



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Biyogaz Motorlu bir Birleşik Isı ve Güç Üretim Sisteminin Genetik Algoritma Yöntemi ile Optimizasyonu

Thermodynamic Optimization of a Biogas Engine Powered Cogeneration System with Using Genetic Algorithm

Yazar(lar) (Author(s)): Ömer Faruk KURT¹, Ayşegül ABUŞOĞLU²

¹ ORCID ID: 0000-0001-9358-6319

² ORCID ID: 0000-0001-6362-2323

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kurt Ö.F, Abuşoğlu A “Biyogaz Motorlu bir Birleşik Isı ve Güç Üretim Sisteminin Genetik Algoritma Yöntemi ile Optimizasyonu”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(1): 109-116, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Biyogaz Motorlu bir Birleşik Isı ve Güç Üretim Sisteminin Genetik Algoritma Yöntemi ile Optimizasyonu

Ömer Faruk KURT¹, Ayşegül ABUŞOĞLU²

¹Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 27110, Şehitkamil/GAZİANTEP

²Gaziantep Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Enerji Anabilim Dalı, 27110, Şehitkamil/GAZİANTEP

Öz

Bu çalışmada Gaziantep Atık Su Arıtma Tesisine bağlı olarak çalışan ve tesiste atık su çamurundan üretilen biyogazı kullanarak elektrik üreten biyogaz motorlu bir kojenerasyon sisteminin genetik algoritma temelli termodinamik optimizasyonu yapılmaktadır. Bu amaçla MATLAB programı kullanılarak kojenerasyon sistemi karakteristiğine uygun sistem kodları geliştirilmiştir. Kojenerasyon sistemi 1000 kW elektrik üretmekte ve havasız çürütme tankına gerekli ısıyı sağlamaktadır. Sistem ısı değiştiricilerinin ekserji verimi optimizasyonu ile birlikte bütün sistemin ekserji verim optimizasyonu hedef alınmıştır. Optimizasyon değişkeni olarak, çürütme tankına ısı aktarımı sağlayan suyun ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığı ve kütle akış debisi, ayrıca biyogaz motoru soğutma suyunun ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı seçilmiştir. Elitlik ve rulet çarkı yöntemleri ile ayrı ayrı optimizasyon yapılmış olup, tek nokta mutasyon yöntemi uygulanmıştır. Elitlik yöntemi ile optimizasyonda 1 numaralı ısı değiştiricinin ekserji verimi %32,5, rulet çarkı yönteminde ise %40 olarak bulunmuştur. Her iki yöntem için 2 numaralı ısı değiştiricinin ekserji verimi %59,5 olarak hesaplanmıştır. Egzoz gazı ısı değiştiricisinin ekserji verimi ise elitlik ve rulet çarkı yöntemlerine göre sırasıyla %44,7 ve %41,1 olarak bulunmuştur. Kojenerasyon sisteminin toplam ekserji verimi ise elitlik yöntemi ile %26,5 ve rulet çarkı yöntemiyle %26,1 olarak bulunmuştur. Yapılan analiz neticesinde değişkenlerin etkileri grafikler halinde sunulmuş ve tartışılmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 04/07/2018

Düzeltilme: 28/01/2019

Kabul: 01/02/2019

Anahtar Kelimeler

Genetik Algoritma,
Termodinamik
Optimizasyon,
Biyogaz Motorlu Birleşik
Üretim Sistemi

Keywords

Genetic Algorithm,
Thermodynamic
Optimization,
Biogas Engine Powered
Cogeneration System

Thermodynamic Optimization of a Biogas Engine Powered Cogeneration System with Using Genetic Algorithm

Abstract

In this study a genetic algorithm based thermodynamic optimization of biogas engine powered cogeneration system that is active in GASKİ WWTP and produce electricity from biogas which is produced in plant will be presented. In this purpose, we will develop our own code that is suitable to characteristics of system, by using MATLAB software. Biogas engine powered cogeneration system produces 1000 kW electricity and supplies heat for anaerobic digestion. The focus of optimization will be on exergetic efficiencies of heat exchangers and overall system. Optimization variables are selected as output temperature of water that flow from digestion through engine-side heat exchanger, its mass flow rate and temperature of water that transfer heat from engine to heat exchanger. Optimization is applied with using elitism and roulette wheel methods separately, also single point mutation is applied. By using elitism and roulette wheel, exergetic efficiency of heat exchanger-1 found respectively 32,2 % and 39,1 %. Exergetic efficiency of heat exchanger-2 for both two methods found 59,5%. By using elitism and roulette wheel, exergetic efficiency of exhaust gas heat exchanger found respectively 47,7 % and 41%. Exergetic efficiency of overall cogeneration system obtained 26,4 % by using elitism and 26,1 % by using roulette wheel. These results discussed according to effects of variables by using graphs.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsanoğlu için yaşam her daim enerji gereksinimi doğurmuştur ve 19. asırdan sonra bu ihtiyaç ciddi bir artış göstermiştir. Teknolojinin gelişmesi ve toplum enerji ihtiyacının artmasıyla birlikte yaşanan enerji krizleri bilim insanlarının dikkatini tasarruflu ve doğaya zararsız enerji kaynaklarını aramaya yöneltti [1]. Yenilenebilir enerji kaynakları dünyanın başlıca enerji kaynağı olan güneşten ve yeryüzünde meydana gelen doğal fenomenlerden oluşan kaynaklardır ve biyogaz kullanılarak elde edilen enerji de doğanın işleyişine azami uyumluluk sağlayan atıktan geri dönüşüm prensibiyle doğal bir enerji üretim yöntemi olarak göze çarpmaktadır [2].

Lee ve ark., biyogazın farklı karışım oranlarının yanma üzerindeki etkisini genetik algoritma (GA) yöntemi kullanarak analiz etmiş ve diğer analiz ve optimizasyon yöntemleri ile karşılaştırmışlardır [3]. Odais ve ark., bir atık su arıtma sisteminde kuramsal olarak biyogaz üretimini arttırmak amacıyla kullanılan optimizasyon yöntemlerini açıklamış [4], Martinez ve ark., biyogazın birleştirilmiş bir ısı ve güç sisteminde yakıt olarak tüketimini ve sistemin optimizasyonunu birden çok amaç fonksiyonu kullanabilen bir yöntem (MOGA) ile gerçekleştirmişlerdir [5]. Kim ve Yoo, biyogazlı bir güç üretim sistemini yapay sinir ağları yöntemini (ANN) kullanarak elde ettikleri veriler ile analizi etmişler [6], Atia ve ark., birleştirilmiş bir güneş enerjisi ısıtma sistemi ve biyogaz üretim sisteminin çalışma performansını optimize etmişlerdir [7]. Verdaguer ve ark., bir anaerobik çamur çürütme tankından en yüksek miktarda biyogaz üretimini amaçlayarak kuramsal bir optimizasyon işlemi yapmışlardır [8]. Li ve ark., Pekin'de bir kentsel yerleşim bölgesinde dağılmış bir kombine ısıtma, soğutma ve enerji üretimi (trijenerasyon) sisteminin hem CO₂ hem de NO_x emisyonları ile ilgili termodinamik, ekonomik ve emisyon kriterlerinin eş zamanlı olarak değerlendirilmesini termo-ekonomik optimizasyon yoluyla gerçekleştirdikleri çalışmalarında, gaz türbini, içten yanmalı motor, soğutucu eşanjör ve kazan gibi alt-sistemleri tesis için en uygun konfigürasyon seçenekleri olarak kabul etmişlerdir. Çalışmada sundukları karma tam sayı ve doğrusal olmayan programlama (MINLP) problemini, bir Genetik Algoritma (GAs) optimizasyon yöntemi ile çözmüşlerdir [9]. Birol ve Şiir Kılık, içten yanmalı bir motor yardımıyla ve doğal gaz kullanarak güç üreten bir trijenerasyon sisteminin termodinamik, ekonomik ve emisyon optimizasyonlarını MATLAB Toolbox gerçekleştirmişlerdir [10]. Başka bazı çalışmalarda ise organik Rankine çevriminin biyogaz motorlu güç üretim sistemiyle birleştirilmesiyle elde edilen melez sistemlerin teknik ve ekonomik optimizasyonu yine genetik algoritma yöntemleri ile gerçekleştirilmiş olup birden fazla birleşik güç ünitesinin egzoz emisyonlarını değerlendirmede ekserji verim analizi uygulanmıştır [11-12].

Bu çalışmada bir biyogaz motorlu kojenerasyon sisteminin ekserji optimizasyonu GA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Açık literatürde bulunan çalışmaların büyük çoğunluğunda birden fazla hazır GA programının kullanıldığı gözlenmektedir. Hazır programların en büyük handikabı sistemin kendine özgü dinamiklerinin bilinmemesinden kaynaklanan optimizasyon parametrelerini sunma zorluğudur. Bu durum kullanıcının uygulamanın alt yapısına ulaşamadığı için yüzeysel bir veri akışına sebep olmaktadır. Ayrıca bilgisayar bilimlerinin diğer bilim dallarıyla olan ilgisinin yüksek düzeyde ihmalinin olumsuz etkileri de hesaba katılmalıdır. Bu sebepler göz önüne alınarak, aşağıda detaylı olarak işlem akışını tanımladığımız biyogaz motorlu kojenerasyon sisteminin termodinamik optimizasyonu, sistem dinamiğine uygun olarak geliştirdiğimiz optimizasyon yöntemi GA ile geliştirilen algoritmalar temel alınarak MatLab ile gerçekleştirilmiştir.

2. BİYOGAZ MOTORLU KOJENERASYON SİSTEMİ (BIOGAS POWERED COJENERATION SYSTEM)

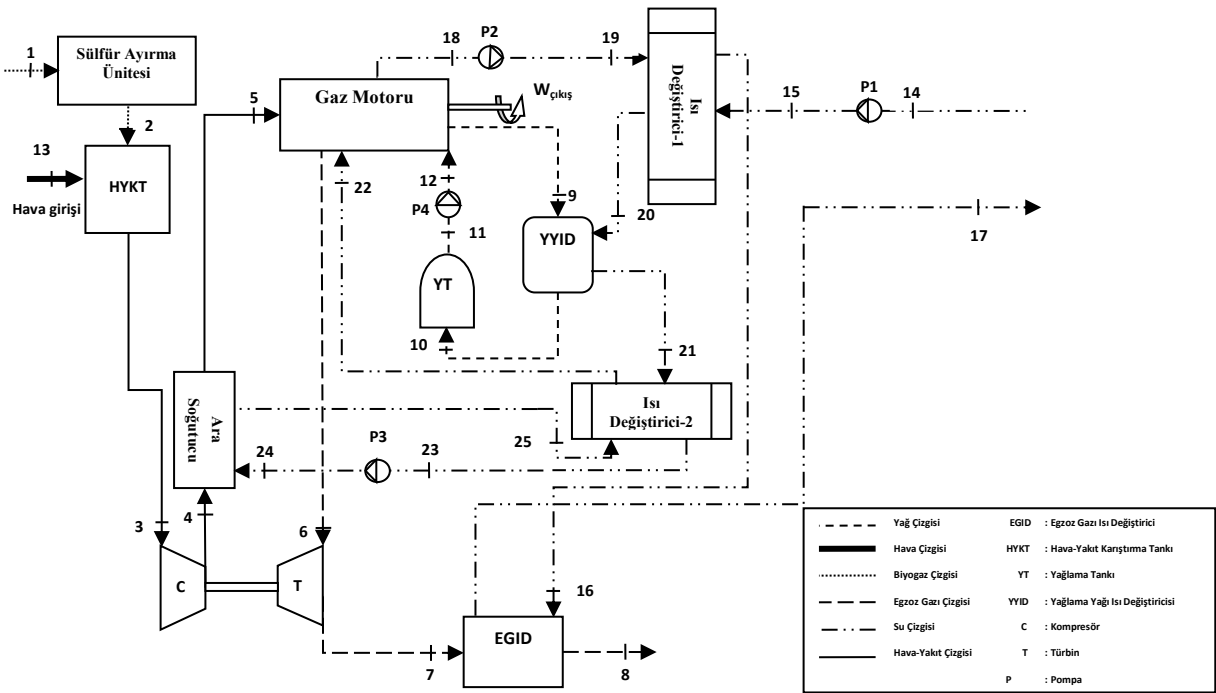
Mühendislik uygulamaları iki önemli nedenden dolayı optimize edilirler: sistem kurulumundan önce öngörülere sahip olmak ve iyi tahminler elde etmek ve kurulu bir sistemi daha verimli hale getirmenin yollarını bulmak. Bu çalışmada Şekil-1'de şematik olarak verilen, Gaziantep Atık Su Arıtma Tesisine bağlı olarak çalışan ve tesiste atık su çamurundan üretilen biyogazı kullanarak elektrik üreten biyogaz motorlu bir kojenerasyon sisteminin gerçek çalışma verileri kullanılacaktır. Bu sistemde 12 silindri, V dizilimli buji ateşlemeli özelliklere sahip, 1000 kWh elektrik üreten ve ayrıca yanma neticesinde ortaya çıkan egzoz gazı yardımıyla havasız çürütme tankında mezofilik (35-40°C) şartlarda tutulması gereken atık su çamurunun bakteri bekletme süresince ısı ihtiyacını karşılayan bir biyogaz motoru kullanılmaktadır. Biyogaz içeriğinde çevre koruma yönetmeliği gereği kabul edilemez oranda sülfür bulunmasından dolayı,

yakıt önce sülfür ayırma ünitesine girer ve daha sonra turboşarj bölümüne girmeden önce hava ile karışması için yakıt-hava karışım tankına gönderilir. Turboşarj ünitesi, motora verimli yanma sağlamak amacıyla yanma havasına uygun oranda basınçlandırma yapan bir kompresör ünitesi ile kompresörün çalışması için gerekli işi egzoz gazından elde eden, ortak şafta bağlı bir türbinden oluşmaktadır. Kompresörde basıncı artırılan hava-biyogaz karışımının ideal gaz prensibi gereği sıcaklığı da arttığından, motorda erken yanmaya sebebiyet vermemek için motora girmeden önce bir ara-soğutucudan geçirilmesi gerekir.

Motor soğutma suyu pompa yardımıyla basınçlandırılıp ısı değiştiricisi-1 (ID-1) içerisinde ısıyı çürütme tankından gelen suya aktarır; ayrıca, soğutma yağı ısı değiştiricisi (YYID) ve ısı değiştiricisi-2 (ID-2) çevrimlerinden geçerek çevrimini tamamlar. Soğutma yağı çevrimi ise hem motor bileşenlerinin yağlanması hem de motoru soğutma işlemi için kullanılmaktadır. Türbinden çıkan egzoz gazı kalan ısıyı egzoz gazı ısı değiştiricisi (EGID) yardımıyla çürütme tankı çevrimine geri dönen suyu ısıtmaya aktarır ve daha sonra atmosfere atılır. Sistem çevriminin esası, çürütme tankına aktarılan ısıyı optimize etmek üzerine kurulu olduğu için, bu çalışmada, EGID ve ID-2 bileşenleri optimize edilecektir.

Şekil 1. Biyogaz motorlu kojenerasyon sisteminin şematik gösterimi.

3. TERMODİNAMİK ANALİZ (THERMODYNAMIC ANALYSIS)



Bu çalışmada sürekli akışlı sistem kabulü yapılmış olup, kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilecektir. Hava-yakıt karışımı içeriğindeki yüksek hava miktarından dolayı hava olarak kabul edilecek, ayrıca, ısı değiştiricilerdeki basınç düşüşleri çok küçük değerde olduğu için ihmal edilecektir.

Termodinamiğin birinci kanunu enerjinin miktarı ile ilgiliyken ikinci kanun enerjinin niteliğini açıklamaya yöneliktir. Ekserji ise ikinci kanunun öneminin detaylandırılması, sistemin her bir bileşeni için tersinmezlik hesaplanması için kullanılan enerjinin kullanılabilirlik ölçüsüdür [13].

Sürekli akışlı sistemler için enerji denklemi (3.1) aşağıda gösterilmiştir. Burada E_g ve E_c sırasıyla sisteme birim zamanda giren ve çıkan enerjileri göstermektedir.

$$E_g = E_c \quad (3.1)$$

Sistem ekserjisi temel olarak, kimyasal ekserji E_{km} , fiziksel ekserji E_f , kinetik ekserji E_{kn} ve potansiyel ekserji E_{pt} toplamı olarak tanımlanmış ve (3.2) denkleminde gösterilmiştir. Bu çalışmada kinetik ve potansiyel etkiler göz ardı edildiği için son iki terim hesaplamalara dahil edilmeyecektir.

$$E = E_{km} + E_f + E_{kn} + E_{pt} \quad (3.2)$$

İdeal gaz karışımları için kimyasal ve fiziksel ekserji akıları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\Psi_{M,km} = \sum x_i^{km} \Psi_i^{km} + RT_0 \sum x_i \ln x_i \quad (3.3)$$

$$\Psi_f = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (3.4)$$

Bu eşitliklerde x_i gazların mol oranları, \bar{R} evrensel gaz sabiti, T_0 çevre sıcaklığı ve h entalpidir.

Genel ekserji verimi, $\dot{E}_{ekj,ürün}$, ısı veya iş üretiminin ekserji akısı ve $\dot{E}_{ekj,yakıt}$, sisteme giren yakıtın ekserji akısı olmak üzere

$$\varepsilon_{ekj} = \frac{\dot{E}_{ekj,ürün}}{\dot{E}_{ekj,yakıt}} \quad (3.5)$$

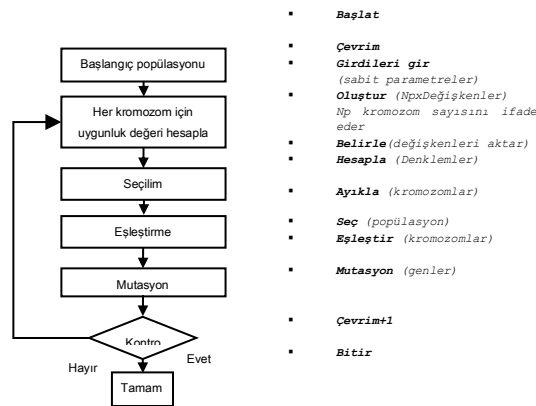
olarak tanımlanır.

4. GENETİK ALGORİTMA İLE OPTİMİZASYON (GENETIC ALGORITHM OPTIMIZATION)

GENETİK ALGORİTMA ÇALIŞMA PRENSİBİ

Evrenin en önemli özelliklerinden birisi elektrondan gezegenlere her şeyin her an devinim içerisinde oluşudur. Optimizasyon biliminin devinimi ise, klasik yöntemlerin karmaşık problemleri çözmemesinden dolayı oluşmuştur [14]; görece yeni bir yöntem olan Evrim Teorisi (1859) temel alınarak, Holand (1970) ve öğrencileri tarafından “en-iyileştirme” problemlerinin bilgisayar ortamına aktarılmasıyla söz konusu optimizasyon yöntemi meydana çıkmış ve genetik algoritma olarak isimlendirilmiştir [15]. Analitik ve/veya nümerik birden fazla optimizasyon yöntemi kullanılmasına rağmen, bu yöntemler global optimum noktalara ulaşma noktasında oldukça eksiktirler. GA bu sorunu, genetik, doğal seleksiyon ve etkili paralel alan arama yaparak çözebilmektedir [16].

Akış diyagramı ve temel programlama adımları Şekil-2 içerisinde gösterilmiştir. Başlangıç olarak, değişken sayısı kadar gen ve üretilmek istenen popülasyon nüfusu kadar, ayrıca problemin veya değişkenlerin sınırları arasında kalacak şekilde homojen dağılımlı ve rastgele bir popülasyon oluşturulmaktadır. İlk hesaplamalar üretilen bu popülasyona göre yapılır ve problemin amaç fonksiyonuna göre sonuçlar çıkarılır. Doğal seçim işlemi, elitlik, rulet çarkı ve turnuva seçim yöntemleri mevcuttur. Bu çalışmada kullanılan iki yöntemden elitlik, istenen sonuca yakın olan bireyleri seçmek; rulet çarkı ise rastgele seçimlerle bir sonraki popülasyonu oluşturmak için kullanılmaktadır. Eşleştirme ve mutasyon işlemleri uygulandıktan sonra program çevrimi tamamlar ve sonuçlar alınır.



Şekil 2. GA akış diyagramı ve temel programlama adımları.

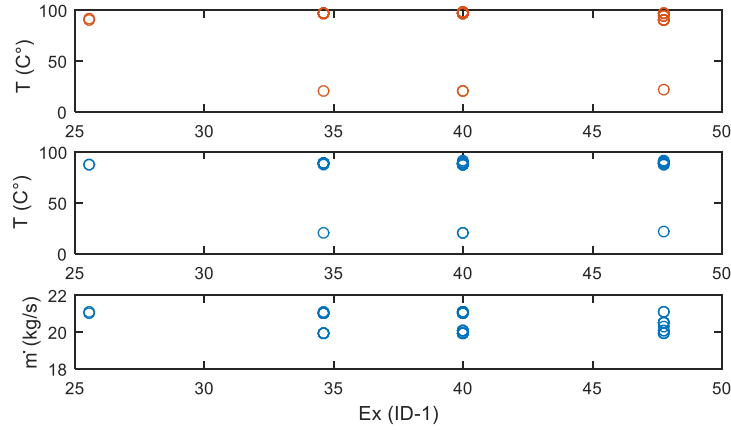
BIYOGAZ MOTORLU KOJENERASYON SİSTEMİNİN OPTİMİZASYONU

Sistemin termodinamik analizi çerçevesinde ekserji veriminin, anaerobik çamur çürütme tankı çevrim suyunun ID-1 ve EGID ünitelerinde ısı alma miktarının artmasıyla artacağı ön görülmüştür. Biyogaz

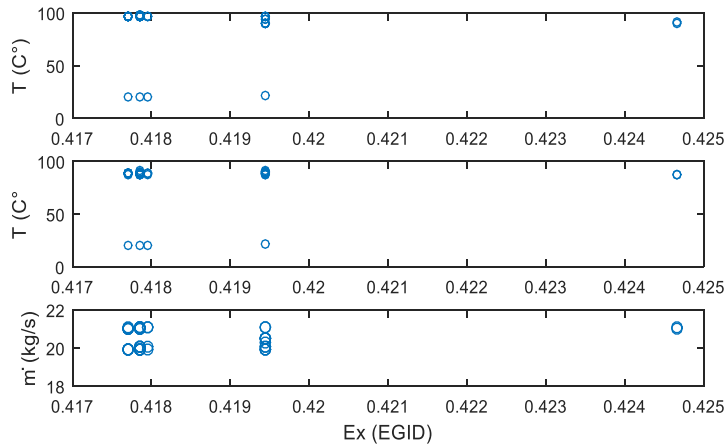
motorunun ürettiği elektrik sabit ve 1000 kWh olarak alınmıştır. Optimizasyon değişkenleri olarak, çürütme tankına ısı aktarımı sağlayan suyun ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığı (T_{16}) ve kütle akış debisi (\dot{m}_1), ayrıca biyogaz motoru soğutma suyunun ısı değiştiricisine giriş sıcaklığı (T_{19}) seçilmiştir. Seçilen iki sıcaklık egzoz gazı ısı aktarımını önemli ölçüde etkileyecek değişimler meydana getirmekte ve akış debisi kullanarak bu sistemlerdeki kısıtlar belirlenmektedir. Elitlik ve rulet çarkı yöntemleri ile ayrı ayrı optimizasyon yapılmış olup, tek nokta mutasyon yöntemi uygulanmış, eşleştirme katsayısı 0,9 ve mutasyon katsayısı 0,4 olarak seçilmiştir. Değişkenlerin kısıtları, motorun iç sıcaklığı, anaerobik çamur çürütme tankı çeperinin bekleme süresince tutulması gereken mezofilik sıcaklık ve bunlara bağlı debi değişimleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

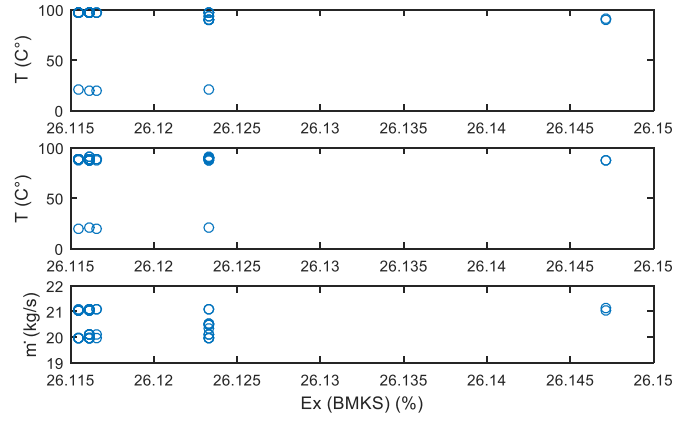
Bu çalışmada paralel arama metodları kullanılarak biyogaz motorlu bir kojenerasyon sisteminin optimizasyonu ele alınmıştır. Kendi kodlarımızı yazdığımız programın sonuçları Şekil 3-8 aralığında verilmektedir.



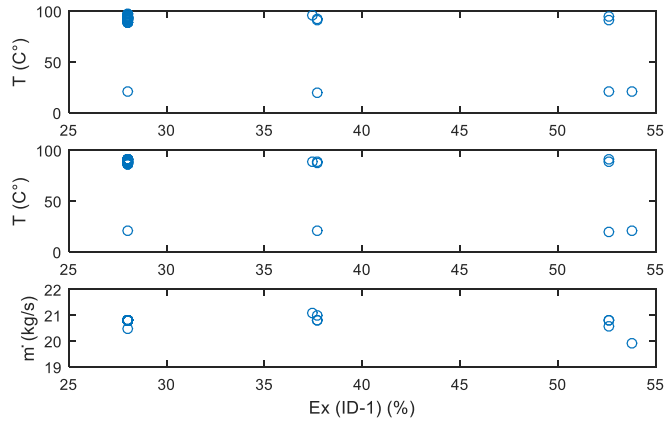
Şekil 3. ID-1 rulet çarkı ile ekserji verimi değişimi.



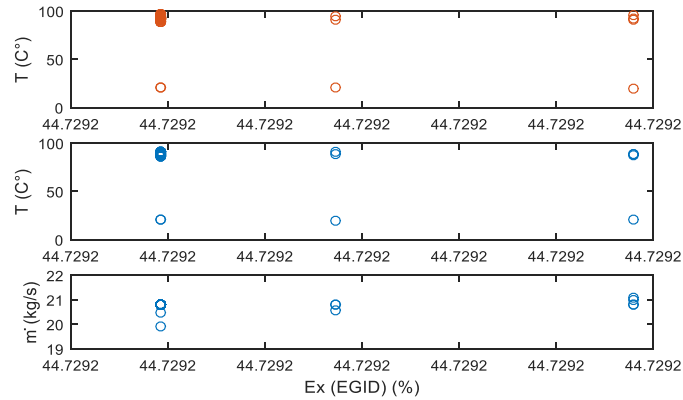
Şekil 4. EGID rulet çarkı ile ekserji verim değişimi.



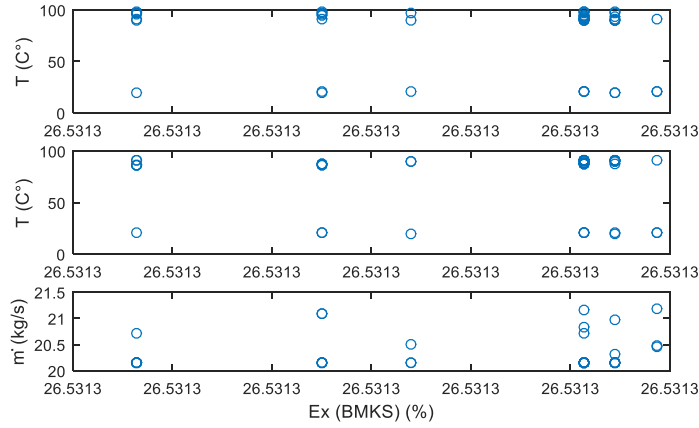
Şekil 5. Kojenerasyon sisteminin rulet çarkıyla ekserji verim değişimi.



Şekil 6. ID-1 elitlik ile ekserji verimi değişimi.



Şekil 7. EGID elitlik ile ekserji verimi değişimi.



Şekil 8. Kojenerasyon sisteminin elitlik ile ekserji verimi değişimi.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Kojenerasyon sistemi rulet çarkı yöntemi kullanılarak yapılan optimizasyonda %26,1 ekserji verimi, elitlik yöntemi kullanılarak ise %26,5 ekserji verimi elde edilmiştir. ID-1 için yapılan optimizasyonda ise rulet çarkı yöntemiyle %40 ve elitlik kullanılarak ise %32,5 ekserji verimi elde edilmiştir. EGID için yapılan optimizasyonda ise rulet çarkı kullanılarak %41,1 ve elitlik kullanılarak %44,7 ekserji verimi elde edilmiştir. Sistemde değişken olarak seçilen suyun akış debisi ise çürütme tankına giden suyun sıcaklık aralığının ani değişimlere engel olması gerektiğinden dolayı 21,1 kg/s ve elitlik yöntemiyle 20,5 kg/s bulunmuştur. Bu çalışmadan çıkarılan en önemli sonuç, rulet çarkı yönteminin çeşitliliği artırmasına bağlı olarak çalışma aralığını genişletmesidir; bu vesileyle değişkenlerin aralıklarının etkisi açık bir biçimde gözlemlenmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Demirci, G., Türkavcı, L. 2001. Biyogaz ‘ Atıklardan Enerji’. Ankara: Temiz Enerji Vakfı.
- [2] Abubakar, M. M. 1990. Biogas generation from animal wastes. Nigerian Journal of Renewable Energy 1, 69-73.
- [3] Lee, H. C., Mohamad, A. A., Jiang L. Y. 2017. A detailed chemical kinetics for the combustion of H₂/CO/CH₄/CO₂ fuel mixtures. Fuel 193, 294-307.
- [4] Qdais, H. A., Hani, K.B., Shatnawi, N. 2010. Modeling and optimization of biogas production from a waste digester using artificial neural network and genetic algorithm. Resources, Conservation and Recycling 54, 359-363.
- [5] Martinez, E., Marcos, A., Al-kassir, A., Jaramillo, M. A., Mohamad, A. A. 2012. Mathematical model of a laboratory-scale plant for slaughterhouse effluents biodigestion for biogas production. Applied Energy 95, 210-219.
- [6] Kim, M., Yoo, C. 2014. Multi-objective controller for enhancing nutrient removal and biogas production in wastewater treatment plants. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 45, 2537-2544.
- [7] Atia, D. M., Fahmy, F. H., Ahmed, N. M., Dorrah, H. T. 2012. Optimal sizing of a solar water heating system based on a genetic algorithm for an aquaculture system. Mathematical and Computer Modeling 55, 1436-1449.
- [8] Verdager, M., Molinos-Senante, M., Poch, M. 2016. Optimization management of substrates in anaerobic co-digestion: An ant colony algorithm approach. Waste Management 50, 49-54.

- [9] Li, H., Nalim, R., Haldi, P.A. Thermal-economic optimization of a distributed multi-generation energy system-A case study of Beijing, *Applied Thermal Engineering*, 26 (2006) 709-719.
- [10] Kılıkış, B., Kılıkış, Ş., New exergy metrics for energy, environment and economy nexus and optimum design model for nearly-zero exergy airport (nZEXAP) systems, *Energy*, 140 (2017) 1329-1349.
- [11] Dumont, O., Dickes, R., Rosa, M. D., Douglas, R., Lemort, V., Technical and economic optimization of subcritical, wet expansion and transcritical Organic Rankine Cycle (ORC) systems coupled with a biogas power plant. *Energy Conversion and Management*, 157 (2018) 294-306.
- [12] Yağlı, H., Koç, Y., Koç, A., Görgülü, A., Parametric optimization and exergetic analysis comparison of subcritical and supercritical Organic Rankine Cycle (ORC) for biogas fuelled combined heat and power (CHP) engine exhaust gas waste heat, *Energy*, 111 (2016) 923-932.
- [13] Khaljani, M., Saray, R. K., Bahlouli, K. 2015. Thermodynamic and thermoeconomic optimization of an integrated gas turbine and organic Rankine cycle. *Energy* 93, 2136-2145.
- [14] Svanandam, S. N., Deepa, S. N., 2008, *Introduction to Genetic Algorithms*, Berlin: Springer.
- [15] Sakawa, M., 2002, *Genetic algorithms and fuzzy multi-objective optimization*, New York: Springer Science + Business Media.
- [16] Haupt, R. L., Haupt, S. E, 2004. *Practical Genetic Algorithms*, 2nd edition, New Jersey: Wiley-Interscience Publication.