



ÇUMRA ŞEKER FABRİKASI ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN EKSERJİ ANALİZİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Burak TÜRKÖZÜ¹, Dilek Nur ÖZEN², Kemal ALTINIŞIK³

¹Çumra Şeker Entegre Tesisleri

42500, Çumra, KONYA, b_turkozu@hotmail.com

²Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

42031 Selçuklu, KONYA, dnozen@selcuk.edu.tr

³Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

42031 Selçuklu, KONYA, kaltinisik@selcuk.edu.tr

(Geliş Tarihi: 11. 11. 2009, Kabul Tarihi: 11. 01. 2010)

Özet: Bu çalışmada, Çumra Şeker Fabrikası şeker üretim süreci sürekli akışlı açık sistem olarak kabul edilerek ve 2006/2007 yılının işletme verileri kullanılarak termodinamiğin ikinci kanununa göre analiz edilmiştir. Sürece ait enerji ve ekserji sonuçları kullanılarak termodinamiğin I. Kanun ve II. Kanun verimleri hesaplanmıştır. Giren ve çıkan ürünlerin ekserji değerleri kullanılarak Grassman diyagramı çizilmiştir. Çalışmanın neticesinde sistemdeki önemli kayıplar sayısal olarak ortaya konmuş ve enerji tasarrufu yapılabilecek yerler tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ekserji analizi, Şeker fabrikası analizi, endüstriyel tesis analizi.

THE ENERGY EFFICIENCY UTILIZATION OF THE CUMRA SUGAR FACTORY WITH EXERGY ANALYSIS

Abstract: In this study the production process Cumra Sugar Factory has been accepted as a continuous flow open system, and production process of the system, and production process of the system has been analysed according to the second law of thermodynamics by using the values of 2006/2007 years. The efficiency of first and second laws of thermodynamics has been calculated by using the results of energy and exergy belonging to the process. The grassman diagram has been drawn by considering the values of exergy input and output. As a result of the study, the important losses in the system have been pointed out as numerical, and the zones, where energy saving will be ensured, have been designated.

Keywords: Exergy analysis, sugar factory analysis, industry analysis

SİMGE VE KISALTMALAR

C_p	Özgül izobar ısı kapasitesi [kJ/(kg K)]	P_{00}	Standart ölü durum basıncı [kPa]
E	Ekserji [kJ]	Q	Isı transferi [kW]
\dot{Q}		R	İdeal gaz sabiti [kJ/kg K]
\dot{E}	Termal ekserji [kW]	\tilde{R}	Molar gaz sabiti [kJ/kmol K]
\dot{E}_k	Kinetik ekserji [kW]	s	Entropi [kJ/kg°C]
\dot{E}_p	Potansiyel ekserji [kW]	T	Zaman [s]
\dot{E}_{ph}	Fiziksel ekserji [kW]	T	Sıcaklık [K]
\dot{E}_{kim}	Kimyasal ekserji [kW]	T_0	Çevre sıcaklığı [K]
h	Entalpi [kJ/kg]	\dot{W}_{max}	Maksimum iş [kW]
I	Tersinmezlik [kJ/kg]	ΔT	Sıcaklık farkı [K]
P	Basınç [kPa]	ΔP	Basınç farkı [kPa]
P_0	Standart çevre (Atmosfer) basıncı [kPa]		

Yunan Harfleri

ε_{ph} Özgül fiziksel ekserji [kJ/kg]

\sim	
ε	Molar ekserji [kJ/kmol]
ε_0	Kimyasal ekserji [kJ/kg]
ψ	Rasyonel verimlilik
$\dot{\Pi}$	Entropi üretimi [kJ/(s.K)]

Alt İndisler

ph	Fiziksel
IN	Giriş
kimM	Kimyasal karışım
OUT	Çıkış

GİRİŞ

Enerji kaynaklarının büyük bir kısmı endüstriyel tesislerde ve konutlarda ısı enerjisi olarak kullanılmakta ve enerji fosil yakıtlar ile sağlanmaktadır. Ülkemiz fosil kökenli yakıt kaynaklarının yetersiz olmasından dolayı enerji kaynağı temininde dışa bağımlıdır. Bu nedenle enerji tüketiminde ekonomik davranmak bütün işletmelerin temel hedefleri arasında yer almalıdır. Enerjinin ekonomik kullanılabilmesi işletmelerin hem girdilerini düşürecek hem de çevreye verilen zarar daha aza indirilmiş olacaktır. Enerjinin etkin kullanımında işletmelerin ilgili prosesleri için ekserji terimi ve ekserji analizi önem taşımaktadır. Ekserji analizi, proseslerin termodinamik analizlerinde, kütle ve entalpi dengesinden sonraki üçüncü adımını oluşturmaktadır. Ekserji analizinin amacı, enerji degradasyonundan kaynaklanan ekserji kayıplarının büyüklüğünü ve tesiste bu kayıpların kaynaklandığı noktaları saptamaktır. Ekserji analizinin sonuçları çevreye daha az atık bırakan, doğal kaynakları daha az kullanarak üretimi sağlayan yeni teknolojilerin gelişmesine yön gösterdiğinden oldukça faydalı olmaktadır. Bu çalışmada, Çumra Şeker Fabrikası'nın şeker üretim sürecinin baştan sonuna kadar geçen ilgili prosesleri için ekserji analizi yapılmıştır. Fabrika buhar-enerji santrali, ham şerbet üretimi, şerbet arıtım, şerbet buharlaştırma, rafineri, şeker kurutma-soğutma, fabrika su sistemi üniteleri olmak üzere yedi farklı bölüm olarak ayrı ayrı incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Son olarak fabrika bütünü içinde aynı şekilde verim analizi yapılmıştır. Kullanılan bütün veriler Çumra Şeker Fabrikasının 2006/2007 işletme ortalamalarından alınmıştır. Çalışmanın sonucunda sistemdeki önemli enerji kayıplarının hangi süreçlerde ve ne miktarlarda ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu çalışmanın neticesinde sistemdeki enerji kayıplarını en aza indirebilmek için hangi bölgelerde iyileştirmeler yapılması gerektiği ortaya konmuştur. Süreçte yapılabilecek iyileştirmeler ve ilave enerji geri kazanım yatırımları ile yakıt tüketimi ve enerji giderleri azalacak, üretim maliyeti düşecektir. Bu durum aynı zamanda, fosil yakıt tüketimini azaltacağından ekolojik dengeye, insan sağlığına ve ekonomiye olumlu katkı sağlayacaktır. Bu konu ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır [11–14].

0	Standart çevre şartları
00	Standart ölü hal

Üst İndisler

\sim	Birim mol için
\cdot	Birim zaman

Kısaltmalar

100 p.g. 100kg birim pancara göre
% GAEGO Giren akımların ekserjisine göre % oran

MATERYAL VE METOT

Tesis aşağıdaki 7 ana üniteye bölünerek detaylı bir şekilde incelenmiştir:

- Şerbet üretim ünitesi
- Şerbet arıtım ünitesi
- Buharlaştırma (Şerbet koyulaştırma) ünitesi
- Rafineri Ünitesi
- Barometrik kondenseler (yoğuşturucular)
- Fabrika su sistemi
- Enerji üretim ünitesi

Yedi ana ünitenin ayrı ayrı hesaplanmasının ardından fabrika tümünü kapsayan bir şekilde madde, entalpi ve ekserji bilançosu hazırlanmış ve ekserji bant diyagramı çizilmiştir. Bu ünitelerde şeker pancarından şeker üretim süreci meydan tesislerinde başlar. Meydan tesisi, şeker pancarının kabulünün yapıldığı ve işleme alınması için gerekli işlemlerin yapıldığı ünite. Ham fabrika ünitesinde ilk olarak pancardan ham şerbet elde edilir, daha sonra safsızlaştırmak için şerbet arıtım istasyonuna gelir. Şerbet arıtım istasyonunda elde edilen sulu şerbet buharlaştırma (evaporatör) istasyonunda koyulaştırılarak koyu şerbet üretilir.

Rafineri ünitesinde ise gelen koyu şerbet pişirim aparatlarında lapa ve sonrasında santrifüj ekipmanlarında kristal şeker olur. Rafineriden çıkan kristal şeker ambalajlama ve depolamaya uygun nem ve sıcaklığa sahip olmadığından şeker kurutma ve soğutma ünitesine giderek nemi alınır ve soğutulur. Bütün bu süreçlerde kullanılan ısı ve elektrik enerjisi ise enerji üretim (kazan) ünitesinde üretilmektedir.

Şerbet Üretim ve Şerbet Arıtım Üniteleri

Şerbet üretim ünitesi pancarın kıyım haline getirilerek prosese alındığı ilk ünite. Fabrikasının kapasitesi bu üniteye alınacak olan pancarın miktarıyla doğru orantılı olarak diğer üniteleri de etkilemektedir. Şerbet arıtım ünitesi şerbetin birinci ve ikinci kademe filtrelerinden geçirilip, süzülerek sulu şerbet haline getirildiği ünite.

Buharlaştırma (Şerbet Koyulaştırma) Ünitesi

Buharlaştırma ünitesi şerbetin koyulaştırılması işinin ve fabrika tamamının ısı enerjisi dağılımının yapıldığı ünedir. Şerbet arıtım ünitesinde elde edilen ve yaklaşık 16,5 kuru maddeye sahip sulu şerbet, buharlaştırıcılarda %68 – 72 kuru maddeli olacak şekilde yoğunlaştırılır. 5 kademeli buharlaştırma ünitesinde şerbetten elde edilen buhar, fabrikadaki diğer ünitelere dağıtılır.

Rafineri Ünitesi

Bu ünite fabrikada sofralık kristal şekerin elde edildiği kısımdır. Buharlaştırma ünitesinden gelen %68 – 72 kuru maddeli koyu şerbet bu üniteye vakum pişirim aparatlarında lapa haline getirilmektedir. Çumra Şeker Fabrikasında üçlü pişirim sistemi uygulanmaktadır. Pişirimler kristal şeker (A), orta şeker (B) ve son şeker (C) olarak adlandırılmaktadır. A pişiriminden elde edilen lapa santrifüj makinelerinde işlenmekte ve kristal taneleri ile kalan sıvı birbirinden ayrılmaktadır. Santrifüjlerden ayrılan bu sıvıya şurup denmektedir ve bir sonraki pişirime gönderilmektedir. Son şeker lapasından çıkan şurup ise melastır. Melas kampanya esnasında depolanan ticari bir üründür. Santrifüj makinelerinden elde edilen nemli kristal şeker kurutma ve soğutma işlemlerine tabii tutularak satışa veya kullanıma hazır hale gelir.

Barometrik Kondenserler (Yoğusturucular)

Yoğusturucular da soğutma kulesinden gelen yaklaşık 25 °C soğuk su buharın üstüne püskürtülerek yoğunlaşması ve vakum oluşturması sağlanır. giren ve çıkan ürünlerin enerji ve ekserji değerleri **Tablo1**'de verilmiştir. Fabrika ünitelerinin tersinmezlik oranları **Tablo 2**'de verilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan debi, sıcaklık, basınç, % olarak çözelti içerisindeki kuru madde oranı gibi ölçüm verileri Çumra Şeker Fabrikası'ndan alınmıştır. Sürecin tamamı için yapılan madde, enerji ve ekserji bilançolarının sonucunda çizilen ekserji Grassman diyagramı **Şekil 2**'de verilmiştir.

TEORİK ANALİZ

Şeker üretim süreçlerinde ekserji analizleri için kullanılacak eşitlikler bu bölümde verilmiştir. Sürekli akan bir kütle için ekserjisi sahip olduğu şartlardan ölü nokta şartlarına getirilmesi sırasında elde edilebilecek maksimum işe eşittir. Göz önüne alınan kütle için çevre dışında herhangi bir sistemle etkileşim halinde olmadığı kabul edilir. Aşağıdaki eşitlik kütle için kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal ekserjilerinden oluşan toplam ekserji miktarını göstermektedir.

$$\dot{E} = \dot{E}_k + \dot{E}_p + \dot{E}_{fiz} + \dot{E}_{kim} \quad (1)$$

Püskürtme suyunun debisi istenilen vakum değerine göre değişkendir. Yoğusturucu içinde buharın ve soğutma suyunun birleşmesi sonucu yaklaşık 54–55°C ılık su oluşmaktadır. Bu su soğutma kulelerine gönderilerek çevre havası ile tekrar sıcaklığı 25 °C' ye düşürülmekte ve yoğusturucular da tekrar soğutma suyu olarak kullanılmaktadır.

Fabrika Su Sistemi

Buharlaştırıcıda, kazan dairesinden gelen ısıtma buharı ile şerbet koyulaştırılmaya başlanır ve her kademede şerbetten elde edilen buhar bir sonraki kademenin ısıtma buharını ve diğer ısıtıcıların buharını oluşturmaktadır. Buharlaştırıcı ve diğer ünitelere gönderilen ısıtma buharları yoğunlaşmakta ve buharlaştırıcı ünitesinde ve rafineri ünitesinde bulunan genişleme depolarında birirmektedir. Genleşme deposuna gelen kondens suyu buharlaştırıcılara giren %16,5 kuru maddeli sulu şerbetin %72 kuru maddeli koyu şerbet olacak şekilde yoğunlaştırılması esnasında şerbetten buharlaştırılan miktar kadardır.

Enerji Üretim Ünitesi

Şerbet üretim ünitesi, şerbet arıtım ünitesi, rafineri ünitesi ve fabrika su sistemi gibi fabrikanın ana ünitelerini oluşturan bölümlerde kullanılan ısı ve elektrik enerjisi, enerji üretim (kazan) ünitesinde üretilmektedir. Ekserji ve enerji analizinde süreçler sürekli akışlı açık sistemler olarak kabul edilmiştir ve kütle için, enerjinin korunumu ilkeleri ile termodinamiğin ikinci yasasından faydalanılmıştır. Sürecin tamamına ait

Fiziksel ekserjide çevre şartlarına gelme durumudur, çevreye sadece ısı transferi olacak şekilde düşünülür ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$\varepsilon_{ph1} = (h_1 - T_0 s_1) - (h_0 - T_0 s_0) \quad (2)$$

Fiziksel ekserji ile ilgili denklem mükemmel gazlar için düzenlenip yazılırsa gazlar için aşağıda verilen ekserji denklemi elde edilir.

$$\varepsilon_{ph} = C_p (T - T_0) - T_0 (C_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0}) \quad (3)$$

Kimyasal ekserji ' ε_0 ' ifadesi ile gösterilmektedir. Fiziksel ekserji akımının T_0 ve P_0 çevre şartlarına geldiği, kinetik ve potansiyel enerjisinin olmadığı durum ile belirlenmektedir. Kimyasal ekserji için ise bu durum başlangıç olarak kabul edilmektedir. Kimyasal ekserji aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$\tilde{\varepsilon} = \tilde{R} \cdot T_0 \cdot \ln \frac{P_0}{P_{00}} \quad (4)$$

Gaz yakıtın kimyasal ekserjisinin hesaplanabilmesinde yakıt maddesinin karşılaştırılabilmesi için çevre

şartlarında madde karşılığı olmamasından dolayı ilave bir güçlük doğmaktadır. Bu sorunun giderilebilmesi için yakıtta O₂ verilerek tersinir kimyasal reaksiyon yapıldığı kabulü ile yakıt çevre şartlarındaki referans bir maddeye dönüştürülür.

Gaz karışımların kimyasal ekserjilerinin hesaplanmasında gaz karışımını oluşturan her bir gaz ayrı ayrı ele alınarak ekserjileri hesaplanmalı ve sonunda bulunan sonuçlar toplanmalıdır. Aşağıdaki bağıntı, gaz karışımlarının kimyasal ekserjilerinin hesaplanmasında kullanılır [6].

$$\tilde{\varepsilon}_{kimM} = \sum_i \tilde{x}_i \varepsilon_{O_i} + RT_0 \sum_i \tilde{x}_i \ln x_i \quad (5)$$

Kontrol hacminin ekserji analizi yapılırken proses sanki dengede kabul edilmektedir, ekserji balansı aşağıdaki şekilde ifade edilir [6].

$$\dot{E}_i + \dot{E}^Q = \dot{E}_e + \dot{W}_x + \dot{I} \quad (6)$$

Açık sistemlerde tersinmezliklerin belirlenmesi için kullanılan eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$\dot{I} = T_0 \dot{\Pi} \quad (7)$$

Termal tesislerin analizinde termodinamiğin 1. kanun verimleri ve termodinamiğin ikinci kanununa dayanan prosesin tersinmezliğine bağlı olan rasyonel verim kullanılmaktadır. Termal tesislerin performans kriterinin incelenmesinde aşağıdaki eşitlikten faydalanılır.

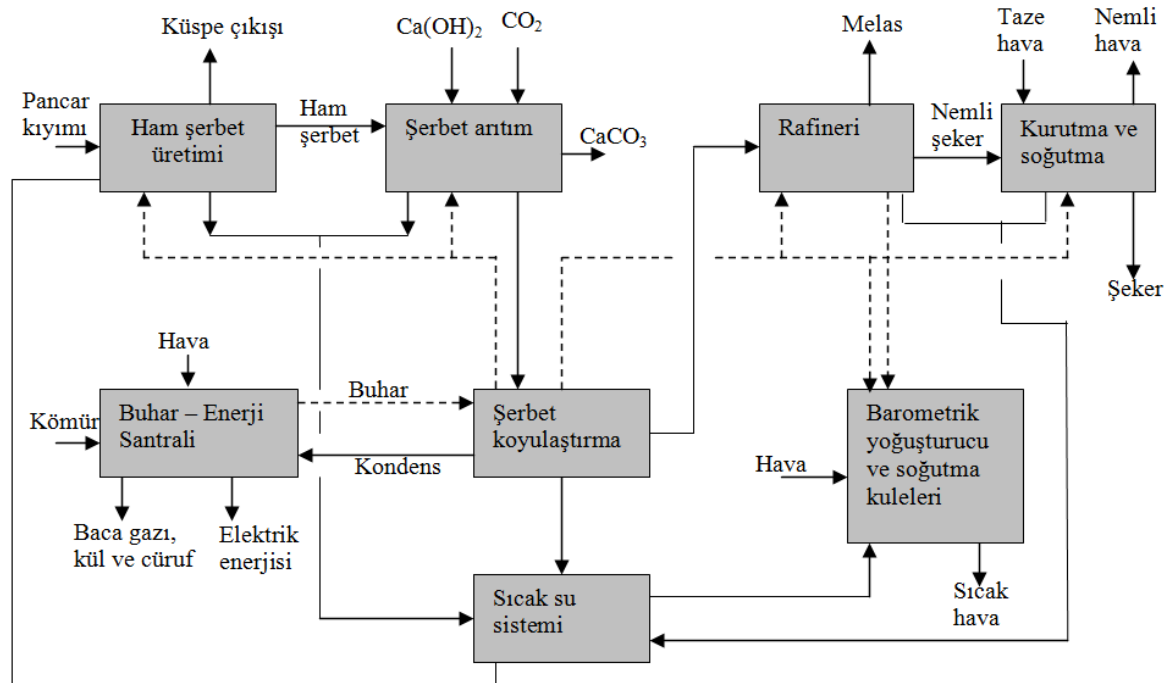
$$\sum \Delta \dot{E}_{IN} = \sum \Delta \dot{E}_{OUT} + \dot{I} \quad (8)$$

Çıkan ekserjinin giren ekserjiye oranı 1'den küçük olmak zorundadır. Eğer sistem tam tersinir ise o zaman ancak 1'e eşit olabilir. Bu eşitlik rasyonel verimlilik olarak ifade edilir ve ψ ile gösterilmektedir. Sürecin ikinci verimi aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\psi = \frac{\sum \Delta \dot{E}_{OUT}}{\sum \Delta \dot{E}_{IN}} \quad (9)$$

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Fabrikanın genel ekserji analizi yapılırken her bir üniteden diğer üniteye olan madde, enerji ve ekserji akışları dikkate alınmıştır. Fabrikanın hammadde girdisi pancar, yakıt ve hava olan 1, 37 ve 39 nolu akımlardır. Çıkan akımlar olarak ise sıkılmış küspe, CaCO₃, şeker, melas, baca gazı ve elektrik enerjisidir. Şeker kurutma ve soğutma ünitesindeki tersinmezlikler fabrika geneline oranla çok düşük olmasından dolayı tablo ve hesaplamada rafineri ünitesi içinde değerlendirilmiştir.



Şekil 1 Fabrika tamamına ait blok diyagramı

Tablo 1 Fabrika geneli madde, enerji ve ekserji bilançosu

	Akım No:	Akımın İsmi	m	Enerji	Ekserji	%
			100 pg	kJ /100pg	kJ/100pg	GAEGO
I. Ünite Ham Şerbet Üretimi	Üniteye giren akımlar					
	1	Pancar (Taze kıyım)	100	7620	0	0,0
	2	Gerekli Buhar	1,86	4978	974	1,2
	3	Difüzyon Besleme Suyu	29,5	8027	419	0,4
	Üniteden çıkan akımlar					
	5	Ham Şerbet (haşlama sonrası)	110	13640	220	0,2
6	Sıklımlı Küspe	19,4	3579	97	0,1	
II. Ünite Şerbet Arıtım Üretimi	Üniteye giren akımlar					
	5	Ham Şerbet (haşlama sonrası)	110	13640	220,0	0,2
	9	Şerbet Arıtım Toplam Isıtma Suyu Girişi	276,11	83235	5206	5,3
	10	Şerbet Arıtım İçin Gerekli Isıtma Buharı	4,97	13263	2478	2,5
	11	Sıcak Ana Kireçleme Kireç Sütü	5	1625	0	0,0
	12	Son Kireçleme Kireç Sütü	0,5	0	0	0,0
	13	Toplam CO2 Gazı Girişi	1,6	0	0	0,0
	Üniteden çıkan akımlar					
	14	Şerbet Arıtım Isıtma Suları Çıkışı	265,7	61073	2294	2,3
	17	Sulu Şerbet	112	39424	4816	4,9
19	CaCO3 (PKF çamuru)	5,60	0	0,0	0,0	
III. Ünite Şerbet Koyulaştırma	Üniteye giren akımlar					
	20	1. Buharlaştırıcı Proses Buharı Girişi	25,06	68499	17184	17,4
	17	Sulu Şerbet	112	39424	4816	4,9
	Üniteden çıkan akımlar					
	22	1. Buharlaştırıcı Kondensi (kazan dönüşü)	25,06	13583	1759	1,8
	3	Ham Şerbet Üretimi İçin Gerekli Buhar	1,86	4978	974	1,2
	10	Şerbet Arıtım İçin Gerekli Isıtma Buharı	4,97	13263	2478	2,5
	25	Rafineri İçin Gerekli Isıtma Buharı	13,4	35934	7263	7,3
	26	Su Sistemine Gidiş	73,82	29560	2593	3,4
	27	Koyu Şerbet	26	6578	489	0,5
IV. ve V. Ünite Rafineri ve Şeker Kurutma Soğutma	Üniteye giren akımlar					
	27	Koyu Şerbet	26	6578	489	0,5
	25	Rafineri İçin Gerekli Isıtma Buharı	13,4	35934	7263	7,3
	Üniteden çıkan akımlar					
	30	Şeker	13,8	120	0	0,0
	31	Su Sistemine Dönüş	21,76	36312	3914	4,0
32	Melas	4,91	859	36,825	0,04	
VI. Ünite Fabrika Su Sistemi	Üniteye giren akımlar					
	33	Genleşme Tankından Gelen Sıcak Su	89,18	34334	2863	2,9
	34	Pişirim Aparatlarındaki Buharlaştırma	12,57	32770	3581	3,6
	35	5. Evaporatör Kondenser Buharı	0,5	1331	239	0,2
	Üniteden çıkan akımlar					
	36	Soğutma Kulesi Çıkış Suyu	385	43505	65	0,0
VII. Ünite Enerji Üretimi Enerji Ünitesi	Enerji Dairesi Giren akımlar					
	37	Yakıt (Kömür)	9,42	89895	98882	100
	22	Kazan Besi Suyu Girişi	25,06	12358	1759	1,8
	39	Taze Yanma Havası	32,84	10072	0,07	0,0
	Enerji Dairesi Çıkan akımlar					
	40	Kazan Cüruf ve Kül Çıkışı	2,17	0	0	0,0
	41	Baca Gazı	35,67	14018	5919	6,0
	20	Buhar Soğutma Vanası Sonrası Proses Buharı	25,06	68499	17184	17,4
43	Türbinden Elde Edilen Elektrik Enerjisi	-	7938	7938	8,0	

Bu çalışmaya benzer bir çalışma yapan; Şahin, vd. 2007 [11], Kayseri şeker fabrikasındaki ekserji analizlerinde buldukları tersinmezlik değerlerinden daha düşük değerler elde edilmiştir. Fabrika genelindeki en büyük tersinmezlik enerji üretim dairesinde meydana gelmektedir. Bunun en büyük nedeni yanma reaksiyonu sırasında oluşan tersinmezliklerdir. Yanma reaksiyonunun daha iyi kontrolü ile verimlilik artırılabilir. Ayrıca baca gazının atık ısısından daha fazla faydalanarak enerji tasarrufu yapılabilir. Buharlaştırma ünitesinde meydana gelen tersinmezliğin fabrika geneline oranı %5,50 olarak bulundu, ünitenin kendi iç verimi %70,77'dir. Buharlaştırma ünitesinde kondensere giden buharın kullanılması ile ısı ekonomisi sağlanabilir. Buharlaştırma ünitesinden su sistemine giden sıcak sudan faydalanılabilir. Su sistemindeki en büyük kayıp şerbetten elde edilen düşük sıcaklık ve basınçtaki buharın yoğunlaştırıcı da su haline getirilerek kısmen ısıtma amaçlı kullanıldıktan sonra soğutma kulesinde hava ile cehren soğutulmasından kaynaklanmaktadır. Kondensere (yoğuşturucuya) gelen buhardan veya 55°C suyun ısısından faydalanılması ile bu üniteye kayıplar önenebilecektir. Rafineri ve şeker kurutma ünitesinde kayıplar sürecin geneline oranla %3,8 olarak bulundu. Rafineri ünitesinde pişirim sırasında kuru madde oranının giderek yükselmesi ve buna bağlı olarak kaynama noktasındaki artışlardan dolayı kayıplar artmaktadır. Rafineriden ürün olarak çıkan akımlar olan

KAYNAKLAR

Ahern, J.E., The Exergy Method of Energy Systems Analysis, John Wiley & Sons, NewYork, A.B.D., 1980.

Bayrak, M., Midilli, A., Nurveren, K., Energy and exergy analyses of sugar production stages. International Journal of Energy Research 27:989-1001, 2003.

Çamdalı, Ü., Erişen, A. ve Çelen, F., "Energy and Exergy Analyses in a Rotary Burner with Pre-Calcinations in Cement Production", Energy Conversion and Management, Cilt 45, 3017-3031, 2004.

Günther, F., <http://www.holon.se/folke/kurs/Distans/Ekofys/fysbas/exergy/exergybasics.shtml>, 2006.

Koçyiğit, E., Kayseri Şeker Fabrikası Şeker Üretim Proseslerinde Enerji ve Ekserji Analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2004.

Kotas, T., J., The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, Anchor Brendon Ltd, London, 1985.

Merkel, J., Reduction of energy consumption by the Austrian sugar factories in the period 1990 – 2002, Agrana Zucker GmbH, Reitherstraße 21-23, A-3430 Tulln, Austria, 2002.

Nurveren, K., Bor Şeker Fabrikası Buharlaştırma Sistemlerinin Ekserji Analizi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Yüksek Lisans Tezi, Niğde, 2001.

şeker ve melasın faydalanılabilecek enerjisi bulunmamakta. Şeker kurutma ve soğutma ünitesinde şekerin soğutulması işleminden sonra ısınmış hava çevreye verilmektedir. Burada bu ısıtılmış havanın ısından faydalanarak bir miktar ısı ekonomisi sağlanabilir. Fabrika genelindeki tersinmezlikler ile karşılaştırıldığında ham şerbet üretim sürecindeki tersinmezliğin oranı %1,3 olarak bulundu. Bu kaybın oranı sürecin genelindeki tersinmezliklere oranla oldukça düşük kalmakta. Üniteye ısıtma amaçlı giren buhar ve besleme suyu dışında sadece pancar girmektedir. Pancar çevre şartlarında fabrikaya girdiğinden herhangi bir kullanılabilecek enerjiye sahip değildir. Üniteye yalıtımın daha iyi yapılması ile ısı ekonomisi biraz daha iyileştirilebilir. Üniteyi terk eden sıkılmış küspenin daha fazla kuru madde oranı ile ve daha düşük sıcaklıkta süreci terk etmesi sağlanarak verimlilik artırılabilir. Şerbet arıtım tesisindeki kayıplar ise %0,69 bulunmuştur. Tesiste ısı kayıpları çok az olmaktadır. Kayıplar ısı değiştiriciler ve ekipmanlarda oluşmaktadır. Şerbet arıtım ünitesinin yardımcı tesisi olan kireç ocağı bu çalışmadaki hesaplamalarda dikkate alınmamıştır. Fabrikada tasarrufun yapılabilmesi için çekişin işletme şartlarına bağlı olarak mümkün olan en düşük seviyede tutulması sağlanmalıdır. Bu oranda prosese giren su miktarı ve dolayısıyla enerji tüketimi azaltılmış olacaktır.

Ram, J., R., Banerjee, R., Energy and cogeneration targeting for a sugar factory. Applied Thermal Engineering 23, 1567–1575, 2003.10. Szargut, J.,

Morris, D.R. ve Steward, F.R., Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Process, Hemisphere Publishing Corporation, New York, A.B.D., 1988.

Şahin, M., H., Acır, A., Baysal, E., Koçyiğit, E., Enerji ve Ekserji Analiz Metoduyla Kayseri Şeker Fabrikasında Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 22, No 1, 111-119, Ankara, 2007.

Tekin, T., Erzurum Şeker Fabrikası Ekserji Analizi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, Erzurum, 1995.

Tekin, T., Exergy Analysis of the Sugar Production Process From Sugar Beets. International Journal of Energy Research 22:591-601, 1995.

Tekin T., Bayramoğlu, M., Exergy and structural analysis of raw juice production and steam-power units of a sugar production plant. Energy 26 287-297, 2001.

Wall G., Exergy-a Useful Concept, Physical Resource Theory Group, PhD. Chalmers Univ.of Technology, Göteborg, Sweden, 1986.

Wall G. Exergy Flows in Industrial Processes. *Energy*; 13(2): 197-208, 1998.