

## Endüstriyel Pekmez Üretim Sürecinde Enerji Analizi

Seda Genç ✉

Yaşar Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, 35100, Bornova, İzmir

Geliş Tarihi (Received): 13.03.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 07.04.2017

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): [seda.genc@yasar.edu.tr](mailto:seda.genc@yasar.edu.tr) (S. Genç)

☎ 0 232 570 86 36 📠 0 232 570 70 00

### ÖZ

Dünyanın hızlı artan nüfusu sonucunda, her geçen gün daha fazla enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Türkiye'deki enerji tüketimi incelendiğinde imalat sanayi, %40'lık payla en büyük tüketici konumundadır. Sanayi kolları içerisinde, gıda sanayi de enerjinin yoğun olarak kullandığı bir sektördür. Bu nedenle, gıda sanayinde enerjinin verimli kullanılması büyük önem arz etmektedir. Pekmez, yüksek enerji içeriği ve mineral madde zenginliği açısından önemli bir gıda maddesidir. Uzun yıllardır geleneksel yöntemlerle üretilen pekmez, günümüzde endüstriyel olarak da üretilmektedir. Bu çalışmada, pekmezin endüstriyel üretim sürecinde enerji kullanımı incelenmiştir. Endüstriyel pekmez üretiminde, üzümün yıkanmasıyla başlayan süreç sırasıyla, sap ayırma-ezme, presleme, separasyon, ısıtma-asit giderme, soğutma, filtrasyon, durultma, son filtrasyon, vakum evaporasyon ve soğutma ile sonlanmaktadır. Bu çalışmada, her bir üretim basamağının ve bir bütün olarak sistemin enerji analizi yapılarak, enerji verimlilikleri değerlendirilmiştir. Termodinamik analiz sonucuna göre sistemin birinci yasa verimi %71.2 bulunmuştur ve sistemin enerji analizi sonuçları Sankey diyagramı kullanılarak gösterilmiştir. Sonuç olarak, 1 kg pekmez üretimi için 5.57 kg üzüme gereksinim duyulduğu ve üretim sürecinde gerekli termal ve elektrik enerjisi ihtiyacının sırasıyla 3695 kJ ve 39.51 kJ ve toplam enerji ihtiyacının 3734.51 kJ olduğu hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji, Pekmez, Enerji verimliliği, Termodinamik

### Energy Analysis in Industrial Grape Molasses (Pekmez) Production Process

#### ABSTRACT

Energy demand has been increasing as a result of the rapid population growth of the World. When the energy consumption in Turkey is examined, with a share of 40%, industrial production is the biggest consumer. Among industry, food industry is an energy intensive sector. For this reason, efficient use of energy in food industry is of great importance. Grape molasses (pekmez) is an important food in terms of high energy and mineral matter content. Grape molasses (pekmez), which has been produced for many years by traditional methods, is also produced industrially. In this study, the use of energy in the industrial production process of grape molasses has been investigated. The production process starts with the washing of grapes, destemming-crushing, pressing, separation, heating-acid removal, cooling, filtration, clarification and final filtration, and ends up with vacuum evaporation and cooling process. Energy analysis was carried out for each production unit, and the energy efficiencies were calculated accordingly. Results showed that first law efficiency of the whole system was 71.2%, and the energy analysis results of the production line were schematized by means of Sankey diagram. In conclusion, 5.57 kg grape was necessary to produce 1 kg grape molasses, and the total energy requirement was calculated as 3734.517 kJ where thermal and electrical energy requirements were 3695 kJ and 39.51 kJ, respectively.

**Keywords:** Energy, Grape molasses (pekmez), Energy efficiency, Thermodynamics

## GİRİŞ

Ülkemiz, bağcılık için oldukça elverişli bir coğrafi yapıya sahip olması nedeniyle yüzyıllardan beri Anadolu'da üzüm yetiştiriciliği yapılmaktadır. Türkiye, dünyada üzüm hasat edilen alana sahip olan ülkeler sıralamasında beşinci, üzüm üretimi sıralamasında da üçüncü sırada yer almaktadır [1]. Üzümün sofralık olarak kullanımının yanı sıra şaraplık, kurutmalık, sirke, pekmez, pestil, reçel, meyve suyu gibi mamül ürünler şeklinde değerlendirilme olanağı da bulunmaktadır. Ülkemizde ise üretilen üzümlerin yaklaşık %40'ı kurutulularak, %25'i sofralık, %20'si sirke, pekmez ve pestil yapılarak, yaklaşık %15'i de alkollü içki üretiminde kullanılmaktadır [2].

Pekmez, meyve şirasının kaynatılarak koyulaştırılması ile şeker içeriği yüksek olan üzüm, dut, kayısı, erik ve benzeri meyvelerden elde edilen önemli bir geleneksel gıda olmakla birlikte, en yaygın olarak üzüm ve duttan üretilmektedir [3]. İçeriğinde bulunan yüksek miktarda karbonhidrat, organik asitler, mineral maddeler ve vitaminler nedeniyle beslenme açısından da önemli bir gıda maddesidir [4].

Ülkemizde 2012 yılında 219 işletmede, 25.855,42 ton pekmez üretilmiştir. Üzüm pekmezi, üretilen pekmezler içinde işletme sayısı (117 adet) ve pekmez miktarı olarak (43.773.88 ton/yıl) birinci sırada yer almaktadır [5]. Türk Gıda Kodeksi Üzüm Pekmezi Tebliği'nde üzüm pekmezinin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmektedir. Tebliğde pekmez suda çözünür katı madde oranına göre katı (%68) ve sıvı (%80), pH derecesine göre ekşi (pH 3.5-5) ve tatlı pekmez (pH 5-6) olmak iki çeşitte sınıflandırılmıştır. Ayrıca pekmezlerde bulunabilecek maksimum HMF, kül miktarı ile şeker ve organik asit miktarları tebliğde belirtilmektedir [6].

İmalat sanayi içinde, gıda üretim süreçleri, ısıtma ve soğutma işlemlerinin yaygın olarak uygulanması nedeniyle, enerjinin yoğun olarak kullanıldığı sistemlerdir. Her geçen gün daha fazla enerjiye gereksinim duyulması ve fosil kaynakların hızla tükeniyor olması sebebiyle, enerjinin etkin ve verimli bir biçimde kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, gıda üretim süreçlerinde enerji analizinin yapılması büyük önem teşkil etmekte; mühendislik ve termodinamik bilgileri ışığında gıda üretim sistemlerinin kütle ve enerji akışlarının belirlenerek, hesaplamaların dikkatli bir biçimde yapılması gerekmektedir. Endüstriyel pekmez üretim sürecinde de ısıtma ve soğutma işlemlerinin yaygın olarak kullanılması, sistemde tüketilen enerji miktarını arttırmaktadır. Bu nedenle, pekmez üretim sisteminde enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için sistemin modellenerek termodinamik analiz ve performans değerlendirmesi yapılmalıdır.

Literatürde gıda üretim süreçlerinin enerji analizlerine ilişkin çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Erbay ve İçier [7] enerjinin Türkiye ve Dünya'daki durumu ile ilgili genel bir değerlendirme yaparak, tarımsal ürünlerin işlenmesinde kullanılan enerjinin çok büyük bir kısmını (%60'dan fazla) tüketen gıda kurutma işlemi için ekserji analizi uygulama yöntemini ve gıda kurutmasında

uygulamalarının önemini belirtilen bir derleme çalışması yapmışlardır [7]. Sorgüven ve Özilgen [8], aromalı yoğurt üretim sürecinin çevreye olan etkilerini enerji ve ekserji kullanımı ve karbondioksit emisyonu açısından incelemiştir. Çalışma kapsamında çilekli yoğurt üretimi için kullanılan enerji mekanizmaları tarımsal maddelerin yetişmesi için gerekli olan güneş enerjisi, otoburların et ve süt üretimi için tükettikleri otlar için gereken enerji ve çilekli yoğurdun endüstriyel üretim süreci için gereken enerji olarak üç bölümde incelenmiş ve termodinamik analizi yapılmıştır. Bir başka çalışmada, Türkiye'de bulunan bir şeker fabrikası model olarak seçilerek, şeker pancarından şeker üretimi sürecinin her basamağı, fabrikanın çalışması için gereken enerji üretim süreçleri de dahil olmak üzere detaylı bir biçimde incelenmiş ve tüm üretim sürecinin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Ayrıca, sistemde en iyi enerji ve ekserji verimini sağlamak için optimizasyon çalışması yapılmıştır [9]. Söğüt ve ark. [10] dört etkili evaporatör sistemine sahip salça üretim tesisinin verilerini kullanarak enerji ve ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir. Diğer bir çalışmada, Balkan ve ark. [11] konsantre portakal suyu üretiminin yapıldığı bir fabrikanın performans değerlendirmesini yapmışlardır. Genç ve ark. [12] kırmızı şarap üretim sürecinin enerji ve ekserji analizini yaparak, sistemin birinci ve ikinci yasa verimini hesaplamışlardır. Zisoupoulos ve ark. [13] ekserji analizinin gıda endüstrisi uygulamaları, analiz yöntemi ve kullanılan ekserji indikatörleri ile ilgili geniş bir literatür derlemesi yapmışlardır. Bu konuda şimdye kadar yapılmış çalışmaların çok büyük bir kısmının (%66) kurutma ile ilgili olduğunu, evaporasyon ile ilgili çalışmaların ise sadece %4 oranında olduğunu rapor etmişlerdir [13].

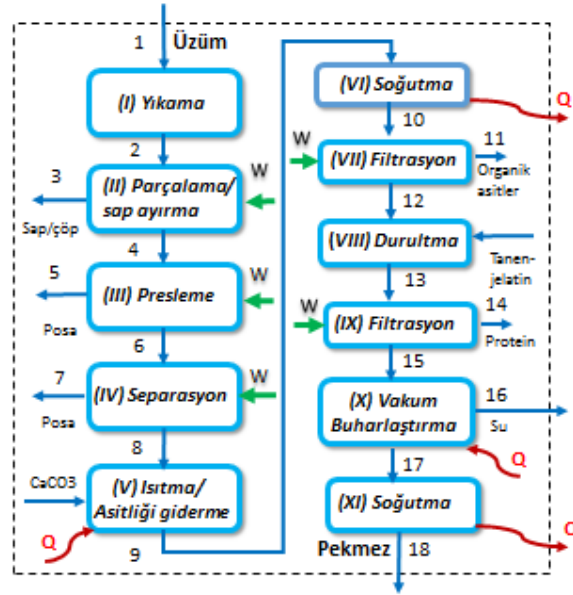
Literatür araştırması sonucunda pekmez üretim sürecinin modellenmesine ait herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı, modern yöntemle yapılan endüstriyel üzüm pekmezi üretim sürecini modelleyerek, süreç boyunca enerji analizini gerçekleştirmektir. Çalışmada özellikle üretim süreci boyunca sistemde yer alan her bir birim işlem sırasında sıcaklık, ısıtma ve soğutma gibi işlemlerin akımlar üzerindeki etkileri göz önüne alınmıştır. Pekmez üretim süreci boyunca sistemin enerji ihtiyacı belirlenerek; gerek sera gazları salımını azaltmak gerekse de ekonomik maliyeti düşürmek için olası enerji tasarruf noktaları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada, kırmızı üzümün hammadde olarak kullanıldığı endüstriyel pekmez üretim süreci, madde ve enerji denklemleri kurularak termodinamiğin birinci yasası temel alınarak analiz edilmiştir. Bu çalışmayla, literatürde ilk defa teorik olarak pekmez üretim süreci boyunca madde ve enerji akışlarını göstererek, üretim sürecinin enerji verimliliğini tespit etmek ve enerji verimliliğini arttırmak için sistemde yer alan birim işlemlerin iyileştirilmesine katkı sağlamak amaçlanmaktadır.

## SİSTEM TANITIMI

Şekil 1'de endüstriyel üzüm pekmezi üretim sürecinin akım şeması gösterilmiştir. Buna göre, üretim süreci yıkama işlemi ile başlayıp pekmez üretimi ile son bulmaktadır. Üretim süreci, buhar, su ve elektriğin

kullanıldığı ısıtma, soğutma, filtrasyon, seperasyon gibi işlemler içermektedir. Üretim hattı boyunca ilk olarak hasadı yapılan kırmızı üzüm fabrikaya gelerek havuzlu yıkama tankına beslenirler (akım 1). Bu sayede üretim için uygun olmayan meyveler ayrılmakta ve meyve üzerindeki toz, toprak, tarım ilaç kalıntıları uzaklaştırılarak hammaddedeki mikrobiyal yük azaltılmış olmaktadır. Yıkama sonrasında üzüm saplarında bulunan fenolik maddelerin ve klorofilin pekmezin renk ve tadını olumsuz yönde etkilemesinin önlenmesi için, üzüm salkımları saplarından ve çöplerinden ayıklanmak ve parçalama/ezme amacıyla sap alıcı/parçalayıcı kombine sistemine girerler (akım 2) [3]. Bu aşamada sapından ve çöpünden ayrılan üzümler parçalanarak mayşeyi (akım 4) oluştururlar ve presleme işlemi için hazır hale gelirler. Ardından mayşe pnömomatik preste sıkılarak üzüm şırası olarak adlandırılan üzüm suyu (akım 6) elde edilir ve posa (çekirdek, kabuk vb.) dışarı atılır (akım 5). Mevcut şıranın içinde bulanıklıkların olması sebebiyle şıra (akım 6) separatöre beslenir ve kalan posa da ayrılarak şıranın berrak hale gelmesi sağlanır. Separasyon işlemi sonucunda elde edilen şıranın (akım 8) içeriğinde bulunan malik ve tartarik asit, CaCO<sub>3</sub> ilave edilerek ısıtılır, bunun sonucunda hem

asitlik giderilir hem de mikrobiyal faaliyetler önlenmiş olur [14]. Isıtma sonucunda soğutulan şıra (akım 10) organik asitlerin bertaraf edilmesi için filtrasyona tabii tutulur. Asitliği giderilmiş şıranın içinde bulunan ve bulanıklığa sebep olan pektin ve proteinlerin son ürün kalitesini olumsuz etkilememeleri için şıraya tanen-jelatin ilave edilerek durultma işlemi uygulanır ve filtrasyon işlemiyle proteinler uzaklaştırılır [15]. Filtrat konsantre edilmek üzere etkili, borusal eşanjörlü inen film vakum evaporatöre girer ve %72 kuru madde miktarına ulaşmaya kadar evaporasyona devam edilir [16]. Şıranın buharı kondens kolonda yoğunlaşarak vakum pompasıyla (akım 16) uzaklaştırılır. Vakum evaporatörden çıkan pekmez (akım 17) hemen soğutmalı tanka alınarak 25°C'ye kadar soğutulur ve dolum ünitesine gitmek için hazır hale gelir (akım 18). Asitliği gidermek için uygulanan ısıtma işlemi (V), şırayı konsantre etme amaçlı uygulanan vakumlu buharlaştırma (X) ve soğutma (VI ve XI) ısı enerjisinin kullanıldığı işlemlerdir. Vakum evaporatöre ısı 250.6 kPa basınçta buhar kazanından elde edilen buharla sağlanmaktadır [17]. Sistemde enerji kaynağı olarak elektrik enerjisi ve buhar üretimi için de doğal gaz kullanılmaktadır.



Şekil 1. Endüstriyel tatlı sıvı pekmez üretim süreci

## MODELLEME (TEORİK ANALİZ)

Pekmez üretimini gerçekleştirebilmek için gereken enerji miktarının belirlenmesi için ilk olarak pekmez üretim hattındaki madde ve enerji girdilerini belirlemek gerekmektedir. Çalışmada kullanılan veriler literatürden alınan teorik bilgilere dayanmaktadır [3, 14-16, 18]. Sistem 1kg/s üzüm işleyecek şekilde modellenmiştir.

Kütlenin korunumu genel bir ifadeyle Denklem 1'de gösterilmektedir:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_c \quad (1)$$

Bu denklemde  $\dot{m}_g$  ve  $\dot{m}_c$  sırasıyla üretim sürecine giren ve çıkan kütle akış hızlarını sembolize etmektedir. Genel enerji denkliği ise üretim sürecine giren toplam enerjinin süreçten çıkan enerjiye eşitliği olarak tanımlanır ve Denklem 2'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_c \quad (2)$$

Enerji denkliği tüm terimleri ile yazıldığında Denklem 3'teki halini alır.

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_g h_g = \dot{W} + \sum \dot{m}_\zeta h_\zeta \quad (3)$$

$$c_p(T) = \sum_i x_i c_{p,i} \quad (4)$$

Şekil 1'deki pekmez üretim sisteminde yer alan akımların spesifik özgül ısıları ( $c_p$ ) her bir akımın kompozisyonuna bağlı olarak hesaplanmıştır (Denklem 4).

Denklem 4'te yer alan  $x$  terimi akımların kompozisyonunda yer alan her bir bileşenin kütle oranını simgelemektedir ve bileşenlere ait  $c_p$  değerlerinin hesaplamaları Tablo 1'de yer alan denklemler kullanılarak yapılmıştır [19].

Tablo 1. Kompozisyona ve sıcaklığa ( $^{\circ}\text{C}$ ) bağlı olarak akımların spesifik özgül ısıları [19].

Kompozisyon	Spesifik Özgül Isı
Karbonhidrat	$c_p = 1.5488 + \frac{1.9625}{10^3} T - \frac{5.9399}{10^6} T^2$
Protein	$c_p = 2.0082 + \frac{1.2089}{10^3} T - \frac{1.3129}{10^6} T^2$
Yağ	$c_p = 1.9842 + \frac{1.4733}{10^3} T - \frac{4.8008}{10^6} T^2$
Kül	$c_p = 1.0926 + \frac{1.8896}{10^3} T - \frac{3.6817}{10^6} T^2$
Su	$c_p = 4.1762 - \frac{9.0864}{10^5} T + \frac{5.4731}{10^6} T^2$

Spesifik özgül ısının hesaplanmasında kullanılan pekmeze ait kompozisyon Tablo 2'de yer almaktadır [18]. Diğer akımların kompozisyonları ve  $c_p$  değerleri Genç ve ark. [12] çalışmalarında belirttiği şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 2. Pekmezin kompozisyonu (18)

Bileşen	Yüzde (%)
Karbonhidrat	69.52
Protein	0.62
Yağ	0
Kül	1.86
Su	72
Toplam	100

Üretim sürecinde yer alan her bir birim operasyonun ve tüm sistemin enerji verimliliği ise sistemden çıkan ürünün enerjisinin giren akımın enerjisine oranı olarak kabul edilerek enerji verimliliği değerleri bulunmuştur (Denklem 5).

$$\eta_{enerji} = \frac{\dot{E}_{ürün}}{\dot{E}_{giren}} \quad (5)$$

Endüstriyel pekmez üretim sürecinde yer alan her bir birim operasyona ait kütle ve enerji denklıkları ile enerji verimliliği ifadeleri Tablo 3'te özetlenmiştir.

Pekmez üretim sürecinin modellenmesi esnasında aşağıda belirtilen kabuller yapılmıştır [3, 12, 14-18]:

- Sistem kararlı hal koşullarında çalışmakta ve süreç boyunca kararlı akış koşulları geçerlidir.
- Sistem elemanlarından dış ortama ısı transferi olmadığı kabul edilmektedir.

- Sap alma/parçalama ünitesinden çıkan sap/çöp miktarı sisteme giren üzümün %6'sını oluşturmaktadır.
- Presden (III) çıkan posa miktarı %40'tır.
- Separatörden (IV) çıkan posa miktarı giren akımın %5'ini oluşturmaktadır.
- Asitlik giderme için kullanılan  $\text{CaCO}_3$  ile durultma için kullanılan tanen-jelatin miktarları takip eden filtrasyon (VII-IX) süreçlerinde sistemden uzaklaştırıldıkları için kütle ve enerji denklıklarında hesaba katılmamışlardır.
- Filtrasyon (VII) sonrası atığın (protein) kütle debisi giren akımın %1'i kadardır.
- Vakum evaporasyon 81.46 kPa basınç ve  $60^{\circ}\text{C}$  de gerçekleşmiş ve evaporatörde 250.6 kPa basınçta doymuş buhar kullanılmıştır.
- Üretim sonucu elde edilen pekmezin kuru maddesi %72'dir.

Sistem yukarıda verilen belirtilen kabuller doğrultusunda EES (Engineering Equation Solver) paket programı kullanılarak modellenmiş ve sonuçlar Microsoft Office Excel programıyla grafik haline getirilmiştir (20).

## BULGULAR

Bu çalışmada, kırmızı taze üzümünden yapılan, endüstriyel tatlı sıvı pekmez üretim sürecinin enerji analizi gerçekleştirilmiştir. Bütün sistemin ve sistemde yer alan her bir komponentin enerji verimliliği hesaplanarak, 1 kg pekmez üretimi için gereken üzüm miktarı, termal enerji ve iş gereksinimi hesaplanmıştır. Şekil 1'de ifade edilen sistemin çalışma koşullarındaki termodinamik özellikleri Tablo 4'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Endüstriyel pekmez üretim sürecinde her bir birim işlemde kullanılan kütle, enerji ve enerji verimliliği denklemleri

Sistem Komponenti	Kütle ve Enerji Denkliği	Sistem Komponenti	Kütle ve Enerji Denkliği
I	$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$ $m_1 c_{p,1} T_1 = \dot{m}_2 c_{p,2} T_2$ $\eta_I = \frac{\dot{m}_2 c_{p,2} T_2}{m_1 c_{p,1} T_1}$	VII	$\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} + \dot{m}_{12}$ $\dot{m}_{10} c_{p,10} T_{10} + \dot{W}_{VII} = \dot{m}_{11} c_{p,11} T_{11} + \dot{m}_{12} c_{p,12} T_{12}$ $\eta_{VII} = \frac{\dot{m}_{12} c_{p,12} T_{12}}{\dot{m}_9 c_{p,9} T_9 + \dot{W}_{VII}}$
II	$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + \dot{m}_4$ $\dot{m}_2 c_{p,2} T_2 + \dot{W}_{II} = \dot{m}_3 c_{p,3} T_3 + \dot{m}_4 c_{p,4} T_4$ $\eta_{II} = \frac{\dot{m}_4 c_{p,4} T_4}{\dot{m}_2 c_{p,2} T_2 + \dot{W}_{II}}$	VIII	$\dot{m}_{12} = \dot{m}_{13}$ $\dot{m}_{12} c_{p,12} T_{12} = \dot{m}_{13} c_{p,13} T_{13}$ $\eta_{VIII} = \frac{\dot{m}_{13} c_{p,13} T_{13}}{\dot{m}_{12} c_{p,12} T_{12}}$
III	$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 + \dot{m}_6$ $\dot{m}_4 c_{p,4} T_4 + \dot{W}_{III} = \dot{m}_5 c_{p,5} T_5 + \dot{m}_6 c_{p,6} T_6$ $\eta_{III} = \frac{\dot{m}_6 c_{p,6} T_6}{\dot{m}_4 c_{p,4} T_4 + \dot{W}_{III}}$	IX	$\dot{m}_{13} = \dot{m}_{14} + \dot{m}_{15}$ $\dot{m}_{13} c_{p,13} T_{13} + \dot{W}_{IX} = \dot{m}_{14} c_{p,14} T_{14} + \dot{m}_{15} c_{p,15} T_{15}$ $\eta_{IX} = \frac{\dot{m}_{15} c_{p,15} T_{15}}{\dot{m}_{13} c_{p,13} T_{13} + \dot{W}_{IX}}$
IV	$\dot{m}_6 = \dot{m}_7 + \dot{m}_8$ $\dot{m}_6 c_{p,6} T_6 + \dot{W}_{IV} = \dot{m}_7 c_{p,7} T_7 + \dot{m}_8 c_{p,8} T_8$ $\eta_{IV} = \frac{\dot{m}_8 c_{p,8} T_8}{\dot{m}_6 c_{p,6} T_6 + \dot{W}_{IV}}$	X	$\dot{m}_{15} = \dot{m}_{16} + \dot{m}_{17}$ $\dot{m}_{15} c_{p,15} T_{15} + \dot{Q}_X = \dot{m}_{16} c_{p,16} T_{16} + \dot{m}_{17} c_{p,17} T_{17}$ $\eta_X = \frac{\dot{m}_{17} c_{p,17} T_{17}}{\dot{m}_{15} c_{p,15} T_{15} + \dot{Q}_X}$
V	$\dot{m}_8 c_{p,8} T_8 + \dot{Q}_V = \dot{m}_9 c_{p,9} T_9$ $\eta_V = \frac{\dot{m}_9 c_{p,9} T_9}{\dot{m}_8 c_{p,8} T_8 + \dot{Q}_V}$	XI	$\dot{m}_{17} = \dot{m}_{18}$ $\dot{m}_{17} c_{p,17} T_{17} - \dot{Q}_{XI} = \dot{m}_{18} c_{p,18} T_{18}$ $\eta_{XI} = \frac{\dot{m}_{18} c_{p,18} T_{18}}{\dot{m}_{17} c_{p,17} T_{17}}$
VI	$\dot{m}_9 c_{p,9} T_9 - \dot{Q}_{VI} = \dot{m}_{10} c_{p,10} T_{10}$ $\eta_{VI} = \frac{\dot{m}_{10} c_{p,10} T_{10}}{\dot{m}_9 c_{p,9} T_9}$	Tüm sistem	$\eta_3 = \frac{\dot{m}_{18} c_{p,18} T_{18} + \dot{m}_{16} c_{p,16} T_{16} + \dot{Q}_{VI} + \dot{Q}_{XI}}{m_1 c_{p,1} T_1 + \dot{W}_{tot} + \dot{Q}_V + \dot{Q}_X}$

Sistemde yer alan her bir birim operasyona (komponente) ait enerji kapasiteleri Tablo 5'te özetlenmektedir. Buna göre, sistemin en fazla ısı kapasitesine sahip komponenti 499.5 kW değeri ile vakum evaporatördür (X), ardından sırasıyla 73.44 kW ile soğutucu (VI) - ısıtıcı (V) ve 16.92 kW ile sistemde yer alan diğer soğutucu (XI) gelmektedir. Sistemin toplam enerji gereksinimi 670.48 kW'dır.

Sistemde yer alan her bir birim işlemin ve tüm sistemin enerji verimliliği Denklem 5'e göre hesaplanmış olup sonuçlar Şekil 2'de gösterilmektedir. Buna göre, sistemde enerjetik açıdan en verimsiz birim işlem en düşük enerji verimliliğine sahip olan (%13.05) vakum evaporatördür (X). Vakum evaporatörü %60.62 enerji verimliliğine sahip olan pnömomatik pres (III) ve soğutma (VI) ünitesi takip etmektedir. Tüm sistemin enerji verimliliği ise %71.2 olarak hesaplanmıştır. Vakum evaporatörde enerji verimliliği hesaplanırken evaporatörden çıkan ürünün yalnızca pekmez olduğu düşünülerek hesaplama yapılmıştır. Evaporasyon esnasında şıradan buharlaşan su buharı miktarını da kullanılmaya potansiyeli olduğunu düşünerek pekmezle beraber ürün olarak kabul ettiğimizde enerji verimliliği %89 değerine ulaşmaktadır.

Şekil 2'de Yıkama (I), Isıtma (V), Durultma (VIII) işlemlerinin enerji verimliliği %100 olarak görülmektedir.

Enerji verimliliği hesaplamaları birim işlemde çıkan ürünün enerjisinin, o ürünü üretmek için sisteme giren akımların toplam enerjisine oranı olarak tanımlanmıştır (Denklem 5). Bu bağlamda, I, V ve VIII numaralı birim işlemlerde ürünün enerjisi sisteme giren akımların enerjisine eşit olduğu ve modelleme için yapılan kabuller doğrultusunda sistem komponentlerinden dış ortama herhangi bir ısı transferi olmadığı için enerji verimliliği %100 olarak bulunmuştur.

Sistemde harcanan toplam enerji miktarının dağılımı analiz edildiğinde, toplam enerjinin %85'inin ısıtma amaçlı, %14'ünün soğutma amaçlı ve %1'inin de iş olarak tüketildiği görülmektedir (Şekil 3).

Şekil 5'te teorik veriler ışığında yapılan modelleme çalışması kapsamında, sisteme beslenen üzümün debisinin soğutma, ısıtma ve toplam ısı yükü ile iş üzerine olan etkisi parametrik olarak incelenmiştir. Şekil 5'ten görüleceği üzere, pekmez üretiminde sisteme 1 kg/s üzüm beslendiğinde toplam ısı (soğutma + ısıtma) yükü ve iş sırasıyla 663 ve 7.1 kW olarak bulunmuştur. Üzümün kütle akış hızının ısı yükü ve iş üzerine etkisini belirlemek için sistem 0.5-5 kg/s kütle akış hızında çalıştırıldığında, artan kütle artış hızına paralel olarak toplam ısı yükü ve iş gücünün arttığı görülmektedir. Üretim hattına 0.5 kg/s üzüm beslendiğinde toplam ısı yükü ve gerekli iş sırasıyla 331.7 ve 3.55 kW iken

sisteme 5 kg/s debiyle beslenen üzüm için 3317 kW ısı enerjisine ve iş için de 35.5 kW elektrik enerjisine gereksinim olduğu belirlenmiştir.

Sistemde her bir birim işlemde yer alan enerji akımları, Şekil 4'te Sankey diyagramı kullanılarak özetlenmiştir.

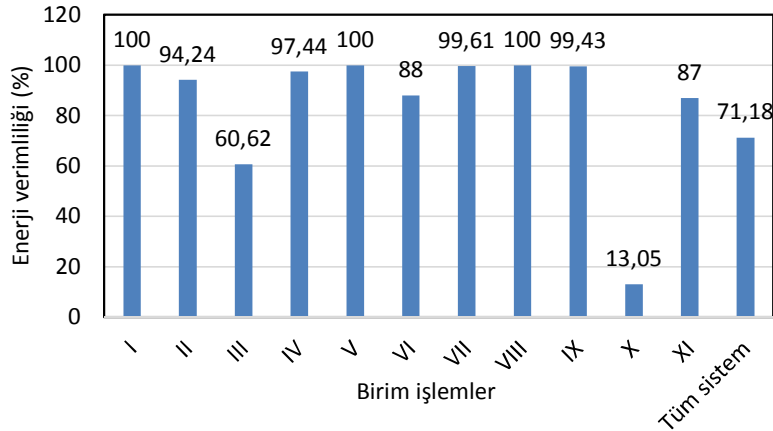
Sonuç olarak 1 kg pekmez üretimi için 5.57 kg üzüm ihtiyaç olduğu; üretim sürecinde gerekli ısı (termal) ve elektrik enerjisi ihtiyacının sırasıyla 3695 kJ ve 39.51 kJ ve toplam enerji ihtiyacının 3734.51 kJ olduğu hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 4. Çalışma koşullarında sistemin termodinamik özellikleri

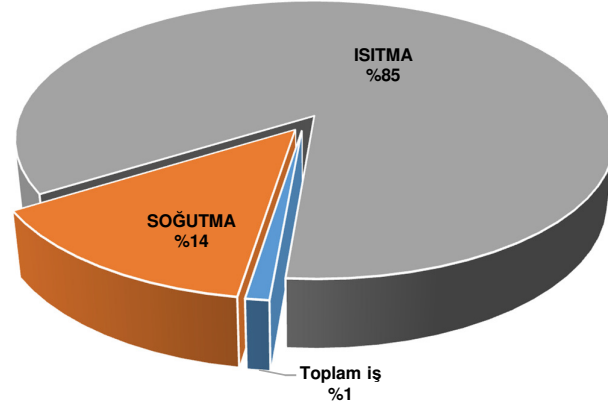
Nokta	Akım	Sıcaklık (K)	Basınç (kPa)	Özgül ısı ( $c_p$ ) (kJ/kg K)	Kütle akım hızı (kg/s)	Enerji akımı (kW)
1	Üzüm	298.15	101.325	3.48	1.00	1038.00
2	Yıkanmış üzüm	298.15	101.325	3.48	1.00	1038.00
3	Sap/çöp	298.15	101.325	3.34	0.06	59.75
4	Mayşe	298.15	101.325	3.49	0.94	978.1
5	Posa	298.15	101.325	3.44	0.37	385.6
6	Şıra	298.15	101.325	3.53	0.56	593.6
7	Posa	298.15	101.325	3.66	0.01	15.18
8	Şıra	298.15	101.325	3.53	0.55	578.8
9	Şıra	333.15	101.325	3.56	0.55	652.2
10	Şıra	298.15	101.325	3.53	0.55	578.8
11	Tartarik-malik asit	298.15	101.325	1.4	0.005	2.3
12	Şıra	298.15	101.325	3.58	0.54	581.1
13	Şıra	298.15	101.325	3.58	0.54	581.1
14	Protein	298.15	101.325	2.04	0.005	3.31
15	Şıra	298.15	101.325	3.6	0.54	578.5
16	Su	333.15	81.46	4.18	0.36	937.4
17	Pekmez	333.15	81.46	2.35	0.18	140.7
18	Pekmez	298.15	101.325	2.31	0.18	123.7

Tablo 5. Sistem komponentlerinin çalışma koşullarındaki değerleri

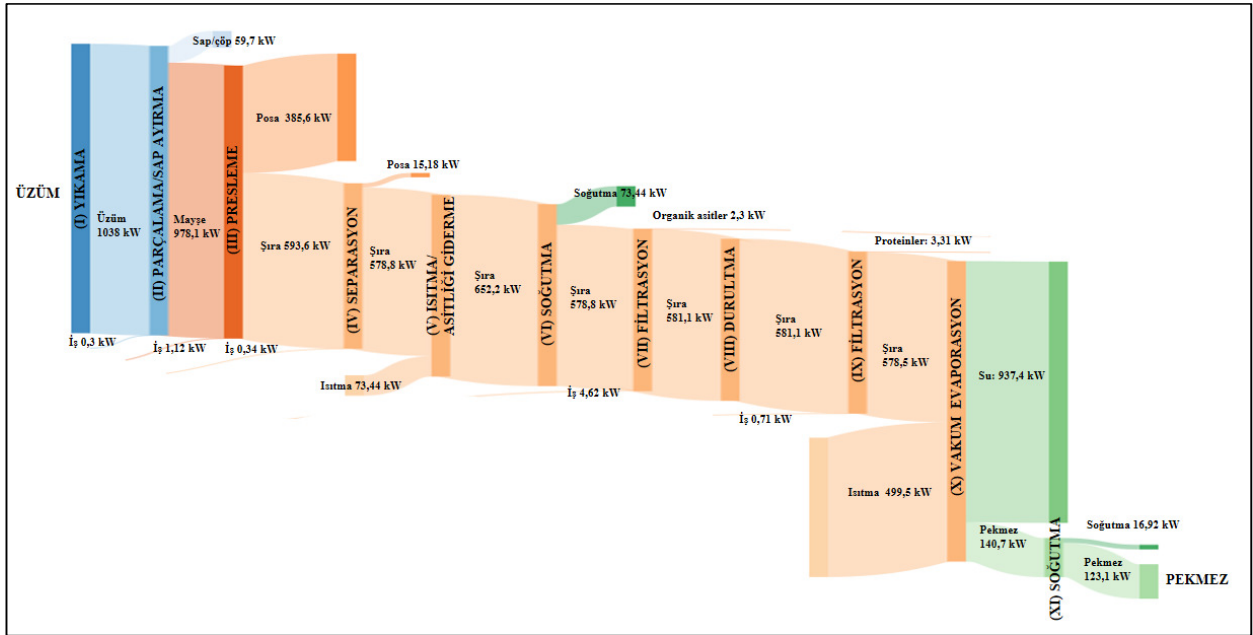
No	Bileşen	Değer (kW)
II	Sap alma/ ezme makinası gücü	0.30
III	Pres gücü	1.21
IV	Separatör gücü	0.34
V	Isıtıcı ısı kapasitesi	73.44
VI	Soğutucu ısı kapasitesi	73.44
VII	Filtrasyon gücü	4.62
IX	Filtrasyon gücü	0.71
X	Vakum evaporatör ısı kapasitesi	499.5
XI	Soğutucu ısı kapasitesi	16.92
Tüm sistem (I-XI)	Enerji gereksinimi	670.48



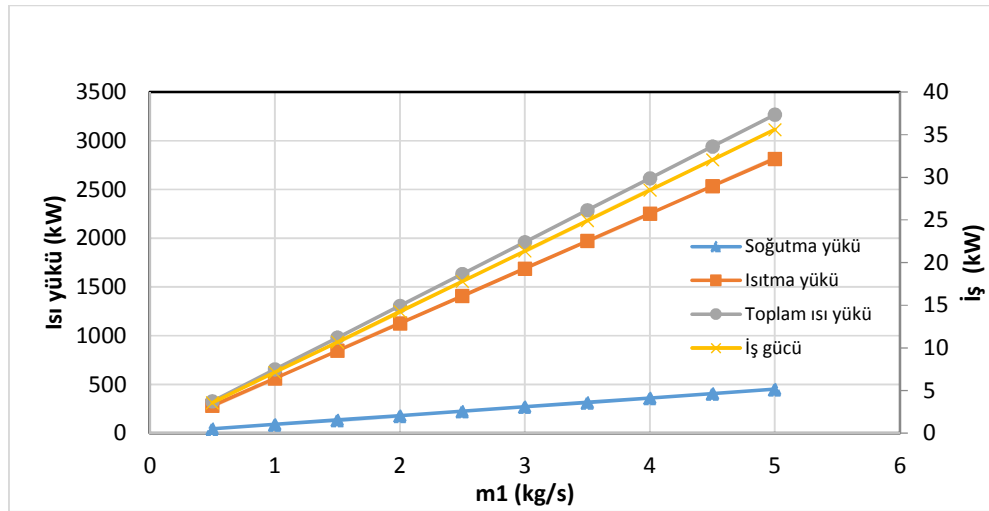
Şekil 2. Pekmez üretim sürecinde yer alan birim işlemlerin enerji verimliliği yüzdeleri



Şekil 3. Pekmez üretim sürecinde enerji tüketim yüzdeleri



Şekil 4. Endüstriyel pekmez üretim sürecinde enerji akım diyagramı (Sankey Diyagramı)



Şekil 5. Üzüm kütle akış hızının ısı yükü ve iş üzerine etkisi

Tablo 6. 1 kg pekmez üretimi için gereken üzüm ve enerji miktarları

	Değer	Birim
Pekmez	1	kg
Üzüm	5.57	kg
Toplam termal enerji ihtiyacı	3695	kJ
Toplam elektrik enerjisi ihtiyacı	39.51	kJ
Toplam enerji ihtiyacı	3734.51	kJ

Bu çalışma, endüstriyel ölçekte pekmez üretim sürecinin enerji analizi üzerine yapılan ilk çalışmadır. Literatürde endüstriyel pekmez üretim sürecine ait veri olmadığı için sistemin enerji verimi diğer gıda üretim süreçleriyle karşılaştırılmıştır. Söğüt ve ark. [12] dört etkili evaporatör kullanılan salça üretim tesisinde evaporatörlerin her birinin enerji verimliliğinin %48-88 değerlerinde olduğunu göstermişlerdir. Bir başka çalışmada, şeker pancarından şeker üretimi yapılan fabrikada yer alan şeker pancarından elde edilen sulu ekstraktın evaporasyonunu içeren işlem basamağının enerji verimliliği yaklaşık %85 olarak rapor edilmiştir. Kırmızı şarap üretiminde tüm sistemin enerji verimliliği %57.2 olarak rapor edilmiştir (12).

## SONUÇ

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür incelemesinde, pekmez üretimi hakkında birçok çalışma bulunmasına rağmen, endüstriyel pekmez üretim sürecinin modellenmesine ait bir çalışmaya rastlanmamıştır. Pekmez üretim sürecinin detaylı bir şekilde modellenmesi, süreç optimizasyonu-kontrolü ve ürün kalitesini etkilemeden enerji tasarrufunun sağlanabilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada, ilk basamak olarak, literatürden alınan veriler temel alınarak, vakum evaporasyon tekniği ile endüstriyel üzüm pekmezi üretim süreci modellenerek enerji analizi yapılmıştır. Buna göre, sistemin enerji verimliliği %71.2 olarak hesaplanmış ve sistemde en büyük enerji kaybının en düşük enerji verimliliğine sahip olan (%13.05) vakum evaporatörde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, 1kg pekmez üretimi için gereken toplam enerji miktarı 3734,51kJ hesaplanmıştır. Literatürde yer alan diğer gıda üretim süreçlerinin enerji verimlilikleri ile karşılaştırıldığında pekmez üretim sisteminde yer alan vakum evaporatörün enerji verimliliğinin oldukça düşük olduğu görülerek sistemde enerji verimliliği için iyileştirmeler yapılması gerekliliği sonucuna ulaşılmıştır. Bu amaçla, pekmez üretiminde çok etkili vakum evaporatörler kullanılarak enerji verimliliği değerlerinin artacağı düşünülmektedir. Ek olarak, evaporasyon esnasında buharlaşan suyla birlikte yüksek miktarda enerjinin sistemden uzaklaştırıldığı düşünüldüğünde, buharlaşan suyun ve kondensatın üretim süreci içinde kullanılması, atık olan enerjinin verimli bir biçimde sistem içinde tekrar değerlendirilmesi açısından iyi bir alternatif olacaktır.

Termodinamiğin birinci yasası enerji verimliliğini değerlendirmek için yapılan analizlerde gerekli olmakla birlikte, birinci yasa kullanılarak analizi yapılan sistemde yer alan birim işlemlerin potansiyelleri ile kullanım sınırlamaları hakkında tam bir sonuç vermemektedir. Bu bağlamda, çalışmanın devamı olarak, ekserji analizi

uygulanmasıyla, endüstriyel pekmez üretim sürecinde tersinmezliklerin belirlenerek, termodinamik verimsizliklerin saptanması ve farklı enerji kaynaklarının sistemin enerji ve ekserji verimine etkisinin inceleneceği kapsamlı bir termodinamik analiz uygulaması planlanmaktadır. Ayrıca model çıktıları, endüstriyel pekmez üretim fabrikasından alınacak verilerle doğrulanmalıdır. Validasyon sonucunda elde edilecek veri pekmez üretim sürecinde enerji akımlarının daha iyi anlaşılmasına, enerji kayıplarının belirlenmesine, enerji verimliliğinin artmasına olanak sağlayacak ve enerjinin geri kazanım alternatifleri hakkında bilgi verecektir. Bu çalışmanın benzer sistemler için model olmasını umuyoruz.

## TEŞEKKÜR

Makalenin kalitesinin artmasında çok faydalı olan değerli yorumları için hakemlere teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- [1] Arslan, S., 2015. *Ürün raporu, Üzüm*. TC Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE), Ankara.
- [2] Duran, M., 2003. *Üzüm etüdü*. Dış Ticaret Araştırma Servisi, Ankara.
- [3] Batu, A., 2006. Klasik ve modern yöntemlere göre sıvı ve beyaz katı üzüm pekmezi (Zile pekmezi) üretimi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2: 9-26.
- [4] Batu, A., 1993. Kuru üzüm ve pekmezin insan sağlığı ve beslenmesi açısından önemi. *Gıda* 18: 305-307.
- [5] T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. [http://www.tarim.gov.tr/GKGM/Belgeler/G%C4%B1da%20ve%20Yem%20Hizmetleri/gidaisletmeleri\\_kodeksi/2012\\_yili\\_gida\\_sanayi\\_envanteri/2-Kayit\\_Isletme\\_Turkiye\\_Geneli\\_Kurulu\\_Kapasite.pdf](http://www.tarim.gov.tr/GKGM/Belgeler/G%C4%B1da%20ve%20Yem%20Hizmetleri/gidaisletmeleri_kodeksi/2012_yili_gida_sanayi_envanteri/2-Kayit_Isletme_Turkiye_Geneli_Kurulu_Kapasite.pdf). [Erişim Tarihi: 01 03 2017.]
- [6] Türk Gıda Kodeksi, Üzüm Pekmezi Tebliği. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/06/20070615-6.htm>. [Erişim Tarihi: 01 03 2017.]
- [7] Erbay, Z., İçier, F., 2008. Ekserji analizi yönteminin gıda kurutmasındaki önemi ve uygulamaları. *Akademik Gıda* 6(6): 18-27.
- [8] Sorgüven, E., Özilgen, M., 2012. Energy utilization, carbon dioxide emission, and exergy loss in flavored yogurt. *Energy* 40: 214-225.
- [9] Taner, T., Sivrioğlu, M., 2015. Energy-exergy analysis and optimisation of a model sugar factory in Turkey. *Energy* 93: 641-654.
- [10] Söğüt, Z., İlten, N., Oktay, Z., 2010. Energetic and exergetic performance evaluation of the quadruple-effect evaporator unit in tomato paste production. *Energy* 35: 3821-3826.
- [11] Balkan, F., Çolak, N., Hepbaşlı, A., 2005. Performance evaluation of a triple-effect evaporator with forward feed using exergy analysis. *Int. J. Energy Res.* 29: 455-470.
- [12] Genc, M., Genc, S., Göksungur, Y., 2017. Exergy analysis of wine production: Red wine production process as a case study. *Applied Thermal Engineering* 117: 511-521.



- [13] Zisopoulos, F.K., Rossier-Miranda, F.C., Van Der Goot, A.J., Boom, R., 2017. The use of exergetic indicators in the food industry – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57(1) 197-211.
- [14] Nas, S., Nas, M., 1987. Pekmez ve pestilin yapılışı, bileşimi ve önemi. *Gıda* 12(6): 347-352. *Gıda* 12(6) 347-352.
- [15] Kaya, C., Yıldız, M., Hayoğlu, İ., Kola, O., 2005. Pekmez üretim teknikleri. *GAP IV. Tarım Kongresi, Bildiri Kitabı. Sayfa: 1482-1490, Şanlıurfa.*
- [16] Batu, A., 2005. Production of liquid and white solid pekmez in Turkey. *Journal of Food Quality* 28: 417-427.
- [17] Cemeroğlu, B., 2013. Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler. Bizim Büro Basımevi, Ankara.
- [18] Üstün, Ş., Tosun, İ., 1997. Pekmezlerin bileşimi. *Gıda* 22(6): 417-423.
- [19] Singh R.P., Heldman, D.R., 2013. Introduction to Food Engineering (5th ed.), Academic Press, London.
- [20] F-Chart software, 2014. Engineering Equation Solver. *F-Chart Software.*
-