

Bir Güneş Enerjisi Santralının Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği

Hilmi Cenk BAYRAKÇI¹, Talha GEZER^{*2}

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Isparta

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enst., Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD, Isparta

(Alınış / Received: 09.06.2019, Kabul / Accepted: 29.07.2019)

Anahtar Kelimeler

Güneş enerjisi,
Maliyet analizi,
Güneş enerji santrali,
Fizibilite

Özet: Çalışmada fotovoltaik sistem kullanan santralin ne derece verimli çalışacağını ve kurulum yöntemlerini, gerçek veriler ışığında bir enerji santralının aylık verilerine dayalı olarak üretim farklılıkları araştırılmıştır. Bu çalışmada Aydın'ın Çine ilçesinde kurulması planlanan 1 MW gücündeki güneş enerji santralının yatırım aşamasından proje ve uygulamasına kadar geçen sürede, yapılacak yatırımlar kullanılacak malzeme ve panel seçimleri, sahanın kurulması düşünülen bölgenin coğrafi olarak önemi, bölge seçimi konusunda çeşitli programlardan yararlanılması incelenmiştir. Yapılan hesaplamaların mevcut yasa tasarısına göre analiz durumları hesaplanmış ve gerçek verilerle kıyaslanmıştır.

Cost Analysis of a Solar Energy Plant: Aydın Province Example

Keywords

Solar energy,
Cost analysis,
Solar power plant,
Feasibility

Abstract: In study, production differences are investigated based on the monthly data of a power plant in the light of the actual data and the installation methods of the power plant using photovoltaic system. In this study, the investment stage of the 1 MW power plant planned to be constructed in Çine district of Aydın will be investigated. The investigation will include the selection of the materials and panels to be used, the geographical importance of the region to be constructed and the use of various programs in the selected region. The calculations made according to the current bill were analyzed and compared with the actual data.

1. Giriş

Ülkemizdeki enerji yatırımlarının son zamanlarda hızla fazlalaşması ve özellikle güneş enerjisi alanında ki yatırımlara olan ilginin artmasıyla birlikte bu konudaki çalışmalarda hız kazanmıştır.

Çalışmaların hız kazanmasıyla birlikte ülkenin enerji sektöründe özellikle güneş alanında nasıl faydalanması gerektiği, potansiyeli hakkında değerlendirmeler yapılmıştır [1]. Yatırımların yapılması bunu finanse eden yatırımcıları yakından ilgilendirdiği için yatırımların genel çalışmalardan daha özel çalışmalara yönelmelerine ve bölgesel incelenme kriterinin de önemli faktörler arasına girmesini sağlamıştır. Yapılacak olan yatırımın maliyet oranlarını nasıl etkileyeceği geri dönüşlerin zaman aralıklarının nasıl sağlanacağı araştırmaların konusu olmuştur.

Yapılan çalışmalarda çeşitli analiz yöntemleri kullanılarak kurulacak olan sahaların maliyet analizlerine bakış açısı kazandırılmıştır. Farklı analiz yöntemlerinin kullanılarak, yatırımın en doğru şekilde hizmete kazandırılması amaçlanmıştır ve karşılaştırılma olarak bu analiz yöntemleri ile doğru sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır.

Dağlı (2018) çalışmasında, bir güneş enerji santralının yatırım verilerini finansal analiz yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Bunlar arasında net bugünkü değer ve iç verim oranı gibi yöntemler bulunmaktadır. Ayrıca güneş enerji santralleriyle ilgili yönetmeliklere ve mevzuatlara da değinilmiştir. Geçmişten günümüze kadar olan süreçte yatırım maliyetinin değişimi ve güneş enerjisinin ülke içerisindeki gelişimi ele alınmıştır. Çalışmada yer alan güneş enerjisi santralının kurulumundaki parametreler ve fizibilite analizi gerçek verilerle hazırlanmıştır. Çalışmada bu

*:talhagezer_91@hotmail.com

konu hakkında farklı analiz yöntemlerinin yatırım üzerindeki sonuçları karşılaştırılmıştır [2].

Van ili için 2018 yılında bölgenin potansiyel güneş enerjisi çalışmaları haricinde farklı enerji üretim türleri ile birlikte, üretim değerleri karşılaştırılmıştır. Bölgede hidrolik ve güneş enerjisi ile birlikte oluşacak olan ekonomik değişimler ve kalkınma payına katkısı göz önüne alınarak incelemelerde bulunulmuştur [3].

Koçak (2018), yaptığı çalışmada, Büyükçekmece ilçesinde kurulması tasarlanan güneş enerji santralının, 8 farklı sistemin ekonomik analizi ve enerji üretim değerlendirmesini yapmıştır. Bu maksatla, günümüzde uygulamada olan 4 farklı güneş panel türü ve 2 farklı evirici modeline yönelik enerji üretim etkileri gerçekleştirilmiştir. Bu inceleme için modelleme maksatlı olarak PVSOL programından faydalanılmış olup meteorolojiye has veriler için meteorolojik verisinden yararlanılmıştır. Bunun yanı sıra, çalışması dâhilinde, bir güneş enerji santralinde gerek duyulan tüm ekipmanların ve santralin kurulması planlanan sahanın yapısının detaylı bir incelemesi yapılmıştır. Enerji üretimi analizi yapılan sistemlere yönelik olarak ekonomik analiz senaryoları uygulanmış ve bu senaryolar için iç kârlılık oranı ve geri ödeme süresi hesabı yöntemlerinden yararlanılmıştır. 8 ayrı sisteme yönelik olarak gerçekleştirilen hesaplamalar neticesinde, en uygun sistemin hangisi olduğu belirlenmiş ve bu sistemin tüm finansal değerleri hakkında bilgi verilmiştir [4].

Haydaroğlu (2017), çalışmasında sistem olarak tam anlamıyla analiz yapabilmemiz için gerekli olan elektriksel incelemeleri yapmıştır. Sistemin verimliliği ne kadar iyi olursa ekonomik bağdaştırmalarımız da o derece iyi olacağından bu çalışmada gerekli olan püf noktalar ve elektriksel analizler incelenmiştir. Haydaroğlu çalışmasında kullanılacak olan kurulum program paketi dışında PVSyst simülasyonunu kullanmış ve gerekli verileri karşılaştırma fırsatı bulmuştur [5].

Çalışmaları sadece yurt içinde değil yurt dışında farklı bölgelerde sürdüren araştırmacılar Libya'da seçtikleri farklı bölgelerde enerji analizleri gerçekleştirip, verimin en uygun olduğu bölgeler hakkında yorum getirmişlerdir. Seçtikleri bölgeler için iki ayrı sistem üzerinden modelleme yaparak en uygun yatırım sistemini oluşturmuşlardır. Sistemler 100 MW ve 50 MW olmak üzere yüksek kapasitelerde olup bölgelerdeki kurulum için uygunluk değerleri araştırılmıştır [6].

Uygunluk değerleri, maliyet analizler gibi konular haricinde kurulacak olan santralin en başında yani tasarım kısmında yapılacak olan hatalar tüm sistem için sorun teşkil etmektedir. Özellikle elektrik üretimi kısmına gelindiğinde bu sonuçlar kendini bariz şekilde göstermektedir. Kullanılan programlar ve farklı mühendislik yaklaşımlarını karşılaştırmak adına 2014

yılında santral dizaynı ve gölgelenme faktörleri ile ilgili detaylı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma, içerisinde santral tasarımında kullanılmakta olan içerisinde gölgelenme faktörü, güneş ışınlarının geliş açısının hesaplanması gibi konuları da içeren ve bunların hesaplamalarının yapılabileceği PVSyst, PVSOL, System Advisor Model gibi programların bu konulardaki performansını karşılaştırmıştır [7].

Özdemir (2013) çalışmasında, Türkiye'de fotovoltaik sistemler için uygulanabilirliği araştırmak ve finansal değerlendirme yapmak için bu sistemlerin kurulumunun uygun olduğu bölgeler seçerek finansal yatırım teknikleri konusunda incelemelerde bulunmuştur. Araştırmasında seçtiği bölgelerdeki radyasyon oranlarını ve ortalama güneşlenme saatlerini kullanarak üretilecek enerji miktarını karşılamak için ne kadar panel gerektiği sorusuna yanıt aramıştır. Sonuç olarak finansal değerlendirme için bütçeleme tekniklerini kullanıp her bölge için maliyet, geri ödeme, verimlilik hesaplamalarını yaparak kıyaslama fırsatı bulmuştur [8].

Hesaplamaların yapılmasında önemli faktörlerden biri de radyasyon değeridir. Fotonların uzay boşluğundan dünyaya gelene kadar ki yolculuğundan dünyanın farklı yer ve bölgelerine göre ışımaları da farklılık göstermektedir. Bu farklılıklardan dolayı, yatırımın en önemli evresinden biri de bu faktörün göz önünde bulundurulması ile gerçekleşmektedir [8].

Girgin (2011) çalışmasında, Karaman bölgesinde kurulması planlanan 5 MW gücünde 36 farklı fotovoltaik sistemin enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, günümüzde uygulamada kullanılan altı farklı fotovoltaik panel çeşidi, üç montaj yapısı tipi ve iki farklı evirici modeli için enerji üretimi incelemesi gerçekleştirilmiştir. Enerji üretimi incelemesi için PVSYST programı modelleme amaçlı olarak kullanılmış olup meteorolojik veriler için 4 farklı meteorolojik kaynak verisinden yararlanılmıştır. Bununla birlikte, bir güneş enerjisi santralinde kullanılan tüm donanımlar ve güneş enerjisi santralının kurulacağı bölgenin yapısı ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, enerji üretimi analizi gerçekleştirilen sistemler için YEK (Yenilenebilir Enerji Kanunu) yasa tasarısına göre ekonomik analiz senaryoları gerçekleştirilmiş olup bu senaryolar için Geri Ödeme Süresi hesabı ve İç Kârlılık Oranı yöntemleri kullanılmıştır. Amaç 36 farklı sistem için yapılan hesaplamalar sonucu, en uygun sistemin seçilmesi ve bu sisteme ait tüm finansal değerlerin araştırılmasıdır [9].

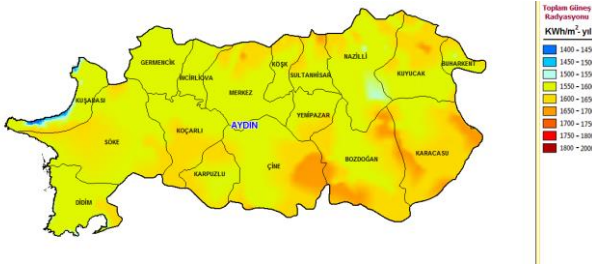
Kahraman (2010) çalışmasında, güneş enerjisi sistemleri için farklı şehir kıyaslamaları yapmış olup, hangi sistemin neresi için daha uygun olduğunu araştırmıştır. Bu fikirler ışığında, EES programında 30 MWe gücünde parabolik oluklu güneş enerjisi santrali modeli hazırlanmıştır. Bu model kullanılarak santralin

İstanbul ve İzmir koşullarında kullanılması halinde üretilebilecek yıllık elektrik miktarı hesaplanmıştır. Çalışmanın amacı üretilecek elektrik miktarı doğrultusunda santral için ekonomik analiz gerçekleştirilmesidir [10].

2. Materyal ve Metot

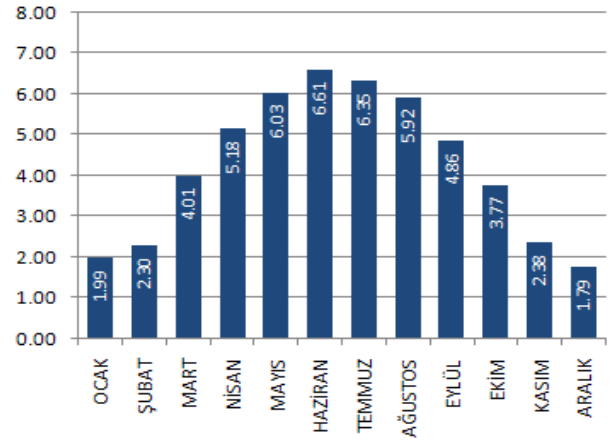
Bir güneş enerjisi projesine başlanmadan önce gerekli olan en önemli noktalardan biri kapasite olan bölgelere göre seçim yapmaktır. Yatırımcılar bu anlamda çok titiz çalışmalar yapmakta ve en ince ayrıntısına göre bölgeleri incelemektedirler. Aydın ilindeki kurulması planlanan santral için aynı şekilde geniş kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle bölgenin coğrafi yapısı ve kurulması planlanan yapının arazi şartları göz önüne alınarak bölgesel bir araştırma yapmak gerekmektedir. Güneş enerjisi santrallerinde en önemli başlıca faktörlerden biri de radyasyon ve güneşlenme süresidir. Bu değerler ne kadar fazla olursa elektrik üretim değerleri ve verimlilikte o oranda fazla olacaktır. Yapılan hesaplamalar seçilen bölge üstünden yapılmakta olup en son halinde tesis tamamlandıktan sonra karşılaştırma fırsatı bulunacaktır.



Şekil 1. Aydın ilçeleri radyasyon değerleri [11]

Şekil 1'de gösterildiği gibi santralin kurulmasının yapılacağı alanda yani Çine ilçesinde yıllık bir metre kareye düşen radyasyon değeri 1600 kilowatt-saat ile 1700 kilowatt-saat arasında değişim göstermektedir. Aydın ili Türkiye ortalama güneşlenme ve radyasyon değerleri bakımından daha iyi değerlere sahiptir. Türkiye aylara göre radyasyon değerlerinde haziran ayını düşünecek olursak, bu değer 6.57 kWh/m² civarındadır. Yine haziran ayında Aydın için bu değer 6.61 kWh olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Aydın Global Radyasyon Değerleri (kWh/m²-gün)[12]

Radyasyon ve güneşlenme süreleriyle alakalı Çine ilçesinin değerleri de Aydın ilinin ortalamasından yüksek olup yatırımın bu konudaki desteklenme sürecinde yatırımcı için önemli bir parametre olarak sunulmaktadır. Bu değer Çine'de 6.64 kWh/m² olarak belirlenmiştir.

Güneşlenme ve radyasyon değerlerinin yanında rüzgâr faktörü bir başka incelenmesi gereken konular arasındadır. Bazı santrallerin kurulması planlanan alanlar çok aşırı rüzgâra maruz kaldıkları için gerekli önlemlerin alınmaması ve yanlış kurulum tekniklerinden dolayı çok büyük maddi hasarlara neden olmaktadır. Bunların önlenmesi için proje sahada uygulanmaya başlanılmadan önce mutlaka hâkim rüzgâr yönleri ve maddi zarar olmaması için alınacak önlemler belirlenmelidir. Kurulum aşamasında, santralin mekanik aksamı yere sabitlenirken panelleri tutucu parçaların hiçbirinin atlanmamasına ve istenilen tork değerinde sıkılı olmasına dikkat edilmelidir. Yatırımın maliyet kısmının çok büyük bir kısmını yani yaklaşık olarak %60-%70 olan kısmını oluşturan panellerin, bu tarz bir ihmalden zarar görmesi göz ardı edilmesi durumunda kaçınılmaz olacaktır. Rüzgârın kurulan tesisler üzerinde bir başka etkisi panellerin yaz aylarındaki sıcaklıkları üzerinedir. Üretim yapan paneller özellikle yaz aylarında hem ortam hem de üretimden kaynaklanan sıcaklık ile verim düşüşü yaşamaktadırlar. Bilindiği üzere sıcaklık ve verim ters orantılı olduğundan bölgedeki rüzgâr bu durum için olumlu bir etki yaratmaktadır.

Sıcaklık faktörü panelin verimli çalışmasından malzemelerin seçimine ve panel seçimine kadar önem oluşturmaktadır. Çünkü sıcaklık değerleri fazla yerlerde test koşulları standartların üzerinde dayanıma sahip malzeme kullanmak belki maliyeti artırabilir ama uzun vade de sağlıklı bir çalışma ortamı sağlayacaktır.

Yağış durumu paneller ya da santraller açısından olumsuz bir etki olarak görülmemektedir. Paneller yansıyan güneş ışınlarında da elektrik üretimi

yapabildiği için bu anlamda bir sorun teşkil etmemektedirler. Sahadaki özellikle kurak aylarda tozlanma ve verim azalmaları göz önüne alındığında yatırımcıların panelleri temizleme masraflarında kurtarılması, olumlu sayılabilecek yanlarından. Bunun dışında zemindeki doğal habitatın büyüme durumunu göz önüne alırsa nadirde olsa temizlik hizmeti yapılması santralin uzun vadeli açıdan faydasına olacaktır.

Sahada uzun vadede en çok düşünülen ve dikkat edilmesi gereken durumlardan biri, sahada kullanılacak taşıyıcı sistemin aşınma ve korozyona karşı dayanımıdır. Bu konuda kurulum esnasında çok dikkatli olunması ve istem dışı darbe alan ya da yıpranan malzemeler kesinlikle sahaya uygulanmamalıdır. Sahada deforme olmuş bir parça kullanımı o anlık gözden kaçmış olsa bile daha sonra tesisi etkilememesi için mutlaka değiştirilmelidir. Bu hem mekanik sistem için hem de elektrik kabloları için geçerlidir. Mekanik aksamda ufak bir yerde başlayan bir paslanma hastalık gibi tüm sehpayı ilerleyen zamanlarda kaplayabilir. Bu durum tesis ömrünü azalttığı gibi istenmeyen sonuçlarda oluşturabilir.

Tüm çevresel koşullar ve olası karşılaşılabilecek durum değerlendirmelerinden sonra sahanın yapımında kullanılacak malzeme seçiminin doğru yapılması gerekmektedir. Ayrıca projelendirme kısmında sahanın elektriksel ve statiksel hesaplamaları tamamlanması gerekmektedir. Arazi olanakları ve zemin etütlerine göre arazide uygulanacak olan yerleşim planı dikkatlice yapılması gerekmektedir. Bu çalışmalar yapılırken panellerin taşıyıcı sistemlerinin sıraları birbirleriyle gölgelenme yapmaksızın yerleştirilme yapılması gerekmektedir. Güvenlik payları ve servis yollarını da düşünerek, istenilen güce göre hazırlanması gerekmektedir. Panellerin iskelet üstüne yerleştirilmesinden önce boş zemine konstrüksiyon doğru bir şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Buradaki açının yakalanması çok önem arz etmektedir. Çünkü bundan sonra güneş enerjisi panelleri azimut açıları doğru bir şekilde yerleştirilip seri şeklinde bağlanmaları işlemi gerçekleşecektir.

Bunların yanı sıra elektriksel hatların döşenmesinde ve bunların zarar görmeden yerin altına gömülmesinde, kablo kanallarının açılması ve kapatılması işlemleri uygulanmaktadır. Bunlar yapılırken yönetmelikteki direktiflere uygunluk hem can güvenliği açısından hem de tesisin uzun süre sorun yaşamaksızın üretime devam etmesi açısından çok önemlidir.

Şebeke ve güneş enerji santrali arasında iletimi sağlayan hatlarda en az santral kadar önemlidir. Gerekli izinler ve hatların geçeceği yollar önceden belirlenip düzenlenmeli, herhangi bir kural ya da sınır ihlaline düşmeden şebekeye bağlantı sağlanmalıdır.

Sabit saha uygulamalarında genellikle ülkemizde galvanizli çelik kullanılmaktadır. Uygulamalarında hasar almamalarına dikkat edilmeli ve yıpranan çelikler daha öncede belirtildiği gibi kullanılmamalıdır.

Evirici seçimi, bilindiği gibi sistemlerde doğru akımı alternatif akıma çevirmede kullanılan araçlardır. Sistemlerde DC (Direct Current) ya da doğru akım olarak panelleri de üretilen elektrik enerjisinin, AC (Alternative Current) ya da alternatif akım olarak bilinen, evlerde kullanılabilen 220 voltluk elektrik enerjisine dönüştürmektedirler. Uzaktan izleme sistemleri ile sahalardaki bu üretim çeşitleri izlenebilmektedir. Evirici standartları hem izleme hem de sistemin korunması açısından çok önemlidir.

Evirici sistemlerinde özellikle saha kurulumlarında merkezi inverter ya da bölünmüş inverter modelleri kullanılmaktadır. Merkezi inverterde kurulumu yapılan saha seri bağlantıları tek bir inverterde toplanıp şebekeye verilmek üzere gönderilebilmektedir. Ama bu tarz durumlarda paneller arasında bağlantıyı sağlayan DC kablolar daha uzun tutulacağı için ve bu kablolar AC kablolarla göre daha hassas olduğu için ilerleyen zamanlarda sorun yaratabilmektedir. AC kablolar toprak altından nitekim daha korunaklı olarak ilerlemektedir. DC kablolarında maliyet düşük olabilir ama ufak çaplı sorunlar santralin ömrünü kısaltabilmektedir. Bu ufak çaplı sorunların neden ve nerede olduğunu bulmakta bakım onarım anlamında gecikmelere sebep olabilmektedir.

Dizi şeklindeki inverter kullanımlarında ise DC kablolar üretim için kısımlara ayrılır böylece hem izlemesi hem de herhangi bir sorunda müdahale edilmesi daha kolay olacaktır. Merkezi inverterin sorun çıkardığı zamanlarda sistem tüm olarak kapatılması gerekmektedir. Dizi sisteminde ise sadece sorunlu olan kısım kapatılıp, onarımı yapıp, devreye tekrardan sokulabilmektedir. Dizi sisteminde AC kablolar biraz daha uzun tutulmak zorunda kalınabilir. Bu durum kablolar için maliyet açısından daha fazla yatırım anlamına gelmektedir.

Kurulacak olan sahalarda kablo hatlarının çekilmesi ya da döşenmesi bir başka önemli konudur. Projelendirme kısmından sahada uygulama kısmına kadar her aşamada kablo kısmı gündemde olan önemli kısımlardandır. Üretilen enerjinin sağlıklı şekilde iletilmesi, kabloların düzgün şekilde bulunduğu kısımla bağlantısının kurulması ile sağlanmaktadır.

DC kablolar panellerin birbirleri ile olan bağlantısında kullanılmaktadır. Santrallerin kullanım sürelerinin 25 yıl olduğu göz önünde bulundurulursa, kabloların bu konuda dayanıklı bir şekilde üretime destek vermesi çok önemlidir. Sıcaklık ve yüksek ışıınımdan etkilenmemeleri için DC kablolar panel altlarından götürülmektedir. AC kabloları da DC kablolarla göre

çap olarak çok daha büyük olduğundan, yer altından iletimi sağlanmaktadır.

DC kablolar hassas kablolar olmakla birlikte kurulum sırasında özellikle mekanik ve elektrik işleri aynı anda ilerliyorsa, kabloların mekanik kısımda civataların altında kalarak ezilmemesine çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu durum hem ileride tehlikeli elektrik kaçaklarına hem de sistemin hata verip düzgün çalışmamasına sebep olacaktır. AC kabloları DC kablolarına göre çapı daha büyük, genel anlamda yer altına gömülen kablolardır. Proje kısmında bu kabloların metrajlarının doğru verilmesi büyük önem taşımaktadır. İletimdeki aksaklıklar, üretimsel azalmalar veya istenilen değerlerde üretime ulaşılamamasının sebepleri olarak yanlış metraj uygulaması gösterilebilmektedir.

AC ve DC kablolarda maliyetler yüksek olduğu için saha güvenlik tedbirlerinin alınması da ayrıca önemli bir başka detaydır.

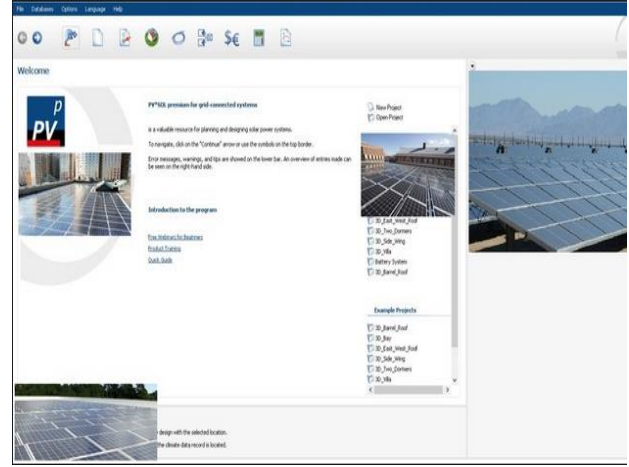
Saha uygulamalarında maliyet kalemlerinden sayılan diğer malzeme türleri; trafo merkezi, sayaçlar, yıldırımdan koruma sistemleri, güvenlik sistemleri, üretilen enerjinin takibi ve arıza göstergelerini içeren "Scada" yazılımları ve enerji nakil hattı sayılabilir. Bunların içerisinde enerji nakil hatları kurulumu açısından önem teşkil etmektedir. Kurulacak olan santral ürettiği elektriği uzak bir toplama merkezine aktarıyor ise bu iletimdeki enerji hattının geçeceği alanlar belediye ve gerekli izinlerin alınmasıyla doğru tespit edilmelidir. Olası saha ihlallerini önleyebilmek için titiz çalışılmalıdır. Hattın özel mülk, askeri alanlar ya da devlet arazilerinden geçmesi olası ise gerekli tüm izin ve talepler yapılması gerekmektedir.

2.1. Enerji analizi, yöntem ve maliyet analizi

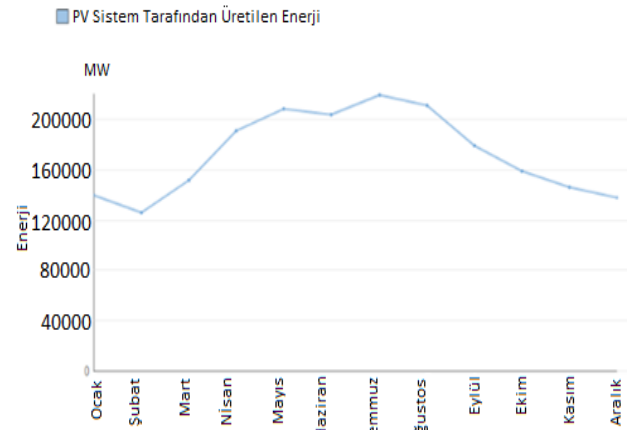
Güneş enerji santrallerinde yıllık olarak üretilen enerji miktarının doğru şekilde hesaplanması, bir enerji santralinde maliyet ve yatırım öncesinde ve sonrasında tahminlerin devam edebilmesi için yapılan çalışmalardır. Bunun için yararlanılan birçok program mevcuttur. Aydın sahasında kurulacak olan sahanın enerji hesaplamaları, maliyet akışlarına yansıtılacak olan rakamlar "PVSOL" programından faydalanarak yapılmıştır. Bu anlamda kullanacağımız program dünya çapında birçok kullanıcısı olan ve doğru tahmin verilerini sunabilen PVSOL programıdır. Programda detaylı projelendirme ve üç boyutlu analiz seçenekleri bulunduğu gibi, üç boyutlu analiz yapmadan direkt hesaplama kısımlarına da geçilebilmektedir. Bu program kendi içinde barındırdığı Meteororm programı dataları ile kurulumunu yapmak istenilen bölgede en yakın istasyon verileriyle birlikte hesaplamalar yapabilmeye bir program türüdür.

Veri tabanlarında 1986-2005 arasındaki sunuları barındıran sistem 8000 civarında iklim verisine

sahiptir. Aynı zamanda program sahalarda sıkça kullanılan panel modellerini, evirici modellerini ve elektriksel bağlantı kombinasyonlarını yapmada imkân sağlamaktadır. İçerisinde de 13000 panel modeli ve 3100 den fazla evirici modeli kayıtlı olan PVSOL programı kendini düzenli olarak güncellemektedir.



Şekil 3. PVSOL Arayüzü



Şekil 4. Yıl Boyunca Üretim Değerleri Tahmini Grafiği

Daha önce bahsedilen sıcaklık, üretim, radyasyon, güneşlenme süresi gibi kavramların hepsini bir araya getirdiğimizde karşımıza çıkması olası durum ve tesisin bulunduğu Çine lokasyonu için enerji üretim değerleri; yaz aylarında oldukça yükselmektedir ve 200.000 kWh'i aşmaktadır.

Güneş enerji santralının 25 yıllık üretim hayatı boyunca yıllar içinde azalarak devam eden bir verimlilik söz konusudur. Garanti kapsamında, fotovoltaik güneş panellerinin standart güç (verim) kaybının her yıl doğrusal olarak azalacağı ve 25 yılda toplam %20 düşüş olacağı öngörülmüştür. Santralin genel verim düşüşünün öngörülenden daha düşük çıkması olası bir sonuçtur.

Santralin kurulum projesinin başlamasında enerji hesaplamalarının ve yerleşim planlarının hazırlanmasına kadar olan süreçte yatırımcı yapacağı yatırımın ne kadar bir değerde olacağını anlayacak bilgiye sahip olmaktadır. Çine projesi için tüm bu

evrelerde yani projelendirme, fizibilite ve etki faktörlerinin belirlenmesi, malzeme seçimi, arazi bedelleri, kurumlara verilecek taahhütler, mühendislik işlemlerinin tümü, bakım onarım masrafları, sigorta işlemleri, dağıtım bedeli, istihdam kapasitesine göre harcanacak maddi durum dâhil olmak üzere yatırım 1.277.000 dolar olarak belirlenmiştir.

Bir santralin yatırımcı açısından en önemli kısmı, yapacağı yatırımın ekonomik analizi ve yatırdığı finansal ücretin kendisine geri dönüp kar etmeye başlayacağı zamanı bilmektir. Bu sebeple yapılan hesaplamalar geri ödeme planları bilgilendirme amaçlı ve yatırımın değerinin açıklanabilmesine yönelik yapılmalıdır.

Güneş enerji santralinin kurulumu için gerekli olan aşamaları, malzeme ve donanım değerlerin bilinmesi, analizi yapabilmek için gereken konulardır.

Analizlerin yapılmasında en önemli etken yatırımın gerekli olup olmadığını anlayabilmektir. Gelir getirmesi beklenen projelerde yatırımcı için ne kadar sürede ne kadar kazanacağını görmek çok önemlidir. Bununla birlikte sahadaki uygulamalar kısmında saha için nelerin gerekli olduğu ya da feragat edilebilecek hususlar yine bu veriler üzerinden karar verilebilir.

Geri ödeme süresi metodu ve iç karlılık yöntemleri ile yatırımın ne kadar uygulanabilir ve güvenilir olacağını görme fırsatı bulunacaktır. Geri ödeme süresi hesabı ile yapılan analiz, yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde herhangi bir oran kıyaslanmasına girilmez ve maliyetin tamamlanıp, kazanca geçileceği zaman aralığına bakılır.

Yatırımcı ve tedarikçi firmalar için ya da üstlenici firmalar için karşı tarafa yapacakları işlemleri anlatmada en önemli ve anlaşılır yöntemlerden olan geri ödeme süresi hesabı, yatırımcı ve yetkililere büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bu işlem sırasında karlılık oranları düşünülmez. Sadece yatırımın net kazançlarının, maliyet açısından değerleri karşılayabilmesi temel alınır. Eşitlikte kullanılan terimler;

$$GÖS = YT / (Nng - YG) \quad (1)$$

GÖS : Geri ödeme süresi(yıl)
 YT : Yatırım tutarını(\$)
 Nng : Net nakit girişi(\$/yıl)
 YG : Yıllık gider(\$/yıl) olarak alınmıştır.

Geri ödeme süresi ile analiz yapıldığında tesisin maliyeti üzerinden geri ödeme süresi 6 yıl 11 ay bulunmuştur.

Geri ödeme süresinin bulunmasının dışında hesabın doğruluğunu kanıtlamak için ve yatırımın doğru bir yatırım olduğunu anlayabilmek için iç karlılık oranına

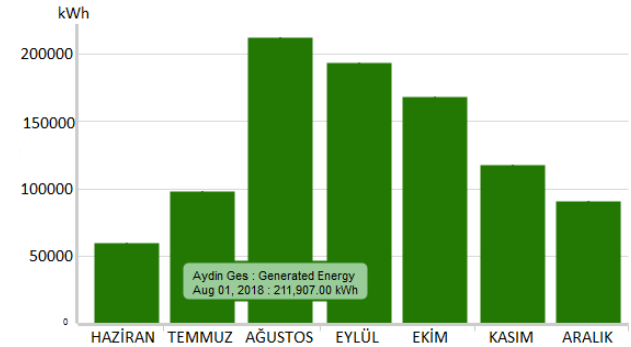
da bakmak uygun bir yöntemdir. Bu oran proje seçimlerindeki önemli bir orandır. Yatırımcıya çıkan sonuç doğrultusunda yüzdesel anlamda yatırımın uygun olup olmadığını gösterir. Bu analiz kâr üzerinden yapılmaktadır ve faiz oranları da işin içine girmektedir. Başka kaynaklarda bu oranı net şimdiki değer oranını sıfıra eşitleyen değer olarak da tanımlamaktadırlar.

$$\sum \left[\frac{C_n}{(1+r)^n} \right] = \sum \left[\frac{F_n}{(1+r)^n} \right] \quad (2)$$

Formüldeki "Cn" maliyet, "r" faiz oranını, "F" fayda, "n" ise süreyi belirtmektedir. Yapılan hesaplamada Aydın/Çine'de ki santral için iç karlılık oranı %18 çıkmıştır. Yatırımın doğru bir yatırıma işaret ettiğini pozitif çıkan iç karlılık oranı da desteklemektedir. İç karlılık oranını daha basit şekilde belirtmek gerekirse; bir yatırımda pozitif ve negatif değerlerinin, yapılan yatırım için doğru olup olmadığı gösteren bir değerdir. Böylece her iki metotla da santralimizin yatırımcısını ve yüklenici firmasını desteklediğini seçilen malzeme ve yapılan her türlü mühendislik hesap ve işleminin doğru olduğu anlaşılmış olmaktadır.

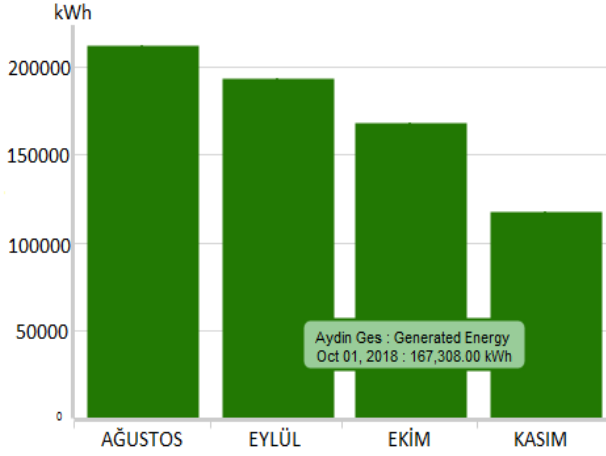
3. Bulgular

Çalışmanın bu aşamasına kadar olan kısımda teorik anlamda üretilecek olan enerji ve diğer değerlerin analizleri, maliyet durumları gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalarda, üretimin başladığı aylardan günümüze kadarki değerleri gözlemlenebilir.



Şekil 5. 2018 Ağustos ayı üretim değeri

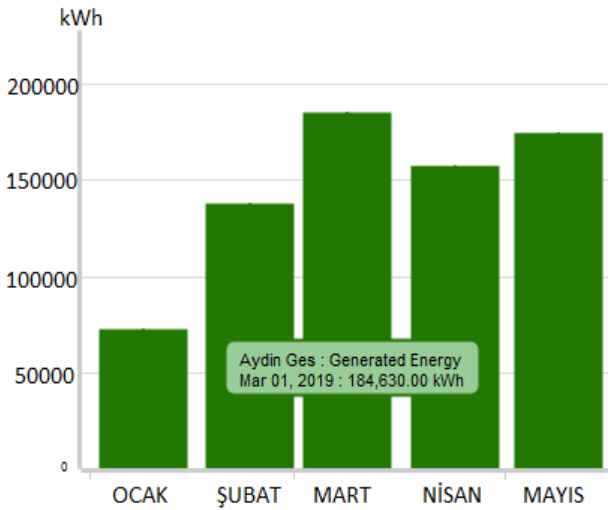
PVSOL ve teorik çalışmalar sonucunda bulunan değerler şekil 4'te de gösterildiği gibi 207.000 kWh civarında olduğu gözlenmektedir. Tesisin devreye alınmasından sonra geçirdiği ilk ağustos ayında ki üretim değeri 211.907 kWh olarak şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 6. 2018 Ekim ayı üretim değeri

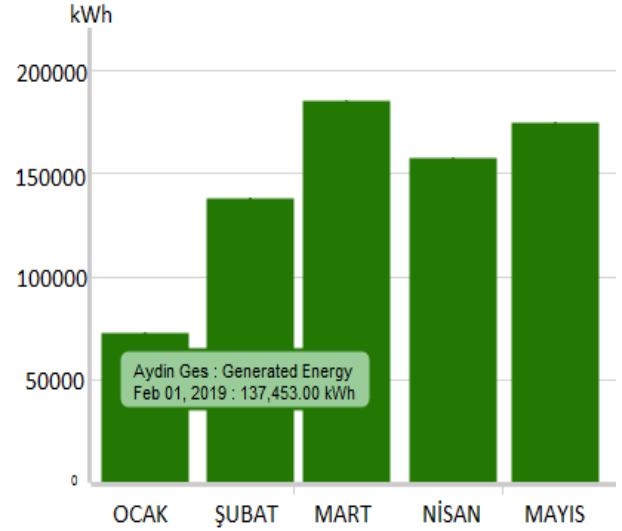
Aynı şekilde bulgulardan net şekilde görülen şekil 4'te ekim ayı hesaplanan değer 160.000 kWh değerinde iken tesis sisteminin yapılan kurulum ve doğru hesaplamalar, uygulamalar ve mühendislik ile 167.308 kWh'lik bir değere ulaştığı açık bir şekilde görülmektedir.

Tesisin yakın tarihli mart ayı içindeki üretim değeri hesaplanan değerde 160.000 kWh'in altında kalmasına karşılık tesisin gerçek değeri 184.000'in üzerinde gerçekleşmiştir.



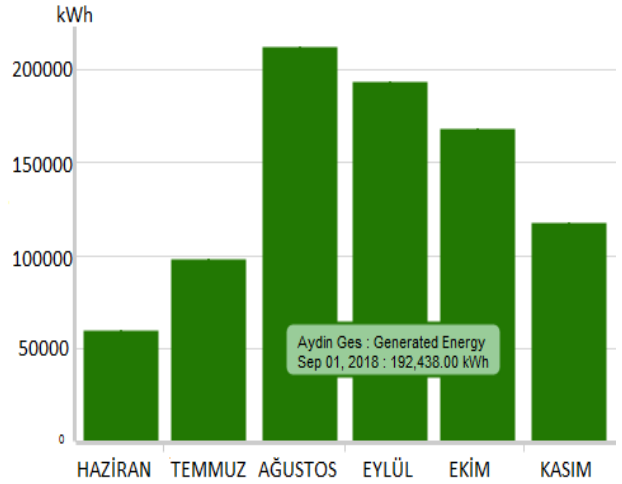
Şekil 7. 2019 Mart ayı üretim değeri

Santral üretiminin düştüğü yani güneş ışınlarının geliş açılarının azaldığı kış aylarında üretimin nispeten düşeceği bilinen bir durumdur. Tüm meteoroloji istasyonlarının verilerini karşılaştırarak PVSOL'un Aydın için yaptığı ortalama değerlerden şubat ayın için olan değer şekil 4'te de görüleceği gibi 120.000 kWh'e yakın bir değerdedir. Aydın, Çine'deki santralin şubat ayındaki gerçek üretim değeri ise 137.453 kWh olmuştur.



Şekil 8. 2019 Şubat ayı üretim değeri

Güneş enerji santralinin eylül ayındaki üretim hesaplamaları yine aynı şekilde 180.000 kWh civarlarında hesaplanmış olmasına karşılık tesisin tam verimle çalıştığı gerçek değeri 192.438 kWh olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 9. 2018 Eylül ayı üretim değeri

Tesis gerçek değerlerinde istenilen verimde ya da daha da verimli olarak sonuçlar elde etmek sadece bir kritere bağlı kalınmadan, çok yönlü olarak birbirinden farklı gibi görünen ama ortak paydada tek hedefi olan değerleri iyi analiz etmekten kaynaklanmaktadır. Bu kurulacak olan güneş enerji santrallerinin kurulması planlanan alandan, metrajlaması yapılan kabloya, uygulamadaki titizliğe kadar olan safhaların tümünün uyumu içerisinde gerçekleşmektedir.

Çalışma için yapılan analiz sonucunda üretilmesi beklenen enerji miktarı ilk yıl için; 2.071.982 kWh/yıl bulunmuştur. Hesaplanan değerler ile farklı aylarda gözlemlenen üretimsel gerçek değerlerin karşılaştırılması şekiller ile açıklanmıştır.

Tablo 1. Hesaplanan üretim bilgileri.

SANTRAL BİLGİLERİ	DEĞERLER
Sitemin Ürettiği	2.071.982 kWh
Yıllık verim	1.691 kWh/kWp
Performans oranı	82.2%
Önlenen CO ₂ emisyonu	1.242 kg/yıl

Tesisin yıl içerisindeki üretim değerleri program aracılığıyla analiz edilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Tesis henüz yılını tamamlamadığı ve tam anlamıyla yaz mevsimini yaşamadığı halde, 2018 Temmuz ayından mayıs ayına kadar 1.83 GWh (Gigawatt-saat) üretim gerçekleştirmiştir. İlk sene üretimi için program aracılığıyla yapılan hesaplamalarda ilk yıl üretimini 2.07 GWh olarak hesaplanmıştır. Yaz aylarında güneş ışınlarının geliş açısı ve güneşlenme süresindeki artış ile üretimin daha fazla olması beklenmektedir. Böylelikle hesaplanan 2.07 GWh'lik üretim değerinden daha fazla üretim yapılacağı tahmin edilmektedir.

Santral kurulumu Aydın ili, Çine ilçesi olan ve hem teorik olarak hem de gerçek verilerin analizi olarak santralin gerekli olan incelemeleri yapılmıştır. Bunun sonucunda, her ne kadar ülkede cari açığın çoğu enerji alanından olsa da, bu konudaki çalışmaların şimdiye kadarki çalışmalardan çok daha fazla olması gerekmektedir. Ülkemizin enerji potansiyeli incelendiğinde son dönemlerde yükselen değerlere sahip olursa da güneş enerjisi için kat edilmesinde gereken daha çok yol bulunmaktadır. Bölgenin ve dönemin yükselen değeri Türkiye'de enerji alanındaki yatırımlar hızlanmalı ve daha çok teşvik edilen enerji türleri ve alanları olması gerekmektedir. Güneş enerjisi için kapasiteler artırılması gerekmektedir. Bu konudaki yatırımcılar teşvik edilmesi gerekmektedir. İthal paneller dışında ülkemizde de üretimleri başlayan PV modellerinin kullanılması gerekmekte, kalite ve sürekli servis hizmetleri geliştirilmelidir. Bu kadar potansiyele sahip olan Türkiye güneş ışınlarını seyrek olarak gören diğer ülkelerin çok daha ilerisine hızla geçmelidir.

Yapılan incelemelerde ve araştırmada kullanılan programların sonuçlarında da görülebildiği gibi teorik olarak yapılan hesaplamalar, ülkemizde doğru yerde ve ekipmanlar kullanılarak yapılan santrallerde, üretim değerleri hesaplananlardan daha verimli durumdadır. Bu da yerli ve yabancı yatırımcılara ülkemizdeki döviz kurlarından çekilip, yatırım yapılmaması durumlarını bertaraf edebilecek noktalara getirebilir.

Genel olarak incelendiğinde, konu olan Aydın'daki santralin devreye alınmasından, bugüne kadar 1.83 GWh'lik bir üretim söz konusu olmuştur. Panel verimleri beklentilerin ve değerlerin üzerinde gerçekleşmektedir. Bunun sebebi olarak bölgenin

ışık faktörleri, panel – inverter uyumu, kablolarda kullanılan kaliteli malzemeler ve kayıpların az olması etkili olmuştur. Üretim değerlerinin 7000 MWh üzerine çıkması genel verimlilik oranının %82 den daha fazla olduğunu bizlere göstermektedir. Aynı zamanda yenilenebilir enerji için günümüz dünyasında ne kadar önemli olduğunu ve tüm dünyada teşvik ve yatırımcıların artarak yollarına devam etmeleri gerektiğini göstermektedir.

Kaynakça

- [1] Kocakuşak, R., 2018. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin, Türkiye'deki Önemi ve Ges Kurulum Araştırması. Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [2] Dağlı, E., 2018. Ekonomik Analiz Yöntemleri Kullanarak 1MW Güneş Enerjisi Santralinin Değerlendirilmesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 9-25s, Osmaniye.
- [3] Yaman, A., Yakın, A., Behçet, R., 2018. Van İli Güneş ve Hidroelektrik Enerjisi Potansiyelleri ve İl Ekonomisine Katkıları. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, Araştırma makalesi, 247s, Van.
- [4] Koçak, M.E., 2018. Büyükçekmece İlçesindeki Güneş Enerji Santralinin Tasarımı Ve Ekonomik Analizi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- [5] Haydaroğlu, C., 2017. Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır.
- [6] Boboker, H., 2017. Feasibility Analysis For A Solar Power Plant İn Libya, Atılım University The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, A Master's Thesis, İstanbul.
- [7] Freeman, J. et al., 2014. Validation of multiple tools for flat plate photovoltaic modeling against measured data. 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2014, pp.1932–1937.
- [8] Özdemir, G., 2013. Investment Analysis of Solar Energy Systems. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [9] Girgin, H.M., 2011. Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5MW'lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [10] Kahraman, D., 2010. Güneş Enerjisi Kaynaklı Elektrik Üretiminin Teknik-Ekonomik Analizi Ve

Yöresel Uygulaması, Yıldız Teknik Üniversitesi,
Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,
İstanbul.

- [11] Gezer, T., 2019 Bir Güneş Enerji Santralının Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 31s, Isparta.
- [12] Gezer, T., 2019 Bir Güneş Enerji Santralının Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 32s, Isparta.