

**SIFIR EMİSYONLU
KOJENERASYON
TESİSLERİNİN MEVCUT
KOJENERASYON TESİSLERİ
İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Rabi KARAALI, İlhan Tekin ÖZTÜRK

1. GİRİŞ

- Kyoto protokolünde birçok ülke 1990'daki gaz emisyon seviyesinin %5 altına inme (2008-2012 için) taahhüdünde bulunmuştur.
- Bu yüzden CO₂'nin egzoz gazlarından ayrıştırılarak bertaraf edilmesi giderek önem kazanmakta ve üzerinde daha fazla çalışılmaktadır.

- Dünya'da mevcut sıfır emisyonlu kojenerasyon tesisinin olmaması ve sadece çoğu tasarım ve geliştirilme aşamasındaki güç tesisleri söz konusu olduğundan,
- burada mevcut kojenerasyon tesisleri ile sıfır emisyonlu kojenerasyon tesisine dönüştürülebilir sıfır emisyonlu güç tesislerinin analizi termodinamiğin birinci kanununa göre yapılacak ve karşılaştırılacaktır.

- Sıfır emisyonlu güç tesislerinde CO₂'nin bertaraf edilmesi için geliştirilmiş yöntemler üç grupta toplanabilir.
- a) **CO₂'yi sıvılaştırarak depolama yoluyla bertaraf eden çevrimler:** Halen dünyada en yaygın düşünülen yöntemdir. CO₂'nin sıvılaştırılarak bertaraf edilmesini kullanan çevrimler, oksifuel su, Graz, gelişmiş sıfır emisyonlu, gaz türbinli katı oksitli yakıt hücreleri, kimyasal bağlı yanma, oto termal reformer, kimyasal absorpsiyonlu sistem ve iyon membran çevrimleri şeklinde sayılabilir.

- CO₂'nin sıvılaştırılması verimi % 3-5 civarında (bazı durumlarda %10'un üzerinde) düşürmekte ve kuruluş maliyetini %75 civarında ya da daha fazla artırmaktadır.
- **b) CO₂'nin kimyasal reaksiyonla başka bir madde ile zararsız bileşik oluşturan çevrimler:** Bu yöntem en çok CO₂'nin bir metal oksitle birleştirilerek zararsız bir karbonata dönüştürülerek doğada depolanması ile CO₂'nin bertaraf edilmesi şeklinde düşünülmüş bir yöntemdir.

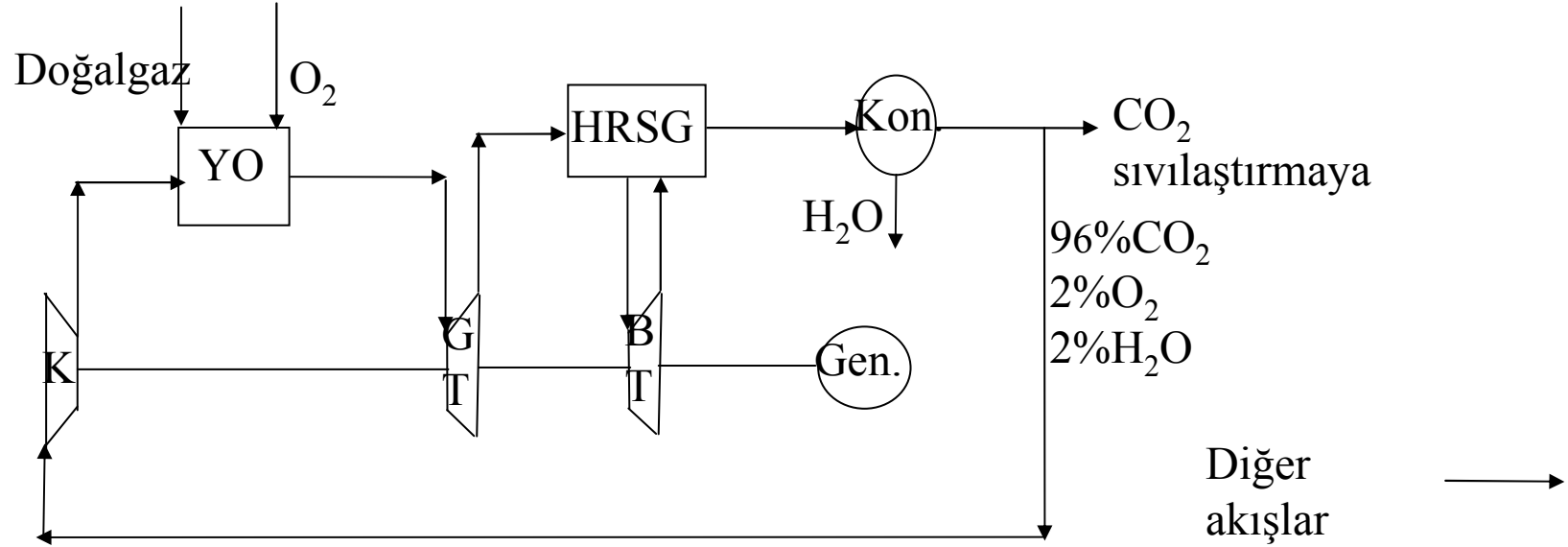
- **c) CO₂'yi tekrar yakıtla dönüştürüp kullanan çevrimler:** Uygulanabilecek iki çeşit biyolojik yöntem mevcuttur.
- **i) Orman:** 500 MW gücündeki bir güç tesisinin elli yıldan fazla bir süre için orman ile ürettiği CO₂'nin bertaraf edilmesi için sıcak iklim koşullarında 4000–5000 km², soğuk iklim koşullarında ise 7000–10000 km² 'lik bir alana ihtiyaç vardır. Bu alanın ormana dönüştürülmesi ve bakımı elektrik fiyatlarında 1.4–1.9 USc/kWh bir maliyet artışına sebep olacaktır.

- **ii) Biyokimyasal proses:** Bu proses ile CO₂'nin bertaraf edilmesi için yüksek konsantrasyonlu CO₂ içeren egzoz gazlarına dayanıklı, CO₂'yi kullanan ve bu ortamda hızla büyüyen ancak NO_x ve SO₂'ye dayanabilen mikro algler gibi bitkilerin kullanılması söz konusudur.
- Ancak önemli miktarda suya da ihtiyaç vardır ve çıkacak atık suyun çevreye zarar vermeden tahliyesi de çözülmesi gereken bir sorundur.

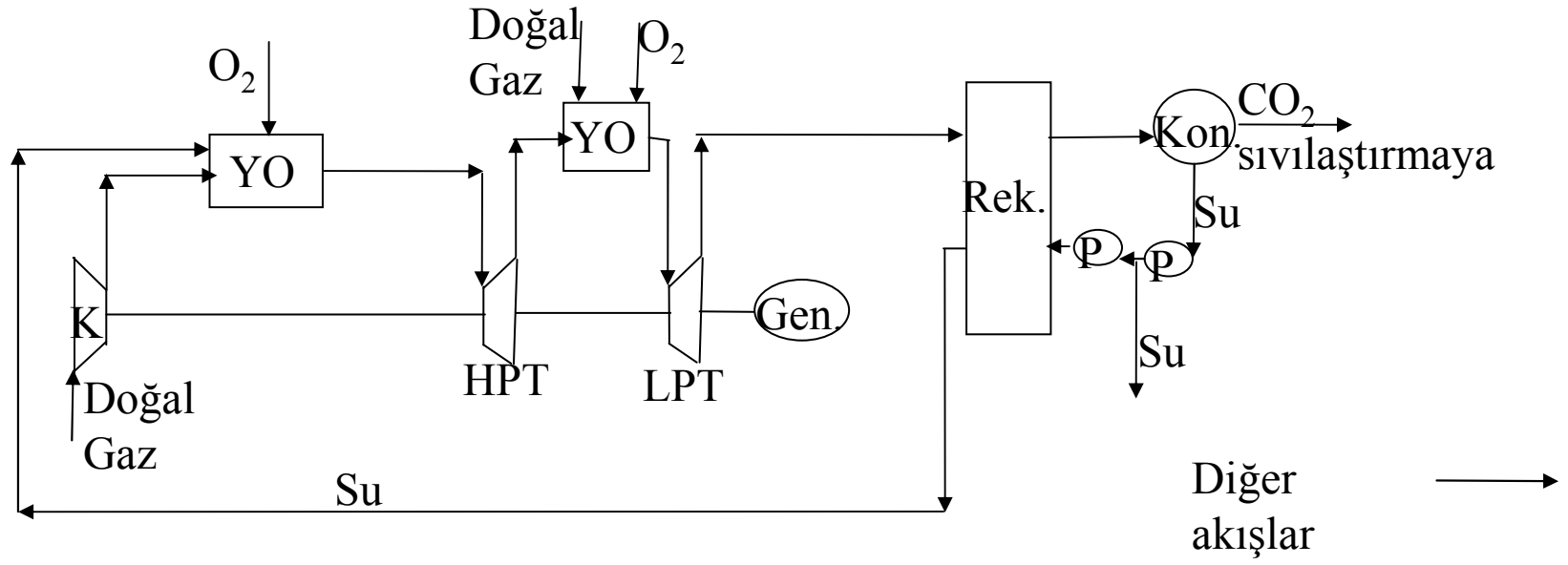
- Sıvılaştırma yönteminde CO₂'nin sıvılaştırılması için maliyeti artıran bir enerji harcanmaktadır.
- CO₂'nin kimyasal reaksiyonla dönüştürülmesinde ise kimyasal reaksiyona sokulacak maddenin ya da CO₂'nin reaksiyon bölgesine taşınması gerektiğinden, belli bir maliyet ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemin ilk yönteme olan üstünlüğü, CO₂'den sonsuza kadar kurtulmak mümkün olmaktadır.

CO₂'yi Sıvılaştırarak Depolama Yoluyla Bertaraf Eden Çevrimler

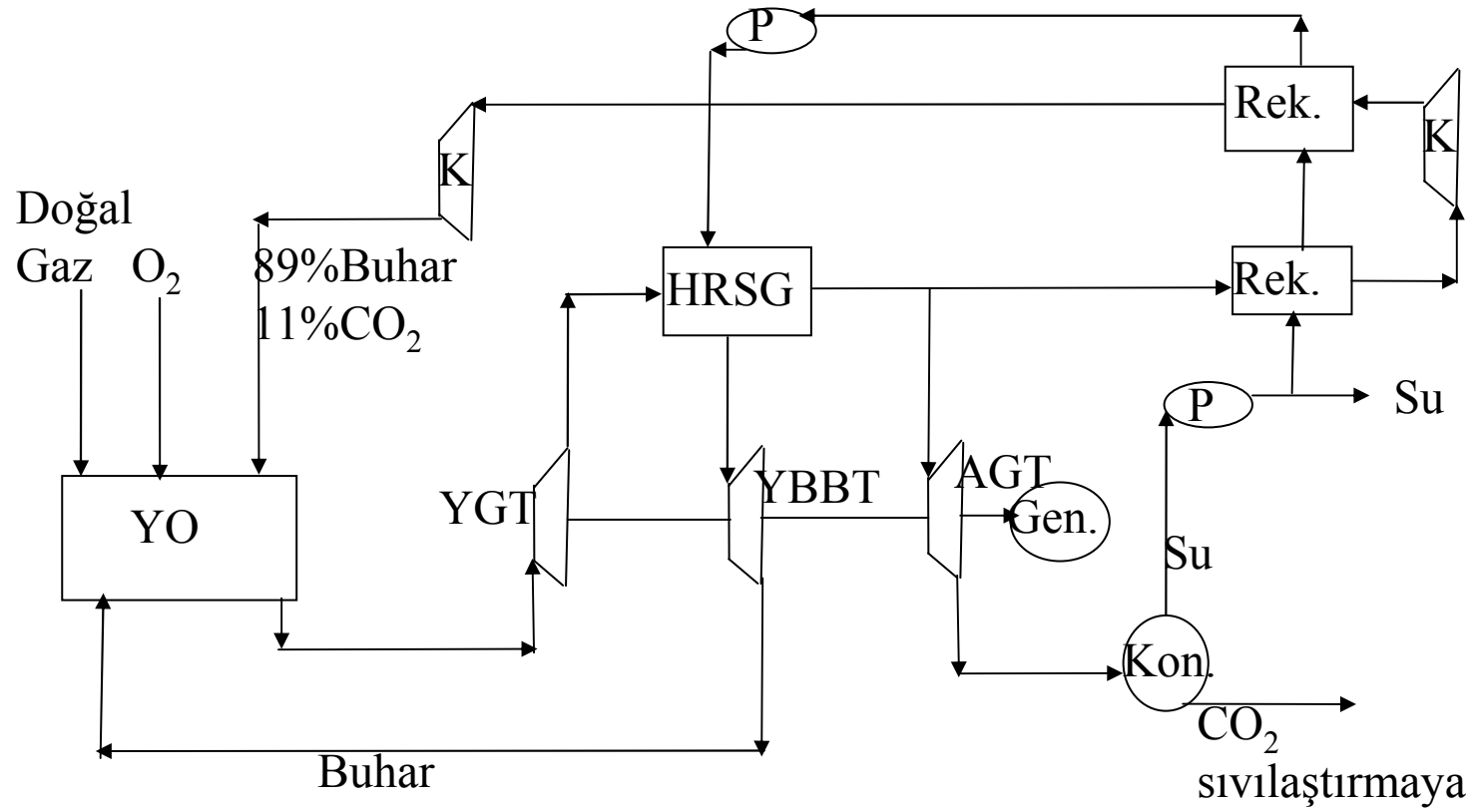
- Oksifuel kombine çevrimi (O₂/CO₂ Güç Çevrimi):



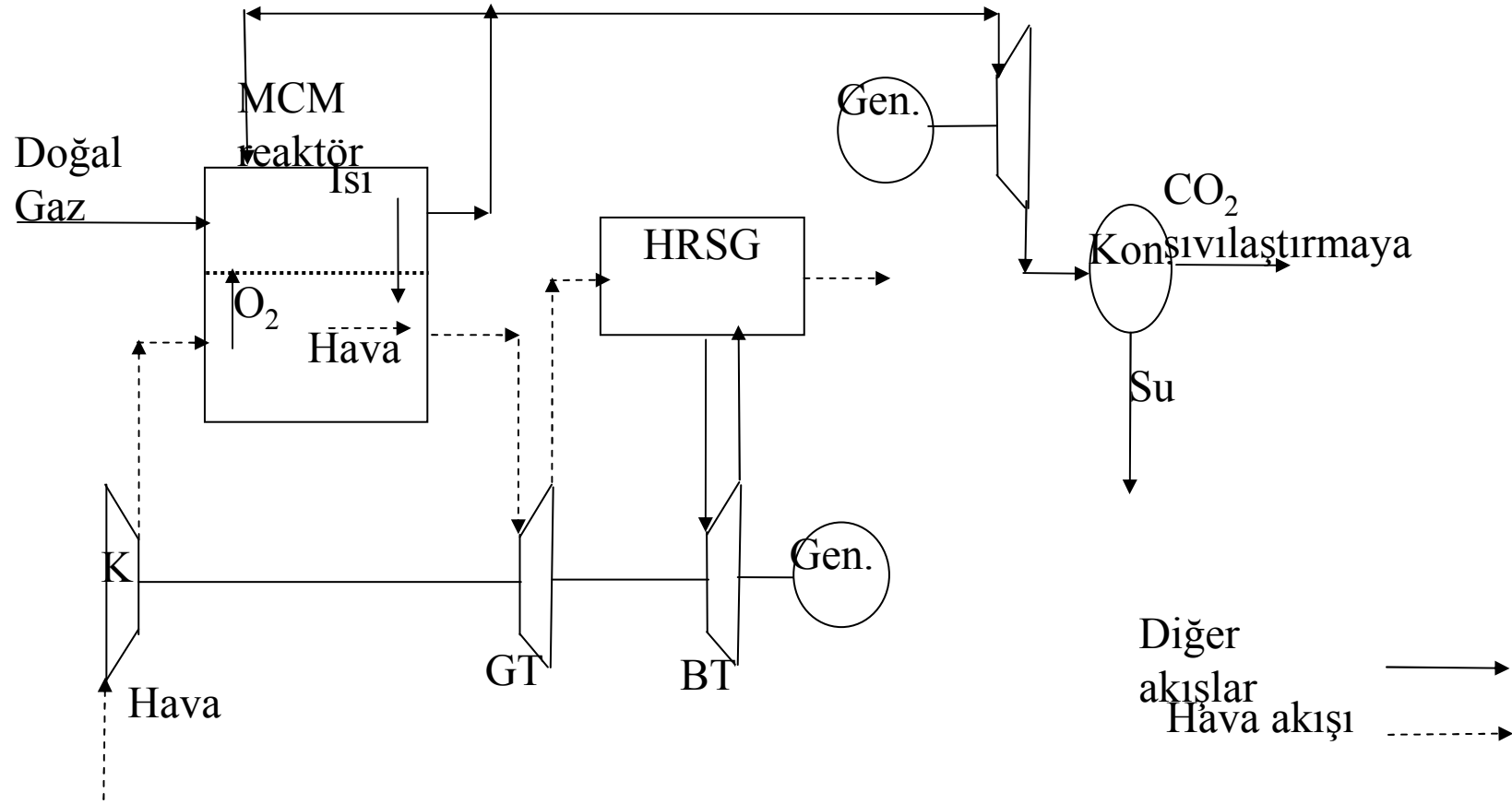
- **Su Çevrimi :**



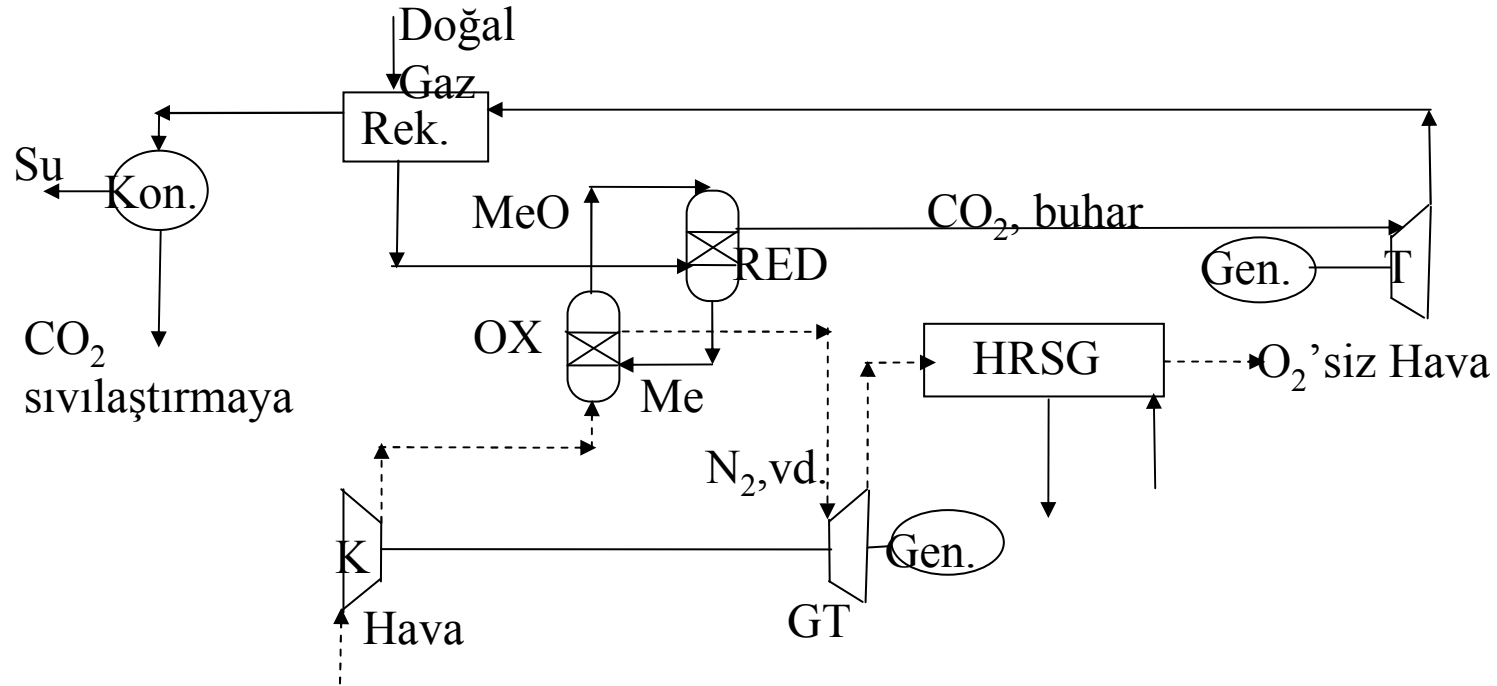
- **Graz Çevrimi (S Versiyonu):**



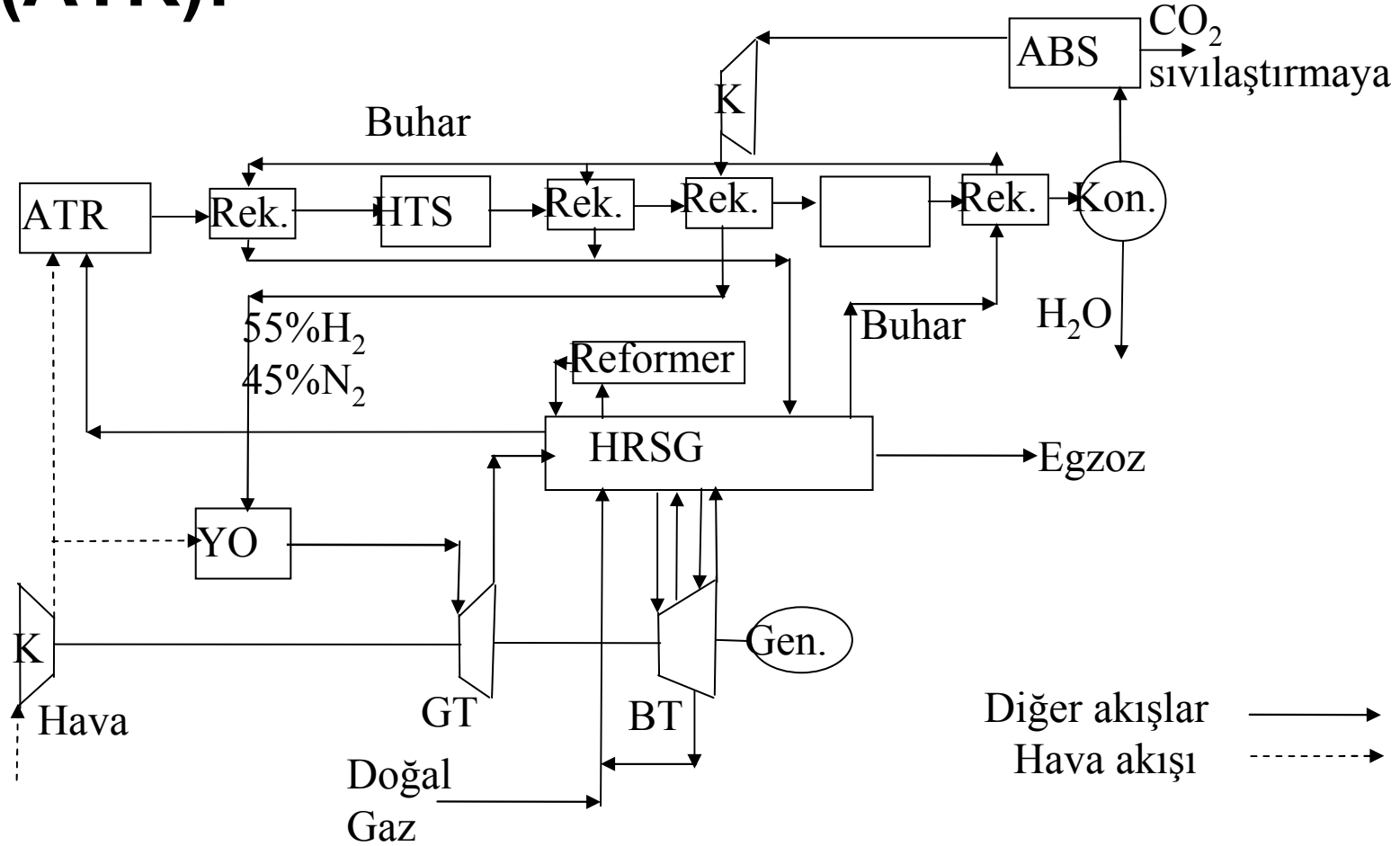
- **Gelişmiş Sıfır Emisyonlu Güç Tesisleri Çevrimi (AZEP):**



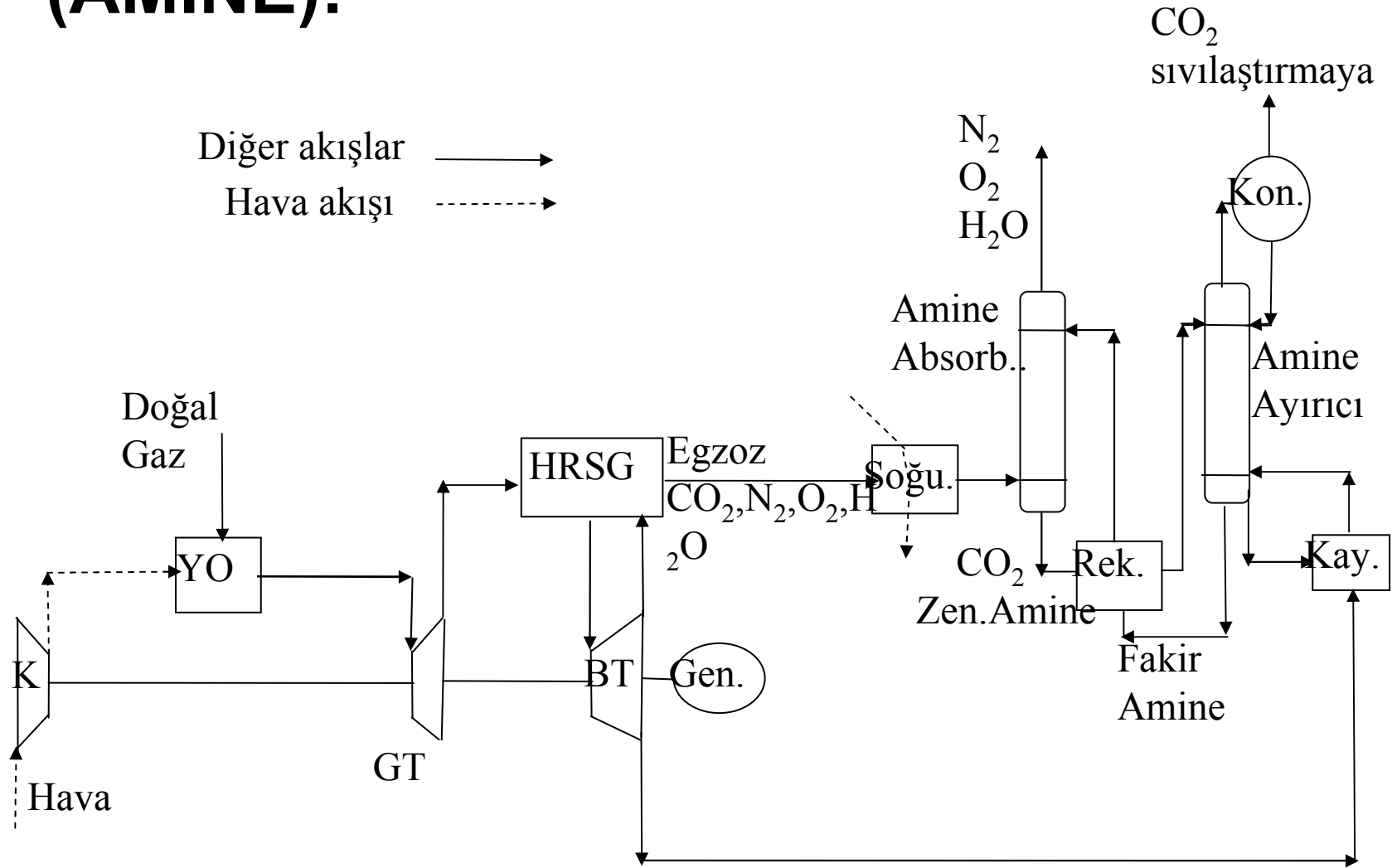
- **Kimyasal Bağlı Yanma (CLC):**



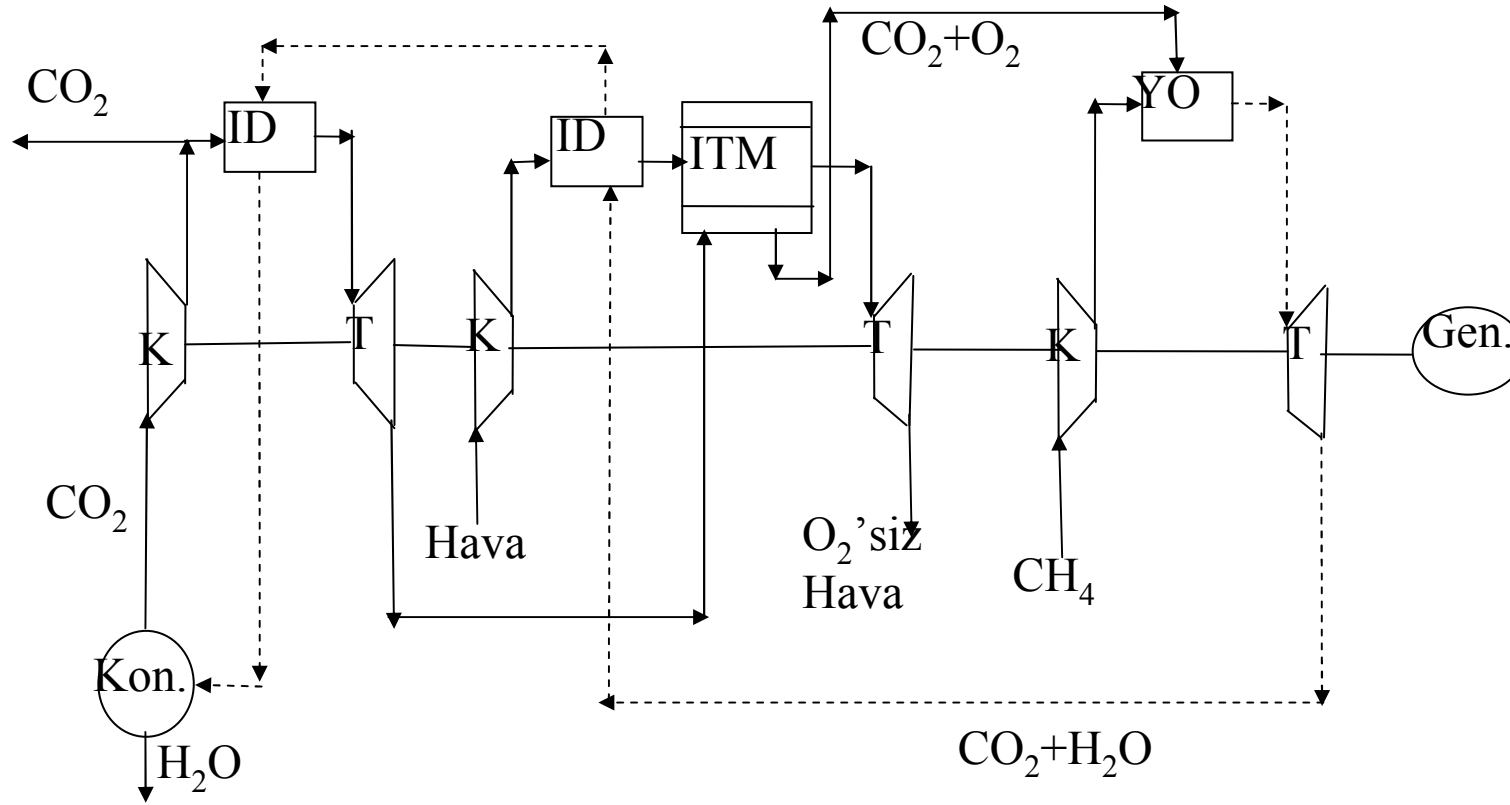
• Ön Yanmalı Oto Termal Reformer (ATR):



• Kimyasal Absorbsiyonlu Sistem (AMİNE):



• İyon Membranlı Çevrim:



Çevrim	Sis.Ve.(%)	Avanta.	Dezavan.	Kojener.
Oxyfuel	47	Büyük ölçek müm.	-	Mümkün
WC (Su)	45	Büyük ölçek müm.	-	Mümkün
Graz	49	Büyük ölçek müm.	-	Mümkün
AZEP100%	50	Ayrış. Mal. Düş.	Geliştirilme aşamasında	Mümkün
AZEP85%	52.5	AZEP100%'d en verimli	Geliştirilme aşamasında	Mümkün
SOFC/GT	67.3	Verimli	Büyük ölçekler denenmemiş	Mümkün
CLC	51.3	100% ayrıştır.	Geliştirilme aşamasında	Mümkün
ATR	46.9	Ağır karbonlu yakıtlara uyg.	Verim düşük	Mümkün
Amine	47.9	-	Opti. enteg. yok	Mümkün
İyon Mem.	56	-	Geliştirilme aşamasında	Mümkün

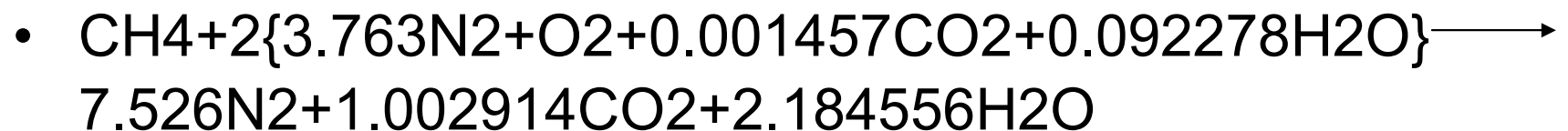
2. MATERYAL VE YÖNTEM

- **2.1. Gaz Türbinli Kojenerasyon Tesislerinin Termodinamik Modeli**
- Açık sistem ve kararlı rejimde çalışma durumu için termodinamiğin 1. Kanunu ve kütlenin korunumu kanunu (sürekli rejimde), sistem için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{Q}_{12} + \dot{W}_{12} = \dot{E}_2 - \dot{E}_1$$

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

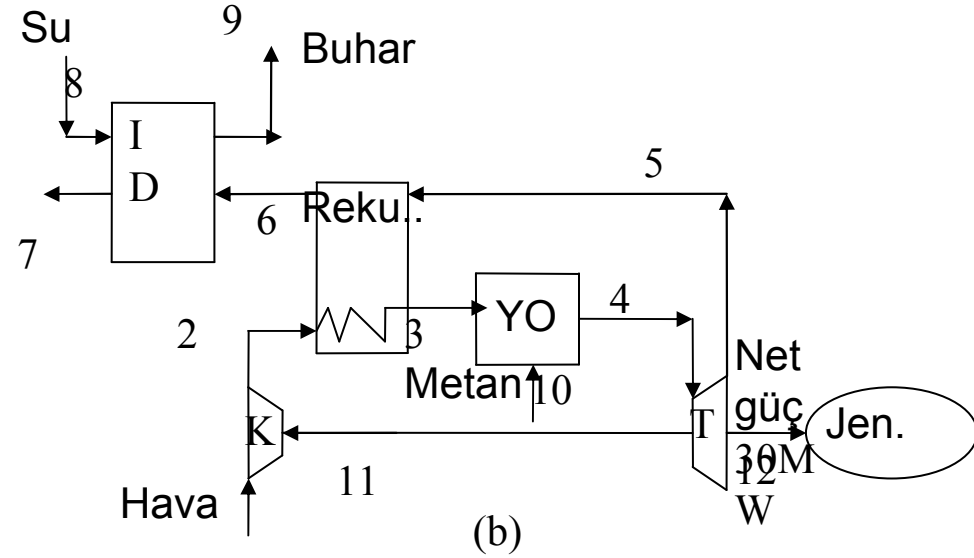
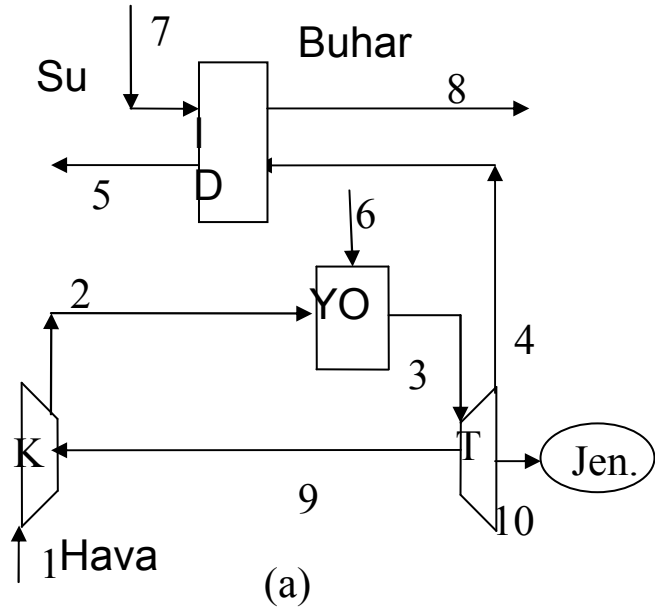
- Yanma reaksiyonunun tam olarak ve ideal gerçekleştiği kabulü ile aşağıdaki kimyasal reaksiyon temel alınmış, ayrıca yanma odasında kullanılan yakıt olarak, doğal gaz kabul edilmiş olup, hesapları basitleştirmek için metan gazı olduğu varsayılmıştır.



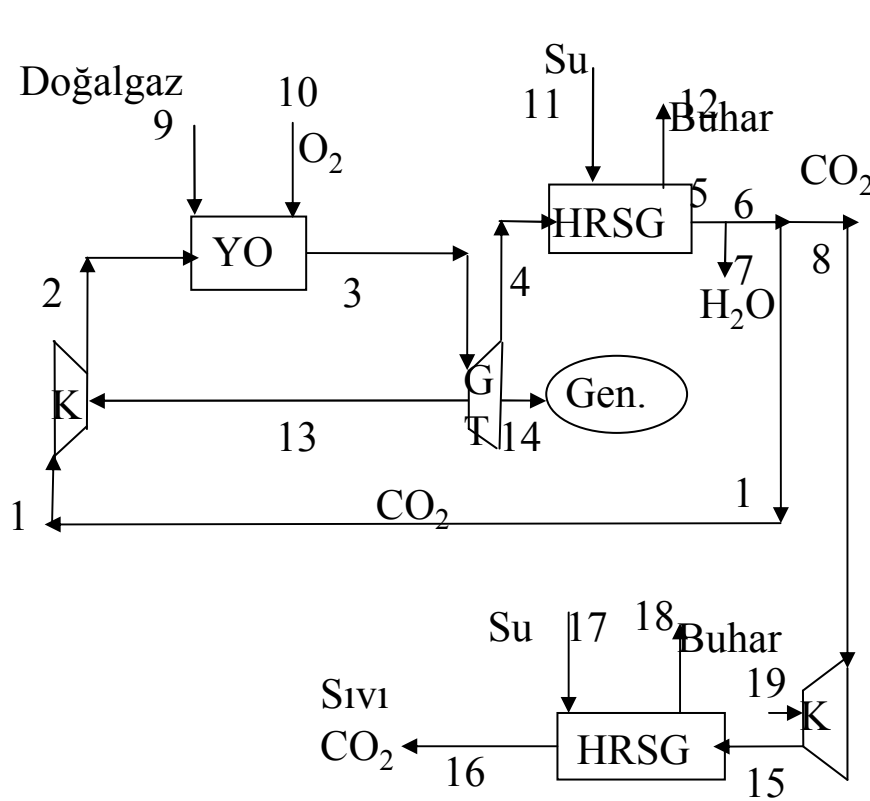
- $$\eta = \frac{W + Q}{Q_{yakıt}}$$

3. SIFIR EMİSYONLU KOJENERASYON TESİSLERİNİN MEVCUT KOJENERASYON TESİSLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

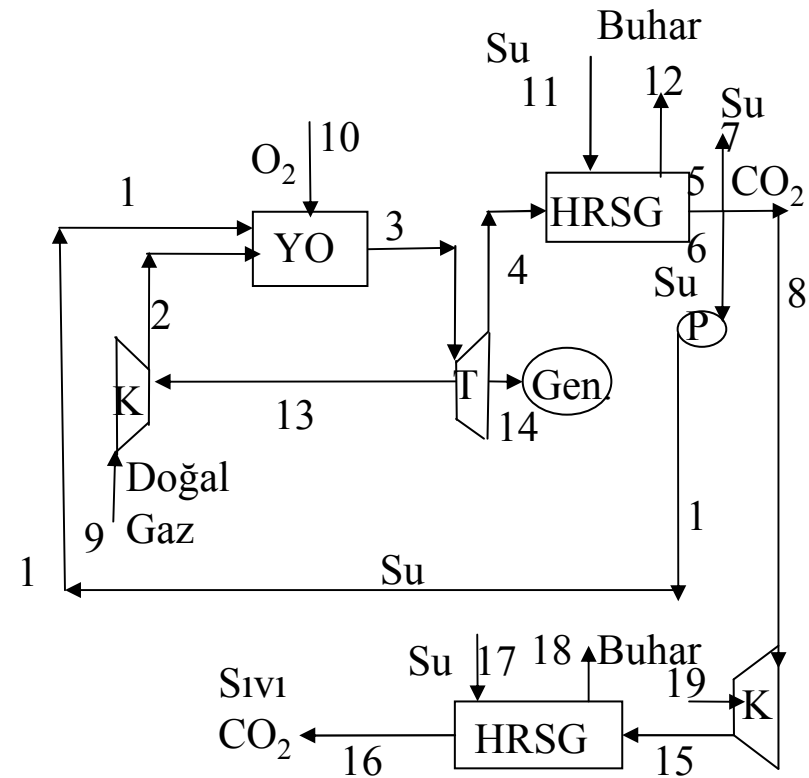
(a) Örnek kojenerasyon sisteminin (Ör), (b) reküperatörlü kojenerasyon sisteminin (HI) genel şemaları



- (a) Oksi fuel çevrimli (O₂/CO₂) kojenerasyon sisteminin, (b) su çevrimli (O₂/H₂O) kojenerasyon sisteminin genel şemaları

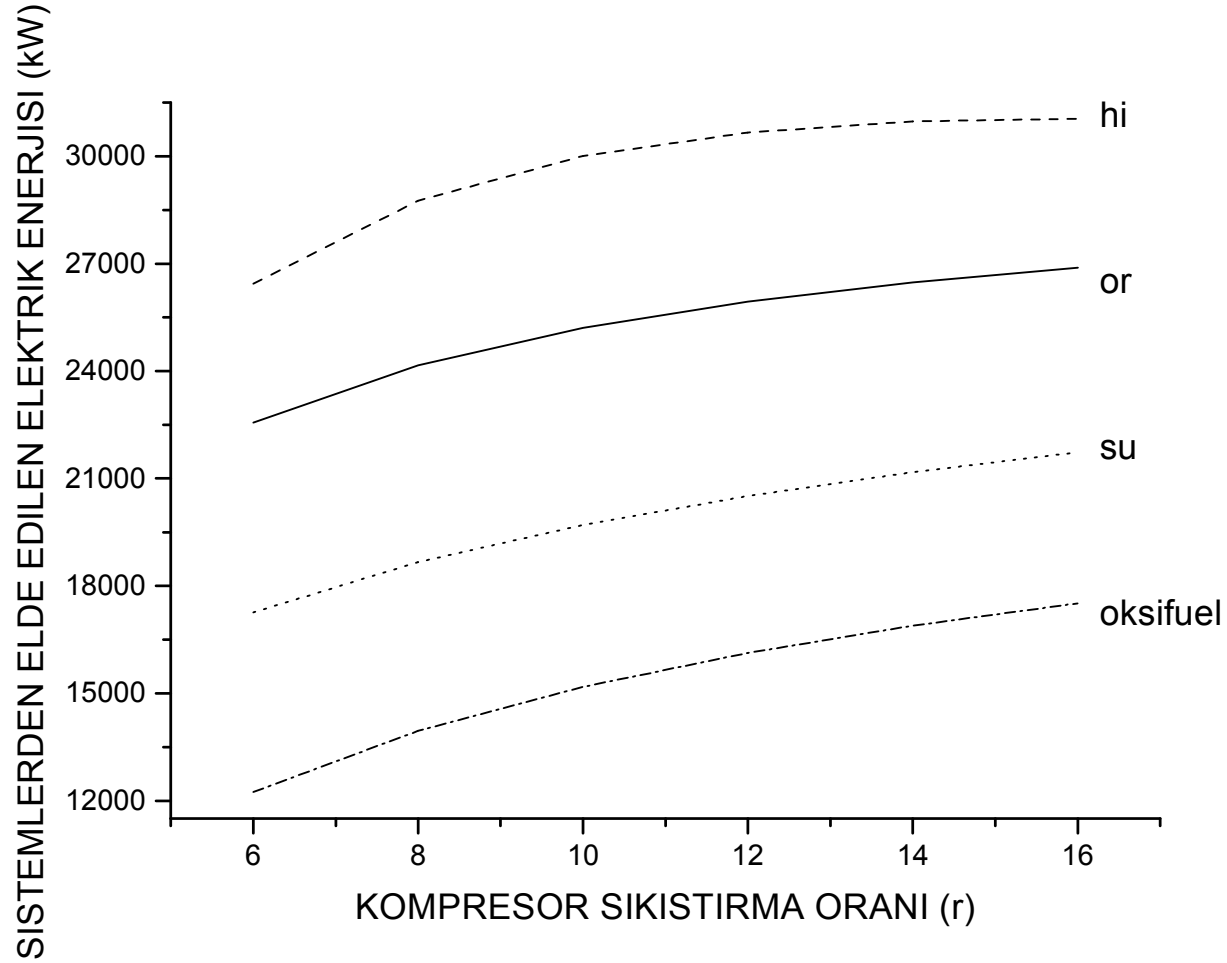


(a)

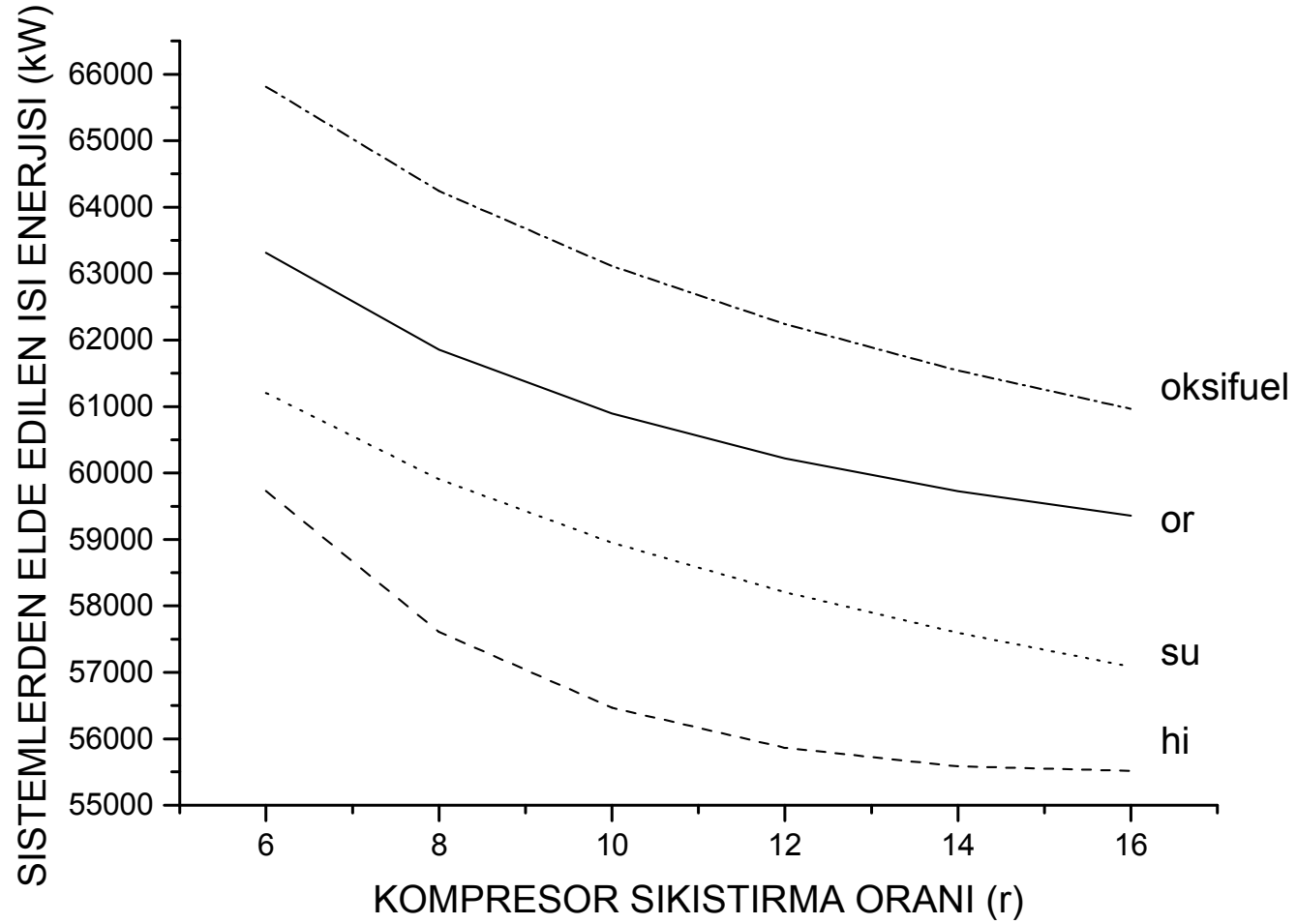


(b)

- Kompresör sıkıştırma oranı değıştikçe sistemlerden elde edilen elektrik enerjisi eğrileri (tüm çevrimlerde 1.64 kg/s metan yakıldığı esas alınmıştır).



- Kompresör sıkıştırma oranı değiştikçe sistemlerden elde edilen ısı enerjisi eğrileri.



- Burada ör ve hı çevrimleri, sıfır emisyonlu çevrimlerden %8 daha fazla verimlidir. Bunun %2-3 kadarını oksijen ayrıştırma işi, %5-6 kadarını da CO₂ sıvılaştırma işi verimi düşürmektedir.
- Kompresör sıkıştırma oranı değıştikçe elde edilen net ısı güç oksifuel çevriminde en fazla olup her dört çevrimde de sıkıştırma oranı arttıkça ısı güç düşmektedir.

4. SONUÇLAR

- Mevcut teknolojide Őu an için büyük ölçeklerde çalıŐabilecek durumda olan sıfır emisyonlu g tesislerinden oksifuel, su ve her ikisinin bir bileŐimi olan Graz evrimleri kanıtlanmış çevrimler olup diğer çevrimler henüz geliştirilme aŐamasındadır.
- Geliştirilme aşamasında olan gaz türbinli katı oksitli yakıt hücreli evrim (SOFC+GT) en verimli çevrim olup gelecek vaat etmektedir.

Su çevriminde yüksek sıcaklıklara çıkmak mümkün olmadığından oksifuel çevrimi yüksek sıcaklıklarda daha verimlidir.

- Bu iki çevrimin oksijen ayrıştırma işi verimin %2-3'ünü (havadan oksijen ayrıştırma için 812 kJ/kgO₂ enerji harcanmaktadır) ve CO₂'nin 75.013 bara kadar sıkıştırma işi (daha sonra ısı değiştiricisinde ısını suya bırakmakta ve sıvılaşımaktadır) de verimin %5-6'sını yok etmektedir.

- Verimden %8 kadar vazgeçilebilirse atmosfere CO₂ emisyonları salınmayacak ve başta küresel ısınma gibi iklim değişikleri olmayıp atmosfer temiz kalacaktır.
- Sonuç olarak ısı kullanımı fazla olan kojenerasyon tesisleri için sıfır emisyonlu CO₂ çevrimlerin daha uygun olduğu görölmekle beraber bu çevrimlerin kıyaslanmasında ekonomik ve termodinamiğin ikinci kanununda yer aldığı analizlerden de faydalanılmalıdır.

TEŞEKKÜRLER