

Araştırma Makalesi

Bahçelievler Belediye Başkanlık Binasının Enerji İhtiyacının Güneş ve Rüzgar Sistemi ile Karşılanması, Optimizasyonu ve Maliyet Analizi

*Aykut Fatih Güven ^{*a}*

^a Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova

Öz

Binaların kendi enerji ihtiyaçlarını imkânlar dahilinde kendileri üretmelidir fikrinden yola çıkarak hazırlanan bu çalışmada bir binaya uygulanan hibrit enerji üretim sistemi ile bina enerji ihtiyacı karşılanmaya çalışılmıştır. Bunun için güneş alanında Pvsyst programı kullanılarak benzetim yapılmıştır. Bu benzetim için Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden alınan saatlik veriler kullanılmıştır. Bunun sonucu olarak 66.3 kW kurulu güç elde edilmiş olur. Ancak rüzgar hızı verileri çeşitli rüzgar hızı işleme formülleri ile işlenmiş ve üretilecek elektriğin yatırım maliyetini sistemin ticari ömrü içerisinde karşılamadığı görülmüştür. İstanbul ili rüzgâr koşulları gereği çalışmamızın başında sistem hibrit olarak tasarlanmak istense de rüzgâr gücünden elde edilecek enerjinin ekonomik olmayışından dolayı vazgeçilerek sistem enerji ihtiyacını güneş enerjisinden karşılamaktadır. Güneş enerjisinde kısıtlanma noktamız çatı alanının yer sıkıntısıdır. Panel yerleştirilecek alan kısıtlı olmasından dolayı üretilecek enerji ihtiyacın tamamını karşılamamaktadır. Bu yüzden şebekeye bağlı sistem kurulumu gerçekleştirilmiştir. Yıllık enerjinin %16' sını karşılamakta ve maliyeti 5,9 yılda kendini amorti etmektedir. Ayrıca net bugünkü değer analizi yapılır ise geri ödeme süresi 9 yıl olarak bulunur. Böylece enerji kazanımı artar ve karbon salınımı azalır. Enerji ihtiyacı belli oranlarda karşılanmış olur.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr Enerjisi, Güneş Enerjisi, Enerji Optimizasyonu, Maliyet Analizi

Bahçelievler Municipal Presidential Building Energy Need to be Borne with Solar and Wind Systems, Optimization and Cost Analysis

Abstract

Buildings must produce their own energy needs, if it is possible, based on this idea with a hybrid power generation system applied to buildings, building energy needs were satisfied. For this; Pvsyst program using the solar field, simulation was performed. Received hourly data from Meteorology Regional Directorate hours and used for this system. As a consequence, 66.3 kW power is obtained. However, data on wind speed rained with various wind speeds processing formulas and it has been shown the investment cost of the electricity generated did not satisfy in commercial viability of the system. Even if want to design a hybrid system province, because of lack economic energy obtained from the wind power in Istanbul system, meets its energy needs from solar energy. The restriction point in Solar energy is lack of space on the roof. Due to the area thats placed panel is restricted produced energy does not meet all the needs. Therefore, the grid-connected system setup was

* Corresponding author
e-posta: afguven@hotmail.com

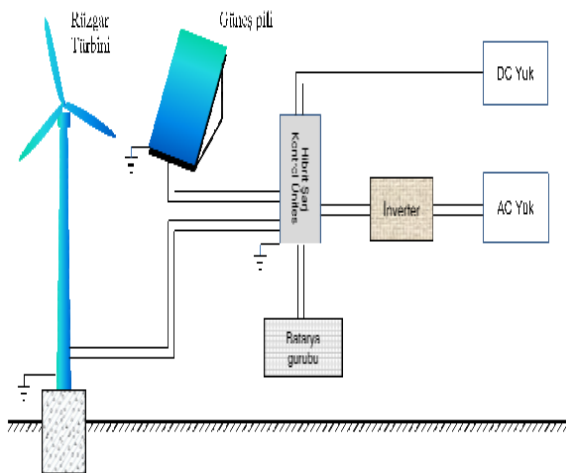
Received: 09.10.2016
Accepted: 22.12.2016

performed. 16 percent meet annual energy and energy's costs pays for itself in 5.9 years. In this way, Thus, energy recovery is increased and carbon emissions reduced. Energy needs are met in a certain proportion.

Keywords: Wind Energy, Solar Energy, Energy Optimization, Cost Analysis

Giriş

Hibrit iki veya daha şeyin bir arada kullanılmasıdır. Hibrit enerji ihtiyacı duyulan durumlarda kullanılan enerji kaynaklarının dezavantajlarını gidermek için birden fazla enerji kaynağının birlikte kullanılması anlamına gelir. Hibrit sistemler şebeke bağlantılı olabildiği gibi şebekeden ayrı şekilde enerji üretimi için kullanılabilirler. Bizim bu çalışmamızda şebeke bağlantılı bir rüzgâr-güneş hibrit enerji sistemi kurmak amaçlanmıştır. Güneşten akşam ve gece saatlerinde yararlanılamayışı ve rüzgârın 24 saat içerisinde değişiklik göstermesi hibrit çözümlere yönelmiştir. Sistemin şebekeye bağlı olması üretilebilecek fazla enerjinin şebekeye satılması, üretimin düşümü yaşandığı durumlarda şebekeden güç çekilmesi, batarya kullanılmadığı için maliyetlerde düşüş ve üretimin tüketimi karşılamadığı durumlar için şebekeden ve üretimden ortak beslenme gibi durumlarca avantajlı bir yöntemdir.



Şekil 1. Hibrit Güneş-Rüzgâr Enerji Üretim Sistem Blok Diyagramı

Rüzgâr Türbinin Çalışması ve Hesabı

Rüzgâr türbinlerinin güç üretimleri için kurulacakları yer çok önemlidir. Yanlış yer seçimi yapılmış bir rüzgâr türbini için güç üretimi oldukça düşük olur ve başarısız bir yatırım gerçekleşmiş olur. Türbin kurulacak yer Rüzgâr Potansiyel Analizi yapılarak belirlenir.

Çalışmamızda potansiyel analiz için İstanbul Meteoroloji Bölge Müdürlüğünden gerekli rüzgâr verileri alınmıştır. Bu değerler üzerinde düzeltmeler yapılmış ve alınan bilgilerdeki değerler 10m yükseklikteki rüzgâr hızını saatlik olarak içermektedir. Bu ölçümler direk dikilecek yükseklik olan 30m seviyelerine getirilmesi sağlanmıştır.

Bunun için

$$V(Z) = V(Z_R) \frac{\ln(60/Z_{OR}) \ln(Z/Z_O)}{\ln(60/Z_O) \ln(Z_R/Z_{OR})}$$

(2.1.)

Formülü kullanılır.

Burada Z_R , Z_{OR} ve $V(Z_R)$ referans yerin (ölçüm istasyonu) yüksekliği ve pürüzlülük yüksekliği ve ölçülen hız değerini Z , Z_O ve $V(Z)$ ise türbinin kurulacağı yerin yüksekliği, pürüzlülük yüksekliği ve hesaplanmak istenen hızıdır. Bu formül, referans yer ile türbinin kurulacağı yerdeki hız profilinin benzer olduğu kabulüne dayanır. Ölçülen ve 30m seviyesine getirilen rüzgâr hızlarının daha stabil rüzgâr ortalama hızı hesaplanması için

$$V_{rmc} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^3 \right)^{1/3} \quad (2.2.) \quad \text{formülü kullanılır.}$$

$$P = \frac{1}{2} * \rho * \eta * A * V^3 \quad (2.3.) \quad \text{formülü kullanılarak üretilebilecek güç hesaplanır.}$$

Burada ρ havanın yoğunluğudur, A kanatların taradığı alandır, V ortalama rüzgâr hızıdır, η Betz katsayısıdır. Betz katsayısı rüzgâr gücü hesabındaki bir teoriye dayanır, ve rüzgârdan elde edilebilecek gücün en fazla $\frac{1}{2} * \rho * A * V^3$ ifadesinin %59'u kadar olabileceğini söyler. Ortalama hız için küp kök alınarak daha kararlı ve doğru bir hız analizi

yapılmış olur. Rüzgâr hızının hangi hız aralıklarında yığılma yaptığını bulmak ve hangi hızda kaç saat estiğini bulmak için Yıllık Rüzgâr Hızı Frekans Dağılımı yapılarak tablo haline getirilir. Çalışmamızda Excel programı kullanılarak frekans dağılımı ortalama hız gibi değerler bulunmuştur.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
			V	saat	Σsaat	Frekans (fi)	F(V)	ln(V)	ln(-ln(1-F(V)))	k	c	Weibull f(V)	n
8746													
8747	0-1	0-1	0,5	521	521		0,057794	-0,7	-2,8	1,2877	7,7	0,073873	
8748	1-2	1-2	1,5	2103	2624		0,298238	0,4	-1,0			0,092424	
8749	2-3	2-3	2,5	1916	4540		0,517624	0,9	-0,3			0,095604	
8750	3-4	3-4	3,5	1485	6025		0,69	1,3	0,2			0,092734	
8751	4-5	4-5	4,5	1075	7100		0,810826	1,5	0,5			0,086809	
8752	5-6	5-6	5,5	783	7883		0,900549	1,7	0,8			0,079354	
8753	6-7	6-7	6,5	476	8359		0,955138	1,9	1,1			0,071271	
8754	7-8	7-8	7,5	236	8595		0,982261	2,0	1,4			0,063125	
8755	8-9	8-9	8,5	102	8697		0,994049	2,1	1,6			0,055268	
8756	9-10	9-10	9,5	32	8729		0,997826	2,3	1,8			0,047916	
8757	10-11	10-11	10,5	15	8744		0,998971	2,4	1,9			0,041187	
8758	11-12	11-12	11,5	6	8750		0,999086	2,4	1,9			0,035133	
8759	12-13	12-13	12,5	3	8753		0,999543	2,5	2,0			0,029764	
8760	13-14	13-14	13,5	2	8755		1	2,6	0,0			0,025058	
8761	14-15	14-15	14,5	0	8755		1	2,7	0,0			0,020974	
8762	15-16	15-16	15,5	0	8755		1	2,7	0,0			0,017462	
8763	16-17	16-17	16,5	0	8755		1	2,8	0,0			0,014466	
8764	17-18	17-18	17,5	0	8755		1	2,9	0,0			0,011928	
8765	18-19	18-19	18,5	0	8755		1	2,9	0,0			0,009792	
8766	19-20	19-20	19,5	0	8755		1	3,0	0,0			0,008005	
8767	20-21	20-21	20,5	0	8755		1	3,0	0,0			0,006518	
8768	21-22	21-22	21,5	0	8755		1	3,1	0,0			0,005287	
8769	22-23	22-23	22,5	0	8755		1	3,1	0,0			0,004273	
8770	23-24	23-24	23,5	0	8755		1	3,2	0,0			0,003441	
8771	24-25	24-25	24,5	0	8755		1	3,2	0,0			0,002762	
8772	25-26	25-26	25,5	0	8755		1	3,2	0,0			0,00221	
8773	26-27	26-27	26,5	0	8755		1	3,3	0,0			0,001763	
8774	27-28	27-28	27,5	0	8755		1	3,3	0,0			0,001402	
8775	28-29	28-29	28,5	0	8755		1	3,3	0,0			0,001112	

Şekil 2. Rüzgâr Hızı Frekans Tablosu

Rüzgâr Türbini Seçimi

Türbin seçerken düşük ilk çalışma hızına sahip türbin seçilmesi düşük hızlardaki bölgelerde esen rüzgârdan daha fazla bir yararlanmayı sağlamak için yapılır, düşük hızlarda elektrik üretimi gerçekleştirilerek üretim miktarı artırılması hedeflenmiştir. Kanat çapının büyük olması istenen bir durumdur. Kanat çapı arttıkça kanatın süpüreceği alan dolayısıyla kanatlara çarpan ve kanatları döndüren rüzgâr miktarı da artacaktır.

Gövde ağırlığının ve kule ağırlığının az olması türbini dikeceğimiz belediye binası çatısının fiziki koşulları düşünüldüğü zaman binaya uygun olması istenmiştir. Bunun için diğer parametrelerin yanında gövde ve kule ağırlığı da etkili bir parametredir. Türbin seçiminde fiziki kısıtlamaların dışında en etkili parametre maliyettir. Maliyeti düşük olan bir türbin üretim değerleri de göz önünde bulundurularak her zaman tercih sebebidir.

Yapılan çalışmalar neticesinde Erde Dış Ticaret firmasının ihraç ettiği **HF6.0-5KW** modeli ve ECO Enerji

firmasının ürettiği **ECO TECH5** isimli iki model arasında seçim yapılmak istenmiştir. Türbinler hızları enerji üretim aralığı fazla olması açısından 3m/s başlangıç hızına sahip modeller seçilmiştir. Aşağıda verilen tablolarda rüzgâr hızları ve bu hızlara ait rüzgâr enerjisi güçleri gösterilmektedir.

HF6.0-5KW modeline ait katalog bilgileri aşağıda verilmiştir.

Model: **HF6.0-5KW**

Model Anma Güç: 5 KW

Rotor Çapı: 6 m

Optimum Çalışma Hızı: 10 m/s

Direk Yüksekliği: 9 m

Devreden Çıkma Hızı: 50 m/s

Devreye Girme Hızı: 3 m/s

HF6.0-5KW modeline ait güç değeri bilgileri aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. HF6.0-5KW Modeli Hesap Tablosu

Ortalama Rüzgâr Hızı(m/s)	Rüzgâr Hızı Formülü	Üretilecek Güç (Watt)
3,5	$\frac{1}{2} * \rho * \eta * A * V^3$	213,8
4,5	$\frac{1}{2} * \rho * \eta * A * V^3$	454,49
5,5	$\frac{1}{2} * \rho * \eta * A * V^3$	829,8
6,5	$\frac{1}{2} * \rho * \eta * A * V^3$	1369,71
7,5	$\frac{1}{2} * \rho * \eta * A * V^3$	2104,14
8,5	$\frac{1}{2} * \rho * \eta * A * V^3$	3063

ECO TECH5 modeline ait katalog bilgileri aşağıda çizelgede verilmiştir.

Model: **ECO TECH5**

Model Anma Güç: 5 KW

Rotor Çapı: 6 m

Optimum Çalışma Hızı: 12 m/s

Direk Yüksekliği: 12 m

Devreden Çıkma Hızı: 25 m/s

Devreye Girme Hızı: 3 m/s

ECO TECH5 modeline ait güç değeri bilgileri aşağıda verilmiştir.

Hesaplamalar yapılmış ve aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir. Bu hesaplar bölgede esen ve türbinin çalışma aralığındaki rüzgâr hızlarına göre hesaplanmıştır. Tablolarda her bir türbin çeşidi için ayrı ayrı hesaplanmış ve kullanılan formüller tablo içinde belirtilmiştir

Tablo 2. ECO TECH5 Modeli Hesap Tablosu

Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Rüzgâr Hızı Formülü	Üretilecek Güç (Watt)
3,5	$\frac{1}{2} * \rho * \eta * A * V^3$	109,52
4,5	$\frac{1}{2} * \rho * \eta * A * V^3$	232,77
5,5	$\frac{1}{2} * \rho * \eta * A * V^3$	424,9
6,5	$\frac{1}{2} * \rho * \eta * A * V^3$	701,5
7,5	$\frac{1}{2} * \rho * \eta * A * V^3$	1077
8,5	$\frac{1}{2} * \rho * \eta * A * V^3$	1568,72

Belirli bir rüzgâr hızı için yıllık toplam rüzgâr enerjisi

$P = \text{Yıl içinde o hızda rüzgârın esma süresi(saat)} * \text{Belirlenen değere ait üretilen güç} (2.4)$

Tablo 3. HF6.0-5KW Modeline Göre Üretilen Yıllık Elektrik

Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Yıllık Üretilen Toplam Güç (kWh)
3,5	317,49
4,5	488,57
5,5	649,73
6,5	651,98
7,5	496,57
8,5	312,42

HF6.0-5KW modeli 2,916 MWh kadardır.

ECO TECH5 modeli 1,49 MWh kadardır.

Tablo 4. ECO TECH5 Modeline Göre Üretilen Yıllık Elektrik

Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)	Yıllık Üretilen Toplam Güç (kWh)
3,5	162,63
4,5	250,22
5,5	332,69
6,5	333,91
7,5	254,1
8,5	160

Üretilen yıllık enerji iç ihtiyacı karşılamakta kullanılabileceği gibi şebekeye satılarak da değerlendirilebilir. Şebekenin kullandığı elektriğin birim fiyatı 0,37 liradır. Eğer elektrik şebekeye satılmak istenir ise 5346 nolu yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanunu uyarınca 7,3 dolar / kWh bedelle şebekeye

satılır. Satış bedeli bugün ki dolar kuru ile 2.79 liradır. Bina ihtiyacı karşılanırken geri mesai saati dışındaki zaman içerisinde üretilen elektrik enerjisi toprağa verilmek yerine şebekeye satılmalıdır. Böylece birim fiyatı şebeke satışından fazla olan elektrik maliyeti karşılanır ayrıca ihtiyaç dışı zamanda üretilen enerji değerlendirilmiş olur.

Sistemin toplam fiyat-performansı açısından HF6.0-5KW modeli türbinin seçilmesine karar verilmiştir. Ancak HF6.0-5KW modeli türbinin toplam maliyeti KDV dahil 35769 TL 'dir. Bu paranın üretilen güç ve bu gücün sistemi karşıladığı, sistemi ve şebekeyi ortak olarak karşıladığı durumlarda dahi geri dönüş süresi 40 yılın üzerindedir.

Elde edilen sonuçta 40 yılı aşkın ödeme süresine sahip olan türbinlerin ticari çalışma ömürleri 25 yıl olarak bilinmektedir. Bu sonuç gösteriyor ki rüzgâr yatırımı karlı bir yatırım değildir ve yapılmaması ekonomik olarak daha doğrudur.

Güneş Enerjisi Panel Hesabı ve Çalışması

Çalışmamızda hibrit sistemin güneş enerjisi bileşenini tasarlamak için öncelikle meteorolojiden gerekli bilgiler istenildi. Meteorolojiden alınan güneşlenme süresi ve güneşlenme şiddeti verileri tarafımıza paylaşıldı. Güneş enerjisi sistemi kurulumu için hedef noktaya ait güneş koşulları dışında panellerin kurulacağı nokta ve bu noktanın büyüklüğü de bizim için önem arz etmektedir. Özellikle bina üstü uygulamalarda bina çatı alanı üretilen güç için önemli bir kısıtlamadır. Bu kısıtların ve sınırların öğrenilmesi ve tasarım için gerekli tüm bilgilerin öğrenilmesi için belediye mimarları ile görüşülerek binaya ait çatı

planları talep edildi. Elde edilen planlar ışığında çalışma alanı olan bina çatısına ait ölçekli bilgiler elde edilmiş oldu.

Bu bilgiler doğrultusunda çatıya yerleştirilebilecek olan panel adedi belirlenmek istendi. Bunun için öncelikle çalışmada kullanılacak panelin seçilmesi gereklidir. Panel seçimi için panelin boyutları, fiyatı, tedarik kolaylığı, verimi ve çıkış gücü göz önünde bulundurulmuş parametreler arasındadır. Bu çalışmada araştırılan ve seçilen paneller boyutları ve çıkış güçleri başta olmak üzere diğer parametrelerde göz önüne alınarak seçim yapılmıştır. Boyutlandırma ve çıkış gücü çalışmada konu edilen binamız gibi kısıtlı alana sahip yerler için önemli bir etmendir, çünkü kısıtlı alana yerleşebilecek panel sayısı kısıtlı bir rakamda kalmaktadır. Bu sayı az alan kaplayan panellerin yüksek çıkış gücü veren modellerini seçerek daha optimum çözümler elde edilebilir hale getirilir. Bizde bu yapılan çalışmada değerlendirilen modeller arasında yüksek verimli olmalarından dolayı mono kristal yapıda olan ticari paneller tercih edilmiştir. Bunlarla beraber ülkemizde bulunmasının kolay olması seçim için göz önüne alınan diğer bir parametre olmuştur.

Karşılaştırmalar sonucu piyasada bulunana paneller arasında Axitec marka 255 watt çıkış gücüne sahip 60 hücreli mono kristal paneller kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmada paneller seçildikten sonra güneş enerjisi sistemini modellemek için PVsyst programı kullanılmıştır.

PVsyst Programı

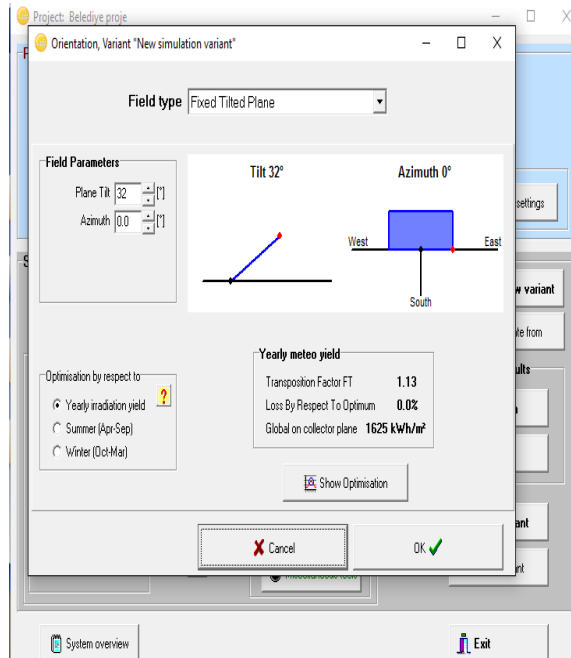
Program güneş enerjisi sistem uygulamaları için modelleme, teknik, ekonomik veriler ile tasarım yapabilmek için kullanılan bir programdır. Bu kısımda programın nasıl kullanıldığı anlatılacaktır. Programı kullanırken öncelikle giriş ekranından Project design sekmesi seçilir ve ihtiyaca göre şebekeye bağlı veya

şebekeden bağımsız durumlar için tercih yapılır. Bu çalışmada şebeke gücüne ihtiyaç duyduğumuz için şebeke bağlantılı tasarım seçilmiş olup bunun için Grid-Connected kısmı seçilir. Gelen ekran üzerinden yeni bir çalışma dosyası açılır, bu dosya üzerinde ilk seçilecek olan Site ve Meteo seçeneğidir. Böylece istenilen yere ait koordinatlar programa girilerek belirlenen bölgeye ait meteorolojik veriler alınır, program bundan sonraki işlemlerde kullanılacak panel ve inverter gibi elemanların performansını iklim ve konum odaklı olarak hesaplayabilmektedir. Koordinatlar ile iklim güneşlenme süresi ve güneşlenme şiddeti gibi değerler program tarafından işleme konular, böylece sonuçlar daha yüksek bir doğrulukta çıkmaktadır. Koordinat girilirken programdaki interactive map kısmından veya koordinatları uydu yardımı ile girmek mümkündür. Bu çalışmada interactive map özelliğini kullanılarak koordinatlar belirlenmiştir.

Şekil 3. PVsyst Koordinat Ekranı

Sıradaki aşamada Input Parameters bölümü altındaki Orientation sekmesi seçilir ve içinden panelin bina üzerine ya

da araziye hangi açı ile yerleştirileceği seçilir. Ayrıca burada azimut açısını belirlemek için de imkân sunulmuştur. Çalışmada belediye binası koordinatları gereği panellerin yerleştirilme açısı olarak 32° seçilmiştir. Böylece güneşten en iyi şekilde yararlanılmış olur. Azimut açısı güneyden sapma açısıdır. Bu program yardımı ile azimut açımızın 0° seçildiği zaman kayıpların en az olacağını gördük. Böylece güneş ışınlarının gelişinden 0° de en az sapma olacağı anlaşıldı. Çalışmada azimut açısı 0° olarak seçilmiştir.



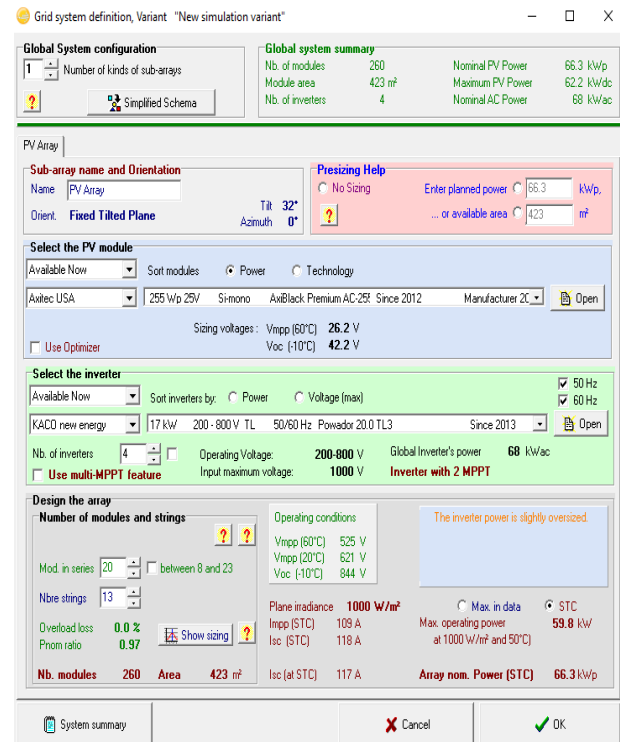
Şekil 4. Pvsyst Programı Orientation Ekranı

Sıradaki basamakta ise Input Parameters bölümü altındaki System sekmesi açılır. Bu sekme içinde opsiyonlu olarak sistemin kurulacağı arazi m^2 sine göre, sistem ihtiyacı olan çıkış gücüne göre kısıtlamalar eşliğinde tasarım gerçekleştirilebileceği gibi panel ve invertör adetleri birbiri ile uyumlu olmak koşuluyla isteğe bağlı olarak belirlenebilir.

Çalışmamızda Axitec marka panellerden 255 watt güç veren modellerinden kullandık. Kullanılacak alan

sınırlı olduğu için yerleştirilecek panel adedi sınırlı olmaktadır bu nedenle panel sayısı belirlenmiş ve bu sayı programa uygulanmıştır. Elde edilen çıkış gücünü karşılamak ve üretilen DC akımı AC şebeke akımına çevirmek için kullanılacak invertör diğer parametreler olan panel adedi ve panel çeşidi belirlendikten sonra sisteme girilir.

Invertör seçim kriteri öncelikle üretilen gücü karşılayabilen invertör seçilmelidir. Invertör seçiminde üretilen güç ve invertör kapasitesi arasında oran 0.83-1.25 arasında değişmesi kabul edilebilir bir değerdir. Bu çalışma için, paneller tarafından üretilen 66 kW güç için KACO new energy firmasının 17 kW kapasiteli 4 adet invertörü seçilmiştir.

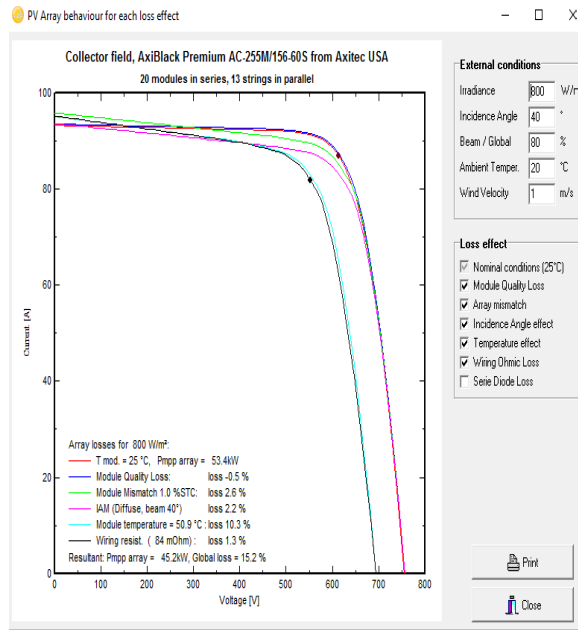


Şekil 5. Pvsyst Programı System Ekranı

Invertör, panel ve panel adedi uygun bir şekilde belirlendikten sonra program belirlenen şartlar ile onaylanır. Ardından simülasyon ve sonuçlar

kısından sistem simülasyonu yapılır ve sonuçlar elde edilmiş olur. Bu sonuç ekranında economic evaluation kısmına girilerek daha önce değerleri girilen ekipmanların bu ekranda fiyatları girilir, bunların yanında uygulanacak vergi, parçaların taşınması için gerekli masraflar, kablolama masrafları ve kurulum masrafları girilerek sistemin toplam maliyeti çıkarılmaya çalışılır. Bu aşama bittikten sonra elde edilen sonuç çıktısı bize oldukça detaylı bir analiz verir. Bu analiz içinde bölgenin iklim yapısı, panellerin olası verim ve güç kayıpları ayrıca kWh başına enerjinin maliyeti, toplam maliyet, üretilecek toplam güç ve performans grafikleri gibi birçok sonuç sunmaktadır.

Program ayrıca olası verim kayıplarına ait grafikler de sunmaktadır. Bu grafikler programa kayıtlı olan invertör ve panellere ait yüksek sıcaklıkta çalışma kablolama ve uyumsuzluk gibi verim düşme sebeplerine ait grafiklerdir. Bu grafikler normal olmayan şartlara ait tahminde bulunmamızı sağlamaktadır.



Şekil 6. PVsyst Programı Kayıp Grafiği

Şebekeye Bağlı Güneş Enerjisi Sistemi Tasarımı

Elektriğin üretim sonrası şebekeye satılıp, ihtiyaç halinde yükün şebekeden beslendiği sistemlere şebeke bağlantılı PV sistem denir. Bu sistemler yapıları gereği içlerinde batarya bulundurmazlar. Sistem içinde kullanılacak bir çift yönlü sayaç ile üretilebilecek fazla enerji şebekeye satılabilir. Bu bölümde bina tanımı, enerji ihtiyacı, panel sayısı belirleme, invertör seçimi, finansal kabuller, panel teknik parametrelerini içermektedir.

Finansal Kabuller

Günümüz şartlarında ülkemiz yenilenebilir enerji alanında yatırımcıları belirli oranlarda desteklemekte ve güneş enerjisi kaynaklı üretilecek elektrik için kWh başına 10 yıl boyunca 0.133 TL olarak fiyatlandırılmıştır.

Tablo 5. Döviz Kurlarını Gösteren Tablo

Türk lirası	Euro	Dolar
1 TL	3.33 TL	2.92 TL

Bina Enerji Gereksinimi

Bina enerji gereksinimi bilgisi için belediye yetkililerinden gerekli bilgiler istenmiş ve bizimle 2015 yılına ait elektrik faturası paylaşılmıştır. Bina ısınmayı elektrik ile sağlamaktadır. Fatura ısınma ve elektrik ihtiyaçlarını içermektedir. Bu ihtiyaçlar aşağıdaki tabloda aylara göre verilmiş ve ortalama tüketim aynı tablo içerisinde gösterilmiştir.

Tablo 6. Binanın Aylık Elektrik Tüketimi

Aylar	2015 (kW)	Ortalama (kW)
OCAK	61245.8	76080.4
ŞUBAT	45619.2	76080.4
MART	95329.4	76080.4
NİSAN	203093.8	76080.4
MAYIS	81477.2	76080.4
HAZİRAN	54584.4	76080.4
TEMMUZ	54281.8	76080.4
AĞUSTOS	66651.4	76080.4
EYLÜL	74372.2	76080.4
EKİM	59989.4	76080.4
KASIM	52683.1	76080.4
ARALIK	63642.2	76080.4

Panel Sayısı Hesabı ve Binanın Tanımlanması

Çatımız toplam 968 m² alana sahiptir. Çatı çıkma kat denilen bir mimariye sahip olup, üzerinde bir yemekhane ve teras bulunmaktadır. Bu alanın 450 m²'lik kısmı teras, 518 m²'lik kısmı yemekhane bölümünden oluşmaktadır. Panel boyutlarımız 1640 mm uzunluğa, 992 mm genişliğe sahiptir. Sahip olduğumuz alan boş bir arazi olmadığı için panel sayısı hesabı dikkatli bir şekilde yapılmıştır. Bu hesap yapılırken yemekhane girişleri, merdivenler, panel bakımı için personele ayrılan çalışma alanı ve panel kurulumu için gerekli mesafeler göz önüne alınarak yapılmıştır. Bütün bunlarla birlikte sistemin yukarıda belirtilen boyutlardaki panel sayısı 260 olarak belirlenmiştir.

Panele Ait Teknik Veriler

Modül: AxiPremium AC-255M/156-60S
 Modül maksimum gücü: 255 Wp
 Modül boyutu: 1.640 m × 0.992 m
 Açık devre gerilimi: 38.1 V
 Maksimum güç noktası gerilimi: 30.2 V
 Kısa devre akımı: 8.97 A
 Modül verimi (STC) : %17.93
 Gerilim düşümüne ait sıcaklık katsayısı : -0.118 V/°C

İnvertör Seçimi

Güneş paneli sistemlerinde panellerden elde edilen güç ile invertör gücü birbirine uyumlu olmalıdır. Kurulum noktası, model yerleşimi kullanılan ekipmanların teknolojilerine bağlı olarak panel sisteminden elde edilen güç ile invertör gücü arasında +/-%20 bir fark olabilmektedir. İnvertör gücü ve panel çıkış gücü arasındaki oranın 1:1 olması istenir. Ancak invertörler üretimi belirli güç seviyelerinde yapıldığı için, panel çıkış gücü ile invertör gücü denk olmayabilir.

Bu yüzden sistemler tasarlanırken $0.83 < C_{inv} < 1.22$ aralığındaki değerlerde kabul edilmelidir. C_{inv} toplam panel çıkış gücünün invertörün nominal gücüne oranına invertör boyutlandırma faktörü denir. Seçilen invertörlerin toplam gücü üretilen çıkış gücünden fazladır. Buda bize çıkışta daha sağlıklı bir AC ve daha yüksek verim sağlar.

$$C_{inv} = \frac{P_{PV}}{P_{inv}} \quad (2.5)$$

$$P_{PV=260*255} \quad W = 66.3 \quad kW \quad (2.6)$$

$$P_{inv} = 17 \quad kW \quad *4 = 68 \quad kW \quad (2.7)$$

Tablo 7. Kaco Marka İnvörtörün Teknik Bilgileri

Nominal AC güç P _{inv}	17 kW
Maksimum giriş gerilimi V _{inv,max}	800 V
MPP gerilim aralığı	200-800 V
Minimum MPP gerilimi V _{mpp(inv,min)}	200 V
Maksimum MPP gerilimi V _{mpp(inv,max)}	800 V
Maksimum verim	% 97.9

Maliyet Hesabı

Çalışmamızda üretilen enerjiden en optimum şekilde yararlanmak için üretilecek elektriğin doğru değerlendirilmesi gerekmektedir. Üretim sonrası şebeke standartlarında çıkış alınan elektrik şebekeye satılabileceği gibi bina ihtiyacını karşılamak içinde kullanılabilir. Bu noktada optimum çözümü bulmak için hibrit sistem öncesi elektriğin birim maliyeti hesaplanmalıdır. Bu hesabın yanında şebekeye satılacak elektriğe alıcılar tarafından ödenebilecek fiyatın belirlenmesi gerekmektedir.

Bizim çalışmamızı yaptığımız sıralarda dolar kuru göz önüne alındığında dolar kuru 2.92 TL civarındadır. Bu fiyat alım garantisi verilen 0.133 dolar ile çarpıldığı zaman, şebekeye elektrik sattığımız takdirde elde edilebilecek olan maddi gelir hesaplanmış olur. Bu gelir hesaplanır iken PVsyst programı sonucunda elde edilen toplam üretilen elektrik miktarı kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilecek gelir ise;

$$\text{Toplam kazanç} = \text{Yıllık Toplam Üretim} * \text{Satış Bedeli} \quad (2.8)$$

$$= 90338 \text{ kWh} * (0.133 \text{ TL/kWh} * 2.92 \text{ TL})$$

$$= 35083.66 \text{ TL kazanç}$$

elde edilmiş olur.

Ayrıca elektriğin birim fiyatı 0.388 TL olduğu görülmektedir. Bu hesaplar güncel dolar kuru üzerinden yapılmaktadır ve dolardaki değişimlere göre farklılık ve değişim gösterebilirler.

Üretilen elektriğin değerlendirildiği diğer yöntem ise şebekenin iç ihtiyacını üretilen elektrikten karşılamaktır. Bu yöntemde elektriğe ödenen miktar ve elektrik kullanım miktarı ile belirlenen kW başına elektrik maliyeti kullanılmalıdır.

Tablo 8. Bina Yıllık Elektrik Tüketiminin kW ve TL Karşılığı

Kullanılan Elektrik (kW)	Kullanılan Elektriğin Bedeli (TL)
912969.9	341734

Bu değerler ışığında elektriğe ödenen birim fiyat 0.374 TL olmaktadır. Böylece şebekenin iç ihtiyaçta kullanılması ile elde edilecek kazanım ise;

$$\text{Toplam kazanç} = \text{Yıllık Toplam Üretim} * \text{Satış Bedeli} \quad (2.9)$$

$$= 90338 \text{ kWh} * (0.374 \text{ TL/kWh})$$

$$= 33786.41 \text{ TL kazanç}$$

elde edilmiş olur.

Bu iki durum için elde edilecek olan gelirler karşılaştırıldığında üretilen elektriğin şebekeye satılmasının daha karlı olacağı görülmektedir. Bu karlılık dolar seviyesindeki dalgalanma ile değişime açıktır. Bu durumda şebekeye satıştaki karlılığı değişken kılmaktadır. Güncel fiyatlandırmalar ele alındığında yapılacak olan yatırımın geri ödeme süresi belirlenmelidir. Bu süre belirlenirken yapılan toplam yatırım miktarı üzerinden

yapılacak olan hesaplamalar kullanılır. Bu hesaplamalarda yıllık kazancın toplam yarısına oranı bize geri dönüş süresini yıl bazında verecektir.

Harcama Kalemleri

Tablo 9. Sistem Maliyet Kalemleri

Paneller	131040 TL
İnvertörler	43800 TL
Taşıma ve Kurulum	9000 TL
Mühendislik	6000 TL
Kablolama	1500 TL
Konstrüksiyon Sistemleri	18200 TL

Toplam sistem maliyeti 209540 lira olarak hesaplanmıştır. Elektriğin şebekeye

Tablo 10. Geri Ödeme Süresi Tablosu

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Yıllar	Nakit Akımları	Bugünkü Dğer Faktörü	Nakit Akımların Bugünkü Değerleri	Kümülatif Toplam								
2	0	-209540	1,00000	-209540	-209540								
3	1	33328,88	0,93508	31165,16911	-178374,8309								
4	2	33328,88	0,87476	29154,77107	-149220,0598								
5	3	33328,88	0,81880	27289,68694	-121930,3729								
6	4	33328,88	0,76682	25557,25176	-96373,12112								
7	5	33328,88	0,71846	23945,46712	-72427,65399								
8	6	33328,88	0,67352	22447,66726	-49979,98673								
9	7	33328,88	0,63170	21053,8535	-28926,13324								
10	8	33328,88	0,5927	19754,02718	-9172,106061			TL olarak gelir		MWh üretim		Birim alış fiyatı	
11	9	33328,88	0,5564	18544,18883	9372,082771			33328,88		87800		0,3796	
12	10	33328,88	0,5225	17414,3398	26786,42257								
13	11	33328,88	0,491	16364,48008	43150,90265								
14	12	33328,88	0,4615	15381,27812	58532,18077								
15	13	33328,88	0,434	14464,73392	72996,91469								
16	14	33328,88	0,4083	13608,1817	86605,0964								
17	15	33328,88											
18	16	33328,88											
19	17	33328,88											
20	18	33328,88											
21	19	33328,88											

Şekilde de görüldüğü üzere yıllık %7 faizi ile birlikte hesaplanan hali ile geri ödeme süresi sonrası 9. Yılda sistem belediye enerji tüketiminde kara geçmeye başlamıştır. Tüketime olumlu katkı sağlaması için geri ödeme süresini tamamlayıp kendi maliyetini karşılması gerekir. Bunun ardından gelecek elektrik faturasında iyileştirmeler sağlanmış olacaktır.

bağlı olduğu durum için geri ödeme süresi toplam maliyetin yıllık kazanç oranıdır.

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{Toplam Maliyet}}{\text{Yıllık Kazanç}} \quad (4.9)$$

$$209540/35083.66 = 5.9 \text{ yıl}$$

Hesaplamalara göre sistem kendini yaklaşık 6 yıl gibi bir süre içerisinde amorti etmektedir.

Ayrıca net bugünkü değer analizi yapılarak geri ödeme süresine ait daha doğru bir sonuç elde edilmiş olur. Bu değer hesaplanırken anapara ve bu paranın faizinin elde edilen gelir ile geri ödeme süresi hesaplanır. Bu değeri hesaplamak için mühendislik ekonomisi hesaplamaları kullanılır.

Sonuçlar

Çalışmamızda Bahçelievler Belediye Başkanlık Binasının enerji ihtiyacının hibrit enerji sistemleri ile karşılanması hedeflenmiştir. Çalışmada bina enerji ihtiyacının tamamının karşılanması amaçlanmıştır. Ayrıca hibrit sistemin uygulanabilirliği ve maliyet analizi yapılmıştır. Hesaplamaların yapılması için gerekli olan binanın enerji tüketimi ve

bölgeye ait meteoroloji bilgileri el edilmiştir.. Hesaplamalar el ile yapılmış ve modelleme için PVsyst programı kullanılmıştır. Çalışma başlangıcında hibrit sistem kurulumu hedeflenmiştir. Ancak yapılan hesaplamalar sonucu rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminin ekonomik olmadığı görülmüştür. Bunun için çalışmada rüzgâr enerjisi kullanılmaktan vazgeçilmiştir. Rüzgâr enerjisi kurulum maliyeti üretilecek enerji tarafından karşılanamamıştır.

Rüzgâr enerjisinden vazgeçildikten sonra güneş enerjisi hesabına geçilmiş ve bu hesaplamalar için meteorolojiden gerekli veriler elde edilmiştir. PVsyst programında modelleme yapılmış ve PV sistem için 30° açı ile yerleştirilmiş 255 W güç veren 260 adet panel kullanılmıştır. Ayrıca PV sistem için 17 kW gücünde 4 adet invertör kullanılmıştır. Invertör sayısı panel çıkış gücü ile benzerlik göstermelidir. Ayrıca kullandığımız invertör ile panel çıkış gücü uyum göstermektedir. Ürettiğimiz toplam güçte kayıp yaşamamak için invertör gücü çıkış gücünden fazla seçilmeli ve böylece ürettiğimiz gücün daha verimli bir şekilde kullanımını gerçekleştirmiştir. Invertörleri 4 adet seçme sebebimiz invertör sayısı artınca invertör arızalarında sistemin daha güvenli hale gelmesidir. Ayrıca bakım ve kontrol gibi durumlarda invertör sayısının artması kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Çalışma başlangıcında sistem tüketim ihtiyacının tamamını karşılanması hedeflenmiş ise de panel kurulabilecek alanın yetersizliği gibi fiziki kısıtlamalar neticesinde sistemin ihtiyacının tamamı karşılanamamıştır. İhtiyacın anma gücü olarak %63.7'lik bir kısmı karşılanmıştır. Yıllık tüketimde ise %16.6'lık bir kısmı karşılanabilmiştir. Bu değerlere ek olarak sistemin kendini geri ödeme süresi 5.9 yıl gibi bir süredir. Ayrıca net bugünkü değer analizi yapılmış faizi ile birlikte anaparanın da geri ödeme süresi hesaplandığında bu sürenin yaklaşık 9 yıl olduğu görülmüştür. PV sistem ömrü

katalog değeri olarak 25 yıl gösterilmiştir. Geri ödeme süresinin tamamlanmasının ardından sistem belediyenin elektrik faturasında iyileştirme sağlamaktadır. Bu süre bina ihtiyacı dışında, işlevi ticari kazanç sağlamak olan güneş santralleri için öngörülen geri ödeme süreleri ile paralellik göstermektedir. Buda yaptığımız sistemin standartlarda başarılı bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

Bu çalışmaya ek olarak dolar kurundaki hareketlenme takip edilerek, dolar kurundaki düşüş ile birlikte şebekeye elektrik satışı, elektriğin iç ihtiyacı karşılaması kadar karlı olmayabilir. Bu yüzden dolar kuru 2.74 TL seviyelerinin altına düştüğü durumlarda şebekeye güç satışı yerine iç ihtiyacın karşılanması mali açıdan daha doğru bir karardır. Böylece elde edilecek ticari kazanç daha yüksekte tutulur ve optimum kazanç sağlanır.

Binaya elektrik sağlayan tedarikçi firma değiştiği ve elektrik fiyatındaki olası değişimler ile sistemin karlılığı da değişkenliğe açıktır. Bu durumda sistemi beslemek veya elektrik satışı karlılığı yeniden gözden geçirilmeli ve politika yeni durumlara göre hesaplanmalıdır. Çünkü 25 yıllık ticari ömre sahip sistem için değişebilen politikalara sahip olmak yararlılık sağlar.

Sistem içi kayıpları azaltmak için kablolamada seçilen kabloya, panel ve invertör arasındaki uyumun daha iyi olmasına dikkat edilmelidir. Gelişen teknoloji ile birlikte benzer uygulamalarda panel verimlerinin artacağı göz önüne alınmalıdır. Böyle bir durumda kısıtlı alanlara daha yüksek çıkış gücü sağlayan sistemler kurulabilir. Bununla birlikte bu sistemler hava koşulları uygun ve ekonomik olması halinde rüzgâr enerjisi ile de hibritlenebilirler. Uygun bölgeler böylece enerji üretiminde daha sürekli bir üretim rejimine kavuşmuş olur. Bu çalışmamızda rüzgâr enerjisini hibrit sistemden

çıkardığımız için sürekli bir üretim sağlayamıyoruz.

Ayrıca bu çalışma ve benzeri çalışmalarda daha hassas veriler kullanılması elde edilecek sonuçlar açısından değerlendirildiğinde daha sağlıklı sonuçlar sağlar. İmkânlar dâhilinde rüzgâr için ölçüm direği kullanımı elde edilecek sonuçların daha doğru çıkmasını sağlar. Sistem rüzgâr ve güneş olarak hibritlenmeye uygun olmadığı görülmüştür. Ancak kullanılacak yenilenebilir diğer enerji üretim kaynakları ile daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Kurulacak sistem için batarya kullanılması üretimin doğrudan satılacağı veya kullanılacağı için gereksiz görülmüş ve kullanılmamıştır. Batarya kullanılmaması toplam maliyet açısından

bataryalı sistemlere göre maliyet açısından daha avantajlıdır.

Kaynaklar

- [1] Baran, B. , "Güneş-Rüzgar Hibrit Sistenlerin Maliyet Optimizasyonu", İnönü Üniversitesi, Malatya, 2012
- [2] Kara, Y., "Rüzgar Enerji Santralleri", Ders Notları. Yalova Üniversitesi, Yalova, 2014
- [3] Özcan, H., "Bir Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesi ve Analizi", İTÜ, İstanbul, 2009
- [4] Sekuçoğlu, S., "Fotovoltaik,Rüzgar ve Hibrit Sistemlerin Tasarımı ve Ekonomik Analizi", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2012