksimum Güç Noktası Takibi
Saptır ve Gözle
Yenilenebilir Enerji

Özet

Teknolojik ilerlemelere rağmen günümüzde halen elektrik bağlantısı olmayan bölgeler bulunmaktadır. Bu çalışmada rüzgâr türbini ve bataryadan oluşan güç sistemi ile şebekeden uzakta bulunan bölgelere ekonomik ve sürdürülebilir bir güç sağlanması amaçlanmıştır. Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sisteminin (REDS) temel amacı, değişken rüzgâr hızlarında maksimum gücü elde edebilmektir. Önerilen sistemde maksimum gücü tespit edebilmek amacıyla, Saptır ve Gözle (S & G) ve Bulanık Mantık denetleyici (BMD) yöntemlerinin sistem üzerindeki çalışmaları karşılaştırılmıştır. Çalışmaları gözlemleyebilmek amacıyla Kalıcı Miknatıslı Senkron Generatör (KMSG), Bulanık Mantık Denetleyici (BMD), Saptır ve Gözle (S & G) ünitesi, Batarya Yönetim Sistemi (BYS) ve Buck-Boost dönüştürücüden oluşan bir sistem tasarlanmıştır. Maksimum gücü elde etmek için (BMD) ve (S&G) yöntemlerinden oluşan Maksimum güç takip algoritmaları (MGNT) önerilmekte ve sonuçları karşılaştırılmaktadır. REDS'den maksimum gücü elde edebilmek için farklı rüzgâr hızı koşullarında çalışması izlenecek olan KMSG tabanlı REDS modeli tasarlanmış ve sisteme girilen değişken rüzgâr hızlarıyla sistemin çalışması her iki algoritmada izlenmiştir. Çalışma MATLAB (SIMULINK) ortamında modellenmiştir.

Research Paper

Received Date : 24/07/2020

Accepted Date : 28/11/2020

Keywords

Fuzzy Logic
Maximum Power Tracking
Perturb and Observe
Permanent Magnet Synchronous Generator
Renewable Energy

Abstract

Despite technological advances, there are still regions without electricity connection today. In this study, it is aimed to provide an economical and sustainable power to the regions far away from the network with the power system consisting of wind turbine and battery. The main purpose of the Wind Energy Conversion System (WECS) is to achieve maximum power at variable wind speeds. In order to determine the maximum power in the proposed system, the studies of the Perturb and Observe (P&O) and Fuzzy Logic controller (FLC) methods on the system were compared. In order to observe the works, a system consisting of Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG), Fuzzy Logic Controller (FLC), Perturb and Observe (P&O) unit, Battery Management System (BMS) and Buck-Boost converter were designed. Maximum power tracking algorithms (MPPT) consisting of (FLC) and (P&O) methods are recommended to obtain the maximum power and the results are compared. To get maximum power from WECS. The PMSG based WECS model, which will be monitored under different wind speed conditions, was designed and the operation of the system with variable wind speeds entered into the system was monitored in both algorithms. The study is modeled in MATLAB (Simulink) environment.

1. Giriş

Son yıllarda, artan enerji talebi ve elektrik üretiminde kullanılan kömür gibi fosil yakıtların hızla tükenmesi nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında artış gözlenmektedir. Ayrıca, iklim değişikliği konusu

büyük bir sorun oluşturduğundan Karbondioksit (CO₂) emisyonunu azaltmak için birçok düzenleme önerilmektedir. Yenilenebilir enerji türlerinden olan güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi, kuruluş maliyetlerinin nispeten uygun olması ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına nazaran çok daha fazla bölgede uygulanabilir olmasından dolayı daha fazla tercih edilmektedir. Rüzgâr enerjisinden güvenilir, uygun maliyetli ve daha kaliteli güç elde etmek

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): burhanaksoy.3441@gmail.com



için daha etkin kontrol stratejileri araştırılmaktadır. Günümüzde geleneksel enerji kaynaklarının yerini yenilenebilir enerji kaynakları almakta ve rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinden elektrik enerjisi üretiminde artış gözlenmektedir. Rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinin kullanılması ile temiz enerji elde edilmekte ve kirlilik içermeyen CO₂ emisyonu sağlanmaktadır. Kırsal alanlar için en uygun sistemlerden biri olan küçük ölçekli rüzgâr türbinlerinde verimlilik ve bakım maliyeti önemli bir faktördür. Küçük ölçekli KMSG rüzgâr türbinleri; yüksek tork yoğunluğu, düşük atalet, daha fazla verim ve harici bir uyarma devresi gerektirmemesi gibi avantajlarından dolayı yaygın şekilde kullanılmaktadır [1]. Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi elde etmenin maliyetini azaltmanın bir yöntemi de Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) yapılmasıdır. MGNT ile Rüzgâr Enerji Dönüşüm Sisteminin en etkin şekilde çalışmasını sağlayacak etkili algoritmaların kullanılması ile maksimum güç elde edilecektir. Rüzgâr enerji sistemlerinin geniş uygulamalarda kullanılabilmesi ve ekonomik kısıtlamalar, bu enerjinin dönüşüm zincirinin sağlam ve güvenilir olmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca daha iyi bir verimlilik sunmalı ve düşük maliyetle gerçekleştirilebilir olmalıdır. Bu nedenle rüzgâr türbininden maksimum güç takibinin yapılması gerekliliği doğmaktadır [2]. Saptır ve Gözle Yöntemi (S & G) sisteme uygulanması basit ve kolay olmasından dolayı maksimum güç elde etmek için rüzgâr türbini sistemlerinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir[3]. S&G yöntemi ile mekanik sensörlerin kullanımı azaltılmış olacağından rüzgar hızının ve rüzgar türbini özelliklerinin bilinmesine ihtiyaç kalmayacaktır. Sistemimize entegre edilmiş olan S & G yönteminde zamana bağlı olarak izlenecek olan sistemin akım ve gerilim bilgisi, adım büyüklüğü olarak adlandıracağımız hız ve performans izleme sistemini oluşturacaktır. Gerçekleştirdiğimiz REDS sistemimizde ihtiyacımız olan veriler sisteme entegre edilecek akım ve voltaj sensörleri ile sağlanmıştır. Adım büyüklüğü arttıkça, sistemden alınan anlık akım ve gerilim bilgisi takibi daha hızlı olacak, ancak sabit durum koşullarında büyük salınımlara neden olacaktır. Küçük adım boyutu azami gücü izlemede hassasiyeti artıracak ancak daha uzun bir zaman gerektirecektir. S&G yönteminin zamana bağlı olarak değişen rüzgâr hızlarında yetersiz kalması nedeniyle

KMSG rotorunun gücü ve hızına bağlı olarak maksimum güç elde etmek için Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) denetleyicileri kullanılmaktadır [4]. S&G yönteminde olduğu gibi Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) tabanlı sistemlerde de rüzgâr türbinine ait türbin bilgilerinin bilinmesine ihtiyaç yoktur. Bulanık mantık tabanlı sistemlerle uyumlu çalışacak sistemlerde çıkıştan ölçülen akım ve gerilim değerlerine göre görev döngüsünü belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, küçük ölçekli rüzgâr

türbinlerinde buck-boost dönüştürücünün görev döngüsünü (D) ayarlayarak maksimum güç noktasının bulunabilmesi için bulanık mantık tabanlı bir sistem tasarlanmıştır. Tasarladığımız sistem sayesinde sıklıkla kullanılan her iki yöntem karşılaştırılarak sonuçları analiz edilmiştir. Değişken rüzgâr hızlarının uygulama üzerindeki etkisi analiz edilmek üzere sisteme beş farklı rüzgâr hızı verilmiş ve her iki yöntemin davranışları izlenerek sonuçları analiz edilmiştir. Çalışmanın amacı elektrik şebekesinden uzakta bulunan ve rüzgâr hızlarının uygun olduğu bölgelerde kurulacak olan küçük güçlü rüzgâr türbinlerinin çalışmasında kullanılacak en uygun yöntemin belirlenmesi ve bu sayede enerji ihtiyacının en uygun yöntemle sağlanabilmesi olmuştur.

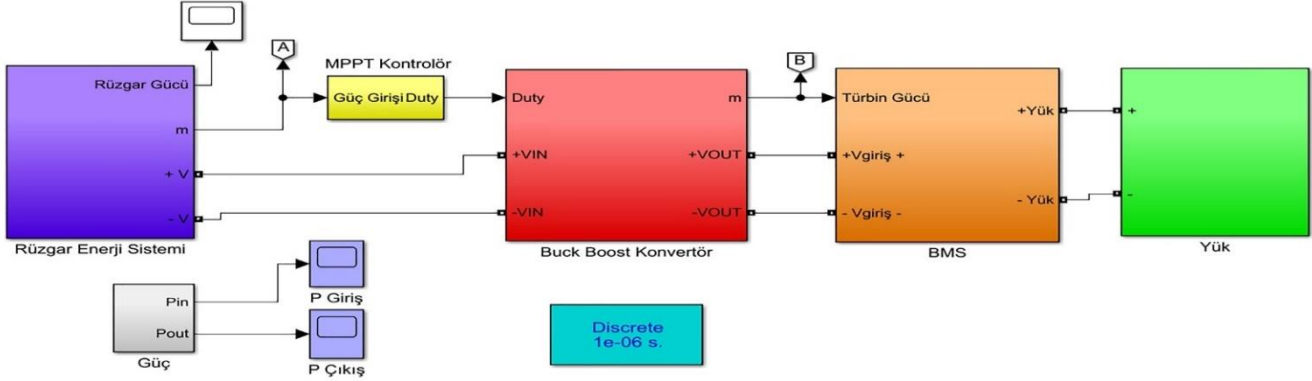
2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Önerilen Sistemin Yapılandırılması

Çalışmamızda önerilen sistem Şekil 1 de görüldüğü üzere Kalıcı Mıknatıslı Senkron Generatör (KMSG), Bulanık Mantık Denetleyici (BMD) ile Saptır ve Gözle (S & G) ünitesini barındıran MGNT kontrolör, Buck-Boost dönüştürücü ve Batarya Yönetim Sistemi (BYS)'den oluşmaktadır. KMSG, güvenilirliği, maliyeti ve boyutundan dolayı en çok tercih edilen rüzgâr generatörüdür [5]. Oluşturulan sistemde değişken rüzgâr hızlarında KMSG çıkışından alınacak gerilim değişikliğini görebilmek ve MGNT algoritmasını gerçekleştirerek doğal ortam şartlarını sağlayabilmek amacıyla KMSG girişine değişken rüzgâr hızları uygulanmıştır. Bu sayede KMSG'nin devir değişikliği sağlanarak değişken rüzgâr hızlarındaki KMSG davranışları izlenebilmiştir. KMSG çıkışında elde edilen AC gerilim; diyot köprüsü ile DC gerilime çevrilmiştir. AC gerilimden DC gerilime yapılan doğrultma sonucunda oluşabilecek parazitleri engellemek için; köprü diyot çıkışında kondansatör kullanılmıştır. Değişken rüzgâr hızlarında KMSG çıkışından MGNT tespitinin yapılabilmesi için BMD ve S & G ünitesi ve buck-boost dönüştürücü kullanılmıştır. Değişken hızlarda KMSG çıkışından elde edilecek akım ve gerilim değişimleri, MGNT yapılabilmesi için ayrı ayrı BMD'ye ve S & G 'ye aktarılmıştır. BMD ve S & G ünitesi, doğrultucu çıkışındaki akım ve gerilim verilerine dayanarak sistemin çalışmasını kontrol edecek ve Buck-Boost dönüştürücüde kullanılan Mosfet transistörün görev döngüsünü(D) belirleyecektir. Değişken rüzgâr hızlarında maksimum güç noktasını yakalayabilmek için esnek ve basit bir teknik olması ile birlikte önceden türbin bilgilerine ihtiyaç duyulmaması sebebiyle S & G yöntemi ve BMD ünitesi tercih edilmiştir.

BMD ve S&G ünitesi ayrı ayrı çalıştırılmış ve çıkış değerleri detaylıca analiz edilmiştir. Buck-Boost dönüştürücü çıkışına bağlanan Batarya Yönetim Sistemi (BMS) ile sistemin uygun olmayan rüzgâr hızlarındaki enerji kesintisi sorununun önüne geçilmesi

amaçlanmaktadır. Bu sayede şebeke bağlantısı bulunmayan bölgeler için düşünülmüş olan sistemin sürekli olarak enerjili kalması sağlanacak ve alternatif olarak başka bir yerden enerji bağlantısı olmayan bölgeler için enerji sorununun önüne geçilmiş olacaktır.



Şekil 1. Sistemin MATLAB/SIMULINK Şeması.

2.2. Rüzgâr Türbini Modeli

Dünya üzerinde rüzgâr enerjisi potansiyeli oldukça büyüktür ve şebekeden elektrik alamayan bazı uzak alanlar için kullanılması uygun görünmektedir [6]. Rüzgâr enerjisi kullanımı, şebeke bağlantısı olmayan kırsal alanlarda büyük bir fayda sağlamaktadır [5]. Rüzgâr türbinleri, rüzgâr gücünü mekanik bir güce dönüştüren sistemlerdir. İnşa edilen sistem çevre dostudur ve çevreye veya insana zarar vermez. Uzun vadeli bir enerji üretme uygulamasıdır ve her mevsim koşulunda sürekli güç üretilebilir [7]. Rüzgâr türbini tarafından üretilen bu mekanik güç şu şekilde ifade edilebilir;

$$P_m = \frac{1}{2} C_p(\lambda, \beta) \rho A v^3 \quad (1)$$

Eş. (1) de ifade edildiği gibi, ρ hava yoğunluğunu (genel olarak 1.225 kg/m^3), β türbin bıçaklarının derece cinsinden açısını, A türbin bıçaklarının metrekaresi cinsinden süpürdüğü alanı, v rüzgârın m/s cinsinden hızını ve $C_p(\lambda, \beta)$ ise rüzgâr türbininin güç katsayısını ifade etmektedir. Rüzgâr türbininin güç katsayısı olarak ifade edilen $C_p(\lambda, \beta)$ rüzgâr türbininin güç üretim verimliliğini göstermektedir. Türbin milindeki mevcut mekanik güç ile mevcut rüzgâr gücünün oranı olarak tanımlanmaktadır. Rüzgâr türbininin karakteristik özelliklerine dayanan genel eşitlik şu şekilde tanımlanabilir.

$$C_p(\lambda, \beta) = 0.5176 \left(116 * \frac{1}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5 \right) e^{-21/\lambda_i} + 0.068\lambda \quad (2)$$

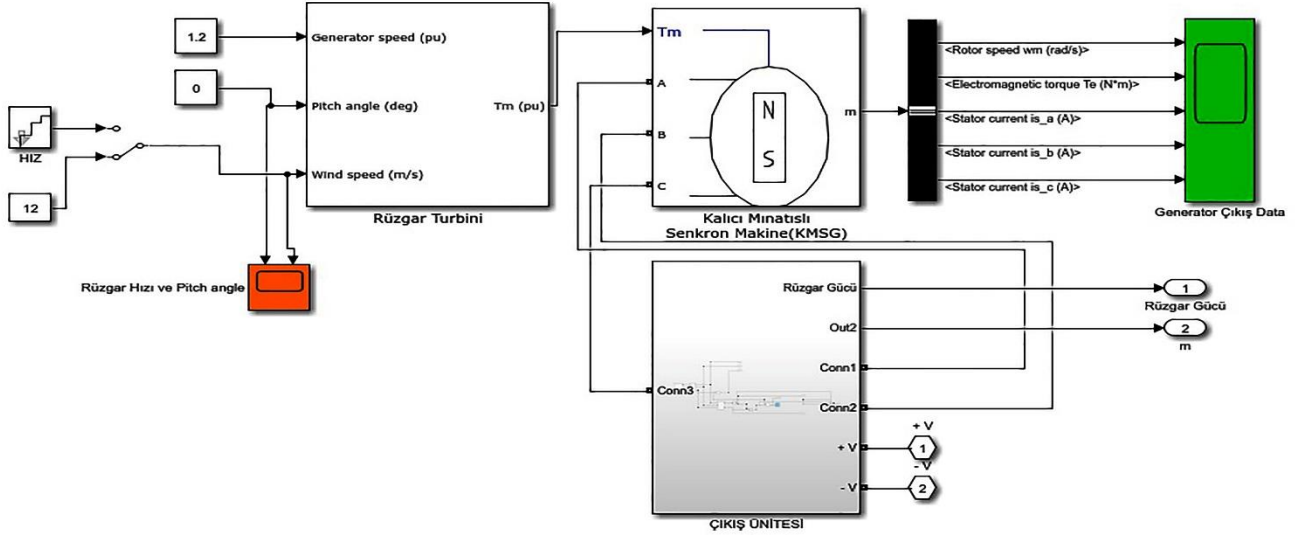
Eş. (2) de kullanılan $(1/\lambda_i)$ ifadesi şu şekilde açılabilir.

$$1/\lambda_i = 1/(\lambda + 0.08\beta) - (0.035/1 + \beta^3) \quad (3)$$

Eş. (3) de ifade edilmiş olan, C_p kanat uç hız oranı (λ) ile kanat eğim açılarının (β) doğrusal olmayan bir fonksiyondur. λ türbin hızı ($\omega_m * R$) ile rüzgâr hızının (v) oranıdır.

$$\lambda = \frac{\omega_m * R}{v} \quad (4)$$

Eş. (4) de ifade edilmiş olan, sırasıyla ω_m rüzgâr türbininin dönme hızı, R ise türbin kanatlarının süpürdüğü alanın yarıçapıdır. Sabit bir β için C_p sadece λ 'nın doğrusal olmayan bir fonksiyonu haline gelir Eş. (4)' te görüleceği üzere λ ile ω_m arasında bir ilişki bulunmaktadır. Bu hız optimum C_p ye karşılık gelir (λ_{opt}). Uç hızı oranının değeri tüm maksimum güç noktaları için sabittir. Kısacası değişken rüzgâr hızlarında rüzgâr türbinini maksimum güce çıkartabilmek için rüzgâr türbinini anma hızının altındaki her değerinde her zaman λ_{opt} 'da çalıştırılmalıdır. Bu durum rüzgâr türbininin dönme hızını optimum dönme hızına getirecektir. Rüzgâr türbininin miline bağlı generatörün üretmiş olduğu mekanik gücün ω_m nin bir fonksiyonudur. Mekanik çıkış gücü değişken rüzgâr hızlarında belirli bir noktada maksimum noktaya ulaşmaktadır. Çalışmamızda bahsi geçen güç noktalarının takibi çalışması yapılmıştır. Şekil 2'de MATLAB/SIMULINK ortamında tasarlanmış KMSG modeli görülmektedir.



Şekil 2. Sistemin MATLAB/SIMULINK Şeması.

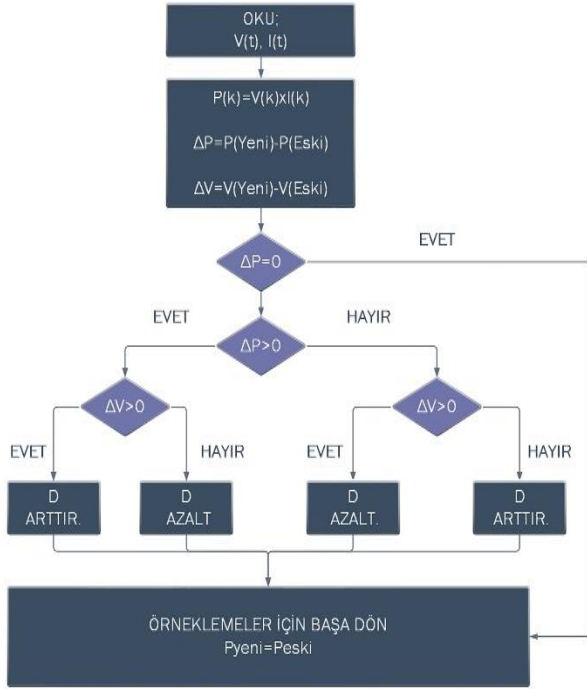
2.3. S&G Modeli

Oluşturulan sistemde S&G ve BMD yöntemi, verilen rüzgâr hızı için maksimum noktayı tespit etmek amacıyla kullanılmıştır. S&G yönteminde, türbinin hızı artış gösterir ve elektriksel çıkış gücü gözlemlenir. Eğer anlık olarak gözlemlenen güç bir önceki güçten daha yüksekse, saptırma yönü pozitifdir ve artışa devam edilmesine izin verilmelidir aksi takdirde saptırma yönü negatiftir ve maksimum güç noktası, dolayısıyla bozulma yönü tersine çevrilmelidir [8]. S&G yönteminde önceden rüzgâr türbinine ait parametrelerin bilinmesine ihtiyaç yoktur. Bağımsız, esnek ve basit bir teknik olmasından dolayı en çok kullanılan algoritmalarından biridir [9]. Sistemimizde akım ve gerilim değerleri kullanılarak çıkış gücü değerleri hesaplanmıştır. Gücün değişimine göre referans değeri olan belirlenmiş olan akım ya da gerilim değerleri artırılıp azaltılarak MGN izlemesi yapılması sağlanabilmektedir. Sistemimizde kullandığımız S&G metodu, maksimum gücü çekecek en uygun çalışma noktasını belirlemek için referans olarak türbinde üretilen çıkış voltajını kullanmaktadır. Çalışmamızda KMSG çıkış gücü ve yük tarafındaki çıkış gücü akım ve gerilimden yararlanılarak hesaplanır ve karşılaştırılır. Daha sonra çıkış gerilimlerin karşılaştırılması yapılır. Ardından referans olarak belirlediğimiz gerilim değerini belirleyecek olan D katsayısının artırılıp azaltılması yoluyla MGN araması devam edilir. Maksimum güç noktasına ulaşma süresince sürekli olarak saptır ve gözle işlemleri yapılacağından belirli miktarda salınımlar oluşmaktadır [10]. S&G algoritması sistemin her anahtarlama çevriminde bir defa uygulanır. Ancak, S&G yöntemi değişken rüzgâr hızı koşullarında yavaş yanıt verir ve düşük verimliliğe sahiptir. Ayrıca, S&G yönteminde performans büyük ölçüde adım boyutuna

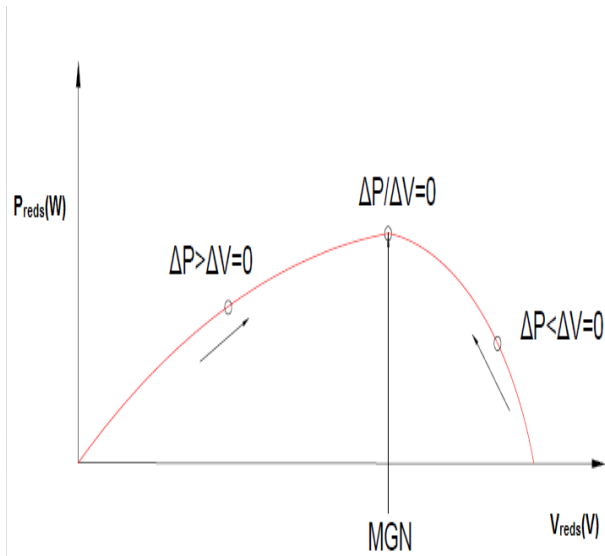
bağlıdır, bu durum MGN'nin izlenme süresini belirler ve etkiler. Bu nedenle, S&G yönteminin iyileştirilmesi için takip adımın ayarlanmasını gerekmektedir.[11]. KMSG'ye ait anlık gerilim ve akım değerleri okunarak, anlık güç değeri hesaplanır. Şekilde verilen akış diyagramında da görüleceği üzere maksimum güç noktası (MGN) bulununcaya kadar işlemler her anahtarlama çevriminde tekrarlanmak zorundadır. Hesaplanan anlık güç değeri bir önceki çevrimde okunan anlık güç değeri ile karşılaştırılarak farkı alınır ve ΔP değeri elde edilir. Aynı işlem referans olarak aldığımız gerilim bilgisi içinde geçerlidir. Gerilim bilgileri bir çevrim boyunca okunur ve bir sonraki çevrimdeki gerilim farkı ΔV değeri elde edilir. Şekilde verildiği gibi standart bir S&G algoritmasında rüzgâr karakteristik eğrisi eğiminin sıfır olduğu $\Delta P/\Delta V=0$ noktası sistemimizin maksimum güç noktası (MGN) olarak belirlenmiştir. Klasik S&G algoritmasında MGN değerine ulaşılması daha yavaştır [12]. KMSG çıkışından okunan akım ve gerilim bilgisi sistemin o anki güç bilgisini oluşturmaktadır. Bir sonraki adımda sistemden okunan akım ve gerilim bilgisi sistemin yeni gücü olarak adlandırdığımız P_{yeni} bilgisini bize sunacaktır. Sistem ardışık olarak çalıştığı ve akım ve gerilim bilgileri sürekli olarak sistemde işlendiği için sistemden okunan P_{yeni} değeri bir sonraki adımda sistemin maksimum gücü aramaya devam edebilmesi için sistemin P_{eski} bilgisini oluşturacaktır. Eğer P_{yeni} , örneklemeden alınan ve bir önceki anlık gücü temsil eden P_{eski} olarak adlandırılmış güçten daha büyükse, gerilim değerindeki değişimlere bakılmaktadır. Bu noktada V değerindeki bir önceki duruma göre değişimine göre sistem karar verecek ve sisteme gönderilen D değerinde değişiklik yapılarak sistemin MGN 'yi bulması sağlanacaktır. $\Delta P/\Delta V$ değerinin sıfır olduğu nokta yani güç eğrisi eğiminin sıfır olduğu

nokta sistemin maksimum güç noktası olarak adlandırılmıştır.

Bu sayede sistem sürekli olarak takip edilerek en uygun noktada maksimum gücü yakalaması sağlanmıştır. S&G tekniğinin rüzgâr enerjisi dönüşümündeki tek dezavantajı, rüzgâr hızının hızlı değişimini takip edememeleri ve böylece genel sistemin verimliliğini ve MGN takip hızını etkilemeleridir. S&G yönteminin akış şeması, Şekil 3.'te gösterilmiştir. Şekil 4'te S&G prensip şeması görülmektedir.



Şekil 3. S&G yöntemi akış şeması.



Şekil 4. S&G yöntemi prensip şeması.

2.4. BMD Modeli

S&G yönteminin sakıncalarını gidermek, maksimum güç noktasını takibinin daha sorunsuz yapılabilmesi ve görev döngüsünün belirlenebilmesi amacıyla BMD algoritması önerilmiştir. BMD tabanlı bir sistemin kontrol mekanizması, kontrol stratejisine nitel bilgiyi ekleyerek bir operatörün veya saha çalışanının süreçle ilgili deneyimini barındırmaktadır, ancak resmi bir tasarım metodolojisinin olmaması, BMD kontrollü sistemlerin kararlılığını ve zorluklarını tahmin etme zorluğu gibi sınırlamaları nedeniyle eleştirilmektedir [13]. BMD sistemimize maksimum güç noktasının hızlı ve kesin olarak bulunması gibi avantajlar getirmiştir. BMD genel olarak, Bulanıklaştırma, Kural Tabanı ve Durulama olarak üç aşamadan oluşur. Kurallar, sistemin önceki bilgileri temelinde tasarlanır ve BMD kapalı döngüde çalışan yapay zekâ temelli karar verme denetleyicisidir. Bulanık mantık denetleyicisi güçlü bir denetim özelliğine sahiptir ve doğrusal uygulamalar için daha iyi sonuçlar verir. Sistem hakkında tüm bilgilere ihtiyaç duymaz [14]. Bulanık denetleyicilerin girişleri Şekil 5. ve Şekil 6. da gösterildiği gibi referans olarak verilen güç değeri ile birim zamanda oluşan mevcut güç değerinin farkını oluşturan (E) sinyali ve birim zamanda mevcut güç ile yeni oluşan güç değişimi (CE) sinyalidir. Eş. (5) ve Eş. (6) da (E) ve (CE) sinyallerinin hesaplama formülleri görülmektedir.

$$E = P_{ref}(n) - P_w(n) \quad (5)$$

$$CE = P_w(n) - P_w(n-1) \quad (6)$$

Sinyaller hesaplandıktan ve dilsel değişkenler elde edildikten sonra, BMD'nin çıkış değişkeni, kullandığımız algoritmaya bağlı olarak sistemimize uygulayacağımız görev döngüsü olmaktadır. BMD'nin verimliliği sadece sistemin önceki bilgilerine ve kural tabanına dayalı tablonun doğru hata hesaplamasına bağlıdır. Tablo.1, BMD'yi modellemek için kullanılan kural tablosunu temsil eder. Kurallar, Negatif Büyük (NB), Negatif Orta (NO), Negatif Küçük (NK), Sıfır (Z), Pozitif Küçük (PK), Pozitif Orta (PO), ve Pozitif Büyük (PB) olmak üzere yedi seviyede çerçevesizdir. Sistemimize bağlı akım ve gerilim sensörlerinden gelen veri kurallar tablosundaki güç değişkenini oluşturmaktadır. Güç verisinde zamana bağlı olarak ortaya çıkacak değişimler gerilim verisinde ortaya çıkan değişimlerle birlikte algoritmada belirtildiği gibi işleme tabi tutulacak ve sonrasında görev döngüsü sinyaline ulaşılacaktır. Çıkarım mekanizması temel olarak tablodaki kuralların uygunluğunu belirleyen BMD üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanır. Şekiller, BMD kontrol cihazının giriş ve çıkış üyelik fonksiyonunu temsil eder.

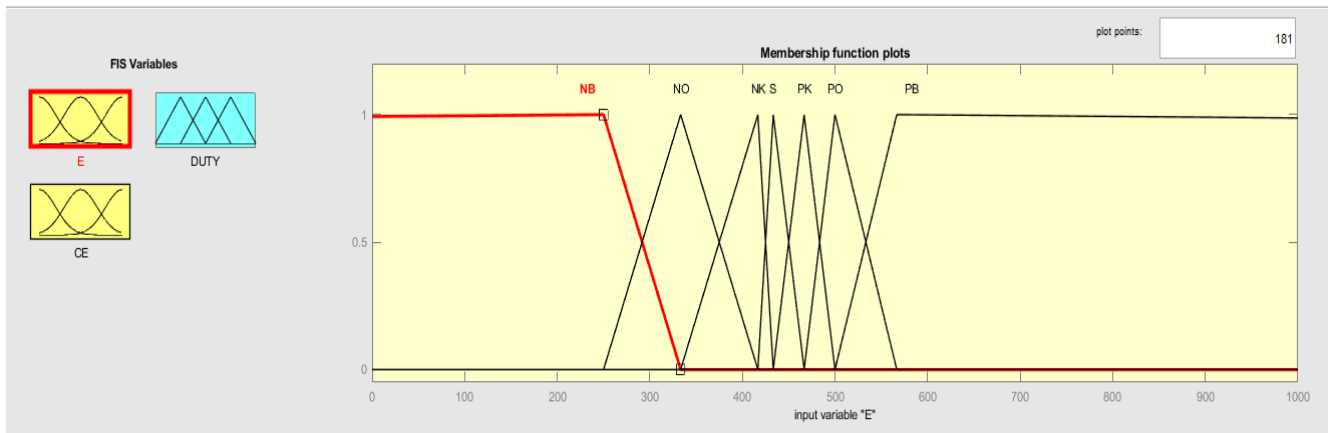
Durulama yöntemi olarak Centroid Yöntemi kullanılmıştır. Maksimum güç noktasının bulunabilmesi için sisteme gönderilen görev döngüsü sinyalinin belirlenmesi BMD tarafından yapılmaktadır ve daha önce kurallar tablosunda belirlenen kurallara uygun olarak haritalanan çıkarım sisteminin sonucu olarak belirlenmektedir.

BMD çıkış gerilimi ve güç değişimini izler ve bulanıklaştırma işlemi için giriş olarak verilen hata sinyali üretir, burada giriş verileri Mamdani yöntemi kullanılarak uygun bulanık dilsel kümelerle dönüştürülmüştür. Sonrasında bulanık küme, algoritma kuralları kullanılarak uygun bir bulanık çıkışın elde edildiği çıkarım sisteminde işlenmiştir. Ardından elde edilen değerler, bir görev döngüsü olarak net değere dönüştürülmüştür. Şekil 5. te giriş güç hatası (E) değişkenine ait üyelik fonksiyonları görülmektedir. Kurallar, Negatif Büyük (NB), Negatif Orta (NO), Negatif Küçük (NK), Sıfır (Z), Pozitif Küçük (PK), Pozitif Orta (PO), ve Pozitif Büyük (PB) olmak üzere yedi seviyede oluşturulmuştur. Sistemde kullanılan KMSG 1000 Watt gücünde seçildiğinden değişken rüzgâr hızlarında KMSG' nin üreteceği değişken yüklerle uygun seviyelerde üyelik fonksiyonları belirlenmiştir ve kurallar tablosu bu seviyelere uygun olarak oluşturulmuştur. Sistemdeki güç değişimi izlenmiş ve gerilim sensöründen gelecek verilere uygun olarak görev döngüsüne karar verilmiştir. Verilen referans değerinden, KMSG' nin o anda ürettiği güç farkı alınarak BMD girişlerine güç hatası (E) olarak girilmiştir. KMSG' nin güç çıkışı 1000 W olduğundan aralık 0 Watt ile 1000 Watt aralığında sınırlandırılmıştır. KMSG çıkışından zamana bağlı olarak ölçülen güç değişimleri algoritmaya bağlı olarak işleme tabi tutularak görev döngüsü sinyaline karar verilecektir. Şekil 6. da KMSG çıkışından elde edilen gücün zamana

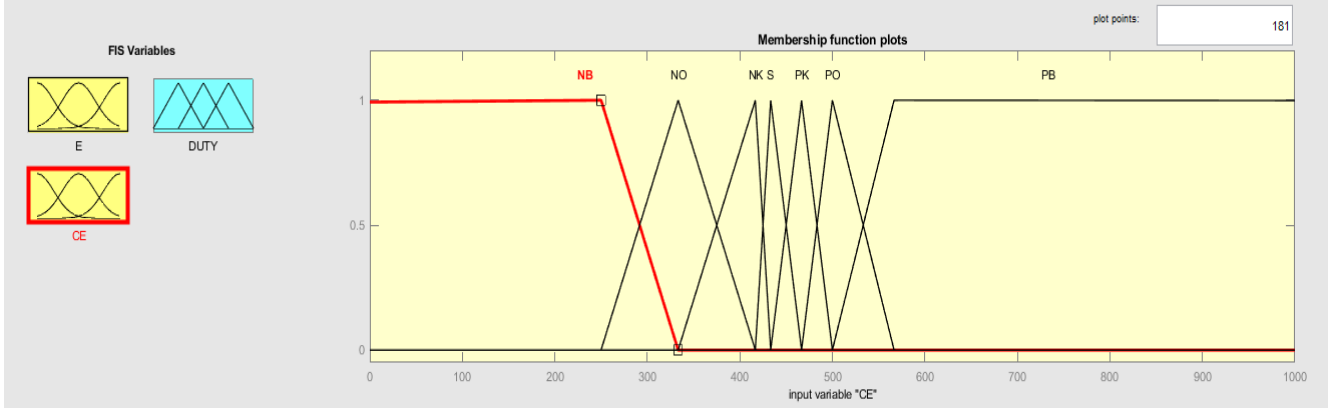
bağlı değişimini gösteren, giriş güç hatası değişimi (CE) değişkenine ait üyelik fonksiyonları görülmektedir. KMSG çıkışından, değişken rüzgâr hızlarında birim zamanda alınan anlık güç değeri ile bir önceki birim zamandaki güç değerinin farkı, algoritmada işleme tabi tutulacak güç hatasındaki değişim (CE) sinyalini vermektedir. Şekil 7. de BMD çıkışından elde edilen görev döngüsü sinyaline (D) ait üyelik fonksiyonları görülmektedir. BMD çıkışından elde edilecek görev döngüsü sinyali Mosfet transitörün gate ucuna uygulanacak PWM sinyali olduğundan üyelik fonksiyonları 0 ile 1 arasında hesaplanmıştır. Değişken rüzgâr hızlarında giriş değişkenlerinden gelen verilen kurallar tablosu ve üyelik fonksiyonlarına uygun olarak değerlendirilmiş ve işlem sonucunda uygun bir D sinyali elde edilmiştir.

Tablo 1. BMD Kural Tablosu.

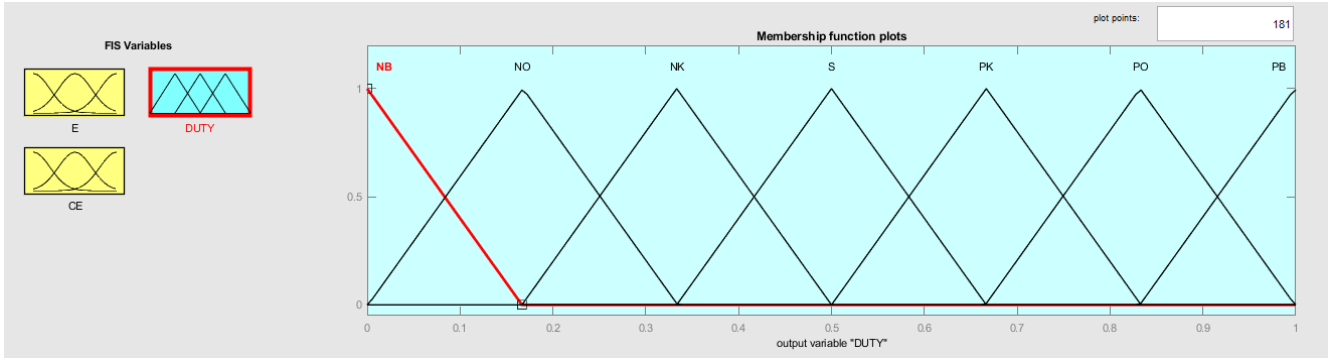
CE \ E	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
NB	NB	NB	NB	NB	S	S	S
NO	NB	NB	NO	NO	S	S	S
NK	NB	NB	NK	NK	PK	PK	PO
S	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
PK	NO	NK	NK	PK	PK	PB	PB
PO	S	S	S	PO	PO	PB	PB
PB	S	S	S	PB	PB	PB	PB



Şekil 5. BMD Giriş E Üyelik Fonksiyonu.



Şekil 6. BMD Giriş CE Üyelik Fonksiyonu.



Şekil 7. BMD Çıkış(D) Üyelik Fonksiyonu.

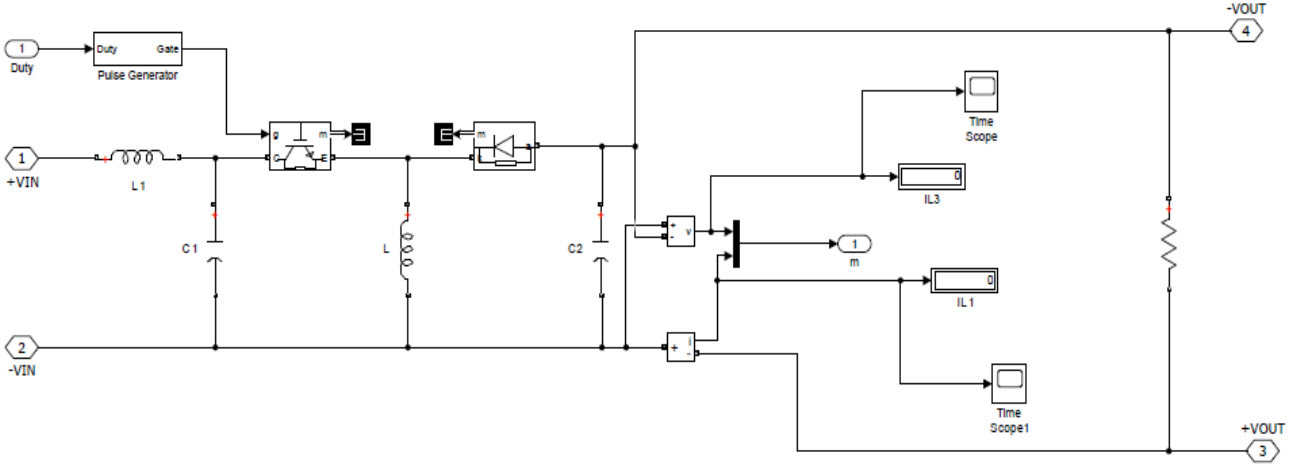
2.5. Buck-Boost Dönüştürücü

Boost dönüştürücüler back to back dönüştürücülere göre düşük maliyetli ve kolayca kontrol edilebilir olmasından dolayı küçük ölçekli rüzgâr türbinleri için en yaygın kullanılan dc/dc dönüştürücülerden biridir [15]. Değişken hızlı rüzgâr türbinlerinin verimliliğini artırmak için güç elektroniği elemanları kullanılarak MGNT uygulamaları yaygın şekilde kullanılmaktadır. Güç elektroniği dönüştürücülerinde yapılan düzenlemeler rüzgâr türbinlerinde uygulanmaktadır. Büyük ölçekli sistemlerde şebeke bağlantısı için back to back dönüştürücüler yaygın şekilde kullanılmaktadır. 10 kW'dan küçük ölçekli rüzgâr türbinlerinde ise, en çok kullanılan dönüştürücü bir diyot köprü doğrultucu ve bir dc/dc dönüştürücüdür [16]. Buck-Boost dönüştürücü, devresinde bulunan Mosfet transistörlerin görev döngüsünün değiştirilmesi prensibi ile sistemin ihtiyacı olan gerilimi sisteme sağlayabilmek için tasarlanmıştır. Yapı olarak Buck-Boost dönüştürücüler mosfet transistörlere verilen görev döngüsü oranında çıkış geriliminde değişiklik yapabilmektedir. Türbin çıkışından elde edilen gerilim değişken rüzgâr hızları nedeniyle değişken olmaktadır.

Bu aşamada devreye giren S&G algoritması daha öncede açıklandığı gibi maksimum gücün tespitini yapacaktır. Bu aşamada güç değişimleri olması nedeniyle

gerilimde bazı değişiklikler olması kaçınılmazdır. Buck-Boost dönüştürücü bu aşamada gerilimin artırılması ya da azaltılması işlevini üstlenecektir. Çıkış geriliminin artırılması ya da azaltılmasına sistemimizin karar vericisi olarak tasarlanmış olan S&G veya BMD karar verecek ve Mosfet transistörlerin görev döngüsünü sisteme gönderecektir. Geleneksel yaklaşımda Hibrid PV-Rüzgâr sistemlerinde birden çok yenilenebilir kaynağın entegrasyonunu sağlamak için her bir kaynak için bir tane olmak üzere ve ortak bir dc baraya bağlı olan tek girişli bir DC/DC dönüştürücü kullanılmaktadır. Ancak, çok sayıda dönüştürücünün sistemde kullanılması ve kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının iklimsel değişimleri sebebiyle sistemin verimini düşük kalmaktadır [17]. Değişken rüzgâr hızlarına sahip olan rüzgâr türbinlerinde sistemin ürettiği gücü kontrol etmek için gerek maliyet gerekse batarya gereksinimleri göz önüne alındığında bir dc-dc buck / boost dönüştürücü kullanılması sistem için oldukça uygundur [18].

Değişken rüzgâr hızlarındaki maksimum güç noktasını en iyi şekilde tespit edebilmek amacıyla tasarladığımız sistemimizde birden çok DC/DC dönüştürücü kullanmak yerine sistem verimi göz önüne alınarak Buck-Boost dönüştürücü tercih edilmiştir. Şekil 8. de önerilen sistem için tasarlanmış olan Buck-Boost dönüştürücüye ait MATLAB/SIMULINK şeması görülmektedir.

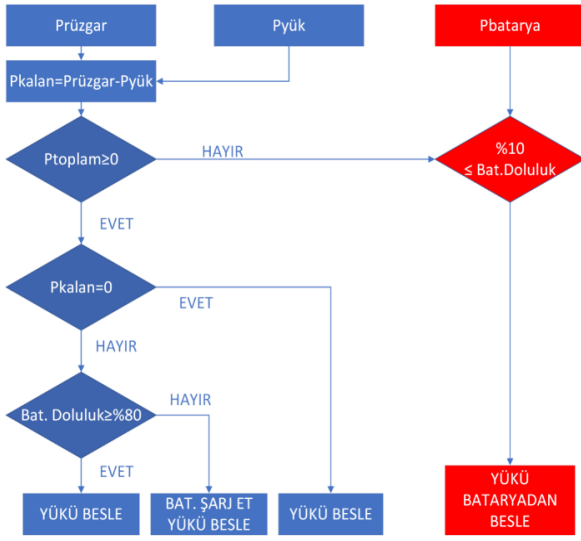


Şekil 8. Buck-Boost dönüştürücü MATLAB/SIMULINK şeması.

2.6 Batarya Yönetim Sistemi

REDS'ten üretilen enerji değişken rüzgâr hızları nedeniyle değişkenlik göstermektedir. Hava şartlarının değişkenlik gösterdiği sistemlerde güç arzını sürekli tutabilmek için bir batarya yönetim sistemine ihtiyaç duyulmaktadır [19]. Sabit bir omik yükü besleyen sistemimizde yükün sürekli olarak beslenmesi prensibi üzerinde durulmuştur. Bu amaç doğrultusunda sistemimize batarya grupları dahil edilmiştir. Bu sayede rüzgârın olmadığı durumlarda batarya sistemi devreye girerek yükün enerjisiz kalması engellenmiştir. Üretilen enerjinin yükün ihtiyacından fazla olması durumunda batarya gruplarının şarj edilmesi batarya yönetim sistemiyle sağlanmıştır. Bu sayede sistemde enerji kesintisinin önüne geçilerek sistemin sürekli enerjili kalması sağlanmıştır. Üretilen enerjinin besleme yüküne ne oranda yettiği ve batarya gruplarının hangi durumlarda şarj edileceğine tasarlanmış olduğumuz enerji yönetim algoritması karar verecektir. Sistemde rüzgâr esmemesi ve enerji kesintisi olması durumunda enerji yönetim algoritması rüzgâr türbini çıkışlarından alınan enerji çıkışlarını kapatarak sistemin besleme noktasını batarya gruplarına çevirecektir. Tam tersi durumda sistemin ihtiyacından fazla üretilen enerji olması durumunda ise enerji yönetim algoritması bataryaların şarj edilmesine karar vererek üretilen fazla enerjinin bataryalarda depolanmasına imkân sağlayacaktır. REDS ten gelen güç bilgisi akım ve gerilim seviyelerinin anlık olarak sensörler sayesinde ölçülmesiyle belirlenir. Genel olarak bataryayı sürekli olarak gereğinden az ya da fazla şarj etmek batarya ömrünü olumsuz olarak etkileyecektir.

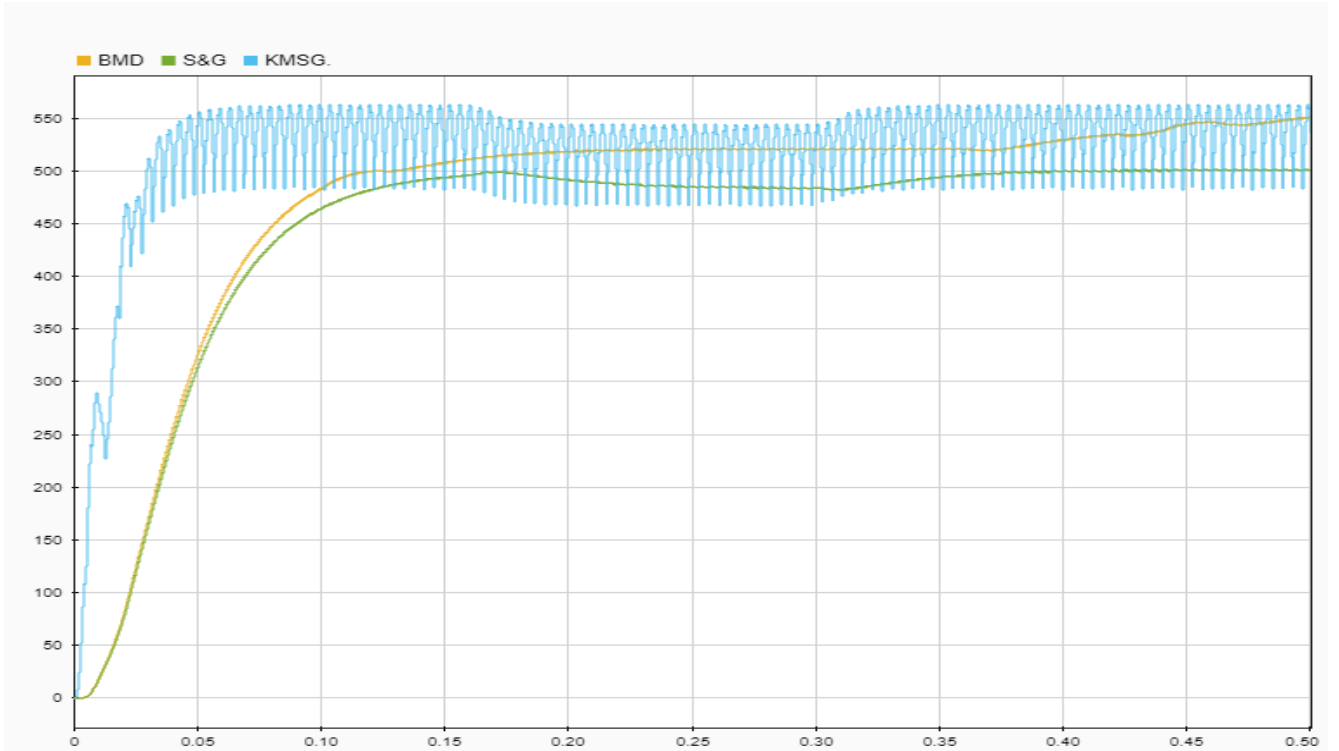
Rüzgâr hızının değişken olduğu sistemlerde batarya ömrünü uzatmak ve enerji verimliliğini sağlamak amacıyla bataryanın hangi şartlarda şarj edileceğine karar verecek bir sistem tasarımında bulanık mantık uygulamaları klasik kontrol yöntemlerine göre daha verimli olabilmektedir [20]. Sabit bir omik yük kullandığımız sistemimizde yükte harcanan güç bilgisinin de sisteme dahil edilmesi gerekmektedir. Toplam üretilen gücün çıkış yükümüzde harcanan güçten çıkartılmasıyla P_{kalan} elde edilmiştir. P_{kalan} sıfırdan büyük ve batarya doluluk oranı %80 den büyükse yüke gerilim uygulanır. Eğer şarj seviyesi %80 den küçükse; sisteme bataryaların şarj edilmesi emri verilir ve yük beslenirken aynı zamanda bataryalar şarj edilir. P_{kalan} 'ın sıfıra eşit olması durumunda yükün doğrudan REDS çıkışından beslenmesi emri sisteme verilir. Sistemde rüzgârın olmadığı durumlar da düşünülerek batarya yönetim algoritması bu yönde şekillendirilmiştir. Sistem çıkışında bulunan yükün batarya yönetim sistemi sayesinde sürekli olarak enerjili kalması sağlanmış ve ortamda rüzgâr olmaması durumunda yükün bataryadan beslenmesi sağlanarak kesintisiz enerji arzı sağlamıştır. Şebeke bağlantısı bulunmayan bölgelerde enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla tercih sebebi olan küçük güçlü rüzgâr türbinlerinin tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken konulardan biri de tesisin bulunduğu bölgede rüzgâr esmediği durumlarda tesisin enerji ihtiyacının hangi yolla karşılanacağı olmaktadır. Tasarladığımız BYS ile enerji kesintisinin önüne geçilmesi ve sistemin sürekli enerjili kalması amaçlanmaktadır.



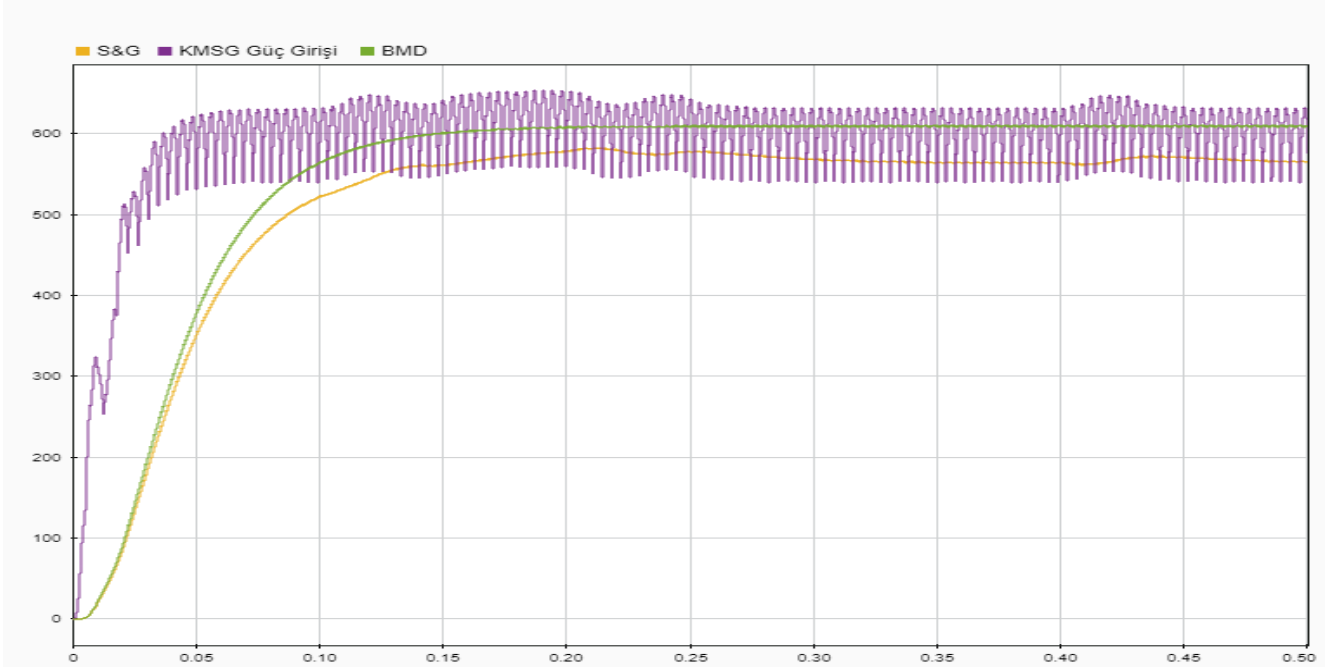
Şekil 9. BYS akış şeması.

3. Bulgular ve Tartışma

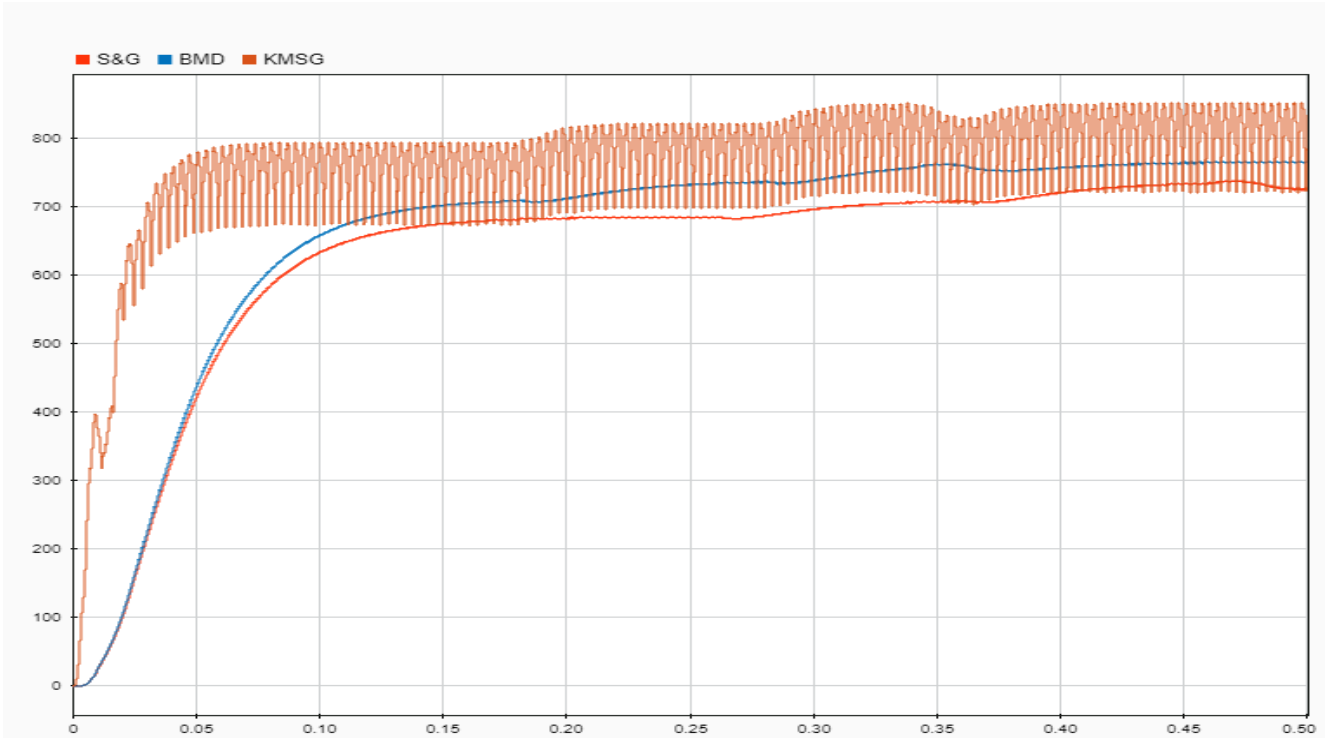
Değişken rüzgâr hızlarında KMSG çıkış gücüne göre BMD ve S&G uygulamaları çıkışları karşılaştırılmış ve sonuçları aşağıda çıkarılmıştır. Rüzgâr hızları simülasyon aşamasında sırasıyla 6 m/s, 8 m/s, 10 m/s, 11 m/s ve 12 m/s olarak seçilmiştir. Giriş KMSG gücü 12 m/s lik hızda 1000 W olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede değişken rüzgâr hızlarında giriş ve çıkış güçlerindeki değişim ile birlikte BMD ve S&G algoritmalarındaki çıkış gücündeki değişim ayrı ayrı gözlenerek karşılaştırılmaları yapılabilmektedir. Yapılan simülasyon çalışmalarında sisteme uygulanan değişken hızlarda KMSG çıkışından alınan güç değerleri farklılık göstermesine rağmen sistemin tasarımında kullanılan S&G ve BMD MGNT algoritmalarının güç çıkışını belirli bir noktada yakalayabildiği görülmektedir. Şekil 10-14. de farklı rüzgâr hızlarındaki KMSG çıkışlarında önerilen algoritmaların davranışları ayrı ayrı görülebilmektedir.



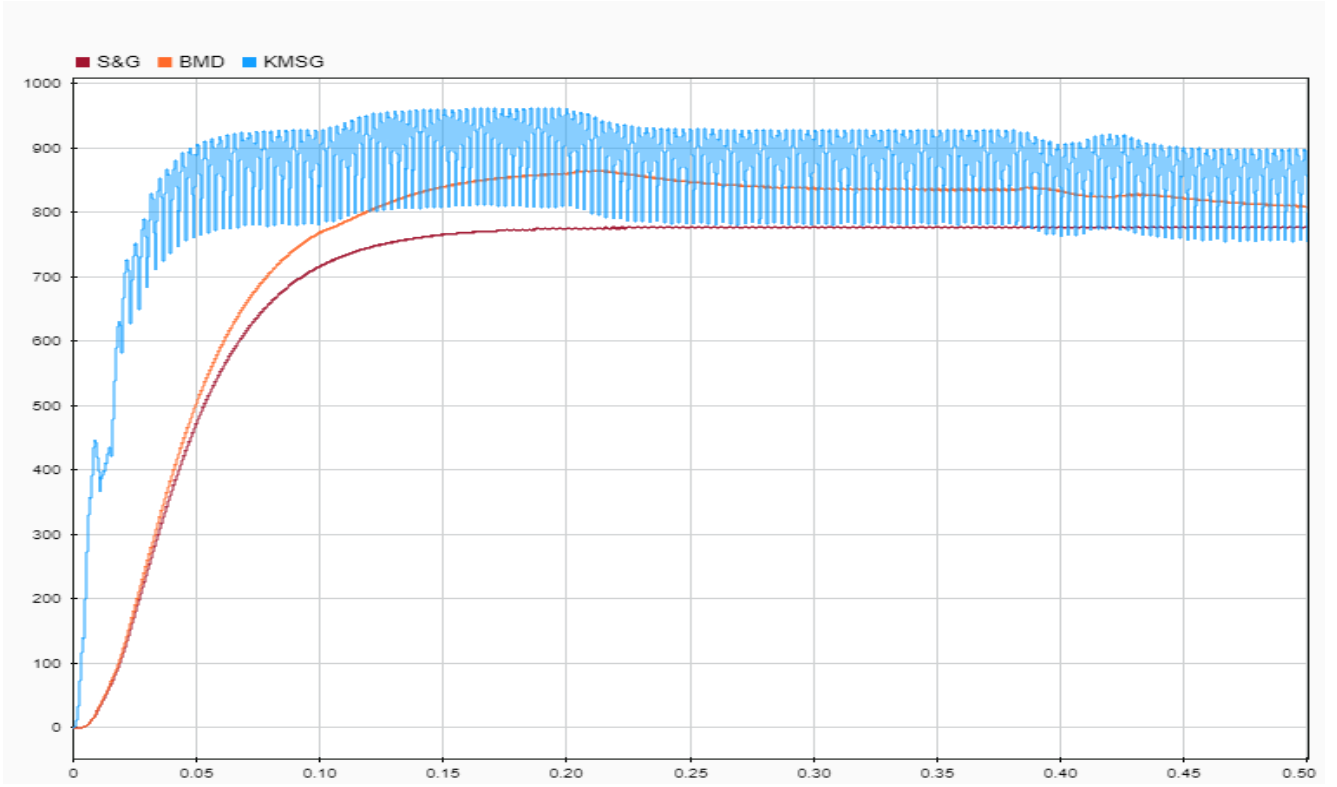
Şekil 10. 6 m/s hızındaki KMSG çıkışları ve S&G ile BMD algoritmalarının karşılaştırılması.



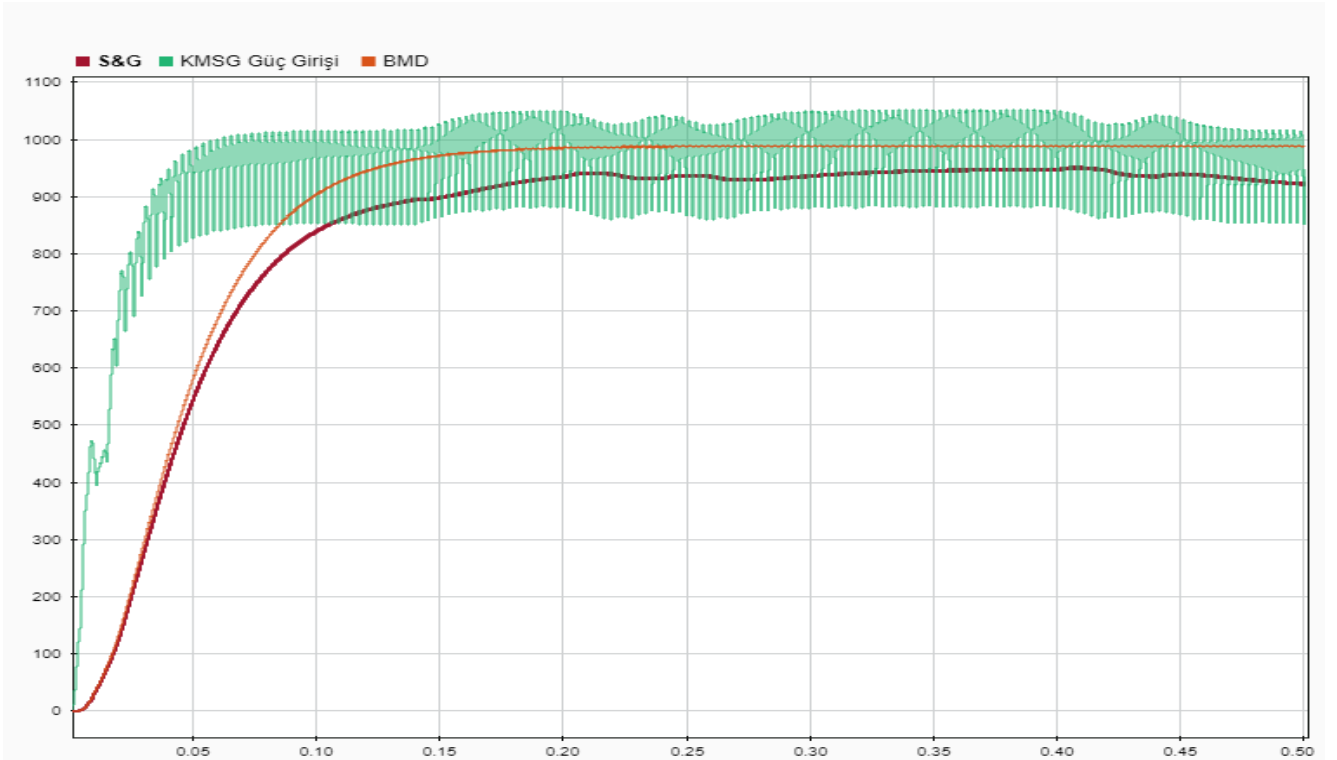
Şekil 11. 8 m/s hızındaki KMSG çıkışları ve S&G ile BMD algoritmalarının karşılaştırılması.



Şekil 12. 10 m/s hızındaki KMSG çıkışları ve S&G ile BMD algoritmalarının karşılaştırılması.



Şekil 13. 11 m/s hızındaki KMSG çıkışları ve S&G ile BMD algoritmalarının karşılaştırılması.



Şekil 14. 12 m/s hızındaki KMSG çıkışları ve S&G ile BMD algoritmalarının karşılaştırılması.

4. Sonuçlar

Bu yazıda S&G ve BMD tabanlı çalışan gibi iki farklı MPPT kontrolörü modellenmiş ve değişen rüzgâr hızları altında rüzgâr türbini güç çıkışları açısından her iki yöntem karşılaştırılmıştır. Her iki denetleyicinin de performansı analiz edilerek BMD tabanlı denetleyicinin S&G tabanlı denetleyiciden daha verimli ve güvenilir olduğu doğrulanmıştır. S&G tabanlı teknik, sistemin kararlı olduğu durumlar için uygundur. Rüzgâr hızının yüksek değişkenlik gösterdiği durumlarda S&G algoritmasının maksimum gücü belirlemesi aşamasında noktalar arasındaki geçişlerinin yavaş olması, bu yöntemin zayıf noktası olarak görülmüştür. BMD yöntemi hızlı bir izleme yeteneğine sahiptir. BMD kontrol yönteminin verimli ve sabit bir durum çıkışı sağlayabilmesi için sistemin önceden kurallar tablosu sayesinde belirlenmesi gerekmektedir. BMD, REDS' deki maksimum güç noktasını izlemek için hızlı ve verimli bir tekniktir. BMD' den elde edilen sonuçlar sabit çıkış, daha hızlı takip kabiliyeti ve daha az çıkış dalgalanmaları açısından S&G tekniğinden daha üstün ve etkilidir. Bu nedenle, BMD tabanlı MPPT yönteminin önerdiğimiz REDS modeli için en iyi seçenek olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Eltamaly A., Farh H.M., 2012. Maximum power extraction from wind energy system based on fuzzy logic, *Electric Power Systems Research*, 145.
- [2] Tafticht T., Agbossou K., Cheriti A., 2006. DC Bus Control of Variable Speed Wind Turbine. *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting*. Montreal, Que., Canada: IEEE. doi:10.1109/PES.2006.1709469
- [3] Tiwari R., Babu R., 2016. Fuzzy logic based mppt for permanent magnet synchronous. *IFAC (International Federation of Automatic Control)* (s. 462). Sherbrooke: ScienceDirect.
- [4] Shahi A., Bhattacharjee C., 2018. A Study & Analysis of Fuzzy Based P&O MPPT. *IEEE International Conference on Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP-2018)* (s. 978). Bhubaneswar, India: IEEE.
- [5] Bogaraj T., Kanakaraj J., Chelladurai J., 2015. Modeling and simulation of stand-alone hybrid power. *Department of Electrical and Electronics Engineering, Archives of Electrical Engineering*, 10-11.
- [6] Putri R.I., Rifa M., Pujiantara M., Priyadi A., Purnomo M., 2017. Fuzzy MPPT controller for small scale stand alone. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 188.
- [7] Venkateshkumar M., Raghavan R., 2016. Hybrid Photovoltaic and Wind Power System with Battery Management System using Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)*, 72-78.
- [8] Rajin M., Damodharan P., 2015. Maximum power point tracking method using a modified perturb and observe algorithm for grid connected wind energy conversion systems. *IET Renewable Power Generation Research Article*.
- [9] Ahmed J., Salam Z., 2015. An improved perturb and observe (P&O) maximum power point tracking (MPPT) algorithm for higher efficiency. *Applied Energy*, 150, 97-108.
- [10] Tan C.W., Green T., Hernandez-Aramburo C., 2008. Analysis of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Algorithm for Photovoltaic Applications, *2nd IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08)* (s. 237-242). Johor Baharu, Malaysia: 2nd IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08)
- [11] Ratna I., Pujiantara M., Ardyono P., 2018. Maximum power extraction improvement using sensorless controller based on adaptive perturb and observe algorithm for PMSG wind turbine application, *IET Electric Power Applications Research Article*, 455-462.
- [12] Azad M.L., Das S., Kumar Sadhu P., Satpati B., Gupta A., Arvind P., 2017. P&O algorithm based MPPT technique for solar PV System under different weather conditions, *2017 International Conference on circuits Power and Computing Technologies [ICCPCT]*. IEEE.
- [13] Hamane B., Benghanem M., Bouzid A., Belabbes A., Bouhamida M., Draou A., 2012. Control for variable speed wind turbine driving a doubly fed induction generator using Fuzzy-PI control. *Energy Procedia*, 18, 476-485.
- [14] Kasbi A., Rahali A., 2020. A Simple Methodology for Optimal Fuzzy Control of DFIG Based Wind Turbine. *2020 1st International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET);2020*. Meknes, Morocco: IEEE.
- [15] Srivastava B.B., Tripathi E.S., 2014. Tracking of Maximum Power from Wind Using Fuzzy Logic

- Controller Based On PMSG. *International Journal Of Modern Engineering Research (IJMER)*, 44.
- [16] Khalil A.G., Lee D.C., Seok J.K., 2004. Variable Speed Wind Power Generation System. 2004 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference (s. 2039). Aachen, Germany: IEEE.
- [17] Mangu B., Akshatha S., Suryanarayana D., Fernandes B., 2016. Grid-Connected PV-Wind-Battery based Multi-Input Transformer Coupled Bidirectional DC-DC Converter for household Applications. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 1086 - 1095.
- [18] Muyeen S., Takahashi R., Toshiaki M., Tamura J., 2009. Integration of an Energy Capacitor System With a Variable-Speed Wind Generator. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 740-748.
- [19] Roumila Z., Djamila R., Rekioua T., 2017. Energy management based fuzzy logic controller of hybrid system wind/photovoltaic/diesel with storage battery. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(30), 19525-19535.
- [20] Saranya S.D., Sathyamoorthi S., Gandhiraj R., 2015. A fuzzy logic based energy management system. For a microgrid, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(6), 2663-2669.