



Küçük ve Mikro Ölçekli Enerji Yatırımları için Hibrit Enerji Modeli

Mustafa Yıldız

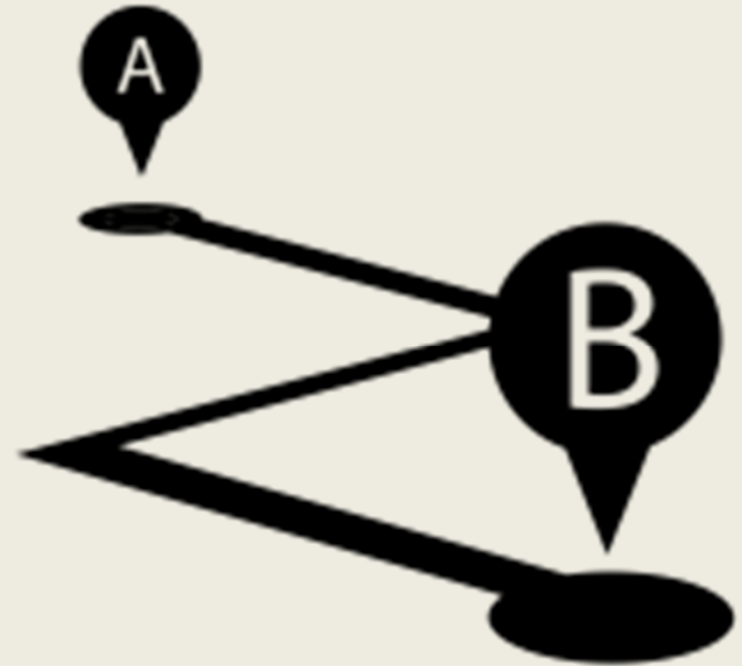
Enerji Mühendisliği Yüksek Lisans Programı Bitirme Tezi

Danışman: Yard. Doç. Dr. Ferhat Bingöl

4. İzmir Rüzgar Sempozyumu
29 Eylül 2017

Taslak

- Hedefler
- Kurulu enerji sistemlerinin durumu
- Metodoloji
- Sonuçlar ve karşılaştırma
- Bulgular ve öneriler



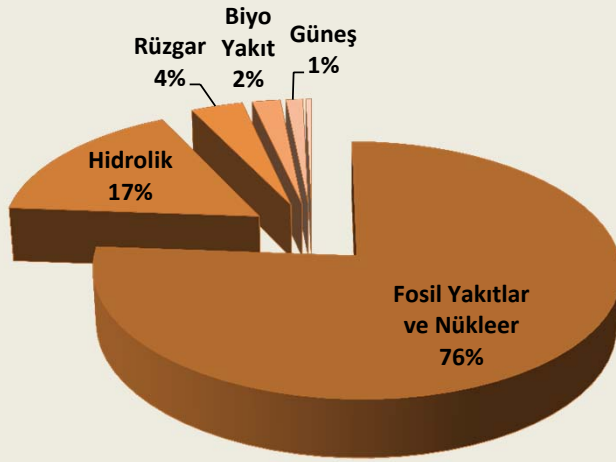
Hedefler

- Enerji Mühendisliği Yüksek Lisans bitirme tezi bünyesinde, Rüzgar – Güneş Hibrit Enerji Sistem tasarımı için bir hesap aracı geliştirmek.
- Benzer çözümlere oranla, daha ulaşılabilir temel veriler ile kabul edilebilir sonuçlar elde etmek.

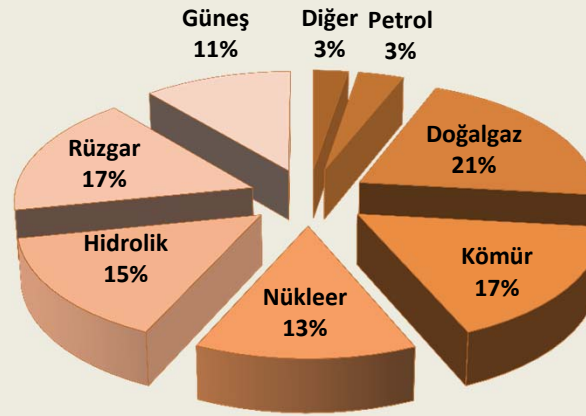
Ticari bir yazılım olan Homer Pro ile karşılaştırıldığı zaman uyumlu ve anlamlı sonuçlar almak.



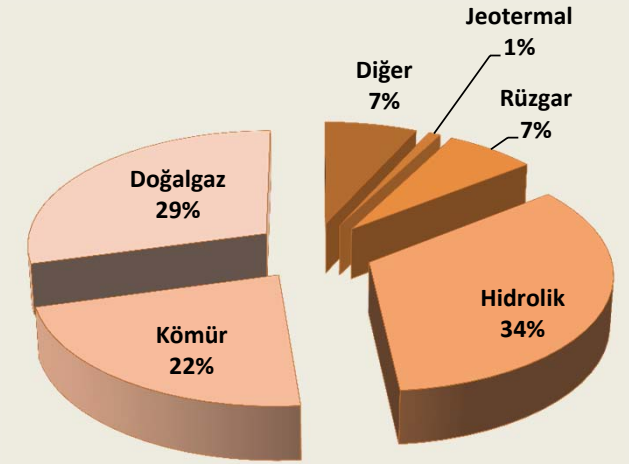
Dünya'da, Avrupa'da ve Ülkemizde Enerji



Dünya'da, enerji kaynaklarına göre kurulu güç oranları, 2016¹



Avrupa'da, enerji kaynaklarına göre kurulu güç oranları, 2016²



Türkiye'de, enerji kaynaklarına göre kurulu güç oranları, 2017³

1- REN21, *Renewables 2016 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat), ISBN 978-3-9818107-0-7. 2016.

2- Wind Europe. *Wind in power: 2016 European statistics*, 2017.

3- Strateji Geliştirme Başkanlığı, *Dünya ve Ülkemiz Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü*, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017.

Lisanssız Enerji Üretim Kısıtlamaları

- 1 MW kapasite limiti,
- Tüm enerji kaynakları bir arada kullanılabilir.
- Tek ya da birden fazla enerji kaynağı bir arada olacak şekilde toplam 1 MW kurulu güçte olabilir.
- Rüzgar türbinleri gövde yüksekliği maksimum 60 m olabilir.
- Proje öncesinde ölçüm zorunluluğu yoktur.



Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik." (2017).

Tercih edilen Rüzgar Türbini ve Solar PV Panel Modelleri

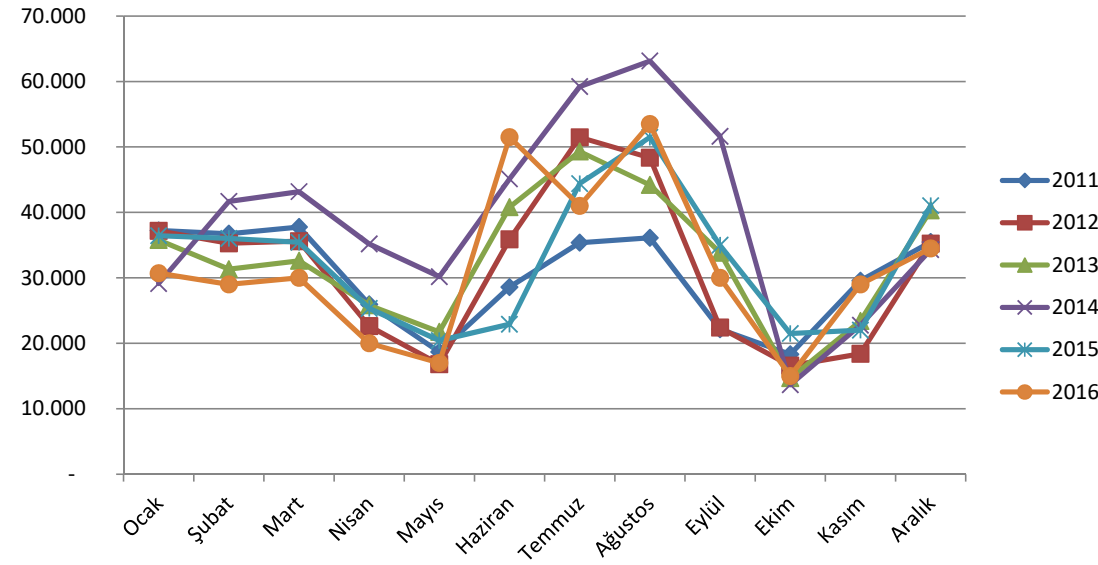


- Polaris P25-100 model rüzgar türbini
- 100 kW kapasite
- 30 m gövde yüksekliği

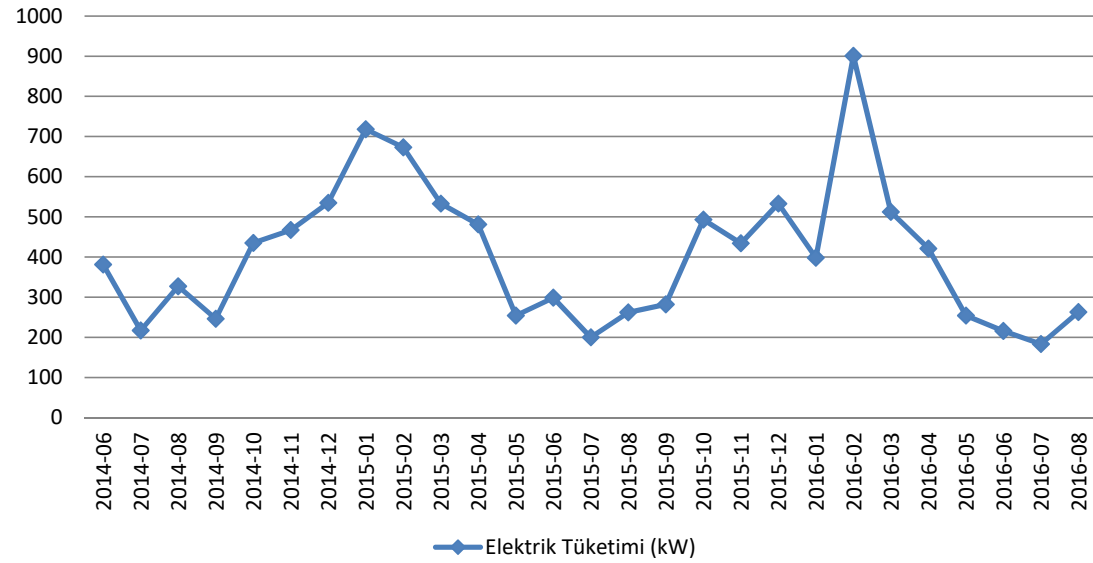


- Panasonic N330 solar PV panel
- 330 W kapasite
- 19.7% modül verimliliği

Dikkate alınan enerji tüketimi



İYTE Yapı İşleri Daire Başkanlığı tarafından yayınlanan aylık elektrik tüketim verileri



Urla bölgesinde bulunan, 4 kişilik bir ailenin yaşadığı örnek bir evin elektrik tüketimi

Dikkate alınan Rüzgar – Güneş verisi

	Makina Mühendisliği Binası		Urla bölgesinde Örnek Ev	
	Rüzgar	Güneş	Rüzgar	Güneş
Hibrit Optimizasyon Aracı	70 m - ölçüm direği 10 dk aralıklı	NASA Solar Rad. Verisi 1 aylık ortalamalar	50 m - NASA verisi 1 aylık ortalamalar	NASA Solar Rad. Verisi 1 aylık ortalamalar
Homer Pro	70 m - ölçüm direği 10 dk aralıklı	NASA Solar Rad. Verisi 1 saat aralıklı	50 m - NASA verisi 1 saat aralıklı	NASA Solar Rad. Verisi 1 saat aralıklı

Geliştirilen hesaplama aracı

Hibrit Optimizasyon Aracı - HOA

- Rüzgar enerjisi için kullanılan formüller

$$U = A \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad \text{Gamma fonksiyonu ile Rüzgar Hızı hesaplanması}$$

U : Rüzgar hızı A : Weibull A parametresi
 Γ : Gamma Fonksiyonu k : Weibull k parametresi

$$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{z}{z_0}\right)^\alpha \quad \text{Güç kuralı eşitliği}$$

z istenen yükseklikteki rüzgar hızı v , z_0 yüksekliğinde ölçülen rüzgar hızı v_0 , α yüzey sürtünme katsayısı

- Güneş enerjisi için kullanılan formüller

$$P_{PV} = A n_{PV} H_h n_d \rho_g \quad \text{Güneş enerjisi}$$

A : Fotovoltaik panel yüzey alanı
 n_{PV} : Fotovoltaik modül verimliliği
 ρ_g : Yeryüzü yansımaya katsayısı
 H_h : Solar radyasyon
 n_d : Sıcaklığa bağlı kayıplar (De-rating factor)

$$P_{pk} = A n_{PV} \quad \text{PV panel pik güç}$$

$$P_{PV} = P_{pk} H_h n_d \rho_g \quad \text{PV panel enerji üretimi}$$

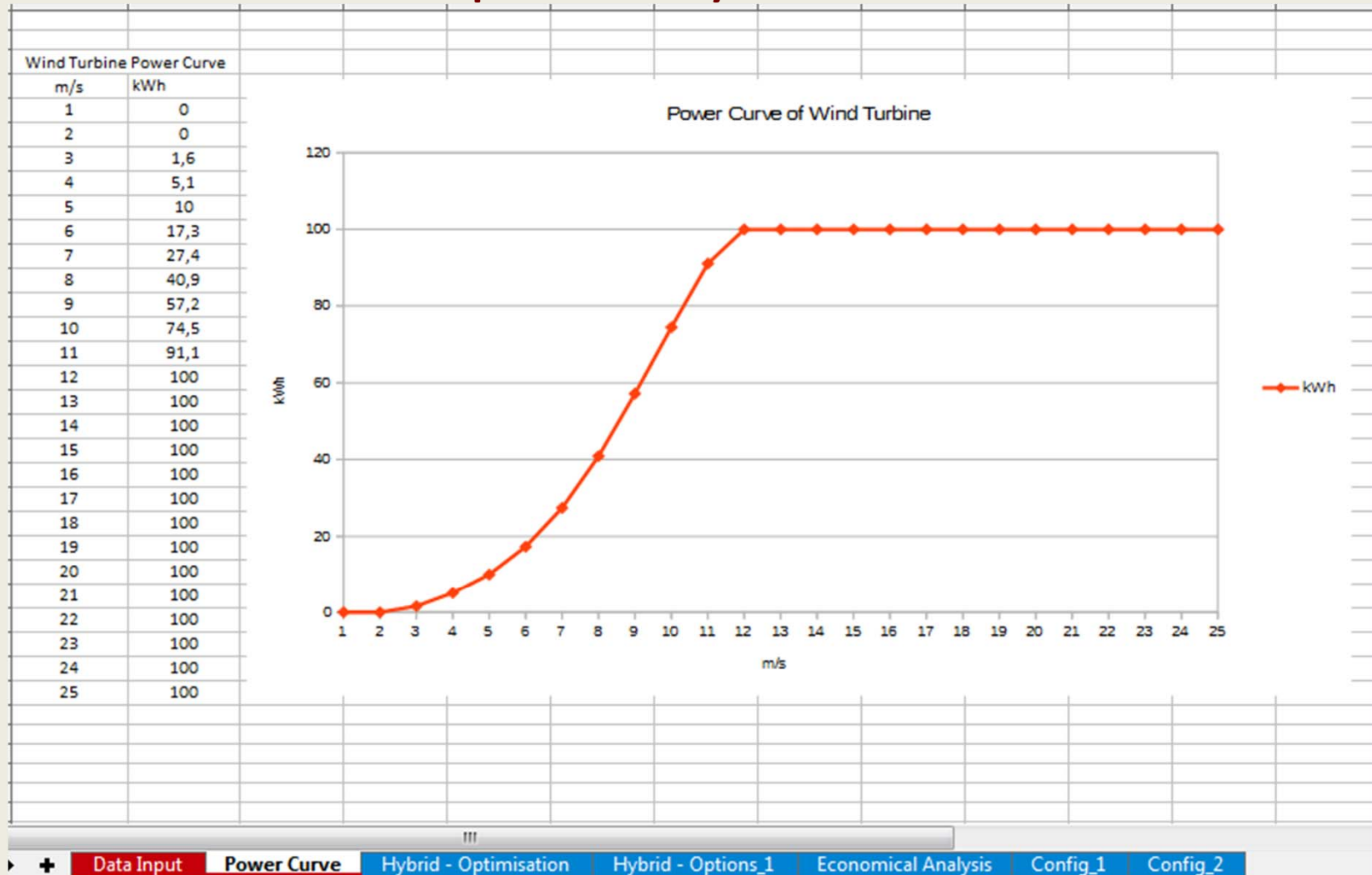
Geliştirilen hesaplama aracı

Hibrit Optimizasyon Aracı - HOA

Inputs		Expected Project Lifetime		20 Years		Solar Data					
Wind Data											
Measurement	70 m	Wind Turbine	Loss Factor			One PV Panel Capacity		PV Panel Derating Factor		Ground Reflectance	
Hub Height	30 m		0,85			0,33 kW		0,8		0,8	
	Weibull A	Weibull k	Air Density			Clearness	Solar Radiation	Average Temperature	Angle of the PV	Position of the Sun	Duration of the Month
January	7,93608	1,11124	1,25064		January	0,479	2,17	7,74	38,5	4,86	31
February	10,4604	1,97041	1,24937		February	0,513	3,03	8,03	38,5	5,86	28
March	8,60214	1,47775	1,23724		March	0,566	4,43	10,8	38,5	6,96	31
April	9,32848	1,58534	1,2161		April	0,597	5,82	15,72	38,5	8,03	30
May	7,6827	1,82411	1,19252		May	0,658	7,28	21,4	38,5	9,77	31
June	9,18117	2,07954	1,17389		June	0,72	8,34	26,08	38,5	11,89	30
July	11,2684	2,56303	1,16365		July	0,729	8,23	28,78	38,5	12,2	31
August	12,4396	2,61801	1,16487		August	0,719	7,34	28,45	38,5	11,48	31
September	10,0618	2,13829	1,18016		September	0,692	5,86	24,49	38,5	9,67	30
October	9,63997	2,01459	1,20156		October	0,63	4,07	19,18	38,5	7,61	31
November	10,5636	1,90777	1,2265		November	0,531	2,56	13,29	38,5	5,55	30
December	10,1922	1,77049	1,23724		December	0,443	1,82	8,99	38,5	4,67	31
Wind Speed	at Measurement Height	at Hub Height			Monthly Energy Demand			Energy Cost			
January	7,63 m/s	6,76 m/s			January	29.123 kWh		Purchasing	0,12 USD		
February	9,27 m/s	8,21 m/s			February	41.681 kWh		Selling	0,1 USD		
March	7,78 m/s	6,89 m/s			March	43.167 kWh					
April	8,37 m/s	7,42 m/s			April	35.173 kWh					
May	6,83 m/s	6,05 m/s			May	30.172 kWh					
June	8,13 m/s	7,20 m/s			June	45.124 kWh					
July	10,00 m/s	8,86 m/s			July	59.216 kWh					
August	11,05 m/s	9,79 m/s			August	63.129 kWh					
September	8,91 m/s	7,89 m/s			September	51.632 kWh					
October	8,54 m/s	7,57 m/s			October	13.657 kWh					
November	9,37 m/s	8,30 m/s			November	22.764 kWh					
December	9,07 m/s	8,04 m/s			December	34.289 kWh					
		7,74928036			Annual	469.127 kWh					
Investment Cost of Wind Turbine		220000 \$			Investment Cost of 100 kW PV			170000 \$			
20 Years Maintenance Cost of Wind Turbine		220000 \$			20 Years Maintenance Cost of 100 kW PV			85000 \$			
+ Data Input Power Curve Hybrid - Optimisation Hybrid - Options_1 Economical Analysis Config_1 Config_2											

Geliştirilen hesaplama aracı

Hibrit Optimizasyon Aracı - HOA



Geliştirilen hesaplama aracı Hibrit Optimizasyon Aracı - HOA

[illegible]

Birincil enerji kaynağının belirlenmesi

IYTE Makine Mühendisliği binası elektrik tüketimi,
ölçülmüş rüzgar verisi ve NASA solar verisi

Birincil enerji kaynağı finansal analizi		
	100 kW Rüzgar Türbini(kW)	100 kW Solar PV Panel (kW)
Ocak	16.134,70	4.305,30
Şubat	25.867,60	5.429,80
Mart	16.805,80	8.789,10
Nisan	20.056,50	11.174,40
Mayıs	11.413,20	14.443,50
Haziran	17.686,90	16.012,80
Temmuz	33.019,70	16.328,30
Ağustos	42.618,60	14.562,60
Eylül	23.271,50	11.251,20
Ekim	21.747,40	8.074,90
Kasım	28.088,10	4.915,20
Aralık	26.501,50	3.610,90
Toplam	283.211,70	118.897,90
20 Yıllık toplam	5.664.234,60	2.377.958,40
Ünite maliyeti	220.000 \$	170.000 \$
Operasyonel maliyet	220.000 \$	85.000 \$
20 Yıllık toplam maliyet	440.000 \$	255.000 \$
Enerji maliyeti	0,0777 \$	0,1072 \$

Urla'da bulunan örnek ev elektrik tüketimi, NASA
rüzgar ve solar verisi

Birincil enerji kaynağı finansal analizi		
	100 kW Rüzgar Türbini(kW)	100 kW Solar PV Panel (kW)
Ocak	10.097,50	4.305,30
Şubat	14.264,10	5.429,80
Mart	10.942,80	8.789,10
Nisan	6.863,30	11.174,40
Mayıs	4.364,80	14.443,50
Haziran	3.917,60	16.012,80
Temmuz	5.928,20	16.328,30
Ağustos	5.386,60	14.562,60
Eylül	4.932,10	11.251,20
Ekim	10.122,10	8.074,90
Kasım	8.211,00	4.915,20
Aralık	9.685,90	3.610,90
Toplam	94.716,00	118.897,90
20 Yıllık toplam	1.894.319,20	2.377.958,40
Ünite maliyeti	220.000,0 \$	170.000,0 \$
Operasyonel maliyet	220.000,0 \$	85.000,0 \$
20 Yıllık toplam maliyet	440.000,0 \$	255.000,0 \$
Enerji maliyeti	0,2323 \$	0,1072 \$

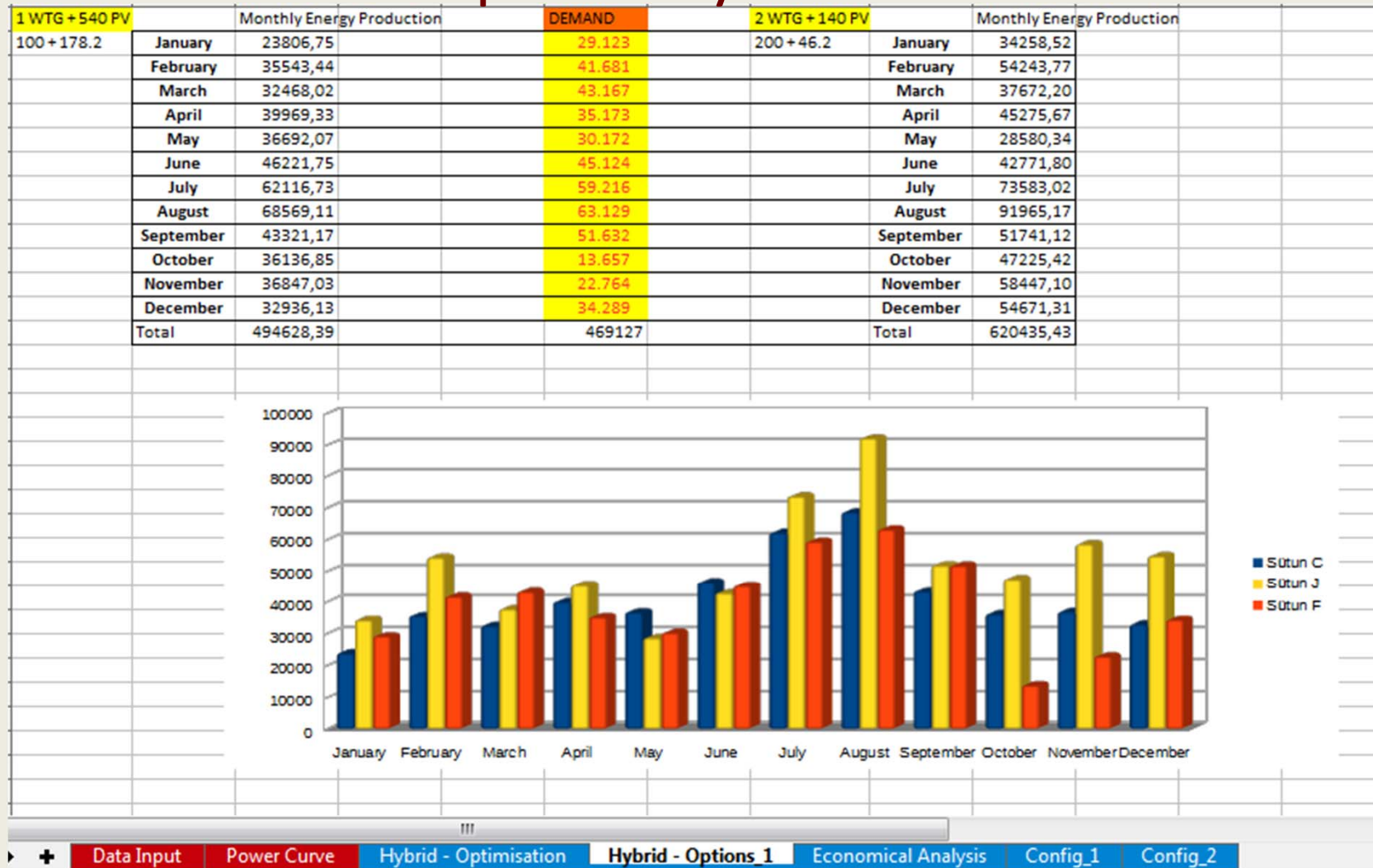
Geliştirilen hesaplama aracı

Hibrit Optimizasyon Aracı - HOA

100 kW Wind Turbine Energy Generation			With 0.85 loss factor			Number of Wind Turbines	Generated by WTG										
	Hourly	Daily	Monthly														
January	21,69	520,48	16134,74			1	16134,74				Hybrid System generated month	Demand	Difference				
February	38,49	923,84	25867,61			1	25867,61				January	29134,54	29.123	11,54			
March	22,59	542,12	16805,81			2	33611,63				February	41689,39	41.681	8,39			
April	27,86	668,55	20056,55			1	20056,55				March	43182,98	43.167	15,98			
May	14,72	353,35	10953,72			2	21907,43				April	35175,51	35.173	2,51			
June	24,57	589,56	17686,94			2	35373,88				May	30200,90	30.172	28,90			
July	44,38	1065,15	33019,67			1	33019,67				June	45149,70	45.124	25,70			
August	57,28	1374,79	42618,63			1	42618,63				July	59260,91	59.216	44,91			
September	32,32	775,72	23271,53			2	46543,07				August	63138,73	63.129	9,73			
October	29,23	701,53	21747,41			0	0,00				September	51666,86	51.632	34,86			
November	39,01	936,27	28088,14			0	0,00				October	13669,96	13.657	12,96			
December	35,62	854,89	26501,54			1	26501,54				November	22773,10	22.764	9,10			
		775,52				1	2				December	34294,54	34.289	5,54			
											Total	469337,13	469.127	210,13			
1 Solar PV Energy Generation						Number of Solar PV Panels											
	Daily	Monthly	100 kW PV								Average	23863,58	29.123	-5259,42			
January	0,46	14,21	4305,28			915	12999,79				1WTG+544PV	35615,11	41.681	-6065,89			
February	0,64	17,92	5429,76			883	15821,78					32584,04	43.167	-10582,96			
March	0,94	29,00	8789,12			330	9571,35					40116,83	35.173	4943,83			
April	1,23	36,88	11174,40			410	15118,96					36882,72	30.172	6710,72			
May	1,54	47,66	14443,52			174	8293,47					46433,12	45.124	1309,12			
June	1,76	52,84	16012,80			185	9775,81					62332,27	59.216	3116,27			
July	1,74	53,88	16328,32			487	26241,24					68761,34	63.129	5632,34			
August	1,55	48,06	14562,56			427	20520,10					43469,69	51.632	-8162,31			
September	1,24	37,13	11251,20			138	5123,80					36243,44	13.657	22586,44			
October	0,86	26,65	8074,88			513	13669,96					36911,91	22.764	14147,91			
November	0,54	16,22	4915,20			1404	22773,10					32983,79	34.289	-1305,21			
December	0,38	11,92	3610,88			654	7793,00					496197,84	469.127	27070,84			
	1,07					544											
					Rounded	540											
					C2	140											

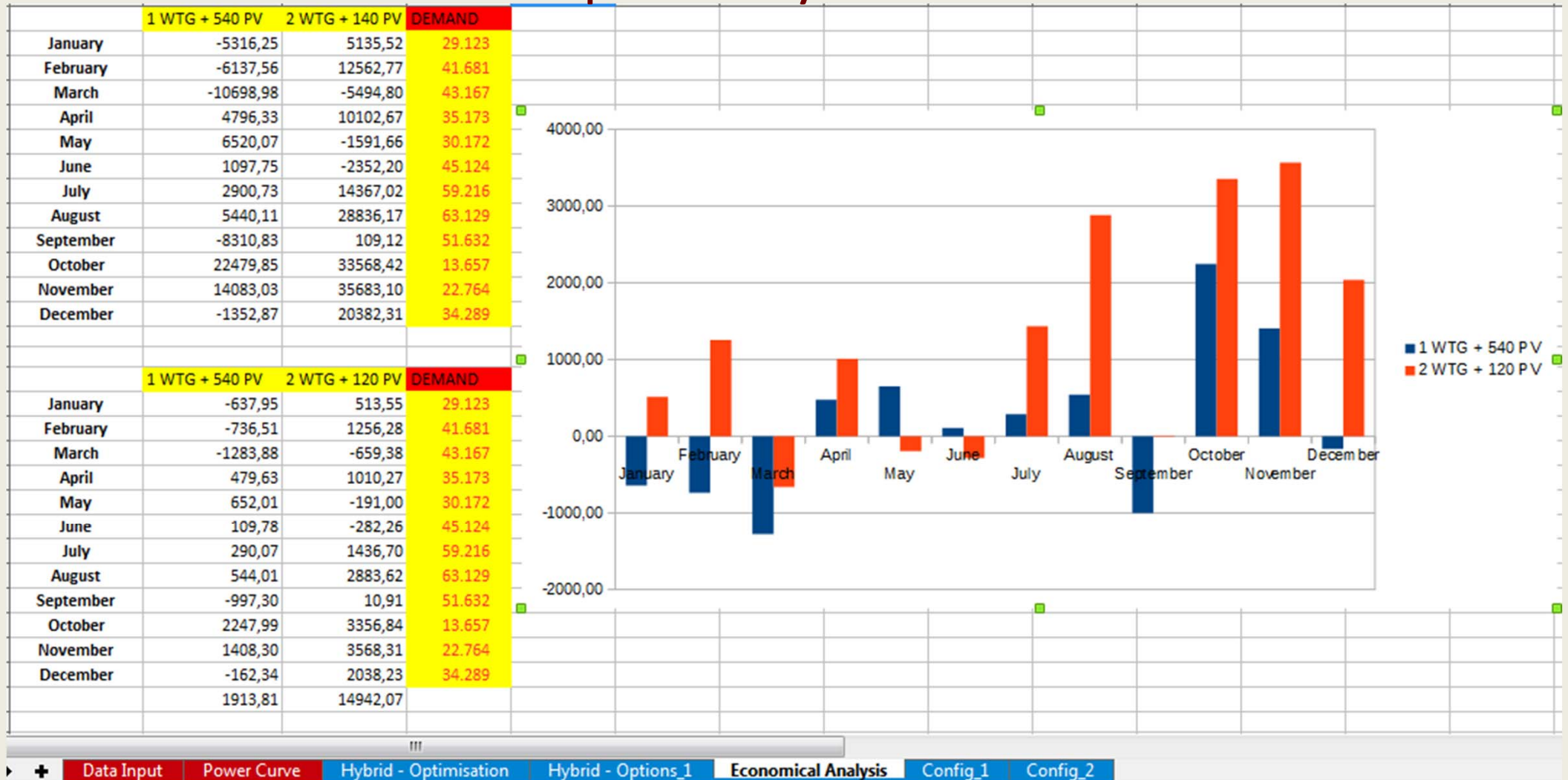
Geliştirilen hesaplama aracı

Hibrit Optimizasyon Aracı - HOA



Geliştirilen hesaplama aracı

Hibrit Optimizasyon Aracı - HOA



Geliştirilen hesaplama aracı

Hibrit Optimizasyon Aracı - HOA

[illegible]

Belirsizlik

- IEC¹ ve WMO² → Ortalama Karelerin Karekökü
(Root of Mean Squares (RMS))

$$\mathcal{E}_{total} = (\mathcal{E}_{wind}^2 + \mathcal{E}_{solar}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\mathcal{E}_{wind} = (\mathcal{E}_{measurement}^2 + \mathcal{E}_{vertical}^2 + \mathcal{E}_{airdensity}^2 + \mathcal{E}_{future}^2 + \mathcal{E}_{powercurve}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\mathcal{E}_{solar} = (\mathcal{E}_{radiation}^2 + \mathcal{E}_{efficiency}^2 + \mathcal{E}_{future}^2)^{\frac{1}{2}}$$

1 – International Electrotechnical Commission, *IEC 61400-12-1 Ed.1: Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines*, 2005.

2 – World Meteorological Organisation, *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, WMO-No. 8, 2008

Sonuçlar

Makine Mühendisliği Binası

HOA Sonuçları



Optimize Edilen Konfigürasyon
100 kW WTG + 178,2 kW PV

Homer Pro Sonuçları



Optimize Edilen Konfigürasyon
100 kW WTG + 180 kW PV

Alternatif Konfigürasyon
200 kW WTG + 46,2 kW PV

Alternatif Konfigürasyon
200 kW WTG + 40 kW PV

Urla'da bulunan Örnek Ev

HOA Sonuçları



Optimize Edilen Konfigürasyon
100 kW WTG + 534,6 kW PV

Alternatif Konfigürasyon - 1
100 kW WTG + 660 kW PV

Alternatif Konfigürasyon - 2
100 kW WTG + 396 kW PV

Homer Pro Sonuçları



Konfigürasyon - 1
100 kW WTG + 525 kW PV

Konfigürasyon - 2
100 kW WTG + 650 kW PV

Konfigürasyon - 3
100 kW WTG + 400 kW PV

Sonuçlar ve Karşılaştırılması

Makine Mühendisliği Binası

MMB Konfigürasyon 1	HOA	HOMER Pro	Oransal Fark
Toplam Enerji Üretimi (kW)	494628,4	582386,0	84,9%
Toplam Kazanç (USD)	38276,2	226287,3	16,9%
Birim Enerji Maliyeti (USD)	0,091	0,072	126,4%
Karlılık oranı	30,16%	50,41%	59,8%

MMB Konfigürasyon 2	HOA	HOMER Pro	Oransal Fark
Toplam Enerji Üretimi (kW)	620435,4	651555,4	95,2%
Toplam Kazanç (USD)	298841,4	364856,8	81,9%
Birim Enerji Maliyeti (USD)	0,074	0,066	112,1%
Karlılık oranı	42,79%	51,81%	82,6%

Sonuçlar ve Karşılaştırılması

Urla'da bulunan örnek ev

OEV Konfigürasyon 1	HOA	HOMER Pro	Oransal Fark
Toplam Enerji Üretimi (kW)	730344,2	991932,5	73,6%
Toplam Kazanç (USD)	390021,5	948395,6	41,1%
Birim Enerji Maliyeti (USD)	0,137	0,08	171,3%
Karlılık oranı	-9,67%	22,96%	-42,1%

OEV Konfigürasyon 2	HOA	HOMER Pro	Oransal Fark
Toplam Enerji Üretimi (kW)	879442,2	1192434,3	73,8%
Toplam Kazanç (USD)	697377,2	1352568,7	51,6%
Birim Enerji Maliyeti (USD)	0,138	0,072	191,7%
Karlılık oranı	-8,80%	23,54%	-37,4%

OEV Konfigürasyon 3	HOA	HOMER Pro	Oransal Fark
Toplam Enerji Üretimi (kW)	565551,7	791430,7	71,5%
Toplam Kazanç (USD)	44411,0	537014,2	8,3%
Birim Enerji Maliyeti (USD)	0,136	0,089	152,8%
Karlılık oranı	-11,49%	21,63%	-53,1%

Belirsizlik Sonuçları

		Makine Mühendisliği Binası				Urla'da bulunan Örnek Ev			
		Hibrit Optimizasyon Aracı		Homer Pro		Hibrit Optimizasyon Aracı		Homer Pro	
		Min (%)	Max (%)	Min (%)	Max (%)	Min (%)	Max (%)	Min (%)	Max (%)
Rüzgar	Ölçüm belirsizliği	-2,5	2,5	-2,5	2,5	-4,0	4,0	-3,5	3,5
	Dikey ekstrapolasyon/interpolasyon	-4,7	4,7	-4,7	4,7	-2,9	2,9	-2,9	2,9
	Hava yoğunluğu	-1,0	1,0	-1,0	1,0	-1,0	1,0	-1,0	1,0
	Yıllık değişkenlik belirsizliği	-2,0	2,0	-2,0	2,0	-2,0	2,0	-2,0	2,0
	Güç eğrisi belirsizliği	-5,2	7,8	-5,2	7,8	-5,2	7,8	-5,2	7,8
Güneş	Solar radyasyon belirsizliği	-25,0	25,0	-22,7	22,7	-25,0	25,0	-22,7	22,7
	Hücre verimliliği belirsizliği	0,0	10,0	0,0	10,0	0,0	10,0	0,0	10,0
	Yıllık değişkenlik belirsizliği	-6,7	4,7	-6,7	4,7	-6,7	4,7	-6,7	4,7
Toplam belirsizlik		-27,0	29,0	-24,9	27,1	-27,0	28,9	-24,8	26,9

Bulgular & Öneriler

- Hibrit Optimizasyon Aracı – HOA – geliştirildi ve sonuçlar Homer Pro yazılımı ile bulunan sonuçlarla karşılaştırıldı. Homer Pro içerisinde saatlik veri kullanımı yerine HOA içerisinde aylık veri kullanımını dikkate alarak, benzer sonuçlar hesaplandı.
- Ölçülmüş veri kullanımının önemi ortaya çıkarıldı.
- Yüksek çözünürlükte sanal veri kullanımının önemi ortaya
- Saatlik ve aylık veri hassasiyeti,
- Birincil enerji kaynağı seçimi,
- Ünite kapasitesi seçimi,



Katılımınız için teşekkürler