

2221

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# GÜNEŞ ENERJİSİ ile SOĞUTMA

(DOKTORA TEZİ)

Yük. Müh. M. Adnan FERVATİ

Tezin Fen Bilimleri Ens. Verildiği Tarih : 17/5/1984  
Tezin Savunulduğu Tarih : 8/8/1984

Doktorayı Yöneten Öğretim Üyesi : Doç. Dr. Refah AYBER  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Alpin K. DAĞSÖZ  
Doç. Dr. Aksel ÖZTÜRK

Tuna Ozalid Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.  
Zincirlikuyu - İstanbul  
1984

**Y. C.**  
Yükseköğretim Kurulu  
Dokümanlar Merkezi

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                                      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET                                                                                                                 | IV   |
| SUMMARY                                                                                                              | VII  |
| SEMBOLLER                                                                                                            | XIII |
| 1. GİRİŞ                                                                                                             | 1    |
| 2. TEORİK ESASLAR                                                                                                    | 5    |
| 2.1. Giriş                                                                                                           | 5    |
| 2.2.1. Güneş Işınımını Etkileyen Faktörler                                                                           | 5    |
| 2.2.2. Işınım Enerjisinin Ölçülmesi                                                                                  | 6    |
| 2.2.3. Güneş Işınımın Tesbiti                                                                                        | 7    |
| 2.2.4. Eğik Düzleme Düşen Günlük Işınım                                                                              | 7    |
| 2.2.5. Güneş Toplayıcısı                                                                                             | 10   |
| 2.2.6. Saydam Örtünün Geçirgenliği                                                                                   | 11   |
| 2.2.7. Yutucu Yüzey                                                                                                  | 12   |
| 2.2.8. Geçirgenlik-Yutuculuk Oranı                                                                                   | 14   |
| 2.3. Adsorpsiyon                                                                                                     | 14   |
| 2.3.1. Adsorpsiyon İzoterm Bağantısı                                                                                 | 15   |
| 2.3.2. Gerçek Adsorpsiyon İzotermeleri                                                                               | 16   |
| 2.3.3. Adsorpsiyon Isısı                                                                                             | 17   |
| 2.3.4. Desorpsiyon                                                                                                   | 19   |
| 2.4. Periyodik Adsorpsiyonlu Soğutma Makinası                                                                        | 19   |
| 2.5. Adsorpsiyon Çiftinin Seçilmesi                                                                                  | 22   |
| 2.6. Güneş Enerjisi İle Çalışan Adsorpsiyonlu Soğutma Sisteminde Toplayıcı Verimi Ve Sistemin Soğutma Etki Katsayısı | 24   |
| 2.6.1. Toplayıcı Verimi                                                                                              | 25   |
| 2.6.2. Sistemin Anî İç Soğutma Etki Katsayısı                                                                        | 28   |
| 2.6.3. Sistemin Anî Toplam Soğutma Etki Katsayısı                                                                    | 29   |
| 2.6.4. Sistemin Ortalama Toplam Soğutma Etki Katsayısı                                                               | 29   |
| 3. KAYNAK ARAŞTIRMASI                                                                                                | 31   |
| 3.1. Giriş                                                                                                           | 31   |
| 3.2. Adsorbentler                                                                                                    | 31   |
| 3.3. Adsorbentler                                                                                                    | 33   |
| 3.4. Sistem                                                                                                          | 34   |
| 3.4.1. Tchernev'in Sistemi                                                                                           | 34   |

## II

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.2. F.Meunier Ve J.J. Guilleminot'un İlk Sistemi                                        | 35  |
| 3.4.3. Meunier Ve Guilleminot'un İkinci Sistemi                                            | 35  |
| 3.5. Araştırmalardan Elde Edilen Sonuçlar                                                  | 36  |
| 4. DENEYLER                                                                                | 39  |
| 4.1. Deney Tesisatı                                                                        | 39  |
| 4.2. Deney Tesisatının Boyutlandırılması İle İlgili Kabuller                               | 40  |
| 4.3. Adsorpsiyon Çiftinin Seçimi                                                           | 42  |
| 4.4. Elemanların Kapasitelerinin Belirlemesi                                               | 43  |
| 4.5. Toplayıcının Şekillendirilmesi                                                        | 43  |
| 4.6. Yoğuşturucunun Şekillendirilmesi                                                      | 46  |
| 4.7. Buharlaştırıcı                                                                        | 47  |
| 4.8. Deneylerin Yapılışı                                                                   | 49  |
| 4.8.1. Zeolitin Su İle Doyurulması                                                         | 49  |
| 4.8.2. Işınım Şiddetinin Ölçülmesi                                                         | 50  |
| 4.8.3. Yoğuşma Basıncının Kontrolü                                                         | 50  |
| 4.8.4. Toplayıcı Sıcaklığının Ölçülmesi                                                    | 50  |
| 4.8.5. Yoğuşan Ve Buharlaşan Su Miktarlarının Belirlenmesi                                 | 51  |
| 4.9. Deneylerde Kullanılacak Parametrelerin Tayini                                         | 51  |
| 4.10. Deney Değişkenlerinin Tesbiti                                                        | 54  |
| 4.10.1. Işınım Şiddetinin Tesbiti                                                          | 54  |
| 4.10.2. Işınlama Başlangıcındaki Adsorpsiyon Kapasitesinin Seçimi                          | 54  |
| 4.10.3. Yoğuşma Sıcaklığının Seçilmesi                                                     | 55  |
| 5. DENEY SONUÇLARI                                                                         | 56  |
| 5.1. Bulgular                                                                              | 56  |
| 5.2. Zeolitin Adsorpsiyon Doyma Kapasitesi                                                 | 69  |
| 5.3. Adsorpsiyon Doyma Kapasitesinin $Q_r$ , $\bar{t}_c$ Ve $X_B$ Cinsinden İfade Edilmesi | 69  |
| 5.4. Toplayıcı Anî Verimi                                                                  | 79  |
| 5.5. Sistemin Anî İç Soğutma Etki Katsayısı                                                | 92  |
| 5.6. Sistemin Anî Toplam Soğutma Etki Katsayısı                                            | 92  |
| 5.7. Sistemin Ortalama Toplam Soğutma Etki Katsayısı                                       | 93  |
| 5.8. Soğutma Etki Katsayılarının Düşme Oranı                                               | 98  |
| 5.9. Sonuç                                                                                 | 105 |

III

|           |     |
|-----------|-----|
| EKLER     | 107 |
| KAYNAKLAR | 114 |
| TEŞEKKÜR  | 117 |
| ÖZGEÇMİŞ  | 118 |



## ÖZET

Güneş enerjisi genellikle kolay temin edilebildiği ve çevreyi kirletmediği için bu enerjiden yararlanma imkânlarının araştırılması günümüzde önem kazanmaktadır. Güneş ışınının en fazla olduğu zamanlarda soğutma ihtiyacının da artacağı dikkate alınır, güneş enerjisinin soğutmada kullanılması daha cazip olmaktadır.

1920-1930 yıllarında geliştirilmiş ve uygulanmış bulunan adsorpsiyonlu soğutma sisteminde güneş enerjisinin kullanılması hususu yeniden inceleme konusu olmaktadır. Bu sistem esas itibariyle adsorbent bulduğu bir jeneratör, bir yoğuşturucu ve bir buharlaştırıcıdan oluşur. Güneş enerjisi kullanılması halinde güneş toplayıcısı jeneratör vazifesini görür ve soğutma işlemi de gece gerçekleşir.

Bu çalışmada adsorpsiyonlu soğutma sisteminin davranışlarını ve bazı parametrelerinin etkisini incelemek için bir deney tesisatı kurulmuştur. Adsorbent olarak sentetik ZX-Zeoliti ve soğutucu akışkan olarak su kullanılmıştır. Sistemin soğutma gücü günde 2100 kJ olmaktadır. Sistem planlanırken laboratuvarında mevcut malzemeler göz önünde tutulmuş ve güneş toplayıcısı 980x600x60 mm boyutlarında bakırdan hermetik bir kap şeklinde yapılmış ve ön (yutucu) yüzü is ile kaplanmıştır. Isı ve kütle geçişini kolaylaştırmak üzere toplayıcı içine zeolit ile birlikte bir alüminyum petek yerleştirilmiştir. Toplayıcının çıkışı 5° eğiminde bulunan yoğuşturucu borusuna bağlanmış ve yoğuşturucu çıkışına aynı zamanda buharlaştırıcı vazifesi gören taksimatlı bir cam kap bağlanmıştır. Toplayıcı tek cam ile örtülmüş ve alt yüzeyi de 50 mm'lik cam yünü ile yalıtılmıştır. Ayrıca 700-1000 W/m<sup>2</sup> arasında bir ışınım şiddeti sağlayan ışınlama düzeni kurulmuştur. Ölçü cihazlarının kalibrasyonu yapıldıktan sonra sistem boşaltılmış ve vakum altında sızdırmazlığı sağlanmış ve zeolit su ile doyurulmuştur.

Işınlama safhasında sistem basıncı yoğuşma basıncına erişince yoğuşma başlar ve yoğuşan su kapta (buharlaştırıcı) toplanır. Adsorpsiyon (soğutma) safhasında toplayıcıda sıcaklık düşer ve basınç buharlaşma basıncına erişince kaptaki (buharlaştırıcı) su buharlaşarak çevreden ısı çekerek soğutma yapılır. Buharlaşan su tekrar zeolit tarafından yutulur. Yapılan çok sayıda desorpsiyon ve adsorpsiyon deneylerinde ışınım şiddeti  $I$ , ışınlama süresi  $Z$  (dolayısıyla ışınım enerjisi  $Q_r$ ), zeolitin başlangıç su adsorpsiyon kapasitesi  $X_B$  ve ortalama yoğuşma sıcaklığı  $\bar{t}_c$  değiştirilmiştir. Bu parametrelerin değişimi aşağıdaki esaslara göre yapılmıştır:

- İstanbul için maksimum ışınım şiddeti ve diğer literatürlerdeki ışınım şiddetleri gözönünde tutularak deneylerde  $I=900 \text{ W/m}^2$  alınmıştır.

- İstanbul için yazın günlük ışınım enerjisi dikkate alınarak  $Z=0-6$  saat seçilmiş ve dolayısıyla  $Q_r=0-11275,2 \text{ kJ}$  olmuştur.

- Pratikte adsorpsiyon (soğutma) safhasında zeolit, su buharı ile doymadan ışınlama safhası başlayabildiğinden  $X_B$  değerleri olarak: % 24,6 (doymuş), % 23,8 ve % 23 seçilmiştir.

- Adsorpsiyonlu sistemde mücadele edilen en yüksek yoğuşma sıcaklığı  $40^\circ\text{C}$  altındaki ve üstündeki durumu incelemek üzere  $\bar{t}_c=36^\circ\text{C}$ ,  $43^\circ\text{C}$  ve  $47^\circ\text{C}$  seçilmiştir.

Belirtilen değişik başlangıç adsorpsiyon kapasitesi  $X_B$  ve değişik ortalama yoğuşma sıcaklığı  $\bar{t}_c$  için ışınlama safhasında yoğuşan su hacmi  $m$ 'nin ve toplayıcının ön (yutucu) ve arka yüzey sıcaklıkları  $t_{tö}$ ,  $t_{ta}$ 'nın ışınlama süresine bağlı olarak değişmesi tablo ve diyagramlarda gösterilmiş ve irdelenmiştir. Ayrıca değişik koşullarda Zeolitin su adsorpsiyon doyma kapasitesi  $X_o$ 'nın, değişmesi de ışınım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak tablo ve diyagramlarda gösterilmiş ve irdelenmiştir.

Zeolitin su adsorpsiyon doyma kapasitesi  $X_o$ 'nın, ışınım enerjisi  $Q_r$  ve ışınlama başlangıcında zeolitin adsorpsiyon kapasitesi  $X_B$  ile ortalama yoğuşma sıcaklığı  $\bar{t}_c$ 'yi içeren

$Q_F$  ile ifade edilebileceği düşünölmüş ve büyüklükler arasındaki ilişkinin aşağıdaki şekildeki bir formöl ile verilebileceği görölmüştür:

$$X_o = 24,6 \text{ EXP } [B(Q_r - Q_F)^n]$$

Bu formöldeki sabitler deney sonuçlarından yararlanarak kom-püterde hesaplanmıştır. Deney koşullarına göre  $n$ 'in değeri yaklaşık 0,8 olmakta ve  $B$  ise ortalama yoğuşma sıcaklığına bağlı olarak farklı değeler almaktadır.

Sistemin ışınlama safhasında performansını incelemek için; toplayıcı ani verimi  $\eta_{ta}$ , ani iç soğutma etki katsayısı  $\beta_{ia}$ , sistemin ani toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_a$  ve sistemin ortalama toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_r$  değışik koşullarda kompüter yardımı ile hesaplanmıştır. Bunların ışınım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değışmeleri toblo ve diyagramlarda gösterilmiş ve irdelenmiştir.

Sistemin en büyük ortalama toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_r = \% 22$  olup başlangıç adsorpsiyon kapasitesi  $X_B$ 'nin azalan değeleri ile ortalama yoğuşma sıcaklığı  $\bar{t}_c$ 'nin artan değeleri için azaldığı görölmüştür. Ayrıca  $\beta_{ia}$  değerinin deneyler sırasında sabit kalması sonucu olarak  $t_a$  yoğuşma sırasında birim zamanda yoğuşan su miktarının toplayıcı (Zeolit) ortalama sıcaklığındaki artışı ile orantılı olduğu görölmüştür.

Deneylerde hava akımları, yaygın ışınım ve ortam sıcaklığı gibi sistemin performansını etkileyen fakat laboratuvar-da simüle edilemeyen faktörler ihmal edilmiştir. Zeolitin ışınlama başlangıcında su adsorpsiyon kapasitesinin soğutma etki katsayısına etkisini göstermek maksadı ile ani toplam soğutma etki katsayısının düşme oranı  $\epsilon_a$  ve ortalama toplam soğutma etki katsayısının düşme oranı  $\epsilon_r$  kullanılmıştır. Işınlama başlangıcında zeolitin su adsorpsiyon kapasitesi ne kadar küçük olursa soğutma etki katsayısındaki düşme oranı da o kadar büyük olmaktadır. Neticede sistemin daha etkili olabimesi için ışınlama başlangıcında zeolitin doyma durumuna mümkün olduğu kadar yakın bulunması gerekli olduğu anlaşılmıştır.

## VII

### SUMMARY

Solar energy which is available in unlimited quantity in our world has the advantage of being a clean type of energy source. In recent years, extensive work has been done on the possibility of using solar energy as an energy source in heating and cooling. The use of solar energy in a cooling system becomes especially attractive, due to the fact that solar radiation reaches a peak value when cooling is needed the most.

The adsorption cooling system was developed and used to a certain extent during the years 1920-1930. This system consists essentially of a generator containing the adsorbent, a condenser and an evaporator. The adsorption system in which solar radiation can be used as an energy source is being considered again extensively. In adsorption systems using solar energy, the solar collector works as a generator and cooling is made at night.

The scope of this work has been the setting up of a laboratory scale test apparatus to study experimentally the behaviour of adsorption cooling and to determine the effect of various parameters on its performance. ZX-Zeolite was used as the adsorbent and the cooling fluid was water vapour. The system was designed for a cooling capacity of 2100 kJ/day. In constructing the test apparatus, materials available in the laboratory have been used largely. The generator was made of hermetically sealed copper box having the dimensions of 980 x 600 x 60 mm and very similar to a flat plate solar collector. To make the collector more rigid, an aluminium web in the form of a honeycomb was placed between the plates of the collector. This set up also helped improve the heat transfer to the zeolite and the flow of vapour through the collector. A suitable condenser and



## VIII

an evaporator were added to the system. The laboratory experiments were carried out under simulation of solar radiation by using electrical bulbs placed in a special frame.

After the calibration of the measuring devices, the system was evacuated and checked against air leakage and the zeolite was then saturated with water vapour.

The system operates intermittently and its cycle consists of two phases. During the radiation phase the pressure of the system increases to the condensation pressure, which causes condensation to begin and condensate water to collect in the evaporator. During the adsorption (Cooling) phase the temperature of the collector decreases and the pressure of the system drops to the evaporation pressure. At this time the water in the evaporator begins to evaporate and draws heat from its surroundings, thus causing cooling. The evaporated water vapour is then reabsorbed by the zeolite and the system is ready for the next radiation phase.

Tests were carried out for the radiation (desorption) and adsorption (cooling) phases simultaneously and the behaviour of the system was studied under both conditions. Test parameters such as : intensity of radiation  $I$ , period of radiation  $Z$ , (also radiation energy  $Q_r$ ), initial water adsorption capacity of zeolite  $X_B$  and mean condensation temperature  $\bar{t}_c$  were selected as indicated below:

- Considering the maximum intensity of radiation for Istanbul and also those used in similar works, the intensity was made  $I = 900 \text{ w/m}^2$ .

- Considering the daily solar radiation for Istanbul, the period of radiation was taken as  $Z = 0.6$  hours. Under these conditions the incident radiation energy on the collector was  $Q_r = 0.11275,2 \text{ kJ}$ .

- In practice it is possible to begin the radiation phase before the zeolite becomes saturated with water vapour in the adsorption (cooling) phase. During the tests the initial state of the zeolite was changed and measurements were made for initial water adsorption capacity of zeolite with  $X_B = 24,6\%$  (saturated)  $23,8\%$  and  $23\%$  (unsaturated).

- Considering the maximum condensation temperatures used generally in absorption cooling system, the mean condensation temperature was taken as  $\bar{t}_c = 36^\circ\text{C}$ ,  $43^\circ\text{C}$  and  $47^\circ\text{C}$ .

The mass of condensate water collected  $m$  and the temperatures in the front and back plate of the collector  $t_{tö}$ ,  $t_{ta}$  were tabulated and shown graphically as a function of radiation period  $Z$  for different values of  $X_B$  and  $\bar{t}_c$  as indicated above. It is observed that at the beginning of the radiation phase the temperatures in the collector increases rather quickly. This increase slows down with the beginning of the condensation. The incident radiation energy on the collector, which is required to cause condensation in the system is  $Q_B$ .  $Q_B$  decreases with increasing  $X_B$  or decreasing  $\bar{t}_c$ . On the other hand, the mass of water  $m$  which condenses under a given value of the incident radiation energy  $Q_r > Q_B$  becomes less with decreasing  $X_B$  and increasing  $\bar{t}_c$ .

The water adsorption capacities of the zeolite at saturation  $X_o$  can be formulated with the following expression:

$$X_o = 24,6 e^{B(Q_r - Q_F)^n}$$

where  $n$ ,  $B$  and  $Q_F$  are factors which were evaluated using the available experimental data in a computer program. It

is found that  $n$  will take the value of a constant ( $n=0,8$ ), whereas  $B$  will be a function of the mean condensation temperature and  $Q_F$  a function of  $X_B$  and  $\bar{t}_C$ .

The values of  $X_O$  computed with the above formula have been compared with the experimental values of  $X_O$  and the results are shown in tables as well as in diagrams for changing values of  $X_B$  and  $\bar{t}_C$ . The average deviation is less than 1,35% and is evenly distributed around the experimental values.

A computer program was derived to calculate the instantaneous efficiency of the collector  $\eta_{ta}$ , the instantaneous internal coefficient of performance of the system  $\beta_{ia}$ , the instantaneous overall coefficient of performance of the system  $\beta_a$ , and the mean overall coefficient of performance of the system  $\beta_r$ . These calculations were made for various values of  $X_B$ ,  $\bar{t}_C$  and for values of  $Q_r > Q_B$ . The results have been presented numerically as well as graphically as a function of the radiation energy  $Q_r$ .

The efficiency  $\eta_{ta}$  will be high at the beginning of radiation and then will decrease with rising collector temperature or with rising radiation energy  $Q_r$ . Under the assumption that the temperature across the collector changes linearly, the internal coefficient of performance  $\beta_{ia}$  will remain constant during condensation for a given value of  $X_B$  and  $\bar{t}_C$ . Since there is no condensation at the beginning of radiation, the overall coefficient of performance  $\beta_a$  will be zero. During the first hour of condensation the mass of the condensate water collected is the largest, thus causing  $\beta_a$  to reach a maximum value.  $\beta_a$  will then decrease as radiation continues and  $Q_r$  increases. Before condensation the mean overall coefficient of performance of the system  $\beta_r$  will be zero. Similarly at the beginning of condensation,  $\beta_r$  increases rapidly and reaches a maximum

value before dropping slowly with increasing  $Q_r$ .

It was observed that the efficiency of the collector  $\eta_{ta}$  and the coefficients of performance of the system  $\beta_a, \beta_r$  generally decreased when the initial water adsorption capacity of zeolite  $X_B$  was low or the mean condensation temperature  $\bar{t}_c$  was high. In a similar way the value of the radiation energy corresponding to maximum  $\beta_a$  and maximum  $\beta_r$  decreased when  $X_B$  was high or  $\bar{t}_c$  was low.

It is seen that using solar energy directly with the test collector, the best obtainable value for  $\beta_a$  is about 27% and for  $\beta_r$  is about 22%. Since  $\beta_{ia}$  is nearly constant during condensation for given values of  $X_B$  and  $\bar{t}_c$ , the rate of condensate water collected increases with the mean temperature of the collector ( $\Delta m / \Delta \bar{t} \approx \text{constant}$ ).

The effect of the air motion surrounding the experimental apparatus, the diffuse radiation and the variation in the room temperature were neglected during the measurements.

In order to show the effect of the decrease of the initial water adsorption capacity of the zeolite on the coefficients of performance of the system, the decrease in the instantaneous coefficient of performance  $\beta_a$  and the mean overall coefficient of performance  $\beta_r$  were expressed as ratios  $\epsilon_a$  and  $\epsilon_r$ . The relation between the radiation energy  $Q_r$  and these ratios are given in the form of tables as well as diagrams for different values of  $\bar{t}_c$  and for  $X_B = 23,8\%$  and  $23\%$ . For the radiation energy  $Q_r > Q_B$  and for all the three mean condensation temperatures  $\bar{t}_c$  investigated, it was seen that  $\beta_r$  becomes  $\sim 12\%$  for  $X_B = 23,8\%$  and  $\sim 27\%$  for  $X_B = 23\%$ .

Finally it can be said that the lower the value of  $X_B$  the higher will be the decrease in the coefficients of performance, thus meaning that for better performance of

the system the zeolite must be brought to the saturation state at the beginning of the radiation phase.



## XIII

## SEMBOLLER

|           |                                                                           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|
| a         | Angström bağıntısının katsayısı                                           |
| a         | Azaltma faktörü                                                           |
| $A_c$     | Yutucu yüzey alanı ( $m^2$ )                                              |
| b         | Angström bağıntısının katsayısı                                           |
| B         | Formül katsayısı                                                          |
| $B_{ad}$  | Adsorpsiyon için uygulanan Clapeyron bağıntısının katsayısı               |
| $B_o$     | Soğutucu akışkan için uygulanan Clapeyron bağıntısının katsayısı          |
| C         | Özgül ısı ( $kJ/kg^{\circ}C$ )                                            |
| $C_p$     | Sabit basınçta özgül ısı ( $kJ/kg^{\circ}C$ )                             |
| f         | Düzeltilme faktörü                                                        |
| G         | Ağırlık (kg)                                                              |
| H         | Yatay birim düzleme düşen günlük tüm güneş ışınımı ( $kJ/m^2$ )           |
| $H_o$     | Atmosfer dışında yatay birim düzleme düşen günlük tüm ışınım ( $kJ/m^2$ ) |
| $H_s$     | Eğik birim düzleme düşen günlük tüm güneş ışınım ( $kJ/m^2$ )             |
| I         | Işınım şiddeti ( $W/m^2$ )                                                |
| $I_{sc}$  | Güneş sabiti ( $W/m^2$ )                                                  |
| $I_{sco}$ | Ortalama dünya-güneş mesafesinde güneş sabiti ( $W/m^2$ )                 |
| k         | Bağıntı katsayısı                                                         |
| $k_t$     | Berraklık indeksi                                                         |
| $k_u$     | Langmuir bağıntısının katsayısı                                           |
| m         | Optik hava kütlesi                                                        |
| $m_v$     | Yoğuşan su hacmi (ml)                                                     |
| n         | Molekül sayısı                                                            |
| n         | Gün sayısı                                                                |
| n         | Formül üssü olarak kullanılan sabit sayı                                  |
| p         | Basınç (kPa)                                                              |
| $p_o$     | Doyma basıncı (kPa)                                                       |
| $q_o$     | Toplayıcının özgül ısısı ( $kJ/^{\circ}C$ )                               |
| $q_x$     | Desorpsiyon ısısı ( $kJ/kg$ adsorbet)                                     |
| Q         | Isı enerjisi (kJ)                                                         |
| $Q_a$     | Adsorpsiyon ısısı ( $kJ/kg$ adsorbet)                                     |

## XIV

|              |                                                                                          |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q_B$        | Yoğuşmanın başlaması için toplayıcıya düşmesi gereken ışınım enerjisi (kJ)               |
| $Q_{Bt}$     | Yoğuşmanın başlaması için teorik olarak toplayıcıya düşmesi gereken ışınım enerjisi (kJ) |
| $Q_t$        | Toplayıcı ısıl kapasitesi (kJ)                                                           |
| $Q_{td}$     | Toplayıcı ısıl kapasitesi ile desorpsiyon ısısının toplamı (kJ)                          |
| $Q_1$        | Isıl kayıplar (kJ)                                                                       |
| $Q_o$        | Buharlaşma gizli ısısı (kJ/kg)                                                           |
| $Q_r$        | Toplayıcıya düşen ışınım enerjisi (kJ)                                                   |
| $Q_u$        | Faydalı ısı enerjisi (kJ)                                                                |
| $R$          | Gaz sabiti, universal (J/mol.K)                                                          |
| $S$          | Düzlemin eğim açısı (derece)                                                             |
| $t$          | Sıcaklık ( $^{\circ}C$ )                                                                 |
| $t$          | Güneşleme süresi (h)                                                                     |
| $t_o$        | Gündüz uzunluğu (h)                                                                      |
| $t_{ta}$     | Toplayıcı arka yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )                                           |
| $t_{tö}$     | Toplayıcı ön (yutucu) yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )                                    |
| $T$          | Sıcaklık (K)                                                                             |
| $W$          | Yoğuşturulabilir su buharı sütünü (mm)                                                   |
| $X_o$        | Adsorpsiyon doyma kapasitesi                                                             |
| $X_B$        | Işınlama başlangıcında zeolitin su adsorpsiyon kapasitesi                                |
| $X_{BD}$     | Işınlama başlangıcında doymuş zeolitin su adsorpsiyon kapasitesi                         |
| $Z$          | Işınlama süresi (h)                                                                      |
| $\alpha$     | Yutma katsayısı (absorptans)                                                             |
| $\beta$      | Soğutma etki katsayısı                                                                   |
| $\beta_{th}$ | Teorik soğutma etki katsayısı                                                            |
| $\beta_a$    | Ani toplam soğutma etki katsayısı                                                        |
| $\beta_{ia}$ | Ani iç soğutma etki katsayısı                                                            |
| $\beta_r$    | Ortalama toplam soğutma etki katsayısı                                                   |
| $\gamma$     | Azimut açısı (derece)                                                                    |
| $\delta$     | Deklinasyon açısı (derece)                                                               |

|               |                                                                                           |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\delta$      | Cam örtü kalınlığı (cm)                                                                   |
| $\Delta Z_o$  | Işınlama başlangıcı ile zeolit sıcaklığının yükselmeye başladığı an arasındaki süre (h)   |
| $\Delta Z_B$  | Zeolit sıcaklığının yükselmeye başladığı an ile yoğunlaşma başlangıcı arasındaki süre (h) |
| $\Delta Z_y$  | Yoğuşturucu yüzeyin su damlacıkları ile örtülmesi için gereken süre (h)                   |
| $\epsilon$    | Neşretme oranı (emitans)                                                                  |
| $\epsilon_a$  | Ani toplam soğutma etki katsayısındaki düşme oranı                                        |
| $\epsilon_r$  | Ortalama toplam soğutma etki katsayısındaki düşme oranı                                   |
| $\eta_{ta}$   | Toplayıcı ani verimi                                                                      |
| $\theta$      | Dolma oranı (degree of covering)                                                          |
| $\theta$      | Işınım düşüş açısı (derece)                                                               |
| $\theta_z$    | Zenit açısı (derece)                                                                      |
| $\lambda$     | Dalga boyu ( $\mu\text{m}$ )                                                              |
| $\rho$        | Yansım oranı                                                                              |
| $\sigma$      | Stefan-Boltzman sabiti ( $5,67.10^{-8} \text{ W/K}^4 \text{ m}^2$ )                       |
| $\sigma$      | Adsorbe edilen moleküllerin sayısı                                                        |
| $\sigma_o$    | Katı yüzeyi örten tek moleküllü gaz tabakasındaki molekül sayısı                          |
| $\tau$        | Bekleme süresi (sec)                                                                      |
| $\tau$        | Geçirgenlik oranı                                                                         |
| $\tau_a$      | Işınımın yutulmasından dolayı geçirgenlik oranı                                           |
| $\tau_r$      | Işınım yansımından dolayı geçirgenlik oranı                                               |
| $\phi$        | Enlem açısı (derece)                                                                      |
| $\omega$      | Saat açısı (derece)                                                                       |
| $\omega_s$    | Güneş doğuş açısı (derece)                                                                |
| $\omega_{sl}$ | Eğik düzlem için güneş doğuş açısı (derece)                                               |



## İNDİSLER

|      |                                       |
|------|---------------------------------------|
| ad   | Adsorpsiyon                           |
| adB  | Adsorpsiyon başlangıcı                |
| b    | Direkt ışınım                         |
| c    | Yoğuşturucu                           |
| d    | Yaygın ışınım                         |
| ç    | Çevre (ortam)                         |
| des  | Desorpsiyon (yoğuşma)                 |
| desB | Desorpsiyon (yoğuşma) başlangıcı      |
| D    | Doymuş                                |
| e    | Buharlaştırıcı                        |
| E    | Doymamış                              |
| j    | Toplayıcıda kullanılan malzeme sayısı |
| s    | Soğutucu akışkan                      |
| Z    | Adsorbent (zeolit)                    |

## 1. GİRİŞ

Güneş enerjisi çok eskiden beri bilinen bir enerji kaynağıdır. İnsanoğlu bu enerjiyi, ilkin basit ve direkt olarak tahılların kurutulmasında ve suların ısıtılmasında kullanmıştır. Zamanla güneş ışınımından yararlanma yöntemleri geliştirilmiştir ve hatta buhar makinaları döneminde aynalar kullanılarak buhar elde edilmiş ve bir matbaa çalıştırılmıştır [1].

Diğer enerji kaynakları meyanında petrol enerjisi insan yaşantısının gerektirdiği ihtiyaçların hemen hemen tümünü ucuz ve kolay bir şekilde karşılamıştır. Ancak 1973'te büyük ölçüde artmaya başlayan petrol fiyatları karşısında yeni enerji kaynaklarının araştırılması ciddi bir şekilde ele alınmış ve özellikle güneş enerjisi dikkatleri üzerine çekmiştir.

Güneşin yerkabuğuna ulaşan enerjisi yaklaşık  $1,2 \cdot 10^{12}$  GWh/yıl olur [2]. Bu enerji miktarının büyük olması, temiz olması, tükenmemesi, hemen her yerde bulunabilmesi, bakım masrafının az olması ve karmaşık bir teknolojiye gerek duyulmaması sebebiyle son zamanlarda güneş enerjisinden yararlanmak için yapılan araştırmalar yoğunlaşmıştır. Ancak güneş enerjisinden yararlanmada iki güçlük karşılaşılmaktadır. Birincisi, yeryüzüne düşen ışınımın zamana bağlı olarak değişmesi, ikincisi ise ışınım şiddetinin düşük olmasıdır. Bu güçlüklerin giderilmesi için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır.

Güneş enerjisinin ekonomik bir şekilde kullanılabilir enerji türüne dönüşmesinin sağlanması için kullanım yerinde yıl boyunca şiddet ve ışınım periyodlarının bilinmesine gerek vardır. Ayrıca güneş ışınımı doğrudan doğruya kullanılabilir enerjiye çevrilmesi tercih edilmektedir [3,4,5,6].

Genel olarak güneş enerjisi ile çalışan soğutma sistemleri, ısıtma sistemlerine nazaran daha karmaşık olduğundan daha yavaş gelişmektedir. Buna karşılık soğutma ihtiyacı, güneş ışınımının bol olduğu zamanlarda daha fazla olmak-

tadır. Bu durumda soğutmada güneş enerjisinden yararlanmak ısıtmaya nazaran daha uygun olur [7].

Soğutma işleminde, termodinamik çevrim gereğince, soğuk ortamdaki (buharlaştırıcı) sıcak ortama (yoğuşturucu) ısı taşınmaktadır. Bu ısının taşınmasını sağlamak için, ya mekanik enerji (kompresiyonlu çevrim) ya da ısı enerjisi (sorp-siyonlu çevrim) kullanılabilir [5,8].

Günümüzde güneş enerjisi ile soğutmayı gerçekleştirmek için aşağıdaki yöntemler uygulanmaktadır [2,5,6,7,9,10].

- Güneş enerjisi mekanik işe dönüştürülerek kompresiyonlu soğutma yapılması

- Fotovoltaik piller ile elektrik enerjisi üreterek kompresiyonlu soğutma yapılması

- Güneş toplayıcısından elde edilen sıcak su ile jeneratörün ısıtılması ve absorpsiyonlu sistemle soğutma yapılması (Lityum bromid-Su, su-amonyak sistemleri gibi)

- Jeneratörde katı adsorbent kullanarak adsorpsiyonlu sistemle soğutma yapılması

Adsorpsiyonlu soğutma sistemi, katı-gaz çifti olarak alkali metal kloridleri-amonyak kullanılmak suretiyle 1920-1930 senelerinde Avrupa'da geliştirilmiştir [5]. Genellikle periyodik olarak çalışan böyle bir sistem adsorbenti ihtiva eden bir jeneratör ile bir yoğuşturucu ve buharlaştırıcıdan oluşur ve sistem dışarıya karşı yalıtılmıştır. Jeneratöre ısı verilerek buhar (soğutucu akışkan) adsorbentten desorbe edilir ve sistemin basıncı yükselir. Bundan sonra buhar, yoğuşturucuda yoğuşturulur ve sıvı halde buharlaştırıcıda toplanır. Jeneratörün ısıtılması durduktan sonra sistem soğur ve basıncı düşer. Basınç buharlaşma basıncına düşünce, sıvı çevreden ısı çekerek buharlaşır ve katı adsorbent yeniden buharı emer [11,12]. Bu sistem günümüzde de basit olması nedeniyle güneş enerjisi tatbikatında yeniden önem kazanmaya başlamıştır. Ancak jeneratörün ısıtılması güneş ışınımı ile yapılır.

Güneş enerjisinden yararlanarak ve çeşitli toplayıcılar vasıtası ile elde edilen ısı veya elektrik enerjisini kullanarak gerek mekanik soğutma ve gerekse absorpsiyonlu soğutma yapılmasında toplam soğutma etki katsayısı  $\beta$  bir günde ortalama % 15 üzerine çıkamamaktadır. Bunun yerine adsorpsiyonlu soğutma sisteminde güneş toplayıcısı buhar jeneratörü olarak kullanıldığı zaman toplam soğutma etki katsayısı %15'in üzerine çıkabilmektedir. Absorpsiyonlu sistemde güneşten başka bir ısı kaynağı kullanarak, jeneratör sıcaklığı 120-150°C yapıldığı zaman ve yoğuşma sıcaklığı 30°C olursa  $\beta$  %70-80'e kadar yükselebilir. Halbuki ısı kaynağı olarak düz toplayıcı kullanılıncaya erişebilecek jeneratör sıcaklığı 90°C'nin altında olur. Ayrıca % 50 civarında bir toplayıcı verimi söz konusu olduğundan neticede soğutma etki katsayısı % 15 düzeyinde kalır [5,7,13,14].

Adsorpsiyonlu soğutma sistemin diğer sistemlere nazaran daha etkili olması yanında bu sistemin yüksek yoğuşma sıcaklıklarında da soğutma etki katsayısının fazla azalmadığı görülür. Dolayısıyla sıcak iklimlerde adsorpsiyonlu sistemde hava ile soğutulan yoğuşturucu kullanılabilir. Ayrıca bu sistemde katı adsorbent, jeneratörde kaldığından pompaya dolayısıyla hareketli parçalara ihtiyaç göstermez. Neticede bakım masrafları ihmal edilebilecek derecede düşük olur [5, 8,15,16,17,18,19].

#### Çalışmanın Amacı:

Adsorpsiyonlu soğutma sisteminin mekanizması karmaşık olduğundan olayı ifade etmek için kullanılan denklemlerin çözümü güç olmaktadır. Bu bakımdan sistemin özelliklerini aydınlatmak için deneysel sonuçlardan yararlanılması gerekli olur [16].

Güneş ışınımının zamana bağlı olarak değişmesi ve ışınımın bulutlardan ve rüzgar durumundan etkilenmesi laboratuvarlar dışında sistemin denemesini zorlaştırmakta ve dolayısıyla pahalı bir tesisat gerektirmektedir. Bu nedenle güneş ışınımı ile ilgili olarak rasathanelerde toplanan ölçme ne-

ticelerini kullanarak yapay ışınlama ile güneş ışınının simülasyonunu yapmak ve böylece deneyleri yürütmek daha uygun olmaktadır. Bu çalışmada da böyle bir yol takip edilmiştir.

Bu çalışmada tane halinde bulunan ZX-zeoliti adsorbent olarak kullanılmış ve periyodik adsorpsiyonlu bir soğutma sistemini geliştirilmiştir. İstanbul için güneş ışınımının simülasyonu yapılarak sistemin çalışmasını ve çeşitli değişkenlerin soğutma etki katsayısı üzerindeki etkisini incelemek amaç edinilmiştir.



## 2. TEORİK ESASLAR

### 2.1. Giriş

Bu bölümde güneş enerjisi ile çalışan adsorpsiyonlu soğutma sistemleri teorik olarak ele alınacak ve uygulama bakımından en uygun çözüme ulaşabilmek için izlenmesi gereken yolun belirlenmesine çalışılacaktır. Bu amaçla önce güneş ışınımının özellikleri ve yutulma şekli ile sistemde ısı ve kütle transferini sağlayan adsorpsiyon olayına kısaca göz atılacak ve sistemin çalışma prensibi, adsorpsiyon çiftinin seçilmesi ve sistemin performansının değerlendirilmesi konularına değinilecektir.

#### 2.2.1. Güneş Işınımını Etkileyen Faktörler

Güneş tarafından neşr olan ışınımlardan atmosfer dışında (ortalama dünya-güneş mesafesinde) bu ışınma dik durumda bulunan birim düzleme düşen güneş ışınımı  $1353 \text{ W/m}^2$  dir. Bu değer güneş sabiti adını alır ve  $I_{SCO}$  ile gösterilir. Atmosfer dışındaki ışınımın yüzde 99 kadarının dalga boyu 0,2 ila 4  $\mu\text{m}$  arasındadır, ve spektrum dağılımı 5762 K sıcaklığındaki siyah cismin spektrum dağılım eğrisine çok yakındır. Fakat yeryüzüne gelen güneş ışınımı miktarı ve dalga boyları genellikle aşağıdaki etkenlere bağlı olarak değişir:

- Yıl boyunca dünya güneş mesafesi değişir. Bu nedenle yazın,

$$I_{SC} = I_{SCO} (1-0,03) \quad (2.1)$$

kışın ise,

$$I_{SC} = I_{SCO} (1+0,03) \quad (2.2)$$

değerlerini alır.

- Güneş ışınının geçtiği optik hava kütlesi  $m$ , zenit açısı  $\theta_z$ 'ye bağlıdır.  $\theta_z < 70^\circ$  için deniz seviyesinde,

$$m = 1/\cos \theta_z \quad (2.3)$$

eşitliğine göre hesaplanır.

- Atmosferdeki hava molekülleri, su buharı ve tozların etkisiyle ışınım dağılır.

- Atmosferde, kızıl ötesi ışınının bir kısmı  $H_2O$  ve  $CO_2$ , görülen ışınının bir kısmı  $H_2O$  ve mor ötesi ışınının bir kısmı da ozon tarafından yutulur.

- Işınım enerjisi, ışınının düzleme düşüş açısı  $\theta$ 'ye bağlıdır.  $\theta$  ile, deklinasyon açısı  $\delta$ , saat açısı  $\omega$ , enlem açısı  $\phi$ , azimut açısı  $\gamma$  ve düzlemin eğim açısı  $S$  arasında

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos S - \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin S \cdot \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos S \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin S \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega \\ & + \cos \delta \cdot \sin S \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \end{aligned} \quad (2.4)$$

bağıntısı bulunur.

- Işınım bulutlardan etkilenir.

- Çevreden olan yansıma ışınımı etkiler.

Belirtilen bu etkenlerin hepsinin tesirini teorik olarak hesaplamak zordur. Bu sebeple, güneş ışınımı hesaplarında, daha çok, ölçülen güneş ışınımı verilerinden yararlanarak geliştirilen ampirik bağıntılar kullanılır [20,21,22].

### 2.2.2. Işınım Enerjisinin Ölçülmesi

Yeryüzüne direkt olarak gelen güneş ışınımı  $H_b$  ile, yaygın olarak gelen güneş ışınımı  $H_d$  ile gösterilirse yatay yüzeye düşen tüm ışınım için,

$$H = H_b + H_d \quad (2.5)$$

eşitliği yazılabilir. Bu büyüklüklerin en emin bir şekilde belirlenmesi ölçmek ile olur. Işınım miktarını hesaplamak

için verilen yöntemler de bu ölçmelere dayanır. Sözü geçen ölçmeleri yapan geliştirilmiş cihazların başlıcaları Piranometre (solarimetre) dir. Solarimetre ile toplam ışınım enerjisi ölçüldüğü gibi, gölgede yaygın ışınım enerjisi de ölçülür. Pirheliometre ise, yalnız direkt ışınım enerjisinin ölçülmesinde kullanılır. Genellikle bu ölçmeler yatay yüzey için gerçekleştirilir. Özel hallerde eğik yüzeylerde ölçme yapmak ta mümkündür [23].

### 2.2.3. Güneş Işınımının Tesbiti

Genellikle yatay düzleme düşen tüm ve direkt güneş ışınım değerleri, uzun yıllar yapılan ölçmelerde elde edilen değerlerini ortalamasından yararlanarak bulunur. Bu değerlere dayanarak gün boyunca ve yıl boyunca ışınımın değişimi veren çok sayıda bağıntı geliştirilmiştir. Ölçüm yapılmayan yerlerde benzer özellikleri haiz yerler için bulunan bağıntılar kullanılabilir.

Pratikte, birim yatay düzleme düşen anlık ışınım şiddeti değerleri veya daha çok, aylık ortalamaları esas alan gün boyunca birim yatay düzleme düşen toplam ışınım değerleri kullanılır. Örneğin, İstanbul için 23 Haziran 1982 gününde saatlik tüm ışınım değerleri (I ışınım şiddeti) (Tablo 2.1)'de, 1982 yılı boyunca aylık ortalama esasına göre günlük tüm ışınım değerleri ise (Tablo 2.2)'de verilmiştir. Pratik olarak anlık tüm güneş ışınımı, günlük toplam tüm güneş ışınımını kullanarak hesaplanır. Eğer anlık ışınım şiddetinin gün boyunca değişimi bilinirse integral yolu ile günlük ışınım hesaplanabilir [21,24].

### 2.2.4. Eğik Düzleme Düşen Günlük Işınım

Eğik düzleme düşen ışınım, yatay düzleme düşen direkt ve yaygın ışınım değerlerine, gözönüne alınacak güneş açısına, enlem açısına ve düzlemin eğim açısına bağlı olarak hesaplanır. Düzlemin gün boyunca yutabileceği ışınım enerji-



Tablo 2.1  
İstanbul için 23 Haziran 1982 gününde  
saatlik tüm ışınım şiddeti [24].

|                          |     |     |     |     |     |      |       |       |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|
| Saat                     | 4-5 | 5-6 | 6-7 | 7-8 | 8-9 | 9-10 | 10-11 | 11-12 |
| I(Cal/cm <sup>2</sup> h) | 0   | 2   | 12  | 27  | 39  | 47   | 55    | 60    |

|                          |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Saat                     | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 |
| I(Cal/cm <sup>2</sup> h) | 62    | 61    | 55    | 49    | 40    | 28    | 17    | 6     |

Tablo 2.2  
İstanbul için 1982 yılında günlük tüm ışınım [24].

|                            |    |     |     |     |     |     |
|----------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ay                         | 1  | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
| H(Cal/cm <sup>2</sup> gün) | 93 | 129 | 199 | 276 | 377 | 471 |

|                            |     |     |     |     |     |    |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| Ay                         | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12 |
| H(Cal/cm <sup>2</sup> gün) | 430 | 370 | 305 | 183 | 124 | 75 |

sini maksimum yapmak için düzlem güneye ( $\gamma=0$ ) yöneltir.

Yeryüzünde bulunan ve yatay ile S açısı yapan güneye yönlendirilmiş bir düzlemin birim alanına gelen günlük tüm ışınım miktarı  $H_s$  ile gösterilirse,

$$H_s = H_{sb} + H_d \left( \frac{1+\cos S}{2} \right) + H_p \left( \frac{1-\cos S}{2} \right) \quad (2.6)$$

bağıntısı yazılabilir.

Bu bağıntıdaki birim eğik düzleme gelen günlük direkt ışınım miktarı  $H_{sb}$

$$H_{sb} = H_b \cdot \bar{R}_b \quad (2.7)$$

ile hesaplanır. Burada  $H_b$  yatay düzlemin birim alanına gelen günlük direkt ışınımın değeri olup aylık ölçmelerin ortalaması olarak alınır veya mevcut bağıntılar ile hesaplanır  $H_b$ 'nin hesaplanması için

$$H_b = \frac{t}{t_o} H_o [0,6714 - 0,00423 W + 0,223 \ln \cos(\phi - \delta)] \quad (2.8)$$

şeklindeki bir ampirik bağıntı kullanılabilir [25]. Bu bağıntıda  $t$  güneşleme süresi,  $W$ (mm) yoğunlaştırulabilir su buharı sütünü olur. Aynı bağıntıda  $\delta$ , deklinasyon açısı olup 1. Ocaktan itibaren gün sayısı  $n$ 'ye bağlı olarak

$$\delta = 23,45 \sin \left[ 360 \frac{284 + n}{365} \right] \quad (2.9)$$

ile hesaplanır. (2.8) bağıntısındaki  $t_o$  ise, gündüz uzunluğu olup güneş batış (doğuş) açısı  $\omega_s$ 'yi derece cinsinden

$$\omega_s = \arccos [-\operatorname{tg}\phi \cdot \operatorname{tg}\delta] \quad (2.10)$$

kullanarak

$$t_o = \frac{2}{15} \omega_s \quad (2.11)$$

eşitliğinden saat cinsinden bulunur.  $H_o$  da atmosfer dışında yatay birim düzleme gelen günlük tüm ışınımdır ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$H_o = \frac{24}{\pi} I_{sco} f \left[ \cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \frac{2\pi}{360} \omega_s \sin\phi \sin\delta \right] \quad (2.12)$$

Bu bağıntıdaki  $f$  düzeltme faktörü

$$f = 1 + 0,033 \cos \left( \frac{360}{365} n \right) \quad (2.13)$$

eşitliği ile hesaplanır. (2.7) bağıntısındaki  $\bar{R}_b$  faktörünü hesaplamak için

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi-S)\cos\delta \sin\omega_{sl} + \frac{\pi}{180} \omega_{sl} \sin(\phi-S)\sin\delta}{\cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin\phi \sin\delta} \quad (2.14)$$

bağıntısı kullanılır [3]. Burada eğik düzlem için batış açısı  $\omega_{sl}$

$$\omega_{sl} = \min(\omega_s, \omega_s^*)$$

ile bulunur. Burada  $\omega_s$ , (2.10) bağıntısı  $\omega_s^*$

$$\omega_s^* = \arccos[-\operatorname{tg}(\phi-S) \cdot \operatorname{tg}\delta] \quad (2.15)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Yatay düzleme gelen aylık ortalama günlük tüm güneş ışınımı  $H$ , ölçülen değerlerden veya mevcut ampirik bağıntılardan bulunur. Bu bağıntılar içinde en yaygını,

$$H = H_0 \left( a + b \frac{t}{t_0} \right) \quad (2.16)$$

eşitliği ile verilen Angström bağıntısıdır. Burada  $a$  ve  $b$  söz konusu bölgeye bağlı sabitlerdir.  $H/H_0$  oranına berraklık indeksi denir ve  $k_t$  ile gösterilir.

Yatay düzleme gelen yaygın ışınım,  $H$  ve  $H_b$ 'nin hesaplanan değerlerinin farkı alınarak veya Page bağıntısı kullanılarak bulunur. Page, yaygın ışınımın berraklık indeksi ile değişimini,

$$H_d = H (1 - 1,13 k_t) \quad (2.17)$$

eşitliği ile vermiştir. (2.6) bağıntısındaki  $\rho$  ise, çevrenin yansıma oranı olup, bitki örtüsüne, topografik yapıya ve kar durumuna bağlı olarak değişir [20,21,23].

#### 2.2.5. Güneş Toplayıcısı

Güneş ışınımından yararlanmanın en basit şekli sabit düzlemsel toplayıcılar kullanışı olur. Pratikte toplayıcının optimum azimut açısı  $\gamma$  sıfır ve eğim açısı  $S=0$  olarak alınır. Ayrıca toplayıcının eğim açısı yazın  $S=0-(10^\circ$  ila  $15^\circ)$  kışın

ise  $S=0+(10^\circ \text{ ila } 15^\circ)$  alınırsa daha fazla ışınlım yutulması sağlanır. Bir düz toplayıcı genellikle aşağıdaki kısımlardan ibarettir [20,21].

- Güneş ışınlımı geçiren ve ısıl kayıpları azaltan saydam örtü,
- Işınlımı yutan siyah boyalı (yutucu) düz madeni levha,
- Isıtılacak madde (yutucu levhanın arkasında tutulur),
- Dış ortamdan muhafaza eden bir yalıtım tabaka (kasa).

#### 2.2.6. Sadyam Örtünün Geçirgenliği

Toplayıcıda kullanılan saydam örtünün (camın) vazifesi ışınlımı yutmadan geçirmek ve aynı zamanda yutucu yüzeyin dış ortama ısı kaybını azaltmaktır.

Sadyam örtüden geçerken ışınlım şiddeti, yansıma ve yutulma sebebiyle azalır. Neticede geçirgenlik oranı, basit olarak

$$\tau = \tau_r \cdot \tau_a \quad (2.18)$$

şeklindeki bağıntı ile hesaplanır.

Sadyam örtünün iki yüzeyi arasındaki yansımadan sonra geçen ışınlım oranını belirten  $\tau_r$ , iki yüzün yansıma oranlarına bağlıdır. Aynı ortamda (havada) bulunan örtü için, her iki yüzeyde yansıma oranı  $\rho$  aynı değeri alacağından

$$\tau_r = \frac{1 - \rho}{1 + \rho} \quad (2.19)$$

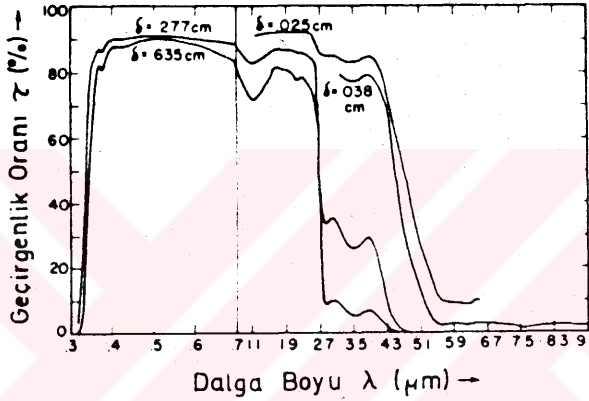
bulunur.

Işınlım  $\delta$  aralığında ve azaltma katsayısı  $a$  olan bir tabakadan geçerken  $\tau_a$  oranında yutulur ve,

$$\tau_a = e^{-a \delta} \quad (2.20)$$

eşitliği yardımı ile hesaplanır.

Gerçekte  $\tau$ , kırılma indisi  $n$  ve azaltma katsayısı  $a$ 'nın fonksiyonu olduğundan aynı zamanda  $\lambda$ 'nın da fonksiyonu olur. Örnek olarak demir oksid oranı 0,1 olan bir cam için geçirgenlik oranı  $\tau$ 'nun dalga boyu  $\lambda$ 'ya bağlı olarak değişimi (Şek. 2.1)'de verilmiştir. Görüldüğü gibi camlar genellikle güneş ışınımını büyük oranda geçirirken, yüksek dalga boyundaki ışınım camdan geçmez [20].



Şek. 2.1: Demir oksid oranı 0,1 olan bir cama ait geçirgenlik oranı  $\tau$ 'nun dalga boyu  $\lambda$ 'ya bağlı olarak değişmesi [20].

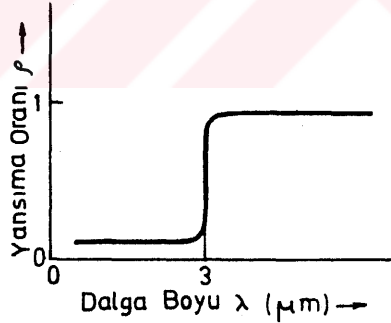
### 2.2.7. Yutucu Yüzey

Saydam olmayan bir yüzeye düşen belirli dalga boyundaki ışınımın bir kısmı yutulur diğer kısmı ise yansır. Yutulan ışınım şiddetinin düşen ışınım şiddetine oranı, bu yüzeyin yutma katsayısı  $\alpha$  ile ifade edilir. Bu katsayı, yüzeyin özelliğine ve düşen ışınımın dalga boyuna ve geliş açısına bağlıdır. Neşretme oranı  $\epsilon$  ise, yüzeyden belirli bir sıcaklıkta neşrolan ışınım şiddetinin aynı sıcaklıktaki siyah cismin neşrettiği ışınım şiddetine oranıdır. Bu oran yüzey durumuna, sıcaklığına ve ışınımın yönüne bağlıdır. Aynı şekilde yansıyan ışınım şiddetinin düşen ışınım şiddetine oranı yü-

zeyin yansımaya oranı  $\rho$  ile gösterilir. Yansımaya oranı, yüzeyin durumuna ve düşen ışınımın dalga boyu ile yönüne bağlıdır. Kirchhoff kanununa göre, ısı dengesinde, belirli bir dalga boyunda ve belirli bir yöndeki ışınım için yüzeyin yutma ve neşretme oranları birbirine eşittir.

Siyah boya'nın güneş ışınımını yutma oranı yüksek olduğu gibi ( $20 + 120^{\circ}\text{C}$ ) sıcaklıklarında ışınım neşretme oranları da (uzun dalga boylu ışınım yutuculuğu) büyüktür. Örneğin, mat siyah boyanın normal doğrultuda yutma oranı 0,94-0,98, ve neşretme oranı 0,88 dir. İsin normal doğrultuda yutma oranı ise 0,98 ve neşretme oranı 0,95 dir.

Toplayıcının yutucu levhasına düşen güneş ışınımını en büyük oranda toplamak için, levhanın yutuculuğu yüksek ve neşrediciliği düşük olmalıdır. Yani dalga boyları  $0,3-3 \mu\text{m}$  olan güneş ışınımı büyük oranda levha tarafından yutulmalı ve levhanın bulunduğu sıcaklık sınırları içinde  $3 \mu\text{m}$ 'den büyük dalga boyunda neşrolan ışınım minimum olmalıdır.



Şek. 2.2: İdeal bir yutucu yüzeyin yansımaya oranı  $\rho$ .

Güneş ışınımını büyük oranda yutan ve kendi sıcaklığında az ışınım neşreden yüzeye seçici yüzey denir. Başka bir deyimle ideal bir yutucu levhanın  $0,3 \mu\text{m}$  dalga boylarında yansımaya oranı  $\rho$  sıfıra yakın ve  $3 \mu\text{m}$ 'den büyük dalga boylarında da 1'e yakın olmalıdır. Dolayısıyla (Şek. 2.2)'de

görüldüğü gibi yüzeye dik ışınım ve  $\lambda < 3 \mu\text{m}$  için  $\alpha$ 'nın bire ve  $\lambda > 3 \mu\text{m}$  için  $\epsilon$ 'un sıfıra gittiği görülür. Pratikte  $\alpha/\epsilon$  büyüklüğüne seçicilik oranı adı verilir. Bu oran pratikte ancak 13'e kadar yükselebilir yalnız yapılan seçici yüzeylerde neşretme oranı düşerken, yutma oranı da kısmen düşer ve dolayısıyla  $\alpha/\epsilon$  oranının büyüklüğü çoğu zaman seçici yüzeyin daha iyi olduğunu belirtmez. Diğer taraftan seçici yüzeyler dayanıklı değildir [20,21,22,26].

### 2.2.8. Geçirgenlik-Yutuculuk Oranı

Saydam örtüden geçen ışınım levha tarafından  $\alpha$  oranında yutulur.  $(1-\alpha)$  oranında kalan kısım ise örtüye yansır ve örtü tarafından tekrar yaygın ışınım olarak  $\rho_d$  oranında levhaya gönderilir. Bu işlem böylece tekrarlanır. Neticede cam örtüden geçen ve gerçekte levha tarafından yutulan ışınım için aşağıdaki geçirgenlik-yutuculuk oranı gösterilir.

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1 - (1-\alpha)\rho_d} \quad (2.21)$$

Yüzey alanı  $A_c$  olan bir yutucu levhanın yuttuğu direkt ve yaygın ışınımın toplamı, faydalı ısı  $Q_u$ , toplayıcının ısınmasına harcanan  $Q_t$  ısı ve çevreye kayıp edilen  $Q_l$  ısılarının toplamına eşit olup,

$$A_c \{ [H_s(\tau\alpha)]_b + [H_s(\tau\alpha)]_d \} = Q_u + Q_t + Q_l \quad (2.22)$$

eşitliği yazılır [20].

### 2.3. Adsorpsiyon

Gaz moleküllerinin bir katı yüzey tarafından kimyasal bileşim teşkil etmeden, yutulması olayına adsorpsiyon denir. Adsorbe edilen gaza adsorbet, adsorbe eden katı yüzeye adsorbent denir.

Adsorpsiyon olayı tabiatta ve birçok bilim dalında önemli rol oynar. Adsorbent, soğutma tekniğinde de soğutucu akışkanı sıcaklığa bağlı olarak emen ve geriye veren bir pompa vazifesi görür.

Adsorbe edilen gazın kütlesi gazın cinsine, olaydaki sıcaklığa, basınca ve adsorbentin yapısına bağlıdır [8,27, 28].

### 2.3.1. Adsorpsiyon İzoterm Bağıntısı

Adsorpsiyon izoterm bağıntısını elde edilmesinde: katı yüzeyin (adsorbentin)  $1 \text{ cm}^2$  serbest alanına 1 saniyede  $n$  molekül çarptığı, çarpan moleküllerin bir kısmının hızlarının sıfıra düştüğü ve kinetik enerjilerinin  $Q_a$  adsorpsiyon ısısına dönüştüğü ve burada  $\tau$  saniye kadar kaldıktan sonra buharlaştığı ve moleküllerin diğer kısmı ise elastik olarak yansıdığı varsayılmıştır. Buna göre denge durumunda yüzeye düşen moleküllerin sayısı aynı yüzeyden buharlaşan moleküllerin sayısına eşit olur ve katı yüzey üzerindeki gazın konsantrasyonu artar. Böylece gazın denge durumu yüzeyin denge şartlarındaki doyma durumuna tekâbül eder. Ayrıca gazların adsorpsiyon ısıları buharlaşma gizli ısıları mertebesinde olduğundan, gaz molekülünü yüzeye bağlayan kuvvet, sıvı haldeki molekülleri birbirine bağlayan Van der Waals kuvvetleri mertebesinde olur.

Bundan ayrı olarak Langmuir, yüzeyin tümünü tek molekül kalınlığındaki bir gaz tabakası ile örtecek molekül sayısı  $\sigma_0$  olduğunu ve daha önce adsorbe edilen moleküllerin üzerine düşen yeni moleküllerin adsorbe edilmeden yansıdığını kabul etmiş ve  $1 \text{ cm}^2$  de bulunan (adsorbe edilen) moleküllerin sayısını veren

$$\sigma = n \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_0}\right) \tau \quad (2.23)$$

bağıntısından hareketle kendi adı ile anılan



$$\theta = \frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{k_u p}{1 + k_u p} \quad (2.24)$$

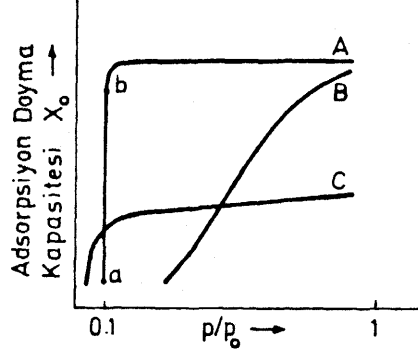
şeklindeki adsorpsiyon izoterm bağıntısını elde etmiştir. Bu bağıntıda  $\theta$  dolma oranı (degree of covering) ve  $p$  gazın basıncıdır.  $k_u$  katsayısı ise çiftin özelliğinin ve yüzey sıcaklığının bir fonksiyonudur.

Bazı çiftler için ve yüksek basınçlarda Langmuir'in bağıntısı ile hesaplanan  $\theta$  değerleri deneysel olarak elde edilen izotermlere uymaz. Çünkü gerçekte adsorpsiyon olayında yüzey üzerinde birden fazla molekül tabakası teşekkül eder ve bu molekül tabaka sayısı gözenekli cisimlerde kanal çapı ile sınırlıdır. Dolayısıyla gerçeğe daha iyi yansıtan ve daha yüksek basınçlarda da geçerli olacak hipotezlere gerek duyulmuş ve bu yönde çalışmalar yapılmıştır [27,28].

### 2.3.2. Gerçek Adsorpsiyon İzotermleri

Güneş enerjisi tatbikatlarında rastlanan adsorbentlerin gerçek adsorpsiyon izotermleri ancak deney yolu ile bulunur. Ayrıca pratikte, dolma oranı  $\theta$  yerine, adsorbentin belirli bir denge durumuna tekabül eden adsorpsiyon doyma kapasitesi kullanılır. Adsorpsiyon doyma kapasitesi adsorbedilen gazın ağırlığının adsorbentin ağırlığına oranıdır ve  $X_0$  ile gösterilir. Güneş enerjisi açısından adsorbentlerin adsorpsiyon izotermlerini iki grupta toplamak mümkündür (Şek. 2.3)'te görülen B eğrisi, silikajel ve bazı karbonlar gibi adsorbentlerin örnek izoterm eğrilerini gösterir. C eğrisi ise zeolitlerin örnek izoterm eğrilerini göstermektedir. Adsorbentlerin izotermleri adsorbentin yapısına ve içindeki kılcal ağın çapına bağlıdır. Silikajel ve aktif kömür gibi adsorbentlerin gözenek boyutları  $10\text{Å}^\circ - 1000\text{Å}^\circ$  gibi çok geniş sınırlar içinde değişirken, farklı zeolitin kristal yapısına bağlı olarak,  $3\text{Å}^\circ$  ile  $10\text{Å}^\circ$  sınırlar içinde tek bir kanal çapı vardır. Bu nedenle zeolitlere moleküler elekler (sieves) denilmektedir. (Şek. 2.3)'te görüldüğü gibi zeolitlerin düşük basınçlardaki adsorpsiyon doyma kapasitesi di-

ğer adsorbentlere nazaran daha büyük olmaktadır.



Şek. 2.3: Adsorpsiyon izotermleri örnekleri.

Doymamış bir adsorbentin adsorpsiyon kapasitesinin birim zamandaki artma miktarına adsorpsiyon hızı, doymamış bir adsorbentin belirli koşullarda doyma durumuna erişmesi için geçen zamana da adsorpsiyon süresi denir [8,16,29] .

### 2.3.3. Adsorpsiyon Isısı

Kuru bir katı yüzeyde ilk adsorbe edilen moleküller, maksimum, en son adsorbe edilen moleküller ise minimum adsorpsiyon ısısı verirler. Dolayısıyla adsorpsiyon ısısı, adsorbe edilen moleküllerin sayısına yani adsorpsiyon doyma kapasitesine bağlı olur.

Adsorbe edilen gaz moleküllerinin sayısı sabit tutulduğunda basıncın sıcaklığa bağlı olarak değişmesini veren eğrilere izoster eğrileri adı verilir. Bu eğriler,

$$p = k \sqrt{T} \cdot e^{-Q_{izos}/RT} \quad (2.25)$$

izoster bağıntısı yardımı ile elde edilirler. burada k, adsorbe edilen moleküllerin sayısına bağlı bir katsayı, R gaz sabitesi ve  $Q_{izos}$  ise izoster adsorpsiyon ısısı olur.  $\sqrt{T}$ 'in te-

siri e'nin kuvveti yanında ihmal edilebilirse izoster bağıntısı

$$\ln p = - \frac{Q_{izos}}{RT} + B_{ad} \quad (2,26)$$

şekline dönüşür. (2.26) bağıntısına göre p, 1/T'nin lineer bir fonksiyonu olur ve buhar basıncı doğrusunun eğimi  $Q_{izos}$  izosterik adsorpsiyon ısısını verir.

Diğer yönden gazın sıvısı ile dengede bulunduğu (doyma hali için) basınç ile sıcaklık arasında

$$\ln p_0 = \frac{-Q_0}{RT} + B_0 \quad (2,27)$$

bağıntısı geçerlidir. burada  $Q_0$  buharlaşma gizli ısısı olup  $B_0$  sabit bir sayıdır.

Görüldüğü gibi her iki denge mekanizmasının birbirlerine benzemesi neticesinde elde edilen bağıntılar da birbirlerine benzemekte ve her iki hale de Clapeyron bağıntısı uygulanabilmektedir.

Temiz (kuru) bir yüzey tarafından adsorbe edilen  $\sigma$  sayıda molekül  $Q_{int}$  integral adsorpsiyon ısısını vererek yüzeyin sıcaklığını yükseltir. Diğer taraftan belirli bir sıcaklıkta bir molekülün verdiği difransiyel adsorpsiyon ısısı

$$Q_{dif} = \left( \frac{dQ_{int}}{d\sigma} \right)_T \quad (2,28)$$

eşitliği ile bulunur.

Adsorpsiyon ısısı kalorimetre ile ölçülürken sıcaklık sabit tutulduğundan  $Q_{dif}$ 'e ilave olarak RT kadar iş harcamaktadır. Dolayısıyla

$$Q_{izot} = Q_{dif} + RT \quad (2,29)$$

eşitliği yazılabilir. RT değeri  $Q_{izot}$ 'ye kıyasla küçüktür. Bir kalorimetre yardımı ile ölçülen adsorpsiyon ısısı  $Q_a$ ,  $Q_{izot}$  ile  $Q_{dif}$  arasında bir değer alır. Diğer taraftan

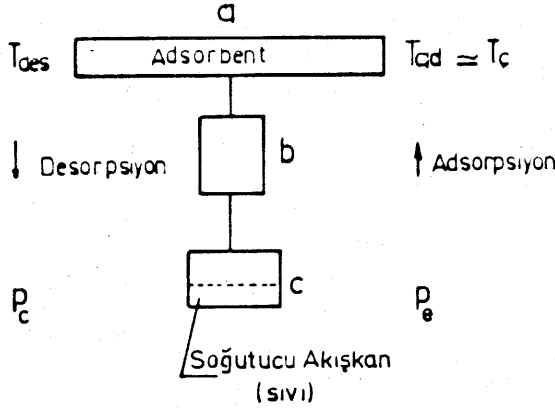
termodinamikten bilindiği gibi izoster adsorpsiyon ısısının izoterm adsorpsiyon ısısına eğit olduğu ve diferansiyel adsorpsiyon ısısının adsorpsiyon antalpisine eğit olduğu ispatlanmıştır. Bu çalışmada kalorimetre ile llen  $Q_a$  değerleri kullanılacaktır [28].

#### 2.3.4. Desorpsiyon

Herhangi bir adsorbentin adsorpsiyon izotermeleri incelenirse, düşük sıcaklıklarda adsorbe ettiği gaz ağırlığının (adsorpsiyon doyma kapasitesinin) yüksek sıcaklıklardakine nazaran daha fazla olduğu görülebilir. Buna göre adsorbe edilen gaz moleküllerini geri vermesi için, adsorbenti ısıtmak yani adsorpsiyon ısısını adsorbente geri vermek gerekir. Gazın basıncının düşmesi ile benzer netice elde etmek mümkündür. Fakat genel olarak adsorpsiyon doyma kapasitesinin sıcaklığa bağlı olarak değişmesi, basınca bağlı olarak değişmesine nazaran çok daha hızlıdır ve ısıtma yolu pompalamaya nazaran daha kolaydır. Bu nedenle pratikte adsorbentler ısıtılarak adsorpsiyon kapasiteleri düşürülür ve buhar elde edilir. Buharın hem ısıtma hem de basıncın düşürülmesi yolu ile elde edildiği uygulamalar da mevcuttur. Adsorbentlerin adsorpsiyon doyma kapasitelerinin düşürülmesi ile buhar (gaz) elde etme işlemine desorpsiyon denir. Bu çalışmada adsorbent güneş işınımı ile ısıtılarak düşük basınçlarda desorpsiyon yapılmıştır [15,16,28].

#### 2.4. Periyodik Adsorpsiyonlu Soğutma Makinası

(şek. 2.4)' te görülen hermetik sistem içersinde adsorbent ile adsorbentin denge halinde bulunduğunu varsayalım. a jeneratörü içersinde  $T_$  sıcaklığında ve  $P_e$  basıncında olan soğutucu akışkan (adsorbet) ile doymuş halde bulunan adsorbent ısıtılırsa (rneğin güneş işınımı ile) sıcaklığı  $T_{desB}$  değerine (desorpsiyon başlangıç sıcaklığına) ulaşır ulaşmaz



Şek. 2.4: Periyodik adsorpsiyonlu soğutma makinası çalışma şeması.

yoğuşma başlar. Bu sırada basınç  $p_e$  değerinden  $p_c$  değerine (yoğuşturucu basıncına) yükselir.  $p_c$  basıncı sabit tutularak ısıtma işlemine devam edilirse adsorbent sıcaklığı (desorpsiyon sıcaklığı)  $T_{des}$  artar.  $p_c$  basıncında ve  $T_{des}$  sıcaklığında bulunan buhar b yoğuşturucusu içerisinde yoğuşturulur ve elde edilen sıvı c kabı (buharlaştırıcı) içerisinde toplanır. Soğutmanın gerçekleşebilmesi için buharlaştırıcı içerisinde toplanan sıvının buharlaşması ve elde edilen gazların yeniden adsorbent tarafından adsorbe edilmesi gerekmektedir. Bunun için adsorbentın sıcaklığı  $T_{des}$  değerinden  $T_{adB}$  değerine (adsorpsiyon başlangıç sıcaklığına) düşürülür. (örneğin güneşin batması ile jeneratörün soğuması). Sıcaklıkta meydana gelen bu düşme basıncın  $p_c$  değerinden  $p_e$  değerine düşmesi ile sonuçlanır ve buharlaştırıcı içerisinde buharlaşma başlar. Buharlaşma ısısı soğutulması istenilen ortamdan çekilir. Gazın adsorbent tarafından adsorbe edilmesi sırasında açığa çıkan adsorpsiyon ısısının sürekli atmosfere iletilmesi, bunun için jeneratörün bu süre içerisinde iyi bir şekilde soğutulması gerekmektedir. Bunun için çeşitli

yöntemler kullanılabilir. Yeteri kadar beklenirse adsorbent ortam sıcaklığında ve  $p_e$  basıncında soğutucu akışkanla doymuş hale gelir ve çevrim tamamlanır.

$T_{desB}$  ve  $T_{adB}$  sıcaklıklarını tesbit etmek amacıyla desorpsiyon ve adsorpsiyon safhaları için

$$d \ln p = Q \frac{dT}{RT^2} \quad (2.30)$$

Clapeyron bağıntısı adsorbent ile soğutucu akışkana uygulanır. Bu desorpsiyon safhası için yapılırsa

$$\int_{p_e}^{p_c} d \ln p = \frac{Q_a}{R} \int_{T_{\zeta}}^{T_{desB}} \frac{dT}{T^2} \quad (2.31)$$

ve

$$\int_{p_e}^{p_c} d \ln p_o = \frac{Q_o}{R} \int_{T_e}^{T_c} \frac{dT}{T^2} \quad (2.32)$$

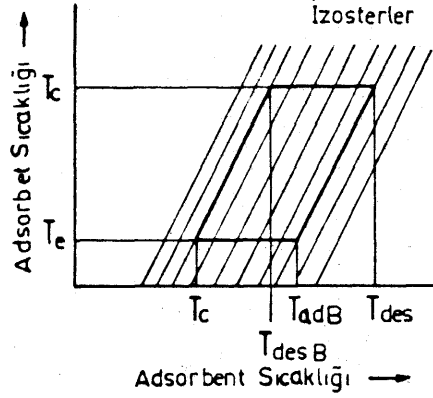
elde edilir. Aynı kap içersinde denge halinde bulunan adsorbent ile soğutucu akışkanın basınçları birbirine eşit ( $p=p_o$ ) olur.

Dolayısıyla (2.31) ve (2.32) bağıntılarından

$$Q_a \left( \frac{1}{T_{\zeta}} - \frac{1}{T_{desB}} \right) = Q_o \left( \frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_c} \right) \quad (2.33)$$

elde edilir.

(Şek. 2.5)' ten kolayca görüldüğü gibi adsorbentın sıcaklığı  $T_{desB}$  sıcaklığın üzerine çıkarsa adsorbent üzerindeki soğutucu akışkan (adsorbent)  $T_c$  sıcaklığında yoğuşur ve adsorbentın adsorpsiyon doyma kapasitesi düşer.



Şek. 2.5: Soğutucu akışkan (Adsorbent) doyma sıcaklığının çevrim boyunca adsorbent sıcaklığına bağlı olarak değişmesi.

Clapeyron bağıntısı adsorpsiyon safhasına uygulanırsa benzer şekilde

$$Q_a \left( \frac{1}{T_{adB}} - \frac{1}{T_{des}} \right) = Q_o \left( \frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_c} \right) \quad (2.34)$$

elde edilir. (2.34) bağıntısından adsorbentın adsorpsiyona başladığı  $T_{adB}$  sıcaklığı elde edilir [8,11,12].

## 2.5. Adsorpsiyon Çiftinin Seçilmesi

Adsorpsiyonlu soğutma sisteminde belirli çalışma koşullarında kullanılacak en uygun adsorbentın ve soğutucu akışkanın seçilmesi için aşağıdaki yöntem uygulanır.

Denge durumunda bulunan bir adsorpsiyon çiftinde  $T_s$  sıcaklığında sıvı haldeki soğutucu akışkanın basıncı  $p$ , ve adsorbent sıcaklığı  $T_z$ 'ye tekâbülden soğutucu akışkanın doyma basıncı  $p_o$ 'yu Clapeyron bağıntısına yerleştirince

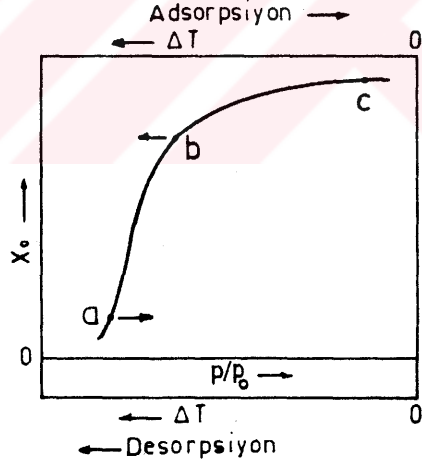
$$\ln \frac{p}{p_o} = - \frac{Q_o}{R} \frac{\Delta T}{T_z T_s} \quad (2.35)$$

elde edilir. Burada

$$\Delta T = T_z - T_s \quad (2.36)$$

tır. Görüldüğü gibi soğutucu akışkanın buharlaşma gizli ısısı  $Q_o$  ne kadar küçük ise adsorbent sıcaklığı ile sıvı haldeki soğutucu akışkan sıcaklığı arasındaki fark o kadar büyük olmaktadır. Bu taktirde adsorpsiyon daha yüksek ortam sıcaklığında gerçekleşebilir. Buna karşılık desorpsiyon (yoğuşma) için daha yüksek desorpsiyon sıcaklıkları gerekir.

Bir çiftin adsorpsiyon doyma kapasitesi  $X_o$ ,  $p/p_o$  oranına bağlı olarak (Şek. 2.6)'daki adsorpsiyon eğrisi ile gösterilir. Bu diyagramda  $p/p_o$  eksenini aynı zamanda (2.35) bağıntısına göre  $\Delta T$ 'nin bir ölçüsüdür. Böylece verilmiş bir  $T_e$  ve  $T_c \approx T_\phi$  sıcaklık çifti için uygun adsorbentini seçilmesi mümkün olur. (Şek. 2.6)'da görüldüğü gibi adsorpsiyon (so-



Şek. 2.6: Adsorpsiyon doyma kapasitesinin sıvı soğutucu akışkan (adsorbent) sıcaklığı ve adsorbent sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak değişmesi.



ğutma) başında  $\Delta T = T_{adB} - T_e$  eşitliği ile verilen  $\Delta T$  değerleri zamanla azalarak  $\Delta T = T_{\phi} - T_e$  değerine yaklaşır. İdeal bir adsorbent için adsorpsiyon (soğutma) esnasında doyma kapasitesi büyük olmalıdır. Bu da adsorpsiyon eğrisi üzerindeki b noktasının  $\Delta T$ 'nin büyük değerlerine yaklaşmasını gerektirir. Aksi taktirde sistemin adsorpsiyon (soğutma) işlemine başlayabilmesi için adsorbentın (jeneratörün) daha düşük sıcaklıklara soğutulması icap eder, bu da ortam sıcaklığının daha düşük olmasını gerektirir. Desorpsiyon (yoğuşma) safhasında  $\Delta T$ ,  $\Delta T = T_{desB} - T_c$  değerinden başlayarak sürekli olarak artar. Yoğuşmanın mümkün olduğu kadar erken başlayabilmesi için  $\Delta T = T_{desB} - T_c$  değerinin küçük olması istenir, bu da adsorpsiyon eğrisi üzerindeki a noktasının  $\Delta T$ 'nin küçük değerlerine yaklaşmasını gerektirir. Ayrıca soğutma safhasında soğutucu akışkanın adsorbent tarafından hızla ve büyük miktarda adsorbe edebilmesi için b noktasının,  $X_0$ 'ın büyük değerlerine yükselmesi gerekir. Diğer taraftan basıncın desorpsiyona etki-lememesi için adsorpsiyon eğrisinin bc kısmının doğrusal olması gerekir [18].

## 2.6. Güneş Enerjisi İle Çalışan Adsorpsiyonlu Soğutma Sisteminde Toplayıcı Verimi Ve Sistemin Soğutma Etki Katsayısı

(Bölüm 2.4)'te izah edilen basit periyodik adsorpsiyonlu soğutma sisteminde jeneratörün ısıtılması sonucu serbest kalan soğutucu akışkanın yoğuşup kaptı (buharlaştırıcıda) toplanması sistemin çalışmasının bir safhasını teşkil eder. Kaptaki (buharlaştırıcıdaki) toplanan sıvı soğutucu akışkanın buharlaşarak adsorbent tarafından adsorbe edilmesi sonucu soğutma yapılması sistemin çalışmasının diğer safhasını (adsorpsiyon veya soğutma safhasını) teşkil eder. Diğer bazı sistemlerde jeneratör ısıtılıp soğutucu akışkan serbest kalırken aynı zamanda buharlaştırıcıda toplanan sıvı soğutucu akışkan da buharlaştırılır. Ancak bu buhar jeneratöre gönderilmeyip uygun başka bir adsorbent ihtiva eden bir ara

kapta depo edilir ve jeneratör ısıtılması süresi sona erince depolanan soğutucu akışkan bu sefer jeneratöre gönderilerek buradaki adsorbent tarafından yutulur. Buna benzer başka farklı uygulamalarda olmakla beraber, bu sistemlerle soğutma elde edilmesi daha karmaşık yöntemlerin kullanılmasını gerektirir.

Jeneratörün ısıtılmasında ışınım (güneş) enerjisinin kullanıldığı sistemlerde, içinde adsorbentin bulunduğu jeneratör aynı zamanda toplayıcı görevini yapar. Bu bakımdan toplayıcının ışınım yutabilme gücü ve kayıpları içeren bir toplayıcı verimi tanımlanır.

Işınım ile çalışan adsorpsiyonlu soğutma sisteminin performansının incelenmesi ışınlama safhasında yapılır. Böylece yukarıda söz konusu edilen iki farklı prensiple çalışan sistemler için geçerli olmak üzere ışınlama safhasında yoğunlaşan suyun hepsinin aynı zamanda buharlaştığı (soğutma gerçekleştiği) kabul edilir ve buna göre soğutma etki katsayıları genelleştirilmiş bir şekilde hesaplanır.

Adsorpsiyonlu bir soğutma makinası için teorik soğutma etki katsayısı

$$\beta_{th} = \frac{Q_o}{Q_a} \quad (2.37)$$

ile ifade edilir. Burada  $Q_o$  soğutucu akışkanın buharlaşma gizli ısını  $Q_a$  ise desorpsiyon ısını ( - adsorpsiyon ısını) gösterir.

Sistemin toplam soğutma etki katsayısı üzerinde sistemi oluşturan elemanların çevrim boyunca davranışının etkisi büyüktür. Bu nedenle bunların ayrı ayrı ele alınarak bu bakımdan incelenmesi gerekmektedir.

#### 2.6.1. Toplayıcı Verimi

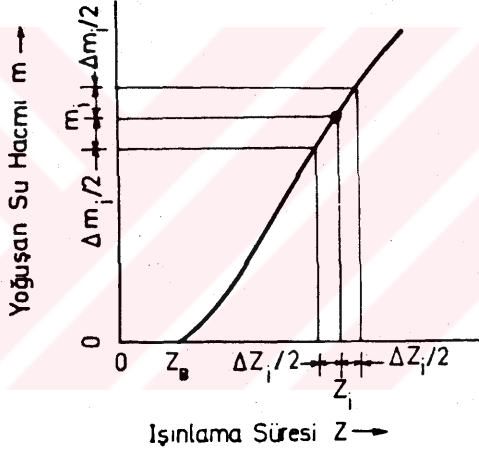
(Şek. 2.7)' de görüldüğü gibi  $\Delta Z_i$  ışınlama süresinde ( $\approx 15-30$  dak.) buharlaşan suyun desorpsiyon ısı  $(\Delta Q_{des})_i$  ile toplayıcının toplam ısı kapasitesi  $(\Delta Q_t)_i$  ile ve toplama

yıcı yüzeyine düşen ışınlam enerjisi  $(\Delta Q_r)_i$  ile gösterilir. Toplayıcının söz konusu sürede aldığı toplam ısı için

$$(\Delta Q_{td})_i = (\Delta Q_{des})_i + (\Delta Q_t)_i \quad (2.38)$$

yazılabileceğinden, toplayıcının  $Z_i$  anında (ani) verimi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir

$$(\eta_{ta})_i = \frac{(\Delta Q_{td})_i}{(\Delta Q_r)_i} \quad (2.39)$$



Şek. 2.7: Desorpsiyon eğrisi.

$\Delta Z_i$  ışınlama süresinde  $\Delta m_i$  kadar soğutucu akışkanın desorbe edildiği ve bu aralıkta adsorbentın doyma kapasitesi  $X_{oi}$ 'ye tekâbü eden desorpsiyon ısısının (adsorpsiyon ısısı)  $(q_x)_i$  olduğu düşünülürse,

$$(\Delta Q_{des})_i = (q_x)_i \Delta m_i \quad (2.40)$$

yazılabilir.

Adsorbentin adsorpsiyon doyma kapasitesi  $X_o$  'yoğuşan su m'nin bir fonksiyonu olur. Bunun için toplayıcı içerisindeki adsorbentin ağırlığı  $G_z$  olduğu ve  $\Delta Z_i$  süresinde adsorpsiyon doyma kapasitesi, yüzde olarak  $\Delta X_{oi}$  kadarının düştüğü göz önüne alınırsa

$$\Delta X_{oi} = 100 \frac{\Delta m_i}{G_z} \quad (2.41)$$

bulunur.

Toplayıcının toplam ısı kapasitesi  $(\Delta Q_t)_i$  toplayıcının yapısını teşkil eden elemanların ağırlıklarını ve özgül ısılarını kullanarak hesaplanabilir. Örneğin, içerisinde bakır, aliminyum, zeolit ve su bulunan bir toplayıcı için,

$$\begin{aligned} (\Delta Q_t)_i &= [G_b C_b + G_{AL} C_{AL} + G_z C_z + (G_s)_i C_s] \Delta \bar{t}_i \\ (\Delta Q_t)_i &= \Delta \bar{t}_i \sum_{j=1}^n G_j C_j \end{aligned} \quad (2.42)$$

olur. Burada  $\Delta \bar{t}_i$ ,  $\Delta Z_i$  süresinde ortalama toplayıcı sıcaklığının değişmesini göstermektedir. Adsorbent tarafından adsorbe edilen soğutucu akışkan miktarı, aşağıdaki şekilde

$$(G_s)_i = G_z \frac{X_{oi}}{100} \quad (2.43)$$

hesaplanır. (2.42) eşitliğindeki diğer terimler ise sabit olduğuna göre

$$\sum_{j=1}^n G_j C_j = (q_o)_i \quad (2.44)$$

yazılabilir. Buradaki  $(q_o)_i$  '  $Z_i$  anında toplayıcının özgül ısını ifade eder.

$$(\Delta Q_t)_i = (q_o)_i \Delta \bar{t}_i \quad (2.45)$$

yazılırsa,

$$(\Delta Q_{td})_i = (q_o)_i \Delta \bar{t}_i + (q_x)_i \Delta m_i \quad (2.46)$$

bulunur ve neticede

$$(\eta_{ta})_i = \frac{(q_o)_i \Delta \bar{t}_i + (q_x)_i \Delta m_i}{(\Delta Q_r)_i} \quad (2.47)$$

elde edilir. Burada  $(\Delta Q_r)_i$  ışınlım enerjisi  $\Delta Z_i$  süresinde I ışınlım şiddetinin sabit kaldığı varsayılması halinde

$$(\Delta Q_r)_i = I \Delta Z_i \quad (2.48)$$

ile hesaplanır.

### 2.6.2. Sistemin Ani İç Soğutma Etki Katsayısı

(Şek. 2.7)'de görülen  $\Delta Z_i$  ışınlama süresinde (Bölüm 2.6)'da belirtildiği gibi yoğuşan suyun tümünün aynı zamanda buharlaştırıcıda buharlaştığı kabul edilir ve bu arada çevre- den çekilen  $(\Delta Q_e)_i$  ısısının toplayıcının aynı ışınlama süre- sinde almış olduğu toplam  $(\Delta Q_{td})_i$  ısısına oranına sistemin  $Z_i$  anında (ani) iç soğutma etki katsayısı adı verilir ve

$$(\beta_{ia})_i = \left( \frac{\Delta Q_e}{\Delta Q_{td}} \right)_i \quad (2.49)$$

ile ifade edilir. Bazı literatürlerde toplayıcı kabının ısıll kapasitesi dikkate alınmayarak

$$(\beta_{ia})_i = \left( \frac{\Delta Q_e}{\Delta Q_{des} + (G_z C_z + G_s C_s) \Delta \bar{t}} \right)_i \quad (2.50)$$

bağıntısı ile adsorpsiyon çifti için bir soğutma etki katsa- yısı tanımlandığına rastlanmıştır.

Buharlaştırıcının çevreden çektiği soğutma enerjisi ise

$$(\Delta Q_e)_i = \Delta m_i [Q_o - C_p (\bar{t}_c - t_e)] \quad (2.51)$$

olur. Burada  $Q_o$  buharlaştırıcı basıncında bulunan akışkanın

buharlaşma gizli ısısı,  $C_p$  ise özgül ısısını göstermektedir. (2.46) ve (2.51) bağıntısı (2.49) bağıntısına taşınırsa

$$(\beta_{ia})_i = [Q_o - C_p (\bar{t}_c - t_e)] \left( \frac{\Delta m}{q_o \Delta \bar{t} + q_x \Delta m} \right)_i \quad (2.52)$$

bulunur.

### 2.6.3. Sistemin Ani Toplam Soğutma Etki Katsayısı

$\Delta Z_i$  ışınlama süresinde yoğuşan suyun buharlaştırıcıda buharlaşarak çevreden aldığı ısının, toplayıcıya düşen ışınlım enerjisine oranına sistemin ani toplam soğutma etki katsayısı adı verilir ve

$$(\beta_a)_i = \left( \frac{\Delta Q_e}{\Delta Q_r} \right)_i = (\eta_{ta})_i \cdot (\beta_{ia})_i \quad (2.53)$$

veya

$$(\beta_a)_i = [Q_o - C_p (\bar{t}_c - t_e)] \left( \frac{\Delta m}{\Delta Q_r} \right)_i \quad (2.54)$$

şeklinde ifade edilir.

### 2.6.4. Sistemin Ortalama Toplam Soğutma Etki Katsayısı

Sistemin soğutma etki katsayısının hesaplanmasında (şek. 2.7)' de görüldüğü gibi ışınlama başlangıcından itibaren ve  $Z_i$  ışınlama süresi içersinde [deneylerde 1 ila 6 saat arasında değişir] yoğuşan suyun (Bölüm 2.6)'da belirtildiğı gibi aynı zamanda buharlaştığı kabul edilir. Bu taktirde söz konusu süre içersinde yoğuşan suyun toplam buharlaşma ısısının, aynı süre içersinde toplayıcıya düşen toplam ışınlım enerjisine oranına sistemin ortalama toplam soğutma etki katsayısı adı verilir ve

$$(\beta_r)_i = \left( \frac{Q_e}{Q_r} \right)_i \quad (2.55)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $(Q_e)_i$ ,  $Z_i$  ışınlama süresi içerisinde yoğunlaşan su miktarı  $m_i$  olmak üzere

$$(Q_e)_i = [Q_o - C_p (\bar{t}_c - t_e)] m_i \quad (2.56)$$

ile hesaplanır. Aynı ışınlama süresi içerisinde toplayıcıya düşen ışınlım enerjisi  $(Q_r)_i$  ise

$$(Q_r)_i = I \cdot Z_i \quad (2.57)$$

eşitliği ile hesaplanır. Neticede  $\beta_r$

$$(\beta_r)_i = [Q_o - C_p (\bar{t}_c - t_e)] \left( \frac{m}{Q_r} \right)_i \quad (2.58)$$

ile ifade edilir.

### 3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

#### 3.1. Giriş

Adsorpsiyonlu soğutma sisteminde cereyan eden en önemli olay adsorpsiyon olayıdır. Bu olay ilk olarak Faraday tarafından açıklanmıştır. Daha sonra Langmuir, (1916) yılında katı cisimlerin adsorpsiyon doyma kapasitelerini veren bağıntıyı elde etmiştir.

Adsorpsiyonlu soğutma sisteminde pompa rolünü adsorbent bir ortam görür. Bu amaçla önceleri 1920-1930 yıllarında çeşitli alkali klorürleri, örneğin  $\text{CaCl}_2$  kullanılmış daha sonra bunların yerini silikajel ve sentetik zeolitler almıştır. Bugün tabii zeolitler tercih edilmektedir. Soğutucu akışkan (adsorbent) olarak amonyak, kükürt dioksit, freon, metanol veya su kullanılmaktadır.

Prensibi eskiden beri bilinen fakat güneş enerjisi tabiiyetlerinde önem kazanan adsorpsiyonlu soğutma makinaları üzerinde yapılan çalışma ve araştırmalar aşağıdaki alanlarda yürütülmektedir [4,8,16,17,27].

- 1- Periyodik çalışmaya karşı uzun zaman dayanabilen ucuz adsorbentlerin bulunması
- 2- Her adsorbent için uygun bir adsorbent (soğutucu akışkan) seçilmesi
- 3- Seçilen çiftler için maliyet ve bakım açısından ekonomik bir sistem geliştirilmesi

#### 3.2. Adsorbentler

Adsorbentlerin çeşitli uygulamaları gözönünde tutularak,

- 1- Gazların tasfiyesi ve kurutulmasında filtre etmeye uygun olmaları
- 2- Güneş enerjisini depo etme özelliğine haiz olmaları
- 3- Isıtma ve soğutma sırasında gazları neşretme ve yutma nitelikleri



yönünden incelenmişlerdir. Bunun dışında bazı adsorbentlerin iyon değiştirme ve reaksiyonlarda katalizator olarak kullanılması da araştırılmaktadır. Bugüne kadar yapılan araştırmalar sonucunda çeşitli çiftlerin özellikleri belirlenmiş ve bu özellikler yayınlanmıştır [4,16,28,29,30].

D.W. Berck, ZX ve ZA zeolitinin su buharı adsorpsiyon ısılarının adsorpsiyon doyma kapasitesine bağlı olarak değişimini vermiştir. Berck'e göre yıpratıcı etken bulunmadıkça adsorpsiyon-desorpsiyon işlemi zeolitlerin yapısını bozamaz, ancak 600 °C'nin üstünde zeolit kristal yapısı şekil değiştirmeye başlar [4,31].

D.I. Tchernev, Sentetik zeolit ZA, ZX ve silikajel için çeşitli sıcaklıklarda adsorpsiyon doyma kapasitesinin su buharı basıncına bağlı olarak değişmesini (izoterm eğrilerini) ve muhtelif adsorbentlerin adsorpsiyon ısılarını yayınlamıştır. Ayrıca soğutma tekniğinde zeolitlerin adsorpsiyon ile desorpsiyon arasında histeresis göstermediklerini kabul etmiştir [15,16].

R.A. Shigeishi ve C.H. Langford, enerji depolamak maksadı ile bazı adsorbentlerin özelliklerini deneysel olarak tespit etmişlerdir. Çeşitli adsorbentlerin oda sıcaklığında ve 24 torr basınçta su buharı adsorpsiyon sürelerini ilk olarak Shigeishi ölçmüştür. Ayrıca çeşitli adsorbentlerin değişik sıcaklıklarda 24 saat kurutulduktan sonra tekrar 24 ve 48 saat su buharı adsorpsiyonuna maruz kaldıkları zaman adsorpsiyon kapasitelerini incelemiştir. Shigeishi güneş enerjisi depolama alanında kullanılacak uygun adsorpsiyon çiftlerinin seçilmesi için bir yöntem teklif etmiştir [4].

J.J. Guilleminot ve F. Meunier ZX-zeoliti için ve sabit adsorpsiyon doyma kapasitelerinde (izosterler) su buharı basıncının (veya ona tekabül eden doyma sıcaklığının) zeolit sıcaklığına bağlı olarak değişmesini Clapeyron bağıntısını kullanarak hesaplamışlar ve neticelerini LiBr-Su diyagramına benzer bir diyagramda göstermişlerdir [8,18,19].

R. Gopal ve B.R. Hollebone'nin deneylerinde, ZX-zeolitin periyodik çalışmasında adsorpsiyon doyma kapasitesinin zamanla, iki değer arasında değiştiğini fakat ortalama değerinin sabit kaldığını ve uzun çalışmadan sonra zeolitin yapısının değişmediğini görmüşlerdir. Doymuş ZX-zeolitin çeşitli sabit sıcaklıklarda desorpsiyon sürelerini ölçmüşler ve 24 torr basıncında, su buharı ihtiva eden bir kapta, ZX-zeolitin çeşitli kapasiteleri için, kaptaki basıncın zamana bağlı olarak düşmesini incelemişlerdir. Gopal ve Hollebone, ZX-zeolitin 25°C izoterm deneylerinde 1 torr basıncındaki su adsorpsiyon doyma kapasitesinin, maksimum kapasitenin % 75'i olduğunu ve soğutma tekniğinde zeolitin düşük basınçlarda da adsorpsiyon hızının yüksek olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca ZX-zeolitin su adsorpsiyon ısısının doyma kapasitesine bağlı olarak değişimini göstermiştir [32].

R. Scarmozzino ve R. Aiello güneş enerjisini tabii zeolitte (Çabazitte) depolamak maksadı ile 80°C sabit sıcaklıkta desorpsiyon eğrisini vermişlerdir. Yine aynı araştırmacılar zeolitin kendi suyunun 20+80°C aralığında % 0,3 mertebesinde azaldığını belirtmişlerdir [33].

A. Şenatalar, V. Candar ve E. Kadioğlu doğal zeolitlerin tarihçesi, yapıları, özellikleri, kullanım alanları ve Türkiyede değerlendirilme imkânları hakkında bilgi vermektedirler [29].

### 3.3. Adsorbetler

Close ve Dunkle'in araştırmalarına göre suyun bir adsorbet olarak alınması ısıtma ve kurutma açısından uygundur [34].

Texas Üniversitesinde Hugo Steinfik yönetiminde freon gazlarının zeolitler tarafından adsorbe edilmesi incelenmiştir. Zeolitlerin değişik basınçlarda yaklaşık % 30 freon adsorbe ettikleri görülmüştür [16].

F. Meunier ve B. Mischler, CH<sub>3</sub>OH soğutucu akışkanını bir adsorbet olarak denemişler ve düşük buharlaştırıcı sıcaklıklarına inebilmişlerdir. Ayrıca soğutma tekniğinde adsorpsiyon çiftinin seçimi için bir kriter bulmuşlardır [8,18]

### 3.4. Sistem

Güneş enerjisi kullanarak çalışan adsorpsiyonlu soğutma sisteminin çalışma prensibi; genellikle klasik adsorpsiyonlu soğutma sisteminin prensibinin aynıdır. Ancak burada jeneratör kabı bir güneş toplayıcısı olarak düşünülmüştür. Mevcut sistemler henüz araştırma safhasındadırlar ve genellikle her biri üç ana kısımdan meydana gelir: toplayıcı, yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı. Bu üç kısımdan en önemlisi toplayıcıdır.

#### 3.4.1. Tchernev'in Sistemi

Adsorpsiyonlu soğutma sistemi karmaşık bir sistem olduğu için D.I. Tchernev performanslarını teorik yol yerine gerçek sistem üzerinde deneysel olarak incelemenin daha güvenilir olduğu görüşündedir. Tchernev bu iş için bir güneş simülasyonu yaparak  $0,093 \text{ m}^2$  alanı bulunan bir toplayıcı kullanmıştır. Adsorbent-soğutucu akışkan çifti olarak da zeolitu su çifti ile çalışmıştır. Işınlama safhasında ışınım şiddeti sabit ve  $1 \text{ kw}$  olarak tutulmuştur.

Tchernev, toplayıcının bazı konstrüksiyon özelliklerini incelemiştir. Toplayıcı içersinde sık kafes yapılı alüminyum bölmeler (eggcrate) kullanılması ile, rijitlik ve iletkenlik sağlanır. Tchernev'in deneylerinde maksimum günlük ışınım enerjisi  $34 \text{ MJ/m}^2$  için optimum tabii zeolit tabakası kalınlığı  $63,5 \text{ mm}$  seçilmiştir.

Bu sistemin ani toplam soğutma etki katsayısının toplayıcı sıcaklığına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Sistemde adsorbent olarak, adsorpsiyon ısısı sentetik zeolitin adsorpsiyon ısısının yaklaşık üçte ikisi olan çabazit (tabii zeolit) kullanıldığında, yoğunlaşma sıcaklığı  $50^\circ\text{C}$  iken maksimum ani toplam soğutma etki katsayısının  $0,4$  olduğu görülmüştür [15,16].

### 3.4.2. F. Meunier ve J.J. Guilleminot'un İlk Sistemi

Meunier ve Guilleminot'un ilk kurdukları sistemde ZX-zeoliti-su çifti kullanılarak ısıtma verimini ve soğutma etki katsayısını incelemişler.

Sistemin toplayıcı alanı  $1 \text{ m}^2$ 'dir. Rijitliği, iletkenliği ve buhar akışını sağlamak için toplayıcı kabının içine omega şeklinde delikli kanallar yerleştirilmiştir. Toplayıcının içinde zeolit tabakası kalınlığı 30 mm dir. Toplayıcıda yutucu levha olarak hem siyah boyalı yüzey ve hem de seçici yüzey kullanılmıştır. Konstrüksiyonun sistemin performansı üzerindeki etkisini göstermek maksadı ile, zeolitin ve toplayıcının iç soğutma etki katsayısı ayrı ayrı olarak tesbit edilmiştir.

Soğutma etki katsayısını iyileştirmek için, sistemin bir evvelki çalışması sırasında tankta depolanan duylar ısısını geri alarak zeolitin desorpsiyon başlangıcında  $30^{\circ}\text{C}$  den  $60^{\circ}\text{C}$ 'a kadar ısıtılması temin edilir [8,18,19].

### 3.4.3. Meunier ve Guilleminot'un İkinci Sistemi

Meunier ve Guilleminot'un ilk yaptıkları sisteme yakın bir soğutma etki katsayısı sağlayan ve sadece soğutma yapan daha basit bir sistem kurmuşlardır.

Alanı  $0,8 \text{ m}^2$  olan toplayıcı ve seçici yüzey kullanılmıştır. Toplayıcı kabının içinde 80 mm aralıklı madeni bölmeler vardır ve 40 mm kalınlıkta ZX-zeoliti ve soğutucu akışkan olarak ta su kullanılmıştır.

Işınım şiddeti  $800 \text{ W/m}^2$ ,  $t_e=5^{\circ}\text{C}$  ve  $t_c=31^{\circ}\text{C}$  için, sistemin ani toplam soğutma etki katsayısı, toplayıcının ön yüzey sıcaklığına göre verilmiştir. Bu koşullar altında sistemin soğutma etki katsayısının maksimum değeri 0,21 olmuştur [17].

### 3.5. Araştırmalardan Elde Edilen Sonuçlar

Adsorpsiyonlu soğutma sisteminin performansını etkileyen en önemli faktörlerin adsorbent, soğutucu akışkan ve topalayıcı olduğu yapılan araştırmalarda görülmüştür. Adsorpsiyonlu sistemde adsorbentin ve soğutucu akışkanın (adsorbentin) özellikleri müşterek olduğundan adsorpsiyon çifti olarak ele alınmalıdır.

1- Adsorpsiyon çifti: Uygulamada kullanılan çiftler hakkında aşağıdaki bilgiler verilebilir.

- Sistemin soğutma kapasitesi büyük olabilmesi için soğutucu akışkanın adsorbent tarafından büyük bir oranda adsorbe edilmesi gerekir. ZX-zeoliti sentetik zeolitler içinde en büyük maksimum adsorpsiyon doyuma kapasitesine sahiptir. Genel olarak ise kullanılan adsorbentler içinde silikajelin en büyük maksimum adsorpsiyon doyuma kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir.

- Soğutucu akışkanın buharlaşma gizli ısısının büyük olması sistemin soğutma kapasitesini ve etki katsayısını yükseltir.

- Araştırmaların çoğunda su buharı ele alınmıştır. Ucuz olması, soğutucu akışkanlar içinde en büyük buharlaşma gizli ısısına sahip bulunması ve özelliklerinin çok iyi bilinmesi nedeniyle soğutma sistemlerinde suyun soğutucu akışkan (adsorbent) olarak kullanılması avantajlıdır. Buna karşılık vakum altında çalışma zorluğu nedeniyle su buharı ile çalışan sistemlerde çok düşük sıcaklıklara inilemez.

Soğutucu akışkanın adsorbent tarafından adsorbe edilme hızının yüksek olması istenir. Adsorpsiyon hızını arttırmak için çiftin buharlaştırıcı basıncındaki adsorpsiyon doyuma kapasitesi büyük olmalıdır ve çiftin adsorpsiyon izotermi ideal olarak (Şek. 2.3)'teki A tipinde bir eğriye yaklaşımlıdır. Güneş enerjisi tatbikatlarında A eğrisinin ab parçası  $P/P_0=0,1$  civarında bir doğru olur. Adsorpsiyon çiftlerinde bazı aktif karbonlar-su çiftinin adsorpsiyon doyuma kapasitesi eğrisi kısmen yaklaşık olarak ab doğrusuna benzediği görülür.

- Silikajel, ve aktif aluminada hem adsorpsiyon hem de desorpsiyon düşük sıcaklık farkları altında meydana gelir. Buna karşılık ortam sıcaklığının ve yoğunlaştırıcı sıcaklığının düşük olması gerekli olduğundan silikajel ve aktif alumina soğutma sistemleri için kullanışlı olmamaktadır [(Şek. 2.3)'teki B eğrisi].

- Soğutma safhasında belirli bir buharlaştırıcı sıcaklığında genel olarak zeolitlerin diğer adsorbentlere nazaran daha büyük ortam sıcaklıklarında adsorpsiyona geçebilme üstünlüğü vardır. Desorpsiyon sırasında da yüksek yoğunlaşma sıcaklığında çalışabilme imkanı gösterirler. Buna karşılık büyük desorpsiyon sıcaklıkları gerektiğinden ısınım enerjisinin büyük olması zorunludur. [(Şek. 2.3)'teki c eğrisi].

- Silikajel, aktif alumina ve bazı kömürlerin düşük basınçlardaki adsorpsiyon hızları, zeolitlerin düşük basınçlardaki adsorpsiyon hızlarına nazaran daha küçüktürler.

- Genellikle soğutma safhasında toplayıcıdaki adsorpsiyon ısısından yararlanılmamaktadır. Bu taktirde sistemin toplam soğutma etki katsayısının büyük olabilmesi için, soğutucu akışkanın belirli bir adsorbent için adsorpsiyon ısısının küçük olması gerekir. Pratikte tabii zeolitlerin suya karşı gösterdikleri adsorpsiyon ısısı sentetik zeolitlerin verdiği adsorpsiyon ısısından daha küçük olması nedeni ile adsorpsiyonlu sistemde çabazit gibi tabii zeolit tercih edilmektedir.

- Araştırmalarda adsorpsiyon süreleri gibi bazı özelliklerin yeterli olarak incelenmediği görülür.

- Bazı çiftlerin muhtelif literatürlerde adsorpsiyon ısıları ve adsorpsiyon doyuma kapasiteleri için farklı değerler verilmektedir.

- Adsorpsiyon çiftlerinin özellikleri, soğutma sisteminin çalışma koşullarından farklı koşullarda incelenmiştir.

2- Toplayıcı: Pratikte adsorpsiyonlu soğutma sisteminde adsorbentin katı olmasından istifade edilerek sistemin jeneratörü bir düz güneş toplayıcısı olarak yapılmaktadır.

Toplayıcının yutucu yüzeyinin seçici veya siyah mat boyalı oluşu sistemin performansını fazla etkilemez. Mat boyanın avantajı, düşük sıcaklıklarda emitansının büyük olması sebebiyle, soğutma safhasında toplayıcının soğumasını kolaylaştırmasıdır. Isıyı, yutucu yüzeyden adsorbente iyi bir şekilde iletmek için yutucu yüzeyin arka tarafına metalden yapılmış bir petek (ağ, bölmeler ve benzeri) yerleştirilmelidir. Aynı zamanda bu petek yapısı buharın akışına mani olmamalıdır. Ayrıca sistemin vakum altında çalışması şartı, toplayıcının konstrüksiyonunu ve deneylerindeki ölçmeleri zorlaştırır.

3- Soğutma sistemlerinde desorpsiyon sonucu buharın yoğuşmasında serbest kalan ısının çoğunlukla değerlendirilmesi yapılmamıştır. Işınım kaynaklı adsorpsiyonlu sistemlerde buharlaştırıcıda soğutma, ışınlama olmadığı zaman yani adsorpsiyon (soğutma) safhasında yapılır. Bundan başka (Bölüm 2.6)'da izah edilen ve jeneratörde desorpsiyon yapılırken aynı zamanda buharlaştırıcıda bularlaşmanın yapıldığı sistemlerde ışınlama safhasında da soğutma yapıldığı görülmüştür.

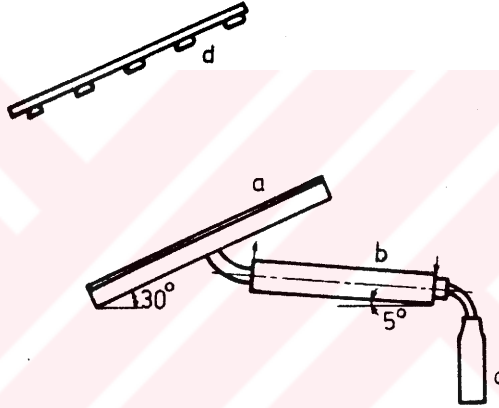
4- Adsorpsiyonlu sistemle mukayese: Adsorpsiyonlu soğutma sisteminde maksimum yoğuşma sıcaklığı  $40^{\circ}\text{C}$  olduğu halde  $\text{ZX-H}_2\text{O}$  çifti içeren adsorpsiyonlu soğutma sisteminde yoğuşma sıcaklığı  $40^{\circ}\text{C}$  üstüne çıkabilmektedir.

5- Daha önce yapılan çalışmalarda değişik yoğuşma sıcaklıkları denenmemiş ve adsorbentin ışınlama başlangıcında doyma durumunu dikkate alınmamıştır. bu çalışmada ise değişik ortalama yoğuşma sıcaklıkları ( $\bar{T}_c = 36^{\circ}\text{C}$ ,  $43^{\circ}\text{C}$ ,  $47^{\circ}\text{C}$ ) ve zeolitin ışınlama başlangıcında değişik su adsorpsiyon kapasiteleri ( $X_B = \% 24,6$ ,  $\% 23,8$ ,  $\% 23$ ) kullanılmıştır.

#### 4. DENEYLER

##### 4.1. Deney Tesisatı

Bu güne kadar yapılmış olan teorik ve deneysel araştırmalar dikkate alınarak ve elde mevcut imkanlar gözönünde tutularak aşağıda açıklanan basit bir deney tesisatı geliştirilmiştir. (Şek. 4.1)'de görülen sistem tasarlanırken yukarıda belirtilen amaca tam olarak uygun olması yanında ucuz olması ve yerli imkanlarla temini hususuna itina gösterilmiştir.



Şek. 4.1: Işınım ile çalışan periyodik adsorpsiyonlu soğutma sistemi prensibi.

(Şek. 4.1)'de görüldüğü gibi ışınım enerjisi ile çalışan periyodik adsorpsiyonlu soğutma sistemi esas itibarıyla a, b ve c elemanlarından oluşmaktadır. Bu elemanların yapılış şekli (Bölüm 4.5, 4.6 ve 4.7)'de ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Işınlama sırasında a toplayıcısında buharlaşan su b yoğuşturucusunda yoğuştuktan sonra c kabında toplanır. Adsorpsiyon (soğutma) safhasında c kabında (buharlaştırıcıda) buharlaşan soğutucu akışkan b borusundan (yoğuşturucudan) geçerek toplayıcıda bulunan adsorbent tarafından adsorbe edilir. Yaptıkları görev açısından a elemanı bir toplama



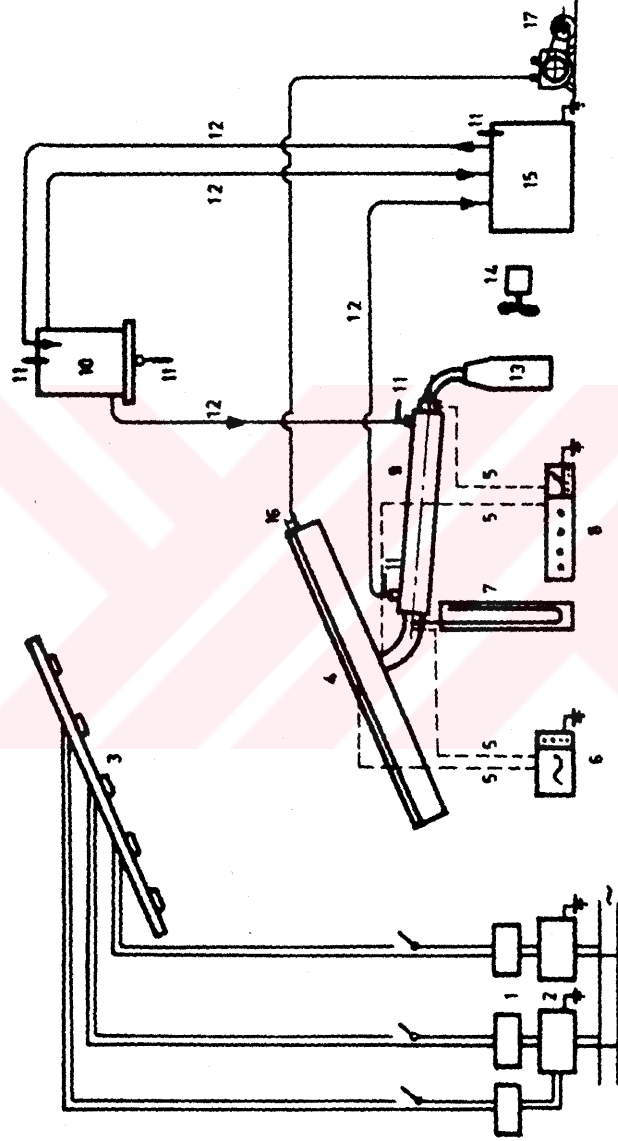
yıcı ve bir jeneratör, ve c elemanı da bir toplama kabı ve bir buharlaştırıcı gibi çalışmaktadır. Sistemde valf kullanılmaması, akışa karşı dirençlerin azaltılması yanında giriş ve dönüşün aynı borudan yapılabilmesini sağlamıştır.

Laboratuvarda dış hava koşullarına bağlı olmaksızın deneylerin yürütülebilmesi için sistemde yapay ışınlama kullanılmıştır (Şek. 4.1) de d narfi ile işaretlenmiş bulunan yapay ışınlama düzeni, toplayıcı yüzeyine paralel olarak yerleştirilmiş olup bu yüzeyden en kısa mesafesi 1 m olacak şekilde hareket ettirebilmektedir. Ampul sayısı ve ışınlama düzeninin toplayıcı yüzeyine olan mesafesi değiştirilerek söz konusu yüzeye şiddeti 700 ila 1000 W arasında değişen homojen bir ışınımın gelmesi sağlanmıştır. Deney sırasında ampullerin ışınım şiddetini sabit tutabilmek için (Şek. 4.2)'de 2 ile işaretlenen voltaj regülatörü kullanılmıştır. Sisteme ilave edilen 3 adet varyyak yardımı ile şebeke gerilimi ayarlanabilmektedir.

#### 4.2. Deney Tesisatının Boyutlandırılması İle İlgili Kabuller

Sistem tasarlanırken daha önce yapılan araştırmaların sonuçları gözönünde tutularak aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- 1- Sistemin sağlayacağı maksimum soğutma yükü 2100 kJ/gün olur.
- 2- 41° enleminde bulunan İstanbul için yaz aylarında en uygun toplayıcı eğim açısı 30° olur.
- 3- İstanbul'da 30° eğik bir düzleme yaz aylarında gelen maksimum toplam ışınım enerjisi 19440 kJ/gün olur.
- 4- Yoğuşma sırasında sistem içersindeki ortalama basınç (6 kPa) dolaylarında olur ( - suyun 36°C sıcaklığındaki doyma basıncı).
- 5- Buharlaştırıcı ortalama sıcaklığı 5°C civarında bulunur.
- 6- Benzer sistemleri gözönünde tutularak yukarıdaki



Şek. 4.2: Deneş tesisatı; 1-Varişak, 2-Voltaj regşlşatşrş, 3-Işınım ampulları, 4-Toplayıcı, 5-Termokupllar, 6-Yazıcı potansiyometre, 7-Civalı ma-nometre, 8-Gşstergeli potansiyometre, 9-Yoğuşturucu, 10-Taşma kabı, 11- Civalı termometreler, 12-Su boruları, 13-Buharlaştırıcı, 14-Fan, 15-Termostat, 16-Vakum vanası, 17-Vakum pompası.

ışınım enerjisi için zeolitin sıcaklığının en çok 110°C olacağı kabul edilmiştir.

#### 4.3. Adsorpsiyon Çiftinin Seçimi

Daha önce yapılmış olan teorik ve deneysel çalışmalardan kullanma amacımız için sentetik zeolitin en uygun adsorbent olduğu ve suyun en uygun adsorbet (soğutucu akışkan) olacağı görülmüştür. ZX sembolü ile gösterilen sentetik zeolit kristal yapısı X tipinde olan ve kimyasal bileşimi  $\text{Na}_{86} [(\text{AlO}_2)_{86} (\text{SiO}_2)_{106}] \cdot x \text{H}_2\text{O}$  formülü ile verilen bir alkali metal alimino silikattır. Linde firmasından temin edilen sentetik zeolitin katalogunda verilen değerlere göre kapiler çapı 10<sup>0</sup>A, yoğunluğu 640 gm/dm<sup>3</sup>, tane çapı yaklaşık 3,2 mm uzunluğu yaklaşık 6 mm olur. ZX-H<sub>2</sub>O çiftinin adsorpsiyon izotermi (Ek 1)'de verilmiştir. 2100 kJ/gün'lük soğutma yükünü karşılayabilmek için günde 0,84 kg su buharını adsorbe ve desorbe etmek gerekecektir. Adsorpsiyon (soğutma) sırasında zeolitin sıcaklığının 25°C, sistem içerisindeki basıncın yaklaşık 0,87 kPa [-suyun 5°C sıcaklığındaki doyma basıncı] olduğu varsayılırsa (Ek 1)'deki izoterm-lerden ZX'in su adsorpsiyon doyma kapasitesinin % 24,6 olduğu görülür. Diğer taraftan desorpsiyon sonunda zeolitin sıcaklığının 110°C ve sistem içerisindeki basıncın 6 kPa (45 mmHg) olduğu gözönünde tutulursa zeolitin su adsorpsiyon doyma kapasitesi yaklaşık olarak % 19 olur. Dolayısı ile günde 0,84 kg su adsorbe ve desorbe edebilmek için toplayıcı kullanılacak zeolit miktarı 15 kg olmaktadır. Toplayıcı sıcaklığını daha küçük tutabilmek için sistemde 17,5 kg zeolit kullanılmıştır. Bu miktar zeolit yukarıda verilen adsorpsiyon koşullarında 4,3 kg su adsorbe edecektir. Desorpsiyon sonunda zeolitin kapasitesi % 19,8 kg su/kg ZX olur ve sıcaklığı da 110°C altına düşer.

#### 4.4. Elemanların Kapasitelerinin Belirlemesi

Yukarıda belirtilen soğutma yükünü karşılayabilecek toplayıcı ve yoğuşturucuyu boyutlandırabilmek için her şeyden önce toplayıcı ve yoğuşturucunun ısı yüklerini tesbit etmek gerekir.

Daha önce yapılan araştırmalarda benzer tesisatlarda elde edilen neticeleri gözönüne alarak bir günde toplam soğutma etki katsayısı ortalama değerinin 0,19 olduğu tahmin edilmiştir. Buna göre 2100 kJ/gün'lük bir soğutma yükü için toplayıcı yüzeyine düşen ışınım enerjisi yaklaşık 11053 kJ/gün olmalıdır.

Yoğuşturucunun ısı yükünün hesaplanması için ilk, yoğuşma sırasında yoğuşturucu girişinde su buharının ortalama sıcaklığı belirlenmesi gerekir. (2.33) bağıntısı kullanılarak yoğuşma başlangıcında zeolitin sıcaklığının yaklaşık  $t_{desB} = 48^{\circ}C$  olduğu hesaplanmıştır. Zeolitin erişebileceği maksimum sıcaklığın  $110^{\circ}C$  olduğu dikkate alınır sa yoğuşma sırasında buharın ortalama sıcaklığı için yaklaşık  $79^{\circ}C$  bulunur. Su buharı cetvellerinden  $79^{\circ}C$  sıcaklığında ve 6 kPa basıncındaki su buharının antalpisi için 2224 kJ/gün ve  $36^{\circ}C$  sıcaklığında ve 6 kPa basıncındaki suyun antalpisi için de 126 kJ/gün okunur. Dolayısıyla su debisi 0,84 kg/gün'lük olduğu zaman yoğuşturucu yükü için 2098 kJ/gün bulunur.

#### 4.5. Toplayıcının Şekillendirilmesi

Işınlama sırasında toplayıcının yutucu yüzeyinin yutma katsayısının (absorbtansının) büyük olması istenir. Buna karşılık soğutma sırasında adsorpsiyon ısısını ışınım yolu ile çevreye atması gereken yüzeyin neşretme katsayısının (emitansının) büyük olması istenmektedir. Toplayıcının yutucu yüzeyi seçilirken bu iki farklı uygulamanın gerektirdiği koşulların birbirleri ile bağdaştırılması ve ortalama bir çözüm yolu bulunması gerekmektedir. Bu amaçla toplayıcı yüzeyine absorbtansı ve emitansı yüksek olan bir mat si-

yah boyanın sürülmesi düşünülmüştür. Piyasada 120°C'ye kadar dayanan mat siyah boya bulunmadığı için bir gaz sobası içersinde oluşan is alınarak gaz yağı ile karıştırılmış ve toplayıcının ön yüzeyine iki defa sürülmüştür. Taşınım kayıpları ile büyük dalga boylarındaki ışınım kayıplarını azaltabilmek için kalınlığı 4 mm olan bir cam örtü kullanılmıştır. Yutucu yüzey ile cam arasındaki aralık 50 mm olarak seçilmiştir.

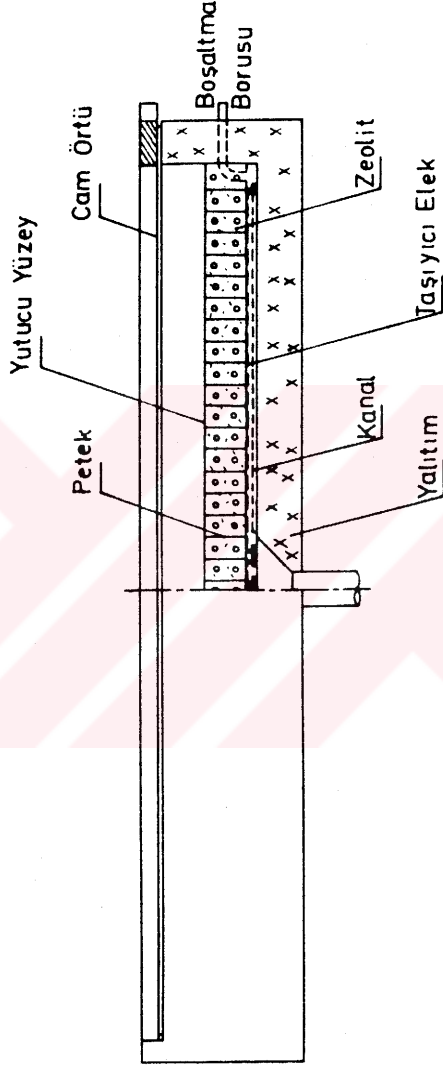
İstanbul'da 30° eğik düzleme düşen maksimum ışınım enerjisi ile toplayıcı yüzeyine düşmesi gereken ışınım enerjisi gözönüne alınarak toplayıcının yüzey alanı  $(0,975 \times 0,595) = 0,58 \text{ m}^2$  olarak seçilmiştir. Kullanılan ZX-zeoliti-nin özgül ağırlığı  $0,64 \text{ kg/dm}^3$  olduğundan, zeolit tabakası kalınlığının 47 mm olması gerekmektedir. Toplayıcı içine yerleştirilecek aliminyum petek nedeni ile bu kalınlık 50mm olur.

Toplayıcı kabı 0,5 mm'lik bakır levhadan imal edilmiştir. 980x600x60 mm boyutlarında olup yalnız dik kenarlarından lehimlenmiştir. İç yüzeyi tamamen kalayla kaplanmıştır.

Isıyı yutucu yüzeyden zeolite iyi ve uniform bir şekilde iletmek, toplayıcı kabını vakuma karşı mukavim yapmak ve aynı zamanda buhar akışını kolaylaştırmak için (Şek. 4.3)'te görüldüğü gibi toplayıcı içersine kalınlığı 1 mm olan aliminyumdan delikli bir petek yerleştirilmiştir.

Peteğin boşlukları içersine zeolit doldurulmuştur. Zeolitten çıkan buharı toplamak için Peteğin arka tarafı 1mm aralıklı piriç tellerden imal edilmiş bir taşıyıcı elek ile örtülmüştür. Su buharını toplayıcının çıkış borusuna geçmesi için ayrıca ortaya doğru yönlendirilmiş aliminyum kanallar yerleştirilmiştir. Toplayıcı, ortasına çıkış (giriş) borusu lehimlenmiş 0,5 mm'lik bakır kapak ile lehimleyerek kapatılmıştır.

Toplayıcının arka ve yan yüzeyleri kalınlığı 50 mm olan cam yünü ile yalıtılmıştır. Yalıtım tabakası kalınlığı 0,1 mm olan bir aliminyum levha ile örtülerek muhafaza edilmiştir. Muhafaza ile toplayıcı arasındaki temas yüzeylerinde ısı transferini önlemek için araya 2 mm kalınlığında koruyucu



Şek. 4.3: Toplayıcı.

yalıtım bandı yerleştirilmiştir.

Toplayıcının yutucu yüzeyi ile arka yüzeyinin orta noktalarının sıcaklıklarını ölçmek için iki adet demir-konstantan termokupl bağlanmıştır. Ayrıca termokuplun ışınım maruz olan kısımları aliminyum kağıt ile sarılmıştır.

Sistemi boşaltmak maksadı ile toplayıcı kabının en üst noktasına iç çapı 8 mm bir boru lehimlenmiştir. Civalı manometreyi bağlamak için çıkış borusuna iç çapı 2 mm uzunluğu 40 mm bir boru kaynak edilmiştir.

#### 4.6. Yoğuşturucunun Şekillendirilmesi

Desorpsiyon sırasında meydana gelen su buharını yoğuşturmak ve soğutma sırasında buharlaştırıcıdan gelen su buharının toplayıcıya akışını sağlayan yoğuşturucuda, basınç kayıplarının en az olması için gerekli tedbirler alınmıştır. Yoğuşturucu içersinde akışın düzgün olmasına dikkat edilmiş ve ısı geçişini arttırmak üzere ısı geçiş yüzeyi imkan verdiği derecede büyük tutulmuştur.

Deneylerde toplayıcıya düşen ışınının şiddeti ortalama olarak  $900 \text{ W/m}^2$  (Bölüm 4.10.1) olup, toplayıcının ısı kapasitesi yaklaşık  $44,17 \text{ kJ/}^\circ\text{C}$  ve ışınlama başlangıcında toplayıcının ani verimi  $\eta_{ta}$  yaklaşık 0,8 olur. Bu durumda zeolitin ışınlama başlangıcından itibaren  $t_{desB} = 48^\circ\text{C}$  sıcaklığına kadar yükselmesi için geçecek zaman yaklaşık olarak 40 dakika olur.  $19440 \text{ kJ/m}^2\text{gün}$ 'lük toplam ışınım enerjisi elde edebilmek için yukarıda belirtilen ışınım şiddetinde 6 saat süre ile ışınlama yapmak gerekmektedir. Dolayısıyla yoğuşma zamanının yaklaşık 5,35 saat dolaylarında olacağı görülür. Buradan yoğuşturucunun ortalama ısıl gücü veya birim zamanda yuttuğu yoğuşma ısısı  $392 \text{ kJ/h}$  olur ve buna bağlı olarak yoğuşan su miktarının ortalama  $0,157 \text{ kg/h}$  olduğu hesaplanır.

Yoğuşturucuda 32 mm çapında bir bakır boru kullanılmıştır. Yukarıda verilen değerler gözönüne alınırsa boru içersindeki akışın laminar olduğu görülür. Soğutma suyu,

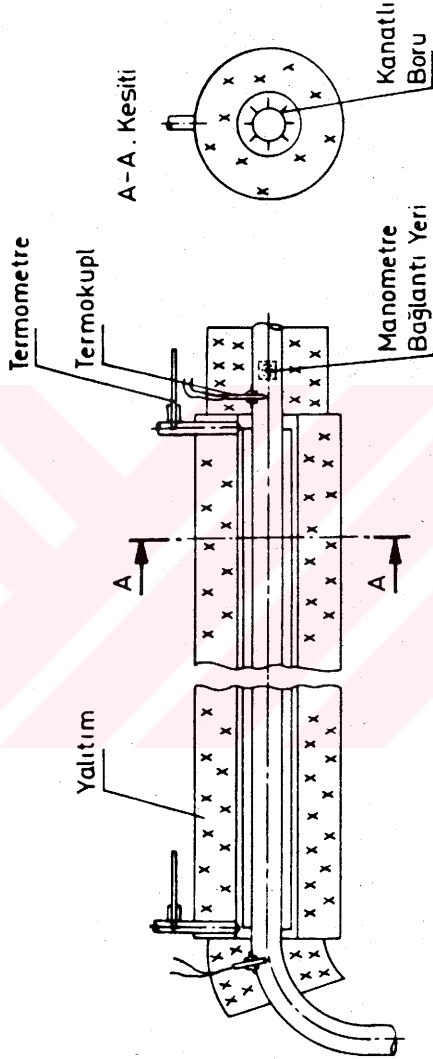
sisteme bir sabit seviye kabından ve sabit sıcaklıkta verilmekte olup suyun debisi 1,85 lt/dak'dır.

Sistemde kullanılan yoğuşturucu (Şek. 4.4)' te görülmektedir. Yoğuşturucu gömleği 70 mm çapında olan P.V.C. plastik borudan yapılmış olup ısı transferi yüzeyini oluşturan bakır boru üzerine sekiz adet 1 mm kalınlığında ve 10 mm genişliğinde bakır şerit lehimlenmiş ve böylece yüzey alanı genişletilmiştir. Yukarıda verilen değerler gözönüne alınarak yoğuşturucu borusunun uzunluğu 85 cm olarak hesaplanmıştır. Yoğuşan suyun kolayca akabilmesi için boru 5° meyilli olarak yerleştirilmiştir. (Şek. 4.4)' te görüldüğü gibi giriş ve çıkışa yerleştirilen termokupller ve termometreler yardımı ile buhar ve soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmektedir. Yoğuşturucu çevresinde 50 mm kalınlığında cam yünü yalıtım kullanılmaktadır.

#### 4.7. Buharlaştırıcı

Adsorpsiyon (soğutma) sırasında buharlaştırmanın meydana geldiği buharlaştırıcı aynı zamanda desorpsiyon sırasında yoğuşan suyu depolamak için bir kap olarak kullanılmaktadır. Kap (buharlaştırıcı) içersinde su miktarının sürekli olarak ölçülmesi amacı ile üzerinde taksimat bulunan 2 lt hacminde bir cam kap kullanılmıştır. Adsorpsiyon (soğutma) safhasında sistem içersindeki basınç yaklaşık olarak 0,87 kPa kaldığından buharlaştırıcıda birim zamanda buharlaşan su miktarı zeolitin birim zamanda adsorbe ettiği su miktarına yaklaşık olarak eşittir. Kuru ZX-zeolitin yalnız Shigeishi [4] tarafından verilmiş bulunan ve 10 mmHg basınçta adsorpsiyon kapasitesinin zamana bağlı olarak değişimini veren eğri mevcuttur. Deney koşullarının da buna yakın olduğu gözönünde tutulunca ZX-zeolitin kapasitesinin  $X_0 = 19,8$  (doymamış) olan  $X_0 = 24,6$  (doymuş) değerine yükselebilmesi için yaklaşık 16 saat geçeceği hesaplanır. Sistemde saatte ortalama ~ 52 gm su buharlaşmaktadır. Buna göre 0,87 kPa basıncında buharlaştırıcı soğutma gücü yaklaşık 131 kJ/h ve toplam soğutma

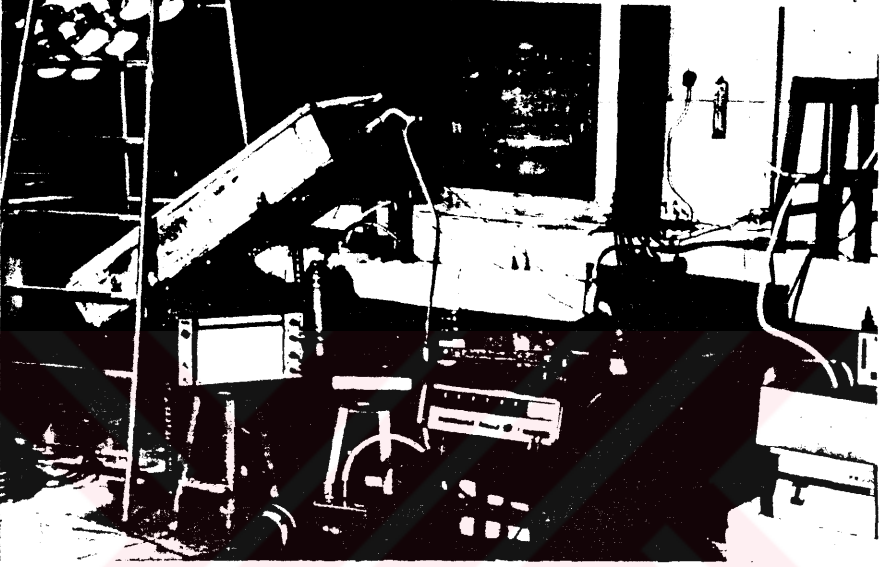




Şek. 4.4: Yoğuşturucu.

enerjisi - 2100 kJ/gün'dür.

(Şek. 4.5)' de deney tesisatının genel görünüşü bulunmaktadır.



Şek. 4.5: Tesisatın genel görünümü.

#### 4.8. Deneyleerin Yapılışı

0,87-6 kPa basınçlar arasında çalıştırılan sistemin ek yerleri lehimle ve özel yapıştırıcılar kullanarak sızdırmaz hale getirildikten sonra (Şek. 4.2)' de 17 ile işaretlenmiş bulunan vakum pompası çalıştırılır ve sistem boşaltılır. Sistem yaklaşık 24 saat vakum altında tutulduktan sonra sızdırmazlık kontrolü yapılır.

##### 4.8.1. Zeolitin Su İle Doyurulması

Buharlaştırıcı kabı üzerinde su seviyesi işaretlendikten sonra vakum pompası bir süre çalıştırılır ve sistemin basıncı ortalama olarak 0,87 kPa 'a düşürülerek suyun buharlaşması sağlanır. Bu işlem su seviyesinde herhangi bir

değişiklik meydana gelmeyinceye kadar aralıklı olarak 3 gün süre ile tekrarlanır. Böylece toplayıcı içersinde bulunan zeolitin su ile doyması sağlanmış olur.

#### 4.8.2. Işınım Şiddetinin Ölçülmesi

Toplayıcı yüzeyi simetrik olarak dört eşit parçaya ayrıldıktan sonra bu parçalardan her biri üzerinde cama paralel olarak gezdirilen bir piranometre ve buna bağlı olan digital bir integratör yardımı ile çok sayıda noktada ışınım şiddeti ölçülür. Bu ölçmelerde yapılan hata  $\pm$  %4 mertebesindedir.

#### 4.8.3. Yoğuşma Basıncının Kontrolü

Bir taşmalı kap kullanılarak ışınlama sırasında yoğuşturucudan geçen soğutma suyunun debisi sabit tutulmuştur. Soğutma suyu sıcaklığı ise (Şek. 4.2)'de 15 ile gösterilen termostat yardımı ile  $\pm$  0,5°C mertebesinde sabit tutulabilmektedir. Işınlama safhasında belirli bir soğutma suyu sıcaklığı için 7 ile işaretlenen manometrede (Şek. 4.2) yoğuşma basıncı okunur. Atmosfer basıncı İ.T.Ü. Meteoroloji laboratuvarında kalibre edilen bir barometre yardımı ile ölçülmüş ve yoğuşma basıncının hesaplanmasında kullanılmıştır. Böylece buhar tabloları yardımı ile yoğuşma sıcaklığının  $\pm$  %2,5 hata ile belirlenmesi mümkün olmuştur.

#### 4.8.4. Toplayıcı Sıcaklığının Ölçülmesi

(Şek. 4.2)'de görüldüğü gibi toplayıcı ön (yutucu) yüzeyinin sıcaklığı ile toplayıcı çıkış sıcaklığı iki girişli kaydedici bir potansiyometre yardımı ile, toplayıcı arka yüzey sıcaklığı ile yoğuşturucu çıkış sıcaklığı ise göstergeli bir potansiyometre yardımı ile ölçülmüştür. Kullanılan termokupllar ve potansiyometreler, topraklama koşulları ve sistemdeki diğer cihazların durumu dikkate alınarak,

deneylerden önce benzer şartlarda kalibre edilmiştir. Bu ölçmelerdeki hata  $\pm$  %2 mertebesinde dir. Soğutma suyunun giriş ve çıkış sıcaklıkları okuma hassasiyeti  $\pm$  0,1°C olan civalı termometreler ile ölçülmüştür.

#### 4.8.5. Yoğuşan ve Buharlaşan Su Miktarlarının Belirlenmesi

Buharlaştırıcı kabı üzerine yerleştirilen verniye taksimatlı bir ölçek yardımı ile ışınlama ve adsorpsiyon (soğutma) safhalarında yoğuşan ve buharlaşan su miktarı  $\pm$  2 ml hassasiyetle her yarım saatta bir ölçülmüştür. Bu ölçmeler yapılırken sıcaklık ve basınçlar da kaydedilmiştir.

#### 4.9. Deneylerde Kullanılacak Parametrelerin Tayini

Sistemin davranışını izlemek ve parametreleri tayin etmek amacıyla, deneylerde ışınlama safhasında ortalama yoğuşma sıcaklığı  $\bar{t}_c$  ve başlangıç adsorpsiyon kapasitesi  $X_B$  değişken olarak seçilmiştir. Ayrıca ışınım şiddeti  $I$  ve ışınlama süresi  $Z$  ile birlikte toplayıcıya düşen ışınım enerjisi  $Q_r$  değiştirilmiş ve ışınlama süresince her yarım saatta bir yoğuşan suyun hacmi, sıcaklıklar ve basınçlar ölçülmüştür. Adsorpsiyon (soğutma) safhasında zeolitin başlangıç adsorpsiyon kapasitesi ve ortalama buharlaşma sıcaklığı değiştirilmiş ve her yarım saatta bir adsorbe edilen suyun hacmi ile buharlaşma basıncı ölçülmüştür. Yapılan deneylerde aşağıdaki hususlar tesbit edilmiştir.

1- Adsorpsiyon (soğutma) safhasında toplayıcıdaki zeolitin su adsorpsiyon hızı; hava şartlarına, bu safhadaki adsorpsiyon çiftinin davranışına ve sistemin özelliklerine bağlıdır. Ayrıca buharlaştıracıdaki buharlaşma geç başlatılması veya adsorpsiyon (soğutma) safhasının kısa tutulması zeolitin doymuş hale gelmesine zaman bırakmaz. Bu taktirde zeolit ortam sıcaklığında ve doymaması durumunda ışınlama başlarsa zeolitin adsorpsiyon kapasitesi aynı koşullardaki doyma kapasitesinden daha küçük olur. Burada zeolitin ışınlama baş-

langıcında adsorpsiyon kapasitesi genel olarak  $X_B$  ile, doymuş zeolitin adsorpsiyon kapasitesi ise  $X_{BD}$  ile gösterilir.

Işınlama başlangıcında zeolitin adsorpsiyon kapasitesi  $X_B$ , aynı sıcaklıktaki doyma kapasitesi  $X_{BD}$ 'ye ne kadar yakınsa, sistemin soğutma etki katsayısı da o kadar büyük olmaktadır. Bunun nedeni başlangıçta zeolitin doymuş olarak bulunması halinde desorpsiyon sıcaklığının ve ısıısının daha küçük olmasıdır. Zeolit doymadan ışınlamaya başlanırsa doyma sıcaklığına erişilmesi için zeolitin ayrıca ısıtılması gerekir. Bu şekilde doymuş zeolit kullanıldığı halden farklı olarak zeolitin desorpsiyon yapmadan ışınım ile ısıtılması sistemin soğutma etki katsayısını düşürür.

2- Yoğuşma basıncının yükselmesi sistemin desorpsiyon başlangıç sıcaklığının yükselmesine ve yoğuşmanın gecikmesine neden olur. Ayrıca yüksek basınçta zeolitin adsorpsiyon doyma kapasitesi daha büyük olduğundan desorbe edilen su miktarı daha az olur.

3- Yoğuşma sıcaklığının ortalama değeri sabit kalmak şartı ile farklı yoğuşma basınçlarda yapılan deneylerde, eşit zaman aralıklarında yoğuşan su miktarının yaklaşık olarak aynı kaldığı görülmüştür.

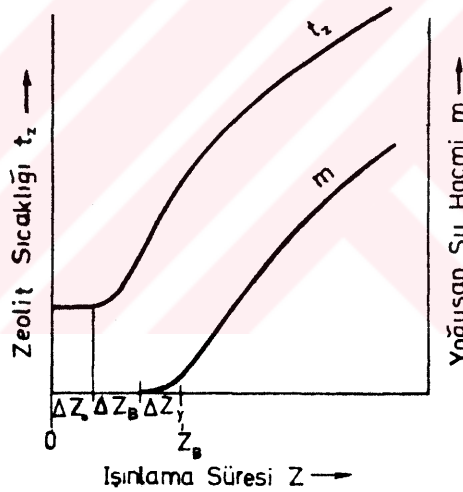
4- Adsorpsiyon (soğutma) safhasında buharlaştırıcı sıcaklığına tekabül eden basınç küçüktür. Bu basıncın daha hassas ölçülebilmesi için (McLeod) manometresi [35] ve civalı barometre gibi ölçü cihazları gerekmektedir.

5- Adsorpsiyon (soğutma) safhasında buharlaştırıcı sıcaklığı yükselince sistemin basıncı da yükseldiğinden zeolitin adsorpsiyon kapasitesi ve adsorpsiyon hızı artar. Neticede birim zamanda buharlaştırıcıda buharlaşan su ve çevreden çekilen ısı da artar.

6- Adsorpsiyon (soğutma) safhasına geçildiği zaman toplayıcının cam örtüsü kaldırılırsa ısı geçişinin iyileşmesi neticesi adsorpsiyon hızı da artar.

7- Işınım şiddeti arttıkça birim zamanda yoğuşan su miktarı da artar. Ancak deney değişik ışınım şiddeti kullanarak ve ışınım süresini değiştirmek suretiyle tekrarlanırsa belirli bir toplam ışınım enerjisi ile elde edilen yoğuşan su miktarı da yaklaşık olarak aynı kalır. Bu nedenle deneylerde ışınım şiddetini sabit tutmak ve ışınlama süresini değiştirmek yeterli olmaktadır.

8- Işınımın toplayıcıya ilk düştüğü anda yutucu yüzey ile metal kısımların sıcaklığı artmaya başlar (Şek. 4.6)' da görüldüğü gibi doymuş zeolit halinde zeolitin sıcaklığının artması belirli bir  $\Delta Z_0$  ışınlama süresi geçtikten sonra başlar. Bundan sonra sistemin  $\Delta Z_B$  süresi içerisinde basıncı



Şek. 4.6: Zeolit sıcaklığı  $t_z$  ve yoğuşan su miktarı  $m$ 'nin zamana bağlı olarak değişmesi.

$P_e$ 'den  $\bar{P}_c$ 'ye yükselirken zeolitin sıcaklığı da  $t_\zeta$ 'den  $t_{desB}$ 'ye yükselir ve yoğuşma başlar. Bundan sonra yoğuşturucu yüzeyleri üzerinde su damlacıkları belirir ve belirli bir  $\Delta Z_y$  süresi içerisinde söz konusu yüzeyler bir miktar su damlacıkları ile örtüldükten sonra taksimatlı cam kabına su akmaya

başlar. Yoğuşturucu yüzeylerde biriken su miktarı ihmal edilirse, cam kaba akan ilk su damlası, sistemde desorpsiyonun (yoğuşmanın) başladığı an'ı gösterir. Dolayısıyla cam kabta toplanan su miktarı zeolitte eksilen su miktarına eşit olduğu kabul edilebilir.

9- Sistem vakum altında bulunması ve vakumun deneylerde değişmesi nedeniyle sistemin tüm ek yerlerinin aralıklı olarak sızdırmazlık kontrolü yapılması gereklidir.

#### 4.10. Deney Değişkenlerinin Tesbiti

Yukarıda açıklanan bulgular göz önüne alınarak deneyler I ışınım şiddeti sabit tutularak değişik ışınlama süresi  $Z$ , başlangıç adsorpsiyon kapasitesi,  $X_B$  ve ortalama yoğuşma sıcaklığı,  $\bar{t}_c$  değerlerinde tekrarlanmıştır. Deney sonuçları bu parametrelerin fonksiyonu olarak değerlendirilerek her birinin etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir (Bölüm 5).

##### 4.10.1. Işınım Şiddetinin Tesbiti

Deneylerde Tchernev  $1000 \text{ W/m}^2$ lık Guilleminot ise  $800 \text{ W/m}^2$ lık sabit ışınım şiddeti kullanmışlardır [16, 17]. İstanbul'da yaz aylarında ölçülen en yüksek ışınım şiddeti göz önünde tutularak bu çalışmada yapılan deneylerde ayrıca  $900 \text{ W/m}^2$ 'lik sabit ışınım şiddeti kullanılmıştır. Bu koşulda  $Z=0-6$  saatlik bir ışınlama süresi için toplayıcıya düşen maksimum ışınım enerjisi  $Q_r=11275,2 \text{ kJ}$  olur.

##### 4.10.2. Işınlama Başlangıcındaki Adsorpsiyon Kapasitesinin Seçimi

(Bölüm 4.3)'te açıklandığı gibi Zeolitin  $t_{ad}=25^\circ\text{C}$  ve  $P_e=0,87 \text{ kPa}$ 'a tekâbul eden adsorpsiyon doyma kapasitesi  $X_{BD}=\% 24,6$  olur. Işınlama safhasında desorbe edilen suyun tümü soğutma safhası yaklaşık 16 saat içerisinde adsorbe edilir. Deneyler ayrıca kısa adsorpsiyon süresi sonunda elde

edilen ve adsorpsiyon kapasitesi  $X_B = \% 23,8$  ve  $X_B = \% 23$  olan doymamış zeolit için de tekrarlanmıştır.

#### 4.10.3. Yoğuşma Sıcaklığının Seçilmesi

Absorpsiyonlu soğutma sisteminde maksimum yoğuşma sıcaklığının  $40^\circ\text{C}$  olduğu dikkate alınarak deneyler  $\bar{t}_c = 36^\circ\text{C}$ ,  $\bar{t}_c = 43^\circ\text{C}$  ve  $\bar{t}_c = 47^\circ\text{C}$  ortalama yoğuşma sıcaklıklarında tekrarlanmıştır.

Yukarıdaki koşullara uygun ölçme değerleri (Bölüm 5)'te değerlendirilmiştir.



## 5. DENEY SONUÇLARI

### 5.1. Bulgular

(Bölüm 4.10)'da açıklandığı üzere ışınlama safhasında seçilen ışınlama süresi Z'nin, ışınlama başlangıcındaki zeolit'in su adsorpsiyon kapasitesi  $X_B$ 'nin ve ortalama yoğuşma sıcaklığı  $\bar{t}_c$ 'nin muhtelif değerleri için yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar (Tablo 5.1-5.3)'te verilmiş ve (Şek.5.1-5.9)'daki diyagramlarda gösterilmiştir. Bu tablolarda ve diyagramlarda yoğuşan su miktarı ile (Bölüm 4.8.4)'te belirtildiği gibi kalibrasyon eğrisi yardımı ile tesbit edilen toplayıcı ön (yutucu) ve arka yüzey sıcaklıklarının ışınlama süresine bağlı olarak değişmesi görülmektedir.

Başlangıçta henüz yoğuşmanın başlamadığı süre içinde alınan enerji duyulur ısıya dönüşür. Ayrıca toplayıcı sıcaklığının düşük olması nedeniyle toplayıcı verimi de yüksektir. Dolayısıyla ışınlama başlangıcından itibaren yoğuşma başlangıcına kadar toplayıcı sıcaklığı hızla yükselir. Yoğuşturucu çıkışında ilk su damlacığının belirmesi ile deney koşullarında toplayıcının desorpsiyon sıcaklığına eriştiği anlaşılır. Bu andan itibaren toplayıcı sıcaklığındaki artma hızı azalır.

Yoğuşma başlangıcında henüz sıcaklığın düşük olması nedeniyle toplayıcı verimi yüksek olur ve zeolit'in adsorpsiyon doyma kapasitesinin büyük olması nedeniyle de desorpsiyon (veya adsorpsiyon) ısısı küçük olur. Dolayısıyla birim zamanda yoğuşan su miktarı fazla olur. Işınlama süresi büyüdükçe toplayıcı ani veriminin düşmesi ile toplayıcı (veya zeolit) sıcaklığının artışı yavaşlar ve neticede yoğuşan su azalır.

(Şek. 5.1-5.3)'te  $\bar{t}_c=36^\circ\text{C}$  ortalama yoğuşma sıcaklığına ait desorpsiyon eğrileri incelenirse, zeolit'in ışınlama başlangıcındaki adsorpsiyon kapasitesi  $X_B$ 'nin % 24,6'dan % 23'e kadar azalması sonucunda 6 saatlik ışınlama süresinde yoğuşan toplam su miktarının 0,243 oranında azaldığı görülür. Bu oran  $\bar{t}_c=43^\circ\text{C}$  için 0,260 ve  $\bar{t}_c=47^\circ\text{C}$  için de 0,283

Tablo 5.1

$\bar{t}_c = 36^\circ\text{C}$  sıcaklığında ışınım enerjisi  $Q_r$ 'ye tekabül eden toplayıcı sıcaklıkları  $t_{t\ddot{o}}$ ,  $t_{ta}$  ve yoğuşan su miktarı  $m_v$

| Zaman | $Q_r$   | $x_B = \% 24,6$  |                  |       | $x_B = \% 23,8$  |                  |       | $x_B = \% 23$    |                  |       |
|-------|---------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|
|       |         | $t_{t\ddot{o}}$  | $t_{ta}$         | $m_v$ | $t_{t\ddot{o}}$  | $t_{ta}$         | $m_v$ | $t_{t\ddot{o}}$  | $t_{ta}$         | $m_v$ |
| Saat  | kJ      | $^\circ\text{C}$ | $^\circ\text{C}$ | ml    | $^\circ\text{C}$ | $^\circ\text{C}$ | ml    | $^\circ\text{C}$ | $^\circ\text{C}$ | ml    |
| 1,0   | 1879,2  | 57,0             | 45,5             | 154   | 61,5             | 49,0             | 106   | 65,0             | 52,0             | 50    |
| 1,5   | 2818,8  | 65,5             | 52,5             | 260   | 69,5             | 56,0             | 200   | 72,5             | 58,5             | 146   |
| 2,0   | 3758,4  | 73,0             | 59,5             | 354   | 77,0             | 61,5             | 290   | 79,5             | 63,5             | 232   |
| 2,5   | 4698,0  | 79,5             | 65,0             | 442   | 83,0             | 67,0             | 364   | 85,0             | 68,5             | 304   |
| 3,0   | 5637,6  | 86,0             | 70,5             | 522   | 89,0             | 72,0             | 438   | 90,5             | 73,5             | 370   |
| 3,5   | 6577,2  | 92,0             | 75,5             | 596   | 94,0             | 76,5             | 502   | 96,0             | 78,0             | 432   |
| 4,0   | 7516,8  | 97,0             | 80,0             | 666   | 99,0             | 80,5             | 562   | 100,5            | 82,0             | 484   |
| 4,5   | 8456,4  | 101,5            | 84,0             | 726   | 103,0            | 84,5             | 618   | 105,0            | 85,5             | 532   |
| 5,0   | 9396,0  | 105,5            | 87,5             | 776   | 107,0            | 87,5             | 672   | 109,0            | 89,0             | 576   |
| 5,5   | 10335,6 | 109,5            | 90,5             | 818   | 110,0            | 90,5             | 712   | 112,0            | 92,0             | 616   |
| 6,0   | 11275,2 | 112,5            | 93,0             | 856   | 113,0            | 93,0             | 748   | 115,0            | 95,0             | 648   |

Tablo 5.2

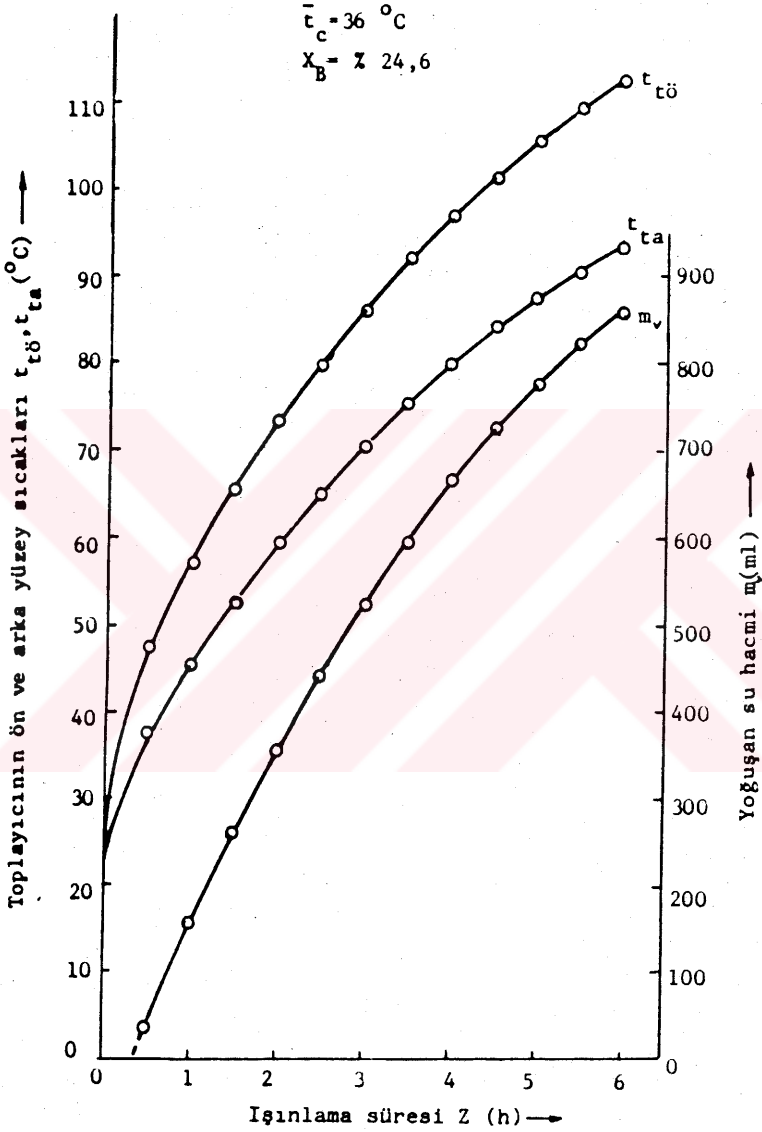
$\bar{t}_c = 43^\circ\text{C}$  sıcaklığında ışınım enerjisi  $Q_r$ 'ye tekabül eden toplayıcı sıcaklıkları  $t_{tö}$ ,  $t_{ta}$  ve yoğuşan su miktarı  $m_v$ .

|       |         | $X_B = \% 24,6$  |                  |       | $X_B = \% 23,8$  |                  |       | $X_B = \% 23$    |                  |       |
|-------|---------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|
| Zaman | $Q_r$   | $t_{tö}$         | $t_{ta}$         | $m_v$ | $t_{tö}$         | $t_{ta}$         | $m_v$ | $t_{tö}$         | $t_{ta}$         | $m_v$ |
| Saat  | kJ      | $^\circ\text{C}$ | $^\circ\text{C}$ | ml    | $^\circ\text{C}$ | $^\circ\text{C}$ | ml    | $^\circ\text{C}$ | $^\circ\text{C}$ | ml    |
| 1,0   | 1879,2  | 59,5             | 47,5             | 100   | 62,5             | 49,5             | 50    | 66,0             | 51,5             | 14    |
| 1,5   | 2818,8  | 67,5             | 55,0             | 194   | 70,5             | 56,5             | 142   | 74,5             | 59,0             | 94    |
| 2,0   | 3758,4  | 75,0             | 62,0             | 282   | 78,0             | 62,5             | 232   | 80,5             | 65,0             | 172   |
| 2,5   | 4698,0  | 82,0             | 67,5             | 360   | 85,5             | 67,5             | 314   | 87,0             | 70,5             | 242   |
| 3,0   | 5637,6  | 88,5             | 72,5             | 434   | 91,5             | 72,5             | 388   | 93,0             | 75,5             | 308   |
| 3,5   | 6577,2  | 94,0             | 77,5             | 500   | 97,0             | 77,5             | 454   | 98,5             | 80,0             | 370   |
| 4,0   | 7516,8  | 99,0             | 82,0             | 564   | 102,0            | 82,5             | 514   | 103,0            | 84,5             | 426   |
| 4,5   | 8456,4  | 103,5            | 85,5             | 624   | 106,0            | 86,5             | 560   | 106,5            | 88,5             | 466   |
| 5,0   | 9396,0  | 107,0            | 89,0             | 674   | 109,5            | 90,0             | 600   | 110,0            | 92,0             | 506   |
| 5,5   | 10335,6 | 110,0            | 92,0             | 720   | 112,5            | 93,5             | 636   | 112,5            | 94,5             | 536   |
| 6,0   | 11275,2 | 113,0            | 94,5             | 754   | 115,0            | 96,0             | 656   | 115,0            | 97,0             | 558   |

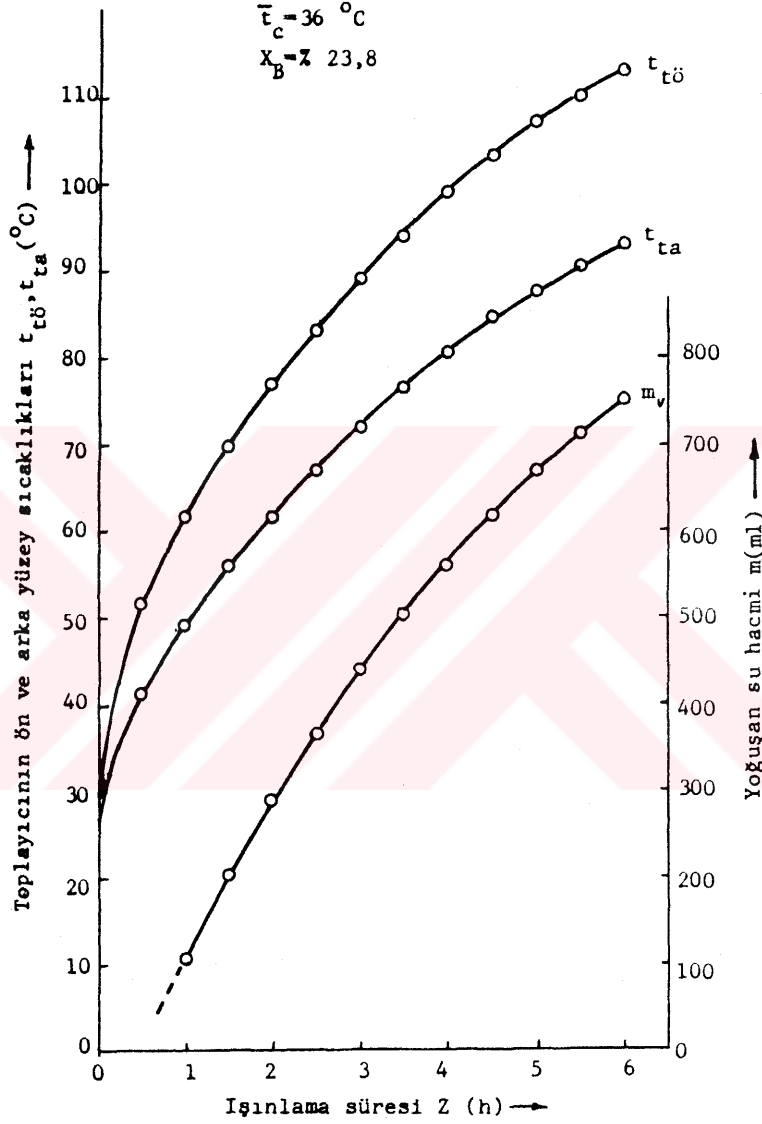
Tablo 5.3

$\bar{t}_c = 47^\circ\text{C}$  sıcaklığında ışınlım enerjisi  $Q_r$ 'ye tekabül eden toplayıcı sıcaklıkları  $t_{t\ddot{o}}$ ,  $t_{ta}$  ve yoğuşan su miktarı  $m_v$

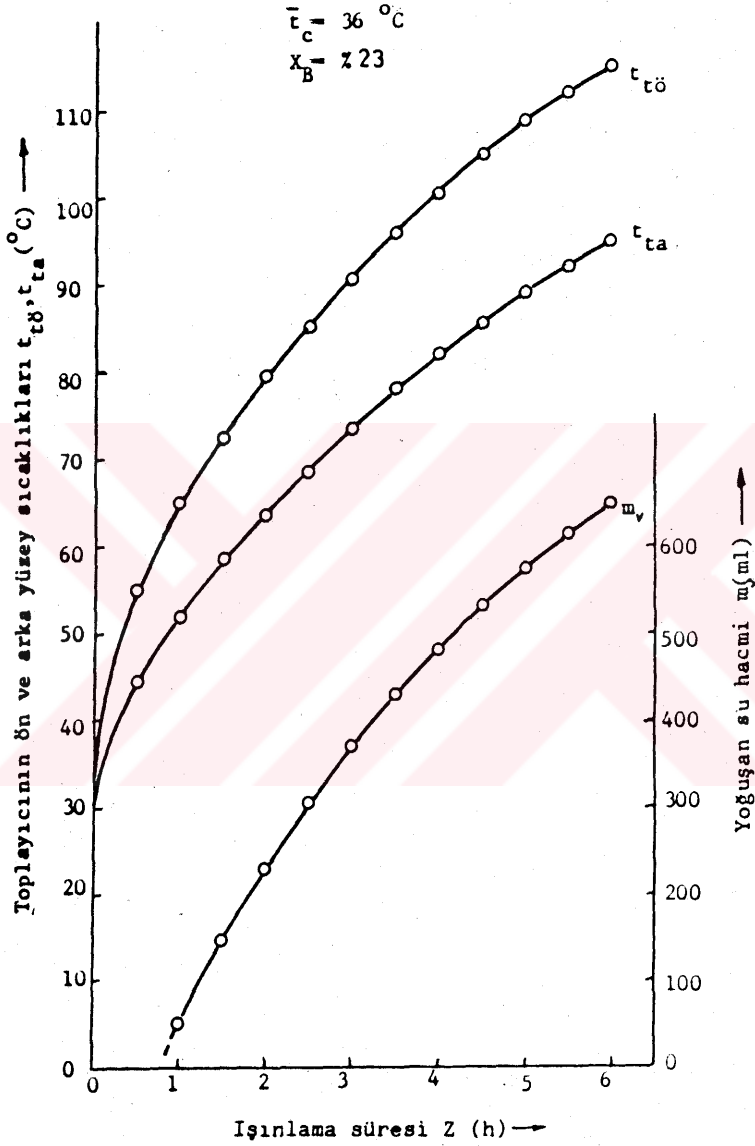
| Zaman | $Q_r$   | $x_B = \% 24,6$  |                  |       | $x_B = \% 23,8$  |                  |       | $x_B = \% 23$    |                  |       |
|-------|---------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|
|       |         | $t_{t\ddot{o}}$  | $t_{ta}$         | $m_v$ | $t_{t\ddot{o}}$  | $t_{ta}$         | $m_v$ | $t_{t\ddot{o}}$  | $t_{ta}$         | $m_v$ |
| Saat  | kJ      | $^\circ\text{C}$ | $^\circ\text{C}$ | ml    | $^\circ\text{C}$ | $^\circ\text{C}$ | ml    | $^\circ\text{C}$ | $^\circ\text{C}$ | ml    |
| 1,0   | 1879,2  | 62,0             | 49,5             | 52    | 64,5             | 51,5             | 16    | 66,5             | 53,5             | 0     |
| 1,5   | 2818,8  | 70,0             | 56,0             | 144   | 72,5             | 59,5             | 108   | 75,0             | 60,5             | 50    |
| 2,0   | 3758,4  | 77,0             | 62,0             | 224   | 79,5             | 65,5             | 188   | 82,0             | 66,0             | 132   |
| 2,5   | 4698,0  | 83,5             | 67,5             | 306   | 85,5             | 71,0             | 264   | 88,0             | 72,0             | 196   |
| 3,0   | 5637,6  | 90,0             | 72,5             | 384   | 91,5             | 76,0             | 330   | 93,5             | 77,0             | 254   |
| 3,5   | 6577,2  | 95,0             | 77,5             | 452   | 97,0             | 81,0             | 394   | 98,5             | 81,5             | 306   |
| 4,0   | 7516,8  | 99,5             | 82,5             | 512   | 101,5            | 85,5             | 452   | 103,0            | 85,5             | 354   |
| 4,5   | 8456,4  | 104,5            | 86,5             | 568   | 105,5            | 89,5             | 500   | 108,0            | 89,5             | 398   |
| 5,0   | 9396,0  | 109,0            | 90,0             | 620   | 110,0            | 93,0             | 542   | 112,5            | 93,0             | 438   |
| 5,5   | 10335,6 | 112,5            | 93,0             | 660   | 113,5            | 96,0             | 574   | 115,5            | 96,0             | 470   |
| 6,0   | 11275,2 | 115,5            | 95,5             | 692   | 116,5            | 98,5             | 600   | 118,5            | 98,5             | 496   |



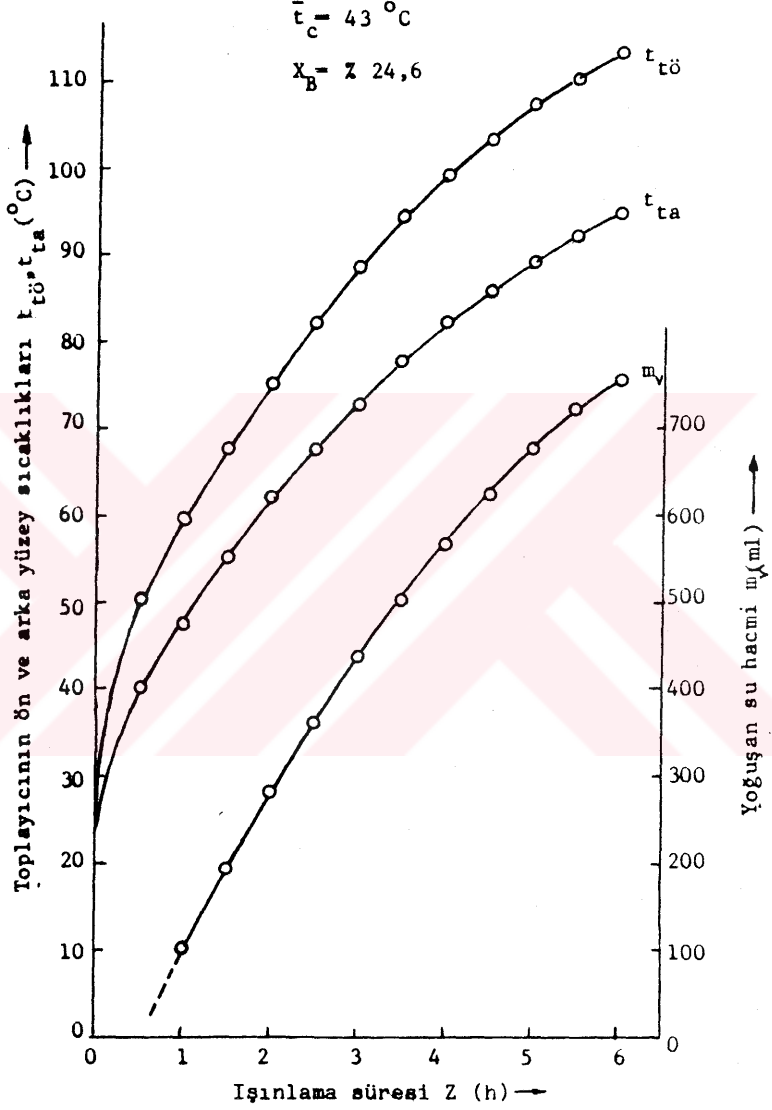
Şek. 5.1 : Toplayıcı yüzey sıcaklıkları ve yoğuşan su hacminin ışınlama süresine bağlı olarak değişmesi.



Şek. 5.2 : Toplayıcı yüzey sıcaklıkları ve yoğuşan su hacminin ışınlama süresine bağlı olarak değişmesi.

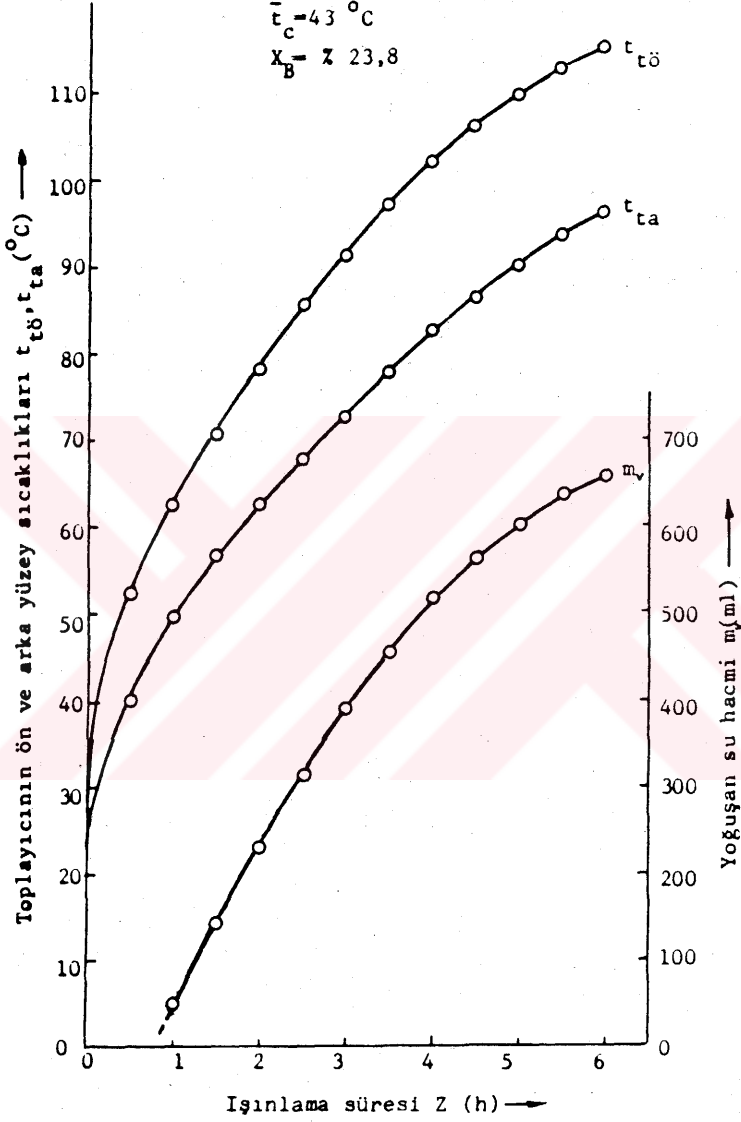


Şek. 5.3 : Toplayıcı yüzey sıcaklıkları ve yoğuşan su hacminin ışınlama süresine bağlı olarak değişmesi.

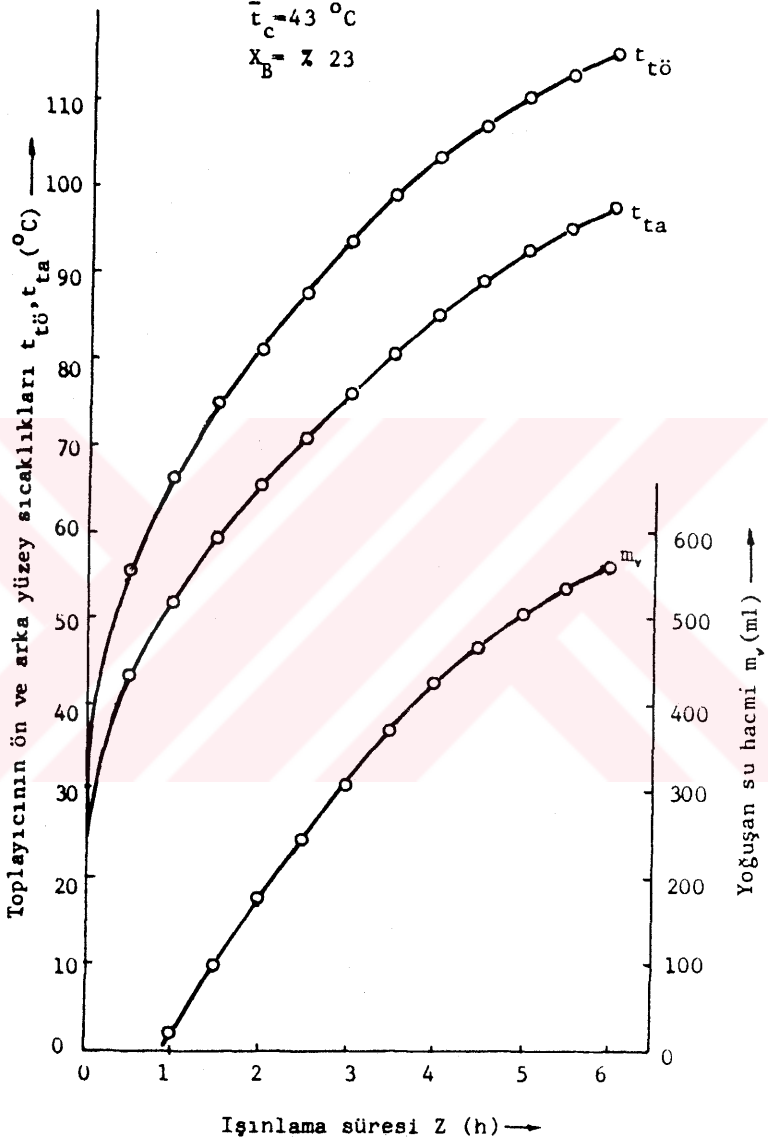


Şek. 5.4 : Toplayıcı yüzey sıcaklıkları ve yoğuşan su hacminin işınlama süresine bağılı olarak değışmesi.

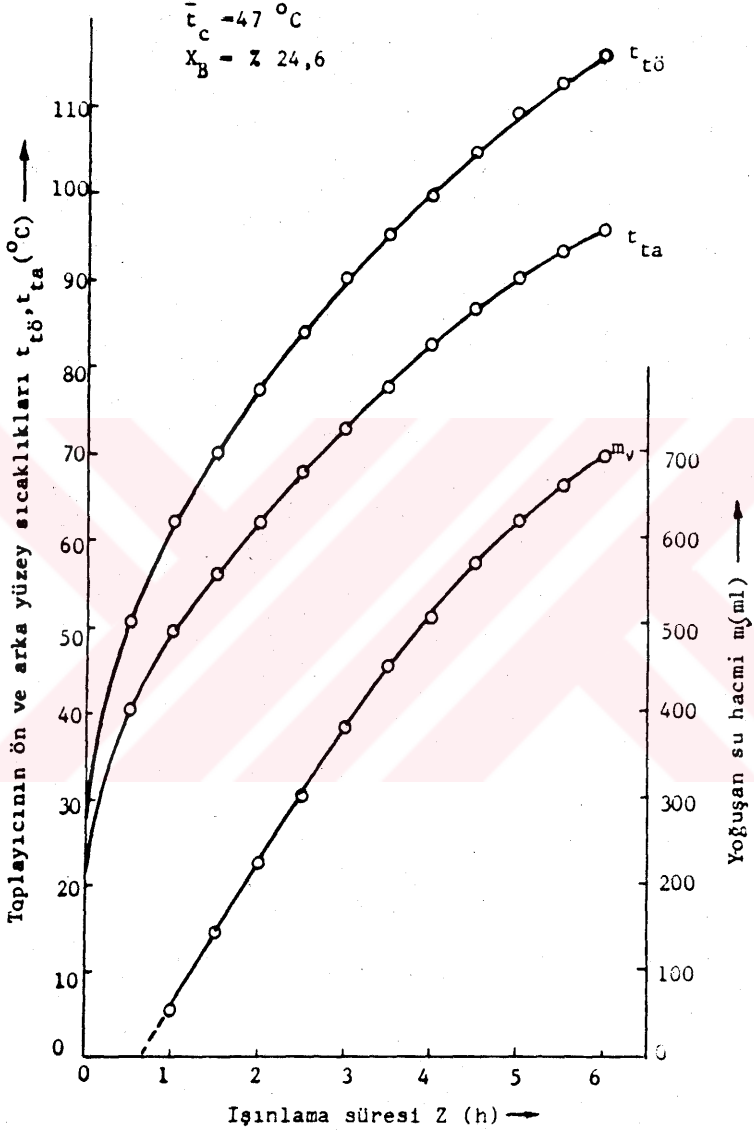




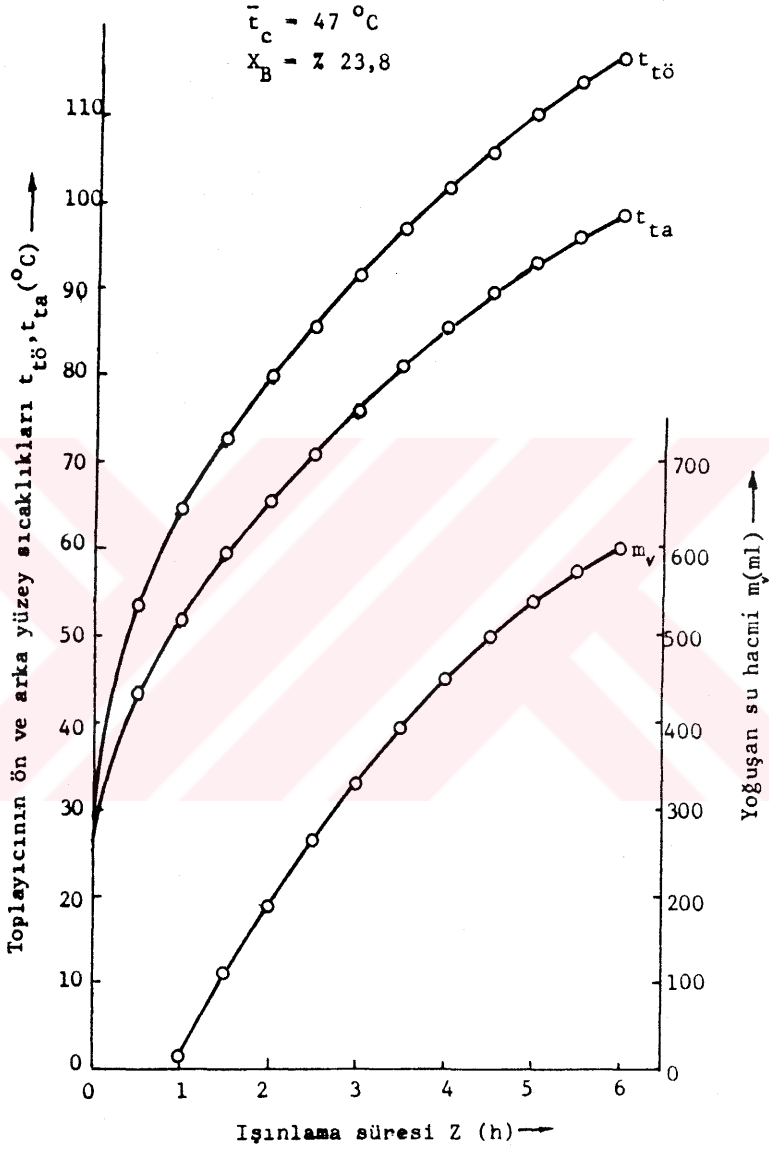
Şek. 5.5 : Toplayıcı yüzey sıcaklıkları ve yoğuşan su hacminin ışınlama süresine bağlı olarak değişmesi.



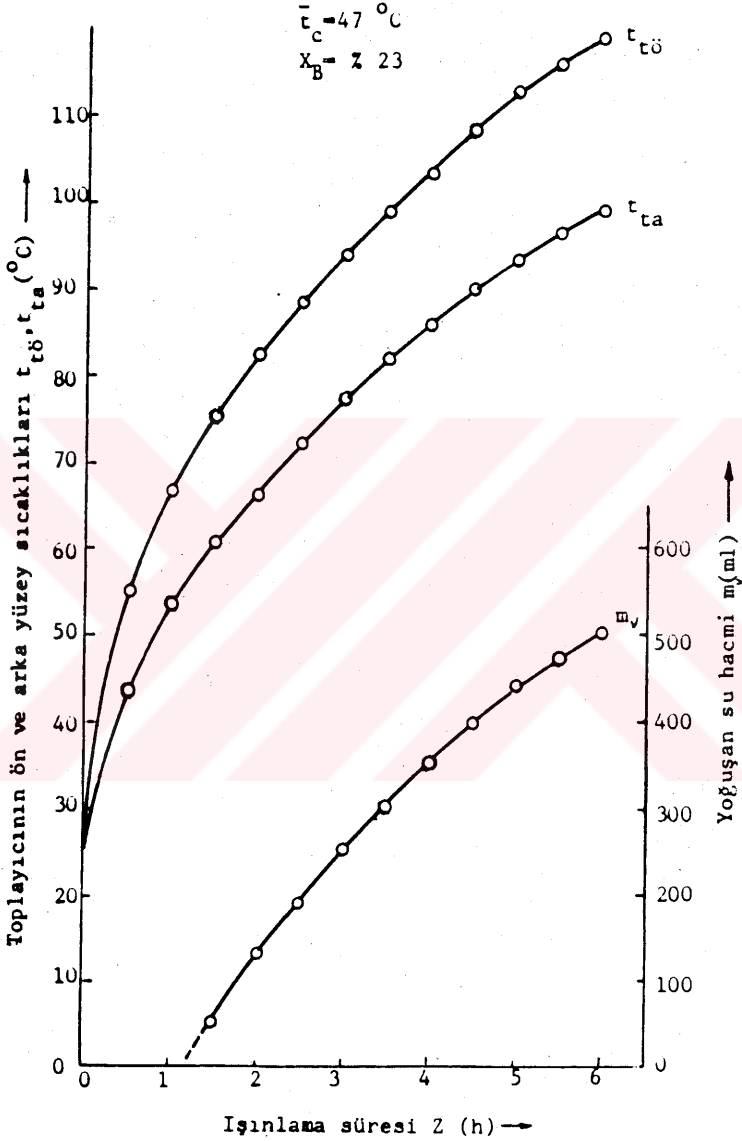
Şek. 5.6 : Toplayıcı yüzey sıcaklıkları ve yoğuşan su hacminin ışınlama süresine bağlı olarak değişmesi.



Şek. 5.7 : Toplayıcı yüzey sıcaklıkları ve yoğuşan su hacminin ışınlama süresine bağlı olarak değişmesi.



Şek. 5.8 : Toplayıcı yüzey sıcaklıkları ve yoğuşan su hacminin ışınlama süresine bağlı olarak değişmesi.



Şek. 5.9 : Toplayıcı yüzey sıcaklıkları ve yoğuşan su hacminin ışınlama süresine bağlı olarak değişmesi.

olur. Görülür ki  $\bar{t}_c$ 'nin büyümesi ile söz konusu oranda büyümektedir. Neticede belirli bir Z ışınlama süresi için  $X_B$ 'nin küçülmesi ile  $\bar{t}_c$ 'nin büyümesi yoğuşan su miktarını azaltacak yönde etki yapmaktadır. Ayrıca ışınlama başlangıcından itibaren yoğuşma (veya desorpsiyon) başlayıncaya kadar toplayıcıya düşmesi gereken  $Q_B$  ışınım enerjisi  $X_B$ 'nin küçülmesi ve  $\bar{t}_c$ 'nin büyümesi ile daha büyük olmaktadır. Desorpsiyon eğrisinin Z eksenini kestiği nokta  $Z_B$ 'yi verir ve burada  $Q_B = IZ_B$  olur.

### 5.2. Zeolitin Adsorpsiyon Doyma Kapasitesi

Işınlama safhasında yoğuşan su miktarının ölçülen değerlerini kullanarak zeolitin adsorpsiyon doyma kapasitesi

$$X_o = X_B - \frac{m}{G} 100 \quad (5.1)$$

bağıntısı yardımı ile hesaplanabilir. Elde edilen değerler (Tablo 5.4-5.6)'da verilmiş ve (Şek. 5.10-5.12)'deki diyagramlarda ışınım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak gösterilmiştir.  $X_o$ 'ın değişimi incelenirse,  $X_o$ 'ın yoğuşma başlangıcında hızlı daha sonra yavaş yavaş azaldığı görülür. Belirli bir  $\bar{t}_c$ 'ye ait desorpsiyon eğrileri ( $X_o$ ) incelenirse,  $X_B$ 'nin küçülmesi ile birim ışınım enerjisinde  $X_o$ 'ın düşmesinin azaldığı görülür. Ayrıca  $\bar{t}_c$ 'nin büyümesi ile birim ışınım enerjisinde  $X_o$ 'ın düşmesi daha az olmaktadır.

### 5.3. Adsorpsiyon Doyma Kapasitesinin $Q_r$ , $\bar{t}_c$ ve $X_B$ Cinsinden İfade Edilmesi

(Şek. 5.10-5.12)'de belirli bir ortalama yoğuşma sıcaklığında ve ışınlama başlangıcında gözönüne alınan zeolitin su adsorpsiyon kapasitesinin değişik değerleri için bulunan adsorpsiyon doyma kapasitesi  $X_o$  değerleri  $Q_r$  üzerine taşınmış ve birbirlerine benzer bir eğriler demeti elde edilmiştir.

Tablo 5.4  
 $X_0$  değerleri ( $\bar{t}_c=36$  °C)

$E = -0.13363546F - 0.5$        $n = 0.8067$

| Or<br>K.J | YR= % 24.6 |        |       | XR= % 25.8 |        |       | XR= % 25.9 |        |       |
|-----------|------------|--------|-------|------------|--------|-------|------------|--------|-------|
|           | X          | X      | %     | X          | X      | %     | X          | X      | %     |
|           | DENEY      | FORMÜL | FARK  | DENEY      | FORMÜL | FARK  | DENEY      | FORMÜL | FARK  |
| 1879.2    | 23.72      | 23.62  | 0.41  | 23.19      | 23.06  | 0.56  | 22.71      | 22.56  | 0.66  |
| 2818.8    | 23.41      | 23.09  | 0.19  | 22.66      | 22.59  | 0.30  | 22.17      | 22.13  | 0.16  |
| 3758.4    | 22.58      | 22.62  | -0.17 | 22.14      | 22.15  | -0.05 | 21.67      | 21.72  | -0.22 |
| 4698.0    | 22.07      | 22.18  | -0.46 | 21.72      | 21.74  | -0.11 | 21.26      | 21.33  | -0.34 |
| 5637.6    | 21.62      | 21.77  | -0.69 | 21.30      | 21.36  | -0.28 | 20.89      | 20.97  | -0.39 |
| 6577.2    | 21.19      | 21.38  | -0.86 | 20.93      | 20.99  | -0.27 | 20.53      | 20.61  | -0.41 |
| 7516.8    | 20.76      | 21.01  | -1.02 | 20.59      | 20.63  | -0.22 | 20.23      | 20.28  | -0.21 |
| 8456.4    | 20.45      | 20.65  | -0.99 | 20.27      | 20.30  | -0.13 | 19.96      | 19.95  | 0.05  |
| 9396.0    | 20.17      | 20.31  | -0.73 | 19.96      | 19.97  | -0.04 | 19.71      | 19.64  | 0.37  |
| 10335.6   | 19.93      | 19.99  | -0.31 | 19.73      | 19.85  | -0.39 | 19.48      | 19.33  | 0.76  |
| 11275.2   | 19.71      | 19.67  | 0.19  | 19.53      | 19.35  | 0.91  | 19.30      | 19.04  | 1.35  |

Tablo 5.5  
 $X_o$  değerleri ( $\bar{T}_C = 43 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

R = -0.12239782E-03      n = 0.8003

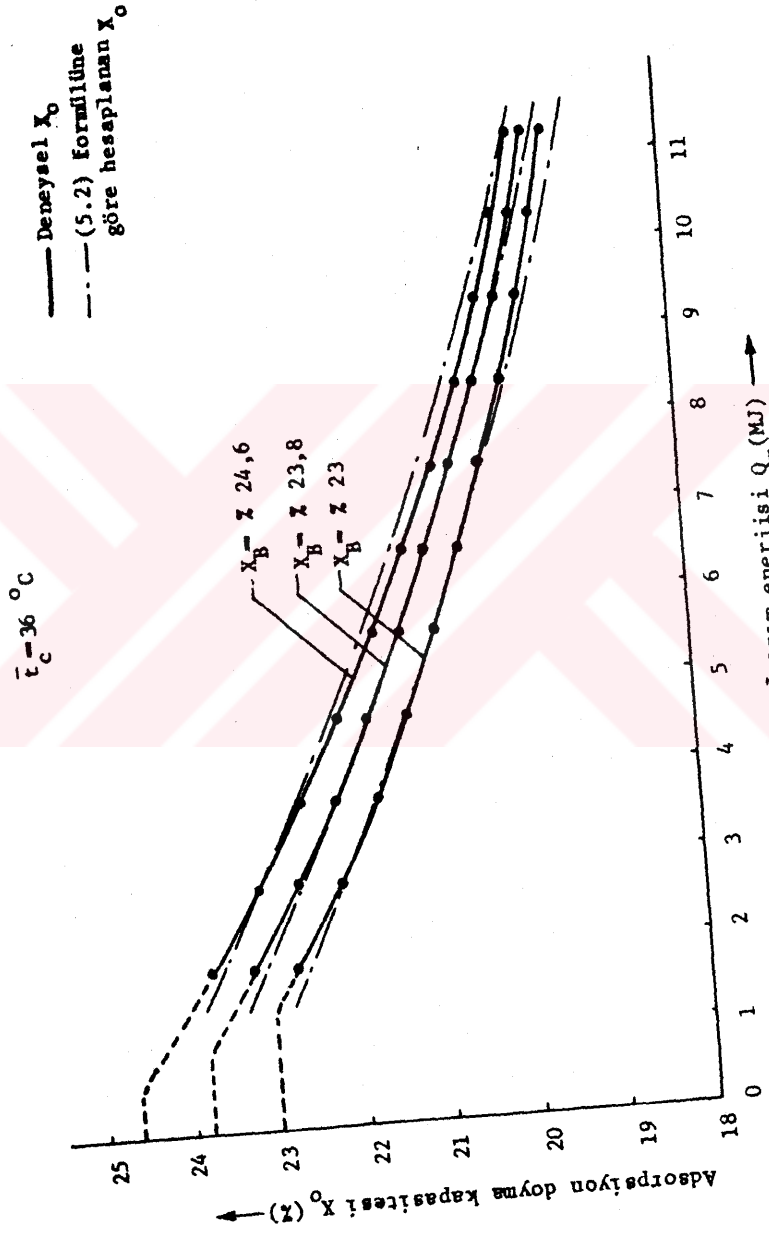
| Gr<br>KJ | XB= % 24.6 |             |           | XB= % 23.8 |             |           | XB= % 23.0 |             |           |
|----------|------------|-------------|-----------|------------|-------------|-----------|------------|-------------|-----------|
|          | X<br>DENEY | X<br>FORMÜL | %<br>FARK | X<br>DENEY | X<br>FORMÜL | %<br>FARK | X<br>DENEY | X<br>FORMÜL | %<br>FARK |
| 1879.2   | 24.03      | 23.92       | 0.45      | 23.51      | 23.38       | 0.59      | 22.92      | 22.90       | 0.09      |
| 2818.8   | 23.49      | 23.40       | 0.38      | 22.99      | 22.92       | 0.29      | 22.46      | 22.49       | -0.10     |
| 3758.4   | 22.99      | 22.95       | 0.18      | 22.47      | 22.51       | -0.15     | 22.02      | 22.10       | -0.37     |
| 4698.0   | 22.54      | 22.53       | 0.06      | 22.01      | 22.12       | -0.52     | 21.62      | 21.73       | -0.54     |
| 5637.6   | 22.12      | 22.14       | -0.09     | 21.58      | 21.75       | -0.79     | 21.24      | 21.39       | -0.69     |
| 6577.2   | 21.74      | 21.77       | -0.14     | 21.21      | 21.40       | -0.94     | 20.89      | 21.05       | -0.80     |
| 7516.8   | 21.38      | 21.42       | -0.22     | 20.86      | 21.07       | -1.00     | 20.57      | 20.73       | -0.82     |
| 8456.4   | 21.03      | 21.09       | -0.26     | 20.60      | 20.75       | -0.73     | 20.34      | 20.43       | -0.44     |
| 9396.0   | 20.75      | 20.77       | -0.10     | 20.37      | 20.44       | -0.35     | 20.11      | 20.13       | -0.10     |
| 10335.6  | 20.49      | 20.46       | 0.13      | 20.17      | 20.15       | 0.10      | 19.94      | 19.84       | 0.48      |
| 11275.2  | 20.29      | 20.16       | 0.64      | 20.05      | 19.86       | 0.97      | 19.81      | 19.56       | 1.26      |



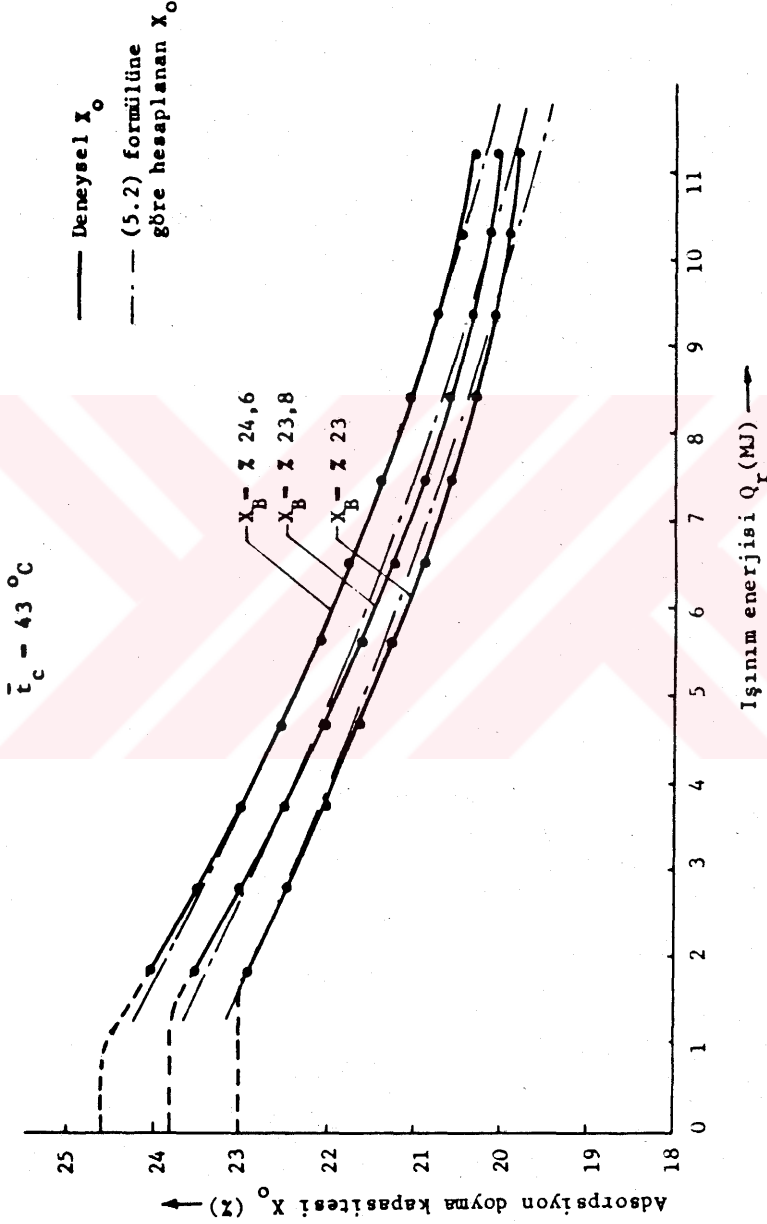
Tablo 5.6  
 $X_o$  değerleri ( $\bar{t}_c=47^\circ\text{C}$ )

$B = -0,11207045E-05$        $\alpha = 0,80093$

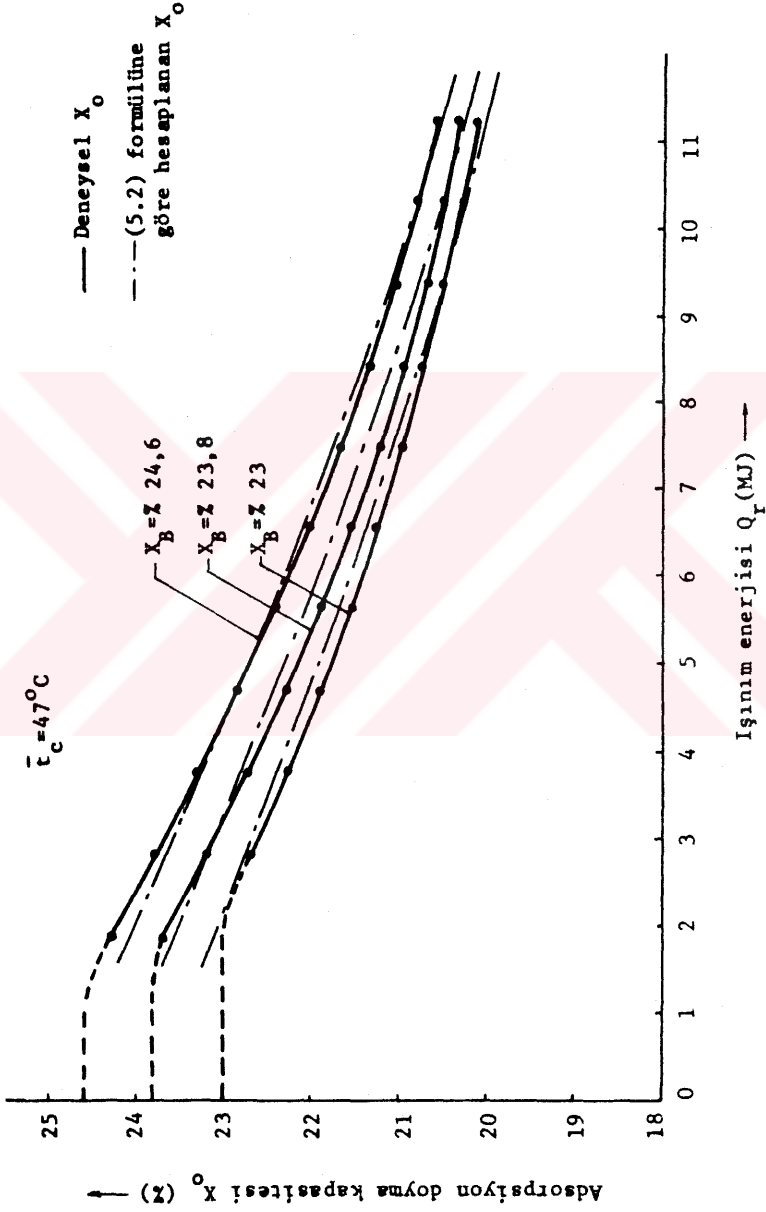
| GT<br>KJ | X <sub>1</sub> = 24,6 |        | X <sub>2</sub> = 23,8 |        | X <sub>3</sub> = 23,0 |        |       |       |       |       |       |
|----------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
|          | X                     | Z      | X                     | Z      | X                     | Z      |       |       |       |       |       |
|          | DENEY                 | FÖRMÜL | DENEY                 | FÖRMÜL | DENEY                 | FÖRMÜL |       |       |       |       |       |
| 1879,2   | 24,50                 | 24,12  | 0,74                  | 0,74   | 23,71                 | 23,60  | 0,97  | 0,97  | 23,00 | 23,15 | -0,05 |
| 2818,8   | 23,78                 | 23,62  | 0,65                  | 0,65   | 23,18                 | 23,17  | 0,06  | 0,06  | 22,71 | 22,76 | -0,10 |
| 3758,4   | 23,32                 | 23,19  | 0,55                  | 0,55   | 22,73                 | 22,70  | -0,23 | -0,23 | 22,25 | 22,39 | -0,66 |
| 4698,0   | 22,85                 | 22,80  | 0,23                  | 0,23   | 22,29                 | 22,41  | -0,55 | -0,55 | 21,80 | 22,05 | -0,78 |
| 5637,6   | 22,41                 | 22,43  | -0,12                 | -0,12  | 21,91                 | 22,07  | -0,71 | -0,71 | 21,35 | 21,75 | -0,82 |
| 6577,2   | 22,02                 | 22,09  | -0,32                 | -0,32  | 21,55                 | 21,74  | -0,90 | -0,90 | 21,25 | 21,41 | -0,76 |
| 7516,8   | 21,67                 | 21,76  | -0,40                 | -0,40  | 21,22                 | 21,45  | -1,01 | -1,01 | 20,98 | 21,11 | -0,65 |
| 8456,4   | 21,35                 | 21,45  | -0,44                 | -0,44  | 20,94                 | 21,15  | -0,89 | -0,89 | 20,73 | 20,85 | -0,48 |
| 9396,0   | 21,06                 | 21,15  | -0,42                 | -0,42  | 20,70                 | 20,89  | -0,67 | -0,67 | 20,50 | 20,55 | -0,74 |
| 10335,6  | 20,83                 | 20,86  | -0,14                 | -0,14  | 20,52                 | 20,56  | -0,20 | -0,20 | 20,31 | 20,28 | 0,15  |
| 11275,2  | 20,65                 | 20,58  | 0,33                  | 0,33   | 20,37                 | 20,33  | 0,40  | 0,40  | 20,17 | 20,01 | 0,70  |



Şek. 5.10 : Adsorpsiyon doyma kapasitesinin ışınım enerjisine bağlı olarak değişmesi.



Şek. 5.11 : Adsorpsiyon doyma kapasitesinin ışınım enerjisine bağlı olarak değişmesi.



Şek.5.12: Adsorpsiyon doyma kapasitesinin ışıınım enerjisine bağlı olarak değişmesi.

Diğer taraftan  $X_o$  değerleri logoritmik olarak  $(Q_r - Q_B)^n$  üzerine taşınırsa n'in yaklaşık 0,8 değeri için birbirlerine paralel bir doğrular demeti elde edilir.  $Q_B$  (Bölüm 5.1)'de açıklandığı gibi sistemde yoğunlaşmanın başlaması için toplayıcıya düşmesi gereken ışınım enerjisidir. Dolayısıyla ışınlama başlangıcında doymuş zeolitin adsorpsiyon kapasitesi için  $X_{BD} = 24,6$  değeri kullanılırsa

$$X_o = 24,6 e^{B(Q_r - Q_F)^n} \quad (5.2)$$

şeklinde bir formül elde edilir. Bu ışınlama başlangıcında zeolit doymuş halde ise  $Q_F = Q_B$  olur. Formüldeki n'nin değeri (Ek 2)'de verilen hesap makinası programı ile belirlenmiş ve bu çalışmada söz konusu olan deney şartları için  $n=0,8003$  elde edilmiştir. Söz konusu programdan hesaplanan B değerleri  $\bar{T}_c$  üzerine taşınırsa elde edilen eğrinin

$$B = 6,793 \cdot 10^{-7} (\bar{T}_c - 36)^{1,442} - 13,364 \cdot 10^{-5} \quad (5.3)$$

şeklindeki bir bağıntı ile ifade edilebileceği görülür.

Doymuş zeolit halinde  $Q_F$  değerini hesaplayabilmek için önce ışınlama başlangıcında sistemde yoğunlaşmanın başlaması için toplayıcının alması gereken  $Q_{Bt}$  ısı hesaplanmıştır. Bunun için yoğunlaşma başlangıcına kadar zeolitin sıcaklığında meydana gelen değişimin  $\Delta t_{desB}$  olduğu ve sıcaklığın toplayıcıdaki zeolit tabakası kalınlığı boyunca lineer değiştiği varsayılmıştır. Bu koşullarda söz konusu aralıkta zeolitin doymuş olması halinde toplayıcının aldığı ısı

$$Q_{Bt} = q_o \Delta t_{desB} \quad (5.4)$$

kadardır. Deney tesisatı için  $q_o = 44,17$  kJ/°C hesaplanmıştır. Ayrıca  $T_c = 298,15^\circ K$ ,  $T_e = 278,15^\circ K$  ve  $Q_o/Q_a = 0,63$  için (2.33) bağıntısından zeolitin sıcaklığında meydana gelen değişme

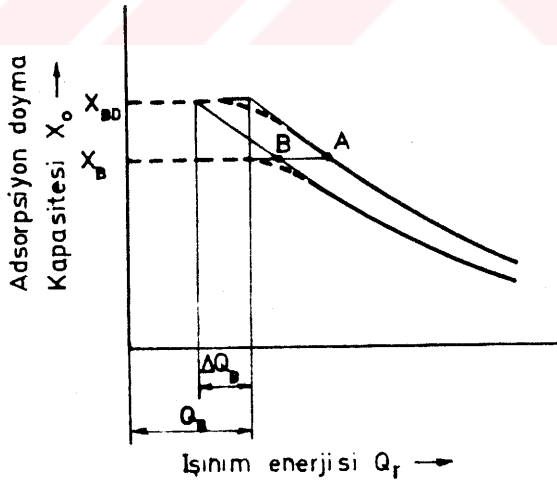
$$\Delta t_{desB} = \frac{1}{1,09 \cdot 10^{-3} + \frac{0,63}{\bar{T}_C}} - 298,15 \quad (5.5)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. (5.4) bağıntısından hesaplanan  $Q_{Bt}$  değerleri ile (Bölüm 5.1)'de açıklanan şekilde elde edilen  $Q_B$  değerleri kullanılarak

$$\alpha = \frac{Q_B}{Q_{Bt}} = 0,03 \bar{T}_C - 0,433 \quad (5.6)$$

bağıntısı elde edilir. Böylece (5.2) formülünde  $Q_F$  yerine  $\alpha Q_{Bt}$  konur.

Işınlama başlangıcında doymamış halde ( $X_B < X_{BD}$ ) bulunan zeolitte yoğuşma başlangıcına kadar verilen ışınım enerjisi sıcaklığın artmasına ve dolayısıyla yoğuşmanın ışınlama başlangıcında doymuş halde bulunan zeolite ait desorpsiyon eğrisinin A noktası yerine B noktasında başlamasına neden olur (Şek. 5.13). BA aralığına  $\Delta Q_B$  ısı miktarı tekabül eder. Bu taktirde ışınlama başlangıcında doymamış halde



Şek. 5.13: Belirli ortalama yoğuşma sıcaklığında başlangıç adsorpsiyon kapasitesinin değişmesinin desorpsiyon eğrilerine etkisi.

bulunan zeolit için (5.2) formülünde  $Q_F$  yerine  $(\alpha Q_{Bt} - \Delta Q_B)$  değeri kullanılır. Bu hesaplar yapılırken  $\Delta Q_B$ 'nin sadece  $(24,6 - X_B)$  farkına bağlı olduğu kabul edilmiştir.  $(24,6 - X_B)$  kadar suyun duyulur ısısı  $Q_1$  aynı miktar buharın antalpisi  $Q_2$  ve desorpsiyon ısısı  $Q_3$ 'ün toplamı  $\Delta Q_B$  ısısına eşittir. Bu ısılar kJ cinsinden

$$Q_1 = 10 (24,6 - X_B)$$

$$Q_2 = 500 (24,6 - X_B)$$

$$Q_3 = 730 (24,6 - X_B)$$

yazılırsa

$$\Delta Q_B = 1240 (24,6 - X_B) \quad (5.7)$$

elde edilir. Dolayısıyla ışınlama başlangıcında doymuş halde bulunan zeolit ile doymamış halde bulunan zeolit için geçerli olmak üzere (5.2) formülünde  $Q_F$  yerine

$$Q_F = \alpha Q_{Bt} - \Delta Q_B \quad (5.8)$$

büyüklüğü kullanılabilir.  $X_B = \% 24,6$  için  $\Delta Q_B = 0$  olacağından  $Q_F = Q_B = \alpha Q_{Bt}$  olur. Belirli bir  $\bar{t}_C$ 'de  $Q_F$ 'nin  $X_B = \% 23,8$  ve  $\% 23$ 'e ait değerleri (5.2) formülüne taşınmış ve  $X_B = \% 23,8$  ve  $\% 23$ 'e ait desorpsiyon eğriler elde edilmiştir (Şek. 5.10-5.12).

Işınlama safhasında zeolitin (5.2) formülüne göre hesaplanan adsorpsiyon doyma kapasitesi ile deneysel olarak bulunan adsorpsiyon doyma kapasitesi ve her ikisinin arasındaki sapma yüzdeleri (Tablo 5.4-5.6)'da verilmiştir. Ayrıca (5.2) formülüne göre zeolitin adsorpsiyon doyma kapasitesinin  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişimi (Şek. 5.10-5.12)'de de kesik çizgili eğrilerle gösterilmiştir. En büyük sapma  $\% 1,35$ 'tir ve sapmaların eğri etrafında oldukça uniform bir şekilde dağıldığı görülmektedir.

#### 5.4. Toplayıcı Ani Verimi

Yukarıda belirtildiği gibi toplayıcıya belirli bir  $Q_B$  ısıtım enerjisi düştükten sonra yoğuşma başlar. Bu nedenle toplayıcı verimi ve sistemin soğutma etki katsayıları yoğuşma başlangıcından sonrası için hesaplanabilir ve  $Q_R > Q_B$  için sonuçlar diyagramlarda gösterilebilir (Bölüm 5.4-5.8). Toplayıcı verimi ve sistemin soğutma etki katsayılarının hesaplanmasında (Bölüm 2.6)'da açıklanan yöntem uygulanmıştır.

Toplayıcının  $\eta_{ta}$  ani veriminin (2.47) bağıntısı ile hesaplanan değerleri (Tablo 5.7-5.9)'da verilmiş ve (Şek. 5.14-5.22)'deki diyagramlarda gösterilmiştir. Hesaplar yapılırken zeolitin adsorpsiyon doyma kapasitesi ile adsorpsiyon ısıları [4,15,32] kaynaklarından alınmıştır. Bu eğrilerde görülen  $Q_R$  'ler için ( $\Delta Z_1=30$  dak.) zaman aralığının ortasındaki değerler alınmıştır.

Toplayıcının ani verimi çizilirken (2.47) bağıntısındaki  $q_o$  ve  $q_x$  büyüklüklerinin deney sırasında çok az değiştiği gözönünde tutulmuş ve  $(\Delta Q_R)_1=939,6$  kJ alınmıştır. Ani verimin sadece  $\Delta \bar{t}$  ve  $\Delta m$ 'nin bir fonksiyonu olduğu gözönünde tutulmuştur. Sisteme ait  $q_o$  ve  $q_x$  değerleri (Ek 2)'deki hesap makinası programı ile bulunmuştur.  $\Delta \bar{t}$  hesaplanırken yoğuşma sırasında sıcaklığın toplayıcı ön yüzeyi ile arka yüzeyi arasında lineer olarak değiştiği kabul edilmiştir.

Ani verim diyagramları incelenirse ısı kayıpların az olması nedeniyle yoğuşma başlangıcında toplayıcının ani veriminin maksimum olduğu,  $Q_R$  büyüdükçe toplayıcı sıcaklığının yükselmesi nedeniyle düştüğü görülür.

(Şek. 5.14-5.16)'da  $\bar{t}_c=36^\circ\text{C}$  ye ait toplayıcı verim eğrilerinden,  $X_B$ 'nin % 24,6'dan % 23'e kadar azalması halinde toplayıcının ani veriminin ortalama olarak 0,50'den 0,44'e kadar düştüğü görülür. Ayrıca doymuş zeolite ait (Şek. 5.14) ve (Şek. 5.17) ve (Şek. 5.20)'de  $\bar{t}_c$ 'nin  $36^\circ\text{C}$  den  $47^\circ\text{C}$  ye yükselmesi sonucu toplayıcı ani verimi ortalama olarak 0,50 den 0,476 ya kadar düşmektedir. Görüldüğü gibi  $X_B$ 'nin azal-



Tablo 5.7

$Q_r$ 'ye tekâbül eden  $\eta_{ta}$ ,  $\beta_{ia}$  ve  $\beta_a$  değerleri ( $\bar{t}_c=36^\circ\text{C}$ ).

| XB (Z) | GR (KJ)  | $\eta_{ta}$ | $\beta_{ia}$ | $\beta_a$ |
|--------|----------|-------------|--------------|-----------|
| 24.6   | 2349.00  | 0.7738      | 0.3453       | 0.2664    |
|        | 3288.60  | 0.6990      | 0.3380       | 0.2363    |
|        | 4228.20  | 0.6188      | 0.3587       | 0.2317    |
|        | 5167.80  | 0.5834      | 0.3447       | 0.2011    |
|        | 6107.40  | 0.5359      | 0.3471       | 0.1860    |
|        | 7047.00  | 0.4856      | 0.3623       | 0.1759    |
|        | 7986.60  | 0.4232      | 0.3564       | 0.1500    |
|        | 8926.20  | 0.3610      | 0.3481       | 0.1257    |
|        | 9865.80  | 0.3119      | 0.3321       | 0.1056    |
|        | 10805.40 | 0.2692      | 0.3548       | 0.0955    |
| 23.8   | 2349.00  | 0.7107      | 0.3324       | 0.2363    |
|        | 3288.60  | 0.6473      | 0.3494       | 0.2262    |
|        | 4228.20  | 0.5489      | 0.3388       | 0.1860    |
|        | 5167.80  | 0.5362      | 0.3468       | 0.1860    |
|        | 6107.40  | 0.4673      | 0.3479       | 0.1609    |
|        | 7047.00  | 0.4345      | 0.3471       | 0.1500    |
|        | 7986.60  | 0.3959      | 0.3555       | 0.1407    |
|        | 8926.20  | 0.3656      | 0.3713       | 0.1357    |
|        | 9865.80  | 0.2879      | 0.3491       | 0.1005    |
|        | 10805.40 | 0.2609      | 0.3467       | 0.0905    |
| 23.0   | 2349.00  | 0.6937      | 0.3478       | 0.2413    |
|        | 3288.60  | 0.6073      | 0.3559       | 0.2161    |
|        | 4228.20  | 0.5171      | 0.3699       | 0.1810    |
|        | 5167.80  | 0.4921      | 0.3371       | 0.1859    |
|        | 6107.40  | 0.4609      | 0.3357       | 0.1550    |
|        | 7047.00  | 0.3909      | 0.3343       | 0.1307    |
|        | 7986.60  | 0.3634      | 0.3319       | 0.1206    |
|        | 8926.20  | 0.3361      | 0.3290       | 0.1106    |
|        | 9865.80  | 0.2875      | 0.3497       | 0.1005    |
|        | 10805.40 | 0.2553      | 0.3150       | 0.0904    |

Tablo 5.8

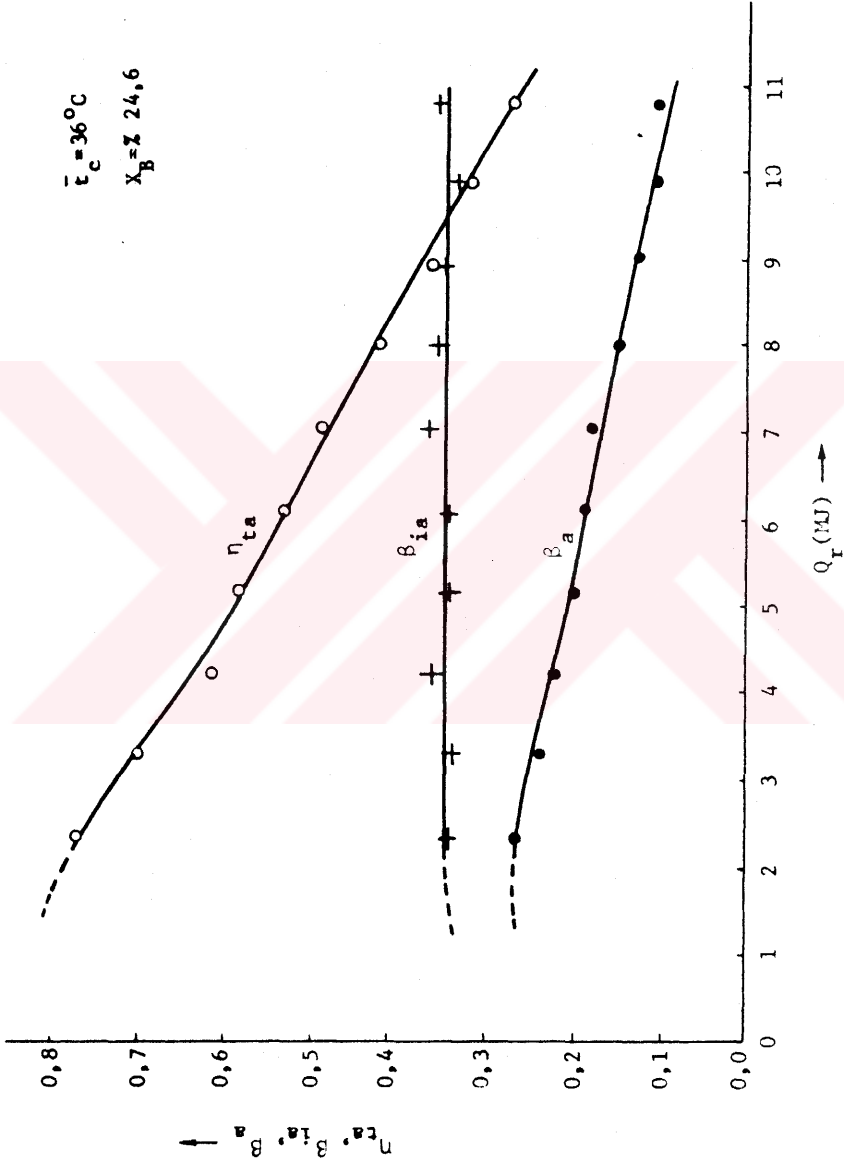
$Q_r$ 'ye tekâbül eden  $\eta_{ta}$ ,  $\beta_{ia}$  ve  $\beta_a$  değerleri ( $\bar{t}_c = 43$  °C).

| XB (%) | QR(KJ)   | $\eta_{ta}$ | $\beta_{ia}$ | $\beta_a$ |
|--------|----------|-------------|--------------|-----------|
| 24.6   | 2349.00  | 0.7262      | 0.3213       | 0.2333    |
|        | 3288.60  | 0.6772      | 0.3225       | 0.2184    |
|        | 4228.20  | 0.5903      | 0.3280       | 0.1936    |
|        | 5167.80  | 0.5503      | 0.3338       | 0.1837    |
|        | 6107.40  | 0.4950      | 0.3310       | 0.1638    |
|        | 7047.00  | 0.4636      | 0.3426       | 0.1589    |
|        | 7986.60  | 0.4136      | 0.3600       | 0.1489    |
|        | 8926.20  | 0.3514      | 0.3532       | 0.1241    |
|        | 9865.80  | 0.3131      | 0.3647       | 0.1142    |
|        | 10805.40 | 0.2543      | 0.3318       | 0.0844    |
| 23.8   | 2349.00  | 0.7044      | 0.3242       | 0.2284    |
|        | 3288.60  | 0.6600      | 0.3385       | 0.2234    |
|        | 4228.20  | 0.6040      | 0.3370       | 0.2035    |
|        | 5167.80  | 0.5372      | 0.3419       | 0.1837    |
|        | 6107.40  | 0.4932      | 0.3322       | 0.1638    |
|        | 7047.00  | 0.4573      | 0.3257       | 0.1489    |
|        | 7986.60  | 0.3572      | 0.3197       | 0.1142    |
|        | 8926.20  | 0.3110      | 0.3192       | 0.0993    |
|        | 9865.80  | 0.2838      | 0.3149       | 0.0894    |
|        | 10805.40 | 0.1876      | 0.2647       | 0.0496    |
| 23.0   | 2349.00  | 0.6773      | 0.2932       | 0.1986    |
|        | 3288.60  | 0.5770      | 0.3355       | 0.1936    |
|        | 4228.20  | 0.5439      | 0.3195       | 0.1737    |
|        | 5167.80  | 0.5044      | 0.3248       | 0.1638    |
|        | 6107.40  | 0.4653      | 0.3207       | 0.1539    |
|        | 7047.00  | 0.4186      | 0.3321       | 0.1390    |
|        | 7986.60  | 0.3218      | 0.3085       | 0.0993    |
|        | 8926.20  | 0.3104      | 0.3199       | 0.0993    |
|        | 9865.80  | 0.2776      | 0.3280       | 0.0745    |
|        | 10805.40 | 0.1951      | 0.2799       | 0.0546    |

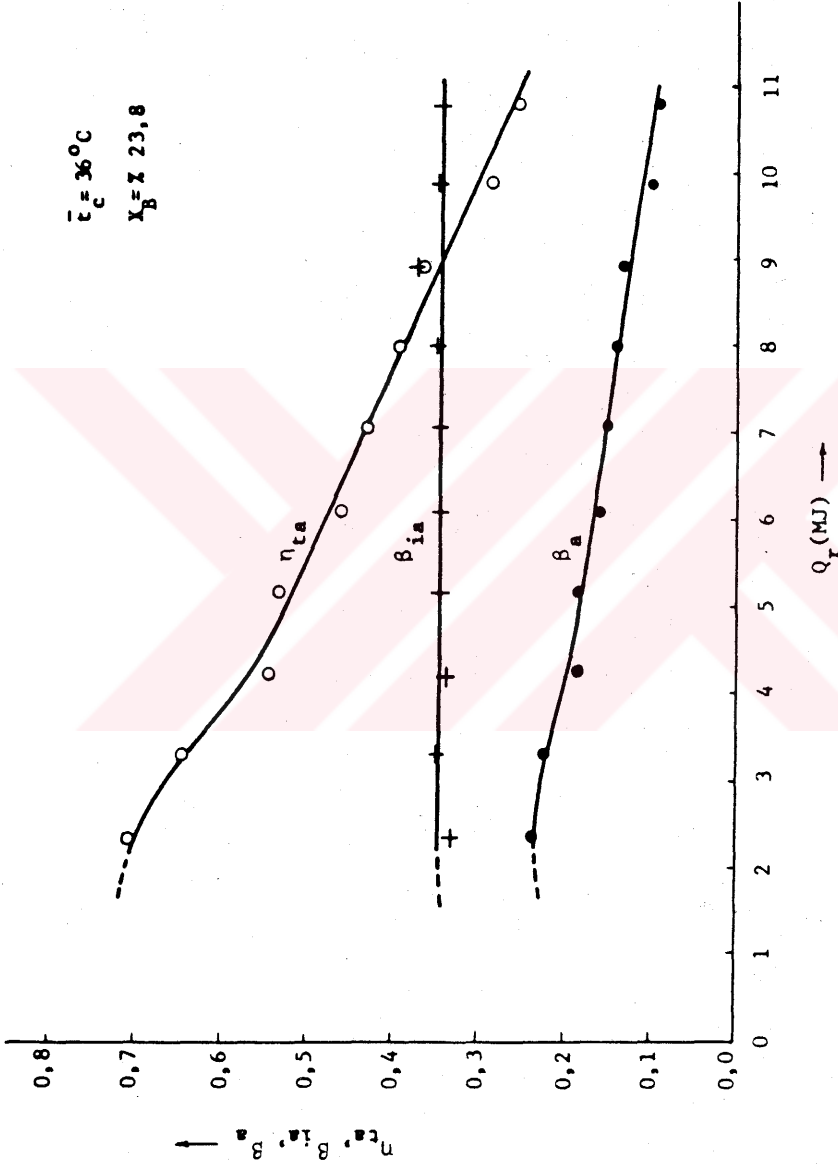
Tablo 5.9

$Q_r$ 'ye tekâbül eden  $\eta_{ta}$ ,  $\beta_{ia}$  ve  $\beta_a$  değerleri ( $\bar{t}_c = 47^\circ\text{C}$ ).

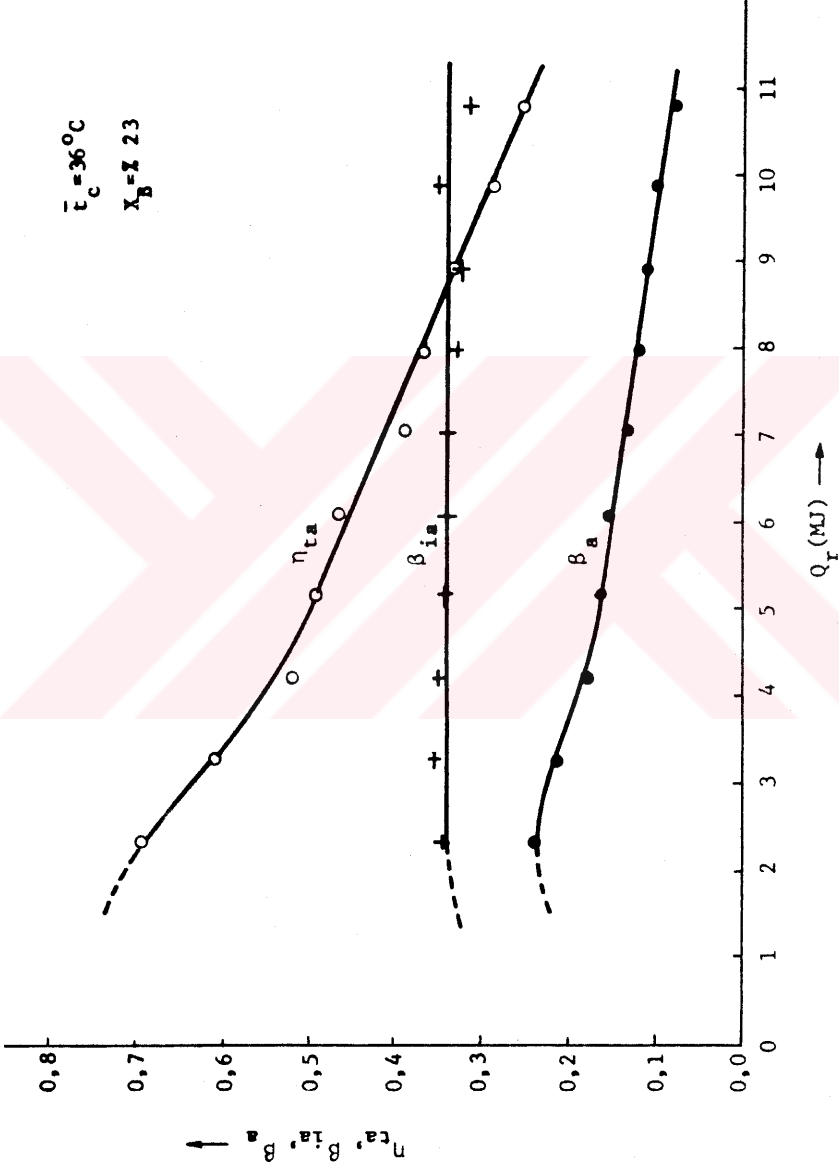
| XR (%) | QR(KJ)         | $\eta_{ta}$ | $\beta_{ia}$ | $\beta_a$ |
|--------|----------------|-------------|--------------|-----------|
| 24.6   | 2349.00        | 0.6966      | 0.3255       | 0.2267    |
|        | 3288.60        | 0.6128      | 0.3217       | 0.1971    |
|        | 4228.20        | 0.5959      | 0.3391       | 0.2021    |
|        | 5167.80        | 0.5671      | 0.3389       | 0.1922    |
|        | 6107.40        | 0.4925      | 0.3402       | 0.1676    |
|        | 7047.00        | 0.4487      | 0.3295       | 0.1478    |
|        | 7986.60        | 0.4268      | 0.3279       | 0.1380    |
|        | 8926.20        | 0.3821      | 0.3354       | 0.1281    |
|        | 9865.80        | 0.3010      | 0.3275       | 0.0986    |
|        | 10805.40       | 0.2470      | 0.3192       | 0.0789    |
| 23.8   | 2349.00        | 0.7283      | 0.3113       | 0.2267    |
|        | 3288.60        | 0.6103      | 0.3230       | 0.1971    |
|        | 4228.20        | 0.5588      | 0.3351       | 0.1973    |
|        | 5167.80        | 0.5058      | 0.3269       | 0.1626    |
|        | 6107.40        | 0.4864      | 0.3242       | 0.1577    |
|        | 7047.00        | 0.4283      | 0.3337       | 0.1429    |
|        | 7986.60        | 0.3560      | 0.3212       | 0.1103    |
|        | 8926.20        | 0.3416      | 0.3030       | 0.1035    |
|        | 9865.80        | 0.2687      | 0.2935       | 0.0789    |
|        | 10805.40       | 0.2228      | 0.2876       | 0.0641    |
| 23.0   | <b>2521.00</b> | 0.6619      | 0.2932       | 0.1941    |
|        | 3288.60        | 0.6049      | 0.3340       | 0.2021    |
|        | 4228.20        | 0.5212      | 0.3026       | 0.1577    |
|        | 5167.80        | 0.4627      | 0.3089       | 0.1429    |
|        | 6107.40        | 0.4158      | 0.3082       | 0.1281    |
|        | 7047.00        | 0.3771      | 0.3137       | 0.1183    |
|        | 7986.60        | 0.3715      | 0.2918       | 0.1084    |
|        | 8926.20        | 0.3331      | 0.2959       | 0.0986    |
|        | 9865.80        | 0.2573      | 0.3064       | 0.0789    |
|        | 10805.40       | 0.2224      | 0.2881       | 0.0641    |



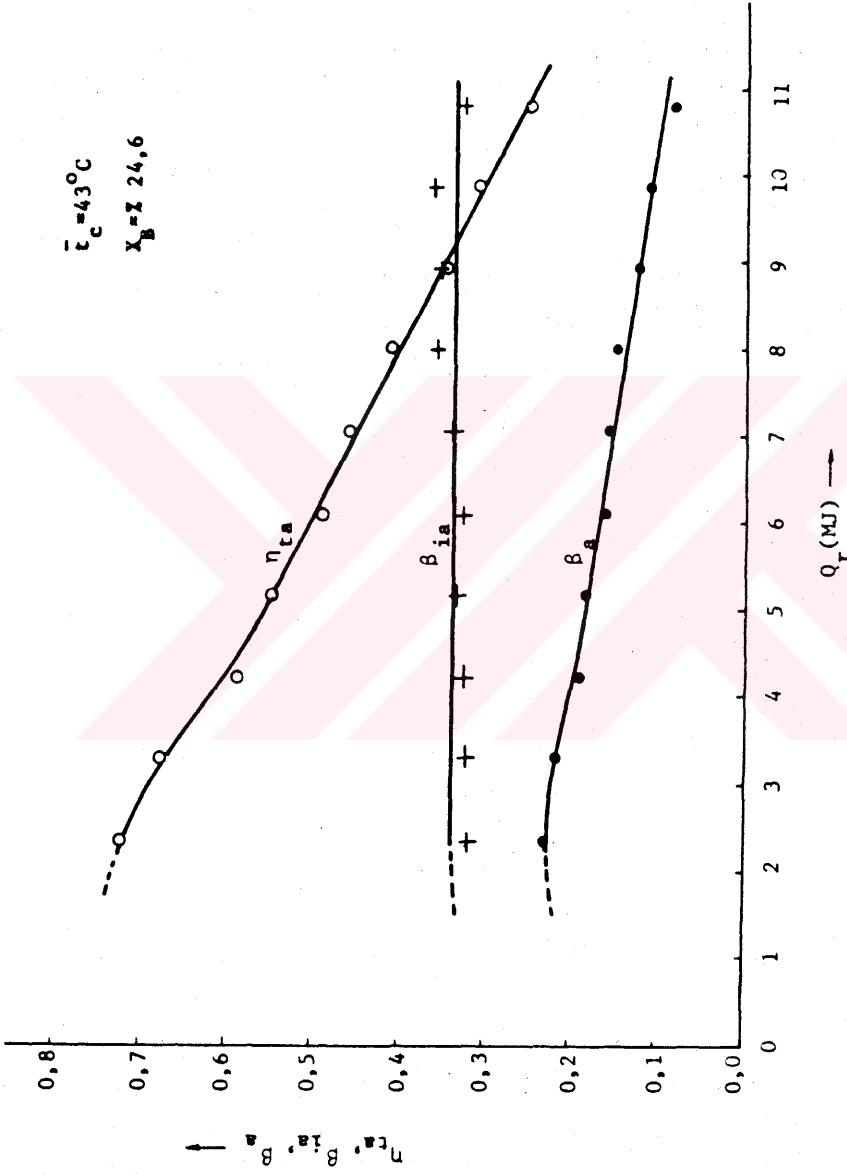
Şek.5.14: Toplayıcı ani verimi  $\eta_{ta}$ , ani iç soğutma etki katsayısı  $\beta_{ia}$  ve ani toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_a$ 'nın ısıtım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişmesi.



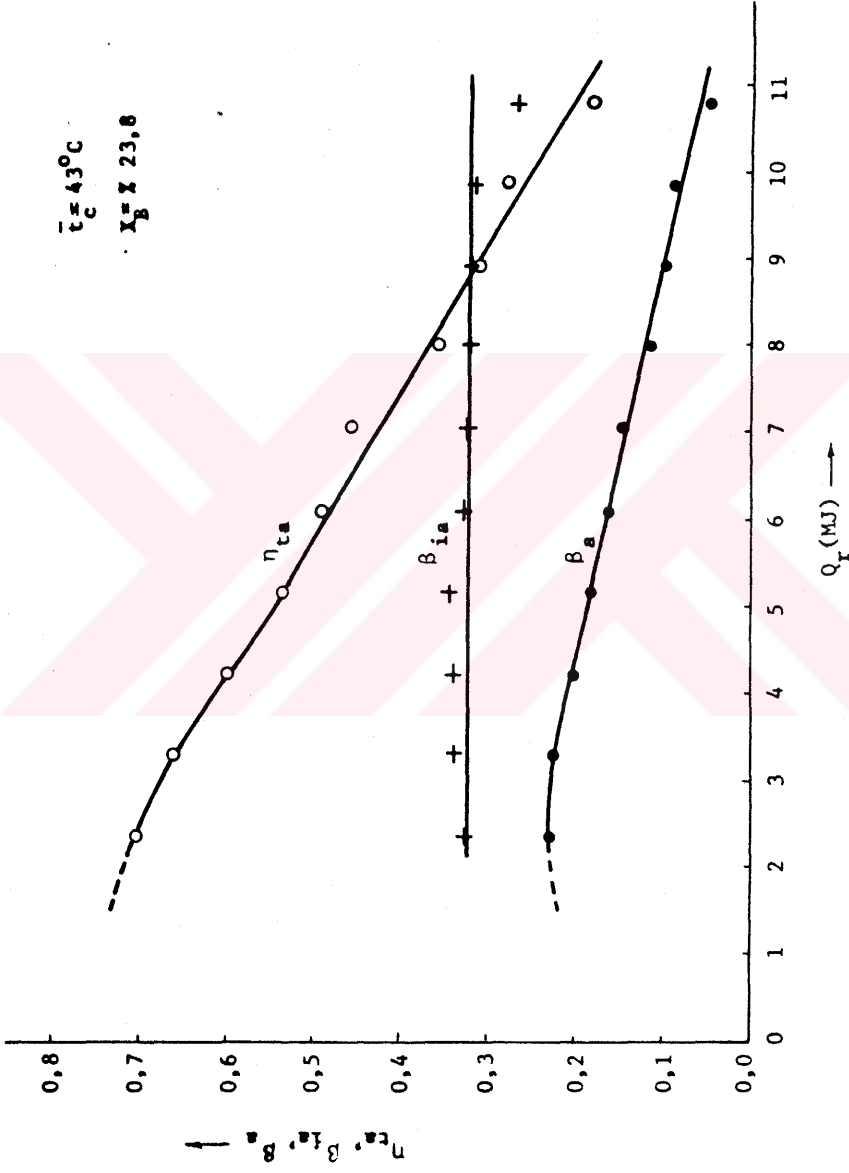
Şek.5.15: Toplayıcı ani verimi  $\eta_{ta}$ , ani iç soğutma etki katsayısı  $\beta_{ia}$  ve ani toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_a$ 'nın ışınlım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişmesi.



Şek.5.16: Toplayıcı ani verimi  $\eta_{ta}$ , ani iç soğutma etki katsayısı  $\beta_{la}$  ve ani toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_a$ 'nın ışınım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişmesi.

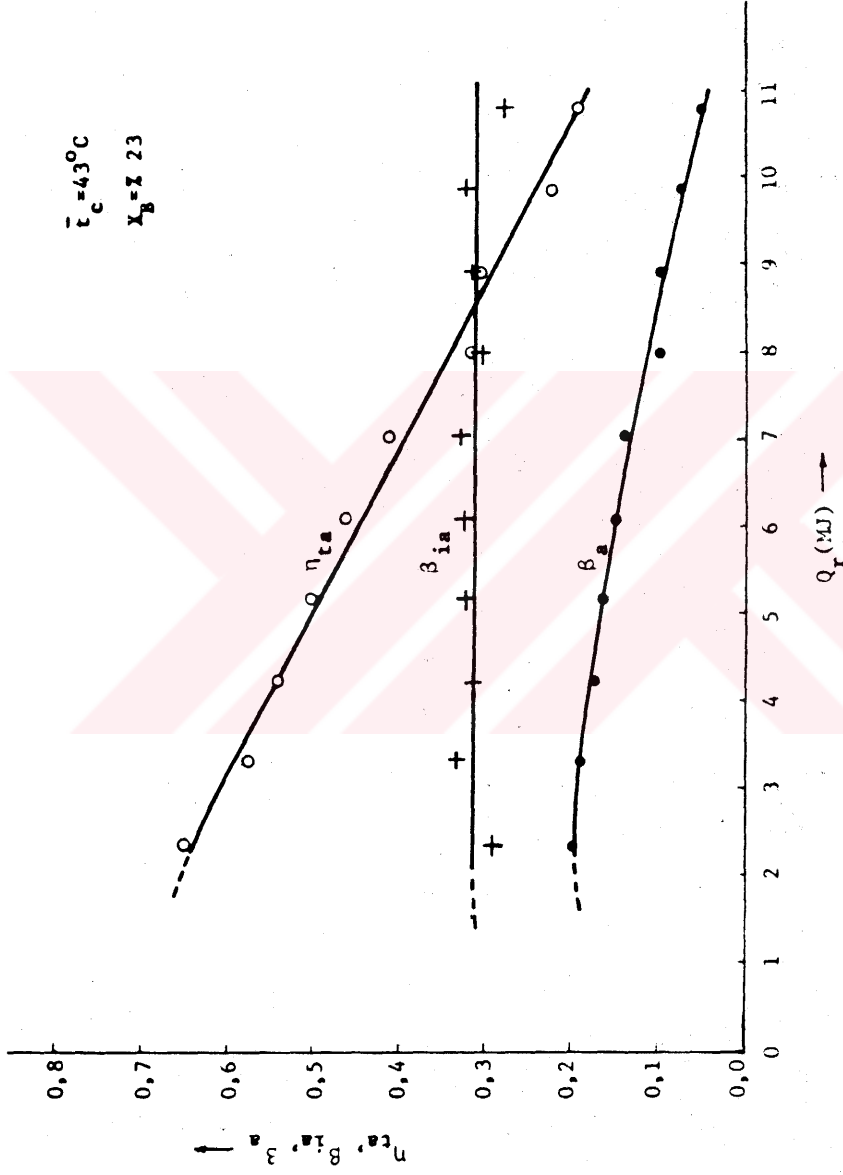


Şek.5.17: Toplayıcı ani verimi  $\eta_{ta}$ , ani iç soğutma etki katsayısı  $\beta_{ia}$  ve ani toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_a$ 'nın ışınım enerjisi  $Q_T$ 'ye bağlı olarak değişmesi.

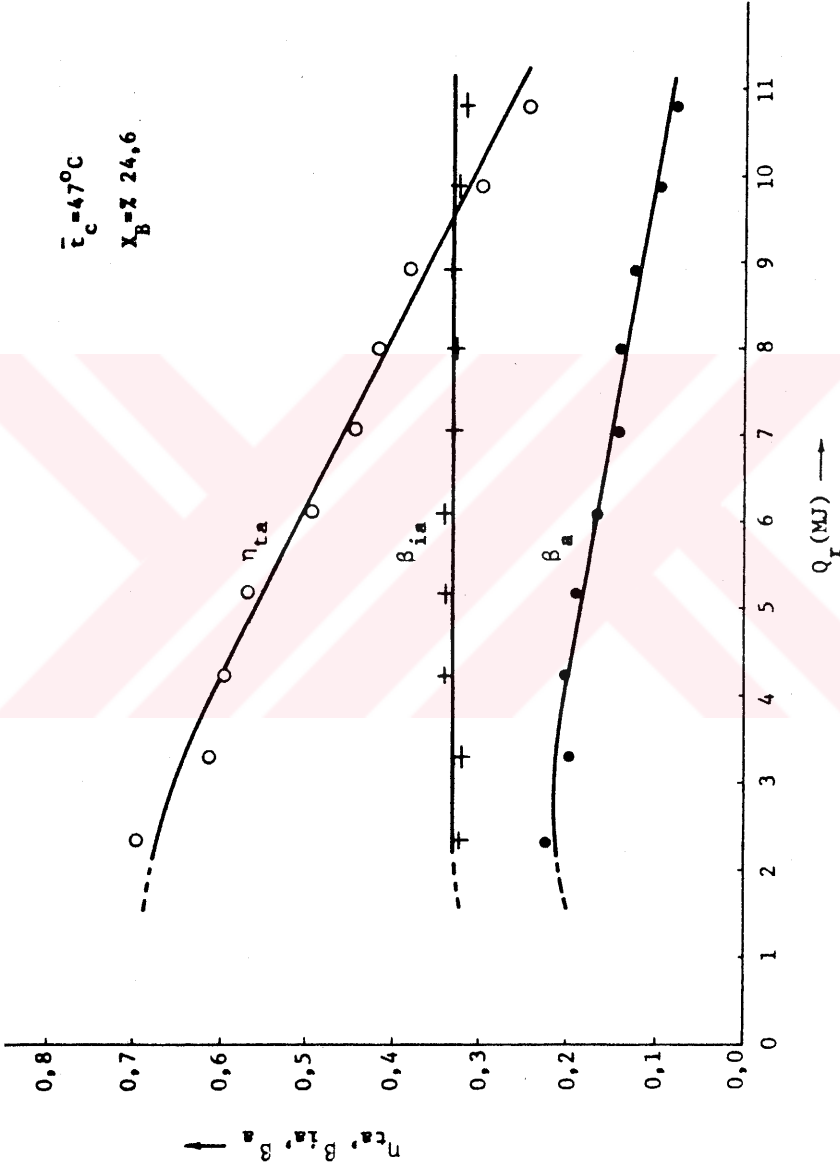


Şek.5.18: Toplayıcı ani verimi  $\eta_{ta}$ , ani iç soğutma etki katsayısı  $\beta_{ia}$  ve ani toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_a$ 'nin ışınım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişmesi.

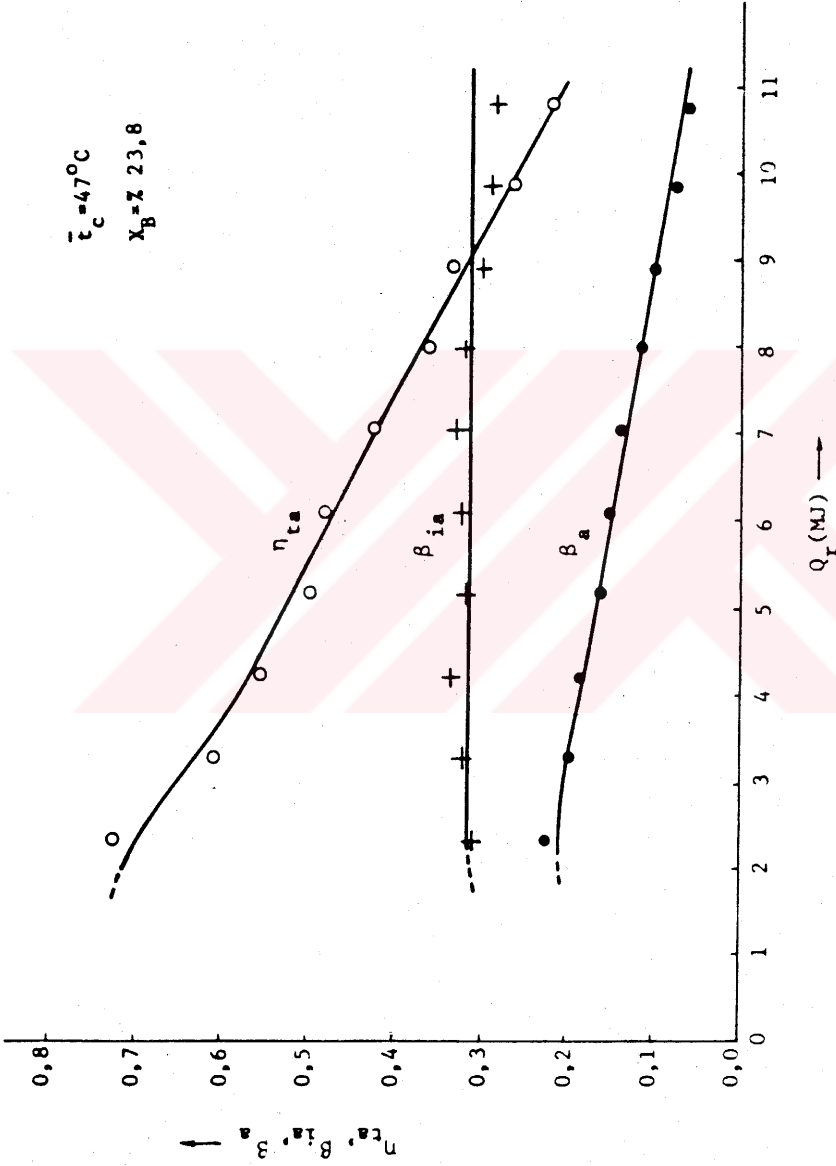




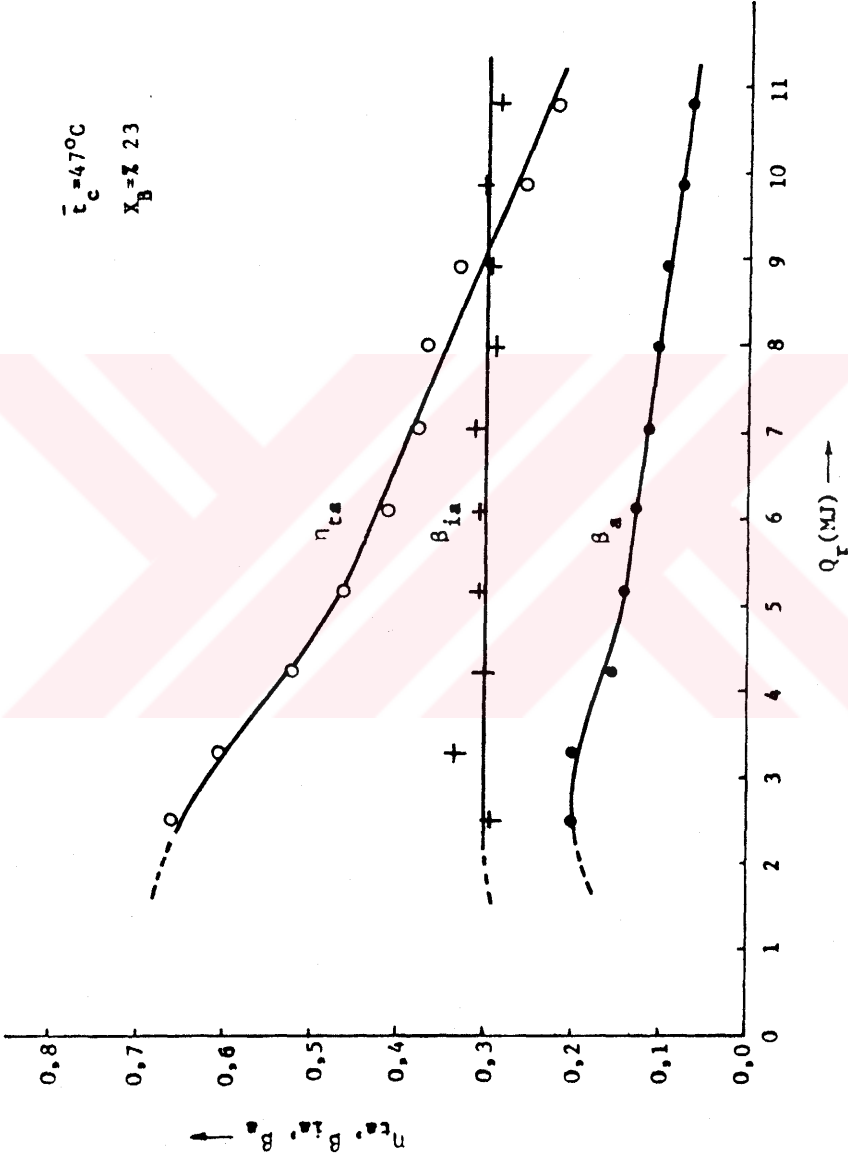
Şek.5.19: Toplayıcı ani verimi  $\eta_{ta}$ , ani iç soğutma etki katsayısı  $\beta_{ia}$  ve ani toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_a$ 'nın ıqınım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağılı olarak değişmesi.



Şek.5.20: Toplayıcı ani verimi  $\eta_{ta}$ , ani iç soğutma etki katsayısı  $\beta_{ia}$  ve ani toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_a$ 'nın ışınım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişmesi.



Şek.5.21: Toplayıcı ani verimi  $\eta_{ta}$ , ani iç soğutma etki katsayısı  $\beta_{ia}$  ve ani toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_a$ 'nin ışınlım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişmesi.



Şek.5.22: Toplayıcı ani verimi  $\eta_{ta}$ , ani iç soğutma etki katsayısı  $\beta_{ia}$  ve ani toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_a$ 'nın ışınım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişmesi.

ması veya  $\bar{t}_c$ 'nin yükselmesi toplayıcının ani verimini düşürmektedir.

### 5.5. Sistemin Ani İç Soğutma Etki Katsayısı

Sistemin ani iç soğutma etki katsayısı  $\beta_{1a}$ 'nın (2.52) bağıntısına göre hesaplanan değerleri (Tablo 5.7-5.9)'da verilmiş ve (Şek. 5.14-5.22)'deki diyagramlarda  $Q_r > Q_B$  için gösterilmiştir.  $Q_r < Q_B$  olduğu zaman yoğuşma olmadığından  $\beta_{1a} = 0$  olur.

$\beta_{1a}$ 'nın  $\bar{t}_c = 36^\circ\text{C}$ 'ye ait değerleri incelenirse, bunların yoğuşma sırasında yaklaşık olarak 0,345 değeri civarında toplandığı görülür. Diğer taraftan  $\bar{t}_c$ 'nin  $47^\circ\text{C}$  ye yükselmesi ile  $\beta_{1a}$  değerinin az miktarda düştüğü ve 0,314 civarında toplandığı görülür. Sonuç olarak  $\beta_{1a}$ 'nın yoğuşma süresince sabit kaldığı kabul edilebilir.

Ani iç soğutma etki katsayısının bağıntısı basitleştirilirse

$$(\beta_{1a})_i = [Q_o - C_p(\bar{t}_c - t_e)] \frac{1}{q_o \left( \frac{\Delta \bar{t}}{\Delta m} \right)_i + q_x} \quad (5.9)$$

bulunur. Belirli bir  $\bar{t}_c$  için  $\beta_{1a}$  sabittir ve yukarıda belirtildiği gibi  $q_o$  ile  $q_x$  sabit alınabilir. Bu nedenle  $\Delta \bar{t} / \Delta m$  büyüklüğü de sabittir. Dolayısıyla yoğuşma sırasında sıcaklık zeolit tabakası kalınlığı boyunca lineer olarak değişiyorsa birim zamanda yoğuşan su miktarı, toplayıcı ortalama sıcaklığındaki artış ile yaklaşık olarak orantılı olur.

### 5.6. Sistemin Ani Toplam Soğutma Etki Katsayısı

Sistemin ani toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_a$ 'nın (2.54) bağıntısı ile elde edilen değerleri (Tablo 5.7-5.9)'da verilmiş ve (Şek. 5.14-5.22)'deki diyagramlarda gösterilmiştir.

(2.54) bağıntısında görüldüğü gibi  $\beta_a$ 'nın  $Q_r$ 'ye göre değişmesi  $\Delta m$ 'nin  $Q_r$ 'ye göre değişmesine benzemektedir. Diğer

tarafından (Bölüm 5.5)'te görüldüğü gibi  $\beta_{1a}$  sabit alınabileceğinden  $\beta_a \propto \eta_{ta}$  olur.

Tablolar incelenirse, genel olarak  $\beta_a$ 'nın yoğuşma başlangıcında bir maksimum değer aldığı ve  $Q_r$ 'nin artan değerleri ile azaldığı görülür.  $\bar{t}_c = 36^\circ\text{C}$ 'ye tekabül eden (Şek. 5.14-5.16) incelenirse, yoğuşma sırasında  $X_B = \%24,6$  için  $\beta_a = 0,176$ ,  $X_B = \%23,8$  için  $\beta_a = 0,161$  ve  $X_B = \%23$  için de  $\beta_a = 0,150$  ortalama değerleri bulunur.  $X_B$ 'nin değeri  $\%24,6$ 'dan  $\%23$ 'e kadar azaldığında  $\beta_a$ 'nın maksimum değeri de  $0,266$ 'dan  $0,241$ 'e düşmektedir. Diğer taraftan doymuş zeolit durumuna ait (Şek. 5.14), (Şek. 5.17) ve (Şek. 5.20) incelenirse, daha önce belirtildiği gibi  $\bar{t}_c = 36^\circ\text{C}$  için  $\beta_a = 0,176$ ,  $\bar{t}_c = 43^\circ\text{C}$  için  $\beta_a = 0,162$  ve  $\bar{t}_c = 47^\circ\text{C}$  için de  $\beta_a = 0,158$  ortalama değerlerinin bulunduğu ve  $\bar{t}_c$ 'nin  $36^\circ\text{C}$ 'den  $47^\circ\text{C}$ 'ye yükselmesi halinde de maksimum  $\beta_a$  değerinin de  $0,266$ 'dan  $0,226$ 'e düştüğü görülür. Verilen  $\beta_a$  değerleri için kare kökü [36] yöntemiyle hesaplanan hata, yoğuşma başlangıcında  $\bar{t}$   $\%9$  mertebesinde iken yoğuşma sonuna doğru yoğuşan su miktarının azalması nedeniyle yaklaşık  $\bar{t}$   $\%13$ 'e yükselmektedir.

Sonuç olarak  $X_B$ 'nin azalan değerleri ile  $\bar{t}_c$ 'nin artan değerleri için genel olarak ortalama  $\beta_a$  ile maksimum  $\beta_a$  değeri düşmekte ve maksimum  $\beta_a$  değerlerine tekabül eden  $Q_r$  değerleri de büyümektedir.

#### 5.7. Sistemin Ortalama Toplam Soğutma Etki Katsayısı

Sistemin ortalama toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_r$  (2.58) bağıntısı yardımı ile hesaplanmış ve (Tablo 5.10)'da verilmiş ve (Şek. 5.23-5.25)'deki diyagramlarda gösterilmiştir. Bu şekillerden yoğuşma başlangıcında ortalama toplam soğutma etki katsayısının sifıra eşit olduğu ve hızla artarak bir maksimumdan geçtikten sonra yavaş yavaş azaldığı görülmektedir.

(Şek. 5.23)'te  $\bar{t}_c = 36^\circ\text{C}$ 'ye ait  $\beta_r$  eğrileri incelenirse,  $X_B = \%24,6$  için  $\beta_r = 0,222$ ,  $X_B = \%23,8$  için  $\beta_r = 0,183$  ve  $X_B = \%23$  için de  $\beta_r = 0,155$  maksimum değerlerini aldığı ve bun-

Tablo 5.10  
 $Q_r$ 'ye tekabül eden  $\beta_r$  değerleri.

$\bar{t}_c = 36 \text{ } ^\circ\text{C}$

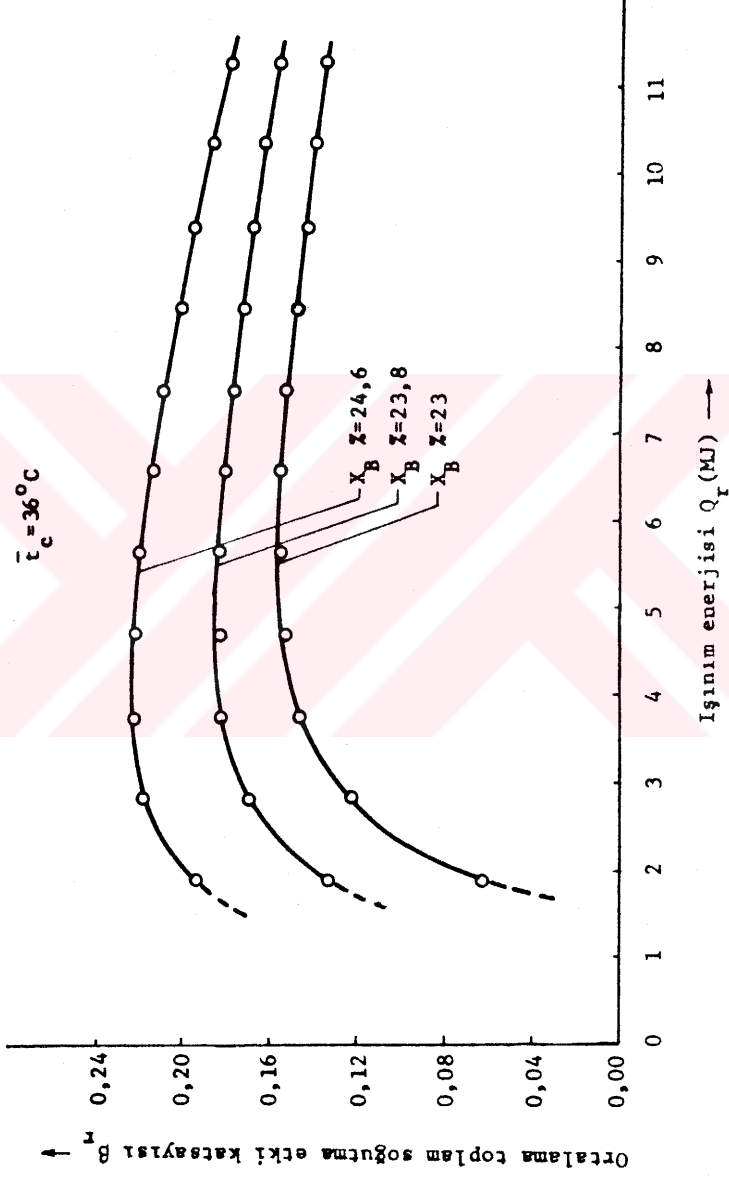
| $Q_r$ (KJ) | $X_B = \% 24.6$ | $X_B = \% 23.8$ | $X_B = \% 23.0$ |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1879.20    | 0.1935          | 0.1332          | 0.0678          |
| 2818.80    | 0.2178          | 0.1676          | 0.1123          |
| 3758.40    | 0.2224          | 0.1822          | 0.1458          |
| 4698.00    | 0.2222          | 0.1830          | 0.1524          |
| 5637.60    | 0.2187          | 0.1835          | 0.1556          |
| 6577.20    | 0.2140          | 0.1802          | 0.1551          |
| 7516.80    | 0.2092          | 0.1766          | 0.1521          |
| 8456.40    | 0.2027          | 0.1726          | 0.1486          |
| 9396.00    | 0.1950          | 0.1689          | 0.1448          |
| 10335.60   | 0.1869          | 0.1627          | 0.1407          |
| 11275.20   | 0.1793          | 0.1567          | 0.1357          |

$\bar{t}_c = 43 \text{ } ^\circ\text{C}$

|          |        |        |        |
|----------|--------|--------|--------|
| 1879.20  | 0.1241 | 0.0821 | 0.0174 |
| 2818.80  | 0.1605 | 0.1175 | 0.0778 |
| 3758.40  | 0.1750 | 0.1446 | 0.1067 |
| 4698.00  | 0.1787 | 0.1559 | 0.1201 |
| 5637.60  | 0.1795 | 0.1605 | 0.1274 |
| 6577.20  | 0.1773 | 0.1610 | 0.1312 |
| 7516.80  | 0.1750 | 0.1595 | 0.1322 |
| 8456.40  | 0.1721 | 0.1544 | 0.1285 |
| 9396.00  | 0.1673 | 0.1489 | 0.1256 |
| 10335.60 | 0.1625 | 0.1435 | 0.1209 |
| 11275.20 | 0.1560 | 0.1357 | 0.1154 |

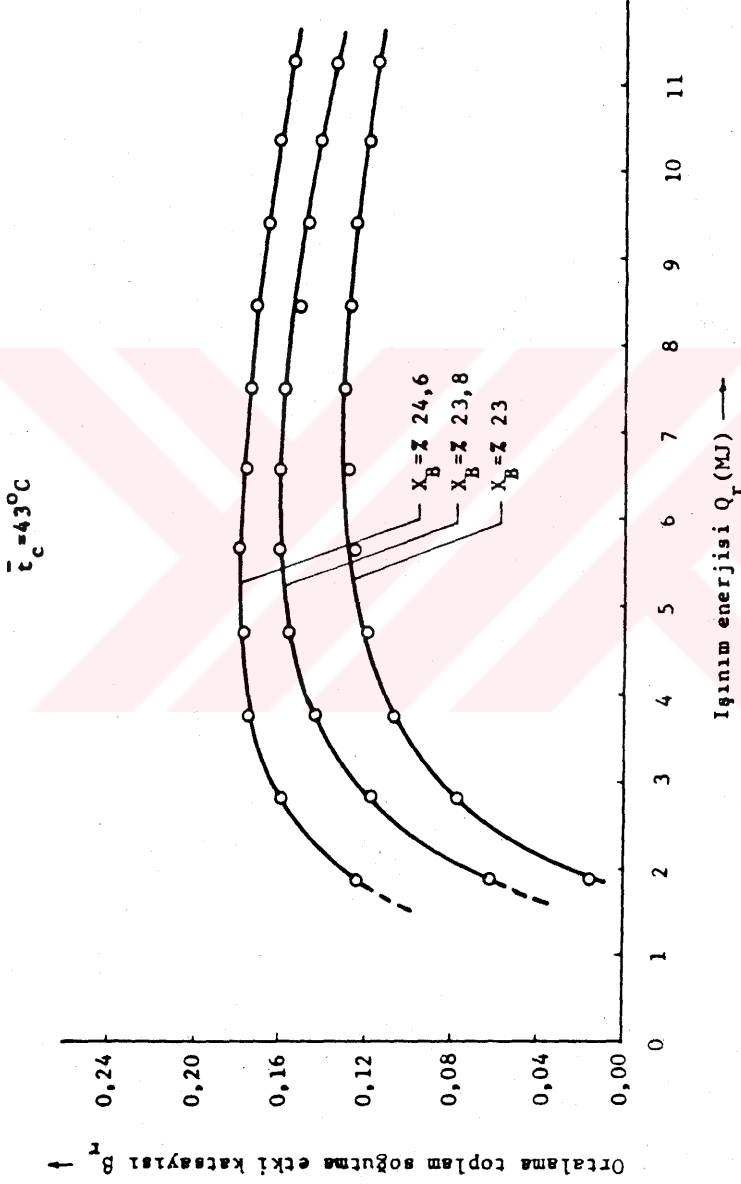
$\bar{t}_c = 47 \text{ } ^\circ\text{C}$

|          |        |        |        |
|----------|--------|--------|--------|
| 1879.20  | 0.0644 | 0.0197 | 0.0000 |
| 2818.80  | 0.1183 | 0.0887 | 0.0411 |
| 3758.40  | 0.1380 | 0.1158 | 0.0813 |
| 4698.00  | 0.1508 | 0.1301 | 0.0968 |
| 5637.60  | 0.1577 | 0.1355 | 0.1047 |
| 6577.20  | 0.1591 | 0.1387 | 0.1077 |
| 7516.80  | 0.1577 | 0.1392 | 0.1090 |
| 8456.40  | 0.1555 | 0.1369 | 0.1090 |
| 9396.00  | 0.1528 | 0.1336 | 0.1079 |
| 10335.60 | 0.1479 | 0.1286 | 0.1053 |
| 11275.20 | 0.1421 | 0.1232 | 0.1019 |

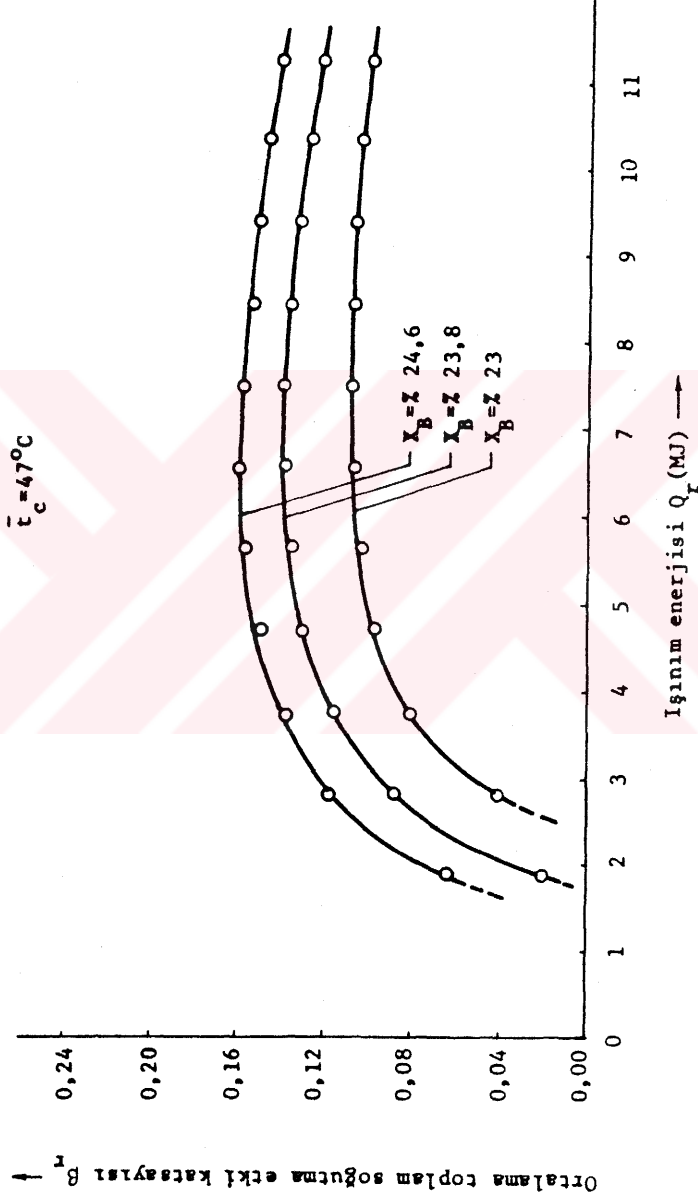


Şek.5.23: Ortalama toplam soğutma etki katsayısı  $B_t$ 'nin ışınlam enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişmesi.





Şek.5.24: Ortalama toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_r$ 'nin ışınım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişmesi.



Şek.5.25: Ortalama toplam soğutma etki katsayısı  $B_T$ 'nin ışıınım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişmesi.

lara tekabül eden  $Q_r$ 'nin sırasıyla yaklaşık 4 MJ , 4,8 MJ ve 5,6 MJ olduğu görülür. Diğer taraftan (Şek. 5.23-5.25) te doymuş zeolite ait  $\beta_r$  eğrileri incelenirse, daha önce belirtildiği gibi  $\bar{t}_c=36^\circ\text{C}$  için  $\beta_r=0,222$  ,  $\bar{t}_c=43^\circ\text{C}$  için  $\beta_r=0,179$  ve  $\bar{t}_c=47^\circ\text{C}$  içinde  $\beta_r=0,159$  maksimum değerlerini aldığı ve bunlara tekabül eden  $Q_r$ 'nin sırasıyla yaklaşık 4 MJ , 5,4 MJ ve 6,5 MJ olduğu görülür. Burada  $\beta_r$  değerleri için gene kare kökü yöntemiyle [36] hesaplanan hata  $\pm$  %5 mertebesinde-dir.

Sonuç olarak  $X_B$ 'nin artan değerleri ile  $\bar{t}_c$ 'nin azalan değerleri için  $\beta_r$  artmakta ve maksimum noktası daha küçük  $Q_r$  değerlerine doğru kaymaktadır.

Bu çalışmada hesaplanan soğutma etki katsayılarından Tchernev ile Guillemintot'un deney şartlarına yakın şartlarda olanları seçilmiş ve bu katsayılar Tchernev ve Guillemintot soğutma etki katsayıları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları (Ek 3) 'te gösterilmiştir.

### 5.8. Soğutma Etki Katsayılarının Düşme Oranı

$\beta_a$  ve  $\beta_r$  katsayıları ile bu katsayıları etkileyen büyüklükler arasındaki ilişki (2.54) ve (2.58) bağıntıları ile verilmektedir. Bunların dışında ortamın sıcaklığı, toplayıcı üzerindeki hava akımlarının hızı ve yönü, yalıtım tabakasının durumu ve yaygın ışınlım gibi soğutma etki katsayısını etkileyebilecek faktörler ihmal edilmiştir. Burada  $X_B$ 'nin soğutma etki katsayısı  $\beta$ 'ya etkisi ayrıca incelenecektir.

Belirli deney koşullarında zeolit doymuş hale gelmeden ışınlamaya başladığında soğutma etki katsayısındaki düşmeyi değerlendirebilmek için bu çalışmada soğutma etki katsayısı düşme oranı adı verilen  $\epsilon_a$  ve  $\epsilon_r$  oranları kullanılmıştır.

Zeolit doymuş halde iken ışınlama başladığı zaman sistemin ani toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_{aD}$  ile ve zeolit doymamış halde iken ışınlama başladığı zaman sistemin ani toplam soğutma etki katsayısı  $\beta_{aE}$  ile gösterilirse,  $Z_1$  anın-

da soğutma etki katsayısı düşme oranı

$$(\epsilon_a)_i = \left( \frac{\beta_{aD} - \beta_{aE}}{\beta_{aD}} \right)_i = 1 - \left( \frac{\Delta m_E}{\Delta m_D} \right)_i \quad (5.10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada D indisi zeolitin doymuş durumunu, E indisi ise doymamış durumunu gösterir.

Benzer şekilde  $Z_i$  anına kadar olan ortalama toplam soğutma etki katsayısı düşme oranı için de

$$(\epsilon_r)_i = \left( \frac{\beta_{rD} - \beta_{rE}}{\beta_{rD}} \right)_i = 1 - \left( \frac{m_E}{m_D} \right)_i \quad (5.11)$$

yazılır.

Ani toplam soğutma etki katsayısının düşme oranı  $\epsilon_a$  (5.10) bağıntısı yardımı ile hesaplanmış ve (Tablo 5.11)'de verilmiştir. Tablodan söz konusu oranların dağıldığı görülmektedir. Fakat  $\bar{t}_c = 36^\circ\text{C}$  de  $X_B = \%23,8$  için  $\epsilon_a = 0,091$  ve  $X_B = \%23$  için  $\epsilon_a = 0,148$  ortalama değerlerini aldığı görülmektedir. Diğer taraftan  $X_B = \%23$ 'te  $\epsilon_a$ 'nın ortalama değerlerinin  $\bar{t}_c = 36^\circ\text{C}$ ,  $\bar{t}_c = 43^\circ\text{C}$  ve  $\bar{t}_c = 47^\circ\text{C}$  için sırasıyla 0,148, 0,189 ve 0,186 olduğu görülmektedir. Görülüyor ki,  $X_B$ 'nin  $\%24,6$  (doymuş)'dan  $\%23$ 'e azalması ile sistemin değişik  $\bar{t}_c$ 'ler için ani toplam soğutma etki katsayısındaki düşme oranı (ortalama olarak)  $\%17,5$  civarında olur.

Ortalama toplam soğutma etki katsayısının  $\epsilon_r$  düşme oranı (2.11) bağıntısı ile hesaplanarak (Tablo 5.12)'de verilmiş ve (Şek. 5.26-5.28)'deki diyagramlarda gösterilmiştir.

Şekillerde görüldüğü gibi ışınlama başlangıcında doymamış halde bulunan zeolit için başlangıçta yoğuşma olmaması nedeniyle  $\epsilon_r = \%100$  olur. Yoğuşmanın başlaması ile  $\epsilon_r$  hızlı olarak azalır ve belirli bir  $Q_r$ 'den sonra yaklaşık olarak sabit kalır. Sonuç olarak değişik  $\bar{t}_c$  sıcaklıklarında ve  $Q_r > 6\text{MJ}$  değerlerinde  $X_B = \%23,8$  için  $\epsilon_r$ 'nin değeri en az  $\%12$  civarında ve  $X_B = \%23$  için ise en az  $\%27$  civarında olur.

Tablo 5.11  
 $Q_r$ 'ye tekâbül eden  $\epsilon_a$  değerleri.

| Or (K.J)                                 | $\bar{t}_c = 36 \text{ } ^\circ\text{C}$ |         |
|------------------------------------------|------------------------------------------|---------|
|                                          | XR<br>%                                  | XR<br>% |
| 2349.00                                  | 0.1132                                   | 0.0943  |
| 3288.60                                  | 0.0426                                   | 0.0851  |
| 4228.20                                  | 0.1521                                   | 0.1818  |
| 5167.80                                  | 0.0759                                   | 0.1750  |
| 6107.40                                  | 0.1351                                   | 0.1622  |
| 7047.00                                  | 0.1429                                   | 0.2571  |
| 7986.60                                  | 0.0667                                   | 0.2000  |
| 8926.20                                  | -0.0800                                  | 0.1200  |
| 9865.80                                  | 0.0476                                   | 0.0476  |
| 10805.40                                 | 0.0526                                   | 0.1579  |
| $\bar{t}_c = 43 \text{ } ^\circ\text{C}$ |                                          |         |
| 2349.00                                  | 0.0213                                   | 0.1489  |
| 3288.60                                  | -0.0227                                  | 0.1136  |
| 4228.20                                  | -0.0513                                  | 0.1026  |
| 5167.80                                  | 0.0000                                   | 0.1081  |
| 6107.40                                  | 0.0000                                   | 0.0606  |
| 7047.00                                  | 0.0625                                   | 0.1250  |
| 7986.60                                  | 0.2333                                   | 0.3333  |
| 8926.20                                  | 0.2000                                   | 0.2000  |
| 9865.80                                  | 0.2174                                   | 0.3478  |
| 10805.40                                 | 0.4118                                   | 0.3529  |
| $\bar{t}_c = 47 \text{ } ^\circ\text{C}$ |                                          |         |
| 2349.00                                  | 0.0000                                   | 0.1440  |
| 3288.60                                  | 0.0000                                   | -0.0250 |
| 4228.20                                  | 0.0732                                   | 0.2195  |
| 5167.80                                  | 0.1538                                   | 0.2584  |
| 6107.40                                  | 0.0588                                   | 0.2353  |
| 7047.00                                  | 0.0333                                   | 0.2000  |
| 7986.60                                  | 0.1429                                   | 0.2143  |
| 8926.20                                  | 0.1923                                   | 0.2308  |
| 9865.80                                  | 0.2000                                   | 0.2000  |
| 10805.40                                 | 0.1875                                   | 0.1875  |

Tablo 5.12  
 $Q_r$ 'ye tekâmül eden  $\epsilon_r$  değerleri.

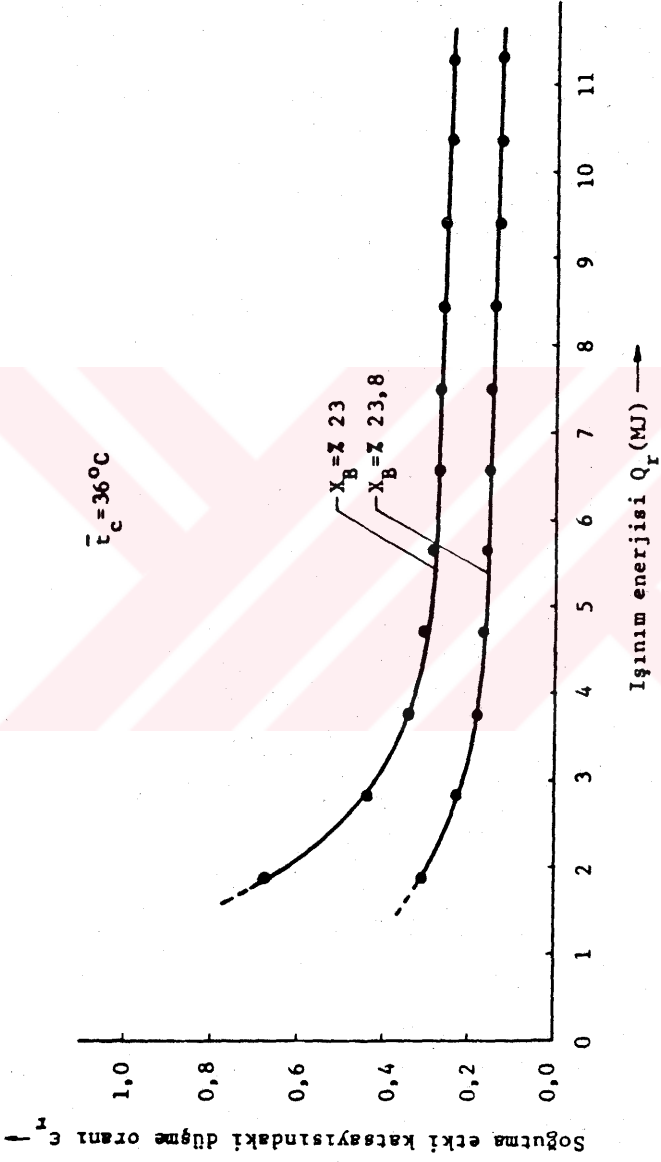
| $\bar{t}_c = 36 \text{ } ^\circ\text{C}$ |        |        |
|------------------------------------------|--------|--------|
| $Q_r$ (KJ)                               | XB     |        |
|                                          | % 23.8 | % 23.0 |
| 1879.20                                  | 0.3117 | 0.6753 |
| 2818.80                                  | 0.2308 | 0.4385 |
| 3758.40                                  | 0.1808 | 0.3446 |
| 4698.00                                  | 0.1765 | 0.3122 |
| 5637.60                                  | 0.1609 | 0.2912 |
| 6577.20                                  | 0.1577 | 0.2752 |
| 7516.80                                  | 0.1562 | 0.2733 |
| 8456.40                                  | 0.1488 | 0.2672 |
| 9396.00                                  | 0.1340 | 0.2577 |
| 10335.60                                 | 0.1296 | 0.2469 |
| 11275.20                                 | 0.1262 | 0.2430 |

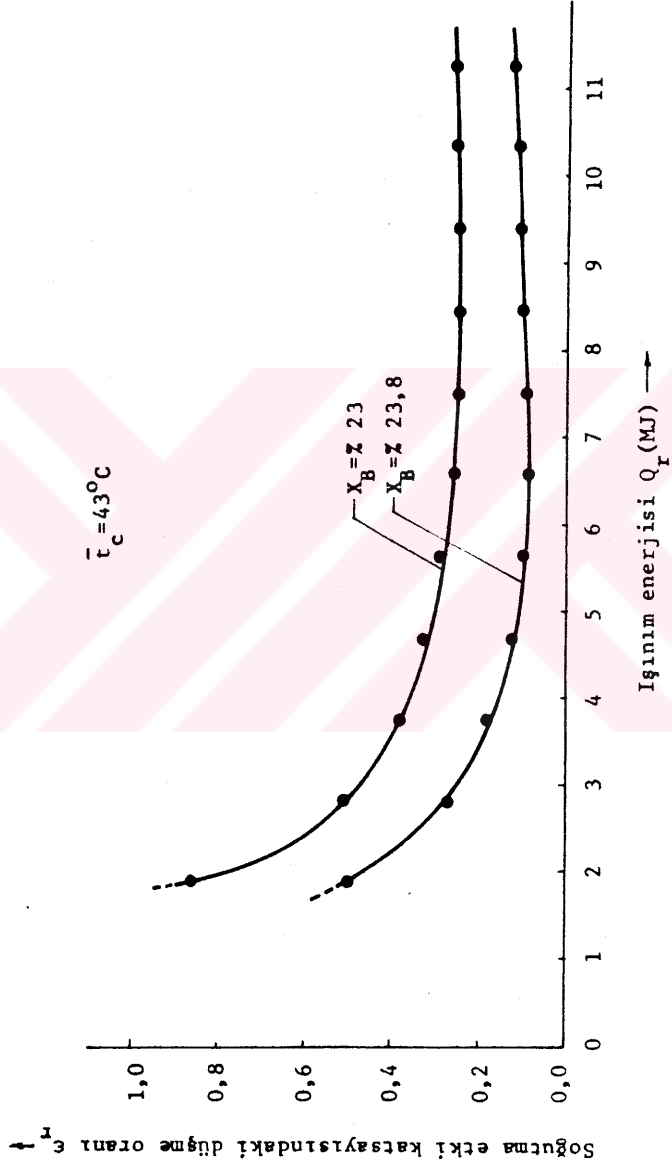
| $\bar{t}_c = 43 \text{ } ^\circ\text{C}$ |        |        |
|------------------------------------------|--------|--------|
| $Q_r$ (KJ)                               | XB     |        |
|                                          | % 23.8 | % 23.0 |
| 1879.20                                  | 0.5000 | 0.8600 |
| 2818.80                                  | 0.2680 | 0.5155 |
| 3758.40                                  | 0.1773 | 0.3901 |
| 4698.00                                  | 0.1278 | 0.3278 |
| 5637.60                                  | 0.1060 | 0.2903 |
| 6577.20                                  | 0.0920 | 0.2600 |
| 7516.80                                  | 0.0887 | 0.2447 |
| 8456.40                                  | 0.1026 | 0.2532 |
| 9396.00                                  | 0.1098 | 0.2493 |
| 10335.60                                 | 0.1167 | 0.2556 |
| 11275.20                                 | 0.1300 | 0.2599 |

| $\bar{t}_c = 47 \text{ } ^\circ\text{C}$ |        |        |
|------------------------------------------|--------|--------|
| $Q_r$ (KJ)                               | XB     |        |
|                                          | % 23.8 | % 23.0 |
| 1879.20                                  | 0.6923 | 1.0000 |
| 2818.80                                  | 0.2500 | 0.6528 |
| 3758.40                                  | 0.1607 | 0.4107 |
| 4698.00                                  | 0.1373 | 0.3595 |
| 5637.60                                  | 0.1406 | 0.3385 |
| 6577.20                                  | 0.1283 | 0.3230 |
| 7516.80                                  | 0.1172 | 0.3086 |
| 8456.40                                  | 0.1197 | 0.2993 |
| 9396.00                                  | 0.1258 | 0.2935 |
| 10335.60                                 | 0.1303 | 0.2879 |
| 11275.20                                 | 0.1330 | 0.2832 |

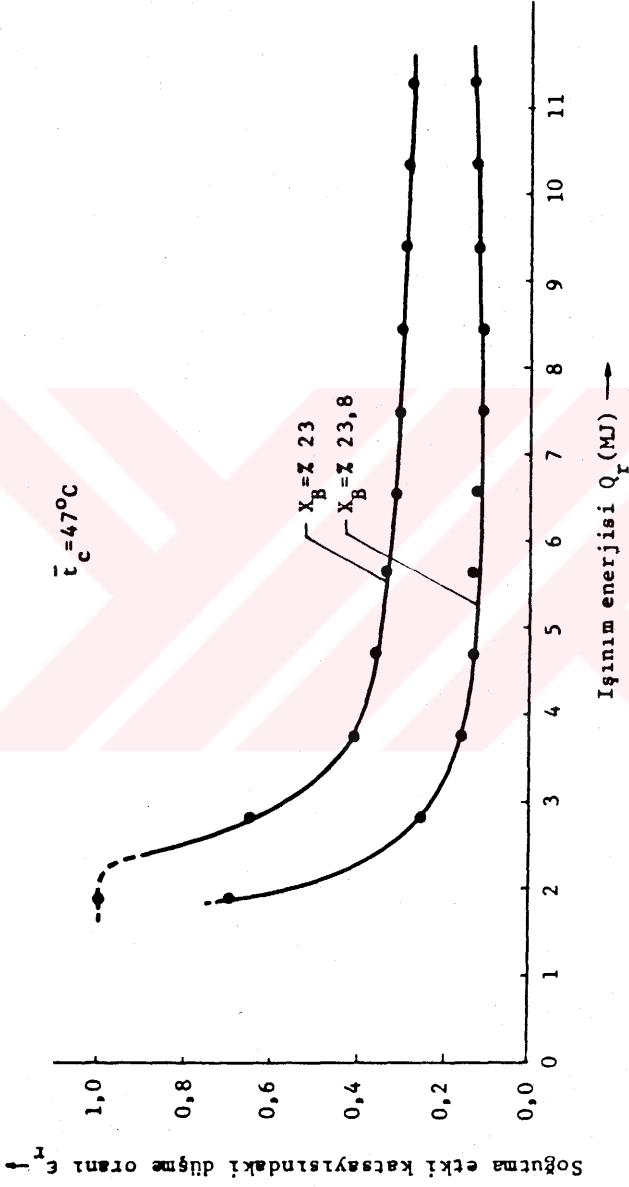


Şek.5.26: Ortalama toplam soğutma etki katsayısındaki düşme oranı  $E_r$ 'nin ışınlam enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişmesi.



Şek.5.27: Ortalama toplam soğutma etki katsayısındaki düşme oranı  $\epsilon_r$ 'nin ışınım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişmesi.





Şek.5.28: Ortalama toplam soğutma etki katsayısındaki düşme oranı  $\epsilon_r$ 'nin ışınım enerjisi  $Q_r$ 'ye bağlı olarak değişmesi.

### 5.9. Sonuç

Yukarıda yapılan açıklamalardan çıkarılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1- Sistemin soğutma etki katsayısının büyük olabilmesi için ışınlama başlangıcında zeolitin doyma haline en yakın olması gerekir.

2- Sistemin en büyük ortalama toplam soğutma etki katsayısı % 22 olup ışınlama başlangıcında zeolitin adsorpsiyon kapasitesinin azalan değerleri ile ortalama yoğuşma sıcaklığının artan değerleri için azalmaktadır.

3- Yoğuşma sırasında ( $Q_r > Q_B$ ) sıcaklığın toplayıcı zeolit tabakası kalınlığı boyunca lineer olarak değiştiği kabul edilirse birim zamanda yoğuşan su miktarı yaklaşık olarak toplayıcı ortalama sıcaklığındaki artışı ile orantılı olmaktadır ( $\Delta \bar{t} / \Delta m \approx \text{sabit}$ ).

4- Işınım enerjisi doğrudan doğruya zeolite verildiğinden, yüksek toplayıcı verimi ve bunun neticesi olarak ta yüksek toplam soğutma etki katsayısı elde edilmektedir. Dolayısıyla güneş toplayıcısında üretilen sıcak su ile çalışan bir adsorpsiyonlu sisteme nazaran adsorpsiyonlu sistem üstünlük kazanmaktadır.

5- Işınlama başlangıcında zeolit doymuş halde ise ortalama yoğuşma sıcaklığının  $36^\circ\text{C}$ 'tan  $47^\circ\text{C}$ 'e yükselmesi ile  $Q_r > 10$  MJ için sistemin ortalama toplam soğutma etki katsayısı sadece % 20 mertebesinde düşmektedir. Bu durum adsorpsiyonlu sistemde hava ile soğutulan bir yoğuşturucu kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Bu da soğutma suyunun bulunmaması halinde adsorpsiyonlu sisteme nazaran büyük üstünlük sağlar.

6- Zeolitin kolayca doyması ve ortalama yoğuşma sıcaklığının düşük olması nedenleriyle bulutlu havalarda veya çevre sıcaklığının düşük olması hallerinde ışınlama sırasında sistemin soğutma etki katsayısı yüksek olmaktadır. Aksine olarak güneşli ve sıcak havalarda soğutma etki katsayısı dü-

şük olmaktadır. Buna karşılık güneşli havalarda ışınım enerjisinin daha büyük olduğundan yoğuşan su miktarı önemli miktarda artar ve bunun sonucunda daha büyük bir soğutma enerjisi kazanılabilir.

7- Zeolitin yüksek buharlaştırıcı basıncında adsorpsiyon doyma kapasitesi daha büyük olduğundan sistemin klima tekniğinde kullanılması zeolitin doymasını kolaylaştırmaktadır.

8- Vakum altında çalışması nedeniyle sistemin konstruksiyonu ve işletmesi zor olur.



EKLER

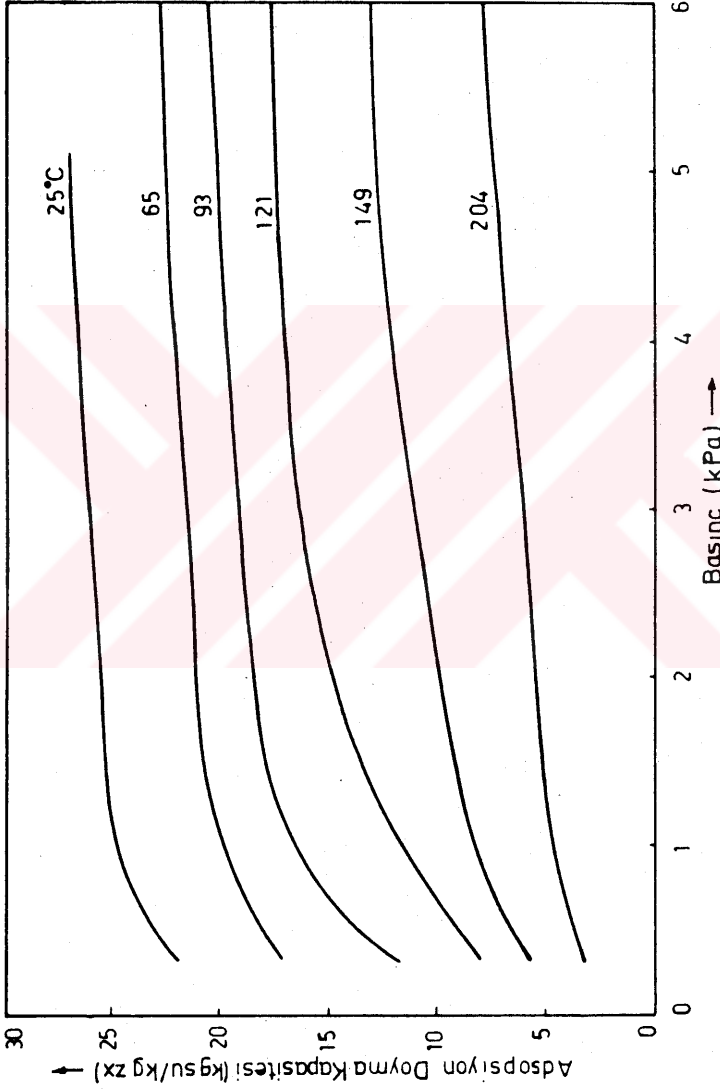
Ek 1. ZX-Zeolitin İzotermleri

Ek 2. Hesap Programı

Ek 3. Sistemin Diğer Sistemler İle Karşılaştırılması

## EK 1

ZX-Zeolitin İzotermeleri [15].



EK 2  
Hesap Programı

Aşağıdaki program yardımı ile ilk olarak  $\bar{t}_c=36^\circ\text{C}$ ,  $43^\circ\text{C}$  ve  $47^\circ\text{C}$  için  $\alpha$ 'nın ve  $\Delta t_{\text{desB}}$ 'nin değerleri ve bu sıcaklıkların her birinde  $X_B=\%24,6$ ,  $\%23,8$  ve  $\%23$  için  $Q_F$ 'nin değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra  $\bar{t}_c=36^\circ\text{C}$ ,  $43^\circ\text{C}$  ve  $47^\circ\text{C}$  sıcaklıklarının her birine ait  $X_B=\%24,6$ ,  $\%23,8$  ve  $\%23$  için deneysel adsorpsiyon doyma kapasite değerlerini kullanarak, (5.2) formülüne en küçük kareler metodu uygulanmış ve her bir  $\bar{t}_c$  için söz konusu formülün n ve B sabitleri bulunmuştur. Bundan sonra bulunan n değerleri belirli bir sınır içinde denenecek minimum sapma verecek müşterek tek n ve her bir  $\bar{t}_c$  için üç B değeri bulunmuştur. Buna göre (5.2) formülü ile hesaplanan  $X_o$  değerleri ile deneysel  $X_o$  değerleri arasındaki sapmalar hesaplanmıştır.

Işınlama safhasının birinci saatından itibaren ve her yarım saatte bir  $\eta_{ta}$ ,  $\beta_{ia}$ ,  $\beta_a$  ve  $\beta_r$ 'nin değerlerinin hesaplanması için önce  $q_x$ ,  $\Delta Q_{\text{des}}$ ,  $\Delta \bar{t}$ ,  $q_o$ ,  $\Delta Q_{td}$ ,  $\Delta Q_e$  ve  $Q_e$ 'nin değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca yoğunlaşmanın ışınlama başlangıcından itibaren 1 ila 1,5 saat arasında meydana gelip gelmediği kontrol edilerek ona göre verimin ve soğutma etki katsayılarının 1 ila 1,5 saat arasındaki değerleri hesaplanmıştır. En son  $\beta_a$  ve  $\beta_r$ 'nin  $X_B=\%23,8$  ve  $X_B=\%23$  için değerleri hesaplanmıştır.

Programda kullanılan semboller aşağıdaki gibidir.

|      |                    |     |                            |
|------|--------------------|-----|----------------------------|
| ALFA | : $\alpha$         | TC  | : $\bar{t}_c$              |
| TCK  | : $\bar{T}_c$      | DTB | : $\Delta t_{\text{desB}}$ |
| QB   | : $Q_F$            | XB  | : $X_B$                    |
| AD   | : deneysel $X_o$   | ADM | : m                        |
| Q    | : $Q_r$            | YF  | : teorik $X_o$             |
| QX   | : $q_x$            | DQD | : $\Delta Q_{\text{des}}$  |
| DTO  | : $\Delta \bar{t}$ | TKO | : $t_{tö}$                 |
| TKA  | : $t_{ta}$         | QSI | : $q_o$                    |

|       |                                    |      |                                  |
|-------|------------------------------------|------|----------------------------------|
| DQK   | : $\Delta Q_t$                     | DQR  | : $Q_r$                          |
| QRO   | : $Q_B$                            |      |                                  |
| VERKA | : $\eta_{ta}$                      | DQEV | : $\Delta Q_e$                   |
| COPA  | : $\beta_{ia}$                     | COP  | : $\beta_a$                      |
| QORT  | : $0,5(Q_{r,i} + Q_{r,i+1})$       | COPR | : $\beta_r$                      |
| EAA   | : $X_B = \%23,8$ için $\epsilon_a$ | EAB  | : $X_B = \%23$ için $\epsilon_a$ |
| ERA   | : $X_B = \%23,8$ için $\epsilon_r$ | ERB  | : $X_B = \%23$ için $\epsilon_r$ |

\*\*\*\*\*

\*\*\* ADN FORTRAN LİSTESİ

\*\*\*\*\*

ADNAN FERVATİ . İTÜ Makina Fakültesi

ADSORBSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİNİN ANALİZİ

DIMENSION

```

1Q(11),ADM(3,33),X(33),Y(33),FARK(33),AD(3,33),SF(3,10),AA(3,10),
2TC(3),YF(33),A(10),B(10),QB(3,3),US(10),XB(3),QAB(3,33),SFARK(10),
3VERKA(33),COPA(33),COP(33),COPR(33),TK(3,33),TKA(3,33),QORT(33)

```

MM=11

M=MM\*3

FM=M

READ (5,501) (XR(I),I=1,3)

READ (5,502) (Q(I),I=1,11)

DO 5 I=1,3

READ (5,503) TC(I)

5 READ (5,505) (ADM(I,J),J=1,M)

WRITE (6,501) (XR(I),I=1,3)

WRITE (6,502) (Q(I),I=1,MM)

DO 4 I=1,3

WRITE (6,503) TC(I)

4 WRITE (6,505) (ADM(I,J),J=1,M)

DO 9 L=1,3

ALFA=0,03\*TC(L)-0,433

TCK=TC(L)+273,15

DTR=-298,15+1,1/(0,00109+0,63/TCK)

DO 8 I=1,3

8 QB(L,I)=ALFA\*DTR\*44,17-1240,\*(24,6-XR(I))

J=0

DO 11 I=1,3

DO 12 K=1,MM

J=J+1

AD(L,J)=XR(I)-ADM(L,I)/175

Y(J)=ALOG(-ALOG(AD(L,I)/24,6))

QAB(L,I)=Q(K)-QB(L,I)

XC(I)=ALOG(QAB(L,I))

12 CONTINUE

11 CONTINUE

TX=0

TY=0

TXX=0

TXY=0

DO 2 I=1,3

TX=TX+XC(I)

TY=TY+Y(I)

TXX=TXX+XC(I)\*XC(I)

TXY=TXY+XC(I)\*Y(I)

2 CONTINUE

R(L)=(-TX\*TY+FM\*TXY)/(FM\*TXX-TX\*TX)

A(L)=-EXP(CY-R(L)\*TX)/FM

C  
C  
C

```

FARK2=0
DO 3 I=1,M
YF(I)=24.6*EXP(A(L,I)*(QAB(L,I)**B(L,I)))
FA=AD(L,I)-YF(I)
FARK(I)=FA*100./AD(L,I)
3 CONTINUE
WRITE (6.600) TC(L),A(L),B(L)
WRITE (6.601) (I,QAB(L,I),AD(L,I),YF(I),FARK(I),I=1,M)
9 CONTINUE
DO 41 KA=1,3
DO 42 I=1,10
42 US(I)=B(2)+(-1.+0.2*I)/(10.**KA)
DO 30 K=1,10
DO 6 L=1,3
TR=0.
DO 7 J=1,M
7 TR=TR+ALOG(-ALOG(AD(L,J)/24.6)-ALOG(QAB(L,J)**US(K))
AA(L,K)=-EXP(TR/EM)
6 CONTINUE
DO 13 L=1,3
FARK2=0.
DO 10 I=1,M
YA=24.6*EXP(AA(L,K)*QAB(L,I)**US(K))
FA=AD(L,I)-YA
FARK2=FARK2+FA*FA
10 CONTINUE
13 SF(L,K)=FARK2
SFARK(K)=SF(1,K)+SF(2,K)+SF(3,K)
30 CONTINUE
SA=SFARK(1)
K=1
DO 31 I=2,10
IF (SA.LT.SFARK(I)) GO TO 31
SA=SFARK(I)
K=I
31 CONTINUE
R(2)=US(K)
41 CONTINUE
DO 35 L=1,3
WRITE (6.602) TC(L),AA(L,K),US(K)
WRITE (6.603) (XB(I),I=1,3)
DO 34 KA=1,MM
DO 33 JJ=1,3
J=KA+(JJ-1)*MM
Y(JJ)=24.6*EXP(AA(L,K)*QAB(L,J)**US(K))
X(JJ)=AD(L,J)
33 SFARK(JJ)=(AD(L,J)-Y(JJ))*100./AD(L,J)
WRITE (6.604) Q(KA),(X(JJ),Y(JJ),SFARK(JJ),J=1,3)
34 CONTINUE
35 CONTINUE
DO 49 I=1,3
READ (5.505) (TKO(I),J=1,M)
49 READ (5.505) (TKA(I),J=1,M)
DO 51 I=1,3
NA=1
NB=10
KK=1
QRO=QB(I,KK)
JJ=0
WRITE (6.610) TC(I)
55 DO 50 J=NA,NB
XORT=0.5*(AD(I,J)+AD(I,J+1))
QX=3671.0+11.*(24.6-XORT)
QBD=(ADM(I,J+1)-ADM(I,J))*QX/1000.
DTO=0.5*(TKO(I,J+1)+TKA(I,J+1)-TKO(I,J)-TKA(I,J))
QSI=26.+0.7327*XORT
DQR=939.6
IF (ADM(I,J).EQ.0.) DQR=2818.8-QRO

```



```

DT0=DOR*DT0/939.6
DQK=QSI*DT0
VERKA(J)=(DQD+DQK)/DOR
DQEV=(ADM(T,J+1)-ADM(T,J))*(2491.3-4.187*(TC(T)-5))/1000.
COPA(J)=DQEV/(DQD+DQK)
COP(J)=DQEV/DOR
JJ=JJ+1
QORT(J)=0.5*(Q(J)+Q(J+1))
COPR(J)=0.175*(XB(KK)-ADM(T,NI+1))*(2491.3-4.187*(TC(T)-5))/DQ(J)
50 CONTINUE
COPR(NR+1)=0.175*(XB(KK)-ADM(T,NI+1))*(2491.3-4.187*(TC(T)-5))/
1 Q(MM)
WRITE (6.615) XB(KK)
WRITE (6.611) (QORT(J),VERKA(J),COPA(J),COP(J),I=NA,NR)
JJ=0
KK=KK+1
IF (KK.GT.3) GO TO 58
QRO=QB(T,KK)+FXP(ALOG(-ALOG(24.8/XB(KK)))/AACT(R))/HS(R)
NA=NA+1
NR=NR+1
GO TO 55
56 WRITE (6.613) TC(I),XB(2),XB(3)
DO 53 J=1,10
EAA=(COP(J)-COP(J+1))/COP(J)
EAB=(COP(J)-COP(J+2))/COP(J)
WRITE (6.612) QORT(J),EAA,EAB
53 CONTINUE
WRITE (6.605) TC(I),(XB(J),J=1,3)
WRITE (6.606) (Q(J),COPR(J),COPR(J+1),COPR(J+2),J=1,MM)
WRITE (6.614) TC(I),XB(2),XB(3)
DO 54 J=1,MM
ERA=(COPR(J)-COPR(J+1))/COPR(J)
ERB=(COPR(J)-COPR(J+2))/COPR(J)
WRITE (6.612) Q(J),ERA,ERB
54 CONTINUE
51 CONTINUE
610 FORMAT (///20X,4HTC =,F5.1,2H C///4X,6HXB(2),4X,6HQr(K,I),
15X,5HVERIM,5X,5HSEKIA,6X,4HSEKA/)
611 FORMAT (10X,F10.2,3F10.4)
612 FORMAT (F10.2,2F12.4)
613 FORMAT (///10X,4HTC =,F5.1,2H C///10X,2(10X,2HXB)/
1 4X,6HQr(K,I),2(5X,2HZ ,F5.1)/)
614 FORMAT (///10X,4HTC =,F5.1,2H C///10X,2(10X,2HXB)/
1 4X,6HQr(K,I),2(5X,2HZ ,F5.1)/)
615 FORMAT (F10.4)
501 FORMAT (3F5.4)
502 FORMAT (8F8.4)
503 FORMAT (F5.1)
505 FORMAT (11F6.4)
600 FORMAT (/8X,4HTC =,F5.1,5X,3HA =,E15.8,5X,3HB =,F10.4/
1 14X,1HQ,8X,2H8D,8X,2H8F,8X,2HYE/)
601 FORMAT (15,4F10.2)
502 FORMAT (///34X,4HTC =,F5.1,2H C///24X,3HB =,E15.8,5X,3Hn =,F7.4/)
603 FORMAT (10X,3(4X,5HXB =,Z,F5.1,6X)///6X,2HQr,2X,3(4X,1HX,6X,1HX,5X,
11HZ,2X)/6X,2HKJ,2X,3(2X,5HDENEY,1X,6HFORHUL,2X,4HFARK)/)
604 FORMAT (F10.4,3(2F7.2,F6.2))
605 FORMAT (///22X,4HTC =,F5.1,2H C///4X,6HQr(K,I),
1 3(4X,6HXB =,Z,F5.1)/)
606 FORMAT (F10.2,3F15.4)
STOP
END

```

## EK 3

## Sistemin Diğer Sistemler İle Karşılaştırılması:

Bu çalışmada kullanılan sistem ile Tchernev'in sistemi ve Guilleminot'un sistemine ait özellikleri mukayeseli olarak aşağıdaki tabloda verilmiştir.

|                                               | Tchernev                    | Guilleminot            | Bu çalışma                     |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Zeolit cinsi                                  | Çabazit (tabii)             | ZX (sentetik)          | ZX (sentetik)                  |
| Zeolit kalınlığı mm                           | 63,5                        | 40                     | 50                             |
| Toplayıcı alanı m <sup>2</sup>                | 0,093                       | 0,8                    | 0,58                           |
| Toplayıcı-zeolit Isı iletken elemanı          | sık yapılı kafes (Eggcrate) | 80x80 mm' lik bölmeler | 25 mm aralıklı aliminyum petek |
| Işınım şiddeti W                              | 1000                        | 800                    | 900                            |
| Teorik soğutma etki katsayısı                 | 0,83                        | 0,6                    | 0,6                            |
| Yoğuşma sıcaklığı °C                          | 50                          | 31                     | 36                             |
| 6 saat sonra $\beta_r$ %<br>( $t_e=5^\circ$ ) | 26,6                        | 11,2                   | 13,5                           |

Bu tabloda görüldüğü gibi adsorpsiyonlu soğutma sistemlerinde sentetik zeolit yerine doğal zeolit kullanılması halinde soğutma etki katsayısı önemli miktarda artmaktadır. Bunun nedeni doğal zeolitin adsorpsiyon ısısının daha düşük olmasıdır. Ayrıca Tchernev'in deneylerinde daha kalın bir zeolit tabakası kullanılmış ve zeolitin alt tabakasının bir yalıtıcı görevi yapması sağlanmıştır. Bu çalışmada zeolit tabakası Guilleminot'un sisteminde kullanılan zeolit tabakasından daha kalın tutulmuş ve daha sık yerleştirilen petekler yardımı ile ısı iletimi iyileştirilmiş ve ayrıca kütle transferini kolaylaştırmak için tedbirler alınmıştır. Bunun sonucu olarak 10 saatlik adsorpsiyon süresi için  $X_B \approx \% 23$  alınmış ve daha yüksek ortalama toplam soğutma etki katsayıları elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1]- Kreider, J.F., Kreith, F., Solar heating and cooling. Mc Graw Hill Book Company, (1977).
- [2]- Serim, İ. Enerji-Feryal matbaacılık, Ankara, (1979).
- [3]- Kreith, F., Kreider, J.F., Principle of solar energy. Mc Graw Hill Book Company, (1978).
- [4]- Shigeishi, R.A., Langford, C.H., Hollebone, B.R., Solar energy storage using chemical potential changes associated with drying of zeolites. Solar Energy, V.23, (1979), 489-495.
- [5]- Sand, L.B., Mumpton, F.A., Natural zeolites. Pergamon Press, (1976).
- [6]- Noll, E.M., Wind/Solar energy. Sams, Indiana, (1977).
- [7]- Grossman, G., Johannsen, A., Solar cooling and air conditioning. Prog. Energy Combust. Sci Vol.7, Pergamon press, (1981), 185-228.
- [8]- Meunier, F., Mischler, B., Solar cooling through cycles using microporous solid adsorbents. Proc. Int. Sol. Energy Soc. Silver Jubilee Congress 1979 V.1. Pergamon, (1979), 676-680.
- [9]- Nelson, J.S., Beckman, W.A., Mitchell, J.W., Close, D.J., Simulations of the performance of open cycle desiccant systems using solar energy. Solar Energy, V.21, (1978) 273-278.
- [10]- Shelpuk, B.C., Hooker, D.W., Overview of developing programs in solar desiccant cooling for residential buildings. SERI. National Technical Information Service U.S.A., (1979).
- [11]- Keenan, J.H., Thermodynamics. Wiley, (1947).
- [12]- Onat, K. Soğutma tekniği ders notları, İ.T.Ü. Mak. Fak. Isı tekniği kürsüsü, (1978).
- [13]- Whitlow, E.P., Swearingen, J.S., An improved absorption refrigeration cycle. The 13.th annual technical meeting, Presented at American Institute of Chemical Engineers, Galveston, Texas, (1958).

- [14]- Whitlow, E.P., Trends of efficiencies in absorption refrigeration machines. Ashrae journal, December, (1966), 44-48.
- [15]- Shelpuk, B., Proceedings of the desiccant cooling conference of 1977. SERI, National Technical Information Service, Springfield, U.S.A., (1978).
- [16]- Tchernev, D.I., Exploration of molecular sieve zeolites for the cooling of buildings with solar energy. National Technical Information service, Springfield, U.S.A., (1977).
- [17]- Guilleminot, J.J., Meunier, F., Etude experimentale d'une glaciare solaire utilisant le cycle zeolithe 13X-eau. Rev. Gén. Therm. Fr. n<sup>o</sup>.239, novembre (1981), 825-834.
- [18]- Guilleminot, J.J., Meunier, F., Mischler, B., Etude de cycles intermittents à adsorption solide pour la refrigeration solaire. Revue Phys. Appl. 15 (1980), 441-452.
- [19]- Meunier, F., Mischler, B., Guilleminot, J.J., On the use of zeolithe 13X-H<sub>2</sub>O intermittent cycle for the application to solar climatization of buildings. Proc. Int. Sol. Energy Soc. Silver Jubilee Congress 1979 V.1., Pergamon, NY. (1979) , 459-463.
- [20]- Duffie, J.A., Beckman, W.A., Solar energy thermal processes. Wiley, (1974).
- [21]- Kılıç, A., Öztürk, A., Güneş enerjisi. Kipaş Dağıtım-cılık, (1983).
- [22]- Messel, H., Butler, S.T., Solar Energy. Pergamon Press, (1975).
- [23]- Sayigh, A.A.M., Solar energy engineering. Academic Press, (1977).
- [24]- Solar radiation observations, 1982, Boğaziçi Üniv. Kandilli rasathanesi, (1983).
- [25]- Kılıç, A., Direkt güneş ışınımı tayini için yeni bir metod. İ.T.Ü., Müh. Mim. Fak. Doktora tezi, (1982).

- [26]- Choudhury, C., Sehgal, H.K., Black cobalt selective coatings by spray pyrolysis for photothermal conversion of solar energy. *Solar Energy*, V.28, (1982), 25-31.
- [27]- Barrow, G.M., Physical chemistry, Mc Graw Hill International Student edition, (1966).
- [28]- Boer, J.H., The dynamical character of adsorption. Clarendon Press, Oxford, (1968).
- [29]- Şenatalar, A.E., Çandar, V., Kadioğlu, E., Doğal zeolitlerin kullanım potansiyelleri. *İ.T.Ü. Dergisi*, cilt 40, No.1, (1983) , 26-34.
- [30]- Union Carbide., Molecular sieves Catalogue
- [31]- Breck, D.W., Zeolite molecular sieves. Wiley, N.Y., (1974).
- [32]- Gopal, R., Hollebhone, B.R., Langford, C.H., Shigeishi R.A., The rates of solar energy storage and retrieval in a zeolite-water system. *Solar Energy*, (1981).
- [33]- Scarmozzino, R., Aello, R., Santucci, A., Chabazitic tuff for thermal storage. *Solar Energy*, V.24, (1980). 415-416.
- [34]- Close, D.J., Dunkle, R.V., Use of adsorbent beds for energy storage in drying and heating systems. *Solar Energy*, V.19, (1976).
- [35]- Holman, J.P. Experimental methods for engineers. Mc Graw-Hill, (1966).
- [36]- Doebelin, E.O., Measurement systems application and design. Mc Graw-Hill, (1975).

## TEŞEKKÜR

Bana bu tezin konusunu veren ve çalışmamı başlatan sayın hocam Prof. Dr. Kemal Onat'a, kendisinin emekli olarak ayrılması üzerine yürütücülüğü üstlenen ve yardımlarını esirgemeyen ve halen üniversiteden ayrılmış bulunan sayın hocam Doç. Dr. Kemal Tuzla'ya, tezimin bütün safhalarını adım adım izleyen, yönlendiren ve sonuca ulaşmamı sağlayan sayın hocam ve yöneticim Doç. Dr. Refah Ayber'e, çalışmalarında her türlü yardımlarını benden esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Ahmet Rasim Büyüktür'e, kompüter programlamanın hazırlanmasında büyük yardımlarını gördüğüm sayın Dr. Feridun Özgüç'e, deney tesisatının esasını teşkil eden zeoliti üniversiteye sağlayan Yılbak şirketi yetkilisi sayın Dr. Cevdet İmer'e ayrı ayrı teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Bir yabancı olarak öğretim gördüğüm İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesinde hiç bir yabancılık hissetmeden bana her türlü maddi ve manevi kolaylıkları sağlayan Sayın Fakülte Dekanları Prof. Dr. Aziz Erqin, Prof. Dr. Hasan Fehmi Yazıcı ve Prof. Dr. Yasar Özemir olmak üzere bütün sayın hocalarıma ve laboratuvar arkadaşlarıma candan teşekkür ederim.

## ÖZGEÇMİŞ

M.Adnan Fervati, 1945 yılında Halepte doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Halepte tamamladı. İstanbul Üniversitesi Lisan okulunda Türkçeyi öğrendikten sonra 1966 yılında giriş imtihanını kazanarak İ.T.Ü. Makina Fakültesi Genel Makina bölümünde yüksek öğrenimine başladı, ve 1971 yılında Mak. Yük. Müh. ünvanı ile mezun oldu. Halepte askerlik görevini tamamlayarak Halep Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde öğretim görevlisi olarak vazife aldı ve okuttuğu dersler ile ilgili yayınları yaptı. Halep Üniversitesi Teknik Enstitüsü Makina bölümü Şefliğini ve aynı enstitünün müdürlüğünü yaptı. Bunun dışında endüstride çelik konstrüksiyon ile ısıtma ve havalandırma projelerinin uygulamasında genel sorumlu mühendis olarak çalıştı. Şubat/1981 tarihinden bu yana İ.T.Ü. Makina Fakültesinde Enerji dalında doktora çalışmasını sürdürdü. Evli ve iki çocuk babasıdır.

**T. C.**  
**Yükseköğretim Kurulu**  
**Dokümantasyon Merkezi**