

TÜRKİYE'DE FAALİYET GÖSTEREN DOĞALGAZ KOMBİNE ÇEVİRİM VE KOJENERASYON SANTRALLERİNDE, KOMPRESÖR EMİŞ HAVASININ PÜLVERİZE SU PÜSKÜRTÜLMESİ YÖNTEMİ İLE SOĞUTULMASININ TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ



Recep ÇITLAK
Makina Yüksek Mühendisi
Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali
Üretim Müdürlüğü

ÖZET

Kullanılabilir enerji kaynaklarının hızla azaldığı günümüzde yeni enerji kaynakları bulununcaya dek mevcut kaynakların en verimli şekilde kullanılması oldukça önem kazanmıştır. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler içinse enerjinin verimli kullanılması daha da büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma içerisinde doğalgazla işletilen elektrik santrallerinde kompresör giriş havasının soğutulmasının verim ve maliyetler üzerindeki etkisi Hamitabat Doğalgaz santrali üzerinde araştırılarak analiz edilmiştir.

Soğutma ile verim artışı sağlama yöntemi dünyada çok sayıda işletme tarafından yıllardır kullanılan bir yöntemdir. Gaz türbinlerinin verimi; türbin giriş sıcaklığının 1100 K in üzerinde olması durumunda oldukça artmaktadır. Türbin giriş sıcaklığının yükseltilebilmesi büyük oranda kullanılan malzemeye ve iç dizayna bağlıdır. Metalürjideki son gelişmelerle türbin giriş sıcaklığı 1873 K'e kadar yükseltilebilmiştir. Ancak tüm bu gelişmeler sadece yeni dizayn gaz türbinlerine uygulanabilmektedir. Mevcut gaz türbinlerinde

verim artışı sağlamanın en ekonomik yollarından birisi olarak ise kompresör giriş havası soğutma sistemleri görülmüştür.

Gaz türbinlerinin verimini azaltan en büyük etkenlerden biri kompresörün türbinden çektiği yüksek miktarda enerjidir ki bu çoğu yerde türbinin ürettiği enerjinin yarıdan fazlasını oluşturmaktadır. Kompresör giriş havasının soğutulması ile kompresörün birim hava için harcadığı enerji azalacağı gibi yanma odasına giren oksijen miktarı ve türbine giren çalışma maddesi miktarı artacağından hem kapasite artışı sağlanmakta hem de verim yükseltilebilmektedir. Sonuç olarak elektrik üretiminde yaz aylarında yüksek sıcaklıklardan dolayı oluşan üretim kaybının önlenmesi atmosfer şartlarına bağımlılığı azaltacaktır.

KEYWORDS

**Enerji,
Evaporatif Soğutma,
Kombine Çevrim,
Kompresör,
Soğutma ,
Türbin Giriş Havası
Verim,**

1.GİRİŞ

Ülkemizde doğalgaz kullanımının başlamasından sonra maliyet açısından cazip olması nedeniyle sanayi sektörü hızla bu yakıt türüne yönelmiştir. Sanayimizin özellikle 1980 sonrası hızla gelişmesi ile paralel olarak artan enerji gereksinimini karşılamak için bu alanda hızlı bir yatırım yapma ihtiyacı doğmuştur. Bu nedenle öncelikle devlet kuruluşları yatırımlarını hızlandırmıştır. Bu yatırımlardan biri de doğalgaz kombine çevrim santralleri olmuştur. Daha sonra özel müteşebbisler de ilk yatırım maliyetlerinin az oluşu ve devletin oldukça cazip teşvikleri nedeniyle özellikle bu alanda gerek doğalgazlı kojenerasyon gerekse kombine çevrim santrallerini kurmaya başlamışlardır. Böylece doğalgazla elektrik üretimi yapan birçok kurum doğmuştur.

Doğalgazla elektrik üretiminin en büyük dezavantajı ise diğer üretim yöntemlerine göre üretim maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Bu nedenle doğalgazla elektrik üretiminde üretim maliyetlerini düşürecek her türlü çalışma gerek verimlilik ve karlılık gerekse ülke ekonomisi açısından çok ciddi kazanımlar sağlayacaktır.

2.GAZ TÜRBİNLERİ TERMODİNAMİK ÇEVİRİM PRENSİPLERİ

Gaz türbinlerinin teorik çevrimi, başlangıçta bir pistonlu motor çevrimi olan Bryton çevrimidir. Bununla birlikte verimlerinin değerlendirilmesinde referans olarak alınan çevrimler Stirling ve Ericsson çevrimidir.

Bryton 1873 yılında yağ yakıt ile çalışmak üzere sabit basınçta yanma ve tam genişleme özellikleri olan bir motor geliştirdi. Bu motorda bir silindir, hava veya yanıcı karışımı sıkıştırırken diğer silindir de iş silindiri olarak kullanılıyordu. İş silindiri atmosferik basınca kadar genişlemeyi sağlayacak kadar genişti. Kompresör, yanıcı karışımı karışım alıcıya gönderiyor, karışım buradan motora akarken ateşleniyor ve yanma sabit basınçta gerçekleşiyordu. Bu çevrim günümüz gaz türbinlerinin teorik çevrimi olarak kullanılmaktadır.

3. GİRİŞ HAVASININ SOĞUTULMASININ KOMPRESÖR VE TÜRBİN İŞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Önceleri gaz türbinlerinin özellikle uçaklarda kullanılması sebebiyle düşük ünite ağırlıkları için santrifüj kompresörler kullanılmış, aksiyel kompresörler büyük uçak motorları için tercih edilmiştir. Santrifüj kompresörler yüksek izentropik verimleri nedeni ile küçük güç ünitelerinde halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak günümüz gaz türbini santrallerinde aksiyel tip kompresörler kullanıldığı için bu çalışma kapsamında sadece aksiyel tip kompresörler ele alınmıştır.

Günümüzde kompresör verimleri % 90'a, basınç oranları 30:1 e kadar yükselmiş olmasına rağmen hala çözümlenmesi gereken bazı problemler vardır. Bunlardan en önemlisi

de kompresörün çalışması için ihtiyaç duyulan yüksek miktarda enerjidir.

Kompresörün çektiği enerjiyi azaltmanın bir yolu; doğal olarak, sürtünme, çalkantı ve sanki dengeli olmayan hal değişimi gibi tersinmezlikleri en aza indirerek, hal değişimini içten tersinir bir hal değişimine yaklaştırmaktır. Ancak bunların yapılabilmesi ekonomik faktörlere bağlıdır. Fakat daha kolay uygulanabilecek bir yöntem sıkıştırma sırasında gazın özgül hacmini olabildiğince küçük tutmaktır ki bu da gazın sıcaklığı düşürülerek sağlanabilir ($wc = \int_1^2 v.dp$ -1-). Sıkıştırma

sırasında havanın soğutulması özgül hacminin küçük tutulmasının önemini daha iyi anlayabilmek için üç değişik hal değişimi için sıkıştırma işi incelendiğinde şunlar görülür:

İzentropik hal değişiminde ısı geçişi ve buna bağlı olarak soğutma yoktur. Sabit sıcaklıkta hal değişiminde ise önemli ölçüde soğutma vardır. Bu iki hal değişimine ek olarak politropik hal değişimi içinde (-1-) nolu denklem aynı basınç oranlarında (P_1, P_2) ve içten tersinir olarak gerçekleştiği ve mükemmel gaz olduğu ($Pv=RT$) kabul edilerek integre edildiğinde şu sonuçlar elde edilir:

İzentropik hal değişimi için (Pv^k sabit)

kompresör işi:

$$W = k R (T_1 - T_2) / (k - 1) = k R T_1 [1 - (P_2 / P_1)^{(k-1)/k}] / (k - 1)$$

Politropik hal değişimi için (Pv^n sabit)

kompresör işi :

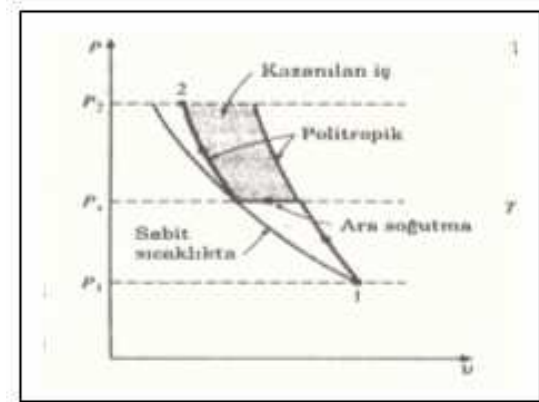
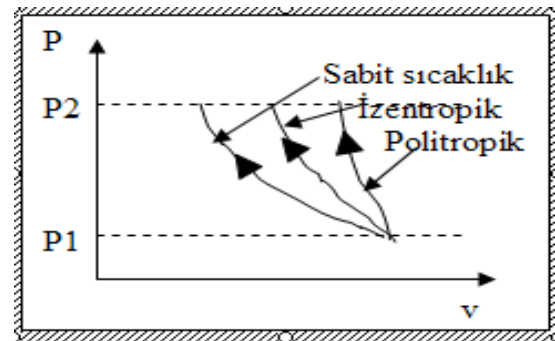
$$W = n R (T_1 - T_2) / (n - 1) = n R T_1 [1 - (P_2 / P_1)^{(n-1)/n}] / (n - 1)$$

Sabit sıcaklıkta hal değişimi için (Pv sabit)

kompresör işi:

$$W = R T \ln (P_1 / P_2)$$

Hal değişimlerinin aynı giriş ve çıkış sıcaklıkları ve basınçları için Pv diyagramı incelendiğinde hal değişim eğrisinin solunda kalan alan sıkıştırma işini göstermektedir. Aşağıdaki grafikten de görüldüğü gibi adyabatik sıkıştırma en çok işi sabit sıcaklıkta sıkıştırma ise en az işi harcamaktadır. Eğer ara soğutmalı kademeli bir kompresör kullanılırsa diğer şekilde görülen taralı alan kazanılabilmektedir.



4.KOMPRESÖR GİRİŞ HAVASININ SOĞUTULMASI İLE SAĞLAYABİLECEK AVANTAJLAR FAYDALAR

A) Bakım maliyetinin düşürülmesi: Bu sistem ihtiyaca bağlı olarak daha fazla üretim gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılabildiği gibi istendiğinde daha düşük yanma odası sıcaklığı ile aynı miktarda üretim yapılabilmesine imkan sağlayacaktır. Yanma odasının sıcaklığının düşürülmesi sıcak gaz yolu ekipmanlarının yıpranmasını azaltacağından bakım süresinin uzaması ve bakım maliyetlerinin %20 lere varan oranda azalmasını sağlayabilmektedir.

B) Üretim artışı sağlanması: Elektrik ihtiyacına bağlı olarak bu sistem sayesinde istendiği takdirde yanma odası sıcaklığı düşürülmeden daha fazla üretim gerçekleştirilebilmektedir.

C) Gaz türbini veriminin arttırılması : Yaz aylarında atmosferik şartlar nedeniyle oluşan verim kaybı bu sistem sayesinde minimuma indirilerek birim üretim maliyetlerinin düşürülmesi sağlanabilmektedir.

D) Nox emisyonlarının düşürülmesi: Giriş havasının soğutulması ile birlikte yanma sıcaklığının etkisiyle oluşan Nox emisyonlarında da kısmen düşüş sağlanabilmektedir.

E) Kompresör yıkama ihtiyacının azaltılması: Kompresör emiş havasına piskürtülen su aynı zamanda türbin veriminde düşmeye neden olan kompresör kanatlarının kirlenmesini azaltacağından yani bir nevi on-line yıkama vazifesi de göreceğinden kompresörün yıkanma aralıklarını da

uzatacaktır. Bu da hem verimi arttıracak hem de emre amadeliğe katkıda bulunacaktır.

5.GAZ TÜRBİNİ GİRİŞ HAVASI SOĞUTMA YÖNTEMLERİ

Türbin generatör sistemlerinin hemen tümü sabit volumetrik akışa sahiptir. Bu özellik nedeniyle havadaki yoğunluk artışı sistemin giriş havasının ağırlıkça artmasına bunun sonucu olarak da türbin generatör sisteminin enerji üretim kapasitesinin artmasına imkan sağlamaktadır. Türbin generatör sistemlerinde yanma havasının soğutulması üretim kapasitesini ve toplam verimi arttırmada tartışma götürmeyen bir yöntemdir. Başlangıçta birçok santrallerde o günün şartlarında kapasiteler yeterli olduğundan dolayı yatırım maliyetlerini düşürmek için **CTIAC** (Combustion Turbine Inlet Air Cooling) sistemi olmadan kurulmuştur. Ancak sonraları artan enerji ihtiyacına paralel olarak bu sistemin kurulmaya başlanması ile birlikte özellikle yaz şartlarında % 10-26 oranlarında kapasite arttırılabilmektedir(ŞAHİN N. 2003)

Kompresör emiş havasını soğutma yöntemleri başlıca iki ana gruba ayrılabilir. Birincisi evaporatif soğutmadır ki bu yatırım maliyeti açısından çok cazip bir yöntemdir. Ancak soğutma kapasitesi Yaş Termometre sıcaklığı ile sınırlıdır. İkincisi ise kuru yüzeyli soğutma yöntemidir. Bu yöntemin işletme şekilleri bakımından çok çeşitli dizaynları vardır. Bunlar arasında absorpsiyonlu soğutma yöntemi oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Çünkü sistemdeki atık ısıların bu yolla değerlendirilebilmesi ve böylece verimin çok

ciddi oranlarda artırılması mümkün olmaktadır.

Evaporatif Soğutma : Kuruluş ve işletme maliyetlerinin düşüklüğü nedeni ile öncelikle değerlendirilen bir sistem olmaktadır. Ancak ideal evaporatif soğutma yaş termometre sıcaklığında olup, pratikte ise yaş termometre sıcaklığı ile kuru termometre sıcaklığının farkının % 85-95' i kadar yaklaşılmaktadır. Bu sistem hibrit sistemlerle birlikte kullanılabilir.

Bu soğutma yönteminde su giriş havası ile temas halinde hareket etmektedir. Su havanın ısını üzerine alarak buharlaşırken akış havası soğutulmaktadır. Sistem kuru iklimlerde çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Çünkü kuru iklimlerde havanın absorbe edebileceği su miktarı daha fazla olduğundan dolayı havanın yaş termometre sıcaklıkları oldukça düşüktür. Bu ise düşük maliyetlerle oldukça iyi bir soğutma yapılabilmesine olanak tanımaktadır. Püskürtülen su kompresöre taşındığı için depozitleri önlemek amacıyla işlenmiş su tercih edilir. Havanın akış hızına göre nem alıcılar da kullanılabilir. Suyu havaya vermek için iki farklı yöntem kullanılır. Bunlardan birincisi evaporatif media vasıtası ile suyun havaya verilmesidir. Bu yöntemde petek şeklindeki evaporatif medianın dışından su aşağı doğru süzülürken evaporatif medianın içinden geçen hava bu suyu absorbe eder. Eğer montaj için yeterli alan varsa bu sistem tercih edilebilir. Eğer soğutma sisteminin montajı için kullanılan alan sınırlı ise bu durumda suyu havaya vermek için spreyleme nozulları kullanılmaktadır. Bu spreyleme nozulları hava giriş kısmına karşılıklı olarak yerleştirilir. Hava damlalarının boyutu

bu yöntemde oldukça önemlidir. Hava damlalarının boyutu istenen değerden daha büyük olursa, su, buharlaşmadan önce kompresör kanatlarına ulaşabilmekte ve bunun sonucu olarak ta kompresör kanatlarında korozyona neden olabilmektedir. Giriş havasına suyu püskürtmenin iki temel metodu vardır yüksek basınç nozulları ve ultrasonik nozullar.

Yüksek basınç nozulları : Bu sistemde suya yüksek basınç kazandırılır. Su nozullardan geçerken başlangıçtaki basıncı nedeni ile yüksek bir hıza ulaşır. Nozullara gönderilen suyu basınçlandırmak için bir yüksek basınç pompası kullanılır.

Ultrasonik nozullar: Yüksek basınç nozullarının etkisini arttırmak için ultrasonik nozullar kullanılabilir. Ultrasonik bir nozulda basınçlandırılmış hava ve su birlikte nispeten daha düşük basınçlarda su damlalarının boyutunun küçük kalmasını sağlayabilir. Basınç altındaki suya ultrasonik şok dalgaları uygulanarak su partiküllerinin parçalanarak daha düşük boyutlarda olması sağlanır. Böylece düşük basınçlarda işletilebileceğinden kullanılacak komponentlerin daha basit olmasına imkan verir.

Evaporatif soğutma sisteminin ana avantajı düşük işletim ve kurulum maliyetleri ile birlikte girişteki basınç düşümünün minimum olmasıdır .

Sistem ekipmanları: Evaporatif media ile yapılan soğutma için gerekli sistem ekipmanları basitçe pompa ,borular ,evaporatif media ve gerektiği takdirde kondensat toplayıcılarıdır. Bu sistem için kullanılan su demineralize su

olmalıdır.



Spreyleme metodu ile evaporatif soğutmanın sistem ekipmanları ise pompalar, yüksek basınçlara dayanıklı borular ve püskürtme nozullarıdır. Ultrasonik spreyleme için ayrıca ultrasonik besleme ünitesi gerekir.



6.KOMPRESÖR GİRİŞ HAVASI SOĞUTMA YÖNTEMİNİN SEÇİMİ

CTIAC Sistemi kurulurken aşağıdaki konuların irdelenmesi gerekir.

- Türbin tipi : Türbinin yapısının soğutma sistemi kuruluşu için elverişli olup olmadığı veya hangi soğutma sistemlerinin kurulmasına elverişli olduğu konusu soğutma sistemi kurulmadan önce titizlikle belirlenmesi gereken bir konudur.
- Bölge iklim özellikleri : Bölgenin iklim özellikleri soğutma sistemini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Özellikle soğutma sisteminin kurulacağı bölgenin ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri soğutma sisteminin kapasitesini, boyutlarını, ve ekonomikliğini oldukça etkileyecektir. Eğer atmosfer sıcaklıkları düşükse (İngiltere, Rusya, Kanada ve benzer iklim yapısına sahip ülkelerde olduğu gibi) bu durumda yatırımın geri dönüş süresi uzayacak ve ekonomikliğini kaybedecektir.
- Hava debisinin üretilen enerjiye oranı : Akış oranı diye tabir edilen bu değer hesaplarda direkt olarak yer almamasına rağmen soğutma sistemlerinin ekonomikliğini belirleyen en önemli değerlerden birisidir. Akış oranı ne kadar artarsa birim havanın ürettiği net enerji o kadar yüksek demektir. Bu durumda havanın soğutulması sonucu elde edilecek güç ve verim artışı da aynı oranda artacaktır. Akış oranı (Ib/kw cinsinden) 30'un altında ise soğutma sistemi çok iyi sonuçlar vermektedir. 30-35 arası soğutma oranları ise sistemin kurulması için

yeterli oranlardır. 35'den daha yüksek oranlarda ise sistem ekonomikliğini hızla kaybedecektir (JOLLY vd. 1998).

- Hava soğutma metodu: Seçilecek olan hava soğutma sistemi amaca ve ihtiyaca uygun olmalıdır. Çünkü soğutma sistemi değişik amaçlarla kurulabilir. Güç artışı için istenebileceği gibi verim artışı içinde kullanılabilir. Ayrıca soğutma yapılması istenen sürelerde önemlidir. Kısa süreli soğutmalar için sürekli soğutma sisteminin kullanılması takdir edersiniz ki ekonomik olmayacaktır.
- Bakım onarım ve işletme giderleri : Sistemin yatırım araştırmalarını yaparken sadece ilk yatırım masrafları değil bakım ve işletme giderleri de göz önünde bulundurulması gereken bir faktördür.
- Elde edilen elektrik enerjisinin satış ve üretim maliyetleri : Son olarak soğutma sistemini kurulması sırasında göz önüne alınması gereken bir diğer faktör elektrik enerjisi üretim ve satış maliyetleridir. Çünkü kar ve fayda esas prensip olduğu için yapılan yatırımın müteşebbise bir avantaj sağlaması gerekir. Eğer yatırım, elde edilecek kar oranlarıyla çok uzun sürede kendini amorti edebiliyorsa bu durumda sistemin bir cazibesi kalmayacaktır.

7.GİRİŞ HAVASININ SOĞUTULMASININ GAZ TÜRBİNİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN HESAPLANMASI

Bu hesaplamaları yaparken başlangıçta da belirttiğimiz gibi Hamitabat Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali model olarak alınmıştır

Yöntem Seçimi

a) Türbin tipi: Hamitabat kombine çevrim santralında kullanılan türbinler Heavy-duty diye adlandırılan sabit tip endüstriyel gaz türbinleridir. Soğutma sisteminin uygulanması için gerekli boş alana ve sistemin kurulması sonucu oluşacak çalışma düzenine uygun çalışma esnekliğine sahiptir.

b) Bölge iklim özellikleri : Santralin bulunduğu Lüleburgaz bölgesi sıcak bir iklim yapısına sahiptir. Soğutma yükünü önemli ölçüde etkileyen bağıl nem oranı ise nispeten düşüktür (Ortalama % 50).

a) Akış Oranı: Hamitabat santralında kullanılan gaz türbinlerinin akış oranı $(2936554 \text{ t/h} / 91600 \text{ kw} = 32,06)$ dır. Görüldüğü gibi soğutma sistemi için uygun değere sahiptir.

d) Hava soğutma metodu: Soğutma yönteminin seçimini yaparken sürekli bir soğutma yapılacağı düşünülmüştür. Ayrıca santralin bulunduğu bölge sıcak grupta yer aldığı için soğutma sisteminin hemen hemen yıl boyu kullanılabilir olduğu ve soğutma ihtiyacının günde 6 saatten çok fazla olduğu da atmosfer şartlarından anlaşılmaktadır. Bu

durumda ısı depolamalı sistemlerin uygun olmadığı hemen anlaşılmaktadır. Diğer metotlar ise elde edilen sonuçlara ve soğutma sisteminin kuruluşundaki öncelikli amaca göre değişecektir. Bu nedenle bu çalışmamız kapsamında sadece fogging sysem uygulamasına ait verim ve maliyet hesaplamaları yapılacaktır. Çünkü yöntem seçimi, elde edilen sonuçlar kadar işletmenin önceliklerine göre de değişebildiğinden bu konuda bir tercih yapılması çalışmaya herhangi bir katkı sağlamayacaktır.

Soğutma yöntemlerinin sistem üzerindeki etkilerinin hesaplanması

Hamitabat elektrik santralinde halen kullanılmakta olan gaz türbinleri eski adıyla BBC yeni adıyla ise ALSTOM firmasına ait GT13 D2 tipi gaz türbinleridir. Sabit basınç Bryton çevrim prensibine göre çalışmaktadır. Dizayn değerleri aşağıda verilmiştir.

- Tipi : GT 13 D2 - Reaksiyon tip
- Nominal gücü : 91,62 MW
- Net verim : % 32,34
- Türbin giriş sıcaklığı : 1005 C
- Egsoz sıcaklığı : 490 C
- Isı sarfıyatı : 2660 Kcal/Kwh
- Gazın kalorisi : 8060 Kcal / SM³
- Gaz debisi : 5,7 Kg/sn

Kompresörün teknik verileri ise aşağıdaki gibidir.

- Tipi : Aksiyal
- Nominal kapasite : 370 Kg/sn
- Sıkıştırma oranı 11,9/1

Bryton çevrimi için teorik formüller :

Teorik çevrim değerlendirmesinde aşağıdaki kabuller yapılmaktadır:

- Çalışma maddesi özgül ısıları ve kompozisyonu çevrim boyunca değişmeyen havadır.
- Sıkıştırma ve genişleme işi izentropiktir.
- Her bir elemanın giriş ve çıkışı arasındaki kinetik enerji değişimi ihmal edilebilir.
- Sistemi oluşturan ara elemanlarda basınç düşümü olmadığı farz edilir.
- Gazın akış kütlesi çevrim boyunca sabittir.

Çevrimin Pv ve Ts diyagramlarına bakılacak olursa

Sisteme verilen ve sistemden atılan ısılar:

$$q_i = C_p (T_3 - T_2)$$

$$q_r = C_p (T_4 - T_1)$$

Olacaktır. Buna göre ısı verim :

$$\eta_{\text{ısı}} = 1 - \frac{C_p(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)}$$

Biçiminde ifade edilebilir. 1-2 adyabatik işleminde:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{1}{\beta} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

Diğer taraftan $P_3 = P_2$ ve $P_4 = P_1$ olduğundan :

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

Yazılabilir böylece:çevrimin ısı verimi :

$$\eta_{\text{ısı}} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

olacaktır.

Gaz türbinlerindeki işlemler kararlı akış işlemleridir. Hesaplamaların temelini kararlı akış için termodinamiğin 1. Kanunu oluşturur.

$$Q_{kh} + \sum m_1 \left(h_1 + \frac{C_1^2}{2} + gz_1 \right) = \sum m_2 \left(h_2 + \frac{C_2^2}{2} + gz_2 \right) + W_{kh}$$

Gaz türbinlerinde sisteme verilen ısıya oranla çevreye transfer edilen ısı çok küçük olduğundan işlem adyabatik olarak kabul edilir. Aynı zamanda giriş ve çıkış arasındaki yükseklik farkı genellikle ihmal edilebilir düzeydedir. Kinetik enerji değişimi de çok küçük olduğundan hesaplamalarda göz ardı edilmektedir. bu durumda denklem :

$$h_1 = h_2 + 1W_2$$

Halini almaktadır. Burdan kompresör işi :

$$w_c = h_2 - h_1$$

Şeklinde yazılabilir.

Türbin işi de gene aynı şekilde :

$$w_t = h_3 - h_4$$

olarak yazılabilir.

Türbin işi ile kompresör işi arasındaki fark net işi vermektir. Sisteme verilen ısı ile sistemden atılan ısının farkı ise sisteme verilen net ısıyı verecektir.

$$w_{net} = (h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)$$

$$q_{net} = (h_3 - h_2) - (h_4 - h_1)$$

Böylece çevrimin ısı verimi :

$$\eta_{ısı} = \frac{w_{net}}{q_s} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2}$$

Şeklinde yazılabilir.

Gerçek çevrimler aşağıdaki nedenlerle teorik çevrimlerde farklılık gösterir.

- Turbomakinalarda akışkan hızları girişle çıkış arasında farklılık gösterdiğinden ihmal edilemez. Ayrıca sıkıştırma ve genişleme işlemi tersinmez adyabatik olduğundan entropide artış olmaktadır.
- Sistem içerisinde çeşitli kısımlarda basınç düşüşü olmaktadır.
- Ayrıca mekanik elemanların sürtünmesi nedeni ile mekanik kayıplar oluşmaktadır.
- Sıcaklık ve kimyasal kompozisyona bağlı olarak çalışma maddesinin Cp ve k değeri değişmektedir.
- İçten yanma nedeni ile türbinden geçen çalışma maddesi miktarı kompresörden geçen çalışma maddesi miktarından yakıt miktarı kadar fazladır.

Bu çalışması sırasında sonuçların gerçeğe en yakın olması amacı ile gerçek çevrimde göz önüne alınması gereken tüm değerler tespit edilmeye çalışılmış ancak hava akış hızı gibi ölçüm gerektiren , kompresör verimi gibi üretici firmanın arşiv bilgilerinde yer alan bilgilerin bir kısmı elde edilemediğinden yaklaşık değerler örnekleme yoluyla tesbit edilmeye çalışılmıştır. Bu nedenle bazı kabuller literatürdeki örneklere dayanarak yapılmıştır. Ancak bu ihmaller çalışmanın fikir verici özelliğini etkileyecek boyutta sonucu değiştirmeyecektir.

İş alan veya üreten bir makinenin verimi gerçek işin ideal işe oranı olarak ifade edilir. Bu çalışmada kompresör verimi % 86 olarak alınacak türbin verimi ise ölçüm yolu ile tespit edilecektir. Mekanik kayıplar ise kompresörün

gerektirdiği g¼c¼n %1 i olarak kabul edilmiştir. Yanma verimi % 99 alınacaktır. Cp ve k değerleri çevrim performansının değerlendirilmesinde oldukça ¼nemli bir yere sahiptir. Bu nedenle çevrim boyunca değişimi g¼z ¼n¼ne alınmalıdır. Bu amaçla hava için $C_{pa} = 1,005$ kJ/kg ve $k_a = 1,4$ ve yanmış gazlar için $C_{pg} = 1,147$ kJ/kg $k_g = 1,333$ olarak alınmıştır.

8.TARTIşMA

Kompres¼r giriş havasının soğutulması konusunda g¼rebildiđim kadarıyla şu ana kadar ¼zellikle yabancı ¼lkelerde gerek ¼niversiteler tarafından gerekse ilgili firmalar tarafından bazı araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak soğutma sisteminin faydaları ve uygulama teknikleri konu alınmış fakat konu kapsamı içinde ekseriyetle istatistiki bilgiler ve yorumlara yer verilmiştir. Firmaların yaptığı çalışmalarda ise reklam ¼n plana alınarak tanıtım ve sadece uygulama yapılan santrallerdeki sonuçlara yer verilerek soğutma sistemlerinin faydaları g¼z ¼n¼ne serilmeye çalışılmıştır. Ayrıca bu çalışmalarda konu sadece lokal bazda sadece firmaların bu sistem sayesinde elde edeceği kazançlar ve verim artışları açısından ele alınmıştır.

Bizim yaptığımız çalışmada ise konu biraz daha somutlaştırılarak kompres¼r giriş havası soğutma sistemlerinin hem ekonomik hem de teknik sonuçları hesaplamalarıyla birlikte rakamlarla yansıtılmaya çalışılmış ve elde edilen veriler ışığında konunun ulusal bazdaki muhtemel etkileri yorumlanmaya çalışılmıştır.. Bu bakımdan diğer çalışmalardan farklılık g¼stermektedir.

Çalışmamızın neticesinde ulaştığımız sonuçlar çok kesin sonuçlar değildir. ¼nk¼ bu çalışmada biz sadece Hamitabat Doğalgaz evrim Santralindeki değerleri g¼z ¼n¼ne alarak belli sonuçlara ulaştık ve sonuçları ¼lke bazında yorumlamaya çalıştık. Ancak her gaz t¼rbinin ve işletim şeklinin kendine ait karakteristikleri vardır ve bu ¼zelliklerdeki farklılıklar da sonucu etkileyecektir. Bununla birlikte g¼n¼m¼zde gaz t¼rbinlerinin bu karakteristik ¼zellikleri arasındaki farklar çok ciddi boyutlarda değildir. Bu nedenle bu çalışmada ulaştığımız sonuçlar bir fikir verebilmesi açısından yeterli doğrudur.

9.SONUÇLAR

Hamitabat santralının kurulu olduğu L¼leburgaz b¼lgesi g¼z ¼n¼ne alındığında yapılan hesaplamalar neticesinde yaz aylarında her bir gaz t¼rbini ¼nitesinin çıkış g¼c¼nde ortalama % 7-10 arası bir g¼ artışı, ve %1,2-1,5 arası verim artışının sağlanabileceği g¼r¼lm¼řt¼r. T¼rkiye’de doğalgazla ¼retim yapan t¼rbinlerin toplam kurulu g¼c¼ yaklaşık 7-8 bin MW dolaylarındadır.

Bu sonuca g¼re T¼rkiye’deki gaz t¼rbinlerinde bu y¼ntemin uygulanması ile sağlanabilecek g¼ artışı yaklaşık 700-800 MW civarında olacaktır. Bu da Hamitabat Santralının yaklaşık %75 ine tekab¼l etmektedir Sistemin yaz aylarında daha verimli kullanılması nedeniyle giriş havası soğutma y¼nteminin gaz t¼rbinlerinde uygulanması hem çok d¼ř¼k bir yatırım maliyeti ile gerçekleştirilebilecek hemde t¼ketime ihtiyacının en y¼ksek olduğu yaz

aylarında sistemin verimi tüketimle paralel olarak artacaktır.

10.KAYNAKLAR

Makale:

Jolly S., Nitzken J. Shepherd D. Direct Spray System For Inlet air cooling W501B5 Dallas 9-11-1998

Mercer M. Hot times for turbine cooling *Diesel&,Gas turbine worldwide* Nisanl 2002

Bronconi R. Carnavale E. ,De lucia M. Performance and ekonomik enhancement of cogeneration gas türbines trough compresör inlet air cooling *Journal of engeneering for gas turbines and power* 2 Nisan 1994

Jolly S. Performance Enhancement of Combustion Turbines with Wet Compression *Caldwell Energy & Environmental* Ocak 29, 2003

Hjerpe C. Maintaining turbine efficiency by cycle design, cooling inlet air and cleaning the compressor *Cogeneration&On-Site Power* Şubat 2004

Şahin N. Türbin giriş havasını soğutmanın faydaları, kurulu tesislere uygulama imkanları ve özellikleri *Energy&Cogeneration World* Eylül 2003

Seminer Konferans:

Gareta R. , Romeo L.M, Gill A. Economic optmization of gas türbine inlet air cooling in combine cycle applications Zaragoza Üniversitesi Mart 2003

Lampugnano V. Various Türbine inlet air cooling Mechanical Refrigeration systems:comparison and optimizations *İnternational Jointpover generation conference* Florida 23-26 Temmuz 2003

Stamp D.W. *Increasing gas turbine capacity via inlet air cooling*

Gareta R.,Romeo L.M. Gill A. The effect of inlet air cooling systems on combine cycle performance Zaragoza ünversitesi Mart 2003

Kitap:

Çengel Y.A, Boles M.A,Çeviren : Prof Dr. Taner derbentli. *Mühendislik Yaklaşımıyla termodinamik* Literatür Yayıncılık 1996 İstanbul

Doç Dr. Çetinkaya S. *Gaz türbinleri* Nobel yayın dağıtım 1999 İstanbul

Süleyman Cansoy, *Psikomerik Diyagramda çözümlü Problemler* Öğün Yayınları 1998 Ankara

Özkol N. *Uygulamalı Soğutma Tekniği*, M.M. odası yayını Nisan1999 Ankara