

YENİLENEBİLİR KAYNAKLARDAN ENERJİ ÜRETİMİNİN ŞEBEKENİN ENERJİ KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ersen Akdeniz¹, Prof.Dr. Adnan Kaypmaz², E. Alptekin Yağmur³

¹TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü, Gebze, 41470, Kocaeli. e-posta: ersen.akdeniz@mam.gov.tr

²Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul. e-posta: kaypmaz@elk.itu.edu.tr

³TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü, Gebze, 41470, Kocaeli. e-posta: alptekin.yagmur@mam.gov.tr

ÖZET

Özellikle 90'lı yılların başlangıcından itibaren çevre dostu enerji üretimi dünya genelinde birçok uluslararası kurum tarafından teknolojik araştırma-geliştirme ve buna paralel olarak yatırım yapılması teşvik edilen bir alandır. Ancak, yenilenebilir enerji teknolojileri olarak tanımlanan bu yeni nesil elektrik üretim tesislerinin birçoğunun değişken üretim yapıyor olması, bu tip santrallerin mevcut elektrik şebekesiyle bütünleşmesini zorlaştırmaktadır. Yenilenebilir enerji santrallerinin genellikle şebekenin güçlü olmadığı arazilerde tesis edilmesi, bu santrallerin genellikle şebekenin uç noktalarından elektrik sistemine bağlanmasını gerektirmektedir. Bu durum şebekenin mevcut enerji akışını önemli ölçüde değiştirebilmekte ve özellikle rüzgar santrallerinin değişken enerji üretim karakteristikleri sistemin nominal gerilim ve frekans değerlerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Yaptığımız çalışma kapsamında, farklı yenilenebilir enerji santrallerin sırasıyla şebekeye farklı kurulum güçlerinde, değişik kısa devre güçlerindeki bağlantı noktalarından bağlantı yapması durumunun şebekenin enerji kalitesi üzerine etkileri incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Yenilenebilir enerji, dağıtılmış enerji üretimi, enerji kalitesi

Kısaltmalar:

DEÜ: Dağıtılmış enerji üretimi

YES: Yenilenebilir enerji santrali

HES: Hidroelektrik santral

RES: Rüzgar enerji santrali

ASM: Asenkron generatörlü RES

CDSG: Evirici üzerinden bağlı senkron generatörlü RES

DFIG: Çift beslemeli asenkron generatörlü RES

FC: Yakıt pili enerji santrali

PV: Fotovoltaik pil enerji santrali

1. GİRİŞ

Mevcut elektrik iletim ve dağıtım ağlarında enerji akışı tek yönlü olarak yüksek gerilim iletim sisteminden son kullanıcıların bağlı olduğu pasif dağıtım sistemine doğrudur. Genellikle dağıtım sistemlerinin birçoğu dağıtım kısmında üretim olmaksızın radyal olarak çalıştırıldıkları için, aktif ve reaktif güç akışı her zaman yüksek gerilim seviyelerinden daha düşük gerilim seviyelerine doğru olmaktadır. Ancak, günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının artan kullanımı ile enerji akış yönü değişmeye başlamıştır. Bu durumun

kaçınılmaz bir sonucu olarak dağıtım sistemlerinin iki yönlü enerji transferini sağlayabilen ve gerilim seviyesinin üretimle birlikte yükler tarafından belirlenebildiği aktif bir sistem haline dönüşmesi gerekmektedir.

2. DAĞITILMIŞ ENERJİ ÜRETİMİ

Özellikle son yıllarda dünya genelinde enerji transferinin tüketim tarafından iletim sistemi havuzuna doğru olduğu merkezi üretime alternatif olarak geliştirilen dağıtılmış(merkezi olmayan) enerji üretimi olarak tanımlanan kavram oldukça yaygınlaşmaktadır. Dağıtılmış enerji üretiminin (DEÜ) enerji dağıtım sistemlerinde artması elektrik şebekelerinin durağan (normal çalışma) ve geçici hal durumlarını etkilemektedir. Dağıtılmış enerji kaynaklarının uygun olmayan yerlere bağlantısı gerilim çökmelerine veya yükselmelerine sebep olabileceği gibi, kayıpların artmasına ve iletim hatlarında aşırı yüklenmelere neden olmaktadır. Bu noktada, DEÜ kaynaklarının mevcut elektrik sistemi ile en uygun şekilde çalıştırılabilmesi için bağlantı ölçütlerinin sisteme uygun olarak tanımlanmış olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır[1].

Herhangi bir DEÜ kaynağının şebekeye bağlantısı yapılmadan önce mutlaka sistem üzerinde yapacağı etkilerin teknik ve ekonomik değerlendirmesi yapılmalıdır. DEÜ kaynaklarının etkileri faydalı olabileceği gibi bazı durumlarda ise sistem kararlılığı ve enerji kalitesi ile ilgili olumsuz sonuçlara da neden olabilmektedirler. DEÜ kaynaklarının kullanım oranı ve çıkış gücü dağıtım sisteminde gerilim seviyesi değişim oranının artmasına sebep olmaktadır. Genellikle, normal işletme koşullarında tüketicilere yakın noktalarda şebekeye bağlantı yapan küçük güçlü DEÜ kaynakları iletimden kaynaklan kayıpları düşürmekte ve dolayısıyla besleme hatlarının ucunda oluşan gerilim düşümlerini de azaltmaktadır. Üretilen enerji DEÜ kaynağına yakın tüketiciler tarafından kullanıldığı durumlarda şebeke genelinde üzerinde en düşük olumsuz etkiler oluşmaktadır. Fakat özellikle DEÜ kaynaklarının tüketicilerden uzak olduğu, üst gerilim seviyelerine doğru enerji transferinin gerektiği durumlarda iletim hatlarının aşırı yüklenmesine ve kayıpların artmasına sebep oldukları bilinmektedir. DEÜ kaynaklarının kurulum kapasiteleri bağlı oldukları dağıtım sistemi içerisinde kararlılığı bozmamak için genellikle ticari kaygılardan kaynaklanan sebeplerden dolayı sabitlenmiştir[2].

DEÜ kaynakları çok çeşitli ve farklı teknolojik sistemlerden oluşmaktadır. Pratikte, şebekeye doğrudan generatörler üzerinden veya evirici üzerinden bağlanmaktadır. Elektrik

şebekesine bağlantı açısından değerlendirildiğinde DEÜ kaynakları iki temel sınıfa ayrılmaktadırlar[3]:

1. senkron ve asenkron generatörlerin oluşturduğu döner makinalar
 - o senkron generatörler: içten yanmalı dizel generatörler ve gaz türbinleri, HES, RES
 - o asenkron generatörler: RES ve küçük HES
2. evirici tabanlı DEÜ kaynakları: Yakıt pilleri, Fotovoltaik, Mikrotürbin ve RES

DEÜ kaynaklarının şebekeye bağlantı durumu incelendiğinde kararlı durağan durumlar için benzer etkilerinin olduğu ancak birbirlerinden oldukça farklı geçici hal durumları için dinamik etkileri olduğu bilinmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları (büyük hidrolik santraller hariç) konvansiyonel santraller ile güç açısından kıyaslandığında oldukça küçük enerji yoğunluğuna sahiptirler. Bu yüzden yatırım maliyetleri açısından değerlendirildiğinde bu tip küçük üretim kaynaklarının elektrik şebekesiyle entegrasyonunun en tabi (maliyet etkin) yolu mevcut dağıtım ve iletim sistemine ait trafo merkezleri üzerinden sisteme bağlanmalarıdır. Ülkemizde EPDK ve TEİAŞ tarafından uygulanmakta olan yenilenebilir enerji santrallerinin bağlantı ölçütleri uyarınca (özellikle rüzgâr santralleri için) bağlantı yapılacak trafo kısa devre gücünün %5 değerini geçmeme kısıtlaması getirilmiştir. Bu değer aslında pratikte uygulamalar için genel-geçer bir değer olup aslında her YES'in kurulum gücü bağlantı yapacağı şebekenin her hangi bir noktası uyarınca değişmektedir.

3. BENZETİM ÇALIŞMASI

Benzetim çalışması içerisinde Adana-Mersin bölgesine ait 66 kV iletim sistemi analiz için seçilmiş ve 2002 yılına ait mevcut iletim hatları, trafo, generatör ve yük karakteristik verileri kullanılmıştır. Ekte tek hat şeması verilen çalışmaya referans oluşturan 66 kV'luk iletim sistemi, ulusal şebekeye tek bir noktadan bağlı olup, bünyesinde 70 MW'lık iç üretim ve 100 MW'lık tüketime sahiptir. 30 MW'lık ek fark ulusal şebekeden besleniyor olup, bu seviye farklı güçlerde yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme enterkonnekte olmasıyla değişmektedir.

Tablo 1: 66 kV iletim sisteminde yer alan baraların kısa devre akım güçleri ve çeşitli yüzdesel değerler için dağılımları

trafo merkezleri	Sk" (MVA)	5%
mersin trf	240.54	12.027
mersin termik	244.26	12.213
mihamandar	332.73	16.6365
tarsus	399.71	19.9855
incirlik	489.59	24.4795
şehitlik	850.3	42.515
doğu adana	1309.31	65.4655
batı adana	1386.12	69.306
seyhan	3266.2	163.31

TEİAŞ'ın mevcut bağlantı uygulaması uyarınca yenilenebilir enerji kaynaklarının (özellikle rüzgâr santralleri) kurulum

güçleri bağlantı yapacakları baranın kısa devre gücünün % 5 değerini geçmemektedir. Bu bağlamda, analiz çalışmalarına başlamadan önce örnek sistemde yer alan tüm baralarda 3-faz kısa devre hatası modellenerek kısa devre kapasiteleri benzetim programı uyarınca hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur. Deutsches Windenergie Institut tarafından 2001 yılında yayınlanan rapor uyarınca da tanımlanan güçlü şebeke tanımı gereği, şebekenin toplam gücünün bağlanacak yenilenebilir enerji kaynağının 20-25 katı (%5) olması durumunda şebeke üzerinde YES kaynaklı problemlerin en düşük seviyede görüleceği beklenmektedir[4]. Bu bağlamda, şebekenin güçlü olduğu noktalarda yapılacak bağlantıların şebeke üzerinde etkilerinin çok fazla hissedilmeyeceği, aksine bağlantı noktası gücünün zayıf olduğu noktalarda ise etkilerin daha ciddi düzeyde olması beklenmektedir. Bu durumun geçerliliğini analiz etmek için şebekenin en güçlü ve en zayıf olduğu bağlantı noktaları seçilmiş ve sırasıyla farklı güçlerde 6 farklı değişik tipte üretim yapan generatörlerden oluşan yenilenebilir enerji santralleri benzetim programı üzerinden sisteme bağlanmıştır.

4. BENZETİM SONUÇLARI

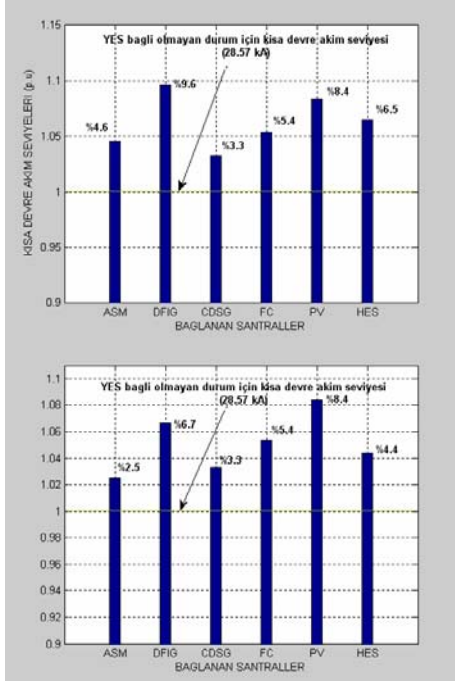
Benzetim çalışmalarında 5, 10 ve 25 MW güçlerindeki endüksiyon generatörlü, çift beslemeli endüksiyon generatörlü ve evirici üzerinden bağlı senkron generatörlü rüzgâr santralleri ile fotovoltaik pil , yakıt pili ve küçük hidroelektrik santrallerin şebekeye farklı noktalardan bağlantısının sistemin gerilim seviyeleri, kısa devre akım seviyeleri ile aktif ve reaktif enerji iletim kayıpları üzerine yapacağı etkiler incelenmiştir.

Gerilim ve kısa devre akımı seviyeleri üzerine etkiler

Seyhan/66 kV barası yük akışı ve kısa devre sonuçları:

YES'lerin Seyhan/66 kV barasına tüm bağlantılarında yapılan yük akışı analizlerinde 66 kV iletim sistemi genelindeki tüm baraların gerilim seviyelerinde artış gözlemlenmemiştir. Ayrıca, 25 MW'lık bağlantı gücü Seyhan/66kV barasının 3266.2 MVA'lık kısa devre gücü yanında %0.76 lık oldukça düşük bir orana denk geldiği için bu baranın gerilim seviyesinin yükselmesi beklenmemektedir.

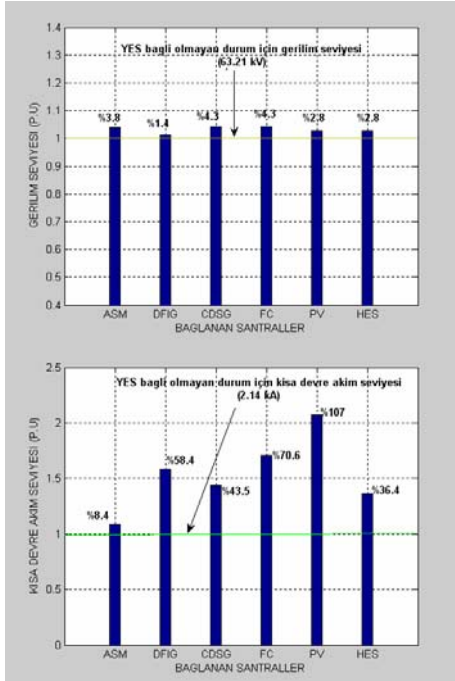
Bu noktaya bağlanan santralin kurulum gücü nispetinde Seyhan/66 kV barasının kısa devre akım seviyesinde %9.6'ya(25 MW DFIG) varan artışlar gözlemlenmiştir. Ayrıca, santrallerin generatör ve kontrol ünitelerinin topolojileri farklı olduğu için aynı aktif güçteki santrallerin farklı seviyelerde kısa devre hata akımına katkı yaptıkları gözlemlenmiştir. Şebekeye tamamıyla evirici üniteler üzerinden bağlanan YES'lerin (CDSG, FC, PV) kısa devre akımına katkılarının evirici üniteler tarafından sınırlandırıldığı, 10 ve 25 MW'lık farklı bağlantı güçlerinde dahi bu santrallerin aynı seviyede hata akımına katkı yapmasından anlaşılmaktadır. 5 MW gücünde yapılan bağlantıların etkisi oldukça düşük olduğu için, bu güç seviyesi için elde edilen grafikler bu bildiride yer almamaktadır.



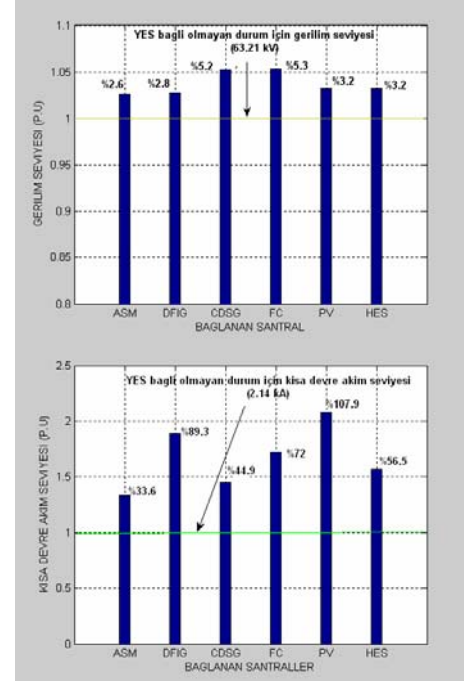
Şekil 1: Seyhan/66kV barasına 10 ve 25 MW aktif güçteki YES'lerin bağlantısının kısa devre akım seviyesine etkileri

Mersin Termik/66 kV barası yük akışı ve kısa devre sonuçları:

Mersin Termik/66 kV barasına yapılan tüm YES bağlantılarının bu baranın gerilim seviyesini olumlu yönde artırdığını görmekteyiz. Ancak, seçilen diğer baralarda, Batı Adana/66 kV barasında ki %0.3'lere varan artışlar dışında, Seyhan/66 kV ve Mihmandar 66 kV baralarının gerilim seviyelerinde herhangi bir artış gözlemlenmemiştir.

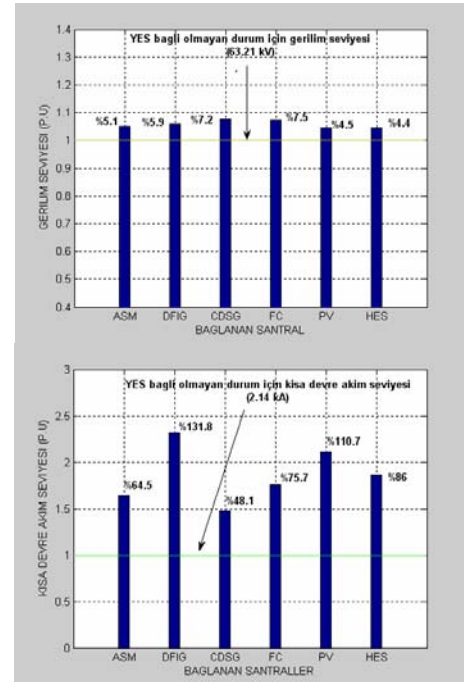


Şekil 2: Mersin Termik/66kV barasına 5 MW aktif güçteki YES'lerin bağlantısının bara gerilimi ve kısa devre akım seviyeleri üzerine etkileri



Şekil 3: Mersin Termik/66kV barasına 10 MW aktif güçteki YES'lerin bağlantısının bara gerilimi ve kısa devre akım seviyeleri üzerine etkileri

Yapılan bağlantılar kısa devre akım seviyeleri açısından incelendiğinde gerilim seviyesinin yükselmesine paralel olarak kısa devre akımlarının da yükseldiği gözlemlenmektedir. Buna göre YES'lerin mevcut sisteme ilave altyapı yatırım yapılmaksızın bağlantısı durumunda kurulum gücünü kısıtlayan en temel faktörün bağlantı noktasının kısa devre kapasitesi olduğu ortaya çıkmaktadır.

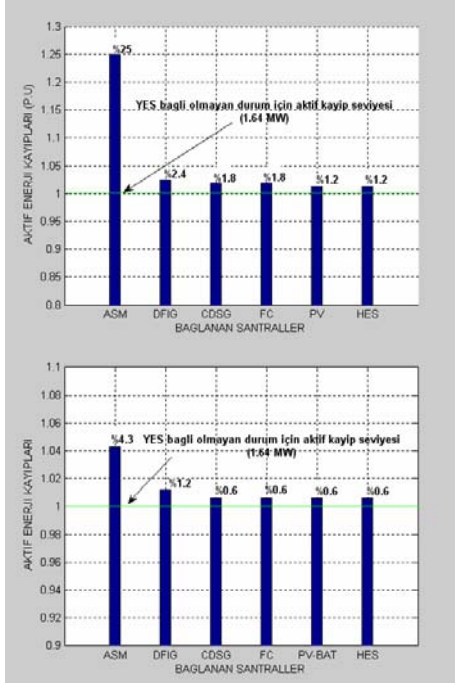


Şekil 4: Mersin Termik/66kV barasına 25 MW aktif güçteki YES'lerin bağlantısının bara gerilimi ve kısa devre akım seviyeleri üzerine etkileri

Kayıplar üzerine etkiler

Seyhan/66 kV barası aktif ve reaktif kayıp sonuçları:

Seyhan/66 kV barasına yapılan YES bağlantıları aktif enerji kayıpları açısından incelendiğinde, kayıpların iletim sisteminin merkezinden uç noktalara iletilen enerjiyle doğru orantılı olarak değiştiğinden, santral türü ne olursa olsun sistemin toplam aktif güç kayıplarında artan santral bağlantı gücüyle yükselen, %25'lere (25 MW ASM bağlı durumunda) varan artışlar gözlemlenmiştir.

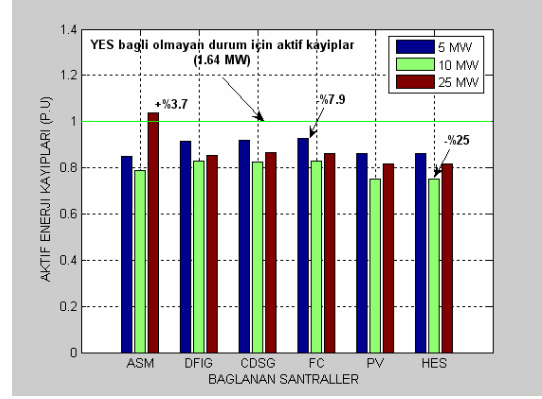


Şekil 5: Seyhan/66kV barasına 10 ve 25 MW aktif güçteki YES'lerin bağlantısının şebekenin toplam aktif enerji iletim kayıplarına etkileri

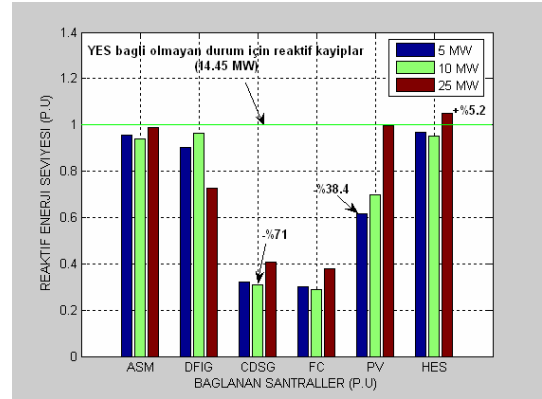
Seyhan/66 kV barasına yapılan YES bağlantıları reaktif enerji kayıpları açısından incelendiğinde etkin reaktif güç kontrolü yapabilen YES generatörlerinin sisteme gerektiğinde reaktif enerji sağlayarak şebekenin toplam reaktif enerji kayıplarını % 64.7 'lere varan oranda düşürdüğü gözlemlenmiştir. Ancak, sadece aktif güç verecek şekilde şebekeye bağlanan endüksiyon generatörlü rüzgar santrali ile senkron generatörlü küçük HES santralleri reaktif güç kontrolüne katılamadıkları gibi, özellikle kısa devre hatası durumunda şebekeden fazla reaktif enerji çekmelerinin şebekenin reaktif güç kayıplarını % 7.8 ve %13.6 'ya varan oranlarda artırdığı gözlemlenmiştir.

Mersin Termik/66 kV barası aktif ve reaktif kayıp sonuçları:

Mersin Termik/66 kV barasına yapılan tüm bağlantılar incelendiğinde şebekenin toplam aktif ve reaktif enerji iletim kayıplarının azaltılması yönünde önemli katkılar yaptığı ortaya çıkmaktadır. Sadece kısa devre gücünün % 10 'u seviyelerinde yapılan endüksiyon generatörlü rüzgar santrallerinin aktif enerji kayıplarını %3.7 oranında ve küçük HES bağlantısının reaktif enerji kayıplarını %5.2 oranında artırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6: Farklı aktif güçlerdeki (5, 10, 25 MW) YES'lerin Mersin Termik/66kV barasına bağlantısının şebekenin toplam aktif iletim kayıplarına etkileri



Şekil 7: Farklı aktif güçlerdeki (5, 10, 25 MW) YES'lerin Mersin Termik/66kV barasına bağlantısının şebekenin toplam reaktif iletim kayıplarına etkileri

Baranın kısa devre gücünün %10.5 oranında (25 MW) yapılan YES bağlantılarının analiz sonuçları incelendiğinde, evirici üzerinden bağlı senkron generatörlü rüzgar santralinin gerilim seviyesini %7.2 oranında artırarak nominal değerine yaklaştırması ve kısa devre akımını limitleyerek kısa devre akımı katkısını %48.1 oranıyla en düşük seviyede artırması, ayrıca aktif kayıpları %18 oranında ve reaktif enerji kayıplarını %60 oranlarında düşürmesinden dolayı 6 farklı santral tipi içerisinde Mersin Termik/66 kV barasının enerji kalitesinin iyileştirilmesinde en iyi sonucunu verdiği ortaya çıkmaktadır.

5. SONUÇLAR

Benzetim çalışmalarında; rüzgar, güneş, hidrolik ve hidrojen enerjilerini kullanan farklı yenilenebilir enerji santrallerin sırasıyla gerçek bir iletim sistemine farklı kurulum güçlerinde ve farklı kısa devre güçlerinde ki bağlantı noktalarından bağlanması durumu DigSilent Power Factory programı kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde TEİAŞ tarafından uygulanmakta olan yenilenebilir santrallerin kurulum güçlerini kısıtlayan bağlantı noktasının kısa devre gücünün %5'ini aşmama uygulamasının benzer AB uygulamalarıyla karşılaştırıldığında oldukça sınırlı olduğu, bu

oranın her bağlantı noktasının karakteristiğine bağlı olarak artırılabilceği değerlendirilmiştir.

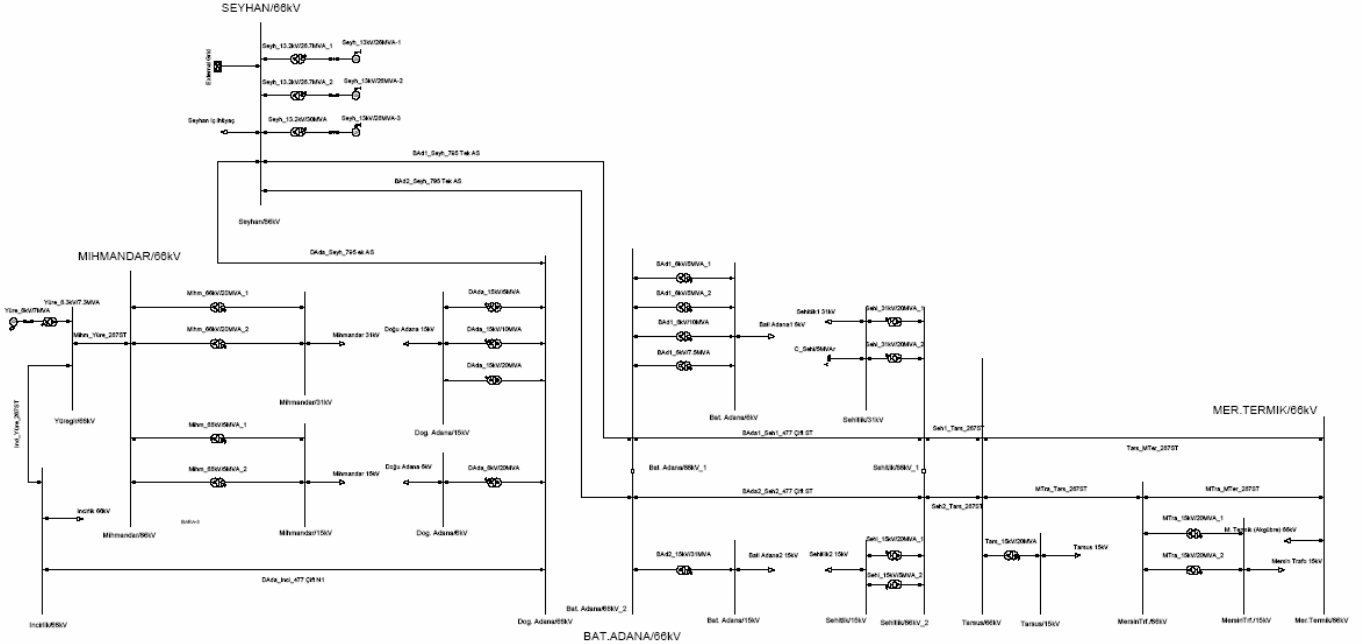
YES santrallerinin kurulum gücü tespit edilirken; YES generatörü modeli (kontrol mekanizmaları), şebekenin bağlantı noktasının kısa devre gücü, şebekenin hat karakteristikleri (rezistif, endüktif), mevcut koruma elemanlarının kısa devre akım kapasiteleri temel belirleyici etken olmaktadır. Ayrıca, herhangi bir yenilenebilir enerji santrali veya bir diğer tabirle dağıtılmış enerji üretim santralleri şebekeyle optimum şekilde enterkonnekte olabilmesi aşağıda listelenen özellikleri sağlamak zorunda olduğu tespit edilmiştir:

- o Değişen aktif ve reaktif enerji üretimlerinden dolayı şebeke de istenmeyen gerilim değişimlerinin önlenmesi,
- o Mevcut şebeke elemanların kısa devre akım limitleri ile ısıl dayanım kapasiteleri zorlanmaması,
- o Fliker ve harmonik üretiminin kabul edilebilir sınırlar içinde olması,
- o Anahtarlama olaylarından ve anlık devreye girme olayları gibi geçici durumlarda şebeke kararlılığının limit değerleri içerisinde olması,

gerekmektedir[5]. Bu koşullar dikkate alındığında YES bağlantısı yapılacak şebekenin YES kaynaklı kısıtlılık durumlarını aşabilmesi için rezerv kapasite yedeğinin olması, şebekede sürdürülebilir arz güvenliği için kaçınılmaz olduğu ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Lundberg, S. Petru, T., Thiringer, T. 2000, Electrical limiting factors for wind energy installations in weak grids, Chalmers University of Technology, Sweden.
- [2] Dugan, R.C, McDermott T.E, 2001, Operating conflicts for distributed generation on distribution systems, IEEE Rural electric conference, Arkamsas
- [3] Foote, C.E.T., Ault, G.W., McDonald, J.R., Silvestro, F., 2005. Information requirements and methods for characterising distributed generation, *CIREN 18th International Conference on Electricity Distribution*, Turin
- [4] Deutches Wind Energie Institut, Tech-wise A/S, DM Energy, 2001. Wind turbine grid connection and interaction, technical report, Germany.
- [5] Akdeniz E., 2006. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin şebekenin enerji kalitesi ve kararlılığı üzerine etkilerinin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul



Şekil 8. Adana-Mersin bölgesinin 2002 yılına ait 66 kV iletim sisteminin tek hat şeması