



# Optimal Bağlantı Kriterlerine Göre Güneş Enerji Santrallerinin Şebeke Entegrasyonu ve Ada Modunda Çalışmada Kritik Yüklerin Enerjilendirilmesi

Erdin Gökalp<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

(İlk Geliş Tarihi 14 Kasım 2018 ve Kabul Tarihi 6 Aralık 2018)

(DOI: 10.31590/ejosat.482591)

## Öz

Akıllı şebeke bileşenlerinin ve yenilenebilir enerji kaynaklarının artması ile birlikte konvansiyonel şebekelere eklemeler ve iyileştirmeler yapılması kaçınılmaz olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sayısının artması ile birlikte şebeke üzerinde olan etkileri de katlanarak artmaktadır. Şebekede stabilizeyi korumak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını optimal şekilde konumlandırabilmek için gerekli analizler gerçekleştirilmeli ve yenilenebilir enerji santrallerinin şebeke entegrasyonu bu kriterler baz alınarak sağlanmalıdır. Stabilite ve optimal konumlandırma kriterlerinin yanı sıra dikkate alınması gereken diğer bir faktör ise ada modunda çalışma ve kritik yüklerin optimal şekilde enerjilendirilmesinin sağlanmasıdır. Gerçekleştirilen çalışmada IEEE 13 baralı test sistemi bir mahalle şebekesi olarak kullanılıp güneş enerji santrali (GES) entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Entegrasyon esnasında optimal bağlantı noktası seçimi, gerilim regülasyonu, hat kayıplarının azaltılması ve ada modunda çalışma kriterleri göz önüne alınmıştır. Kurulan şebeke modeli ve GES modelinin entegrasyonu ile optimal bağlantı kriteri sağlanmış ve şebekede meydana gelmesi muhtemel bir arıza esnasında kritik yüklerin GES ada modunda çalışma fonksiyonu ile enerjilendirilmesi sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı şebekeler, güneş enerji santrali, şebeke entegrasyonu, optimal entegrasyon.

## Integration of Solar Power Plants to Grid with Optimal Connection Criteria and Energization of Critical Loads in Island Mode Operation

### Abstract

The improvements and additional equipment implementation demand for the conventional grids are on increase as a result of the increase of the number of renewable power plants and smart grid components. The effect of the renewable power plants on the grid are on increase exponentially as the increase on the number of the renewable power plants. In order to keep the grid stable and integrate the renewables to the grid optimally, necessary analysis have to be realized and the optimal integration criteria have to be investigated carefully. The other optimal integration factors are eligibility for island mode operation and energization of critical loads during a possible fault event along with grid stability and voltage regulation criteria. In this study, IEEE 13 bus test system is built in simulation environment as a district model along with a solar power plant (SPP) model and the SPP is integrated to existing district network. The optimal integration criteria of maintaining voltage regulation in a reasonable level, reducing line losses and the eligibility of island mode operation are investigated during the study steps. The optimal integration criteria are met as the result of the analysis on the simulated grid model and SPP integration study along with energization of critical loads during a grid blackout.

**Key words:** Smart grids, solar power plants, grid integration, optimal integration.

### 1. Giriş

Yenilenebilir enerji santrallerinin sayısının artması ve kullanılabilirliğinin yaygınlaşması ile birlikte yeni nesil şebeke yapılarına ihtiyaç duyulmaya başlanılmıştır. Yenilenebilir enerji santrallerinin sayısındaki artış yükselen yakıt fiyatları, çevresel etkilerin dikkate alınması faktörleri tarafından hızlandırılmaktadır

Mukhopadhyay ve ark. (2013). Aynı zamanda yenilenebilir enerji santralleri için gerekli olan teknolojinin ucuzlaşması da yaygınlaşmayı arttırmaktadır Pramo ve Isandar (2017). Bu fiyat düşüşü tüketici ve üreticiye maliyet düşüşü olarak yansımaktadır Rehmani ve ark. (2018). Akıllı şehir konseptinin temel bileşenlerinden olan akıllı şebeke altyapısının gerçekleştirilmesi konvansiyonel şebekelerin modernizasyonu ile

<sup>1</sup> Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, [gokalp@yildiz.edu.tr](mailto:gokalp@yildiz.edu.tr)

gerçekleşecektir Atasoy ve ark. (2015). Konvansiyonel şebekelere ait bileşenlerin yeni nesil üretim teknolojileri ile uyumlu hale getirilmesi ve yeni şebeke bileşenlerinin mevcut sisteme entegrasyonun sorunsuz şekilde sağlanması önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile kapasite artışı gibi avantajlar sağlansa da kaynağın değişken olması nedeniyle stabilite problemleri ortaya çıkmaktadır Li ve ark. (2017). Ancak, sürdürülebilir bir enerji kaynağına sahip olabilmek için fosil yakıtlı üretim tesislerinin yenilenebilir enerji kaynakları ile değiştirilmesi gerekmektedir Gu (2016). Enerji üretiminde sağlanan yeni gelişmeler doğrultusunda ihtiyaç duyulan yeni nesil şebeke sistemlerine geçiş sürecinde mevcut şebekelerin ihtiyaca cevap verecek düzeye getirilmesi gerekmektedir. Yeni nesil tüketim ve üretim tesislerinin entegrasyonunda hızlı ve güvenilir haberleşme sistemi de temel ihtiyaçlardandır Yu ve ark. (2011). Bu geçiş sürecinde şebekeler yeni nesil üretim tesislerinin ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde dizayn edilmelidir.

Yeni nesil şebekelerde ihtiyaç duyulan hız, güvenilirlik ve değişken üretime göre hızlı cevap verebilen bir altyapı dizaynı gerçekleştirilmeli ve uygulanmalıdır. Bu bağlamda, şebeke dizaynı için temel parametrelerden birisi de üretim değerleri değişken olan yenilenebilir enerji santrallerinin entegrasyonu sağlanırken bağlantı kriterlerinin incelenmesi ve optimal bağlantı lokasyonunun belirlenmesidir. Konvansiyonel santrallerin şebeke bağlantı kriterleri incelenirken dikkat edilen kapasite faktörü, kısa devre ve akım taşıma kapasiteleri, gerilim regülasyonu parametrelerinin yanı sıra hat taşıma kapasiteleri de dikkate alınmaktadır Gunkel ve Möst (2014). Yenilenebilir enerji santrallerinin şebeke entegrasyonunda ise bu parametrelere ek olarak santralin değişken üretim profilinin şebeke üzerinde meydana getireceği etkiler de incelenmelidir. Konvansiyonel santrallerle kıyaslandığında yenilenebilir enerji santralleri değişken ve kesintili üretim profiline sahiptir Yi ve ark. (2018). Değişken üretim profilleri rüzgar ve güneş verilerine göre tahmin edilebilmektedir ancak kaynağın sürekliliğinden emin olunamaması ve üretim değişimleri bu noktada dikkat edilmesi gereken faktörlerdir.

Güneş enerji santrallerinin (GES) kullanımının artması ile birlikte büyük ölçekli santrallerin yanı sıra şehir içlerinde kullanılan çatı tipi santrallerin kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Kullanılan GESlerin yaygınlaşması ile entegrasyonun daha efektif gerçekleşmesini sağlayacak olan mikrogrid konsepti de yaygınlaşmaktadır Rahbar ve ark. (2014). Mikrogridlerin bir diğer avantajı olan hat kayıplarının azalması ise bu yaygınlaşma ile kayıpların minimal düzeye inmesidir Rahbar ve ark. (2014). Bu tip santrallerde bağlantı için yeni bir şebeke modeli uygulanması yapılması uygun olmadığından mevcut şebeke kullanılmaktadır. Mevcut şebeke üzerinde yeni eklenecek bu santrallerin sayısının artmasıyla birlikte gelecekte ortaya çıkması muhtemel problemlerin önüne geçmek adına gerekli çalışmalar yapılmalı ve bağlantı noktaları için tüm parametreler göz önüne alınarak optimal seçim gerçekleştirilmelidir.

GESlerin dizaynı ve şebeke entegrasyonunda dikkate alınması gereken ilk faktör güneş radyasyonuna göre üretim profilinin elde edilmesidir. Bu amaçla kurulum yapılacak bölgeye ait güneş radyasyonu verileri, güneşlenme süresi ve bu santralin şebeke üzerinde oluşturacağı etki incelenmelidir. Şebeke üzerinde oluşacak etki stabiliteyi bozucu etki göstermemelidir Vu ve ark. (2018). Gottwalt ve ark. (2017) ekonomik faktörleri dikkate alarak şebekede stabiliteyi sağlama yönünde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Sistemde stabiliteyi korumak adına kontrol stratejilerinin gerçekleştirilmesi ise Yan ve ark. (2017) tarafından

incelenmiştir. Entegrasyon çalışmalarında ön planda tutulan ekonomik faktörlerin yanında stabilite ve verimlilik kriterleri dikkate alınmalıdır Chen ve Zhu (2017). Elde edilen veriler ışığında alternatif bağlantı noktaları da dikkate alınarak entegrasyon çalışması gerçekleştirilmelidir. Bu aşamanın ardından ise sistemde kısa devre, yük akışı, stabilite analizleri gerçekleştirilerek optimal ve güvenilir çözüme ulaşıldığına emin olunmalıdır. Sistemde oluşacak problemler şebeke stabilitesinin yanı sıra koruma sistemini de etkileyici olacaktır Telekunta ve ark. (2017). Koruma sistemlerinde yanlış-hatalı açma yada arıza oluşması sonucunda sistemde yer alan hastane v.b. gibi kritik yüklerin beslenmesi için GES kullanımı alternatif bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Baba ve ark. (2017) kritik yüklerin dizel generatör ile GESin paralel çalışması durumunda enerjilendirme analizlerini, Usova ve Velkin (2018) GESlerin kritik yükler için kullanılmasını durumunda ekonomik etkilerini incelemişlerdir. Mizuno ve ark. (2017) ise akü, GES ve dizel generatörlerin bir arada olduğu bir kritik yük besleme sistemi sunmuşlardır. Ancak bu sistemin oluşturacağı ekonomik yükün önüne geçmek için kademeli yük atma stratejisi ise Hamdaoui ve Maach (2017) tarafından incelenmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada IEEE 13 baralı test sistemi IEEE (1992) bir mahalle modeli olarak ele alınıp seçilen baralarda güneş enerji santrali bağlantısı için optimal bağlantı noktası seçimi gerçekleştirilmiştir. Dizaynı etkileyen güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu parametreleri simüle edilip, şebeke modeli üzerinde optimal bağlantı kriterleri göz önüne alınarak bağlantı noktası seçimi gerçekleştirilmiştir. Güneş santrali dizayn aşamasında; solar panel, modül, inverter ve transformator dizaynı gerçekleştirilip İstanbul'a ait ortalama güneş radyasyonu verileri kullanılarak IEEE 13 baralı sistemde entegrasyon çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar baz alınarak şebeke üzerinde, optimal bağlantı kriterlerine göre en uygun bağlantı noktası seçilip sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen optimal bağlantı noktasında şebeke ile GESin paralel çalışma koşullarında güneş radyasyonuna göre değişken profili ile üretim değişimi incelenmiş ve GESin ada moduna çalışma koşulları incelenmiştir. Şebekede meydana gelmesi muhtemel bir arıza durumunda GESin yükleri beslemesi için gerekli yük atma prosedürü oluşturulup uygulanmış ve sistemin kapasitesi doğrultusunda yük atma stratejisi ile kritik yüklerin beslenmesi sağlanmıştır. Çalışma ile sunulan sonuçlar ve yenilikler listelenmiştir:

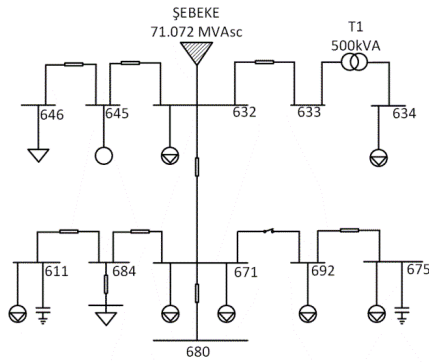
- Gerçekleştirilen çalışma ile GES bağlantı noktası seçiminde şebeke üzerinde oluşacak etkiler gerilim regülasyonu ve hat kayıplarının incelenmesi kriterleri baz alınarak incelenmiştir.
- Çalışmada yer alan kriterler GESin temel üretim parametresi olan değişkenlik fonksiyonu uygulanarak simüle edilmiştir. Gün içerisinde sürekli değişen güneş radyasyonu ve üretim profilinin şebeke bağlantı noktası seçiminde optimal konumlandırma için analizleri gerçekleştirilmiştir.
- Elde edilen sonuçlar ışığında, uygulanan analiz yönteminin hat kayıpları ve gerilim regülasyonu parametreleri göz önüne alınarak optimal konumlandırma için kullanılması sağlanılmıştır.
- Senaryo tabanlı konumlandırma analizi sonrasında seçilen nokta için ada modunda GES çalışma analizi gerçekleştirilip GES in kritik yük enerjilendirme potansiyeli incelenmiştir.
- Bu çalışma ile GESlerin şebekeye olan etkisi ve kritik yük enerjilendirme potansiyelleri incelenmiş olup, senaryo tabanlı optimal bağlantı noktası seçimi belirtilen kriterlere göre

incelenmiş ve kullanılan metodoloji ile bağlantı noktası seçiminde önemli bir katkı sağlanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmada giriş bölümünü takiben ikinci bölümde sistem metodolojisi, GES dizaynı ve şebeke parametrelerine ait değerler belirtilmiş, üçüncü bölümde simülasyonlar ve sonuçlarına ait bilgiler verilip sonuçlar incelenirken dördüncü bölümde genel çalışma sonuçlarına yer verilmiştir.

## 2. Sistem Metodolojisi ve Simülasyonlar

Çalışmanın ilk aşaması olarak IEEE 13 baralı test sistemi ETAP programında simülasyon amacıyla kullanılacak olan mahalle şebekesi olarak modellenmiştir. Modelleme için kullanılan yük değerleri, hat parametreleri ve transformatörler değişiklik yapılmadan test sistemi referans alınarak sisteme uygulanmıştır. Mahalle modeli olarak kullanılan IEEE 13 baralı test sistemine ait tek hat diyagramı Şekil 1’de belirtilmiştir.



Şekil 1: IEEE 13 Baralı Test Sistemi.

Şekil 1’de belirtilen 13 baralı test sisteminde yer alan 3 fazlı baralar, entegrasyon analizi için seçilen 633, 692 ve 675 nolu baralarda GES bağlantıları gerçekleştirilerek simüle edilmiştir. Bu bağlantı noktalarında yer alan yükler sabit tutulup sadece ada modunda çalışma senaryosu için yük atma fonksiyonu ile yük değerleri değiştirilmiştir. 120 kVA gücünde dizayn edilen GES, dönüştürme oranı 0.48/4.16 KV olan transformatör üzerinden ilgili baralara bağlanmıştır.

Şebeke modeli dizayn aşamasının ardından sırasıyla yük akış ve kısa devre analizleri gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlara göre GES entegrasyonu için optimal bara seçimi aşamasına geçilmiştir. GES dizaynı için gerekli parametreler simülasyon ortamına uygulanıp gerekli analizler gerçekleştirilmiştir.

### 2.1. Simülasyon Parametreleri

Simülasyon çalışmasında kullanılan şebeke parametreleri, hat parametreleri, yük değerleri, kapasitör değerleri IEEE 13 baralı test sisteminden alınmıştır. Sisteme ait bileşenler ve GES entegrasyonu için eklenen santral modelinin eklenmesi ile nihai model elde edilmiştir. Kullanılan şebeke modeline ait parametreler Tablo 1’de belirtilmiştir.

Tablo 1: Şebeke modeline ait parametreler

Bağlantı Barası	Gerilim (kV)	Kısa Devre Gücü (MVAsc)	X/R
632	4.16	71.072	2.864

Şebeke modeli dizayn aşamasının ardından sistemde yer alan yükler ve kapasitör parametreleri simülasyona eklenmiştir. Kullanılan yük ve kapasitörlere ait bilgiler Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2: IEEE 13 baralı sistemde kullanılan yük modellerine ait parametreler

Yük Adı	Bağlı Bulunduğu Bara	Toplam Güç (kVA)	Kritik Yük (E/H)
Lump 1	634	494	H
Load 1	646	265	H
Lump 3	671	1329	H
Lump 4	675	971	E
Lump 5	692	227	H
Lump 6	611	188	H
Load 2	652	154	H
Lump 7	671	116	H
Lump 9	632	116	H
Motor 1	645	170 kW	H
Cap 1	611	100 kVAR	H
Cap 2	675	600 kVAR	H

Simülasyonda kullanılan IEEE 13 baralı test sisteminde frekans 60 HZ ve İngiliz ölçü birimleri kullanılmıştır. Bu yük değerleri GES ve şebekenin paralel çalıştığı senaryolarda sabit tutulmuş olup, ada modunda çalışma senaryosunda yük atma parametreleri uygulanmıştır. Ada modunda çalışma durumunda kritik yük olarak belirlenen yüklerin enerjisinin devamı yük atma fonksiyonu ile sağlanmıştır.

### 2.2. GES Dizayn Parametreleri

Entegrasyon çalışması için tasarlanan GES bileşenleri; fotovoltaik (PV) paneller, PV modül, inverter ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. GES dizaynı için gerekli ilk adım olan PV panel dizaynı için kullanılan panel bilgisi ve parametreleri Tablo 3’te belirtilmiştir.

Tablo 3: PV panel dizayn parametreleri Kyocera (2018)

Panel Adı	Güç (W)	Isc (A)	Vdc Max (V)	Güç Toleransı (%)
KD205GX-LPU	205	8.33	600	5

PV panel dizayn aşamasının ardından istenilen güç değerine ulaşabilmek için gerekli modül dizaynı aşamasına geçilmiştir. 120 kVA güç değerine ulaşabilmek için gerekli seri ve paralel panel

sayısı ve bu panellerin oluşturduğu modüle ait bilgiler Tablo 4'de belirtilmiştir.

Tablo 4: PV modül dizayn parametreleri

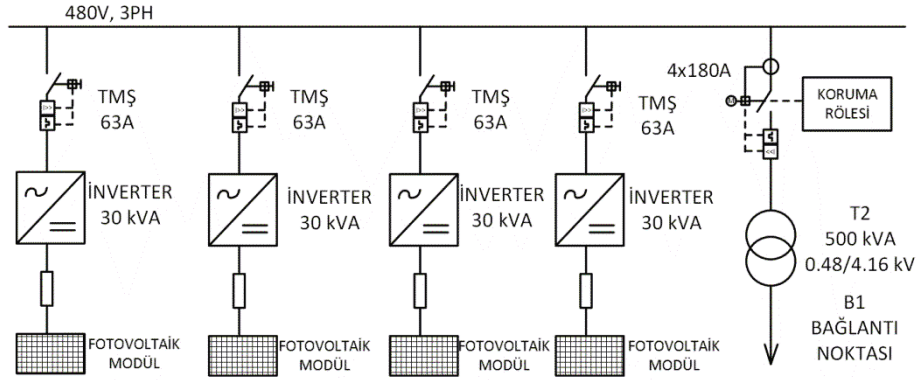
Panel Sayısı	V <sub>dc</sub> (V)	P <sub>dc</sub> (kW)	I <sub>dc</sub> (A)
9*17=153	244.71	32.823	134.13

Tablo 5: İnverter dizayn parametreleri

DC Güç (kW)	Gerilim (V)	V <sub>max</sub> / V <sub>min</sub>	Tam Yük Akımı (A)	Verim (%)	I <sub>max</sub> (%)
34	220	% 120 / %80	154.5	90	150
AC Güç (kVA)	Gerilim (V)	P <sub>f</sub> <sub>max</sub> / P <sub>f</sub> <sub>min</sub>	Tam Yük Akımı (A)	PF (%)	K Faktörü (%)
30	400	100 / 80	44.17	85	150

GES dizaynının son aşaması olarak inverterlerin alçak gerilim bara ile çıkış fiderine bağlanması ve trafo üzerinden 13 baralı test sistemine bağlantı gerçekleştirilmesi adımı

gerçekleştirilmiştir. GES sistemine ve bağlantı transformatörüne ait tek hat şeması Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: GES Tek Hat Şeması.

Şekil 2'de belirtilmiş olan GES modeli, şebeke entegrasyon analizi için oluşturulan 3 senaryoyu simüle etmek için B1 bağlantı noktasından IEEE 13 baralı test sisteminde yer alan 633, 692 ve 675 nolu baralara bağlanmıştır. Her senaryo için güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu faktörleri göz önüne alınarak şebekedeki gerilim regülasyonu ve hat kayıp parametreleri incelenmiştir.

GES modeline ait simülasyon çalışmasında yer alan dizayn aşamasının son adımı olarak İstanbul'a ait ortalama güneş radyasyonu parametreleri ve güneşlenme süreleri PV sisteme

entegre edilmiştir. Her 3 senaryoda kullanılan radyasyon parametreleri sonucunda enerji üretimi (1) ile hesaplanmıştır.

$$E_G = A_{PV} * r * H * PR \quad (1)$$

formülasyonda  $E_G$  enerji,  $A_{PV}$  toplam PV panel alanı,  $r$  PV panel verimlilik katsayısı,  $H$  ortalama solar radyasyon değeri ve  $PR$  GESe ait kayıpları içeren performans katsayısıdır. Her 3 senaryo için solar radyasyon verileri ve hesaplanmış olan güç değerleri Tablo 6'da belirtilmiştir.

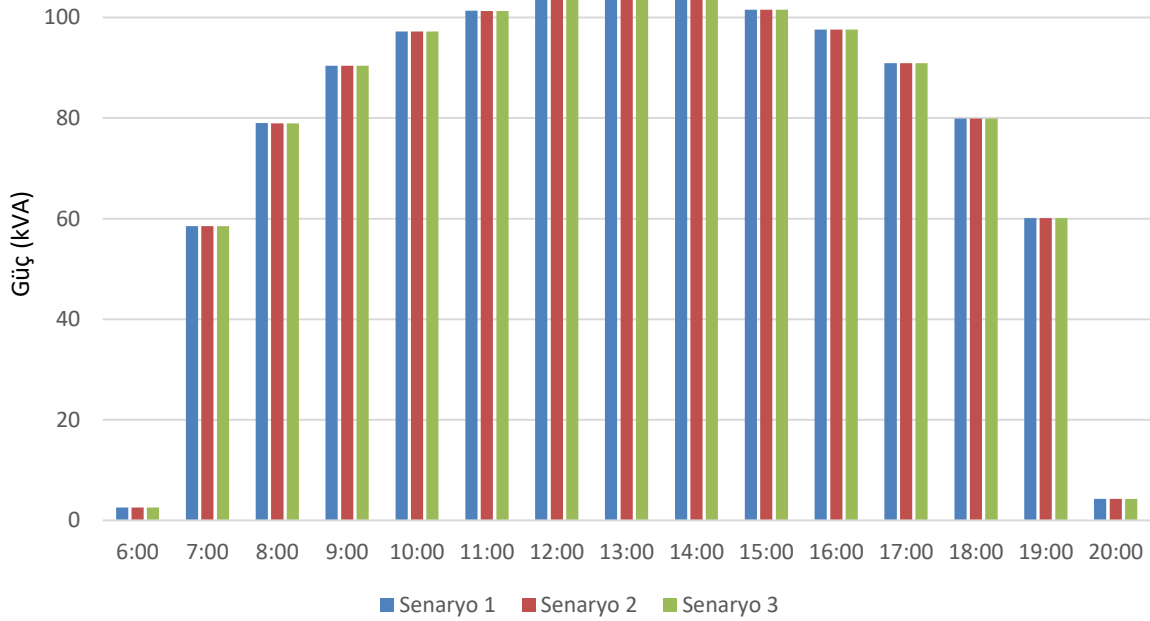
Tablo 6: Solar radyasyon ve enerji üretim değerleri

Saat	Güneş Radyasyonu [W/m <sup>2</sup> ]	Senaryo 1 Enerji Üretimi [kVA]	Senaryo 1 Enerji Üretimi [kVA]	Senaryo 1 Enerji Üretimi [kVA]
06:00	158	2.59	2.59	2.59
07:00	520	58.484	58.483	58.483
08:00	696	78.978	78.976	78.975
09:00	794	90.433	90.429	90.429
10:00	852	97.222	97.218	97.217
11:00	887	101.321	101.317	101.317
12:00	906	103.548	103.543	103.543

13:00	912	104.251	104.246	104.246
14:00	907	103.665	103.66	103.66
15:00	889	101.556	101.551	101.551
16:00	855	97.573	97.569	97.569
17:00	798	90.901	90.897	90.897
18:00	704	79.912	79.91	79.909
19:00	534	60.11	60.108	60.108
20:00	185	4.3	4.3	4.3

Simülasyon aralığı, günbatımı ve gündeğümü süresi içerisinde 06:00 – 20:00 aralığında seçilmiştir. Bu aralıktaki güneş radyasyonu ve üretim değeri Tablo 6’da görüldüğü üzere

her 3 senaryo için hesaplanıp simülasyona entegre edilmiştir. Elde edilen üretim değeri senaryolara göre değışimi Şekil 3’te gösterilmiştir.

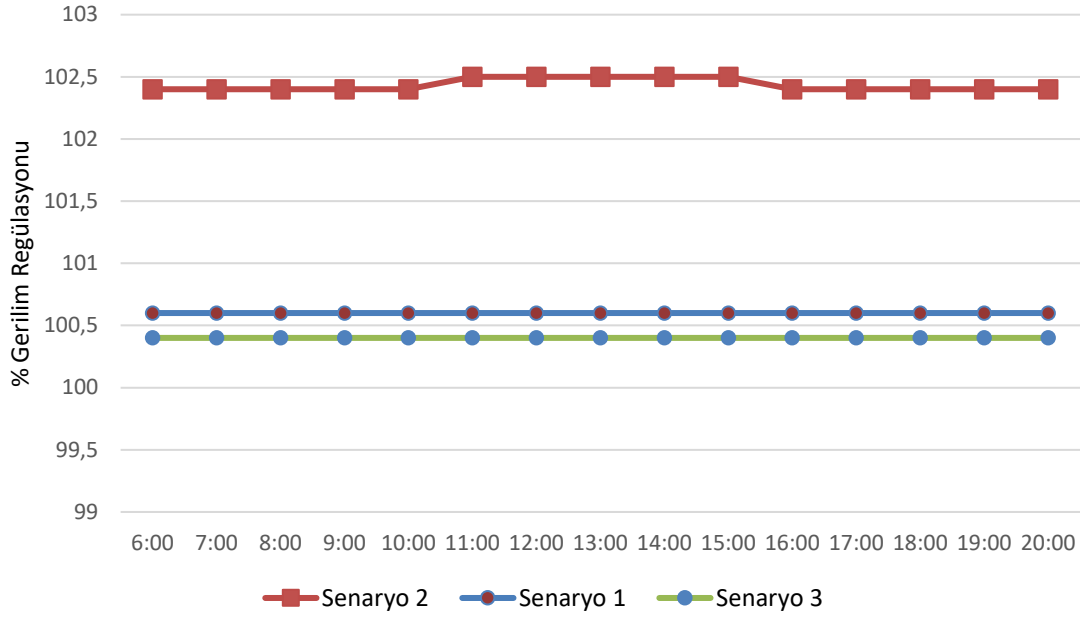


Şekil 3: GES Senaryo Tabanlı Enerji Üretim Değışimi

Bu parametrelere göre gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen gerilim regülasyonu ve hat kayıp parametreleri GES entegrasyonu için optimal bağlantı seçiminde temel kriterler olarak ele alınmıştır. Simülasyon sonuçları ve senaryolara ait sonuçlar Bölüm 3’te belirtilmiştir.

### 3. Test ve Sonuçlar

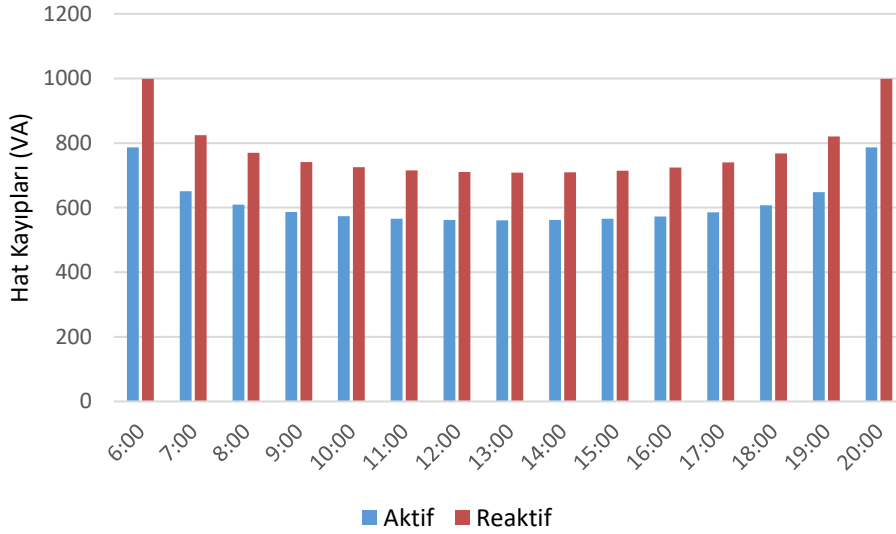
Simülasyon çalışmaları için gerekli şebeke modeli, GES modeli kurulup radyasyon dataları simülasyon modeline entegre edildikten sonra senaryo tabanlı optimizasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Her 3 senaryo için ilk olarak değışken üretim parametrelerine göre şebekedeki gerilim regülasyonu izlenmiştir. Gerilim regülasyonu her 3 senaryo için de kabul edilebilir limitler içerisinde kalmış olup, değışken GES üretiminin şebeke üzerinde oluşturduğu regülasyona ait gün içi değışimi Şekil 4’de belirtilmiştir.



Şekil 4: Gerilim Regülasyonu Değişimi

Gerilim regülasyonunun stabil olduğunun doğrulanması aşamasının ardından senaryo tabanlı hat kayıplarının incelenmesi aşamasına geçilmiştir. İlk senaryoda GES 633 nolu baraya bağlanıp şebekede 633 nolu barayı besleyen iletim hattı üzerinde meydana gelen kayıpların değişimi incelenmiştir. Normal çalışma

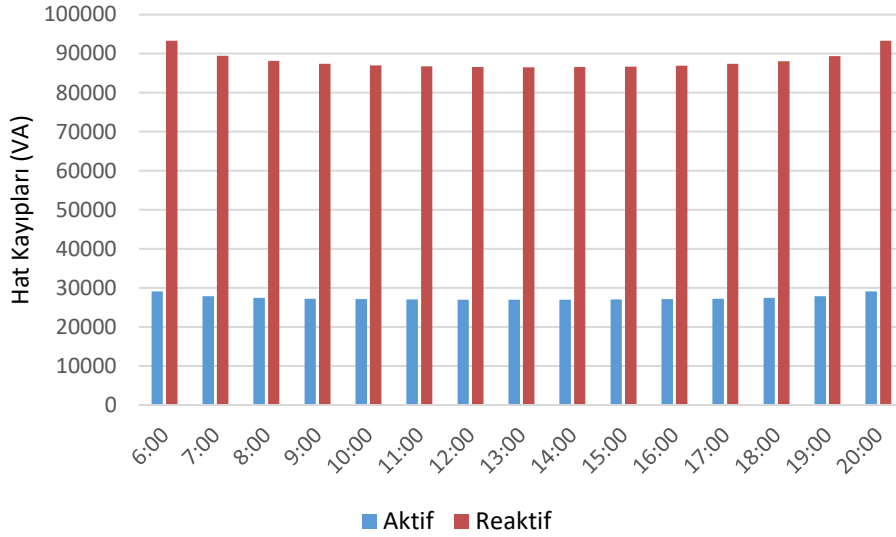
şartlarında hat üzerinde meydana gelen kayıplar 786.7 W aktif ve 998.7 VAR reaktif olarak hesaplanmıştır. Değişken üretim sonucunda elde edilen kayıplara ait gün içi değişim Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: Senaryo 1'e ait hat kayıpları değişim grafiği

GES entegrasyonu sonucunda 633 nolu barayı besleyen hattaki gün içi toplam kayıplar 15 saatlik çalışma periyodu için 19.1 kVAh değerinden 14.9 kVAh değerine gerileyerek hatta %22 değerinde kayıpların azaltılmasını sağlamıştır. Birinci senaryoda elde edilen parametreler ışığında regülasyonun sabit olduğu ve hat kayıplarında olumlu etki olduğu gözlemlenmiştir.

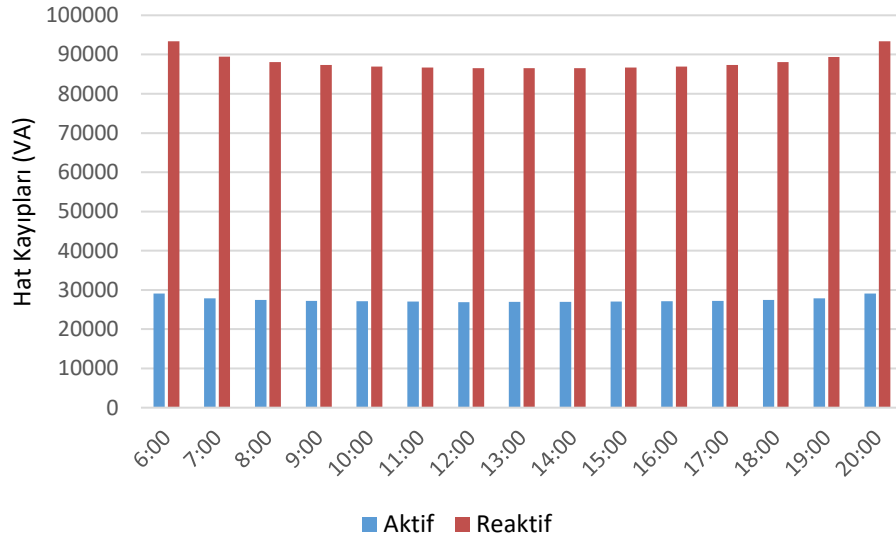
Gerçekleştirilen ikinci senaryoda GES 692 nolu baraya bağlanarak entegrasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen hat kayıplarına ait değişim Şekil 6'da belirtilmiştir.



Şekil 6: Senaryo 2'ye ait hat kayıpları değişim grafiği

İkinci senaryo için GES entegrasyonu sağlanıp yük akış analizi gerçekleştirilmeden önce 15 saatlik çalışma periyodu için elde edilen hat kayıplarına ait sonuçlar toplam kayıp için 1466.7 kVAh olarak elde edilmiştir. Bu bağlamda sistemde entegrasyon sonucunda elde edilen kayıp değerleri ise 1386.5 kVAh olup toplam hat kayıplarında %5.47 düşüş elde edilmiştir.

Üçüncü ve son senaryoda ise GES entegrasyonu 675 nolu bara üzerinden sağlanmıştır. Entegrasyon analizi için seçilen 675 nolu baraya ait hat kayıpları ve gün içinde meydana gelen değişim Şekil 7'de belirtilmiştir.



Şekil 7: Senaryo 3'e ait hat kayıpları değişim grafiği

Simülasyon sonucu elde edilen hat kayıplarına ait toplam değer 1466.7 kVAh iken GES entegrasyonu sonucunda gün içi kayıpların toplamı 1385.9 kVAh olarak elde edilmiştir. Toplam hat kayıplarında, entegrasyon sonucunda %5.51 azalma gözlemlenmiştir.

Üç farklı senaryo için elde edilen gerilim regülasyonu değerleri ve hat kayıpları göz önüne alındığında optimal bağlantı noktası olarak 675 nolu bara seçilmiştir. 120 kVA gücünde GES için 675 nolu barada bulunan yüklerin ada modunda çalışma analizi gerçekleştirilmiştir. Ada modunda çalışma analizi için ilk adım olarak GES değişken üretim profili baz alınarak günlük enerji üretimi hesaplanmış ve 675 nolu barada yer alan yükler 20 kVA adımlarla kritik yük olarak tanımlanmıştır. Üretim değerleri ve güç kademelerine ait değişim Tablo 7'de belirtilmiştir.

Tablo 7: Üretim değerleri ve güç kademelerine ait değişim tablosu

Saat	Senaryo 3 Güç Üretimi (kVA)	Yük Atma Sistemi Kademesi	Beslenen Kritik Yükler (kVA)
6:00	2.59	-	-
7:00	58.483	2	40
8:00	78.975	3	60
9:00	90.429	4	80
10:00	97.217	4	80
11:00	101.317	5	100
12:00	103.543	5	100
13:00	104.246	5	100

14:00	103.66	5	100
15:00	101.551	5	100
16:00	97.569	4	80
17:00	90.897	4	80
18:00	79.909	3	60
19:00	60.108	3	60
20:00	4.3	-	-

Simülasyon sonucu elde edilen üretim parametrelerine göre ada modunda GES çalışma koşulları için gün içi çalışma koşullarında 1040 kVAh üretim ve besleme gerçekleştirilmiştir. Sistemin şebekede olması muhtemel bir arıza sonucunda 675 nolu barayı ada modunda çalışarak beslediği ve enerji sürekliliğinin kritik yükler için sağlandığı gözlemlenmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Gerçekleştirilen çalışmada öncelikli olarak IEEE 13 baralı test sistemi simülasyon ortamında modellenip şebeke modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan şebeke modelinde yer alan 3 adet bağlantı noktası için 3 adet senaryo oluşturulup GES entegrasyonu 3 farklı senaryo için gerçekleştirilmiştir. Entegrasyon sonucunda gerilim regülasyonu ve hat kayıpları kriterleri baz alınarak optimal bağlantı noktası belirlenmiştir. Optimal bağlantı noktası olarak seçilen 675 nolu barayı besleyen iletim hattında gün içi çalışma koşullarında hat kayıplarında %5.51 azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. GES entegrasyonu sonunda ada modunda çalışma durumunda sistemin yük atma modülü ile çalışması gözlemlenmiş ve gün içerisinde 1040 kvah enerji transferi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma ile tüketicilerin olası bir arıza durumunda enerjisiz kalmalarının önüne geçilmiş ve sistemdeki hat kayıpları azaltılmıştır. Gelecek çalışmalarda sistemin koruma ve haberleşme sistemleri ile entegre edilip tamamen mikrogridler tarafından beslenebilen bir akıllı şehir modeli oluşturulması hedeflenmektedir.

#### Kaynaklar

Atasoy, T., Akınç, H. E., Erçin, Ö. 2015. An Analysis on Smart Grid Applications and Grid Integration of Renewable Energy Systems in Smart Cities. 2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 22-25 Nov, 2015, Palermo, Italy.

Baba, T., Mizuno, Y., Tanaka, Y., Kurokawa, F., Tanaka, M., Colak, I., Matsui, N. 2017. Comparison of optimum energy scheduling of emergency generators of a large hospital with renewable energy system using mathematical programming method. IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 5-8 Nov, 2017, San Diego, USA.

Chen, J., Zhu, Q. 2017. A Game-Theoretic Framework for Resilient and Distributed Generation Control of Renewable Energies in Microgrids. IEEE Transactions on Smart Grid 8(1), 285-295.

Gottwalt, S., Garttner, J., Schmeck, H., Weinhardt, C. 2017. Modeling and Valuation of Residential Demand Flexibility for Renewable Energy Integration. IEEE Transactions on Smart Grid 8(6), 2565-2574.

Gu, H. 2016. Maximum instantaneous renewable energy integration of power grids. 2016 Australasian Universities

Power Engineering Conference (AUPEC), 25-28 Sept, 2016, Brisbane, Australia.

Gunkel, D., Möst, D. 2014. The German transmission grid expansion in long-term perspective — What is the impact of renewable integration. 11th International Conference on the European Energy Market (EEM14), 28-30 May, 2014, Krakow, Poland.

Hamdaoui, Y., Maach, A. 2017. An intelligent islanding selection algorithm for optimizing the distribution network based on emergency classification. International Conference on Wireless Technologies, Embedded and Intelligent Systems (WITS), 19-20 April, 2017, Fez, Morocco.

IEEE Radial Distribution Test Feeders, <http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders.html>.

Kyocera Photovoltaic Panel Data Sheet, <http://www.kyocerasolar.com/dealers/product-center/archives/spec-sheets/KD205GX-LP.pdf>

Li, Y., Tian, X., Liu, C., Su, Y., Li, L., Zhang, L., Sun, Y., Li, J. 2017. Study on voltage control in distribution network with renewable energy integration. 2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), 26-28 Nov, 2017, Beijing, China.

Mizuno, Y., Baba, T., Tanaka, Y., Kurokawa, F., Tanaka, M., Colak, I., Matsui, N. 2017. Estimation of optimum capacity of battery by combined use of a renewable energy system and distributed emergency generators in a large hospital. IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 5-8 Nov, 2017, San Diego, USA.

Mukhopadhyay, S., Soonee, S. K., Singh, B., Senghal, Y. K. 2013. Opportunities and problems of Smart Grids with large penetration of renewable energy - Indian perspective. 2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting, 21-25 July, 2013, Vancouver, Canada.

Pramono, E. Y., Isnandar, S. 2017. Criteria for Integration of Intermittent Renewable Energy to the Java Bali Grid . 2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS), 2-5 Oct, 2017, Bali, Indonesia.

Rahbar, K., Chai, C. C., Zhang, R. 2016. Energy Cooperation Optimization in Microgrids With Renewable Energy Integration. IEEE Transactions on Smart Grid 9(2), 1482-1493.

Rahbar, K., Xu, J., Zhang, R. 2014. Real-Time Energy Storage Management for Renewable Integration in Microgrid: An Off-Line Optimization Approach. IEEE Transactions on Smart Grid 6(1), 124-134.

Rehmani, M. H., Reisslein, M., Rachedi, A., Erol-Kantarci, M., Radenkovic, M. 2018. Integrating Renewable Energy Resources Into the Smart Grid: Recent Developments in Information and Communication Technologies. IEEE Transactions on Industrial Informatics 14(7), 2814-2825.

Telekunta, V., Pradhan, J., Agrawal, A., Manohar, S., Srivani, S. G. 2017. Protection challenges under bulk penetration of renewable energy resources in power systems: A review. CSEE Journal of Power and Energy Systems 3(4), 365-379.

Usova, M., Velkin, V. 2018. Possibility to use renewable energy sources for increasing the reliability of the responsible energy consumers on the enterprise. 17th International Ural Conference on AC Electric Drives (ACED), 26-30 March, 2018, Ekaterinburg, Russia.

Vu, T. L., Nguyen, H. D., Megretski, A., Slotine, J., Turitsyn, K. 2018. Inverse Stability Problem and Applications to Renewables Integration. IEEE Control Systems Letters 2(1), 133-138.



- Yan, X., Lin, X., Qin, L., Han, S., Gao, L., Yang, Y., Zeng, B. 2017. Control strategy for wind power integration base on energy demand respond and distributed energy storage. The Journal of Engineering 2017(13), 2374-2377.
- Yi, W., Zhang, Y., Zhao, Z., Huang, Y. 2018. Multiobjective Robust Scheduling for Smart Distribution Grids: Considering Renewable Energy and Demand Response Uncertainty. IEEE Access 6, 45715-45724.
- Yu, F. R., Zhang, P., Xiao, W., Choudhury P. 2011. Communication Systems for Grid Integration of Renewable Energy Resources. IEEE Network 25(5), 22-29.