



Karadeniz Teknik Üniversitesi

ORMAN FAKÜLTESİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

TEKNİK FİZİK

SU BUHARI

Dr.-Mak.Müh. Kemal ÜÇÜNCÜ



SU BUHARI

Bir çok imalatta su buharı doğrudan veya dolaylı olarak birinci derecede rol oynamaktadır.

Kimya endüstrisi, gıda endüstrisi, endüstriyel katı maddelerin imalatı sırasında kurutmada su buharı geniş çapta kullanılmaktadır.

Orman ürünleri endüstrisinde kurutma, buharlama, emprenye, bükme mobilya, lif levha üretimi sırasında kullanılmaktadır.

Bu derece kullanım alanı bulmuş olması, su buharının termodinamik yönden tanınmasını gerektirir.



SU BUHARI

Su sabit basınç altında ısıtıldığında kaynayıncaya kadar sıcaklığı yükselir.

Buharlaşan suyun sıcaklığı, buharlaşma süresince sabit kalır; her basınca uygun bir kaynama sıcaklığı vardır; buna "doygunluk sıcaklığı" denir.

Su, açık bir kap içerisinde atmosfer basıncı altında ısıtıldığı zaman, sıcaklığı önce 100 °C'a çıkar ve suyun tamamı buhar haline gelinceye kadar sıcaklık değişmez.

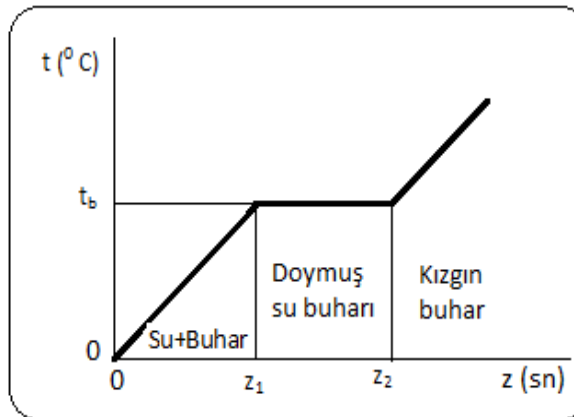
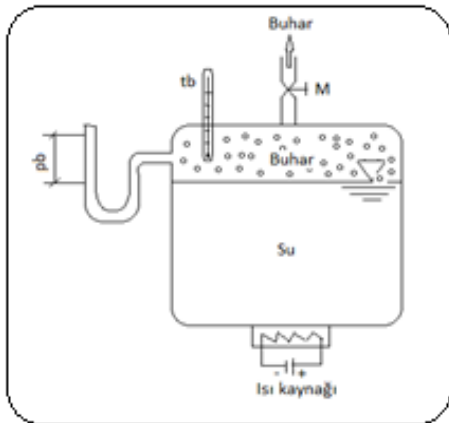
Meydana gelen su buharının basıncı da 1 atmosfer basıncına (14.7 psi) eşittir.



SU BUHARI

Suyun kapalı bir kap içerisinde ısıtılması halinde daha farklı olaylar meydana gelir.

Su, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa eriştikten sonra, kısa süre sabit kalarak bir miktar buharlaşma olur. Bu durumda içerisinde p_b buhar basıncı meydana gelirken, t_b sıcaklığı da artık $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ın üzerine çıkmıştır. Bu şartlarda M musluğu/vanası öyle ayarlanabilir ki, ısıtma sonucu buhar çıkarken, basınç ve sıcaklık sabit kalır.



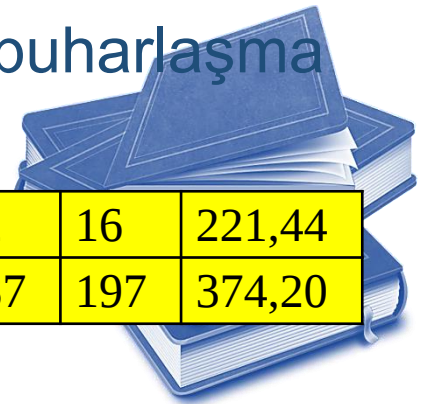
SU BUHARI

Buhar kazanlarının çalışma prensibi bu şekildedir. Böylece ısı kaynağının gücüne uygun belirli miktarda ve basınçta/sıcaklıkta sürekli su buharı üretilir.

Aynı işlemler daha farklı basınç ve sıcaklıklarda da gerçekleştirilebilir. Artarda yapılan bu işlemler belirli basınçlara yine belirli sıcaklıkların karşılık geldiğini gösterir.

Bazı basınç değerlerine karşılık gelen buharlaşma sıcaklıkları aşağıda verilmiştir.

p (atü)	1	2	3	4	5	7	8	9	10	12	16	221,44
t (°C)	100	120	133	143	151	164	169	175	179	187	197	374,20



SU BUHARI

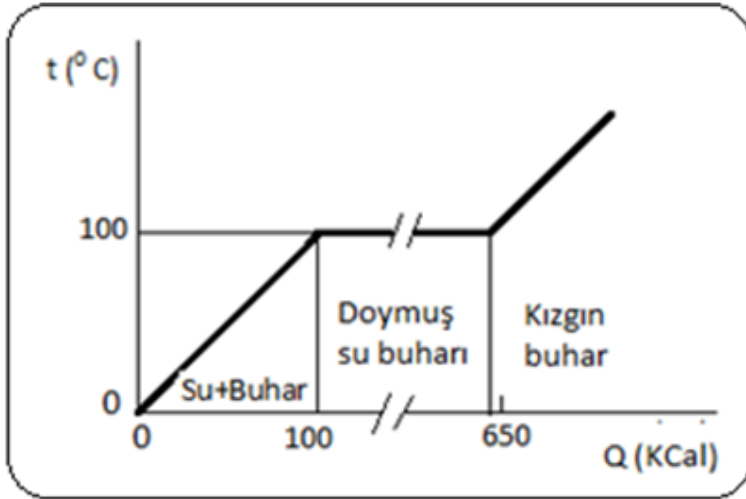
- Bir sıvının moleküllerinin sıvı yüzeyini terk ederek gaz haline dönüşebilmesi, bunları sıvı içinde tutan moleküler çekim kuvvetlerinden kurtulmasıyla sağlanır.
- Gaz fazında moleküller arası mesafe fazla olduğundan çekim kuvvetleri azdır; molekül bir kez kazandığı enerjiyle gaz halini (basınç ve sıcaklık şartları değişmedikçe) korur.
- Moleküller arasındaki çekim kuvvetlerinin yenilmesi için sıvıya ısı enerjisi şeklinde bir miktar enerji verilmesi gerekir; buna buharlaşma ısısı denilmektedir.
- Buharlaşma ısısı bir gram sıvının(veya bir mol, bir pound) buharlaştırılması için gerekli olan ısı miktarıdır



SU BUHARI

Kaynama noktasına gelinceye kadar verilen enerji sıvının sıcaklığını yükseltmekte kullanılır; bu olayla ilgili hesaplamalarda, o cisme ait özgül ısı (C_p) kullanılır.

Kaynama başladıktan sonra ısı verilmeye devam edildiğinde bütün sıvı gaz haline geçinceye kadar sıcaklığı yükselmez.



Bu olayla ilgili hesaplamalarda artık özgül ısı yerine buharlaşma ısı alınır.



Suyun ısıtılmasında sıcaklık-ısı diyagramı

SU BUHARI

Bütün sıvı gaz haline geçtikten sonra sisteme ısı verilmeye devam edilmesi halinde verilen ısı, gaz haline geçmiş maddenin sıcaklığının yükseltilmesinde harcanır.

Bu olayla ilgili hesaplamalarda yine özgül ısısı (C_p) kullanılır.

Bir maddenin sıvı ve gaz fazındaki özgül ısı değerleri farklıdır.

Kaynama olayının herhangi bir anında maddeye ısı vermeyi kesip sıcaklığı sabit tutarsak kabın içinde birbiri ile dengede iki faz bulunacaktır; sıvı fazda maddenin sıvı hali, gaz fazda aynı maddenin gaz hali vardır.



SU BUHARI

Bu şekilde kendi sıvısı ile denge halinde bulunan buhar doymuş buhardır. Kaynama sona erdikten sonra sisteme ısı verilmeye devam edilirse buharın sıcaklığı yükselir.

Sıcaklığı kaynama noktasının üzerinde bulunan ve kendi sıvısı ile denge içinde bulunmayan buhar kızgın buhardır.

Sanayide buhar kelimesi, su buharı (steam) anlamındadır, diğer maddelerin buharları için gaz terimi kullanılır.

Bir maddenin gaz haline, onun buharı da denilebilir.

Sanayide en çok kullanılan enerji kaynağı ve yardımcı madde su buharıdır.



SU BUHARI

Buharında içinde bulunduğu bir grup yardımcı madde (basınçlı hava, kuru hava, soğutma suyu, kullanma suyu, proses suyu, azot gazı, inert gaz, demineralize su gibi) ve enerji kaynağı ile bunların üretildiği tesislere, sanayide "utilite" denilmektedir.

Basınç sıcaklık arasında değişik ampirik formüller de verilmektedir.

Aşağıda verilen Dupperet formülü oldukça yakın sonuçlar sağlar.

Basınç-sıcaklık değerleri daha hassas biçimde tablolar halinde verilmiştir. Su buharının bulunduğu koşullara göre aşağıdaki durumlarda olması sözkonusudur.



$$p_b [\text{ata}] = \left(\frac{t_b [^{\circ}\text{C}]}{100} \right)^4$$

SU BUHARI

Nemli doymuş buhar: Buharlaşmakta olan su ile temas halinde buluna ve aynı buharlaşma basıncı ile sıcaklıkta olan buhara denir.

Kuru doymuş buhar: Altında bulunduğu basınca karşılık gelen buharlaşma sıcaklığında olup, suyu ile temas halinde bulunmayan buhara denir.

Aynı basınçtaki buharlaşma sıcaklığında olmasına rağmen, içinde sis halinde nem bulunmadığından dolayı, kuru doymuş buhar ismini alır.

Kapalı bir kap içerisinde nemli doymuş buhar bulunduğu zaman, bu kabın ısıtılması halinde sıcaklık yükselmez ve bu sıcaklık doymuş buhar sıcaklığı adını alır.



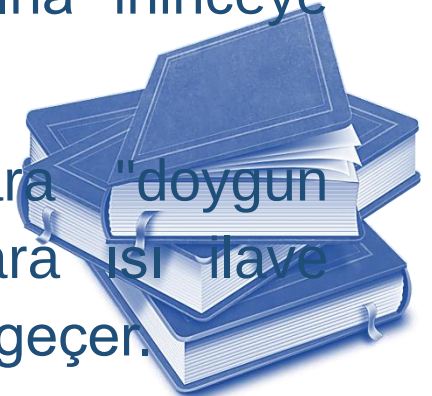
SU BUHARI

Suyun tamamı buharlaştığında kap içerisinde doymuş buhar sıcaklığında kuru doymuş buhar oluşur. Bundan sonra kap ısıtılırsa sıcaklık yükselir.

Kızgın buhar: Sıcaklığı, altında bulunduğu basınca karşılık gelen doymuş buhar sıcaklığından yüksek olan buhara denir.

Kızgın buharın sıcaklığı düşürülürse, altında bulunduğu basınca karşılık gelen doymuş buhar sıcaklığına ininceye kadar yoğunlaşma olmaz.

Doygunluk sıcaklığında su içermeyen buhara "doygun (saturated) buhar" denir. Susuz ısınmış buhara ısı ilave edilirse sıcaklığı yükselir ve "kızgın buhar" haline geçer.



SU BUHARI

- Kızgın buharın özelliği sıcaklık ve basıncıyla belirtilir. Ancak, doymunluk sıcaklığındaki bir buhar kuru olabilir (susuz) veya az miktarda su içerebilir. Islak buharın kuruluk derecesi (kalitesi)

$$x = \frac{\text{Kuru buhar ağırlığı}}{\text{Kuru buhar ağırlığı} + \text{Su ağırlığı}} = \frac{m_b}{m_b + m_s}$$

$$m = m_b + m_s$$

- Doymuş kuru buhar eğrisi, kuruluk derecesi $x = 1$ olan eğridir; aynı şekilde doymuş sıvı eğrisi, kuruluk derecesi $x = 0$ olan eğridir.
- Buharlaşma ve yoğuşma eğrisi üzerindeki özellikler (basınç, sıcaklık, özgül hacim, iç enerji, entalpi, entropi) buhar tablolarında verilmiştir.



SU BUHARI

1 kg suyun buharlaştırılması için harcanması gereken ısıya buharlaşma ısısı denir.

Su, buhar haline gelinceye kadar iki çeşit ısı almaktadır.

Sıvı ısısı: Suya, altında bulunduğu basınca karşılık gelen doymuş buhar sıcaklığına kadar verilen duyulur ısıdır.

Buharlaşma gizli ısısı: Suya, sabit basınç altında ve sabit sıcaklıkta buharlaştırmak için verilen gizli ısıdır.

Buharlaştırma gizli ısısı, suyun sıcaklığını değiştirmez.

Bu ısı, moleküller arasındaki mesafenin değişerek sıvı halinden buhar haline geçmesi için gerekli enerjiyi sağlar.



SU BUHARI

m kg kütlesindeki suyun, herhangi bir t_1 sıcaklığından itibaren ısıtılarak buharlaştırılması istenmesi halinde gerekli SIVI ISISI;

$$Q = m C (t_b - t_1)$$

$$q = C t_b; C = 4.186 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Buharlaşıma gizli ısısı için matematiksel bir ifade yoktur. Bu nedenle buharın toplam buharlaşma ısısı hesaplanır.

Toplam buharlaşma ısısı, sıvı ısısı ile buharlaşma gizli ısısının toplamıdır. 1 kg buhar için toplam buharlaşma ısısı;

$$q_t = q + r_o$$

Buharlaşıma gizli ısısı: $r_o [\text{kJ/kg}]$



SU BUHARI

- 1 kg nemli doymuş buharın toplam buharlaşma ısısı ise $(1 - x)kg$ nemin sıvı ısısı ile $x kg$ buharın toplam ısına eşit olacaktır.

$$q_t = (1 + x) q + x (q + r_0)$$

$$q_t = q + x r_0$$

- Kuru buharın toplam ısısı için Regnault formülü yeterli doğrulukta sonuçlar verir.

$$q_t = 2539 + 1,277 t_b [kJ/kg]$$

- Belirli sıcaklıklar için toplam buharlaşma ısıları (entalpi, h_b) su buharı tablolarından okunabilir.



SU BUHARI

- Kızgın buhar için kızdırma ısısı

$$q_k = C_b(t_k - t_b)$$

olmak üzere, kızgın buharın toplam ısısı

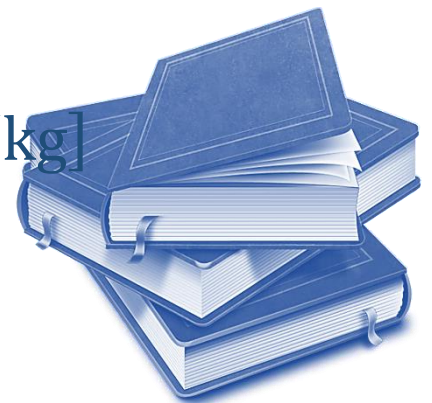
$$q_{kt} = q + r_0 + q_k$$

eşitliği ile verilir. Burada t_k kızgın buharın sıcaklığı, $C_b = 2,093 \text{ [kJ/kg}^\circ\text{C]}$ kızgın buharın özgül ısısıdır.

- Kızgın buhar için Regnault formülü

$$q_{kt} = 2539 + 1,277 t_b + 2,093 (t_k - t_b) \text{ [kJ/kg]}$$

şeklinde verilir.



SU BUHARI

- Buhar için $p = p(T)$ şeklinde ampirik formüller bulunmuş olmasına rağmen, uygulamada tam doğru sonuçlar vermez.
- Bu nedenle su buharına ait durum büyüklüklerini gösteren tablolar düzenlenmiştir.
- Doymuş su buharı tablolarında her basıncın karşısında doymuş buhar sıcaklığını t_b , suyun özgül hacmi v_s , buharın özgül hacmi v_b , suyun sıvı ısı (entalpisi) h_s , buharın entalpisi h_b , buharlaşma gizli ısı r_0 , suyun entropisi S_s , buharın entalpisi S_b verilmiştir.



SU BUHARI

- **Özgül hacim:**

$$v = (1 - x)v_s + x v_b$$

- **Entalpi:**

$$h = (1 - x)h_s + x h_b$$

- **İç enerji:**

$$u = (1 - x)u_s + x u_b$$

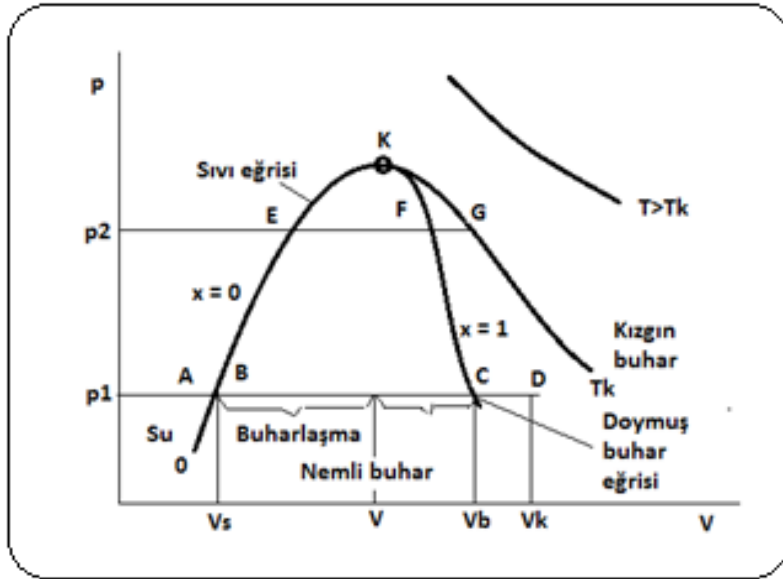
- **Entropi:**

$$S = (1 - x)S_s + x S_b$$

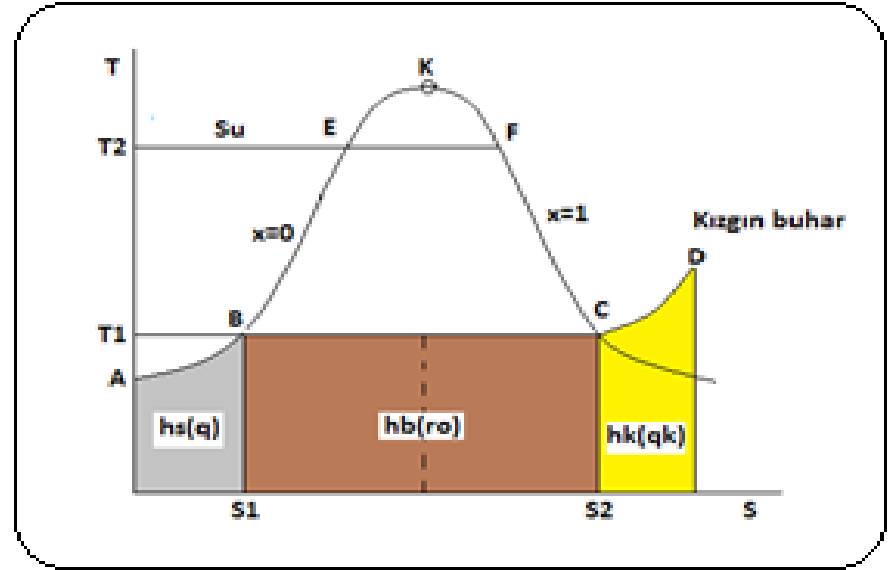
- Bu şekilde (p,x) veya (t,x) verilmişse durum büyüklükleri bulunur. (p,v), (t,h), (S,t), (S,p) verilmişse aynı eşitliklerden önce kuruluk derecesi bulunur.



SU BUHARI



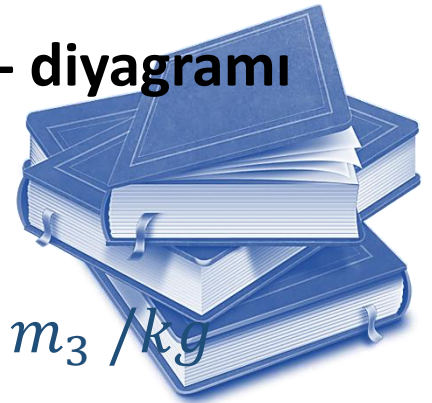
Su buharı için pV- diyagramı



Su buharı için Ts- diyagramı

- Kritik değerler aşağıda verildiği gibidir.

$$t_k = 374,15 \text{ } ^\circ\text{C} , p_k = 221,2 \text{ bar} , v_k = 0,00317 \text{ m}_3 / \text{kg}$$



SON

