AŞAĞIDAKİ KİTAPTAN BİR KISIM SAYFA ÖRNEK OLARAK YERLEŞTİRTİRİLMİŞTİR. DETAYLI BİLGİ VE TÜMÜ EN DÜŞÜK TEKLİFİ VEREN FİRMAYA İLGİLİ MÜDÜRLÜKÇE MAİL İLE GÖNDERİLECEKTİR !

bulut, gökyüzü, fabrika, kirlenme içeren bir resim

Açıklama otomatik olarak oluşturuldu

Tuncer Özkan

Makina Y. Müh. · İTÜ 1970

2 × 660 MW Buharlı Güç Santrali

Termodinamik Çözümleme

Amasra, Ekim 2024

Tuncer Özkan

2 x 660 MW Buharlı Güç Santrali

Termodinamik Çözümleme

2 x 660 MW Buharlı Güç Santralı :

Verilen/seçilen büyüklükler ile gerçek bir santral özelliği taşıyan termodinamik ağırlıklı bu çalışma yaklaşık olarak 6 ay sürdü.

Çalışmanın öngörülen özellikleri:

• Basit dille yazılmıştır,

• Kapsamlı,literatür taraması yapılmıştır,

• Santralın,faydalı/zararlı bilgileri ayrıca konu ile ilgili akla gelebilecek soru ve cevapları çalışma içerisinde olup, okuyucunun zorlandığı konularda (0542) 525 4287 telefonu devamlı açıktır.

Bu çalışmanın kitap haline gelmesinde büyük emekleri geçen,

**Prof.Dr. Mehmet** **SABAZ** hocama çok teşekkür eder ve aramızdan genç yaşta ayrılan Termodinamik hocam **Prof.Dr. Ahmet Rasim BÜYÜKTURK’**ürahmet ve saygılarımla anıyorum.

Tuncer ÖZKAN

 Tuncer Özkan

 2 x 660 MW Buharlı Güç Santrali · Termodinamik Çözümleme

Sargın Ofset · Bartın

Amasra, Ekim 2024 · ISBN 00000000000

**Önsöz**

Verilen / Seçilen büyüklükleri ile Amasra’da gerçek anlamda bir buharlı güç santrali kurulmasını öngören bir projenin irdelendiği, termodinamik ağırlıklı bu çalışma, yaklaşık 6 aylık bir zaman diliminde ortaya çıkmıştır.

Çalışmada üzerinde durulan ilkeler şunlardır:

* İşlenen konular oldukça sade bir anlatımla kaleme alınmıştır,
* Kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır,
* Santralin, topluma olası faydalı/zararlı yönlerine, ayrıca konu ile ilgili olarak akla gelebilecek sorulara ve cevaplara da çalışma içerisinde yer verilmiş; bunların değerlendirilmesi ise okuyucunun takdirine bırakılmıştır.

Okuyucunun zorlandığı konularda yazara (0542) 525 42 87 numaralı telefonundan her zaman ulaşılabilir.

Bu çalışmanın yayına hazırlanmasındaki katkıları için Mehmet Sabaz’a; ayrıca beni yetiştiren, genç yaşta aramızdan ayrılan termodinamik hocam Prof. Dr. Ahmet Rasim BÜYÜKTÜR’e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca çalışmanın basımı konusunda desteklerini esirgemeyen Bartın Belediye Başkanı Mak. Y. Müh. Sayın M. Rıza Yalçınkaya’ya da şükranlarımı sunarım.

Tuncer Özkan

Sunuş ****

|  |
| --- |
| 2x660 MW gücündeki termik santralin karakteristik özelliklerini ortaya koyan, insan sağlığını ön planda tutarak çevre bilincini aşılamayı amaçlayan bu çalışmanın toplumumuza fayda sağlamasını temenni ediyor, çalışmamıza verdiği değerli katkılarından dolayı, emeği geçen Makina Yüksek Mühendisi Sayın Tuncer Özkan’a en içten teşekkürlerimi sunarım. |



M. Rıza Yalçınkaya

Bartın Belediye Başkanı

**MUHAMMET RIZA YALÇINKAYA**

**Özgeçmiş**

Muhammet Rıza Yalçınkaya 23 Kasım 1955'te doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Bartın’da tamamlayan Yalçınkaya, Hacettepe Üniversitesi Zonguldak Mühendislik Fakültesinden makine mühendisi olarak mezun oldu. Amasra Taşkömürü Müessese Müdürlüğünde teknik uzman, makine mühendisi ve baş mühendis olarak görev aldı. 1995-1999 yıllan arasında TMMOB Makine Mühendisleri Odası Bartın İl Başkanlığı görevinde bulundu. Bunun yanı sıra, 1998 Yılında TMMOB İI Koordinasyon Kurulu Başkanı olarak görev yaptı.

Yalçınkaya; 1999 yılında Bartın’ı daha yaşanabilir bir kent yapmak hedefiyle Demokratik Sol Parti’den Bartın Belediye Başkanlığına aday oldu ve seçimi % 34.1'lik oy oranıyla kazandı. 5 yılda adeta şehrin çehresini değiştiren Yalçınkaya, 2003 yılında Bartın’ın tarihi ve kültürel değerlerini öne çıkaran çalışmalarıyla "Tarihi Kentler Birliği Özendirme Ödülünü” aldı. Görev süresi boyunca Bartın’a sayısız eser kazandırdı.

DSP'den ikinci kez girdiği Belediye Başkanlığı seçimini bu sefer oyların % 60.6'sını alarak kazandı. Rıza Yalçınkaya, 2002'de Şehir ve Başkan Dergisinin çevre düzenleme dalında "Kent Ödülü”, 2005'te Ankara Yuva Konut Yap Kooperatifleri Birliği le Anadolu Kamu-Sen’in "Yılın Belediye Başkanı Ödülünü", Gözcü Gazetesinin "Yılın Belediye Başkanı” ödüllerini aldı. Türkiye Tarihi Kentler Birliği ve Türkiye Sağlıklı Kentler Birliği Encümen üyeliklerinde bulundu.

Cumhuriyet Halk Partisi'nden 2007 yılı Milletvekili Genel Seçiminde aday oldu. Yıllarca hizmet ettiği Bartınların desteğiyle seçimi kazandı ve 2018 yılına kadar milletvekili olarak görev yaptı. Parti Meclisi ve Merkez Yönetim Kurulu üyeliklerinde görev aldı. Ayrıca 4 yıl boyunca TBMM Başkanlık Divanı Kâtip Üyeliği görevinde bulundu.

Görev süresi boyunca emeklinin, madencinin, esnafın, işsizin, işçinin, çiftçinin, kadınların ve gençlerin sorunlarının takipçisi oldu. Sadece Bartın’da yaşayanların değil tüm Türkiye’de yaşayan Bartınlıların da sesi, nefesi oldu.

Yalçınkaya,  31 Mart 2024 Mahalli İdareler Seçiminde % 51.3 oy oranı ile Bartın Belediye Başkanı seçildi.

Yalçınkaya evli ve 2 çocuk babasıdır.

|  |
| --- |
| **Giriş / Özet**  Termik Santral için gerekli;  • Kimyasal analizi:  %78.54 C, %5.28 H2, %4.53 O2, %1.4 N2, %1.25 S,%9.05 Kül  • Kalorifik değeri; 5600 (± 200) kcal/kg  •Tüketim miktarı : 452 ton/saat olan zenginleştirilmiş taşkömürüne ihtiyaç var,  sağlanabilir mi ?   * Üretim miktarı yeterli olmayıp yurtdışından katkı sağlanacaksa, liman problemi yok mudur ? * Kimyasal analizi verilen ve saatte 452 ton kömürün (25.5 ton/saat kalker hariç) kazanda tam yanmasından sonra oluşan baca gazlarının yaklaşık miktarları;   1302 t/h CO2, 215 t/h H2O, 10.8 t/h SO2, 3699 t/h N2 olduğuna göre, bu değerler gerekli insan sağlığı sınırlarına nasıl çekilecektir, düzenekler nelerdir.(örneğin, filtre ile cevabı yetersiz olup, filtrenin karakteristik özelliklerinin belirtilmesi gerekir.) Kalkerin katkı maddesi olarak kullanılmasında baca gazları hangi değerlere indirgenecektir ?   * Deniz deşarj sisteminde kullanılan soğutma suyu miktarı 160.000 m3/saat olup kondense giriş/çıkış sıcaklık farkı 8- 10 C0 dir. Isınan suda kullanılan difizör sistemi yeterlimidir, sıcaklık kontrolü nasıl yapılacaktır ? * Hava kirliliğini artıran SICAKLIK İNVERSİYONU, insan sağlığı ve çevre ortamı için en önemli faktördür. Etkilerinin giderilmesi için tatmin edici yeterli bir çalışma yapılmışmıdır ? * Ve, akla gelebilecek daha fazla sorular/cevaplar bu çalışma içerisindedir. * **Bu çalışmadaki AMACIMIZ,** santral çıktı zararlı bileşenlerinin (örneğin,baca gazları, soğutma suyu gibi ) insan sağlığı ve çevre ortamı üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya çıkarmaktır. |

|  |
| --- |
| **İçindekiler**  I. 2019 yılı ÇED raporundan alınan proje özet bilgileri 7  II. 2 x 660 MW Buhar Santrali Termodinamik Çözümleme 11  III. Santral‘de kullanılacak yıllık toplam kömür miktarı: 35  IV. Yoğuşturucuda (Kondansör’de) kullanılacak soğutma suyu miktarı: 37  V. 2 x 660 MWe gücünün eşdeğer güç değerleri 51  VI. Yakıtlar ve Yanma 53  VII. ÇED raporuna göre yanma ürünleri ile ilgili alınan önlemler 77  VIII. Kömür hakkında genel bilgi 79  IX. Teorik hava ihtiyacı 93  X. Akışkan yataklı kazanlar: 101  XI. ÇED Raporu’na göre yanma ürünleri ile ilgili alınan önlemler: 103  XII. Hava kirliliğini artıran sıcaklık inversiyonu 105  XIII. Sonuç: hava kirliliği ve sağlık etkileri irdeleme 129  XIV. Soğutma suyu deniz deşarj sistemi (irdeleme): 136  LİTERATÜR 146 |

|  |
| --- |
| **Şekiller Dizini**  Şekil 1. İdeal ara ısıtmalı Rankine çevrimi 9  Şekil 2. Buharlı güç santralinin projemize esas çizimi (Rankine çevrimi) 11  Şekil 3. Buharlı Güç Santrali çevriminin T-S diagramı 13  Şekil 4. Giriş ve çıkış şartlarının Rankine çevriminin verim üzerindeki etkisi 33  Şekil 5. Buharlı güç santrali çevriminin T-S diagramı 39  Şekil 6. Tek geçişli açık soğutma sisteminin şematik gösterimi 44  Şekil 7. Soğutma suyu denizde şarj sistemi için genel yerleşim planı 47  Şekil 8. Difüzör kesiti 48  Şekil 9. Düşey kollu difüzör 48  Şekil 10. Difüzör enine kesiti 49  Şekil 11. Hava yakıt oranı (HY), bir yanma işleminde birim yakıt kütlesi için kullanılan hava kütlesidir 54  Şekil 12. Yanma odasına giren bileşenler ve çıkan ürünler (Şematik olarak gösterim) 62  Şekil 13. Yanma odasına giren bileşenler ve çıkan ürünlerin kütle analizleri 65  Şekil 14. Yanma odasına giren çıkan bileşenler 68  Şekil 15. Bileşenlerin kütle analizi 70  Şekil 16. Yanma odasına giren çıkan bileşenler 73  Şekil 17. Tipik elektrostatik filtre sistemi 78  Şekil 18. Yakacak analizi 79  Şekil 19. Kömürlerin yakma havası ihtiyacı 86  Şekil 20. Kömürlerden oluşan özgül duman gazı miktarı 87  Şekil 21. 1 kg kömüre karşılık gelen bileşenlerin hacimsel analizi 90  Şekil 22. Duman gazındaki CO2 ve H20 (Su buharı) hacimsel oranları (Kömür ve sıvı yakacaklar için 99  Şekil 23. Kömür için duman gazının yoğunluğu 100  Şekil 24. Şehirlerde yüksekliğe bağlı olarak sıcaklık değişimi 107  Şekil 25. Radyasyon inversiyonu 108  Şekil 26. Çökme inversiyonu 110  Şekil 27. Çökme inversiyonu’nda sıcaklığın yükseklikle değişimi 110  Şekil 28. Vadide gerçekleşen Çökme inversiyonu’nun etkileri 111  Şekil 29. Adveksiyon inversiyonu’nun oluşumu 112  Şekil 30. Türkiye’de taş kömürü ve linyit ile çalışan termik santrallerin kirletici salımları ile bağlantılı sağlık etkileri 115  Şekil 31. Parçacıklı maddeye (PM2,5) maruz kalmak çok sayıda sağlık sorununa yol açar [Sağlık ve Çevre Birliği (2015), S. ] 116  Şekil 32. Kömür yakıtlı termik santrallerden çevreye yayılan zararlı maddeler 118  Şekil 33. Proje sahasının yerleşimlere olan mesafesini gösterir harita 125  Şekil 34. Termik santralin planlanan bölge arazisi 126  Şekil 35. Termik santral iş akım şeması 131  Şekil 36. Denizden su alma ve sıcak su dönüş sistemi şematik planı 137  Şekil 37. Bir boruda kontrol hacmi için enerji etkileşimleri 142 |

|  |
| --- |
| **Tablo Dizini**  [Tablo 1. Doymuş su basınç tablosu 14](#_Toc178536086)  [Tablo 2. Tablo 1 devamı 15](#_Toc178536087)  [Tablo 3. Kızgın su buharı tablosu 19](#_Toc178536088)  [Tablo 4. Tablo 3 devamı 21](#_Toc178536089)  [Tablo 5. SKKY’nin Tablo 23’ü.  Derin deniz deşarjları için uygulanacak kriterler 46](#_Toc178536090)  [Tablo 6. Seyrelme hesaplamaları sonucunda elde edilen  seyrelme ve sıcaklık farkı değerleri 50](#_Toc178536091)  [Tablo 7. Hava yakıt oranı hesaplanmasına ait bir örnek 56](#_Toc178536092)  [Tablo 8. mol kütlesi, gaz sabiti ve kritik nokta özellikleri 63](#_Toc178536093)  [Tablo 9. Amasra lavvarı taşkömürü özellikleri 72](#_Toc178536094)  [Tablo 10. Taş kömürü analiz sonuçları ) 72](#_Toc178536095)  [Tablo 11. Türkiye’nin Taşkömürü üretim sahaları ve  üretilen kömür özellikleri 81](#_Toc178536096)  [Tablo 12. Yanma denklemleri 82](#_Toc178536097)  [Tablo 13. Yatağan ilçesinde 1990-93 yılları  ortalama aylık SO2 konsantrasyonu 113](#_Toc178536098)  [Tablo 14. Muğla merkez ve Yatağan ilçesi 1999 yılı  ortalama yıllık ölçüm sonuçları 113](#_Toc178536099)  [Tablo 15. Hava kalitesi sınır değerleri 117](#_Toc178536100)  [Tablo 16. Kömürlü Termik Santral salımlarından  kaynaklanan sağlık sorunları 120](#_Toc178536101)  [Tablo 17. Hava kirleticileri ve sağlık etkisi 122](#_Toc178536102)  [Tablo 18. 2019 yılında hava kirliliğine bağlı ölüm sayısı en yüksek on il 123](#_Toc178536103)  [Tablo 19. 2019 yılında hava kirliliğine bağlı ölüm yüzdesi en yüksek on il 124](#_Toc178536104)  [Tablo 20. Emisyonlar ve ilgili ulusal / uluslararası  sınır değerler / standartlar 133](#_Toc178536105)  [Tablo 21. HKDYY de belirtilen sınır değerler 135](#_Toc178536106)  [Tablo 22. Doymuş suyun özellikleri 140](#_Toc178536107) |

# I. 2019 yılı ÇED raporundan alınan proje özet bilgileri

1) 2x (660 MWe - 669,4 MWm - 1,466 MWt) kurulu gücünde Termik Santral ve kül depolama sahası (**e**: Elektrik, **m**: Mekanik, **t**: Termik)

2) Dolgu alanı, dalgakıran ve rıhtım ile hizmet binaları,

3) 200 ton/saat kapasiteli bir adet ünite ve 500 ton/saat kapasiteli bir adet üniteden oluşan iki adet lavvar tesis.

4) Santral'de:

Kullanılacak olan taş kömürünün kalorifik değeri 5 600 (± 200) kcal/kg öngörülmektedir. Amasra-B sahasında üretilen kömürün termik santralde kullanılabilmesi için öncelikle yıkama ve zenginleştirme işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bu nedenle proje alanına iki adet lavvar tesisi kurulacaktır.

**·** **Her iki ünitede toplam**

- 458 ton/saat (3 389 200 ton/yıl) kömür

- 25,5 ton/saat (188 700 ton/yıl) kalker,

- 162 900 m3/saat soğutma suyu

kullanılması öngörülmektedir.

5) Her biri 660 MWe toplam 2 × 660 = 1 320 MWe gücünde iki üniteli bir enerji santrali olarak planlanan santralin bütün çevrim verimi % 45 tir.

6) Santral'de kömür yakma teknolojisi olarak temiz kömür yapma teknolojileri olarak bilinen "Süper Kritik Pulverize Kömür Yakma Teknolojisi" kullanılacaktır.

7) Amasra-B sahasından çıkarılacak kömürün termik santralde kullanılmayacak olan bölümü, lavvar tesislerinde yıkandıktan sonra kapalı bantlı konveyörler vasıtasıyla Tarlaağzı balıkçı barınağının kuzeydoğusunda inşaa edilmesi planlanan dalgakıran korumalı rıhtımdan 30 000 DWT (Dead Weight Tonnage) dökme yük gemileri ile civardaki sanayi kuruluşlarına sevk edilecektir.

8) Termik santral ve kül depolama sahası inşaat aşaması dört yıl sürecek olup ekonomik ömrü 30 yıl olarak öngörülmektedir.

9) Santral işletmeye geçtiğinde, yılda 7 400 saat işletmede olacağı öngörülmektedir. Planlanan tesisin inşaat aşamasında yaklaşık 2 500 kişinin (inşaat faaliyetlerinin en yoğun olduğu dönemde), işletme aşamasında ise yaklaşık 500 kişinin çalıştırılması planlanmaktadır.

10) Hema dolgu alanı ve rıhtım projesinin etüt ve proje işleri dahil olmak üzere inşaat ve yapım süresi 24 ay, yatırım süresi 34 ay olup, proje işletme ömrü 49 yıl olacaktır. Projenin inşaatı sırasında yaklaşık 100 kişinin istihdam edileceği düşünülmekte, işletme aşamasında çalışacak personel sayısı ise 65 kişi olarak planlanmaktadır.

11) Lavvar tesislerinde inşaat aşamasında 20 kişi, işletme aşamasında ise 86 kişinin istihdam edilmesi planlanmaktadır.

12) Santral'de kullanılacak olan kömür, kömür kırıcılarına, oradan da kömür değirmenlerine alınarak öğütülecek ve kömür tozu haline getirilerek kazanın yanma odasına pulverize kömür tozu olarak püskürtülecektir.

13) Santral'de *Benson 23* tipinde kazan kullanılacaktır. Yakma sistemi, pulverize bitümlü kömürün yakılması şeklinde olacaktır. Kazan, yılda 8 000 saat süperkritik basınçlı buhar üretilecek şekilde dizayn edilecektir.

14) Kazan teknolojisinin seçimi:

Büyük, pulverize kömür yakıtlı termik santrallerde kazan teknolojileri kritikaltı, süperkritik ve ultra süperkritik olarak üç farklı türde olabilir. Süperkritik santraller 221 bar'ın üzerinde buhar basıncıyla çalışırlar. 221 bar basınç ve 374,15 °C sıcaklıkta su kritik noktadadır. Kritik noktada, su ve buharın özkütlesi aynıdır. Kritikaltı santrallerde, buhar basıncı 190 bar'dan daha azdır. Süperkritik kazan teknolojisi, termik santrallerde kritikaltı kazan teknolojisinden daha verimli olduğundan gelişmiş ülkelerdeki elektrik endüstrisinde kullanımı standart hale gelmiştir.

15) Planlanan projede:

Nominal ana buhar basıncı 254 bar

Türbin girişi 248 bar,

Nominal ana buhar sıcaklığı 560 °C

Nominal tekrar kızdırılmış buhar basıncı 43,8 bar

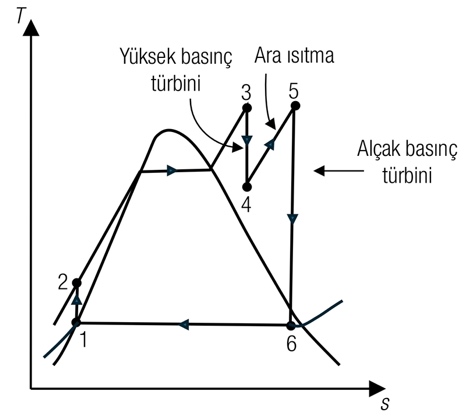
Nominal tekrar kızdırılmış buhar sıcaklığı 580 °C

olmak üzere süperkritik kazan seçilecektir.

Ama önce planlanan projeye esas olmak üzere "buharlı güç çevrimleri için ideal ara ısıtmalı Rankine çevrimi" hakkında kısa bir bilgi verelim [ÇENGEL, 1996. S. ].

İdeal ara ısıtmalı Rankine çevriminin T-S diyagram'ı ve bu çevrime göre çalışan bir güç santralinin genel çizimi ’de gösterilmiştir. Genişlemenin iki kademede olduğu bu çevrimde, buhar türbinde bir ara basınca kadar genişledikten sonra (yüksek basınç kademesi) yeniden kazana gönderilerek ısımaktadır.

diyagram, metin, çizgi, teknik çizim içeren bir resim

Açıklama otomatik olarak oluşturuldu 

**Şekil 1**. İdeal ara ısıtmalı Rankine çevrimi

[ÇENGEL, 1996. S. ]

Buharın ikinci kademeye giriş sıcaklığı genellikle birinci kademeye giriş sıcaklığıyla aynıdır (bizim projede farklı). Buhar daha sonra türbinin ikinci kademesinde (alçak basınç kademesi) yoğuşturucu basıncına kadar genişlemektedir. Böylece ara ısıtmalılı çevrimde, buhara verilen toplam ısı ve türbinde yapılan toplam iş aşağıda verildiği gibi gerçekleşmektedir.

|  |  |
| --- | --- |
| qg = qbirincil + qara ısıtma (kJ/kg) | (1) |
| qg =(h3 - h2) + (h5 - h4) (kJ/kg) |

ve

|  |  |
| --- | --- |
| wt = wt,I + wt,II (kJ/kg) | (2) |
| wt = (h3 - h4) + (h5 - h6) |

dır. İki kademeli ara ısıtma genellikle kritik basıncın (22,09 MPa) üzerindeki basınçlarda çalışan güç santrallerinde söz konusudur.

Projemize dönecek olursak;

Güç santralinin genel çizimi ’de, çevrimin T-S diyagramı ’te gösterilmiştir.

# II. 2 x 660 MW Buhar Santrali Termodinamik Çözümleme

ve ‘ü göz önüne alalım, burada;

Enerjinin korunumu ilkesi,

|  |  |
| --- | --- |
| q - w = Δh + Δke + Δpe | (3) |
| q = Q̇/ṁ birim kütle için ısı geçişi (kJ/kg) | (4) |
| w = Ẇ/ṁ birim kütle için iş (kJ/kg) | (5) |

olmaktadır. Akışkan kontrol hacminden geçerken kinetik ve potansiyel enerjilerinde çok az bir değişim olursa başka bir deyişle Δke ≅ 0 ve Δpe ≅ 0 kabul edilirse (3) denklemi daha sade yazılabilir:

|  |  |
| --- | --- |
| q - w = Δh (kJ/kg) | (6) |

Generator

Pompa

Yoğuşturucu

Wtürbin,ç

P4 = P5 = Para ısıtma

P4 = P5 = 4,38 MPa

24,8 MPa

2

1

5

6

Wpompa,g

qç

10 kPa

10 kPa (=0,01 MPa

24,8 MPa

qg

Ara Isıtıcı

Kazan

Yüksek basınç türbini

Alçak   
basınç türbini

4

3

Şekil . Buharlı güç santralinin projemize esas çizimi (Rankine çevrimi)

Kazan ve yoğuşturucuda iş etkileşimi yoktur. Ayrıca pompa ve türbindeki hal değişimleri izantropik (sabit antropi) kabul edilebilir. Bu durumda, ideal ara ısıtmalı Rankine çevrimindeki () hal değişimleri aşağıdaki gibidir.

1-2 Pompada izantropik (sabit antropi) sıkıştırma (q = 0)

2-3 Kazan'da sabit basınçta (24,8 MPa) ısı geçişi (w = 0)

3-4 Yüksek basınç türbini izantropik genişleme (q = 0)

4-5 Sabit basınçta (4,38 MPa) ara ısıtma

5-6 Alçak basınç türbininde izantropik genişleme (q = 0)

6-1 Yoğuşturucuda, sistemden sabit basınçta (10 kPa) ısı atılması (w = 0)

Şimdi bu hal değişimlerine karşılık gelen değerleri hesaplayalım:

P6 6 hali:

= 10 kPa

X6 - Kuruluk derecesi

X6 = 0,873 ()

S6 - Doymuş sıvı-buhar karışımı bölgesinde antropi

diyagram, çizgi, harita, plan içeren bir resim

Açıklama otomatik olarak oluşturuldu

Tkr = 374,14 °C

285 °C

Sf = 0,6493 = S 1

Sf = Sg = 4,4298

S3 = 6,22

S6 = 7,2

Sg = 8,1502

560 °C

580 °C

45,81 °C

4,38

24,8

1

5

2

3

4

6

Şekil . Buharlı Güç Santrali çevriminin T-S diagramı

(Jones & Dugan, 2003, S  )   
Tkr = 374,14 °C, Pkr = 22,09 MPa; Yoğuşturucu basıncı: 10 kPa

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Basınç kPa | Doyma sıcak  °C | Özgül hacim m3/kg | | İç enerji  kJ/kg | | | Entalpi kJ/kg | | | Entropi  kJ/(kg K) | | |
| Doymuş sıvı | Doymuş buhar | Doymuş  sıvı | | Doymuş buhar | Doymuş  sıvı | | Doymuş buhar | Doymuş  sıvı | | Doymuş |
| *P* | *l* | *vf* | *vg* | *uf* | *ufg* | *ug* | *hf* | *hfg* | *hg* | *sf* | *sfg* | *sg* |
| 0,6113 | 0,01 | 0,001 000 | 206,14 | 0,00 | 2375,3 | 2375,3 | 0,01 | 2501,3 | 2501,4 | 0,0000 | 9,1562 | 9,1562 |
| 1,0 | 6,98 | 0,001 000 | 129,21 | 29,30 | 2355,7 | 2385,0 | 29,30 | 2484,9 | 2514,2 | 0,1059 | 8,8697 | 8,9756 |
| 1,5 | 13,03 | 0,001 001 | 87,98 | 54,71 | 2338,6 | 2393,3 | 54,71 | 2470,6 | 2525,3 | 0,1957 | 8,6322 | 8,8279 |
| 2,0 | 17,50 | 0,001 001 | 67,00 | 73,48 | 2326,0 | 2399,5 | 73,48 | 2460,0 | 2533,5 | 0,2607 | 8,4629 | 8,7237 |
| 2,5 | 21,08 | 0,001 002 | 54,25 | 88,48 | 2315,9 | 2404,4 | 88,49 | 2451,6 | 2540,0 | 0,3120 | 8,3311 | 8,6432 |
| 3,0 | 24,08 | 0,001 003 | 45,67 | 101,04 | 2307,5 | 2408,5 | 101,05 | 2444,5 | 2545,5 | 0,3545 | 8,2231 | 8,5776 |
| 4,0 | 28,96 | 0,001 004 | 34,80 | 121,45 | 2293,7 | 2415,2 | 121,46 | 2432,9 | 2554,4 | 0,4226 | 8,0520 | 8,4746 |
| 5,0 | 32,88 | 0,001 005 | 28,19 | 137,81 | 2282,7 | 2420,5 | 137,82 | 2423,7 | 2561,5 | 0,4764 | 7,9187 | 8,3951 |
| 7,5 | 40,29 | 0,001 008 | 19,24 | 168,78 | 2261,7 | 2430,5 | 168,79 | 2406,0 | 2574,8 | 0,5764 | 7,6750 | 8,2515 |
| 10 | 45,81 | 0,001 010 | 14,67 | 191,82 | 2246,1 | 2437,9 | 191,83 | 2392,8 | 2584,7 | 0,6493 | 7,5009 | 8,1502 |
| 15 | 53,97 | 0,001 014 | 10,02 | 225,92 | 2222,8 | 2448,7 | 225,94 | 2373,1 | 2599,1 | 0,7549 | 7,2536 | 8,0085 |
| 20 | 60,06 | 0,001 017 | 7,649 | 251,38 | 2205,4 | 2456,7 | 251,40 | 2358,3 | 2609, 7 | 0,8320 | 7,0766 | 7,9085 |
| 25 | 64,97 | 0,001 020 | 6,204 | 271,90 | 2191,2 | 2463,1 | 271,93 | 2346,3 | 2618,2 | 0,8931 | 6,9383 | 7,8314 |
| 30 | 69,10 | 0,001 022 | 5,229 | 289,20 | 2179,2 | 2468,4 | 289,23 | 2336,1 | 2625,3 | 0,9439 | 6,8247 | 7,7686 |
| 40 | 75,87 | 0,001 027 | 3,993 | 317,53 | 2159,5 | 2477,0 | 317,58 | 2319,2 | 2636,8 | 1,0259 | 6,6441 | 7,6700 |
| 50 | 81,33 | 0,001 030 | 3,240 | 340,44 | 2143,4 | 2483,9 | 340,49 | 2305,4 | 2645,9 | 1,0910 | 6,5029 | 7,5939 |
| 75 | 91,78 | 0,001 037 | 2,217 | 384,31 | 2112,4 | 2496,7 | 384,39 | 2278,6 | 2663,0 | 1,2130 | 6,2434 | 7,4564 |
| Basınç  MPa |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0,100 | 99,63 | 0,001 043 | 1,6940 | 417,36 | 2088,7 | 2506,1 | 417,46 | 2258,0 | 2675,5 | 1,3026 | 6,0568 | 7,3594 |
| 0,125 | 105,99 | 0,001 048 | 1,3749 | 444,19 | 2069,3 | 2513,5 | 444,32 | 2241,0 | 2685,4 | 1,3740 | 5,9104 | 7,2844 |
| 0,150 | 111,37 | 0,001 053 | 1,1593 | 466,94 | 2052,7 | 2519,7 | 467 11 | 2226,5 | 2693,6 | 1,4336 | 5,7897 | 7,2233 |
| 0,175 | 116,06 | 0,001 057 | 1,0036 | 486,80 | 2038,1 | 2524,9 | 486 99 | 2213,6 | 2700,6 | 1,4849 | 5,6868 | 7,1717 |
| 0,200 | 120,23 | 0,001 061 | 0,8857 | 504,49 | 2025,0 | 2529,5 | 504,70 | 2201,9 | 2706,7 | 1,5301 | 5,5970 | 7,1271 |
| 0,225 | 124,00 | 0,001 064 | 0,7933 | 520,47 | 2013,1 | 2533,6 | 520,72 | 2191,3 | 2712,1 | 1,5706 | 5,5173 | 7,0878 |
| 0,250 | 127,44 | 0,001 067 | 0,7187 | 535,10 | 2002,1 | 2537,2 | 535,37 | 2181,5 | 2716,9 | 1,6072 | 5,4455 | 7,0527 |
| 0,275 | 130 60 | 0,001 070 | 0,6573 | 548,59 | 1991,9 | 2540,5 | 548,89 | 2172,4 | 2721,3 | 1,6408 | 5,3801 | 7,0209 |
| 0,300 | 133,55 | 0,001 073 | 0,6058 | 561,15 | 1982,4 | 2543,6 | 561,47 | 2163,8 | 2725,3 | 1,6718 | 5,3201 | 6,9919 |
| 0,325 | 136 30 | 0,001 076 | 0,5620 | 572,90 | 1973,5 | 2546,4 | 573,25 | 2155,8 | 2729,0 | 1,7006 | 5,2646 | 6,9652 |
| 0,350 | 138,88 | 0,001 079 | 0,5243 | 583,95 | 1965,0 | 2548,9 | 584,33 | 2148,1 | 2732,4 | 1,7275 | 5,2130 | 6,9405 |
| 0,375 | 141,32 | 0,001 081 | 0,4914 | 594,40 | 1956,9 | 2551,3 | 594,81 | 2140,8 | 2735,6 | 1,7528 | 5,1647 | 6,9175 |
| 0,40 | 143,63 | 0,001 084 | 0,4625 | 604,31 | 1949,3 | 2553,6 | 604,74 | 2133,8 | 2738,6 | 1,7766 | 5,1193 | 6,8959 |
| 0,45 | 147,93 | 0,001 088 | 0,4140 | 622,77 | 1934,9 | 2557,6 | 623,25 | 2120,7 | 2743,9 | 1,8207 | 5,0359 | 6,8565 |
| 0,50 | 151,86 | 0,001 093 | 0,3749 | 639,68 | 1921,6 | 2561,2 | 640,23 | 2108,5 | 2748,7 | 1,8607 | 4,9606 | 6,8213 |
| 0,55 | 155,48 | 0,001 097 | 0,3427 | 655,32 | 1909,2 | 2564,5 | 665,93 | 2097,0 | 2753,0 | 1,8973 | 4,8920 | 6,7893 |
| 0,60 | 158,85 | 0,001 101 | 0,3157 | 669,90 | 1897,5 | 2567,4 | 670,56 | 2086,3 | 2756,8 | 1,9312 | 4,8288 | 6,7600 |

**Tablo 1**. Doymuş su basınç tablosu

(ÇENGEL, 1996, S. )

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Basınç kPa | Doyma sıcak  °C | Özgül hacim m3/kg | | İç enerji  kJ/kg | | | Entalpi kJ/kg | | | Entropi  kJ/(kg K) | | |
| Doymuş sıvı | Doymuş buhar | Doymuş  sıvı | | Doymuş buhar | Doymuş  sıvı | | Doymuş buhar | Doymuş  sıvı | | Doymuş |
| *P* | *l* | *vf* | *vg* | *uf* | *ufg* | *ug* | *hf* | *hfg* | *hg* | *sf* | *sfg* | *sg* |
| 0,65 | 162,01 | 0,001 104 | 0,2927 | 683,56 | 1886,5 | 2570,1 | 684,28 | 2076,0 | 2760,3 | 1,9627 | 4,7703 | 6,7331 |
| 0,70 | 164,97 | 0,001 108 | 0,2729 | 696,44 | 1876,1 | 2572,5 | 697,22 | 2066,3 | 2763,5 | 1,9922 | 4,7158 | 6,7080 |
| 0,75 | 167,78 | 0,001 112 | 0,2556 | 708,64 | 1866,1 | 2574,7 | 709,47 | 2057,0 | 2766,4 | 2,0200 | 4,6647 | 6,6847 |
| 0,80 | 170,43 | 0,001 115 | 0,2404 | 720,22 | 1856,6 | 2576,8 | 721,11 | 2048,0 | 2769,1 | 2,0462 | 4,6166 | 6,6628 |
| 0,85 | 172,96 | 0,001 118 | 0,2270 | 731,27 | 1847,4 | 2578,7 | 732,22 | 2039,0 | 2771,6 | 2,0710 | 4,5711 | 6,6421 |
| 0,90 | 175,38 | 0,001 121 | 0,2150 | 741,83 | 1838,6 | 2580,5 | 742,83 | 2031,1 | 2773,9 | 2,0946 | 4,5280 | 6,6226 |
| 0,95 | 177,69 | 0,001 124 | 0,2042 | 751,95 | 1830,2 | 2582,1 | 753,02 | 2023,1 | 2776,1 | 2,1172 | 4,4869 | 6,6041 |
| 1,00 | 179,91 | 0,001 127 | 0,19444 | 761,68 | 1822,0 | 2583,6 | 762,81 | 2015,3 | 2778,1 | 2,1387 | 4,4478 | 6,5865 |
| 1,10 | 184,09 | 0,001 133 | 0,17753 | 780,09 | 1806,3 | 2586,4 | 781,34 | 2000,4 | 2781,7 | 2,1792 | 4,3744 | 6,5536 |
| 1,20 | 187,99 | 0,001 139 | 0,16333 | 797,29 | 1791,5 | 2588,8 | 798,65 | 1986,2 | 2784,8 | 2,2166 | 4,3067 | 6,5233 |
| 1,30 | 191,64 | 0,001 144 | 0,15125 | 813,44 | 1777,5 | 2591,0 | 814,93 | 1972,7 | 2787,6 | 2,2515 | 4,2438 | 6,4953 |
| 1,40 | 195,07 | 0,001 149 | 0,140 84 | 828,70 | 1764,1 | 2592,8 | 830,30 | 1959,7 | 2790,0 | 2,2842 | 4,1850 | 6,4693 |
| 1,50 | 198 32 | 0,001 154 | 0,131 77 | 843,16 | 1751,3 | 2594,5 | 844,89 | 1947,3 | 2792,2 | 2,3150 | 4,1298 | 6,4448 |
| 1,75 | 205,76 | 0,001 166 | 0,113 49 | 876,46 | 1721,4 | 2597,8 | 878,50 | 1917,9 | 2796,4 | 2,3851 | 4,0044 | 6,3896 |
| 2,00 | 212,42 | 0,001 177 | 0,099 63 | 906,44 | 1693,8 | 2600,3 | 908,79 | 1890,7 | 2799,5 | 2,4474 | 3,8935 | 6,3409 |
| 2,25 | 218,45 | 0,001 187 | 0,088 75 | 933,83 | 1668,2 | 2602,0 | 936,49 | 1865,2 | 2801,7 | 2,5035 | 3,7937 | 6,2972 |
| 2,5 | 223,99 | 0,001 197 | 0,079 98 | 959,11 | 1644,0 | 2603,1 | 962,11 | 1841,0 | 2803,1 | 2,5547 | 3,7028 | 6,2575 |
| 3,0 | 233,90 | 0,001 217 | 0,066 68 | 1004,78 | 1599,3 | 2604,1 | 1008,42 | 1795,7 | 2804,2 | 2,6457 | 3,5412 | 6,1869 |
| 3,5 | 242,60 | 0,001 235 | 0,057 07 | 1045,43 | 1558,3 | 2603,7 | 1049,75 | 1753,7 | 2803,4 | 2,7253 | 3,4000 | 6,1253 |
| 4 | 250,40 | 0,001 252 | 0,049 78 | 1082,31 | 1520,0 | 2602,3 | 1087,31 | 1714,1 | 2801,4 | 2,7964 | 3,2737 | 6,0701 |
| 5 | 263,99 | 0,001 286 | 0,039 44 | 1147,81 | 1449,3 | 2597,1 | 1154,23 | 1640,1 | 2794,3 | 2,9202 | 3,0532 | 5,9734 |
| 6 | 275,64 | 0,001 319 | 0,032 44 | 1205,44 | 1384,3 | 2589,7 | 1213,35 | 1571,0 | 2784,3 | 3,0267 | 2,8625 | 5,8892 |
| 7 | 285,88 | 0,001 351 | 0,027 37 | 1257,55 | 1323,0 | 2580,5 | 1267,00 | 1505,1 | 2772,1 | 3,1211 | 2,6922 | 5,8133 |
| 8 | 295,06 | 0,001 384 | 0,023 52 | 1305,57 | 1264,2 | 2569,8 | 1316,64 | 1441,3 | 2758,0 | 3,2068 | 2,5364 | 5,7432 |
| 9 | 303,40 | 0,001 418 | 0,020 48 | 1350,51 | 1207,3 | 2557,8 | 1363,26 | 1378,9 | 2742,1 | 3,2858 | 2,3915 | 5,6722 |
| 10 | 311,06 | 0,001 452 | 0,018 026 | 1393,04 | 1151,4 | 2544,4 | 1407,56 | 1317,1 | 2724,7 | 3,3596 | 2,2544 | 5,6141 |
| 11 | 318,15 | 0,001 489 | 0,015 987 | 1433,7 | 1096,0 | 2529,8 | 1450,1 | 1255,5 | 2705,6 | 3,4295 | 2,1233 | 5,5527 |
| 12 | 324,75 | 0,001 527 | 0,014 263 | 1473,0 | 1040,7 | 2513,7 | 1491,3 | 1193,6 | 2684,9 | 3,4962 | 1,9962 | 5,4924 |
| 13 | 330,93 | 0,001 567 | 0,012 780 | 1511,1 | 985,0 | 2496,1 | 1531,5 | 1130,7 | 2662,2 | 3,5606 | 1,8718 | 5,4323 |
| 14 | 336,75 | 0,001 611 | 0,011 485 | 1548,6 | 928,2 | 2476,8 | 1571,1 | 1066,5 | 2637,6 | 3,6232 | 1,7485 | 5,3717 |
| 15 | 342,24 | 0,001 658 | 0,010 337 | 1585,6 | 869,8 | 2455,5 | 1610,5 | 1000,0 | 2610,5 | 3,6848 | 1,6249 | 5,3098 |
| 16 | 347,44 | 0,001 711 | 0,009 306 | 1622,7 | 809,0 | 2431,7 | 1650,1 | 930,6 | 2580,6 | 3,7461 | 1,4994 | 5,2455 |
| 17 | 352,37 | 0,001 770 | 0,008 364 | 1660,2 | 744,8 | 2405,0 | 1690,3 | 856,9 | 2547,2 | 3,8079 | 1,3698 | 5,1777 |
| 18 | 357,06 | 0,001 840 | 0,007 489 | 1698,9 | 675,4 | 2374,3 | 1732,0 | 777,1 | 2509,1 | 3,8715 | 1,2329 | 5,1044 |
| 19 | 361,54 | 0,001 924 | 0,006 657 | 1739,9 | 598,1 | 2338,1 | 1776,5 | 688,0 | 2464,5 | 3,9388 | 1,0839 | 5,0228 |
| 20 | 365,81 | 0,002 036 | 0,005 834 | 1785,6 | 507,5 | 2293,0 | 1826,3 | 583,4 | 2409,7 | 4,0139 | 1,9130 | 4,9269 |
| 21 | 369,89 | 0,002 207 | 0,004 952 | 1842,1 | 388,5 | 2230,6 | 1888,4 | 446,2 | 2334,6 | 4,1075 | 1,6938 | 4,8013 |
| 22 | 373,80 | 0,002 742 | 0,003 568 | 1961,9 | 125,2 | 2087,1 | 2022,2 | 143,4 | 2165,6 | 4,3110 | 1,2216 | 4,5327 |
| 22,09 | 374,14 | 0,003 155 | 0,003 155 | 2029,6 | 0 | 2029,6 | 2099,3 | 0 | 2099,3 | 4,4298 | 0 | 4,4298 |

**Tablo 2**. devamı

|  |  |
| --- | --- |
| S6 = Sf + X6 Sfg | (7) |

dır. Burada,

Sf - doymuş sıvı antropisi

Sg - doymuş buhar antropisi

Sfg - doymuş buhar ile doymuş sıvı antropisi arasındaki fark

|  |  |
| --- | --- |
| Sfg = Sg - Sf | (8) |

P6 = 10 kPa için

|  |  |
| --- | --- |
| Sf = 0,6493 kJ/(kg.K) | () |
| Sg = 8,1502 kJ/(kg.K) |
| Sfg = 7,5009 kJ/(kg.K) |

S6 = 0,6493 + 0,873 · 7,5009

S6 = 7,2 kJ/(kg.K)

(Bu değer **Şekil 3**’ten de okunabilir)

h6 - Doymuş sıvı buharı karışımı bölgesinde antalpi

|  |  |
| --- | --- |
| h6 = hf + X6 hfg | (9) |

dır. Burada

hf - doymuş sıvı entalpisi

hg - doymuş buhar entalpisi

hfg - Duymuş buhar ile doymuş sıvı entalpisi arasındaki fark

hfg = hg - hf

hf = 191,83 kJ/kg

hg = 2 584,7 kJ/kg

hfg = 2 392,8 kJ/kg

h6 = 191,83 + 0,873 · 2392,8 kJ/kg

h6 = 2 280,7 kJ/kg

(Bu değer ’ten de okunabilir)

5 Hali:

T5 = 580 °C

S5 = S6 = 7,2 kJ/(kg.K)

P5 = 4,38 MPa

4 MPa için,

|  |  |
| --- | --- |
| 500 °C → h500 °C = 3 445,3 kJ/kg | () |
| 600 °C → h600 °C = 3 674,4 kJ/kg |

4 MPa

h [kJ/kg]

3445,3

T [°C]

600 °C

500 °C

580 °C

h

3674,4

h580 °C, 4 MPa = 3 628,58 kJ/kg

4,5 MPa için

|  |  |
| --- | --- |
| 500 °C → h500 °C = 3 439,6 kJ/kg | (**Tablo 3**) |
| 600 °C → h600 °C = 3 670,5 kJ/kg |

.

kişi, şahıs, insan yüzü, çağlayan, alın içeren bir resim

Açıklama otomatik olarak oluşturuldu

|  |
| --- |
| **Tuncer Özkan**  1944 yılında Erzincan'da doğdu. İTÜ Makina Fakültesi’nden Makina Yüksek Mühendisi olarak mezun oldu. Evli ve bir çocuk babasıdır.  01.04.1970 tarihinde,  EKİ (Ereğli Kömürleri İşletmesi) Amasra Bölgesinde   * Yeraltı Makina Mühendisi, * Bölge Makina Mühendisi, * Elektromekanik Başmühendisi, * Batı Karadeniz Kömür İşletmesi (BKİ.) Müessese Müdür Yardımcısı olarak çalıştı.   1981-1984 ve 1990-1997 yılları arasında   * Türkiye Taşkömürü Kurumuna (TTK) bağlı Maden Makinaları Fabrika İşletme Müdürlüğünde, İşletme Müdürü, * TTK Genel Müdürlük Müşaviri, * Genel Müdürlük Enerji Tasarruf Komisyonu Başkanı ve * APK Daire Başkanı olarak görev yaptı.   Makina Mühendisleri Odası Zonguldak Şubesinin kurucu başkanlığını yaptı. Aynı zamanda Karaelmas Üniversitesi (ZKÜ) Makina Mühendisliği Bölümünde proje çalışmaları yaptırdı.   * Nisan 2009’da emekli oldu. Halen danışmanlık yapıyor ve Bartın/Amasra’da uzmanlık alanındaki çalışmalarına devam ediyor. |