

Design Of Pure Water And Work Production Equipment Operating With Solar Power

¹Yasemin Özdemir and ^{1,2}Taner Toğrul

¹Ankara University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering

²Solerya Engineering Solar Energy Systems.

Abstract:

In this study, pure water production equipment operating with solar power is designed. 4-6 kg of water can be produced per day per m² by this equipment using solar power. In addition, thermostatic electrical heater support is available. Therefore, faster and more water can be produced when required. This project leaves all different molecules within the water, but takes only water molecules. It is an imitation of water cycle in the nature. Pure water obtained is also sterilized as it is subject to intense sun rays and UV.

Besides, it is possible to produce works by these systems. Experiment results obtained by operating a prototype proves this. While electrical conductivity of water entering to the system is about 700-800 mV, water exiting from the system always has a value of zero mV. This achieved against zero energy cost... This system consists of following items: solar energy intense collector (Energy sphere), cylinder-piston to produce work and condenser. Producing work is based on demand. An energy sphere having one meter square of energy entry surface is available. Condensed solar power causes transmission of water on the focus to the vapor phase. Vapor flowing out of energy sphere is converted within piston cylinder. After leaving certain part of its energy here, water vapor enters to the condenser. It condenses and exits as pure water. This mechanism may be used for different purposes.

Keywords: Solar power, Solar power intense collector, Energy sphere, Distilled water production, Work production

Özet :

Bu çalışmada güneş enerjisi ile çalışan bir saf su üretme cihazı tasarlanmıştır. Bu cihazla sadece güneş enerjisi kullanılarak m² başına günde 4-6 kg saf su üretilebilmektedir. Ayrıca termostatlı elektrikli ısıtıcı takviyesi de mevcuttur. Bu nedenle istenirse güneş olmadığı zamanlarda ya da daha hızlı ve daha fazla saf su üretilebilmektedir. Bu proje ile suyun içindeki her türlü farklı molekül bırakılarak, sadece su molekülleri çekilip alınmaktadır. Doğadaki su döngüsünün benzeridir. Elde edilen saf su, aynı zamanda yoğun güneş ışınlarına ve UV ye maruz kaldığı için steril de olmaktadır. Sisteme giren suyun elektriksel iletkenliği 700-800 mV larda iken, çıkan su daima sıfır mV olmuştur. Bu su eğer içme suyu olarak kullanılacaksa ayrıca mineral ve tuzlar ilave edilmektedir.

Bunun yanısıra sistemden iş elde etmek de mümkündür. Yapılan prototip çalıştırılarak elde edilen deney sonuçları bunları açıkça göstermiştir. Kızgın su buharı, kondensere gitmeden önce, bir silindirden geçirilmekte ve piston hareketi ile iş elde edilmektedir. Silindir sisteminden 220 KJ/kg (iş) enerji alınmıştır. Günde ortalama m² başına 5 kg saf su alındığına göre, sistemden 1000-1100 KJ enerji elde etmek olmuştur. Ayrıca kondenserden alınan 2500 KJ/kg

enerji, günde 5 kg su döngüsü süresince, 12500KJ enerji açığa çıkmasına neden olmuştur. Bu enerji ile de sıcak su üretimi yapılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Güneş enerjisi yoğun toplayıcı, Enerji Küresi, Saf su üretimi, İş üretimi.

1. Giriş

Güneş enerjisinden maksimum faydalanabilmek için geliştirilmiş bir sistem üzerinde çalışılmaktadır. Amaç modüler bir Rankin çevrimi oluşturularak, meydana gelen çevrimin her aşamasından fayda sağlayabilmektir.

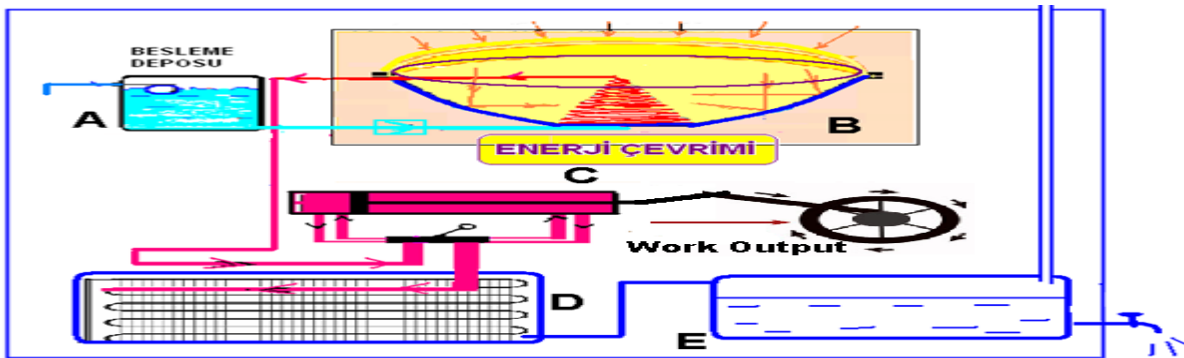
Sistemin genel görünüşü ve çalışma mekanizması Şekil 1. de gösterildiği gibidir.

Bu sistem şunlardan oluşmuştur: Güneş enerjisi yoğun toplayıcı (Enerji Küresi), iş üretmek için (Silindir-Piston), (Kondenser) ve (Safsu kabı).

Bir metrekare enerji giriş yüzey alanına sahip bir enerji küresi vardır. Burada yoğunlaştırılmış güneş enerjisi odaktaki suyun hızla buhar faza geçmesine neden olur. Enerji küresinden çıkan buhar, pistonlu silindirde işe dönüştürülür. Su buharı enerjisinin bir kısmını burada bıraktıktan sonra kondensere gelir. Kondenserde indirekt olarak enerji transfer edilerek sıcak su üretimi sağlanırken, kondenser içindeki buhar yoğunlaşır ve saf su olarak reserve edilir. Bu mekanizma ile elde edilen iş, değişik amaçlar için kullanılabilir.

2. Materyal ve Yöntem

Deneyler için yapılması öngörülmüş olan sistem prototipi, Şekil 1. de görüldüğü gibidir.



Şekil 1. Deneysel sistemin genel görünümü.

(Şekil 1) deki deneysel sistemi şu şekilde açıklayabiliriz. A Modülü kirli su besleme deposudur. Bu depo çıkışında bir çekvalf vardır. Su, enerji küresine girmeden önce tek yönlü çekvalften geçer. Bu nedenle suyun depoya geri dönüşü mümkün değildir. B Modülü enerji küresidir. Burada güneş enerjisi yoğunlaştırılır. Yoğun enerji ile suyun, hızlı bir şekilde buhar faza geçmesi sağlanır. C Modülünde, yüksek enerjili buhar silindir içindeki pistonu ileri iterek, sistemden iş alınmasını sağlar. Bu arada kızgın buhar, enerjisinin büyük kısmını burada bırakır. D Modülü kondenserdir. Silindirden çıkan enerjisi düşük buhar burada sıvı faza dönüşür. Kalan enerjisini bırakır. E Modülü safsu deposudur. Kondenserden çıkan saf sıvı su burada birikir. Eğer fazla buhar varsa, havalandırma borusundan dışarı atılır [1].

2.1. Sistemin Teorik Analizi

Bu sistemi gerçekleştirebilmek için, önce ölçülerini yaklaşık da olsa saptamak gerekecektir. Bunun için teorik hesaplamalar yapılmıştır. Varsayımlar şunlardır.

1. Güneş enerjisi sabit ve ortalama değerde gelmektedir.
2. Sistem verimi her aşamada 1 dir.
3. Ara geçişlerdeki enerji kayıpları yoktur.
4. Su. 1 atm. de ve 100 C^0 de kaynamaktadır.
5. Küçük, hassas değer farkları ihmal edilerek yuvarlatılmıştır.

Yapılacak system modülleri yapımında kullanılacak malzeme ve miktarları belirleyebilmek için, bu koşullarda teorik analizler yapılmıştır.

2.1.1 Enerji Küresi

Enerji Küresi, birbirine kapatılmış iki yarım küreden oluşmuştur. Alttaki yarımküre, iç tarafı aynalanmış bir çukur aynadır. Üst kapak ise, yarım küre şeklinde aplanatik, hilal şeklinde kesiti olan yakınsak bir mercektir. Aplanatik merceğin ışınları topladığı odak noktası, aynı zamanda alt yarım küredeki çukur aynanın da odağıdır.

Enerji küresinin, tasarımında uygulanması gereken en önemli konu, her iki yarımkürenin odaklarının aynı bölgede olmasıdır [8]. Buharlaştırma kabı burada yer almaktadır. Buharlaştırma kabının üstündeki çıkışa konulan “basınç ayarlı buhar valfi” nedeniyle sadece buhar çıkışı gerçekleşmektedir [2].

“Basınç ayarlı buhar valfi “1. Atm” e ayarlandığı zaman, sistemdeki silindir - piston devre dışı bırakılarak sadece su buharı üretimi yapılabilir. “10 atm.”e ayarlanırsa, bu çalışmadaki sözkonusu çevrim gerçekleşir [3].

Bir adet enerji küresinin dairesel enerji giriş alanı 1.0 metrekaredir. Gelen güneş ışınının yoğunluğu ortalama $3.6\text{ kWh} / \text{m}^2$ dir. $3600\text{ Wh}/\text{m}^2$. Güneşli gün ort.7 saat kabul edilirse; $((3600\text{ Wh}/\text{m}^2.\text{gün}) / 7\text{ h}) = 514\text{ W}/\text{m}^2$ dir.

Odak bölgesine gelen ışın yoğunluğu [8]: $GE = \text{Gelen ortalama ışın yoğunluğu} \times \text{kürenin yoğunlaştırma oranı}$.

Yoğunlaştırma oranını belirlemek için, olası buhar kabı izdüşümü varsayımı yapılmıştır.

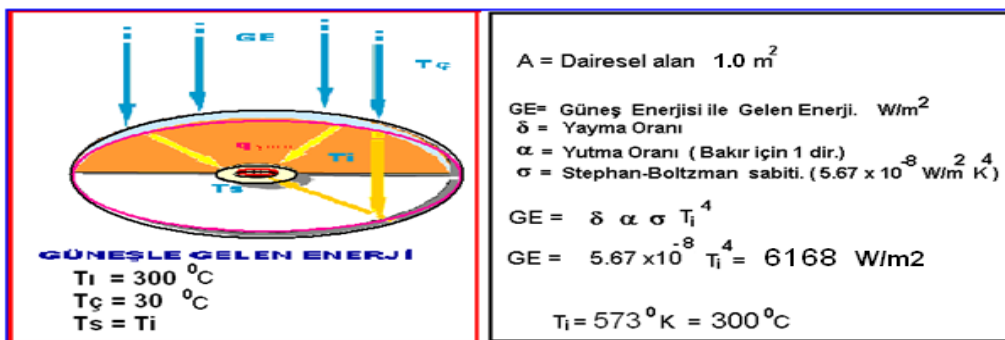
Yoğunlaştırma oranı = Gelen ışın yüzeyi / Işının toplandığı yüzeyin olası izdüşümü;

Yoğunlaştırma oranı = $(1.0\text{ m}^2 / 0.083\text{ m}^2) = 12.00$ dir.

Bu durumda enerji küresi odağının maruz kalacağı ışın şiddetinin yoğunluğu ;

$GE = (514\text{ W}/\text{m}^2) \times 12.00 = 6168\text{ W}/\text{m}^2$ dir. (1)

Şekil 2. de, bu radyasyon enerjisi ile elde edilebilecek sıcaklık tahmini yapılmıştır [10].



Şekil 2. Enerji küresi odağında elde edilebilecek max. sıcaklık.

2.1.2. Kaynama Bölgesi Analizi

Küre odağındaki içi boş damıtma kabının maksimum çeper sıcaklığının, 300 °C civarında olacağı görülmektedir [7]. Bu enerjiyle günde ne kadar suyun buharlaşabileceğini tahmin etmek gerekmektedir. Bu enerjiyi en iyi şekilde transfer edebilmek için, enerji küresinin odağına yerleştirilecek olan , buharlaştırma kabının yüzeyi büyük önem taşımaktadır. İzdüşümü 0.0816 m² olan bu yüzey alanının hesaplanması gerekmektedir [11].

Yapılan incelemeler sonucu, buharlaşma kabının en iyi ısı transferi yapabilmesi için, en fazla yüzeyi oluşturacak şekilde, borsal olmasına karar verilmiştir.

a. Sadece buhar üretmek için kullanıldığı durumda, enerji transfer verimi bir kabul edilerek enerji dengesi kurulursa;

Küreye 20 °C de giren soğuk suyun, 100 °C deki doymuş su oluncaya kadar aldığı enerji + aynı miktar suyun buhar faza geçmek için aldığı enerji = Küre odağına gelen güneş enerjisi.

Günlük Buhar Üretimi :

Gelen ışın miktarı : GE= 514 W ; = 0.514 kW

$$\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_s - T_i) + \dot{m} \cdot h_{f.g} = GE ; \dot{m} [C_p (T_s - T_i) + h_{f.g}] = \dot{m} \frac{kg}{s} [4.217 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 80^0 K + 2526 \frac{kJ}{kg}] = 0.514 \frac{kJ}{s}$$

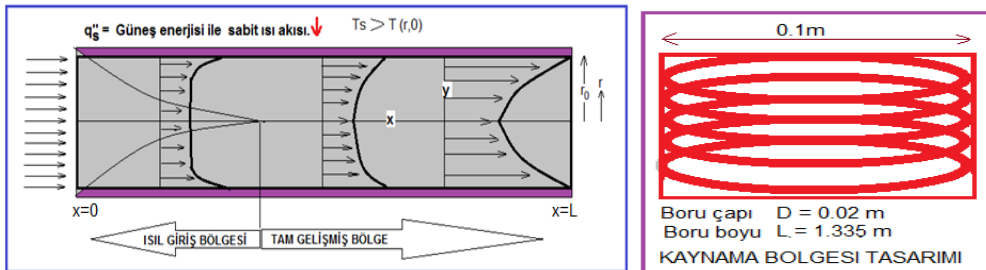
$$\text{Buharlaşma hızı (akış hızı): } \dot{m} = \frac{0.514 \frac{kJ}{s}}{2863 \frac{kJ}{kg}} = 0.00018 \frac{kg}{s} \quad (1 \text{ m}^2 \text{ enerji girişi yüzeyi için.})$$

$$q_s = q'_s A ; \quad m = q_s / h_{f.g} ; \quad q_s = m \cdot h_{f.g}$$

$$\text{Buhar debisi: } \dot{m} = 0.0002 \text{ kg/s} ; = 0.72 \text{ kg/h} \quad \dots \dots \dots (2)$$

Bu hesaplanan buhar debisi güneş enerjisinin ortalama geldiği zamanlar için sözkonusudur. Silindirik borsal kaynama kabı için varsayılan koşullar;

- Yüzeye gelen enerji akışı sabit.
- Boru çeper sıcaklığı değişken. Akışkan girişinde düşük, çıkışı yüksek.
- Akış laminer.
- Girişteki ısı giriş bölgesinden sonra tam gelişmiş koşullar oluşmaktadır.



Şekil 3. Kaynama bölgesi boru içi akış termodinamiği.

Kaynama kabı yüzey alanına gelen güneş enerjisi akışı sabittir. GE = 6168 W/m²
Bu aynı zamanda akışkana aktarılan enerjidir.

$$GE = q_{conv} = q'_s (\pi \cdot D \cdot L) = \dot{m} C_p (T_s - T_i) + \dot{m} h_{f.g}$$

$$L = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_s - T_i) + \dot{m} \cdot h_{f.g}}{\pi \cdot D \cdot q'_s} = \frac{0.0002 \frac{kg}{s} \cdot 4179 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 80 K^0 + 0.0002 \frac{kg}{s} \cdot 2252 \cdot 10^3 \frac{J}{kg}}{\pi \cdot 0.02 \text{ m} \cdot 6168 \frac{W}{m^2}} = 1.335 \text{ m}$$

$$L = 1.335 \text{ m} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Kaynama bölgesinde 1.335 metre boru kullanılmalıdır. Bu helezon şeklinde silindirik bir geometride olacaktır.

Girişten itibaren, $L_1 = 0.173$ metrede 20°C deki su 100°C doyma noktasına gelecektir ; Daha sonraki, $L_2 = 1.162$ metrelik kısımda ise buharlaşma gerçekleşecektir.

1.335 m uzunluğundaki ve 0.02 m çapındaki bu boruyu, 0.1 m. çapında helezonal şekilde bükerek bir silindirik kaynama bölgesi meydana getirilecektir.

Boru çeperine gelen enerji sabit olmasına karşı, borunun dış yüzey sıcaklığı değişkendir.

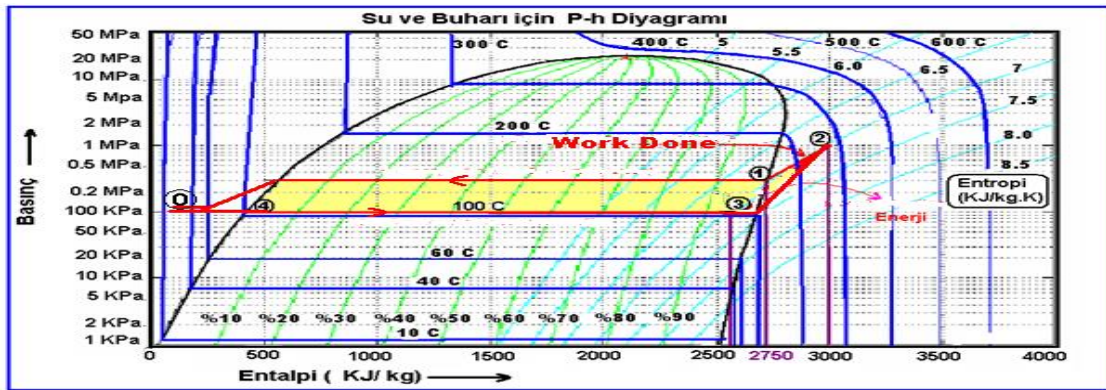
$$\text{Hacimsel debi: } Q = \frac{\dot{m}_{out}}{\rho_{out}} \left(\frac{\text{kg m}^3}{\text{s kg}} \right) \Leftrightarrow Q = \frac{0.0002}{5.144} = 0.000044 \text{ m}^3/\text{s} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Bir metre boru kesit alanı : $A = 3.14 \times 0.01^2 = 0.000314 \text{ m}^2$ olduğuna göre buhar hızı ;

$$V_{out} = 0.14 \text{ m/s} \text{ dir. Bu ortalama hızdır.} \quad \dots\dots\dots (5)$$

2.1.3. Enerji Çevrimi Termodinamik Analizi

Uygulanan enerji çevrimi, Şekil 4. de görüldüğü gibi açık bir Rankin çevrimidir.



Şekil 4. Enerji çevrimi su buharı P-h diagram.

Sıvı su, 0. Noktasından enerji küresine girer ve güneş enerjisini alarak 4. Noktasını geçer, 3. Noktasında doymuş buhar olur. Sadece buhar alınacaksa 3 noktasından doğrudan 1 noktasına geçer. Enerji almaya devam ederse, sıcaklığı ve basıncı artar ve 2. Noktasındaki kızgın buhara dönüşür.

2 noktasında silindire girer ve 1 noktasına kadar enerjisini vererek iş üretir. 1 noktasından sonra kondensere geçer ve yoğunlaştırularak saf su olarak toplanır. 1 noktasına geldiğinde doymuş buharın basıncı 3 atm civarlarındadır. Bu koşullarda kondensere girer.

Tablo 1. Termodinamik Noktaların Özellikleri

	P atm	T C	H kJ/kg	S kJ/kg.K	Q m ³ /kg	U kJ/kg
1	3	135	2730	6.8	0.62	2545
2	10	280	2950	7.2	0.25	2750
3	1	100	2562	7.0	1.70	2402

2.1.4. İş Elde Edilmesi: Adyabatik Piston – Silindir

Pistondan alınabilecek maksimum iş:

Eğer sistemden iş elde edilmek isteniyorsa, enerji küresinden çıkan buhar bekletilerek, basınç valfi ile 10 atm. e kadar yükseltilebilir. Silindir-pistona gönderilerek iş alınır. Doğaldır ki bu durumda sistemin üreteceği buhar kütleli debisi azalacaktır.

$$W = H_2 - H_1 = 2950 - 2730 = 220 \text{ KJ/kg}$$

Günlük alınabilecek max. iş ;

$$(\text{Gün ort. 7 saat varsayımı ile.}) : W_{\max} = 220 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 0.72 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times \frac{7 \text{ h}}{\text{gün}} = 1108.8 \text{ KJ /gün ; ya da;}$$

$$W_{\max} = 220 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 0.0002 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 0.044 \text{ kW} \quad \dots\dots\dots (6)$$

1 atm de giren su buharı, 10 atm de kızgın buhar oluncaya kadar enerji almaya devam ediyor ve bu arada pistonu ileri itiyor. 3 atm olduğunda silindiri terk ediyor.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \text{Constant} = \frac{300 \text{ kPa} \cdot 0.5712}{408 \text{ K}} = 0.4200 ; \quad \frac{P_2 V_2}{\text{Constant}} = T_2 = \frac{1000 \text{ kPa} \cdot 0.2327}{0.4200} = 554 \text{ K}^0 ;$$

$$\text{Silindir giriş sıcaklığı: } T_2 = 281 \text{ C}^0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

Bu durumda silindir sistemine giren ve enerjisini bırakarak çıkan buharın özelliklerini şöyle tanımlayabiliriz.

$$\text{Giren buhar ; } P = 10 \text{ atm, } T = 280 \text{ C}^0, \quad V = 0.2327 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \quad H = 2950 \text{ kJ/kg;}$$

$$\text{Çıkan buhar; } P = 3 \text{ atm, } T = 135 \text{ C}^0, \quad V = 0.5712 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \quad H = 2730 \text{ kJ/kg;}$$

$$\text{Verimi \%100 ise, bırakılan enerji: Bu durumda adyabatik silindirde alınabilecek iş:} \\ -w = \Delta H = 2950 - 2730 = 220 \text{ kJ/kg} \quad \dots\dots\dots (8)$$

Bu da (6) nolu işlemi doğrulamaktadır. Max. Sıkıştırma oranı :

$$(V_1 / V_2) = (0.5712 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} / 0.2327 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}) = 2.5 \text{ dir.}$$

Günlük kızgın buhar hacmi:

$$V = 4.0 \text{ kg} \times 0.2327 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0.930 \text{ m}^3 \text{ dür.}$$

$$V_b = 0.930 \text{ m}^3 \quad \dots\dots\dots (9)$$

Bunu beklediğimiz devir sayısına bölersek, ne kadar hacimde bir silindir yapılması gerektiğini tahmin edebiliriz.

Tablo 2. Farklı Silindirler için Teorik Sonuçlar

Varsayım: İdeal Gaz ; Günlük buhar miktarı: m=4 kg; n=222mol ; Günlük gerekli hacim: V= 930 dm ³			
Devir sayısı : N ; P= 10 atm ; T= 250 °C ; R= 0.082 dm ³ atm/molK			
Silindir boyu;L	Silindir yarıçap; r	Silindir hacmi ;dm ³	Teorik devir sayısı; N _t
4 dm	0.5 dm	3.14	296
6 dm	0.5 dm	4.71	197
4 dm	0.25 dm	0.785	1184
6 dm	0.25dm	1.1775	789

Enerji çevrimi silindiri, maksimum iş elde etmek için, mümkün olduğunca küçük çaplı ama boyu uzun bir silindir olmalı, Bu durumda, Tablo 2. de son sıradaki silindir hacmi seçilmiştir.

Enerji çevrimi silindir boyutları: $L= 0.6 \text{ m}$ $D= 0.25 \text{ dm} = 0.025 \text{ m}$

Beklenen günlük devir sayısı varsayımı 475 kabul edilirse;

Herbir döngü için silindire gerekli madde miktarı ;

$$M_{\text{döngü}} = (4000 \text{ gr} / 475) = 8.42 \text{ gr} = 0.00842 \text{ kg} \quad \dots \dots \dots (10)$$

Çevrimin debisi $m= 0.0002 \text{ kg/s}$ olduğuna göre, silindirin ortalama hareketini tamamlama süresi;

$T_{\text{devir}} = 42$ saniye olmalıdır. Bir döngüde madde miktarı : $m=(M/N)=(4.0/475) = 0.00842 \text{ kg}$ idi.

Bir döngüde kondenserde bırakılması gereken enerji : $2500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 0.00842 \text{ kg} = 21 \text{ KJ/devir}$

2.1.5. Kondenser

Kondenser iki bölümden oluşmaktadır.

1.Silindirden çıkan 3 atm ve 135 C^0 kızgın buharın yoğuştuğu, kondenser giriş bölgesi.

2.Yoğuşmuş doymuş suyun, 1 atm, 60 C^0 düşürüldüğü ısı değiştirici.

Çevre hava sıcaklığının 30 C derece sabit olduğu kabul edilmiştir. İki ayrı bölüm için hesaplanan, ısı transfer yüzey alanı toplamı, sonuçta toplam alanı oluşturacaktır [12].

1.Silindirden çıkan buharın yoğuştuğu, kondenser bölümü.

Laminer film yoğuşması [4];

$$h_b = C \{ [g d_L (d_L - d_v) k_L^3 h_{f,g}] / [\mu_L (T_{\text{sat}} - T_s) D] \}^{0.25} \quad \text{C sabiti: Boru için ; } C= 0.0725$$

$$h_b = 0.0725 \{ [9.8 * 1000(1000-11.25) * (0.601 * 10^{-3})^3 * 2252] / [254 * 10^{-6} (100-30)*0.02] \}^{0.25}$$

$$h_b = 0.78 \text{ kJ/m}^2 \text{ K} \quad \dots \dots \dots (11)$$

1 metre uzunluğundaki boru alanı ve aktarılabilecek enerji:

$$A_1 = \pi D L = 3.14 * 0.02 * 1 = 0.0628 \text{ m}^2$$

$$q=h_b * A_1*(T_{\text{sat}} - T_s) = 0.78 * 0.0628 * (100-30) = 3.42 \text{ kJ}$$

Bu enerji ile yoğuşacak madde miktarı: $m = q/ h_{f,g} = 3.42 \text{ kJ} / 2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0.0015 \text{ kg/ 1 m boru.}$

Her bir döngüde yenilenen madde miktarı 0.00842 kg olduğundan, bu kadar maddenin yoğuşması için bize ; $(0.00842/0.0015) = 5.61 \text{ m}$ boru gerekmektedir.

$$L_1 = 5.61 \text{ m} \quad \dots \dots \dots (12)$$

2.Yoğuşmuş doymuş suyun, 60 C dereceye düşürüldüğü ısı değiştirici [6].

100 C derecedeki doymuş suyun 60 dereceye düşmesi için gerekli boru boyu:

$$T=100 \text{ C}^0 ; P= 1 \text{ atm} ; H_{100}=419.00 \text{ kJ/kg}$$

$$T= 60 \text{ C}^0 ; P= 1 \text{ atm} ; H_{60}=250.00 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Transfer edilecek enerji : } q= h_{100}-h_{60} = 419 \text{ kJ/kg} - 250 \text{ kJ/kg} = 169 \text{ KJ/kg}$$

Bir döngü içindeki madde miktarı olan 0.00842 kg için, döngü başına transfer edilecek enerji,

$$q= 169 \text{ kJ/kg} * 0.00842 \text{ kg} = 1.42 \text{ kJ} ;$$

Bunun için gerekli alan [3]:

$$dq= h dA (T_2-T_1) ; A = \int_{in}^{out} \frac{dq}{h \Delta T} ; A = \pi D L = \frac{q \ln(\Delta T_{in}/\Delta T_{out})}{h(\Delta T_{in}-\Delta T_{out})} = \frac{1.42 \text{ kJ} \ln(70/30)}{0.136 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{ K}} (70-30)} = 0.22 \text{ m}^2$$

$$L_2 = \frac{0.22}{0.02 * 3.14} \implies L_2 = 3.5 \text{ m} \quad \dots \dots \dots (13)$$

Kondenserde Toplam Boru Boyu :

$$L = L_1 + L_2 = 5.61 + 3.5 ; L = 9.11 \text{ m} \quad \dots \dots \dots (14)$$

Isı transferi için bulunan toplam boru boyu $L= 9.11$ m uzunluğunda, çapı $D= 0.02$ m olan bu kondenser, basıncın 3 atm den 1 atm e düşmesine yetecektir. Bu sorunun yanıtı için kondenserdeki basınç düşmesi hesaplanmalıdır.

Kondenserde Momentum denkliği kurulur.

Kondensere giriş koşulları:

Basınç; $P_1= 3$ atm , Sıcaklığı ; $T_1 = 135$ C⁰ , Beklenen kondenserden çıkış koşulları :

Basınç ; $P_2= 1$ atm, sıcaklık; $T_2 = 60$ C⁰ .

Hacimsel debi; $Q = 0.000044$ m³/s olan kızgın buhar. Boru çapı: $D= 0.02$ m

Ortalama hız : $V_{ort} = Q/A = (0.000044 \text{ m}^3/\text{s}) / (3.14 * 0.01^2) = 0.14$ m/s

Maksimum hız : $V_{max} = 2 * V_{ort}$

(Laminer akım varsayımı) $V_{max} := 0.28$ m/s

Bu basınç düşmesinin hangi uzunluktaki boruda gerçekleşebileceğini bulmak için momentum denkliği kurulur [4].

Süreklilik : $\frac{dv_z}{dz} = 0$

Borusal silindirik koordinatlarda momentum denkliğinden [5]:

$$\frac{dP}{dz} = -\mu \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \quad ; \quad V_z = \frac{P_1 - P_2}{2 \mu L} \frac{r^2}{2} + C_1 \ln r + C_2$$

Sınır koşulları :

$$1: r=0 \quad \frac{dv_z}{dr} = 0 \quad ; \quad 2: r=R \quad V_z=0 \quad C_2 = \frac{P_1 - P_2}{4 \mu L} R^2$$

$R=0$ da maksimum hız :

$$v_z = \frac{P_1 - P_2}{4 \mu L} (r^2 - R^2) \quad ; \quad v_{max} = \frac{P_1 - P_2}{4 \mu L} r^2 \quad ; \quad v_{max} = 2 * V_{out} = 2 * 0.14 = 0.28 \text{ m/s}$$

Gerekli boru uzunluğu :

$$L = \frac{P_1 - P_2}{4 \mu v_{max}} R^2 \quad L = \frac{3-1}{4 * 12.09 * 10^{-6} * 0.28} * 0.01^2 \quad ; \quad L = 14.77 \text{ m} \quad \dots \dots \dots (15)$$

3 atm basınçtan, 1 atm basınca düşmesi için gerekli en az boru uzunluğu 14.77 m olmalıdır. Isı transferi için bulunan 9.11 m boru boyu basıncın düşmesi için yeterli olmayacaktır.

Sonuç: Kondenser çıkış basıncının 1 atm olması için boru uzunluğu: L=14.77 m olmalıdır.

3. Sonuçlar

a) 1. Aşama

Bu bilgilerle bir prototip yapılmış ve çalıştırılmıştır Şekil 5. de görülmektedir.

1 m² enerji giriş yüzeyi olan, eş odaklı çukur ayna ve cam mercekle üst kapaktan oluşan, enerji küresi yapılmıştır. Odak bölgesine, bakır borudan bükülerek oluşturulan silindirik helezon formunda kaynama kabı yerleştirilmiştir.

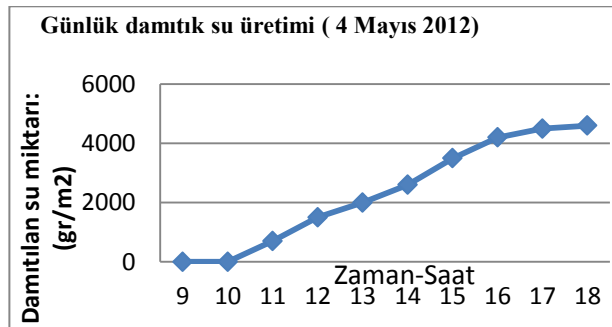
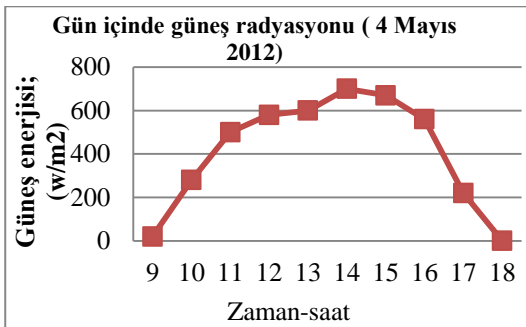


Şekil 5. Prototip

Borunun boyu, 1.335 m uzunluğunda, çapı ise teorik olarak hesaplamalarda kullanıldığı gibi 0.02 m çapındadır. Küreye girişte, bir çekvalf konulmuştur. Küre çıkışında ise, basıncı ayarlanabilen bir basınç valfi vardır. İlk deneylerde bu valf bir atm. de ayarlanarak oluşan buhar doğrudan kondensere gönderilmiştir.

Burada amaç, enerji küresinin bir atm. normal koşullarda verimini saptayabilmek ve günlük buhar üretimini deneysel olarak belirlemektir.

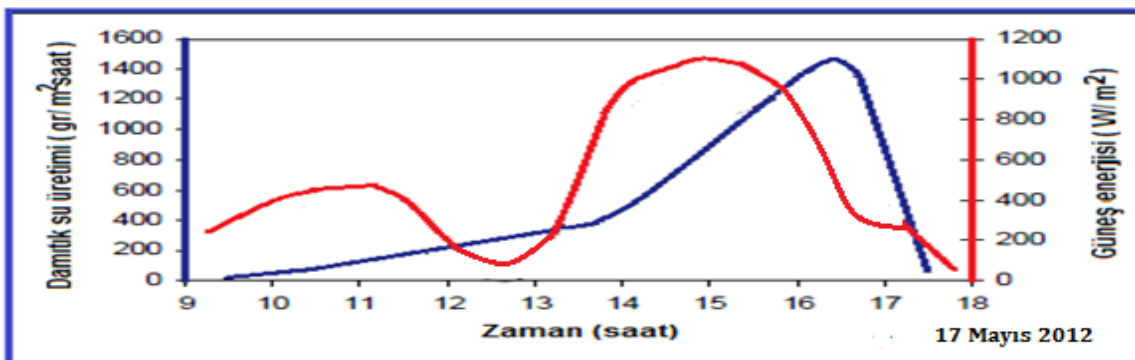
1. Deney düzeneği kurulmuştur. Bu düzenekte silindir ve piston ünitesi yoktur. Güneş enerjisi ile, enerji küresinde buharlaşan su, direkt olarak kondenserden alınmaktadır. Kondenser bölüm 2.1.5 de öngörüldüğü şekilde ve ölçülerde yapılmıştır. Gün boyunca saat başı ölçülen güneş enerjisi radyasyon değerlerine karşı, aynı zamanda üretilmiş olan toplam damıtık suyun miktarı kaydedilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bu miktar gün sonunda 4.5 litreye ulaşmıştır.



Şekil 6. Gün içindeki güneş ışınım değerleri.

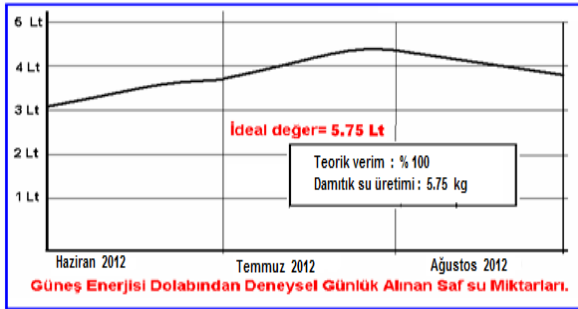
Şekil 7. Gün boyu elde edilen kümülatif damıtık su miktarı.

Gün içinde her saatte elde edilen damıtık su miktarlarını gösteren deneyler yapılmıştır. Şekil 8. Sadece damıtık su üretmek için yapılan bu deneyler sonraki üç ay boyunca aralıklarla devam etmiştir. Üç aylık deneysel sonuçların ortalamaları alınarak cihazın toplam verimi belirlenmiştir.

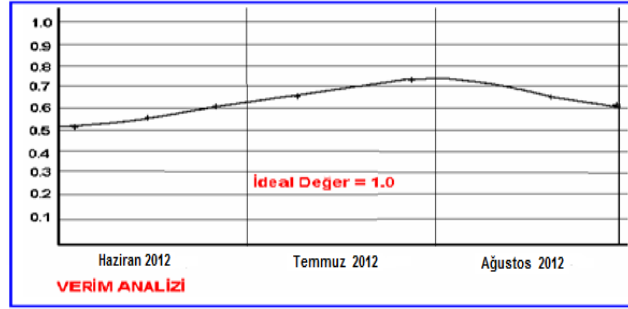


Şekil 8. Farklı zamanlarda gün boyunca anlık üretilen damıtık su miktarları..(Değişim nedeni bulutlardır.)

Hava koşulları nedeniyle gelen güneş radyasyon değerlerinde stabilitenin olmayışından dolayı, üç ay boyunca aralıklarla deneyler tekrarlanarak ortalama değerleri alınmıştır. Sonuç olarak Şekil 9,10. daki deneysel verim sonuçları çıkmıştır.



Şekil 9. Günlük safsu üretimi denemeleri.



Şekil 10. Deneysel verim.

Bu arada yapılmış olan prototip, daha geliştirilerek yeniden yapılmıştır. Bundan sonra deneyler daha başarılı sonuçlar vermiştir.

b) İkinci Aşama:

Teorik hesaplamaların sonuçlarıyla deneysel verilerin sonuçları karşılaştırılınca, yaklaşık beklenen değerlerde olduğu görülmüştür. İş elde etmek için silindir-piston ünitesinin yapımına geçilmiştir.

Dört tip silindir boyutu deney için yaptırılmıştır.

Tercih edilen silindirin boyutları : Boy: L= 6 dm ; yarıçap: r = 0.25 dm dir.

Tablo 3. de farklı silindirlerle yapılan ön deneylerin sonuçları görülmektedir.

Tablo 3. Farklı Silindirlerin Teorik ve Deneysel Sonuçları

Günlük buhar miktarı: m=4 kg; n=222mol ; Günlük gerekli hacim: V= 930 dm ³ ; Varsayım: İdeal Gaz Devir sayısı : N ; P= 10 atm ; T= 250 °C ; R= 0.082 dm ³ atm/mol K					
Silindir boyu; L	Silindir yarıçap; r	Silindir hacmi: : dm ³	Teorik devir sayısı; N _t	Pratik Devir sayısı: N _p	Verim
4 dm	0.5 dm	3.14	296	145	0.49
6 dm	0.5 dm	4.71	197	91	0.46
4 dm	0.25 dm	0.785	1184	686	0.58
6 dm	0.25dm	1.1775	789	475	0.60

Enerji çevriminden, maksimum iş elde etmek için, Tablo 3. de son sıradaki silindir seçilmiştir.

Bir döngüde madde miktarı :

$$m = (M/N) = (4.0/475) = 0.00842 \text{ kg idi (10).}$$

$$\text{Bir döngüde kondenserde bırakılması gereken enerji : } 2500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 0.00842 \text{ kg} = 21 \text{ kJ/devir}$$

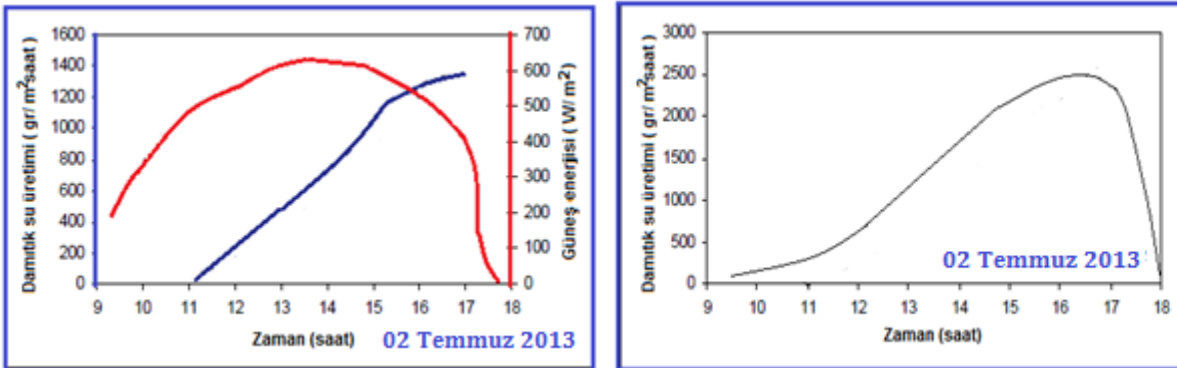


Şekil 11. Saf su için geliştirilmiş prototip.



Şekil 12. Silindir piston ile iş elde edilmesi. Prototip.

Deneyin yapılmış olduğu bu düzenekte, enerji küresi yanısıra piston sistemi de mevcuttur. Enerji küresi çıkışındaki basınç valfi 10 atm.e ayarlanmıştır. Basınç on atm. olduğunda kızgın buhar silindirlere gönderilmiştir. Bu deneyde hem iş elde edilmekte ve hem de damıtık su üretilmektedir. Silindirden çıkan 3 atm.deki buhar kondenserde yoğunlaşmaktadır. Basınç bir atm. e kadar düşerken enerjisini dışarı aktarmaktadır. Her iki durumun sağlıklı olarak karşılaştırılabilmesi için, aynı girdi değerleri ile çalıştırılması gerekmektedir. Bu nedenler, iki ayrı mekanizma aynı gün ve aynı yerde deneye alınarak sonuçlar elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır.



(A): Aynı anda piston çalıştığı safsu üretimi. (B): Pistonsuz doğrudan safsu üretimi
Şekil 13. Aynı günde, paralel olarak yapılan iki deneyin karşılaştırılması.

1. ve 2. Aşamadaki deney düzenekleri aynı anda çalıştırılmıştır. Amaç iş elde ederek alınan safsu miktarı ile, doğrudan elde edilen saf su miktarını karşılaştırmaktır. Doğrudan elde edilen safsu miktarı görüldüğü gibi oldukça fazladır. Deney günü güneş ışınma değerlerinin ortalamasının çok üstünde olması, pistonlarda meydana gelen az miktarda da olsa kaçaklar, aradaki farkın büyük olmasına neden olmuştur.

Aynı deney 02 Temmuz 2013 günü yapıldığında Şekil 13. de görünen sonuçlar alınmıştır. Grafikte görülen üst değerler sadece damıtık su üreten cihazdan alınan değerler, alt çizgideki değerler ise, iş üreten piston ünitesinden alınan 3 atm basınçta damıtık su üretim değerleridir. Aradaki fark ise pistondan alınan işdir.

4. Tartışma

Teorik hesaplamalarda verim daima 1 olarak kabul edilmiştir. Daha sonra yapılan deneylerle performans belirlenmiştir. Performans Şekil 11. de görüldüğü gibi % 55-75 arasındadır. Hesaplamalarda ve deneylerde karşılaşılan en büyük zorluk, sisteme gelen güneş enerjisinin

kontrol edilemeyen bir değişken olmasıdır. Bu nedenle performans sürekli değişmiştir. Yüksek tolerans değerleri kabul edilmiştir. Sistemin endüstriyel imalatına geçildiğinde daha yüksek performans değerlerinin yakalanabileceği düşünülmektedir.

Teorik hesaplamalarda gelen güneş enerjisi miktarı, yıllık ortalama değer üzerinden alınmıştır. Ancak, yaz aylarında yapılan deneylerde, günlük gelen enerjinin ortalamadan çok üstünde olduğu günlerde, verim, teorik sonuçları aşan değerlere çıkabilmiştir. Hava şartlarının günlük değişimleri nedeniyle, elde edilen çıktılar büyük farklılıklar gösterebilmiştir. Bu nedenle çıktılar aylık ortalama değerler üzerinden alınarak verim hesaplamaları yapılmıştır. (Şekil 10)

Pistonlarda zamanla oluşan kaçaklar tam olarak önlenemediği için sistem verimi gerçek değerlerinden daha az çıkmıştır.

Maksimum iş elde edebilmek için, kullanılan pistonun kolunun uzun olması düşünülmüştür. Ancak elde edilmek istenen işin karakteristiğine göre bu durum değiştirilebilir.

Kondenserde bırakılan enerjinin fazlalığı dikkat çekicidir. Bu enerji bir başka şekilde değerlendirilebilir.

Sisteme giren güneş enerjisi, GE, değeri teorik hesaplarda ortalama alınmıştır. Bu yüzden deneysel veriler bahar aylarında daha gerçekçi çıkmıştır.

Aynı sorunlar gün içinde de sözkonusu olmuştur. Havanın bulutlu olması ya da bulut geçişleri, sistemin tanımlanmasında zorluklar çıkarmıştır

Bir metre karelik bir enerji yüzeyi ile yapılan prototip, günde ortalama 5 kg safsu üretmektedir. Bunu modüler olarak çoğaltarak istenilen safsu üretim kapasitesine ulaşılabilir. Üstelik bu sistemin entegrasyonu yapıldığında maliyet oldukça düşecektir. Çünkü o zaman, istenilen yüzey alanı kadar enerji küresi yapılacaktır, ama kondenser, enerji kürelerinin toplamını kapsayacak şekilde bir adet yapılabilecektir. İş almak istenirse de tek bir silindir-piston ünitesi ile toplam iş elde edilmesi mümkün olabilecektir.

Damıtık su üretiminin yüksek enerji maliyeti olduğunu gözönüne alırsak, bu sistem ile oldukça ekonomik saf su üretmek mümkün olacaktır.

Semboller:

A	Isı transfer alanı	m ²	P	Basınç	Kpa
C _p	Sabit basınçta ısı kapasitesi	Kj/Kgr.K	r	Yarıçap	m
	Sabit	(0.068)	q	Akıfta ısı transfer hızı	KJ/s
D	Boru çapı	m		Gelen ısı	KJ
g	Yerçekimi ivmesi	981 m/s ²	q's	=h(T _s -T _{sat})=h.Te ; Enerji hızı	KJ/ s. m ²
GE	Güneş enerjisi	KJ/s. m ²	T	Sıcaklık	Te=T _s -T _{sat}
h	Bölgesel ısı transfer katsayısı	KJ/ m ² .s.K	V	Gaz	
	Faz değişim(buharlaştırma-yoğuşma)entalpisi	KJ/kg	V	Hacim	m ³
k	Kondüksiyon ısı iletim katsayısı		v	Hız	m/s
L	Uzunluk	m	μ	Viskozite	pa.s
L	Sıvı			Yoğunluk	kg/m ³
M	Molekül ağırlığı	kg/Kmol	Q	Hacimsel akış hızı	m ³ /s
N	Devir sayısı				
m	Akış kütle hızı	kg/s			

Referanslar

- [1] Frank P. Incropera, David P. DeWitt, “Isı ve kütle geçişinin temelleri,” Perdue Üniversitesi, School of mechanical engineering, ocak 2001.
- [2] J. Richard Elliott, Carl T. Lira, “Introductory chemical engineering thermodynamics,” 1998.
- [3] Robert H. Perry, Don Green, “Perry’s chemical engineers’ handbook, ” sixth edition, 1985.
- [4] R. Byron Bird, Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot, “Transport phenomena,” second edition, chemical engineering department, University of Wisconsin-Madison.
- [5] Rohsenow, W.M., Hartnett, J.P., (1973). Handbook of Heat Transfer. McGraw-Hill Book Company, 1502p. New York.
- [6] Incropera, P.F., DeWitt, D.P., (1990). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John Wiley & Sons, 919p. New York.
- [7] Walton, Jesse, D., High temperature solar energy, Georgia Institute of Technology, Atlanta-Georgia.
- [8] Solar thermal concentrating technologies, 8* International Symposium, Oct. 6-11,1996, Köln, Almanya.
- [9] Eltez, M., 1995, Activities of Solar Energy Institute in research Turkey and new developments on alternative energy, paper presented at development and application studies on renewable energy sources, the Int. Solar Eng. Appl. Workshop., Xi Wen Hua Journal, China.
- [10] Bedeaux, D.; Hermans, L. J. F.; Ytrehus, T. Slow Evaporation and Condensation. *Phys. A* **1990**, *169*, 263.
- [11] Bedeaux, D.; Smit, J. A. M.; Hermans, L. J. F.; Ytrehus, T. Slow Evaporation and Condensation. II. A Dilute Mixture. *Phys. A* **1992**, *182*, 388.
- [12] Dhole, V. R.; Linnhoff, B. Distillation Column Targets. *Comput. Chem. Eng.* **1993**, *17*, 549.