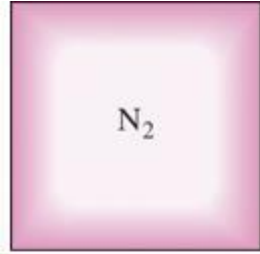


Z. MM 2013 MÜHENDİSLİK TERMODİNAMİĞİ I

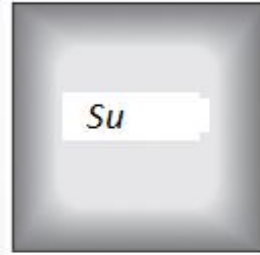
Saf Madde

Saf madde

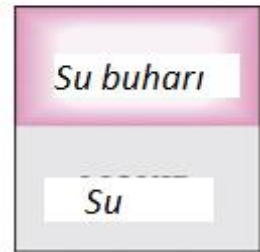
- ✚ Kimyasal bileşenleri bakımından her noktasında yapısı değişmeyen maddeye saf madde denir.
- ✓ Su H_2O moleküllerinden oluşan bir saf maddedir. Bir bardaktaki suyun her noktasındaki madde H_2O dur
- ✓ Benzer olarak, hava değişik gazlardan oluşan bir karışımdır, kimyasal bileşiminin her noktada aynı ve değişmez olmasından dolayı saf maddedir.



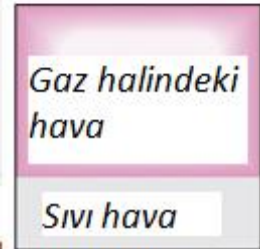
Azot saf maddedir



Su saf maddedir



Sıvı su + su buharı karışımı su saf maddedir.



Sıvı ve gaz karışımı hava saf madde değildir

Z. MM 2013 MÜHENDİSLİK TERMODİNAMİĞİ I

Saf Madde

Saf maddenin fazları

- ✓ Katı fazdaki maddenin molekülleri sabittir
- ✓ Sıvı fazda molekül grupları birbirleri etrafında hareket ederler
- ✓ Gaz fazında moleküller rastgele hareket ederler.

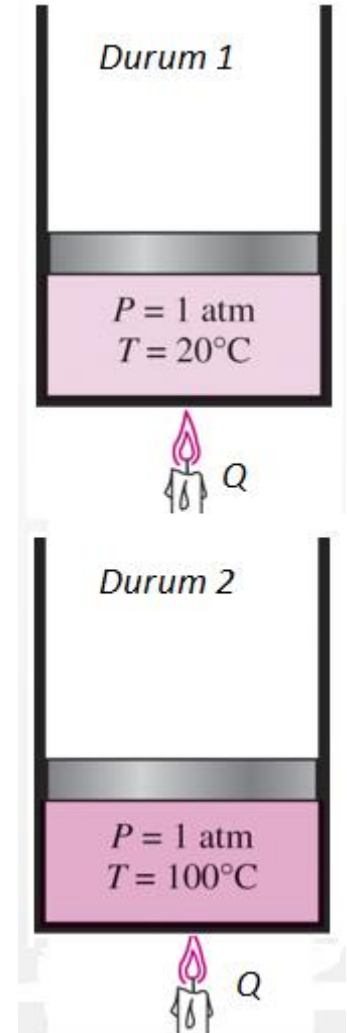
Saf maddenin faz değişim süreçleri

Bazı tanımlar:

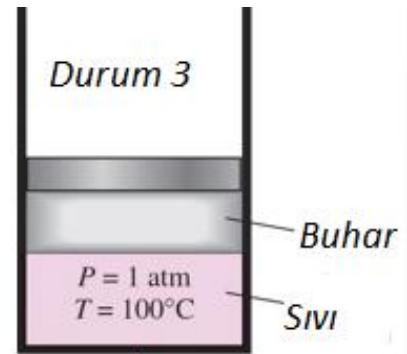
- **Sıkıştırılmış sıvı (soğutulmuş sıvı):** Sıvının henüz buharlaşma aşamasına gelmediği durumdur
- **Doymuş sıvı:** Buharlaşma başlangıcı durumudur
- **Doymuş buhar:** Yoğuşma başlangıç durumudur
- **Doymuş sıvı-buhar karışımı:** Bu durumda sıvı ve buhar fazları bir arada ve dengede bulunur. *Islak buhar* olarak da adlandırılır
- **Kızgın buhar:** Yoğuşma sınırında olmayan ve doymuş buhar olmayan buhar

Sıkıştırılmış sıvı

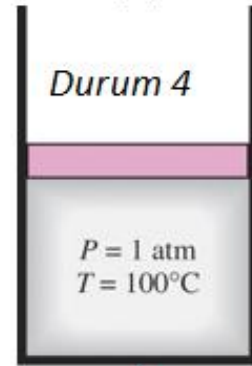
Buharlaşma başangıcında su (Doymuş sıvı)



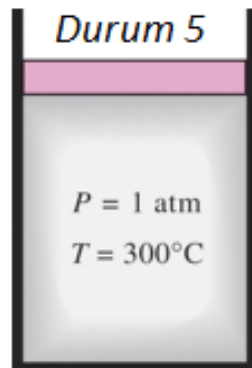
Islak buhar



Doymuş buhar



Kızgın buhar

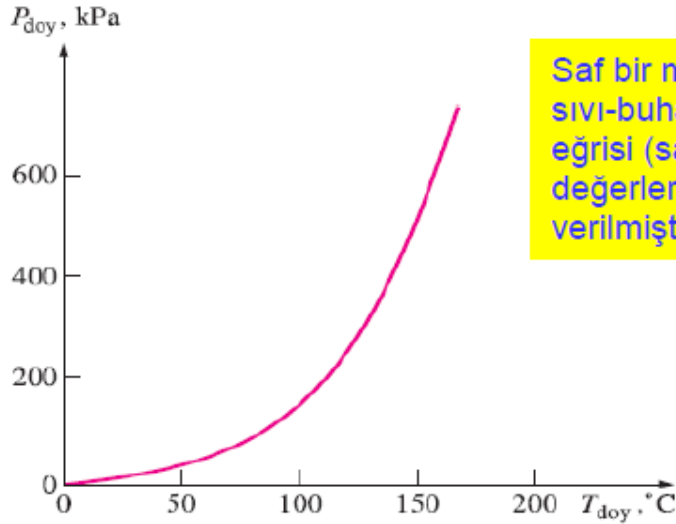


Z. MM 2013 MÜHENDİSLİK TERMODİNAMİĞİ I

Saf Madde

Doyma sıcaklığı ve doyma basıncı:

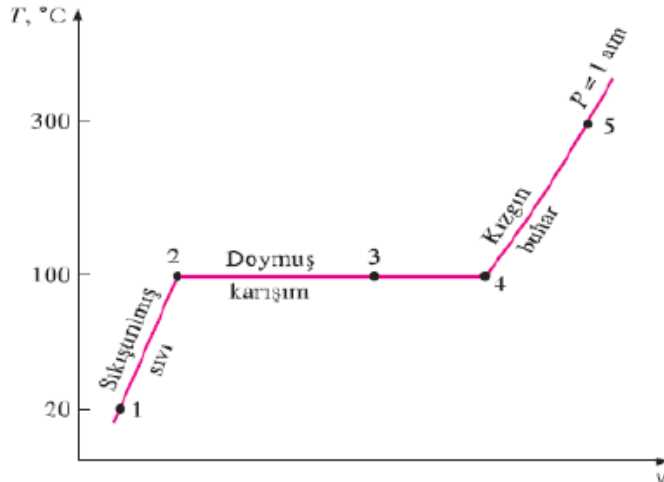
- Suyun kaynamaya başladığı sıcaklık basınca bağlıdır, bu nedenle sabitlenmiş bir basınçta kaynama sıcaklığı da belirli bir değere sahiptir.
- Su 1 atm basınçta 100 °C de kaynar
- **Doyma sıcaklığı T_{doyma} :** Verilen bir basınçta saf maddenin faz değişimlerine başladığı sıcaklıktır.
- **Doyma basıncı P_{doyma} :** Verilen bir sıcaklıkta, saf maddenin faz değişimlerine başladığı basınçtır
- **Gizli ısı:** Faz değişimi süreci boyunca alınan veya verilen enerjinin miktarı.



Farklı sıcaklıklarda suyun donma (kaynama) basıncı

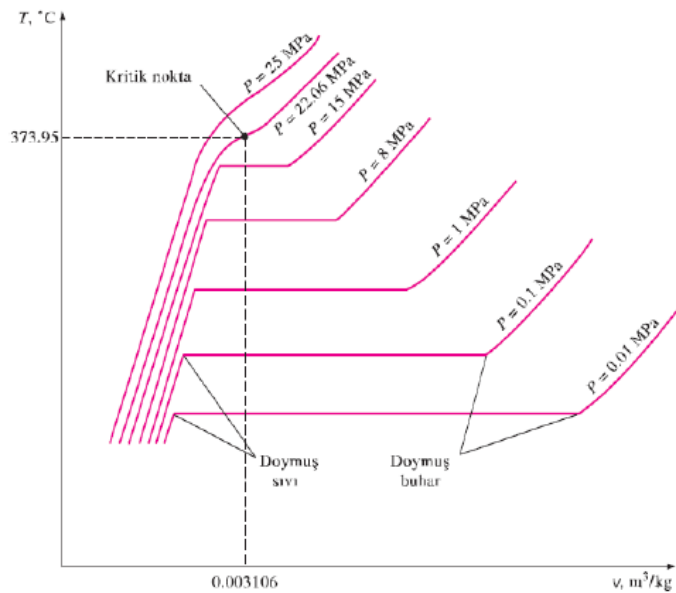
Sıcaklık, $T, ^\circ\text{C}$	Doyma basıncı, $P_{\text{sat}}, \text{kPa}$
-10	0.26
-5	0.40
0	0.61
5	0.87
10	1.23
15	1.71
20	2.34
25	3.17
30	4.25
40	7.39
50	12.35
100	101.4
150	476.2
200	1555
250	3976
300	8588

Saf madde için özelik diyagramları

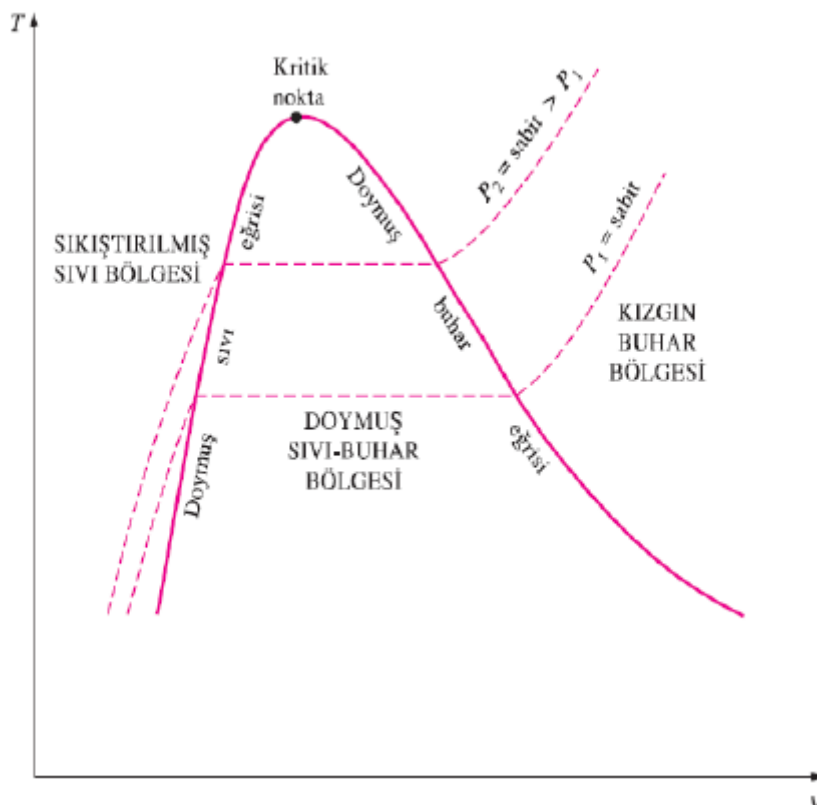


Saf Madde

T-v diyagramı



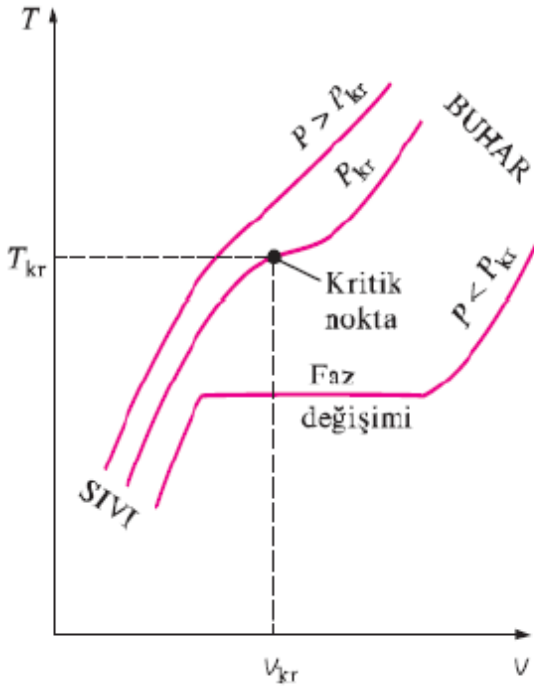
Değişik basınçlarda, saf bir maddenin sabit basınçta faz değişim eğrilerinin T-v diyagramında gösterimi (*Sayısal değerler su içindir*).



**Saf maddenin T-v
diyagramı**

Z. MM 2013 MÜHENDİSLİK TERMODİNAMIĞI I

Saf Madde

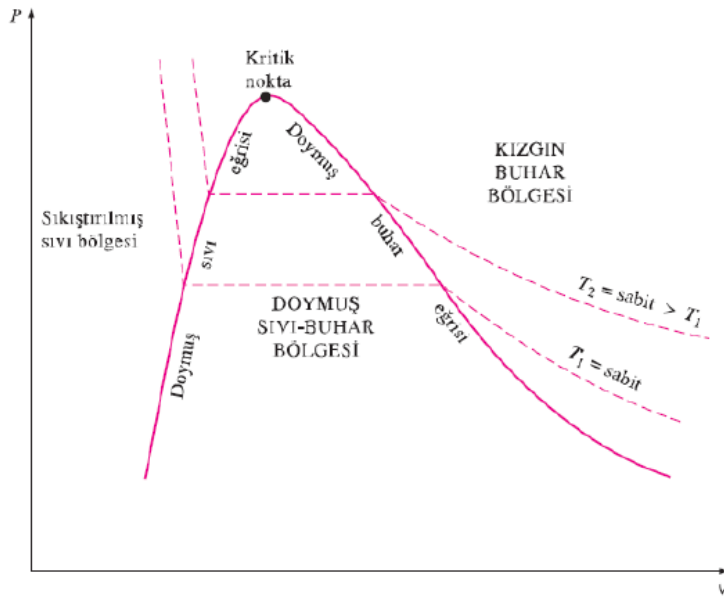


Kritik noktanın üzerindeki basınçlarda ($P > P_{kr}$), farklı bir faz değişim (kaynama) süreci yoktur.

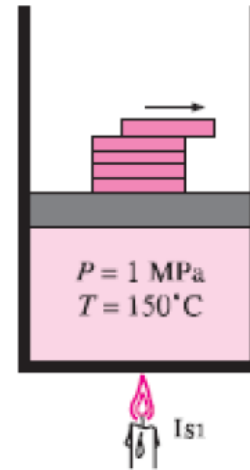
Kritik nokta: Doymuş sıvıyla doymuş buhar hallerinin aynı olduğu hal.

P-v diyagramı

Benzer düşünce ile P- v diyagramı oluşturulabilir.

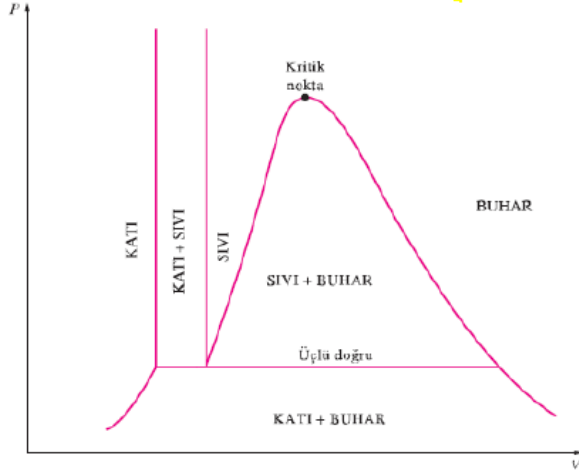


Saf bir maddenin P-v diyagramı

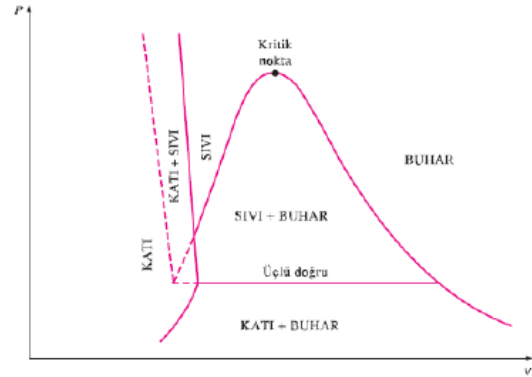


Bir piston silindir düzenindeki basınç, pistonun ağırlığı azaltılarak düşürülebilir.

Özelik diyagramlarının katı fazı içermesi:



Donarken hacmi küçülen bir maddenin P-v diyagramı



Donarken genişleyen (su gibi) bir maddenin P-v diyagramı

Bir madde üçlü nokta basıncı ve sıcaklığında üç fazı dengeli durumda bulunur.

Su için,
 $T_{tp} = 0.01^{\circ}\text{C}$
 $P_{tp} = 0.6117$



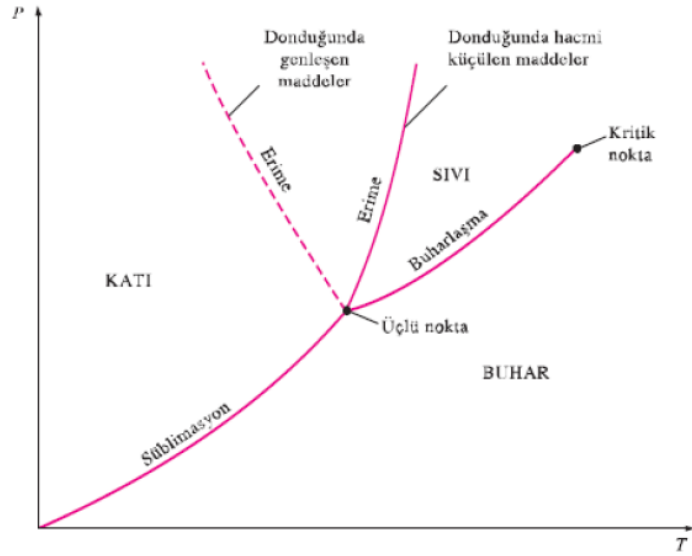
Z. MM 2013 MÜHENDİSLİK TERMODİNAMİĞİ I

Saf Madde

Süblimasyon: Katı fazından doğrudan buhar fazına geçiş



Düşük basınçlarda (*üçlü nokta basıncının altında*) katılar sıvı fazından geçmeden buharlaşır (*süblimasyon*)



Saf maddelerin P-T diyagramı

Saf madde için özellik tabloları

- ✓ Bazı maddeler için termodinamik özellikler arasındaki ilişkiler basit denklemlerle ifade edilemeyecek kadar karmaşıktır. Bu durumda özellikler genellikle tablolar aracılığıyla verilir
- ✓ Bazı termodinamik özellikler kolaylıkla ölçülebilir; bazıları da doğrudan ölçülemez. Bu özellikler, ölçülebilen özelliklerle aralarındaki ilişkiyi veren bağıntılardan hesaplanır
- ✓ Ölçülen ve ölçülenlerden hesaplanan özellikler tablolarla sunulur

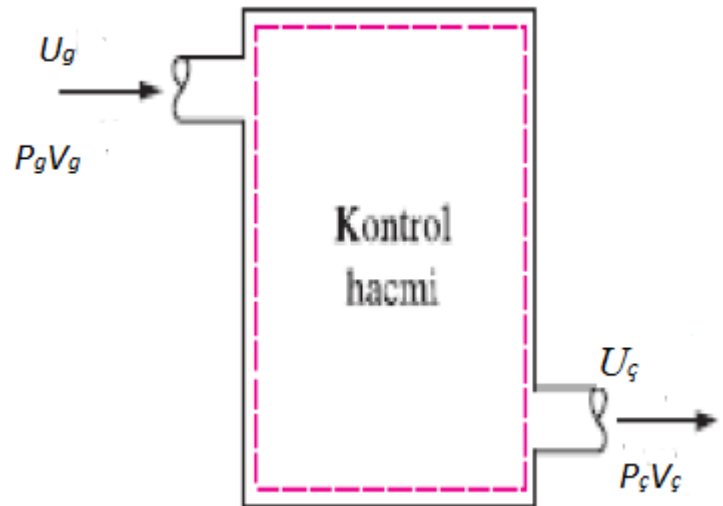
Yeni bir özellik; Entalpi,

$$H = U + PV \text{ (J)}$$

veya

$$h = u + Pv \text{ (J/kg)}$$

Türetilmiş özellik (enerji) $U + PV$ kontrol hacmi analizinde yaygın olarak kullanılır



Z. MM 2013 MÜHENDİSLİK TERMODİNAMİĞİ I

Saf Madde

Tablolar

- ✚ Doymuş haller tablosu
 - ✓ Sıcaklık tablosu: Saf maddenin doymuş sıvı ve doymuş buhar özellikleri doyma sıcaklığına göre listelenmiştir
 - ✓ Basınç tablosu: Saf maddenin doymuş sıvı ve doymuş buhar özellikleri doyma basıncına göre listelenmiştir
- ✚ Kızgın buhar tablosu
- ✚ Sıkıştırılmış sıvı özellikleri

Doymuş Haller Tablosu

Sıcaklık tablosu

Doymuş su — Sıcaklık tablosu									
		Özgül hacim, m ³ /kg			İç enerji, kJ/kg		Entalpi, kJ/kg		
Sıcaklık., <i>T</i> °C	Doymuş sıvı, <i>P</i> _{doymuş} kPa	Doymuş sıvı, <i>v</i> _f	Doymuş buhar, <i>v</i> _g	Doymuş sıvı, <i>u</i> _f	Doymuş buhar., <i>u</i> _{fg}	Doymuş buhar, <i>u</i> _g	Doymuş sıvı, <i>h</i> _f	Doymuş buhar., <i>h</i> _{fg}	Doymuş buhar, <i>h</i> _g
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0

Z. MM 2013 MÜHENDİSLİK TERMODİNAMİĞİ I

Saf Madde

Basınç tablosu

Doymuş su - Basınç tablosu

Basınç., P kPa	Doyma sıcaklığı., T_{doym} °C	Özgül hacim, m^3/kg		İç enerji, kJ/kg			Entalpi, kJ/kg		
		Doymuş sıvı, v_f	Doymuş buhar, v_g	Doymuş sıvı, u_f	Buhar., u_{fg}	Doymuş buhar, u_g	Doymuş sıvı, h_f	Buhar., h_{fg}	Doymuş buhar, h_g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9

f indisli özellikler; doymuş sıvı özellikleri

g indisli özellikler; doymuş buhar özellikleri

fg indisli özellikler; doymuş buhar özeliği ile doymuş buhar özellik farkı

$$v_{fg} = v_g - v_f$$

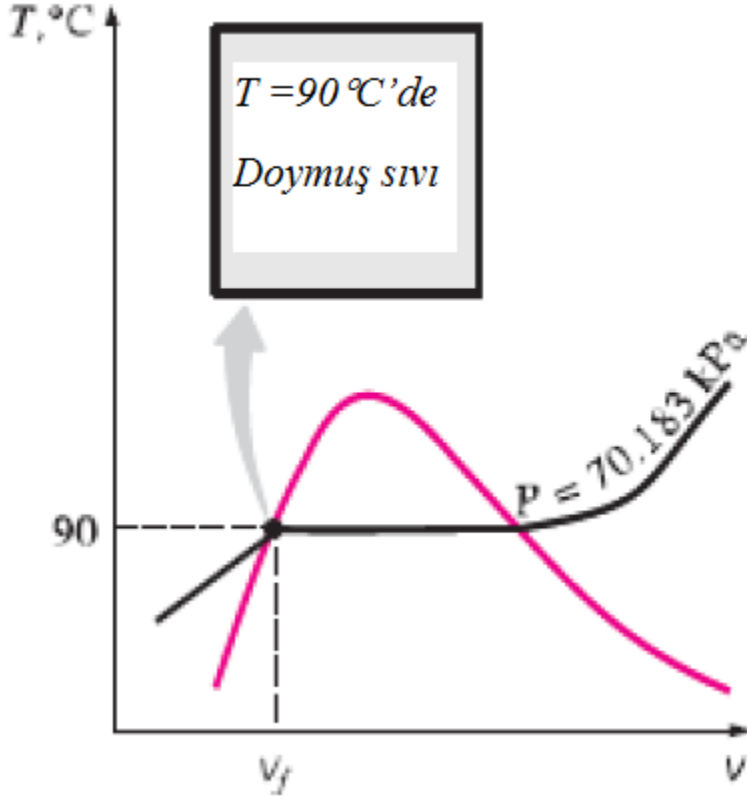
$$u_{fg} = u_g - u_f$$

$$h_{fg} = h_g - h_f$$

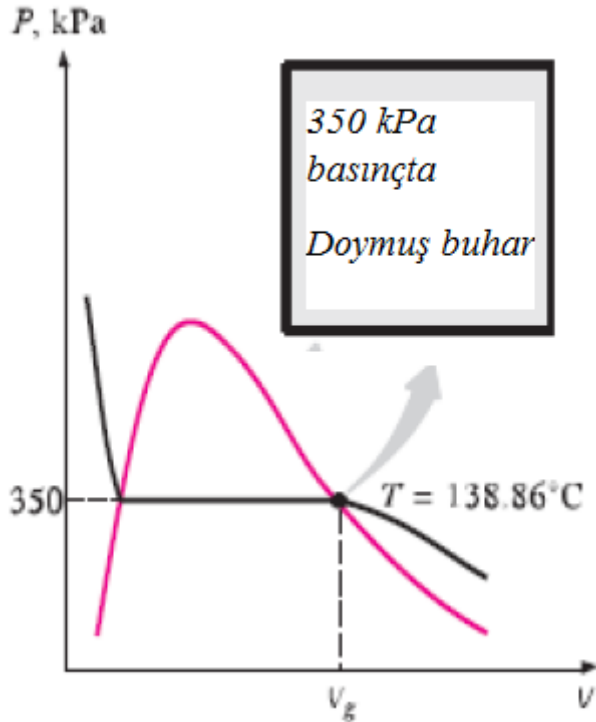
Z. MM 2013 MÜHENDİSLİK TERMODİNAMİĞİ I

Saf Madde

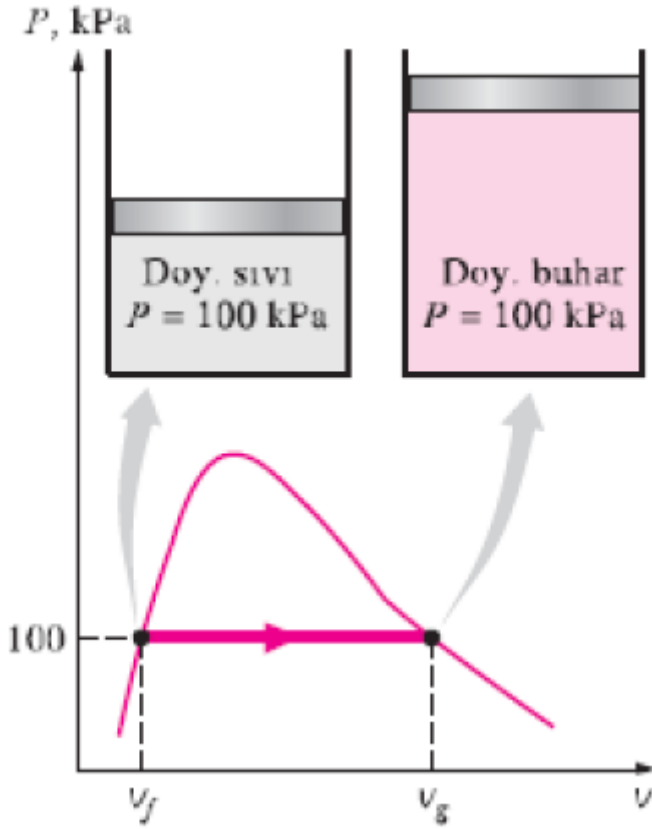
- ❖ h_{fg} : Buharlaştırma entalpisi (buharlaştırma gizli ısı), verilen basınç ve sıcaklıkta doymuş sıvının birim kütlesini buharlaştırmak için gereken enerjidir



T - h diyagramında $P = \text{sabit basınç}$ eğrisi

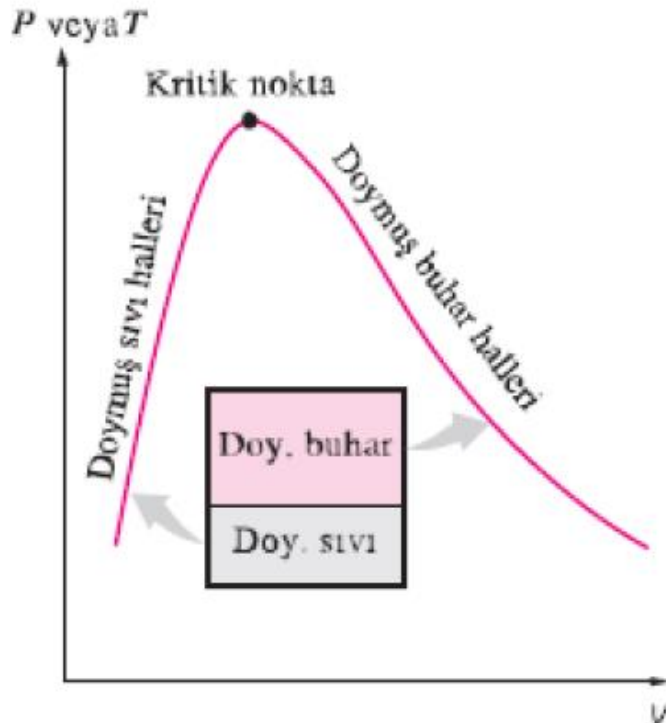


P - h diyagramında $T = \text{sabit basınç}$ eğrisi



Faz değişim süresince basınç ve sıcaklık sabit kalır

Doymuş sıvı buhar karışımı (*ıslak buhar*) özellikleri:



Islak buhar bölgesi özellikleri, doymuş sıvı ve doymuş buhar özellikleri ile hesaplanır

Kuruluk derecesi x ;

$$x = \frac{m_g}{m}$$

$x = 0$; Doymuş sıvı (henüz hiç buhar yok)

$x = 1$; Doymuş buhar (tamamı buhar)

$$m = m_f + m_g$$

Aynı şekilde

$$V = V_f + V_g$$

Özgül hacim

$$v = \frac{V}{m}$$

$$mv = m_f v_f + m_g v_g$$

$$m_f = m - m_g$$

$$mv = (m - m_g)v_f + m_g v_g$$

(÷ m ile)

$$v = \frac{m - m_g}{m} v_f + \frac{m_g}{m} v_g$$

$$v = (1 - x)v_f + x v_g$$

$$v_{fg} = v_g - v_f \quad \text{ile}$$

$$v = v_f + x v_{fg}$$

Aynı şeyi iç enerji ve entalpi için de yaparsak

$$v = (1 - x)v_f + x v_g$$

$$u = (1 - x)u_f + x u_g$$

$$h = (1 - x)h_f + x h_g$$

veya

$$v = v_f + x v_{fg}$$

$$u = u_f + x u_{fg}$$

$$h = h_f + x h_{fg}$$

~~$$T = T_f + x T_{fg}$$

$$P = P_f + x P_{fg}$$~~

Islak buhar bölgesinde sıcaklık ve basınç kuruluk derecesine bağlı değildir, *sabittir*

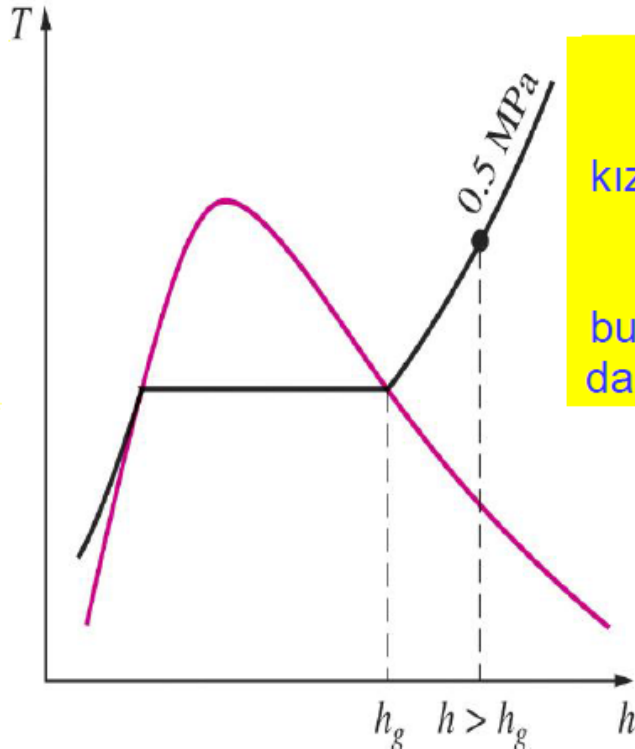
Z. MM 2013 MÜHENDİSLİK TERMODİNAMİĞİ I

Saf Madde

Kızgın Buhar Tablosu

Kızın su buharı (Devam)

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg
$P = 4.0 \text{ MPa} (250.35^\circ\text{C})$				$P = 4.5 \text{ MPa} (257.44^\circ\text{C})$		
Doymuş	0.04978	2601.7	2800.8	0.04406	2599.7	2798.0
275	0.05461	2668.9	2887.3	0.04733	2651.4	2864.4
300	0.05887	2726.2	2961.7	0.05138	2713.0	2944.2
350	0.06647	2827.4	3093.3	0.05842	2818.6	3081.5
400	0.07343	2920.8	3214.5	0.06477	2914.2	3205.7
450	0.08004	3011.0	3331.2	0.07076	3005.8	3324.2
500	0.08644	3100.3	3446.0	0.07652	3096.0	3440.4
600	0.09886	3279.4	3674.9	0.08766	3276.4	3670.9
700	0.11098	3462.4	3906.3	0.09850	3460.0	3903.3
800	0.12292	3650.6	4142.3	0.10916	3648.8	4140.0
900	0.13476	3844.8	4383.9	0.11972	3843.3	4382.1
1000	0.14653	4045.1	4631.2	0.13020	4043.9	4629.8
1100	0.15824	4251.4	4884.4	0.14064	4250.4	4883.2
1200	0.16992	4463.5	5143.2	0.15103	4462.6	5142.2
1300	0.18157	4680.9	5407.2	0.16140	4680.1	5406.5



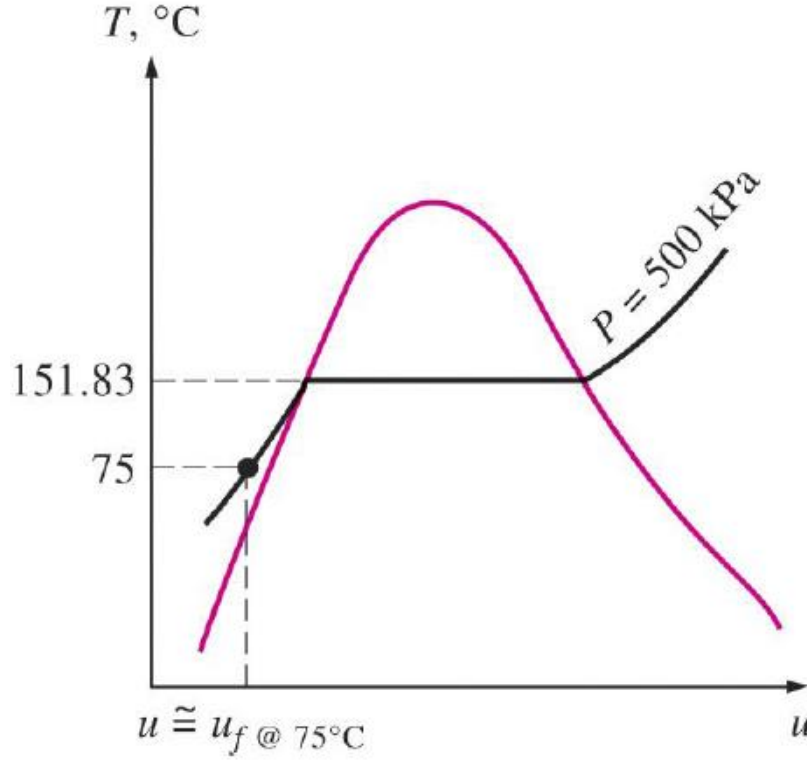
Belirli bir P noktası için kızgın buharın entalpisi, doymuş buharından daha yüksektir

Kızgın buhar bölgesi tek fazlı (sadece buhar fazı) bölgedir.

Sıkıştırılmış Sıvı Bölgesi

Sıkıştırılmış sıvı özelliklerini doymuş sıvı özelliklerine eşit almak, genellikle benimsenen bir uygulamadır

Verilen bir basınç ve sıcaklıkta, saf bir madde, $T < T_{sat} @ P$ olduğu zaman sıkıştırılmış sıvı olacaktır.



Benzer şekilde $v \approx v_{f@75^\circ\text{C}}$ veya $h \approx h_{f@75^\circ\text{C}}$

Ancak, sadece h için daha hassas;

➤ $h \approx h_{f@75^\circ\text{C}} + v_{f@75^\circ\text{C}} (P - P_{\text{dym}@75^\circ\text{C}})$

Z. MM 2013 MÜHENDİSLİK TERMODİNAMİĞİ I

Saf Madde

Örnek problem:

Aşağıda su için verilen tablodaki boşlukları doldurunuz.

Durum	T, °C	P, kPa	U, kJ/kg	x	Faz durumu
1		200		0,6	
2	125		1600		
3		1000	2950		
4	75	500			
5		850		0,0	

Durum	T, °C	P, kPa	u, kJ/kg	x	Faz durumu
1	120,21	200	1719,26	0,6	Islak buhar
2	125	232,23	1600	0,53	Islak buhar
3	388,4	1000	2950	-	Kızgın buhar
4	75	500	313,99	-	Sıkıştırılmış su
5	172,94	850	731	0,0	Doymuş su

➤ 1.satırdaki faz durumunun $x = 0,6$ olduğu için ıslak buhar olduğunu anlıyoruz. Çünkü;

$x = 0,0$; doymuş sıvı

$x = 1,0$; doymuş buhar

$0,0 < x < 1,0$ ıslak buhar

Islak buhar bölgesindeki su doyum basıncında ve doyma sıcaklığındadır

Z. MM 2013 MÜHENDİSLİK TERMODİNAMİĞİ I

Saf Madde

Doymuş su - Basınç tablosu

Basınç., P kPa	Doyma sıcaklığı., T_{doyma} °C	Özgül hacim, m^3/kg		İç enerji, kJ/kg		Entalpi, kJ/kg		Doymuş buhar, h_g
		Doymuş sıvı, v_f	Doymuş buhar, v_g	Doymuş sıvı, u_f	Doymuş buhar, u_{fg}	Doymuş sıvı, h_f	Doymuş buhar, h_{fg}	
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	487.01	2213.1	2700.2
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	504.71	2201.6	2706.3

İç enerji kurulum derecesine bağlı olacağından

$$u = u_f + x u_{fg} = 504,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \frac{0,6 \times 2024,6 \text{ kJ}}{\text{kg}} = 1719,26 \text{ kJ/kg}$$

- 2.satır için önce faz durumunu belirlemek lazım. 125 °C'deki doyma iç enerjileri sıcaklık tablosundan

Doymuş su — Sıcaklık tablosu

Sıcaklık., T °C	Doymuş basıncı., P_{doyma} kPa	Özgül hacim, m^3/kg		İç enerji, kJ/kg		Doymuş buhar, u_g
		Doymuş sıvı, v_f	Doymuş buhar, v_g	Doymuş sıvı, u_f	Doymuş buhar, u_{fg}	
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3

$$u_f = 524,83 \text{ kJ/kg}$$

$$u_g = 2534,3 \text{ kJ/kg}$$

$$u_{fg} = 2009,5 \text{ kJ/kg}$$

Buradan kısaca, $x = (u - u_f) / u_{fg} = (1600 - 524,83) / 2009,5 = 0.53$; $0,0 < x < 0,1$ olduğundan saf maddenin faz durumu yine ıslak buhardır. Bu satırda okunan basınç (doyma basıncı) 232,23 kPa'dır.

- 3. Satır için önce basınç tablosundaki 1000 kPa satırına bakmak gerekecek.

Z. MM 2013 MÜHENDİSLİK TERMODİNAMİĞİ I

Saf Madde

Burada $u_g = 2582,2$ kJ/kg değeri, verilen $u = 2950$ kJ/kg değerinden küçüktür. Dolayısı ile buradaki saf madde kızgın buhar fazındadır. Kızgın buhar tablosunun ilgili bölümünden; 300 °C ile 400 °C aralığında kalan $u = 2950$ kJ/kg için *doğrusal oranlama*

$$\frac{\Delta u}{\Delta T} = \text{sabit olmak üzere}$$

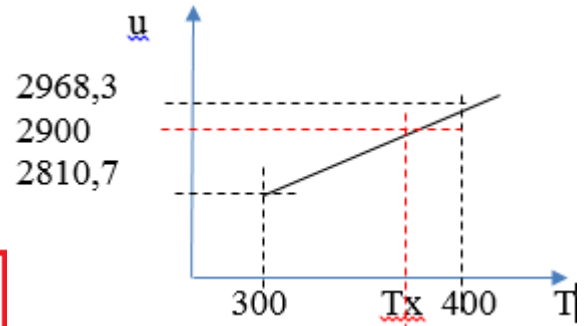
$$\frac{\Delta u}{\Delta T} = \frac{2968,3 - 2810,7}{400 - 300} = \frac{2950 - 2810,7}{T_x - 300}$$

$$T_x = 300 + 100 \frac{2950 - 2810,7}{2968,3 - 2810,7}$$

$$T_x = 388,4 \text{ °C}$$

Kızgın su buharı

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg
$P = 0.10 \text{ MPa (99.61 °C)}$			
Doymuş	1.6941	2505.6	2675.0
50			
100	1.6959	2506.2	2675.8
150	1.9367	2582.9	2776.6
200	2.1724	2658.2	2875.5
250	2.4062	2733.9	2974.5
300	2.6389	2810.7	3074.5
400	3.1027	2968.3	3278.6



- 4.satırda yüksek basınç ve düşük sayılabilecek sıcaklık vardır. Bu sıcaklıkta buharlaşma olabilmesi için basıncın vakum basıncı (< 101 kPa) olması

Z. MM 2013 MÜHENDİSLİK TERMODİNAMİĞİ I

Saf Madde

beklenir. Düğér taraftan, doymuş hallere baktığımızda 75 °C'nin doyma basıncını 38,597 kPa okumaktayız. O halde saf madde sıkıştırılmış sıvıdır.

Bu durumda

$$u = u_{f,75^{\circ}\text{C}} = 313,99 \text{ kJ/kg alıyoruz}$$

Doymuş su — Sıcaklık tablosu

Sıcaklık, $T^{\circ}\text{C}$	Doymuş basıncı., $P_{\text{doymuş}}$ kPa	Özgöl hacim, m^3/kg		İç enerji, kJ/kg			Entalpi, kJ/kg		
		Doymuş sıvı, v_f	Doymuş buhar, v_g	Doymuş sıvı, u_f	Doymuş buhar., u_{fg}	Doymuş buhar, u_g	Doymuş sıvı, h_f	Doymuş buhar., h_{fg}	Doymuş buhar, h_g
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6

Ancak sıcaklık tablosunda son satırdaki sıcaklık 373,95 °C. Çünkü su için kritik sıcaklık bu değerdir. Aşağıdaki şekilde olduğu gibi su için kritik sıcaklık ve kritik basınç değerleri;

Son olarak 5.satırdaki su $x = 0,0$ olması nedeniyle doymuş sıvıdır ve basınç tablosundan doyma sıcaklığı ve doymuş sıvı iç enerjisi okunur.

Örnek problem:

Aşağıda su için verilen tablodaki boşlukları doldurunuz.

Durum	T, °C	P, kPa	v, m ³ /kg	Faz durumu
1	50	12,352	4,16	Islak buhar
2	120,21	200	0,8858	Doymuş buhar
3	250	400	0,5952	Kızgın buhar
4	110	600	0,001051	Sıkıştırılmış su

Örnek problem:

Hacmi $1,8 \text{ m}^3$ olan rijit bir tankta 220°C 'de buhar bulunmaktadır. Hacmin $1/3$ 'ü sıvı, geri kalanı buhar fazında bulunmaktadır. Buna göre, (a) buharın basıncını, (b) buharın kuruluk derecesini ve (c) buharın yoğunluğunu bulunuz.

(a) $P = P_{\text{dym}@220^\circ\text{C}} = \underline{2320 \text{ kPa}}$

(b) Kuruluk derecesi tanımından $x = \frac{m_g}{m}$

$$m = m_f + m_g$$

$$m_f = \frac{V_f}{v_f} = \frac{\frac{1}{3} 1,8 \text{ m}^3}{0,001190 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = 504,2 \text{ kg}$$

$$m_g = \frac{V_g}{v_g} = \frac{\frac{2}{3} 1,8 \text{ m}^3}{0,08609 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = 13,94 \text{ kg}$$

$$m = 504,2 \text{ kg} + 13,94 \text{ kg} = 518,1 \text{ kg}$$

$$x = \frac{13,94 \text{ kg}}{518,1 \text{ kg}} = \underline{0,0269}$$

(c) Yoğunluk $\rho = 1/v$ 'dir, $v = v_f + x(v_g - v_f) = 0,001190 + 0,0269 (0,08609 - 0,001190)$

$$\rho = \underline{0,003474 \text{ kg/ m}^3}$$

