



Rüzgâr Santrallerinin Modellenmesi ve Rüzgâr Santrallerinin İletim Sistemi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Gökhan ATABEY¹, Süleyman Sungur TEZCAN²

¹Türkiye Elektrik İletim A.Ş., Planlama ve Yatırım Yönetimi Dairesi Başkanlığı, 06520 Çankaya/ANKARA

²Süleyman Sungur TEZCAN, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06570 Çankaya/ANKARA

Öz

Son yıllarda yaşanan nüfus artışına ve teknolojiye yaşanan gelişmelere paralel olarak Türkiye’de ve dünyada enerji talebi her geçen gün daha da artmaktadır. Hammadde ihtiyacı olmaması, bakım ve işletme giderlerinin ucuz olması, zehirli gaz salınımına neden olmamaları ve sonsuz olmalarından dolayı yenilenebilir enerji kaynakları tüm dünyada hızla yaygınlaşmaktadır. Üretilen enerjinin son kullanıcıya kaliteli ve kesintisiz aktarılması için güç sisteminde planlama çalışmalarına azami önem gösterilmelidir.

Güç sistemi planlama çalışmalarında farklı ülkelerde farklı yazılım ve benzetim programları kullanılmaktadır. Türkiye’deki iletim sistemi operatörü olan TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) sistem analizlerini Siemens firması tarafından geliştirilen PSS/E (Power System Simulation for Engineering) programı vasıtasıyla yapmaktadır. PSS/E programı kullanılarak; yük akış analizleri, kısa devre analizleri, güç sistemlerinin dinamik simülasyonu, optimal güç akışı ve rüzgâr gücü modellenmesi yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, PSS/E programı kullanılarak örnek bir rüzgâr santrali olan ve Balıkesir ilinde yer alan Şamlı RES (Rüzgâr Enerji Santrali) modellenmektedir. Şamlı RES’in farklı senaryolarda yaptığı üretimler ve bu üretimlerin sistem üzerindeki etkileri (hat yüklenmeleri, yük akışları, bara gerilimi değişimleri vb.) analiz edilecektir. Ayrıca Şamlı RES’in referans bir zaman dilimi içerisinde 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9. harmonik analizleri yapılacak, karşılaşılan harmonik sorunlarının çözümüne yönelik çözüm önerileri verilecektir.

Makale Bilgisi

Başvuru: 22/02/2017

Düzeltilme: 25/04/2017

Kabul: 15/05/2017

Anahtar Kelimeler

Rüzgâr santralleri

İletim sistemi

Güç sistem planlaması

Güç sistem analizi

Yük akış çalışmaları

Harmonik analizi

Keywords

Wind farms

Transmission system

Power system planning

Power system analysis

Power flow studies

Harmonic analysis

Modelling of Wind Farms and Analysis of Effects of Wind Farms on Transmission System

Abstract

In recent years, the energy demand in Turkey and the world is increasing day by day in parallel with the population growth and the developments experienced in technology. Renewable energy resources are rapidly spreading all over the world due to the fact that they do not need any raw materials, the maintenance and operation costs are cheap, they cause no toxic gas emissions and they are never-ending. The maximum attention should be paid to the planning studies in the power system for the quality and continuous transfer of the generated energy to the end user.

In the studying of “power system planning”, different softwares and simulations are used in different countries. TEİAŞ (Turkish Electricity Transmission Co.) is the transmission system operator in Turkey and it is processing its system analysis by means of PSS/E program which is developed by Siemens. By using PSS/E program; load flow analysis, short circuit analysis, dynamic simulations of power system, optimal power flow and wind power modellings can be done.

In this study, a sample wind plant named Şamlı WPP (Wind Power Plant) which is located in Balıkesir, will be modelled. Productions of Şamlı in different scenarios and effects of these productions onto this system (loading, load flow, bus voltage and etc.) will be analyzed. Furthermore, in reference time period of Şamlı; 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9th harmonic analysis will be done and suggestions will be given for the harmonic problems.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayi ve teknolojiye gerçekleşen gelişmeler ile birlikte her geçen gün dünyanın enerji ihtiyacı artmaktadır. Enerji talebinin düzenli olarak artması enerji arz güvenliğinin yanı sıra enerji kalitesi kavramını da beraberinde getirmiştir. Günümüzde ulaşımdan sağlığa, haberleşmeden sanayiye her sektörün enerji talebi artmaktadır. Günümüzde evlerde sıkça kullanılan ve hassas elektronik işlemciler içeren birçok elektronik cihaz, işlevlerini yerine getirebilmek için kaliteli enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Üretilen enerjinin kesintisiz ve kaliteli bir şekilde kullanıcılara aktarılabilmesi durumunda evlerde bolca kullanılan hassas elektronik cihazlar ve sanayide kullanılan büyük güç gerektiren bir takım endüstriyel elemanlar zarar görebilmektedir.

Enerji arz güvenliğinde enerji kalitesinin yanı sıra, fosil yakıtlara alternatif olabilecek farklı enerji kaynaklarının kullanılması ve çevre sorunlarının önlenmesi son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Günümüzde enerji üretmek için sıkça kullanılan kömür ve doğalgaz gibi kaynaklar sonlu kaynaklar olarak tanımlanmaktadır. Bu tür kaynaklar ayrıca çevre üzerinde olumsuz etkileri olan CO₂ gazı salınımına neden olmaktadır [1].

Buna karşın rüzgâr, güneş ve hidrolik enerji santralleri doğada sonsuz kaynağa sahip ve çevre dostu enerji kaynaklarıdır. Ayrıca bu tür santraller doğal kaynakların dışında herhangi bir hammaddeye ihtiyaç duymamaktadır. İlaveten bu santrallerin işletme ve bakım giderleri diğer santrallere göre çok düşüktür [2].

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de temiz enerji üretilmesi ve enerji üretiminde öz kaynakların kullanılması bir devlet politikası olarak desteklenmektedir [3]. Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerjiye dayalı üretim yapan santrallerin sayısı ve kurulu gücünün sürekli olarak artması olumlu bir gelişmedir [4]. Ancak, bu santraller, iletim sisteminin güç kalitesine olumsuz etkilemektedir [5].

Endüstriye yönelik üretim yapan fabrikaların çalışmalarını olumsuz yönde etkileyen güç kalitesi problemleri ayrıca güç sistemlerinde kullanılan ekipmanlarda bir takım tahribata yol açabilmektedir. Bu tahribatlar, kullanıcılara maddi ve işletmesel konularda ciddi sorunlar olarak geri dönmektedirler. Bu nedenle, enerji sistemlerinde güç kalitesi bileşenleri dikkatle izlenerek kontrol edilmelidir [6].

Bahsedilen bu problemlerin çözümüne yönelik, yönetmelik bazında bir takım önlemler alınmıştır. Bu kapsamda, 28 Mayıs 2014 tarihli ve 29013 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Elektrik Şebeke Yönetmeliği “Rüzgâr Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Şebeke Bağlantı Kriterleri” başlıklı Ek-18 bölümünde söz konusu santrallerin şebekeye bağlantısı sırasında uyması gereken bir takım yasal sınırlar belirlenmiştir [7].

Bu yasal sınırlar, rüzgâr santrallerinin iletim sistemi üzerindeki bozucu etkilerinin bertaraf edilmesi amacıyla Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında, yenilenebilir kaynaklarının sistem üzerindeki etkilerinin incelendiği literatür taraması yapılmıştır.

Afyon İlinde yer alan Dinar RES’in ve bu RES’in bağlı olduğu Dinar OSB Trafo Merkezinin 3 faz kısa devre akımları PSS/E programıyla incelenmiş ve analiz sonucunda 3 faz kısa devre akımlarının Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde belirlenen limitler dahilinde kaldığı saptanmıştır [8].

Generatör tipinin, arıza sırasında ve arıza sonrasında güç sisteminin toparlanması konusunda yapılan çalışmada sürekli mıknatıslı senkron generatör (SMSG) tipi rüzgar türbinlerinin çift beslemeli asenkron generatör (ÇBAG) tipine nazaran daha uygun olduğu ortaya konulmuştur [9].

Adıyaman İlinde yer alan 1 MW kurulu gücündeki bir güneş santralinin şebekeye bağlandığı noktadaki OG barasından bir şebeke analizörü vasıtasıyla harmonik veriler incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda tekil harmoniklerin yönetmelikçe belirlenen sınır değerleri sağladığı tespit edilmiştir [10].

Bu çalışmada, örnek bir rüzgâr santrali olarak Balıkesir İlinde yer alan Şamlı RES PSS/E programı vasıtasıyla modellenecek ve bu RES’in iletim sistemi üzerindeki etkileri analiz edilecektir. Ayrıca, Şamlı RES’in sisteme bağlantısı sırasında karşılaşılan sorunlar tespit edilerek bu sorunların çözümüne yönelik öneriler sunulacaktır.

Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak Türkiye iletim sistemi bir bütün olarak ele alınacak; Şamlı RES’in hem mevcut durumdaki sisteme etkisi incelenecek hem de yeni kapasite artışlarıyla birlikte 2021

yılında sisteme yeni dâhil olacak bileşenlerle birlikte Şamlı RES'in de iletim sistemi üzerindeki etkileri incelenecektir.

Çalışmada Şamlı RES'in seçilme nedeni; söz konusu santralin, rüzgâr potansiyelinin en yüksek olduğu illerden biri olan Balıkesir'de yer alması ve tek bir iletim hattı ile Balıkesir-1 Trafo Merkezine bağlı olmasıdır. Bu sayede, Şamlı RES'in Balıkesir ilindeki iletim sistemine etkileri daha kolay bir şekilde analiz edilebilecektir.

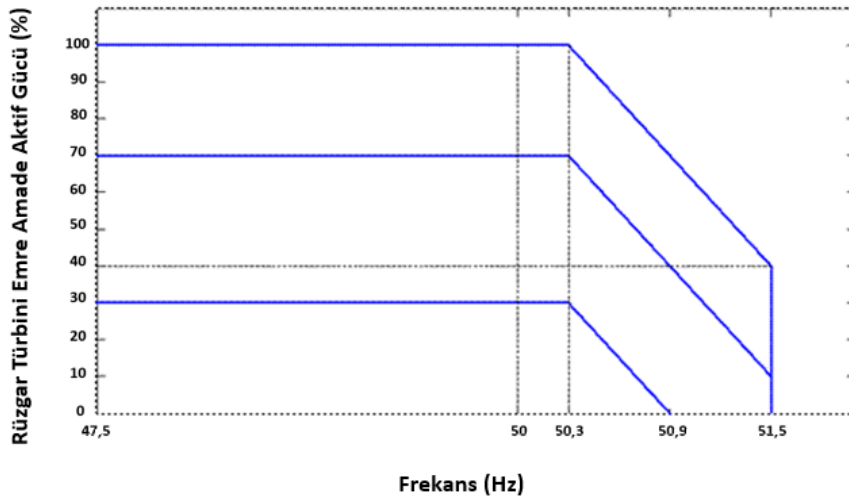
2. RÜZGAR SANTRALLERİNİN ŞEBEKE ENTEGRASYONU (GRID INTEGRATION OF WIND POWER PLANTS)

Rüzgâr Enerji Santrallerinde, esen rüzgârın oluşturduğu hareket enerjisi pervanenin bağlandığı mili çevirir ve bu şekilde elektrik enerjisi üretilmiş olur. Üretilen bu enerjinin frekans ve gerilim değerlerinin istenilen düzeyde olması için uygun mikro denetleyiciler kullanılır [11].

Şebekenin güçlü olduğu noktalarda yapılacak bağlantıların, şebeke üzerinde etkilerinin çok fazla hissedilmemesi; bağlantı noktası gücünün zayıf olduğu noktalarda ise etkilerin daha ciddi düzeyde olması beklenmektedir [12].

Rüzgâr santrali kurulu gücünün her geçen gün artması frekans dalgalanmalarına neden olacaktır. Sistemin sağlıklı bir şekilde işletilebilmesi için bu dalgalanmalar 28 Mayıs 2014 tarihli ve 29013 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Elektrik Şebeke Yönetmeliği "Rüzgâr Enerjisine Dayalı Üretim Tesislerinin Şebeke Bağlantı Kriterleri" başlıklı Ek-18 bölümünde belirlenen limitler dâhilinde tutulmalıdır. Bunun sağlanması için de sistemde yedekte bekletilen konvansiyonel santrallerin sistemin artan gereksinimlerini karşılayabilecek özellikte olması gerekmektedir [13].

Yönetmeliğe göre rüzgâr gücüne dayalı üretim yapan santral, sistem frekansının 47,5-50,3 Hz olduğu durumlarda emre amade gücünün %100'ünü üretebilecek durumda olmakla mükelleftir. Sistem frekansı 50,3 Hz'in üzerinde ise rüzgâr gücüne dayalı üretim yapan santral Elektrik Şebeke Yönetmeliği Ek-18 bölümü E.18.2'de gösterilen aktif güç-frekans grafiğini izleyerek ve %4 oranında hız azaltarak yük atacak; sistem frekansı 51,5 Hz seviyesine ulaştığında ise tamamen devre dışı kalacak şekilde tesis edilmelidir [14].



Şekil 1. Rüzgar Türbini Güç-Frekans Eğrisi [14]

Yapılan analiz çalışmaları neticesinde, kurulacak santralin kapasitesinin o bölgedeki trafo kısa devre gücünün %5'ini aşması durumunda bir takım risklerle karşılaşılma olasılığını ortaya koymuştur. Bu nedenle, Türkiye'de, RES'lerin iletim sistemine bağlanırken özen gösterilmesi gereken temel nokta, kurulacak santralin kapasitesinin bölgede bulunan trafo kısa devre gücünün %5'ini aşmamasıdır [15].

Rüzgâr ve güneş santralleri gibi yenilenebilir kaynaklara dayalı üretim yapan santrallerin üretimleri hava durumu, güneşlenme süresi, rüzgâr hızı gibi dış faktörlere göre sürekli değişiklik göstermektedir. Bu tip santrallerin bağlandığı bir sistemde; kısa devre gücünde değişiklik, gerilim dalgalanmaları, harmonik oluşumu gözlemlenebilir [16].

Bu nedenle, rüzgâr ve güneş santrallerinin bağlı olduğu bir sistemde oluşacak olan bu etkiler sistem işletmecisi tarafından dikkatle takip edilmeli ve gerekmesi durumunda sisteme gerekli müdahale yapılmalıdır.

3. RÜZGAR SANTRALLERİNİN PSS/E PROGRAMI İLE MODELLENMESİ (MODELING WIND POWER PLANTS WITH PSS/E PROGRAM)

Bir rüzgâr santralının şebeke entegrasyonu konusunda çalışılırken, öncelikle söz konusu santral hakkında bir takım detaylı verilerin toplanması gerekir. Rüzgâr santralının tesis edileceği konum, santralin kurulu gücü, kullanılan türbin tiplerine ilişkin veriler sistem işletmecisine bildirildikten sonra ancak doğru bir çalışma yapılabilir. Yatırımcıdan bu verileri alan sistem işletmecisi santralin devreye girmesi planlanan yıla ait kendi sistem verilerini hazırlar. (Örneğin 2019 yılında devreye girmesi öngörülen bir santral hakkında analiz yapılırken sistem işletmecisi 2019 yılında kendi tasarladığı sistem verilerini kullanmalıdır.) Sistem işletmecisi daha sonra PSS/E gibi analiz programları kullanarak ileriki süreçte santralin iletim sistemi üzerindeki etkilerini detaylı bir şekilde analiz etmelidir. Bu aşamada, PSS/E programının kullanılmasının nedeni; söz konusu program vasıtasıyla yük akış analizleri, kısa devre analizleri, güç sistemlerinin dinamik simülasyonu, optimal güç akışı ve rüzgâr gücü modellemelerinin kolaylıkla yapılabilmesi ve sonuçlarının değerlendirilebilmesidir.

3.1. PSS/E Programı ile Güç sistem Analizi Yapılması

PSS/E programı sistem işletmecisi tarafından mevcut sistemin izlenip kontrol edilebildiği ve gelecek yıllara ilişkin sistem verilerinin oluşturularak, orta ve uzun vadeli sistem analizlerinin yapılabilirdiği bir programdır. PSS/E’de modelleme ve simülasyon yapılırken;

- Mevcut ve planlanan iletim tesisleri,
- Mevcut ve planlanan üretim tesisleri ve bu tesislerin çalışma verimlilikleri,
- Yaz, kış ve bahar (minimum) dönemlerinde her bir trafo merkezi için talep tahminleri,

göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılan her bir analiz çalışmasında, iletim sistemi kayıpları, bara gerilimleri ve yük taşıma kapasiteleri izlenebilmektedir.

Sağlıklı bir sistem analizinin yapılabilmesi için; üretim tesislerine, iletim hatlarına, baralara ve tüketicilere ilişkin veriler, PSS/E programı ile analize başlanmadan önce sisteme işlenmelidir.

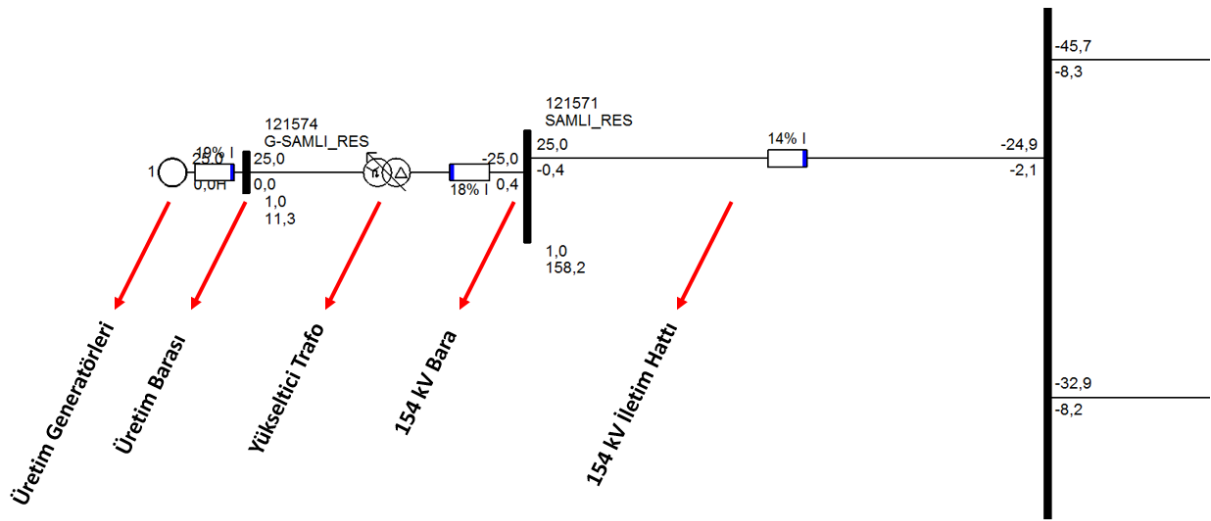
3.2. Şamlı RES’in PSS/E Programı ile Modellenmesi

Şekil 2’de, örnek olarak Balıkesir’in Merkez ilçesinde yer alan Şamlı Rüzgâr Enerji Santrali (RES) PSS/E programıyla modellenmiştir. Şamlı RES mevcut durumda 114 MW kurulu güce sahiptir [17].

Şamlı RES projesi 2012-2015 yılları arasında ürettiği elektrikle, Balıkesir ili tüketiminin ortalama %8,67’sini, ülke tüketiminin ortalama %0,112’sini tek başına karşılamıştır. Şamlı RES ürettiği elektriği 154 kV 954 MCM (547 mm²) 36 kilometre enerji iletim hattı ile Balıkesir-1 TM (Trafo Merkezi)’nin 154 kV barasına aktarmaktadır. İlave güç artış talepleriyle birlikte, bu santralin 2021 yılında 126 MW kurulu güce ulaşması öngörülmektedir. Bu yüzden, 2016 yılı yaz puant döneminde gerçekleşen sistem verilerinde santral gücü 114 MW olarak alınmış olmasına karşın, 2021 yılı yaz puant döneminde gerçekleşmesi öngörülen sistem verilerinde 126 MW olarak alınmıştır.

Tablo 1. Şamlı RES'in 2012-2015 Yılları Yaptığı Üretim Değerleri ve Bu Üretimin Tüketimlere Oranı

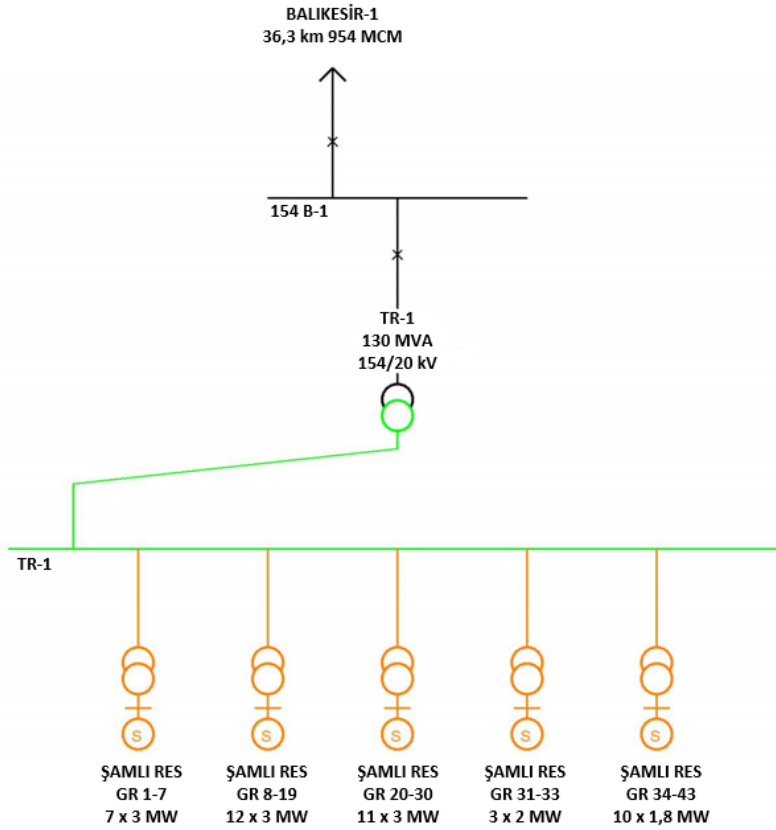
| Yıl | Üretim (kWh) | İl Tüketimine Oranı | Ülke Tüketimine Oranı |
|------|--------------|---------------------|-----------------------|
| 2012 | 292 849 544 | % 9,24 | % 0,12 |
| 2013 | 308 405 420 | % 9,57 | % 0,13 |
| 2014 | 269 132 340 | % 8,02 | % 0,10 |
| 2015 | 271 400 000 | % 7,86 | % 0,10 |

**Şekil 2.** Şamlı RES'i Oluşturan Bileşenlerin PSS/E Programında Modellenmesi

Şamlı RES, PSS/E programıyla modellenirken sırasıyla; üretim generatörleri, üretim barası, yükseltici (step-up) trafo, 154 kV bara, 154 kV iletim hattı modellenmiştir.

4. ŞAMLI RES YÜK AKIŞ ÇALIŞMALAR (ŞAMLI WPP POWER FLOW STUDIES)

Şamlı RES projesini oluşturan ve mevcut durumda 114 MW kurulu güce sahip toplam 43 türbin, 5 ayrı ünite vasıtasıyla ürettiği enerjiyi sisteme vermektedir. Şekil 3'de, Şamlı RES Trafo Merkezine ait tek hat şeması gösterilmiştir.



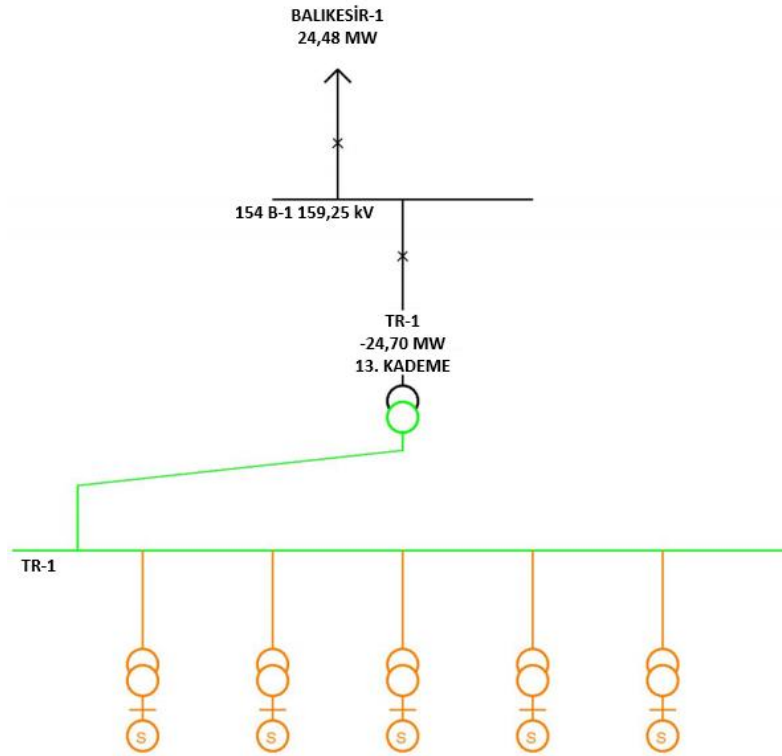
Şekil 3. Şamlı RES Tek Hat Şeması

Şamlı RES tek hat şemasında, Şamlı RES TM (trafo merkezi) üzerinden iletim sistemine aktaran 5 adet üniteye ait bilgiler ve bu üniteleri meydana getiren türbin bilgileri, yükseltici trafoya ait bilgiler ve Şamlı RES TM'nin iletim sistemine bağlı olduğu enerji iletim hattına ait karakteristik bilgileri yer almaktadır.

Bu çalışmada, Şamlı RES'in sisteme verdiği aktif ve reaktif güç bilgisi, mevcut veriler ile; gelecekte sisteme vermesi öngörülen aktif ve reaktif güç bilgisi ise PSS/E programında modellenen 2021 yaz verileri (2021 yılı yaz döneminde gerçekleşmesi öngörülen sistem verileri) ile incelenecektir.

4.1. Şamlı RES Gerçekleşen Mevcut Yük Akış Çalışmaları

Mevcut durumda devrede olan 114 MW kurulu güce sahip Şamlı RES'in ürettiği ve 154 kV iletim sistemine aktardığı aktif ve reaktif güç 30 Haziran 2016 tarihi itibarıyla gerçekleşen veriler göz önünde bulundurularak Şekil 4'de incelenmiştir.



Şekil 4. 30 Haziran 2016 Tarihi ve 13:00 Saati İtibariyle Şamlı RES Yük Akış Durumu

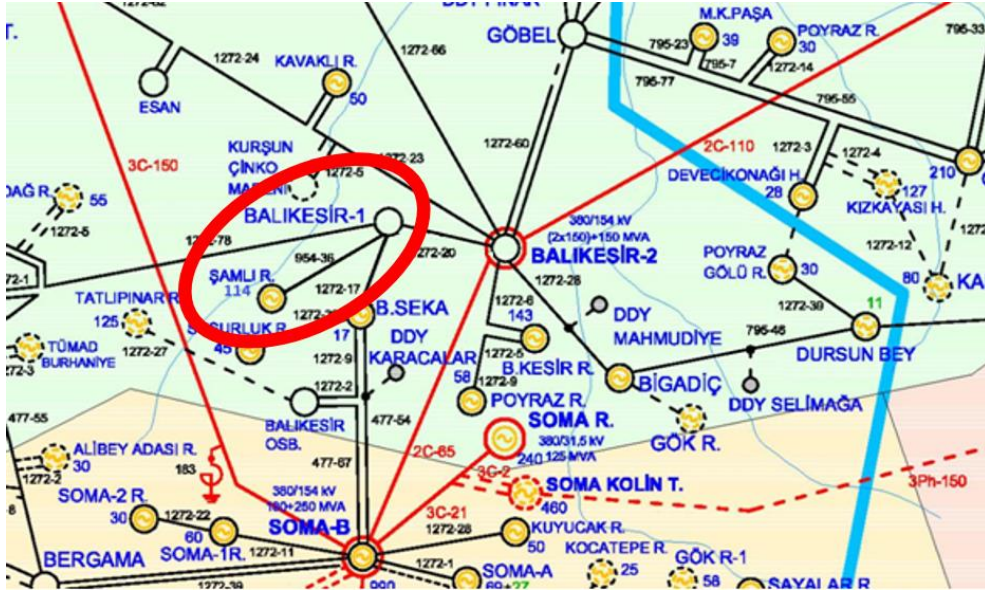
30 Haziran 2016 tarihi ve saat 13.00 itibariyle gerçekleşen Şamlı RES yük akış tek hat şeması incelendiğinde, bahsedilen zamanda Şamlı RES'in sisteme 24,70 MW aktif güç verdiği, sistemden ise 0,58 MVar reaktif güç çektiği gözlenmiştir. Ayrıca belirtilen zamanda, Şamlı RES barasının geriliminin 159,25 kV (1,03 pu) olduğu, ürettiği 24,70 MW aktif gücün 0,22 MW'nın kayıp olduğu (trafo ve iletim kayıpları), geri kalan 24,48 MW'lık kısmının da 154 kV 954 MCM 36 km karakteristikli enerji iletim hattı vasıtasıyla iletim sistemine aktarıldığı tespit edilmiştir.

Kurulu gücü 114 MW olan Şamlı RES 30 Haziran 2016 saat 13.00 itibariyle yaptığı 24,7 MW üretimle %21,67 kapasitede üretim yapmıştır. Bu üretim kapasitesi, esen rüzgâr hızına göre gün içinde sürekli değişmektedir.

4.2. Şamlı RES Gelecekteki Yük Akış Analizleri

Güç sistem planlaması yapılırken sistem işletmecisi, genellikle 5 ve 10 yıllık vadede sistem verilerini hazırlar ve bu veriler üzerinden planlama çalışmalarını yapar. 5 ve 10 yıllık vadede yapılan planlama çalışmaları için üç adet veri kullanılır. Bu veriler; bahar minimumu, kış puantı ve yaz puantıdır.

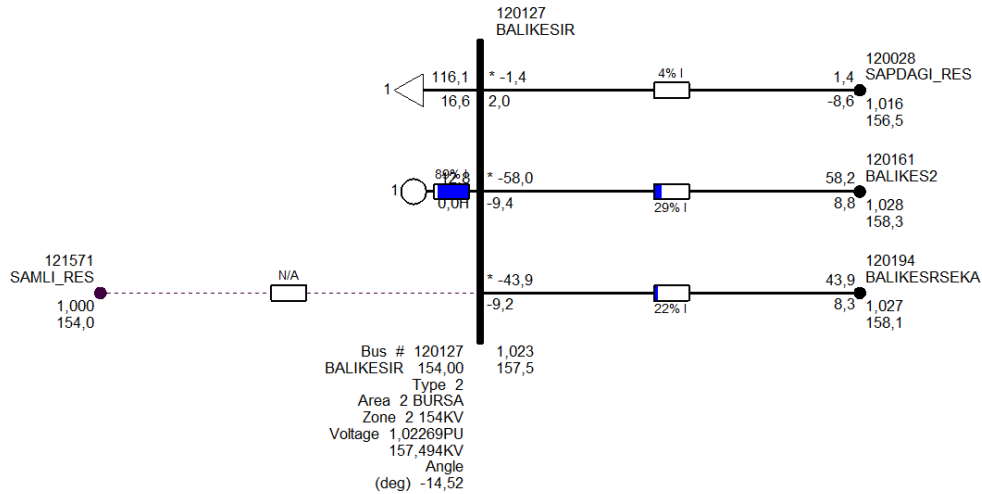
Bu çalışmada, 2021 yılı yaz döneminde gerçekleşmesi öngörülen sistem yük akışları analiz edilecek olup bu yük akışlarına Şamlı RES'in etkisi incelenecektir. Çalışmada 2021 yılının seçilme nedeni, Şamlı RES'in 5 yıl sonra devrede olması öngörülen sisteme etkilerinin gözlemlenmesidir. Yaz döneminde hat kapasiteleri düşerken, tüketim artar, bu nedenle sistemin en kısıtlı olduğu dönemdir, sistemi en kısıtlı olduğu bu dönemde analiz etmek için yaz verileri kullanılmıştır. Sisteme rüzgâr enerjisi entegre edilirken bara gerilimlerinde yükselmeler söz konusu olacaktır. Bu nedenle, rüzgâr santralının ekleneceği sistemin bara gerilimleri dikkatle incelenmelidir [18].



Şekil 5. Şanlı RES'in Yer Aldığı Bölgenin Elektrifikasyon Şeması

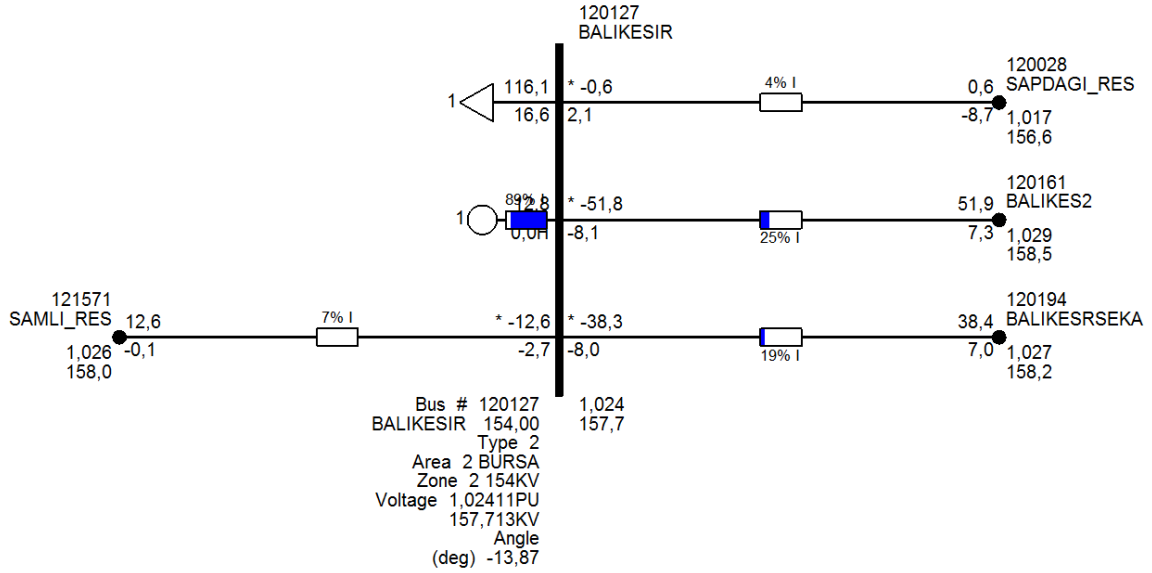
Mevcut durumda 114 MW kurulu güce sahip olan Şanlı RES'in 2021 yılında ilave güç artışlarıyla birlikte 126 MW kurulu güce ulaşacağı öngörülmüş olup analizler bu senaryoya göre yapılmıştır.

Şekil 5'de, Şanlı RES'in yer aldığı bölgenin elektrifikasyon şeması gösterilmiştir. Şanlı RES'in hiç üretim yapmadığı birinci senaryoda; Şekil 6'da 2021 yılı yaz puantında 116,1 MW yük talebi olması öngörülen Balıkesir TM bu talebin 1,4 MW'ını Şapdağı RES'ten, 58 MW'ını Balıkesir-2 TM'den (380 kV kaynak), 43,9 MW'ını Balıkesir Seka TM'den, 12,1 MW'ını ise Balıkesir-1 TM'nin OG barasına bağlı üretim santralinden karşılamıştır. Bu senaryoda, Balıkesir-1 TM 154 kV barasının gerilimi 157,5 kV (1,023 p.u. per unit) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. Şanlı RES'in %0 Kapasite Faktörüyle Hiç Üretim Yapmadığı Senaryoda Balıkesir İli ve Civarındaki İletim Sistemi Durumu

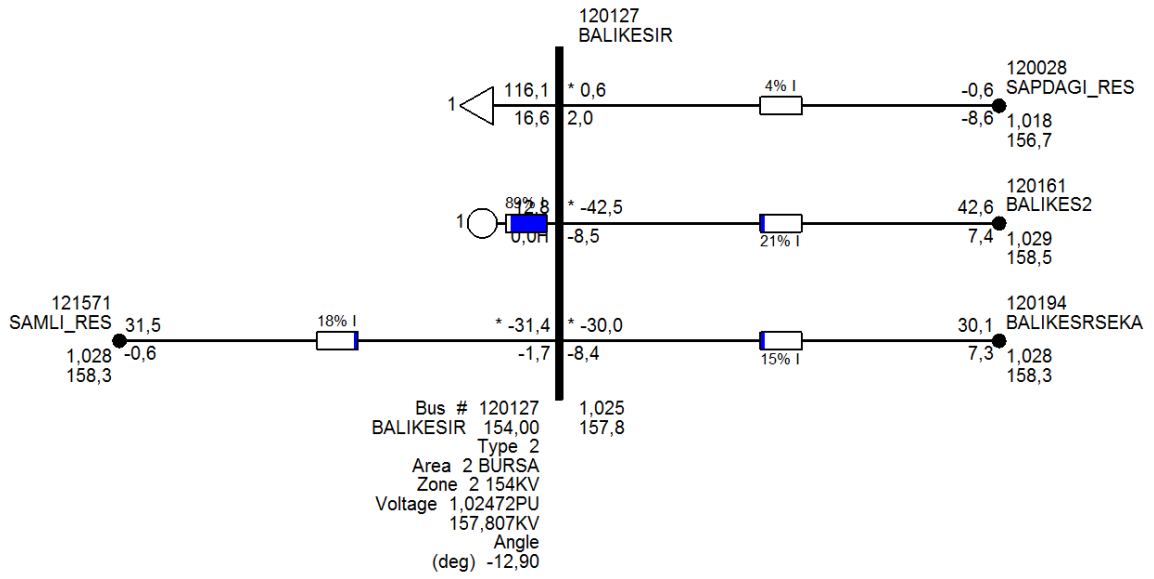
İkinci senaryoda; Şekil 7’de Şamlı RES %10 kapasite faktörüyle üretim yaptığı durum analiz edilecektir. 2021 yılında 126 MW kurulu güce ulaşması planlanan Şamlı RES’in %10 kapasitede (12,6 MW) üretim yaptığı durumda yaptığı üretimi 154 kV sisteme aktardığı enerji iletim hattı %7 yüklenmektedir. İkinci senaryoda Balıkesir-1 TM 154 kV barasının gerilimi 157,7 kV (1,024 p.u.) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7. Şamlı RES'in %10 Kapasite Faktörüyle 12,6 MW Üretim Yaptığı Senaryoda Balıkesir İli ve Civarındaki İletim Sistemi Durumu

Şamlı RES'in radyal (tek bir iletim hattı ile) bağlı olduğu Balıkesir trafo merkezi için yapılan yük tahmin çalışmalarında söz konusu merkezin 2021 yılı yaz puantında 116,1 MW yük talebi olacağı öngörülmüştür. Bu 116,1 MW talebin 12,6 MW'lık kısmı (%10,85) Şamlı RES tarafından karşılanacaktır. Geriye kalan $116,1 - 12,6 = 103,5$ MW'lık tüketim Şapdağı RES, Balıkesir 2, Balıkesir Seka trafo merkezleri ve Balıkesir TM'nin OG barasına bağlı üretim tesisinden karşılanmaktadır. Şekil-6'da da görüldüğü üzere enerji iletim hatlarında herhangi bir aşırı yüklenme problemi saptanmamıştır.

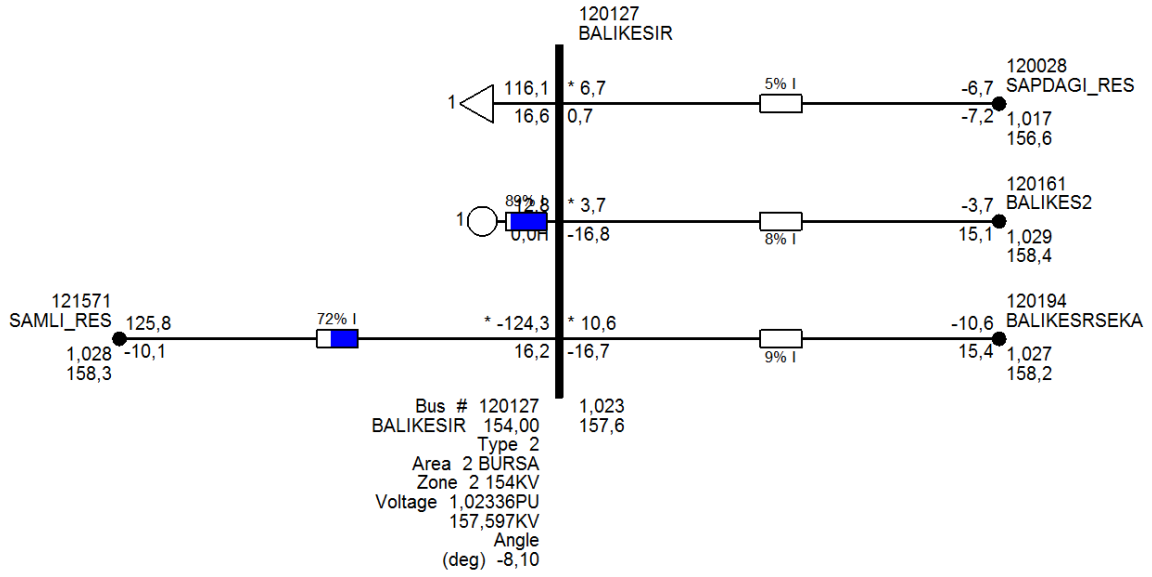
Üçüncü senaryoda; Şekil 8'de Şamlı RES'in %25 kapasite faktörüyle üretim yaptığı durum analiz edilecektir. 126 MW kurulu gücündeki Şamlı RES'in %25 kapasitede 31,5 MW üretim yaptığı senaryo aşağıdaki şekilde incelenmiştir.



Şekil 8. Şamlı RES'in %25 Kapasite Faktörüyle 31,5 MW Üretim Yaptığı Senaryoda Balıkesir İli ve Civarındaki İletim Sistemi Durumu

Şamlı RES'in 31,5 MW üretim yaptığı senaryoda 2021 yılında 116,1 MW tüketim ihtiyacı olacak olan Balıkesir TM'nin enerji ihtiyacının %27,13'lük kısmı Şamlı RES tarafından karşılanmaktadır. İkinci senaryoya göre üretimi $31,5 - 12,6 = 18,9$ MW artan Şamlı RES'in Balıkesir trafo merkezine bağlı olduğu enerji iletim hattının yükü %7'den %18'e çıkmıştır. Buna karşın Balıkesir-Balıkesir 2 ve Balıkesir-Balıkesir Seka EİH (Enerji İletim Hattı)'ların yüklenmeleri sırasıyla %25 ve %19'dan %21 ve %15 seviyesine düşmüş olup enerji iletim hatlarında herhangi bir aşırı yüklenme problemi saptanmamıştır. Bu senaryoda, Balıkesir-1 TM 154 kV barasının gerilimi 157,8 kV (1,025 p.u.) olarak saptanmıştır.

Herhangi bir rüzgâr santralinin işletme koşulları göz önünde bulundurulduğunda %100 kapasitede üretim yapması mümkün olmamakla birlikte teorik olarak sonuçların incelenmesi için Şamlı RES'in mevcut ve 2021 yılında devreye girmesi planlanan üniteleriyle birlikte 126 MW kapasiteyle çalıştırıldığı durum dördüncü senaryo olarak Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Şamlı RES'in %100 Kapasite Faktörüyle 126 MW Üretim Yaptığı Senaryoda Balıkesir İli ve Civarındaki İletim Sistemi Durumu

Bu senaryoda, Şamlı RES-Balıkesir enerji iletim hattı %72 yüklenmiş, diğer Balıkesir-Balıkesir 2 ve Balıkesir-Balıkesir Seka EİH'ların yükleri ise iyice düşmüştür. Bu senaryoda da enerji iletim hatlarında herhangi bir aşırı yüklenme problemi saptanmamış olup Balıkesir-1 TM 154 kV bara gerilimi 157,6 kV (1,023 p.u.) olarak hesaplanmıştır.

Şamlı RES'in yaptığı üretimin bağlı bulunduğu Balıkesir-1 TM'nin 154 kV iletim hatları üzerindeki etkileri Çizelge 2'de gösterilmektedir.

Bu analiz çalışmalarında görüldüğü üzere Şamlı RES'in %0, %10, %25 ve %100 kapasitede üretim yaptığı senaryolarda Balıkesir-1 TM'nin 154 kV EİH'larındaki yük akış yönleri değişiklik göstermiştir. Bunun nedeni, Şamlı RES'in üretim yapmadığı durumda Balıkesir-1 Trafo Merkezinin 116,1 MW'lık tüketimini karşılamak için Şapdağı RES, Balıkesir-2 ve Balıkesir Seka Trafo Merkezlerine bağlı hatları kullanmasıdır. Şamlı RES'in üretim yaptığı durumda ise Balıkesir-1 Trafo Merkezi öncelikle Şamlı RES'in yaptığı bu üretimi kullanması dolayısıyla diğer üç hattan çektiği enerjiyi azaltmasıdır.

Çizelge 2. Şamlı RES'in %100 Kapasitede Üretim Yaptığı ve Hiç Üretim Yapmadığı Durumlarda Balıkesir-1 TM'nin 154 kV Hatları Yüklenmeleri

| | Şamlı RES %100 Kapasitede Üretimde | | Şamlı RES %0 Üretimde | |
|-------------------------------|------------------------------------|----|-----------------------|-----|
| | MW | % | MW | % |
| Şapdağı RES EİH (1272 MCM) | +6,7 | %5 | -1,4 | %4 |
| Balıkesir-2 EİH (1272 MCM) | +3,7 | %8 | -58 | %29 |
| Balıkesir Seka EİH (1272 MCM) | +10,6 | %9 | -43,9 | %22 |

Yukarıdaki çizelgede;

- (+) işareti ile gösterilen yüklenmeler pozitif yönde güç aktarımını (Şapdağı RES EİH +6,7 MW: Balıkesir-1 TM'den Şapdağı RES yönünde 6,7 MW güç aktarılmaktadır)
- (-) işareti ile gösterilen yüklenmeler negatif yönde güç aktarımını (Şapdağı RES EİH -1,4 MW: Balıkesir-1 TM'ye Şapdağı RES yönünden 1,4 MW güç aktarılmaktadır)

ifade etmektedir.

Şamlı RES %100 üretimdeyken üretimini aktardığı 154 kV Balıkesir-1 TM'deki güç akış yönü Balıkesir-1 TM'den çevresindeki üç adet TM'ye (Şapdağı RES, Balıkesir-2 ve Balıkesir Seka) doğrudur.

Şamlı RES'in devre dışı kalarak hiç üretim yapmadığı durumda ise yük akışı tam tersine değişmekte ve çevresindeki 3 adet TM Balıkesir-1 TM'yi besler konuma geçmektedir.

Sonuç olarak bu dört senaryo incelendiğinde; Şamlı RES'in üretimindeki en ufak bir artışın Balıkesir TM'ye enerji aktaran diğer enerji iletim hatlarının yükünü azalttığı saptanmıştır. Şamlı RES'in %100 üretim yaptığı senaryoda çevresindeki 3 adet EİH'nın yüklenmeleri %10 seviyesinin altına düşmüştür. Düşük yüklü hatlarda manevra yapmak yüksek yüklü hatlarda manevra yapmaya göre çok daha kolaydır. Arıza veya planlı bakım yapılacağı zamanlarda sistem işletmecisi yükü az bir hattı kolaylıkla açıp gerekli çalışmaları yapabilmektedir. Bu nedenle, sistem işletmecisi işletme ve bakımını yaptığı iletim hatlarının çok fazla yüklü olmasını tercih etmez. Şebekeye rüzgâr enerjisi ekleyip çıkarılması sırasında yeni kontrol sistemlerinin kullanılması ile sistemin küçük sinyal stabilitesinde iyileşmeler sağlanabilmektedir [19].

4.3. Şamlı RES Kısa Devre Analizleri

28 Mayıs 2014 tarihli ve 29013 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Elektrik Şebeke Yönetmeliğinin İletim sisteminin Planlama, Tasarım ve Performansı" başlıklı ikinci kısmının "İletim Sisteminin Planlama ve Tasarım Esasları" başlıklı birinci bölümü Madde-14'de iletim sistemi şalt teçhizatı için kısa devre arıza akımına dayanma kapasitesi; 400 kV için 63 kA, 154 kV için 31,5 kA, 33 kV için 16 kA olarak belirlenmiştir.

Şamlı RES'in 154 kV barasındaki kısa devre analizleri söz konusu RES'in %25 ve %100 üretim yaptığı senaryolar PSS/E programında modellenerek yapılmıştır. Şekil 10'da Şamlı RES'in %25 kapasite faktörü ile 31,5 MW üretim yaptığı senaryodaki kısa devre akımı, Şekil 11'de ise Şamlı RES'in %100 kapasite faktörü ile 126 MW üretim yaptığı senaryodaki kısa devre akımı gösterilmiştir.

| X----- BUS -----X | | THREE PHASE FAULT | |
|-------------------|------------------------|-------------------|--------|
| | | /I+/ | AN(I+) |
| 121571 | [SAMLI_RES 154.00] AMP | 5762.2 | -94.76 |

Progress Alerts/Warnings ASCC_3-SUMMARY

Şekil 10. Şamlı RES'in %25 Kapasite Faktörü İle 31,5 MW Üretim Yaptığı Senaryodaki Kısa Devre Akımı

| X----- BUS -----X | | THREE PHASE FAULT | |
|-------------------|------------------------|-------------------|--------|
| | | /I+ / | AN(I+) |
| 121571 | [SAMLI_RES 154.00] AMP | 5759.9 | -86.81 |

Progress Alerts/Warnings ASCC_3-SUMMARY ASCC_3-

Şekil 11. Şamlı RES'in %100 Kapasite Faktörü İle 126 MW Üretim Yaptığı Senaryodaki Kısa Devre Akımı

Çizelge 3'den de anlaşılacağı üzere; rüzgâr santralının %25 ya da %100 kapasite faktörü ile üretim yapması kısa devre gücüne/akımına çok fazla etki etmemektedir. Bu analizlerde, Şebeke Yönetmeliğinde 154 kV gerilim seviyesinde iletim sistemi şalt teçhizatı kısa devre arıza akımı limit değeri olan 31,5 kA aşılmamıştır.

Çizelge 3. Şamlı RES'in %25 ve %100 Kapasitede üretim yaptığı durumlarda ölçülen kısa devre gücü ve kısa devre akımı

| Kısa Devre Gücü / Akımı | % 25 | % 100 |
|-------------------------|---------|---------|
| MW | 1536,99 | 1536,37 |
| A | 5762,2 | 5759,9 |

4.4. Şamlı RES Harmonik Analizi

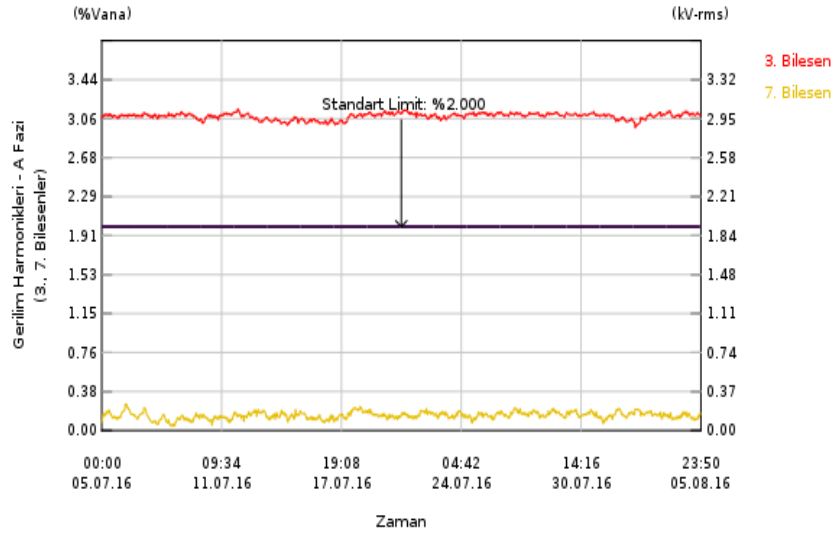
Harmonik analiz alanında yapılmış çalışmalarının tamamında ortak ana hedef; akım ve gerilim bozulmalarının olabildiğince düşük düzeye indirmektir [20]. Yüksek gerilim sistemlerinde dalga şekillerinin simetri özelliklerinden dolayı, çift katsayılı harmonik (2., 4., 6. harmonik) bileşenlere çok fazla rastlanılmaz. Bu nedenle, genellikle tek sayılı üçüncü, beşinci, yedinci vb. tek katsayılı harmonikler analiz edilir.

Bu çalışmada, tek ve çift katsayılı harmonikler arasındaki farkın gözlemlenmesi için öncelikle Şamlı RES'in örnek olarak A faz akımının hem tek hem de çift harmonikleri incelenecek ve sonuçlar ortaya konulacaktır.

Bu çalışmanın harmonik analizleri, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından geliştirilen ve TEİAŞ tarafından kullanılan "Milli Güç Kalitesi İzleme" programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın önceki bölümlerinde iletim sisteme ait yaz verileri kullanılmıştır. Bu verilerle uyumlu olması adına harmonik etkiler 2016 yılı yaz mevsiminde bir aylık referans bir tarih aralığı (05.07.2016 – 05.08.2016) baz alınarak incelenmiştir.

05.07.2016 – 05.08.2016 tarihleri referans alınarak yapılan 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9. harmonik incelemelerinde standart limitler olan %0,5 ve %2 değerlerinin aşılmadığı tespit edilmiştir.

Belirtilen referans tarihlerde, Şamlı RES'in A fazının gerilim harmonikleri yapılmış olup bu gerilim harmoniklerinin 28 Mayıs 2014 tarihli ve 29013 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Elektrik Şebeke Yönetmeliğinin İletim sisteminin Planlama, Tasarım ve Performansı" başlıklı ikinci kısmının "İletim Sisteminin Performans, Tesis ve Teçhizatına İlişkin Teknik Kriterler" başlıklı ikinci bölümü Madde-9'da belirtilen değerleri aşmış olmadığı incelenmiştir.



Şekil 12. 05.07.2016 – 05.08.2016 Tarihleri Arasında Ölçülen Şamlı RES A Faz Geriliminin 3. ve 7. Harmonik Bileşenleri

Şekil 12’de, 3. ve 7. harmoniklerin standart limitleri aynı (%2) olduğu için aynı skalada gösterilmiştir. Şamlı RES’in 05.07.2016 – 05.08.2016 tarihleri arasında yapılan akım harmonikleri incelemesinde herhangi bir sorun saptanmamıştır. Ancak, aynı tarihlerde yapılan gerilim harmonikleri incelemesinde 3. harmonik değerinin yaklaşık olarak %3,06 olduğu ve standart limit olan %2 değerini aştığı tespit edilmiştir.

Yukarıdaki analizlerde de görüldüğü üzere RES’lerin güç sistemi üzerindeki olumsuz etkilerinden birisi de harmoniklerdir. Uygun filtreleme yöntemleri kullanılarak RES’lerin olumsuz harmonik etkileri sönmülenebilir.

Harmonik etkilere maruz kalan sistemlerde karşılaşılan rezonans olaylarına karşı sistemin korunması için bir takım önlemler mevcuttur. Bu önlemlerden en önemlilerinden birisi de kompanzasyon tesislerine harmonik filtreler takılmasıdır [21].

Bir RES’in performansı rüzgâr santralının kurulacağı bölgenin rüzgâr rejimine ve türbine en uygun jeneratörün seçilmesine bağlıdır. Türkiye’de kullanılan ve büyük güçlü rüzgâr türbinleri olarak nitelendirilen türbinlerde genellikle çift beslemeli asenkron jeneratörler (doubly fed asynchronous generator, DFAG) kullanılmaktadır. Ayrıca bu tür uygulamalarda, çıkış gücü kalitesinin artırılması ve jeneratör üzerindeki titreşimlerin azaltılması için darbe genişlik modülasyonu (Pulse Width Modulation, PWM) tekniğine dayalı şalterleme yapabilen güç konvertörünün kullanılması gerekli olmaktadır. Çıkış gücü kalitesini arttırmak ve titreşimleri azaltmak için kullanılan darbe genişlik modülasyonu, sistemin giriş ve çıkışındaki harmonikleri azaltmaktadır [22].

Bir RES’in kurulacağı bölgenin rüzgâr rejiminin incelenmesi ve o bölgede ait rüzgâr tahmin çalışmalarının yapılması da bir rüzgâr santralının şebeke üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması konusunda büyük önem arz eder. Tüm elektronik ekipmanların olduğu gibi şu an mevcut durumda kullanılan rüzgâr tahmin cihazlarının da bir takım hata payı vardır. Rüzgâr tahmininde hata istenmeyen bir unsurdur ve minimuma indirilmesi istenir. Bu nedenle, rüzgâr tahmin hatalarının minimize edilmesi için gerekli araştırmalar yapılması gerekmektedir ve bunu sağlayacak cihaz ve sistemler tasarlanmalıdır. Bu cihaz ve sistemler rüzgâr santrallerinin arıza esnasında ve arıza sonrasında güç kalitesini sağlaması için gerekli olan kriterleri, tamamen yerine getirmelidirler. Sistemde mevcut rüzgâr santrallerinin toplam kurulu gücü miktarında, konvansiyonel santralin sıcak yedek olarak tutulması enerji kalitesini olumsuz yönde etkileyen ani voltaj ve frekans dalgalanmalarının meydana gelmesini önleyecektir [23].

Sürekli harmonik akım oluşumuna neden olduğu için değişken hızlı türbinlerde bir takım filtrelerin kullanılması gerekli olabilmektedir. Filtre tasarımı yapılırken, rüzgâr tarlasının özgün özellikleri de dikkate alınmalıdır. Filtreler büyük boyutludur ve yatırımcıya ilave maliyet getirir. Genellikle, inverterli rüzgâr

türbinleri, harmonikler oluşturur. Günümüzde gelişmiş çoğu türbinde kısmen de olsa inverter kullanılmakta ve gerekli filtreler tasarlanarak harmonikler istenilen seviyelere indirilebilmektedir. Güç elektroniği sistemi içeren bir rüzgâr türbini çalışırken harmonik akımın yayını ifade edilmelidir. Maksimum harmonik akımı veren çıkış gücünde her bir derece için ellinci harmoniğe kadar harmonik akım değerleri ve toplam harmonik bozulumu da belirtilmelidir [24].

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, örnek olarak Balıkesir ili sınırları içerisinde tesis edilmiş olan Şamlı RES projesi incelenmiştir. Mevcut durumda, 114 MW kurulu gücündeki Şamlı RES'in analiz yapılan 2021 yaz ayında 126 MW kurulu güce yükseleceği öngörüldüğü için analizler 126 MW üzerinden yapılmıştır. Bu çalışmada, öncelikli olarak Şamlı RES'in ürettiği enerjinin 154 kV sisteme aktarımı sırasında gözlemlenen olaylar incelenmiştir. Farklı üretim kapasitelerinde yapılan üretimlerin Şamlı RES'in bağlı olduğu Balıkesir-1 TM'de meydana getirdiği etkiler analiz edilmiştir. Balıkesir-1 TM'nin yük akışının Şamlı RES'in üretimine göre gösterdiği değişimler incelenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Şamlı RES'in kısa devre, harmonik, fliker etkileri belirli zaman dilimleri içerisinde incelenmiş, yönetmelikte belirtilen sınırların aşılmış, yönetmelikte belirlenen limitlerin aşıldığı durumların düzeltilmesi için gerekli çözüm önerileri ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Zhang A., Zhang J., Shang J., Quin J., "Security and Economic Dispatch of Power System with Environmental Consideration", IEEE Power & Energy Society General Meeting, Calgary, Alberta, Kanada, 1-6, 26-30 Temmuz 2009.
- [2] Denny E., O'Mahoney A., Lannoyec E., "Modelling the impact of wind generation on electricity market prices in Ireland: An econometric versus unit commitment approach", Renewable Energy, 104, 109-119, 2017.
- [3] Ferhat Arslan, Alper Uzun, Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Sosyal Kabul Boyutu, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi Sayı:51, Ocak 2017
- [4] Jahangiri M., Ghaderi R., Haghani A., Nematollahi O., "Finding the best locations for establishment of solar-wind power stations in Middle-East using GIS: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 66, 38-52, 2016.
- [5] Soberanis M.A.E., Bassam A., Merida W., "Analysis of energy dissipation and turbulence kinetic energy using high frequency data for wind energy applications", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 151, 137-145, 2016.
- [6] Hüseyin Erişti, Yakup Demir, Gerçek Zamanlı Güç Kalitesi İzleme Sistemleri İle Elektrik Dağıtım Sistemlerindeki Güç Kalitesinin İncelenmesi, EMO Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 2011
- [7] "Rüzgâr Kaynağına Dayalı Elektrik Üretimi Başvurularının Teknik Değerlendirmesi Hakkında Yönetmelik", Resmi Gazete, 29508, 20 Ekim 2015.
- [8] Halil İbrahim Aydınöz, Orhan Ekren, Rüzgar Enerjisi Santrallerinin Enterkonnekte Sistemde PSS/E ile Modellenmesi, <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/260329>
- [9] Koç E., Güven A. N., Değişken Hızlı Rüzgar Türbinlerinin Modellenmesi ve Arıza Sonrası Sisteme Katkı Yeteneklerinin incelenmesi, EMO Bilimsel Dergi, Cilt 1, Sayı 1, Syf 51-55, Haziran 2011

- [10] Ö. Fatih Keçecioglu, Mustafa Tekin, Ahmet Gani, Hakan Açıkgoz, Ahmet Gemci, Mustafa Şekkeli, Bir Güneş Enerji Santralının Elektrik Şebekesindeki Güç Kalitesi Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi, KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2), 2015
- [11] Atlas İ.H.; Mengi O.Ö.: “Rüzgâr Enerji Sistemlerinde Harmoniklerin Azaltılması”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 2-3, Aralık 2008.
- [12] Akdeniz E., Kaypmaz A., Yağmur E., 2006 : Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretiminin Şebekenin Enerji Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Eleco'2006 Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, Bursa.
- [13] “Yenilenebilir Kaynaklardan Değişken Üretim Yapan Santrallerin Elektrik Üretim-İletim Sistemine Teknik ve Ekonomik Etkileri ve AB Uygulamaları”, TEİAŞ APK Dairesi Başkanlığı, Mart 2005.
- [14] Elektrik Şebeke Yönetmeliği, Resmi Gazete, 28 Mayıs 2014
- [15] Durak, M., “Rüzgâr Enerjisi Teknolojisi ve Türkiye Uygulaması: Akhisar Rüzgâr Elektrik Santrali”, İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2000.
- [16] Hau E., “Wind turbines: fundamentals, technologies, application, economics”, (2nd ed.) Springer, 2006.
- [17] Geçici Kabulü Yapılarak İşletmeye Alınan Lisanslı Rüzgar Santralleri, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü.
- [18] Erduman, A., Kılıçkiran, H.C., Kekezoglu, B., Durusu, A., Tanrıöven, M. “Wind Turbine Effects on Power System Voltage Fluctuation”, 3th International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems, İstanbul. 3-4 Ekim 2013.
- [19] Abdelhalim, H., Farid, A.M., Adegbege, A.A., Rouco, L., Youcef-Toumi, K. “Small-Signal Stability Effects of Turbine Governors on Power Systems with High Penetrations of Integrated Wind Power”, Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) IEEE PES, Washington, DC, USA, 1-6, 24-27 Şubat 2013.
- [20] İlaslaner, İ.: “Güç Kalitesinde Harmonikler ve Filtrelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2006.
- [21] Ergün, A.: “Güç Sistemlerindeki Harmoniklerin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 1997.
- [22] Uyar M., Gençoğlu M.T., Yıldırım S., “Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri İçin Jeneratör Sistemleri”, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin, 2005
- [23] Muljadi E., Butterfield C.P., Chacon J., Romanowitz H., “Power Quality Aspects in a Wind Power Plant”, IEEE Power Engineering Society General Meeting, Kanada, 2006
- [24] Ackermann, 2009