



Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi

Rabi KARAALI
Arzu KEVEN

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2024

ISBN • 978-625-5955-97-5

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not

be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruyenyayinevi.com

e-mail: seruyenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi

Rabi KARAALÍ¹

Arzu KEVEN²

¹Doç. Dr.; Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü.
rabikar@gmail.com ORCID No: 0000-0002-2193-3411

² Öğr. Gör. Dr.; Kocaeli Üniversitesi Gölcük Meslek Yüksek Okulu
arzu.keven@kocaeli.edu.tr ORCID No: 0000-0003-0040-9167

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
1.1. Kojenerasyon Tesisleri	1
1.2. Türkiye’de Kojenerasyon Kullanımı	4
1.3. Gaz Türbinli Kojenerasyon için Literatürdeki Çalışmalar ve Verimini İyileştirme Metotları	5
2. KOJENERASYON ÇEVİRİMLERİ VE AYGITLARI	11
2.1. Gaz Türbini Kojenerasyon Tesisleri	11
3. MATERYAL ve METOD	19
3.1. Gaz Türbinli Kojenerasyon Çevrimlerinde Termodinamik Model ...	19
3.1.1. Birinci yasa analizi	19
3.1.3. Termodinamik performansın analizi	31
3.1.4. Kojenerasyon tesislerini değerlendirme kriterleri	32
4. BULGULAR.....	34
4.1. Gaz türbinli Kojenerasyonda Termodinamik Analiz.....	34
4.1.1. Birinci ve ikinci yasa analizleri	34

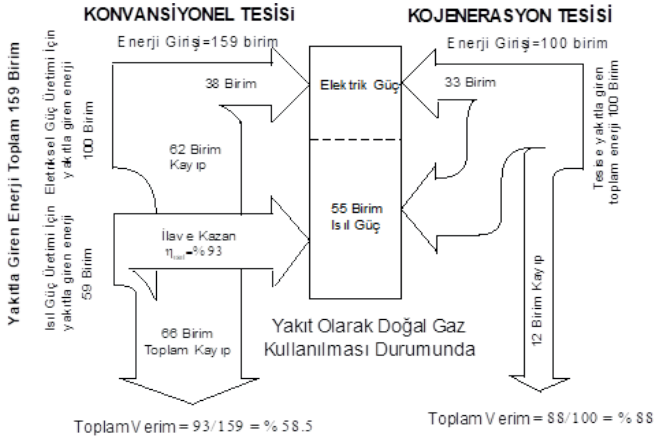
1. GİRİŞ

1.1. Kojenerasyon Tesisleri

Klasik tesislerde elektrik ile ısı üretimi 2 farklı tesiste üretilir. Kojenerasyon tesislerinde ise ısı üretim tesisi ile üretilen ısı enerjisi, bu enerjiyi taşıyan akışkan ile elektrik üretilip, kalan egzoz ısı da kızgın buhar veya sıcak su üretmekte kullanılır. Şekil 1’de görüldüğü gibi, konvansiyonel (klasik) tesislerde toplam verim %58 civarındayken kojenerasyon çevrimlerinin verimi ise %90’a kadar yükselebilmektedir. Burada iki üretim tarzı karşılaştırıldığında yakıttan enerji yönünden kojenerasyon çevriminde %30 civarında daha fazla faydalanılması mümkün görünmektedir. Bunun yanında aynı an için ısı-elektrik enerjisi gereksinimi olan tesislerde kojenerasyon çevrimi kurulması halinde tesisin işletme ve ilk yatırım maliyeti önemli ölçüde azalmaktadır [1].

Elektrik enerjisi kullanımı ve talebinin artışı halen sürmektedir. Kurulumu uzakta olan büyük kapasiteli termik ve hidroelektrik çevrimlerinden elde edilen elektrik, iletim hatlarının yüzlerce bazen binlerce kilometre uzunluğundan dolayı bu elektrik enerjisinin %10’u civarı, bu dağıtım hatlarında kaybolup, yok olmaktadır. Sanayi kuruluşları, hem elektrik-ısı enerjisi gereksinimi için kojenerasyon tesisleri kurma yoluyla, yakıtları verimli değerlendirebilmekte ve enerji tüketim maliyetini de azaltabilmektedir. Böylece tesisler elektrik kesintilerine karşı önlemden almış olmaktadır. Ayrıca küçük kojenerasyon tesisleri küçük işletme ve tesislerde, bölgesel ısıtması olan sistemlerde, üniversite kampüslerinde, kurulumu yapılabilmektedir [2].

Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi



Şekil 1. Klasik elektrik-ısı üretim tesisi ile kojenerasyon tesisinin karşılaştırılması (değerler yaklaşıktır) [1].

Sanayideki kojenerasyon çevrimlerinin büyük çoğunluğu 3- 20 MW civarındadır. Kalanların gücü ise 21 MW'tan daha büyük veya küçük-kojenerasyon denilen 2 MW'tan ufak olan çevrimlerdir. Elektrik ısı enerjisi oranı kojenerasyon tesisinde gaz motorlusu için 1 ile 0 arasında, gaz türbinli için 0,6 civarında, buhar santrali içinde 0,4'ten küçük olmaktadır. Kojenerasyon çevriminin verimi, çevrimden üretilen elektrik-ısı enerjileri toplamı, tüketilen yakıtın enerjisine oranlarıdır. Verimli çalıştırılan ve akıllıca tasarlanmış santrallerde bu verim %80-90 civarındadır [3].

Kojenerasyon çevrimlerini merkezi, sanayi ve küçük sistemler şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Fakat bu üçünde karakteristikler farklıdır ve bazılarında bir diğeri yerine geçebilir. Merkezi tesisler ve endüstriyel olanlar uzun süreden beri mevcuttur ve şu anda asıl yönelmeler ve gelişmeler küçük sistemlere yönelik meydana gelmektedir [2]

Kojenerasyon tesislerinin ana makinesi olan gaz türbininin verimleri, çalışma şekli ile öteki karakteristikleri, sistemin bütün özelliklerini, verimini ile çalışmasının şeklini belirlemektedir. Kojenerasyon tesislerini çalışma yöntemine bağlı olarak gaz türbini, buhar türbini, gaz-buhar türbini kombine, motorlu ve yakıt pilleri şeklinde sınıflandırabiliriz.

Buhar trbimli kojenerasyon tesislerinde, yakıtın yakılmasıyla elde edilen enerji, bir kazan içindeki suya aktarılır ve buradan yüksek basınçta kızgın buhar elde edilip, buhar türbininden geçirilmek suretiyle mekanik iş üretilir. Bu tesislerde Rankine evrimi kullanılır. Yakıtı doğal gaz, kömür, sıvı yakıtlar da dahil farklı yakıtlarda kullanılabilir. Buhar türbini olan birleşik ısı-güç üretim tesisleri, karşı basınçlı türbini ve ara buhar alan türbini olarak iki eşitir [2].

Gaz trbimli kojenerasyon tesislerinde, kompresör vasıtasıyla 5-18 kat sıkıştırılan hava ile gaz ya da sıvı yakıtın, yanma odası içinde yakılmasıyla 900-1500  C sıcaklıkta ortaya çıkan egzoz gazları türbinden geçirilerek enerjisinin bir kesimini mekanik enerji olarak bırakmaktadır. Bu şekilde türbinden mekanik enerji üretilmekte ve türbini çıkışında gazın sıcaklığı 500-900  C'ye düşmektedir. Bu çıkan egzoz gazının enerjisiyle atık ısı kazanında kızgın buhar veya sıcak su üretilmektedir [2, 4, 5].

Kombine gaz buhar çevrimi olan kojenerasyon tesislerinde, gaz türbini tesisten çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazlarının ısısı ile üretilen yüksek basınçtaki buhar tesise buhar türbini ekleme yoluyla mekanik iş ve buradan bir elektrik jeneratörü ile de elektrik elde edilir. Tesisten elde edilmekte olan buhar eğer alçak basınçta ise, kullanmak

için prosese gönderilir. Ek bir yanma odası kullanılarak kombine sistemden çok daha esnek bir ısı-elektrik oranı sağlanabilir [2, 6].

Motorlu kojenerasyon tesislerinde, sıcaklığı 400–600  C dolayında çıkmakta olan egzoz gazı ile bir kısım buhar ya da sıcak su üretmek mümkün olmakta ve verim %80–90 civarına çıkmaktadır. Bu tesislerin elektrik verimiyle ilgili kısmi yükte verimi yüksek olmakta, az maliyetli, ısı oranları az, kısa alıştırma zamanlı ile bakım onarımı kısa süreli olma şeklinde üstün özellikleri mevcuttur [7, 8].

Yakıt piliinde, Hidrojen ya da Metan yakıtla oksijen yakıt pili içinde elektrokimyasal reaksiyonla elektrik retilenmekte ve 280  C civarındaki düşük sıcaklıklardaki ısı atıklarından da ısıtma gibi proseslerde faydalanabilmektedir. Bu tesislerde elektrik üretim verimi %75 ile kojenerasyon verimi de %90'ın üzerine yükselebilmektedir [9, 10].

1.2. Türkiye'de Kojenerasyon Kullanımı

2008 yılında Türkiye'de kurulmuş gücün %18 civarını çoğunluğu gaz türbinli ya da gaz motoru olan otoproduktr ile özele ait elektrik üretimi santrallerinden oluşmaktadır. Tesislerin kurulum güçleri 2006 senesi için 6900 MW, 2006 senesinde de 29.000 GWh elektrik enerjisi üretilmiştir. Kullanılan yakıtların çoğu doğal gazdır ve kurulmuş glerin yarıya yakınında atık ısıdan yararlanmakta olduğu için diğer yarısı için kojenerasyon olmadığı görülür [11].

Birleşik ısı ve g üretimi bölgesel ısıtmayla beraber uygulaması Avrupa'da yaygındır. Türkiye'de örnek olarak İstanbul Esenyurt 180 MW kapasiteli santral verilebilir. Tablo 1'de Türkiye'de kurulum gücü ve elektrik üretiminde kaynak durumlarının dağılımları gösterilmiştir [11].

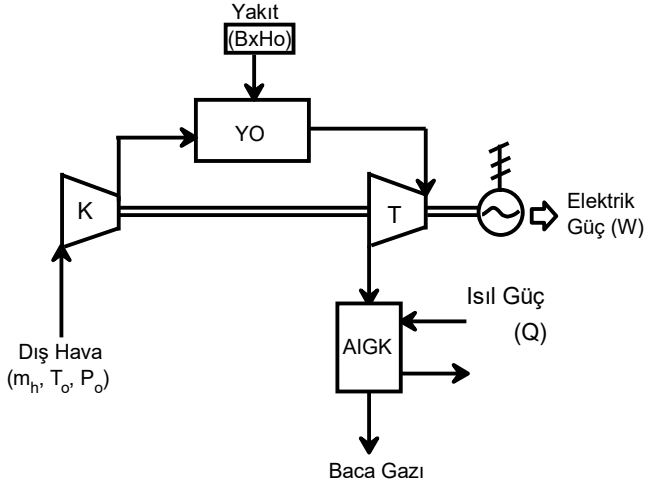
Tablo 1. Türkiye’de kurulu olan elektrik üretme gücü ile elektrik üretiminin kaynaklarına göre dağılımı [11].

Yakıt	Türkiye kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı (MW)-2006.	Türkiye elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (GWh)-2006.
Fuel oil	2218,4	5354,0
Motorin	214,4	17,3
İthal Kömür	1651,0	11150,0
Taş Kömürü	335,0	2854,0
Linyit	7850,8	32303,0
LPG	10,4	437,0
Doğal Gaz	12748,6	77387,0
Jeotermal	23,0	94,0
Nafta	36,8	1890,0
Yenilenebilir+Atık	41,3	120,5
Hidrolik- Barajlı	11967,0	44158,0
Hidrolik- Akarsu	1095,8	
Rüzgâr	59,0	129,4
Çok yakıt.	1924,0	--
Toplam	40176,0	175893,0

2007 senesinde hidroelektrik çevrimlerden üretilmiş elektrik gücünün maliyeti 0,8-1,8 cent/kWsaat, kömürlü termik çevrimlerden üretilenler 2,8-3,5 cent/kWsaat, doğal gaz çevrimlerinden 9-18 cent/kWsaattir. Burada doğal gazla elektrik üretimi maliyetli olmaktadır. Kojenerasyon tesislerinde karşılaşılan temel problemler; TEDAŞ'a satıştaki zorluklar, doğal gaz fiyatlarının pahalılığı şeklinde özetlenebilir [11].

1.3. Gaz Türbinli Kojenerasyon için Literatürdeki Çalışmalar ve Verimini İyileştirme Metotları

Gaz türbinleri Brayton çevrimine göre çalışmaktadırlar ve sıkıştırma ile genişleme aksel kompresör ile gaz türbininde kullanılırlar. Brayton çevrimi 1870’li senelerde G. Brayton tarafından geliştirilmiştir.



Şekil 2. Gaz türbinli kojenerasyon çevriminin şeması

Düşük NO_x meydana gelmesi için çeşitli ve birçok yanma odası geliştirilmiştir. Yanma odasına buhar enjeksiyonu, kompresör giriş havasında evaporatif ya da mekanik soğutma, kompresörden çıkan havaya su ya da buhar enjekte etme, rejeneratör takma gibi birçok önlem ile verim çok daha fazla artırılabilir.

Kojenerasyon çevrimlerinde, aynı anda ve tesiste elektrik ve ısı birlikte üretilip, yakıtın kimyasal enerjilerinden daha fazla oranlarda faydalanılabilmektedir. Şekil 2'de şeması verilmiş çevrimlerin verimi %90'lara civarındadır. Bu çevrimlerden konutların ısıtması için yararlanılıyorsa ısıtma dönemi dışındaki zamanlarda absorpsiyonlu soğutma çevrimi ile tesisin egzoz ısıyla çalıştırılıp klima sistemleri için gerekli soğutma suyu üretilebilir. Aynı anda üretim üç amaçla yapıldığı durumlar (elektrik, ısı ve soğutma) trijenerasyon (three generation)

olarak adlandırılır. Bu da kojenerasyon çevriminin senelik kullanımını artırmaktadır [2, 12, 13]. Bunun yanında daha temiz ve daha az çevre kirliliğine yol açtığı açıktır.

İlk sanayi tipi gaz türbini 1950'lerde sanayide kullanımı başlamıştır. Bu cihazların tasarımı için buhar türbinleri ve aerodinamik tasarımlardan faydalanılmıştır. Bu dönemde küçük gaz türbinleri uçak motoru örnek alınıp üretilmiş olup güç üretimi, elektrik üretimi, boru hatlarında sıkıştırma işlemi için faydalanılmıştır. Sanayi tipi gaz türbinleri buhar türbinleri gibi 5-18 sıkıştırma oranlı, yanma odası çıkış sıcaklığı 600-900 °C olup shaft verimi %25-30 civarındadır. 1970'li yıllarda ikinci nesil sanayi tipi gaz türbinleri üretilerek ve shaft verimleri %30-40 civarına yükselmiştir. Ayrıca yanma odasından çıkış sıcaklığı artmış, türbin kanatları da yüksek sıcaklıklara daha mukavim üretilmiştir [14, 15, 16].

1980'li senelerde ısı-güç gereksinimi ciddi oranda arttığından gaz türbinli kojenerasyon tesisleri sanayide hızla yayılmıştır. Gaz türbinli kojenerasyon tesislerinin enerji-ekserji analizleri birçok araştırmacı tarafından çok sayıda araştırmalar yapıp yayınlanmıştır. Talebi değişen elektrik-ısı gereksinimi, bu alakayı artırmıştır. Yanma odası çıkış sıcaklığını buhar enjeksiyonlu işlem ile azaltma ve üretilen gücü artırma amaçlı çalışmalar devam etmiş ve NOx bileşiklerini minimuma indirme ve verimi iyileştirmeye çalışılmıştır [17].

Gaz türbininde net işleri artırabilecek değişkenler, kısaca türbin giriş sıcaklığını artırılması, kompresöre giriş sıcaklığı düşüklüğü olması, türbin ile kompresör veriminin yüksek olması, ara soğutucu ve/veya ara ısıtıcı kullanma ile hava oranının azaltılması gibi değişkenlerdir. Rejeneratörlerin hava oranlarına etkileri olmamaktadır. Kompresyon

oranı belli bir sınıra kadar artırılabilir ve bu durum hava oranını azaltır ancak daha fazla artış hava oranını tekrar artırır [18].

Karaali ve Öztürk, (2007) kojenerasyon tesislerinde olabilecek iyileştirme metotlarından, yakıtın ve kompresör giriş havasının ön ısıtması, tesiste elde edilen buhardan bir kısmını yanma odasına enjekte edilmesi ile giriş havasında soğutma şeklindeki metotları temel bir kojenerasyon tesisine farklı çalışma koşulları için hesaplamıştır. Bu metotlardan, yakıt ve havanın ön ısıtması metodunun en iyi elektrik enerjisi üretim performansı olduğu göstermiştir [19]. Bunların yanında buhar enjeksiyonuyla yakıt-hava ön ısıtma metotlarını birleştirme seçeneği de hesaplanmıştır. Verim artıran metotların beraber uygulanmasında yanma havası-yakıt ön ısıtma rekuperatörlerin kullanılması gerektiği, ısı gücünü ayarlanması gerekli ise buhar enjeksiyonlu metodun uygulanabileceği ve fazla maliyet getirmeyecekse kompresör giriş havasını soğutma olası ise tesise eklenmesi gerektiğini göstermişlerdir (Karaali ve Öztürk, 2007). Ayrıca kompresör giriş havası içine su zerrelere püskürtülerek ve atık ısılarla absorpsiyonlu soğutma metotları da uygulanabilir [19].

ASHRAE' ye (2000) göre kurulması düşünülen kojenerasyon çevriminin yerinin havasının ortalama sıcaklığı, basıncı, nemliliği ve yüksekliği, önceden bilinmeli ve hesaba katılmalıdır. NO_x ve bileşiklerinin meydana gelmesinin önüne geçmek için kompresör giriş havası içine kütlelerinin %2 kadar de-mineralize suyu püskürtme yöntemi ya da yanma odasının içine buhar enjeksiyonu etkili yöntemlerdir. Bunun yanında kompresör çıkış havasının içine kütlesi toplamının %3 kadar buhar enjekte edilmesiyle gücünün artırmak da mümkündür [10].

Giriş havasını soğutmak elektrik gücünü artırır ancak elektrikle ısı oranlarını azaltır [10]. Giriş havasını soğutmakla havanın yoğunluğu artırılır bu şekilde hacimsel debisi sabit olan türbinlerde giren hava kütlesi artırılmış olur. Evaporatif (buharlaştırmayla) soğutma da enjekte edilen su zerreleri giren havada yoğunluk artırılır ve su zerrelerinin de buharlaşmasıyla giren hava soğutulmuş olur. Bu şekildeki soğutmada havada izafi nem %100'e yakın olmalıdır [10]. Bu yöntemle kuru havada sıcaklık %5-15 dolayında düşürülmüş olmaktadır. Mekanik soğutmada çillerli su tesisi (maliyetli ve cihazları büyük), absorpsiyonlu soğutma tesisi ya da direkt mekanik soğutmada yapılabilir [10]. Giriş havasının soğutulması üretilen elektrik enerjisini artırıp ısı enerjisini azaltır, fakat çevrimin verimi de artar. Yanma odası çıkışı egzoz gazının sıcaklığını düşürmek türbinin çalışma ömrünü artırır [10].

Gaz türbinlerinde performans, kurulumun yapıldığı yerin çevresinin ortalama sıcaklığı, basıncı, yüksekliği, nem oranı ve türbin basıncına bağlı olmaktadır. Giriş sıcaklığı artışı, her 10 Kelvin'de üretilen elektriğin gücünü %9 dolayında azaltmaktadır [10]. Yüksekliğin her 300 metrelik artışı üretilen elektriğin gücünü %3,5 dolayında azaltır. Giriş havasının basıncı filtreler, sessiz çalışma için takılmış aygıtlarda ya da kanallar içinde her bir kPa basınç azalması mekanik güçte %2 dolayında düşüşe yol açar. Ayrıca yanma odasında akışlarda, ses kırıncılarda ve kanallarda her bir kPa basınç düşüşü mekanik güçte %1,2 dolayında düşüşe yol açar [10].

Türkiye'de çok olan, büyük ölçekli klasik metotlarla güç üreten tesislerin, bileşik ısı-güç tesislerine dönüştürülmesiyle enerjisinden daha fazla faydalanmak mümkündür. Karaali ve Öztürk, (2007) kurulu olan ve klasik metotla güç üreten çevrimin, bölgesel ısıtma amaçlı bir kojenerasyon tesisine dönüştürme yolunu tasarlamıştır. Alternatif

Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi

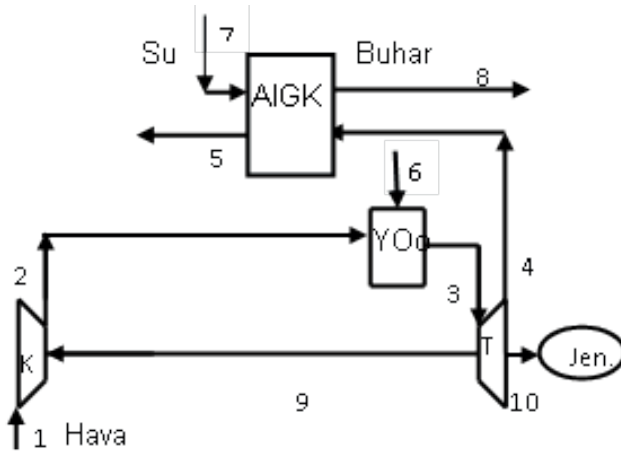
durum için termodinamik ile ekonomik fizibilitesini inceleyip hesaplamış, elde edilen neticelerini enerji tasarrufları ile çevre açısından, ayrıca da ekonomiklik yönünden kurulu tesisle karşılaştırmasını yapmışlardır. Böyle bir dönüştürmenin temiz çevreye katkı sunacağı ve doğalgazdan daha fazla faydalanılabileceğini göstermişlerdir. İhtiyaç duyulan yatırımın maliyetleri bir yılda geri dönüşü olduğunu ve yatırımında karlı olduğunu göstermişlerdir [19].

2. KOJENERASYON ÇEVİRİMLERİ VE AYGITLARI

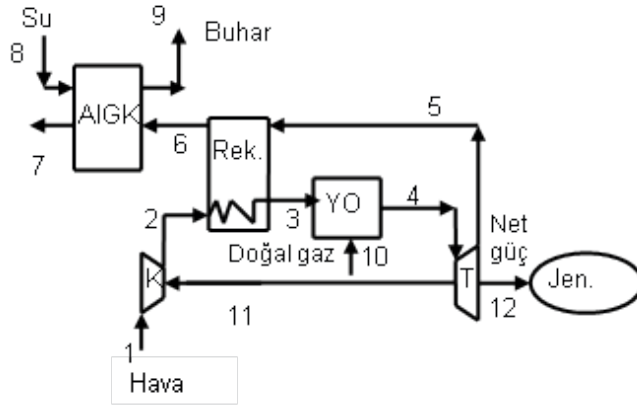
2.1. Gaz Türbini Kojenerasyon Tesisleri

Gaz türbini kojenerasyonlarda temel makineler gaz türbinleridir. Şekil 3'te kompresörde sıkıştırılıp yüksek basınca çıkarılan hava yanma odasında doğal gaz ile yanma reaksiyonuna girerek yanar ve yüksek sıcaklık ve basınçta egzoz gazı elde edilir. Bir gaz türbininde genişletilerek bir kısım enerjisi mekanik enerjiye dönüşür ve buradan bir elektrik jeneratörü ile elektrik üretilir. Kalan egzoz gazı enerjisi atık ısı geri kazanım aygıtında büyük kesimini suya bırakıp çevreye atılır. Böylece hem gaz türbini ile mekanik enerji (jeneratörde elektrik enerjisine dönüşür) elde edilir ve hem de atık ısı geri kazanım aygıtında sıcak su veya buhar üretilir.

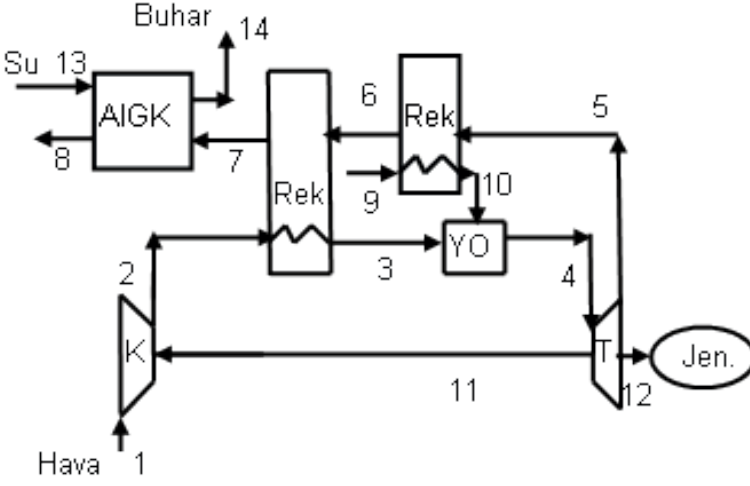
Üretilen bu sıcak su ya da buhar, kurutma, ısıtma, proses ısı gereksiniminde, buhar türbini kullanarak elektrik üretmede, bölgesel ısıtmada, absorpsiyonlu soğutmada, ya da benzeri operasyonlarda kullanılmaktadır. Ana makine olan gaz türbinine ısı değiştiricisi, absorpsiyonlu soğutma, rekuperatör, buhar enjeksiyonu, buhar türbini gibi aygıtlar eklenip değişik çevrimlerde elde edilebilir.



Şekil 3. Örnek kojenerasyon tesisinin şekli.



Şekil 4. Reküperatörlü kojenerasyon tesisi şekli.

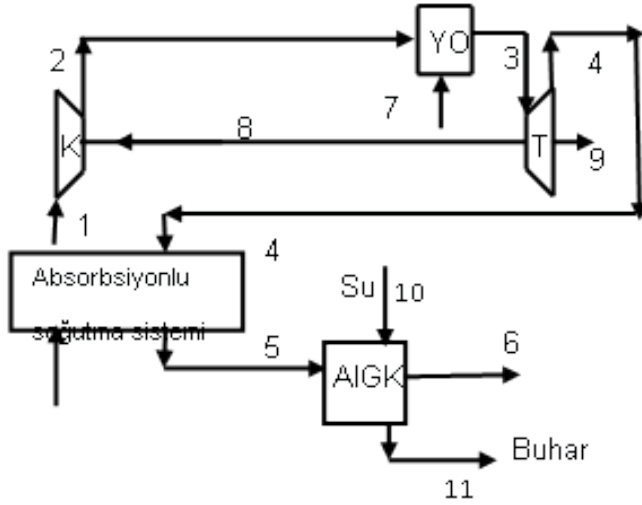


Şekil 5. Yakıt ve hava reküperatörlü kojenerasyon tesisi şekli.

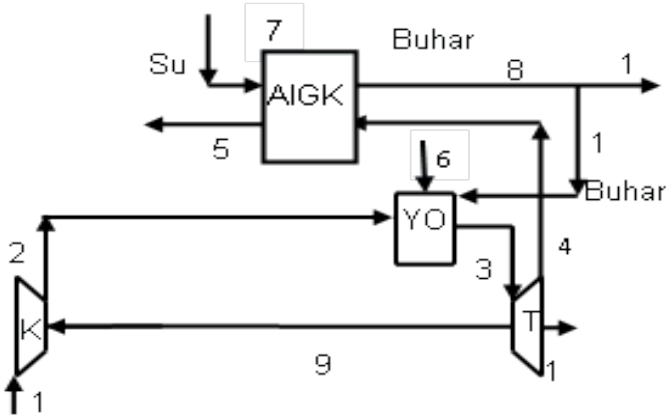
Şekil 4'te reküperatörlü kojenerasyon tesisi şekli verilmiştir.

Şekil 5'te ise yakıt ve hava reküperatörlü kojenerasyon tesisi şekli gösterilmiştir.

Şekil 6'da ise absorpsiyon soğutmalı kojenerasyon tesisi şekli gösterilmiştir. Burada tesiste hava soğutulmasında absorpsiyonlu sistemde bir kesim ısı harcanıp geri kalan ısıda buhar üretiminde kullanılmaktadır.

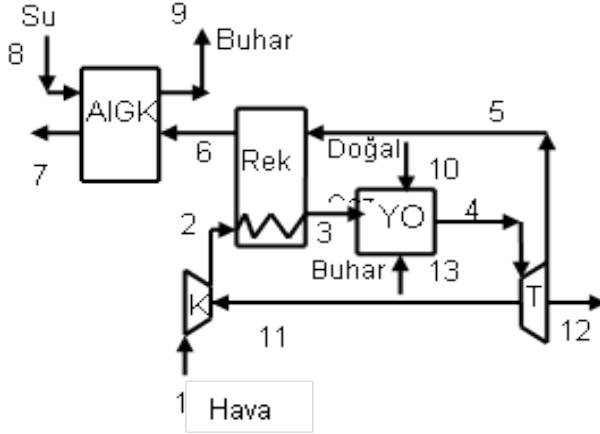


Şekil 6. Absorpsiyonlu soğutmalı kojenerasyon tesisi şekli.



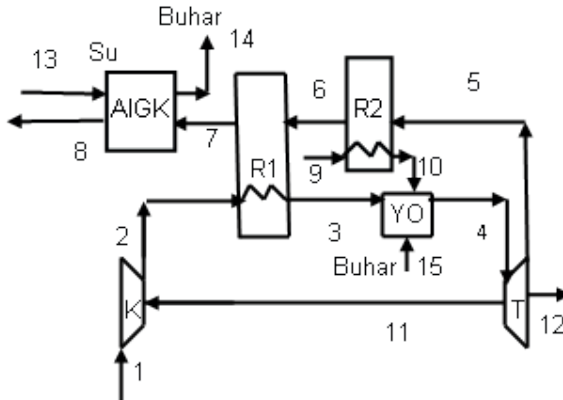
Şekil 7. Örnek kojenerasyon tesisine buhar enjeksiyonu.

Şekil 7'de örnek kojenerasyon tesisinin yanma odası içine buhar enjeksiyonu atık ısı geri kazanım aygıtından üretilen buharan yapılmıştır.



Şekil 8. Hava reküperatörlü kojenerasyon tesisine buhar enjeksiyonu.

Şekil 8'de hava reküperatörlü kojenerasyon tesisine buhar enjeksiyonlu atık ısı geri kazanımı aygıtından alınan buharın bir kesimi ile yapılmıştır.



Şekil 9. Yakıt ve hava reküperatörlü kojenerasyon tesisine buhar enjeksiyonu.

Şekil 9'da yakıt ve hava reküperatörlü kojenerasyon tesisine buhar enjeksiyonu gösterilmiştir.

Kompresör, havayı veya gaz akışkanı alıp yüksek basınca çıkartan aygıttır. Santrifüj, pistonlu ve eksenel akışlı şeklinde üç çeşidi mevcuttur. Pistonlu kompresör yüksek basınçta ve küçük debide, santrifüj kompresör orta basınçta orta debide, eksenel kompresör düşük basınçta yüksek debide kullanılır. Santrifüj ile eksenel kompresör sürekli akışı meydana getirdiklerinden gaz türbini kojenerasyon tesislerinde kullanılır. Güç 6 MW ya da üzerindeyse genellikle gaz türbininde eksenel akış kompresör kullanılır [2, 20, 21, 22, 23].

Rekuperatör, egzoz gazının ısını kompresör çıkışından gelen basınçlı gaza yanma odası öncesinde bir kısmını verir. Genellikle levha tipli üretilir. Yüksek ısılara dayanımlı ve ısıyı iletme kabiliyeti yüksektir. Yanma odalarında temel işlev yüksek basınçta gelen hava ile yakıtı yakarak sıcaklığını yanma reaksiyonuyla artırmaktır. Yanma odası boru, halkalı, silindir halkalı veya dış (labotatuvarlar için) olarak dört çeşittir. Boru tipliler sanayi türbinlerinde yaygın tiplerdir.

Değişik yanma odası tipleri vardır. Gaz türbininde kullanılan yanma odası karışma, yanma ve seyrelme bölgeleri olarak üç özelliklidir. Gaz türbinlerinde yanma odaları DLE (Dry Low Emission) dediğimiz düşük NO_x meydana getiren özelliği vardır. Yanmada, katalizör yüzeyine yakın olan bölgelerde katalitik yanmalı olan yanma odası NO_x hemen hemen emisyonuz bir yanma meydana getirir. Bunlarda kullanım gittikçe yaygınlık göstermektedir [2, 23]. Gaz türbinleri, eksenel akışlı ve radyal olarak iki çeşittir. Bunlar da etki (impulse) ile tepki (reaction) türbinleri olarak sınıflandırılabilir. Uygulamalarda yaklaşık %95'i için eksenel akışlılar kullanılmaktadır. Türbindeki akışkanın yararlı enerjisinden bir

kısım mekanik enerjiye dönüştürülür ve kalan kazanılamayan kısmı da kinetik enerji şeklinde türbinden çıkmaktadır [24, 25].

Atık ısı geri kazanım aygıtı, (HRSG) egzozun enerjisinin suya aktarılmasını sağlayarak kızgın buhar üretimini sağlamaktadır. Gaz türbinlerinden çıkan egzoz gazının basıncı atmosferin basıncından bir miktar fazladır ve sıcaklığı 500–950 °C civarındadır. Yanması olmayan, ek yanması olan ve egzoz yanmalı şeklinde üçe ayrılabilir. Yanması olmayan ısı değiştiricisi, davul tipli olup (70–100 MW gücündeki gaz türbinlerinde), tek giriş ve çıkışı olanlar daha küçükleri için olmak üzere sınıflandırılabilirler. Levha tipi veya kanatlı borulu tipi şeklinde üretilmektedirler [23, 26, 27, 28].

Yakın zamanlar da üretilmekte olan jeneratörler, gaz türbininde çalışma başlatmak için kullanılıp daha sonra belli güçlere gelindiğinde elektrik üretimi başlamaktadır.

Kontrol sistemleri ve takipleri, tesisin otomatik kontrol ile değişik parametrelerde takip için ve bununla ilgili verilerin kullanılmasıyla tesisin istenen değerler için çalıştırılmasını sağlamaktadır [23].

Egzoz gazı türbinlerden 400–600 °C civarında sıcaklıkta çıkmaktadır. Egzoz gazının kullanımı tesisin kojenerasyon tesisi olduğunu gösterir. Elektrik verimi örnek sistemler için %18–36 ve rejeneratörü olanlar için (diğer ek iyileştirme olmadan) %28–38 dolayındadır. Türbinden çıkmakta olan egzoz gazı, sıcak hava kaynağı şeklinde ve yanma odası içine giren hava ısıtmasında, atık ısı geri kazanım aygıtında, boiler veya ek yanma odası içinde yanma havası şeklinde kullanılabilir. Türbinden çıkan egzoz gazında %16 dolayında yanmamış olan oksijen vardır [10]. Yanma odasına stokyometrik yanma için lazım olan havanın %200-300'ü dolayında hava verilmekte ve hava içinde yaklaşık %21

Kojenerasyon evrimlerinin Ekserji Analizi

dolayında oksijen olduğundan yanma odasındaki yanmada oksijenin %6 civarı yanma işlemleri için kullanılır ve yanmayan %15-16 dolayındaki oksijende diğer sıcak egzoz gazlarıyla egzoz içinde kalmakta olup karışmaktadır.

Kojenerasyon tesisinin verimi, üretilen mekanik şaft enerjisiyle ısı enerjisinin toplamının yakıt enerjisi miktarına bölünmesiyle elde edilmektedir. Kojenerasyon tesislerinde enerji verimleri %50-90 civarındadır [10]. Türbin çıkışı egzoz gazları her 1 kW elektrik çıkışı için 1,5-3 kW dolayında faydalı ısı enerjisi içerir. Baca gazının minimum sıcaklığı 150 °C dolayında olmalı ki egzozun içinde olan buharın yoğuşması sırasında korozyon oluşumu önlenir. Ancak yeni tip bacalarda 50 °C dolayında olabilmektedir [10, 29, 30, 31]

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Gaz Turbinli Kojenerasyon evrimlerinde Termodinamik Model

3.1.1. Birinci yasa analizi

Kojenerasyon evrimleri farklı aygıtlardan oluşur. Bu aygıtlarda sıcaklıkta, basınçta, kimyasal kompozisyonda değişim meydana gelmektedir. Bunlarla beraber yanma odası içinde kimyasal reaksiyon meydana gelmektedir. Burada analizdeki kabuller şöyledir (Bejan ve diğ., 1996). Kojenerasyon tesisii sürekli rejimde çalışmakta, ideal gaz karışım yasaları havada ve egzozda geçerli, yakıt metan seçilmiş ve ideal gazdır, yakıt yüksek basınçlarda yanma odası içine püskürtülmektedir, yanma tam yanma olup, N₂ gazları indirgenmemiş yani NO_x oluşumları olmamaktadır, yanma odası ısı kayıpları yakıtın üst ısıl değeri %2'si kadar, diğer aygıtlarda ısı kayıpları olmamakta ve kinetik-potansiyel enerjilerin etkisi olmamaktadır [16, 24, 27, 30, 32, 33,34, 35].

Kontrol yüzeyi kütle alışverişi olmakta olan her bölgesi için madde özellikleri düzgün dağılım göstermekte, ancak bir andaki iş-ısı alışverişi zaman içinde değişmediği açık sistemlere sürekli akışlı sürekli açık (SASA) denir.

SASA ve kararlı rejimler için termodinamiğin 1. Yasası;

$$\dot{Q}_{KH} - \dot{W}_{KH} + \sum_g \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) - \sum_c \dot{m}_c \left(h_c + \frac{V_c^2}{2} + gz_c \right) = 0 \quad (1)$$

Kütlenin korunumu yasası sürekli rejim için,

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta \quad (2)$$

Burada Q ısı, W iş, m kütle, h entalpi, V hız, g yerçekimi ivmesi ve z yüksekliktir. Birimler SI birimleridir. Maddenin iç enerjisi ve entalpisi doğrudan ölçülemediği için basınca, sıcaklığa ve özgül hacme bağlı ve doğrudan ölçülebilmekte olan özelliklere bağlı olan denklemler yazılmaktadır. Bu şekilde iç enerji ve entalpi fonksiyonları meydana getirilmektedir. İdeal gazlarda özellik bağıntılarındaki sabit hacimde ve sabit basınçta özgül ısılar yazılabilir.

$$c_{v0} = \left(\frac{du}{dT} \right)_{v=st} \quad (3)$$

$$c_{p0} = \left(\frac{dh}{dT} \right)_{p=st} \quad (4)$$

bulunur [16, 24, 25]. Burada T sıcaklık, c özgül ısı, v özgül hacim ve P basıncıdır. Burada ideal gazın sabit basınçta ve sabit hacim özgül ısıları yalnızca sıcaklığın fonksiyonu şeklinde olmaktadır. Özgül ısıların ilişkisi

$$c_{p0} - c_{v0} = R \quad (5)$$

Şeklinde R gaz sabitidir ve evrensel gaz sabitinin (\bar{R}) ilgili maddenin mol kütlesi değerine bölünmesiyle bulunur.

$$R = \bar{R} / M \quad (6)$$

İç enerji ile entalpilerin ideal gaz sıcaklığı ile değişimleri

$$u_2 - u_1 = \int_1^2 c_{v0} dT \quad (7)$$

$$h_2 - h_1 = \int_1^2 c_{p0} dT \quad (8)$$

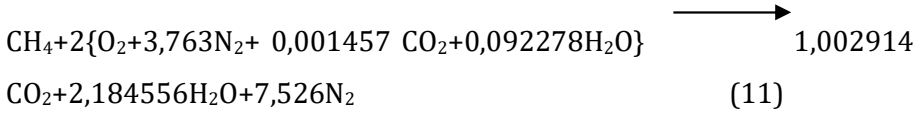
SASA içinde şöyledir,

$$\sum_C \dot{Q} - \sum_C \dot{W} = \Delta \dot{H} \quad (9)$$

$$\Delta \dot{H} = \sum_{\text{çık.}} \dot{n}h - \sum_{\text{gir.}} \dot{n}h \quad (10)$$

Bulunur [16, 24, 25]. Burada n mol sayısı, H entalpidir.

Yakıt bileşenlerinin oksijen ile birleşmesiyle kimyasal enerji ısı enerjisiye dönüşür ve bu işlem yanma olarak adlandırılır. Yanma reaksiyonu tam ve ideal gerçekleşmekte olduğu kabulüyle aşağıda verilen kimyasal reaksiyon temel alınmıştır. Bunun yanında hesapları basitleştirebilmek için yakıtın metan gazı olduğu varsayılmaktadır.



Teorik yanmanın sağlanmasında gereksinim duyulan minimum havaya stokiyometrik hava miktarı denir. Fakat tam yanma için teorik havadan fazla hava kullanılmaktadır. Kullanılan havanın teorik havaya oranı hava fazlalık katsayısıdır. % fazla havada denir.

$$hfk = \frac{\text{Gerçek hava miktarı}(kg)}{\text{Teorik hava miktarı}(kg)} \quad (12)$$

Maddelerin oluşumunu sağlamak için verilen ya da çekilen ısıya formasyon veya oluşum h_f^0 veya $h_{oluş}$ entalpisi denmektedir [36, 37, 38, 39, 40, 41]. Seçili maddelerin formasyon oluşum entalpisi Tablo 2'de verilmiştir.

$$h = \Delta h_{oluş.} + \int_{T_0}^T c_p dT \quad (13)$$

Entalpilerde genel denklem ($298,15 < T < T_{max}$ ve $P_{ref}=1$ bar, $y=10^{-3}T$)

$$c_p^0 = a + by + cy^{-2} + dy^2 \quad (14)$$

$$h^0 = 10^3 \left(H^+ + ay + \frac{by^2}{2} - cy^{-1} + \frac{dy^3}{3} \right) \quad (15)$$

şeklinde alınmaktadır [16].

Tablo 2'de oluşum entalpilerini de içeren entalpi denklemleri sıcaklık fonksiyonu şeklinde gösterilmiştir (Bejan ve diğ., 1996). Hava ve egzoz gaz karışımları olup özellikleri de onları meydana getiren gazların karışımdaki miktarına ve özelliğine bağlı olmaktadır.

Tablo 2. Çevrimlerdeki saf maddeler için entalpi genel denklemi (oluşum entalpisi dahil) [16].

Madde	M (Kg/mol)	Geçerli aralık (K)	h^0 (kJ/kmol) $y=10^{-3}T$ (T (K))
CH ₄	16,043	298,15- 2000	$h^0_{CH_4} = 10^3(-81,242 - 11,933y - 77,647\frac{y^2}{2} - 0,142y^{-1} - 18,414\frac{y^3}{3})$
N ₂	28,013	298,15- 3000	$h^0_{N_2} = 10^3(-9,982 + 30,418y + 2,544\frac{y^2}{2} + 0,238y^{-1})$
O ₂	31,999	298,15- 3000	$h^0_{O_2} = 10^3(-9,589 - 29,154y + 6,477\frac{y^2}{2} + 0,184y^{-1} - 1,017\frac{y^3}{3})$
CO ₂	44,01	298,15- 3000	$h^0_{CO_2} = 10^3(-413,886 - 51,128y + 4,368\frac{y^2}{2} + 1,469y^{-1})$
H ₂ O (Buhar)	18,015	298,15- 2000	$h^0_{H_2O} = 10^3(-253,874 - 134,376y + 7,841\frac{y^2}{2} + 0,423y^{-1})$
H ₂ O (Sıvı)	18,015	298,15- 500	$h^0_{H_2O} = 10^3(-289,932 - 22,355y + 109,198\frac{y^2}{2} - 2,033y^{-1})$

Karışımdaki karışanın mol sayısının (n_i) toplamın mol sayısına (n) oranı (x_i) mol oranıdır.

$$x_i = \frac{n_i}{n} \quad (16)$$

Karışan kütlelerinin toplam kütleyle oranı da kütle oranı denmektedir.

$$y_i = \frac{m_i}{m} \quad (17)$$

Özgül ısılar sabit alınırsa yani klasik metotla ile gerçek değer arasında %10-15 dolayında bir hata payı meydana gelmektedir (Bejan ve ark, 1996). Bunun için özgül ısı, entalpi ile entropi sıcaklığın fonksiyonu şeklinde alınmaktadır. Bu şekilde hatalar minimize edilmiştir. Mol oranıyla kütle oranı için M_i karışanın mol kütlesi ve M_{kar} karışım mol kütlesi şeklinde şöyle bir ilişki vardır.

$$y_i = x_i \frac{M_i}{M_{kar}} \quad (18)$$

Toplamı da

$$M_{kar} = \sum x_i \cdot M_i \quad (19)$$

olur. Mol oranı biliniyorsa kütle oranı

$$\frac{1}{M_{kar}} = \sum \frac{y_i}{M_i} \quad (20)$$

Karışım için gaz sabiti ve karışım molar özgül ısısı,

$$R_{kar} = \sum x_{m_i} R_i \quad (21)$$

$$\overline{c_{p0}} = \sum x_i \overline{c_{p0_i}} \quad (22)$$

$$\overline{c_{v0}} = \sum x_i \overline{c_{v0_i}} \quad (23)$$

Atık ısı geri kazanım aygıtında (HRSG) etkinlik

$$\varepsilon = \frac{T_{soç} - T_{sog}}{T_{suc} - T_{sog}} \quad (24)$$

Absorpsiyonlu soğutma tesisi hesabındaki denklemler [16].

$$q_{kay} + q_{buh} = q_{abs} + q_{yoğ} \quad (25)$$

Soğutma tesir katsayısı

$$STK = q_{buh} / q_{kay} \quad (26)$$

Dolaşım oranı

$$f = \text{zengin eriyik debisi} / \text{sogutucu akiskan debisi} \quad (27)$$

3.1.2. İkinci yasa analizi

Bir sistemin hal değişimi sonrası çevre üzerinde etki bırakmayıp başlangıç hal durumuna dönüyorsa sistemin hal değişimleri tersinirdir denir. Tersinir hallerin değişimlerinde hal değişimleri sonsuz küçük hızlarda gerçekleşmektedir. Termodinamik dengelerin hallerinden sapma sonsuz küçük derecededir. Gerçekte ise hal değişimi bir hıza olmakta ve hal değişimi herhangi bir derecede tersinmez olmaktadır.

Denge hali sapması büyük olduğunda hal değişiminin hızı da artmakta, tersinmezlik büyümektedir. T sistem sınırı sıcaklığı ve δQ sonsuz küçük hal değişimi ise sistemin çevreyle ısı alış verişi tersinir bir hal değişimi için entropi değişimleri [16].

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{ir} \quad (28)$$

Tersinir adyabatikte hal değişimi sırasında ısı alışverişi sıfır olmakta ve entropi değişimi,

$$S_2 - S_1 = 0 \quad (29)$$

İdeal gazlarda molar entropi değişimi,

$$d\bar{s} = \frac{\bar{c}_{v0}(T)}{T} dT + \bar{R} \frac{dv}{v} \quad (30)$$

$$d\bar{s} = \frac{\bar{c}_{p0}(T)}{T} dT - \bar{R} \frac{dP}{P} \quad (31)$$

Bunların integrasyonu ile iki nokta arası için

$$\bar{s}(T_2, P_2) - \bar{s}(T_1, P_1) = \int_1^2 \frac{\bar{c}_{p0}(T)}{T} dT - \bar{R} \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (32.a)$$

$$\bar{s}(T_2, v_2) - \bar{s}(T_1, v_1) = \int_1^2 \frac{\bar{c}_{v0}(T)}{T} dT + \bar{R} \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (32.b)$$

Özgül ısıları ortalama sıcaklıkta sabit alınırsa,

$$k = \frac{c_{p0}}{c_{v0}} \quad (33)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{k-1} \quad (34)$$

$$P \cdot v^k = T \cdot v^{k-1} = T \cdot P^{\frac{(1-k)}{k}} \quad (35)$$

Kimyasal reaksiyonlu işlemler için entropi değişiminin hesabında tüm maddelere geçerli ortak referans hal seçilip mutlak entropi tanımlanır (Büyüktür, 2000).

Tersinir proses sonunda, çevreyle denge sağlanıyorsa burada teorik elde edilecek en fazla faydalı iş miktarı kullanılabilirlik ya da ekserji olarak adlandırılır. Fiziksel ve kimyasal olarak iki bileşeni vardır. İdeal gaz karışımı için fiziksel ekserjisi molar olarak,

$$e_{fiz} = (\bar{h} - \bar{h}_0) - T_0 \cdot (s - s_0) = \int_{T_0}^T \bar{c}_{p0}(T) dT - T_0 \cdot \left(\int_{T_0}^T \frac{\bar{c}_{p0}(T)}{T} dT - \bar{R} \ln \frac{P_i}{P_0} \right) \quad (36)$$

$$e_{fiz} = (\bar{h} - \bar{h}_0)_{kar} - T_0 \cdot (s - s_0)_{kar} = \sum_i x_i \left[\int_{T_0}^T \bar{c}_{p0i}(T) dT - T_0 \cdot \left(\int_{T_0}^T \frac{\bar{c}_{p0i}(T)}{T} dT - \bar{R} \ln \frac{P_i}{P_0} \right) \right] \quad (37)$$

Kimyasal ekserji ise referans halindeki (T_0, P_0) maddelerin etrafıyla kimyasal bileşim yönünden termodinamik dengeye ulaşması esnasında meydana gelebilecek en fazla yararlı iş olmaktadır. Her maddenin kimyasal yapısı değişik olup kimyasal ekserjisi de değişiktir. Gaz karışımlarında kimyasal ekserji hesabı (Büyüktür, 2000).

$$\bar{e}_{kim, kar} = \sum_i x_i \cdot \bar{e}_{kim, i} + \bar{R} \cdot T_0 \cdot \sum_i x_i \cdot \ln x_i \quad (38)$$

Bu şekilde akış veya kontrol kütlelerinde toplam ekserji,

$$\bar{E} = \bar{E}_{fz} + \bar{E}_{kim} \quad (39)$$

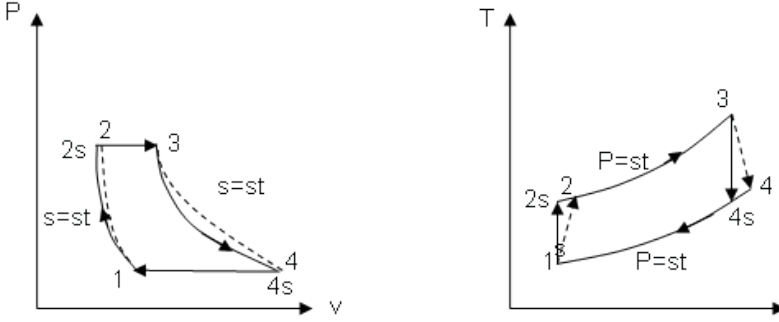
Zaman ile bağımsız, kararlı (giren-çıkan kütleler eşit) açık sistemlerde ekserji,

$$\sum_i \dot{m}_i h_i - \sum_i T_0 S_i - \sum_j \dot{m}_j h_j + \sum_j T_0 S_j + \sum \dot{Q}_k - \sum \dot{Q}_k \frac{T_0}{T_k} - \dot{W} = \dot{E}_{KAYIP} \quad (40)$$

Burada i alt indisli terim giren ekserji, j alt indisli terim, W toplamları çıkan ekserji, k alt indisli terimde sistem içinde üretilen ekserji olup $E_{kayıp}$ kayıp ekserjidir. S entropidir. Sistemin 2. yasa verimi, çıkan ekserjinin verilen ekserjiye oranı olup,

$$\dot{E}_{KAYIP} = T_0 \left[\sum_j S_j - \sum_i S_i - \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k} \right] \quad (41)$$

$$\eta_{ekver} = \frac{\text{Elde edilen ekserji}}{\text{Beslenen ekserji}} \quad (42)$$



Şekil 10. Gerçek Brayton çevrimleri (Gaz türbini çevrimleri) P-v ile T-s diyagramları

Gerçek Brayton çevriminde P-v ve T-s diyagramı şekil 10'da verilidir. Brayton çevrimli gaz türbinleri dört içten tersinir hal değişimi içerir. 1-2 kompresörde izentropik sıkıştırma, 2-3 sisteme sabit basınçta ısı geçişi, 3-4 türbinde izentropik genişleme, 1-4 çevreye sabit basınçta ısı geçişi şeklinde olur. Kinetik ile potansiyel enerji göz önüne alınmayıp ve özgül ısılarda hesaplarda sabit alınmamıştır.

$$\eta_{th,Brayton} = \frac{W_{net}}{Q_{BESLEN}} = \frac{Q_{BESLEN} - Q_{çnka}}{Q_{BESLEN}} = 1 - \frac{C_p(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (43)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{(k-1)/k} = \frac{T_3}{T_4} \quad (44)$$

Bağıntılar ısı verim için de,

$$\eta_{th,Brayton} = 1 - \frac{1}{r_p^{(k-1)/k}} \quad (45)$$

olur ki, burda $r_p=P_2/P_1$ kompresyon oranıdır. Yani çevrim ısı verimi kompresyon oranına ve iş akışkanının özgül ısıları oranına bağlıdır [16].

3.1.3. Termodinamik performansın analizi

Kojenerasyon çevrimlerinde performansın analizi hem zor hem de karmaşıktır. Isıl tesiste performansın analizi tesisinin tümü ve tesisteki her aygıtın performansı iki farklı çalışma olarak yapılır. Her aygıtın performansı tüm sistemdeki performansı da etkilediği açık olduğundan her iki çalışmanın gereklidir. Kojenerasyon çevrimlerinin performansı için bütün tesisin ısı oranı, ürünleri ve aygıtların gücü bulunmalıdır. ASME gaz türbinli kojenerasyon çevriminde performansı gösteren önemli parametre olarak (tasarımla ilgililer alınmamıştır) tüm çevrim için güçler, giren havanın kütleleri, ısı-güç oranları, verimler ile (c_p) özgül ısılarını vermektedir (Boyce, 2002). Her aygıtta hesabı yapılması elzem parametreler, kompresör için verimler, tükettiği enerjiler, kayıp enerjiler, havanın giriş basınçları, sıcaklıkları ve nem oranıdır. Yanma odası içinde verimler, çıkış sıcaklıkları, özgül yakıt tüketimleri, türbinde verimler, üretilen güçler, kayıp enerjiler, giriş-çıkış basınç hesapları yapılmalıdır. Atık ısı geri kazanım aygıtında, etkinlikler, giriş-çıkış sıcaklığı, suyun giriş-çıkış sıcaklığı, suyun debi ile enerji hesapları yapılmalıdır. Rekuperatörlerde etkinlikler, verimler, hava giriş-çıkış sıcaklığı, egzoz giriş-çıkış sıcaklığı hesapları yapılmalıdır. Buhar türbini içinde ürettiği güçler, elektrik-ısı oranı, verimler, enerji kayıpları hesapları yapılmalıdır [16, 41, 42].

3.1.4. Kojenerasyon tesislerini değerlendirme kriterleri

Üretici firmalar çok olduğundan, santral çeşitleri de fazla olduğundan uygun kojenerasyon tesisinin standart seçim metodu yoktur. Fakat seçim yaparken tesis tasarımı yapılırken en temel termodinamik, işletme, ekonomik ve termoekonomik faktörler dikkate alınmalıdır.

Verim (enerjilerden yararlanma oranı) veya tesisin verimi tesisten üretilen net işle tesisten üretilen yararlı ısıların toplamının, tesise yakıt ile beslenen enerjiye oranıdır.

$$\eta = \frac{W + Q_{buh.}}{Q_{BESLEN.}} \quad (46)$$

Elektrik verimide tesisten üretilen işin verilen yakıt enerjisine oranıdır. Isı verimide tesisten üretilen ısının yakıtın enerjisine oranıdır [43, 44, 45].

$$\eta_{elek} = \frac{W}{Q_{BESLEN.}} \quad (47)$$

$$\eta_{ısı} = \frac{Q_{buh}}{Q_{BESLEN.}} \quad (48)$$

Elektrik-ısı oranı,

$$EIO = \frac{W_{net}}{Q_{net}} \quad (49)$$

Yapay termal verimlilik, üretilen işin, iş eldesinde kullanılmış yakıt ısı değerine oranıdır [46, 47, 48].

$$\eta_a = \frac{W}{Q_{BESLEN.} - (Q_{NET} / (\eta_{YO})_H)} \quad (50)$$

$$\eta_{elekt.} = W / Q_{BESLEN.} \quad (17)$$

Z faktörü kayıp enerjinin yararlı enerjiye oranı,

$$Z = \frac{Q_{BESLEN.} - (W + Q_{NET})}{W + Q_{NET}} \quad (14)$$

4. BULGULAR

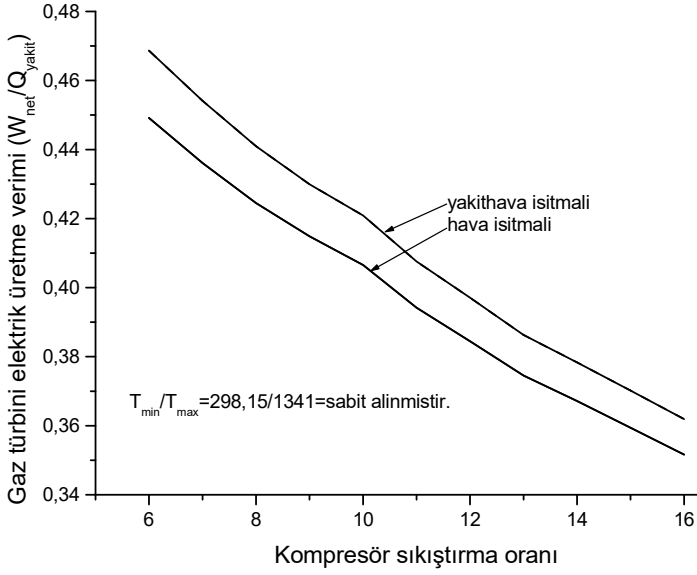
4.1. Gaz türbinli Kojenerasyonda Termodinamik Analiz

4.1.1. Birinci ve ikinci yasa analizleri

a- Değişik kompresyon oranları için tesislerin çalışma koşullarının hava fazlalık katsayısı ile değişimi

Tesisin en yüksek sıcaklıkları metalürjik nedenler yüzünden belirli bir değerden az olması gerekir. Yanmada tam yanma olması için gerekirken olan kuramsal havanın 4 katı kadar havanın kullanımı gerekirken olduğundan havanın özellikleri egzoz gazında özelliklerinde etkiler yaratır [16]. Türbinde üretilen işin çoğu kısmı (kompresörün tükettiği işin türbinde üretilen işe oranı geri iş oranıdır ki %60 dolayındadır) kompresörde harcanır bu yüzden kompresyon oranı tesisinin verimi üzerine etkili olmaktadır. Burada rekuperatörün çıkış sıcaklığı her bir kompresyon oranında değiştirilmekte türbinin çıkış sıcaklığı 7-15 K civarında düşük bir sıcaklık için ile yanma odasının çıkış sıcaklıkları 1341 K'de sabit tutulup elektrik, 1. ile 2. yasa verimleri hesaplanmıştır. Ayrıntılı bilgi için [50] kaynaklarına bakılabilir.

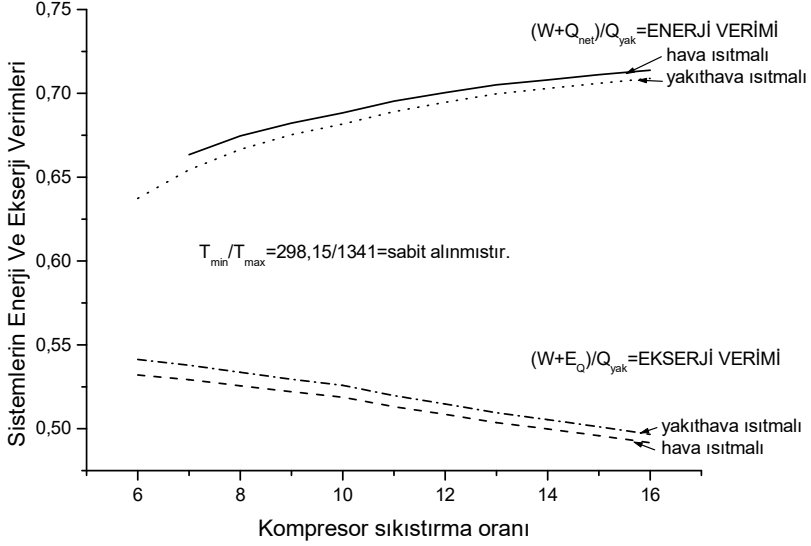
Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi



Şekil 11. Gaz türbini elektrik veriminin kompresyon oranı ile değişimi [2].

Şekil 11’de, hava ısıtmalı olan gaz türbini tesisiyle yakıt hava ısıtmalı gaz türbinli tesisinde kompresyon oranı arttıkça elde edilen elektrik gücü azalmaktadır.

Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi



Şekil 12. Hava ısıtmalı ile yakıt hava ısıtmalı olan kojenerasyon tesislerinin enerji ile ekserji veriminin kompresyon oranıyla değişimi [2, 49, 50]

Şekil 12’de hava ısıtmalı ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin enerji ve ekserji verimlerinin kompresyon oranlarıyla değişimi verilmiştir. Burada hava ısıtmalı çevrimlere yakıt rekuperatörleri eklemek enerji verimini düşürmekte ancak ekserji verimini artırmaktadır.

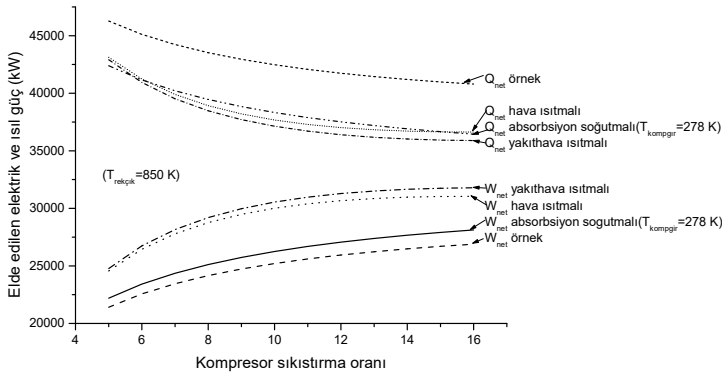
Tablo 3. Hava ısıtılmalı tesisin değişik kompresyon oranı için elde edilen değerleri [2].

Si. Or. (r)	Mekan. Verimi (W/Q_{yak})	YO Çık. Sıc. (K)	AIGK. Ort. Log. Sıc.F	Rek. Ort. Log. Sıc.F	Rek. So.Ak. giriş çıkış Sıc.(K)	Rek. Sı.Ak. giriş çıkış Sıc.(K)	Hava. Kütle. Debisi (Kg/s)	Kojener. Enerji Verimi ($W+Q_{net}$)/ Q_y	Kojener. Ekserji Verimi ($W+E_o$)/ Q_y
6	0,4412	1341	89,6	15,7	521-940	949-546	156	0,6474	0,53208
7	0,4361	1341	104,4	16,72	545-910	921-570	145	0,66339	0,52923
8	0,4244	1341	115,8	16,7	566-885	896-591	137,2	0,6747	0,5256
9	0,41488	1341	124,2	13,87	586-865	874-606	132	0,68229	0,52206
10	0,40652	1341	131,2	10,71	604-850	857-621	127,8	0,6884	0,51875
11	0,3942	1341	140,3	13,96	620-830	840-639	123	0,69537	0,51314
12	0,3845	1341	147,3	14,3	636-815	826-654	119,5	0,70046	0,50857
13	0,37454	1341	154,2	15,7	650-800	813-670	116,3	0,70511	0,50367
14	0,36716	1341	158,8	13,3	664-790	801-680	114,3	0,70802	0,49985
15	0,35943	1341	163,8	12,4	677-780	790-692	112,2	0,7111	0,49584
16	0,35164	1341	168,6	12	689-770	780-703	110,3	0,71383	0,49169

Tablo 3'te hava ısıtılmalı ve tablo 4'te yakıt hava ısıtılmalı çevrimlerde kompresyon oranı arttıkça kompresör çıkış sıcaklığın da artmakta ve türbin çıkış sıcaklığı düşmektedir. Bu tablolarda hava ısıtılmalı tesise, yakıt ısıtması içinde rekuperatör eklemek elektrik verimini artırmaktadır.

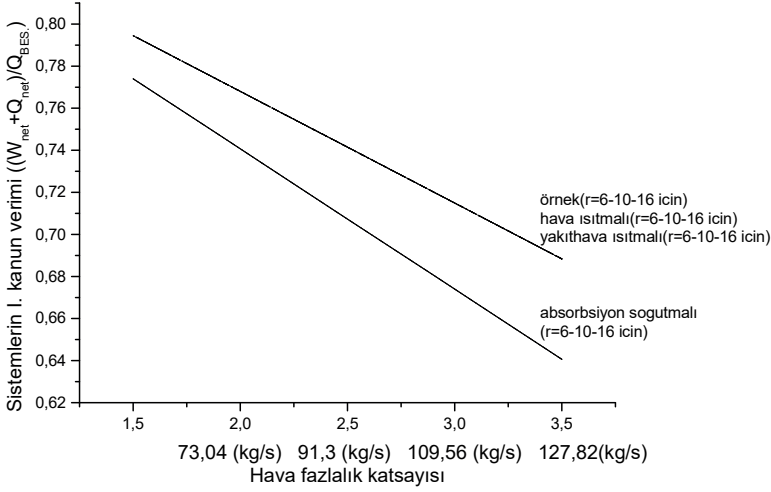
Tablo 4. Yakıt-hava ısıtmalı tesisin değişik kompresyon oranı için hesaplanan değerler [2].

Sr. Or. (r)	Mekan. verimi W/Q_{yak}	Yakıt Rek. So.Ak. giriş çıkış Sic.(K)	Yakıt Rek. Sı.Ak. giriş çıkış Sic.(K)	Yak. Rek. Ort. Log. Sic.F	Ha Rek. Ort. Log. Sic.F	Hava Rek. So.Ak. giriş çıkış Sic.(K)	Hava Rek. Sı.Ak. giriş çıkış Sic.(K)	Hava. Küt. Debi. (Kg/s)	Kojen. Enerji Verimi $(W+Q_{net})/Q_{yak}$	Kojen. Ekserji Verimi $(W+E_o)/(W+Q_{net})/Q_{yak}$
6	0,4439	298,15 915	949 931	204	22,6	521- 915	931 552	162,9	0,63737	0,5413
7	0,4242	298,15 875	919 901	212	32,0	545- 875	901 585	140,0	0,6707	0,524
8	0,4249	298,15 865	895 876	183	16,6	566- 865	876 590	137,0	0,675	0,5261
9	0,411	298,15 840	873 856	185	20,4	586- 840	856 613	130,0	0,6852	0,5207
10	0,408	298,15 832	856 838	164	9,7	604 832	838 620	127,8	0,6884	0,5197
11	0,3969	298,15 814	839 821	163	11,0	620- 814	821 636	123,5	0,6946	0,5147
12	0,3875	298,15 800	826 807	161	11,0	636- 800	807 651	120,0	0,6997	0,5103
13	0,3785	298,15 787	812 794	157	10,0	650- 787	794 664	117,2	0,7038	0,5058
14	0,3698	298,15 775	800 783	155	10,0	664- 775	783 677	114,7	0,7074	0,5014
15	0,362	298,15 765	790 772	151	9,0	677- 765	772 688	112,7	0,7103	0,4973
16	0,354	298,15 755	780 763	150	9,0	689- 755	763 700	113,7	0,7134	0,4931



Şekil 13. Örnek, absorpsiyonlu soğutmalı, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin elektrik ve ısıl gücünün kompresyon oranı ile değişimi (Yanma odasının çıkış sıcaklıklar sabit değildir) [2, 50].

Şekil 13'te dört kojenerasyon tesisinin elektrik- ısıl güçlerinin kompresyon oranı ile değişimi verilmiştir. Kompresyon oranı arttıkça üretilen iş artmakta, ancak üretilen ısı düşmektedir.



Şekil 14. Örnek, absorpsiyon soğutmalı, hava ile yakıt hava ısıtmalı tesislerin I.yasa veriminin hava fazlalık katsayısıyla değişimi [2].

Şekil 14'te dört kojenerasyon çevriminin 1. yasa verimi ile hava fazlalık katsayısının değişimleri gösterilmiştir. Değişik sıkıştırma oranları 1. yasa verimini değiştirmemektedir. Tablo 4'te ise metanın üst ısı değerinin alınmasıyla örnek, absorpsiyon soğutmalı, hava ve yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin hava fazlalık katsayısıyla değişiminin incelenmesinde üretilen net iş, ısı, baca kaybı, kompresörün işi, hava ile egzozun mol değerleri, yanma odasından çıkışın sıcaklığı, enerjinin verimi ve enerjilerin dengesi gösterilmiştir. Hava fazlalık

Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi

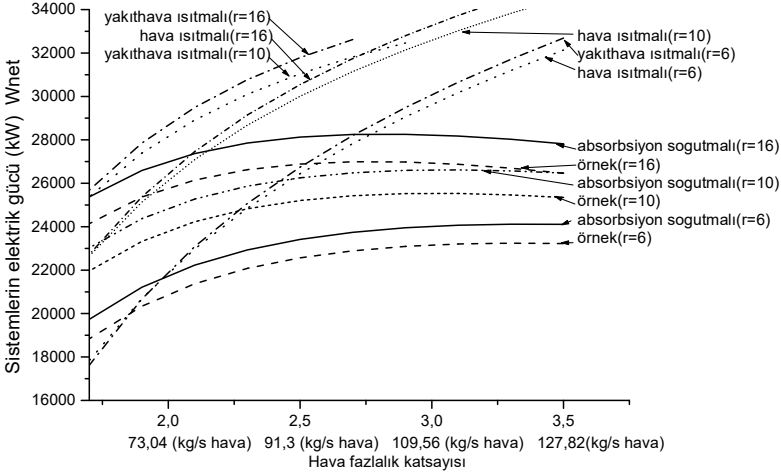
katsayısı artırıldıkça üretilen iş, baca kaybı, kompresöre verilen iş artmakta fakat üretilen ısı ve enerjinin verimleri düşmektedir.

Tablo 4. Örnek, absorpsiyonlu soğutmalı, hava ve yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin hava fazlalık katsayısı ile değişiminin hesabında bulunan parametreler ile enerjilerin dengesi [2].

ÜİD		Örnek çevrim					YO		YO	
HFk	Yakıt Ener. (kW)	W_{net} (kW)	Q_{net} (kW)	Q_{total}^* (kW)	kayıbı** (kW)	W_{net} (kW)	Ç. Sic. (K)	I. Kanun verimi		
1,5	91011	19886	52458	16876	1820	17805	1699	0,7945		
2,5	91011	25166	42339	21706	1820	29675	1303	0,7415		
3,5	91011	25293	37378	26536	1820	41545	1118	0,6884		
HFk	Giren Enerji-Çıkan Enerji			Egzoz Molsay.			Hava Molsay.			
1,5	91011=91040			2,0144			1,9121			
2,5	91011=91031			3,2891			3,1869			
3,5	91011=91027			4,56388			4,46166			
ÜİD		Hava ısıtmalı çevrim					YO		YO	
HFk	Yakıt Ener. (kW)	W_{net} (kW)	Q_{net} (kW)	Q_{total}^* (kW)	kayıbı** (kW)	W_{net} (kW)	Ç. Sic. (K)	I. Kanun verimi		
1,5	91011	19351	52992	16877	1820	17805	1899	0,7945		
2,5	91011	29977	37526	21706	1820	29675	1519	0,7414		
3,5	91011	34515	28151	26537	1820	41545	1341	0,6883		
HFk	Giren Enerji-Çıkan Enerji			Egzoz Molsay.			Hava Molsay.			
1,5	91011=91040			2,0144			1,9121			
2,5	91011=91029			3,2891			3,1869			
3,5	91011=91023			4,56388			4,46166			
ÜİD		Yakıt hava ısıtmalı çevrim					YO		YO	
HFk	Yakıt Ener. (kW)	W_{net} (kW)	Q_{net} (kW)	Q_{total}^* (kW)	kayıbı** (kW)	W_{net} (kW)	Ç. Sic. (K)	I. Kanun verimi		
1,5	91011	19192	53152	16876	1820	17805	1934	0,7945		
2,5	91011	30519	36984	21707	1820	29675	1542	0,7414		
3,5	91011	35288	27377	26536	1820	41545	1358	0,6883		
HFk	Giren Enerji-Çıkan Enerji			Egzoz Molsay.			Hava Molsay.			
1,5	91011=91040			2,0144			1,9121			
2,5	91011=91030			3,2891			3,1869			
3,5	91011=91021			4,56388			4,46166			
ÜİD		Absorpsiyon soğutmalı çevrim***					YO		YO	
HFk	Yakıt Ener. kW	W_{net} (kW)	Q_{net} (kW)	Q_{total}^* (kW)	kayıbı** (kW)	W_{net} (kW)	Ç. Sic. (K)	I. Kanun verimi		
1,5	91011	20982	49498	16876	1820	16668	1670	0,774		
2,5	91011	26212	38187	21707	1820	27781	1272	0,7073		
3,5	91011	26414	31909	26536	1820	38893	1085	0,6406		
HFk	Giren Enerji-Çıkan Enerji (abs. iş+abkısı)*			Egzoz Molsay.			Hava Molsay.			
1,5	91011-(90774+767+1095=91038)			2,0144			1,9121			
2,5	91011-(90588+1278+1826=91029)			3,2891			3,1869			
3,5	91011-(90407+1789+2556=91024)			4,56388			4,46166			

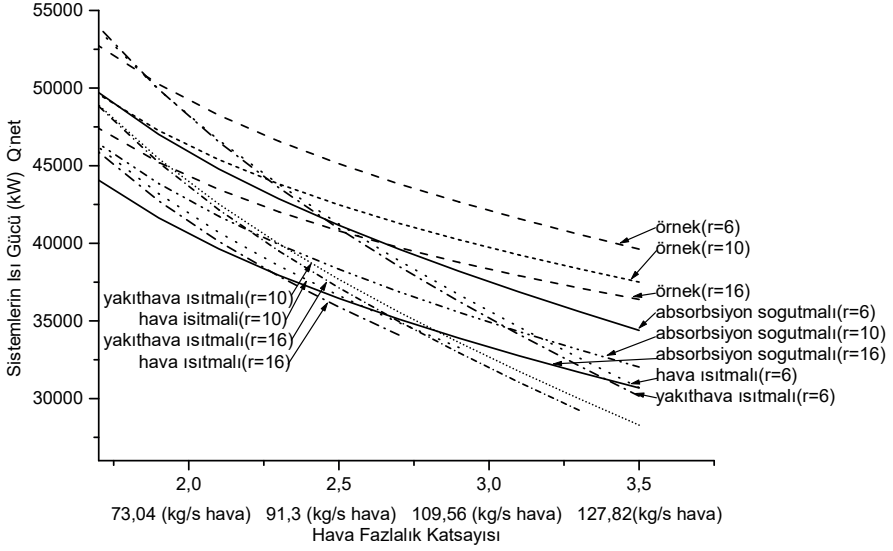
Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi

Örnek ile absorpsiyonlu soğutmalı kojenerasyon tesislerinin hava fazlalık katsayısının 3.5'ten büyük değerlerinde üretilen net iş azalmaktadır.



Şekil 15. Farklı kompresör sıkıştırma oranında örnek, absorpsiyonlu soğutmalı, hava ile yakı hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin elektrik enerjisinin hava fazlalık katsayısı ile değişimleri [2, 50].

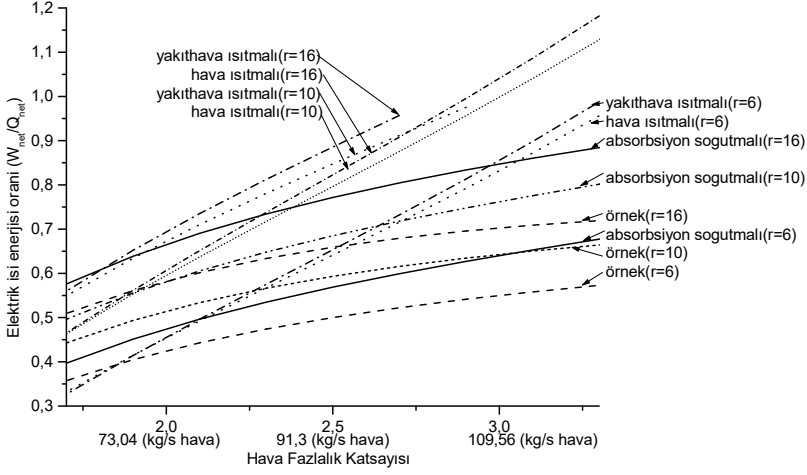
Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi



Şekil 16. Farklı kompresyon oranında örnek, absorpsiyonlu soğutmalı, hava ve yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin ısı enerjisinin hava fazlalık katsayısı ile değişimleri [2, 50].

Şekil 16'da kompresyon oranı artınca tesislerin ısı enerjisi (daha fazla elektrik üretildiğinden) düşmektedir. Hava fazlalık katsayısının artmasıyla yanma odası çıkış sıcaklığı düştüğünden türbinin çıkışında egzoz sıcaklıkları da düşmektedir. Ayrıca atık ısı geri kazanım aygıtında aktarılan ısı enerjisi azalmaktadır.

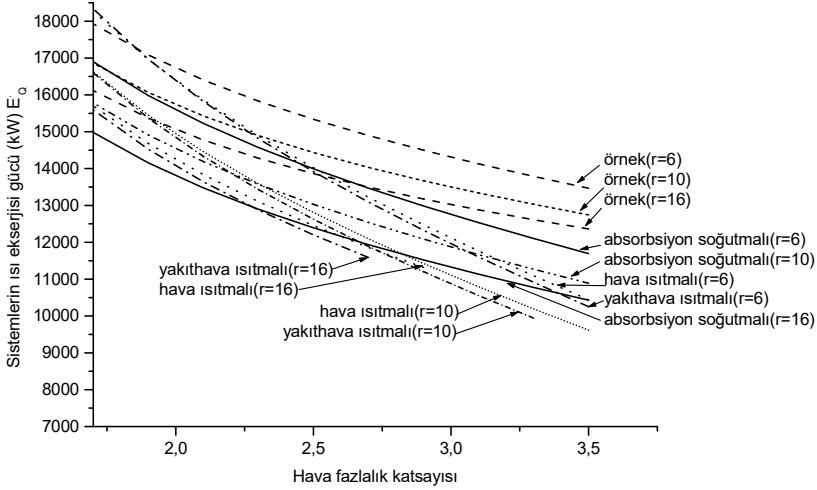
Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi



Şekil 17. Değişik kompresyon oranında örnek, absorpsiyon soğutmalı, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin elektrik ısı güçleri oranlarının hava fazlalık katsayısıyla değişimleri [2, 50].

Rekuperatör kullanımı hava ve yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinde türbinin çıkışında egzozun ısı enerjisi artan hava ile ön ısıtımda kullanıldığı için atık ısı geri kazanım aygıtına giren egzozun ısı düşmekte ayrıca ısı gücü de iki çevrim için düşmektedir.

Şekil 17’de tesislerin elektrik ısı enerjisi güç oranlarının, kompresyon oranı azaldıkça elektrik gücünde düşmektedir. Hava fazlalık katsayılarının artmasıyla 4 kojenerasyon tesisinin elektrik ısı oranlarını artırmakta, fakat artma hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinde fazladır.

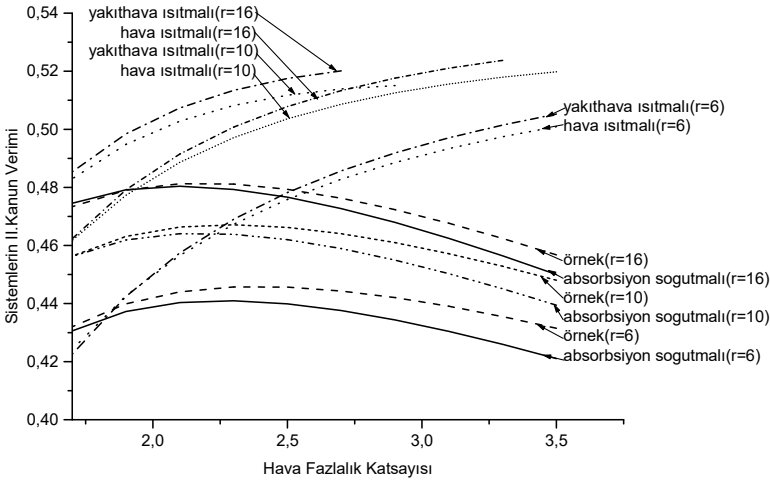


Şekil 18. Değişik kompresyon oranları için örnek, absorpsiyonlu soğutmalı, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin ısı ekserji gücünde hava fazlalık katsayısıyla değişim [2, 50].

Şekil 18’de kompresyon oranı arttıkça tesislerin ısı ekserji gücü düşmekte bunun sebebi de elektrik gücünün artmasından olmaktadır. Tesislerin hava fazlalık katsayısı artınca tümünün ısı ekserji güçleri azalmaktadır. Fakat düşük kompresyon oranında hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinde fazladır.

Şekil 19’da farklı kompresyon oranları için örnek, absorpsiyonlu soğutmalı, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin 2. yasa veriminin hava fazlalık katsayısı ile değişimi verilmiştir. Tesislerin 2. yasa veriminin kompresyon oranları artınca bütün tesislerde yükselmektedir. Yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin sabit kompresyon oranlarında analiz edilen tesisler arasında çok verimli olduğu ve hava ısıtmalı, örnek ve absorpsiyonlu soğutmalı tesislerin

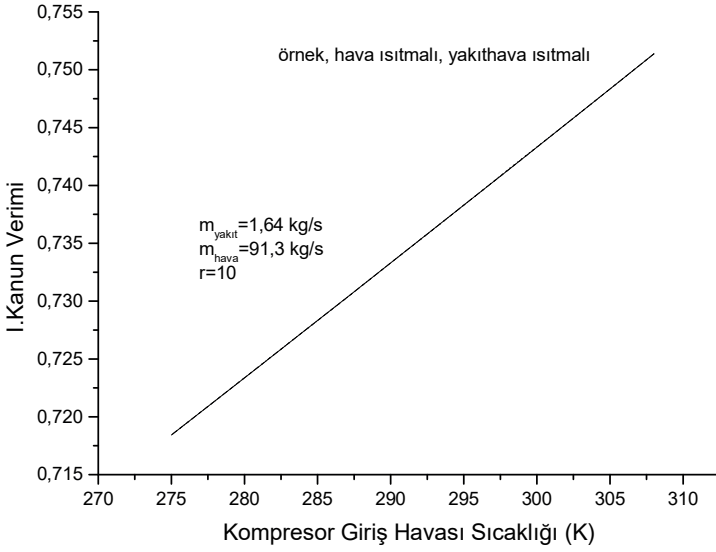
arkasından sıralandığı bulunmuştur. Yanma odasına giren hava ile yakıt ön ısıtılması verimleri artırmaktadır. Hava fazlalık katsayısı 2–2,5 dolayında olduğunda örnek ile absorpsiyonlu tesisleri en yüksek verimlere çıkmakta ancak sonrasında artmakta olan hava fazlalık katsayısı azalmaktadır. Örnek ve absorpsiyonlu soğutmalı tesisin kompresyon oranı artınca düşük hava fazlalık katsayısı oranında 2. yasa verimi en yüksekte olmaktadır. Hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin yüksek kompresyon oranları için hava fazlalık katsayısı artınca, 2. yasa verimleri de yükselmektedir. Tesislerin çalışabileceği koşullar dikkate alınarak eğriler çalışacağı yere kadar çizilmiştir [2,49, 50]. Ayrıntılı bilgi için [50] kaynaklarına bakılabilir.



Şekil 19. Farklı kompresyon oranında örnek, absorpsiyonlu soğutmalı, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin 2. yasa veriminin hava fazlalık katsayısı ile değişimleri [2,49, 50].

b- Farklı kompresör giriş hava sıcaklığı için tesislerin çalışma koşullarının hava fazlalık katsayısıyla değişimleri

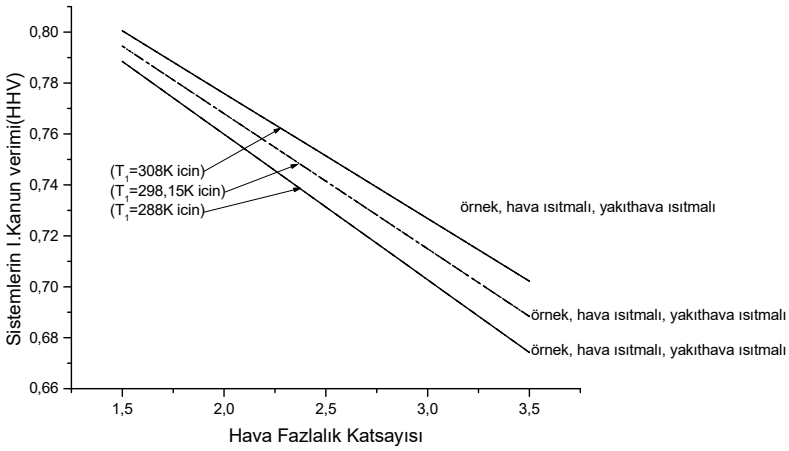
Kompresöre giriş havasının sıcaklığının değişmesi çevrimin elektrik ısı güçleri üzerine önemli etkiler oluşturmaktadır.



Şekil 20. Örnek, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin 1. yasa veriminin kompresör giriş havasının değişik sıcaklıkları ile değişimleri [2].

Şekil 20’de kompresör giriş havası sıcaklıkları artmasının örnek, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin enerjilerinin verimlerini artırmaktadır. Burada sebep atık ısı geri kazanım aygıtında fazladan ısı üretilmesidir.

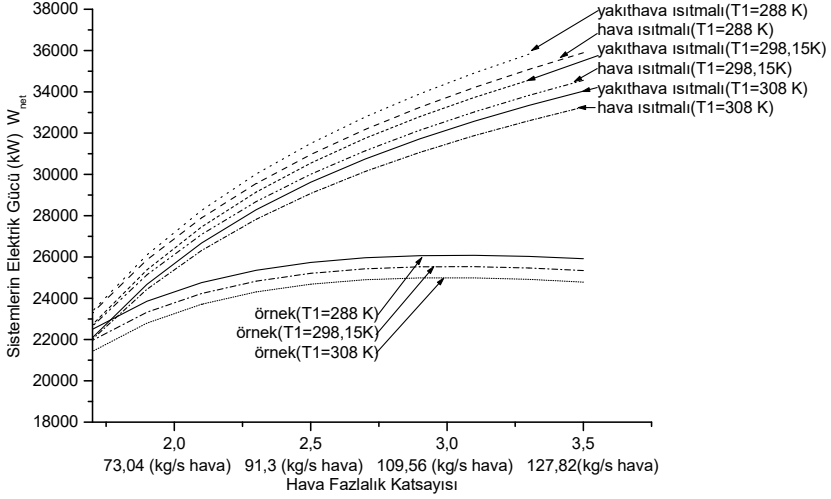
Şekil 21'de örnek, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin farklı kompresör giriş hava sıcaklığında enerji veriminin hava fazlalık katsayılarıyla değişimi verilmiştir. Hava fazlalık katsayısı arttığında kompresörün ürettiği iş ile tesisten düşük sıcaklıklarda atılmakta olan ısılar artmakta olduğundan enerji verimi azalmaktadır.



Şekil 21. Örnek, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin farklı kompresör giriş hava sıcaklığında enerji veriminin hava fazlalık katsayısıyla değişimleri [2].

Rekuperatörlerde hava ısıtmasına aktarılabilir ısı gaz türbininin çıkışında egzoz sıcaklıkları ile belli olup hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin belirli hava fazlalık değerinin üzerindeyse çalışmamaktadır. Eğrileri bu sebeple belirli katsayıya kadar eğriler

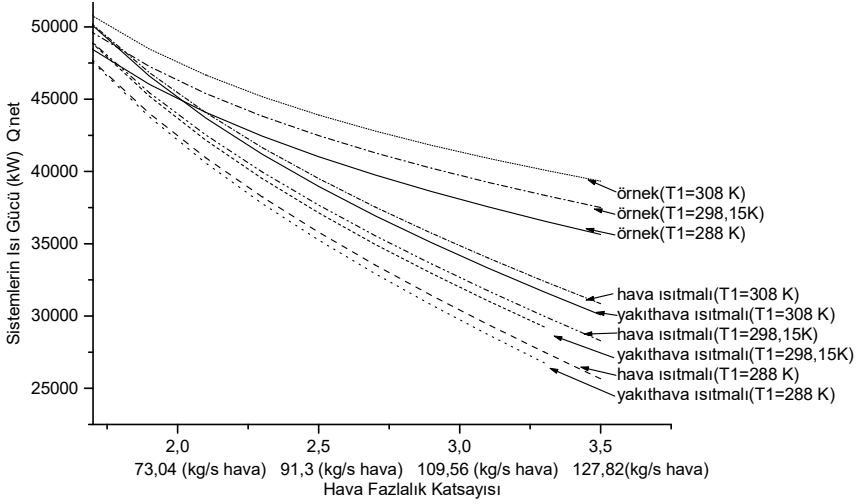
çizilmiştir. Hava fazlalık katsayısı arttığında yanma odasının çıkış sıcaklıkları azalmaktadır.



Şekil 22. Farklı kompresör giriş sıcaklıkları için örnek, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin elektrik üretiminin hava fazlalık katsayısıyla değişimleri [2].

Şekil 22'de farklı kompresör giriş havası sıcaklıkları için tesislerin elektrik enerjisinin hava fazlalık katsayısıyla değişimi analiz edildiğinde giriş havası sıcaklığı azaldıkça kompresöre verilen iş düştüğünden türbinden üretilen net güç fazla olmaktadır.

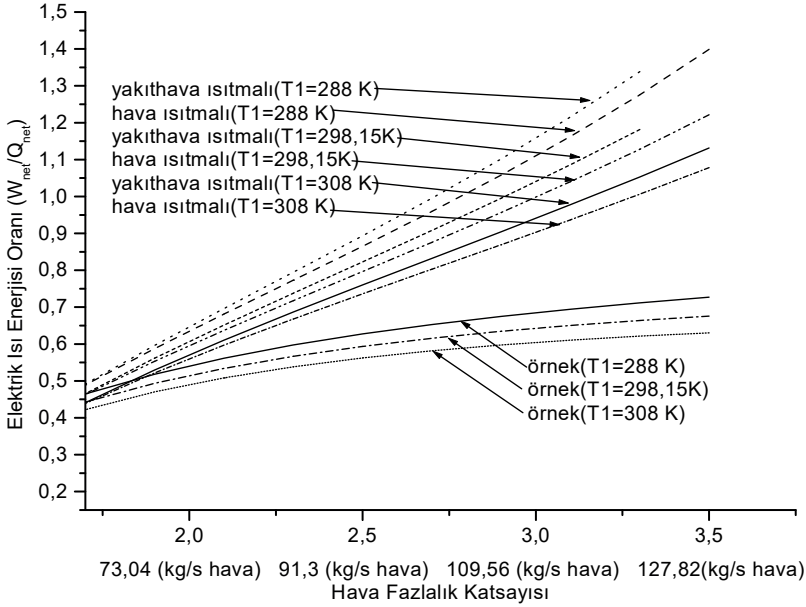
Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi



Şekil 23. Farklı kompresör giriş sıcaklığı için örnek, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin ısısının hava fazlalık katsayısıyla değişimleri [2].

Şekil 23'te değişik kompresör giriş havası sıcaklığında tesislerin ısısının azaldığı ve hava oranı artırıldığında da azalmanın arttığı gösterilmiştir. Hava ile yakıt-hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinde türbin çıkışı egzoz gazı ısının enerjisi kısmen hava ısıtılması için kullanıldığından ısı enerjisini düşürmektedir.

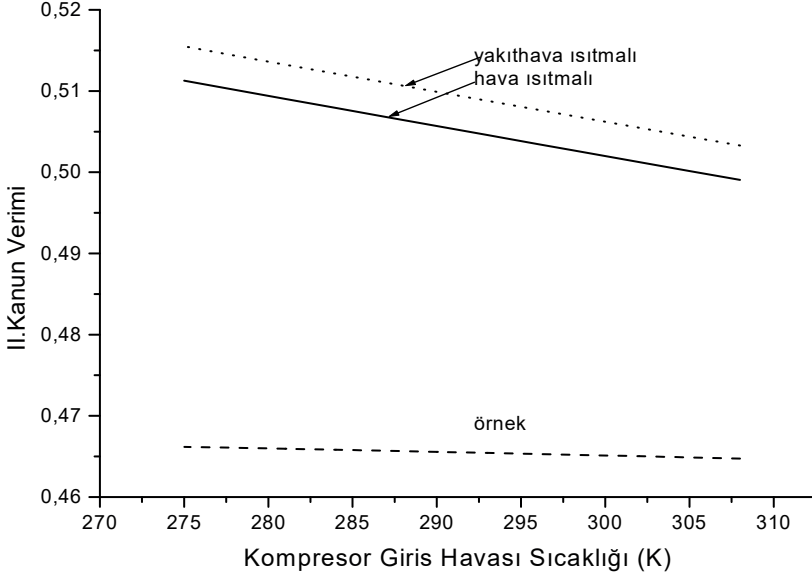
Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi



Şekil 24. Farklı kompresör giriş sıcaklıkları için örnek, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin elektrik-ısı oranının hava fazlalık katsayısıyla değişimleri [2]

Şekil 24'ta kompresörün giriş hava sıcaklıkları azaldıça tesislerin elektrik ısı oranı da yükselmektedir. Düşük giriş havası sıcaklığı elektrik gücünü artırmakta, ısı gücü azalmaktadır. Hava fazlalık katsayısı arttığında üretilen elektrik artmakta olup elektrik ısı oranını da yükseltmektedir.

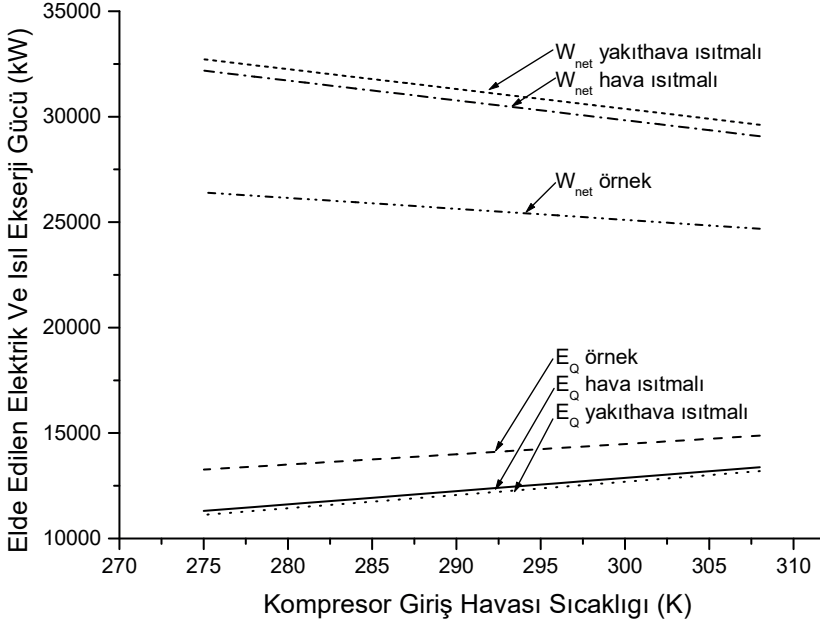
Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi



Şekil 25. Farklı kompresör giriş sıcaklıkları için örnek, hava ile yakıt-hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin 2. yasa veriminde hava fazlalık katsayısıyla değişimleri [2, 49]

Şekil 25'te farklı kompresör giriş sıcaklıkları için örnek, hava ile yakıt-hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin 2. yasa verimlerinin hava fazlalık katsayısıyla değişimi gösterilmiştir. Kompresörün giriş havasının sıcaklığı artınca tesislerin ekserji verimi azalmakta olup nedeni kompresör giriş havasının yüksek sıcaklığında kompresyona fazla iş verilmesidir. Kompresöre giriş havasının kompresyonu için verilen iş türbin işinden verildiği için 2. yasa veriminin üzerinde etkilidir. Örnek çevrim için kayıplar artan buhar gücünden telafi edilmekte, fakat hava ile yakıt-hava ısıtmalı tesislerde rekuperatör varlığı yüzünden telafi edilememektedir.

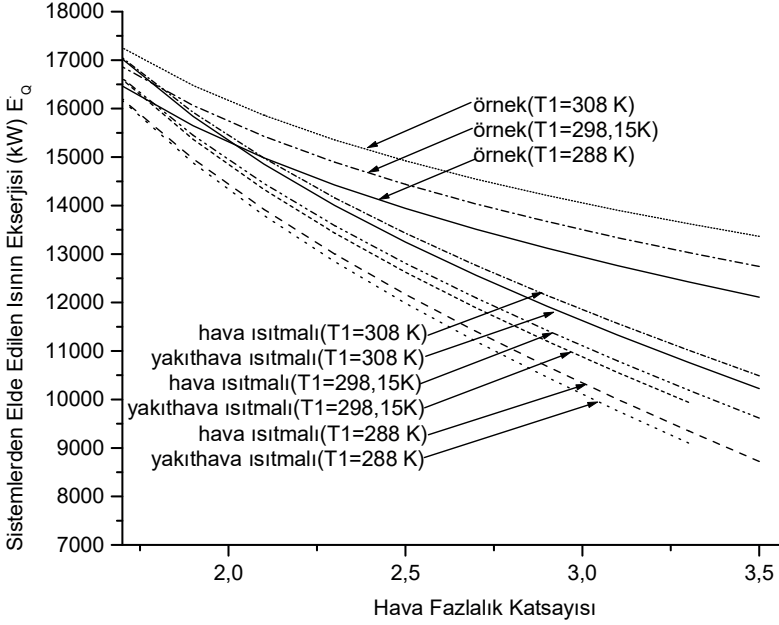
Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi



Şekil 26. Farklı kompresör giriş sıcaklıkları için örnek, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin üretilen elektrik-ısıl ekserjinin hava fazlalık katsayısı ile değişimleri. [2]

Şekil 26'da farklı kompresör giriş sıcaklığı için örnek, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinin üretilen elektrik-ısı ekserjisinin hava fazlalık katsayısıyla değişimleri gösterilmiştir. Giriş havasının sıcaklığı azaldıkça üretilen elektrik fazlalaşmaktadır., Fakat ısıl ekserji azalmaktadır. Örnek çevrimde ısıl güç, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinden daha iyidir. Rekuperatörler ısıl güçleri azaltmakta fakat elektrik güçlerini artırmaktadır.

Kojenerasyon Çevrimlerinin Ekserji Analizi



Şekil 27. Farklı kompresör giriş sıcaklığı için örnek, hava ile yakıt hava ısıtmalı kojenerasyon tesislerinden üretilen ısı ekserjisinin hava fazlalık katsayısıyla değişimleri [2].

Şekil 27'de kompresör giriş havası sıcaklığı yükseldikçe tesislerden üretilen ısı ekserjisi artmaktadır. Artan hava fazlalık katsayılarında ısı ekserjisi azalmaktadır.

Ayrıntılı bilgi için [17,50] kaynaklarına bakılabilir.

5. SONUÇ

Konvansiyonel tesislerde elektrik ve ısı üretimini iki farklı tesiste üretilir. Kojenerasyon tesislerinde ise ısı üretim tesisi ile üretilen ısı enerjisi, bu enerjiyi taşıyan akışkan ile elektrik üretilip, kalan egzoz ısı da kızgın buhar veya sıcak su üretmekte kullanılır. Şekil 1’de grldđđ gibi, konvansiyonel (klasik) tesislerde toplam verim %58 civarındayken kojenerasyon çevrimlerinin verimi ise %90’a kadar yükselebilmektedir. Burada iki üretim tarzı karşılaştırıldığında yakıttan enerji yönünden kojenerasyon çevriminde %30 civarında daha fazla faydalanılması mümkün görünmektedir. Bunun yanında aynı an için ısı-elektrik enerjisi gereksinimi olan tesislerde kojenerasyon çevrimi kurulması halinde tesisin işletme ve ilk yatırım maliyeti önemli ölçüde azalmaktadır [1].

Elektrik enerjisi kullanımı ve talebinin artışı halen sürmektedir. Kurulumu uzakta olan büyük kapasiteli termik ve hidroelektrik çevrimlerinden elde edilen elektrik, iletim hatlarının yüzlerce bazen binlerce kilometre uzunluğundan dolayı bu elektrik enerjisinin %10’u civarı, bu dağıtım hatlarında kaybolup, yok olmaktadır. Sanayi kuruluşları, hem elektrik-ısı enerjisi gereksinimi için kojenerasyon tesisleri kurma yoluyla, yakıtları verimli değerlendirebilmekte ve enerji tüketim maliyetini de azaltabilmektedir. Böylece tesisler elektrik kesintilerine karşı nlemde almış olmaktadır. Ayrıca kk kojenerasyon tesisleri kk işletme ve tesislerde, bölgesel ısıtması olan sistemlerde, niversite kampüslerinde, kurulumu yapılabilir [2].

KAYNAKLAR

- [1] Wilkinson, B.W., Barnes, R.W."Cogeneration Of Electricity And Useful Heat", **CRC Pres**, (1993).
- [2] Karaali, Rabi. Kojenerasyon Tesislerinin Termoekonomik Optimizasyonu, **Doktora Tezi**, Kocaeli Univ. 2010.
- [3] Horlock, J.H., "Cogeneration-Combined Heat And Power (CHP)", **CRIEGER Pub.**, (1997).
- [4] Erdem Özge,"İki Farklı Metot ile Üretilen Oleik Asit Katkılı Külçe Mgb₂ Süperiletkenlerin Süperiletkenlik Özellikleri Üzerine Bilyeli Öğütme Etkisinin Araştırılması",Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,no:3,pp:936 - 950, 2022
- [5] Erdem Özge, Güner Sait Barış, Çelik Şükrü, Küçükömeroğlu Tayfur,"Superconducting and Levitation Force Characterisation of Pyrene Added Mgb₂ Bulk Superconductors",Cryogenics,Q3,vol.112, 2020
- [6] Erdem Özge,"Comparative Study of Hot and Cold Press and Their Effect on Superconducting Properties of Coronene Added Bulk Mgb₂",Physica C: Superconductivity and its Applications,Q4,vol.565, 2019
- [7] Alvarado, S., Gherardelli, C., "Exergoeconomic Optimization Of A Cogeneration Plant", **Energy** Vol:19 No:12, Elsevier Science Ltd. (1994).
- [8] Al-Fahed, S.F., Alasfour, F.N., Abdulrahim, H.K., "The Effect Of Elevated Inlet Air Temperature And Relative Humidity On Cogeneration Systems", **International Journal Of Energy Research**, 33;1384-1394, Wiley Interscience (2009).
- [9] Amel, A.A, Cadavid, F.J., "Influence Of The Relative Humidity On The Air Cooling Thermal Load In Gas Turbine Power Plant", **Applied Thermal Engineering** 22 1529-1533 Elsevier Science Ltd., (2002).
- [10] ASHRAE, "Cogeneration Systems And Engine And Turbine Drives", ASHRAE Systems And Equipment Handbook (SI), Chapter 7, **American society of Heating, Refrigerating and air conditioning Engineers** New York (2000).

- [11] İ.T.Ü., “Türkiye’de Enerji ve Geleceği İTÜ Görüşü” , www.itu.edu.tr,
(Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2008).
- [12] Ashraf, M., B., “Effects Of Evaporative Inlet And Aftercooling On The Recuperated Gas Turbine Cycle”, ***Applied Thermal Engineering*** 21, Elsevier Science Ltd., (2001).
- [13] Ballı, Ö., “Kojenerasyon Sistemlerinin Enerji, Kullanılabilirlik (Ekserji), Ve Ekserjoekonomik Analiz Yöntemleri Kullanılarak Performansının Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, ***Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü***, Eskişehir, (2008).
- [14] Erdem Özge, Yanmaz Ekrem, "Effect of Laser Irradiation on Superconducting Properties of Bulk MgB₂ Sintered At Different Temperatures", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Q2, vol.28, no:12, pp:8382 - 8390, 2017
- [15] Erdem Özge, Yanmaz Ekrem, "Enhanced Pinning Properties of Laser-Irradiated Bulk MgB₂ Superconductors", *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, Q4, vol.30, no:3, pp:769 - 776, 2017
- [16] Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M., “Thermal Design And Optimization”, ***Wiley Pub***, (1996).
- [17] Erdem Özge, "Investigation of Hot Press and Cold Press Effects on Structural, Electrical and Magnetic Properties of Pyrene Added Bulk MgB₂", *Brazilian Journal of Physics*, Q2, vol.54, 2024
- [18] Erdem Özge, "Comparison of Superconducting Properties of Bulk MgB₂ Samples with Pyrene Additive Produced by B Powder and C Encapsulated B Powder", *Journal of Low Temperature Physics*, Q4, vol.214, pp:15 - , 2023
- [19] Erdem Özge, Kırat Gökhan, "Influence of Coronene Addition on Some Superconducting Properties of Bulk MgB₂", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Q3, vol.29, no:20, pp:17222 - 17233, 2018
- [20] Boyce, M.P., “Handbook For Cogeneration And Combined Cycle Power Plants” ***Asme Press***, 42-220, (2002).
- [21] Çengel, Y.A., Boles, M.A., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, ***Mc Graw Hill***, (2000).

- [22] Jaluria, Yogesh, "Design and Optimization of Thermal Systems", **CRC Press**, (2008).
- [23] Karaali, R., Öztürk İ., T., "Buhar Püskürtmeli Kojenerasyon Çevrimlerinin Termoeconomik Performans Analizi", **17. Ulusal Isı Bilimi Ve Tekniği Kongresi**, Sivas, (2009).
- [24] Moran, J.M., Tsatsaronis, G., "The CRC Handbook Of Thermal Engineering", **CRC Press LLC.**, 15-109, (2000).
- [25] Najjar, Y.S.H., "Comparison of Performance For Cogeneration Systems Using Single or Twin Shaft Gas Turbine Engines", **Applied Thermal Engineering** v:17 No:2, Elsevier Science Ltd., (1996).
- [26] Erdem Özge, Abdioğlu Murat, Güner Sait Barış, Çelik Şükrü, Küçükömeroğlu Tayfur, "Improvement in Levitation Force Performance of Bulk Mgb2 Superconductors Through Coronene Powder Adding", *Journal of Alloys and Compounds*, Q1, vol.727, pp:1213 - 1220, 2017
- [27] Abdioğlu Murat, Kabaer Mehmet, Öztürk Kemal, Erdem Özge, Çelik Şükrü, "Lateral Position Effect of Auxiliary Permanent Magnets on the Magnetic Force Properties of Cylindrical Ybco", *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, Q4, vol.30, no:10, pp:2933 - 2938, 2017
- [28] Erdem Özge, Yanmaz Ekrem, "Effect of Laser İrradiation on Activation Energy, İrreversibility Field and Upper Critical Magnetic Field of Bulk Mgb2 Superconductor", *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Q2, vol.27, no:6, pp:6502 - 6510, 2016
- [29] Erdem Özge, Abdioğlu Murat, Aydoğdu Yıldırım, Yanmaz Ekrem, "Production of Ni Ti Shape Memory Alloys and Their Properties", *Balkan Physics Letters*, vol.20, no:201020, pp:173 - 180, 2012
- [30] Düz İsmahan, Güner Sait Barış, Erdem Özge, Demir İmren, Kapucu Volkan, Çelik Şükrü, Öztürk Kemal, Md Shahriar A. Hossain, Gencer Ali, Yanmaz Ekrem, "Comparison of Levitation Forces of Bulk Mgb2 Superconductors Produced by Nano Boron and Carbon-Doped Nano Boron", *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, Q4, vol.27, no:10, pp:2241 - 2247, 2014

- [31] Öztürk, İ.T., Karabay, H., Bilgen, E., "Thermo-economic Optimization Of Hot Water Piping Systems: A Comparison Study", *Energy* 31, 1758-1771, Elsevier Science Ltd., (2006).
- [32] Erdem Özge, Yanmaz Ekrem,"Effect of Er Doping on the Superconducting Properties of Porous MgB₂",*Bulletin of Materials Science*,Q4,vol.38,no:1,pp:89 - 93, 2015
- [33] Erdem Özge, Öztürk Kemal, Güner Sait Barış, Çelik Şükrü, Yanmaz Ekrem,"Effects of Initial Cooling Conditions and Measurement Heights on the Levitation Performance of Bulk MgB₂ Superconductor At Different Measurement Temperatures",*Journal of Low Temperature Physics*,Q3,vol.177,pp:28 - 39, 2014
- [34] <http://www.ere.com.tr>
- [35] Karaali Rabi,Öztürk İlhan Tekin,"Efficiency Improvement of Gas Turbine Cogeneration Systems",*Tehnicki vjesnik - Technical Gazette*,vol.24,no:Supplement 1,pp:21 - 27, 2017
- [36] Karaali Rabi,Öztürk İlhan Tekin,"Performance Analyses of Gas Turbine Cogeneration Plants",*ISI Bilimi ve Teknigi Dergisi-Journal of Thermal Science and Technology*,vol.37,no:1,pp:25 - 33, 2017
- [37] Karaali Rabi,Öztürk İlhan Tekin,"Effects of Ambient Conditions on Performance of Gas Turbine Cogeneration Cycles",*Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*,vol.37,no:1,pp:93 - 102, 2017
- [38] Keven Arzu, Karaali Rabi,"Exergetic Analyses of Air-Fuel Preheated Cogeneration Plants in Food Production",*BIO Web of Conferences*,vol.85,pp:1 - 4, 2024
- [39] Karaali Rabi, Keven Arzu,"Performance Analyses of Basic Cogeneration Basic Cogeneration Plants in Agriculture and Food Production",*BIO Web of Conferences*,vol.85,pp:1 - 4, 2024
- [40] Karaali Rabi,"Performance Analyses of Combined Cycle Power Plants",*IJCESEN*,vol.9,no:2,pp:165 - 169, 2023
- [41] Karaali Rabi,"Investigation of Inlet Air Pressure and Evaporative Cooling of Four Different Cogeneration Cycles",*Open Chemistry*,Q3,vol.20,no:1,pp:1632 - 1642, 2022

- [42] Karaali Rabi, Keven Arzu,"Analysis of Some Tribological Properties of Hazelnut Oil in Gasoline Engines",Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,vol.15,no:1,pp:75 - 83, 2022
- [43] Karaali Rabi, Keven Arzu,"Performance Analysis of Air Fuel Heating Effects on Cogeneration Cycles",European Journal of Science and Technology,no:43,pp:91 - 96, 2022
- [44] Karaali Rabi, Keven Arzu,"Exergy Analysis of Inlet Air Absorption Cooling Effects on Basic Cogeneration Systems",European Journal of Science and Technology,no:43,pp:97 - 103, 2022
- [45] Karaali Rabi, Keven Arzu,"Evaluation of Four Different Cogeneration Cycles by Using Some Criteria",Applied Rheology,Q3,vol.32,no:1,pp:122 - 137, 2022
- [46] Karaali Rabi,"Exergy Analysis of Oxy-Fuel Power Cycle",IJIRMP-International Journal of Innovative Research in Engineering Multidisciplinary Physical Sciences,vol.6,no:6,pp:287 - 289, 2018
- [47] Karaali Rabi,"Exergy Analyses of Recuperated and Air Precooled Cogeneration Systems",IJIRMP,vol.6,no:6,pp:282 - 286, 2018
- [48] Karaali Rabi,Öztürk İlhan Tekin,"Analysis of Steam Injection Into Combustion Chamber of Gas Turbine Cogeneration Cycles",Hittite Journal of Science Engineering,vol.5,pp:51 - 58, 2018
- [49] Karaali Rabi,Öztürk İlhan Tekin,"Thermoeconomic Analyses of Steam Injected Gas Turbine Cogeneration Cycles",Acta Physica Polonica A,vol.128,no:2B,pp:279 - 282, 2015
- [50] Karaali Rabi,Öztürk İlhan Tekin,"Thermoeconomic Optimization of Gas Turbine Cogeneration Plants",Energy,vol.80,pp:474 - 485, 2015