

OREN303 ENERJİ YÖNETİMİ

KERESTE KURUTMADA ENERJİ ANALİZİ/SÜREÇ YÖNETİMİ

Enerji analizi termodinamiğin birinci kanununu, ekserji analizi ise termodinamiğin ikinci kanununu kullanarak enerjinin maksimum kullanılabilirliğini ifade eden bir analiz yöntemidir.

Enerji analizi, ısı ve iş arasındaki farkı önemsemeden tüketilen enerji miktarını hesaplayan bir analiz olup, mühendislik sistemlerinin tasarımı ve analizlerine yeterli cevabı vermez. Bunun için, ikinci yasa olarak bilinen ekserji analizi ile termodinamikte önemli bir yeri olan tersinmezliklerden kaynaklanan ekserji kayıpları hesaplanabilmektedir. Bu nedenle, ekserji analizine dayalı sistem değerlendirmeleri daha uygun bir yaklaşım olmaktadır. Enerji ve ekserji analizinden elde edilen sonuçlara göre, tersinmezliklere bağlı olarak meydana gelen kayıplar tespit edilerek sistemde yapılması gereken iyileştirmeler belirlenebilmektedir.

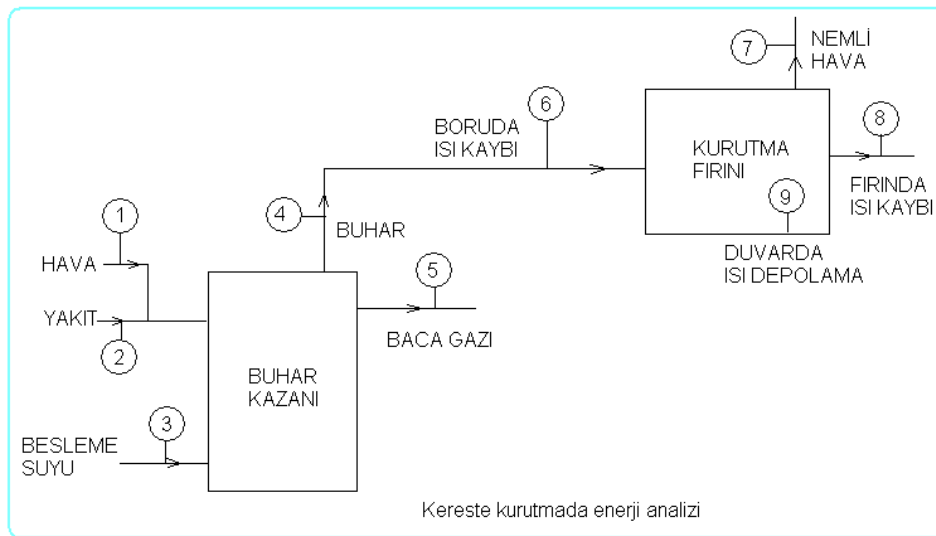
Enerji analizi, termodinamiğin birinci kanunu, yani enerjinin korunumu ile ifade edilir. Bu özelliği ile ısı denge denklemi geçerlidir. Buna göre, enerji analizinde giren enerji ile çıkan enerjiler toplamı birbirine eşitlenir.

$$Q_g = Q_ç$$

Örnekleme kereste kurutma sistemi üzerinde değerlendirilmiştir. Kereste kurutma sisteminde buhar kazanında üretilen su buharı kereste kurutma fırınına taşınarak fırın havasının ısıtılması sağlanır. Buhar kazanında üretilerek kurutma fırınına taşınan su buharı aynı anda iki şekilde kullanılır.

- Isıtma amacıyla kullanılan su buharı; buhar devresi kapalı olup, ısıtma sonunda yoğuşan buhar tekrar buhar kazanına geri döner.
- Buharlama amacıyla kullanılan su buharı; buhar devresi açık olup, düşük basınçlı su buharı kurutma fırınına sevk edilir.

Şekil 1’de buhar kazanında buhar üretimi ve kurutma fırınında kullanımına ilişkin sistem şeması gösterilmiştir.



Şekil 1. Kereste kurutmada buhar üretimi ve kullanımı sistem şeması

Sistemin işleyiş süreci şu şekildedir:

- 1) Sistemde yakma ünitesine yakma hava fazlalık katsayısına uygun miktarda hava verilir.
- 2) Sistemde talep edilen güce uygun miktarda yakma hücresine yakıt gönderilir.
- 3) Buhar kazanına besleme suyu gönderilir.
- 4) Sistemden ısı kapasitesine ve kayıplara bağlı olarak belirli miktarda buhar çıkar.
- 5) Yanma sonucu oluşan baca gazları (duman) bacadan dışarı atılır.
- 6) Buhar kazanında üretilen buhar kurutma fırınına giderken akış borusunda ısı kayıpları oluşur.
- 7) Kurutma fırınında kurutma sonucu içeride oluşan nemli buhar belirli miktarda dışarı atılır.
- 8) Kurutma fırınında ısının belirli bir miktarı fırından dışarı çıkar.
- 9) Kurutma fırını duvarlarında depolanan ısı

Enerji analizi ile ilgili veriler sistemde yapılan ölçümlerden elde edilir. Bu amaçla hesaplamalara esas veriler uygun ölçüm cihazları kullanılarak ölçülür.

Örneğin;

- Yakma havası; debisi, sıcaklığı, basıncı
- Yakıt; debisi, ısı değeri
- Besleme suyu; debisi, sıcaklığı, basıncı
- Baca gazı; debisi, sıcaklığı, basıncı
- Su buharı; debisi, sıcaklığı veya basıncı
- Buhar borularının ısı yalıtım değerleri
- Fırından çıkan nemli havanın çıkış sıcaklığı, debisi
- Fırın duvarlarının ısı yalıtım değerleri

Sisteme (buhar kazanı) giren ısılar:

Yakıt ısısı:

$$Q_y = B H_u$$

Burada; B yakıt miktarı (kg/s), H_u yakıt alt ısı değeri (kJ/kg)

Hava ısısı:

$$Q_h = m_h h_h$$

Burada; m_h hava kütleli debisi (kg/s), h_h hava entalpisi (kJ/kg)

Besleme suyu ısısı:

$$Q_s = m_s h_s$$

Burada; m_s besleme suyu kütleli debisi (kg/s), h_s besleme suyu entalpisi (kJ/kg)

Sistemden (buhar kazanı) çıkan ısılar:

Baca gazı ısısı:

$$Q_{bg} = m_{bg} (h_{bg,g} - h_{bg,\zeta})$$

Burada; m_{bg} baca gazı kütleli debisi, $h_{bg,g}$ baca gazının giriş sıcaklığındaki entalpisi, $h_{bg,\zeta}$ baca gazının çıkış sıcaklığındaki entalpisi

Su buharı ısısı (buhar kazanından çıkan):

$$Q_b = B (h_{b,1} - h_{s,1})$$

Burada; B buhar kütleli debisi (kg/s), $h_{b,1}$ buhar kazanından çıkan buharın entalpisi (kJ/kg), $h_{s,1}$ suyun buhar kazanına giriş entalpisi (kJ/kg)

Kurutma fırınında ısı değişimleri:

Boru tesisatında ısı kaybı:

$$Q_{bt} = K_{bt} A_{bt} (T_i - T_o)$$

Burada; K_{bt} boru ısı transfer katsayısı (W/m²K), A_{bt} boru toplam yüzey alanı (m²), T_i boru içinde buhar sıcaklığı (°C), T_o dış ortam sıcaklığı (°C)

Nemli hava ısısı:

$$Q_{nh} = m_{nh} (h_{nh})$$

Burada; m_{nh} kurutma fırınında çıkan nemli havanın kütleli debisi (kg/s), h_{nh} kurutma fırınında dışarı atılan nemli havanın entalpisi (kJ/kg)

Kurutma fırını duvarlarında ısı kaybı:

$$Q_{fd} = K_{fd} A_{fd} (T_f - T_o)$$

Fırın tasarım malzemelerine bağlı olarak fırın duvarlarında ısı depolanıyor olabilir. Bu durumda;

Fırın duvarlarında depolanan ısı:

$$Q_d = m_d C_d (T_{fm} - T_o) t$$

Burada; m_d ısıtılan ağırlığı (kg), C_d ısıtılan duvar malzemesinin özgül ısısı (kJ/kg°C), t ısıtma süresi (saat, saniye), T_{fm} ortalama sıcaklık (°C) olup, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_{fm} = \frac{T_f + T_o}{2}$$

Kurutma fırınına giden buharın enerjisinin kayıplar dışındaki kısmı kerestenin kurutulmasında (Q_k) kullanılır.

Fırın için enerji denge denklemi:

$$Q_y + Q_s + Q_h = Q_b + Q_{bg}$$

Buradan çıkan buhar kurutma fırınına gönderilir.

Kurutma fırını için enerji denge denklemi:

$$Q_b = Q_{bt} + Q_{nh} + Q_{fd} + Q_k$$

Not: Bu işlemlerde su, su buharı, baca gazı, nemli hava için ilgili özellikler (entalpi, özgül ısı gibi) sıcaklık ve basınç değerlerine göre ilgili tablolardan okunur.

Örnek Problem: 5 m x 8 m taban alanlı ve 4 m yükseklikte 100 m³ kapasiteli kurutma fırınının sıcaklığı 80 °C ve dış ortam sıcaklığı 10 °C'dir. Fırın duvarları 2 cm iç sıva ($k_{is} = 0.70 \text{ W/mK}$), 20 cm tuğla (0.60 W/mK) ve 20 mm dış sıva ($k_{ds} = 1.00 \text{ W/mK}$) olarak yapılmıştır. Fırının iç yüzey ve dış yüzey ısı transfer katsayıları aynı ve 25 W/m²K'dir. Fırından saatte 70 °C sıcaklıkta ($h = 283 \text{ kJ/kg}$) 100 kg nemli hava atılmaktadır. Fırına verilen enerji kaynağının gücü 350 kW'dir. Isı kayıpları dışındaki enerji fırın duvarlarının ısıtılması ve kerestenin kurutulmasında kullanılmakta, saatte 70 °C sıcaklıkta ($h = 283 \text{ kJ/kg}$) 2000 kg nemli hava dışarı atılmaktadır. Enerji elektrik enerjisi olarak uygulanmakta olup, birim fiyatı 0.40 TL/kWh'dir. Faiz oranı %15'dir.

Fırının ısı yalıtımı (yan duvarlar) yapılarak enerji tasarrufu yapılması planlanmıştır. Yalıtımda kullanılacak malzemenin kalınlığı 6 cm, ısı iletim katsayısı 0.04 W/mK, birim fiyatı 25 m², montaj maliyeti, 30 TL/m²'dir.

Varsayımlar: Fırında yan duvarlar dışında ısı kayıpları ihmal edilmiştir. Yan duvarlarda enfiltrasyon ısı kayıpları ihmal edilmiştir. 7 günde bir parti (100 m³) ve yılda 50 parti kereste kurutulmaktadır. Hesaplar yıllık dönem üzerinden yapılacaktır.

- Fırının başlangıç halindeki Sankey diyagramını çizin.
- Fırının yalıtılmış haldeki Sankey diyagramını çizin.
- Fırının yalıtımsız ve yalıtımlı halinin 10 yıllık ekonomik analizini yapınız, tablosunu hazırlayınız.

Çözüm:

Genel enerji denklemi (sistemde ısı üretilmiyor):

$$Q_g = Q_{\dot{c}} + Q_d$$

$$Q_{\dot{c}} = Q_{k1} + Q_{h1}$$

Burada; ısı gücü için Q sembolü yerine N kullanılmıştır.

a) Mevcut halde Sankey diyagramı için çözüm

- Isı kaybı

Duvar ısı kayıp yüzey alanı:

$$A = 2 \times (2 \times 8 + 2 \times 5) \times 4$$

$$A = 208 \text{ m}^2$$

Toplam ısı transfer katsayısı

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{l_{is}}{k_{is}} + \frac{l_t}{k_t} + \frac{l_{ds}}{k_{ds}} + \frac{1}{h_d}}$$

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0.02}{0.70} + \frac{0.20}{0.60} + \frac{0.02}{1.00} + \frac{1}{25}}$$

$$K_1 = 2.16 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Kayıp ısı miktarı:

$$N_1 = K_1 A (T_i - T_d)$$

$$N_1 = 2.16 [\text{W/m}^2\text{K}] \times 208 [\text{m}^2] (80 - 10) (^\circ\text{C})$$

$$N_1 = 31450 \text{ W}$$

$$N_1 = 31.450 \text{ kW}$$

Yıllık çalışma süresi:

$$t = 50 [\text{hafta/yıl}] \times 7 [\text{gün/hafta}] \times 24 [\text{saat/gün}]$$

$$t = 8400 [\text{h/yıl}]$$

Yıllık enerji kaybı:

$$Q_{k1} = N_1 \times t$$

$$Q_{k1} = 31.450 [\text{kW}] \times 8400 [\text{h/yıl}]$$

$$Q_{k1} = \mathbf{264180 [\text{kWh/yıl}]}$$

- Hava ile ısı kaybı

Atılan hava miktarı

$$m_h = \dot{m}_h \times t$$

$$m_h = 2000 [\text{kg/h}] \times 8400 [\text{h/yıl}]$$

$$m_h = 16800000 [\text{kg/yıl}]$$

$$Q_h = m_h \times h_h$$

$$Q_h = 16800000 [\text{kg/yıl}] \times 283 [\text{kJ/kg}]$$

$$Q_h = 4754400000 [\text{kJ/yıl}]$$

$$1 \text{ kJ} = 0.278 \times 10^{-3} \text{ kWh}$$

$$Q_h = 4754400000 [\text{kJ/yıl}] \times \frac{0.278 \times 10^{-3} \text{ kWh}}{1 \text{ kJ}}$$

$$Q_h = \mathbf{1321723 [\text{kWh/yıl}]}$$

Fırına giren enerji miktarı:

$$Q_g = N \times t$$

$$Q_g = 350 [\text{kW}] \times 8400 [\text{h/yıl}]$$

$$Q_g = \mathbf{2940000 [\text{kWh/yıl}]}$$

Fırından çıkan toplam ısı miktarı

$$Q_{\text{ç}} = Q_{k1} + Q_h$$

$$Q_{\text{ç}} = 264180 + 1321723$$

$$Q_{\text{ç}} = \mathbf{1585903 [\text{kWh/yıl}]}$$

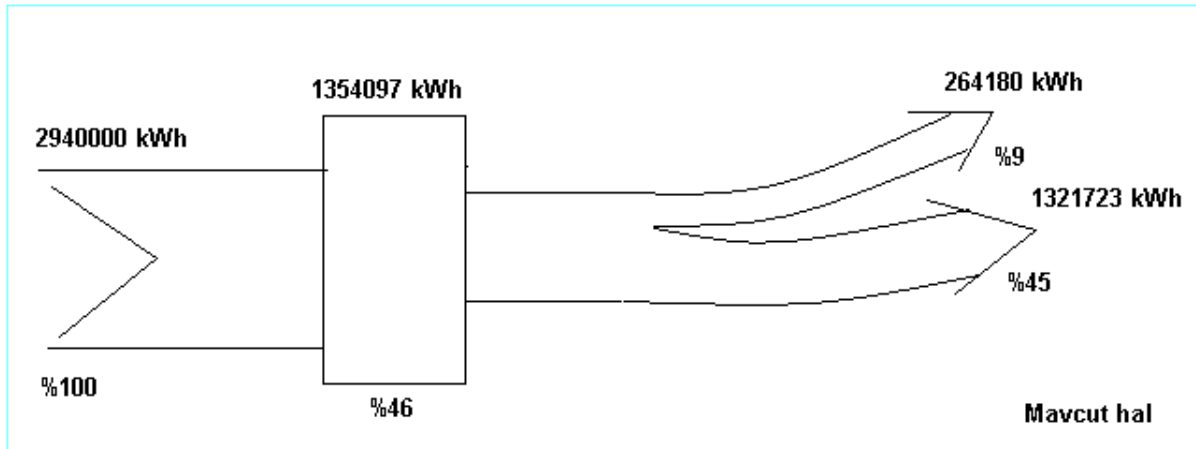
Fırında depolanan enerji miktarı:

Enerji denkleminde

$$Q_d = Q_g - Q_{\text{ç}}$$

$$Q_d = 2940000 - 1585903$$

$$Q_d = 1354097 \text{ [kWh/yıl]}$$



Şekil 1. Kurutma fırını mevcut hal Sankey Diyagramı

b) Yeni halde Sankey diyagramı için çözüm

Yeni hal için toplam ısı transfer katsayısı:

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{l_{is}}{k_{is}} + \frac{l_t}{k_t} + \frac{l_{ds}}{k_{ds}} + \frac{l_y}{k_y} + \frac{1}{h_d}}$$

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0.02}{0.70} + \frac{0.20}{0.60} + \frac{0.02}{1.00} + \frac{0.06}{0.04} + \frac{1}{25}}$$

$$K_2 = 0.51 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Kayıp ısı miktarı:

$$N_2 = K_2 A (T_i - T_d)$$

$$N_2 = 0.51 \text{ [W/m}^2\text{K]} \times 208 \text{ [m}^2\text{]} (80 - 10) \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$N_2 = 7426 \text{ W}$$

$$N_2 = 7.426 \text{ kW}$$

Yıllık enerji kaybı:

$$Q_{k2} = N_2 \times t$$

$$Q_{k2} = 7.426 \text{ [kW]} \times 8400 \text{ [h/yıl]}$$

$$Q_{k2} = 62378 \text{ [kWh/yıl]}$$

- Hava ile ısı kaybı

Atılan hava miktarı (ilk haldekinin aynısı)

$$m_h = m_h' \times t$$

$$m_h = 2000 \text{ [kg/h]} \times 8400 \text{ [h/yıl]}$$

$$m_h = 16800000 \text{ [kg/yıl]}$$

$$Q_h = m_h \times h_h$$

$$Q_h = 16800000 \text{ [kg/yıl]} \times 283 \text{ [kJ/kg]}$$

$$Q_h = 4754400000 \text{ [kJ/yıl]}$$

$$1 \text{ kJ} = 0.278 \times 10^{-3} \text{ kWh}$$

$$Q_h = 4754400000 \text{ [kJ/yıl]} \times \frac{0.278 \times 10^{-3} \text{ kWh}}{1 \text{ kJ}}$$

$$Q_h = 1321723 \text{ [kWh/yıl]}$$

Fırına giren enerji miktarı:

$$Q_g = N \times t$$

$$Q_g = 350 \text{ [kW]} \times 8400 \text{ [h/yıl]}$$

$$Q_g = 2940000 \text{ [kWh/yıl]}$$

Fırından çıkan toplam ısı miktarı

$$Q_{\text{ç}} = Q_{k1} + Q_h$$

$$Q_{\text{ç}} = 62378 + 1321723$$

$$Q_{\text{ç}} = 1384101 \text{ [kWh/yıl]}$$

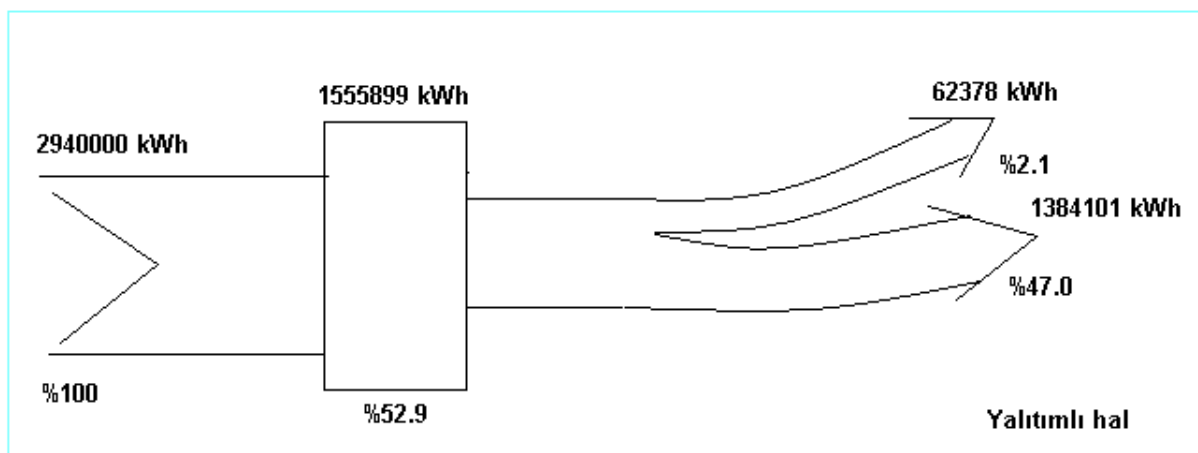
Fırında depolanan enerji miktarı:

Enerji denkleminde

$$Q_d = Q_g - Q_{\text{ç}}$$

$$Q_d = 2940000 - 1384101$$

$$Q_d = 1555899 \text{ [kWh/yıl]}$$



Şekil 2. Kurutma fırını yalıtımlı hal için Sankey diyagramı

Ancak;

Bu durumda, mevcut enerji kaynağının verilen güçte çalışması gerekmez. Çünkü, ısı kaybı

$$264180 \text{ kWh/yıl} - 62378 \text{ kWh/yıl} = 201802 \text{ kWh/yıl}$$

azalmıştır.

Fırında depolanan enerji miktarı:

Enerji denkleminde

$$Q_d = Q_g - Q_{\text{ç}}$$

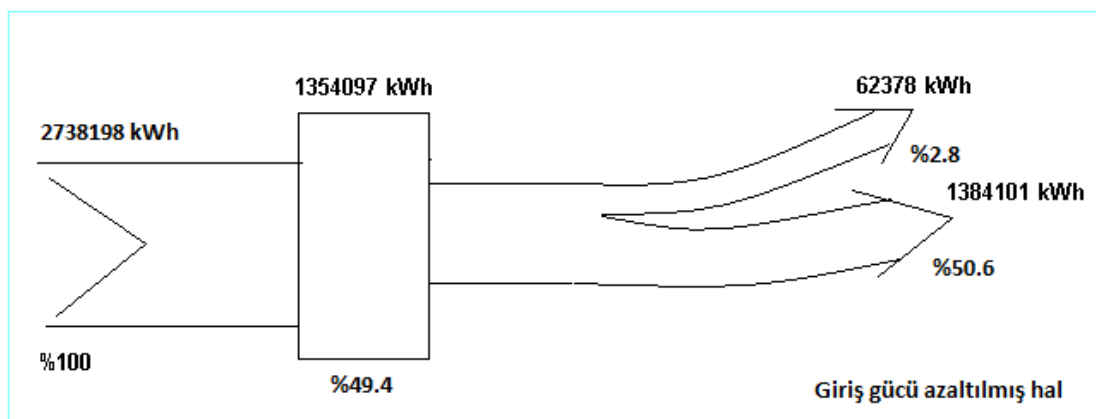
$$Q_d = 2738198 - 1384101$$

$$Q_d = 1354197 \text{ [kWh/yıl]}$$

Bu durumda, toplam kullanılabilir enerji miktarı

$$2940000 \text{ kWh/yıl} - 201802 \text{ kWh/yıl} = 2738198 \text{ kWh/yıl}$$

olacaktır. Son durumda Sankey diyagramı aşağıdaki şekli alır.



Şekil 3. Giriş gücü azaltılmış halde Sankey diyagramı

c) Ekonomik analiz

Mevcut halde maliyet:

Mevcut halde ısı kaybına bağlı enerji tüketimi:

$$Q_{k1} = 264180 \text{ kWh/yıl}$$

Enerji maliyeti:

$$EM_1 = EF \times Q_{k1}$$

$$EM_1 = 0.40 \text{ [TL/kWh]} \times 264180 \text{ [kWh/yıl]}$$

$$EM_1 = 105672 \text{ TL/yıl}$$

Gider denklemi (X: yıl)

$$Y_1 = EM_1 \times X$$

Yalıtımlı halde maliyet:

- Yalıtımlı halde ısı kaybına bağlı enerji tüketimi:

$$Q_{k2} = 62378 \text{ kWh/yıl}$$

Enerji maliyeti:

$$EM_2 = EF \times Q_{k2}$$

$$EM_2 = 0.40 \text{ [TL/kWh]} \times 62378 \text{ [kWh/yıl]}$$

$$EM_2 = 24951 \text{ TL/yıl}$$

- Yalıtım maliyeti:

Malzeme maliyeti:

$$MM = MF \times A$$

$$MM = 25 \text{ [TL/m}^2\text{]} \times 208 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$MM = 5200 \text{ TL}$$

İşçilik maliyeti:

$$\dot{IM} = \dot{IF} \times A$$

$$\dot{IM} = 30 \text{ [TL/m}^2\text{]} \times 208 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\dot{IM} = 6240 \text{ TL}$$

Yalıtım maliyeti:

$$YM = MM + \dot{IM}$$

$$YM = 5200 + 6240$$

$$YM = 11440 \text{ TL}$$

Gider denklemi (X: yıl)

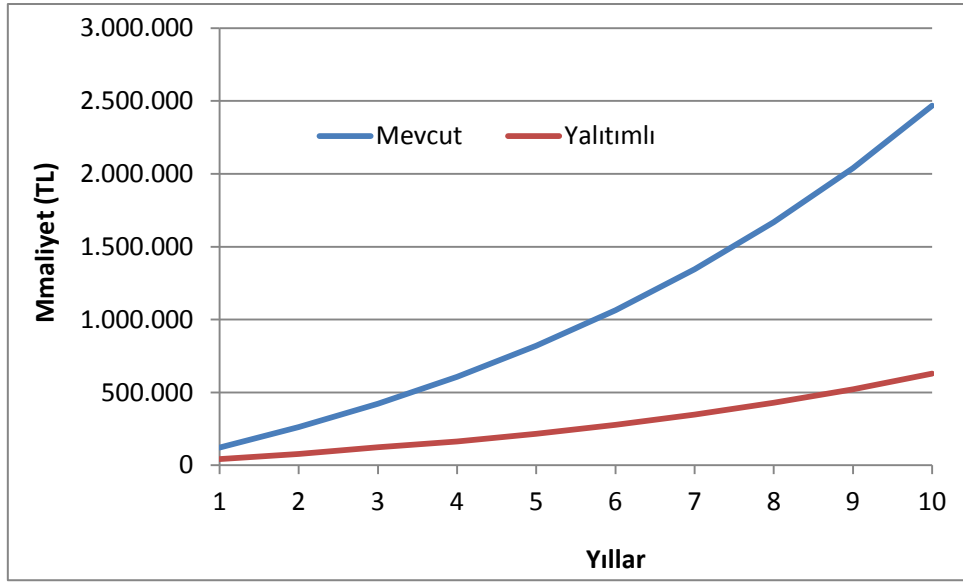
$$Y_1 = YM + EM_1 \times X$$

Faiz hesabı:

$$F = F \times (1 + r)^n$$

Tablo 1. Maliyet tablosu

Yıllar		Mevcut			Yalıtım			Birikimli Toplam	
	i(%)	EM (TL/yıl)	Faizli	YM (TL)	EM (TL/yıl)	Faizli	YM (TL)	Mevcut	Yalıtımlı
0		105.672		0	24.951		11.440		
1	1,150	105.672	121.523	0	24.951	28.694	13.156	121.523	41.850
2	1,323	105.672	139.751	0	24.951	32.998	15.129	261.274	76.821
3	1,521	105.672	160.714	0	24.951	37.947	23.010	421.988	122.649
4	1,749	105.672	184.821	0	24.951	43.639	20.009	606.809	163.287
5	2,011	105.672	212.544	0	24.951	50.185	23.010	819.353	216.473
6	2,313	105.672	244.426	0	24.951	57.713	26.461	1.063.779	277.638
7	2,660	105.672	281.090	0	24.951	66.370	30.431	1.344.868	347.977
8	3,059	105.672	323.253	0	24.951	76.326	34.995	1.668.121	428.868
9	3,518	105.672	371.741	0	24.951	87.775	40.245	2.039.863	521.892
10	4,046	105.672	427.502	0	24.951	100.941	46.281	2.467.365	628.869
			2.467.365			582.588			
Genel toplam			2.467.365			628.869			



Şekil 3. Başabaş noktası grafiği