International Marmara Sciences Congress (Autumn 2021)

10 – 11 December 2021 KOCAELI

PROCEEDINGS
E-BOOK

DRAFT

Organizer

Sponsors

This congress proceedings book is published as an electronic format as e-book.

All rights reserved.

Editorial Board

Prof.Dr. Arif ÖZKAN
Assoc.Prof.Dr. Serdar BİROĞUL
Assoc.Prof.Dr. Ömer GÜNGÖR
Lect. Kazım KAHRAMAN
Research Asist. Çağatay TAŞDEMİRCİ

ISBN:

DRAFT

Address Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü, Umuttepe Yerleşkesi Kocaeli, TÜRKİYE
Phone +90 262 303 1000
E-mail info@imascon.com
Web www.imascon.com

All legal and ethical responsibility of the studies belongs to the authors. All rights reserved. The copyright of this proceedings book belongs to Kocaeli University. It may not be copied or reproduced without permission.

RÜZGAR ENERJİ SİSTEMLERİNİN TRANSFORMATÖR VE GÜÇ KALİTESİNE ETKİLERİ

Oğuz Han IŞIK
Schneider Electric / Kocaeli Üniversitesi / Teknoloji Fakültesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği
ogzhanisik@gmail.com, ORCID : 0000-0001-8559-8491

Engin ÖZDEMİR
Kocaeli Üniversitesi /Teknoloji Fakültesi / Enerji Sistemleri Mühendisliği
Eozdemir@hotmail.com, ORCID : 0000-0003-0882-332X

Özet
Günümüzde enerji ihtiyacı hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Bu sebeple dünyada enerjiye olan ihtiyacın artışıyla birlikte, fosil yakıtlardan kaynaklı kirlilik ve karbon salımının çevresel etkisini azaltmak için de yenilenebilir enerji kaynakları çözüm olarak görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi ülkemizde hızlı bir artış içindedir. Rüzgar enerjisi, tahmin edilmesi ve sürekliliği sağlanabilmesi zor bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisindeki bu değişkenlik elektrik şebekesine, elektrik şebekesine bağlı güç ekipmanlarına ve özellikle şebekeye bağlı çalışan transformatörlere ciddi etkileri olabilmektedir. Bu makalede rüzgar enerjisinden kaynaklanan, güç kalitesi sorunları, rüzgar enerjisinin elektrik şebekesine bağlantısı ve transformatörlere olan etkileri incelenmektedir. Transformatörlerde ortaya çıkan problemler genellikle rüzgar hızının değişken olması sebebiyle oluşan değişken yüklenme koşulları, güç elemanlarından kaynaklı harmonikler ve aşırı gerilimlerdir. Transformatör tasarımlarında bu değişken yüklenme koşulları ve gerilim değişimlerinin dikkate alınıp tasarım yapılması transformatör ömrünün uzamasında, rüzgar santrallerinde transformatörlerin daha az arızalanması ve dolayısıyla elektrik şebekesinde dengesiz yüklenmesinin önlenmesinde önemli katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada örnek bir rüzgar santralinin elektrik şebekesine bağlantısı ve yük akışı yapılarak rüzgar enerjisi sisteminin trafo ve güç kalitesine etkisi ETAP programı ile analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Transformatör, Rüzgar Santrali, Güç Kalitesi

Effect of Wind Energy Systems on Transformer and Power Quality

Abstract
Energy demand is increasing rapidly day by day. Therefore, with the increase in the need for energy in the world, renewable energy sources are seen as a solution to reduce the environmental impact of pollution and carbon emissions from fossil fuels. Electricity generation with wind energy, one of the renewable energy sources, is also in a rapid increase in our country. Wind energy is an energy source that is difficult to predict and maintain. This variability in wind energy can have serious effects on the power grid, the power equipment connected to the power grid, and especially the transformers operating on the grid. In this paper, power quality problems arising from wind energy, the connection of wind energy to the electricity grid and its effects on transformers are examined. The problems that occur in transformers are generally variable loading conditions due to variable wind speed, harmonics and over-voltages originating from power elements. Considering these variable loading conditions and voltage changes in transformer designs will make a significant contribution to prolonging the life of the transformer, less failure of transformers in wind power plants and therefore preventing unbalanced loading in the electricity grid. In this study, a sample wind power plant was connected to the electricity grid and its effect on the transformer and power quality was analyzed with the ETAP program by making the load flow.

Keywords: Transformer, Wind Power Plant , Power Quality

1. GİRİŞ
Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı her geçen gün artmaktadır. Talebin artmasının nedeni, esas olarak nüfus artışı ve teknolojinin yeni eğiliminden kaynaklanmaktadır. Rüzgar enerjisi,

DRAFT

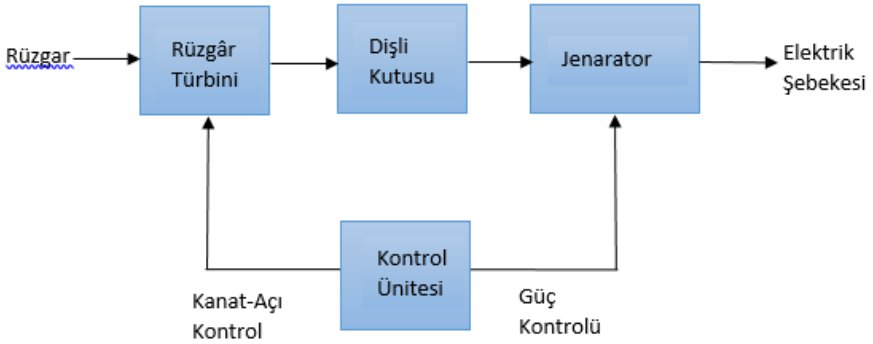
son beş yılda %20 yıllık büyüme oranı ile en hızlı büyüyen enerji kaynaklarından biridir. Kullandığımız konvansiyonel enerji üretim yöntemleri, sınırlı miktardaki fosil enerji kaynaklarına bağımlı oldukları için artan talebi karşılayamamaktadır. Fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması, çevre kirliliğini azaltması, enerji üretim maliyetini düşürmesi ve herhangi bir gaz emisyonu üretmemesi nedeniyle rüzgarın yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanımını önemli ölçüde artmaktadır. Konvansiyonel santrallerde planlanan üretim ile fiili üretim birbirine çok yakındır. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarında tahmin ve üretim arasında önemli bir fark vardır. Rüzgar tahminlerinin çok iyi olmaması veya rüzgar hızının çok değişken olması, uzun vadeli bakım planlamasında ve rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde birçok zorluk yaratmaktadır. Rüzgar santrallerinin verimliliği önemli bir konudur.

Rüzgar santrallerinden elektrik enerjisi üretimi, elektrik şebekesinde dengesiz yüklenmeye yol açabilir ve elektrik şebekesinin yönetimini zorlaştırabilir. Bu santrallerin herhangi bir elektrik sistemine bağlanması elektrik güç kalitesine de etki etmektedir. Bu etkiler, gerilimdeki değişiklikler, elektrik şebekesindeki aşırı yük, dengesiz yüklenme, gerilimdeki kırpışmalar, harmonikler ve gerilim düşüşleri ile kendini gösterir. Elektrik santrallerinde üretilen elektrik enerjisinin kesintisiz ve kaliteli bir şekilde aktarılabildiğinde konutlarda kullanılan elektronik cihaz ve elektrik ile çalışan makinelere ve sanayide kullanılan endüstriyel elemanların zarar görmesini engelleyecektir. Rüzgar santrallerinde işletilen transformatörler, santralin en pahalı ve en kritik ekipmanlarındandır. Rüzgar hızındaki değişimler ve bu değişimlerden kaynaklı etkilerden dolayı oluşan gerilim değişimleri, harmonikler, aşırı yüklenme, dengesiz yüklenme gibi etkiler transformatörün kararlı bir şekilde çalışmasına engel olup, transformatörün arızalanmasına, izolasyonlarının ömrünün azalmasına, ısınmasına ve dolayısıyla zaman zaman devreden çıkıp rüzgar santralinin enerji üretemez hale gelmesine sebep olabilmektedir. Bu çalışmada rüzgar santrallerinden elektrik enerjisinin şebekeye entegrasyonu sonucunda trafolar üzerindeki etkiler ve güç kalitesindeki bozulmalar incelenmektedir.

2. Rüzgar Enerjisi Üretim Sistemi ve Rüzgar Türbini Çıkış Gücünü Etkileyen Faktörler

2.1. Rüzgar Enerjisi Üretim Sistemlerinin Prensipleri

Modern rüzgar enerjisi elektrik üretim sistemleri, Şekil 1'de gösterildiği gibi rüzgar enerjisi kaynakları, rüzgar türbinleri, kontrol cihazları, izleme görüntüleme cihazları gibi çeşitli ünitelerden oluşur. Rüzgar türbini, akan havanın kinetik enerjisini kesen ve rüzgar türbini kanadının rüzgar yönünde süpürülmüş alanındaki kinetik enerjinin bir kısmını faydalı mekanik enerjiye dönüştürür. Şanzıman, rüzgar türbini ile jeneratör arasındaki iletim mekanizmasıdır. Makine tarafından yakalanan mekanik enerji, jeneratöre iletilir; jeneratör, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür [1].



Şekil 1. Rüzgar enerjisi elektrik üretim sistemi blok diyagramı

2.2. Rüzgar Türbini Çıkış Gücünü Etkileyen Faktörler

Rüzgar türbininden üretilen elektrik enerjisi rüzgar hızına, hava yoğunluğuna ve ünitenin ana çalışma parametrelerine bağlıdır. Rüzgar hızının rüzgar türbini çıkış gücü üzerindeki etkisi büyüktür. Rüzgar hızı, ilk rüzgar hızı ile nominal rüzgar hızı arasında olduğunda, rüzgar türbininin çıkış gücü rüzgar hızı ile yaklaşık olarak doğru orantılıdır. Rüzgar hızı, nominal rüzgar hızı ile kesme rüzgar hızı arasında olduğunda, rüzgar türbini çıkış gücü nominal güce ulaşır. Rüzgar hızı, başlangıç rüzgar hızından düşük veya kesme rüzgar hızından büyük olduğunda, rüzgar türbini çıkış gücü sıfır olmaktadır.

Rüzgar hızı değişimini etkileyen en büyük etken türbülans şiddetidir ve rüzgar hızının standart sapmasının ortalama rüzgar hızına oranını ifade eder. Türbülansın varlığından dolayı türbin pervanelerinden geçen rüzgardan tam olarak yararlanılamamaktadır. Bu sebepten dolayı rüzgar türbinlerinden üretilen elektrik enerjisinde azalma meydana gelmektedir. Türbülans yoğunluğu rüzgar hızına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Farklı rüzgar hızları, farklı türbülans yoğunluğuna yol açar. Bu durumda ise rüzgar hızı daha büyük, türbülans yoğunluğu daha küçük olmaktadır [1]. Rüzgar enerjisinin yoğunluğu rüzgar türbinlerinden elektrik enerjisi üretimini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Aynı rüzgar türbini için, aynı rüzgar hızı olduğu durumda rüzgar enerjisi yoğunluğu ne kadar düşük olursa, yakalanan rüzgar enerjisi ve rüzgar türbininin çıkış gücü de o kadar küçük olur. Ayrıca çoğu rüzgar türbini üreticisi, rüzgar türbinlerini tasarlarken rüzgar enerjisi yoğunluğunun rüzgar türbinlerinin çıkış gücü üzerindeki etkisini dikkate almamaktadır. Çünkü rüzgar enerjisi yoğunluğu aynı alandaki meteorolojik koşullarda büyük ölçüde farklılık gösterebilmektedir.

3. Rüzgar Santrallerinin Elektrik Şebekesine Bağlantısı ve Etkileri

Elektrik şebekesi, bir ülkenin enerji ihtiyacını karşılaması için kritik derecede önemdedir. Elektrik şebekesi, zaman içerisinde elektrik şebekesinde oluşan değişimlere uyum sağlayabilmelidir. Şu anda, rüzgar santrallerinden gelen büyük güç iletimi, elektrik şebekesinin ana kaynaklarındandır. Rüzgar santrallerinin elektrik şebekesine entegre olması, üstesinden gelinmesi gereken yeni teknik ve bilimsel zorluklara neden olabilmektedir. Rüzgar santralleriyle ilgili temel zorluk, gerilim, frekans gibi temel parametrelerin uygun şekilde yapılmamasından kaynaklanmaktadır. Rüzgar santrallerinden üretilen elektrik enerjisi üretimiyle sağlanan güç çıkışı tahmin edilmesi karmaşık ve oldukça değişkendir. Bu nedenle, rüzgar enerjisinin elektrik şebekesine entegrasyonunda, tahminin rastgeleliği ve karmaşıklığı, frekans-güç ayarının olmaması, gerilim regülasyonu eksikliği ve gerilim düşüşlerine duyarlılık gibi sorunlara neden olabilmektedir. Ayrıca, elektrik şebekesinin uygun koşullar altında kararlılığını sağlamak için penetrasyon hızı belirli bir eşiği aşmamalıdır. Enerji ve çevre politikalarının bir parçası olarak tasarlanan kesintili kaynaklardan olan rüzgar santralinden üretilen elektrik enerjisinin aşamalı olarak elektrik şebekesine entegrasyonu işleyişi, yönetimi ve planlaması konusunda yeni sorunlara neden olur. Özellikle, rüzgar türbinlerinden elektrik enerjisi üretiminde bir dalgalanma meydana gelmekte ve bu da tüketim çeşitliliğine eklenen elektrik sisteminin işleyişinde yeni gereksinimler doğurmakta ve enerji piyasasındaki enerji alışverişini gerçekleştirme yolunda bir dalgalanma oluşturmaktadır [4]. Elektrik şebekesinde güç akışı genellikle tek yönlüdür ve trafo merkezinden uzaklaştıkça aktif güç akışı azalır. Rüzgar santralleri şebekeye bağlandığında, rüzgar santrallerinden üretilen elektrik enerjisinin rastgeleliği ve değişkenliği nedeniyle, şebekeye güç akışında belirsizlik vardır ve bu da elektrik şebekesinin yük akış tahminini zorlaştırır. Ek olarak, elektrik şebekesinde akan akımın değişmesi sistem geriliminin uygun bir seviyeyi korumasını zorlaştırır ve trafoların kapasitesinin sınırlanmasına neden olabilir, böylece elektrik şebekesinin güvenilirliğini etkilenebilir [1]. Rüzgar kaynaklarının belirsizliği, rüzgar santrallerinin çıkış gücünün dalgalanmasına neden olur. Özellikle rüzgar hızı kısa sürede büyük ölçüde değiştiğinde, gerilim sapması, gerilim dalgalanması ve kırpışması gibi etkilerle şebekenin güç kalitesini etkileyebilir, frekans dalgalanması, darbe akımı gibi etkiler oluşturabilir. Ayrıca rüzgar enerjisi sistemi çok sayıda güç elektroniği ekipmanı aracılığıyla elektrik şebekesine bağlıdır ve elektrik şebekesinde harmonik sorunlarına neden olabilir.

3.3. Rüzgar Santrallerinin Bölgesel ve Şebeke Genelindeki Bozucu Etkileri

Değişken üretim yapma karakteristikleri nedeniyle rüzgar santralleri konvansiyonel santrallerden çok farklıdır. Rüzgar santralleri toplam kurulu gücü arttıkça sistem üzerindeki bozucu etkileri ve bunların sebep olacağı tehlike de artmaktadır. Bölgesel etkiler, her bir santralın bağlı olduğu trafo merkezinde diğer rüzgar santrallerinden bağımsız olarak görülmektedir. Bölgesel bozucu etkiler, iletim hatlarında ve trafo merkezlerindeki gerilimlerde değişiklikler, koruma sistemleri, kısa devre arıza akımları ve şalt tesislerinde değişiklikler, arz kalitesinde değişiklikler (harmonik ve gerilim kırpışması) olarak özetlenebilir. Arz kalitesi de kendi içinde harmonikler ve gerilim kırpışması olarak ikiye ayrılmaktadır. Harmonikler, değişken hızlı rüzgar türbinlerinde kullanılan elektronik güç çeviricilerinden kaynaklanmaktadır. Gerilim kırpışması ise sabit hızlı rüzgar türbinlerinin, mekanik dalgalanmaları elektriksel çıktıya aynen yansıtmalarının sonucunda oluşmaktadır. Şebekeye olan bozucu etkileri arasında; Sistem dinamiği ve kararlılık, reaktif güç kontrolü ve gerilim, frekans kontrolü ve konvansiyonel santrallarda sık sık yük alma/yük atma sorunları bulunduğu bildirilmektedir.

DRAFT

Rüzgar santrallerinin sistem dinamiği ve kararlılığı üzerindeki bozucu etkileri, bu santrallerin türbinlerindeki jeneratör sistemlerinin konvansiyonel santrallerdeki senkron jeneratörlerden farklı olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu jeneratörlerin bağlantı noktasındaki gerilim ve frekansa bağlı tepkileri, diğer senkron jeneratörlerden farklılık göstermektedir. Değişken hızlı türbinlerin elektronik güç çeviricileri, gerilim düşümüne bağlı aşırı akımlara çok duyarlı olduğundan, küçük bir gerilim düşümünde bile bir bölgedeki rüzgar santralleri topluca açabilmekte, bu durumda şebekede çok önemli sorunlara yol açabilecek sistem kararlılığının korunması konusunda problemler meydana gelmektedir.

4. Rüzgar Santrallerinde Güç Kalitesi Problemleri

Güç kalitesi , düşük güç kalitesinin endüstride ekonomik kayıplara yol açtığından ve ayrıca ekipmana zarar verdiğinden dolayı güç sistemindeki en önemli konudur. En önemli güç kalitesi sorunları, gerilim düşmeleri, küçük kesintiler, uzun kesintiler, gerilim yükselmeleri, harmonik bozulma, gerilim dalgalanmaları, gerilim kırpışması ve gerilim yükselmeleridir. Rüzgar akışı ve hızı sabit olmadığından, rüzgar santrallerinden üretilen elektrik enerjisinin, elektrik şebekesi ile entegrasyonu çok karmaşıktır ve sistemin verimliliğini etkilemeden sistemin güç kalitesini korumamız gerekir.

4.1. Harmonik Etkisi

Harmonikler, akımların ve gerilimlerin sinüsoidal salınımlarıdır. Harmonikler akımların veya gerilimlerin sinüsoidal olmayan bir biçime sahip olması durumunda meydana gelir. Harmonikler elektrik şebekelerinde doğrusal olmayan empedans özelliklerine sahip tüketiciler, güç elektroniği ekipmanları, elektrik makinelerinde doygunluk etkileri gibi sebeplerden kaynaklanabilir. Harmoniklerin, kondansatörlerin tahrip olmasına yol açabilecek dielektriklerin ve yalıtım malzemelerinin erken yaşlanması, frekans dalgalanma kontrol sistemlerinin bozulması ve koruyucu cihazlarda olası arızalar ve güç elektroniği ekipmanlarındaki işlevsel bozukluklar gibi etkileri vardır. Elektrik şebekesinde enerji kalitesinin sağlanması, harmoniklerin şebeke ile uyumlu bir seviyede sınırlandırılmasını gerektirir. Değişken hızlı jeneratörler ve hat komütasyonlu güç dönüştürücülerle donatılmış türbinler için, türbin sayısı ve dolayısıyla türbinlerden elde edilen güç arttıkça, harmoniklerin şebeke üzerinde daha belirgin bir etkisi gözlemlenebilir.

4.2. Sistem Dinamiği ve Kararlılığı Etkisi

Rüzgâr santrallerinin sistem dinamiği ve kararlılığı üzerindeki bozucu etkileri, bu santrallerin türbinlerindeki jeneratör sistemlerinin, konvansiyonel santrallerdeki senkron jeneratörlerden farklı olmalarından kaynaklanmaktadır. Değişken hızlı türbinlerin elektronik güç çeviricileri, gerilim düşümüne bağlı aşırı akımlara çok duyarlı olduğundan, küçük bir gerilim düşümünde bile, bir bölgedeki rüzgâr santralleri topluca devre dışı kalabilmektedir. Bu durumda, elektrik şebekesinde çok önemli sorunlara yol açabilecek sistem kararlılığının korunması konusunda problemler meydana gelmektedir. Rüzgar santrallerinin devre dışı olarak bağlantısının kesilmesi, ani gerilim düşmeleri ve arızalar gibi elektrik şebekesi üzerinde yaşanan şiddetli bozukluklar şebekeyi daha çok etkileyebilir.

Eğer rüzgar santrali devre dışı kalırsa, bu önemli üretim kaybına yol açabilir. Bu durum, enerji dağıtım istasyonlarındaki aşırı yükü kaldırmak için, belirli bölgelerde kısa süreli elektrik kesintilerine, hatta daha kötü durumda sistemin çökmesine sebep olabilir. Bundan dolayı, bağlantı noktasındaki gerilim seviyesine bağlı olarak, şebeke operatörleri, rüzgar santrallerinin hata taşıma yeteneğine sahip olmasına ihtiyaç duyabilirler. Böylece belirlenmiş olan ani gerilim düşmelerine karşı koyabilirler.

4.3. Reaktif Güç Üretimi ve Gerilim Kontrolü Üzerindeki Etkileri

Güç sistemleri içinde, enerji iletim hatları, transformatörler ve yükler gibi farklı tip bileşenler genellikle reaktif güç tüketirler. Reaktif güç tüketimini kompanze etmek ve elektrik şebekesinde güç iletimini sağlamak için, elektrik üretim santralleri veya kondansatör grupları gibi diğer tip cihazlar tarafından kapasitif güç sağlanmalıdır. Rüzgar santralleri de diğer üretim sistemleri gibi bu kompanzasyona katılmak zorunda kalabilir. Reaktif güç üretimi ve gerilim kontrolü üzerindeki etkileri, rüzgar santrallerinin reaktif güç çıkışı kapasitesine bağlı olarak, rüzgar santrallerinin tesis edileceği yere göre, elektrik şebekesine uyumluluğuna bağlı olarak değişebilir (rüzgâr türbinlerinin çıkış gerilimleri, göreceli olarak daha düşük olup, şebekenin genellikle zayıf olduğu uzak noktalarda kurulmaktadır).

DRAFT

4.4 Ani Gerilim Düşümü

Ani gerilim düşümü nominal gerilimin 1% ile 90% arasındaki ani bir düşümün ardından 1 milisaniye ile 1 dakika arasında normale dönmesi olarak tanımlanır. Bir yıl içerisinde beklenen gerilim düşümü sayısı 10 ile 1000 arasında değişebilir. Nominal gerilimin 10% ile 15% arasındaki düşüşleri genellikle yüklerin değişmesinden kaynaklanırken daha büyük düşüşler arızalardan kaynaklanabilir. Bir rüzgar santrali devreye alınırken nominal gerilimde ani bir azalma meydana gelebilir ancak kısa bir süre sonra normale döner. Her rüzgar santralinde gerilim değişim faktörü k_u (ψ_k) ve Sn nominal görünür güç, Sk ise kısa devre gücü ile tanımlanırsa ani gerilim düşümü (d) şu şekilde ifade edilebilir;

$$d = 100 \cdot k_u (\psi_k) \cdot S_n / S_k \quad (1)$$

Bir rüzgar santralinde tüm rüzgar türbinlerinin aynı anda devreye alınması olası olmadığından burada rüzgar türbin sayısı önemli değildir [10].

4.5. Gerilim Kırpışması Etkisi (Flicker)

Elektrik şebekesi gerilimindeki periyodik ve periyodik olmayan dalgalanmalar, aydınlatma lambalarındaki parlaklıkta değişikliklere neden olur ve bu da ışığın "kırpışmasına" neden olur. Gerilim kırpışması etkisi rüzgar santralinde çıkış gerilimini etkileyen hızlı gerilim değişimidir. Bu durum bölgedeki rüzgar hızının çok değişken olabildiği için rüzgar santrallerinden elektrik üretiminde sıkça görülmektedir. Elektrik şebekesindeki gerilim dalgalanmalarının nedeni olarak gerilim kırpışması etkisi gösterilebilir. Gerilim kırpışması etkisi bölgedeki rüzgar hızının değişiminden kaynaklanır. Rüzgar santrallerinin devreye girip çıkmasıyla gerilim kırpışması etkisi ortaya çıkabilir. Gerilim kırpışması etkisi türbin pervanelerinin eğimindeki hatalardan, pervanelerin yalpalamasından, rotorun ayarlanmasından kaynaklanabilir. Gerilim kırpışması etkisi kısa süreli ve uzun süreli olmak üzere iki şekilde değerlendirilebilir. Kısa süreli gerilim kırpışması etkisi 10 dakikalık periyotlarla ölçülür. Uzun süreli gerilim kırpışması etkisi ise 2 saatlik periyotlar halinde ölçülebileceği gibi yük döngüsü ve uzun süreli gerilim kırpışması etkileri gözlenerek de ölçülebilir. Gerilim kırpışması etkisi gerilim değişiminin değeri ile orantılıdır.

5. Rüzgar Santrallerinin Transformatörler Üzerine Etkileri

Rüzgar türbinlerinde karşılaşılan arızalar elektriksel, mekaniksel, korozyon ve kimyasal arızalar olarak sınıflandırılabilir. Bu arızalardan dolayı rüzgar türbini trafolarında oluşan arızalar rüzgar enerjisinden elektrik üretimine büyük etkileri bulunmaktadır. Rüzgar türbini trafoları birçok elektriksel problemle karşılaşmaktadır. Bu genellikle değişken rüzgar hızından kaynaklanır. Bu arızalarda trafonun ömrünü azaltmakta ve zamanından erken arızalanmasına yol açmaktadır.

5.1. Harmonik Etkisi

Transformatörler , elektrik dağıtımındaki en önemli ekipmanlardan biridir. Bu güç sistemi elemanları, elektrik enerjisinin son kullanıcılara iletilmesini sağlar ve güç talebine bağlı olarak gerilim regülasyonu ve güç kayıplarının davranışını belirler. Güç kalitesi bozuklukları, yük dengesizliği, harmonikler gibi transformatörün izolasyonunda yaşlanmaya sebep olur ve bu da tranformatörün ömrünü azaltır. Harmonikler ve aşırı yüklenme yalıtım ömrünün azalmasına neden olan en önemli sebeplerdir. Harmoniklerin etkileri, kayıplar ve sıcaklık artışları aracılığıyla araştırılabilir ve tahmini transformatör ömrünün hesaplanmasına yardımcı olabilir.

Harmonikler, akımların ve gerilimlerin sinüsoidal salınımlarıdır. Harmonikler akımların veya gerilimlerin sinüsoidal olmayan bir biçime sahip olması durumunda meydana gelir. Harmonikler elektrik şebekelerinde doğrusal olmayan empedans özelliklerine sahip tüketiciler, güç elektroniği ekipmanları, elektrik makinelerinde doygunluk etkilerinden kaynaklanabilir. Yağlı tip dağıtım transformatörlerinde harmoniklerden kaynaklı elektriksel yalıtımın hasar karakteri, termal ve elektriksel olarak analiz edilebilir. Elektriksel olarak, boşta kayıplar ve yükte kayıplara harmoniklerden gelen ek kayıplar da dahil edilerek transformatörün soğutulabilmesi için atılması gereken ek ısı miktarı hesaplanabilir. Termal olarak incelenirken, güç kayıplarının ürettiği etkilerin, sıcaklık değişimlerinin ve transformatörün termal özelliklerinin karakteristiğinin incelenmesine olanak sağlar.

DRAFT

Elektriksel ve termik olarak incelenirken transformatör parametreleriyle, dağıtım trafosunun güç kayıplarından kaynaklanan ısı transferi belirlenebilir. Transformatörde kullanılan malzemelerin çeşitliliği nedeniyle (çekirdek, sargı, yağ, izolasyon malzemesi) elektriksel olarak ve doğal ortamı (transformatörden ortama ısı akışı..) ile oldukça karmaşık bir etkileşime sahip olduğu bilinmektedir. Termal model ile yaşlanma faktörü için hot-spot (sıcak nokta sıcaklığı) ve en yüksek yağ sıcaklığı değerlendirilir.

5.2. Düşük Gerilim Arızası

Transformatörler, arızaların oluşması nedeniyle devreden çıkar ve arızaların giderilmesinden sonra tekrar devreye alınır. Şebeke istikrarı için rüzgar santrali jeneratörlerinin arızalar sırasında çalışır durumda kalması gerekir. Bu arızalar şebeke istikrarı için dikkate alınmalıdır. Buna düşük gerilim arızası sürmesi denir. Bu arıza, rüzgar türbini transformatörlerine geleneksel enerji kaynaklarına bağlı bir transformatöre göre daha fazla elektriksel, mekanik ve termal stres uygular. Rüzgar türbini trafolarının tasarımı sırasında bu nokta dikkate alınmalıdır.

5.3. Aşırı Gerilim

Rüzgar türbininde kullanılan yükseltici trafolar aşırı gerilim kapasitesine sahip değildir. Aşırı yüklenmeye de uygun değildir ve jeneratör çıkış gerilimine göre tasarlanırlar. Endüstriyel uygulamalarda tasarlanan trafolar nominal gerilimin 105% sine kadar dayanabilir. Ancak yeni eğilimlerde 115% aşırı gerilime göre trafolar yapılmakta ancak bu da kısmi deşarja ve bazı hatalara sebep olmaktadır. Bu çalışma koşulları ve faktörler trafo üreticisi tarafından belirlenmeli ve dikkate alınmalıdır. Aşırı gerilimler de trafonun ömrünü azaltmaktadır.

5.4. Değişken Yüklenme Koşulları

Değişken rüzgar koşulları, rüzgar santrali trafolarında, standart dağıtım trafolarından farklı olarak değişken yüklenmesine sebep olmaktadır. Ana problemlerden biri ise rüzgar koşullarından kaynaklı oluşan boşta kayıplardır. Rüzgar türbini jeneratörleri eğer rüzgar hızı belirli bir değerin altındaysa enerji üretimi yapmaz. Bu durum da trafoyu hafif yüklenme koşullarında çalışmasına sebep olarak çekirdek kayıplarını artırır. Rüzgar türbini transformatörlerinin yerel iklim koşullarına bağımlılığı, ortalama yük faktöründe bir azalmaya yol açabilir. Rüzgar türbini transformatörlerinde yük değişimi döngüseldir. Geleneksel transformatörlerden farklı olarak, döngüsel yük değişimleri rüzgar türbini transformatörlerinde günde birkaç kez meydana gelir. Yük değişimi, trafo içinden akan akımın değişmesine yol açar. Değişken yükler, transformatör sargısının ve yalıtımın termal gerilmesine yol açan termal döngü oluşturur. Termal döngü, transformatör elektrik bağlantılarının yaşlanmasını ve hasar görmesini hızlandırır. Kısmi deşarjların ve sıcak noktaların oluşturulması da yalıtıma zarar verir.

5.5. Anahtarlama ve Geçici Aşırı Gerilimler

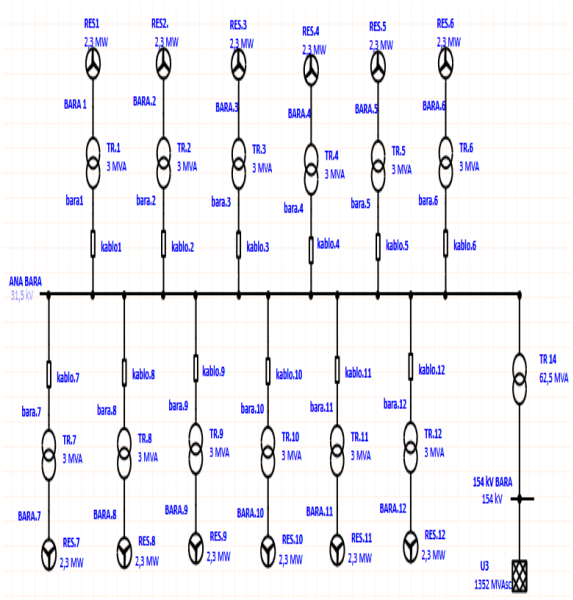
Rüzgar özelliklerindeki geniş dalgalanma nedeniyle, anahtarlama işlemi rüzgar türbini transformatörlerinde günde birkaç kez gerçekleşir. Devre kesiciler tarafından anahtarlama işlemi, akım kesilmesinden dolayı geçici aşırı gerilime neden olur. Bu tür olaylar, sargı içinde büyük salınımlı gerilimi tetikler. Bu gerilimler trafo dielektrik arızalarına neden olur ve trafonun ömrünü kısaltır.

6. Örnek Rüzgar Santrali İçin Güç Akış Simülasyonu

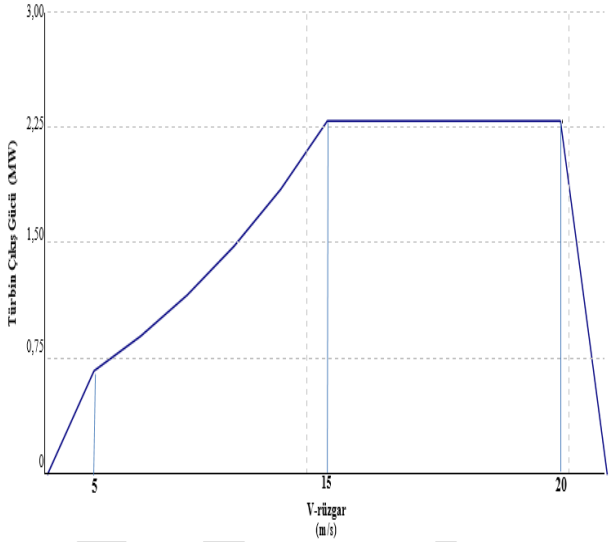
Örnek bir rüzgar santralinin elektrik şebekesine bağlantısı ve yük akışı yapılarak trafo ve güç kalitesine etkisi ETAP programı ile [7] nolu kaynaktaki veriler kullanılarak oluşturulan tek hat şemasında yük akış analizi yapılmıştır. Bu analizde, 12 adet 2,3 MW ‘lık rüzgar türbini bulunmaktadır. Her bir rüzgar türbinine bağlı 3 MVA 31,5/0,69 kV’lik transformatör ve bu tüm transformatörlerin bağlı olduğu 62,5 MVA 154/34,5kV’lık bir transformatör yer almaktadır. Transformatör ve rüzgar türbin parametreleri [7] nolu kaynaktaki veriler ve ETAP programının önerdiği özellikler kullanılmıştır.

Yapılan simulasyonda rüzgar hızının türbin çıkış gücü üzerine etkisi incelenmiştir. Şekil 3’te başlangıç rüzgar hızı 5 m/s, nominal rüzgar hızı 15 m/s, kesme rüzgar hızı 20 m/s olarak görülmektedir. Şekil 3 incelendiğinde rüzgar hızı, ilk rüzgar hızı ile nominal rüzgar hızı arasında olduğunda türbinden elde edilen güç doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Rüzgar hızı nominal rüzgar hızından kesme rüzgar hızına ulaşana kadar ise türbin çıkış gücü maksimum güce ulaşıp sabit olarak görülmektedir. Rüzgar

hızı kesme rüzgar hızından büyük olduğunda ise türbin devreden çıkmakta ve güç üretimi hızla azaldığı görülmektedir.



Şekil 2. Rüzgar santrali tek hat şeması



Şekil 3. Rüzgar hızına göre türbinden elde edilen güç

7. Sonuç ve Öneriler

Ülkemizde ve dünyada rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin yaygınlaşmasıyla elektrik şebekesinde ve rüzgar santrallerinde kullanılan transformatörlerde çeşitli problemler ortaya çıkmaktadır. Transformatörlerde ortaya çıkan problemler genellikle rüzgar hızının değişken olması sebebiyle oluşan değişken yüklenme koşulları, güç elemanlarından kaynaklı harmonikler ve aşırı gerilimlerdir. Transformatör tasarımlarında bu değişken yüklenme koşulları ve gerilim değişimlerinin dikkate alınıp tasarım yapılması transformatör ömrünün uzamasında, rüzgar santrallerinde transformatörlerin daha az arızalanması ve dolayısıyla elektrik şebekesinde dengesiz yüklenmesinin önlenmesinde önemli katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, örnek bir rüzgar santralinin elektrik şebekesine bağlantısı ve yük akış analizi ETAP programı ile yapılarak, rüzgar enerjisi elektrik üretim sisteminin enerji üretiminde kullanılan transformatörlere ve güç kalitesine etkisi analiz edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmada 2210-D Yurt İçi Sanayiye Yönelik Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a, yüksek lisans çalışması için gerekli imkan ve koşulları sağlayan şirket Schneider Electric'e teşekkürü borç biliriz.

Kaynakça

[1] Xiaoming, W ., Yuguang, X., Bo, G., Yuanjie, Z., Fan, C. (2018), Analysis of Factors Affecting Wind Farm Output Power, IEEE.
[2] Yeşil, M ., Kose, A., Irmak, E. (2019), Effects of Change in Wind Energy Generation on the Power Grid Angle, IEEE, 12-15 June.
[3] Güler, E ., Kandemir, S. (2021), Evaluation of Wind Power Plant Potentials in the Marmara Region, Turkey via TOPSIS and PROMETHEE Methods, IWEC.
[4] Benzohra, O., Echcharqaouy, S., Faraija, F., Saifaoui, D. (2020), Integrating wind energy into the power grid: Impact and solutions, Volume 30, Part 4, Pages 987-992
[5] Mantilla, H., Merchan, M., Pavas, A., Tovar, I. (2015), Modeling of a Distribution Transformer Performance Operating under Harmonic Polluted Conditions, IEEE.
[6] Amita, A., Sinha, A. (2018), Power Quality Comparison of Grid Connected Wind Energy System with STATCOM and UPQC ICICS.
[7] Uzunlar, F., Güler, Ö., Kalenderli, Ö. (2015), Grid Connection and Power Quality Optimization of Wind Power Plants, ELECO.
[8] Atabey, G., Tezcan, S. (2017), Rüzgar santrallerinin modellenmesi ve rüzgar iletim sistemi üzerindeki etkilerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.

DRAFT

[9] Heier, S. (2014), Grid integration of wind energy, UK Copyright, Designs and Patents Act 1988.
[10] J. O. G. Tande and N. Jenkins. (2003), Grid Integration ofWind Farms, Wind Energ. 2003; 6:281–295 (DOI: 10.1002/we.91)
[11] T. Ackermann, Ed., Wind Power in Power Systems, 2005, Chichester, England: John Wiley Sons, Ltd.
[12] Sharad W. Mohod and Mohan V.Aware, Aug 2011, "PQ issues and its improvement in wind energy generation interface to grid syste.
[13] D. Devraj, R. Jeevajyothi, "Impact of fixed and variable speed wind turbine systems on power systems voltage stability enhancement", IET Conf. on Renewable Power Generation (RPG 2011), Edinburgh, UK, Sept 2011.
[14] M. EL-Shimy, M. A. L Badr, O. M. Rassen, "Impact of large scale wind power on power system stability," 12 International Middle-East Power System Conference, pp. 630-636, 12-15 March 2008

DRAFT