

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RÜZGAR SANTRALLERİNİN SİSTEM ENTEGRASYONUNUN  
BENZETİM TEMELLİ TEKNİKLERLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Aydoğan TUMAY**

**Anabilim Dalı : Elektrik Mühendisliği**

**Programı : Elektrik Mühendisliği**

**HAZİRAN 2010**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RÜZGAR SANTRALLERİNİN SİSTEM ENTEGRASYONUNUN BENZETİM  
TEMELLİ TEKNİKLERLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Aydoğan TUMAY**  
**504931323**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : Temmuz 2010**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : Haziran 2010**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK (İTÜ)**

**Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Deniz Yıldırım (İTÜ)**  
**Doç. Dr. Ahmet Duran Şahin (İTÜ)**

**HAZİRAN 2010**



## **ÖNSÖZ**

Bu tezin hazırlanmasında zaman ve yer kısıtı olmaksızın her zaman destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç.Dr.Mustafa Bağrıyanık'a çok teşekkür ederim.

Sevgili eşim Dilara Tumay'a her zaman yüreklendirici ve fedakar desteği için sonsuz teşekkürler.

Haziran 2010

Aydoğan Tumay

Elektrik Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY .....	xvii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
1.2 Literatür Özeti .....	2
<b>2. RÜZGAR SANTRALLERİNE GENEL BAKIŞ .....</b>	<b>5</b>
2.1 Rüzgar Santralleri Hakkında Temel Bilgiler.....	5
2.2 Rüzgar Enerjisi Santrallerinde Kullanılan En Yaygın Generatör Tipleri .....	5
2.2.1 Sincap kafesli asenkron generatör.....	6
2.2.2 Rotoru sargılı senkron generatör .....	7
2.2.3 Asenkron generatör (Değişken hızlı türbinlerde).....	7
2.2.4 Çift uyarımlı asenkron generatör .....	8
2.2.5 Rotoru sargılı senkron genertör (Değişken hızlı türbinlerde) .....	9
2.2.6 Billezikli asenkron generatör .....	10
<b>3. RÜZGAR SANTRALLERİ İÇİN SİSTEM ENTEGRASYONUNDA UYULMASI GEREKEN KRİTERLER VE YÖNETMELİKLER.....</b>	<b>11</b>
3.1 Türkiye’de Uygulanan Yönetmeliklere Genel Bakış.....	11
3.1.1 Aktif güç kontrolü .....	13
3.1.2 Frekans tepkisi .....	14
3.1.3 Reaktif güç kapasitesi .....	14
3.1.4 Türkiye yönetmeliklerine ilişkin değerlendirme.....	15
3.2 Dünyada Uygulanan Bazı Yönetmeliklere Genel Bakış.....	16
3.2.1 Geçici arıza davranışı.....	17
3.2.2 Frekans kontrolü ve frekans aralığı.....	19
3.2.3 Gerilim kontrolü.....	20
3.3 Karşılaştırma ve Değerlendirme .....	22
<b>4. BENZETİM TEMELLİ İNCELEME TEKNİKLERİNE GENEL BAKIŞ... 23</b>	<b>23</b>
4.1 Bir Benzetim Temelli İnceleme Tekniği: PSCAD.....	27
4.2 Bir Benzetim Temelli İnceleme Tekniği: PSS/E .....	27
<b>5. ÖRNEK SİSTEM İNCELEMELERİ .....</b>	<b>29</b>
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>50</b>
6.1 Çalışmanın Uygulama Alanı .....	50
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>52</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>54</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>55</b>





## **KISALTMALAR**

<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>EPDK</b>	: Enerji Piyasası Denetleme Kurumu
<b>GWEC</b>	: Global Wind Energy Council, (Dünya Rüzgar Enerjisi Konseyi)
<b>Ms</b>	: Mili saniye
<b>p.u.</b>	: per unit
<b>RES</b>	: Rüzgar Enerji Santrali
<b>s</b>	: Saniye
<b>TEİAŞ</b>	: Türkiye Elektrik İşletmeleri Anonim Şirketi



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 3.1</b> : Aktif güç desteği ile ilgili genel gösterim .....	21
<b>Çizelge 5.1</b> : Örnek sistem incelemelerinde ele alınan senaryolar .....	35
<b>Çizelge 5.2</b> : Senaryo 1 için 3-Faz Kısa Devre Arızası için ilgili baralara ait kısa devre güçleri ve akımları.....	56
<b>Çizelge 5.3</b> : Senaryo 2 için 3-Faz Kısa Devre Arızası için ilgili baralara ait kısa devre güçleri ve akımları.....	56
<b>Çizelge 5.4</b> : Senaryo 3 için 3-Faz Kısa Devre Arızası için ilgili baralara ait kısa devre güçleri ve akımları.....	56
<b>Çizelge 5.5</b> : Senaryo 4 için 3-Faz Kısa Devre Arızası için ilgili baralara ait kısa devre güçleri ve akımları.....	57
<b>Çizelge 5.6</b> : Senaryo 5 için 3-Faz Kısa Devre Arızası için ilgili baralara ait kısa devre güçleri ve akımları.....	57
<b>Çizelge 5.7</b> : Senaryo 6 için 3-Faz Kısa Devre Arızası için ilgili baralara ait kısa devre güçleri ve akımları.....	57



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1	: Sincap kafesli sabit hızlı asenkron generatör .....	7
Şekil 2.2	: Rotoru sargılı sabit hızlı senkron generatör. ....	7
Şekil 2.3	: Sincap kafesli asenkron generatör.....	8
Şekil 2.4	: Sabit hız ve değişken hız kontrollü asenkron generatör.....	8
Şekil 2.5	: Çift uyarımlı asenkron generatör .....	8
Şekil 2.6	: Tam eviricili senkron generatör. ....	9
Şekil 2.7	: Sürekli mıknatıslı senkron generatör .....	10
Şekil 2.8	: Bilezikli değişken hızlı asenkron generatör .....	10
Şekil 3.1	: 2009 yılından itibaren kesin kabulü yapılmış rüzgar enerji santrallerinin arıza ve arıza sonrasında sağlanması gereken tepkiye ait eğri .....	12
Şekil 3.2	: Gerilim dalgalanmalarında, rüzgar türbinlerinin vermesi gereken reaktif güç tepkisi .....	13
Şekil 3.3	: Rüzgar türbini güç-frekans eğrisi .....	14
Şekil 3.4	: Rüzgar santrali reaktif güç kapasite eğrisi .....	15
Şekil 3.5	: Rüzgar santrali gerilim ayar noktaları .....	15
Şekil 3.6	: ABD için geçici arıza durumunda rüzgar santralinin davranışı .....	17
Şekil 3.7	: Almanya için geçici arıza durumunda rüzgar santralinin davranışı .....	18
Şekil 3.8	: İspanya için geçici arıza durumunda rüzgar santralinin davranışı .....	19
Şekil 3.9	: Danimarka için arıza durumunda rüzgar santralinin davranışı .....	20
Şekil 3.10	: Danimarka için gerilim kontrolüne ilişkin çalışma koşulları .....	22
Şekil 3.11	: Danimarka için reaktif güç değişimi talebine ilişkin eğri .....	22
Şekil 4.1	: Basit bir rüzgar türbini için geliştirilen platform .....	25
Şekil 4.2	: Bir modelleme için benzetim tekniklerinin bir arada kullanılmasını gösteren temsili kroki .....	27
Şekil 4.3	: Benzetim modellerinin işlevsel olarak bir arada gösterimi .....	28
Şekil 5.1	: Benzetim temelli incelemenin yapıldığı Çatalca 60 MW Rüzgar Enerjisi Santrali ve bağlı bulunduğu 154KV Çatalca barası ile bu baraya bağlı komşu baraların konumlarını gösteren temsili resim .....	33
Şekil 5.2	: Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda santral tam yükte iken hatlarda oluşan yük akışı .....	36
Şekil 5.3	: Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda santral tam yükte iken silivri-çatalca hattının açılmasıyla oluşan yeni duruma ilişkin yük akış .....	37
Şekil 5.4	: Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda santral tam yükte iken B. Çekmece – Çatalca hattının açılmasıyla oluşan yeni duruma ilişkin yük akışı .....	39
Şekil 5.5	: Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda B. Çekmece – Çatalca hattının limit yük durumunun oluşması için çatalca barasına bağlanabilecek maksimum üretim kapasitesine ilişkin yük akışı .....	40

<b>Şekil 5.6</b> : Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda B. Çekmece – Çatalca hattının limit yük durumunun oluşması için silivri – çatalca hattı açıkken, çatalca barasına bağlanabilecek maksimum üretim kapasitesine ilişkin yük akışı .....	41
<b>Şekil 5.7</b> : Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda Silivri – Çatalca hattının limit yük durumunun oluşması için B. Çekmece – Çatalca hattı açıkken , çatalca barasına bağlanabilecek maksimum üretim kapasitesine ilişkin yük akışı .....	42
<b>Şekil 5.8</b> : Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim .....	44
<b>Şekil 5.9</b> : Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda , Silivri – Çatalca hattı açık iken 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim .....	45
<b>Şekil 5.10</b> : Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda , B. Çekmece – Çatalca hattı açık iken 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim .....	46
<b>Şekil 5.11</b> : Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim .....	48
<b>Şekil 5.12</b> : Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda , Silivri – Çatalca hattı açık iken 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim .....	49
<b>Şekil 5.13</b> : Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda , B. Çekmece – Çatalca hattı açık iken 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim .....	50
<b>Şekil 5.14</b> : Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda gelecekte Çorlu ve Hadımköy baraları ile hat tesisi edilmesi durumunda baralardaki kısa devre güçlerini gösteren temsili çizim .....	51
<b>Şekil 5.15</b> : Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda gelecekte Çorlu ve Hadımköy baraları ile hat tesisi edilmesi durumunda hatlardaki yük akışını gösteren temsili çizim .....	52
<b>Şekil 5.16</b> : Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda gelecekte Çorlu ve Hadımköy baraları ile hat tesisi edilmesi ve senaryo gereği Hadımköy hattının açık olması durumunda hatlardaki yük akışını gösteren temsili çizim.....	53
<b>Şekil 5.17</b> : Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda gelecekte Çorlu ve Hadımköy baraları ile hat tesisi edilmesi ve senaryo gereği hadımköy hattının kuplaj olarak tasarlanması durumunda hatlardaki yük akışını gösteren temsili çizim .....	54
<b>Şekil 5.18</b> : Çatalca RES in bağlı olduğu örnek bara grubunda gelecekte 154KV Çorlu ve Hadımköy baralarına ilave olarak , 380KV 4 Çatalca barası ile hat tesisi edilmesi durumunda baradaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim.....	55

## **RÜZGAR SANTRALLERİNİN SİSTEM ENTEGRASYONUNUN BENZETİM TEMELLİ TEKNİKLERLE İNCELENMESİ**

### **ÖZET**

Bu çalışmada özellikle son on yılda ülkemizde hızla gelişen ve yüksek değerlere ulaşan Rüzgar Enerjisi Santralleri ile elektrik üretiminin ulusal elektrik sistemiyle olan artan ilişkisi, sistemle olan bağlantı kriterleri ve mevcut yönetmeliklerin gelişen teknoloji ve ihtiyaçlara göre güncellenmesi konuları ele alınmıştır.

Her ülkenin kendi Elektrik İletim Yönetmelikleri çerçevesinde kendine özel düzenlemeleri vardır. Üretimdeki Rüzgar Enerjisi Santrallerinin (RES) güçleri nispetinde sisteme bağlantı noktalarında farklı kriter ve düzenlemelere uyma zorunluluğu her ülkenin kendisine özel ihtiyaç ve şartları ile şekillenmiştir. Bu çalışmada ayrıca Almanya, İspanya, Danimarka, ABD gibi, Rüzgar Enerji Santralleri ile elektrik üretimi ve kurulumu alanında ileri ülkelerin yönetmelikleride incelenmiştir.

Bu ülkelerin yönetmelikleri ile ülkemizin sahip olduğu mevcut yönetmelikler arasındaki benzerlikler ve farklılıklar karşılaştırılmıştır.

Ülkemizde her yıl rüzgar santrallerinin artan değerlerdeki üretime olan katkıları sebebiyle, şebekede oluşabilecek arz güvenliği, enerji kalitesi ve kararlılık problemlerinde ayrıca incelenmesini gerektirmektedir.

Bu amaçla rüzgar santrallerinin incelenmesinde kullanılan belli başlı benzetim modellerine kısaca değinilmiştir. PTI/PSSE ile yapılan kısa devre ve yük akışı hesaplamalarıyla, örnek çalışmada, 60MW Çatalca RES'in bağlı olduğu çatalca barasında ve bu baraya doğrudan bağlı B. Çekmece ile Silivri baralarındaki durum incelenmiştir.

İnceleme sonunda hatlardaki yük akışını maksimum yapacak rüzgar santrali gücü, Çatalca barası için tespit edilmiştir. Ayrıca ileriye dönük projeksiyonda ilave hatlar ile buradaki ilgili hatların yük iletme kapasiteleri üzerine geliştirici incelemelerde bulunulmuştur.





# **EVALUATION OF THE WIND TURBINE GRID INTEGRATION WITH THE SIMULATION TECHNIQS**

## **SUMMARY**

Generating electricity with the wind turbines is becoming more important and popular especially in the last decade all around the world as well as in Turkey. So, their system wide impact and how the wind turbines affect the behavior of electrical power systems both locally and system now need to be studied in more details.

The wind turbine's grid connection and their potential impacts over the grid are becoming more critical as their number is increasing so dramatically. Based on the country regulations, the wind turbines should meet certain criteria and their impact should remain in certain range. Beside of these, the regulations are being updated based on new developments and understandings very quickly.

In this thesis, the wind turbine's impact has been studied to be able to help to estimate system behavior before the real investment and to be able to update the wind tribune design before its implementation. By this, it is aimed to secure that the wind turbines can be simulated properly so the investment can be evaluated before it starts to impact the grid. Thanks to the simulations, before the wind turbine's connection the grid can be prepared in advance to be able to tolerate the load the variations. If it is not meeting the regulation's criteria, the wind tribune design can be updated accordingly before building it, so it can be avoided the damage before its real launch.

In this study, some other countries regulations such as Germany, Spain, Denmark, etc. have been compared with Turkey's one evaluated the similarities and the differences.

In Turkey, the wind tribunes' nation wide importance is increasing dramatically. Due to this development, it is becoming more critical to analyze in advance their potential impacts to be able to secure the stable power availability over the grid. Beside of these, there is also a need to study on the stability problems, power quality, guaranteed supply, etc. of the wind tribunes.

For this purpose, in this thesis, the wind tribune simulation technics has been explained. Çatalca, B. Çekmece and Silivri wind tribunes' status and their impacts have been evalauted with PTI/PSSE by calculating under different conditions like short circuit calculations , load analysis , etc. variations. It has been calculated how to maximize the utilization of the system and studied on the future expansion for the potential new wind tribunes.



## 1. GİRİŞ

Özellikle son on yılda ülkemizde hızla gelişen ve yüksek değerlere ulaşan rüzgar enerjisi santralleri ile elektrik üretiminin, ulusal elektrik altyapısı ile olan artan ilişkisi bu çalışmada esas konu olarak incelenmiştir. Sistemle olan bağlantı kriterleri ve mevcut yönetmeliklerin gelişen teknoloji ve ihtiyaçlarla olan ilişkisi ele alınmıştır.

On sene öncesine kadar kısıtlı ticari şartlar altında ve deneysel olarak nitelendirilebilecek üretimleriyle rüzgar santralleri, son beş yılda oluşan ciddi yatırımlarla Türkiye genelinde 840 MW kurulu güce ulaşmışlardır. Sistem içerisinde önemsiz büyüklükteki üretim miktarı kısa bir zaman zarfında kaydadeğer bir kapasiteye ulaşmıştır. İnşa halindeki 2350 MW gücündeki tesisinde de üretime geçmesiyle bu rakamların çok yakın bir tarihte 3000 MW Kurulu gücü aşması beklenmektedir [1].

Bu sebeple yönetmeliklerin ve rüzgar santrallerinin ulusal elektrik sistemine olan etkilerinin daha derinlemesine etüd edilmesi gerekmektedir.

Rüzgar enerjisi santralleri güçleri nispetinde sisteme bağlantı noktalarında farklı kriter ve düzenlemelere uymak zorundadırlar. Bu zorunluluklar, kurulu güçleri 100MW'ların da üzerine çıkmaya başlayan bölgesel üretim sahalarının, o bölgelerdeki sistem özelliklerini değiştirebilecek boyutlara ulaşmalarından kaynaklanmaktadır.

Ülkemizde 2008 yılı sonuna kadar bu kriterler çok sade ve az detay içeren hükümler ihtiva ederken 2009 yılı başı itibarıyla EPDK nın yaptığı güncellemelerle daha çok detay içeren bir hale kavuşmuştur. Farklı durum ve senaryoları da kapsayacak şekilde genişletilen en son düzenlemeler, yurtdışındaki gelişmeleri de kapsayacak hale getirilmiştir.

## 1.1 Tezin Amacı

Mevcut yurtdışı ve ülkemiz yönetmeliklerinin incelenmesi, karşılaştırılması, benzetim temelli inceleme teknikleri yardımıyla bağlantı noktasındaki sistem davranışlarının incelemelerinin yapılması, elde edilen sonuçların geliştirici öneriler olarak sunulması amaçlanmıştır.

Ayrıca ülkemizde rüzgar türbinleri ile enerji üretilmesine yönelik uygulanan kural, yönetmelik ve yasaların incelemesi yapılmıştır. Emsal niteliğindeki diğer ülke yönetmelik ve uygulamalarına da özet olarak değinilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda varsa tavsiye ve geliştirici öneriler sıralanmıştır.

PTI PSS/E benzetim temelli inceleme tekniği yardımıyla da örnek bir üretim sahasının, şebeke ile olan bağlantı analizi yapılarak, bağlantı şartlarının değiştirilmesi ile ne gibi etkilerin olacağı araştırılmıştır.

## 1.2 Literatür Özeti

1990 ların başlarında fosil yakıtların kullanılmasının getirdiği olumsuz etkilerin iyice anlaşılmasıyla, yenilebilir enerji kaynaklarına ilgi kaydedeğer boyutlara ulaşmıştır.

Bu ilgiyle özellikle rüzgar enerjisi santralleri ile ilgili araştırma ve çalışmalar birçok koldan ilerlemeye başlamıştır [2, 3].

Rüzgar gücünün uygun şekilde enerjiye çevrilmesi gerekmektedir. Bu noktada Rüzgar türbininin dizaynına rüzgar enerjisinin mekanik ve elektriksel enerjiye en verimli ve sorunsuz halde dönüştürülmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır [4].

Sağlam, güçlü, yüksek kapasiteli türbinler o oranda büyük generatörleri sürebildiğinden daha yüksek kule, daha büyük pervane ve diğer donanın geliştirilmesi gerekmiştir [5].

Bunlar yapılırken benzetim temelli modelleme araçlarına olan ihtiyaç sebebiyle bir çok modelleme arayüzü oluşturulmuş ve bunlar yeni santral tasarımları için kullanılmaya başlanmıştır [5].

Bir taraftanda verimliliği arttırmak için daha fazla güç elde edecek generator ve kontrol devrelerinin oluşturulmasına başlanmıştır. Farklı generator tipleri ve kontrol düzenekleri bu amaçla incelenmiş ve irdelenmiştir [7].

Şebekelere bağlantı sırasında minimum olumsuz etkileri içeren, sürekli ve temiz elektrik enerjisinin şebekeye aktarılması ihtiyacı farklı generator tiplerinin geliştirilmesine sebep olmuştur [8].

Bir diğer çalışma alanı da türbin boyutlarının büyümesi ile elde edilen gücün artması ve birçok türbinin bir araya gelerek oluşturduğu büyük üretim sahalarının şebekeye katılım etkilerinin incelenmesi çalışmalarıdır. Şebeke üzerindeki etkilerinin araştırılması, yüksek arzın yaratabileceği olumsuz etkilerin araştırılması bu çalışmaların esas konusu olmuştur [9].

Bu çalışmalar farklı bir çalışma ve geliştirme ihtiyacında beraberinde getirmiştir. Ulusal şebeke yönetmelikleri rüzgar santrallerinin oluşturduğu yüksek güçleri doğru şekilde entegre edebilecek kapasiteye güncellenmeleri gerektirmektedir.

Rüzgar santrallerinin şebeke ile bağlantısı ile ilgili [10]'da verilen çalışmada özellikle artan üretimin doğru ve sistemin kararlılığını bozmayacak şekilde nasıl aktarılması konusu irdelenmiştir.

Diğer taraftan şebekeye üretim tesislerin bağlantılarının ve bağlanmış sistemlerin çalışma esasları da ayrıca detaylı olarak bir çok çalışmada incelenmiştir. Özellikle Almanya, ABD, İspanya, Danimarka gibi ülkeleri konu alan incelemeler, araştırmacılara ülkelerin birbirleriyle olan benzerlik ve farklılıklarını görme fırsatı vermektedir [11,12].

Bir taraftan rüzgar türbinlerinin boyut ve güç olarak geliştirilmesi sürerken, artan arz sebebiyle şebekelerin bu duruma karşı kendilerini uyarlaması gereği, birçok ülkenin kendi şebeke yönetmeliklerini de bu değişimlere göre yenilemeye başlamasına sebep olmuştur.

Bu tez çalışmasında yukarıda tema olarak bahsedilen bu konular bir bütünlük içinde irdelenmiştir.



## **2. RÜZGAR SANTRALLERİNE GENEL BAKIŞ**

### **2.1 Rüzgar Santralleri Hakkında Temel Bilgiler**

Son yıllarda çevresel duyarlılığın artması, politik kısıtlar ve teknolojiye hızlı gelişim kısa süre öncesine kadar deneysel düzeydeki rüzgar enerji santralleri kavramını ekonomik bir enerji üretim şekli haline getirmiştir. Pek çok gelişmiş ülke bu yenilenebilir enerji kaynağından daha fazla oranda faydalanır olmuştur.

Dünyada toplam üretim 120GW'lar mertebesine ulaşmış, ABD, Almanya, Danimarka, İspanya, Çin ve Hindistan bu alanda çok ilerlemişlerdir. Bu altı ülke toplam rüzgar enerjisi üretiminin %75'ten fazlasını temin eder olmuşlardır. Hatta İspanya enerji ihtiyacının %15'lik kısmını, Danimarka ise %20'lik kısmını bu enerji kaynağından karşılamaktadır [13].

Temel olarak bir rüzgar enerji santrali, sistemi taşıyan kule, generator, elektronik gerilim ve frekans dönüştürücüleri, mekanik hız dönüştürücüleri ve pervaneden oluşur. Rüzgarın mekanik enerjisi rotor üzerinden generatöre aktarılarak elektrik enerjisine dönüştürülür.

### **2.2 Rüzgar Enerjisi Santrallerinde Kullanılan En Yaygın Generatör Tipleri**

Rüzgar enerjisi santrallerindeki generatör tiplerini, sabit hızlı ve değişken hızlı generatör modelleri olarak iki temel kategoride toplamak mümkündür. Bu kategoriler kendi içlerinde asenkron ve senkron generatör çeşitleri ile ayrıca farklı gruplara ayrılırlar.

Asenkron generatörler nispeten basit mekanik yapıları, kolay arıza çıkarmamaları, yaygın olarak kullanılmaları ve maliyetinin düşük olması gibi sebeplerle rüzgar enerji santrallerinde yaygın kullanılmaktadır. En büyük olumsuz tarafı reaktif mınatıslanma akımına olan ihtiyacıdır. Asenkron generatörler rotor yapılarına göre iki farklı tipte üretilir: Rotoru sincap kafesli asenkron generatör ve rotoru bilezikli asenkron generatör.

Senkron generatörler, üç fazlı sargıların oluşturduğu stator ve manyetik alanı oluşturan rotordan meydana gelir. Senkron generatörler sabit hıza bağlı olarak sabit frekansta çalıştırlarından, sabit hızlı rüzgar enerjisi santralleri için daha uygundur. Rotorun oluşturduğu manyetik alan ya sürekli mıknatıslardan ya da sargılardan akan doğru akımdan üretilir. Elektromanyetik tork üretiminde stator akımının tamamı kullanıldığı için generatörün verimi yüksektir.

Bu tip generatörlerin en büyük faydası, makinanın güç faktörünün doğrudan kontrol edilebilmesidir. Senkron generatörlerin, reaktif güç kompanzasyon sistemine ihtiyaçlarının olmaması asenkron generatörlerle kıyaslandığında bir avantajdır [14].

En yaygın olan generatör tiplerine sırayla değinirsek,

- a) Sincap kafesli asenkron generatör ( Sabit hızlı türbinlerde)
- b) Rotoru sargılı senkron generatör ( Sabit hızlı türbinlerde )
- c) Asenkron generatör ( Değişken hızlı türbinlerde )
- d) Çift beslemeli asenkron generatör ( Değişken hızlı türbinlerde )
- e) Uyarma sargılı ve kendinden mıknatıslı senkron generatör ( Değişken hızlı türbinlerde )
- f) Bilezikli asenkron generatör ( Değişken hızlı türbinlerde ) [10].

### **2.2.1 Sincap kafesli asenkron generatör**

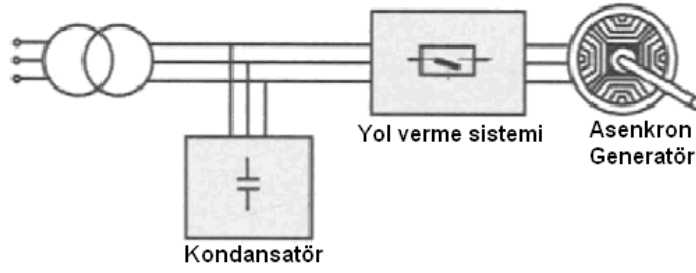
Sincap kafesli asenkron makinalar basit yapıları, güvenilir, az bakım gerektirmeleri ve yüksek verimlilikte bir yapıya sahip olmaları sebebiyle uygulamada sıkça kullanılmaktadırlar.

Dezavantaj olarak doğrudan şebekeye bağlı olması ve uyarma akımını şebekeden alması sebebiyle kalkış anında istenmeyen etkileri önlem alınmazsa şebekeye yansıtılmaktadır.

Bu sebeple reaktif güç kompanzasyonu ve yol verme düzenekleri gereklidir [14].

Şekil 2.1'de örnek şema verilmiştir.

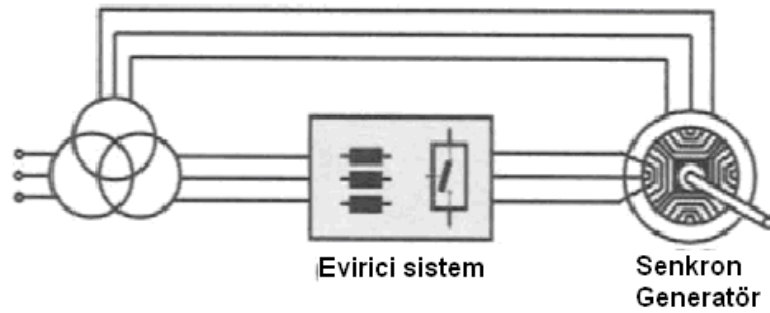




Şekil 2.1 : Sincap kafesli sabit hızlı asenkron generatör [14].

### 2.2.2 Rotoru sargılı senkron generatör

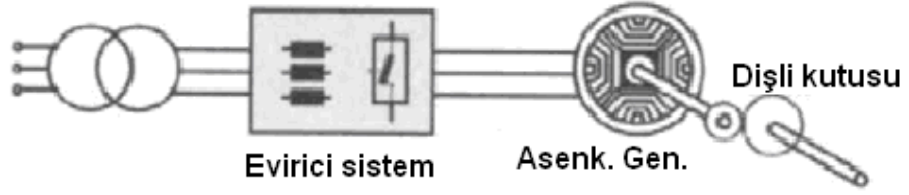
Daha nadiren kullanılan bu tip generatörler, statorun şebekeye doğrudan bağlı olması sebebiyle sabit generator dönüş hızı gerektirmektedir. Senkron hızın korunması önemli olduğundan kontrolü zordur. Bununla beraber uygun kutup sayılı generatörlerle dişli kutusuna ihtiyaç olmadan şebekeye bağlanabilir. Ayrıca kompanzasyon ihtiyacı da yoktur [3]. Şekil 2.2’de basit şeması verilmiştir.



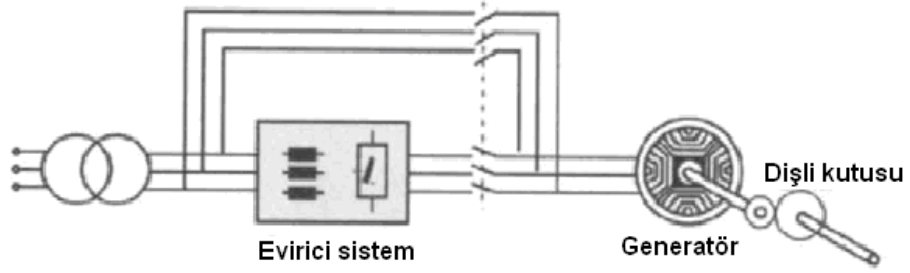
Şekil 2.2 : Rotoru sargılı sabit hızlı senkron generatör.

### 2.2.3 Asenkron generatör ( Değişken hızlı türbinlerde )

Bu tip generatörleri elde etmek için en basit yöntem güç elektroniği düzenekleri ile konvansiyonel sincap kafesli asenkron generatörün değişken hızlı generatöre dönüştürülmesidir. Değişken frekans ve gerilim üreten generator güç elektroniği tertibatı ile sabit frekans ve gerilim üretir hale getirilir [14]. Şekil 2.3’te ve Şekil 2.4’te örnek şemalar verilmiştir.



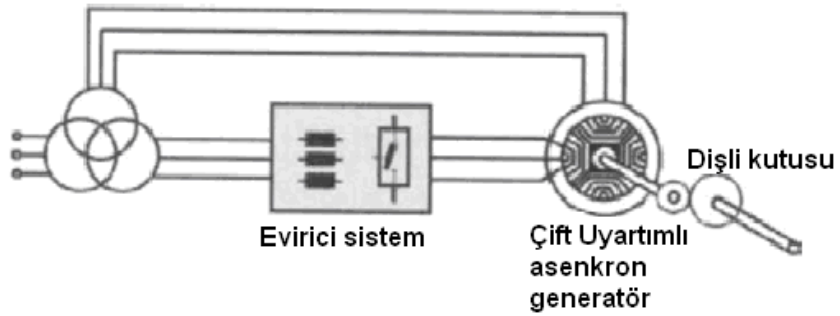
Şekil 2.3 : Sincap kafesli asenkron generatör [14].



Şekil 2.4 : Sabit hız ve değişken hız kontrollü asenkron generatör [14].

#### 2.2.4 Çift uyarımlı asenkron generatör

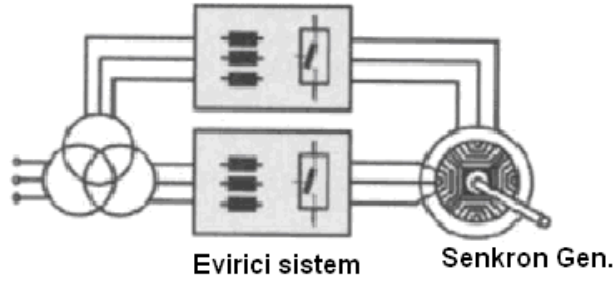
Sincap kafesli asenkron generatörle kıyaslandığında, çift beslemeli asenkron generatörün en temel farkı, rotor sargılarına da bağlantı yapılarak, makineyi kontrol etme imkanı sağlar ki bu aslında rotor gerilimine müdahale imkanı demektir. Bu da hem rotor hem de statordan manyetik akıyı kontrol ederek daha iyi bir çıkış gerilimi elde edilmesini sağlamaktadır [2]. Örnek şema Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 : Çift uyarımlı asenkron generatör [14].

### 2.2.5 Rotoru sargılı senkron generatör ( Değişken hızlı türbinlerde )

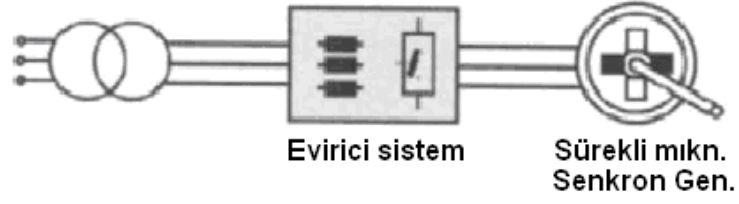
Dönen donanımlar rüzgar santralleri için her zaman sorundur. Bu sebeple ne kadar az dönen parça o oranda az servis demektir. Bu amaçla pervane ile generator arasındaki dişli kutusundan kurtulmak için en uygulanabilir yöntem uygun kutup sayısına sahip generator kullanmaktır. Asenkron generatörlere göre dişli kutusunun olmaması maliyet, mekanik gürültü gibi etkenlerde olumlu durum yaratırken, generatörün büyümesi ve tamamen güç elektroniği destekli çıkış gerilimi düzeneklerine ihtiyacı gerektirir. Burada generatörün ihtiyaç duyduğu uyarma akımı ya harici bir kaynaktan yada sürekli manyetizmaya sahip güçlü mıknatıslardan temin edilir. Şekil 2.6'da örnek çizim verilmiştir.



Şekil 2.6 : Tam eviricili senkron generatör [14].

Sürekli manyetik mıknatıslı generatörler herhangi bir enerji kaynağına gerek duymadan kendinden uyarımlı olması sebebiyle rüzgar santrali uygulamalarında önerilmektedir. En büyük artışı herhangi bir hızda güç üretebilmesidir. Bakım maliyeti düşüktür. Generatör hızı herhangi bir dişli kutusuna gerek kalmadan kontrol edilebilir. Generatörde stator sargılıdır ve rotoruna sürekli mıknatıslar yerleştirilir.

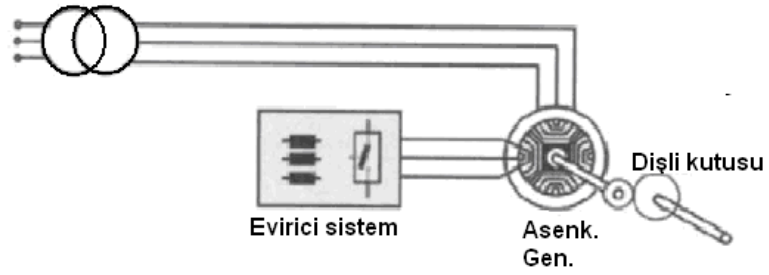
Sürekli mıknatıslı senkron generatörler harekete geçme anında senkronizasyonda ve gerilim regülasyonunda bazı sorunlar çıkarabilir. Ayrıca sürekli mıknatısların fiyatları çok yüksektir. Bir dezavantajda mıknatısların manyetik özelliklerinin sıcaklıkla değişmesidir. Yüksek sıcaklıklarda ve kısa devre durumlarında mıknatısların manyetik özelliklerini kaybettikleri bilinmektedir. Bu sebeple rotor sıcaklıklarının soğutma sistemleri ile kontrol edilmeleri gereği sistemin en büyük dezavantajları arasında yer alır. Şekil 2.7'de örnek şema görülmektedir.



**Şekil 2.7 :** Sürekli mıknatıslı senkron generatör [14].

### 2.2.6 Bilezikli asenkron generatör

Bu tip generatörlerde rotorun elektriksel özellikleri dışardan kontrol edilebilir ve böylece rotor gerilimi değiştirilebilir. Rotor sargı uçları rotorla beraber dönen bileziklere bağlıdır. Bilezikler üzerinde sabit duran fırçalar yardımı ile rotor sargıları üç fazlı bir yol verici dirence yada dış kaynağa bağlanabilir. Böylece yol alma akımı sınırlandırıldığı gibi hız ayarında yapılabilir. Dezavantajı ise pahalı olması ve sincap kafesli asenkron generatör kadar sağlam olmamasıdır. Şekil 2.8 örnek çizimi göstermektedir.



**Şekil 2.8 :** Bilezikli değişken hızlı asenkron generatör [14].

### **3. RÜZGAR SANTRALLERİ İÇİN SİSTEM ENTEGRASYONUNDA UYULMASI GEREKEN KRİTERLER VE YÖNETMELİKLER**

#### **3.1 Türkiye’de Uygulanan Yönetmeliklere Genel Bakış**

31-12-2008 tarihinden önce geçici kabulü yapılan rüzgar santralleri için geçerli hüküm, bir bağlantı noktasında, sistemin kısa devre gücünün en fazla %5’i kadar kurulu güçte rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi bağlantısına izin verilir ilkesi ile açıklanmaktaydı. Bu yönetmelik 10-11-2004 tarihinde resmi gazetede yayınlanan “Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenliği ve Kalitesi Yönetmeliği, Üretim Şalt Tesisleri Tasarım Esasları” bölümünde belirtilmiştir.

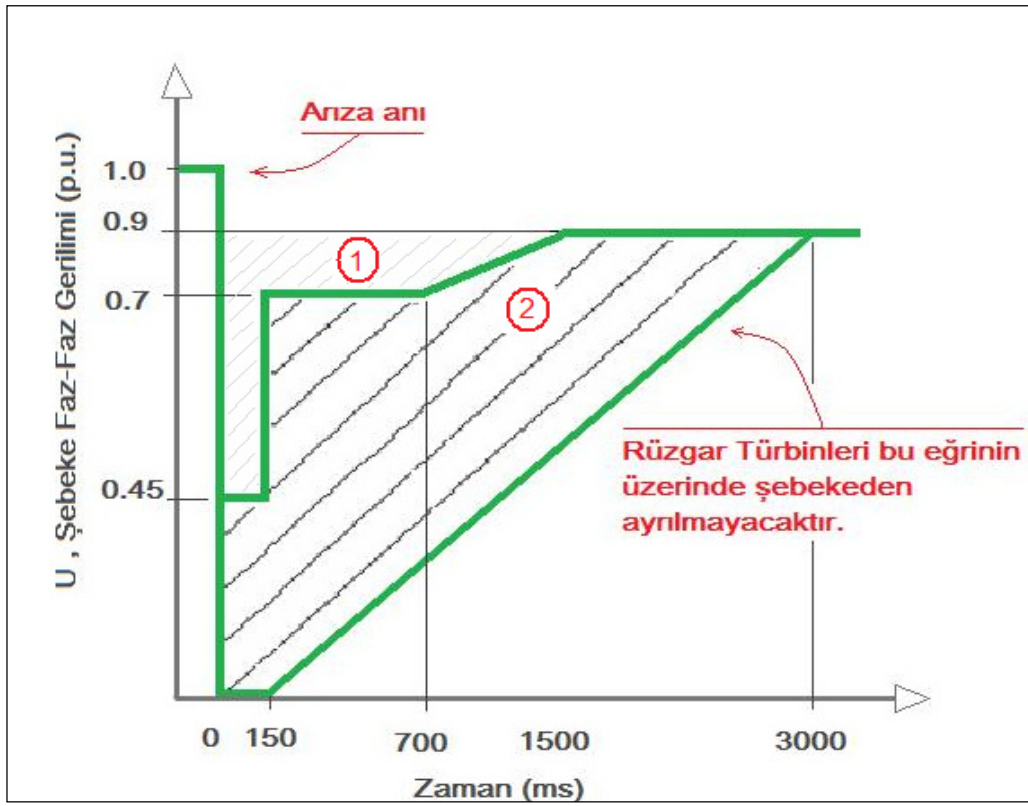
Dalgalı yüklerin yoğun olarak bulunduğu bölgeler için TEİAŞ tarafından ilgili mevzuata göre verilen bağlantı görüşüne ilişkin değerlendirmede, bağlantı noktasındaki mevcut dalgalı yüklerin etkisinin de dikkate alınması ve rüzgar hızının belli limitleri aşması durumunda rüzgar enerjisine dayalı üretim tesislerinin otomatik olarak devre dışı olma özellikleri dikkate alınarak, sistemde ani gerilim değişimi ve frekans dalgalanmalarını önlemek amacıyla sistem döner yedeği miktarını aşmayacak kurulu güçte rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi bağlantısına izin verilmesi esası belirtilmiştir [15].

Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesislerinin arıza ve arıza sonrası performansı bu yönetmeliğin EK-7’inde sunulan grafiğe uygun olarak tasarımılandırılır [15]. Bu grafik Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesislerinin, reaktif güç ve gerilim değişimlerinde sisteme verecekleri rahatsızlığın sınırlandırılması amacıyla rüzgar enerjisine dayalı asenkron rüzgar türbinine sahip üretim tesislerinin güç faktörü 0.99’dan düşük olamaması ve güç faktörünün kullanıcının kuracağı uygun kompanzasyon tesisleriyle yükseltilmesi gereği vardır.

31-12-2008 tarihi itibarıyla geçici kabulü yapılmış rüzgar enerjisine dayalı üretim tesislerinin arıza ve arıza sonrası performansı bu yönetmeliğin ek-7'sinde sunulan grafiğe uygun olarak tasarımılandırılması beklenmektedir. Bu tarihten sonra ise elektrik piyasası şebeke yönetmeliğindeki ek-18 rüzgar türbinlerinin arıza ve arıza sonrasında sağlaması gereken tepki eğrisine göre değerlendirmeler takip edilmektedir.

Elektrik piyasası şebeke yönetmeliğine 24-09-2008'de eklenen değişikliklerle elektrik iletim sistemi arz güvenliği ve kalitesi yönetmeliği daha da geliştirilmiştir. Ayrıca, "Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesislerinin frekans kontrolüne katılmaları istenmez" hükmü ilave edilmiştir [16].

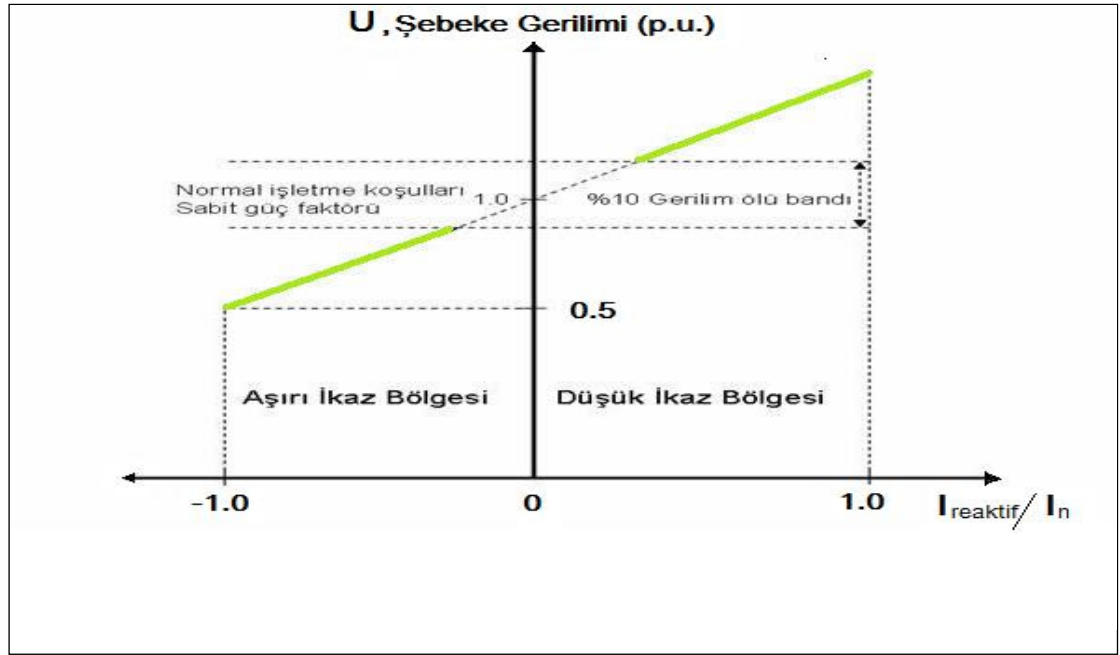


**Şekil 3.1** : 2009 yılından itibaren kesin kabulü yapılmış rüzgar enerji santrallerinin arıza ve arıza sonrasında sağlaması gereken tepkiye ait eğri [15].

Bu değişiklikler, iletim sistemine bağlı rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisleri ile kurulu gücü 10 MW ve üzerinde olan dağıtım sistemine bağlı rüzgar enerjisine dayalı üretim tesislerinde uygulanmaktadır. İletim veya dağıtım sistemi bağlantı noktasındaki şebeke faz-faz geriliminin Şekil 3.1'de verilen 1 numaralı ve 2 numaralı bölgelerde kaldığı süre boyunca, herhangi bir fazda veya tüm fazlarda oluşan gerilim düşümlerinde rüzgar türbinleri şebekeye bağlı kalmalıdır.

Arıza sırasında gerilim düşümünün 1 numaralı bölgede kaldığı durumlarda, rüzgar türbini aktif gücü, arıza temizlendikten hemen sonra saniyede nominal gücünün %20'si oranında artırılarak, üretebilecek maksimum aktif güç değerine ulaşmalıdır.

Arıza sırasında gerilim düşümünün 2 numaralı bölgede kaldığı durumlarda ise, rüzgar türbini aktif gücü, arıza temizlendikten hemen sonra saniyede nominal gücünün %5'i oranında artırılarak, üretebilecek maksimum aktif güç değerine ulaşmalıdır. Gerilim dalgalanmalarında, rüzgar türbinlerinin vermesi gereken reaktif güç tepkisi Şekil 3.2'deki gibi olmalıdır.



**Şekil 3.2 :** Gerilim dalgalanmalarında, rüzgar türbinlerinin vermesi gereken reaktif güç tepkisi [15].

Şebeke geriliminde meydana gelen %10'a kadar olan dalgalanmalarda rüzgar türbini herhangi bir tepki vermeyecektir. Bu sınırın üzerindeki dalgalanmalarda, nominal gerilimin %1'lik değişimi için nominal akımın %2'si oranında reaktif akım desteği gerekmektedir. Bu destek 20 milisaniye içinde gerçekleşmeli ve bu desteği 3 saniye boyunca sürdürmelidir.

### 3.1.1 Aktif güç kontrolü

İletim sistemine bağlı rüzgar enerjisine dayalı üretim tesislerinde yönetmeliğin 134. maddesinde tanımlanan acil durumlarda aktif güç kontrolü yapılabilecektir.

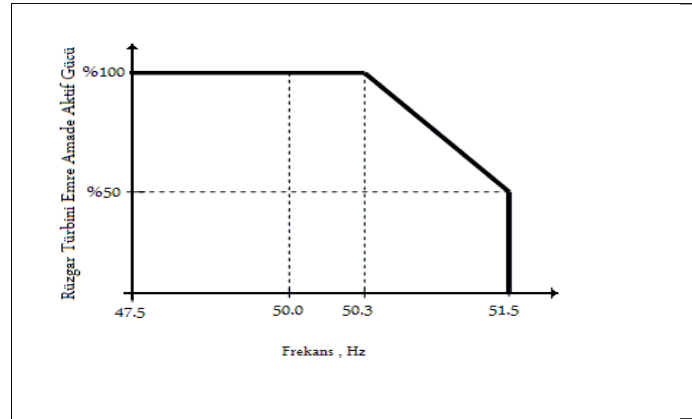
Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisinin aktif güç çıkışı, gerektiğinde TEİAŞ tarafından gönderilecek sinyallerle, tesisin toplam kurulu gücünün %20 - %100'ü arasında otomatik olarak kontrol edilebilir olmalıdır. Bu kapsamda;

a) Kurulu gücü 100 MW ve altında olan rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisleri için, yük alma/atma hızı dakikada kurulu gücün %5'i kadar olmalıdır.

b) Kurulu gücü 100 MW'ın üzerinde olan rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisleri için, yük alma/atma hızı dakikada kurulu gücün %4'ü kadar olmalıdır.

### 3.1.2 Frekans tepkisi

Rüzgar türbinleri bu yönetmeliğin 11. maddesinde belirtilen frekans aralıkları ve çalışma sürelerini sağlamalıdır. Bu çalışma şartlarına ilave olarak, şebeke frekansının 50.2 Hz'in üzerinde olduğu durumlarda ilave rüzgar türbini devreye girmemelidir. Rüzgar türbini frekans tepkisi Şekil 3.3'te verilen güç-frekans eğrisi sınırları içinde kalacak şekilde olmalıdır.



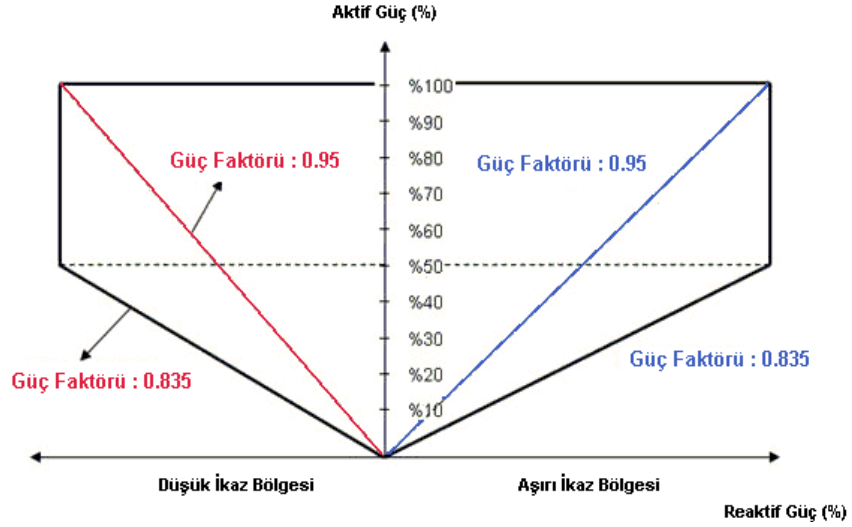
Şekil 3.3 : Rüzgar türbini güç-frekans eğrisi [15].

Rüzgar türbini, şebeke frekansı 47.5 - 50.3 Hz aralığında olduğu sürece emreamade gücünün tamamını üretebilecek özellikte olmalıdır. Şebeke frekansının 50.3 Hz'in üzerine çıkması durumunda ise Şekil 3.3'te verilen eğriyi takip ederek her 100 mHz frekans artışı için emreamade gücünün %5'i oranında yük atabilmelidir.

### 3.1.3 Reaktif güç kapasitesi

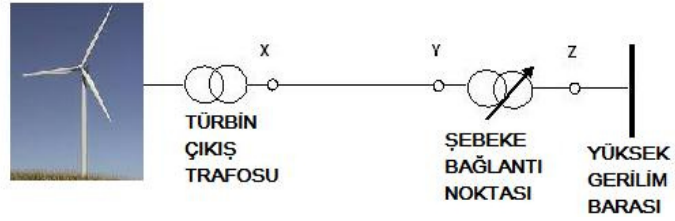
Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi iletim sistemi bağlantı noktasında, Şekil 3.4'te koyu çizgilerle belirtilen sınırlar dâhilindeki güç faktörü değerleri için her noktada çalışabilir olmalıdır.





Şekil 3.4 : Rüzgar santrali reaktif güç kapasite eğrisi [15].

Şebekeye bağlı trafo kademe oranları, Şekil 3.5'de Z noktasında şebeke gerilim aralığındaki (nominal gerilimin  $\pm\%10$ 'u) her gerilim değeri için Y noktasında nominal gerilimi sağlamalıdır.



Şekil 3.5 : Rüzgar santrali gerilim ayar noktaları [15].

İletim sistemine doğrudan bağlı rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesislerinin şebeke bağlantı trafoları yük altında otomatik kademe değiştirme özelliğine sahip olmalıdır. Trafoların sahip olması gerekli diğer özellikler bu yönetmelik ve elektrik iletim sistemi arz güvenilirliği ve kalitesi yönetmeliğinde tanımlanmaktadır.

### 3.1.4 Türkiye yönetmeliklerine ilişkin değerlendirme

2010 başı itibarıyla toplam EPDK kayıtlarında işletmedeki toplam üretim tesisi kurulu gücü 840 MW olarak belirtilmiştir. Bununla birlikte inşa halindeki toplam kapasitede 2350 MW olarak yine EPDK tarafından duyurulmuştur [1].

Bu miktarlar ulusal şebeke için oldukça önemli miktarları ifade etmektedir. Bu miktardaki arzın mutlaka doğru şekilde yönetilmesi gerekmektedir.

Bağlantı noktalarında kısa devre analizleri, hatlar üzerindeki iletim kapasiteleri ve rezerv miktarlarının doğru şekilde incelenmesi ve uygun yönlendirmelerin yatırımcılara yapılması gerekmektedir.

Özellikle %5Sk olarak ifade edilen bağlantı noktasındaki kısa devre gücünün aşılabilmesi kriteri daha çok şebeke kararlılığı, enerji kalitesi ve rezerv miktarının geliştirilmesi ile daha yüksek değerlere çekilebilmelidir.

Bugün Danimarka elindeki rezerv miktarının fazlalığı ve RES'lerin toplam üretiminin, talebin %20'sini aşan oranda karşılaması sebebiyle çok daha yüksek miktarlarda RES arzına imkan yaratmıştır [13].

### **3.2 Dünyada Uygulanan Bazı Yönetmeliklere Genel Bakış**

Rüzgar enerjisi santrallerinin şebekeye her geçen yıl daha fazla güçte ve sayıda bağlanması, şebekede bazı kararlılık sorunlarının da beraberinde getirmeye başlamıştır. Şebekenin sürekli bir şekilde ve istenen kriterlerde enerji talebini karşılayabilmesi için rüzgar santrallerinin şebekeye olan katılımlarında, her ülke temelde benzer özelliklere sahip olan ancak detayda ülkelerin sistemlerine ve şartlarına uygun kurallar geliştirmek durumunda kalmışlardır.

Belli başlı santral kurulu gücüne sahip ülkelerin temel yönetmelikleri karşılaştırmalı olarak ve grafiksel öğelerle de desteklenerek incelenmiştir. Bu incelemeler neticesinde ülkemizde uygulanan kısıtlarla karşılaştırma sonrası ayrıca bazı değerlendirmeler yapılmıştır.

ABD 2009 yılı itibarıyla 25 GW'ı aşan kurulu gücü ile dünyada kurulu gücü en fazla olan ülke durumundadır. Almanya, 24 GW'lık üretimi ile Avrupa'da kurulu gücü en fazla olan rüzgar enerjisi üreticisi ülkedir. Danimarka'da, toplam üretim kapasitesinin %20 rüzgar enerji santrallerinden sağlanması sebebiyle oransal olarak en yüksek rüzgar enerjisi üretim kapasitesine sahip ülkedir. İspanya, Almanya'nın arkasından 17 GW ile Avrupa'da en yüksek ikinci kurulu gücüne sahiptir. Bu açıdan bu dört ülkeyi daha detaylı incelemek yerinde olacaktır [13].

Arıza sırasında sistemin şebekeye bağlı kalabilmesi ve şebekeyi destekleyebilmesi yeteneği önemlidir. Ayrıca reaktif gücün dengelenmesi için şebeke geriliminin kontrolü, aktif gücün kontrolü içinde şebeke frekansının desteklenmesi öncelikli değerlerdir.

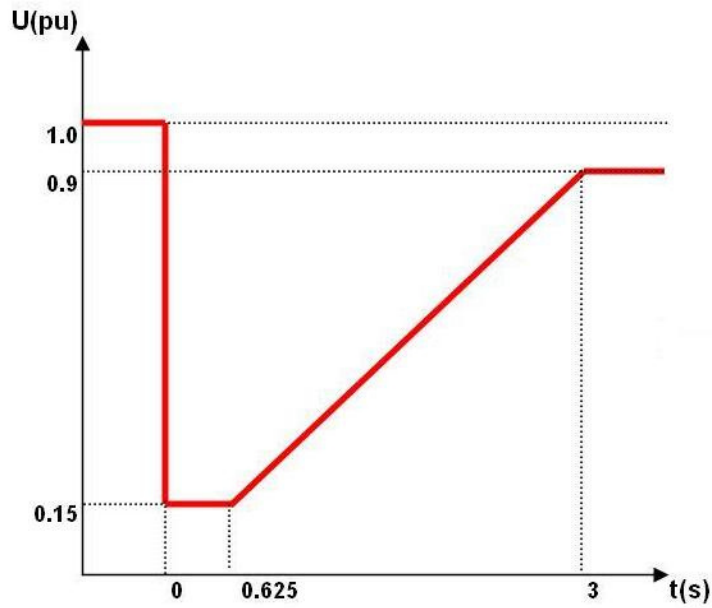
Bu açıdan incelemeler sırasında üç temel sınırlandırma üzerinden hareket edilecektir.

1. Geçici arıza davranışı
2. Frekans kontrolü ve aralığı
3. Gerilim kontrolü

### 3.2.1 Geçici arıza davranışı

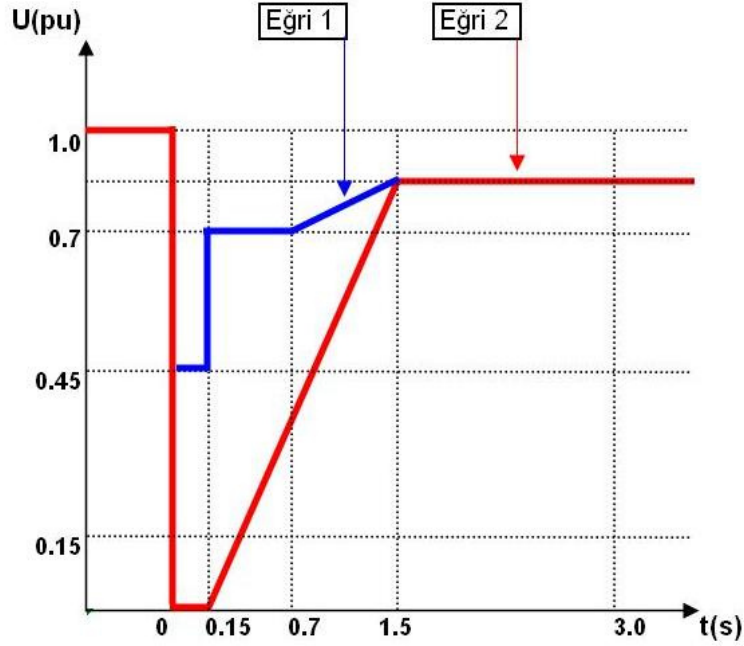
Santrallerin güçleri oransal olarak yüksek değerlere ulaşmadığı geçmiş yıllarda şebekedeki arıza hallerinde şebekeden ayrılması istenirdi. Ancak günümüzdeki yüksek orandaki katılım sebebiyle belli seviyelerde şebekede kalarak arızanın yarattığı etkiyi azaltma yönünde katkı vermeleri beklenmektedir.

ABD’de, arıza anında gerilim, nominal gerilimin %15 i seviyesinden daha yukarıda ve minimum 625 ms süresince bunu koruyabiliyorsa, santral şebekeden ayrılmaması istenmektedir. İlave olarak, gerilim 3s sonunda arıza öncesi nominal gerilimin %90 ulaşyorsa santral yine şebekeden ayrılmamalıdır. Şekil 3.6’da ilgili eğri gösterilmiştir [10].



**Şekil 3.6 :** A.B.D. için geçici arıza durumunda rüzgar santralinin davranışı [11].

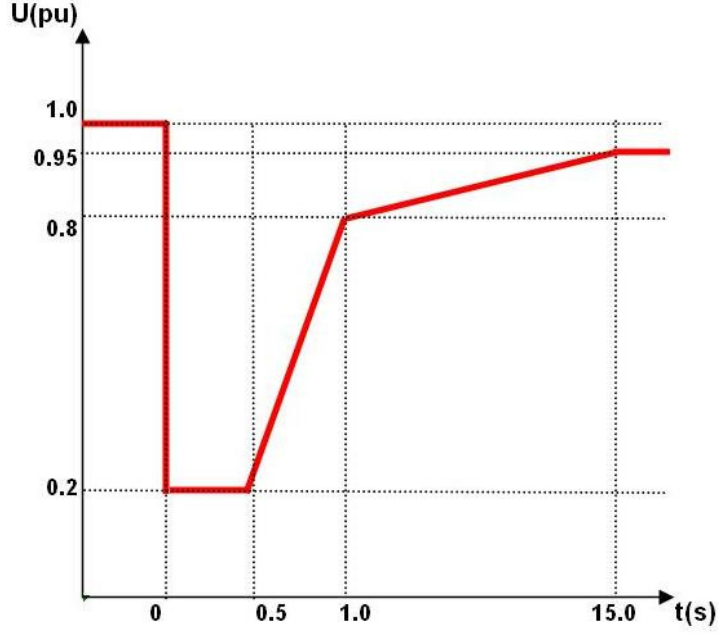
Almanya’da, arıza durumlarında sisteme katkı yapılması istenmektedir. Acil katkı gerektiren durumlarda saniyede nominal gücün %20’si talep edilir. Bununla birlikte şebekeye doğrudan bağlı olan senkron generatörler Şekil 3.7’de verilen Eğri 1 e göre kısa devre anından 150ms sonra, kısa devre öncesi nominal gerilimin %70 ile sınırlı bölgede şebekeden ayrılamazlar. Bunun dışında kalan üretim birimleri Eğri 2 ye uygun şekilde şebekeye bağlı kalmalıdır [17].



**Şekil 3.7 :** Almanya için geçici arıza durumunda rüzgar santralinin davranışı [17].

İspanya, üretim birimlerinin geçici arıza durumlarında uygulayacağı bağlantı şartı Şekil 3.8’de verilen eğriye göre yapılmaktadır [11].

Danimarka’ da, normal işletme koşullarında işletme gerilimi aralığı, nominal gerilimin  $\pm\%10$  toleranslı halidir. Arıza durumunun ilk 100ms sinde %25 nominal gerilim seviyesine kadar şebekeye bağlı kalması istenmektedir. Daha sonraki 750ms sonunda arıza öncesi şebeke geriliminin %75 ine ulaşılması beklenir. 10s sonunda şebeke geriliminin %90 oranında düzeltilmiş olması gerektiğini öngörür. Bu süre zarfında santral şebekeye yine bağlı kalmalıdır. Ayrıca ilk 750ms de %20 aşırı gerilimde de şebekeye bağlı kalınması beklenmektedir. Şekil 3.9’da kısıtlar gösterilmiştir [18,19].



**Şekil 3.8** : İspanya için geçici arıza durumunda rüzgar santralının davranışı [11].

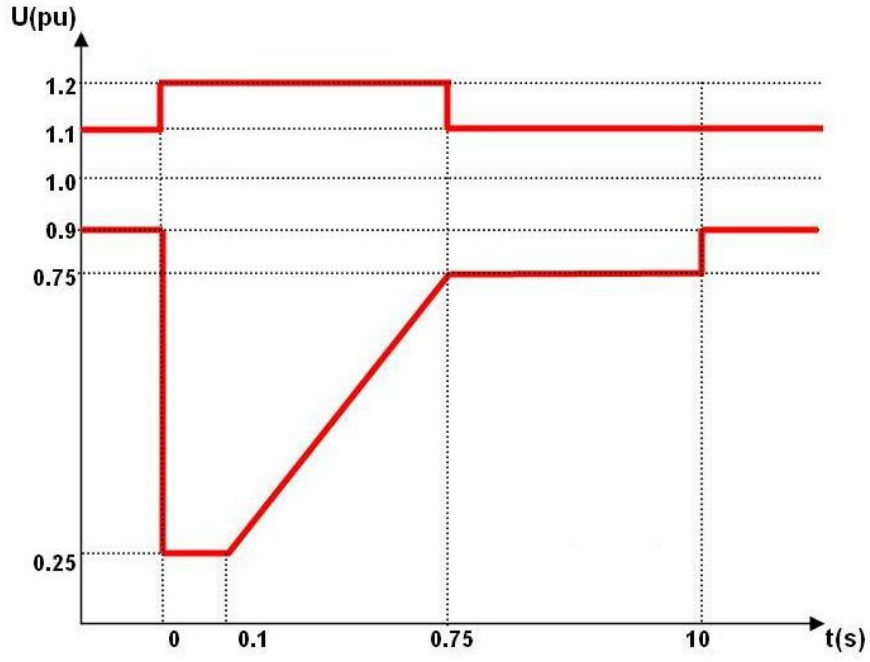
### 3.2.2 Frekans kontrolü ve frekans aralığı

Frekans kontrolü için gerektiğinde aktif güç arzını değiştirebilme imkanı bazı ülke yönetmeliklerinde istenen bir durumdur. Bu sebeple aktif güç kontrolü, belirlenmiş artış ve azalış oranlarıyla sağlanmaktadır.

A.B.D. de frekans kontrolü ve aralığı tanımlanmamıştır. Bu sebeple bağlantıda kalma ve ayrılma kriteri frekansla ilişkilendirilmemiştir.

Almanya' da aktif güç arzı, santralin üretebildiği maksimum değerden, istenen herhangi bir değere değiştiriliyor olmalıdır. Üretim biriminin ürettiği gücü bağlantıdan ayrılmadan dakikada nominal değerinin en az %10 una kadar değiştiriliyor olmalıdır. Frekans 47.5 Hz ile 50.2 Hz arasında herhangi bir kısıtlama yoktur. 50.2 Hz den yüksek frekans değerlerinde, frekans 50.05 Hz ye gelinceye kadar yük atılır. Sonrasında yine aktif güç artırılır. Üretim birimi 47.5 Hz ile 51.5 Hz dışında kalan bölgede santral şebekeden ayrılabilir [17].

İspanya'da, rüzgar generatörleri 48 Hz in altında 3 saniye den uzun kalırlarsa veya 51 Hz yi geçerse şebekeden ayrılmaları gerekir. Bununla beraber İspanya da frekans kontrolü tanımlanmamıştır [11].



**Şekil 3.9** : Danimarka için arıza durumunda rüzgar santralının davranışı [18,19].

Danimarka’da 100 KV üzerinde 49.5 Hz ile 50.5 Hz, 100 KV un altında 49.0 Hz ile 51.0 Hz arasında normal çalışma şartları geçerlidir. Ayrıca frekans kontrolüne yardımcı olmak için üretim biriminde dakikada nominal yükün %10 unu oranında artma yada azaltma yapabilmesi beklenir [18,19].

Genel gösterim Çizelge 3.1 de verilmiştir.

**Çizelge 3.1** : Aktif güç desteği ile ilgili genel gösterim [11].

Ülkeler	Tanımlanmış uygulama
A.B.D.	-
Almanya	Dakikada enaz %10 aktif güç desteği
İspanya	-
Danimarka	Dakikada %10 ile %100 arası aktif güç desteği
Türkiye	Dakikada, her 0.1 Hz için %5 aktif güç desteği

### 3.2.3 Gerilim kontrolü

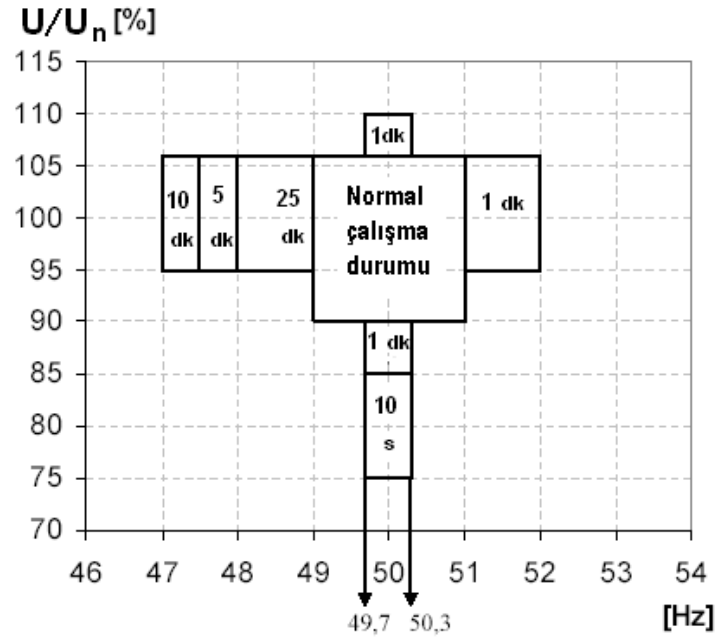
Rüzgar enerji santralleri, ölçüleri belirlenmiş gerilim değişimleri için şebekeye bağlı kalmalıdır. Santralin reaktif güç sağlama yeteneği gerilim kontrolünü doğrudan ilgilendirir.

A.B.D. de, bağlantı noktasındaki 0.95 kapasitif ve 0.95 endüktif güç faktörü sınırları içinde kalmalıdır [11].

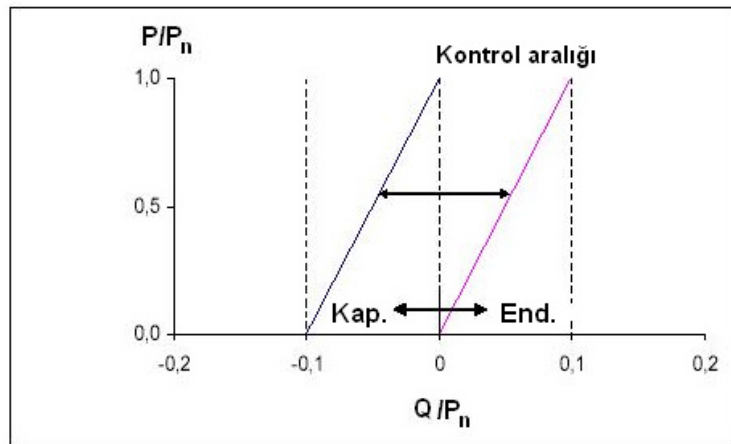
Almanya için, bağlantı noktasında güç faktörü 0.925 kapasitif ve 0.95 endüktif değerleri arasında olmalıdır [17].

İspanya için voltaj kontrolü tanımlanan bir uygulama yoktur [11].

Danimarka' da gerilim kontrolü için frekansa bağlı olarak farklı alanlarda, belirli süreler öngörülmüştür. Bu alanlar, Şekil 3.10'da verilmiştir. Ayrıca Reaktif güç talebinde geçerli olan eğri Şekil 3.11'de verilmiştir [18,19].



Şekil 3.10 : Danimarka için gerilim kontrolüne ilişkin çalışma koşulları [18,19].



Şekil 3.11: Danimarka için reaktif güç değişimi talebine ilişkin eğri [18,19].

### 3.3 Karşılaştırma ve Değerlendirme

Genel olarak zayıf şebeke şartları ve rezerv miktarının kısıtlı olması durumlarında şebeke operatörleri kararlılığı korumak için bağlantı noktasındaki rüzgar enerjisi üretim biriminin gücünün, aynı noktadaki kısa devre gücüne oranını %2 ile %5 arasında izin vermektedirler. Ancak rezerv miktarı arttığında bu oranda artabilmektedir. Daha 2000 li yılların başında bir çok avrupa ülkesindeki uygulamalarda bu oran %20 lerin üzerine çıkabilmiştir [5].

Özellikle Almanya ve Danimarka, oransal olarak yüksek değerlerde rüzgar enerji santrallerine sahip olduklarından kısıtlayıcı önlemlerin seviyeside o oranda yüksektir. Arıza anında frekans kontrolü ve reaktif güç talebinde bulunmaktadır [12]. Bu açıdan ülkemiz yönetmelikleri ile farklılıkları vardır. Zira şu an için EPDK, RES'lerin frekans kontrolüne katkısını beklememektedir.

Ayrıca ülkemizde rezerv üretim miktarı Avrupa ülkeleri kadar yüksek olmadığı için, Rüzgar Santrallerinin istenen güçlerde şebekeye bağlantısına izin verilmemektedir. Bu açıdan bağlantı noktasındaki baranın kısa devre gücünün %5 ini aşmamak kaydıyla bağlantıya izin verilmektedir. Meteorolojik şartlar sonucu santraller üretimden çıkarsa, bara üzerindeki üretim kaybı sistemi etkilemeyecek düzeyde kalmalıdır.

Ancak artan lisans başvurularında yatırımcılar tarafından 80GW bir RES inşası için talepte bulunulması, ilerleyen zamanlarda uygun bağlantı noktalarının bulunmasını güçleştirebilir. Bunu önlemek için kısıtlayıcı kriterlerin esnetilmesi, buna karşılıklıta arz güvenilirliğinin ve şebeke karalılığın uygun şekilde desteklenmesi gerekmektedir.



#### 4. BENZETİM TEMELLİ İNCELEME TEKNİKLERİNE GENEL BAKIŞ

Geçmiş yıllara kıyasla son on yılda rüzgar enerjisiyle üretim yapan tek bir üretim sahası, hem teknolojinin gelişmesi hem de ihtiyaçların artmasıyla birkaç MW'tan, birkaç yüz MW seviyelerinde üretim yapma kapasitesine ulaşmıştır. Bu üretim sahalarının sayısı, bir çok yatırımcısında bu alana ilgisiyle yüzlerle ifade edilir sayılara ulaşmışlardır [2].

Özellikle Almanya, Danimarka, İspanya gibi ülkelerde gigawatt seviyelerinde kurulu güçler, doğrudan yüksek gerilim seviyelerinden şebekeye bağlanmaya başlamışlardır. Bu durum, ayrıntılı ön analizlere dayalı sistem modellemelerini daha önemli kılmıştır. Üretilecek enerjinin miktarı ve kalitesi, enerji dönüşümünün ve sistem dinamiklerinin analizi, türbin kontrolünün geliştirilmesi ve şebeke ile olan bağlantı şartlarının önceden tespiti, benzetim incelemelerinin gerekliliğinin nedenleridir [7].



Şekil 4.1 : Basit bir rüzgar türbini için geliştirilen platform [8].

RES'lerin artan güçleri ve boyutları, mekanik yapının, elektriksel büyüklüklerle doğru ve optimum bir ölçüde birleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Şebekenin bağlantı noktasındaki kısıtlar, son aşamada çıkabilecek tasarım hataları ve ulusal yönetmelikler, daha önceden sistemlerin modellenerek incelenmesini öncelikli hale getirmektedir [4].

Şekil 4.1'de RES'ler için geliştirilmiş benzetim temelli inceleme platformlarının basit bir yapısı görülmektedir.

Bu tip çalışmalar, rüzgar türbin yatırımcıları ve işletmeyi yürütecek teknik ekipler için gerekli ilk çalışmalar olup, hem yatırım kararlarının alınmasında hem de şebekeyle üretim sahasının doğru şekilde birleştirilmesinde taraflara istenilen bilgileri sağlar.

Bu tip benzetim temelli incelemelerin temel amaçlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- 1.Rüzgar Türbininin dinamik davranışının; sürekli hal, kesintili çalışma ve arıza durumlarında şebeke ile olan bağlantı şartlarının daha ayrıntılı incelenmesi.
- 2.Rüzgar Türbinini oluşturan tüm parçaların modellenmesinin yapılarak en uygun şartlarda bir araya getirilmesi.

Bu amaçla kullanılan benzetim temelli inceleme tekniklerine örnek olarak,

Siemens PTI/PSSE: Şebeke ile rüzgar türbininin bağlantısının incelenmesinde kullanılan endüstri ölçekli bir diğer elektriksel analiz aracıdır. Sürekli hal analizlerinin yapılmasında, yük akışı analizlerinde kullanılır. TEİAŞ ta dahil olmak üzere dünyada bir çok güç sistemi işleticisi kurum tarafından çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

EMTDC-PSCAD (Power System CAD): Elektriksel sisteminin geçici hal davranışının incelenmesinde kullanılan, fortran tabanlı hesaplama sistemi ve güçlü grafiksel arayüzü ile iyi bir platformdur. Devre ve topoloji üzerinde daha önceden veritabanında tanımlanmış modelleride kullanarak çok çeşitli generator, iletim sistemi, trafolar, kontrol ve güç elektroniği devreleriyle parametrelerini esnek bir şekilde değiştirerek tekrar eden birçok modelleme yapılabilir. Tüm AC & DC sistemler üzerinde çok değişik uygulamalar gerçekleştirilebilir.

HAWC: Rüzgar türbinindeki aerodinamik ve mekanik parçaların, rüzgar türbininin kendisi üzerinde yarattığı dinamik yüklerin incelenmesinde kullanılır. Elektriksel yapı üzerinde yeterli bir inceleme sağlamaz.

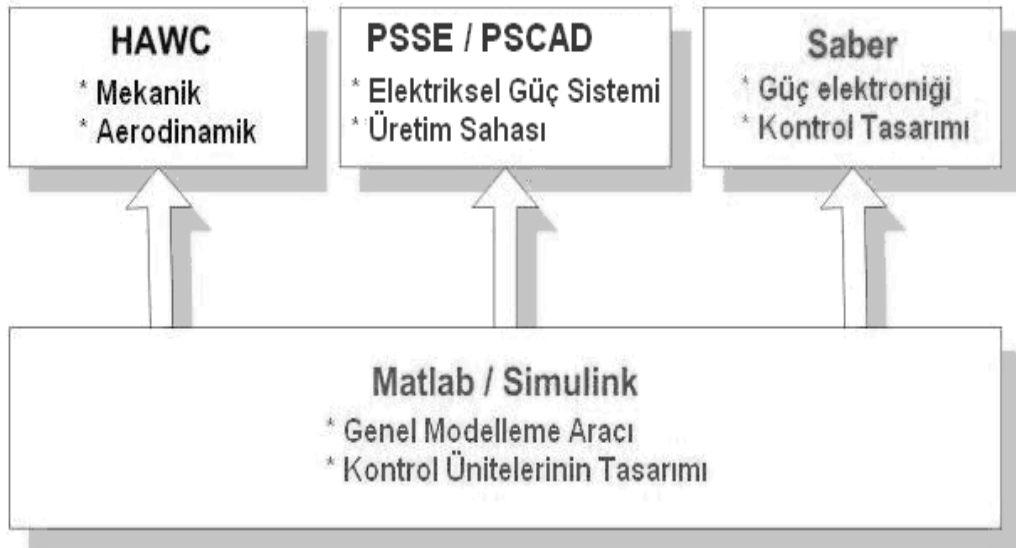
DIgSILENT: Rüzgar türbininin ürettiği enerji kalitesini analiz edebilir ve şebeke ile olan bağlantı şartlarını gözlemler. Üretilen ürün elektrik enerjisinin şebeke tarafındaki kısıtlara ve gereksinimlere paralel olarak analiz edilmesini sağlar. Ayrıca yük akışı, hata, kararlılık analizlerini ve harmonik analizlerini yapabilir.

PowerWorld: Özellikle sürekli hal yük akışı incelemelerinde kullanılan bir araçtır. Geçici hal incelemelerinde temel olarak kullanılmaz.

SABER: Özellikle rüzgar türbinlerinde yüksek oranda kullanılan güç elektroniği ve devre elemanlarının davranışlarının incelenmesinde kullanılır. Bu araç temel olarak rüzgar türbinleri için geliştirilmiş bir uygulama değildir.

Matlab / Simulink: Genel bir model geliştiricisi olarak değerlendirebileceğimiz bu araç, geliştirilen modelin ilk incelemelerinde ve oluşturulmasında kullanılır. Daha sonra diğer araçlara uygulanarak gelişmiş davranışları elde edilir.

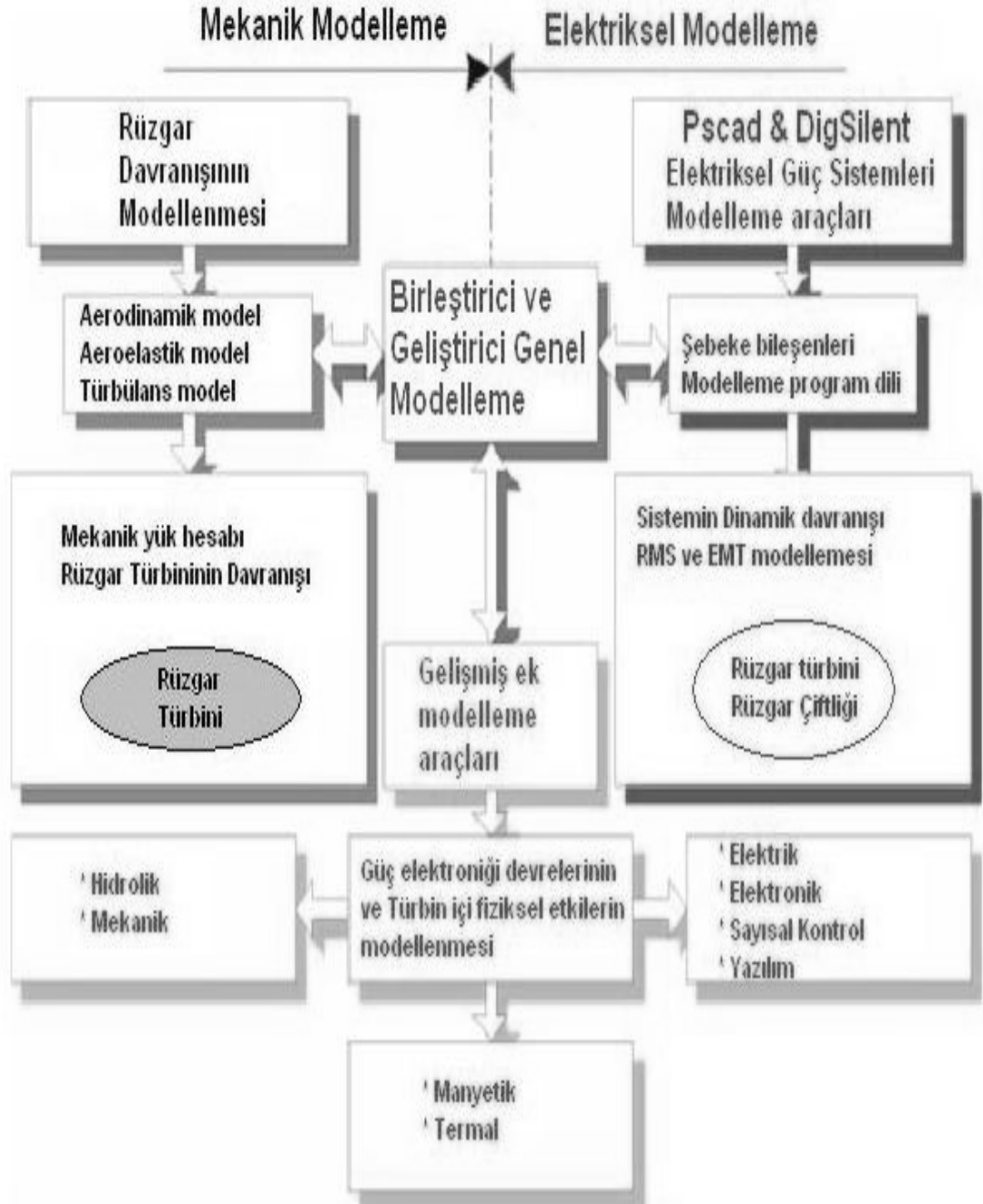
Şekil 4.2’de bir rüzgar turbine tasarımında kullanılacak benzetim temelli tekniklerini bir arada gösterilmiştir. Tasarımın derinliğine göre aynı sistem için kullanılacak bu tekniklerin sayısı artırılabilir ya da azaltılabilir.



**Şekil 4.2:** Bir modelleme için benzetim tekniklerinin bir arada kullanılmasını gösteren temsili kroki [8].

Yukarıda bahsedilen araçların birbirlerini tamamlayıcı özelliklerini bir arada gösteren çizim Şekil 4.3’de verilmiştir.

Burada bir rüzgar türbinini oluşturan temel büyüklüklerin birlikte nasıl modellendiği, mekanik yükler, güç kalitesi, arıza halleri ve diğer incelenecek durumların nasıl bir arada ilişkilendirildiği gösterilmiştir [8].



Şekil 4.3: Benzetim modellerinin işlevsel olarak bir arada gösterimi [8].

#### **4.1 Bir Benzetim Temelli İnceleme Tekniği: PSCAD**

PSCAD, gc sistemine bağlı rüzgar türbinlerinin tasarımında ve performans incelemesinde içerdiği hazır modüller nedeniyle oldukça yararlı bir yazılımdır. Rüzgar kaynakları, türbin tipleri, generatör modelleri, gc elektroniği üniteleri, kontrol modülleri, yol verme düzenleri, Şebeke bağlantısı ile ilgili araçlar, transformatörler, Şebeke yükleri, enerji nakil hatları gibi rüzgar türbinini oluşturan unsurlar hazır modeller olarak kütüphanesinde bulunmaktadır. İncelemelerde farklı modellere ihtiyaç duyulursa, bu yazılım aracı yeni modellerin de oluşturulmasına imkan sağlamaktadır. Bir FORTRAN derleyicine de ihtiyaç duyan yazılım ile sistem koŐularak, zaman domeni incelemeleri gerçekleŐtirilebilmektedir [20].

#### **4.2 Bir Benzetim Temelli İnceleme Tekniği: PSS/E**

Siemens PTI-PSS/E, iletim hatları ve üretim tesisleri için sürekli hal ve geçici hal incelemelerini yapabilen ve yaygın kullanılan bir programdır. Bu yazılım aracı ile yük akışı, optimal yük akışı, kısa devre analizi gibi incelemeler yapılabilir. Beraberinde gelen grafik arayüz, sistem modeli oluşturulmasında yardımcı olur, program farklı durumlar için yinelemeli senaryolar ve analizler gerçekleŐtirebilir [21]. Ayrıca python dil desteği sayesinde araştırma amaçlı ek incelemelere de imkan sağlamaktadır. Bir çok ülke iletim sistemi işleticisi tarafından kullanılan bu program, TEİAŞ tarafından da uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, PSS/E programı kullanılarak örnek sistem üzerinde incelemeler gerçekleştirilmiştir.



## 5. ÖRNEK SİSTEM İNCELEMELERİ

Tez çalışmasında RES'lerin güç sistemine entegrasyonu, özellikle kısa devre güçleri ve üretilen gücün sisteme aktarılması açısından incelenmiştir. Benzetim incelemeleri, işletim kısıtlılık koşulları altında varolan bir rüzgar santrali ele alınarak gerçekleştirilmiştir.

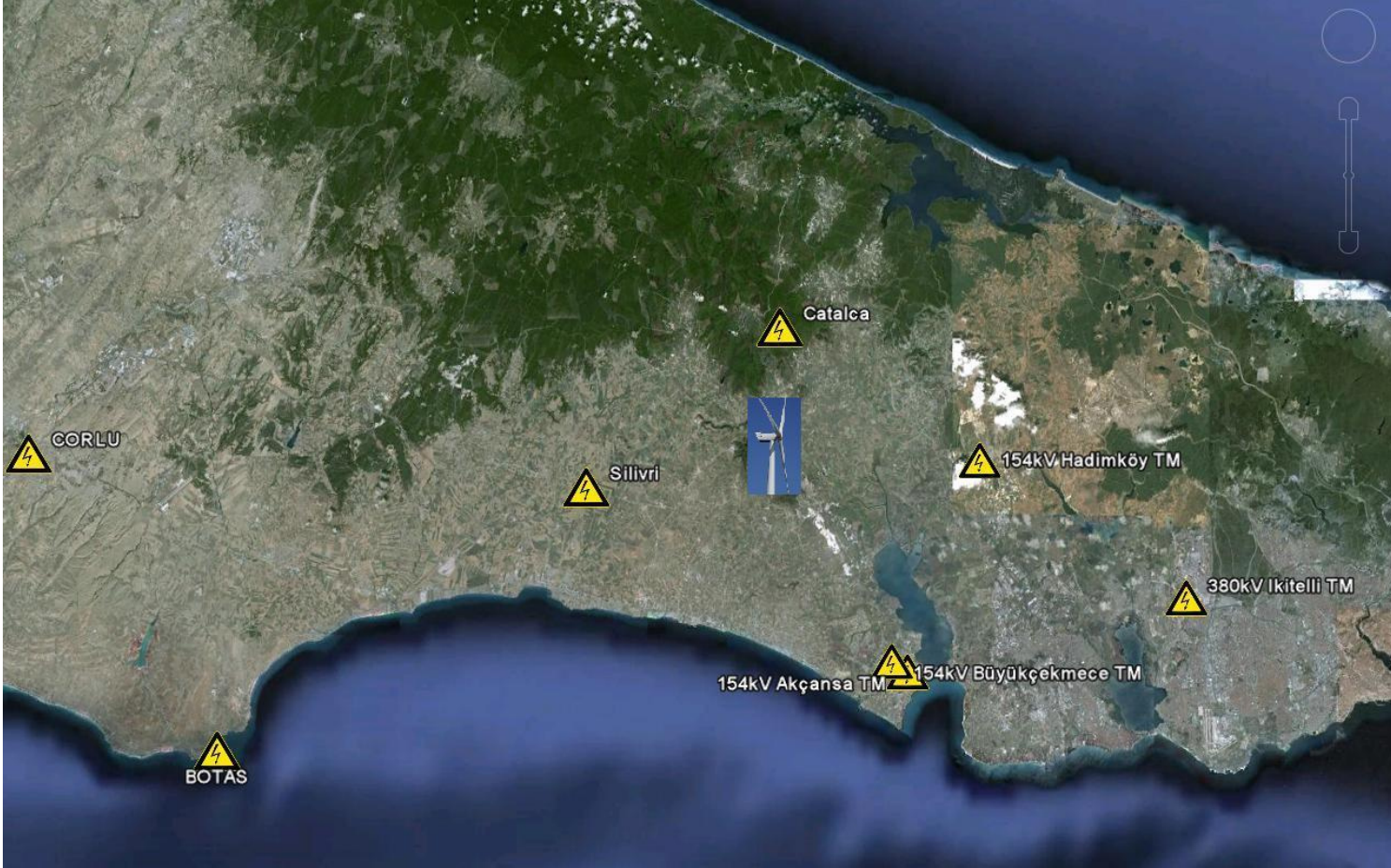
Örnek sistem incelemeleri için hali hazırda ülkemiz elektrik iletim sisteminin Trakya kısmında yer alan, Çatalca 60MW RES santrali, çevresindeki bağlantı baraları ve iletim hatları seçilmiştir. PTI-PSS/E yazılımı ile Çatalca 60MW RES için yapılan incelemelerde, yük akışı ve kısa devre analizlerine odaklanılmış, çeşitli senaryolar için elde edilen sonuçlar tablo ve şekiller halinde listelenmiştir.

Gerçekleştirilen yük akışı analizleri, üretilen elektrik enerjisinin sisteme aktarılabilmesi kısıtı açısından, kısa devre analizleri ise RES bağlantı barasına tesis edilebilecek RES potansiyelinin belirlenmesi açısından gerçekleştirilmiştir.

Örnek sistemin coğrafi konumu da dikkate alınarak, yatırım açısından ileriye dönük yeni hat tesisi senaryoları için incelemeler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile RES bağlantı noktasındaki kısa devre gücünün, tesis edilebilecek santral gücü üzerindeki kısıtlayıcı etkisi ayrıca değerlendirilmiştir.

Şekil 5.1'de görüldüğü gibi Trakya bölgesinin Google-Earth' den alınan uydu fotoğrafında incelemelerin yapıldığı Çatalca 60MW RES ve Çatalca 154KV barasıyla bağlantılı diğer baraların coğrafi yerleri belirtilmiştir. Hali hazırda, Çatalca barası ile B.çekmece ve Silivri baraları doğrudan birbiriyle bağlantılı olup incelemelerde esas üzerinde durulan noktalar olmuşlardır.

Odaklanan bölge çevresinde olan, Botaş 154KV, İkitelli 154KV ve Akçansa 154KV baraları ve bu baralarla ilişkili hatlar da incelemelerde önemli yer tutmuştur. Böylece Çatalca barasında yapılan bu çalışmalar ışığında diğer baralarında yüklenme koşulları dolaylı yoldan etüd edilmiştir.



**Şekil 5.1** : Benzetim temelli incelemenin yapıldığı Çatalca 60 MW Rüzgar Enerjisi Santrali ve bağlı bulunduğu 154KV Çatalca barası ile bu baraya bağlı komşu baraların konumlarını gösteren temsili resim.



Ayrıca Çorlu 154KV ve Hadımköy 154KV baraları da geleceğe dönük senaryo olarak gözönüne alınan Çatalca barasına yeni olası bağlantı seçenekleri olması nedeniyle irdelenmiştir.

İncelemelerde göz önüne alınan çalışma durumlarına ilişkin senaryolar Çizelge 5.1 de listelenmiş olup genel içeriği aşağıdaki gibidir;

- Hali hazırda işletilen sisteme dayalı incelemeler
  - Hali hazırdaki sistem çalışma ve yük durumunu yansıtan, temel durum
  - Silivri - Çatalca hattının açılması durumu,
  - Çatalca - B. Çekmece hattının açılması durumu
- Çatalca bölgesinde RES üretim kapasite arttırımı sınırlarının araştırılması amaçlı incelemeler;
  - Hali hazırdaki sistem çalışma ve yük durumu için incelemeler
  - Mevcut sistemin ileriye dönük olarak yeni hat tesisi ile genişletilmesine yönelik incelemeler

Hali hazırdaki sistem çalışma ve yük durumunu yansıtan, temel durum için inceleme sonuçları Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

PTI PSS/E yazılımı ile gerçekleştirilen analizlerde, Çatalca RES’in bağlı bulunduğu, Çatalca 154KV barasıyla diğer bağlantılı baralara ait hatlardaki yüklenme durumu ele alınmıştır.

Bu ilk senaryoda tüm hatların iletimde olduğu ve normal çalışma koşullarının var olduğu kabul edilmiştir. İncelemelerde Çatalca RES’in, anma gücü olan 60MW ile yüklendiği kabul edilmiştir. Bu durumda hatlarda, yük akışı ile ilgili herhangi kısıtlar açısından bir sıkıntı gözlenmemiştir.

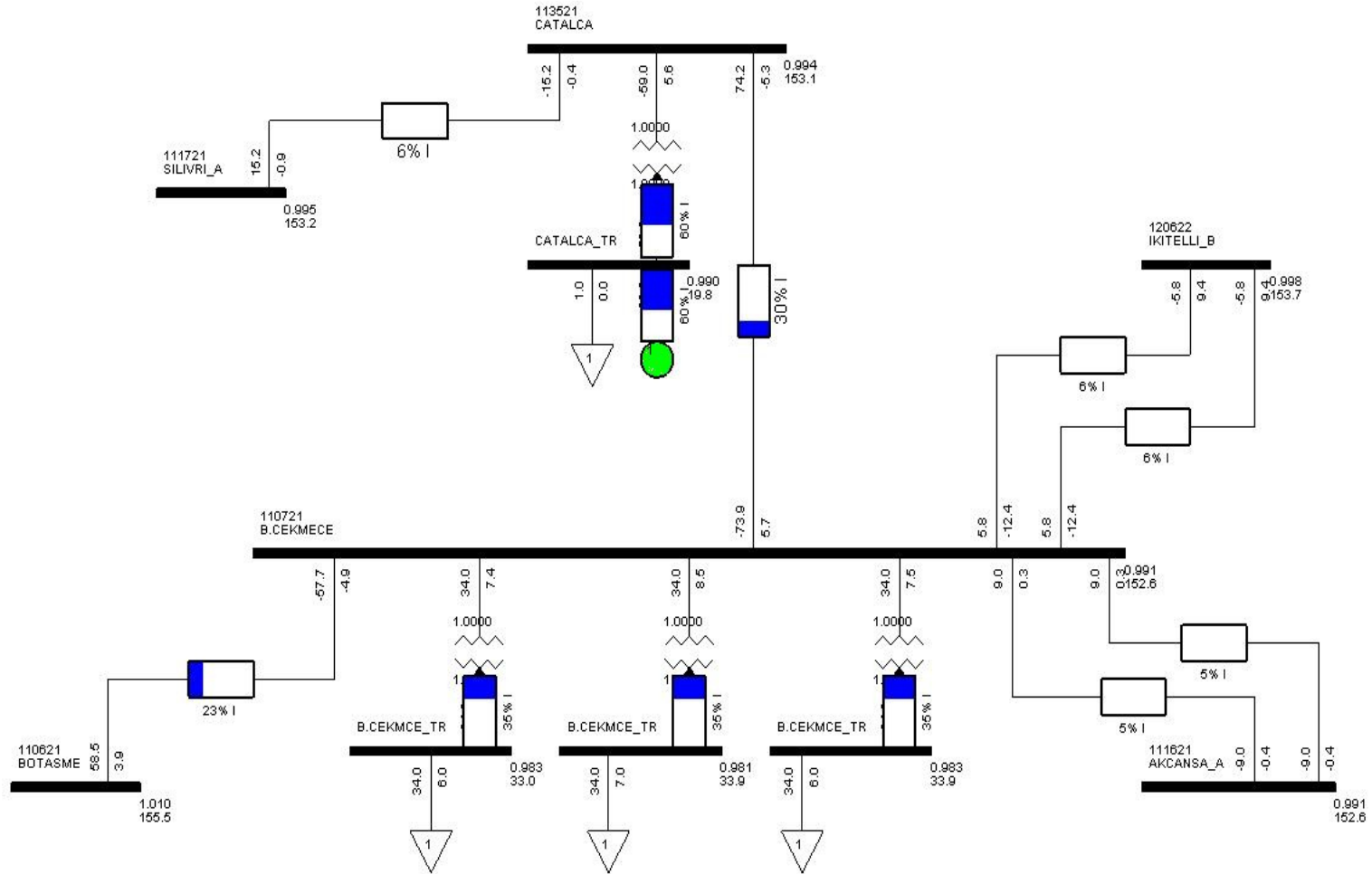
Bu haliyle iletim kapasiteleri açısından, Çatalca barasına bağlanan RES’in gücünün çok üzerinde bir kapasitenin mevcut olduğu söylenebilir.

Sonuçlara göre Çatalca - Silivri iletim hattı %6, Çatalca - B. Çekmece iletim hattı ise %30 yüklenmiştir.

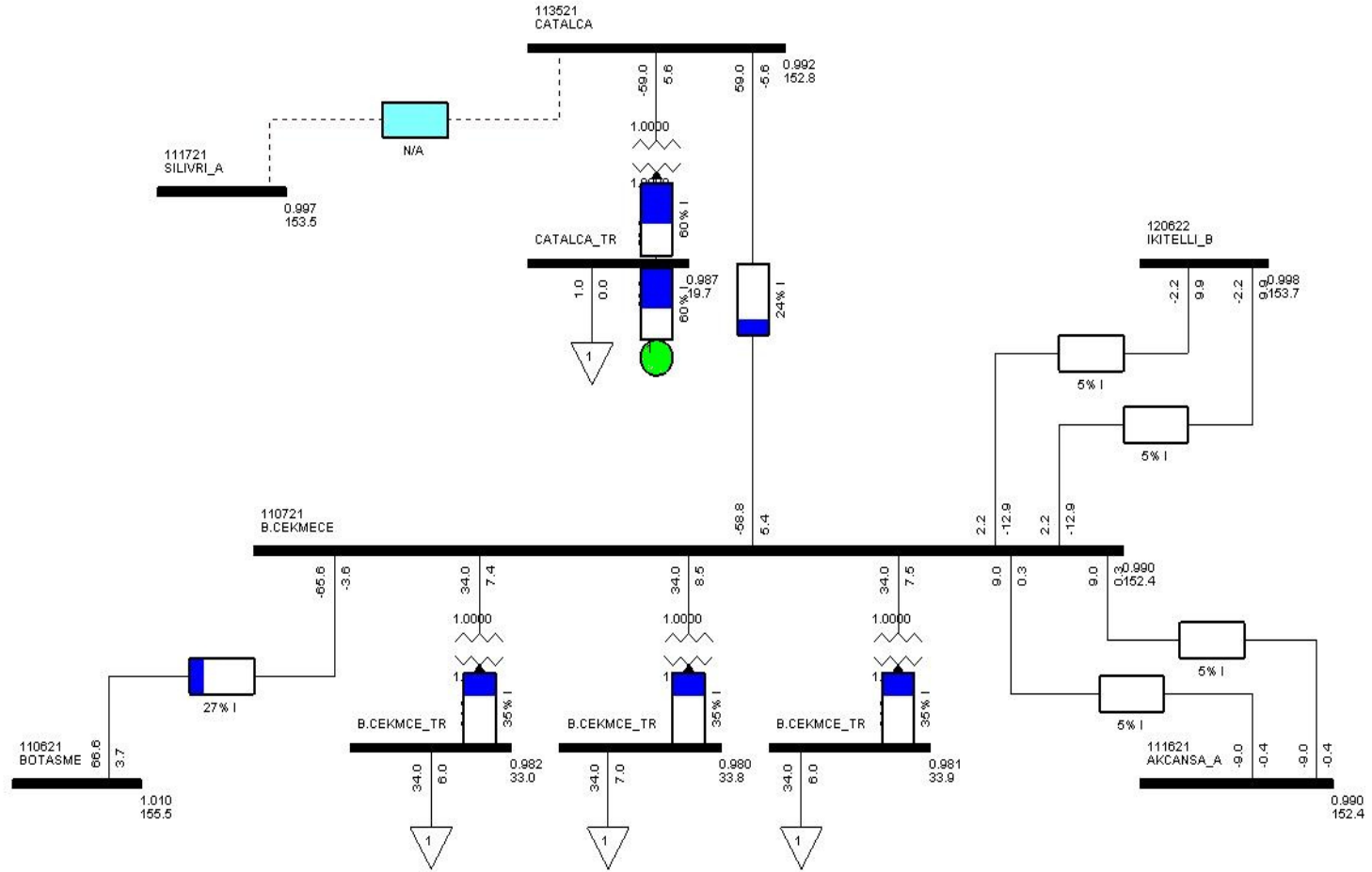
**Çizelge 5.1 :** Örnek kısa devre sistem incelemelerinde ele alınan senaryolar

SENARYO 1	Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili durum ( RES sisteme bağlı değil iken )
SENARYO 2	Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda, Silivri-Çatalca hattı açık iken 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili durum ( RES sisteme bağlı değil iken )
SENARYO 3	Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda, B.Çekmece-Çatalca hattı açık iken 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili durum ( RES sisteme bağlı değil iken )
SENARYO 4	Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili durum ( RES sisteme bağlı iken )
SENARYO 5	Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda, Silivri-Çatalca hattı açık iken 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili durum ( RES sisteme bağlı iken )
SENARYO 6	Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda, B.çekmece-Çatalca hattı açık iken 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili durum ( RES sisteme bağlı iken )

Sistem topolojisi ve sistem kontrol büyüklüklerinin göz önüne alınan çalışma koşulları açısından, RES'te üretilen enerjinin tamamının Çatalca - B. Çekmece iletim hattı üzerinden sisteme aktarıldığı görülmektedir.



Şekil 5.2 : Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda santral tam yükte iken hatlarda oluşan yük akışı.



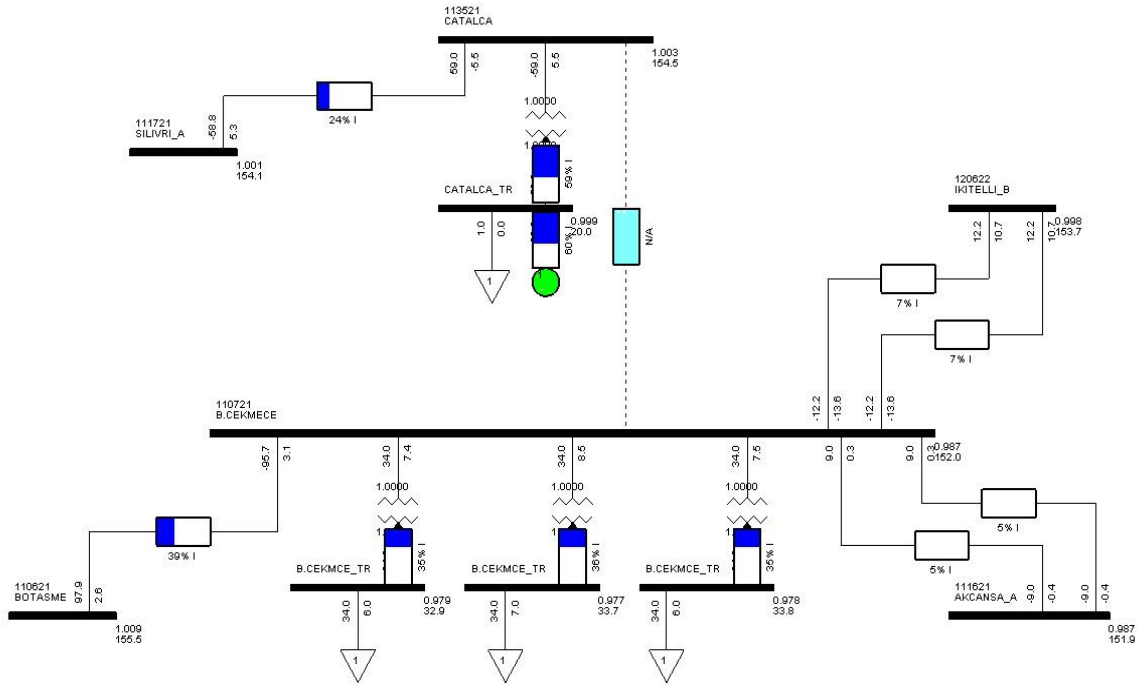
**Şekil 5.3 :** Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda santral tam yükte iken Silivri – Çatalca hattının açılmasıyla oluşan yeni duruma ilişkin yük akışı.

Sistem işletiminde N-1 kısıtlılık kriteri oldukça önemlidir. Bunun anlamı hatlardan biri devre dışı kaldığında sistemin kısıtlar altında işleyişini sürdürebilmesidir. Bir bakıma hatlardan birinin devre dışı kalması durumunda sistemin ne kadar güvenilir olduğu bilgisini de bize verir. Bu amaçla sonuçları Şekil 5.3’de gösterilen, bağlantı hatlarından Silivri - Çatalca hattının açılması durumu için inceleme yapılmıştır. Bu durumda üretilen tüm enerjiyi sisteme aktaran hat olan Çatalca - B. Çekmece hattının %24 yüklendiği görülmektedir. Temel duruma göre bu hattın yüklenmesinin azalmasının nedeni, temel durumda bu hattın RES üretiminin tümünün yanı sıra Silivri - Çatalca iletim hattının taşıdığı enerjiyi de üzerinde taşımasıdır. Bu nedenle Çatalca - Silivri hattından aktarılan bir miktar yükün kesilmesi ile sistem daha da rahatlamıştır.

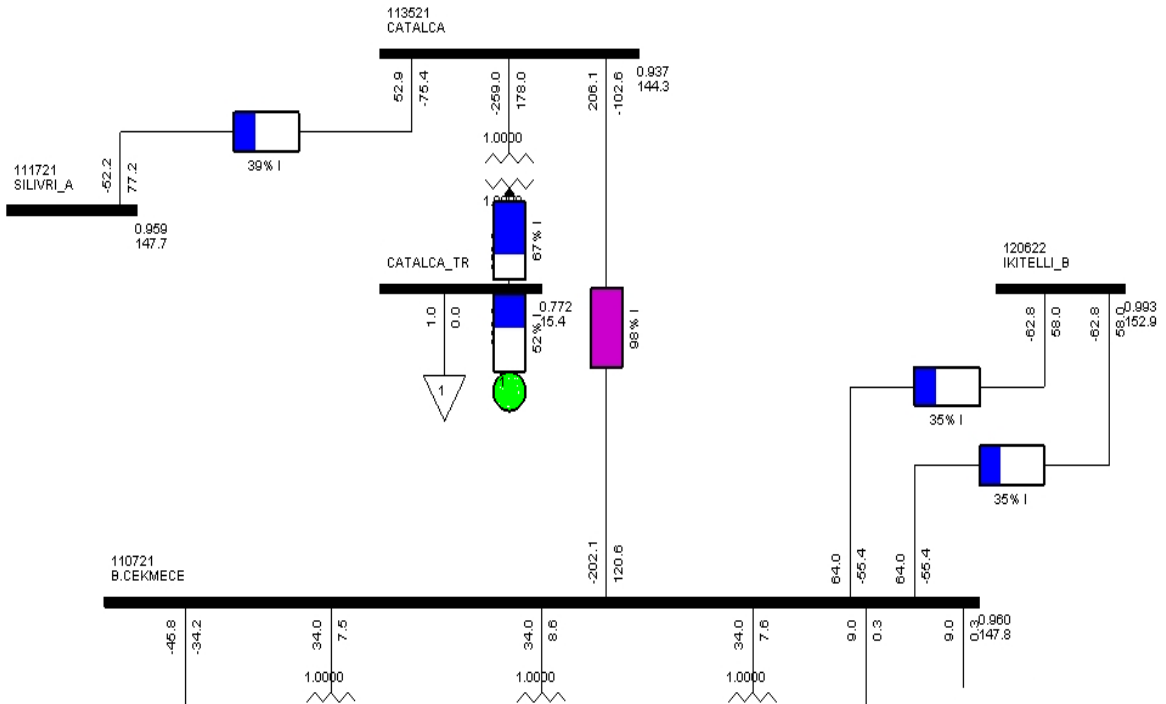
Çatalca - Silivri iletim hattı yerine diğer bağlantı hattı olan Çatalca-B. Çekmece hattının açılırsa, analiz sonucu elde edilen yüka kışları Şekil 5.4’te verilmiştir. Bu durumda Çatalca-Silivri hattının temel durum için %6 olan yüklenme oranı, %24 değerine yükselmiştir. Ancak hala kritik seviyelerin altında güvenli seviyelerde bir yük iletimi durumu söz konusudur.

Yük akışı analizlerine dayalı bu incelemeler, mevcut RES üretim kapasitesi 60MW olarak ele alınarak hali hazırdaki sistemin üretilen enerjinin sisteme aktarılması açısından değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

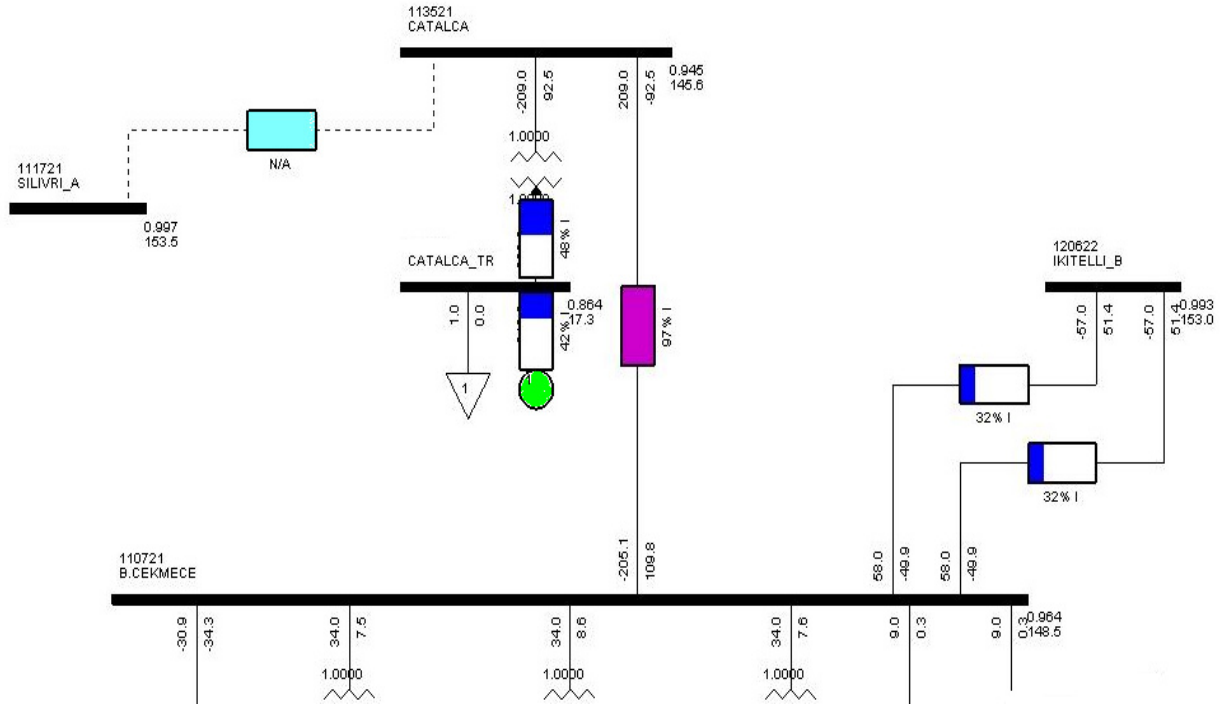
Üretilen enerjinin sisteme güvenilir biçimde aktarılabilmesine ilişkin kriterler açısından potansiyel RES bağlantı gücünün tespitine yönelik incelemeler de gerçekleştirilmiştir. Arz güvenilirliğini etkilemeden, Çatalca barasından sisteme verilebilecek maksimum gücün belirlenmesi yönelik inceleme sonuçları Şekil 5.5’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Çatalca barasına RES üretim sahasından 260MW’lık bir güç aktarıldığında, Çatalca – B. Çekmece hattı %98 yüklenmektedir. Çatalca–Silivri hattı açıkken inceleme tekrarlanırsa, sistem üretimin aktarılması için tek seçenek olarak kalan Çatalca – B.Çekmece hattının aynı kritik seviyeye gelmesi için Çatalca barasından 210MW üretim yapılması yeterli olmaktadır. Bu durum Şekil 5.6’da ayrıntılı olarak görülebilir. Çatalca - B. Çekmece hattının açılması halinde de, aynı üretim miktarı için sınır yüklenme koşullarına ulaşılmıştır (Şekil 5.7).



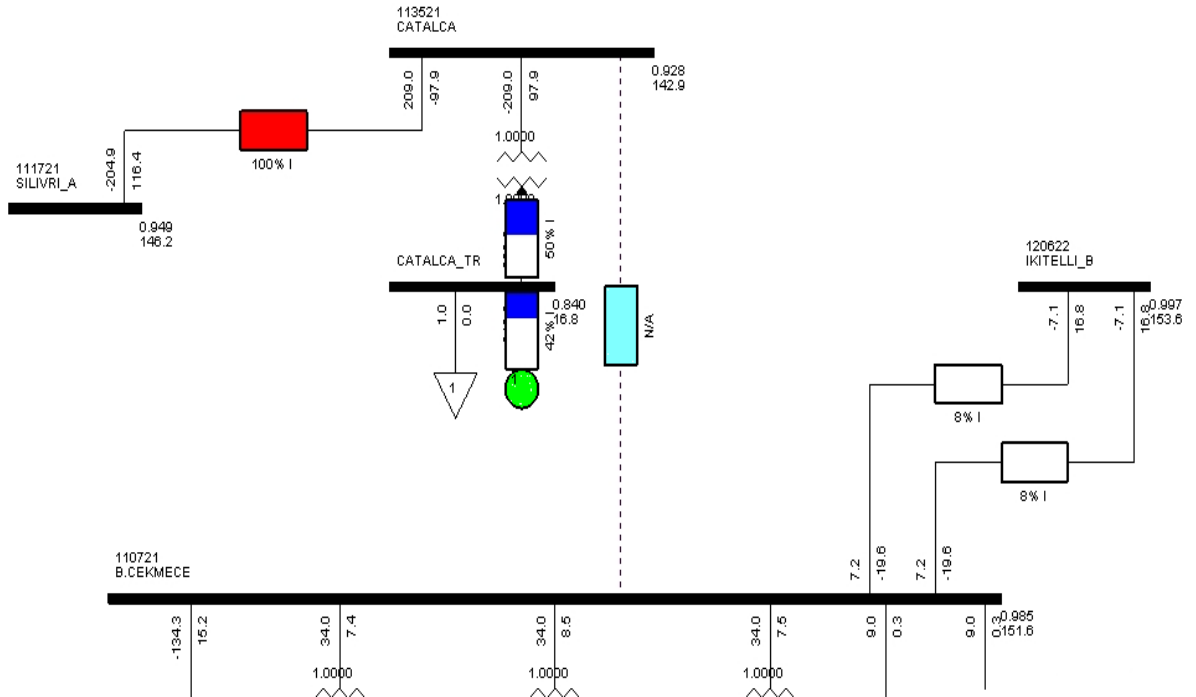
**Şekil 5.4 :** Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda santral tam yükte iken B. Çekmece – Çatalca hattının açılmasıyla oluşan yeni duruma ilişkin yük akışı.



**Şekil 5.5 :** Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda B. Çekmece – Çatalca hattının limit yük durumunun oluşması için Çatalca barasına bağlanabilecek maksimum üretim kapasitesine ilişkin yük akışı.



Şekil 5.6 : Çatalca RES'in bağlı olduğu bara grubunda B.Çekmece-Çatalca hattının limit yük durumunu oluşturmak için Silivri-Çatalca hattı açıkken, Çatalca barasına bağlanabilecek maksimum üretim kapasitesine ilişkin yük akışı.



Şekil 5.7 : Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda Silivri-Çatalca hattının limit yük durumunun oluşması için B. Çekmece-Çatalca hattı açıkken, Çatalca barasına bağlanabilecek maksimum üretim kapasitesine ilişkin yük akışı.

Böylece hali hazırdaki sistem durumu, Çatalca üretim sahasında kurulacak –dolayısı ile Çatalca barasına bağlanacak- üretim kapasitesinin sisteme üretilen enerjinin sağlıklı aktarılabilmesi kısıtı açısından 210MW olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yük akışı incelemeleri ile üretilen enerjinin sisteme sağlıklı ve güvenilir biçimde aktarılabilmesi konusunda değerlendirmeler yapılabilmektedir, ancak, üretim RES sahaslarının üretim kapasitelerinin belirlenmesinde bir diğer kısıtlayıcı etkende, kısa devre gücünün belirlenmesine dayanan incelemelerde yapılmalıdır. Bu amaçla gerçekleştirilen incelemeler çeşitli senaryolar için gerçekleştirilerek, sonuçlar Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da verilmiştir.

“Bir bağlantı noktasında, sistemin kısa devre gücünün en fazla %5’i kadar kurulu güçte rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi bağlantısına izin verilir.” hükmü 2008 yılından beri elektrik sistemlerinde arz güvenliği yönetmeliğinde bulunmaktadır.

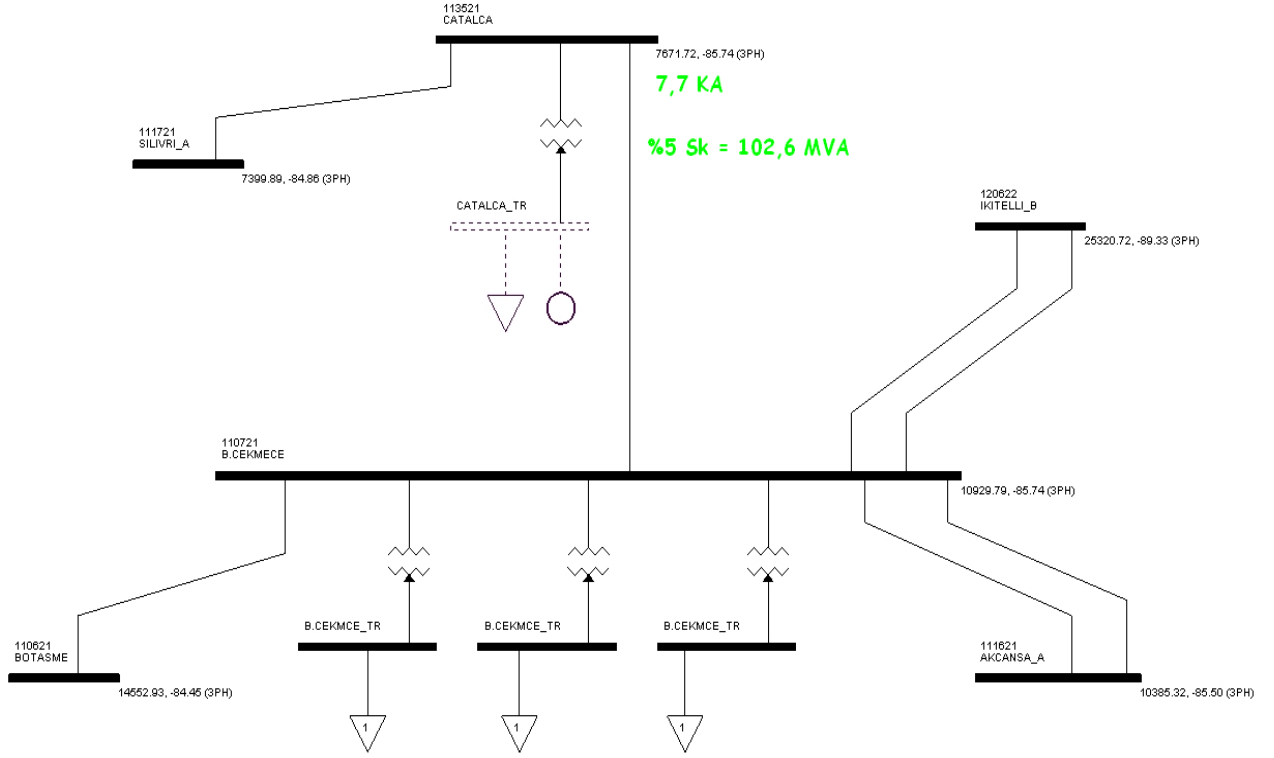
Bu kriter sebebiyle de RES’lerin ilgili baraya bağlantısının incelenmesinde kısa devre analizleri önemli bir yer tutmaktadır.

Aynı sisteme bu anlamda kısa devre hesapları ölçeğinde inceleme yapılarak, Çatalca RES’in hangi limitler ölçüsünde bağlandığı ve üretim kapasitesinin belirlendiği anlaşılmaya çalışılmıştır.

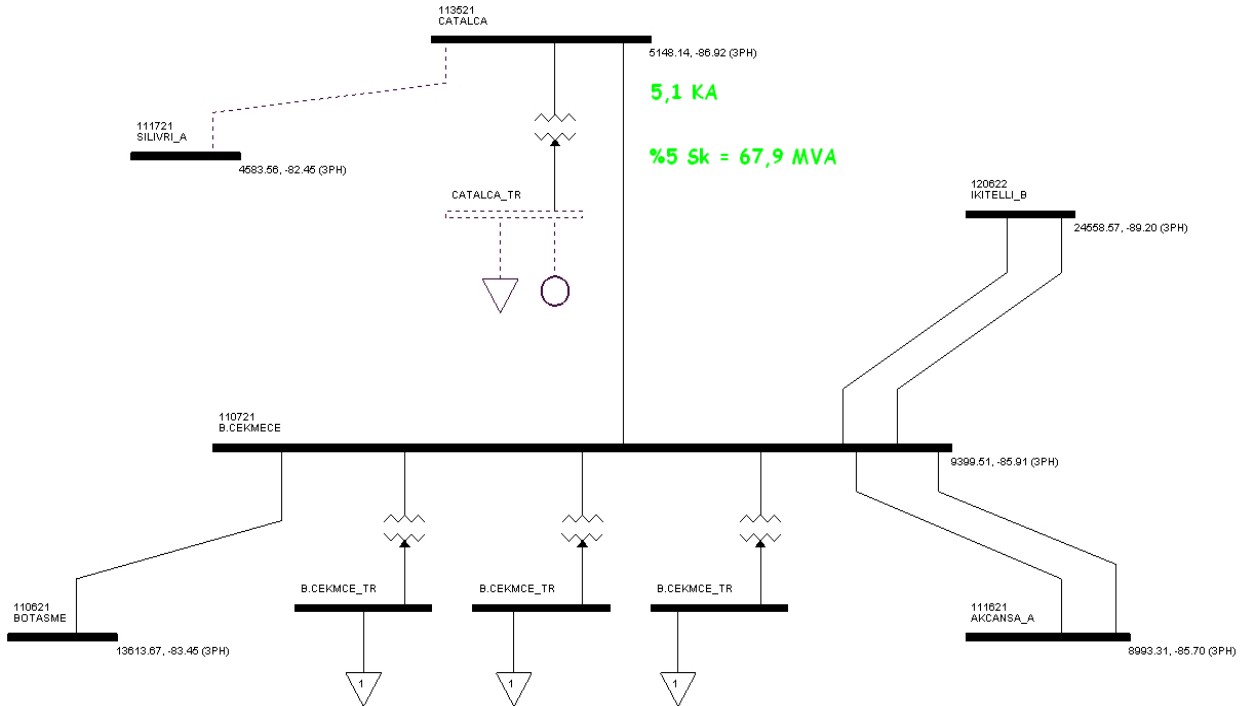
Şekil 5.8’de, üretim biriminin bağlantısı yapılmadan önceki durumda baranın kısa devre gücü gösterilmektedir. Buradan görüleceği gibi baranın kısa devre akım değeri 7.7KA olup, toplam kısa devre gücü (Sk) 2050MVA olarak hesaplanabilir. Buradan %5 Sk değeri 102.6MVA bulunur. Bu sonuca göre, Çatalca RES’in kurulu gücü olan 60MVA nın uygun olduğu hatta daha 40MVA ilave üretim imkanının da bu bara için mümkün olduğu söylenebilir.

Ancak hatlardan birinin açılması halinde hala bu durumun devam edip etmediği, Şekil 5.9’deki incelemeyle görülebilir. Silivri - Çatalca hattı açıldığında toplam kısa devre empedansı değişeceğinden Çatalca barasının kısa devre gücünde değişecektir. Şekildende görüleceği gibi bu durumdaki kısa devre akımı 5.1KA ve kısadevre gücü (Sk) 1358MVA dir. Buradan istenen %5 Sk değeri 67.9MVA bulunur. Bu değer bağlantı gücü olarak belirlenen 60MVA nın biraz üstünde olmasına rağmen hala kriteri sağlamaktadır. Diğer yandan Silivri - Çatalca hattı yerine Çatalca B. Çekmece hattı açılırsa elde edilen sonuçlar Şekil 5.10’da verilmiştir. Bu senaryo için kısa devre akımı 3.3KA, kısa devre gücü 880MVA ve %5 Sk değeri 44MVA bulunur.

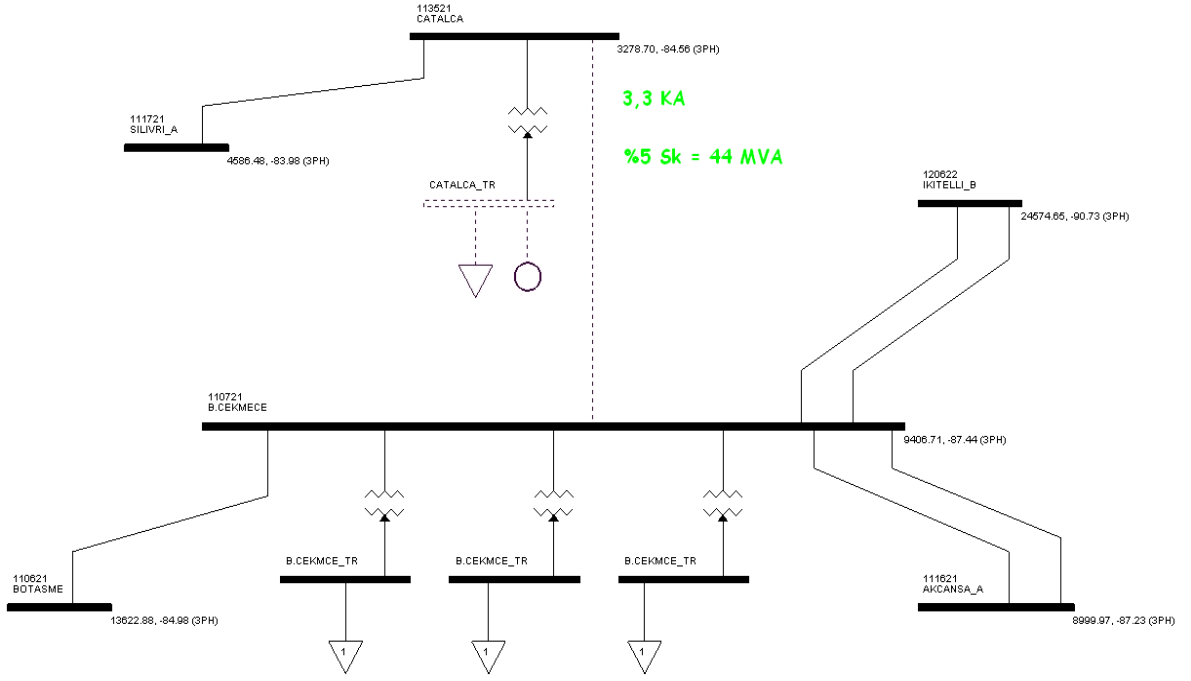




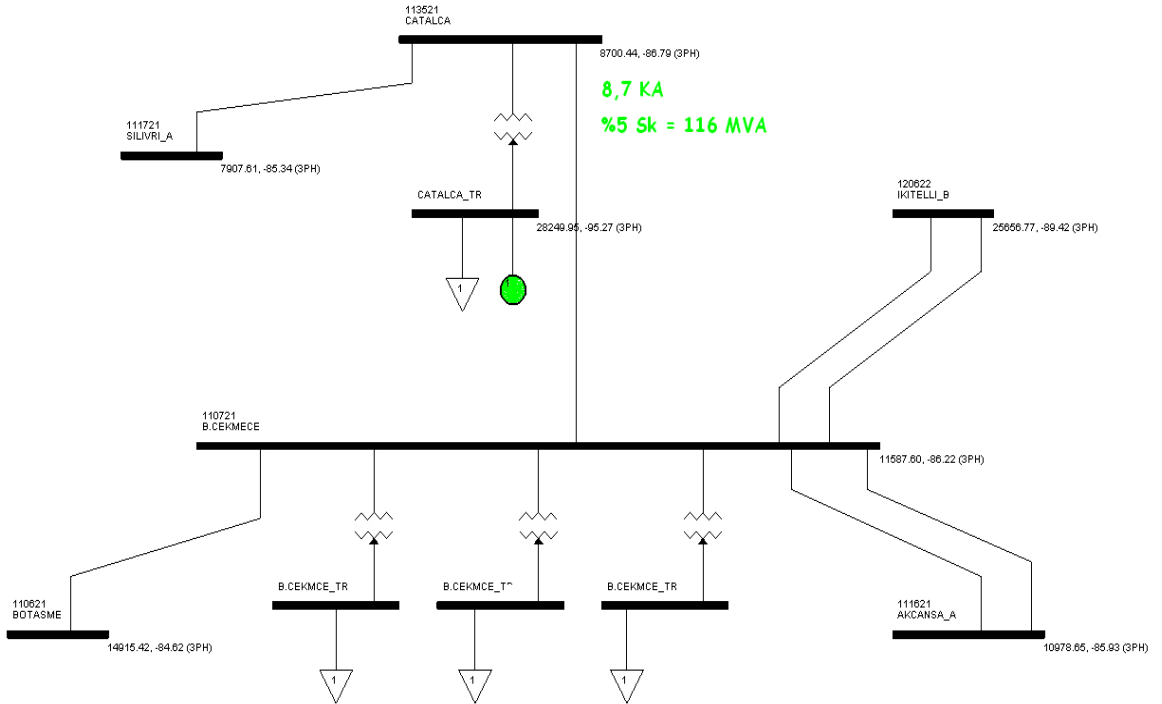
**Şekil 5.8 :** Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim.



**Şekil 5.9 :** Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda, Silivri – Çatalca hattı açık iken 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim.



**Şekil 5.10** : Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda, B.Çekmece – Çatalca hattı açık iken 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim.



**Şekil 5.11** : Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim

Şekil 5.11, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13 ise Çatalca barasına RES bağlandıktan sonra farklı senaryolar için Çatalca barasında elde edilen kısa devre güçlerini göstermektedir. RES devrede iken bağlantı baralarındaki kısa devre güçleri artmaktadır.

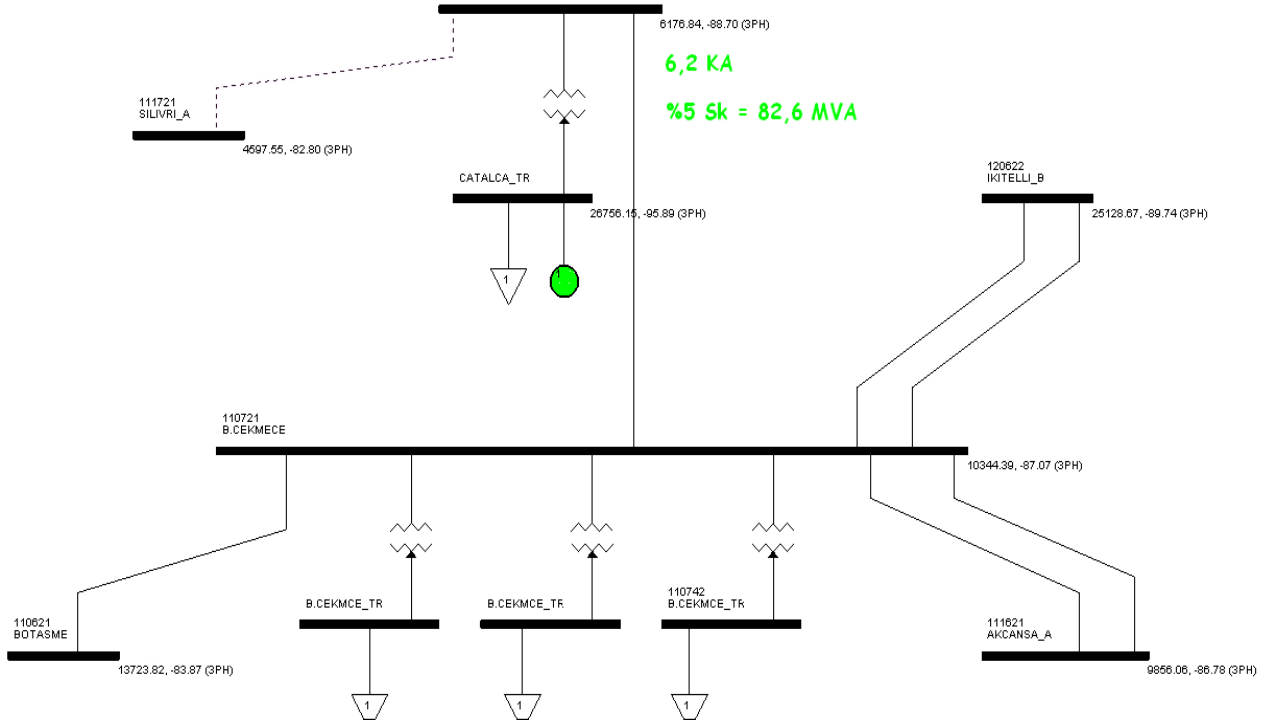
Şekil 5.11’de, üretim biriminin bağlantı yapıldıktan sonraki durumda baranın kısa devre gücü gösterilmektedir. Buradan görüleceği gibi baranın kısa devre akım değeri 8.7KA olup, toplam kısa devre gücü (Sk) 2320MVA olarak hesaplanabilir. Buradan %5 Sk değeri 116 MVA bulunur. Bu sonuca göre, Çatalca RES’in kurulu gücü olan 60MVA nın uygun olduğu hatta daha 56MVA ilave üretim imkanının da bu bara için mümkün olduğu söylenebilir.

Daha evvel Şekil 5.8 ‘ de incelenen durumda %5 kısa devre gücü değeri , bağlantı yapılmadan önceki durum için 102.6MVA idi. Buradaki fark RES ‘ in bağlantı noktasında yarattığı olumlu etkiden kaynaklanmaktadır. Bununla beraber yük iletme kapasitesi olumsuz etkilenmektedir. Bu da istenildiği kadar RES bağlantısının yapılamayacağı gibi bir sonuç verecektir.

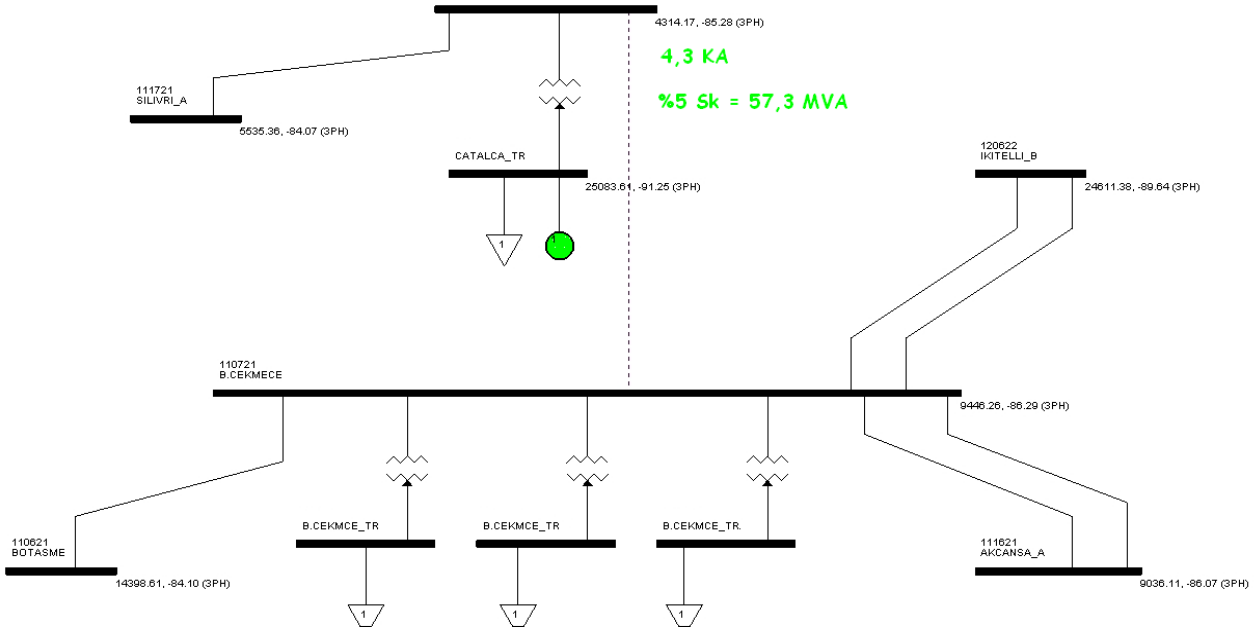
Hatlardan birinin açılması halinde 116MVA %5 Sk kısa devre gücünün hala bu durumda devam edip etmediği, Şekil 5.12 ’deki incelemeyle görülebilir. Silivri - Çatalca hattı açıldığında toplam kısa devre empedansı değişeceğinden Çatalca barasının kısa devre gücünde değişecektir. Şekildende görüleceği gibi bu durumdaki kısa devre akımı 6.2KA ve kısadevre gücü (Sk) 1652MVA dir. Buradan istenen %5 Sk değeri 82.6MVA bulunur. Bu değer bağlantı gücü olarak belirlenen 60MVA nın üstündedir ve hala kriteri sağlamaktadır.

Diğer yandan Silivri - Çatalca hattı yerine Çatalca B. Çekmece hattı açılırsa elde edilen sonuçlar Şekil 5.13’da verilmiştir. Bu senaryo için kısa devre akımı 4.3KA, kısa devre gücü 1146MVA ve %5 Sk değeri 57.3MVA bulunur.

Bu değerlendirmelerle ilgili sayısal bilgiler ayrıca , Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4, Çizelge 5.6 , Çizelge 5.7 de verilmiştir. İlave olarak EK.A.1 de TEİAŞ tarafından verilen 154KV baralarına ilişkin kısa devre güçleri bir tablo olarak belirtilmiştir. Bu tablo yardımıyla ilgili baralar için gerekli değerler hızlıca temin edilmiştir.



**Şekil 5.12** : Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda, Silivri–Çatalca hattı açık iken 3Faz kısa devre durumu için Çatalca barasındaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim.



**Şekil 5.13** : Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda, B.çekmece–Çatalca hattı açık iken 3Faz kısa devre durumu için baradaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim.



İleriye dönük sistem genişlemesine ilişkin incelemeler de ayrıca gerçekleştirilmiştir. Bu incelemelerde göz önüne alınan bir durum, Hadımköy ve Çorlu baraları ile Çatalca arasında yeni bir 154KV hat tesis edilmesidir.

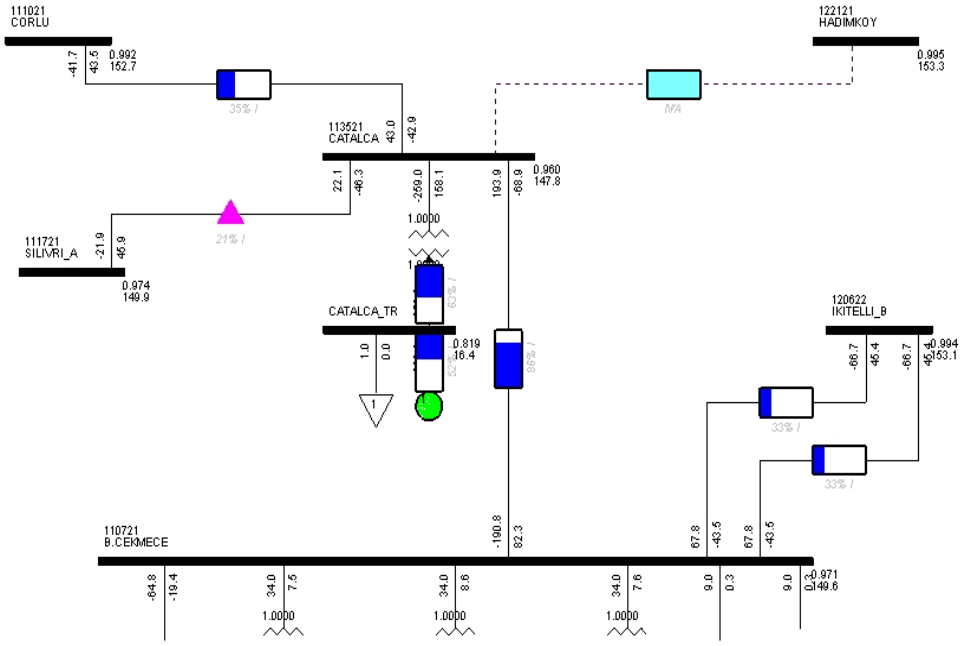
Hadımköy ve Çorlu baraları iletim hatları ile Çatalca barasına bağlandığında, üretilen enerjini sisteme aktarılması açısından göz önüne alınan sistem koşullarında, Çatalca barası 260MW ile yüklendiğinde, Çatalca - Hadımköy hattı %100 yüklenme oranına ulaşmaktadır. Şekil 5.15’de bu durum şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 5.15’ den de görüleceği gibi aynı yük iletimi için Çatalca-B.çekmece arasında görülen sıkıntı , Çatalca – Hadımköy arasına kaymıştır. Ancak , çatalca barasına yük iletimi açısından herhangi bir fayda sağlamamıştır. Diğer bağlantı hatlarında ise bir sıkıntı görülmemektedir.

Yüklenme sınırı açısından sıkıntılı olan Çatalca - Hadımköy hattını açtığımızda ise ortaya çıkan durum Şekil 5.16’de verilmiştir. Bu durumda yük iletiminde sadece Çatalca - B. Çekmece hattındaki daralma artmış , Hadımköy barası bu sisteme bağlı olduğundaki duruma göre bir miktar kötüleşmiştir.

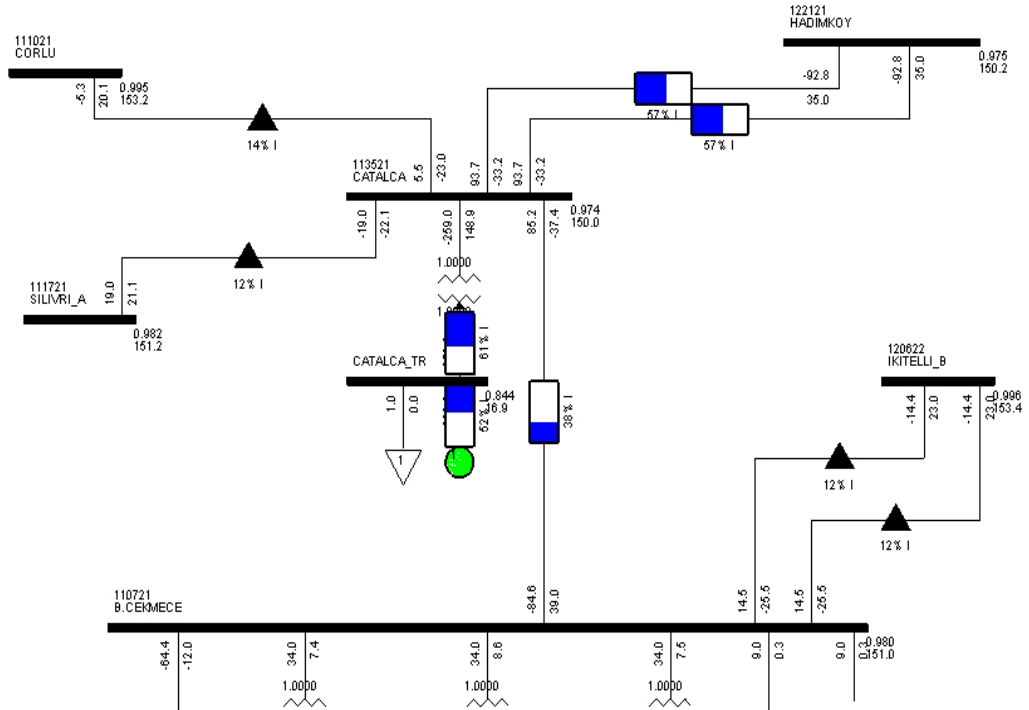
Sistemin gelişmesine ilişkin bir öneri olarak Çatalca - Hadımköy hattına paralel bir hat daha tesis edilmesi durumudur. Bu durumda çatalca üretim sahasından 260MVA lık sınır değerdeki güç sisteme aktarıldığında dahi hem Çatalca - Hadımköy hem de Çatalca-B. Çekmece hatları rahat bir şekilde iletime devam ettikleri görülmektedir. Şekil 5.17 de bu durum şematik olarak gösterilmiştir.

Böylece ileriye dönük projeksiyonda iki yeni bağlantı hattı ilavesi ile Çatalca’nın Hadımköy ve Çorlu baralarına bağlanması olumlu bir yük iletim kapasite artışı yaratmakla beraber , asıl Hadımköy - Çatalca paralel hattının oluşturulması, bu bölgedeki izin verilen üretim kapasitesini çok arttırdığı görülmektedir. Burada incelenmemiş olsada , sadece Hadımköy barası ile Çatalca barası arasında yapılacak paralel iki hat ile sistem bu bölgede çok rahatlayarak yükek seviyede bir RES kurulumna izin verebilecektir.

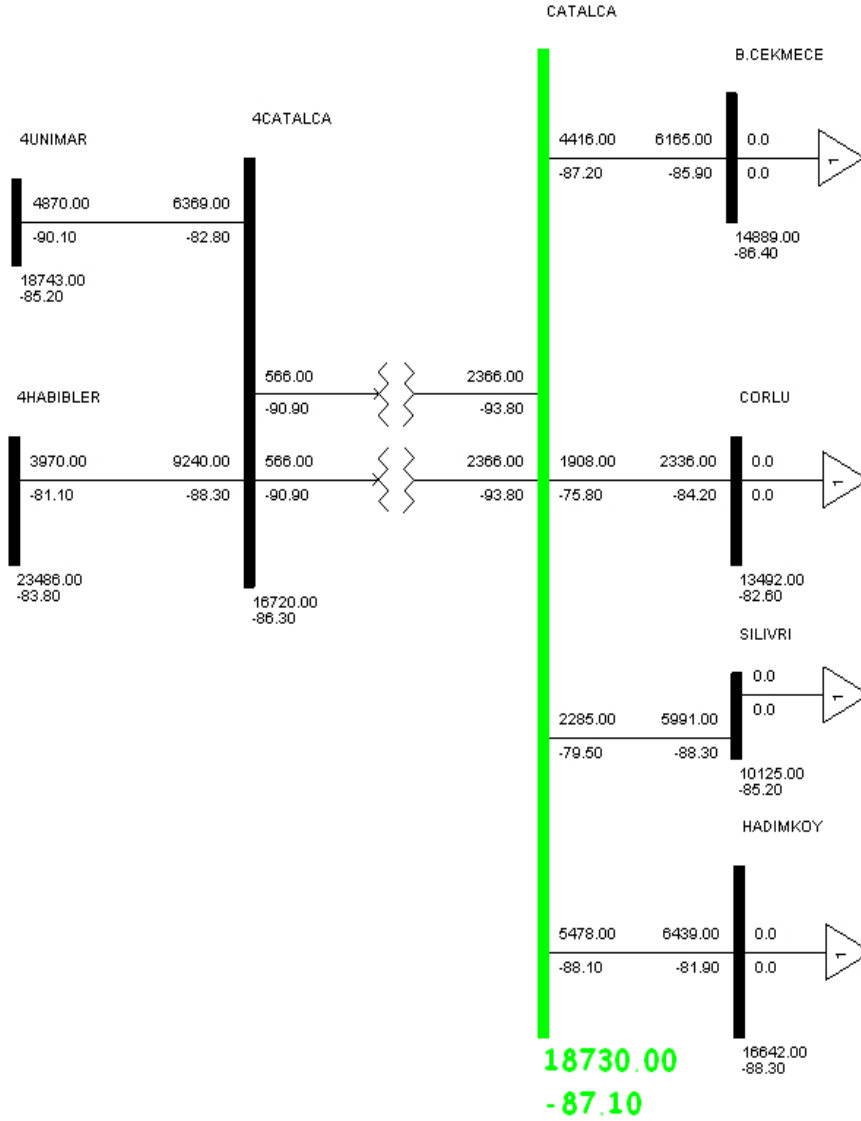
Bu bölgenin nispeten çok yoğun talep ettiği enerji ihtiyacı , birbirine yakın bu iki baranın birbiriyle paralel bir hat üzerinden bağlanması ile elde edilecek kapasite artışı ve yeni kurulacak RES ‘ ler ile kolayca aşılabilecek gibi görünmektedir. Bu bölgede halezahırda sınırlı seviyedeki %5 Sk değeri böylece daha yüksek seviyelere çıkarılmış olunacaktır.



**Şekil 5.16 :** Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda gelecekte Çorlu ve Hadımköy baraları ile hat tesisi edilmesi ve senaryo gereği hadımköy hattının açık olması durumunda hatlardaki yük akışını gösteren temsili çizim.



**Şekil 5.17 :** Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda gelecekte Çorlu ve Hadımköy baraları ile hat tesisi edilmesi ve senaryo gereği Hadımköy hattının kuplaj olarak tasarlanması durumunda hatlardaki yük akışını gösteren temsili çizim.



**Şekil 5.18** : Çatalca RES'in bağlı olduğu örnek bara grubunda, 154KV Çorlu ve Hadımköy baralarına ilave olarak, 380KV Çatalca barası ile hat tesisi edilmesi durumunda baradaki kısa devre gücünü gösteren temsili çizim.

Son bir inceleme olara , 380KV luk iletim sistemi ile Çatalca bölgesinin bağlantısının sağlanması göz önüne alınmıştır. Şekil 5.18'de de görülen bu senaryoya göre, Çatalca 380KV barasının ve ilgili 30KV bağlantı hatlarının tesisi ile 8.7KA olan Çatalca barası kısa devre akımı, 18.73KA ya çıkmaktadır. Bu sayede yine arz güvenliği kriterleri açısından üretim ve bağlantı kapasitesi kaydadeğer bir şekilde artırılmış olacaktır.



**Çizelge 5.2 :** Senaryo 1 (Şekil 5.8 ) için 3-Faz Kısa Devre Arızası için ilgili baralara ait kısa devre güçleri ve akımları.

Bara Adı	Gerilim [kV]	Arıza Tipi	Kısa-Devre gücü [MVA]	Kısa-Devre akımı [A]	Kısa-Devre akımı açısı [derece]
IKITELLI	154.00	3FT	6753.94	25320.7	-89.33
B.CEKMECE	154.00	3FT	2915.37	10929.8	-85.74
AKCANSANSA	154.00	3FT	2770.14	10385.3	-85.5
SILIVRI	154.00	3FT	1973.82	7399.9	-84.86
CATALCA	154.00	3FT	2046.32	7671.7	-85.74
BOTAS	154.00	3FT	3881.79	14552.9	-84.45

**Çizelge 5.3 :** Senaryo 2 (Şekil 5.9 ) için 3-Faz Kısa Devre Arızası için ilgili baralara ait kısa devre güçleri ve akımları.

Bara Adı	Gerilim [kV]	Arıza Tipi	Kısa-Devre gücü [MVA]	Kısa-Devre akımı [A]	Kısa-Devre akımı açısı [derece]
IKITELLI	154.00	3FT	6550.65	24558.6	-89.2
CATALCA	154.00	3FT	1373.19	5148.1	-86.92
SILIVRI	154.00	3FT	1222.6	4583.6	-82.45
AKCANSANSA	154.00	3FT	2398.84	8993.3	-85.7
B.CEKMECE	154.00	3FT	2507.19	9399.5	-85.91
BOTAS	154.00	3FT	3631.25	13613.7	-83.45

**Çizelge 5.4 :** Senaryo 3 (Şekil 5.10) için 3-Faz Kısa Devre Arızası için ilgili baralara ait kısa devre güçleri ve akımları.

Bara Adı	Gerilim [kV]	Arıza Tipi	Kısa-Devre gücü [MVA]	Kısa-Devre akımı [A]	Kısa-Devre akımı açısı [derece]
BOTAS	154.00	3FT	3633.71	13622.9	-84.98
B.CEKMECE	154.00	3FT	2509.11	9406.7	-87.44
AKCANSANSA	154.00	3FT	2400.61	9000.0	-87.23
SILIVRI	154.00	3FT	1223.38	4586.5	-83.98
CATALCA	154.00	3FT	874.55	3278.7	-84.56
IKITELLI	154.00	3FT	6554.94	24574.7	-90.73

**Çizelge 5.5 :** Senaryo 4 (Şekil 5.11 ) için 3-Faz Kısa Devre Arızası için ilgili baralara ait kısa devre güçleri ve akımları.

Bara Adı	Gerilim [kV]	Arıza Tipi	Kısa-Devre gücü [MVA]	Kısa-Devre akımı [A]	Kısa-Devre akımı açısı [derece]
BOTAS	154.00	3FT	3978.48	14915.4	-84.62
B.CEKMECE	154.00	3FT	3090.83	11587.6	-86.22
AKCANSANSA	154.00	3FT	2928.40	10978.6	-85.93
SILIVRI	154.00	3FT	2109.24	7907.6	-85.34
CATALCA	154.00	3FT	2320.72	8700.4	-86.79
IKITELLI	154.00	3FT	6843.58	25656.8	-89.42

**Çizelge 5.6 :** Senaryo 5 (Şekil 5.12 ) için 3-Faz Kısa Devre Arızası için ilgili baralara ait kısa devre güçleri ve akımları.

Bara Adı	Gerilim [kV]	Arıza Tipi	Kısa-Devre gücü [MVA]	Kısa-Devre akımı [A]	Kısa-Devre akımı açısı [derece]
IKITELLI	154.00	3FT	6843.58	25656.8	-89.42
B.CEKMECE	154.00	3FT	2759.22	10344.4	-87.07
AKCANSANSA	154.00	3FT	2628.96	9856.1	-86.78
SILIVRI	154.00	3FT	1226.33	4597.5	-82.80
CATALCA	154.00	3FT	1647.58	6176.8	-88.70
IKITELLI	154.00	3FT	6702.72	25128.7	-89.74

**Çizelge 5.7 :** Senaryo 6 (Şekil 5.13 ) için 3-Faz Kısa Devre Arızası için ilgili baralara ait kısa devre güçleri ve akımları.

Bara Adı	Gerilim [kV]	Arıza Tipi	Kısa-Devre gücü [MVA]	Kısa-Devre akımı [A]	Kısa-Devre akımı açısı [derece]
BOTAS	154.00	3FT	3840.63	14398.6	-84.10
B.CEKMECE	154.00	3FT	2519.66	9446.3	-86.29
AKCANSANSA	154.00	3FT	2410.25	9036.1	-86.07
SILIVRI	154.00	3FT	1476.48	5535.4	-84.07
CATALCA	154.00	3FT	1150.74	4314.2	-85.28
IKITELLI	154.00	3FT	6564.74	24611.4	-89.64

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Özellikle son on yılda ülkemizde hızla gelişen ve yüksek değerlere ulaşan rüzgar enerjisi santralleri ile elektrik üretiminin, ulusal elektrik altyapısı ile olan artan ilişkisi bu çalışmada esas konu olarak incelenmiştir. Sistemle olan bağlantı kriterleri ve mevcut yönetmeliklerin gelişen teknoloji ve ihtiyaçlarla olan ilişkisi ele alınmıştır.

Gelişen ihtiyaç ve talepler neticesinde, yönetmeliklerinde gelişimi kaçınılmaz olmaktadır. Ayrıca benzetim temelli inceleme yöntemlerinin hızla tasarım ve uygulama alanlarında bir mecburiyet olarak yer alması, pratik birçok uygulamayı beraberinde getirmiş çoklu incelemeler ve değiştirilen senaryolarla en doğru bağlantı şartları ortaya çıkarılabilmektedir. Bunlar yapılırken benzetim temelli modelleme araçlarına olan ihtiyaç sebebiyle bir çok modelleme arayüzü oluşturulmuş ve bunlar yeni santral tasarımları için kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada da PSSE yazılımı ile benzetim incelemeleri gerçekleştirilerek, bir örnek sistem üzerinde üretilen enerjinin sisteme güvenilir şekilde aktarılabilmesi ve kısa devre gücü bağlantı kriterleri açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Gerçek sistem verilerine dayalı olarak örnek sistem incelemeleri, RES şebekeye bağlantı noktasındaki kısadevre güç analizi ve hatlarda oluşan iletim kapasitesi hesaplarını içermektedir.

Bu tür incelemeler, üretim kapasite sınırlarının tespiti ve ileriye dönük sistem genişlemelerinin planlanmasında yol gösterici olacaktır.

### 6.1. Çalışmanın Uygulama Alanı

Bir elektrik enerji sisteminde, ilave olarak sisteme üretim katkısı sağlayacak rüzgara dayalı üretim merkezlerinin entegrasyonu, sistemin güvenli ve güvenilir çalışması açısından birçok etütlerin yapılmasını gerektirmektedir. Şebeke üzerinde RES bağlanacak herhangi bağlantı noktası bu çalışmada da benimsenen yük akışı ve kısa devre etütleri ile detaylı olarak incelenebilir. Ülkemizde arz güvenilirliği kriteri olarak TEİAŞ ve EPDK tarafından uygulanan %5 Sk değerinin altında ve üstündeki sınırlar böylece değerlendirilebilir, izin verilebilecek bağlantı sınırları ve esneklikler tespit

edilebilir. Sonuçlar, RES taleplerinin yatırıma dönüşmesinde karar vericilere yol gösterecektir.

Bu tez çalışmasındaki gibi incelemeler ve benimsenen yöntem, yeni geliştirilecek bağlantı noktası kısıtları ve kriterleri için bir zemin oluşturulabilir. Bunun yanı sıra incelemeler, geçici hal analizlerini de içerecek şekilde genişletilebilir. Böylece koruma sisteminin koordinasyonu ve tasarımı daha iyi yapılabilir.

Üretim merkezi tesis edilecek sahaların meteorolojik verilere dayalı rüzgar potansiyelleri dikkate alınarak hesaplanacak rüzgara dayalı maksimum elektrik enerjisi üretim kapasitesi, elektrik iletim sistemi altyapısının geleceğe dönük yatırımlarının belirlenmesinde yararlı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** <<http://www.epdk.gov.tr/lisans/elektrik/lisansdatabase/verilenuretim.asp>>, alındığı tarih 01.04.2010.
- [2] **Manfred Stiebler**, 2008, Wind Energy Systems for Electric Power Generations, Springer
- [3] **Thomas Ackerman**, 2005, Wind Power in Power Systems, Wiley
- [4] **Nidhishchandra G.Mishra, Udaya K.Madawala, Nirmal-Kumar C.Nair**, 2008, Research Platform for Wind Power Grid Integration & Energy Studies, Ewec 2008 Brüksel
- [5] **Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Erwin Bossanyi**, 2001, Wind Energy Handbook, Wiley
- [6] **Iov, F., Hansen, A. D., Sorensen, P., Blaabjerg, F.**, 2004, Simulation Platform to Model, Optimize and Design Wind Turbines, Aalborg University and RISO National Laboratory.
- [7] **Gomez-Lazaro, E., Fuentes, J.A., Molina-Garcia, A., Jimenez, F.**, 2009, Results Using Wind Turbine Models for the Certification Process required by the Grid Codes, IPST Conference Kyoto Japan
- [8] **Iov, F., Hansen, A. D., Jauch, C., Sorensen, P., Blaabjerg, F.**, 2004, Advanced tools for Modelling, Design and Optimization of Wind Turbine Systems, Nordic Wind Power Conference, Chalmers University of Technology.
- [9] **Willi Christiansen, David T.Johnsen**, 2006, Analysis of requirements in selected Grid Codes, Danimarka ,Technical University of Denmark
- [10] **Robert Zavadil, Nicholas Miller, Abraham Ellis, Eduard Muljadi, Ernst Camm, Brendan Kirby**, 2007, Interconnecting Wind Generation in to the Power System, IEEE Power & Energy Magazine.
- [11] **Natalia Sangrois, Jose A. Mora, Mateus D. Teixeira**, 2009, Review of International Grid codes for Wind Generation, 2009 Congressos
- [12] **Tisili, M., Patsiouras, Ch., Papathanassiou, S.**, 2008, Grid Codes Requirements for Large Wind Farms: A Review of Technical Regulations and Available Wind Turbine Technologies, Ewec 2008 Brüksel
- [13] **GWEC**, 2009, GWEC (Global Wind Energy Council) Press Release – Tables and Statistics 2008.
- [14] **Marian P.Kazmierkowski, R.Krishnan, Frede Blaabjerg**, 2002, Control in Power Electronics, Chapter 13, Lars Helle & Frede Blaabjerg, Wind Turbine System, Elsevier Science

- [15] **Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenliği ve Kalitesi Yönetmeliği**, 2010, Üretim ve Tasarım Esasları.
- [16] **Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği**, 2010, Ek-18 Rüzgara Dayalı Üretim Tesislerinin Şebeke Bağlantı Kriterleri.
- [17] **E.ON Netz GmbH**, “ Grid code high and extra high voltage”, Nisan 2006 (Almanya şebeke yönetmeliği)
- [18] **Technical Regulation TF 3.2.5 Energinet** “ Wind turbines connected to grids with voltages below 100Kv “, Mayıs 2004, ( Danimarka şebeke yönetmeliği )
- [19] **Technical Regulation TF 3.2.5 Energinet** “ Wind turbines connected to grids with voltages above 100Kv “, Aralık 2004, (Danimarka şebeke yönetmeliği )
- [20] **PSCAD User Manual V4.1**, Manitoba Research Center, Canada
- [21] **PTI PSS/E Program Application Guide**
- [22] **Url-2** <[http://www. teias.gov.tr/](http://www.teias.gov.tr/) >, alındığı tarih 30.04.2010.

## EKLER

**EK A.1** : TEİAŞ tarafından 154KV Baraları için verilmiş değerleri ( 21.09.2010 Tarih ve saat 08:00 daki minimum yük şartlarında trafo merkezleri yüksek gerilim baralarının kısa devre akımları ) [22].

BARA NO	BARA ADI	GERİLİMİ (kV)	3-FAZ AKIM (kA)	3-FAZ AÇI (derece)	3-FAZ AKIM (kA)	3-FAZ AÇI (derece)
111621	AKCANS_A	154	9,9	-75,5	9,0	-75,7
211021	B.BAKKALKY_A	154	21,5	-80,2	21,7	-79,9
110721	B.CEKMECE	154	10,4	-75,9	9,7	-76,1
110621	BOTASME	154	12,9	-75,1	15,0	-76,1
113521	CATALCA_RES	154	7,5	-74,7	5,6	-74,2
120621	IKITELLI_A	154	18,9	-82,9	15,5	-84,0
120622	IKITELLI_B	154	21,3	-81,9	21,4	-82,1
111721	SILIVRI_A	154	7,2	-73,9	5,2	-73,3





## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:**

**Aydoğan Tumay**

**Doğum Yeri ve Tarihi:**

**25.04.1971**

**Adres:**

**Serencebey Yokusu No: 7 Beşiktaş - İstanbul**

**Lisans Üniversite:**

**İstanbul Teknik Üniversitesi**