

Linyit Üretim Prosesinin Ekserjitik Değerlendirmesi: SLİ Örneği

Araştırma Makalesi / Research Article

Merve ŞENTÜRK ACAR^{1*}, Mehmet SARAYDAR², Oğuz ARSLAN³

¹Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Kütahya, Türkiye

²Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, Türkiye

³Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye

(Geliş/Received : 16.12.2016 ; Kabul/Accepted : 02.02.2017)

ÖZ

Günümüzde enerji ihtiyacının artması ve çevresel etkenler, yeni enerji kaynaklarının araştırılmasını ve hali hazırda kullanılmakta olan enerji üretim teknolojilerinin değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Ülkemizde bulunan linyit rezervlerinin büyük bir bölümünü düşük ısı değerli kaynaklar oluşturmaktadır. Bu durum, kaynakların termik santrallerde kullanımını gerekli kılmaktadır. Termik santrallerde kullanılan ve piyasaya arz edilen linyitlerin temin edildiği işletmeler arasında Kütahya İli'nde bulunan Seyitömer Linyit İşletmesi yer almaktadır. Bu çalışmada, linyitin çıkarılması ve işlenmesi prosesi ekserji analiz metodu ile incelenmiş olup, prostesteki kayıplar tespit edilmiştir. Analiz sonucunda, en büyük kayıpların kömür yıkama tesisi ve kömürün çıkarılması ve taşınmasında meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, ekserji, linyit üretimi, Seyitömer.

Exergetical Evaluation of Lignite Production Process: SLI Case Study

ABSTRACT

Today, increasing energy demand and environmental factors make it necessary to investigate new energy sources and to evaluate currently used energy production technologies. Most of the lignite reserves in our country form low thermal value sources. This necessitates the use of resources in thermal power plants. Seyitömer Lignite Plant located in Kütahya Province is among the enterprises that are used in thermal power plants and supplied lignite to the market. In this study, the extraction and processing of lignite was investigated by the exergy analysis method, and the losses in the process were determined. As a result of the analysis, it was determined that the biggest losses occurred in the coal washing plant and the removal and transport of the cargo.

Keywords: Energy, exergy, lignite production, Seyitömer

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde enerji ihtiyacının artması ve çevresel etkenler, yeni enerji kaynaklarının araştırılmasını ve hali hazırda kullanılmakta olan enerji üretim teknolojilerinin değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Ülkemizde enerji ihtiyacının büyük bir bölümü dış kaynaklardan sağlanmaktadır. Dışa bağımlı enerji tüketimi, ülke ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir. Ülkemizde, brüt elektrik enerjisi üretiminin % 21,9'u termik santrallerden, % 12,3'ü yerli kömür kullanılan termik santrallerden ve % 29,2'si doğalgaza dayalı santrallerden sağlanmaktadır [1, 2].

Ülkemiz linyit kaynaklarının büyük bir bölümünü düşük ısı değerli rezervlerin oluşturması, linyitin termik santrallerde kullanımını arttırmıştır. Aynı zamanda ekonomik etkenler ve dışa bağımlılık gibi nedenler, enerji üretiminde yerli kaynakların kullanılmasının önemini arttırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı ülkemizde yapılan sondaj çalışmaları artmış ve 2005-

2012 yılları arasında yaklaşık 5,8 Milyar ton rezerv artışı sağlanmıştır [1].

Literatürde, linyit içerisindeki kükürdün farklı metodlar kullanılarak giderilmesine yönelik çalışmalar mevcuttur [3, 4]. Ancak, linyitin rezervden çıkarılması ve işlenmesi prosesine ait enerji ve ekserji analizinin yapıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Rosen ve Dinçer (1999), atık emisyonlara ekserji analizi uygulamışlardır [5]. Lobachyov ve Ritcher (1996), kömür yakıtlı güç santralleri için ekserji analizine dayalı bir verimlilik çalışması yapmışlar, yaklaşık %63 düzeyinde bir termal verimlilik saptamışlardır [6].

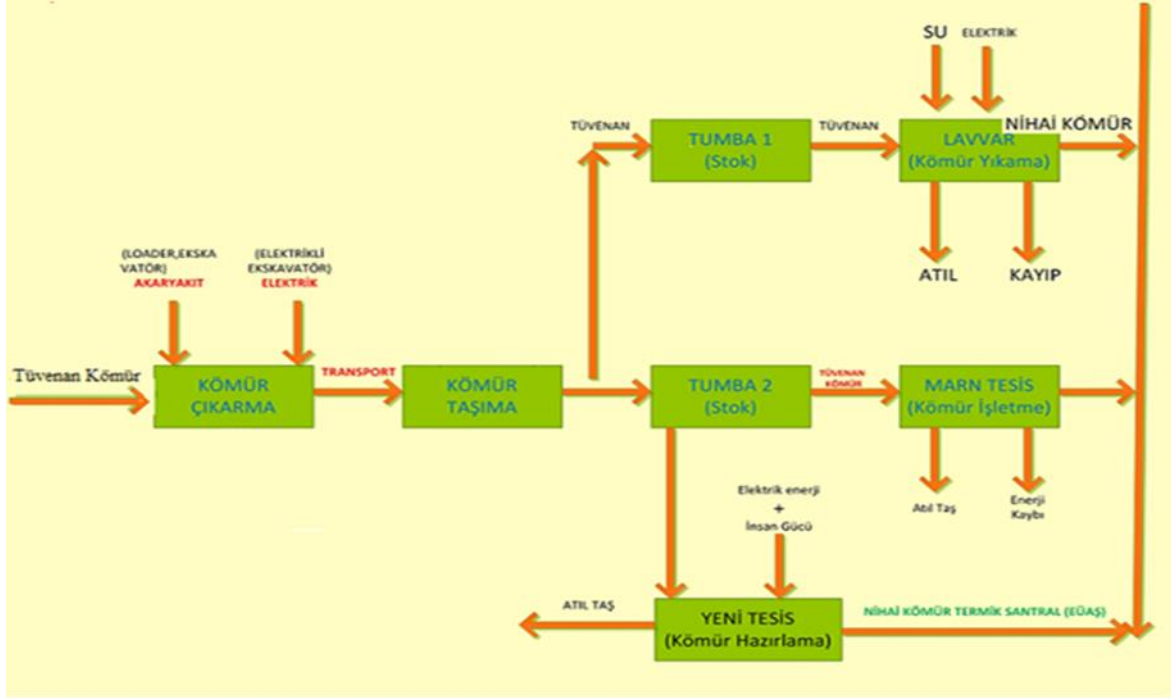
2. SEYİTÖMER LİNYİT İŞLETMESİ KÖMÜR ÇIKARTMA VE İŞLEME PROSESİ (SEYİTÖMER LİNYİT BUSINESS COAL REMOVAL AND PROCESSING PROCESS)

1960 yılında faaliyete başlanan Seyitömer Linyit İşletmesinde yıllık 600.000 ton tüvenan linyit istihsalı programlanmış ve Seyitömer'de 600 MW gücüne çıkartılan santrale paralel olarak işletmenin üretim

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : merve.senturkacar@dpu.edu.tr

kapasitesi 7.700.000 ton/yıl tüvenan linyit istihsalı olacak şekilde tevsi edilmiştir.

Seyitömer Linyitleri İşletmesi, piyasanın ve EÜAŞ santralinin kömür talebini karşılamak amacıyla kurulmuştur. Şekil 1'de Seyitömer Linyit sahasının konumu görülmektedir [7].



Şekil 1. Kömür üretim akış şeması [7]. (Flow diagram of coal production.)

Seyitömer Linyit İşletmeleri yerüstü madencilik yapıldığı ve yaklaşık 150 milyon ton kömür rezervine sahip bir kurumdur. Kömür üretimi ilk olarak toprak üstü örtünün alınması ve açılan kömürün elektrikli ve dizel motora sahip ekskavatörlerle 85 ton kapasiteli Wabco marka ağır kamyonlara sarılması ile başlamaktadır [7]. Şekil 1 incelendiğinde, kömür üretiminin 3 aşamada gerçekleştiği görülmektedir. Birinci aşama, kömürün kaynaktan çıkarılması ve araçlarla taşınmasının ardından, tumbalara dökülmesidir. İkinci aşama, lavvar tesisinde kömürün içindeki toprak ve tozun yıkama yardımıyla temizlenmesidir. Son aşama ise kömürün kullanım amacına bağlı olarak, ısı değerinin artırılması için işlenmesidir. EÜAŞ termik santraline gönderilecek kömür ise Marn ve Yeni tesis adı ile adlandırılan kömürün taşından ve toprağından ayrıldığı kömür ayıklama tesislerinde tane boyutlarına göre üretim yapılır [7].

3. LİNYİT ÇIKARTMA VE İŞLEME PROSESİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ (ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF LIGNITE DISCHARGE AND PROCESSING PROCESS)

Ekserji analizinde sistem içerisindeki tersinmezlik noktaları ve kullanılan enerjinin ne kadarının yararlı işe dönüştürüldüğü belirlenmektedir. Bir sistemdeki enerji

kayıplarının, tersinmezliklerin ve sistem içerisinde yapılabilecek iyileştirmelerin belirlenebilmesi için enerji ve ekserji analizlerinin birlikte yapılması gerekmektedir. Sürekli akışlı açık bir sistem için enerji dengesi Eş. (1)'de verildiği gibidir [8];

$$Q - W + \sum E_g - \sum E_c = \Delta E_{kh} \quad (1)$$

burada, Q ; sisteme giren veya çıkan ısıyı, W ; sisteme giren ya da çıkan işi, E_g ; kütle ile birlikte enerji girişini, E_c ; kütle ile birlikte enerji çıkışını ve ΔE_{kh} ; kontrol hacmindeki enerji değişiminin ifade etmektedir. Eş. (1) tekrar düzenlenir ise [8];

$$Q - W = \sum m_c (h_c + V_c^2 + g \cdot z_c) - \sum m_g (h_g + V_g^2 + g \cdot z_g) \quad (2)$$

ifadesi elde edilir. Burada, V ; hızı, z ; yüksekliği ve h ; özgül entalpiyi ifade etmektedir. Elektrik, manyetizma, yüzey gerilimi ve nükleer reaksiyon gibi parametreler ihmal edildiğinde, herhangi bir sistemin ekserji dengesi;

$$Ex_g - Ex_c = Ex_y \quad (3)$$

eşitliği ile verilmektedir [8]. Isı etkileşimi ($Ex_{ısı}$), iş etkileşimi ($Ex_{iş}$), ve kütle akışı ile giren ($Ex_{kütle,g}$) ve çıkan ($Ex_{kütle,c}$) ekserjilere bağlı olarak, Eş. (3) tekrar düzenlenirse;

$$Ex_{iş} + Ex_{kütle,g} - Ex_{kütle,c} + Ex_{ısı} = Ex_y \quad (4)$$

şeklini alır. Burada;

$$Ex_{ısı} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) Q_k \quad (5)$$

$$Ex_{iş} = W \quad (6)$$

$$Ex_{kütle} = \sum (m \cdot \Psi)_g \quad (7)$$

ifadesiyle verilir [8]. Q_k ; T_k sıcaklığındaki sistem sınırlarında transfer edilen ısı ve W ; iş olup, özgül ekserji (ψ) ise;

$$\psi = \psi^{PH} + \psi^{KN} + \psi^{PT} + \psi^{CH} \quad (8)$$

şeklinde verilir [8]. Burada, ψ^{PH} ; fiziksel ekserjiyi, ψ^{KN} ; kinetik ekserjiyi, ψ^{PT} ; ekserjiyi ve ψ^{CH} ; kimyasal ekserjiyi ifade etmektedir. Bu terimler sırasına göre daha net bir ifadeyle;

$$\psi = ((h - h_0) - T_0 \cdot (s - s_0)) + \frac{v^2}{2} + g \cdot z + (\beta_{AID} \cdot AID_{yakıt}) \quad (9)$$

şeklinde verilir [8-10]. Burada, h ; entalpi, s ; entropi, o ; alt indisi ise referans çevre özelliklerini tanımlamaktadır. Referans çevre sıcaklığı (T_0) 298,15 K, özgül nemi (ω_0) 0,02023 ve basıncı (P_0) 101,325 kPa olarak hesaplamalara dahil edilmiştir [9]. Katı, sıvı ve gaz yakıtların kimyasal enerjileri, yakıtın kimyasal bileşiminden faydalanılarak hesaplanabilir. Tüm petrol bazlı yakıtların kimyasal ekserjileri [10];

$$\beta_{AID} = \frac{E_x^{CH}}{AID} \quad (10)$$

$$\beta_{ÜID} = \frac{E_x^{CH}}{ÜID} \quad (11)$$

burada; β faktörü alt ısı değer (AID) ve üst ısı değeri (ÜID) bağlı olup, yakıtların kütle oranı hesabındaki

eşitliği ile verilmektedir [12, 13]. Motorin için alt ısı değer 42.697 (kJ/kg) olarak hesaplamalara dahil edilmiştir [14]. Kimyasal bileşimi bilinmeyen sıvı yakıtlar için kütleli karışım oranları, yakıtın AID'ye bağlı olarak aşağıdaki eşitlikler kullanılarak elde edilir [15, 16].

$$Z_C = 0,64241 + 0,00504 \cdot AID \quad (14)$$

$$Z_{H_2} = -0,22426 + 0,00826 \cdot AID \quad (15)$$

$$Z_S = 0,2763 - 0,00628 \cdot AID \quad (16)$$

$$Z_{O_2} = 0,30582 - 0,00702 \cdot AID \quad (17)$$

Kimyasal bileşimi bilinmeyen kömür için kütleli karışım oranları, yakıtın nem, kül ve AID'ne bağlı olarak aşağıdaki eşitlikler kullanılarak elde edilir [15, 16];

$$Z_C = 0,04685 \cdot (1 - Z_k - Z_w) + 0,02411 \cdot (AID + 2,442 \cdot Z_w) \quad (18)$$

$$Z_{H_2} = 0,08635 \cdot (1 - Z_k - Z_w) - 0,00112 \cdot (AID + 2,442 \cdot Z_w) \quad (19)$$

$$Z_{S_2} = 0,00047 \cdot (1 - Z_k - Z_w) + 0,00024 \cdot (AID + 2,442 \cdot Z_w) \quad (20)$$

$$Z_{O_2} = 0,86583 \cdot (1 - Z_k - Z_w) - 0,02363 \cdot (AID + 2,442 \cdot Z_w) \quad (21)$$

$$Z_{N_2} = 0,00077 \cdot (1 - Z_k - Z_w) + 0,00040 \cdot (AID +$$

Çizelge 1. Kömür, kamyon ve ekskavatörde kullanılan yakıtların bileşimleri [7]. (Combinations of coal and fuels used in truck and excavator.)

| Madde | Sembol | Dizel yakıt (%) | Linyit (%) |
|----------|---------------|-----------------|------------|
| Karbon | C | 87,30 | 37,95 |
| Hidrojen | H | 12,60 | 2,86 |
| Nitrojen | N | 0,006 | 1,16 |
| Oksijen | O | 0,04 | 11,30 |
| Sülfür | S | 0,22 | 0,81 |
| Kül | kül | 0,01 | 10,67 |
| Nem | w | | 35,24 |
| | AID (kJ/kg) | 24.151,49 | 7.116 |
| | AID (kcal/kg) | 5.769,58 | 1.699,95 |

istatistiksel formülasyonlar kullanılarak hesaplanır. Z_{O_2}/Z_C oranı 0,667'den küçük olan kömür için β faktörü;

$$\beta_{AID} = \frac{(AID + 2442 \cdot Z_w) \cdot (1,0437 + 0,1882 \cdot \frac{Z_{H_2}}{Z_C} + 0,0610 \cdot \frac{Z_{O_2}}{Z_C} + 0,0404 \cdot \frac{Z_{N_2}}{Z_C}) + 9417 \cdot Z_{S_2}}{AID} \quad (12)$$

eşitliği ile verilmektedir [11];. Sıvı yakıtlar için β faktörü;

$$\beta_{AID} = 1,0401 + 0,1728 \cdot \frac{Z_{H_2}}{Z_C} + 0,0432 \cdot \frac{Z_{O_2}}{Z_C} + 0,2169 \cdot \frac{Z_{S_2}}{Z_C} + (1 - 2,0628 \cdot \frac{Z_{H_2}}{Z_C}) \quad (13)$$

$$2,442 \cdot Z_w) \quad (22)$$

Kömür, kamyon ve ekskavatörde kullanılan yakıtların bileşimleri Çizelge 1'de, SLİ Müessese Müdürlüğü lavvar tesisi 2009 yılı 12 aylık fiili analiz değerleri Çizelge2'de ve termik santrale sevk edilen kömürlerin analiz değerleri Çizelge 3'te verilmiştir [7].

Çizelge 2. Lavvar tesisi 12 aylık fiili analiz değerleri [7]. (Actual analysis of coal washing plant 12 month.)

| | TÜVENAN | | | | ARA ÜRÜN (18-100mm) | | | |
|----------|-----------|-------|---------|---------------------|---------------------|-------|---------|---------------------|
| | Tonaj | Nem | Kül (%) | kJ/kg (kcal/kg) | Tonaj | Nem | Kül (%) | kJ/kg (kcal/kg) |
| Ocak | 173.880 | 33,61 | 49,46 | 7.443 (1.778,07) | 34.837 | 35,57 | 42,82 | 8.380 (2.001,91) |
| Şubat | 147.100 | 33,23 | 53,46 | 6.681 (1.596,03) | 24.352 | 35,47 | 45,32 | 7.991 (1.908,98) |
| Mart | 175.830 | 32,97 | 52,83 | 6.811 (1.627,09) | 25.858 | 36,40 | 41,03 | 8.602 (2.054,95) |
| Nisan | 150.870 | 33,09 | 55,29 | 6.329 (1.511,94) | 23.966 | 36,45 | 40,32 | 8.745 (2.089,11) |
| Mayıs | 177.840 | 32,50 | 53,27 | 6.777 (1.618,97) | 29.943 | 36,36 | 37,78 | 9.226 (2.204,01) |
| Haziran | 209.550 | 31,72 | 51,14 | 7.384 (1.763,98) | 38.303 | 34,59 | 44,72 | 8.209 (1.961,06) |
| Temmuz | 197.320 | 31,30 | 53,44 | 6.936 (1.656,95) | 46.766 | 33,63 | 49,69 | 7.338 (1.752,99) |
| Ağustos | 190.170 | 31,84 | 50,08 | 7.380 (1.763,02) | 53.821 | 34,99 | 41,09 | 8.841 (2.112,04) |
| Eylül | 173.710 | 32,68 | 49,09 | 7.619 (1.820,11) | 51.859 | 35,14 | 42,81 | 8.464 (2.021,98) |
| Ekim | 211.030 | 33,17 | 48,62 | 7.660 (1.829,91) | 56.545 | 34,84 | 41,24 | 8.795 (2.101,05) |
| Kasım | 163.680 | 33,50 | 49,09 | 7.543 (1.801,96) | 37.987 | 33,21 | 40,85 | 8.100 (1.935,02) |
| Aralık | 211.200 | 33,01 | 49,72 | 7.505 (1.792,88) | 53.819 | 34,19 | 44,20 | 8.389 (2.004,06) |
| 12 Aylık | 2.182.180 | 32,68 | 51,18 | 7.200 (1.720,02) | 478.056 | 34,89 | 42,85 | 8.418 (2.010,99) |

| | TOZ TEMİZ (0,5-18mm) | | | | PARÇA KÖMÜR (50-100mm) | | | |
|---------|----------------------|-------|---------|----------------------|------------------------|-------|---------|----------------------|
| | Tonaj | Nem | Kül (%) | kJ/kg (kcal/kg) | Tonaj | Nem | Kül (%) | kJ/kg (kcal/kg) |
| Ocak | 37.639,0 | 37,49 | 34,61 | 9.724 (2.322,98) | 38.924,0 | 41,01 | 19,57 | 11.474 (2.741,04) |
| Şubat | 27.555,0 | 37,25 | 34,95 | 10.113 (2.415,91) | 29.330,0 | 40,19 | 22,21 | 11.248 (2.687,05) |
| Mart | 35.204,0 | 37,49 | 34,93 | 9.578 (2.288,10) | 31.037,0 | 40,57 | 20,77 | 11.516 (2.751,08) |
| Nisan | 25.427,0 | 37,83 | 32,47 | 10.088 (2.409,94) | 21.502,0 | 39,54 | 21,82 | 11.545 (2.758,00) |
| Mayıs | 30.387,0 | 37,25 | 33,57 | 10.164 (2.428,09) | 27.763,0 | 38,92 | 23,43 | 11.465 (2.738,89) |
| Haziran | 46.092,0 | 36,39 | 36,89 | 9.326 (2.227,90) | 36.808,0 | 37,92 | 22,71 | 11.796 (2.817,96) |
| Temmuz | 40.935,0 | 36,75 | 41,19 | 8.548 (2.042,04) | 33.506,0 | 38,12 | 23,17 | 11.637 (2.779,98) |
| Ağustos | 34.673,0 | 38,03 | 37,82 | 8.933 (2.134,02) | 34.995,0 | 38,93 | 21,50 | 11.767 (2.811,04) |
| Eylül | 37.707,0 | 38,93 | 37,58 | 8.812 (2.105,11) | 31.023,0 | 39,72 | 18,63 | 12.043 (2.876,97) |
| Ekim | 45.698,0 | 38,97 | 37,35 | 8.845 (2.113,00) | 39.915,0 | 40,05 | 19,05 | 11.947 (2.854,04) |
| Kasım | 37.870,0 | 36,91 | 35,62 | 8.573 (2.048,02) | 34.972,0 | 39,95 | 20,46 | 11.717 (2.799,09) |
| Aralık | 46.553,0 | 37,86 | 38,92 | 8.765 (2.093,88) | 34.348,0 | 39,04 | 23,33 | 11.390 (2.720,97) |
| Yıllık | 445.740 | 37,55 | 36,62 | 9.184 (2.193,98) | 394.123 | 39,50 | 21,31 | 11.641 (2.780,94) |

Çizelge 3. Termik santrale sevk edilen kömürlerin analiz değerleri [7]. (Analysis results ofc shipped to thermal power plant)

| | EÜAŞ 1-2. Grup | | | | EÜAŞ 1.2+3.Grup | | | | EÜAŞ 1.2+3.4.Grup | | | |
|---------|----------------|-------|-------|---------------------|-----------------|-------|-------|---------------------|-------------------|-------|-------|---------------------|
| | Tonaj | Nem | Kül | kJ/kg (kcal/kg) | Tonaj | Nem | Kül | kJ/kg (kcal/kg) | Tonaj | Nem | Kül | kJ/kg (kcal/kg) |
| Ocak | 268.080 | 34,48 | 48,64 | 7.330 (1.751,08) | 478.840 | 34,26 | 49,40 | 7.212 (1.722,89) | 625.170 | 34,16 | 49,86 | 7.133 (1.704,01) |
| Şubat | 228.460 | 35,48 | 49,68 | 6.974 (1.666,03) | 402.450 | 35,30 | 50,66 | 6.819 (1.629,00) | 524.540 | 35,28 | 50,85 | 6.786 (1.621,12) |
| Mart | 249.880 | 36,19 | 48,79 | 7.032 (1.679,89) | 462.690 | 35,92 | 49,52 | 6.940 (1.657,91) | 623.540 | 35,91 | 49,77 | 6.894 (1.646,92) |
| Nisan | 76.070 | 36,02 | 46,86 | 7.439 (1.777,11) | 305.360 | 35,71 | 48,33 | 7.204 (1.720,97) | 446.510 | 35,81 | 48,28 | 7.196 (1.719,06) |
| Mayıs | 141.000 | 34,88 | 50,46 | 6.932 (1.656,00) | 317.150 | 34,99 | 50,65 | 6.886 (1.645,01) | 474.100 | 34,93 | 50,80 | 6.865 (1.639,99) |
| Haziran | 250.120 | 33,83 | 49,70 | 7.217 (1.724,08) | 298.680 | 33,85 | 49,87 | 7.183 (1.715,96) | 436.260 | 33,87 | 50,38 | 7.079 (1.691,11) |
| Temmuz | 259.840 | 34,16 | 49,78 | 7.179 (1.715,00) | 386.120 | 33,92 | 50,14 | 7.150 (1.708,07) | 562.760 | 33,88 | 50,21 | 7.141 (1.705,92) |
| Ağustos | 256.140 | 33,93 | 48,90 | 7.372 (1.761,11) | 456.040 | 33,49 | 49,41 | 7.334 (1.752,03) | 589.080 | 33,42 | 49,59 | 7.305 (1.745,10) |
| Eylül | 218.410 | 33,70 | 48,77 | 7.397 (1.767,08) | 369.550 | 33,45 | 49,51 | 7.296 (1.742,95) | 489.590 | 33,25 | 50,14 | 7.200 (1.720,02) |
| Ekim | 247.080 | 33,26 | 50,27 | 7.187 (1.716,91) | 450.500 | 33,08 | 51,06 | 7.049 (1.683,95) | 545.420 | 32,98 | 51,40 | 6.995 (1.671,05) |
| Kasım | 240.150 | 33,99 | 49,48 | 7.238 (1.729,10) | 445.410 | 34,01 | 49,96 | 7.141 (1.705,92) | 514.680 | 33,92 | 50,27 | 7.083 (1.692,07) |
| Aralık | 204.260 | 35,15 | 48,69 | 7.208 (1.721,93) | 410.620 | 35,24 | 49,15 | 7.120 (1.700,91) | 581.140 | 35,08 | 49,81 | 7.012 (1.675,11) |
| Yıllık | 2.639.490 | 34,48 | 49,27 | 7.204 (1.720,97) | 4.783.410 | 34,41 | 49,82 | 7.112 (1.699,00) | 6.412.790 | 34,38 | 50,12 | 7.058 (1.686,10) |

Lavvar tesisinin ekserji verimi ve ekserji giriş ve çıkış değerlerinin belirlenmesinde kullanılan β faktörleri Çizelge 4’te verilmiştir. Kriplaj tesisinin ekserji verimi ve ekserji giriş ve çıkış değerlerinin belirlenmesinde kullanılan β faktörleri Çizelge 5’te verilmiştir.

Çizelge 4. Kömür yıkama (lavvar) tesisleri β faktörleri [7]. (Coal washing plants β factors.)

| | Jüvenan | Ara Ürün (18-100mm) | Toz Temiz (0,5-18mm) | Kömür (50-100mm) | Kömür (18-50mm) | Parça Kömür (18-100) |
|----------------|----------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Ocak | 1,206 | 1,198 | 1,186 | 1,178 | 1,178 | 1,178 |
| Şubat | 1,219 | 1,203 | 1,181 | 1,178 | 1,179 | 1,178 |
| Mart | 1,216 | 1,197 | 1,188 | 1,176 | 1,168 | 1,176 |
| Nisan | 1,227 | 1,195 | 1,183 | 1,174 | 1,173 | 1,174 |
| Mayıs | 1,214 | 1,189 | 1,183 | 1,173 | 1,174 | 1,173 |
| Haziran | 1,200 | 1,197 | 1,188 | 1,168 | 1,168 | 1,168 |
| Temmuz | 1,207 | 1,208 | 1,199 | 1,170 | 1,173 | 1,170 |
| Ağustos | 1,201 | 1,190 | 1,198 | 1,171 | 1,173 | 1,171 |
| Eylül | 1,200 | 1,195 | 1,202 | 1,170 | 1,172 | 1,170 |
| Ekim | 1,201 | 1,190 | 1,202 | 1,172 | 1,174 | 1,172 |
| Kasım | 1,204 | 1,194 | 1,199 | 1,173 | 1,175 | 1,173 |
| Aralık | 1,203 | 1,193 | 1,199 | 1,174 | 1,177 | 1,174 |

Çizelge 5. Kömür ayıklama (kriplaj) tesisleri β faktörleri [7]. (Coalbreaking plant β factors)

| | EÜAŞ 1-2. Grup | EÜAŞ 3. Grup | EÜAŞ 4. Grup | EÜAŞ 1.2+3. Grup | EÜAŞ 1.2+3.4. Grup |
|---------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------------|--------------------|
| Ocak | 1,211 | 1,214 | 1,217 | 1,213 | 1,214 |
| Şubat | 1,222 | 1,228 | 1,227 | 1,224 | 1,225 |
| Mart | 1,223 | 1,225 | 1,228 | 1,224 | 1,225 |
| Nisan | 1,215 | 1,219 | 1,220 | 1,218 | 1,219 |
| Mayıs | 1,220 | 1,223 | 1,222 | 1,222 | 1,222 |
| Haziran | 1,211 | 1,216 | 1,218 | 1,212 | 1,214 |
| Temmuz | 1,213 | 1,212 | 1,212 | 1,212 | 1,212 |
| Ağustos | 1,208 | 1,206 | 1,209 | 1,208 | 1,208 |
| Eylül | 1,207 | 1,209 | 1,213 | 1,208 | 1,209 |
| Ekim | 1,209 | 1,214 | 1,215 | 1,211 | 1,212 |
| Kasım | 1,211 | 1,215 | 1,219 | 1,213 | 1,214 |
| Aralık | 1,216 | 1,220 | 1,224 | 1,218 | 1,219 |

Linyit çıkartma ve taşıma işlemlerinin enerji denkliği Eş. (23)'te verilmiştir [7].

$$(E_{yakıt,eks} + E_{yakıt,kam} + E_{elek,eks} + E_{töv})_g - (E_{yakıt,eks} \cdot \eta_{yakıt,eks} + E_{yakıt,kam} \cdot \eta_{yakıt,kam} + E_{elek,eks} \cdot \eta_{elek,eks} + E_{töv})_ç = E_{kayıp} \quad (23)$$

$$(m_{yakıt,eks} \cdot AID_{yakıt,eks} + m_{yakıt,kam} \cdot AID_{yakıt,kam} + W_{elek,eks})_g - (m_{yakıt,eks} \cdot AID_{yakıt,eks} \cdot \eta_{yakıt,eks} + m_{yakıt,kam} \cdot AID_{yakıt,kam} \cdot \eta_{yakıt,kam} + W_{elek,eks} \cdot \eta_{elek,eks})_ç = E_{kayıp} \quad (24)$$

burada, dizel ekskavatör motoru efektif verim değeri ortalama ($\eta_{yakıt,eks}$) % 36,73 olarak, dizel kamyon motoru efektif verimi ($\eta_{yakıt,kam}$) % 37,5 ve elektrikli ekskavatör verimi ($\eta_{elek,eks}$) % 80 olarak hesaplamalara dahil edilmiştir [7]. Linyit çıkartma ve taşıma işlemlerinin ekserji denkliği Eş. (25)'te verilmiştir [7].

$$(Ex_{yakıt,eks} + Ex_{yakıt,kam} + Ex_{elek,eks} + Ex_{töv})_g - (Ex_{yakıt,eks} \cdot \eta_{yakıt,eks} + Ex_{yakıt,kam} \cdot \eta_{yakıt,kam} + Ex_{elek,eks} \cdot \eta_{elek,eks} + Ex_{töv})_ç = Ex_y \quad (25)$$

$$(m_{yakıt,eks} \cdot AID_{yakıt,eks} \cdot \beta_{AID,eks} + m_{yakıt,kam} \cdot AID_{yakıt,kam} \cdot \beta_{AID,kam} + W_{elek,eks})_g - \left(m_{yakıt,eks} \cdot AID_{yakıt,eks} \cdot \eta_{yakıt,eks} \cdot \beta_{AID,eks} + m_{yakıt,kam} \cdot AID_{yakıt,kam} \cdot \eta_{yakıt,kam} \cdot \beta_{AID,kam} + W_{elek,eks} \cdot \eta_{elek,eks} + m_{töv} \cdot \left(\left(\frac{v_2^2}{2} \right) + g \cdot (z_2) \right) \right)_ç = Ex_y \quad (26)$$

eşitliği elde edilir. Lavvar (kömür yıkama) tesisi için enerji denkliği Eş. (27)'de verilmiştir [7].

$$(E_{töv} + E_{su} + E_{elek,tv})_g - (E_{BLI} + E_{EÜAŞ} + E_P)_ç = E_{kayıp} \quad (27)$$

$$(m_{töv} \cdot AID_{töv} + m_{su} \cdot h_{su,g} + W_{elek,tv})_g - \left(m_{BLI} \cdot AID_{BLI} + m_{EÜAŞ} \cdot AID_{EÜAŞ} + m_P \cdot AID_P \right)_ç = E_{kayıp} \quad (28)$$

Lavvar (kömür yıkama) tesisi için ekserji denkliği Eş. (29)'da verilmiştir [7].

$$(Ex_{töv} + Ex_{su} + Ex_{elek,tv})_g - (Ex_{BLI} + Ex_{EÜAŞ} + Ex_P)_ç = Ex_y \quad (29)$$

$$E_y = \left(E_{töv} \cdot \beta_{AID,töv} + W_{elek,tv} + m_{su} \cdot \left((h_{su,g} - h_0) - T_0 \cdot (s_{su,g} - s_0) \right) \right)_g - (E_{BLI} \cdot \beta_{AID,BLI} + E_{EÜAŞ} \cdot \beta_{AID,EÜAŞ} + E_P \cdot \beta_{AID,P})_ç \quad (30)$$

Kriplaj (kömür ayıklama) tesisi enerji denkliği Eş. (31)'de verilmiştir [7].

$$(E_{töv} + E_{insan} + E_{elek,kr})_g - (E_{a.k.})_ç = E_{kayıp} \quad (31)$$

$$(m_{töv} \cdot AID_{töv} + \zeta S \cdot e_{insan} + W_{elek,kr})_g - (m_{a.k.} \cdot AID_{a.k.})_ç = E_{kayıp} \quad (32)$$

Kriplaj (kömür ayıklama) tesisi ekserji denkliği Eş. (33)'te verilmiştir [7].

$$(Ex_{töv} + Ex_{insan} + Ex_{elek,kr})_g - (Ex_{a.k.})_ç = Ex_y \quad (33)$$

$$(E_{töv} \cdot \beta_{AID,töv} + \zeta S \cdot \Psi_{insan} + W_{elek,kr})_g - (E_{a.k.} \cdot \beta_{AID,a.k.})_ç = E_y \quad (34)$$

Enerji ve ekserji verimleri ise sırasıyla Eş.(35) ve Eş. (36)'da verilmiştir.

$$\eta = \frac{E_ç}{E_g} \quad (35)$$

$$\varepsilon = \frac{Ex_ç}{Ex_g} = 1 - \frac{Ex_y}{Ex_g} \quad (36)$$

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Kömürün çıkarılması ve araca sarılıp stok sahasına taşınması aşamasında harcanan akaryakıt enerjisi hesabında, akaryakıt dağıtım araçları üzerindeki sayaçlardan alınan değerler ve elektrikli ekskavatörlere ait elektrik tüketim değerleri işletme sayaçlarından

okunan ve yıllık maliyet analizlerinde kullanılan değerlerden oluşmaktadır. Kömür çıkarma ve taşımadaki enerji bileşenleri Çizelge 6'da ve ekserji bileşenleri Çizelge 7'de ve enerji ve ekserji giriş ve çıkış dağılım grafikleri ise sırasıyla Şekil 2 ve 3'te verilmiştir.

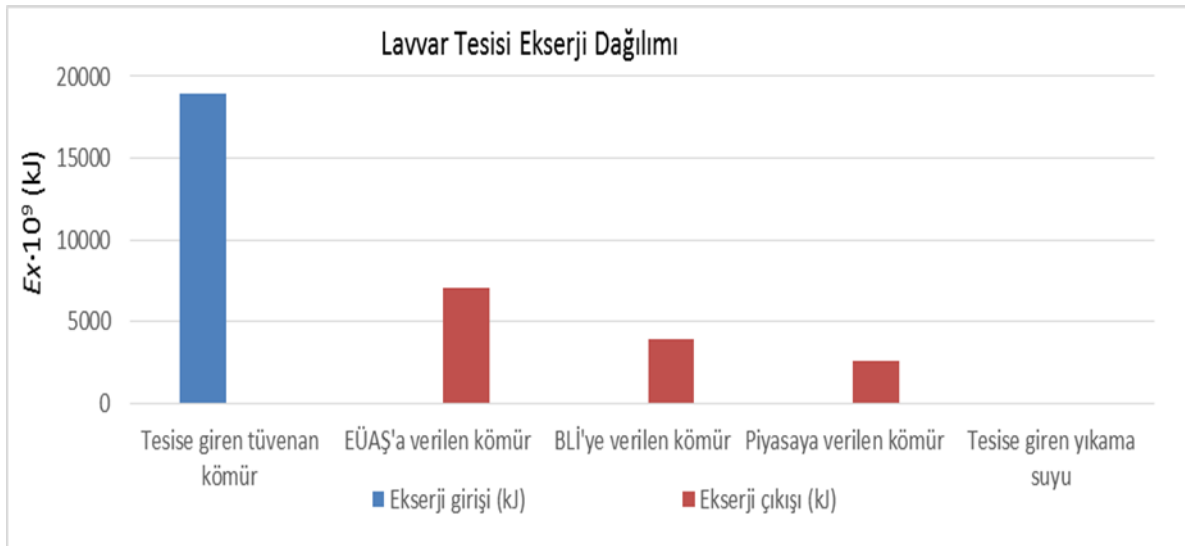
Çizelge 9'da ekserji giriş ve çıkış bileşenleri verilen Lavvar tesisinin ekserji verimi % 71,8 olarak hesaplanmıştır. Kriplaj tesisine giren tüvenan kömür, makine ve teçhizatla harcanan elektrik enerjisi ve insan gücü giren enerjiyi ve ayıklanmış kömürün enerjisi çıkan enerjiyi oluşturmaktadır. Kriplaj tesisine giren ve çıkan enerji bileşenleri Çizelge 10'da ve enerji giriş ve çıkış dağılım grafiği ise Şekil 6'da verilmiştir.

Çizelge 11. Kömür ayıklama tesisi ekserji bileşenleri [7].
(Exergy components of coal extraction plant)

| Kriplaj Tesisi | Miktar | ψ^{CH} (kJ/kg) ψ_{insan} (kJ/kişi) | Ex_g (kJ) | Ex_c (kJ) |
|-------------------------------------|---------------|---|--|--|
| Tüvenan kömür | 6.215.002 ton | 8680 | $5,3957 \cdot 10^{13}$ | |
| Ayıklanmış kömür | 6.078.091 ton | 8605 | 0 | $5,2289 \cdot 10^{13}$ |
| Atıl malzeme | 136.911 ton | 0 | 0 | |
| Tesiste harcanan elektrik ekserjisi | 2.557.290 kWh | - | $9,2 \cdot 10^9$ | |
| İnsan kaynaklı ekserji | 100 kişi | 10.000 | $2,8 \cdot 10^8$ | |
| Toplam | | | $5,3966 \cdot 10^{13}$ | $5,2289 \cdot 10^{13}$ |

Çizelge 6. Kömür çıkarma ve taşımadaki enerji bileşenleri [7]. (Coal extraction and transport energy components)

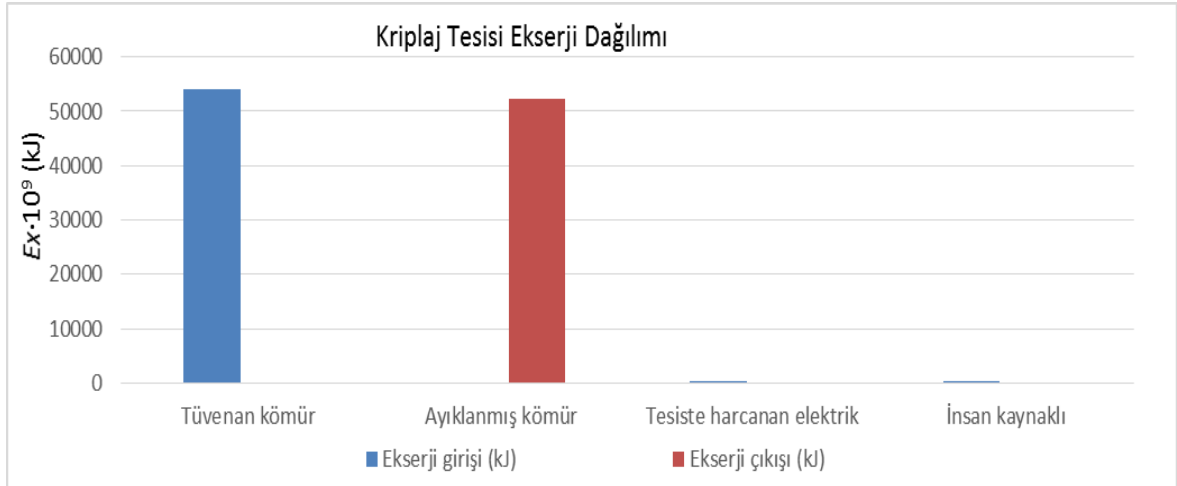
| Kömür çıkarma ve taşıma | Miktar | AID (kJ/kg) | E_g (kJ) | E_c (kJ) |
|--|--------------|-------------|---|--|
| Kamyonlarda harcanan yakıt | 1.859.709 lt | 42.697,2 | $6,59 \cdot 10^{10}$ | $2,47 \cdot 10^{10}$ |
| Hidrolik ekskavatörlerde harcanan yakıt | 1.083.272 lt | 42.697,2 | $3,83 \cdot 10^{10}$ | $1,40 \cdot 10^{10}$ |
| Elektrikli ekskavatörlerde harcanan elektrik | 917.278 kWh | - | $3,3 \cdot 10^9$ | $2,64 \cdot 10^9$ |
| Toplam | | | $10,75 \cdot 10^{10}$ | $4,13 \cdot 10^{10}$ |



Şekil 5. Lavvar tesisi ekserji dağılımı. (Exergy distribution of coal washing.)

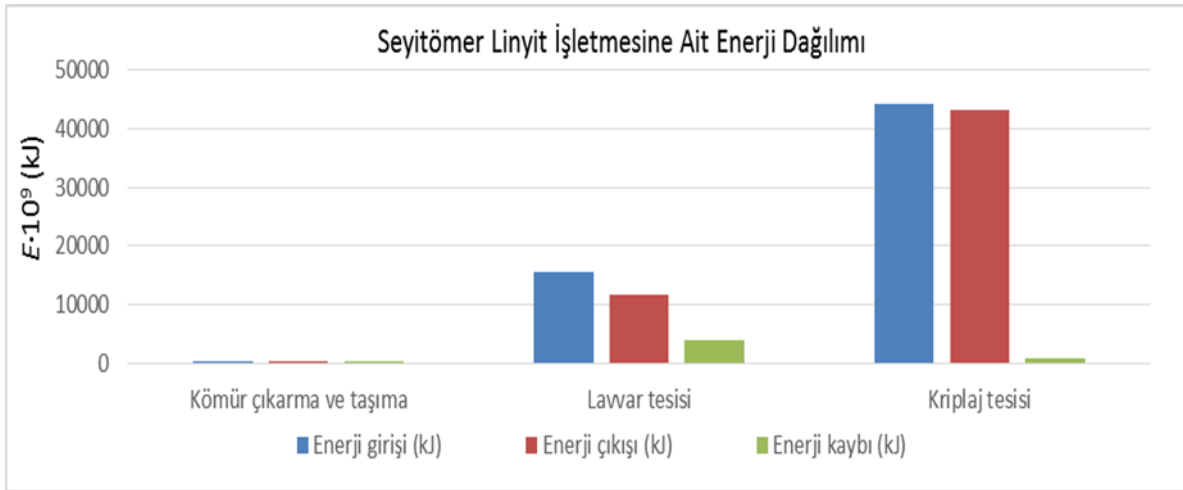
Çizelge 10. Kriplaj tesisi enerji bileşenleri [7]. (Energy components of coalbreaking)

| Kriplaj Tesisi | Miktar | Orijinal birim | AID(kJ/kg) e (kJ/kişi) | E_g (kJ) | E_c (kJ) |
|------------------------------------|-----------|----------------|-----------------------------|--|--|
| Tüvenan kömür | 6.215.002 | ton | 7116 | $4,4227 \cdot 10^{13}$ | - |
| Ayıklanmış kömür | 6.078.091 | ton | 7130 | - | $4,3336 \cdot 10^{13}$ |
| Atıl malzeme | 136.911 | ton | - | - | - |
| Tesiste harcanan elektrik enerjisi | 2.557.290 | kwh | - | $9,2 \cdot 10^9$ | - |
| İnsan kaynaklı enerji | 100 | kişi | 20.000 | $5,6 \cdot 10^8$ | - |
| Toplam | | | | $4,4236 \cdot 10^{13}$ | $4,3336 \cdot 10^{13}$ |

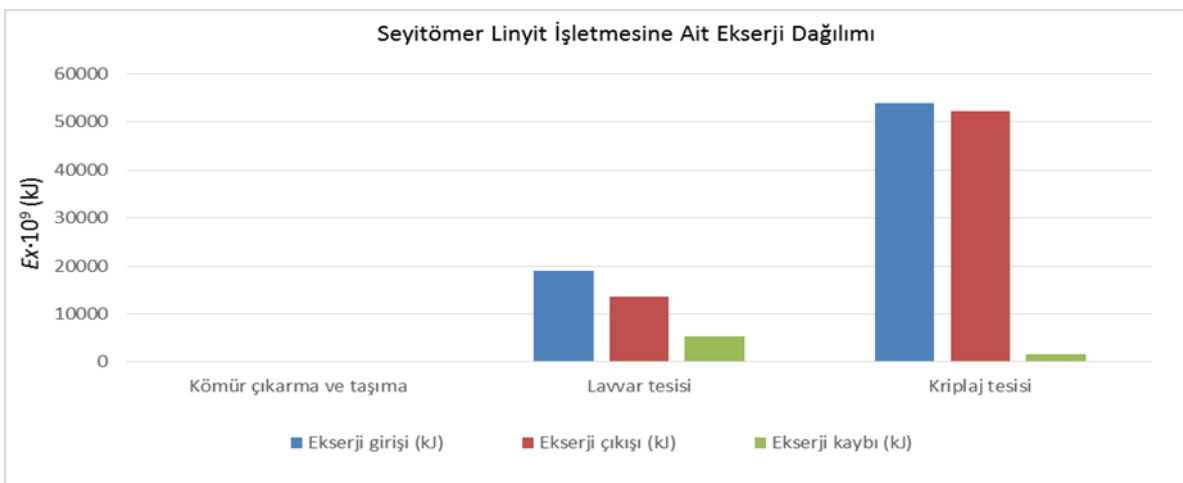


Şekil 7. Kriplaj tesisi enerji dağılımı. (Exergy distribution of coalbreaking.)

Kriplaj tesisinin ekserji verimi % 96,9 olarak ekserji giriş ve çıkış dağılımı grafikleri sırasıyla Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Linyit üretim prosesi enerji dağılımı. (Energy distribution of lignite production process.)



Şekil 9. Linyit üretim prosesi ekserji dağılımı. (Exergy distribution of lignite production process.)

Şekil 8 ve 9 incelendiğinde, en yüksek enerji kaybının ve ekserji yıkımının Lavvar tesisinde gerçekleştiği görülmüştür. Tüm işletme incelendiğinde ise düşük enerji ve ekserji verimi değerleri, kömür çıkarma ve taşıma prosesi için hesaplanmıştır. Seyitömer işletmesinin genel enerji verimi % 91,8 ve ekserji verimi % 90 olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Seyitömer linyit işletmesi kömür üretim prosesi, kömür çıkarma ve taşıma, lavvar ve kriplaj olmak üzere başlıca 3 temel aşamadan oluşmaktadır. Bu üç aşama kendi içerisinde değerlendirildiğinde; kömür çıkarma ve taşıma aşaması enerji verimi % 38 ve ekserji verimi % 37 olarak, lavvar aşaması enerji verimi % 74,7 ve ekserji verimi % 71,8 olarak, kriplaj aşaması enerji verimi % 97,9 ve ekserji verimi % 96,9 olarak hesap edilmiştir.

Buna göre, kömür üretim prosesinde öncelikle ele alınması gereken aşama çıkarma ve taşıma aşamaları olup, bu aşamada temel elemanlar ekskavatör kamyonlardır. Seyitömer Linyit İşletmesinde kullanılan ekskavatörler, dizel motorlu olup, motor verimleri % 38-40 arasında değişirken, elektrik motorlu ekskavatörlerin verimleri %80 mertebesindedir. Ekskavatörlerde, dizel motor yerine, elektrikli motor kullanılması tercih edilmesi sistem verimini artıracaktır. Ayrıca, elektrik enerjisi birim maliyetinin akaryakıttan elde edilen enerjiye göre % 70 daha düşük olması, maliyet açısından da tasarruf sağlayacaktır.

Taşıma işleminde, 85 D Wabco kamyonlar kullanılmakta ve yapılan ölçümlerde enerji verimleri %37-38 olarak hesaplanmış, ancak ekserji veriminin % 8-9 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bunun başlıca nedenleri; araçların eski model olmalarına bağlı aktarma organlarında güç kaybının fazla olması, kapasitelerinden daha düşük yükleme yapılması ve son olarak araçların çoğunda düşük verimli iki zamanlı motorların kullanılmasıdır. Araçların bazılarında deneme amacıyla dört zamanlı Cummins KT 38 tipi 900 Hp motorlar adapte edilmiş, yapılan incelemede bunların %10 daha az yakıt tükettiği görülmüştür. Buna göre, dizel motor tip ve modelinin değiştirilip, yeni teknoloji motor adaptasyonu ve uygun kapasitede yükleme sağlanması sistem verimliliğini artıracaktır.

Lavvar tesisi enerji ve ekserji kaybının en fazla olduğu yerlerden ikinci aşamadır. Bu proses içerisindeki enerji kaybının en büyük nedeni ise enerjinin %90'lık bölümünün, yıkama sırasında toz kömürün de toprakla beraber atılmasıdır. Toz kömürü içeren şlamın ısı değerinin 2300-2500 kJ/kg olduğu dikkate alındığında, %25-30'luk kısmının toz kömür olduğu görülmektedir. Şlam içerisinde atılan toz kömürün tutulması ile bu enerjinin geri kazanımı sistem verimini artıracaktır.

Kriplaj prosesinde enerji kaybının yüzdesi düşüktür. Ancak, yıl içerisinde işlenen kömür miktarının yüksek olması enerji kaybını arttırmaktadır. Buradaki enerji kaybının iki nedeni; kömür kırıcı ve eleklerde kayıpların fazla olması, ve bu aşamada insan gücünden

faydalanılmasıdır. Eskimiş elek ve kırıcıların değiştirilmesi ve optimum insan gücünün kullanılması bu aşamadaki verimi artıracaktır. Önerilen tüm bu verim artırıcı düzenlemelerin ekonomik olarak da değerlendirilmesi yapılmalı, uygun görüldüğü takdirde yatırım planları oluşturulup bir an evvel hayata geçirilmelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>, “Kömür Enerji” , (2016).
- [2] <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dogal-Gaz>, “Doğalgaz Enerji”, (2016).
- [3] Küçükbayrak, S., Basmacı, F. and Kadioğlu E., “Çayırhan, linyitinin kükürdünün hava oksidasyonu ile giderilmesi”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 9(3): (1986).
- [4] Akalın, M., Küçükbayrak, S. and Kadioğlu E., “Çayırhan linyitinin kükürdünün CO₂ ortamında yapılan karbonizasyonla giderilmesi”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 9(4): (1986).
- [5] Rosen, M.A. and Dincer, I., “Exergy analysis of waste emissions”, *International Journal of Energy Research.*, 23: 1153-1163, (1999).
- [6] Lobachyov, V. K. and Ritcher, H.J., “High efficiency coal-fired power plant of the future”, *Energy Conversion and Management*, 38: 1693-1699, (1996).
- [7] Saraydar, M., “Seyitömer Linyit İşletmesi Birinci ve İkinci Yasa Çözümlemesi”, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, (2011).
- [8] Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., “*Thermal Design And Optimization*”, John Wiley & Sons Inc., 542, (1996).
- [9] Ahrendts, J., “Reference states”, *Energy*, 5: 667-677, (1980).
- [10] Gholamian, E., Mahmoudi, S.M.S. and Zare, V., “Proposal, exergy analysis and optimization of a new biomass-based cogeneration system”, *Applied Thermal Engineering* 93: 223-235, (2016).
- [11] Seyitoglu, S.S., Dincer, I. and Kilicarslan, A., “Energy and exergy analyses of hydrogen production by coal gasification”, *International Journal of Hydrogen Energy*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.08.228>, (2016).
- [12] Kotas, T.J., “*The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*”, Krieger Publishing Company: Malabar, FL, (1995).
- [13] Sayın, C., Hosoz, M., Canakci, M. and Kilicaslan, I., “Energy and exergy analyses of a gasoline engine”, *International Journal of Energy Research* 31(3): 259-273, (2007).
- [14] http://www.eie.gov.tr/duyurular_haberler/document/SEN_VER_15_Usul_ve_Esaslar_Ek2.pdf, Enerji Kaynaklarının Alt Isıl Değerleri ve Petrol Eşdeğerine Çevrim Katsayıları, (2016).
- [15] Hepbaşlı, A., “A study on estimating the energetic and exergetic prices of various residential energy sources”, *Energy and Buildings*, 40(3): 308–315, (2008).
- [16] Çalışkan, H., Hepbaşlı, A., 2010, “Energy and exergy prices of various energy sources along with their CO₂ equivalents”, *Energy Policy*, 38(7): 3468-3481, (2010).
- [17] Beyhan, Y., “İşçi Sağlığı - İş Güvenliği Ve Beslenme”, Sağlık Bakanlığı Yayınları, Yayın no: 726, Ankara, (2008).