



EXAMINING of POWER GENERATION POTENTIAL in SIMAV GEOTHERMAL FIELD

Oğuz ARSLAN & Ramazan KÖSE &
Bayram ALAKUŞ & M. Arif ÖZGÜR

Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
43100, Kütahya, Türkiye

ABSTRACT

Geothermal energy is an alternative energy resource, since it has low CO₂ emission and is renewable and sustainable. As a clean energy resource, geothermal may be a solution for the energy problems if the sources are used for the electricity generation in an increasing amount.

In this study, it is aimed to attract notice of the use of geothermal energy in the electricity generation in Simav-Kutahya, which is the one of fifteen most important geothermal fields. In this way, Kalina and binary power plants have been designed using the flow rates and temperatures of Simav geothermal field from the literature. Two cases of binary cycle, in which different working fluids have been used, have also been investigated. So, an efficiency of 19.8 has been calculated for the Kalina cycle. The efficiency for binary cycle has been calculated as 12.9 % in the case of using R134a and it is calculated as 10.6 % in the case of using HCFC-124.

SİMAV JEOTERMAL SAHASININ GÜÇ ÜRETİM POTANSİYELİNİN İRDELENMESİ

ÖZET

Temiz bir enerji kaynağı olup, uygun teknolojilerin kullanılması halinde çevre sorunu oluşturmayan ve ülkemiz için önemli bir potansiyel teşkil eden jeotermal enerjinin, ısıtma ve seracılıkta kullanımının yanı sıra artan bir ölçüde elektrik enerjisi üretiminde de kullanılması enerji sorununun çözümüne önemli bir katkı sağlayabilir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin önemli 15 jeotermal sahasından biri olan Kütahya-Simav ilçesindeki jeotermal enerjinin elektrik üretim amaçlı kullanımına dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, Kütahya-Simav jeotermal sahasında literatürde var olan sıcaklık ve debi değerleri kullanılarak, Kalina ve Binary güç santrali dizaynları yapılmıştır. Ayrıca, binary çevrim için iki farklı akışkanın kullanılması durumu incelenmiştir. Buna göre sistem verimi; Kalina çevrimi için % 19.8, binary çevrim için ise; R134a akışkanının kullanılması durumunda %12.9, HCFC-124 kullanılması durumunda ise % 10.6 olarak hesaplanmıştır.

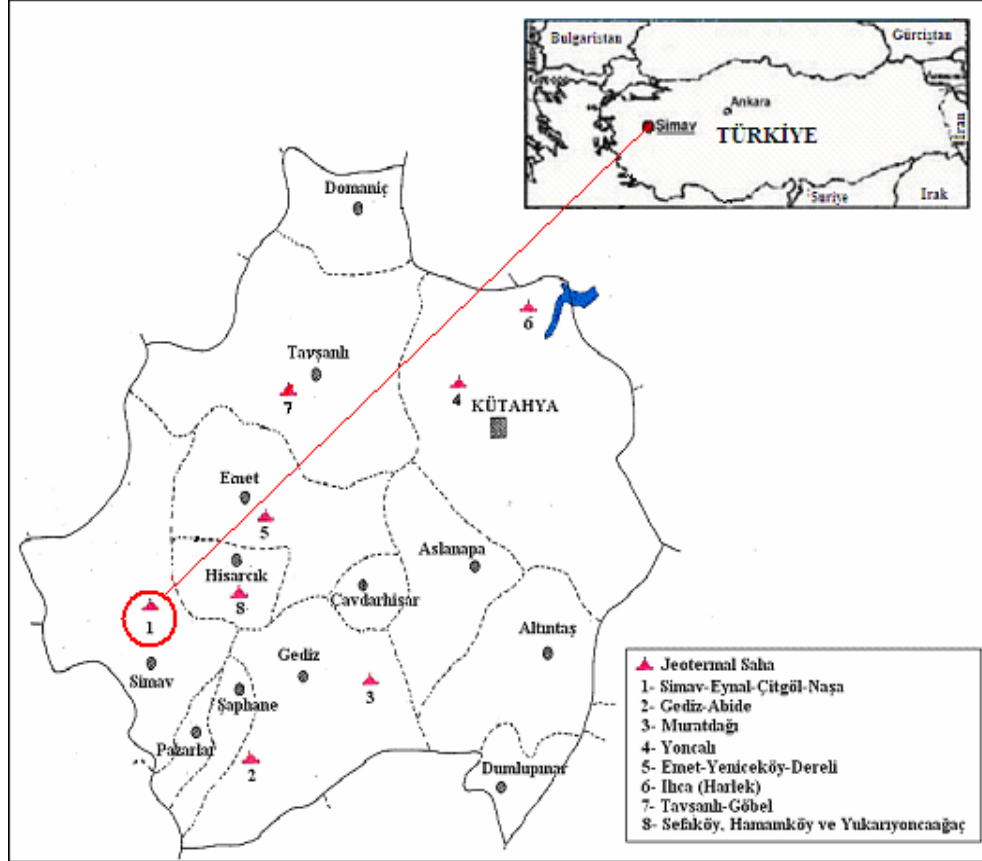
1. GİRİŞ

Jeotermal enerji, doğası gereği dış ortam koşullarından bağımsız bir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, kullanılabilirliği oldukça fazladır ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında en kararlı olanıdır. Bunun yanında jeotermal enerji herhangi bir depolama veya nakliye işlemi gerektirmez. Temiz ve yerel bir enerji kaynağı olması nedeniyle ithal edilen fosil yakıt gereksinimini azaltmaktadır [1,2]. Jeotermal kaynaklar, enerji içeriklerine bağlı olarak, yüksek ve düşük entalpili kaynaklar olmak üzere genellikle iki grupta toplanırlar. Yüksek entalpili kaynaklar (>150 °C) konvensiyonel çevrimlerle elektrik üretimine olanak sağlarken, düşük entalpili olanlarda (<150 °C) elektrik üretimi binary çevrim adı verilen farklı bir ikincil akışkanın kullanıldığı çevrimlerle gerçekleştirilmektedir [3-5]. Bunun yanında, düşük entalpili kaynaklardan; hacim ısıtması, kurutma, balık üretim havuzları, seracılık ve balneoloji gibi bir çok alanda ısının doğrudan kullanılması şeklinde de yararlanılmaktadır.

Türkiye, tespit edilmiş olan 170 adet jeotermal alan ve alt sıcaklık sınırı 20 °C kabul edilen toplam 1000 dolayında sıcak ve mineralli su kaynağının varlığı ile Avrupa'da birinci sırayı almaktadır [6]. MTA tarafından 1962' den bu yana toplanan veriler, jeotermal alanların % 95'inin doğrudan kullanıma, diğerlerinin de elektrik üretimine uygun olduğunu göstermektedir. Ülkemizin doğrudan kullanımındaki muhtemel jeotermal enerji potansiyeli 31500 MWt olup, bunun karşılığı 200 milyon m² sera veya 5 milyon konut ısıtmasıdır. Ülkedeki konutların %30'unun ısıtılmasında kullanılabilecek olan bu potansiyelin ne yazık ki şu anda yaklaşık % 3'ü değerlendirilebilmektedir. Elektrik üretimine uygun muhtemel jeotermal enerji potansiyeli ise yaklaşık 4500 MWe olup, ülkemiz Denizli-Kızıldere'de 20.4 MWe'lik kurulu, 12-15 MWe işletim gücü ve 105 GWh'lık yıllık enerji üretimine sahip santral ile dünya sıralamasında sonlarda yer almaktadır. Kısacası, jeotermal kaynaklar açısından sahip olunan zengin potansiyele rağmen, bu ulusal enerji kaynaklarının elektrik üretiminde kullanımı tüm potansiyelin sadece % 0.05'i ile sınırlıdır.

2. SİMAV JEOTERMAL SAHASI

Türkiye'nin batısında yer alan Simav, 1687 km²'lik yüzölçümüne ve 47 kişi/ km²'lik nüfus yoğunluğuna sahiptir. Eynal, Naşa ve Çitgöl bölgelerinden oluşan Simav jeotermal alanı Simav grabeninin güneyinde yer almaktadır (bkz. Şekil 1). Simav jeotermal alanındaki mevcut kaynaklardan kaplıca turizminin yanında, merkezi ısıtma ve sera tarımı da yapılmaktadır. Simav-Eynal jeotermal sahasında bulunan bu kaynakların sıcaklığı ve debisi, Simav'da önemli bir jeotermal kompleks kurmaya elverişlidir.



Şekil 1. Simav Jeotermal Sahası.

Simav sahasında, debileri 0.1-80 l/s ve sıcaklıkları 42-162 °C arasında değişen jeotermal kaynaklar, konut ısıtması, seracılık ve termal turizm amaçlı kullanılmaktadır. Simav ilçesinde jeotermal bölgesel ısıtma sistemi (SBIS) mevcuttur. 1991 yılının Ekim ayında işleme alınan SBIS 2005 yılı sonu itibarıyla 4000 konutun ve 200,000 m² seranın ısıtılmasında kullanılmaktadır [7]. Simav sahasında 6500 konutun ısıtılması ve elektrik üretim amaçlı çalışmalar halen devam etmektedir. Simav sahası kaynaklarına ait karakteristik değerler ve bu kaynakların kullanılabilirlikleri Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Simav Jeotermal Sahası Kuyularına Ait Sıcaklık - Debi Değerleri ve Uygulanabilirliği [6,8].

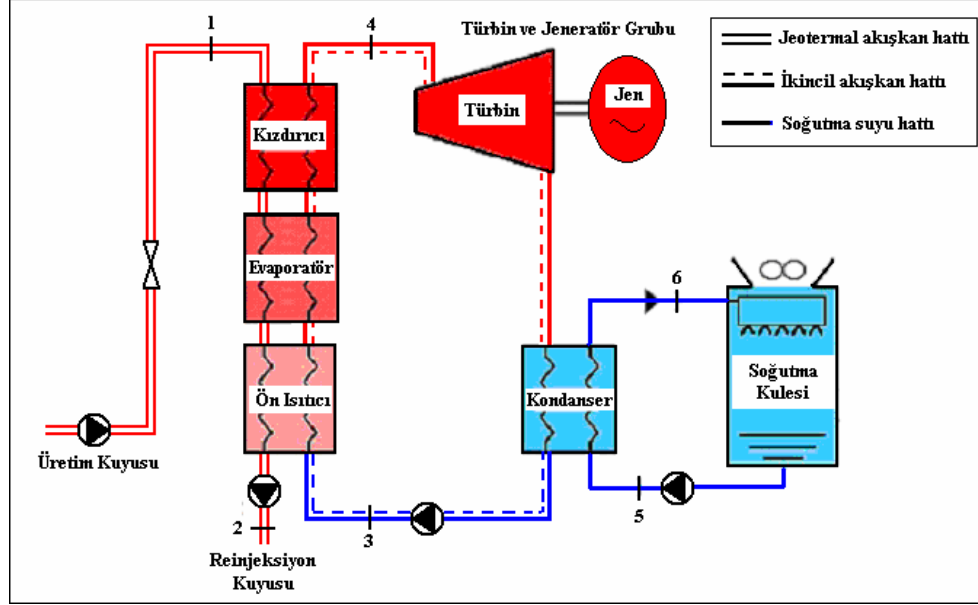
Kuyu	Debi (l/s)	Sıcaklık (°C)	Güç Üretimi
E-1	14	142 (KD)	*B
E-2	55	158 (KD)	B
E-3	50	149 (KD)	B
E-4	1	98	o
E-5	6	97	*B
E-6	50	-	-
E-7	0.25	52	o
E-8	80	92	B
E-9	98	60	o
EJ-1	72	162 (KD)	B
EJ-2	1	157	o
EJ-3	50	93	B
TRGM-1	3	52	o
Ç-1	32	97	B
Simav Eynal-2	50	97	B
Simav Eynal-3	45	97	B
N-1	2	42	o

x: olumlu, o: olumsuz, *:diğer kaynaklarla birlikte kullanılabilir, B: Binary çevrim ile, KD: Kuyu dibi sıcaklığı

3. SİMAV JEOTERMAL SAHASI GÜÇ ÜRETİM POTANSİYELİ

Ülkemizdeki jeotermal sahaların yaklaşık % 95'inin düşük ve orta entalpili olması, düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkanlardan elektrik üretimine imkan sağlayan yeni teknolojilerin kullanımı üzerinde araştırma yapmayı zorunlu hale getirmektedir. Bu teknolojilerde, ikinci bir akışkan kullanılmakta olup Organik Rankine (ORC) ve Kalina çevrimleri bu sistemlerin en güzel örneklerindedir.

İki farklı kısımdan oluşan Binary çevrimlerde, birinci kısımdaki jeotermal akışkan ısı değiştiricileri vasıtasıyla ısısını ikinci kısımdaki akışkana vererek bu akışkanı buharlaştırır. Buharlaşan akışkan buhar türbinine gönderilir. Daha sonra kondenserde yoğunlaştırılan akışkan ısı değiştiricisine gönderilerek çevrim tekrar başlar. İkincil akışkanın doğru seçilmesiyle 85-175 °C sıcaklık aralıklarındaki jeotermal rezervlerinden faydalanılabilecek binary sistemler dizayn edilebilir. Bu bağlamda, Simav-Eynal sahasında kurulabilecek bir Binary güç santrali tasarlanmıştır [9,10]. Tasarlanan güç santralinin şematik görünümü Şekil 2'te verilmektedir.



Şekil 2. Kütahya-Simav binary güç santrali akış diyagramı [9,10].

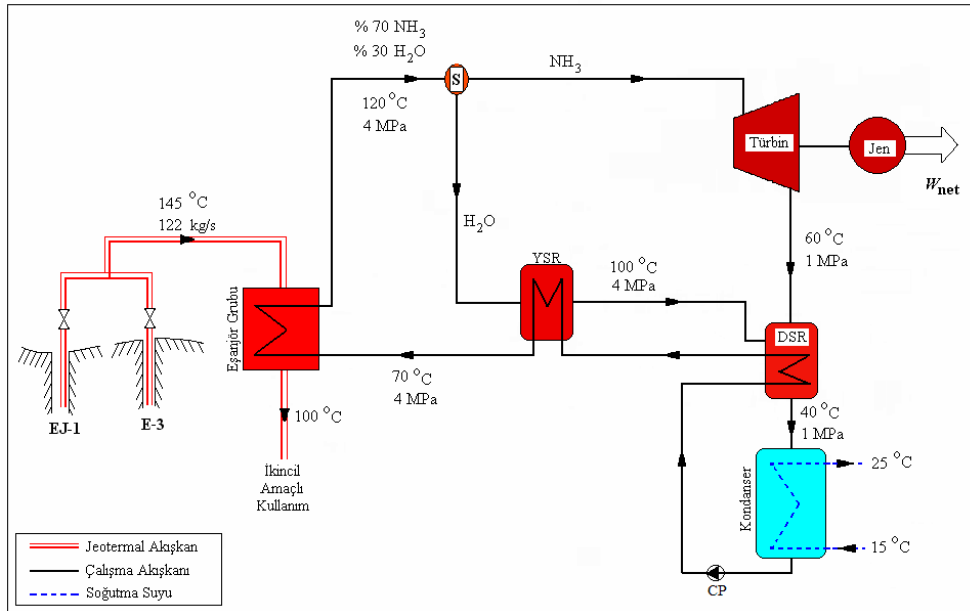
Bölgenin elektrik üretim potansiyelin belirlenmesi amacıyla iki farklı senaryo üzerinde çalışılmıştır. İlk senaryoda (Senaryo 1), santralin EJ-1 kuyusundan beslendiği, ikinci senaryoda (Senaryo 2) ise EJ-1 ve E-3 kuyularının her ikisinden birden beslendiği varsayılmıştır. Senaryo 1 ve Senaryo 2 için ikincil akışkan olarak, çevresel nedenler ve düşük sıcaklık uygulamalarındaki performanslarından dolayı sırasıyla R-134a ve R-124 seçilmiştir. Çalışmada ayrıca, çevre sıcaklığı 15 °C olarak hesaplamalara dahil edilmiş ve jeotermal akışkanın ısıtıcılar boyunca faz değiştirmedeği öngörülmüştür.

Santral dizayn aşamasında, hesaplamaların hızlı ve doğru bir şekilde yapılması amacıyla Visual BASIC programlama dili kullanılarak yazılan program kullanılmıştır. Hazırlanan program farklı ikincil akışkanlar için de kullanılabilir. Şekil 2’de akış diyagramı verilen güç santralının noktasal değerleri, hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla elde edilmiş olup Tablo 2’te verilmektedir.

Tablo 2. Kütahya-Simav Binary Güç Santrali Noktasal Değerleri.

Nokta	Senaryo 1		Senaryo 2	
	Debi (kg/s)	Sıcaklık (°C)	Debi (kg/s)	Sıcaklık (°C)
1	72	147	122	145
2	72	112	122	90
3	48.2	24	148.5	35
4	48.2	90	148.5	110
5	353	15	820	15
6	353	23	820	22

Kalina [11] çalışma akışkanı olarak ikili (amonyak-su) bir karışımın kullanıldığı yeni bir çevrim geliştirmiştir. Bu çevrim aslında, akışkan olarak amonyak-su karışımının kullanıldığı biraz daha karmaşık Rankine çevrimidir. Düşük sıcaklıklı jeotermal kaynakların kullanılması amacıyla tasarlanan bu çevrimde amonyak-su karışımına ait farklı kompozisyonlar literatürde mevcuttur [11-14]. Uygulamada en çok rastlanan % 70 amonyak içeren çalışma akışkanıdır. Bu çevrimler düşük sıcaklıktaki akışkandan elektrik üretimi için çok güvenli ve ekonomiktir. Dünyanın hemen hemen her yerinde düşük sıcaklıkta akışkan olduğu düşünülürse bu çevrimlerin geniş bir kullanım alanı bulacağı öngörülebilir. Leibowitz ve Mlcak'ın yaptığı çalışmada, Kalina teknolojisinin Organik Rankine çevrimine göre % 25'lik bir verim avantajı sağladığı belirtilmektedir [14].



Şekil 3. Kalina çevrimli güç santrali akış diyagramı.

Güç santrali dizaynında bölgesel özelliklerde dikkate alınarak optimum güç üretimi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışmada ayrıca binary çevrimin yanısıra Kalina çevrimiyle çalışan bir güç santrali dizaynı da yapılmıştır. Simav enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla yapılan, Kalina çevrimiyle çalışan güç santralının dizaynı Şekil 3'te verilmektedir [15]. Optimum güç üretimi için güç santrali dizaynında, EJ-1 ve E-3 kuyularından yararlanılmış olup her iki kuyunun değerleri alınarak 122 kg/s debi ve 145 °C sıcaklıkta ki jeotermal akışkan çevrimde kullanılmıştır. Çevrimin temel bileşenleri; jeotermal akışkan, ön-ısıtıcı, ısıtıcı ve kızdırıcıdan oluşan ve jeotermal akışkanın ısısının çekildiği eşanjör grubu, türbin, kondanser ve ısının geri kazanıldığı yüksek sıcaklık (YSR) ve düşük sıcaklık (DSR) reküperatörlerinden oluşan absorpsiyon sistemidir. Bu sistemde; jeotermal akışkan ısısını ilk olarak ön-ısıtıcıda çalışma akışkanına aktarır, aldığı ısıyla doymuş hale gelen

akışkan ısıtıcıda tamamen buhar haline gelene kadar tekrar jeotermal akışkanın ısısından faydalanır. Tamamen doymuş hale gelen çalışma akışkanına kızdırıcıda bir miktar ısı daha transfer edilerek kızgın buhar elde edilir. Bu buhar, türbin kanatlarında işe dönüştürülür. Kondenserden yoğuşarak gelen çalışma akışkanı, türbinden ayrılan çürük buharın ısısını absorbe eder ve son olarak tekrar eşanjör grubuna gönderilerek çevrim tamamlanır. Çalışmada, türbin ve pompa (SP) verimleri sırasıyla 0.85 ve 0.90 olarak kabul edilmiştir.

Üretilen net gücün kaynaktaki veya kuyu başındaki jeotermal akışkanın taşıdığı enerjiye oranı olarak tanımlanan binary buhar çevrimlerinin ısı verimleri, fosil yakıtlı santrallerin verimlerinden yaklaşık 3 kat daha az olup %10 ile %17 arasında değişmektedir [3]. Buna karşın, Simav jeotermal sahasında kurulması önerilen ve dizayn çalışması yapılan Kalina çevrimli güç santralının ısı verimi ise % 19.8 olarak hesaplanmıştır. Yapılan santral dizaynında, kullanılan jeotermal akışkanın % 19.8'i elektrik enerjisine dönüştürülürken geri kalan % 80.2'lik bölümü ikincil amaçlı olarak kullanılabilir. Yapılan santral dizaynlarına ait teknik bilgiler Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Simav Jeotermal Sahasında Uygulanabilecek Binary ve Kalina Güç Santrallerine Ait Teknik Bilgiler.

Parametre	Birim	Değer		
		Binary		Kalina
		Senaryo 1	Senaryo 2	
Kuyubaşı sıcaklığı	°C	147	145	145
Jeotermal akışkan debisi	kg/s	72	122	122
Çalışma akışkanı	-	R134a	R124	% 70 NH ₃ - % 30 H ₂ O*
Çalışma akışkan debisi	kg/s	48.2	148.5	107.4
Türbin giriş basıncı	kPa	2600	2000	4000
Türbin giriş sıcaklığı	°C	90	110	120
Adyabatik türbin verimi	%	85	85	85
Adyabatik pompa verimi	%	90	90	90
Kondenser su kapasitesi	kg/s	353	820	1060
Türbin güç üretimi	kWe	1226.5	3640	4470
Jeneratör güç üretimi	kWe	1134.9	2900	4135
Yıllık elektrik üretimi	MWh	9553	24,360	34,734
Isıl verim	%	12.9	10.6	19.8

*Ağırlıkça %

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Türkiye’de jeotermal sahaların yaklaşık olarak % 95’inin düşük ve orta entalpili kaynaklar olması nedeniyle, düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkanlardan elektrik üretimine imkan sağlayan yeni teknolojiler (Binary ve Kalina) üzerinde durulmalıdır. Bugün dünyada yaygın olarak kullanılan bu teknolojiler ülkemiz santrallerinde mutlaka uygulanmalı ve geliştirilmesi amacıyla Ar-Ge çalışmaları artırılmalıdır. Bu tür güç santrallerinde düşük dönüşüm verimleri nedeniyle jeotermal akışkanın enerjisinden tam olarak yararlanılamamaktadır. Bunun yanında, Simav jeotermal kaynaklarının sahip olduğu sıcaklık değerleri, halihazırda yapılmakta olan konut, sera ve termal tesislerin ısıtılması ve endüstriyel kullanım için oldukça yüksektir. Bu nedenlere bağlı olarak, elektrik üretimi sonrası atık enerjinin de değerlendirilmesi amacıyla entegre bir tesisin kurulması düşünülebilir. Bu amaçla, ilçede entegre üretim sistemleri ile, endüstriyel uygulamalar ve geliri daha fazla olan sera ürün yetiştiriciliği özendirilmelidir (çiçekçilik, kültür balıkçılığı, karides yetiştiriciliği vs. gibi). Ancak bu doğrultuda yapılacak bir çalışmada ekonomiklik faktörü de göz önünde bulundurularak, jeotermal ile birlikte kullanılacak sera alanının 10-15 dönümden az olmaması gerekmektedir. Tüm bunların yanında, Simav ilçesinde karşılaşılan diğer büyük bir problem re-enjeksiyon sorunudur. Her geçen gün jeotermal rezervuarın azalmasında en büyük rolü oynayan bu problemin çözülmesi zorunlu bir önceliktir.

KAYNAKLAR

- [1] Brophy, P., 1997, Environmental advantages to the utilization of geothermal energy, *Renewable Energy*, 10, 367-77.
- [2] Fridleifsson, I.B., 2001, Geothermal energy for the benefit of the people, *Renewable&Sustainable Energy Reviews*, 5, 299-312.
- [3] Barbier, E., 2002, Geothermal energy technology and current status: An overview, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 6, 3-65.
- [4] IGA, International Geothermal Association, 2006 (Erişim <http://iga.igg.cnr.it/geoenergy.php>)
- [5] Kutscher, C.F., 2000, The status and future of geothermal electric power. National Renewable Energy Laboratory, NREL/CP-550-28204, (Erişim <http://www.nrel.gov/geothermal/pdfs/28204.pdf>)
- [6] MTA, (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü), 2005, Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri.
- [7] Özdemir, R. (Simav Belediye Başkanı), 2005, Simav jeotermal bölgesel ısıtma sistemi üzerine sözlü görüşmeler.
- [8] Arslan, O., Yıldızay, H.D., Özgür M.A., Köse, R., 2006, Kütahya İli Jeotermal Kaynakların Kullanım Olanakları ve Karşılaşılan Problemler, III. Ege Enerji Sempozyumu, 24-27 Mayıs 2006, Muğla.
- [9] Kose, R., 2005, Research on the generation of electricity from the geothermal resources in Simav region, Turkey, *Renewable Energy*, 30, pp.67-79.
- [10] Kose, R., 2007, Geothermal energy potential for power generation in Turkey: A case study in Simav, Kutahya, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, pp. 497-511.
- [11] Kalina, I.A., 1984, Combined cycle system with novel bottoming cycle, *ASME Journal of Engineering for Gas Turbine and Power*, 106, pp.737-742.
- [12] DiPippo R., 2004, Second low assessment of binary plants generating power from low-temperature geothermal fluids, *Geothermics*, 33, pp.565-586.
- [13] Mlcak HA., 2002, Kalina cycle® concepts for low temperature geothermal, *Geothermal Res. Council Trans.*, 26, pp.707-713.
- [14] Leibowitz HM, Micak HA., 1999, Design of a 2MW Kalina cycle binary module for installation in Husavik, Iceland, *GRC Transactions*, 23, pp.75-80.

- [15] Arslan O., Köse R., 2006, Kütahya Simav jeotermal sahasının Kalina teknolojisiyle elektrik üretim potansiyeli, 10. Enerji Kongresi, 27-30 Kasım 2006, (kabul edildi).



MOTOR YAĞI TAKVİYELERİNİN, AŞINMA MEKANİZMALARINA ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Rasim İPEK & Mehmet ERDOĞAN

Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
Bölümü, 43100Kütahya,
ripek@dumlupinar.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, motor performansını artırmak için üretilen motor yağı katkı malzemeleri motorun aşınma direncine ve yağlama performansına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Çok yaygın olan üç farklı katkı motor yağının aşınma ve aşınma mekanizmalarına etkileri mukayese edilmiştir.

Aşınma testleri, pin-on-silindir yağlı ortamda gerçekleştirilmiştir. Aşınmanın kütle kaybının kayma süresine (kayma yolu) bağlı olarak değişimi ve aşınmış numune yüzeylerin SEM görüntüleri incelenmiştir. Ayrıca, 4 ve 8 saatlik kayma süreleri sonundaki yüzey pürüzlülüğü değişimi tespit edilmiştir. Deney öncesi ve sonrası yağ içindeki element değişimi belirlenmiştir. Aşınma mekanizmaları ve her bir katkı malzemesinin içerdiği element ve bu elementleri aşınma mekanizmalarına etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır; K₁, K₂ ve K₃ katkıları, aşınma süreçlerini ve mekanizmalarını etkilemektedir. Bununla beraber, K₁ ve K₂ katkıları içeren yağlamada aşınmış yüzeyde bazı elementlerin (Cu, Sn, Al, Pb, Mo ve Si) çökelediğini gösteren belirtiler ve veriler elde edilmiştir.

Bu katkıları, aşınmayı ve sürtünmeyi yüzeyde oluşturduğu bu tabakalarla kontrol etmekte olduğu kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Motor yağı katkı maddeleri, Aşınma

1. GİRİŞ

Motorun aşınması ve dolayısı ile performansının düşmesi, motorlu araç kullananlar için oldukça önemlidir ve motor taşıt teknolojisinde hala en başta gelen sorunlardan biridir. Motordaki aşınma neticesinde, motor performansı düşer, yakıt ve yağ sarfiyatını buna paralel olarak artar. Ayrıca, gürültü artışı neticesinde birçok psikolojik ve çevresel sorunlara da yol açar.

Yağlara birçok katkı, işletme koşullarından kaynaklanan problemine çözüm olması için geliştirilmiştir. Bu katkıları, sürtünmeye (FM, friction modifiers), basınç taşıma, (EP, extreme pressure), aşınma direnci (AW, anti wear,), oksitlere dirençli (AO, anti oksidant)