



## Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi (Research Article)*

Makale Doi: [10.17100/nevbiltek.840365](https://doi.org/10.17100/nevbiltek.840365)

Geliş Tarihi:14-12-2020

Kabul Tarihi:12-01-2021



### Dağıtık Üretim Kaynaklarına Sahip Bir Mikro Şebekeye Rüzgâr Enerji Kaynaklarının Optimum Yerleşimi ve Kararlılık Analizi<sup>A</sup>

Merve KARLITEPE ÇETİNKAYA\*

<sup>1</sup>Hasçelik Kablo San. Tic. A.Ş., Ar-Ge Merkezi,, Kayseri  
ORCID ID: 0000-0003-4306-6248

#### Öz

Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekelere entegrasyonu sırasında oluşabilecek gerilim dalgalanmalarının kontrolü, şebekeye bağlı olan yüklerin artması ile zorlaşmaktadır. Enerji kalitesinde kararlılığın sağlanması ve tüketicilerin zor durumda kalmaması için şebekelerin sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, dağıtık üretim kaynaklarının örnek bir mikro şebekeye entegrasyonu sonucunda elde edilecek faydalar ve sistemde meydana getirdikleri etkiler analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, Kayseri ilinin seçilmiş 12 ilçesinin iletim sistemi ele alınmıştır. Power World programında test edilmek üzere seçilen ilçelerin nüfuslarına göre enerji ihtiyaçları hesaplanarak şebeke oluşturulmuştur. Şebekeye entegre edilecek rüzgâr enerji santrallerinin en uygun hangi iki ilçede olacağını belirlemek için 5 farklı senaryo geliştirilmiştir. Tasarlanan sistem ilk olarak rüzgâr türbinleri olmadan çalıştırılmış ve sistemde ana generatörden talep edilen güç miktarı 545 MW olarak bulunmuştur. Ardından senaryolara göre rüzgâr türbinleri 5 farklı şekilde yerleştirilmiştir. Rüzgâr türbinlerinin şebekeye entegrasyonu sonucunda gerilim kararlılıklarındaki değişimler analiz edilmiştir. Diğer taraftan aktif ve reaktif güç miktarlarındaki değişimler de incelenmiştir. Sonuç olarak rüzgâr türbinlerinin entegrasyonunun yapılacağı en iyi noktaların seçimi yapılmıştır. Rüzgâr türbinlerinin en verimli olduğu noktalara entegre edilmesinin sonucunda iletim hatlarında yaşanan kayıpların %38 oranında azaldığı tasarlanan model ve senaryolar ile tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir enerji kaynakları; Rüzgâr türbinleri, Hat kayıpları; Gerilim kararlılığı, Dağıtık üretim.

### Optimum Placement and Stability Analysis of Wind Energy Resources in A Microgrid With Distributed Generation Resources

#### Abstract

Control of voltage fluctuations that may occur during the integration of renewable energy sources into the network becomes more difficult with the increase of loads connected to the network. In order to avoid changes in energy quality and to keep customers in a difficult situation, networks should be constantly monitored. In this study, the benefits to be obtained as a result of integrating distributed production resources into microgrid networks and their effects on the system are analyzed. Within the scope of the study, the transmission system of selected 12 districts of Kayseri province is discussed. In order to be tested in the Power World software, microgrid network is designed with real values and district names are chosen as a representative. In the implemented analysis, five different scenarios have been developed to determine two districts those will be the most suitable places to integrate the wind power plants into the grid. The designed system has been first operated without wind turbines. The amount of power per main generator has been found to be 545 MW in the system operated without wind turbines. Then, wind turbines are installed in five different ways according to the scenarios. As a result of the integration of wind turbines to the microgrid network, changes in voltage stabilities have been analyzed. On the other hand, changes in the amount of active and reactive power have also been examined. As a result, it is researched to detect the best location for integration of wind turbines. In addition, it is determined that the losses in transmission lines decreased by 38% as the proposed model and scenarios.

**Keywords:** Renewable Energy Sources; Wind turbines; Line losses; Voltage stability; Distributed generation.

\* Sorumlu yazar: [mkarlitepe@hascelik.com.tr](mailto:mkarlitepe@hascelik.com.tr)

<sup>A</sup> Bu makale yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

## 1. Giriş

Son zamanların araştırma konularından olan yenilenebilir dağıtık enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu, oldukça önem arz eden bir konu olmaya devam etmektedir. Gerek enerji güvenliği gerekse doğaya ve çevreye karşı duyarlılık açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi gereken büyük bir potansiyeli bulunmaktadır. Diğer taraftan yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyet düşürücü etkilerinin oldukça fazla olması, çoğu ülkenin bu tür enerji kaynaklarına yönelimini arttırmıştır.

Haque [1], iletim sistemlerine artık daha fazla rüzgâr türbinlerinin entegre edildiğini ifade etmiş ve eklenen yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) sistemin gerilim profili ile hat kayıplarını önemli ölçüde değiştirdiğini göstermiştir. Diğer taraftan Guerriche ve Bouktir [2], dağıtım sistemlerinin güvenilir bir şekilde çalışması için statik ve dinamik bir şekilde modellenmesi gerektiğini savunmuş, 33-Baralılık radyal dağıtım sistemi üzerinde yenilenebilir enerji kaynakları ile denemeler yapmıştır. Bu çalışmanın esas amaçlarından olan iletim hattı kayıplarının azaltılması kapsamında ise Shrivastava vd. [3], gerilim salınımlarını iyileştirmek ve iletim hattı kayıplarını en aza indirmek için dağıtım sistemi güç planlamasını 33-Baralılık sistem üzerinden değerlendirmişlerdir. Dharageshwari ve Nayanatara [4], güç kayıplarını ve gerilim profillerini iyileştirme kapsamında 33-Baralılık Radyal Dağıtım sistemlerine birden fazla yenilenebilir enerji kaynağı entegre ederek, sistemde oluşan sonuçları analiz etmiştir. Wazir ve Arbab [5], yine aynı şekilde sistem kalitesini iyileştirmek, enerji kayıplarını azaltmak ve gerilim profillerini geliştirmek adına çalışmalar yapmıştır. Majidi [6], çalışmada dağıtık enerji kaynaklarının şebekelere bağlanması ile güç kayıplarının azaltılması ve gerilim profillerinin düzeltilmesi üzerine durmuş, bu kazanımlar kapsamında sisteme entegre edilecek yenilenebilir enerji kaynakları için uygun noktaların belirlenmesi gerektiğini belirtmiştir. Parasher [7], radyal dağıtım şebekelerinde yük akış analizi ile ilgili çalışmalar yapmış ve verimliliğin artırılmasına yönelik uğraşlar vermiştir. Akdeniz vd. [8], farklı yenilenebilir enerji santrallerini sırayla farklı noktalardan bağlayarak şebekenin enerji kalitesi üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Benzer bir çalışma olarak İçel vd. [9], güç akış analizi üzerine ve alternatif enerji kaynaklarının iletim hatlarının yüklenme oranlarına etkisi üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Bu çalışmaların bir diğer ortak noktası ise geliştirme ve analiz işlemlerinin “Power World” programı ile yapılmış olmasıdır.

Karaarslan [10], yaptığı çalışmada dağıtık üretim kaynakları ile hat kayıplarının azaltıldığına dikkat çekmiştir. Bu çalışmasını yaparken de dağıtık üretim kaynaklarını farklı noktalardan yerleştirerek gerilim profiline olan katkılarını incelemiştir. Karaarslan [10], yaptığı çalışması ile bu çalışmanın da temel amacı olan dağıtık üretim kaynaklarının hat kayıplarına karşı yaratmış olduğu güçlü etkiyi göstermiştir. Geidl [11], çalışmada dağıtık kaynakların mevcut şebekelere entegre edilmesinin faydalarını belirtmiş fakat bunların yanında oluşabilecek teknik ve ekonomik sorunlardan da bahsetmiştir. Dağıtık üretim (DÜ) kaynaklarının şebekelere entegrasyonun olumsuz etkilerinin olabileceği aşikârdır fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının artıları ve eksileri beraber düşünüldüğünde, faydalarının daha etkili olduğu bu çalışma ile gösterilmek istenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi üzerine Uyar vd. [12], rüzgâr türbinlerinde kullanılan generatörlerin avantaj ve dezavantajlarını belirten bir çalışma yapmıştır. Bununla birlikte rüzgâr türbinlerinin şebekelere entegre edilmesinin sonucunda olumlu sonuçlar alınabilmesi için rüzgâr türbinlerinin tipine göre uygun generatörlerin kullanılmasının gerekliliğinden bahsedilmiştir. Dulau vd. [13], dağıtık kaynakların güç sistemlerine etkisi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmalarında da yine gerilim değişimleri, yük kayıp miktarları ve güç kalitesi üzerine sonuçları tartışmışlardır. Yapılan tartışmalar sonucunda enerji güvenliğinin sağlanması ve güç kayıplarının azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilebilir bir kaynak türü olduğu belirlenmiştir. Güç akış analizleri üzerine yapılan çalışmalarda incelendiğinde Uzal vd. [14], İzmir ili üzerinde güç akış analizi uygulaması yapmış ve bu uygulamada “Power World” programı ile “Matlab” programı çıktılarını karşılaştırmıştır.

Üretim santrallerinin olası bir devre dışı kalma durumunda ihtiyaç duyulan enerjinin bir kısmının rüzgâr türbinlerinin yardımıyla karşılanabileceği gösterilmiştir. Parihar ve Malik [15], 12-Baralılık ve 69-Baralılık sistemlerde yük

akış analizi üzerine çalışmışlardır. DÜ'ler ile güç kayıpları ve gerilim profilleri hakkında bulgular elde etmişlerdir. Diğer yandan Narayan ve Kumar [16], radyal dağıtım sistemlerine entegre edilen rüzgâr türbinleri ile elde edilen tasarruflar üzerine tartışmalar içeren makalelerini yayınlamışlardır. Bu makalede rüzgâr türbinlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında enerji kayıplarının maliyetlerinde ciddi azalmalar olduğu belirtilmiştir. Enerji kayıplarındaki azalma ile birlikte gerilim profillerindeki iyileşmeler de kanıtlanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının dağıtık üretim şebekelerine entegrasyonu sırasında ve sonrasında ciddi problemlerle karşılaşılması için entegrasyon işleminden önce yapılacak analizlerin çok detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının günlük üretim kapasitelerinde değişikliklerin olması sebebiyle sistem bağlantısı yapılırken kullanılacak olan teknolojinin ve hesaplamaların çok iyi belirlenmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyet konusunda sunduğu faydalar ve diğer olumlu etkilerinin yanında dikkat edilmesi gereken tarafları da bulunmaktadır. YEK'lerin kalitesi, enerjinin ne kadar kesintisiz olduğuna ve tüketicilerin enerjide meydana gelen değişikliklerden etkilenmemesine göre belirlenmektedir. Yapılan entegrasyon işlemleri sonucunda ortaya güvenilirliği az olan enerjinin çıkmasına izin verilmemelidir.

Yapılan literatür incelemelerinden elde edilen sonuç; hat kayıplarının ve maliyetlerin azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç olduğudur. Ortaya çıkan ihtiyacın farklı bir şebeke tasarımı ile analiz edilmesi için bu çalışma yapılmıştır. Kayseri ili içerisinde yer alan ilçelerden 12'si seçilmiş ve ortaya bir şebeke tasarımı çıkarılmıştır. Bu ilçelerin seçiminde nüfus yoğunluğuna ve enerji taleplerine dair kriterler göz önünde bulundurulmuştur. Şebeke oluşturulurken ilçelerin gelecekte ulaşılacak potansiyel nüfusu ve bu nüfusun enerji ihtiyacı teorik olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmanın odak noktası, hat kayıplarının azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının entegre edileceği en uygun noktaların seçilmesidir. Bununla beraber, gerilim profillerindeki iyileşmeler de incelenmiştir. Ayrıca maliyet konusunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının sağladığı avantajlar sayısal veriler ile gösterilmiştir. Bütün bu işlemler yapılırken şebekede meydana gelen anlık değişimlerin ve yaşanabilecek problemlerin değerlendirilebilmesi için Power World programı tercih edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile elde edilen başarımlar, tablolar ve grafiklerde sunulmuştur.

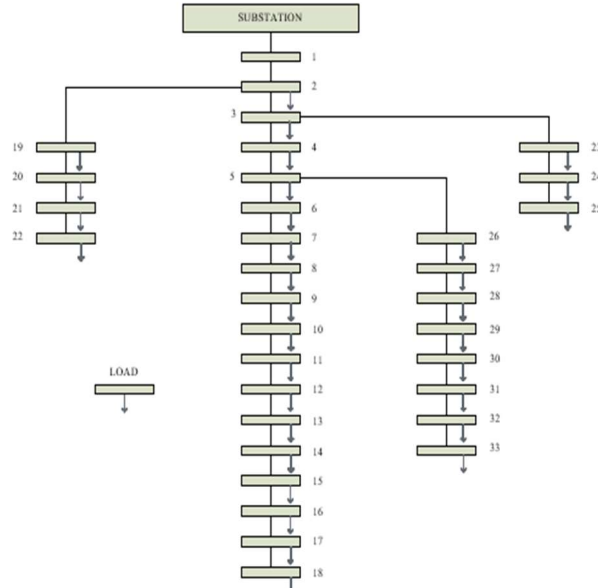
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Dağıtım Şebekesi Modelleri ve Örnek Şebeke Tasarımı için Gerekli Veriler

Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması için kullanılan tesislere elektrik şebekesi adı verilmektedir. Bu şebekeler genel olarak dağıtım şebekesi ve iletim şebekesi olarak tanımlanmaktadır. Dağıtım şebekeleri yapılarına göre radyal, halka ya da ağ şebeke olarak gruplandırılmaktadır.

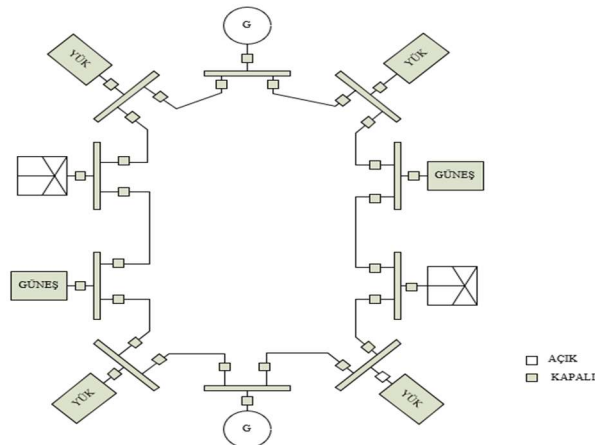
Radyal şebekeler, ana kontrolcü, kontrol sistemi, haberleşme sistemi ve dağıtım hattı olmak üzere dört önemli bölümden oluşmaktadır. Ana kontrolcü, şebeke parametrelerinin tanımlandığı ve tüketici aktivitelerinin kontrol edildiği yerdir. Kontrol sistemi, şebeke içerisinde yer alan diğer bir bölümdür ve verileri iletmek için değişim sistemi kullanmaktadır. Böylece çok katmanlı kontrole izin vermeyi amaçlamaktadır [17]. Radyal dağıtım şebekesi, koordinasyon ve tasarım için nispeten basit bir devre koruma şemasına sahiptir. Radyal ağ ile sistem bileşeni derecelendirme gereksinimlerini belirlemek oldukça kolaydır [18]. Radyal ağ ile çalışmanın bir diğer avantajı ise reaktif güçlerin dengelenmesi gibi gerilim dengeleme tekniklerinin kolayca uygulanabilmesidir. Eşit olmayan iletken uzunluklarının neden olduğu her yükte farklı gerilimler olmasına rağmen, iletken boyutunun dikkatli bir şekilde seçilmesi ile oluşabilecek bazı elektriksel sıkıntıları ortadan kaldıracak ve farklılıkları en aza indirebilecek kolaylığa sahiptir [19]. Radyal şebeke, en basit şebeke olarak bilinir çünkü yalnızca bir uçtan beslenmektedir. Aşağıdaki Şekil 1'de radyal şebekenin genel yapısına örnek gösterilmiştir. Radyal şebekenin başlangıç maliyeti diğer bir ifade ile yatırım maliyeti düşüktür ve

üretimi ise düşük gerilimlerde çok kullanışlıdır. Bu tip şebeke, sistemin analiz edilmesi ve çalıştırılmasında kolaylık sağladığı için istasyon yükün merkezinde bulunduğu zaman tercih edilmektedir [20].



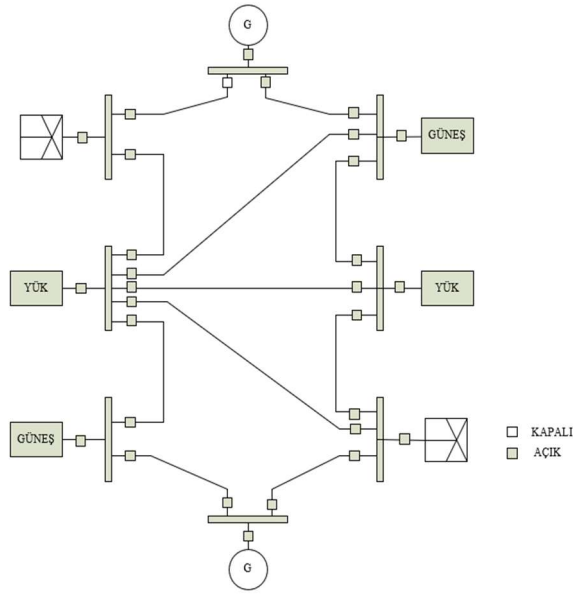
Şekil 1. Radyal şebeke

Diğer bir dağıtım şebekesi modeli olan halka şebeke, düğümleri birbirine birleştirerek kapalı bir döngü oluşturduğundan en organize şebeke olarak bilinmektedir. Bu nedenle, halka şebeke içinde birkaç koruma bölgesi uygulanabilir. Koruma bölgeleri hem pozitif hem de negatif halka veri yoluna uygulanabilir. Halka şebeke yapısı radyal şebekeye göre daha iyi bir performans oranına sahiptir. Performans, şebekede bulunan ek aygıtlardan etkilenmemektedir. Bir besleyicinin arıza veya bakım altında olması durumunda ona bağlı diğer besleyiciler tarafından sisteme hala enerji verilebilir. [21]. Bu durum, bir besleyici çalışmazken bile tüketicilere verilen kaynağın bozulmadığını göstermektedir. Halka sistemindeki farklı bölümlerde herhangi bir arıza olması durumunda bölümleri izole etmek için farklı uygun noktalardan da arıza giderme işlemleri yapılabilmektedir. Bu yapının en büyük dezavantajı, şebekenin diğer bileşenlerini ağa bağlayan kablolarla oldukça bağımlı olmasıdır. Karmaşıklık açısından, bir döngü besleyici sistemi radyal bir sistemden biraz daha karmaşıktır. Ayrıca döngü sisteminin kapasitesini ve maliyetini karşılamada büyük bir dezavantaja sahiptir [20]. Şekil 2’de halka şebeke örneği verilmiştir.



Şekil 2. Halka şebeke

Elektrik şebekesi, radyal ve halka yapıları dışında ağ mimarisinde de organize edilebilir. Ağ yapısı genel olarak yüksek veya orta gerilim şebekelerinde kullanılmaktadır. Bu nedenle dağıtım sistemleri üç fazın dengelenmesini sağlar ve güç çıkışının momenti üç faz arasında eşit olarak yayılır. Böylece, daha tutarlı bir güç çıkışı elde edilir. Bir ağ şebeke, radyal şebeke yapısına benzemektedir ancak ana hatlara ek olarak kullanılmayan başka hatlar da içermektedir. Bu hatlar, ana hattaki arızalar sırasında gücü yeniden yönlendirmek amacıyla yedekleme olarak düzenlenmiştir. Halka ve radyal şebekelere kıyasla ağ şebeke, düğümler arasında birçok alternatif bağlantı içerdiğinden en karmaşık konfigürasyona sahip şebeke olarak bilinmektedir. Bu durum, şebekenin çalışmasını ve korunmasını önemli ölçüde zorlaştırmaktadır [22]. Ağ şebekelerin kullanım avantajlarının arasında ilk olarak dengeli gerilim profili ve yüksek güvenlik gelmektedir. Ayrıca ağ şebekeler daha yüksek bir kısa devre akım değerine sahip olmaktadır [23]. Aşağıda verilen Şekil 3'te ağ şebeke yapısına ait örnek bir diyagram verilmiştir.



Şekil 3. Ağ şebeke

## 2.2. Dağıtım Şebekesinin Temel Yapısı

Bir dağıtım şebekesi; üretim tesislerinden ekonomik olarak alabildiği kadar büyük gücü almalı ve bu aldığı gücü mümkün olduğunca fazla alana en az kayıpla iletmelidir. İletim hatlarının başında sahip olunan büyük gücün her bir kullanıcının ihtiyaç duyduğu gerilime düşürülüp dağıtılması önemli bir konudur. Güç, ilk olarak toplu bir şekilde taşınır ve dağıtım bölgelerine geldikçe yavaş yavaş düşük gerilim seviyelerine inmelidir. Son kullanıcıya kadar daha da küçük miktarlara düşürülerek dağıtıma devam edilir. Dağıtım şebekelerinde en çok tercih edilen dağıtım sistemi radyal şebekelerdir. Şebekeler, güç akışı için veri yolları hem iletim hem de dağıtım seviyesi için devre kesiciler ve ölçüm ekipmanları içeren kontrol evinden oluşmaktadır. Şebekelerde bulunan diğer önemli elemanlar ise transformatörlerdir. Genellikle şebekelerde birden fazla transformatör bulunmaktadır. Bu durum şebekelerde güvenliğin artmasını da sağlamaktadır [24].

## 2.3. Radyal Dağıtım Şebekesi

Birçok güç dağıtım sistemi radyal şebeke olarak tasarlanmıştır. Üretilen güç, trafo merkezinden uzaklaşarak tek bir yol boyunca iletilmektedir fakat bu iletim hattında bir kesinti olması halinde tüm kullanıcılar güç kaybı yaşamaktadır. Bu olumsuzluğa rağmen radyal şebeke, diğer şebeke türlerine oranla çok daha fazla tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise diğer şebeke türlerinden çok daha az maliyetli olması ile planlama, tasarım ve operasyon konularında kolaylık sağlamasıdır. Radyal şebekelerde güç akış yönü değişmemektedir. Ayrıca yük ve güç olarak yönün belirlenmesi kolaydır.

Gerilim profili derin hesaplama yöntemleri kullanılmadan iyi bir doğruluk derecesi ile belirlenebilmektedir. Bununla birlikte ekipman kapasitesi gereklilikleri tam olarak tespit edilebilir. Koruyucu cihazlar, ağ analizi yöntemleri kullanılmadan kolay bir şekilde güvence altına alınabilir. Radyal dağıtım şebekeleri, olumsuz yönleri olmasına rağmen iyi bir şekilde tasarlanırlar ise yüksek düzeyde güvenilirlik sağlayabilir [24].

#### 2.4. Rüzgâr Türbinlerinin Şebekeye Entegrasyonu

Rüzgâr türbinlerinin entegrasyonu, güç sisteminin kararlılığını etkilemektedir. Gerilim kontrolü ile ilgili temel zorluk, minimum yük ve maksimum rüzgâr enerjisi üretimi ile maksimum yük ve sıfır rüzgâr enerjisi üretimine kadar tüm çalışma koşullarında kabul edilebilir kararlı durum gerilim seviyelerini ve gerilim profillerini korumaktır. Ana iletim şebekesi ile bölgesel dağıtım şebekesi arasındaki reaktif güç değişiminin kontrolü de diğer bir zorluk olarak göze çarpmaktadır. Rüzgâr santrallerinden elde edilen çıkış gücü birkaç saniye içinde önemli ölçüde değişebilmektedir ve buna bağlı olarak reaktif güç ihtiyacı artabilmektedir. Güç sistemi bu talebi karşılayamazsa bir gerilim kararsızlığı meydana gelecektir. Diğer taraftan rüzgâr enerjisi dalgalanan bir güç kaynağıdır. Enerji üretiminin önemli bir kısmının rüzgâr enerjisinden sağlandığı bir sistemde, gerilim değişimlerinin sistemin zarar görmesini engelleyecek şekilde düzenlenmesi rüzgâr enerjisindeki normal varyasyonlar sebebi ile zorluk haline gelmektedir [25].

#### 2.5. Örnek Şebekenin Modellenmesi

Her bir dağıtım şebekesinin tercih edilme sebepleri bulunmaktadır. Radyal şebekelerin tercih edilme sebeplerinin başında ise basit ve ucuz bir şebeke sistemi olması gelmektedir. Radyal şebeke ile çalışmanın diğer bir avantajı ise gerilim dengeleme çalışmalarının kolayca yapılabilmesidir. Fakat bu avantajların yanında dezavantajlarda bulunmaktadır. Bu dezavantajların başında şebeke içerisinde meydana gelen arızalardan dolayı aynı anda birçok kullanıcı bu arızadan ve kesintiden etkilenebilmektedir. Power World programında test çalışmalarının yapılabilmesi için yeni bir şebeke tasarımı yapılmıştır. Kayseri ilinin seçilen 12 ilçesi şebekeye dâhil edilmiştir. Bu şebekelerde gerekli olan yük ihtiyacı Eş. 1 ve Eş. 2'deki bağıntılar ile hesaplanmıştır [26]:

$$S = S_0 \cdot e^{mx} \quad (1)$$

$$m = \frac{1}{x} \times \ln\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (2)$$

Bu bağıntılarda;

- S: Hesaplanan yıla göre nüfus,
- S<sub>0</sub>: Geçmiş yıla ait nüfus,
- e: logaritma tabanı,
- x: iki sayım arasında bulunan yıl,
- m: iki sayım arasında meydana gelen nüfus artış oranıdır.

Tablo 1 ve Tablo 2'deki değerler hesaplanırken öncelikle Kayseri ilinin geçmiş tarihli nüfus sayımları alınmıştır. Ardından yapılan Eş. 1 ve Eş. 2'deki bağıntılar yardımı ile 2025 yılı nüfus tahminleri yapılmıştır. Ayrıca Elektrik Mühendisleri Odası'nın [26] yaptığı çalışmada yıllara göre kişi başına düşen yük ihtiyacı tahminlerinden yola çıkılarak regresyon analizi yapılmış ve bu analiz sonucunda verilerin %97'sinin regresyon doğrusu ile açıklanabileceği görülmüştür. Sonuç olarak 2025 yılı için ilçelerin aktif güç ihtiyaçları bulunmuştur. Diğer taraftan reaktif güç ihtiyaçları hesaplanırken faz açısı "cosφ" 90 olarak alınmış ve reaktif güç talepleri teorik olarak belirlenmiştir.

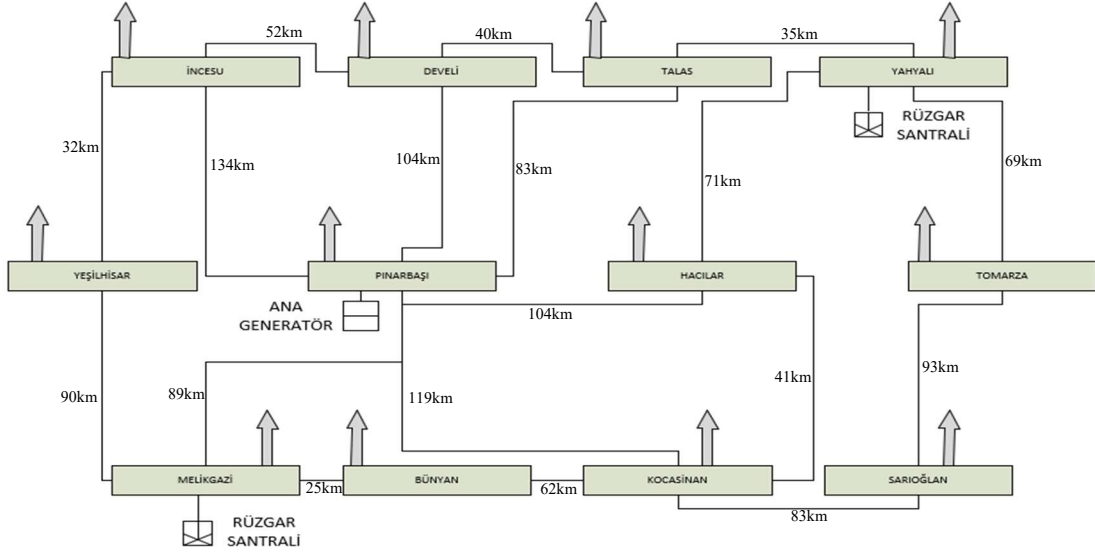
**Tablo 1.** 2025 yılı için nüfus tahminleri

İlçe/Yıl	2025
Melikgazi	669800
Kocasinan	411591
Talas	255894
Develi	64747
Yahyalı	35228
Bünyan	27280
Pınarbaşı	23353
Tomarza	19424
İncesu	31119
Yeşilhisar	16832
Sarıoğlan	15468
Hacılar	12824

**Tablo 2.** 2025 yılı için hesaplanan aktif ve reaktif güç

Yıl/İlçe	Aktif Güç(MW)	R.Güç (MVAR)
Melikgazi	201	59
Kocasinan	132,74	50
Talas	82,53	40
Develi	20,88	10
Yahyalı	11,36	6
Bünyan	8,8	4
Pınarbaşı	7,53	4
Tomarza	6,26	3
İncesu	10,04	5
Yeşilhisar	5,43	3
Sarıoğlan	4,99	2
Hacılar	4,14	2

Bu bilgiler ışığında tasarlanan radyal şebekenin iletim hatlarında “Cardinal” iletkeni kullanılmaktadır. Şebeke içerisinde yer alan yük değerleri çok yüksek olduğu için daha ince kesitli alüminyum iletkenlerin hat taşıma kapasiteleri yetersiz kalmıştır. “Cardinal” iletkeninin kesiti  $547 \text{ mm}^2$  iken “Hawk” iletkeninin kesiti  $281 \text{ mm}^2$  olarak hesaplanmaktadır. Tasarım sırasında sonuçları görmek adına “Hawk” iletkeni ile deneme yapılmış fakat hatlarda fazla yüklenme meydana gelmiştir. Diğer taraftan küçük kesitlerin kullanılması hatlarda gerilim düşümlerine neden olup şebekeye zarar vermektedir. Çok büyük kesitlerin kullanılması ise maliyetleri arttırmaktadır. Bu nedenle “Cardinal” iletkeni şebeke için en uygun iletken olarak belirlenmiştir. Böylece “Cardinal” iletkeninin direnç ve reaktans değerleri her iletim hattına tanımlanmıştır. Cardinal iletkeninin direnç ve reaktans değerleri sırası ile  $0,0597\Omega$  ve  $0,00567\Omega$ 'dur. Diğer taraftan “Hawk” iletkenin direnç değeri ise  $0,1194\Omega$ 'dur. Radyal şebekede 12 adet yük bulunmaktadır. Her ilçenin ihtiyaçları doğrultusunda bu yükler Power World programına tanıtılmıştır. Tasarlanan şebekede 12 bara, nominal gerilimleri 154 kV, kullanılmış ve şebekenin tüm ihtiyacı ana generatörden karşılanmaya çalışılmıştır. Radyal şebekede toplam 501 MW yük bulunmaktadır. Ayrıca hesaplanan reaktif güç toplamda 188 MVAR olarak belirlenmiştir. Modellenen şebekenin blok diyagramı Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Tasarlanan sistemin blok diyagramı

### 3. Bulgular

#### 3.1. Şebekenin Modellenmesi ve Test Sistemi

Tasarlanan sistemde 12 adet bara bulunmaktadır. Bu baralardan bir tanesi tasarım içerisindeki konumu gereği (Pınarbaşı) “denge barası” olarak alınmıştır. Bununla birlikte 12 adet yük, bir adet ana generatör ve iletim hatları sisteme dahil edilmiştir. Tasarlanan şebekenin toplam kurulu gücü 501 MW’tır. Şebeke içerisinde sadece Pınarbaşı barasına bağlı olan termik santral bulunmaktadır. Tüm şebekenin enerji ihtiyacı bu generatörden karşılanmaktadır. Ardından rüzgâr türbinleri devreye alınarak şebekenin enerji ihtiyacı rüzgâr enerjisi ile desteklenmektedir. Şebekede rüzgâr türbinlerinin devreye alınmasından önce kısa devre akım değerine bakıldığında “faz-toprak” kısa devre akım hesabının maksimum değeri 840A olarak bulunmuştur. Diğer bir kısa devre akım değeri analiz yöntemi olan “faz-faz” hesabına göre maksimum değer 1826A olarak belirlenmiştir. Rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra sistemin kısa devre analizi yapılırken “faz-toprak” hesabı dikkate alındığında ortaya çıkan maksimum değer 1794A’dır. Diğer taraftan “faz-faz” analiz yöntemine göre maksimum kısa devre akım değeri 2136A olarak bulunmaktadır.

Denge barası olarak isimlendirilen baranın sistem içindeki görevi; şebekede bulunan aktif ve reaktif güçlerin dengelenmesini sağlamaktır. Diğer baraların da sisteme dâhil edilme durumu aynı şekildedir. Şekil 5’te Pınarbaşı’na ait bara için verilerin girişi görülmektedir. Power World programı yüksek gerilimli sistemlerin çalışmasını simülasyon haline getiren ve son güncellemeleri ile 250000 bara kullanımına izin veren görsel bir sistemdir. Sistem çalışırken bile yüklere anında müdahale edilebilir ve değişimler anlık olarak görülebilir. İçinde barındırdığı görseller ve grafikler sayesinde çözüm noktası bulunması hakkında kullanıcılara yardımcı olmaktadır.

Yapılan tasarımda bulunan 12 adet yükün aktif ve reaktif güçleri, MW ve MVAR cinsinden Tablo 2’de verilmiştir. Yük miktarları 2025 yılı için ilçelerde oluşabilecek ihtiyaçlara göre belirlenmiştir. Bu ihtiyaçlar ise 2025 yılı tahmini nüfus miktarları temel alınarak hazırlanmıştır. Yapılan yük girişlerine ve sistem tasarımına ait örnek bir ekran görüntüsü Şekil 6’da verilmektedir. Şekil 6’da yer alan Develi ilçesinin talebi olan 21 MW aktif güç ve 10 MVAR reaktif güç ihtiyacının modele tanımlaması yapılmıştır. Diğer ilçelerinin yük girişleri de Şekil 6’da görüldüğü gibi sisteme dâhil edilmiştir.



Şekil 5. Pınarbaşı denge barası veri girişi

Şekil 6. Develi ilçesinin yük girişinin yapılması

Şekil 7’de Pınarbaşı ile Melikgazi ilçeleri arasında yer alan iletim hattının özelliklerinin belirlendiği tasarımın ekran görüntüsü görülmektedir. Bu pencerede direnç(R) ve reaktans(X) değerleri ile “Cardinal” iletkeninin hat taşıma kapasitesi de bulunmaktadır.

Şekil 7. İletim hatlarının veri girişi

### 3.2. Şebekenin Çalıştırılması ve Sistem Çıktıları

Power World programa veri girişleri yapıldıktan sonra sistem çalıştırılmaya hazır hale gelmiştir. Sistemde ilk olarak;

- 1 ana generatör,
- 12 adet bara,
- 12 adet yük,
- 18 iletim hattı bulunmaktadır.

Program ilk olarak bu şekilde çalıştırılmıştır. Ardından senaryolarda belirtilen noktalara 50'şer MW gücünde rüzgâr türbinlerinin entegrasyonu sağlanıp sistem tekrar çalıştırılacaktır.

Şebeke içinde rüzgâr türbinleri olmadan çalıştırılması sonucunda iletim hatlarında yaşanan kayıpların oldukça fazla olduğu görülmüştür. Şebeke ilk olarak çalıştırıldığında iletim hatlarında yaşanan kayıp Tablo 3'te görüldüğü gibi toplamda 44,25 MW olarak hesaplanmıştır. Tablo 3 incelendiğinde yaşanan güç kayıplarının yoğunlaştığı iletim hatlarının Pınarbaşı-Melikgazi, Pınarbaşı-Kocasinan ve Pınarbaşı-Talas olduğu görülmektedir. Bu üç iletim hattındaki aktif güç kayıplarının, toplam aktif güç kaybının içindeki oranı %68,3 olarak bulunmuştur. Tablo 3'te görüldüğü gibi diğer iletim hatlarında da aktif ve reaktif güç kayıpları mevcuttur. Bu ciddi kayıpların rüzgâr türbinleri ile giderileceği yapılan çalışmalar sonucunda gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Sistemin ilk defa çalıştırılmasının ardından iletim hatlarında yaşanan kayıplar

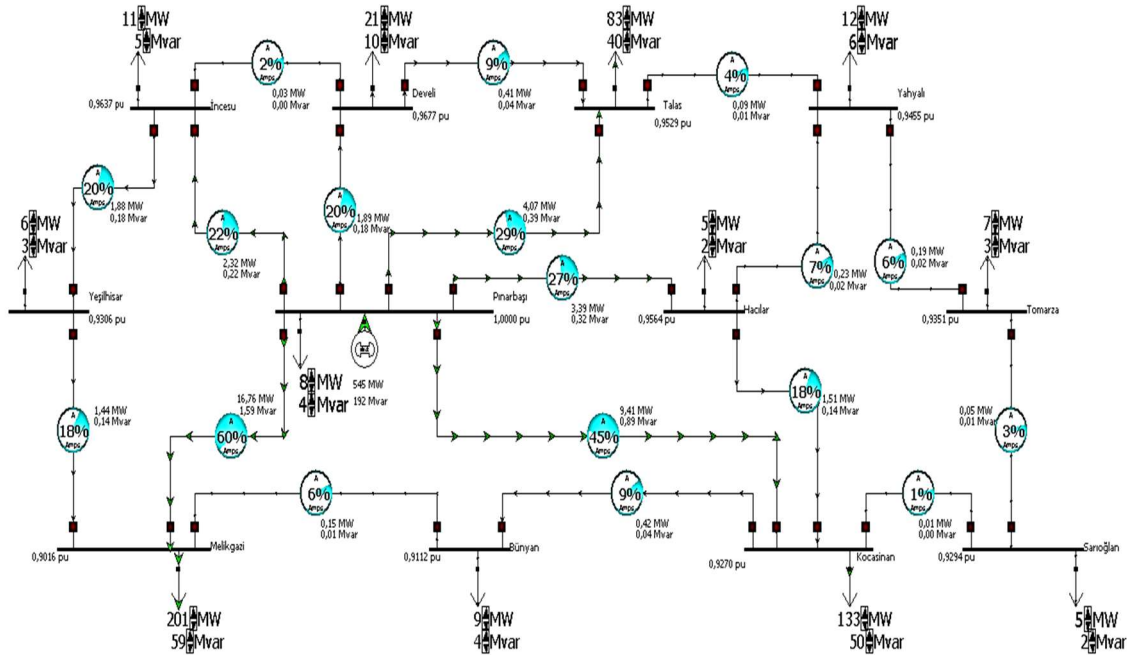
Nereden	Nereye	MW Kayıp	MVAR Kayıp
Bünyan	Kocasinan	0,42	0,04
Develi	Talas	0,41	0,04
Hacılar	Kocasinan	1,51	0,14
Hacılar	Yahyalı	0,23	0,02
İncesu	Develi	0,03	0
Kocasinan	Sarıoğlan	0,01	0
Melikgazi	Bünyan	0,15	0,01
Pınarbaşı	Develi	1,89	0,18
Pınarbaşı	Hacılar	3,39	0,32
Pınarbaşı	İncesu	2,32	0,22
Pınarbaşı	Kocasinan	9,41	0,89
Pınarbaşı	Melikgazi	16,76	1,59
Pınarbaşı	Talas	4,07	0,39
Talas	Yahyalı	0,09	0,01
Tomarza	Sarıoğlan	0,05	0,01
Yahyalı	Tomarza	0,19	0,02
Yeşilhisar	İncesu	1,88	0,18
Yeşilhisar	Melikgazi	1,44	0,14
<b>Toplam</b>		<b>44,25</b>	<b>4,2</b>

Enerjinin çok kıymetli ve masraflı olduğu bir ülkede 44,25 MW'lık bir kayıp ciddi anlamda hem sistemi hem de ekonomiyi zarara uğratmaktadır. Bu nedenle çalışmanın geriye kalan kısımlarında rüzgâr türbinlerine yani yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanılıp sistemin geliştirilmesine çalışılmıştır. Şekil 8'de tasarlanan sistemin ilk defa çalıştırıldıktan sonraki görünümü yer almaktadır. Rüzgâr enerji santrallerinin kurulumu için dikkat edilen ilk husus şebeke içindeki yüklerin, ana generatöre olan uzaklıklarıdır. Sadece Pınarbaşı ilçesinde bulunan ana generatör, tüm şebekenin güç talebini karşılamaya çalışmaktadır. İletim hatlarında yaşanan kayıpların sebeplerinden biri olan uzaklık etkeni göz önüne alındığında, ana generatöre en uzak konumda bulunan noktalara rüzgâr enerji santrallerinin kurulması ve şebekeye entegre edilmesi uygun görülmüştür. En uzak noktaların da kendi aralarında ikili seçimi yapılırken yine birbirlerine olan

mesafeleri dikkate alınmış ve sonuç olarak şebekeye entegre edilecek olan rüzgâr türbinlerinin yerleştirilecekleri 5 farklı ikili noktalar:

- İncesu-Sarıoğlan
- Develi-Kocasinan
- Talas-Bünyan
- Yahyalı-Melikgazi
- Yeşilhisar-Hacılar olarak belirlenmiştir.

Senaryolardan ilki olan İncesu – Sarıoğlan noktalarına yerleştirilen 50’şer MW’lık rüzgâr türbinleri sonrasında sistemdeki kayıplar ve ana generatörden talep edilen güç miktarları kaydedilmiştir. İncesu – Sarıoğlan noktalarında rüzgâr türbinlerinin devreye alınmasının ardından türbinler ikinci senaryo noktaları olan Develi – Kocasinan mevkilerine taşınmıştır.



Şekil 8. Şebekenin ilk defa çalıştırılması

Burada rüzgâr türbinlerinin etkisi analiz edildikten sonra sırayla Talas – Bünyan, Yahyalı – Melikgazi ve Yeşilhisar – Hacılar noktalarına taşınan rüzgâr türbinleri çalıştırıldıktan sonra sonuçları ayrı ayrı kaydedilmiştir. Elde edilen çıktıkların toplu gösterimi Tablo 4’te verilmiştir.

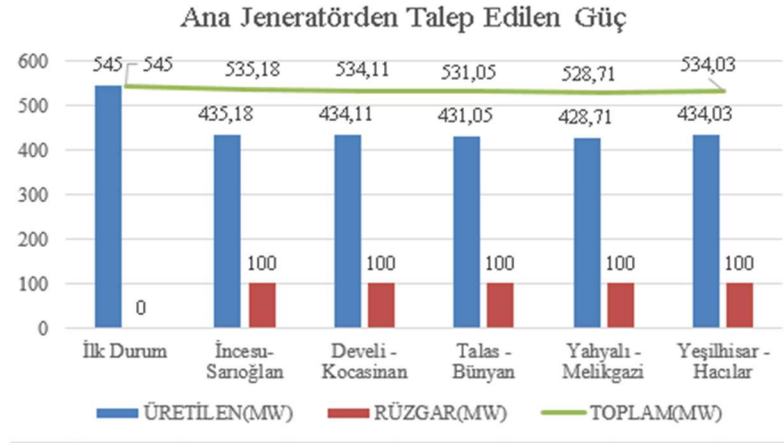
Tablo 4. Rüzgâr türbinlerinin eklenmesi ile iletim hatlarında yaşanan kayıplar

NOKTALAR	Kayıp (MW)	Kayıp (MVAR)
İlk Durum	44,25	4,2
İncesu – Sarıoğlan	34,2	3,2
Develi – Kocasinan	33,1	3,1
Talas – Bünyan	30,1	2,9
Yahyalı – Melikgazi	27,7	2,6
Yeşilhisar- Hacılar	33	3,1

Tablo 4’te görüldüğü gibi ilk durumda yaşanan kayıp 44,25 MW iken türbinlerin eklenmesi ile kayıplar ilk duruma göre sürekli olarak azalmıştır. Türbinler eklendikten sonra kendi aralarında kıyaslanması sonucu ise türbinlerin entegrasyonu için en uygun noktaların Yahyalı – Melikgazi noktaları olduğu anlaşılmaktadır. Yahyalı ve Melikgazi noktalarına 50’şer MW gücünde rüzgâr türbinlerinin entegrasyonu sonucunda iletim hatlarının yüklenme oranları

azalmıştır. Rüzgâr santralleri, seçilen iki farklı noktadan toplamda 100 MW gücü sisteme dâhil etmektedir. İletim hatlarındaki kullanım oranının düşmesi sayesinde yaşanan kayıplar da en aza inmiştir. Bu nokta da sistemin iletim hatlarındaki kayıpları 27,7 MW'a kadar düşmektedir.

Sistemdeki kayıpların ne kadar azaldığını “denge barası” ile bağlantılı generatörün ürettiği güce bakarak anlamak da mümkündür. Sistemde yaşanan kayıplardan dolayı generatör, ihtiyaçtan daha fazla güç üretmek zorunda kalmaktadır. Bu nedenle rüzgâr türbinleri eklendikten sonra ana generatörün üretimini en çok düşüren nokta rüzgâr türbinleri için en uygun yer olarak belirlenebilir. Buradan yola çıkılacak olursa ilk durumda generatörden talep edilen güç 545 MW iken rüzgâr türbinleri devreye alındığı zaman ana generatörden talep edilen güçte, rüzgâr türbinlerinin toplam MW gücünden daha fazla düşüş yaşanmaktadır. Yahyalı – Melikgazi noktası bu açıdan incelendiğinde ana generatörden talep edilen güç miktarı 428,71 MW olarak bulunmaktadır. Şekil 9’da ana generatörden talep edilen aktif güç miktarlarının, rüzgâr türbinlerinin eklendiği noktalara göre değişimi verilmiştir.



Şekil 9. Ana generatörden talep edilen MW miktarı

Ana generatörün yükünü oldukça etkin bir şekilde azaltan rüzgâr türbinlerinin, iletim hatlarındaki kayıpları da ortadan kaldırması ile ana generatörden talep edilen güç miktarı azalmıştır. Örnek verilecek olursa, sistemde rüzgâr türbinleri devreye alınmadan önce ana generatörden 545 MW aktif güç talep edilirken, sisteme toplamda 100 MW’lık rüzgâr türbinlerinin eklenmesiyle ana generatörden talep edilen aktif güç 428,71 MW olmaktadır. Diğer taraftan ana generatörde oluşan 192 MVAR reaktif güç, rüzgâr türbinlerinin devreye alınması ile birlikte 151 MVAR olarak belirlenmiştir.

Tablo 5’e bakıldığında, iletim hatlarında türbinler devreye alınmadan önce toplamda 44,25 MW kayıp varken, türbinler Yahyalı – Melikgazi noktalarında devreye alındıktan sonra iletim hatlarındaki toplam kayıp 27,7 MW olmaktadır. Aradaki fark ise 16,55 MW’tır. Bu iyileşme yüzde olarak %37,4’e denk gelmektedir. Yaklaşık olarak %38’lik bir iyileşmenin hem iletim hatlarının ömrüne hem de ekonomik olarak yatırımcılara ve ülkemize büyük bir katkısı olacağını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar dikkatle incelendiğinde, türbinler devreye alınmadan önce Kocasinan-Sarıoğlan iletim hattı aktif olarak kullanılmazken, türbinler devreye alınınca kullanılmaya başlamıştır. Bu nedenle üzerinden geçen akım artmıştır. Hatlarda yaşanan kayıpların analizi yapıldığında bu noktalarda kaybın arttığı gibi bir görünüm ortaya çıkmaktadır. Bunun gibi birkaç iletim hattı daha bulunmaktadır. Bunlar dışında aktif olarak kullanılan iletim hatlarının kayıplarında ciddi oranda düşüşler meydana gelmiştir.

Tablo 5’teki bilgiler, rüzgâr türbinleri için en uygun yer olan Yahyalı–Melikgazi noktalarında türbinlerin devreye alınmasından önceki ve devreye alındıktan sonraki verilerine dayanmaktadır. Türbinlerin devreye alınmasına, 13 iletim hattı olumlu tepki vermiştir. Diğer hatlarda kaybın artması gibi bir görüntü bulunmaktadır fakat bu durum yukarıda da

açıklandığı gibi türbinlerin olumsuz etkilerinden kaynaklanmamaktadır. Olumsuz görüntünün temel sebebi aktif olarak kullanılmayan iletim hatlarının rüzgâr türbinlerinin devreye alınması ile kullanılmaya başlamasından kaynaklanmaktadır.

**Tablo 5.** Rüzgâr türbinlerinin eklenmeden önceki ve eklendikten sonra iletim hatlarında yaşanan kayıplar

Nereden	Nereye	ÖNCE		SONRA		Değişim (MW)
		MW Kayıp	MVAR Kayıp	MW Kayıp	MVAR Kayıp	
Melikgazi	Bünyan	0,15	0,01	0,03	0	-%80,0
Pınarbaşı	Melikgazi	16,76	1,59	9,67	0,92	-%42,3
Yeşilhisar	Melikgazi	1,44	0,14	0,74	0,07	-%48,6
Bünyan	Kocasinan	0,42	0,04	0,17	0,02	-%59,5
Pınarbaşı	Kocasinan	9,41	0,89	6,56	0,62	-%30,3
Kocasinan	Sarıoğlan	0,01	0	0,08	0,01	+%700,0
Hacılar	Kocasinan	1,51	0,14	1,57	0,15	+%4,0
Develi	Talas	0,41	0,04	0,2	0,02	-%51,2
Talas	Yahyalı	0,09	0,01	0,11	0,01	+%22,2
Pınarbaşı	Talas	4,07	0,39	2,45	0,23	-%39,8
Pınarbaşı	Develi	1,89	0,18	1,26	0,12	-%33,3
İncesu	Develi	0,03	0	0,01	0	-%66,7
Yahyalı	Tomarza	0,19	0,02	0,38	0,04	+%100,0
Hacılar	Yahyalı	0,23	0,02	0,01	0	-%95,7
Pınarbaşı	İncesu	2,32	0,22	1,5	0,14	-%35,3
Pınarbaşı	Hacılar	3,39	0,32	1,72	0,16	-%49,3
Tomarza	Sarıoğlan	0,05	0,01	0,18	0,02	+%260,0
Yeşilhisar	İncesu	1,88	0,18	1,06	0,1	-%43,6
	<b>Toplam</b>	<b>44,25</b>	<b>4,2</b>	<b>27,7</b>	<b>2,63</b>	<b>-%37,4</b>

İletim hatlarındaki kullanım oranlarının azalması sayesinde tasarlanan sistem, sürekli olarak artan yük ihtiyaçları karşısında uzun süre kullanılabilir. Dolayısı ile yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyet konusunda bir faydası daha ortaya çıkmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının açıkça görüldüğü bir diğer etki alanı ise sistem gerilimlerindeki değişimlerdir. Tablo 6’da türbinlerin devreye alınmasından önce ve devreye alınmasından sonra sistem gerilimlerinin değişimi ve gerilim genlik açıları verilmiştir.

Rüzgâr türbinleri Yahyalı–Melikgazi noktalarında devreye alındıktan sonra gerilimlerde istenen düzeylere biraz daha ulaşıldığı görülmektedir. Bu sonuçlar ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının faydaları da bir kez daha açık bir şekilde ortaya çıkmıştır. Değişim olmayan tek bara Pınarbaşı’nda yer almaktadır. Bu bara, “denge barası” olarak seçilmesinden dolayı p.u değeri sürekli olarak 1 olmaktadır. Türbinler sisteme analiz edilen hangi bara üzerinden dâhil edilirse edilsin, sistem gerilimi üzerinde genel olarak olumlu etkide bulunmuştur.

**Tablo 6.** Türbinlerin devreye alınmasından önce ve devreye alınmasından sonra pu volt değerleri

Bara	ÖNCE	SONRA	ÖNCE	SONRA
	PU Volt	PU Volt	Deg	Deg
Melikgazi	0,902	0,925	1,23	0,84
Kocasinan	0,927	0,939	1,11	0,91
Talas	0,953	0,964	0,89	0,71
Develi	0,968	0,974	0,56	0,47
Yahyalı	0,945	0,971	0,95	0,51
Bünyan	0,911	0,929	1,23	0,94
Pınarbaşı	1,000	1,000	0	0
Tomarza	0,935	0,956	1,08	0,72
İncesu	0,964	0,971	0,53	0,42
Yeşilhisar	0,931	0,946	0,91	0,67
Sarıoğlan	0,929	0,946	1,12	0,84
Hacılar	0,956	0,969	0,69	0,48

Tablo 5 ve Tablo 6’da sunulan veriler, maliyet konusunda da yatırımcıların kısa sürede geri dönüş almalarını sağlayan yenilenebilir enerji kaynaklarının daha çok kullanılması ve değerlendirilmesi gerektiğini doğrulamaktadır. Ana generatör olan termik santralin ilk durumda ürettiği gücün 545 MW olduğu bilinmektedir. Termik santrallerde enerji üretim maliyeti ortalama 6 cent/kWh’tir [27]. Bu durumda tasarlanan şebekede termik santralin 1 yıl boyunca çalışmasının maliyeti 286.452.000 \$ olarak hesaplanmıştır. Rüzgâr türbinlerinin devreye alınması ile termik santralden talep edilen güç 428,71 MW’a düşmüştür. Diğer taraftan toplamda 100 MW’lık bir rüzgâr enerjisi üretime destek vermektedir. Termik santral ile rüzgâr türbinlerinin birlikte çalışmasının yıllık maliyeti 234.089.976 \$ olarak bulunmuştur. Bu hesaplama yapılırken rüzgâr enerjisinin üretim maliyeti ortalama olarak 1 cent/kWh olarak alınmıştır [28]. Bu hesaplamalar ışığında rüzgâr türbinlerinin devreye alınması ile birlikte yıllık olarak 52.362.024 \$ değerinde termik santral üretimi azaltılmıştır. Maliyetteki azalan miktar ise rüzgâr türbinlerinin kurulum maliyetini yaklaşık olarak 3 yıl 4 ay gibi kısa bir sürede karşılamaktadır. 100 MW’lık rüzgâr enerjisinin toplam kurulum maliyeti 175.000.000 \$ olarak belirtilmiştir [28].

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegre edilmesi durumunda sağlayacağı faydaların somut örneklerle verilmesi için bir araştırma yapılmıştır. Bunun için rüzgar türbinlerine dayalı bir sistem tasarlanmış ve belirli senaryolar ile rüzgâr türbinlerinin sisteme entegrasyonu sağlanmıştır. Amaç olarak, sistem içerisinde yer alan kayıpların yaratmış olduğu maliyetlerden ve yenilenebilir enerji kaynaklarının dışında kalan enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararlardan bir nebze olsun uzak durabilmektir. Çalışma içerisinde 5 farklı senaryo geliştirilmiş olup bu senaryolar, yaygın olarak kullanılan ve nispeten daha pratik bir şekilde sonuç üreten Power World programı kullanılarak analiz edilmiştir. Analizler sonucunda, örneklenen şebekenin mevcut durumu ve geliştirilen senaryolar dikkate alınarak şebekede yaşanan hat kayıpları, kısa devre analizleri ve gerilim profilleri ile ilgili bilgilere ulaşılmıştır. Rüzgâr türbinleri, istenilen baralara entegre edilerek sonuçlar incelenmiştir.

Türbinler devreye alınmadan önce sistemde var olan kayıp 44,25 MW’tır. Bu kayıp, türbinlerin sisteme entegre edilmesi ve katkı sağlaması sonucunda 27,7 MW’a kadar düşmüştür. Tasarlanan sisteme entegre edilen rüzgâr türbinleri sayesinde sistem içerisinde yer alan kayıpların yaklaşık olarak %38 oranında azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda sistem gerilimlerindeki olumlu değişimler türbinlerin sistem içerisinde aktif olması ile birlikte hemen kendisini göstermektedir. İletim hatları üzerindeki yüklerin oranını da düşüren dağıtık üretim kaynakları, bu sayede şebekelerin daha uzun ömürlü olmalarını da sağlamaktadır.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Haque M.H., “Voltage profile and loss assessment of distribution systems with fixed speed wind generators”, *2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA)*, 2014.
- [2] Guerriche K.R., Bouktir T., “Maximum loading point in distribution system with renewable resources penetration”, *International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, IEEE, 481-486, 2014.
- [3] Shrivastava C., Gupta M., Koshti A., “Review of forward & backward sweep method for load flow analysis of radial distribution system”, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 4(6), 5595-5599, 2015.
- [4] Dharageshwari K., Nayanatara C., “Multiobjective optimal placement of multiple distributed generations in IEEE 33 bus radial system using simulated annealing”, *2015 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2015]*, IEEE, 1-7, 2015.
- [5] Wazir A., Arbab N., “Analysis and optimization of IEEE 33 bus radial distributed system using optimization algorithm”, *(JETAE) J. Emerg. Trends Appl. Eng.*, 1(2), 2518-4059, 2016.

- [6] Majidi M., “Optimal distributed generation allocation and sizing in radial distribution networks by cuckoo search algorithm”, İstanbul Technical University Graduate School of Science Engineering and Technology, *Doktora Tezi*, 83s, İstanbul, 2017.
- [7] Parasher R., Maida A., “Load flow analysis of radial distribution network using linear data structure”, arXiv preprint arXiv:1403.4702, 2014.
- [8] Akdeniz E., Kaypmaz A., Yağmur E., “Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretiminin Şebekenin Enerji Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi”, *Elektrik Mühendisleri Odası*, [http://www.emo.org.tr/ekler/8e6ba1db0f3c405\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/8e6ba1db0f3c405_ek.pdf), Yayın tarihi 2006. Erişim tarihi Haziran 27, 2020.
- [9] İçel Y., Baran B., Kaygusuz A., Bektaş Ö., “Yenilenebilir Kaynakları İçeren Güç Sistemlerinin PowerWorld Programı ile Analizi”, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK2013*, 26-28, 2013.
- [10] Karaarslan K., “Dağıtılmış üretim kaynaklarının elektrik dağıtım sistemlerine etkileri”, Kocaeli Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 85s, Kocaeli, 2010.
- [11] Geidl M., “Protection of power systems with distributed generation: State of the art”, *Eidgenössische Technische Hochschule Zürich*, EEH Power Systems Laboratory, Zurich, 2005.
- [12] Uyar M., Gençoğlu M.T., Yıldırım S., “Değişken hızlı rüzgar türbinleri için generatör sistemleri”, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin- Türkiye, 2-5, 2005.
- [13] Dulău L.I., Abrudean M., Bică D., “Effects of distributed generation on electric power systems”, *Procedia Technology*, 12(2014), 683-685, 2014.
- [14] Uzal H., Zonturlu A., Karatepe E., “Enerji iletim ve dağıtım hatlarının matlab ve powerworld simulator ile güç akışı analizi”, Ege Üniversitesi, *Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü*, İzmir, 2011.
- [15] Parihar S.S., Malik N., “Load flow analysis of radial distribution system with DG and composite load model”, *International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC)*, IEEE, 295-300, 2018.
- [16] Narayan K.S., Kumar A., “Energy savings in radial distribution systems with intermittent wind power and probabilistic load demands”, *Energy Procedia*, 90, 137-144, 2016.
- [17] Glover, S., Neely, J., White, F., Foster, P., Wasynczuk, O., Pekarek, S., “Secure scalable distributed network test bed at sandia national laboratories”, *IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, 23-27, 2007.
- [18] Hossain, E., Kabalci, E., Bayindir, R., Perez, R., “A comprehensive study on distributed network technology”, *International Journal of Renewable Energy Research*, 4(4), 1094- 1107, 2014.
- [19] Kruegle, H., “CCTV surveillance”, *Elsevier Butterworth Heinemann*, Amsterdam, s. 572, 2007.
- [20] Willis, H., “Power distribution planning reference book”, New York: M. Dekker, 2004.
- [21] Kishorbha, T. M., Mangroliya, D. G. P., “Recent Trades in Distribution System”, *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 2(3), 211-217, 2015.
- [22] Sochinskayaa, M., “Distributed networks: experiences, barriers and success factors”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 5-30, 2014.
- [23] Cristian, N., Ahmed, A., Dakyo, B., “Impact Analysis of Distributed Generation on Mesh and Radial distribution network”, *Overview and State of the art*, ResearchGate, 2013.
- [24] Bosisio, A., “Structural and functional optimization in distribution grid planning”, Politecnico Di Milano, *Department of Energy, PhD thesis*, Milano, 2015.
- [25] Tande, J. O. G., “Grid Integration of Wind Farms”, *Wind Energy*, 6, 281-295, 2003.

- [26] Elektrik Mühendisleri Odası. [http://www.emo.org.tr/ekler/31bef974be23b27\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/31bef974be23b27_ek.pdf). Erişim tarihi Nisan 12, 2020.
- [27] Kaya K., Koç E., “Enerji üretim santralleri maliyet analizi”, *Mühendis ve Makina*, 56(660), 61-68, 2015.
- [28] Ertuğrul Ö.M., Kurt M.B., “Yenilenebilir enerji kaynakları maliyet analizi ve sürdürülebilir yek uygulamaları”, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır-Türkiye, 37-41, 2009.