

75495

**Güneş Enerjili Aktif Isıtma Sistemlerinin İncelenmesi,
Projelendirilmesi ve Modellenmesi**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Enis Ümit ARIKAN

75495

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Haziran 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Haziran 1998

Tez Danışmanı :

Prof. Dr. Murat TUNÇ

Murat Tunç 17/07/98

Diğer Jüri Üyeleri :

Prof. Dr. Abdurrahman KILIÇ

Abdurrahman Kiliç 17/07

Prof. Dr. Zerrin YILMAZ

Z. Yılmaz 10/09

HAZİRAN 1998

İTÜ Kütüphane ve Bilgi İşleri Dairesi Başkanlığı
T.C. İTÜ Kütüphane ve Bilgi İşleri Dairesi Başkanlığı

ÖNSÖZ

Günümüzde, kısıtlı enerji kaynakları kullanılarak yapılan ısıtma sistemlerine ciddi bir alternatif oluşturan güneş enerjili ısıtma sistemleri konusunda çalışmama olanak sağlayan ve bilgilerini benden esirgemeyen rehber eğitimcim Sayın Prof. Dr. Murat TUNÇ'a öncelikle teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği veren aileme ve özellikle ablam Zehra ARIKAN'a, başta Melda CABAR, Kuntay İNAÇ, Cem ÖZEN, Yusuf Erdem ÖNDER ve Selahattin UĞUR olmak üzere arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Güneş enerjili ısıtma sistemleri ve güneş evleri konusunda yapılan bu çalışmanın bundan sonra yapılacak olan tez ve araştırma çalışmalarına bir kaynak olmasını dilerim.

İstanbul, Haziran 1998

Enis Ümit ARIKAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SEMBOL LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Güneş Enerjili Isıtma Sistemlerinin Tarihi	1
BÖLÜM 2 GÜNEŞ ENERJİLİ ISITMA SİSTEMLERİ	4
2.1 Güneş Enerjili Aktif Isıtma Sistemlerinin İncelenmesi	4
2.1.1 Sıvı Bazlı Isıtma Sistemleri	4
2.1.2 Hava Bazlı Isıtma Sistemleri	8
2.1.2.1 Tek Depolu Sistemler	9
2.1.2.2 Deposuz Sistemler	13
2.1.2.2.1 Isı Pompalı ve Yardımcı Isı Kaynaklı Sistemler	14
2.1.2.2.2 Kollektörün Evaporatör veya Kondansör Çeviriminde Bulunduğu ve Evaporatör Çeviriminin Açık Olduğu Isı Pompalı Sistemler	14
2.1.2.2.3 Kollektörün Evaporatör veya Kondansör Çeviriminde Bulunduğu ve Evaporatör – Kollektör Çeviriminin Kapalı Olabileceği Isı Pompalı Sistemler	18
2.1.2.2.4 Kollektörün Ev – Kondansör Çeviriminde Bulunduğu Sistemler	20
2.1.2.3 İki Depolu Sistemler	22
2.1.2.4 Hava Bazlı Sistemlerin Karşılaştırılması	24
2.2 Güneş Enerjili Pasif Isıtma Sistemleri	25
BÖLÜM 3 DEPONUN TABAKALANDIRILMASI	27
3.1 Tabakalandırılmış Depo Yaklaşımları	27
3.1.1 Çok Katmanlı Sistemler	27
3.1.2 Katman Akışlı Sistemler	30

BÖLÜM 4	GÜNEŞ EVİ VE ISITMA SİSTEMİNİN TANITIMI	33
4.1	Güneş Enerjili Isıtma Sistemi	33
4.1.1	Güneş Enerjili Isıtma Sisteminin Çalışması	33
4.1.2	Güneş Enerjili Isıtma Sistemindeki Elemanların İncelenmesi	36
4.2	Güneş Evinin Yapısı	38
BÖLÜM 5	MATEMATİK MODEL	41
5.1	Isıtma Sistem Modeli	41
5.2	Ev ve Depo İzolasyonu	45
BÖLÜM 6	SİSTEM PERFORMANSI VE SONUÇLARI	54
6.1	Sistemin Performans Değerleri ve Sonuçlarının İncelenmesi	54
EK – A		69
Bilgisayar Programı		69
EK – B		82
Evin Planı		82
KAYNAKLAR		90
ÖZGEÇMİŞ		92

SEMBOL LİSTESİ

A_c	: Güneş kollektörü alanı (m^2)
A_s, Alan	: Depo ısı transferi yüzeyi (m^2)
F_R	: Isı eşanjörü katsayısı
F_R'	: İndirgenmiş ısı eşanjörü katsayısı
M_l	: Yük çevirimindeki debi (kg/s)
M_c	: Kollektör çevirimindeki debi (kg/s)
$C_c, (C_p)_c$	: Glikol karışımının özgül ısısı ($J/kg^\circ C$)
C_s, C_l	: Suyun özgül ısısı ($J/kg^\circ C$)
U_s	: Deponun ısı kayıp katsayısı ($W/ m^{2^\circ C}$)
U_l	: Kollektörün ısı kayıp katsayısı ($W/ m^{2^\circ C}$)
T_{amb}, T_a'	: Depo çevresindeki ortam sıcaklığı ($^\circ C$)
Toprak	: Toprak sıcaklığı ($^\circ C$)
$I, ISl(\dots)$	: Ortalama saate metrekareye düşen güneş ışınımı (MJ/ m^2)
S	: Güneşten emilen net ışınlm (MJ/ m^2)
$T_a, TA(\dots)$	: Dış ortam sıcaklığı ($^\circ C$)
$T_s, TS(\dots)$	: Depo suyu sıcaklığı ($^\circ C$)
$T_l, TL(\dots)$	: Depo giriş suyu sıcaklığı ($^\circ C$)
$T_l, T_{s,l}$	: Katman sıcaklığı ($^\circ C$)
$T_{c,o}, T_c$	: Kollektörden gelen akışkan sıcaklığı ($^\circ C$)
T_D	: Eve gönderilen suyun sıcaklığı ($^\circ C$)
$Q_t, Q_{top}(\dots)$	: Evin saatteki enerji ihtiyacı (J/h)
$Q_u, Qu(\dots)$	: Kollektörün saatteki enerji kazancı (J/h)
$Q_l, Ql(\dots)$	: Satte depodan ortama olan ısı kaybı (J/h)
$Q_a, Qyar(\dots)$	: Yardımcı ısı kaynağı (J/h)
Q_{B1}, Q_{B2}, Q_{B3}	: Bodrum katı ısı kaybı ifadesi (J/h)
Q_{11}, Q_{12}	: 1. kat ısı kaybı ifadesi (J/h)
Q_{21}, Q_{22}	: 2. kat ısı kaybı ifadesi (J/h)
$Q_{\varphi 1}, Q_{\varphi 2}, Q_{\varphi 3}$	: Çatı katı ısı kaybı ifadesi (J/h)

$L_s, L_s(...)$	: Saatte eve gönderilen ısı miktarı (J/h)
F_i^o, F_i^l	: Evden ve kolektörden depoya gelen suyun hangi katmana gireceğini belirleyen fonksiyon
V_c, V_l	: Katman hacimleri (m^3)
$R_1, R_2, ...$	: Isı transfer yüzeyleri ile ısı iletim katsayılarının çarpımlarının toplam ifadesi
t	: Zaman dilimi (saat)
$\Delta l_1, \Delta l_2, \Delta l_3 ...$	: İzolasyon kalınlıkları (mm)
$k_1, k_2, k_3, ...$	: İzolasyonların ısı iletim katsayıları (W/mK)
h_i, h_d	: İç ve dış ortam ısı transfer katsayıları (W/m ² K)
i	: Katman değerini belirten indis
N	: Toplam katman sayısı
ε	: Kolektör verim değeri
α, γ, δ	: Güneş kolektörünün boyutsuz katsayıları

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Basit Sıvı Bazlı Isıtma Sitemi	5
Şekil 2.2 Karmaşık Sıvı Bazlı Isıtma Sitemi	7
Şekil 2.3 Tek Depolu Hava Bazlı Isıtma Sitemi	10
Şekil 2.4 Isı Pompalı ve Yardımcı Isı Kaynaklı Sistemler	15
Şekil 2.5 Kollektörün Evaporatör veya Kondansör Çeviriminde Bulunduğu ve Evaporatör Çeviriminin Açık Olduğu Isı Pompalı Sistemler	17
Şekil 2.6 Kollektörün Evaporatör veya Kondansör Çeviriminde Bulunduğu ve Evaporatör – Kollektör Çeviriminin Kapalı Olabileceği Isı Pompalı Sistemler	19
Şekil 2.7 Kollektörün Ev – Kondansör Çeviriminde Bulunduğu Sistemler	21
Şekil 2.8 İki Depolu Sistemler	23
Şekil 3.1 Üç Katmanlı Depo Şeması	28
Şekil 3.2 Katman Akışlı Sistem Yapısı	31
Şekil 4.1 Güneş Enerjili Isıtma Sistemi	34
Şekil 4.2 Güneş Kollektörünün Yapısı	37
Şekil 4.3 Çatı Katı Yüzeyi	39
Şekil 4.4 İkinci Kat Yüzeyi	39
Şekil 4.5 Birinci Kat Yüzeyi	40
Şekil 4.6 Bodrum Kat Yüzeyi	40
Şekil 5.1 Depo İzolasyonu	45
Şekil 5.2 Çatı İzolasyonu	47
Şekil 5.3 Mertek Arası Çatı Şiltesi Montaj Şekli	47

Şekil 5.4	Dış Duvar İzolasyonu	48
Şekil 5.5	Dupan Duvar Panosunun Montaj Şekli	48
Şekil 5.6	Foamboard 1500'ün Yere Montaj Şekli	49
Şekil 5.7	Bodrum Zemini İzolasyonu	50
Şekil 5.8	Taşyünü İzolasyon Malzemesi	50
Şekil 5.9	Çift Cam İzolasyonu	51
Şekil 6.1	Aylık Ortalama Depo Sıcaklığı	59
Şekil 6.2	Aylık Ortalama Dış Ortam Sıcaklığı	60
Şekil 6.3	Gebze'de Metrekareye Saatte Gelen Güneş Işınımı Değerleri	61
Şekil 6.4	Güneşten Elde Edilen Aylık Ortalama Isı	62
Şekil 6.5	Evin Aylık Ortalama Enerji İhtiyacı	63
Şekil 6.6	Evin Aylık Ortalama Isı İhtiyacı – Güneşten Elde Edilen Isı	64
Şekil 6.7	Depo Tarafından Eve Gönderilen Aylık Ortalama Isı Miktarı	65
Şekil 6.8	Evin Aylık Ortalama Isı İhtiyacı – Eve Gönderilen Isı	66
Şekil 6.9	Depodan Ortama Kaybedilen Aylık Ortalama Isı	67
Şekil 6.10	Aylık Ortalama Yardımcı Isı Enerjisi	68
Şekil B.1	Evin Bodrum Kat Planı	83
Şekil B.2	Evin 1. Kat Planı	84
Şekil B.3	Evin 2. Kat Planı	85
Şekil B.4	Evin Çatı Katı Planı	86
Şekil B.5	Evin Yandan Bakıldığında Görünüşü	87
Şekil B.6	Evin Arkadan Bakıldığında Görünüşü	88
Şekil B.7	Evin Önden Bakıldığında Kesit Görünüşü	89

ÖZET

Güneş enerjili ısıtma sistemleri ve güneş evleri, sıcak iklim şartlarına sahip bölgelerde güneş enerjisinden optimum faydalanılarak tüm ev ihtiyaçlarını karşılamayı hedefleyen sistemlerdir.

Daha önce bu konuda yapılan çalışmalar göstermiştir ki, güneş enerjili sistemler, neredeyse yardımcı bir enerji kaynağına ihtiyaç duymadan bir evin tüm ısı ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Bu da güneş enerjili ısıtma sistemlerinin ne kadar ekonomik olduğunun kanıtıdır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, öncelikle aktif güneş enerjili ısıtma sistemlerinin günümüze kadar ne gibi gelişmeler gösterdiği incelenmiştir. Daha sonra genel olarak güneş enerjili ısıtma sistemlerinin yapıları ve çalışma prensipleri anlatılmıştır.

Türkiye meteorolojik şartlarına göre aktif güneş enerjili ısıtma sistemlerinin uygulanabilirliğini incelemek için bir matematik model oluşturulmuş ve İzmit iline bağlı, Gebze ilçesi sınırları içerisinde bulunan bir ev için uyarlanmıştır.

Evin ısı kayıplarını azaltmak için izolasyon tedbirleri artırılmış, buna bağlı olarak sistemin ısı yükü hesaplanmıştır. Sistemin daha iyi çalışmasını sağlamak için güneş kolektörü alanı ve depo hacmi mümkün olduğu kadar büyük seçilmiştir.

Sistemin çalışmasını incelemek için bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bu program vasıtası ile, her saat için bir yıl boyunca, değişen dış ortam sıcaklığı ve ışıınım değerlerine bağlı olarak depo suyu sıcaklığı (T_s), evden depoya gelen su sıcaklığı (T_1), evin ısı ihtiyacı (Q_1), depodan ortama ısı kaybı (Q_1), kolektörden elde edilen ısı (Q_u), eve gönderilen ısı (L_s) ve yardımcı ısı kaynağının büyüklüğü (Q_a) hesaplanmıştır.

Bilgisayar programı yardımıyla yapılan bu hesaplamalar neticesinde bulunan sonuçlar, Türkiye şartlarında güneş evlerinin kullanılabilirliğini göstermiştir.

Azalan yeraltı enerji kaynakları ve kirlenen çevre göz önünde tutulduğunda; temiz, kendi kendini yenileyebilen ve ekonomik olan bu enerji kaynaklı sistemin uygun bir çözüm olduğu kanısına varılmıştır.

SUMMARY

THE DESIGN AND THE SIMULATION OF AN ACTIVE SOLAR HEATING SYSTEMS

Abstract

Today, we know that the energy sources in the world are not abundant. This phenomenon forced us to work on the renewable energy sources. One of the most powerful and the cheapest renewable energy source is certainly the sun. We should say that It is not a new subject. There have been numerous articles published on solar heated houses since 1970's.

In our work we have searched the publications about the solar houses. The main aim of this study is to investigate the feasibility of solar houses in northwestern Turkey's geographical conditions. Therefore, a solar house is designed at Gebze which is a small town located at the northwestern section of Turkey. The possibility to supply all the energy needed for the house was investigated using real meteorological data. Optimum values of storage tank volume, insulation thicknesses and the solar collector surface area were searched to realise our goal.

Introduction

There have been numerous investigations on solar heated houses since 1970's.

A. Debosscher built and tested a solar house system. In his work there was a heat pump assisted solar energy air heating system. He made experiments to understand the needs of a house heated by the solar energy. He worked on the heat pump assisted solar heating system with one storage reservoir. Another thing that he studied was the effects of the parameters of heating systems such as heat pump size, collector area, storage capacity, etc... In his experimental house he used air as a transporting fluid and used auxiliary heating.

H. Buchberg and J. R. Roulet also designed combined solar collector and storage system for house heating. They made integration and optimisation to minimise the unfavourable economics. Their study comprises annual simulation of system performance including the house, a flat plate solar

collector, a water heat storage unit and an auxiliary heater. And overall there was an optimisation to achieve a maximum allowable collector cost.

Y. Jaluria and S. K. Gupta were interested in the stratification of the storage tank. They made an experimental study of the temperature decay in a thermal stratified water body. The water body was initially stratified by the recirculating flow of hot water discharge and also statically, by the addition of hot water at the top of cold fluid.

J. H. Davidson, D. A. Adams and J. A. Miller formed a dimensionless coefficient to characterise the level of mixing in the tank called MIX number, which was based on the height-weighted energy, or moment of energy. Its range was 0 to 1, that 0 representing a perfectly stratified (unmixed) tank and 1 representing a fully mixed tank.

P. B. L. Chaurasia investigated the insulating materials in solar water storage system. He tested two insulating materials for their relative performance for retaining solar heated hot water during the whole night. The materials that he tested were fibreglass wool and sawdust.

Mahmoud S. Audi developed a compact solar air heating unit for space heating using four types of Jordanian rocks in their natural forms as the heat storage medium.

W. Stahl, K. Voss and A. Goetzberger built a self-sufficient solar house. They showed that it was possible to supply all the energy needed in household throughout the year only from the sun, under the Central European climatic conditions.

Generally in all basic systems, there are a solar collector, a heat exchanger and a storage tank. By this schematic formation it would be possible to heat a house if there were enough solar radiation. Now we will examine our prototype as a sample.

Solar House System Operation

The house we wanted to heat was two storey house with a penthouse and an underground floor. The solar collectors were mounted on the roof. The net collector area was 100m^2 covering the whole roof and its heat loss coefficient was $8\text{W/m}^2\text{C}$. Also the coefficient of the collector was 0.8. The storage tank was on the underground floor. It had 3mts height, 5mts width and 10mts length. The total volume of the tank was 150m^3 and the surface area of it was 190m^2 . It had nearly 150,000kgs mass.

We have four basic elements in our system. The first element is the solar collector, the second one is the heat exchanger, the third one is the storage

tank, and the last one is the auxiliary heating source. The system works in the following manner:

a) System Turned-Off Mode

There is no need of energy for the dwelling. Since the ambient temperature is high, the heat that is absorbed from the solar collector is conveyed through heat exchanger to the storage tank. Thus, the temperature of the tank starts to increase. During this time the valve M1 that controls the flow of the water that is to be transported to the dwelling is in turned-off position.

b) Solar collector - Heat exchanger - Storage tank - Dwelling Mode

When the temperature of the fluid that comes from the collector is high enough to activate the heat exchanger, i.e. it has higher temperature than the storage tank loop of the heat exchanger, the temperature of the storage tank starts to increase. In this case the valve M1 is in turned-on position and A1, A2, D1, D2 three-way valves are in 1 position. Thus, the energy need of the dwelling is directly supplied by the water that comes from the storage tank.

c) Storage tank - Dwelling Mode

When the temperature of the fluid that comes from the collector is not high enough to activate the heat exchanger, i.e. it does not have higher temperature than the storage tank loop of the heat exchanger, it is not possible to absorb heat from the solar collector. In this case the temperature of the water in the storage tank is high enough to supply the dwelling. The valve M1 is in turned-on position and A1, A2, D1, D2 three-way valves are in 1 position.

d) Storage tank - Auxiliary heating - Dwelling Mode

When the temperature of the fluid that comes from the collector is not high enough to activate the heat exchanger, i.e. it does not have higher temperature than the storage tank loop of the heat exchanger, it is not possible to absorb heat from the solar collector. In this case the temperature of the water in the storage tank is warm but not high enough to supply the dwelling. Therefore, the water that comes from the storage tank is transported to the dwelling after having been heated by the help of the auxiliary heating. The valve M1 is in turned-on position and A1, A2 three-way valves are in 0 position and B1, B2, D1, D2 three-way valves are in 1 position.

e) Auxiliary heating - Dwelling Mode

When the temperature of the fluid that comes from the collector is not high enough to activate the heat exchanger, i.e. it does not have higher temperature than the storage tank loop of the heat exchanger, it is not possible to absorb heat from the solar collector. In this case the temperature of the water in the storage tank is not high enough to supply the dwelling. Therefore, the water circulated in the system is heated only by the auxiliary

heating and directed to the dwelling. The valve M1 is in turned-off position and A1, A2, B1, B2, D1, D2 three-way valves are in 0 position. The fluid in the collector loop of the heat exchanger is a kind of glycol mixture.

The Structure and the Mathematical Model of the System

It has a heat capacity of 3350J/kgC. At the tank loop of the heat exchanger we use water as the transfer fluid. It has a heat capacity of 4190J/kgC.

The important thing in heating the glycol mixture to sufficient temperature is the area of the collector. We mount the solar collectors all around the roof. It has a 100m² surface area. The glycol mixture and water at both loops have the same rate of 5kg/s.

The efficiency of the exchanger is assumed to be 0.7. To calculate the net energy, which is transferred from glycol to water, the heat exchanger's coefficient must be known at first. The heat exchanger coefficient is given by Equation 1.1.

$$F'_R = F_R \times \left[1 + \frac{(A_c \times F_R \times U_l)}{(\dot{m}C_p)_c} \times \left(\frac{(\dot{m}C_p)_c}{\varepsilon \times (\dot{m}C_p)_{\min}} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (1.1)$$

Absorbed solar radiation is given by Equation 1.2.

$$Q_u = A_c \times F'_R \times [S - U_l \times (T_s - T_a)]^+ \quad (1.2)$$

Formula (1.2) represents the net energy that the collector can transfer to the water. In this formula heat exchanger's effect is included F'_R coefficient. Net absorption S is given by Equation 1.3

$$S = I \times \alpha \times \gamma \times \delta \quad (1.3)$$

α , γ and δ are the coefficients to calculate the net absorption by the solar radiation.

The most important point during the system design is the insulation thickness.

Insulation of the water tank is very important to keep it warm during autumn and winter days. Also house insulation system obviously influences the heat loss of the house system. To minimize the heat loss, effective insulation is a vital part of the solar heated houses.

As mentioned previously, the system a huge storage tank which is located in the basement of the house. Cross section of the water tank is shown above which contains three layers; outside layer is concrete, middle layer is stone wool and the water container is a stainless steel tank which is the third layer.

The heat loss of the storage tank is given by Equation 1.4.

$$Q_l = U_s \times A_s \times (T_s - T'_a) \quad (1.4)$$

Insulation of the house is another important thing to keep the dwelling warm. There are four different parts of the dwelling to be insulated; the walls, the windows, the roof and the basement.

All the walls of the house are made of one layer of Ytong brick, one layer of Foamboard 1500, one layer of Dupan wall panel . All the windows are made of Isicam glass. The roof of the house is made of one layer of Mertek roof cover and one layer of oak-wood roof material. The other place, which is insulated, is the basement of the underground floor. It is made of one layer of stonewool .

The total heat loss of the dwelling is given by Equation 1.5.

$$Q_t = 12.1 \times [R1 \times (20 - T_a) + R2 \times (20 - T_g)] \quad (1.5)$$

The value Q_t is the heat value that is needed to keep the dwelling at 20°C. The heat loss of the dwelling is subject to the seasonal ambient temperature (T_a) and the ground temperature (T_g) as shown by Equation 1.5. For the areas that are in contact with the ambient air, the value $R1$ is the sum of the

multiplication of the total wall and the windows areas by the total heat loss coefficients. For the areas that are in contact with the ground, the value R2 is the sum of the multiplication of the total wall and the windows areas by the total heat loss coefficients.

The temperature of the water that comes from the dwelling and returns to the storage tank is shown by T_l . In order to calculate the value of T_l , we must work out the heat amount that is supplied to the dwelling. The total heat loss of the dwelling is given by Equation 1.6.

$$L_s = (\dot{m}C)_l \times (T_s - T_l) \quad (1.6)$$

If we combine all the above given equations, we can calculate the hourly temperature changes in the storage tank as in Equation 1.7:

$$T_s^+ = T_s + \left(\frac{1}{(\dot{m}C_p)_s} \right) \times \left\{ A_c \times F_R' \times [S - U_l \times (T_s - T_a)]^+ - \right. \\ \left. U_s \times A_s \times (T_s - T_a') - (\dot{m}C_p)_l \times (T_s - T_l) \right\} \quad (1.7)$$

Also we can easily find out whether the system needs an extra auxiliary-heating source or not, as in Equation 1.8.

$$Q_a = Q_t - L_s \quad (1.8)$$

Conclusion

The result of the calculation proves that it is reasonable to heat a house in Gebze with such a system under these conditions. Also a medium unit of an auxiliary source can be used in the system to make it work better in winter months.

We can observe that the storage tank gets hot in the summer time. The temperature reaches its highest value in August. The storage tank keeps its warm condition until the end of January. During February and March, the temperature of the storage tank has approximately the same level of the dwelling that is required to be kept at 20°C.

The maximum solar radiation for summer period is nearly $2.5 \text{ MJ/m}^2\text{h}$. We can only reach this value in June and July. And the monthly maximum average ambient temperature is nearly 23°C . Also it effects the solar gain.

We must heat the house from September to April. The heat need of the house reaches its peak point in December. However, the house has no need to be heated.

The gain of the collector is in its peak in May. And during October, November and December it decreases to 0°C . However, during September and January these values are so low that we can neglect them. The reason for the decrease in the solar gain is due to the fact that the temperature of the storage tank is too high to be increased any more. The solar gain in March is higher than the one in August. The reason for that is the fact that the temperature of the storage tank decreases while supplying the dwelling during winter. Thus, we can obtain solar gain due to the radiation in March and we can increase the temperature of the storage tank.

The critical time for the house is naturally the winter months. Especially December is the month in which the solar gain value is zero. On the other hand, in December, the energy need of the house is in its peak level.

The critical question is whether the energy taken from the tank is enough to supply the dwelling or do we need any extra auxiliary heating source. We do not need any extra auxiliary heating source until January. From January to April we absolutely need an extra auxiliary heating source.

The highest heat loss occurs in August because the temperature of the storage tank reaches its highest level in August. The reason for that is fact that the difference between the temperature of the storage tank and the temperature of the ambient air of the storage tank is quite high. Since the temperature of the storage tank is very low in February and in March, the heat loss is nearly zero.

All the results indicate that we must use an auxiliary heating from January to April and this is shown in the ninth diagram. The month in which we need the highest amount of auxiliary heating is February.

The results that have been obtained through the computer assisted simulations have showed that such a solar house which will be located in Gebze can be heated by a solar asisted heating system. When compared to the classical heating systems the solar asisted heating systems will certainly provide considerable energy savings. And these savings in energy will naturally lead to savings in financial savings.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 GÜNEŞ ENERJİLİ ISITMA SİSTEMLERİNİN TARİHİ

Güneş enerjisi ilk başlarda sadece ısıtmada kullanılmıştır. Daha sonraları enerjinin depolanması yöntemlerinin gelişmesiyle soğutmada, motor tahrik etmede ve elektrik üretiminde de kullanılmaya başlanmıştır. 1970'li yılların başından beri bu konuda birçok çalışma yapılmıştır.

A. Debosscher, J. Berghmans ve E. Debrabander adlı Belçikalı bilim adamları ısı pompası destekli güneş enerjili ısıtma sistemleri üzerine çalışmışlardır [1]. Güneş kollektörleri, ısı pompaları ve enerji depolama sistemlerinin hesaplamaları ve verimlerinin artırılması üzerine araştırmalar yapmışlar, oluşturdukları deneysel sistemlerle birden fazla rezervuar kullanarak sistemin verimini artırmaya çalışmışlardır. Ayrıca ısı pompalarının büyüklüğü, kollektör alanı ve depolama kapasitesi gibi parametreleri değiştirerek sistemin çalışması üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Güneş enerjili ısıtma sistemlerinde, ısı transferi için akışkan olarak genellikle su kullanılmaktaydı. Yeni önerdikleri sistemlerde alternatif olarak hava kullanılmışlardır. Depolama sistemlerinde de buna uygun olarak kaya yatakları kullanmışlardır. Fakat bu sistemlerin en büyük dezavantajları düşük enerji depolama kapasitelerine sahip olmalarıdır. Bu oran suya göre yaklaşık dörtte birdir. Diğer bir dezavantajı ise depolama yapılacak hacmin suya oranla iki kat daha fazla hacim gerektirmesidir. Ama ısı kaybı katsayısına bakacak olursak yüzey büyüklüğüne oranla kullanıma çok uygundur.

Güneş evleri konusunda çalışmalar yapan bilim adamlarından ikisi de H. Buchberg ve J. R. Roulet'tir [2]. Güneş kollektörü ve depolama sistemini içeren birleştirilmiş bir sistem yaparak, bu sistemi geliştirmiş ve maliyetleri azaltmak için sistemi optimum hale getirmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında, günlük şartlara göre düz güneş kollektörünün, su depolama ünitesinin ve yardımcı ısı kaynağının boyutlarını göz önünde tutarak en düşük işletme maliyetine göre sistem boyutlarını oluşturmaya çalışmışlardır. Kurdukları sisteme göre depo suyu sıcaklığının aniden düşmesi ile evin ısı kapasitesini karşılayamayacağı durumlarda, yardımcı ısı kaynağı devreye otomatik olarak girmektedir.

Y. Jaluria ve S. K. Gupta adlı bilim adamları ise daha çok enerji depolama sistemlerinin tabakalaşması üzerine çalışmışlardır [3]. Normal şartlar altında, depodan sirküle olan suyun, depo içerisinde sıcaklık farkına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden deponun alt tabakasında daha soğuk, üst tabakasında ise daha sıcak su bulunmaktadır. Yaptıkları araştırmada, sistemin çalışmasını daha iyi anlayabilmek için depoda oluşacak tabakalanmanın analitik hesabı üzerinde durmuşlardır.

J. H. Davidson, D. A. Adams ve J. A. Miller adlı bilim adamları ise enerji depolama sistemleri üzerinde durmuşlardır [4]. MIX adını verdikleri boyutsuz bir katsayı bulmuşlar ve bu katsayı ile deponun ne kadar tabakalaştığını göstermişlerdir. 0 ile 1 arasında olan bu sayı, 0 ise depo suyu tamamen tabakalaşmış, 1 ise tamamen homojen olarak karışmış demektir.

R. B. L. Chaurasia adlı diğer bir bilim adamı da güneş enerjili sistemlerdeki izolasyon malzemeleri üzerinde durmuştur [5]. Özellikle cam yünü ve talaşın izolasyon kabiliyetlerini incelemiştir. Sıcak sulu, iki aynı özellikteki sistemde iki ayrı malzemenin performanslarını test etmiştir.

Mahmoud S. Audi adlı, Ürdün'lü bir bilim adamı kurduğu güneş enerjili hava ile ısıtma sisteminde Ürdün'de bulunan yerel kayaları ısı depolama ünitesi olarak kullanmıştır [6]. Bu kayaların zeolojik özelliği sayesinde iyi bir depolama malzemesi olabileceğini göstermiştir.

W. Stahl, K. Voss ve A. Goetzberger adlı bilim adamları ise Freiburg'da yaptıkları güneş evi ile güneş enerjisi ile bir evin kendi kendine yetebileceğini göstermişlerdir [7]. Bu evde sadece ısıtma değil aynı zamanda havalandırma, pişirme ve elektrik enerjisi için de enerji kaynağı olarak güneş kullanılmıştır.

Bütün bu belirtilen sistemler güneş enerjili ısıtma sistemlerinin gelişiminde yeni kapılar açmıştır. Zaman içinde sistemlerde kullanılan ekipmanların geliştirilmesi ve sistemlerin ufak tefek kuruluş değişiklikleri ile gelişmeler sağlanmıştır. Yerel uygulamalarda kullanılan malzemeler de yeni sistemlerin oluşmasını sağlamıştır. Bu yapılan çalışmada genel olarak kullanılan sistemlere benzer bir yol izlenmiştir. Hazırlanan bir bilgisayar programı yardımı ile Türkiye şartlarında bulunan bir evin sistem karakteristiği incelenmiştir. Gerçek şartlardaki değerler kullanılarak yapılan hesaplamalar ve bilgisayar programının sonuçlarına dayanarak, benzer bir evin çalışabilirliği tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

GÜNEŞ ENERJİLİ ISITMA SİSTEMLERİ

2.1 GÜNEŞ ENERJİLİ AKTİF ISITMA SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

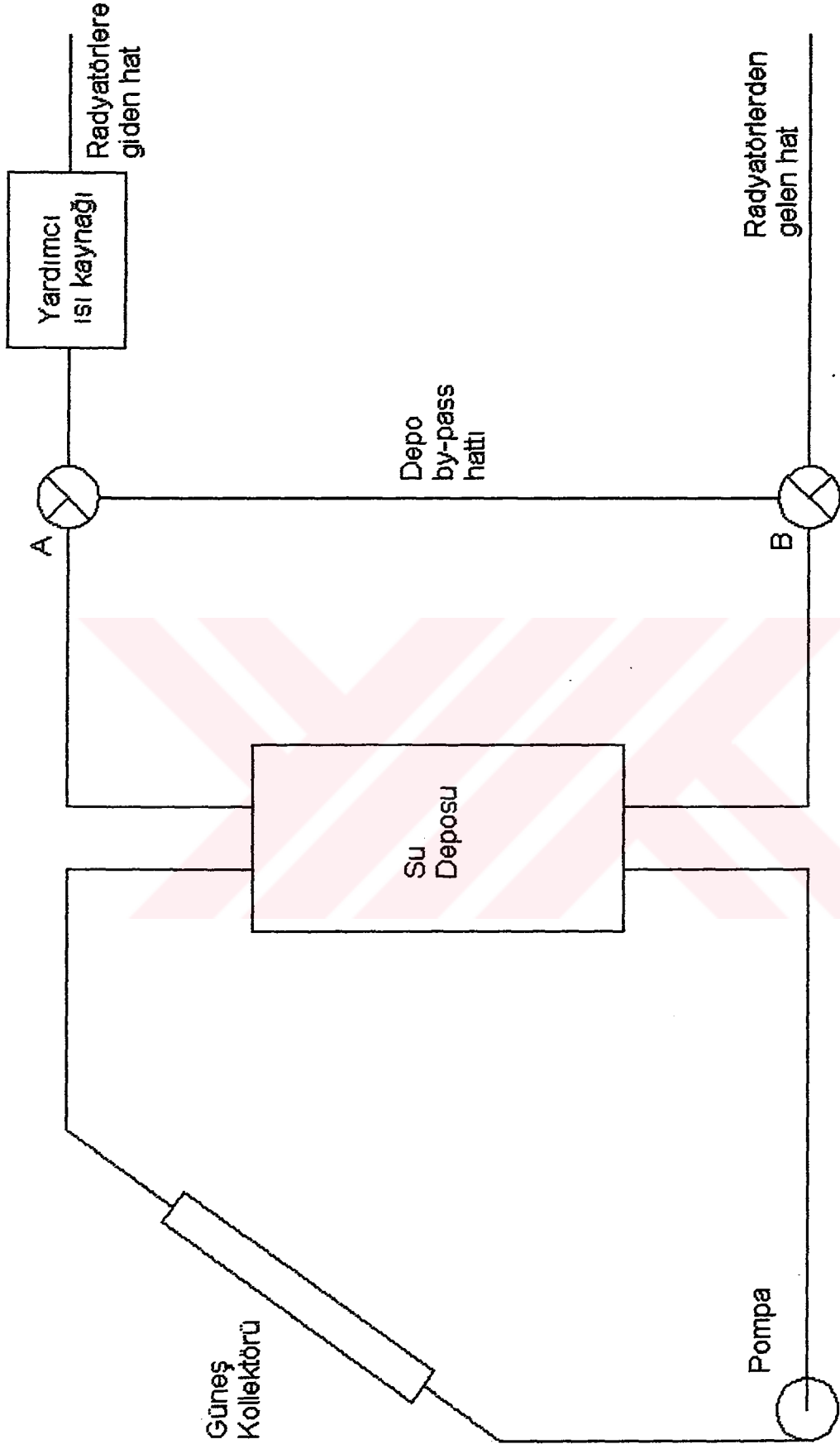
Güneş enerjili ısıtma sistemlerini ısı transferinde kullanılan akışkana göre iki genel gruba ayırabiliriz. Bunlardan ilki bu tez çalışmasında da kullanılan sıvı bazlı ısıtma sistemleridir. Diğer sistem ise hava bazlı ısıtma sistemleridir. Bu sistemler de kendi içlerinde kullanılan eleman sayısına göre farklılıklar gösterir.

Isı pompalı - güneş enerjili birleşik sistemler birçok değişik çalışma modeline sahiptirler. Bu modeller, akışkanın sistemde izlediği yolun değişik kombinasyonlarıyla oluşur. Bu çalışma modellerini değiştirmek, sistemi ve ayar mekanizmalarını daha kompleks bir hale getirmek mümkündür. Fakat sistem karmaşıktıkça her ne kadar enerji tasarrufu arttırılabilse de, kuruluş aşamasındaki maliyet de bir o kadar artacaktır.

2.1.1 Sıvı Bazlı Isıtma Sistemleri

Güneşten elde edilen enerjiyi depoya ve eve aktarmak için kullanılan akışkanın sıvı ve genelde su olduğu sistemlerdir.

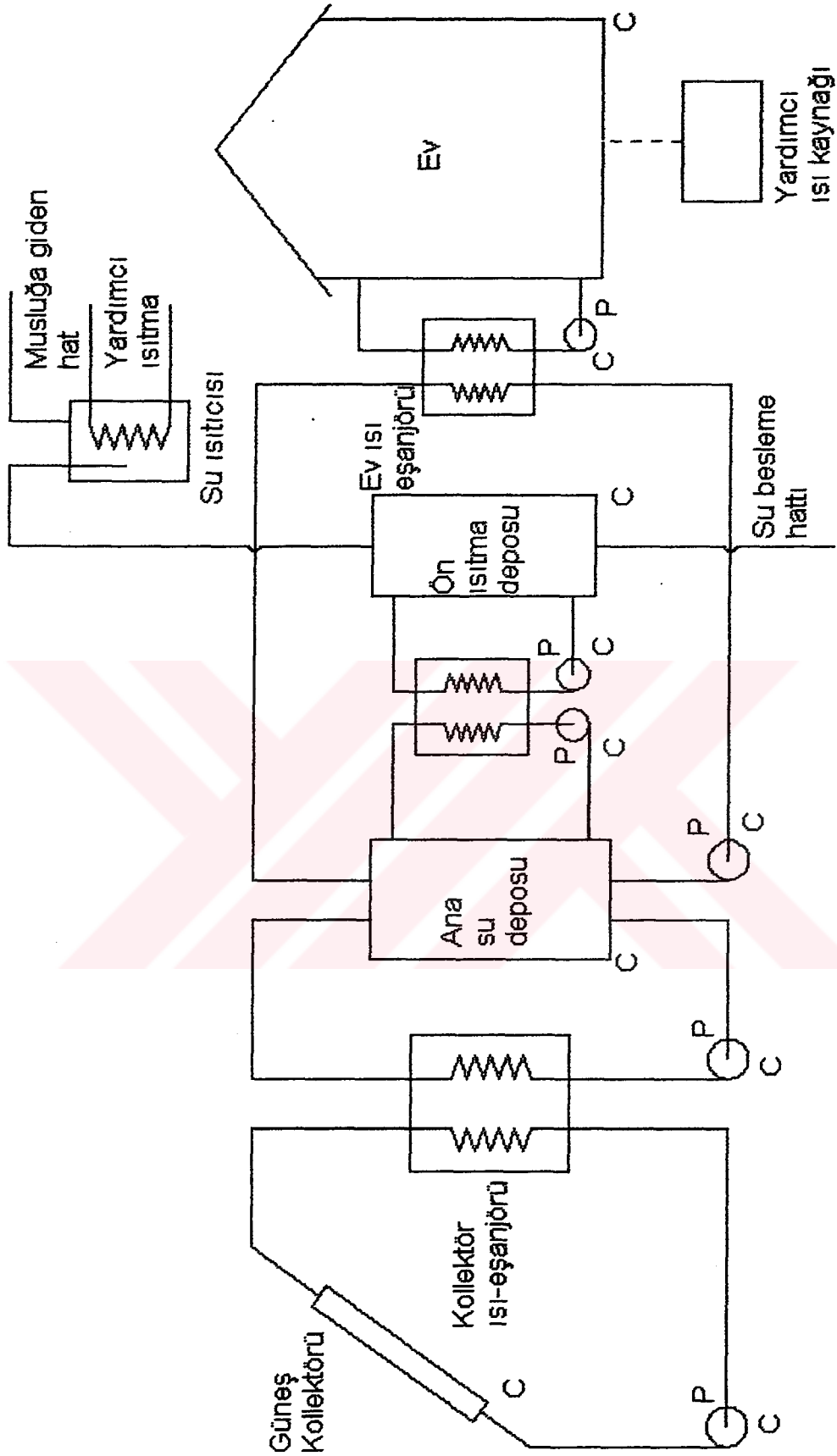
Bu sistemler, en basit olarak bir güneş kollektörü, bir depo ve bir ısı eşanjöründen oluşur. Sistemin yeterliliğine bağlı olarak harici bir yardımcı ısı kaynağı da bağlanması gerekebilir (Şekil 2.1). Güneş kollektörü ile emilen ısı bir pompa yardımı ile depoya aktarılır. Sıcak aylarda yapılan bu ısıtma ile depo sıcaklığı yükselir. Dış ortam sıcaklığı da yeteri kadar



Şekil 2.1 – [1]
Basit Sıvı Bazlı Isıtma Sistemi

yüksekse evin ısıtılmaya ihtiyacı olmayacağı için depodan eve bir ısı transferi olmayacak, depodan sadece bulunduğu ortama bir ısı kaybı olacaktır. Bu şartlarda A vanası depodan eve su akışına izin vermeyecek, gelen suyu B vanası üzerinden depoya geri gönderecektir. Dış ortam sıcaklığının düşmesiyle evin ısı ihtiyacına bağlı olarak depodan ısı çekilmeye başlanacaktır. Bu durumda A vanası sisteme akışkanın gönderilmesine izin verecek ve ısıtılmaya başlanacaktır. Depo suyu sıcaklığına bağlı olarak yardımcı ısı kaynağı vasıtası ile akışkanın sıcaklığı evin ısıtmasına yetecek seviyeye çıkartılabilir. Depo suyu sıcaklığının çok düşük olduğu durumlarda ise sadece yardımcı ısı kaynağı kullanılarak sistemdeki su, ev ile yardımcı ısı kaynağı arasında sirküle edilir.

Biraz daha karmaşık olan sistemler de vardır (Şekil 2.2). Bu sistemler hem kullanılan eleman sayısı olarak daha fazla eleman içerirler, hem de işleyişleri verimi artırmak için biraz daha farklıdır. Bu sistemlere bakıldığında, ilk etapta güneş kollektörü tarafından emilen ısıнын kollektör akışkanı - ki bu akışkan genelde glikol bazlı bir karışım olur - vasıtası ile ısı eşanjörü tarafından suya aktarıldığı görülür. Isı eşanjörünün çalışabilmesi için dış ortam sıcaklığının eşanjörünü çalıştırabilecek sıcaklıkta olması gerekmektedir. Bu birinci ısı eşanjörü ile depo tarafında ısıtılan su, deponun sıcaklığının artmasına neden olur. Dış ortam sıcaklığının düşmesine bağlı olarak evin ısı ihtiyacı olacağından depodan ısı çekilmeye başlanacaktır. Aynı zamanda, depo suyu sıcaklığına bağlı olarak diğer bir hat vasıtası ile ev içi musluklarda kullanılacak su için ön ısıtma yapılabilir. Depodan alınacak suyu, ikinci ısı eşanjöründen geçirerek musluklara gönderilecek suyun biriktirildiği ön ısıtma tankının sıcaklığını artırmaya çalışırız. Eğer depo suyu sıcaklığı ön ısıtma tankını yeteri kadar ısıtamazsa yardımcı bir ısı kaynağı ile suyun sıcaklığını istenilen yüksekliğe çıkartabiliriz. Diğer taraftan, evin ısıtılması için ana deponun sıcak üst kısmından su çekilmeye başlanır. Depodan evin ısı yüküne göre alınan su, üçüncü ısı eşanjörüne gider. Bu sirkülasyon sırasında radyatörlere gönderilecek olan su ısıtılmış olur. Eğer depodaki su sıcaklığı evin ısı yükünü karşılayacak seviyede değilse, ek bir yardımcı ısı



Şekil 2.2 – [1]
Karmaşık Sıvı Bazlı Isıtma Sistemi

kaynağı ile evin ısı ihtiyacı karşılanır. Depo suyu sıcaklığı üçüncü ısı eşenjörünü çalıştıramayacak kadar düşükse, evin tüm ısı yükü bu yardımcı ısı kaynağı tarafından sağlanır.

Bütün bu sistemin çalışmasını ufak bir kontrol mekanizmasıyla (C) kontrol edebiliriz. Bu kontrol mekanizması kollektörden gelen akışkanın, ana deponun, ön ısıtma tankının ve evin sıcaklığı ile ısı ihtiyacını algılayarak pompaları açıp kapar ve vanaların konumunu değiştirerek akışkana yol verir. Böylece sistemin çalışması mantık elemanlarıyla kontrol edilmiş olur. Ayrıca bu kontrolör sayesinde yardımcı ısı kaynağının ne kadar devrede kalacağı ve ne kadar ısı enerjisi vereceği de belirlenmiş olur.

Yukarıda bahsedilen su bazlı güneş enerjili ısıtma sistemi, bu tez çalışmasında da kullanılan sistemdir. Genel çalışma prensibi ve kullanılan elemanlar açısından hemen hemen aynı olan sistem, devre şeması ve işleyişi açısından farklılıklar gösterir.

2.1.2 Hava Bazlı Isıtma Sistemleri

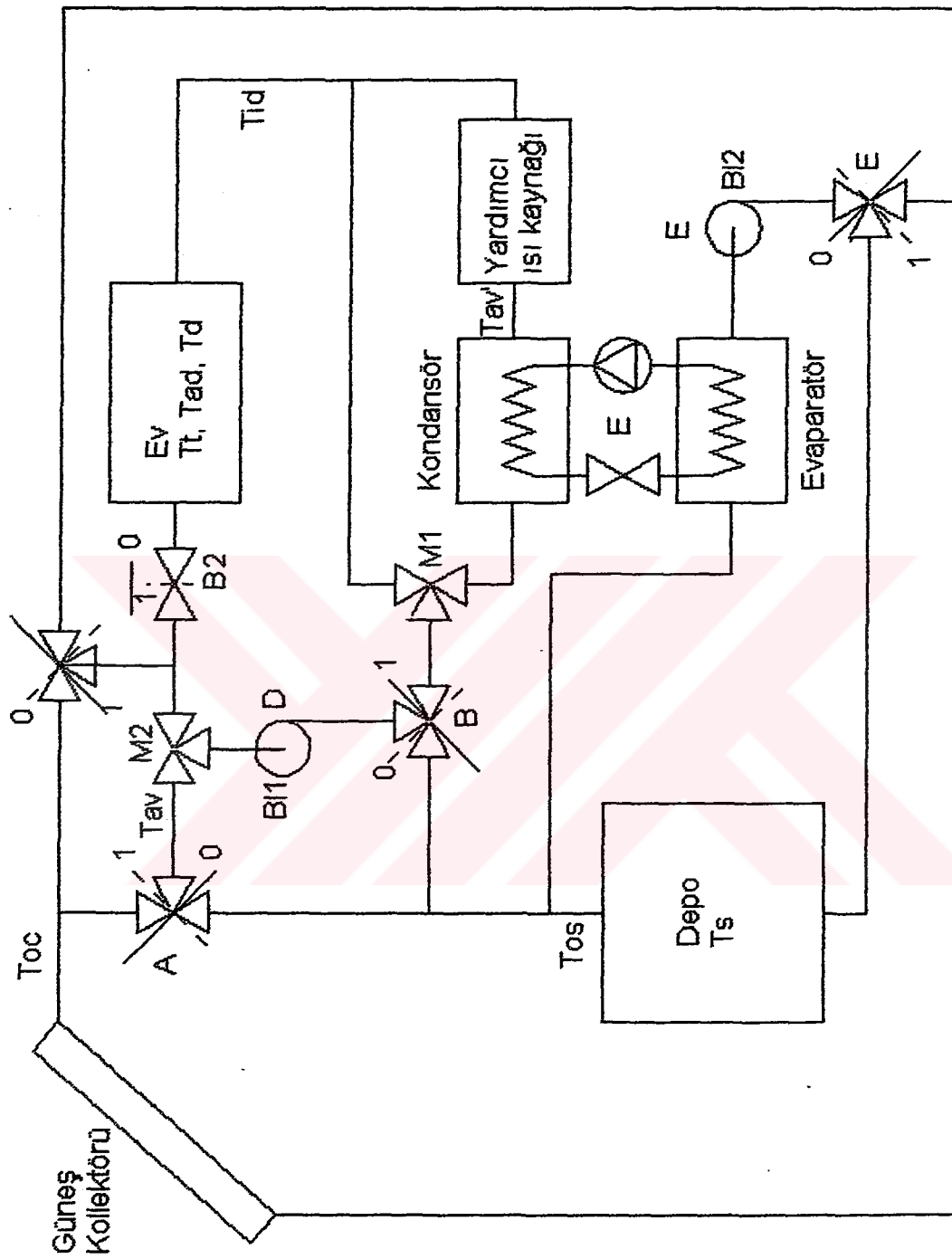
Birçok güneş enerjili ısıtma sisteminde ısı iletimi akışkanı olarak hava da kullanılır. Hava bazlı sistemlerin, su bazlı sistemlere göre bir takım avantajları vardır. Korozyon ve yoğunluk bu avantajlardan ihmal edilebilecek olanlarındandır. Hava bazlı sistemlerin dinamik cevabı su bazlı sistemlerinkine göre daha hızlıdır; çünkü hava bazlı sistemlerin ısı kapasiteleri daha az ve dolayısıyla sıcaklıkları düşüktür. Bu da kollektör veriminin artmasına neden olur. Hava bazlı sistemlerin bazılarında depolama elemanı olarak kaya yatakları kullanılır. Fakat aynı depolama kapasitesindeki kaya yataklı depolama sistemlerinin depo hacimleri, su bazlı sistemlerdeki depo hacimlerinin iki katı kadardır. Bu da boyut problemi yaratmaktadır. Aynı zamanda bu sistemlerin diğer bir dezavantajı da akışkanı sirküle etmek için daha büyük güçler gerekmesidir.

Sistem yapılarında ihtiva ettikleri depo sayısına göre, hava bazlı ısıtma sistemlerini üç sınıfa ayırmak mümkündür: Tek Depolu Sistemler, Deposuz Sistemler ve İki Depolu Sistemler.

2.1.2.1 Tek Depolu Sistemler

Şekil 2.3' te şematik olarak gösterildiği gibi vanalar A, B ve C harfleriyle ifade edilmiş ve konumları açık veya kapalı olma durumlarına göre 1 veya 0 ile belirtilmiştir. D harfi ise 1. üfleyiciyi ifade eder ve sayı değeri 1 olduğunda vantilatörün açık olduğunu belirtir. Isı pompasını durumunu gösteren E değişkeninin sayı değeri 1 olduğunda, ısı pompası çalışır durumdadır. Aynı zamanda E'nin sayı değeri, 1 olduğunda 2. üfleyicinin açık olduğunu ve E harfi ile belirtilen valfin hangi konumda olduğunu gösterir. E değerinin 0 olması durumunda tam tersi olaylar söz konusudur. Şekilde iki adet B valfi mevcuttur. İki yollu B valfi, eğer üç yollu B valfi 1 konumunda ise evden hava emişi yapar. Yani her iki B valfi de aynı mantık elemanı tarafından kontrol edilmektedir. F değişkeni 1 değerini aldığı anda yardımcı ısı kaynağı devreye girmiş olur. Sistemin değişik çalışma modellerini inceleyecek olursak aşağıdaki gibidir:

1. Sistemin tamamen kapalı olduğu moddur. (OFF Modu)
2. Depoya yükleme yapıldığı zamandaki moddur. Kollektörlerden elde edilen ısı depoya aktarılır. Bu durumun gerçekleşmesi için evin ısı ihtiyacının bulunmaması ve dış ortam sıcaklığının depo sıcaklığını artırabilecek yükseklikte olması gerekmektedir. (C - S Modu)
3. Isı transferi doğrudan kollektörden eve doğru gerçekleşir. Bu mod, evin ısı ihtiyacı olduğunda ve dış ortam sıcaklığının evi doğrudan besleyebilecek değerde olduğunda gerçekleşir. (C - D Modu)



Şekil 2.3 – [1]
Tek Depolu Hava Bazlı Isıtma Sistemi

4. Evin ısı ihtiyacı olduğunda kollektörden elde edilip depoya aktarılan ısı eve verilir. Bu mod, dış ortam sıcaklığının evin ihtiyacı olan ısıнын bir kısmını karşılaması ve depo sıcaklığının da evin ısı ihtiyacını karşılamada yardımcı olduğu durumlarda gerçekleşir. (C - S - D Modu)

5. Evi ısıtmak için gereken ısı depodan karşılanır. Bu mod, dış ortam sıcaklığının evi ve depoyu ısıtmak için yetersiz, fakat depo sıcaklığının evi ısıtmak için yeterli olduğu durumlarda gerçekleşir. (S - D Modu)

6. Eğer kollektör evi ısıtmaya yetecek kadar ısı çekemezse devreye yardımcı ısı kaynağı girer. Böylece kollektörden çekilen ısı yardımcı ısı kaynağı üzerinden eve gönderilir. (C - A - D Modu)

7. Kollektörden gelen hava, ısı pompası ve depo arasında bulunan döngü vasıtası ile ek bir ısıtma işlemine tabi tutulur. Bu modun gerçekleşebilmesi için, depo sıcaklığının ısı pompasını çalıştırabilecek yükseklikte olması gerekmektedir. (C - HP - D Modu)

8. C - HP - D modunda ısı pompası yardımıyla ısıtılan havanın sıcaklığı yeterli seviyeye çıkartılamazsa, yardımcı ısı kaynağı vasıtası ile havanın sıcaklığı evin ısı ihtiyacını karşılayacak yüksekliğe ulaştırılır. (C - HP - A - D Modu)

9. Kollektörlerden elde edilen ısı evin ısı ihtiyacını karşılayacak seviyede değilse ve depo sıcaklığı doğrudan evi ısıtabilecek düzeyde değil fakat ısı pompasını çalıştırabilecek yeterlilikte ise, ısı pompası yardımı ile evin ısı ihtiyacı karşılanır. (HP - D Modu)

10. HP - D modunda ısı pompası yardımıyla ısıtılan havanın sıcaklığı yeterli seviyeye çıkartılamazsa, yardımcı ısı kaynağı vasıtası ile havanın sıcaklığı evin ısı ihtiyacını karşılayacak yüksekliğe ulaştırılır. (HP - A - D Modu)

11. Eğer kollektör evin ısı ihtiyacını karşılayamayacak durumda ve depo sıcaklığı ısı pompasını çalıştırmaya yetecek minimum değerin altında ise, evin ısı ihtiyacının tamamı yardımcı ısı kaynağı tarafından karşılanır. (A - D Modu)

Yukarıda çalışma prensipleri açıklanan sistem, bazı mantıksal değişkenlerle kontrol edilir. Bu değişkenlere fiziksel değerler atanmıştır. Hepsi birer sıcaklık farkını ihtiva ettiğinden, bu sıcaklık farklılıkları doğrultusunda sistemin kumandası mümkün olur.

Sistem şeması üzerinde yer alan simgelerin anlamları ise aşağıdaki gibidir:

T_d : Evin iç sıcaklığı. T_d evin duvar ve hava sıcaklığının lineer kombinasyonudur.

T_{ad} : Evin içerisindeki hava sıcaklığı

T_t : Termostat ayar sıcaklığı

T_{oc} : Kollektör çıkış sıcaklığı

T_s : Ortalama depo sıcaklığı

T_{os} : Depo çıkış sıcaklığı

T_{av} : Sistem çıkış sıcaklığı
 $= T_{oc}$ C - D modunda
 $= T_{os}$ S - D ve C - S - D modunda

T_{av}' : Isı pompası çıkışındaki hava sıcaklığı

T_{ma} : Evi ısıtmak için gerekli olan minimum hava sıcaklığı. Bu değer

iç ve dış ortam sıcaklıklarına bağlıdır, ama burada T_{ad} 'nin bir fonksiyonu olarak alınmıştır.

T_{id} : Eve girecek olan havanın sıcaklığı
 $T_{id} = T_{av}$, $E = 0$ ve $F = 0$ durumlarda
 $T_{id} = T_n$, diğer durumlarda

T_{me} : Isı pompası ve evaporatör arasında havanın alabileceği, izin verilen en düşük sıcaklık. T_{me} değeri 0 alınabilir.

Kontrol değerleri kullanılarak hazırlanan bir bilgisayar programı ile sistemi simule etmek mümkündür. Her saat dilimi başında evin ısı ihtiyacı ve sistemin ısı kapasitesine göre bir çalışma biçimi seçilir. Bu bilgisayar simülasyonu ile sistemin performansı bütün bir yıl için hesaplanabilir. Ayrıca kollektör alanı, depo kapasitesi ve ısı pompasının gücü gibi sistem parametreleriyle de oynanarak performans değerlerinin kıyaslaması yapılabilir.

2.1.2.2 Deposuz Sistemler

Isı pompası kullanılan sistemlerde bazen daha basit uygulamalar mümkündür. Sistemin yapısı çalışma şekillerine göre birkaç değişik şekilde olabilir:

- a. Isı pompalı ve yardımcı ısı kaynaklı sistemler (Şekil 2.4).
- b. Kollektörün evaporatör veya kondansör çeviriminde bulunduğu ısı pompalı sistemler. Bu sistemlerde evaporatörün çevirimi açık bir çevirimdir (Şekil 2.5).
- c. Kollektörün evaporatör veya kondansör çeviriminde bulunduğu ısı pompalı sistemler. Bu sistemlerde evaporatör - kollektör çevirimi kapalı olabilir (Şekil 2.6)

d. Kollektörün ev - kondansör çeviriminde bulunduğu sistemler (Şekil 2.7).

2.1.2.2.1 Isı pompalı ve yardımcı ısı kaynaklı sistemler

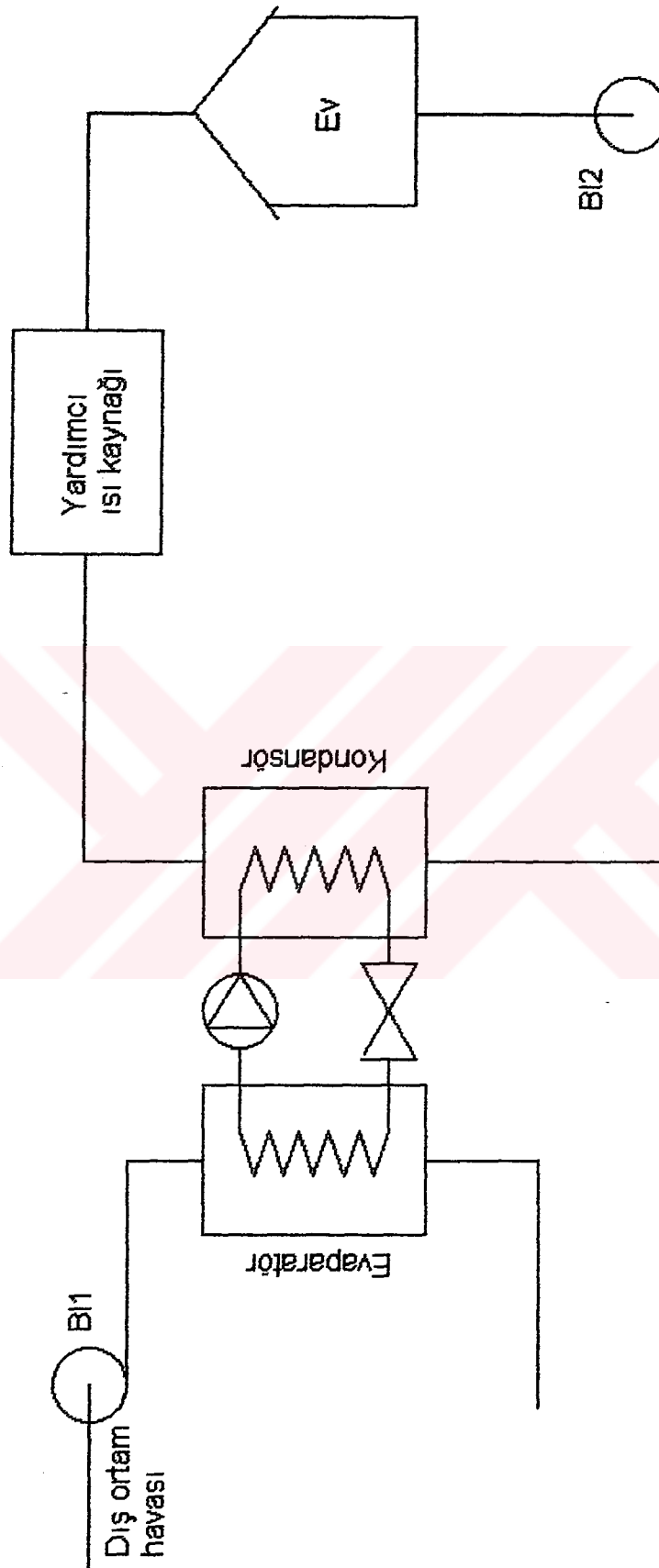
Sistem ısı pompası ve yardımcı ısı kaynağından oluşur. 4 ayrı çalışma şekli vardır.

1. Evin ısı ihtiyacı yokken üfleçler kapalı konumdadır. Sistem çalışmaz durumdadır. (OFF Modu)
2. Dış ortam sıcaklığının 0'ın altında olmadığı ve kondansör çıkışındaki hava sıcaklığının ısı ihtiyacını karşılamaya yettiği durumlarda sistem bu modda çalışır. (CD - D Modu)
3. CD - D modunda kondansör çıkış sıcaklığının doğrudan kullanım için yeterli olmadığı ve yardımcı ısı kaynağı ile ek bir ısıtma yapıldığı durumlarda sistem bu modda çalışır. (CD - A - D Modu)
4. Dış ortam sıcaklığı 0'ın altına düşünce ısı pompasının çalışması mümkün olmaz. Bu modda, evin ısı ihtiyacının tümü yardımcı ısı kaynağı tarafından sağlanır. (A - D Modu)

2.1.2.2.2 Kollektörün evaporatör veya kondansör çeviriminde bulunduğu ve evaporatör çeviriminin açık olduğu ısı pompalı sistemler

Bu tür sistemler güneş kollektörü, ısı pompası ve yardımcı ısı kaynağından oluşurlar. Çalışma şekilleri ise aşağıda anlatıldığı gibidir:

1. Evin ısı ihtiyacı yokken üfleçler kapalı konumdadır. Sistem de kapalı durumdadır. (OFF Modu)



Şekil 2.4 – [1]
Isı Pompalı ve Yardımcı Isı Kaynaklı Sistemler

2. Bu mod, evin ısı ihtiyacı olduğu ve kollektör çıkış sıcaklığının doğrudan evi beslemek için gerekli olan minimum sıcaklık değerini sağladığı durumda gerçekleşir. (AA - C - D Modu)

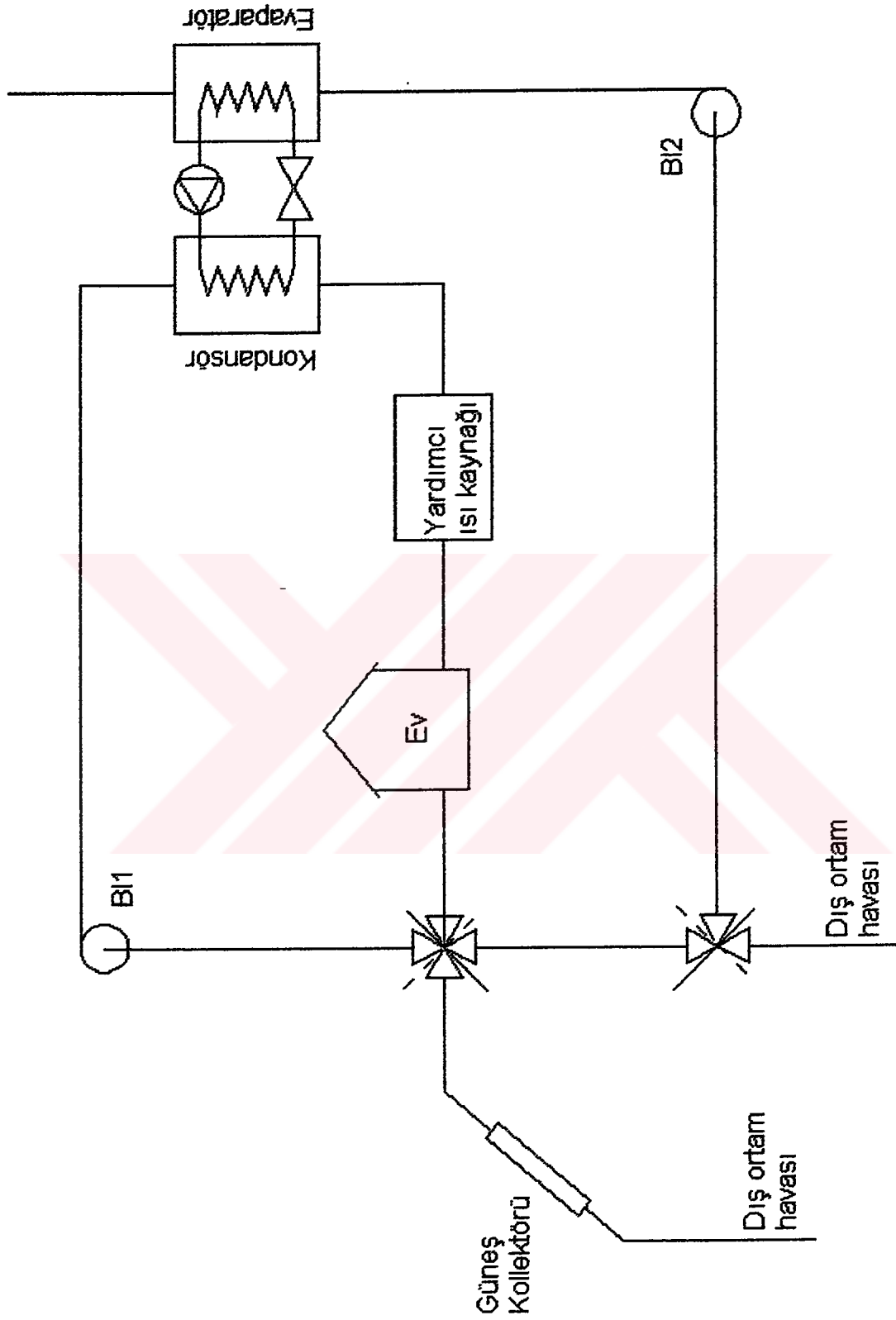
3. Kollektör çıkış havası sıcaklığının dış ortam havası sıcaklığından yüksek, fakat evden gelen havanın sıcaklığından düşük olduğu durumlardır. Bu modda, ısı pompasının evaporatör çevirimi kollektöre bağlanır. Böylece kollektör vasıtası ile ısı pompasında ısıtılan havanın kondansör çıkışındaki sıcaklığı doğrudan kullanım için yeterli düzeye gelmiş olacaktır. (AA - C - EV / CD - D Modu)

4. AA - C - EV / CD - D modunda kondansör havası çıkış sıcaklığı bazen doğrudan kullanım için yeterli seviyede değildir. Bu modda kondansör çıkış havası, yardımcı ısı kaynağı vasıtası ile evi ısıtmak için gerekli sıcaklığa çıkartılır. (AA - C - EV / CD - A - D Modu)

5. Dış ortam sıcaklığının 0'dan ve kollektör çıkış havası sıcaklığından yüksek olduğu durumlarda bu mod gerçekleşir. Bu koşullarda, kondansör çıkışındaki hava doğrudan kullanım için yeterli sıcaklıktadır. (AA - EV / CD -D Modu)

6. AA - EV / CD -D modunda, kondansör çıkış havası doğrudan kullanım için yeterli sıcaklıkta değilse yardımcı ısı kaynağı ile ek ısı ihtiyacı karşılanır. (AA - EV / CD -A - D Modu)

7. Bu mod, kollektör çıkışındaki hava sıcaklığının ev sıcaklığından yüksek olduğu durumlarda kullanılır. Kollektörden gelen hava, ısı pompasının kondansör çeviriminde ısıtıldıktan sonra doğrudan kullanım için eve gönderilir. Evden gelen hava da sıcaklığından faydanılmak için ısı pompasının evaporatör çeviriminde soğutulurak sistemden atılır. (AA - C - CD -D -EV Modu)



Şekil 2.5 – [1]
Kollektörün Evaporatör veya Kondansör Çeviriminde Bulunduğu ve Evaporatör Çeviriminin Açık Olduğu Isı Pompalı Sistemler

8. AA - C - CD -D -EV modunda kondansörün çıkışındaki havanın sıcaklığı evi beslemek için yeterli değilse, doğrudan kullanım için yardımcı ısı kaynağı devreye girer. (AA - C - CD -A - D -EV Modu)

9. Kollektör çıkış ve dış ortam havasının sıcaklıkları ısı pompasını çalıştırabilecek sıcaklığın altında ise, evin ısı ihtiyacını karşılamak için sadece yardımcı ısı kaynağı kullanılır. (A - D Modu)

2.1.2.2.3 Kollektörün evaparatör veya kondansör çeviriminde bulunduğu ve evaparatör - kollektör çeviriminin kapalı olabileceği ısı pompalı sistemler

Bu ısıtma sisteminin amacı, ısı pompasının evaparatör kısmındaki kapalı çevirimini kontrol altında tutmaktır. Eğer evaparatör çıkışındaki hava sıcaklığı dış ortam hava sıcaklığından fazla ise, çevrim kapalı hale getirilir ve dış ortam havası kullanılmaz.

Kollektörün evaparatör veya kondansör çeviriminde bulunduğu ve evaparatör çeviriminin açık olduğu ısı pompalı sistemlerin çalışma prensipleri, bu sistem için de geçerlidir. Ayrıca iki çalışma şekli daha mevcuttur.

1. ısı pompasının evaparatör çeviriminden gelen hava tekrar kollektörde ısıtılır. Böylece ısı pompasının kondansör çevirimindeki çıkış havasının sıcaklığı doğrudan kullanım için yeterli sıcaklığa ulaşmış olur. (C - EV / C - D Modu)

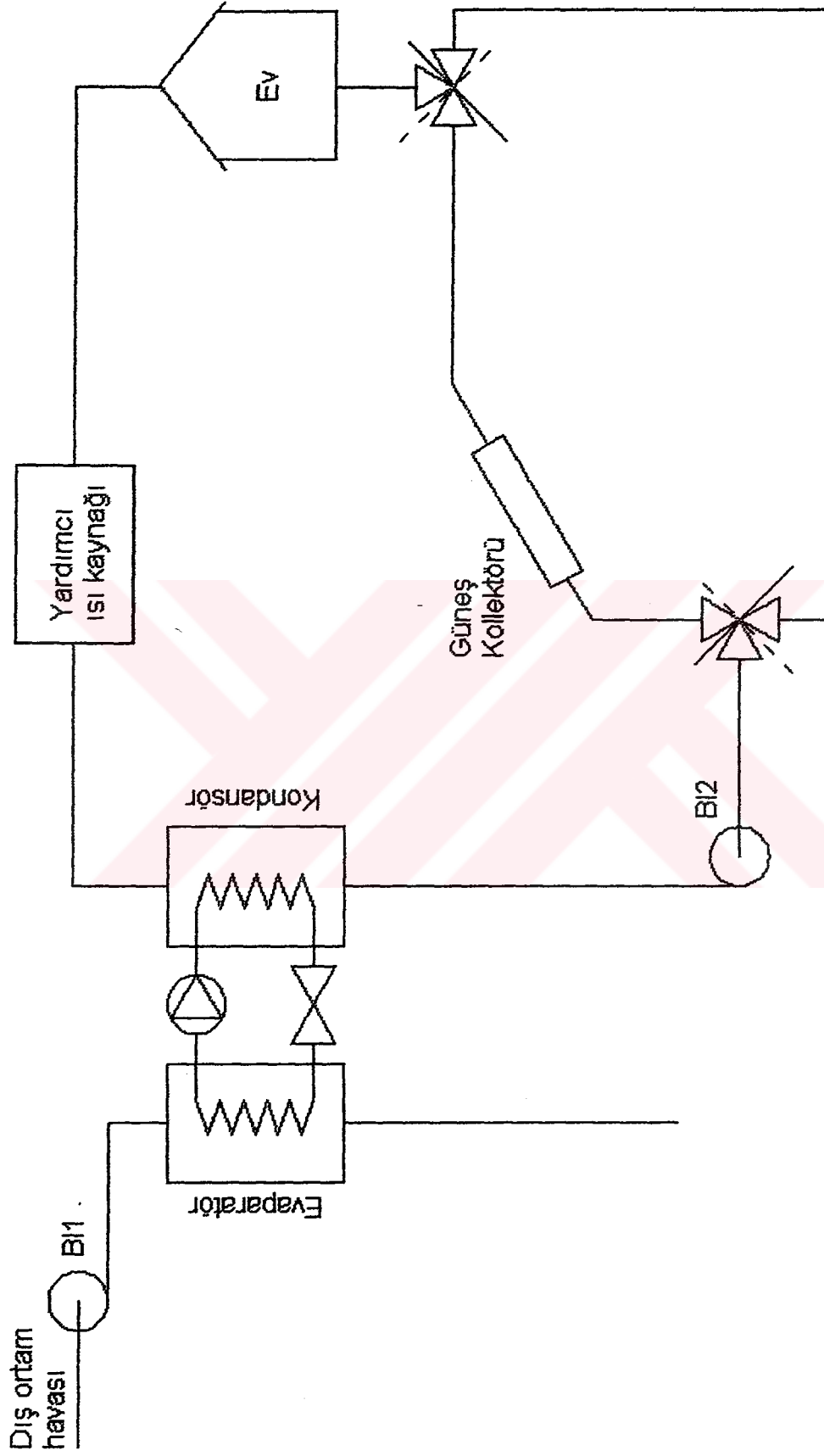
2. C - EV / C - D modunda ısı pompasının kondansör çeviriminden çıkan havanın sıcaklığı evin ısı ihtiyacını karşılamak için yeterli olmazsa ek bir yardımcı ısı kaynağından faydalanılır. (C - EV / C - A - D Modu)

2.1.2.2.4 Kollektörün ev - kondansör çeviriminde bulunduğu sistemler

Bu tip sistemlerde kollektör, ev ile ısı pompasının kondansör çevirimi arasına yerleştirilmiştir. Aynı zamanda sistemin kollektörü by-pass etme şansı da vardır.

Sistemin çalışma şekilleri aşağıdaki gibidir:

1. Evin ısı ihtiyacı yokken üfleçler kapalı konumdadır. Sistem de kapalı durumdadır. (OFF Modu)
2. Isı transferi doğrudan kollektörden eve olur. Bu mod, evin ısı ihtiyacı olduğu ve kollektör çıkış havası sıcaklığının gerekli olan minimum değeri sağladığı durumlarda gerçekleşir. (C - D Modu)
3. Eğer kollektör çıkış havası sıcaklığı doğrudan kullanım için yeterli değil ve aynı zamanda dış ortam hava sıcaklığı da ısı pompasını çalıştırabilecek sıcaklıkta değilse, yardımcı ısı kaynağından yararlanılarak ek bir ısıtma yapılır. (C - A - D Modu)
4. C - D modunda dış ortam sıcaklığı ısı pompasını çalıştırabilecek sıcaklıkta ise kollektörden çıkan hava, ısı pompasının kondansör çeviriminde ısıtılıp eve gönderilir. (AA - EV / C - CD - D Modu)
5. AA - EV / C - CD - D modunda ısı pompasının kondansör çeviriminden çıkan hava, yeterli sıcaklığa ulaşamamışsa ek olarak yardımcı ısı kaynağı tarafından ısıtılır. (AA - EV / C - CD - A - D Modu)
6. Kollektör evin ısı ihtiyacını karşılayamıyorsa, fakat dış ortam sıcaklığı ısı pompasını çalıştırabilecek sıcaklıkta ise evin ısı ihtiyacı, ısı pompası tarafından karşılanır. (AA - EV / CD - D Modu)



Şekil 2.7 – [1]
Kollektörün Ev – Kondansör Çeviriminde Bulunduğu Sistemler

7. AA - EV / CD - D modunda ısı pompasının kondansör çevirimi çıkışındaki havanın sıcaklığı evin ısı ihtiyacını karşılayacak seviyede değilse, yardımcı ısı kaynağı vasıtası ile ek bir ısıtma yapılır. (AA - EV / CD - A - D Modu)

8. Eğer kollektör evin ısı ihtiyacını karşılayamıyorsa ve dış ortam hava sıcaklığı da ısı pompasını çalıştıracak minimum değerinin altında ise, sadece yardımcı ısı kaynağı ile evin ısı ihtiyacı karşılanır. (A - D Modu)

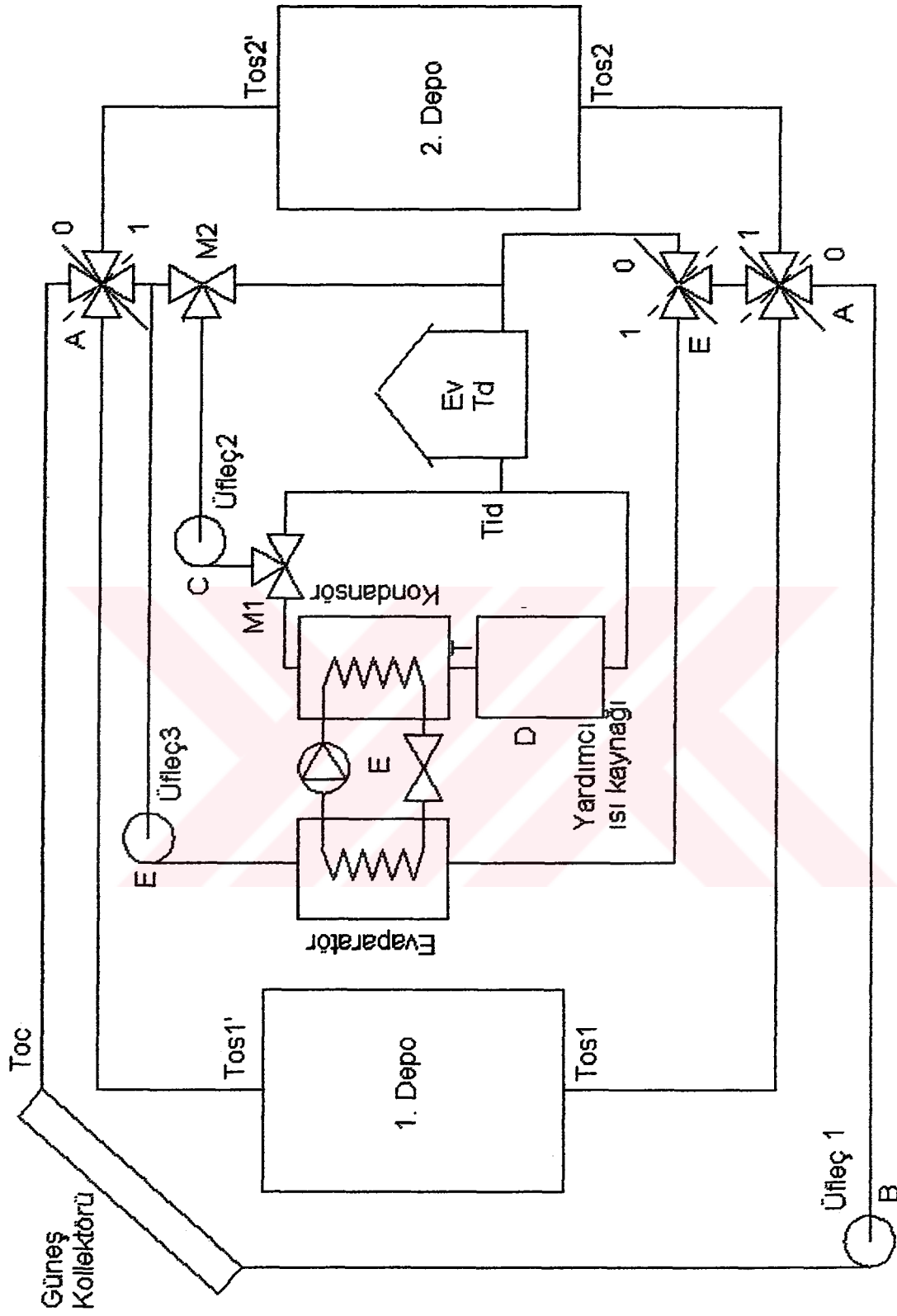
2.1.2.3 İki Depolu Sistemler

Şekil 2.8'de sistem şematik olarak gösterilmiştir. Sistemde en yüksek çıkış sıcaklığına ($T_{OS'}$) sahip olan depo, eve bağlı duruma getirilmiştir. Bu durumda diğer depo ise kollektöre bağlı hale geçecektir. Kollektör çıkış sıcaklığı T_{OC} , depo çıkış sıcaklığından yüksek bir değere ulaşırsa üfleç 1 çalışmaya başlayacaktır.

Evin ısı ihtiyacı durumunda ise, eve bağlı olan depo çıkış sıcaklığı evi beslemek için gerekli olan sıcaklıktan daha yüksekse, üfleç 2 çalışmaya başlar ve eve sıcak hava gönderilir. Gerekirse M2 valfi ile de akış kontrolü yapılarak evin ihtiyacı olan ısı sağlanmış olur.

Eğer depo çıkış sıcaklığı doğrudan ısıtma için çok düşük ve hala 0'dan yüksekse, üfleç 3 devreye girer ve depo çıkış havasını ısı pompasının evaporatörü üzerinden yönlendirir. Bu durumda üfleç 2 de evden gelen havayı kondansör üzerinden sirküle ettirir. Gerekirse yardımcı ısı kaynağı da eve giren havanın sıcaklığını gerekli olan değere ulaştırmak için devreye girer.

Depo havası çıkış sıcaklığı 0'dan küçük olduğunda, sadece üfleç 2 çalışır ve ev sadece yardımcı ısı kaynağı vasıtası ile ısıtılır. Bu kontrol kriteri sayesinde bir depoya yükleme yapılırken, aynı anda diğer depodan yük boşaltımı yapılabilir.



Şekil 2.8 – [1]
İki Depolu Sistemler

2.1.2.4 Hava Bazlı Sistemlerin Karşılaştırılması

Hava bazlı sistemler arasında bir karşılaştırma yapmak gerekirse, iki depolu sistemler ile aynı kapasitedeki tek depolu sistemler arasında %5'lik elektrik enerjisi kullanımında artış ve yardımcı ısıtma kullanımında büyük düşüşler görürüz. Bunun nedeni, iki depolu sistemlerin ısı kaybının tek depolu sistemlere göre daha fazla olmasıdır. Tek depolu sistemlerle deposuz sistemleri karşılaştıracak olursak, küçük kollektör alanları ve düşük kapasiteler için elektrik enerjisi kullanımında düşüşler ve bunun yanında yardımcı ısı kaynağı kullanımında önemli artışlar görürüz.

Deposuz sistemlerin ısı pompası ile kullanımı çok etkili değildir. Bu sistemlerde ısı pompası kullanılmalıdır, fakat bu sistemlere tam olarak bileşik sistemler demek mümkün değildir. Isı pompasının büyüklüğü yardımcı ısı kaynağının vereceği enerjiyi azaltmak için kullanılır ve genelde tek depolu sistemlerin ısı pompalarından çok daha büyük boyutlarda olur.

Tek depolu ısıtma sistemlerinde yardımcı ısı kaynağının ve elektrik enerjisinin miktarı evin ihtiyacı olan enerjinin %10'u kadardır, ki bu değer ekonomik olarak önemli bir maliyet yaratmaktadır. Eğer sisteme bir ısı pompası eklenirse durum biraz daha farklılaşır. Elektrik enerjisinin fiyatı, yardımcı ısı kaynağının harcadığı enerji fiyatının yarısıdır. Bu yüzden ısı pompalı ve daha ufak depolu sistemler daha ekonomik olur. Isı pompalı sistemler yardımcı ısı kaynağı giderlerini düşürmüş olur.

Isı pompasının evaporatör kısmında dış ortam havasını kullanan sistemler, havanın depodan ya da kollektörden karşılandığı tek depolu sistemlere nazaran, yardımcı ısı kaynağı giderlerinde artışa neden olurlar.

İki depolu sistemleri tek depolu sistemlerle kıyaslarsak, yardımcı ısı kaynağından enerji sarfiyatı açısından çok büyük düşüşler yaşanmaz. Ama bunun yanında elektrik enerjisi harcaması çok daha büyüktür. Bu da çift

depolu sistemlerin tek depolu sistemlere göre tercih edilemeyeceğinin göstergesidir.

2.2 GÜNEŞ ENERJİLİ PASİF ISITMA SİSTEMLERİ

Pasif ısıtma sistemleri aktif ısıtma sistemlerinden iki noktada ayrılır. İlki toplayıcı ve depolama işlemleridir. Bu işlemler evin yapısına entegre edilerek yapılır. Camlar ve ardındaki odalar toplayıcı yani kollektör gibi çalışır. İkincisi ise bir çok pasif sistemde ısı transferi akışkanını sirküle etmek için herhangi bir mekanik enerji kullanılmamasıdır.

Pasif sistemler kısaca evin mimari yapısı ile ilgilidir. Binanın kendisi kollektör ve depo gibi iş yapar. Pasif sistemlerde üç tür kazanç vardır. Birincisi doğrudan kazanç, ikincisi kollektör - depo duvarlarından kazanç ve üçüncüsü de güneş alanından kazançtır.

Doğrudan kazançta pencerelerden geçen enerji de evin ısı yüküne dahil edilir. Pencereler kollektör, evin kendisi de depo gibi görev yapar. Kanatlı ve sarkan duvarlar gibi mimari özellikler ısıtma istenmeyen zamanlarda evin pencerelerini gölgeler. Bu sistem aynı zamanda soğutma işlemlerine de yarar sağlar. Böylece radyasyonun az olduğu mevsimlerde pencereleri izole etmek işine de yarar. Doğrudan kazanç evin güneşe bakması ile sağlanabilir.

Kollektör – depo duvarlar toplama ve depolama işlemlerini tek bir üniteye evin parçası olarak birleştirir. Güneyde kalan duvarlar tek ya da iki kat cilalı katman ile kaplanır. Bu cilalı yüzeylerin iç tarafında katı tuğla ya da su tankları vardır. En son siyah cila katı ile enerji emilmesini sağlar. Isı transferi kollektör - depo duvar sistemlerinde duvarlardan eve radyasyon ve taşınım yolu ile olur. Oda havası, cilalı yüzey ve duvar arasında ise zorlanmış ya da doğal taşınım ile olur.

Güneş alanları ise binaya eklenerek güneş kollektörü gibi çalışır ve duvarlara, zeminlere veya kaya yataklarına depolama için kullanılır. Evin içine gönderilen zorlanmış hava bir opsiyon olarak depolamayı artırmak ve emilen enerjiden daha fazla faydalanmak için kullanılır. Güneş alanlarının kullanımı, insan veya bitkiler için yükleme limitlerinde yükleme limitlerinde izin verilen sıcaklık salınımlarını yapar; bu da enerji dengesini etkiler.

Yukarıda kısaca açıklanan pasif enerjili ısıtma sistemleri bu tezin konusu dışındadır. Bu çalışmada aktif ısıtma sistemleri örnek alınacak ve incelenecektir.



BÖLÜM 3

DEPONUN TABAKALANDIRILMASI

3.1 TABAKALANDIRILMIŞ DEPO YAKLAŞIMLARI

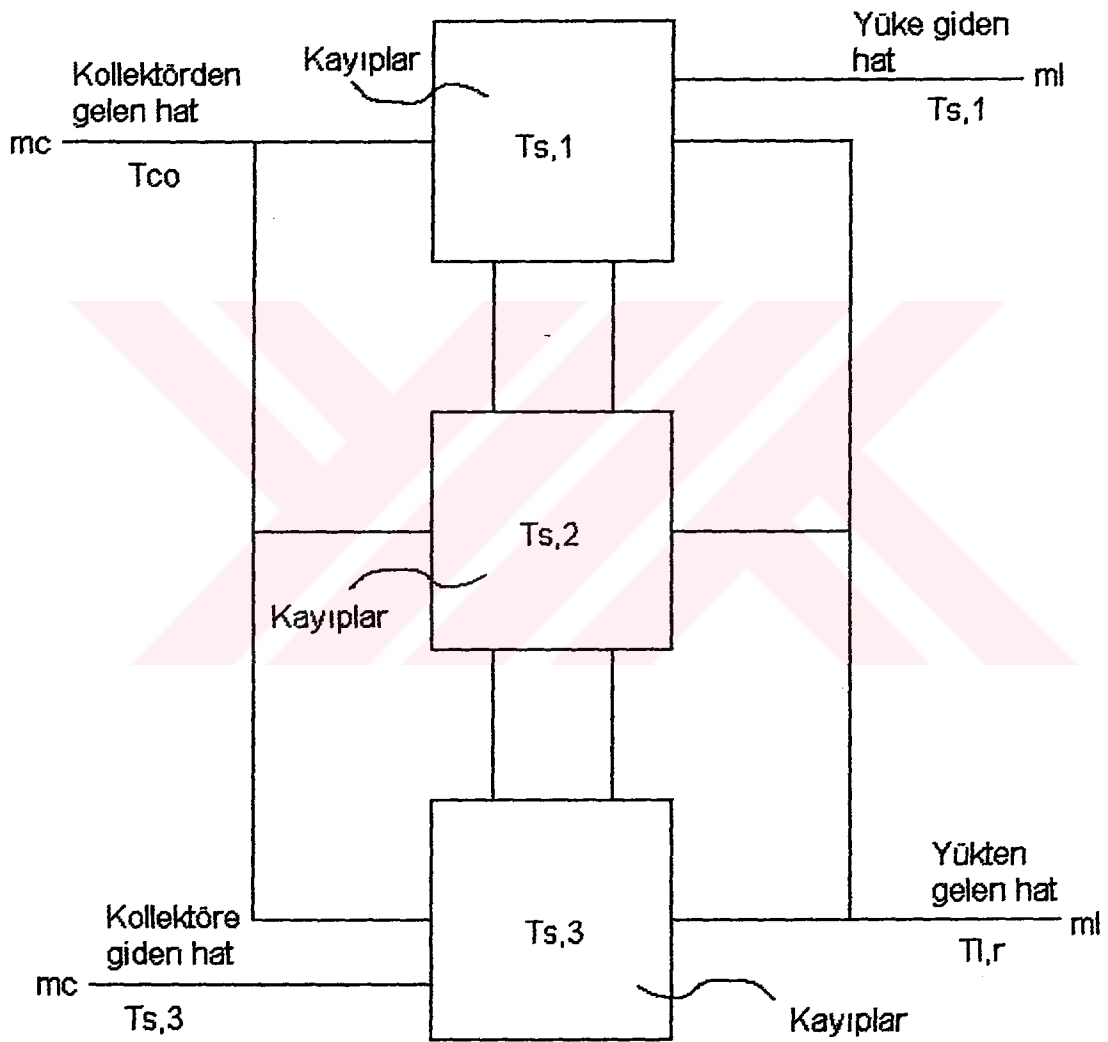
Büyük su depolu sistemlerde, deponun her yerinde sıcaklık aynı değerde değildir. Deponun üst kısımları, alt kısımlarından daha sıcaktır. Böyle tabakalaşmış depo sistemleri, genelde iki kategoride toplanır. Birinci kategori çok katmanlı sistem adı verilen sistemdir. Bu sistemde N tane katman ve her katman için ayrı bir enerji eşitliği vardır. Sistemi N tane diferansiyel denklem ifade eder, ve her denklem zamanın bir fonksiyonu olan sıcaklık değerleri için çözülebilir. İkinci kategori katman akışlı sistem adı verilen sistemdir. Her farklı sıcaklıktaki su katmanının depoda, bir katman halinde yer değiştirdiği ve yerine bir sonraki sıcaklık katmanının geldiği varsayılır.

Bir depodaki tabakalaşmanın seviyesi tankın büyüklüğüne, yapısına, montaj yerine, giriş ve çıkışlarına, giriş ve çıkış debilerine bağlıdır. Tabakalaşmanın sisteme etkisi, tamamen tabakalaşmış bir depoya, karışmış bir deponun performanslarının karşılaştırılmasıyla anlaşılabilir.

3.1.1 Çok Katmanlı Sistemler

Çok katmanlı tabakalaşma sistemlerinde, sıcak su girişinin birden çok katmana olabileceği farz edilir. Örneğin, beş katmanlı bir depoda, T_{co} sıcaklığındaki giriş suyu, eğer T_{s2} ve T_{s3} sıcaklıklarının arasında bir seviyede ise depoya T_{s3} katmanından girer.

Çok katmanlı sistemleri, üç katmanlı bir örnekle inceleyebiliriz. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi kollektöre giden akış, her zaman en alt katman olan 3'ten, yük yani eve giden akış ise her zaman en üst katman olan 1'den gerçekleşir. Kollektörden gelen akış daima kendi sıcaklığına en yakın olan, fakat daha düşük sıcaklık katmanına girer.



Şekil 3.1 - [10]

Üç katmanlı depo şeması

Kollektör kontrol fonksiyonu F_i^c ile, kollektörden gelen suyun hangi katmana girdiğini bulmak mümkündür.

$$F_i^c = \begin{cases} 1, i = 1 \text{ ve } T_{\infty} > T_{s,i} \\ 1, T_{s,i-1} \geq T_{\infty} > T_{s,i} \\ 0, i = 0 \text{ veya } i = N + 1 \\ 0, \text{ diğer koşullarda} \end{cases} \quad (3.1) - [10]$$

Evden gelen suyun, depoya hangi katmandan gireceğini kontrol eden F_i^l değeri de benzer bir şekilde bulunur.

$$F_i^l = \begin{cases} 1, i = N \text{ ve } T_{l,r} < T_{s,N} \\ 1, T_{s,i-1} \geq T_{l,r} > T_{s,i} \\ 0, i = 0 \text{ veya } i = N + 1 \\ 0, \text{ diğer koşullarda} \end{cases} \quad (3.2) - [10]$$

Katmanlar arasındaki net akış yukarıya ya da aşağıya doğru olabilir. Bu da kollektör ya da yükten gelen akışlara ve F_1^c ile F_1^l kontrol değerlerine bağlıdır.

$$\dot{m}_{m,1} = 0 \quad (3.3a) - [10]$$

$$\dot{m}_{m,i} = \dot{m}_c \sum_{j=1}^{i-1} F_j^c - \dot{m}_l \sum_{j=i+1}^N F_j^l \quad (3.3b) - [10]$$

$$\dot{m}_{m,N+1} = 0 \quad (3.3c) - [10]$$

Bu kontrol fonksiyonlarıyla i. katmandaki enerji dengesi şöyle ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} \dot{m}_i \frac{dT_{s,i}}{dt} = & \left(\frac{UA}{C_p} \right) (T'_a - T_{s,i}) + F_i^c \dot{m}_c (T_{\infty} - T_{s,i}) + F_i^l \dot{m}_l (T_{l,r} - T_{s,i}) \\ & + \begin{cases} \dot{m}_{m,i} (T_{s,i-1} - T_{s,i}) \Rightarrow \dot{m}_{m,i} > 0 \\ \dot{m}_{m,i+1} (T_{s,i} - T_{s,i+1}) \Rightarrow \dot{m}_{m,i+1} < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.4) - [10]$$

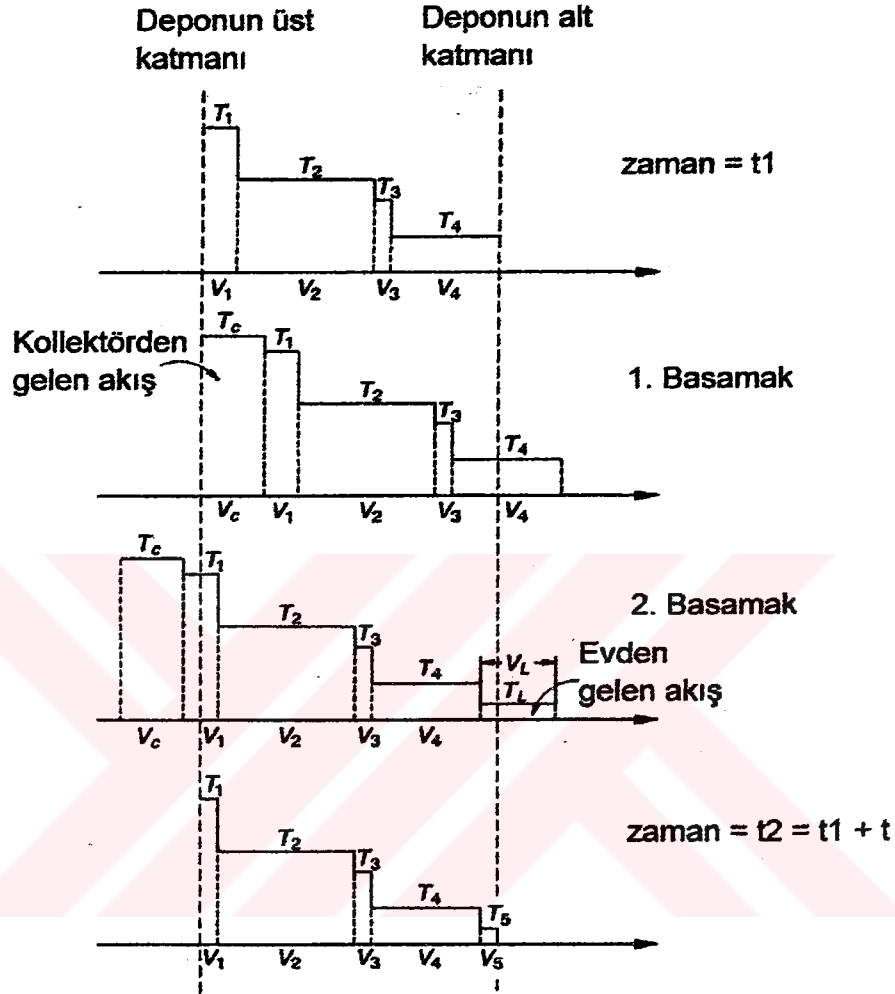
Burada T'_a ortam sıcaklığı değeri ile deponun i. katmanından çevreye olan ısı kaybı da hesaba katılmaktadır.

Genelde çok katmanlı sistemler, üç ya da dört katmandan oluşur. Daha fazla katmanlı depoların olma ihtimali pek gerçekçi değildir. Çok tabakalı sistemlerde iki faktör etkilidir. Bunlardan ilki, katmanlar arası ısı geçişi ve cıdardan ısı iletimine bağlı olan katmanlaşmayı güçleştiren etkidir. İkincisi de deponun herhangi bir katmanına eklenebilecek, ek yardımcı ısı kaynağıdır. Bu da tabakalaşmayı güçleştirir. Yardımcı ısı kaynağının sisteme etkisini formül (3.4)'e eklenebilecek bir terimle belirtebiliriz.

3.1.2 Katman Akışlı Sistemler

Katman akışı depoda yukarıya ya da aşağıya doğru olabilir. Hacim artışı, kollektörden (ya da ısı kaynağından) veya yükten gelen akışkanın, depoya herhangi bir katmanından girmesiyle olur. Bu gelen akışla, depodaki bütün katmanlar giriş ya da çıkış yönünde kayarlar. Bu katmanların boyutları, akışa ve hesaplamalarda alınacak zaman aralığına bağlıdır.

Depoya ısıtılarak gelecek olan su, hep aynı katmandan ya da her seferinde sıcaklığına göre ayrı katmanlardan girecekmiş gibi de düşünülebilir. Eğer sıcaklığına göre farklı katmanlardan depoya giriş yaptığı düşünülürse, çok katmanlı sistemdekiyle aynı hesap yöntemiyle, hangi katmana giriş yaptığı bulunur.



Şekil 3.2 – [10]

Katman Akışlı Sistem Yapısı

Şekil 3.2'de katman akışlı sistem yapısına bir örnek sistem verilmektedir. Sistemde depo hacmi dört katmana bölünmüştür. V_i katmanların hacimlerini, T_i sıcaklıklarını gösterir. İlk zaman aralığında kollektör, V_c hacmindeki suyu depoya gönderir. V_c hacmi $\rho / (m_c \Delta t)$ 'ye eşit ve T_c sıcaklığındadır. T_c sıcaklığının, T_1 sıcaklığından büyük olduğunu varsayarsak, bu katman en üste eklenir ve diğer katmanlar bir kat aşağıya kayar. Aynı anda V_i

hacmindeki su, yükten depoya döner. V_I hacmi $\rho / (m_C \Delta t)$ 'ye eşit ve T_I sıcaklığındadır. Olaylar Şekil 3.2'de basamak basamak gösterilmiştir, ama aslında olaylar bir anda gerçekleşmektedir. T_I sıcaklığının T_4 sıcaklığından daha küçük olduğunu varsayarsak, bu katman en alta eklenir ve katmanlar bir üst kata yükselir. Depo hacmindeki net yer değiştirme, $V_C - V_I$ ya da $\rho / (m_C - m_L) \Delta t$ hacmi kadardır. Yüke gönderilen suyun sıcaklığı ise (3.5) formülü ile hesaplanır.

$$T_D = \frac{V_C \times T_C + (V_I - V_C) \times T_I}{V_I} \quad (3.5) - [10]$$

Katman akışı yöntemi genelde çok yüksek sıcaklık farklılıkları olan depolarda varsayılan yöntemdir.

BÖLÜM 4

GÜNEŞ EVİ VE ISITMA SİSTEMİNİN TANITIMI

4.1 GÜNEŞ ENERJİLİ ISITMA SİSTEMİ

Bu projede incelenen ev, İzmit iline bağlı Gebze ilçesinde bulunan, iki oturma katı, bir çatı ve bir de bodrumdan oluşan müstakil bir evdir.

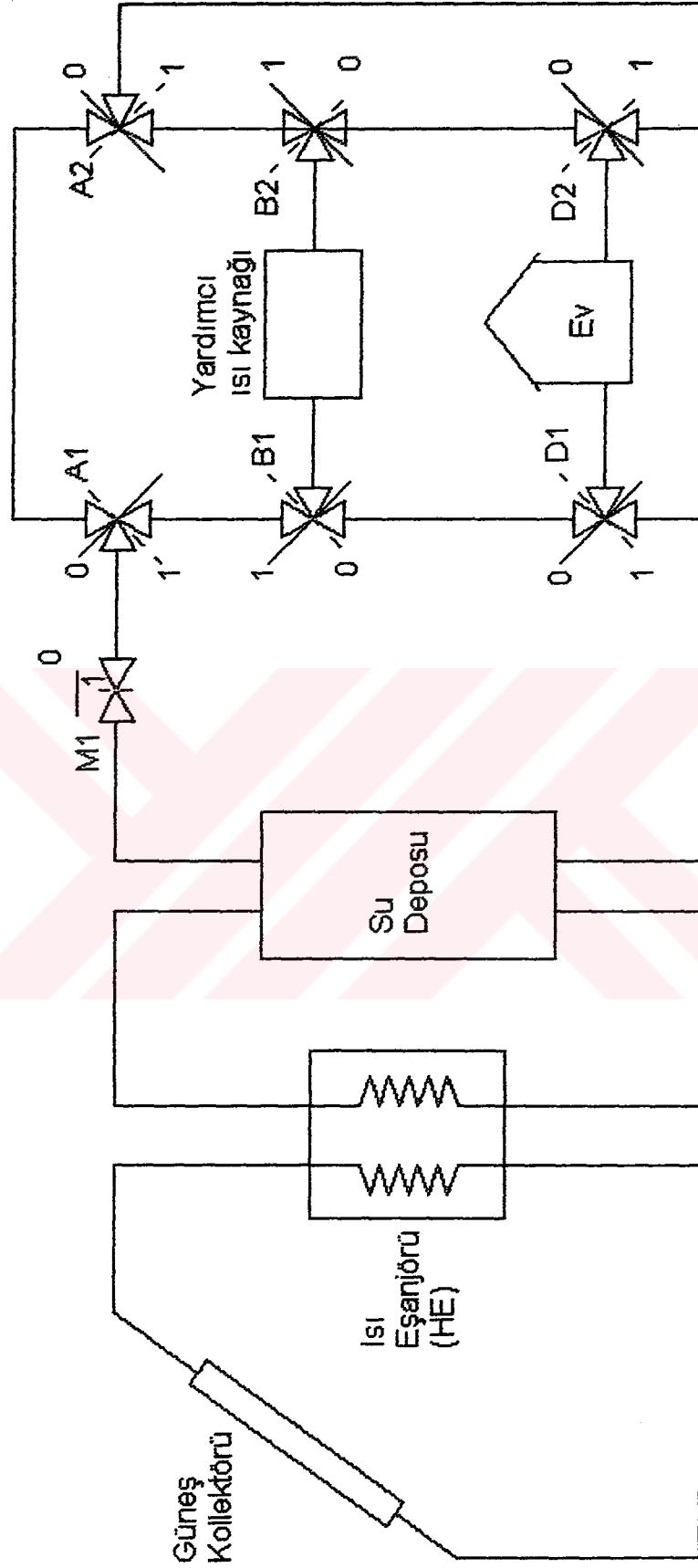
Evin yapısı, güneş enerjili ısıtma sistemi ve çalışması ayrı ayrı incelenecektir.

4.1.1 Güneş Enerjili Isıtma Sisteminin Çalışması

Güneş enerjili ısıtma sistemimizde ısı transferi akışkanı olarak suyu kullanmaktayız. Sistem basit bir yapı teşkil edip kollektör, ısı eşanjörü, depo ve yardımcı ısı kaynağından oluşur (Şekil 4.1). Sistemin çalışması, dış ortam ve depo sıcaklığı gibi değerlere göre değişir. Çalışma esnasında sistemde bulunan vanalar bir kontrol mekanizması ile denetlenir.

Sistemin çalışması şu şekillerde olmaktadır:

a - Dış ortam sıcaklığı yüksek olduğu durumlarda evin ısı ihtiyacı olmadığından, kollektörden çekilen ısı, ısı eşanjörü (HE) vasıtası ile tanka aktarılır. Böylece yaz ayları boyunca tankın sıcaklığı artmaya başlar. Bu esnada eve gönderilecek suyun akışını kontrol eden M1 vanası tamamen kapalıdır.



Şekil 4.1 – [1]
Güneş Enerjili Isıtma Sistemi

b - Dış ortam sıcaklığı düştüğünde evin ısı ihtiyacı hasıl olacaktır. Eğer kollektörden gelen akışkanın sıcaklığı, ısı eşanjörünü çalıştırabilecek yükseklikteyse - ısı eşanjörünün depo tarafındaki çevirim suyu sıcaklığından daha yüksekse - tankı ısıtmaya devam eder. Bu esnada evin ısı ihtiyacına bağlı olarak M1 valfi açılır. A1, A2, D1 ve D2 üç yollu vanaları 1 konumunda olduğundan, ev tanktan gelen su ile direk beslenir.

c - Dış ortam sıcaklığı düştüğünde evin ısı ihtiyacı olacaktır. Fakat dış ortam sıcaklığı ısı eşanjörünü çalıştırmaya yetecek seviyede değilse, kollektörden ısı çekilemeyecektir. Bu durumda tankta depolanan su direk olarak eve gönderilecektir. Bunun için de M1 valfinin açık, A1, A2, D1 ve D2 üç yollu valflerinin de 1 konumunda olması gerekmektedir.

d - Dış ortam sıcaklığı düştüğünde evin ısı ihtiyacı olacaktır. Fakat dış ortam sıcaklığı ısı eşanjörünü çalıştıracak kadar yüksek değilse, kollektörden ısı çekilmeyecektir. Tank suyu sıcaklığı da evin ısı ihtiyacının tamamını karşılayacak durumda değilse, yardımcı ısı kaynağı devreye girecektir. Bu durumda M1 valfi açık, A1 ve A2 vanaları 0 konumunda, B1, B2, D1 ve D2 vanaları 1 konumunda olmalıdır. Böylece tank suyu yardımcı ısı kaynağı üzerinden sirküle olur.

e - Dış ortam sıcaklığı düştüğünde evin ısı ihtiyacı olacaktır. Fakat dış ortam sıcaklığı ısı eşanjörünü çalıştıracak kadar yüksek değilse, kollektörden ısı çekilmeyecektir. Tank suyu sıcaklığı da evin iç sıcaklığından düşük ise, ısıtma için sadece yardımcı ısı kaynağı kullanılacaktır. Bu durumda M1 valfi kapalı, A1, A2, B1, B2, D1 ve D2 vanaları 0 konumunda bulunur. Bu durumda ev ile yardımcı ısı kaynağı arasındaki su devamlı sirküle olur.

Yukarıda çalışması açıklanan sistem, genel olarak kullanılan güneş enerjili ısıtma sistemlerine genel bir örnek teşkil eder.

Sistemin verimini artırmak için, istenirse depodan alınacak bir hatla evden dönen hat arasında bir ön ısıtma yapılabilir. Fakat bu ön ısıtma, sistemin verimliliğine büyük bir etki yaratmayacaktır.

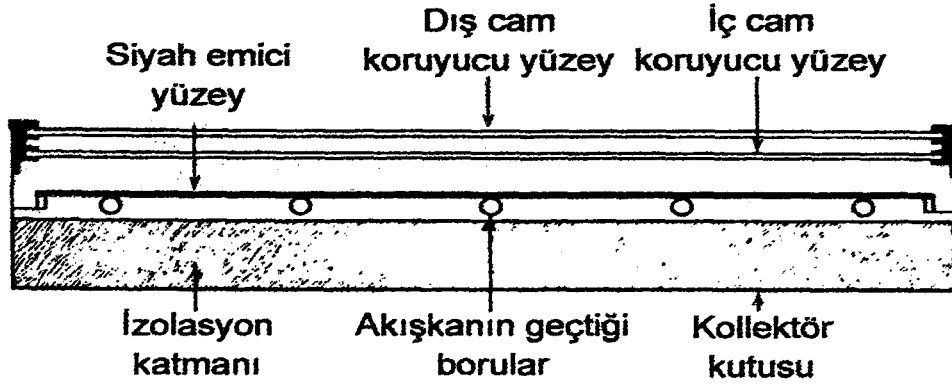
Şekilde gösterilen sistemde, kollektör çıkış sıcaklığını, depo suyu ve çıkış sıcaklığını ve ev sıcaklığını algılayacak duyargalar yerleştirip, oluşacak sıcaklık farklarına göre kontrol mekanizmasını çalıştırırız.

4.1.2 Güneş Enerjili Isıtma Sistemindeki Elemanların İncelenmesi

Güneş enerjili ısıtma sisteminin ilk elemanı güneş kollektörleridir. Kurulan sistemde de düz güneş kollektörleri kullanılmıştır. Güneş kollektörleri, en genel anlamıyla, güneş radyasyonunu ısıya çeviren özel ısı eşanjörleridir. Birçok çeşitleri olabileceği gibi, sistemimizde güneş radyasyonunu, kollektör sıvısını ısıtmakta kullanılan düz güneş kollektörlerini kullandık.

Yapı itibarı ile en üstte iki kat koruyucu cam yüzey vardır. Bu yüzeylerin altında siyah emici yüzey bulunur. Siyah emici yüzey, güneşten gelen radyasyonu emerek alt katmanında borular içinden geçen akışkana iletir. Siyah emici yüzey aynı zamanda, akışkana verilen ısıнын, taşınım ve radyasyonla tekrar atmosfere atılmasını engelleyici görevi de yapar. Ayrıca akışkanın altındaki izolasyon yüzeyi de taşınım kayıplarını azaltır. Montajları genelde evlerin çatı kısımlarına, mevsime ve güneş ışınımına göre açılı olarak yapılır. Bu açı, ışınımın olduğu yöne doğru optimum değer yakalanmaya çalışılarak bulunur.

Sistemimizde kullandığımız güneş kollektörü güneş evinin çatı kısmını boydan boya kaplamaktadır. Toplam alanı 100 m^2 olan düz güneş kollektörünün, boyutsuz katsayıları olan α , γ , δ sırasıyla, 0.77, 0.94 ve 0.85 olarak alınmıştır.



Şekil 4.2 – [10]

Güneş Kollektörünün Yapısı

Sistemde kullanılan ikinci eleman ise ısı eşanjörüdür. Isı eşanjörünün performans değeri F_R , 0.79, tesir katsayısı ε ise 0.7'dir. Güneş enerjili ısıtma sistemlerinde genelde, güneş kolektörü ve ısı eşanjörünün etkilerini tek bir birleşik ifadede verebiliriz. F_R' ile gösterilen güneş kolektörü-ısı eşanjörü performans değeri formül (4.1)'de belirtilmiştir.

$$F_R' = F_R \times \left[1 + \frac{(A_c \times F_R \times U_l)}{(\dot{m}_c C_s)} \times \left(\frac{(\dot{m}_c C_s)}{\varepsilon \times (\dot{m}_p C_p)_{\min}} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (4.1) - [10]$$

Bu formülde $(\dot{m}_p C_p)$ 'nin değeri $\dot{m}_c C_s$ 'ye eşit olduğu için bölme işleminde sadeleşeceklerdir. Sonuç olarak F_R' değeri, yaklaşık olarak 0.78 çıkmaktadır. Güneş kolektörü-ısı eşanjörü çeviriminde, akışkan olarak glikol karışımı kullanılmaktadır. 5 kg/s debide geçen bir glikol karışımının özgül ısısı 3350 J/kgC'dir. Isı eşanjörünün depo çeviriminde ise akışkan olarak su kullanılır. Suyun debisi yine 5kg/s, özgül ısısı ise 4190J/kgC'dir.

Isı eşanjöründen ısıtılarak gelen su, deponun sıcaklığını artırır. Isıtılan depo, soğuk aylar boyunca evi besleyeceği için sıcaklığını korumak zorundadır. Deponun çevreyle olan ısı alışverişinin minimum olması için izolasyonu çok önemlidir. Deponun izolasyonu Bölüm 5.2'de detaylı olarak anlatılmıştır.

Depo, evin ihtiyacını karşılayabilmek için 15 ton seçilmiştir. 5 m genişliğinde, 10 m uzunluğunda ve 3 m yüksekliğinde dikdörtgenler prizması şeklinde, hacmi ise 150 m^3 , ısı transferi toplam yüzeyi 190 m^2 'dir. Depo, sıcaklık dağılımı açısından tamamen karışmış kabul edilmiştir. Deponun her yerinde sıcaklık dağılımı aynıdır.

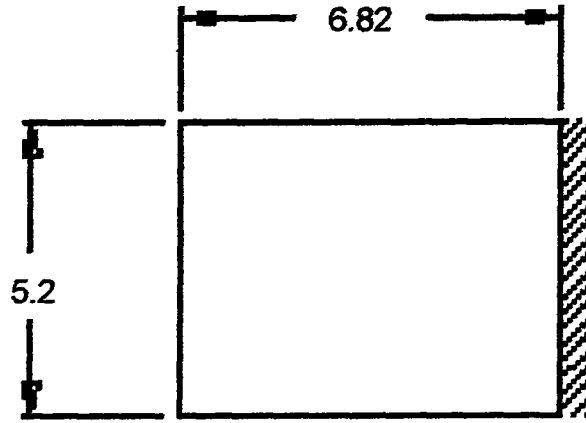
Sistemde, depo sıcaklığı evin ihtiyacını karşılayamayacak kadar düştüğü zaman, devreye yardımcı ısı kaynağı girer. Yardımcı ısı kaynağının büyüklüğü, saatte en fazla 8 MJ enerji verebilecek kadardır. Bu değer, hazırlanan bilgisayar programının yardımıyla bulunur.

4.2 GÜNEŞ EVİNİN YAPISI

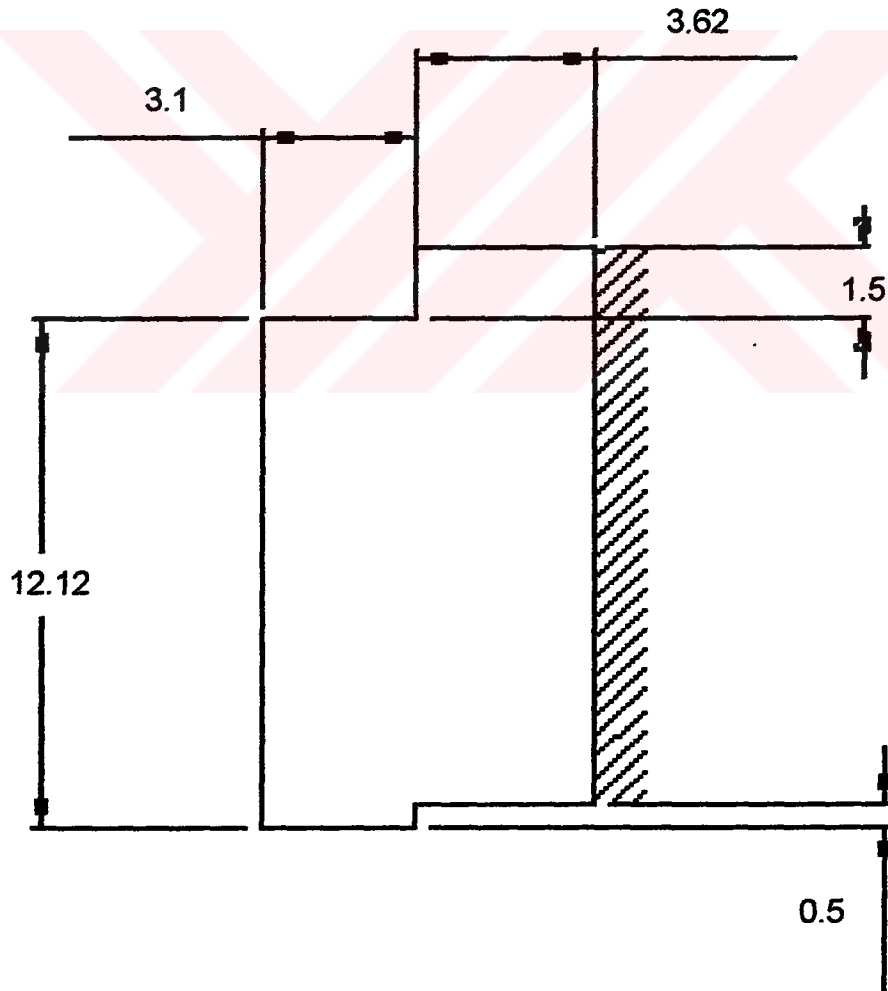
Şekilde görüldüğü üzere, ev toplam 4 katlı, ikiz müstakil bir evdir. Ev, iki oturma katı, bir çatı katı ve bir bodrum katından oluşur. Kollektörler çatıya, depo ise bodrum katına yerleştirilmiştir. Her kat için ısı kaybı tek tek hesaplanacağından, her katın duvar ve cam alanları ayrı ayrı ölçülmelidir.

Isı kaybı çatı katında üç ayrı yerden gerçekleşir. İlki 35.5 m^2 'lik yüzey alanına sahip çatı tavanındandır (Şekil 4.3). İkincisi 55.56 m^2 'lik yüzey alanına sahip çatı duvarlarındandır. Isı kaybının olduğu üçüncü yer 1.96 m^2 'lik yüzey alanına sahip çatı katı camlarıdır.

İkinci katta ısı kaybı camlardan ve duvarlardan gerçekleşir (Şekil 4.4). 6.8 m^2 'lik cam ve 109.24 m^2 'lik duvar alanında ısı kaybı olur.

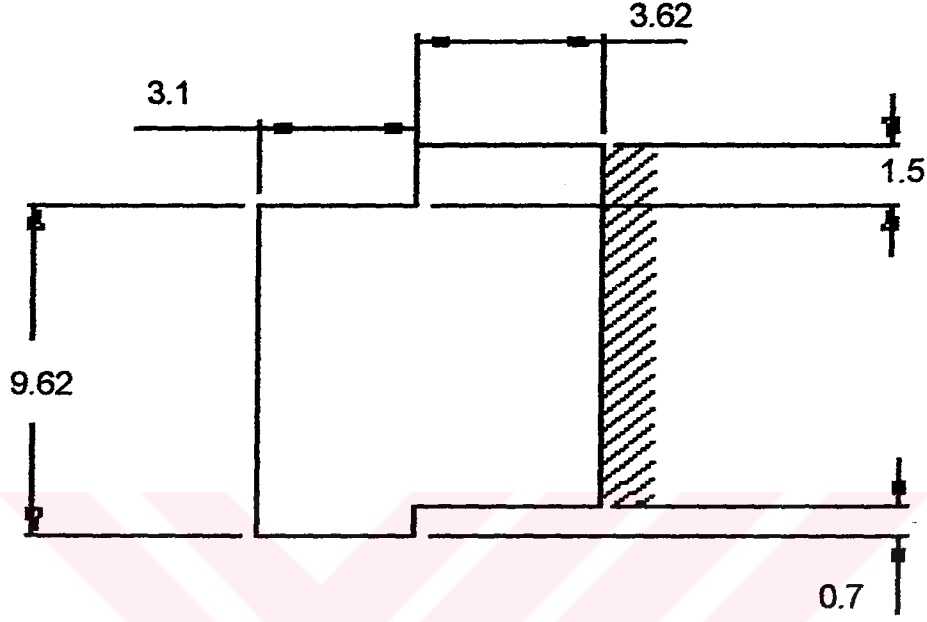


Şekil 4.3
Çatı Katı Yüzeyi



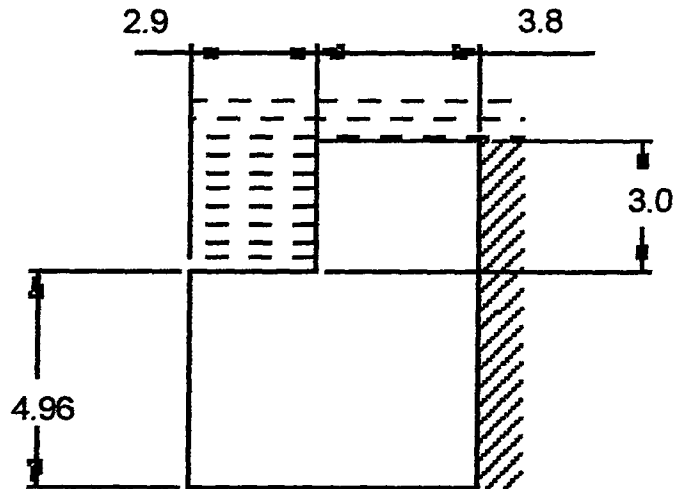
Şekil 4.4
İkinci Kat Yüzeyi

Birinci katta da 92.1 m²'lik duvar ve 8.4 m²'lik cam alanı toplam ısı kayıp yüzeyleridir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5
Birinci Kat Yüzeyi

Bodrum katında ise üç yerden ısı kaybı gerçekleşir (Şekil 4.6). Bunlar, 34.98 m²'lik hava ile temas halindeki duvar, 29.1 m²'lik toprak ile temas eden duvar ve 44.64 m²'lik bodrum zeminidir.



Şekil 4.6
Bodrum Kat Yüzeyi

BÖLÜM 5

MATEMATİK MODEL

5.1 ISITMA SİSTEM MODELİ

Güneş evinin çatısına yerleştirilen kollektörlerin emdiği ısıyı hesaplamak için, yerel ışınım değerlerinden ve güneş kollektörünün boyutsuz katsayılarından yararlanılır.

$$S = I \times \alpha \times \gamma \times \delta \quad (5.1) - [10]$$

Formül (5.1) ile bulunan S, kollektör tarafından emilen enerji miktarının boyutu J/m^2h' tir. Bu da, kollektörün her metrekare başına bir saat içinde radyasyonla kazanabildiği ısı enerjisini ifade eder. Fakat sistemde bu enerjinin tamamından yararlanılamaz. Kollektör vasıtasıyla çekilen bu enerji, kollektör akışkanı olan glikol karışımından suya, ısı eşanjörü vasıtasıyla aktarılırken kayıba uğrar. Ayrıca ısı eşanjörü çevriminde, depodan gelen suyun sıcaklığının glikol karışımından düşük olması şarttır. Aksi takdirde glikol karışımı daha soğuk olacağı için depo ısı kaybeder. Bunu önlemek için kollektörden elde edilen ısı enerjisinin sıfırdan büyük olma şartı aranır. Bu şart dışında gerçekleşen hallerde ise kollektör devre dışı kalır.

$$Q_u = A_c \times F_R' \times [S - U_l \times (T_s - T_a)]^+ \quad (5.2) - [10]$$

Formül (5.2)'de belirtilen kollektörden depoya verilebilen net ısı enerjisi ifadesi ile deponun ne kadar ısıtılabilceğini bulabiliriz. Formül (5.2)'de

köşeli parantez içindeki ifadenin pozitif olma şartı daha önce de belirtildiği gibi kollektörün faydalı olup olmasını, yani dış ortam sıcaklığının ve radyasyon miktarının depoyu ısıtıp ısıtamayacağını gösterir. Aksi durumlarda köşeli parantez içindeki ifadenin sayı değeri sıfır olur, bu da kollektörden depoya ısıtma yapılamadığını gösterir.

Aynı formülde F_R' terimi ise, ısı eşanjörünün etkisini ifade eden boyutsuz bir sayıdır. Bu tür hesaplamalarda ısı eşanjörünün etkisini sadece bir katsayı ile belirtmek yeterlidir. Bu katsayı aşağıda, Formül (5.3)'te belirtilen şekilde bulunur.

$$F_R' = F_R \times \left[1 + \frac{(A_c \times F_R \times U_l)}{(\dot{m} C_p)_c} \times \left(\frac{(\dot{m} C_p)_c}{\varepsilon \times (\dot{m} C_p)_{\min}} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (5.3) - [10]$$

Formül (5.3)'te F_R terimi, ısı eşanjörü tesir katsayısını ifade eder. Boyutsuz ε terimi ise ısı eşanjörü içindeki ters akışın etkisini gösterir. Bu eşitlikte verilen c indisi kollektör çevirimini ifade eder. m , C_p terimleri ise, akışkanların debileri ve özgül ısılarıdır. A_c , toplam kollektör alanını ve U_l 'de kollektör ısı kayıp katsayısını belirtir. Yukarıdaki eşitlik vasıtası ile tüm ısı eşanjörünün etkisi F_R' gibi boyutsuz bir katsayıyla basitleştirilmiş olur.

Isı eşanjöründen depoya gelen su, depo sıcaklığını zamanla arttırmaya başlayacaktır. Depo sıcaklığı artarken, aynı oranda depodan ortama da bir ısı transferi artışı olacaktır.

$$Q_l = U_s \times A_s \times (T_s - T_a') \quad (5.4) - [10]$$

Formül (5.4)'te Q_l ile belirtilen depodan kaybedilen ısı miktarı, depo sıcaklığı (T_s) ve ortam sıcaklığı (T_a') ile doğrudan ilintilidir. U_s deponun toplam ısı kayıp katsayısını ve A_s de toplam ısı transferi yüzeyini gösterir.

Formül (5.4)'te U_s terimi ile ifade edilen toplam ısı kayıp katsayısı, depo ve deponun izolasyon malzemesinin bir fonksiyonudur.

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{h_i} + \frac{\Delta l_1}{k_1} + \frac{\Delta l_2}{k_2} + \frac{\Delta l_3}{k_3} + \frac{1}{h_d} \quad (5.5) - [12]$$

Formül (5.5)'te gösterildiği gibi Δl terimleri sırasıyla, deponun metal yüzeyi, izolasyon malzemesi ve beton malzemesinin kalınlıklarıdır. k terimleri ise, yine aynı malzemelerin ısı iletim katsayılarını ifade eder. Deponun özellikleri Bölüm 5.2'de daha detaylı olarak anlatılacaktır.

Dış ortam sıcaklığı düştüğü zamanlarda, evin ısı ihtiyacı hasıl olacaktır. Bu durumlarda depodan ısı çekilmeye başlanacaktır.

$$L_s = \dot{m}_l \times C_s \times (T_s - T_l) \quad (5.6) - [10]$$

Formül (5.6)'da L_s terimi ile depodan eve gönderilen ısı değeri belirtilmiştir. Bu eşitlikte $\dot{m}_l$ depodan eve gönderilen suyun debisini, c_s de özgül ısısını ifade eder. T_s depo çıkış, T_l de giriş suyu sıcaklıklarıdır. Formül (5.6)'da L_s değerini hesaplarken, evin ısı ihtiyacı devamlı değişeceğinden T_l değeri de bu ihtiyaçla değişecektir. Bu yüzden eve gönderilen ısı, evden depoya dönen su sıcaklığının bir fonksiyonudur denebilir. Aynı zamanda evden depoya dönen su sıcaklığını hesaplarken, evin ısı ihtiyacını da hesaplamak şarttır. Q_t ile gösterilen evin ısı ihtiyacının hesabı, Bölüm 5.2'de detaylı olarak anlatılacaktır.

$$Q_a = [Q_t - L_s]^+ \quad (5.7) - [10]$$

Formül (5.7)'de belirtilen Q_a , yardımcı ısı kaynağını ifade eder. Görüldüğü gibi evin ısı ihtiyacı (Q_t), evin depodan çektiği ısı değerinden (L_s) büyük olursa yardımcı ısı kaynağı evi beslemeye başlayacaktır.

Sistemde kollektörden elde edilen ısı depoda biriktirildikçe, deponun sıcaklığının artacağı daha önceden belirtilmişti. Aynı şekilde, dış ortam sıcaklığının düşük olduğu günlerde, depodan ısı çekileceği için depo sıcaklığı azalacaktır. Bu sıcaklık değişimlerini saat bazında incelemek mümkündür.

$$(\dot{m}_l C_s) \frac{dT_s}{dt} = A_c \times F_R' \times [S - U_l \times (T_s - T_a)]^+ - U_s \times A_s \times (T_s - T_a') - (\dot{m}_l C_s) \times (T_s - T_l) \quad (5.8) - [10]$$

Formül (5.8)'deki ifadeyi integre ederek, depo sıcaklığındaki (T_s) saat bazında değişimi bulmak mümkündür.

$$T_s^+ = T_s + \left(\frac{\Delta t}{(\dot{m}_l C_s)} \right) \times \left\{ A_c \times F_R' \times [S - U_l \times (T_s - T_a)]^+ - U_s \times A_s \times (T_s - T_a') - (\dot{m}_l C_s) \times (T_s - T_l) \right\} \quad (5.9) \quad [10]$$

Formül (5.9)'daki T_s^+ değeri depo sıcaklığının, referans alınan andan Δt kadar - ki biz bunu bir saat alıyoruz - sonraki değerini verir. Bu eşitliği daha da basitleştirebilirsek:

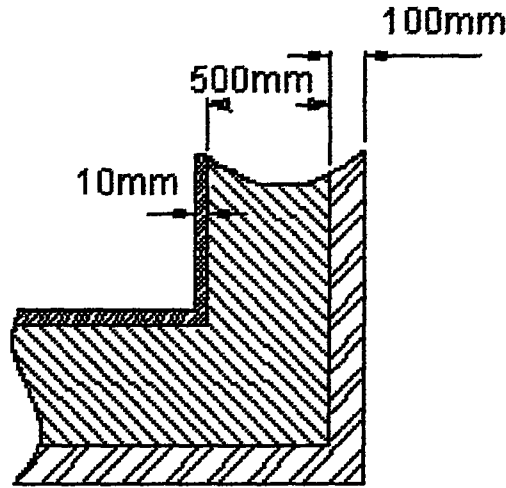
$$T_s^+ = T_s + \frac{Q_u - Q_l - L_s}{\dot{m}_l \times C_s} \quad (5.10) - [10]$$

şeklinde yazmak mümkündür. Deponun, sadece kollektör sayesinde ısı kazancı olacaktır. Ortama ve eve verilen ısı, kayıp olarak alınacaktır. Formül (5.10)'da Q_u kazanç, Q_l ve L_s değerleri de kayıpları göstermektedir.

5.2 EV VE DEPO İZOLASYONU

Güneş enerjili ısıtma sistemimizde, ısı yalıtımı büyük önem taşımaktadır. Radyasyon ile elde ettiğimiz enerjiyi en iyi şekilde depolamak ve evin ihtiyacı olan enerjiyi en aza indirmek, sistemin verimliliğini artırmak açısından en önemli iki unsurdur.

Deponun izolasyonu üç katmandan oluşmaktadır (Şekil 5.1). Birinci katmanda depo malzemesi olan paslanmaz çelik vardır. 10 mm kalınlığındaki paslanmaz çeliğin ısı iletim katsayısı 61 W/mK 'dir. İkinci katman malzemesi, izolasyon için kullanılan taş yünüdür. 500 mm kalınlığında olan taş yünü'nün ısı iletim katsayısı 0.04 W/mK 'dir. Üçüncü ve son katman koruyucu beton satıhtır. 100 mm kalınlığında olan betonun ısı iletim katsayısı 0.896 W/mK 'dir.



Şekil 5.1
Depo İzolasyonu

Deponun toplam ısı kaybı U_s ile gösterilir.

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{9} + \frac{\Delta l_1}{k_1} + \frac{\Delta l_2}{k_2} + \frac{\Delta l_3}{k_3} + \frac{1}{5} \quad (5.11) - [12]$$

Formül (5.11)'de cidar kalınlığı l 'nin ve ısı iletim katsayısı k 'nin indisleri, sırasıyla katmanları ifade eder. Toplam ısı kaybı katsayısı U_s , hazırlanan bilgisayar programı içerisinde hesaplanmaktadır. Sayısal değeri ise yaklaşık 0.077 W/mK'dır.

$$Q_t = U_s \times A_s \times (T_s - T_a') \quad (5.12) - [10]$$

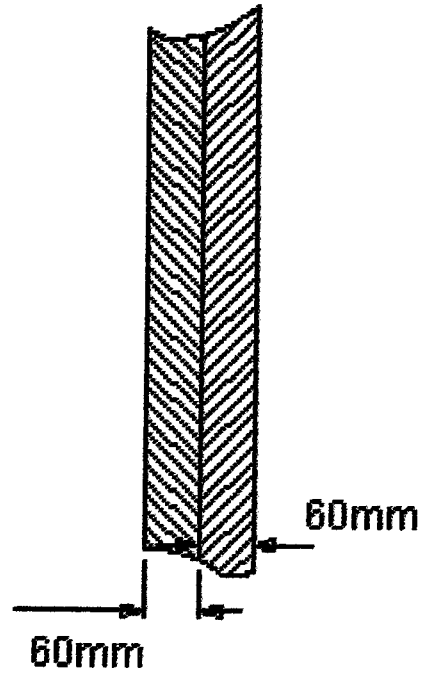
U_s değeri yerine konulduğunda, A_s toplam ısı transferi yüzeyi ve depo suyu sıcaklığı ile çevre havanın sıcaklık farkı ile çarpılır. Böylece depodan çevreye kaybedilen ısı bulunmuş olur (5.12).

Evin izolasyonuna bakıldığında ise dört farklı izolasyon görülür.

Bunlardan ilki çatı izolasyonudur. Çatı iki katmandan oluşmuştur (Şekil 5.2). Birinci katman, mertek arası çatı şiltesidir (Şekil 5.3). 60 mm kalınlığında olan çatı şiltesinin ısı iletim katsayısı 0.04 W/mK'dır. İkinci katman ise meşe ağacından yapılmış çatı malzemesidir. Yine 60 mm kalınlığında olan meşe malzemesinin ısı iletim katsayısı 0.243 W/mK'dır.

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{9} + \frac{\Delta l_1}{k_1} + \frac{\Delta l_2}{k_2} + \frac{1}{25} \quad (5.13) - [12]$$

Formül (5.13)'de l_1 ve l_2 izolasyon kalınlıklarını; k_1 ve k_2 de sırasıyla ısı iletim katsayılarını ifade eder.

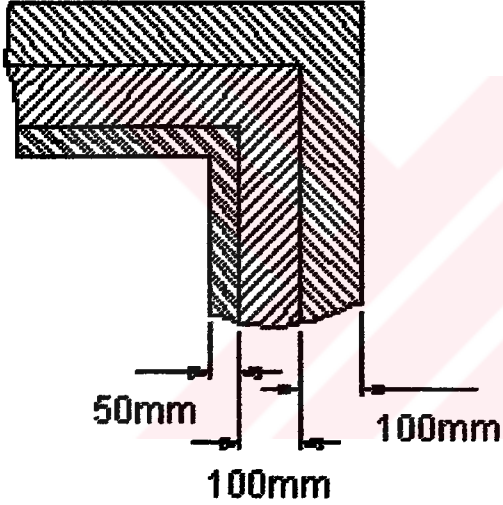


Şekil 5.2
Çatı İzolasyonu



Şekil 5.3 – [11]
Mertek Arası Çatı Şiltesi Montaj Şekli

Güneş evimizde izolasyon yapılan ikinci yer de dış duvarlardır. Evin en büyük ısı kaybı bina yüzeyinden gerçekleşir. Bu ısı kaybını en aza indirmek için dış duvar izolasyonunu 3 katman halinde gerçekleştiririz (Şekil 5.4). Birinci katman 100 mm kalınlığı, 0.523 W/mK ısı iletim katsayısı olan tuğladır. İkinci katman Foamboard 1500 adı verilen izolasyon malzemesidir (Şekil 5.6). Kalınlığı 100 mm ve ısı iletim katsayısı 0.0289 W/mK'dır. Üçüncü katman, Dupan adı verilen duvar arası panodur (Şekil 5.5). 50 mm kalınlığında kullanılan duvar arası panosu ısı iletkenlik katsayısı 0.04 W/mK'dır.

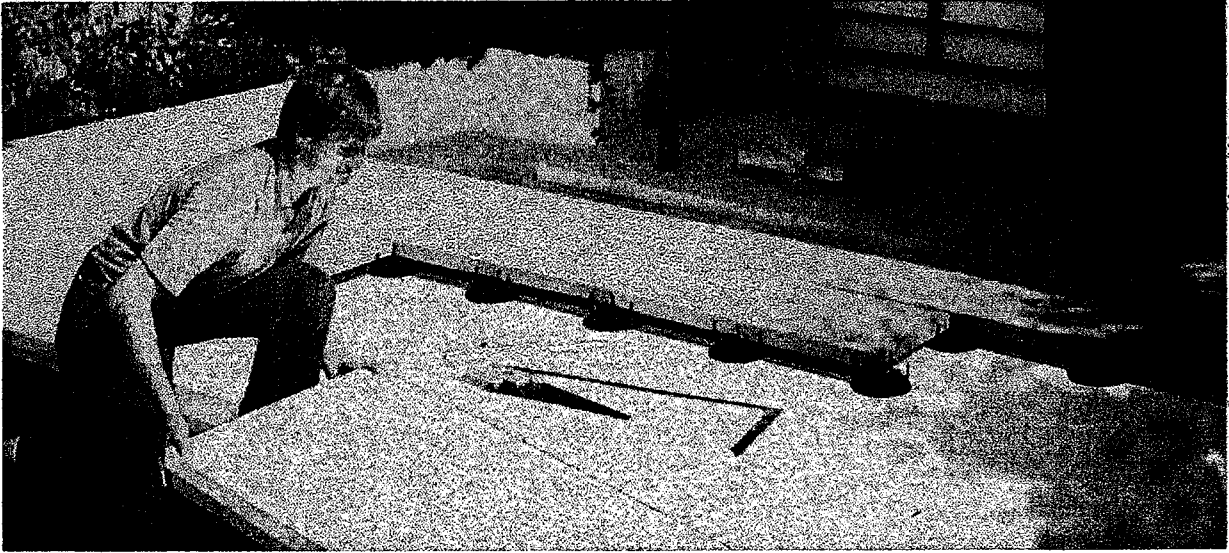


Şekil 5.4
Dış Duvar İzolasyonu



Şekil 5.5 – [11]

Dupan Duvar Panosunun Montaj Şekli



Şekil 5.6 – [11]

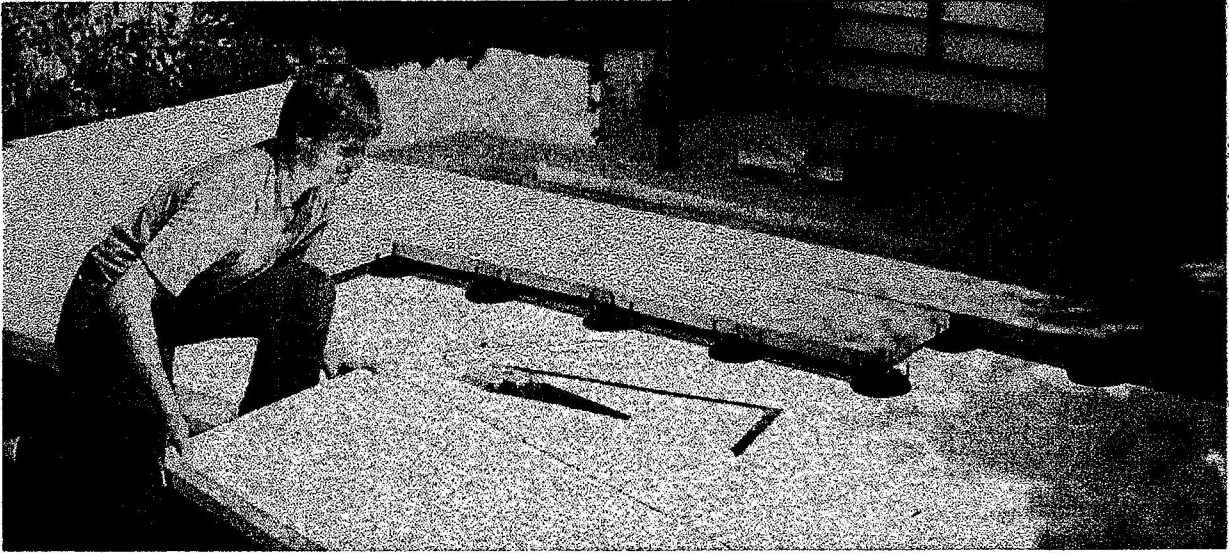
Foamboard 1500'ün Yere Montaj Şekli

Yukarıda özellikleri verilen izolasyon malzemelerinin ısı iletim katsayılarına bakıldığında, Foamboard 1500 adı verilen malzemelerin yalıtım açısından ideal olduğu görülecektir. 100% kapalı gözenekli homojen hücre yapısına sahip olan Foamboard 1500, ekstrüzyon yolu ile üretilen polistiren bir malzemedir.

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{9} + \frac{\Delta l_1}{k_1} + \frac{\Delta l_2}{k_2} + \frac{\Delta l_3}{k_3} + \frac{1}{25} \quad (5.14) - [12]$$

Formül (5.14)'te duvarlar için toplam ısı iletim katsayısı verilmektedir. Δl değerleri sırası ile yalıtım kalınlıklarını, k değerleri ise ısı iletim katsayılarını ifade eder.

Evin izole edilen diğer bir kısmı da bodrum zeminidir (Şekil 5.7). Zeminde, 100 mm kalınlığında 0.04 W/mK ısı iletim katsayısına sahip taş yünü levhası



Şekil 5.6 – [11]

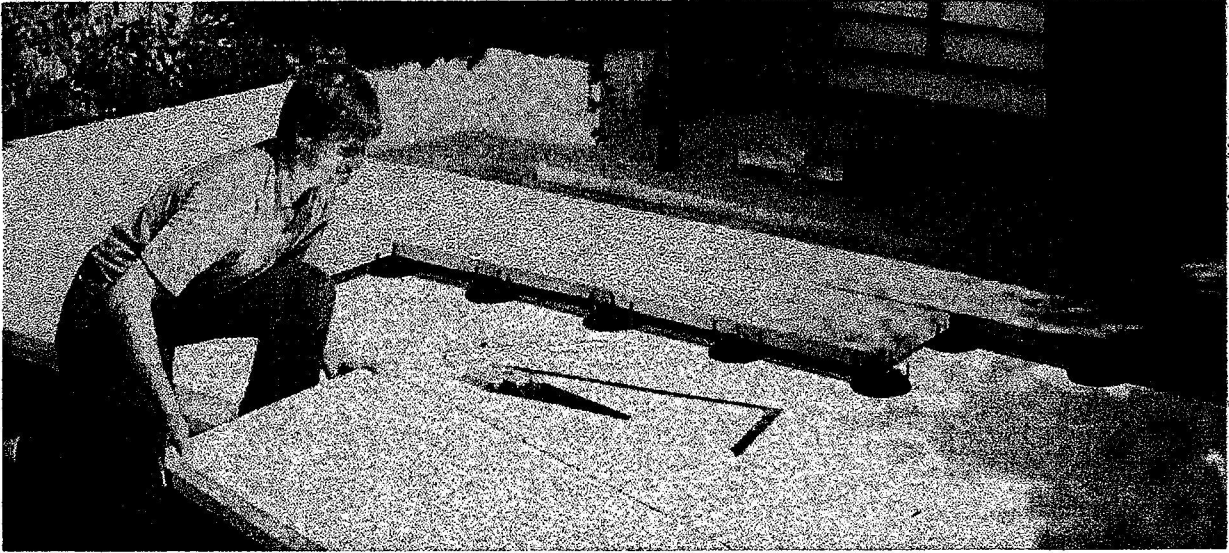
Foamboard 1500'ün Yere Montaj Şekli

Yukarıda özellikleri verilen izolasyon malzemelerinin ısı iletim katsayılarına bakıldığında, Foamboard 1500 adı verilen malzemelerin yalıtım açısından ideal olduğu görülecektir. 100% kapalı gözenekli homojen hücre yapısına sahip olan Foamboard 1500, ekstrüzyon yolu ile üretilen polistiren bir malzemedir.

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{9} + \frac{\Delta l_1}{k_1} + \frac{\Delta l_2}{k_2} + \frac{\Delta l_3}{k_3} + \frac{1}{25} \quad (5.14) - [12]$$

Formül (5.14)'te duvarlar için toplam ısı iletim katsayısı verilmektedir. Δl değerleri sırası ile yalıtım kalınlıklarını, k değerleri ise ısı iletim katsayılarını ifade eder.

Evin izole edilen diğer bir kısmı da bodrum zeminidir (Şekil 5.7). Zeminde, 100 mm kalınlığında 0.04 W/mK ısı iletim katsayısına sahip taş yünü levhası



Şekil 5.6 – [11]

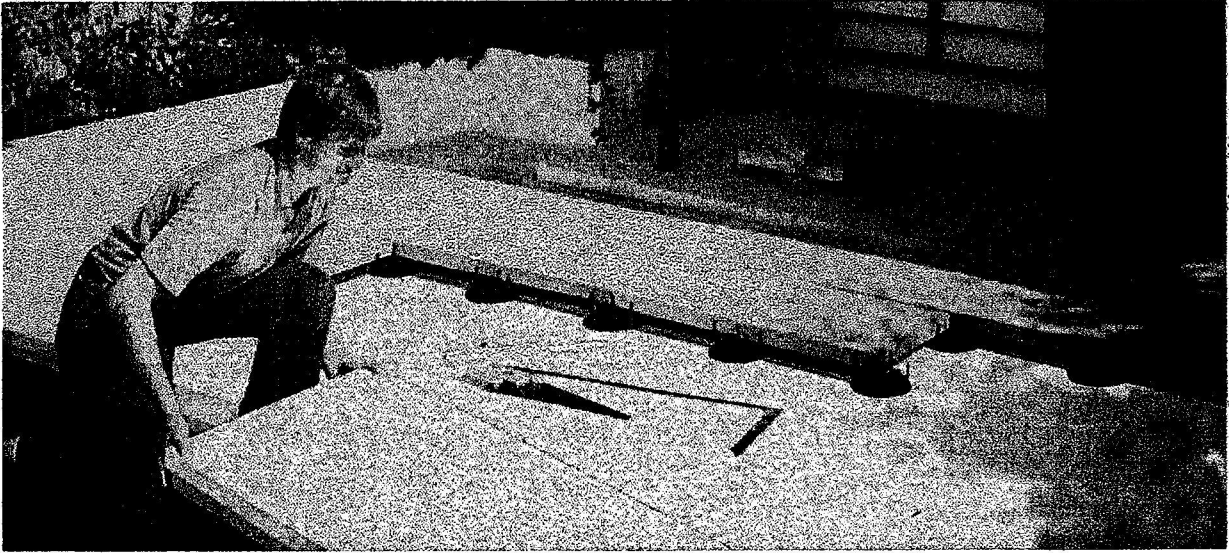
Foamboard 1500'ün Yere Montaj Şekli

Yukarıda özellikleri verilen izolasyon malzemelerinin ısı iletim katsayılarına bakıldığında, Foamboard 1500 adı verilen malzemelerin yalıtım açısından ideal olduğu görülecektir. 100% kapalı gözenekli homojen hücre yapısına sahip olan Foamboard 1500, ekstrüzyon yolu ile üretilen polistiren bir malzemedir.

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{9} + \frac{\Delta l_1}{k_1} + \frac{\Delta l_2}{k_2} + \frac{\Delta l_3}{k_3} + \frac{1}{25} \quad (5.14) - [12]$$

Formül (5.14)'te duvarlar için toplam ısı iletim katsayısı verilmektedir. Δl değerleri sırası ile yalıtım kalınlıklarını, k değerleri ise ısı iletim katsayılarını ifade eder.

Evin izole edilen diğer bir kısmı da bodrum zeminidir (Şekil 5.7). Zeminde, 100 mm kalınlığında 0.04 W/mK ısı iletim katsayısına sahip taş yünü levhası



Şekil 5.6 – [11]

Foamboard 1500'ün Yere Montaj Şekli

Yukarıda özellikleri verilen izolasyon malzemelerinin ısı iletim katsayılarına bakıldığında, Foamboard 1500 adı verilen malzemelerin yalıtım açısından ideal olduğu görülecektir. 100% kapalı gözenekli homojen hücre yapısına sahip olan Foamboard 1500, ekstrüzyon yolu ile üretilen polistiren bir malzemedir.

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{9} + \frac{\Delta l_1}{k_1} + \frac{\Delta l_2}{k_2} + \frac{\Delta l_3}{k_3} + \frac{1}{25} \quad (5.14) - [12]$$

Formül (5.14)'te duvarlar için toplam ısı iletim katsayısı verilmektedir. Δl değerleri sırası ile yalıtım kalınlıklarını, k değerleri ise ısı iletim katsayılarını ifade eder.

Evin izole edilen diğer bir kısmı da bodrum zeminidir (Şekil 5.7). Zeminde, 100 mm kalınlığında 0.04 W/mK ısı iletim katsayısına sahip taş yünü levhası

$$Q_{B1} = A_{d1} \times R_2 \times (20 - T_a) \quad (5.17) - [12]$$

$$Q_{B2} = A_z \times R_3 \times (20 - T_{top}) \quad (5.18) - [12]$$

$$Q_{B3} = A_{d2} \times R_2 \times (20 - T_{top}) \quad (5.19) - [12]$$

$$Q_{11} = A_d \times R_2 \times (20 - T_a) \quad (5.20) - [12]$$

$$Q_{12} = A_c \times R_4 \times (20 - T_a) \quad (5.21) - [12]$$

$$Q_{21} = A_d \times R_2 \times (20 - T_a) \quad (5.22) - [12]$$

$$Q_{22} = A_c \times R_4 \times (20 - T_a) \quad (5.23) - [12]$$

$$Q_{\phi 1} = A_d \times R_2 \times (20 - T_a) \quad (5.24) - [12]$$

$$Q_{\phi 2} = A_{\phi} \times R_1 \times (20 - T_a) \quad (5.25) - [12]$$

$$Q_{\phi 3} = A_c \times R_4 \times (20 - T_a) \quad (5.26) - [12]$$

Yukarıda verilen formüllerin hepsi, iç ortam sıcaklığı 20°C kabul edildiğindeki hesaplardır. Mevsim sıcaklıklarına bağlı olarak değişen dış ortam sıcaklığı da hesaplarda dikkate alınmıştır. Ev, ikiz ev yapısına sahip olduğu için her katta bir duvar, iç duvar kabul edilmiştir. Bu şekilde evin toplam ısı kaybı kolayca bulunabilir.

$$Q_t = 1.2 \times \left(\frac{Q_{B1} + Q_{B2} + Q_{B3} + Q_{11} + Q_{12} + Q_{21} + Q_{22} + Q_{\phi 1} + Q_{\phi 2} + Q_{\phi 3}}{Q_{21} + Q_{22} + Q_{\phi 1} + Q_{\phi 2} + Q_{\phi 3}} \right) \quad (5.27) - [12]$$

Formül (5.27)'den de görüleceği üzere evin toplam ısı kaybı, her katın ayrı ayrı hesaplanan ısı kayıplarının toplamına eşittir. Burada 1.2 katsayısı ile de enflasyon kayıpları hesaba dahil edilmiştir. Bilgisayar programında, mevsim şartlarına göre devamlı değişen dış ortam sıcaklığı dikkate alınarak

saat saat, evin iç sıcaklığı 20°C olduğunda gerçekleşen ısı kaybı bulunmaktadır. Bu değerler aynı zamanda evin ısı ihtiyacını da vermiş olur.



BÖLÜM 6

SİSTEM PERFORMANSI VE SONUÇLAR

6.1 SİSTEMİN PERFORMANS DEĞERLERİ VE SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Güneş evini ısıtmaya yarayan sistemin çalışmasını simüle etmek için, bir bilgisayar programı yazılmıştır. (Ek-A)'da bulunan bilgisayar programı ile depo suyu sıcaklığı, sistemde sirküle edilen suyun depoya dönüş sıcaklığı, evin ısı ihtiyacı, kollektörden elde edilen ısı, depodan ortama kaybedilen ısı, depodan eve verilen ısı ve kullanılan yardımcı ısı kaynağı miktarı ayrı ayrı hesaplanabilmektedir. Mukayeselerde bu değerlerin saat başı değişiminin aylık ortalaması gözönüne alınmıştır. Sistemin bir yıllık çalışması incelenmektedir.

Sistem, Nisan ayı başında çalıştırılmaya başlanmaktadır. Sistem çalışmaya başladığı anda depo suyu sıcaklığı 20 °C'dir. Şekil 6.1'de de görüleceği gibi, Nisan ayı boyunca depo suyu sıcaklığı yaklaşık 24 °C olmaktadır. Dış ortam sıcaklığı ve ışıının kollektörü çalıştırabilecek kadar yüksek olduğu aylarda, depo suyu sıcaklığı da artacaktır. Depo suyu sıcaklığının Mayıs ayı ortalaması 37 °C, Haziran ayı ortalaması 50 °C, Temmuz ayı ortalaması 58.5 °C ve Ağustos ayı ortalaması 63 °C'ye kadar çıkmaktadır. Ağustos ayında pik noktasına ulaşan depo suyu sıcaklığı, bu aydan sonra evi ısıtmaya başlayacağı ve çevreye ısı kaybedeceği için düşmeye başlar. Bu düşme hızı dış ortam sıcaklığı, ışıınım ve deponun yalıtımına bağlıdır. Evin ısı ihtiyacı soğuyan kış aylarında gittikçe artacağından, depodan çekilen ısı da artacaktır. Görüleceği gibi depo suyu sıcaklığının azalması, artması kadar çabuk gerçekleşmez. Bunun nedeninin başında iyi yalıtım gelir.

Eylül ayında ortalama depo sıcaklığı, halen kollektörün ara sıra da olsa çalışabilmesi sayesinde, 62 °C civarında kalır. Fakat meteorolojik şartlar yüzünden Ekim ayında bu değer 56 °C civarına, Kasım ayında ise yaklaşık 47 °C'ye düşer. Aralık ayında depo iyice ısı kaybedeceğinden, ortalaması 34.6 °C'ye kadar düşer. Ocak ayında deponun sıcaklık ortalaması 22.9 °C'dir. Bu da deponun ilk andaki sıcaklığına yakındır. Depo suyu sıcaklığı bu andan itibaren, Şubat ve Mart aylarında 20 °C'ye düşer ve bu sıcaklıkta kalır.

Şekil 6.2'de ve 6.3'te, İzmit iline bağlı Gebze ilçesinin meteorolojik şartları gösterilmektedir. Dış ortam sıcaklığı en yüksek değerine Ağustos ayında, 22.5 °C ile ulaşır. En düşük değeri ise Aralık ayında yaklaşık 2.4 °C'dir. Grafik 3'te Gebze şartlarında saatlik ısınım büyüklükleri verilmektedir. Faydalı ısınım sadece sabah saat 8 ile akşam saat 7 arasında olabileceği için, değerler bu saat dilimleri arasında gösterilmiştir. En fazla ısınım Haziran ve Temmuz aylarında, yaklaşık 2.5 MJ/m²h ile gerçekleşir. Aralık ayında ise güneş ısınımı yok denebilecek kadar azdır. Grafikten de anlaşılacağı gibi kollektörün ısınımdan faydalanabileceği aylar Nisan ve Eylül arasındır.

Depo sıcaklığı kollektörden çekilen ısı miktarına göre artar. Bu ısı miktarına, güneş enerjisinden kazanç diyebiliriz. Şekil 6.4'te, güneş enerjisinden depoya aktarılabilen ısı enerjisi miktarının saat bazında aylık ortalaması verilmektedir. Görüleceği gibi en büyük kazanç Mayıs ayında 16 MJ/h olarak gerçekleşir. Bunun nedeni de deponun sıcaklığının henüz düşük olmasıdır. Böylece, gelen ısınım Mayıs ayında depo sıcaklığına daha büyük bir etki yapar. Güneş enerjisi kazancı Ekim, Kasım ve Aralık aylarında sıfırdır. Eylül ve Ocak aylarında bu değer dikkate alınmayacak kadar küçüktür. ısınım değerlerinin etki edemeyecek kadar düşük olduğu Şubat ve Mart aylarında, güneş ısınımı kazancı varmış gibi görünmesi depo suyu sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanır. Bu güneş ısınımı değerleri ile deponun sıcaklığı belki artmaz, ama evin ısı ihtiyacının bir kısmı karşılanabilir.

Evin ısı ihtiyacı miktarı Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Dış ortam sıcaklığının çok düşük olduğu aylarda, evin ısı ihtiyacı daha da artacaktır. Bu durumda 10.8 MJ/h ile en fazla ısı ihtiyacı, Aralık ayında gerçekleşir. Bu değeri 10.8 MJ/h ile Şubat ayı izler. Kasım, Ocak ve Mart aylarında evin ısı ihtiyacı sırasıyla yaklaşık olarak 8.4 MJ/h, 9.7 MJ/h ve 9.8 MJ/h'tir. Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında bu değer sıfırdır. Bu aylarda dış ortam sıcaklığı yüksek olacağından evi ısıtmak gerekmemektedir. Nisan, Eylül ve Ekim aylarında evin ısı ihtiyacı yüksek olmamakla beraber sırasıyla 6MJ/h, 2 MJ/h ve 4.7 MJ/h değerlerini alacaktır. Şekil 6.6'da evin ısı ihtiyacı ve güneşten elde edilen ısı kazancı miktarı arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Evin ısı ihtiyacı Mayıs ayında sıfırken, ısı kazancı 16 MJ/h ile en yüksek değerindedir. Bu da deponun ısıtılması açısından en faydalı ayın Mayıs olduğunu gösterir. Aralık ayında ise tam ters bir durum söz konusudur. ısı kazancı sıfır değerini alırken, evin ısı ihtiyacı 10.8 MJ/h ile en yüksek değerine ulaşır. Bu da evin ısı ihtiyacının tamamen depodan karşılanacağını ve sistem için en kritik ayın Aralık olduğunu gösterir.

Depo, evin ısı ihtiyacına bağlı olarak evi beslemeye çalışacaktır. Eve verilen ısı miktarı Şekil 6.7'de gösterilmiştir. Eve en çok ısı 10.8 MJ/h ile Aralık ayında verilir. Eylül, Ekim ve Kasım aylarında eve sırasıyla, 2.2 MJ/h, 4.7 MJ/h ve 8.4 MJ/h ısı verilir. Mayıs, Ağustos aylarında eve ısı verilmeyeceğinden sıfır değerini alır. Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarında depo sıcaklığı istenen değerin altında olduğu halde, yine de evi beslemeye devam eder. Sırasıyla 7 MJ/h, 4 MJ/h, 5.3 MJ/h ve 5.9 MJ/h miktarlarında ısı verilerek evin ısı ihtiyacının bir kısmı karşılanır.

Şekil 6.8'de, evin ihtiyacı olan ısı miktarı ile eve verilen ısı miktarlarının oranı gösterilmiştir. Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında eve verilen ısı ile evin ihtiyacı aynı mertebededir. Bu da göstermektedir ki, depo Aralık ayı sonuna kadar evin ısı ihtiyacını rahatlıkla karşılayabilmektedir. Aralık ayından sonra ise, depo sıcaklığı evi besleyemeyecek kadar düşecektir. Yine de kollektörün devreye girdiği anlarda elde edilebilecek ısı ile evin ısı ihtiyacının bir kısmı

karşılanabilir. Sistemin çalışmaya başladığı Nisan ayında ise depo sıcaklığı henüz evi besleyebilecek kadar yükselmediği için, ısı ihtiyacını tamamen karşılayamaz. Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ise zaten evin ısı ihtiyacı olmadığı için ev beslenmeyecektir.

Depo kolektörden kazandığı ısıya rağmen, iki şekilde de ısı kaybeder. Bunlardan ilki evi besleyerek olur, ikincisi ise çevreye olan ısı kaybıdır.

Şekil 6.9'da görüldüğü gibi, depodan en çok ısı kaybı ortalama 2.3 MJ/h ile Ağustos ayında olur. Bunun nedeni, depo sıcaklığının Ağustos ayında en yüksek değerine ulaşmasıdır. Depo ile çevre arasında sıcaklık farkı arttıkça, dolayısıyla ısı kaybı da artacaktır. Depodan olan ısı kaybı Haziran, Temmuz, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında da yüksek değerlerdedir. Sırasıyla, 2 MJ/h, 2.2 MJ/h, 1.9 MJ/h, 1.4 MJ/h değerlerine ulaşır. Depo sıcaklığının yüksek olmadığı Nisan, Mayıs, Aralık ve Ocak aylarında ısı kayıp değerleri sırasıyla, 214 kJ/h, 901 kJ/h, 774 kJ/h ve 154 kJ/h'dır. Depo sıcaklığının dış ortam sıcaklığı seviyesine yakın değerlere düştüğü Şubat ve Mart aylarında, ısı kaybı değeri de sırasıyla, 3 kJ/h ve 4 kJ/h civarında olur.

Şekil 6.10'da ise evin ısıtılabilmesi için gerekli olan yardımcı ısı kaynağı değerleri gösterilmiştir. Sistemin ilk devreye girdiği Nisan ayında, sadece 99 kJ/h'lık bir ısı değerine ihtiyaç vardır. Bunun nedeni de deponun henüz istenen sıcaklığa ulaşamamasıdır. Nisan ayından sonra Aralık ayının sonuna kadar yardımcı ısı kaynağı devreye girmez. Ocak ayında depo sıcaklığı yetersiz kalmaya başlayacağından, 2 MJ/h'lık bir ısıtma, yardımcı ısı kaynağı tarafından yapılır. Şubat ayı, 6.4 MJ/h'lık ısı değeri ile yardımcı ısı kaynağına en çok gerek duyulan aydır. Mart ayında ise kolektörden bir miktar ısı elde edilebildiği için, yardımcı ısı kaynağından eve verilen ısı değeri 4.5 MJ/h'a düşer.

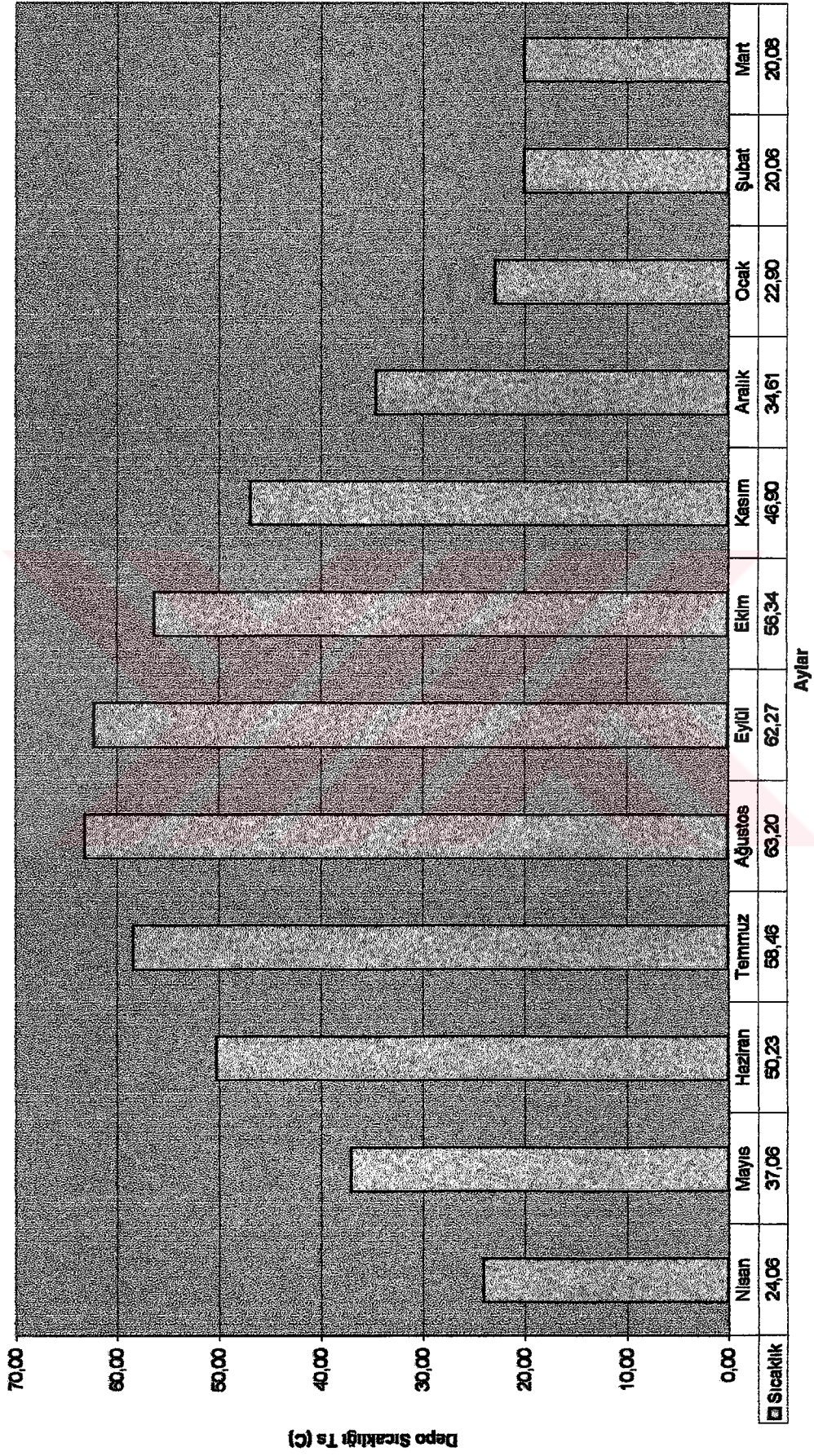
Yapılan hesaplar, güneş evinin Gebze şartlarında yapılabilirliğini ispatlamıştır. Şekillerden de anlaşılacağı gibi sistem, bir yardımcı ısı kaynağı

kullanılırsa evin ısı ihtiyacını karşılayabilmektedir. Bu yardımcı ısı kaynağının gücü, emniyet için hesaplanan maksimum değerden yüksek seçilmelidir. Yardımcı ısı kaynağının gücü yaklaşık 8 MJ/h seçilebilir.

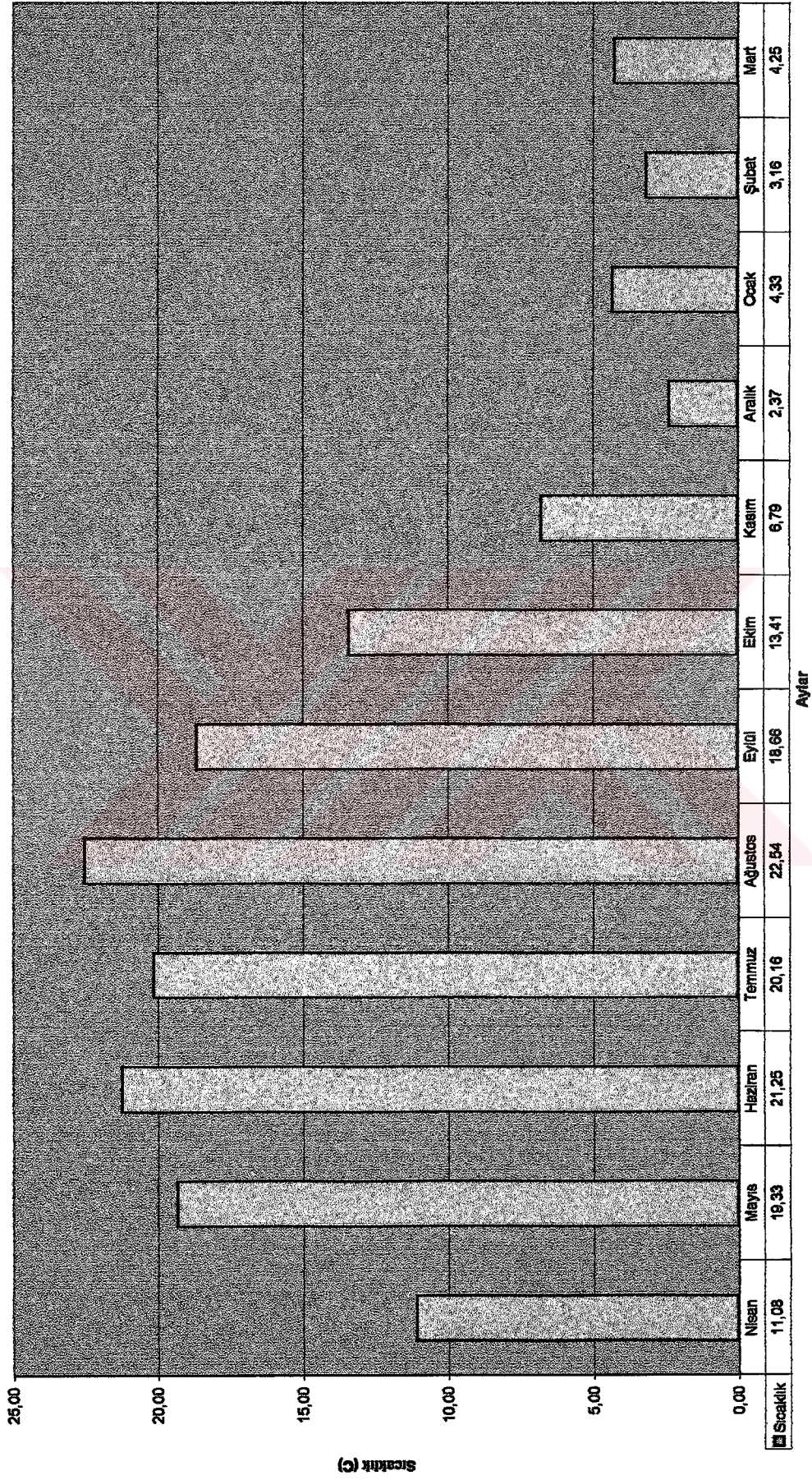
Sistemin çalışması ile, evin iç sıcaklığı bütün kış ayları boyunca 20°C'de tutulabilmektedir. Böylece evin ısıtılması için bu sistem haricinde başka bir ısıtma sistemine ihtiyaç duyulmamaktadır. İlk kuruluş maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen, Gebze şartlarında bulunan bir güneş evini ısıtmak için sadece ufak bir yardımcı ısı kaynağına ihtiyacı vardır. Bu da evin işletme maliyetinin, yok denecek kadar az olduğunu gösterir. Yapılan bu fizibilite çalışması diğer ısıtma sistemlerine göre güneş enerjili ısıtma sisteminin, daha kullanışlı ve daha ucuz olduğunu ispatlamıştır.



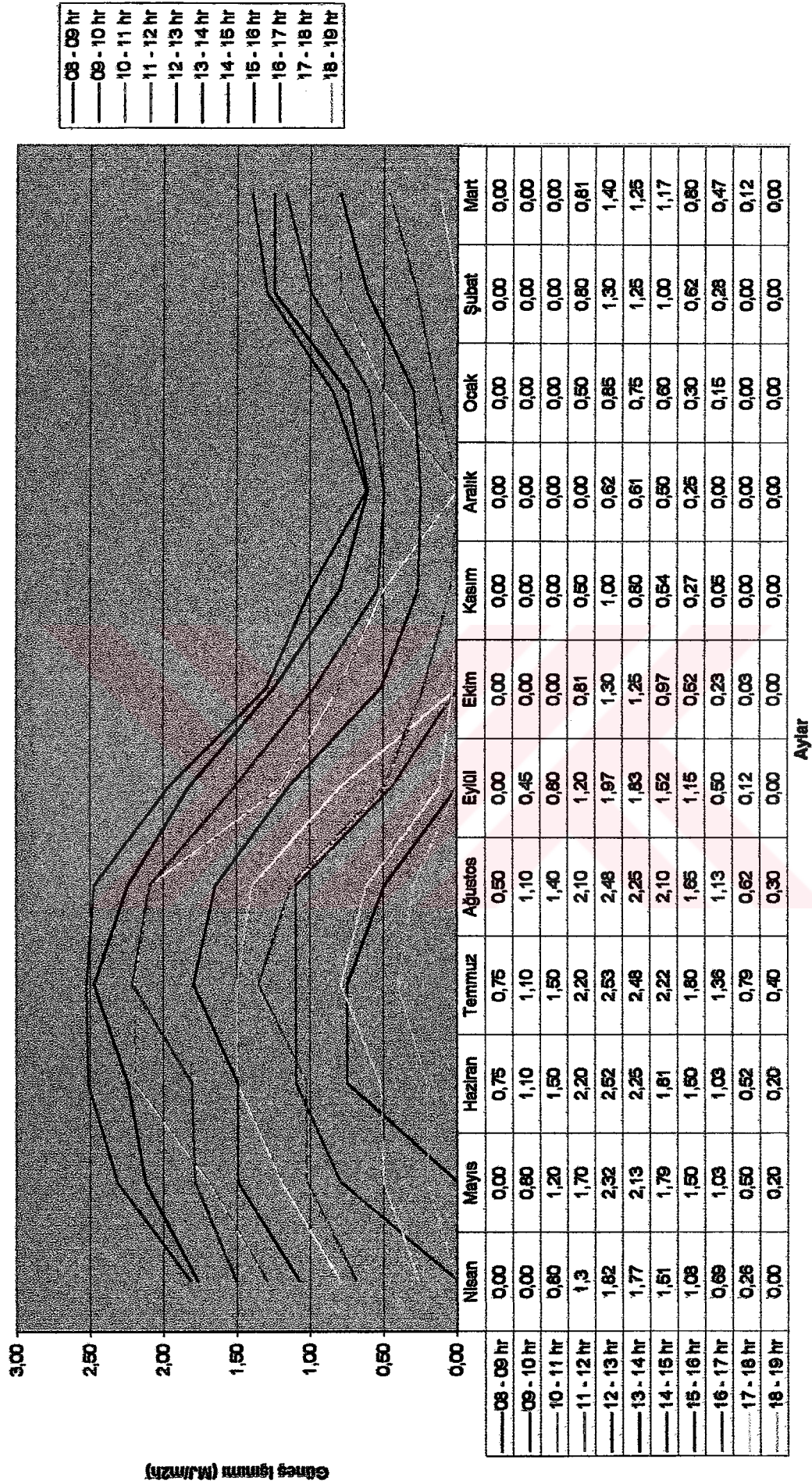
Şekil 6.1
Aylık Ortalama Depo Sıcaklığı



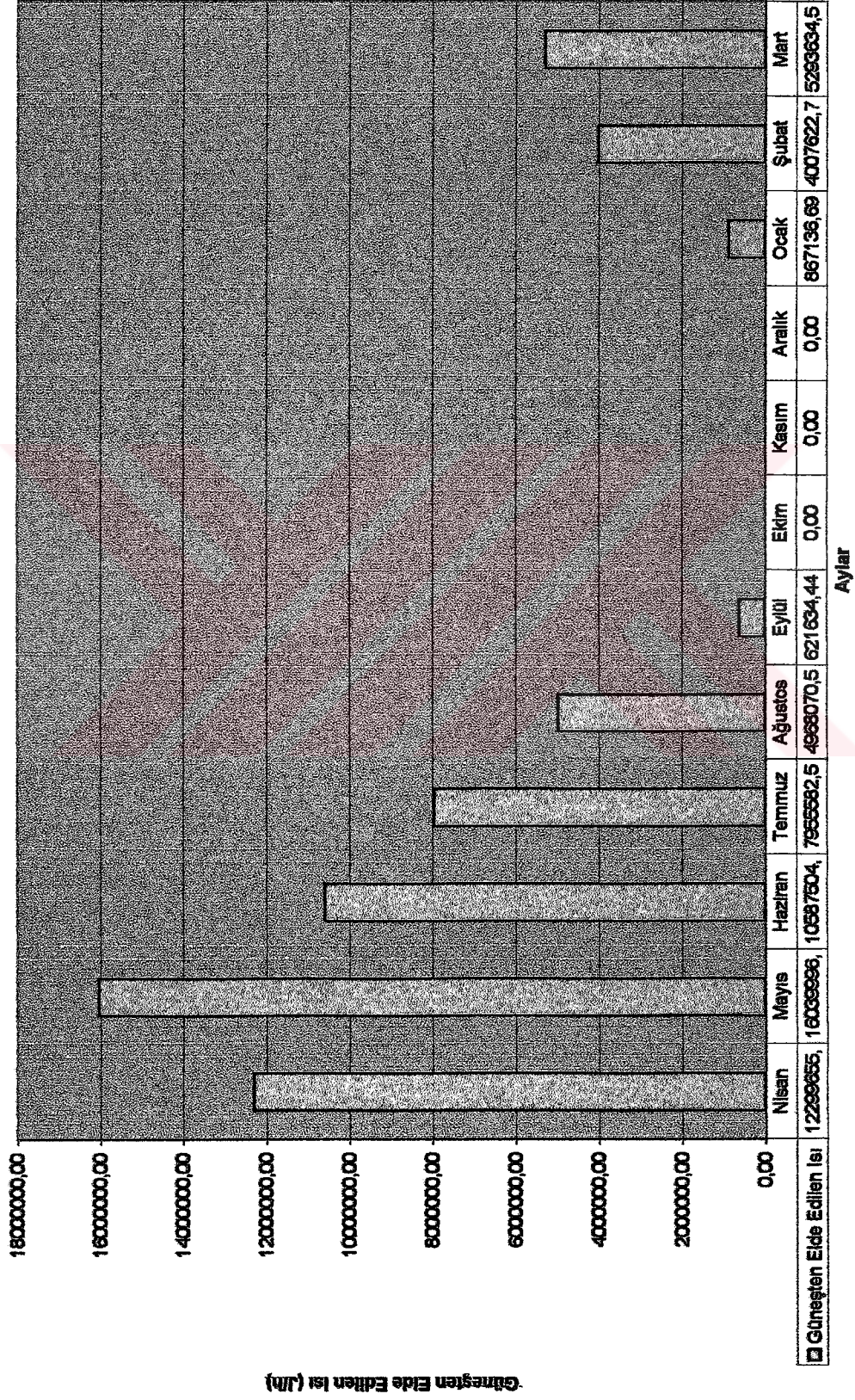
Şekil 6.2
Aylık Ortalam Dış Ortam Sıcaklığı



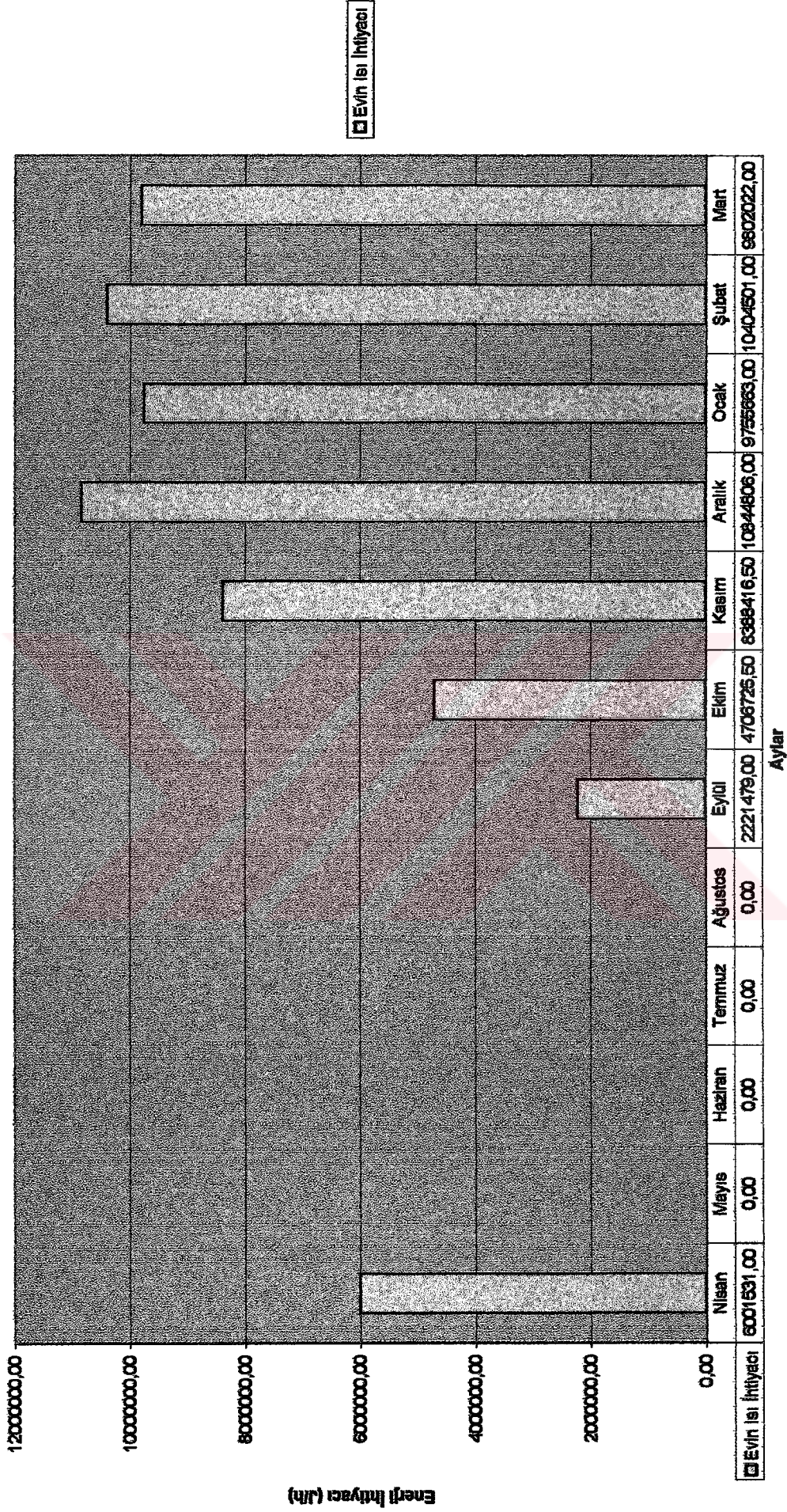
■ Sıcaklık



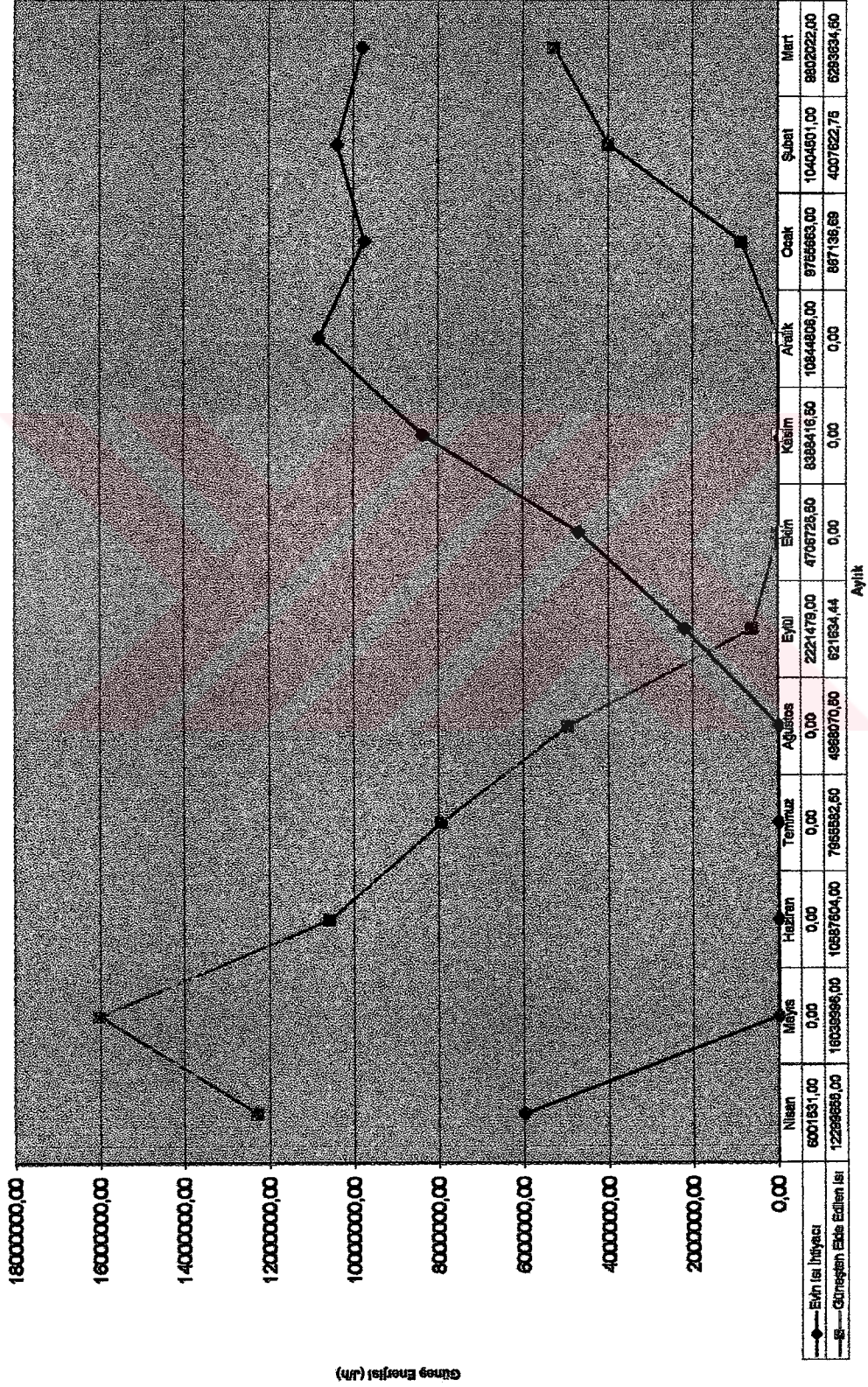
Şekil 6.4
Güneşten Elde Edilen Aylık Ortalama Isı



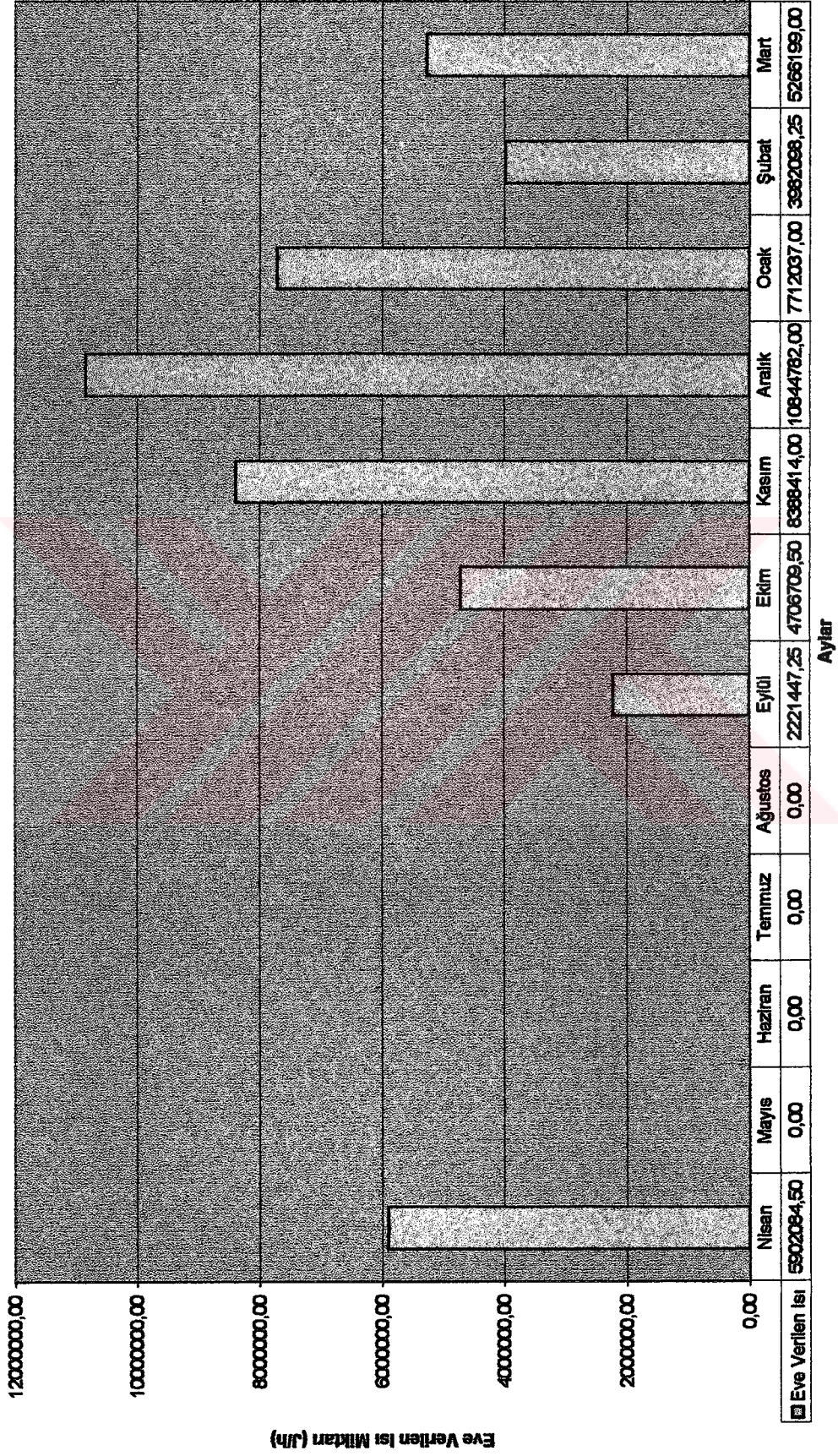
Şekil 6.5
Evin Aylık Ortalama Enerji İhtiyacı



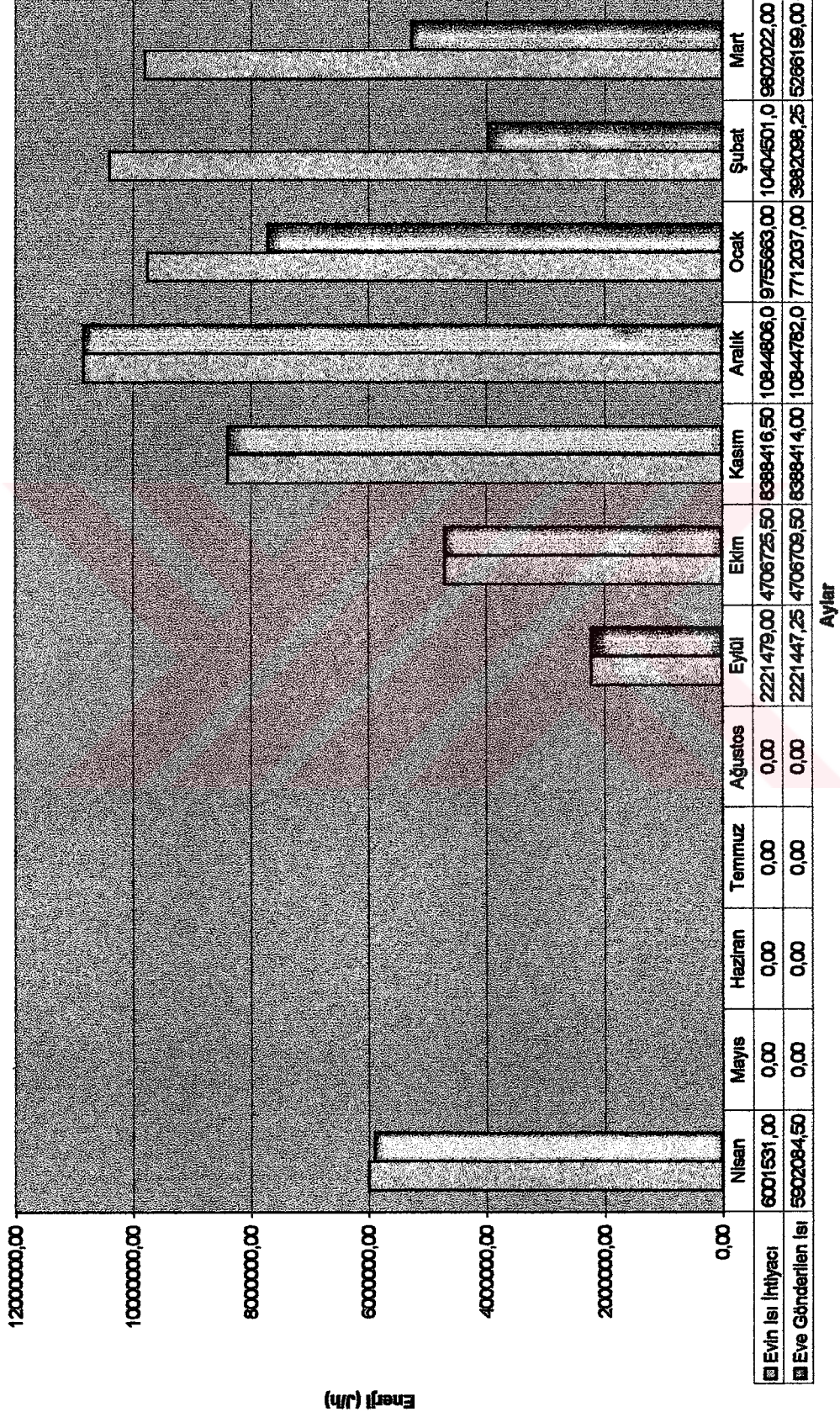
Şekil 6.6
Evin Aylık Ortalama Isı İhtiyacı - Güneşten Elde Edilen Isı



Şekil 6.7
Depo Tarafından Eve Gönderilen Aylık Ortalama Isı Miktarı

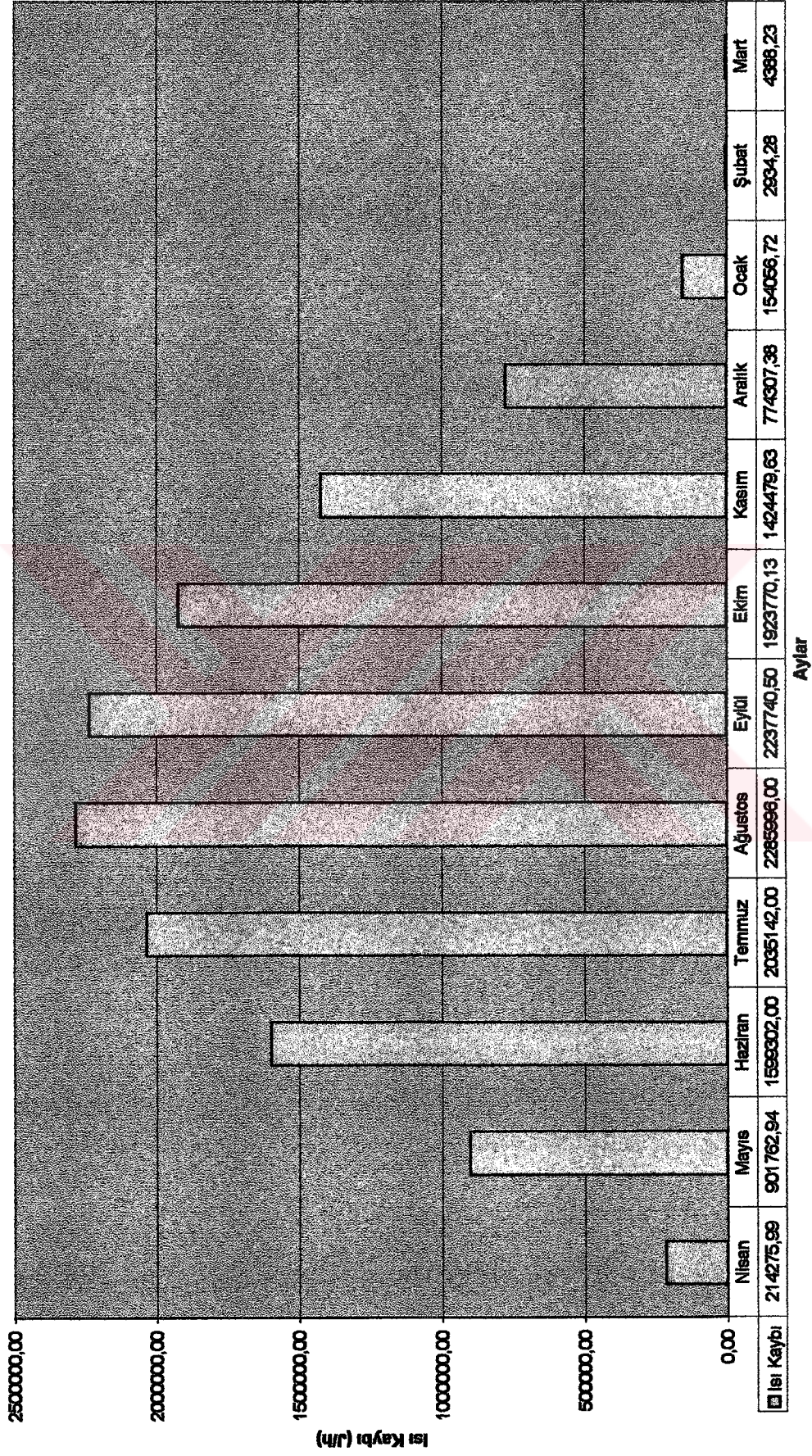


Şekil 6.8
Evin Aylık Ortalama Isı İhtiyacı - Eve Gönderilen Isı



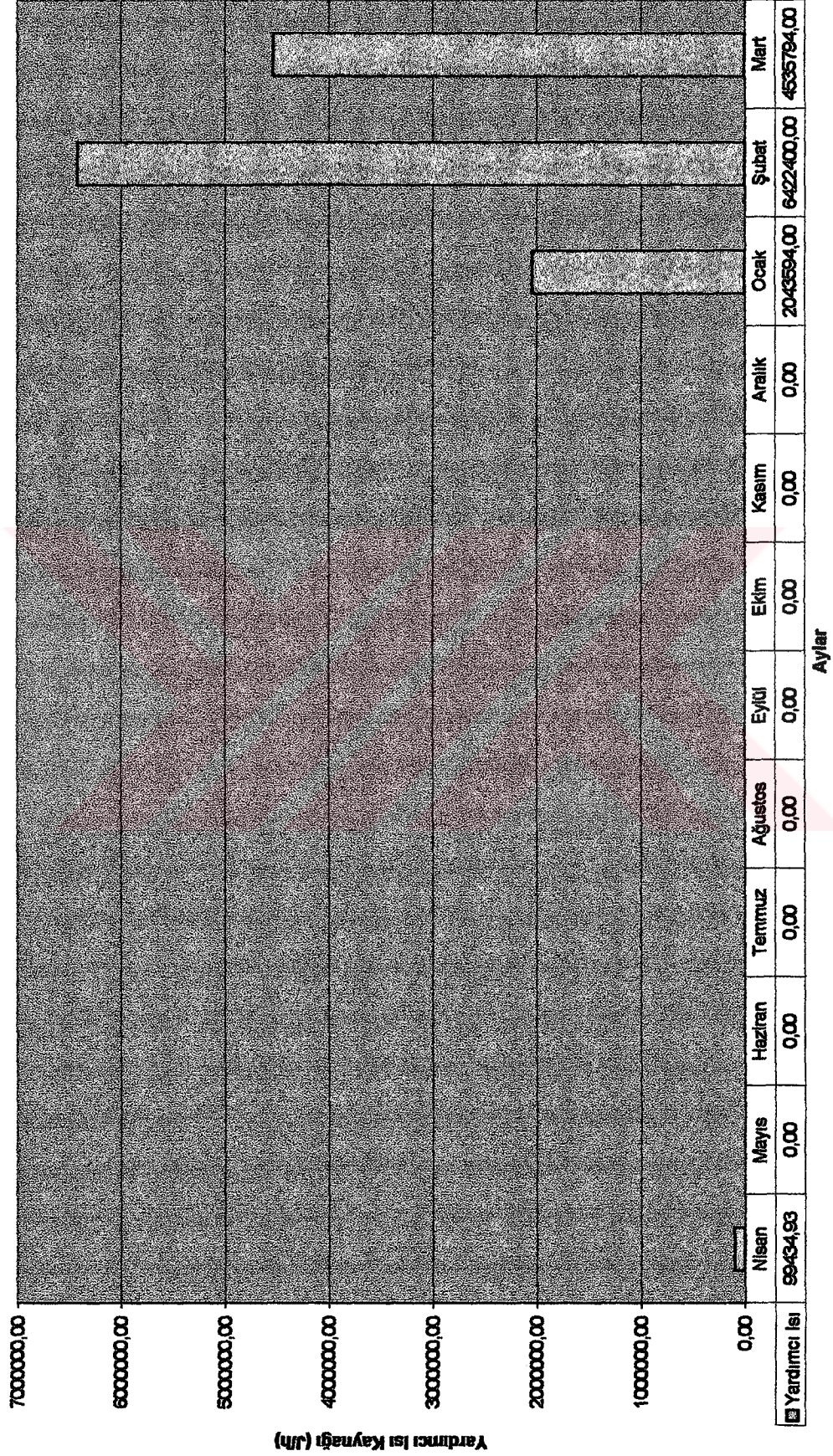
Energy (J/h)

Şekil 6.9
Depodan Ortama Kaybedilen Aylık Ortalama Isı



Isı Kaybı

Şekil 6.10
Aylık Ortalama Yardımcı Isı Enerjisi



EK - A

BİLGİSAYAR PROGRAMI

CLS

AC = 100: ALAN = 190: FR = .78: ML = 5
MS = 150000: MC = 5: CC = 3350: CS = 4190
UL = 8: TAMB = 20: TOPRAK = 8
delta = .85: gama = .94: alfa = .77
K1 = .04: K2 = .243: K3 = .523: K4 = .0289
K5 = .08: K6 = 61: K7 = .896
D1 = .06: D2 = .1: D3 = .05: D4 = .014
D5 = .01: D6 = .5

DIM ISI(30, 24): DIM TA(30, 24): DIM QU(30, 24)
DIM QL(30, 24): DIM TS(31, 25): DIM S(30, 24)
DIM TL(30, 24): DIM QYAR(30, 24): DIM QTOPLAM(30, 24)
DIM LS(30, 24)

TS(1, 1) = 20

$R1 = (1 / ((1 / 9) + (D1 / K1) + (D1 / K2) + (1 / 25)))$

$R2 = (1 / ((1 / 9) + (D2 / K3) + (D2 / K4) + (D3 / K1) + (1 / 25)))$

$R3 = (1 / ((1 / 9) + (D2 / K1) + (1 / 2)))$

$R4 = (1 / ((1 / 9) + (D4 / K5) + (1 / 25)))$

$US = (1 / ((1 / 9) + (D5 / K6) + (D6 / K1) + (D2 / K7) + (1 / 5)))$

FOR H = 1 TO 12

HESAP = 0

IF H = 1 THEN

GOTO 1300

ELSEIF H = 2 THEN

GOTO 1400

ELSEIF H = 3 THEN

GOTO 1500

ELSEIF H = 4 THEN

GOTO 1600

ELSEIF H = 5 THEN

GOTO 1700

ELSEIF H = 6 THEN

GOTO 1800

ELSEIF H = 7 THEN

GOTO 1900

ELSEIF H = 8 THEN

GOTO 2000

ELSEIF H = 9 THEN

GOTO 2100

ELSEIF H = 10 THEN

GOTO 1000

ELSEIF H = 11 THEN

GOTO 1100

ELSEIF H = 12 THEN

GOTO 1200

END IF

1000

REM OCAK

FOR L = 1 TO 30

ISI(L, 1) = 0:	ISI(L, 2) = 0:	ISI(L, 3) = 0:	ISI(L, 4) = 0
ISI(L, 5) = 0:	ISI(L, 6) = 0:	ISI(L, 7) = 0:	ISI(L, 8) = 0
ISI(L, 9) = 0:	ISI(L, 10) = 0:	ISI(L, 11) = .5:	ISI(L, 12) = .85
ISI(L, 13) = .75:	ISI(L, 14) = .6:	ISI(L, 15) = .3:	ISI(L, 16) = .15
ISI(L, 17) = 0:	ISI(L, 18) = 0:	ISI(L, 19) = 0:	ISI(L, 20) = 0
ISI(L, 21) = 0:	ISI(L, 22) = 0:	ISI(L, 23) = 0:	ISI(L, 24) = 0

NEXT

FOR L = 1 TO 30

TA(L, 1) = -3:	TA(L, 2) = -1:	TA(L, 3) = 0:	TA(L, 4) = 1
TA(L, 5) = 2:	TA(L, 6) = 3:	TA(L, 7) = 5:	TA(L, 8) = 6
TA(L, 9) = 6:	TA(L, 10) = 7:	TA(L, 11) = 8:	TA(L, 12) = 9
TA(L, 13) = 10:	TA(L, 14) = 11:	TA(L, 15) = 10:	TA(L, 16) = 8
TA(L, 17) = 7:	TA(L, 18) = 6:	TA(L, 19) = 5:	TA(L, 20) = 3
TA(L, 21) = 2:	TA(L, 22) = 1:	TA(L, 23) = 0:	TA(L, 24) = -2

NEXT

GOTO 3000

1100

REM SUBAT

FOR L = 1 TO 30

ISI(L, 1) = 0:	ISI(L, 2) = 0:	ISI(L, 3) = 0:	ISI(L, 4) = 0
ISI(L, 5) = 0:	ISI(L, 6) = 0:	ISI(L, 7) = 0:	ISI(L, 8) = 0
ISI(L, 9) = 0:	ISI(L, 10) = 0:	ISI(L, 11) = .8:	ISI(L, 12) = 1.3
ISI(L, 13) = 1.25:	ISI(L, 14) = 1:	ISI(L, 15) = .62:	ISI(L, 16) = .28
ISI(L, 17) = 0:	ISI(L, 18) = 0:	ISI(L, 19) = 0:	ISI(L, 20) = 0
ISI(L, 21) = 0:	ISI(L, 22) = 0:	ISI(L, 23) = 0:	ISI(L, 24) = 0

NEXT

FOR L = 1 TO 30

TA(L, 1) = -3:	TA(L, 2) = -1:	TA(L, 3) = 0:	TA(L, 4) = 2
TA(L, 5) = 2:	TA(L, 6) = 3:	TA(L, 7) = 3:	TA(L, 8) = 3
TA(L, 9) = 4:	TA(L, 10) = 5:	TA(L, 11) = 6:	TA(L, 12) = 7
TA(L, 13) = 8:	TA(L, 14) = 8:	TA(L, 15) = 8:	TA(L, 16) = 7
TA(L, 17) = 6:	TA(L, 18) = 5:	TA(L, 19) = 3:	TA(L, 20) = 2
TA(L, 21) = 1:	TA(L, 22) = 0:	TA(L, 23) = -1:	TA(L, 24) = -2

NEXT

GOTO 3000

1200

REM MART

FOR L = 1 TO 30

ISI(L, 1) = 0:	SI(L, 2) = 0:	ISI(L, 3) = 0:	ISI(L, 4) = 0
ISI(L, 5) = 0:	ISI(L, 6) = 0:	ISI(L, 7) = 0:	ISI(L, 8) = 0
ISI(L, 9) = 0:	ISI(L, 10) = 0:	ISI(L, 11) = .81:	ISI(L, 12) = 1.4
ISI(L, 13) = 1.25:	ISI(L, 14) = 1.17:	ISI(L, 15) = .8:	ISI(L, 16) = .47
ISI(L, 17) = .12:	ISI(L, 18) = 0:	ISI(L, 19) = 0:	ISI(L, 20) = 0
ISI(L, 21) = 0:	ISI(L, 22) = 0:	ISI(L, 23) = 0:	ISI(L, 24) = 0

NEXT

FOR L = 1 TO 30

TA(L, 1) = 1:	TA(L, 2) = 0:	TA(L, 3) = 1:	TA(L, 4) = 2
TA(L, 5) = 2:	TA(L, 6) = 2:	TA(L, 7) = 2:	TA(L, 8) = 3
TA(L, 9) = 4:	TA(L, 10) = 5:	TA(L, 11) = 6:	TA(L, 12) = 8
TA(L, 13) = 9:	TA(L, 14) = 9:	TA(L, 15) = 9:	TA(L, 16) = 8
TA(L, 17) = 7:	TA(L, 18) = 6:	TA(L, 19) = 5:	TA(L, 20) = 5
TA(L, 21) = 3:	TA(L, 22) = 2:	TA(L, 23) = 2:	TA(L, 24) = 1

NEXT

GOTO 3000

1300

REM NISAN

FOR L = 1 TO 30

ISI(L, 1) = 0:	ISI(L, 2) = 0:	ISI(L, 3) = 0:	ISI(L, 4) = 0
ISI(L, 5) = 0:	ISI(L, 6) = 0:	ISI(L, 7) = 0:	ISI(L, 8) = 0
ISI(L, 9) = 0:	ISI(L, 10) = .8:	ISI(L, 11) = 1.3:	ISI(L, 12) = 1.82
ISI(L, 13) = 1.77:	ISI(L, 14) = 1.51:	ISI(L, 15) = 1.08:	ISI(L, 16) = .69
ISI(L, 17) = .26:	ISI(L, 18) = 0:	ISI(L, 19) = 0:	ISI(L, 20) = 0
ISI(L, 21) = 0:	ISI(L, 22) = 0:	ISI(L, 23) = 0:	ISI(L, 24) = 0

NEXT

FOR L = 1 TO 30

TA(L, 1) = 6:	TA(L, 2) = 7:	TA(L, 3) = 7:	TA(L, 4) = 8
TA(L, 5) = 9:	TA(L, 6) = 10:	TA(L, 7) = 10:	TA(L, 8) = 11
TA(L, 9) = 12:	TA(L, 10) = 13:	TA(L, 11) = 14:	TA(L, 12) = 16
TA(L, 13) = 16:	TA(L, 14) = 17:	TA(L, 15) = 17:	TA(L, 16) = 15
TA(L, 17) = 14:	TA(L, 18) = 13:	TA(L, 19) = 11:	TA(L, 20) = 10
TA(L, 21) = 9:	TA(L, 22) = 8:	TA(L, 23) = 7:	TA(L, 24) = 6

NEXT

GOTO 3000

1400

REM MAYIS

FOR L = 1 TO 30

ISI(L, 1) = 0:	ISI(L, 2) = 0:	ISI(L, 3) = 0:	ISI(L, 4) = 0
ISI(L, 5) = 0:	ISI(L, 6) = 0:	ISI(L, 7) = 0:	ISI(L, 8) = 0
ISI(L, 9) = .8:	ISI(L, 10) = 1.2:	ISI(L, 11) = 1.7:	ISI(L, 12) = 2.32
ISI(L, 13) = 2.13:	ISI(L, 14) = 1.79:	ISI(L, 15) = 1.5:	ISI(L, 16) = 1.03
ISI(L, 17) = .5:	ISI(L, 18) = .2:	ISI(L, 19) = 0:	ISI(L, 20) = 0
ISI(L, 21) = 0:	ISI(L, 22) = 0:	ISI(L, 23) = 0:	ISI(L, 24) = 0

NEXT

FOR L = 1 TO 30

TA(L, 1) = 10:	TA(L, 2) = 11:	TA(L, 3) = 13:	TA(L, 4) = 15
TA(L, 5) = 17:	TA(L, 6) = 18:	TA(L, 7) = 19:	TA(L, 8) = 20
TA(L, 9) = 21:	TA(L, 10) = 21:	TA(L, 11) = 23:	TA(L, 12) = 25
TA(L, 13) = 26:	TA(L, 14) = 27:	TA(L, 15) = 28:	TA(L, 16) = 27
TA(L, 17) = 25:	TA(L, 18) = 23:	TA(L, 19) = 21:	TA(L, 20) = 19
TA(L, 21) = 17:	TA(L, 22) = 15:	TA(L, 23) = 13:	TA(L, 24) = 10

NEXT

GOTO 3000

1500

REM HAZIRAN

FOR L = 1 TO 30

ISI(L, 1) = 0:	ISI(L, 2) = 0:	ISI(L, 3) = 0:	ISI(L, 4) = 0
ISI(L, 5) = 0:	ISI(L, 6) = 0:	ISI(L, 7) = 0:	ISI(L, 8) = .75
ISI(L, 9) = 1.1:	ISI(L, 10) = 1.5:	ISI(L, 11) = 2.2:	ISI(L, 12) = 2.52
ISI(L, 13) = 2.25:	ISI(L, 14) = 1.81:	ISI(L, 15) = 1.5:	ISI(L, 16) = 1.03
ISI(L, 17) = .52:	ISI(L, 18) = .2:	ISI(L, 19) = 0:	ISI(L, 20) = 0
ISI(L, 21) = 0:	ISI(L, 22) = 0:	ISI(L, 23) = 0:	ISI(L, 24) = 0

NEXT

FOR L = 1 TO 30

TA(L, 1) = 14:	TA(L, 2) = 15:	TA(L, 3) = 16:	TA(L, 4) = 17
TA(L, 5) = 17:	TA(L, 6) = 18:	TA(L, 7) = 19:	TA(L, 8) = 20
TA(L, 9) = 21:	TA(L, 10) = 22:	TA(L, 11) = 24:	TA(L, 12) = 27
TA(L, 13) = 29:	TA(L, 14) = 30:	TA(L, 15) = 29:	TA(L, 16) = 29
TA(L, 17) = 28:	TA(L, 18) = 25:	TA(L, 19) = 22:	TA(L, 20) = 20
TA(L, 21) = 19:	TA(L, 22) = 18:	TA(L, 23) = 16:	TA(L, 24) = 15

NEXT

GOTO 3000

1600

REM TEMMUZ

FOR L = 1 TO 30

ISI(L, 1) = 0:	ISI(L, 2) = 0:	ISI(L, 3) = 0:	ISI(L, 4) = 0
ISI(L, 5) = 0:	ISI(L, 6) = 0:	ISI(L, 7) = 0:	ISI(L, 8) = .75
ISI(L, 9) = 1.1:	ISI(L, 10) = 1.5:	ISI(L, 11) = 2.2:	ISI(L, 12) = 2.53
ISI(L, 13) = 2.48:	ISI(L, 14) = 2.22:	ISI(L, 15) = 1.8:	ISI(L, 16) = 1.36
ISI(L, 17) = .79:	ISI(L, 18) = .4:	ISI(L, 19) = 0:	ISI(L, 20) = 0
ISI(L, 21) = 0:	ISI(L, 22) = 0:	ISI(L, 23) = 0:	ISI(L, 24) = 0

NEXT

FOR L = 1 TO 30

TA(L, 1) = 14:	TA(L, 2) = 14:	TA(L, 3) = 15:	TA(L, 4) = 16
TA(L, 5) = 16:	TA(L, 6) = 17:	TA(L, 7) = 18:	TA(L, 8) = 19
TA(L, 9) = 20:	TA(L, 10) = 22:	TA(L, 11) = 23:	TA(L, 12) = 26
TA(L, 13) = 28:	TA(L, 14) = 30:	TA(L, 15) = 30:	TA(L, 16) = 28
TA(L, 17) = 25:	TA(L, 18) = 21:	TA(L, 19) = 19:	TA(L, 20) = 18
TA(L, 21) = 17:	TA(L, 22) = 17:	TA(L, 23) = 16:	TA(L, 24) = 15

NEXT

GOTO 3000

1700

REM AGUSTOS

FOR L = 1 TO 30

ISI(L, 1) = 0:	ISI(L, 2) = 0:	ISI(L, 3) = 0:	ISI(L, 4) = 0
ISI(L, 5) = 0:	ISI(L, 6) = 0:	ISI(L, 7) = 0:	ISI(L, 8) = .5
ISI(L, 9) = 1.1:	ISI(L, 10) = 1.4:	ISI(L, 11) = 2.1:	ISI(L, 12) = 2.48
ISI(L, 13) = 2.25:	ISI(L, 14) = 2.1:	ISI(L, 15) = 1.65:	ISI(L, 16) = 1.13
ISI(L, 17) = .62:	ISI(L, 18) = .3:	ISI(L, 19) = 0:	ISI(L, 20) = 0
ISI(L, 21) = 0:	ISI(L, 22) = 0:	ISI(L, 23) = 0:	ISI(L, 24) = 0

NEXT

FOR L = 1 TO 30

TA(L, 1) = 14:	TA(L, 2) = 15:	TA(L, 3) = 17:	TA(L, 4) = 19
TA(L, 5) = 20:	TA(L, 6) = 21:	TA(L, 7) = 22:	TA(L, 8) = 23
TA(L, 9) = 24:	TA(L, 10) = 25:	TA(L, 11) = 26:	TA(L, 12) = 28
TA(L, 13) = 29:	TA(L, 14) = 30:	TA(L, 15) = 30:	TA(L, 16) = 29
TA(L, 17) = 28:	TA(L, 18) = 25:	TA(L, 19) = 23:	TA(L, 20) = 21
TA(L, 21) = 20:	TA(L, 22) = 19:	TA(L, 23) = 17:	TA(L, 24) = 16

NEXT

GOTO 3000

1800

REM EYLUL

FOR L = 1 TO 30

ISI(L, 1) = 0:	ISI(L, 2) = 0:	ISI(L, 3) = 0:	ISI(L, 4) = 0
ISI(L, 5) = 0:	ISI(L, 6) = 0:	ISI(L, 7) = 0:	ISI(L, 8) = 0
ISI(L, 9) = .45:	ISI(L, 10) = .8:	ISI(L, 11) = 1.2:	ISI(L, 12) = 1.97
ISI(L, 13) = 1.83:	ISI(L, 14) = 1.52:	ISI(L, 15) = 1.15:	ISI(L, 16) = .5
ISI(L, 17) = .12:	ISI(L, 18) = 0:	ISI(L, 19) = 0:	ISI(L, 20) = 0
ISI(L, 21) = 0:	ISI(L, 22) = 0:	ISI(L, 23) = 0:	ISI(L, 24) = 0

NEXT

FOR L = 1 TO 30

TA(L, 1) = 13:	TA(L, 2) = 12:	TA(L, 3) = 14:	TA(L, 4) = 15
TA(L, 5) = 17:	TA(L, 6) = 17:	TA(L, 7) = 17:	TA(L, 8) = 18
TA(L, 9) = 19:	TA(L, 10) = 20:	TA(L, 11) = 22:	TA(L, 12) = 24
TA(L, 13) = 26:	TA(L, 14) = 26:	TA(L, 15) = 26:	TA(L, 16) = 25
TA(L, 17) = 23:	TA(L, 18) = 20:	TA(L, 19) = 19:	TA(L, 20) = 17
TA(L, 21) = 16:	TA(L, 22) = 15:	TA(L, 23) = 14:	TA(L, 24) = 13

NEXT

GOTO 3000

1900

REM EKIM

FOR L = 1 TO 30

ISI(L, 1) = 0:	ISI(L, 2) = 0:	ISI(L, 3) = 0:	ISI(L, 4) = 0
ISI(L, 5) = 0:	ISI(L, 6) = 0:	ISI(L, 7) = 0:	ISI(L, 8) = 0
ISI(L, 9) = 0:	ISI(L, 10) = 0:	ISI(L, 11) = .81:	ISI(L, 12) = 1.3
ISI(L, 13) = 1.25:	ISI(L, 14) = .97:	ISI(L, 15) = .52:	ISI(L, 16) = .23
ISI(L, 17) = .03:	ISI(L, 18) = 0:	ISI(L, 19) = 0:	ISI(L, 20) = 0
ISI(L, 21) = 0:	ISI(L, 22) = 0:	ISI(L, 23) = 0:	ISI(L, 24) = 0

NEXT

FOR L = 1 TO 30

TA(L, 1) = 7:	TA(L, 2) = 6:	TA(L, 3) = 8:	TA(L, 4) = 9
TA(L, 5) = 11:	TA(L, 6) = 12:	TA(L, 7) = 13:	TA(L, 8) = 14
TA(L, 9) = 15:	TA(L, 10) = 16:	TA(L, 11) = 18:	TA(L, 12) = 19
TA(L, 13) = 21:	TA(L, 14) = 22:	TA(L, 15) = 21:	TA(L, 16) = 19
TA(L, 17) = 17:	TA(L, 18) = 15:	TA(L, 19) = 14:	TA(L, 20) = 11
TA(L, 21) = 10:	TA(L, 22) = 9:	TA(L, 23) = 8:	TA(L, 24) = 7

NEXT

GOTO 3000

2000

REM KASIM

FOR L = 1 TO 30

ISI(L, 1) = 0:	ISI(L, 2) = 0:	ISI(L, 3) = 0:	ISI(L, 4) = 0
ISI(L, 5) = 0:	ISI(L, 6) = 0:	ISI(L, 7) = 0:	ISI(L, 8) = 0
ISI(L, 9) = 0:	ISI(L, 10) = 0:	ISI(L, 11) = .5:	ISI(L, 12) = 1
ISI(L, 13) = .8:	ISI(L, 14) = .54:	ISI(L, 15) = .27:	ISI(L, 16) = .05
ISI(L, 17) = 0:	ISI(L, 18) = 0:	ISI(L, 19) = 0:	ISI(L, 20) = 0
ISI(L, 21) = 0:	ISI(L, 22) = 0:	ISI(L, 23) = 0:	ISI(L, 24) = 0

NEXT

FOR L = 1 TO 30

TA(L, 1) = 3:	TA(L, 2) = 2:	TA(L, 3) = 4:	TA(L, 4) = 4
TA(L, 5) = 5:	TA(L, 6) = 6:	TA(L, 7) = 7:	TA(L, 8) = 7
TA(L, 9) = 8:	TA(L, 10) = 9:	TA(L, 11) = 10:	TA(L, 12) = 11
TA(L, 13) = 11:	TA(L, 14) = 11:	TA(L, 15) = 11:	TA(L, 16) = 9
TA(L, 17) = 8:	TA(L, 18) = 7:	TA(L, 19) = 6:	TA(L, 20) = 6
TA(L, 21) = 5:	TA(L, 22) = 5:	TA(L, 23) = 4:	TA(L, 24) = 4

NEXT

GOTO 3000

2100

REM ARALIK

FOR L = 1 TO 30

ISI(L, 1) = 0:	ISI(L, 2) = 0:	ISI(L, 3) = 0:	ISI(L, 4) = 0
ISI(L, 5) = 0:	ISI(L, 6) = 0:	ISI(L, 7) = 0:	ISI(L, 8) = 0
ISI(L, 9) = 0:	ISI(L, 10) = 0:	ISI(L, 11) = 0:	ISI(L, 12) = .62
ISI(L, 13) = .61:	ISI(L, 14) = .5:	ISI(L, 15) = .25:	ISI(L, 16) = 0
ISI(L, 17) = 0:	ISI(L, 18) = 0:	ISI(L, 19) = 0:	ISI(L, 20) = 0
ISI(L, 21) = 0:	ISI(L, 22) = 0:	ISI(L, 23) = 0:	ISI(L, 24) = 0

NEXT

FOR L = 1 TO 30

TA(L, 1) = -3:	TA(L, 2) = -2:	TA(L, 3) = -1:	TA(L, 4) = 0
TA(L, 5) = 1:	TA(L, 6) = 2:	TA(L, 7) = 3:	TA(L, 8) = 4
TA(L, 9) = 4:	TA(L, 10) = 5:	TA(L, 11) = 7:	TA(L, 12) = 6
TA(L, 13) = 6:	TA(L, 14) = 6:	TA(L, 15) = 6:	TA(L, 16) = 5
TA(L, 17) = 4:	TA(L, 18) = 4:	TA(L, 19) = 3:	TA(L, 20) = 1
TA(L, 21) = 0:	TA(L, 22) = 0:	TA(L, 23) = -1:	TA(L, 24) = -3

NEXT

GOTO 3000

3000

FOR L = 1 TO 30

FOR K = 1 TO 24

IF H > 1 AND H < 6 THEN

QTOPLAM(L, K) = 0

ELSE

QB1 = 34.98 * R2 * (20 - TA(L, K))

QB2 = 44.64 * R3 * (20 - TOPRAK)

QB3 = 29.1 * R2 * (20 - TOPRAK)

Q11 = 92.1 * R2 * (20 - TA(L, K))

Q12 = 8.4 * R4 * (20 - TA(L, K))

Q21 = 109.24 * R2 * (20 - TA(L, K))

Q22 = 6.8 * R4 * (20 - TA(L, K))

QC1 = 35.5 * R1 * (20 - TA(L, K))

QC2 = 54.56 * R2 * (20 - TA(L, K))

QC3 = 1.91 * R4 * (20 - TA(L, K))

QTOPLAM(L, K) = (3600 * 1.2 * (QB1 + QB2 + QB3 + Q11 + Q12 + Q21
+ Q22 + QC1 + QC2 + QC3))

IF QTOPLAM(L, K) < 0 THEN

QTOPLAM(L, K) = 0

END IF

END IF

S(L, K) = ((ISI(L, K) * 10 ^ 6 * delta * gama * alfa))

FARK = S(L, K) - (UL * 3600 * (TS(L, K) - TA(L, K)))

IF FARK > 0 THEN

QU(L, K) = AC * FR * FARK

ELSE

QU(L, K) = 0

END IF

$QL(L, K) = US * ALAN * 3600 * (TS(L, K) - TAMB)$

$TL(L, K) = TS(L, K) - (QTOPLAM(L, K) / (ML * CS * 3600))$

IF $TL(L, K) \geq 20$ THEN

$LS(L, K) = ABS(ML * CS * 3600 * (TS(L, K) - TL(L, K)))$

$QYAR(L, K) = 0$

ELSEIF $TL(L, K) < 20$ AND $TS(L, K) \geq 20$ THEN

$TL(L, K) = 20$

$LS(L, K) = ML * CS * 3600 * (TS(L, K) - TL(L, K))$

$QYAR(L, K) = QTOPLAM(L, K) - LS(L, K)$

ELSEIF $TL(L, K) < 20$ AND $TS(L, K) < 20$ THEN

$TL(L, K) = 20$

$LS(L, K) = 0$

$QYAR(L, K) = QTOPLAM(L, K) - LS(L, K)$

END IF

$TS(L, K + 1) = TS(L, K) + ((1 * (QU(L, K) - QL(L, K) - LS(L, K))) / (MS * CS))$

IF $K = 24$ THEN

$TS(L + 1, 1) = TS(L, K + 1)$

END IF

$HESAP = HESAP + TS(L, K + 1)$

NEXT

IF $L = 30$ THEN

$TS(1, 1) = TS(L, 25)$

END IF

PRINT USING "##. AY ##. GUN ##.SAATTE YENİ DEPO ÇIKIŞ SUYU

SICAKLIĞI =#####.##### C"; H; L; K - 1; $TS(L, 24 + 1)$

PRINT

10 $X\$ = INKEY\$$: IF $X\$ = ''$ THEN 10

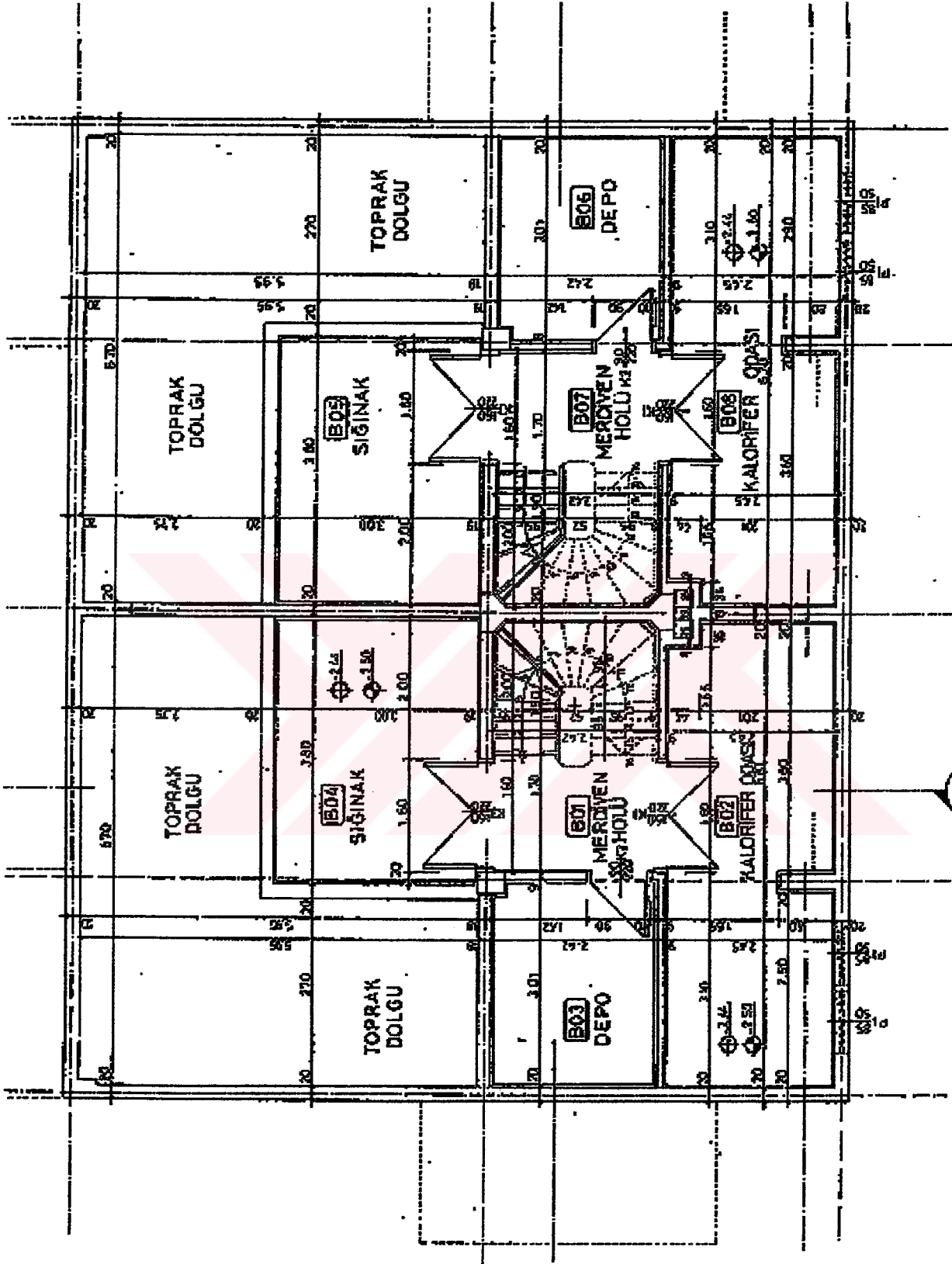
NEXT

```
HESAP = HESAP / 720
PRINT USING "##. AY SAAT BAŞINA ORTALAMA DEPO ÇIKIŞ SUYU
SICAKLIĞI =#####.##### C"; H; HESAP
PRINT
20 X$ = INKEY$: IF X$ = "" THEN 20
NEXT
END
```

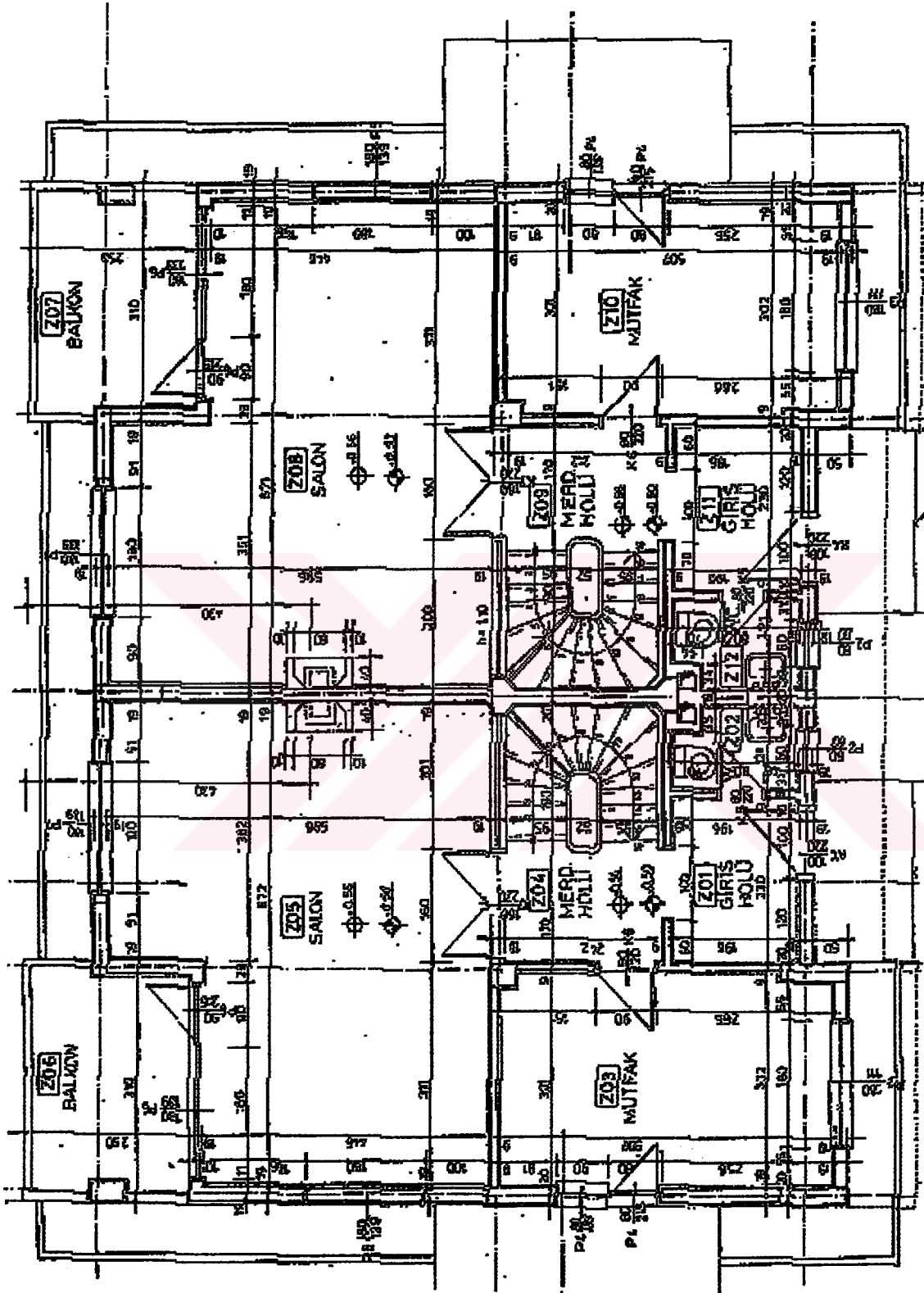


EK – B

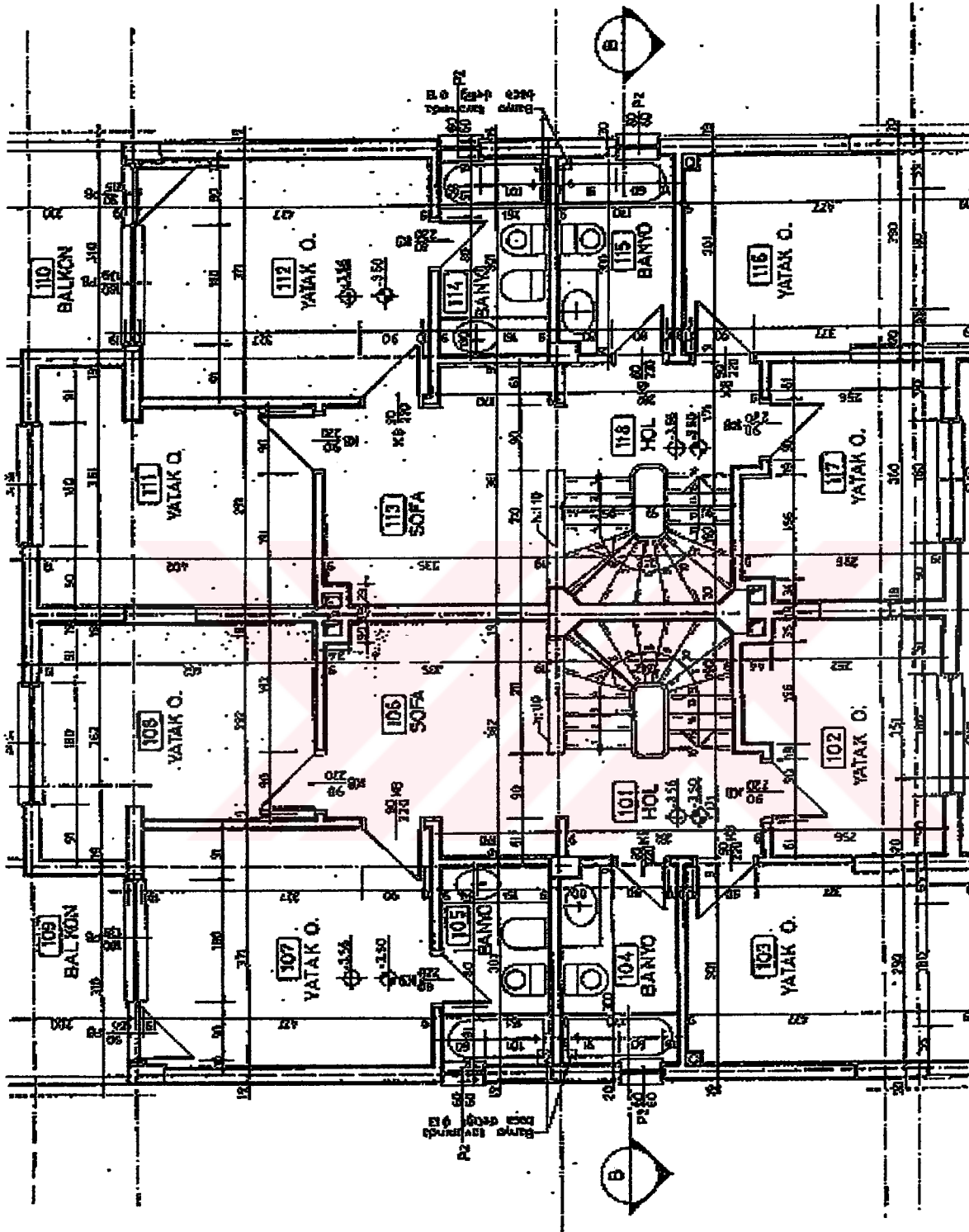
EVİN PLANI



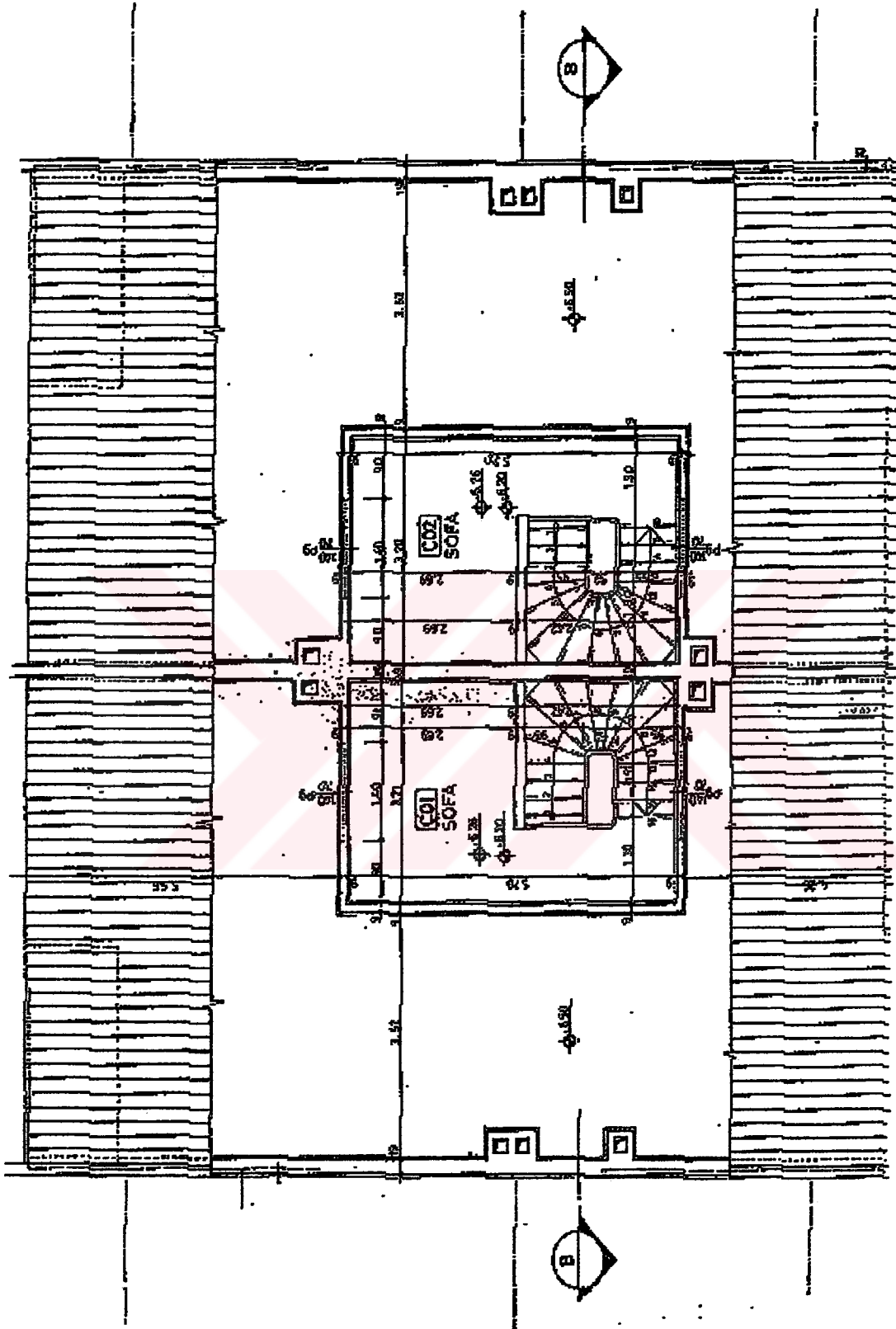
Şekil B.1
Evin Bodrum Kat Planı



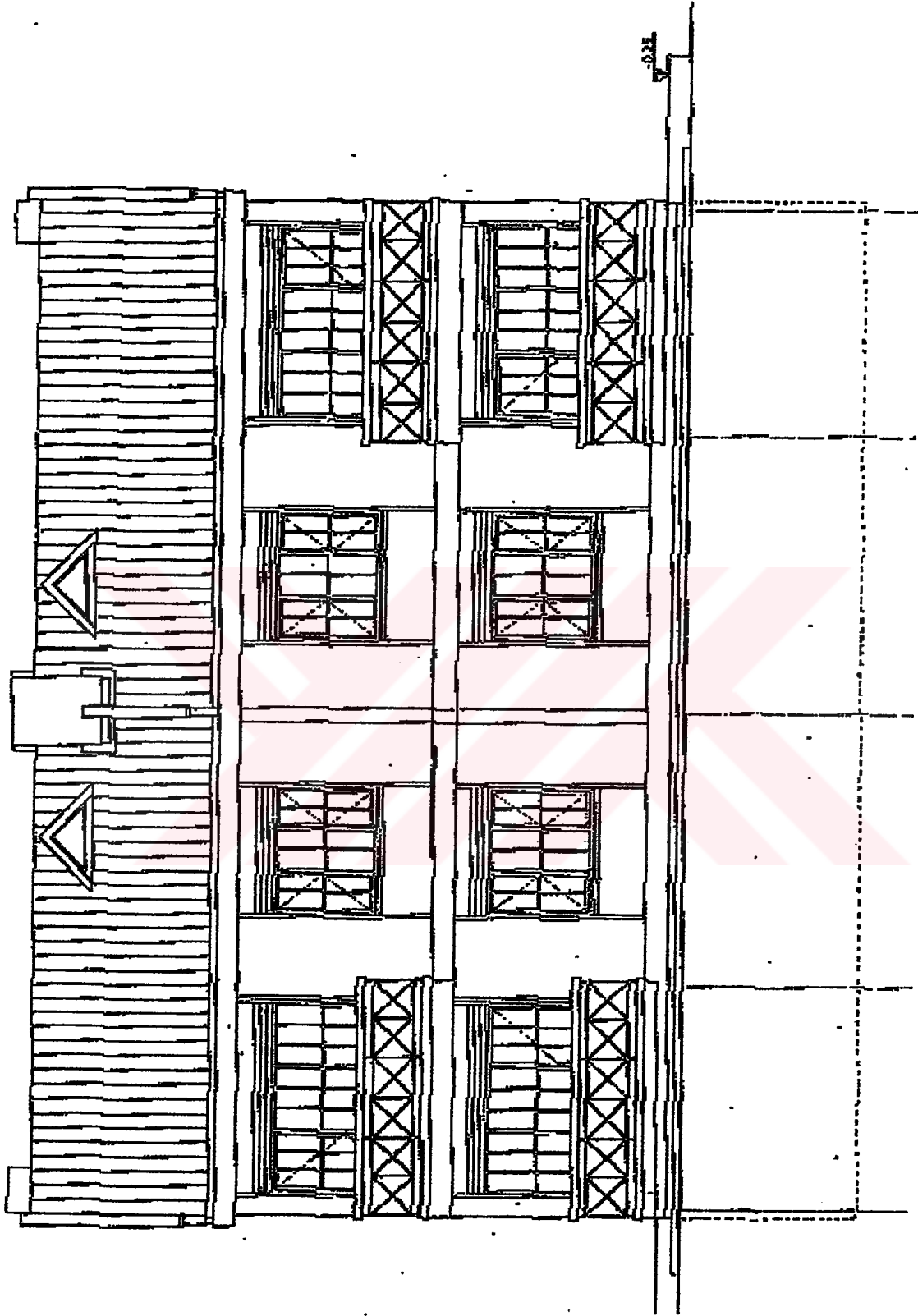
Şekil B.2
Evin 1. Kat Planı



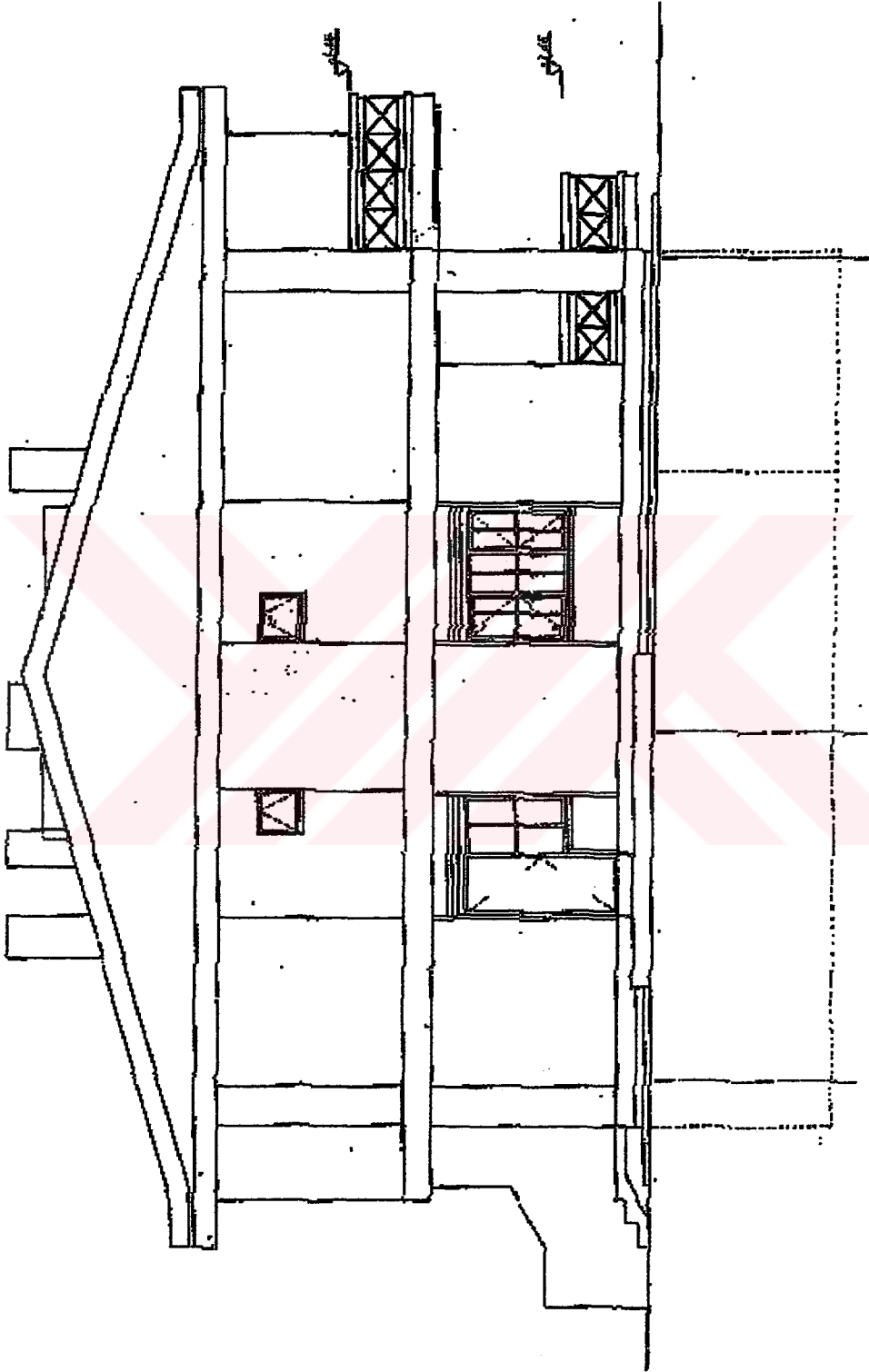
Şekil B.3
Evin 2. Kat Planı



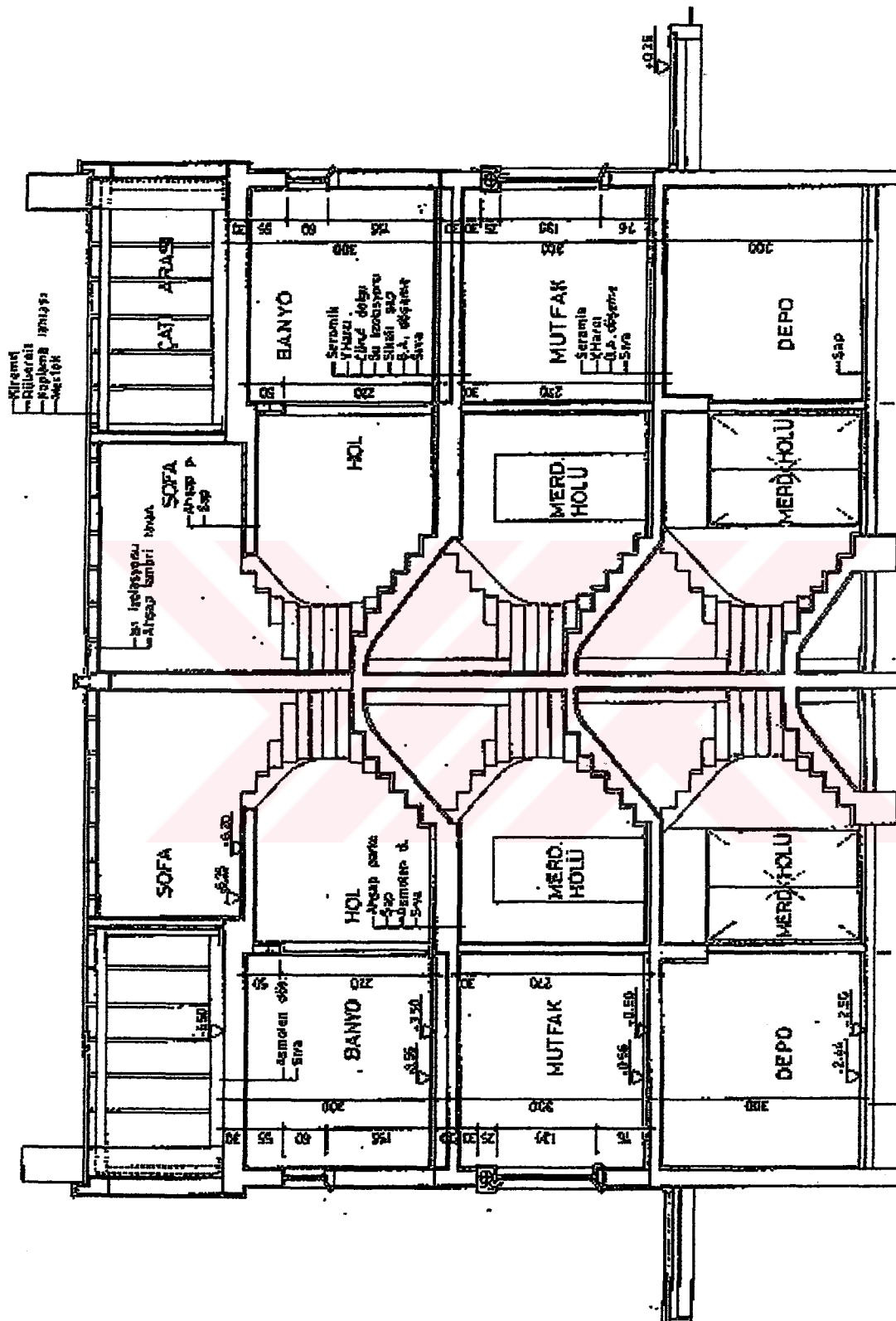
Şekil B.4
Evin Çatı Katı Planı



Şekil B.5
Evin Yandan Bakıldığında Görünüşü



Şekil B.6
Evin Arkadan Bakıldığında Görünüşü



Şekil B.7
Evin Önden Bakıldığında Kesit Görünüşü

KAYNAKLAR

- [1] J. Berhmans – A. Debosscher – E. Debrabander, Analysis Of Heat Pump Assisted Solar Energy Air Heating Systems, *Katholieke Universiteit Leuven*, (15 Mayıs 1977).
- [2] H. Buchberg – J. R. Roulet, Simulation And Optimization of Solar Collection And Storage For House Heating, *Solar Energy*, Vol 12 pp.31-50, (21 Şubat 1968)
- [3] Y. Jaluria – S. K. Gupta, Decay Of Thermal Stratification In A Water Body For Solar Energy Storage, *Solar Energy*, Vol 28, No 2 pp.137-143, (22 Temmuz 1980)
- [4] J. H. Davidson – D. A. Adams – J. A. Miller, A Coefficient To Characterize Mixing In Solar Water Storage Tanks, *Transactions of the ASME*, Vol 116, (Mayıs 1994)
- [5] P. B. L. Chaurasia, Comparative Study Of Insulating Materials In Solar Water Storage Systems, *Energy Conversion And Management*, Vol 33, No 1 pp.7-12, (27 Temmuz 1992)
- [6] Mahmoud S. Audi, Experimental Study Of A Solar Space Heating Model Using Jordanian Rocks For Storage, *Energy Conversion And Management*, Vol 33, No 9 pp.833-842, (26 Şubat 1991)
- [7] W. Stahl – K. Voss – A. Goetzberger, The Self Sufficient Solar House In Freiburg, *Solar Energy*, Vol 52, No 1 pp.111-125, (1993)

- [8] M. Tiris – C. Tiris, Analysis of Solar Radiation Data For Gebze, Turkey, , *Energy Conversion And Management*, Vol 38, No 2 pp. 179-186, (21 Mart 1995)
- [9] İ. Dinçer – Ş. Dılmaç – İ. E. Türe – M. Edin, A Simple Technique For Estimating Solar Radiation Parameters And Its Application For Gebze, *Energy Conversion And Management*, Vol 37, No 2 pp.183-198, (10 Haziran 1994)
- [10] J. A. Duffie – W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, *John Willey & Sons*, (1991)
- [11] İZOCAM, İzocam Bigi Formları, *İzocam Ticaret ve Sanayi A.Ş. Danışma Merkezi*, (Temmuz 1994)
- [12] Prof. Dr. Alpin Kemal DAĞSÖZ (İ.T.Ü. Makina Fakültesi), Isı Geçişi – Isı Transferi, *Meta Basım Yayım, 4. Baskı*, (18 Mart 1989)

ÖZGEÇMİŞ

9.9.1972 yılında Trabzon'da doğdu. Ortaokul ve lise öğrenimini İstanbul'da, Nişantaşı Anadolu Lisesinde yaptı. Lisans eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi'nde tamamladı. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne bağlı Yüksek Lisans Programı'nı sürdürmektedir.

1996 yılından beri Power Pnömatik Proses Limited Şirketi'nde çalışmaktadır. Çeşitli sanayi kuruluşlarına "temel ve lojik pnömatik" konusunda seminerler vermiştir.



2013 11 15
DOKÜMAN İŞLETİMİ

75500

**POLİVİNİLPIROLİDON KATKILI POLİSÜLFON
MEMBRANLARDA ÜRE VE KREATİNİN DİFÜZYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Müh. Tubanur KARAKAŞ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 OCAK 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 12 ŞUBAT 1998

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Birgül TANTEKİN-ERSOLMAZ *Birgül Erolmaz*

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nuran DEVECİ *N. Deveci*

Doç. Dr. Gürkan HIZAL *Gürkan Hızal*

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ŞUBAT 1998

ÖNSÖZ

Hemodiyaliz akut veya kronik böbrek yetmezliği olan hastaların tedavisinde en sık başvuru bir tedavi yöntemidir. Türkiye’de kronik ve böbrek yetmezliği olup sürekli hemodiyaliz tedavisi görmesi gereken çok sayıda hasta mevcuttur. Ne yazık ki ülkemizde diyaliz hizmeti verebilecek tedavi merkezlerinin yetersiz ve hemodiyaliz tedavisinin pahalı olması bu hastaların tedavi olanaklarını azaltmaktadır. Bu amaçla İ.T.Ü Kimya Mühendisliği Bölümü’nde hemodiyalizde kullanıma uygun membranların hazırlanmasını ve Türkiye’de diyalizör üretimi için gerekli membran teknolojisini geliştirilmesini amaçlayan bir proje başlatılmıştır. Bu yüksek lisans tezi, hemodiyalizde kullanıma uygun polisülfon membranlar hazırlanarak proje kapsamında gerçekleştirilmesi planlanan çalışmalar için bir alt yapı oluşturma amacıyla hazırlanmıştır.

Bir mühendis olarak insan sağlığı açısından böylesine önemli bir konuda bana çalışma imkanı sunan, çalışmalarımın her aşamasında gösterdiği sonsuz desteği, motivasyonu, değerli bilgileri ve yakın ilgisi için hocam Sayın Doç. Dr. Birgül Tantekin-Ersolmaz’a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bütün deneysel çalışmalarım ve özellikle de tez hazırlama çalışmalarım sırasında her türlü yardımını ve fedakarlığını esirgemeyen, her konuda bana destek olan arkadaşım Araş. Gör. İsmail Bülbül’e, yine laboratuvar çalışmalarımızı birlikte yaptığımız yardımlarını unutamayacağım arkadaşım Araş. Gör. Çiğdem Atalay-Oral’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında bana sağladıkları imkanlar ve gösterdikleri yakın ilgi ve alaka için başta Araş. Gör. Bilgin Hilmioğlu ve Araş. Gör. Hikmet İskender olmak üzere bütün Proses ve Reaktör Tasarımı Ana Bilim Dalı araştırma görevlilerine de teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca beni her konuda destekleyen, sevgilerinin ve emeklerinin karşılığını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim aileme de çok teşekkür ederim.

Şubat 1998

Tubanur Karakaş

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
SEMBOL LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Hemodiyaliz Tanımı ve Önemi	1
1.2 Diyaliz Tarihsel Gelişimi	2
1.3 Tezin Amacı ve Organizasyonu	4
BÖLÜM 2 HEMODİYALİZİN TEMEL PRENSİPLERİ	7
2.1 Tanımlar ve Kavramlar	7
2.2 Klirens	12
2.3 Orta Molekül Teorisi	14
2.4 Diyalizör Membranlarının İnsana Uyumluluğu	16
2.5 Böbrek Yetmezliği Tedavisinde Kullanılan Diğer Membran Prosesleri	17
2.6 Diyalizör Çeşitleri	18
BÖLÜM 3 HEMODİYALİZ MEMBRANLARI	20
3.1 Hemodiyaliz Membranlarının Tarihsel Gelişimi	20
3.2 Hemodiyaliz Membran Malzemeleri	22

3.3 Faz Dönüşümü Yöntemi İle Membran Hazırlanması	23
3.4 Polisülfon Membran Hazırlama Çalışmaları	29
BÖLÜM 4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
4.1 Giriş	31
4.2 Membran Hazırlama	31
4.2.1 Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar	31
4.2.2 Asimetrik Membranların Hazırlanması	32
4.3 Geçirgenlik Deneyleri	33
4.3.1 Kullanılan Malzemeler	33
4.3.2 Deney Düzenegi	33
4.3.3 Geçirgenlik Deneylerinin Yapılışı	35
4.4 Üre ve Kreatinin Konsantrasyonlarının Belirlenmesi	35
4.5 Deneysel Verilerden Geçirgenlik Değerlerinin Hesaplanması	36
4.6 Deney Parametreleri	37
4.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri	37
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	39
5.1 Giriş	39
5.2 Döküm Çözeltilisindeki PVP/PS Oranının Etkisi	39
5.3 Gliserinleme Son İşleminin Etkisi	47
5.4 Banyo Ortamına Çözücü Katılmasının Etkisi	49
5.5 Banyo Ortamına Şişme Sağlayıcı Bileşen Katılmasının Etkisi	52
BÖLÜM 6 VARGILAR VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	63

SEMBOL LİSTESİ

J	: Kütle akısı
D	: Difüzyon katsayısı
A	: Membran yüzey alanı
dC/dT	: Konsantrasyon gradyenti
R	: Direnç
$\mathcal{P}$	: Geçirgenlik
KU_r	: Ultrafiltrasyon katsayısı
Q	: Hacimsel debi
C	: Konsantrasyon
K	: Klirens
V	: Hacim
l	: Kalınlık
t	: Zaman

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 Hemodiyalizin temel prensibi	2
Şekil 2.1 Diyalizörde difüzyona karşı oluşan dirençlerin şematik gösterimi	9
Şekil 2.2 Diyalizörde kütle dengesi	13
Şekil 2.3 Böbrek yetmezliği tedavisinde kullanılan membran prosesleri	17
Şekil 3.1 Mikrogözenekli membran oluşumunu gösteren üçlü faz diyagramı	25
Şekil 3.2 Tipik membran yapılarının taramalı elektron mikroskop fotoğrafları	26
Şekil 3.3 Granül yapıya sahip bir membran kesitinin SEM fotoğrafı	27
Şekil 3.4 Farklı konsantrasyonlardaki poliamid çözeltilerinden elde edilmiş membranların kesit SEM fotoğrafları	28
Şekil 4.1 Diyaliz hücresi	34
Şekil 4.2 Diyaliz sistemi	34
Şekil 5.1 Farklı PVP/PS oranlarında hazırlanan membranların üre geçiş hızları	40
Şekil 5.2 Farklı PVP/PS oranlarında hazırlanan membranların kreatinin geçiş hızları	40
Şekil 5.3 Üre ve kreatinin geçirgenliklerinin PVP/PS oranı ile değişimi	43
Şekil 5.4 Farklı PVP/PS oranında hazırlanan membranların SEM fotoğrafları	44
Şekil 5.5 Gliserinleme öncesi ve sonrasına ait üre geçiş hızları	47
Şekil 5.6 Gliserinleme öncesi ve sonrasına ait kreatinin geçiş hızları	48
Şekil 5.7 Gliserinleme işleminin üre ve kreatinin geçirgenliklerine etkisi	48
Şekil 5.8 Banyo ortamındaki NMP konsantrasyonu değişimine bağlı olarak elde edilen üre geçiş hızları	49

Şekil 5.9	Banyo ortamındaki NMP konsantrasyonu değişimine bağlı olarak elde edilen kreatinin geçiş hızları	49
Şekil 5.10	Banyo ortamına NMP katılmasının üre ve kreatinin geçirgenliklerine etkisi	50
Şekil 5.11	Banyo ortamına NMP katılması ile elde edilen membranların SEM fotoğrafları	51
Şekil 5.12	Banyo ortamına %40 IPA katılmasının üre geçiş hızına etkisi	53
Şekil 5.13	Banyo ortamına % 40 IPA katılmasının kreatinin geçiş hızına etkisi	53
Şekil 5.14	Banyo ortamına % 30 IPA katılmasının üre geçiş hızına etkisi	54
Şekil 5.15	Banyo ortamına % 30 IPA katılmasının kreatinin geçiş hızına etkisi	54
Şekil 5.16	Banyo ortamına IPA katılması ile elde edilen membranların SEM fotoğrafları	56



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	En çok kullanılan hemodiyaliz membranlarında ultrafiltrasyon katsayısı değerleri	12
Tablo 4.1	Kullanılan membranların hazırlanma şartları ve son kalınlıkları	38
Tablo 5.1	Farklı PVP/PS oranlı membranların üre ve kreatinin geçirgenlikleri	42
Tablo 5.2	IPA etkisini incelemek üzere hazırlanan banyo bileşimleri	52



ÖZET

Hemodiyaliz yarı geçirgen bir membran aracılığıyla akut veya kronik böbrek yetmezliği çeken hastaların kanı ile normal kan elektrolitlerini içeren diyalizat çözeltisi arasında gerçekleşen bir değiş tokuş olayıdır. Bu değişme olayı hastanın kanından zehirli atık maddeleri uzaklaştırır ve aynı zamanda elektrolitleri de normale yakın bir biçimde dengeler. Hemodiyaliz tedavisi haftada birkaç kez düzenli olarak tekrarlanırsa teknik olarak böbrekleri artık çalışmayan hastaya sınırsız yaşama olanağı verebilir.

Bu çalışmada polivinilpirolidon(PVP)/polisülfon(PS) polimerlerinin harmanlanması ile hemodiyalizde kullanıma uygun membranların hazırlanması, hazırlanan membranların üre ve kreatinin geçirgenliklerinin belirlenmesi ve membran hazırlama şartlarındaki değişikliklerin membran yapısına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Geçirgenlik ölçümleri için arasına test edilecek membranın yerleştirildiği iki adet cam hazneden oluşan bir diyaliz hücresi kullanılmıştır. Bu hücrenin bir haznesine üre veya kreatinin bulunan metabolit çözeltisi diğer haznesine de deney sırasında sürekli sirkülasyonu sağlanan saf su konulmuştur. Deney sırasında metabolit çözeltisinden belirli zaman aralıklarında numuneler alınarak membrandan geçen üre ve kreatinin konsantrasyonları bir UV spektrofotometre yardımıyla belirlenmiştir.

Deneylerde kullanılan PVP katkılı PS membranlar faz dönüşümü yöntemi uygulanarak hazırlanmıştır.Çözücü olarak N-metilpirolidon (NMP), çöktürme ortamı olarak ta saf su kullanılmıştır. Membran hazırlama çalışmalarında membran yapısına ve geçirgenliğine etki edebilecek üç önemli parametre incelenmiştir. Bu parametreler döküm çözeltisindeki PVP/PS oranı, çöktürme banyosunun içeriği ve gliserinleme son işlemidir.

Yapılan bütün deneylerde üre geçirgenliğinin kreatinin geçirgenliğinden büyük olduğu gözlenmiştir. Üre molekülü kreatinin molekülüne kıyasla daha küçük olduğundan üre difüzyonunun kreatinin difüzyonundan daha hızlı olması beklenen bir sonuçtur. Membran matrisine gözenek oluşturuucu madde olarak katılan PVP miktarı arttıkça geçirgenliklerin arttığı saptanmıştır. Deneylerde üre ve kreatininin membran malzemesi ile etkileşime girerek membran yüzeyinde adsorplandığı düşünülmektedir. Gliserinleme işleminin membranın gözenek yapısını genişleterek geçirgenliği arttırdığı görülmüştür. Çöktürme ortamına (su) çözücü (NMP) katılmasının membran geçirgenliğini azalttığı, aynı ortama şişme sağlayıcı bileşenin (izopropilalkol) katılmasının ise geçirgenliği arttırarak üre adsorpsiyonunu azalttığı gözlenmiştir.

SUMMARY

DIFFUSION OF UREA AND CREATININE IN POLYVINYLPYRROLIDONE ADDED POLYSULFONE MEMBRANES

Since ancient times people have believed that diseases result from impurities in the body. Methods of purifying the organism and correcting the body's humoral balance have been disputed throughout the centuries. The blood purification health maintenance program of the 17th and 18th century for the well-to-do was adequate purgation every week, application of a strong emetic once a month, and blood-letting twice a year, in the spring and in the fall. In our modern times extra-corporeal blood purification techniques like hemodialysis are basically used to treat people which suffer from kidney failure.

Hemodialysis is applied to the treatment of the patient which suffer from chronic and acute kidney failure to remove toxic metabolic wastes like urea, uric acid and creatinine from their blood. During a hemodialysis run arterial blood is passed over one side of the artificial kidney membrane, while a dialysate solution containing a buffered and isotonic mixture of dextrose and salts is circulated on the other side. The composition of the dialysate is set to maintain the correct ionic balance in the blood. The concentration difference across the membrane between blood and dialysate streams causes small solutes to diffuse through the membrane while larger molecules like proteins and blood cells are rejected. An additional aim of hemodialysis is the removal of excess body fluid, and therefore the process is also driven by a small pressure difference, typically of 0.2 bar. This pressure difference is high enough to produce 1-4 liter urine which is not produced by the kidney of the patient.

People suffering from chronic and acute kidney failure should preferably have their blood cleaned continuously. For practical and economical reasons, dialysis is performed only two or three times a week. A typical hemodialysis treatment lasts from 4 to 6 hours. Approximately 460000 kidney failure patients are treated with hemodialysis in the world and the number of patients is increasing by 7 to 8 percent annually.

During clinical hemodialysis, two physical processes are in operation simultaneously. The first process, diffusion, describes the movement of solutes, such as urea, creatinine, from the blood compartment to the dialysate across a semipermeable membrane, and the movement of substances such as calcium and bicarbonate from the

dialysate into the blood. The driving force for this movement is the concentration gradient across the membrane. The amount of material that diffuses or fluxes across the semi permeable membrane is a function of the concentration gradient, the surface area of the membrane, and the diffusivity of the membrane which is a unique property dependent on the membrane material and temperature.

The other principle operating during hemodialysis is convection or ultrafiltration. This involves bulk movement of solvent and solute across the membrane. Fluid moves under hydrostatic pressure from the blood to the dialysate compartment. The quantity of fluid ultrafiltered depends on the pressure difference between the blood and dialysate compartments. This transmembranes pressure (TMP) can be controlled by varying the pressure in the dialysate or blood compartments. Decreasing dialysate pressure will increase ultrafiltration. The rate of ultrafiltration is dependent on the pressure gradient across the membrane, the surface area of the membrane, and the ultrafiltration properties of the membranes. The transport of large molecular weight substances increase with increasing ultrafiltration rate but the main purpose of ultrafiltration is to remove excess body fluid.

The primary purpose of the dialysis treatment is to remove the metabolic wastes which are normally eliminated by the kidney and to maintain mineral and water balance. There are a large number of materials which accumulate during renal failure other than urea, creatinine, and uric acid which may be important to remove but not known at this time. In the past there was a large search for 'uremic' toxin but now it appears evident that the uremic syndrome is probably not caused by the accumulation of a single substance, but is most likely the results of presence of a number of toxic agents. There are currently two views: Babb and Schribner at the University of Washington feel that the most important uremic toxins have a molecular weight in the range of 1000-2000 Dalton, so-called 'middle molecules' while many others feel that the major toxins are much smaller, being in the range of urea (100-200 Dalton).

In hemodialysis, most important and useful characteristics of a dialyzer are clearance and ultrafiltration coefficient. Clearance describes the amount of blood that can be completely cleared of a given solute in unit time. Thus, if 100 ml of blood per minute is completely cleared of urea as it passes through the dialyzer, the dialyzer is said to have an urea clearance of 100 ml/min. The ultrafiltration coefficient (KUF) is the number of milliliters of fluid transferred across the membrane per hour when 1 mm Hg TMP is applied. For the patient who tends to gain large amounts of weight between treatments, it is necessary to use a dialyzer with an ultrafiltration capability high enough to allow removal of fluid gained.

The dialyzer membrane is the main determinant of what and how much is removed during dialysis. As the most important component of the dialyzer, dialysis membranes are generally classified into cellulosic and non-cellulosic types. In the literature on dialysis membranes and their clinical applications, cellulosic membranes are referred to as that class of membranes that is based on the cellulose molecule. This molecule is

synthesized in nature from a glucose monomer and may be used directly as a membrane polymer in a highly purified form. In addition to purified cellulose, chemically modified cellulose is also used as a basic polymer for dialysis membranes. The most commonly used cellulosic membranes are cellulose acetate, hemophan, cuprophane, and other modified cellulose. A second class of membranes is commonly referred to as synthetic. They are made of man-made non-cellulosic polymers. Examples of synthetic polymers are polysulfone, polyacrylonitrile, polymethylmethacrylate, and polypropylene. A common property of these membranes is that their monomer is not found in nature. Synthetic membranes have higher ultrafiltration rates and in general more biocompatible than cellulosic membranes.

The properties of membranes with optimal performance in hemodialysis can be defined as follows:

- (a) The active membrane layer should be as thin as possible to obtain high transmembrane fluxes.
- (b) The porosity of the membrane at the surface as well as in the matrix should be as high as possible to provide high transmembrane fluxes.
- (c) The membrane structure should guarantee a certain minimum mechanical strength.
- (d) The diffusion coefficient in the membrane should be high.
- (e) The membrane should have good blood compatibility.
- (f) The pore size distribution should be as narrow as possible to obtain a sharp molecular weight cut-off.
- (g) All materials of the final membrane have to be nontoxic and chemically inert.

The goal of this study is to prepare and characterize polysulfone membranes for hemodialysis applications and to investigate the effect of preparation parameters on the separation properties of the membranes and their structure. For this purpose permeabilities of urea and creatinine through polysulfone membranes were studied using a dialysis test cell. The dialysis cell is made from two detachable glass compartments and the membrane under investigation is placed between the two compartments. Urea or creatinine solution is placed in the left-hand side of the cell and distilled water is circulated in the right-hand side using a peristaltic pump. During the experiments samples from the left-hand side of the cell were taken out periodically. For the estimation of urea and creatinine concentration a UV spectrophotometer was used. All experiments were carried out in 37 °C in a water bath and before the start of each experiment, urea and creatinine solutions and the membrane was preconditioned at the required temperature.

The membranes prepared in this study are polysulfone (PS) based asymmetric polymeric membranes. Polysulfone is used as the primary polymeric component of the membrane because of such beneficial characteristics as thermal stability, resistance to

acid, alkali, and salt solutions, high mechanical strength, etc. Polyvinylpyrrolidone (PVP) is added to the polysulfone polymer in order to modify the structure and surface characteristics of the polysulfone membranes. The membranes used in the experiments were prepared by phase inversion technique. Casting solutions were prepared by dissolving appropriate amounts of PS and PVP in N-methylpyrrolidone (NMP). The solution was mixed with a mechanical mixer to obtain a homogenous solution. Then the casting solution was cast in the form of a thin film of a certain thickness on a glass plate using a casting knife. The cast films were then immersed in a coagulation bath to obtain asymmetric structure. After coagulation bath, membranes could be soaked in a 20% (vol.) glycerine bath to fill the pores of the membranes with this hydrophilic fluid so as to enhance pore wetting. Finally membranes were dried at 60 °C for 20 minutes.

The effect of three significant preparation parameters on the permeability of membranes have been investigated: the PVP/PS ratio in the casting solution, the composition of the precipitation bath and glycerinization post treatment.

All membranes exhibited higher permeabilities for urea than creatinine, as expected. Because the movement of molecules by diffusive transport is inversely proportional to their molecular weight urea due to its lower molecular weight should exhibit faster permeation rate than creatinine.

It was observed that urea and creatinine were adsorbed and accumulate on the membrane, for most of the membranes prepared. Adsorption of urea and creatinine to membrane can be explained by electrostatic interaction between membranes and the molecules. Accumulation of urea and creatinine at the membrane surface is called concentration polarization and is defined as the formation of a concentration boundary layer near the membrane. This phenomena delays the permeation of molecules through the membrane and decreases the permeabilities.

Membranes prepared from casting solutions of six different PVP/PS ratios (0, 0.25, 0.40, 0.60, 0.80, 1.0, by weight) exhibited higher urea and creatinine permeabilities as the PVP/PS ratio in the casting solution were increased. Higher PVP/PS ratio in the casting solution results in higher porosity in the membranes. This is due to the fact that PVP is a water soluble polymer and diffuses into the coagulation bath since coagulation bath containing water.

When membranes were soaked in 20% (vol.) glycerine bath, they exhibited increases in urea and creatinine permeabilities. Glycerinization post treatment enlarges the pores of the membranes and therefore enhances the permeabilities.

The addition of solvent (NMP) into the precipitation bath decreased both urea and creatinine permeabilities. This behavior is in accordance with the expectation of small

pore structure due to the decreased precipitation rate when solvent is added into the precipitation bath. Indeed, it is even possible to change from porous to nonporous membrane by adding solvent to the coagulation bath. It was observed that the permeabilities of urea and creatinine of membranes precipitated in a coagulation bath containing 40% NMP were slightly more than the permeabilities of urea and creatinine of membranes precipitated in a coagulation bath containing 20% NMP. This situation can be explained by two effects: when solvent is added into the coagulation bath, delayed demixing tends to produce nonporous membranes with thick and dense top layers, whereas low interfacial polymer concentration tends to produce more open top layers which increases the permeabilities of molecules.

Effect of addition of a swelling agent (Isopropylalcohol) into the precipitation bath was investigated by preparing membranes from casting solution of PVP/PS=1 ratio. Isopropylalcohol (IPA) was added into the precipitation bath, both urea and creatinine permeabilities increased and the highest permeabilities of urea and creatinine were obtained in this case. The most important result was that the accumulation or adsorption of urea on the membrane surface was not observed. When IPA was added into the coagulation bath, it swells the polymer. The presence of the swelling agent acts in favor of the introduction of the precipitation medium into the casting solution, in exchange for the pore-former (PVP) and solvent (NMP) resulting in the formation of a membrane with high porosity. For creatinine, similar situation was not observed. It can be concluded that the pore size of membranes prepared from the coagulation bath containing IPA as a swelling agent was suitable for faster urea, but not creatinine. So the creatinine molecules accumulate on the membrane surface as occurred for the membranes prepared without presence IPA in the coagulation bath.

BÖLÜM 1

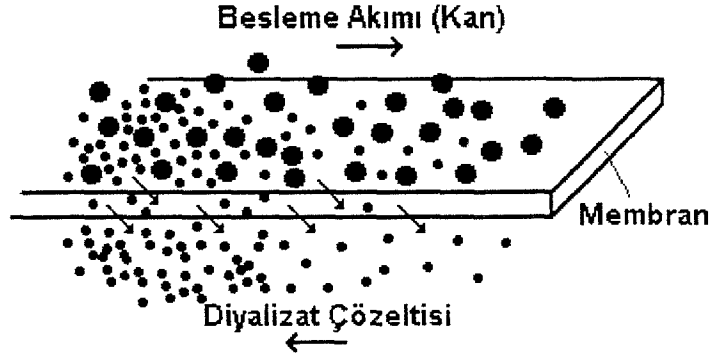
GİRİŞ

1.1 HEMODİYALİZİN TANIMI VE ÖNEMİ

Hemodiyaliz akut veya kronik böbrek yetmezliği olan hastaların tedavisinde üre, ürik asit, kreatinin, fosfat gibi toksik metabolik atıkların kandan uzaklaştırılması için kullanılan bir tedavi yöntemidir. Günümüzde dünyada yaklaşık 460 000 böbrek hastası hemodiyaliz tedavisi görmekte olup bu rakam her yıl % 7-8 oranında artmaktadır [1]. Kronik böbrek yetmezliği gösteren hastaların kanlarının sürekli olarak temizlenmesi gerekmektedir. Ancak pratik ve ekonomik nedenlerden dolayı diyaliz işlemi haftada iki veya üç defa ve her seferinde 4-6 saat kadar uygulanır. Ülkemizde de hemodiyaliz tedavisi görmekte olan çok sayıda hasta mevcuttur. Bu hastalara hizmet verebilecek diyaliz merkezlerinin sayısının az olmasının yanı sıra hemodiyaliz tedavisinin pahalı olması çok sayıda böbrek hastasının yeterli veya hiç tedavi görememesine neden olmaktadır.

Hemodiyaliz sırasında “suni böbrek” olarak da adlandırılan membranın bir tarafından arterial kan geçerken diğer tarafından diyalizat adı verilen çeşitli tuzlar ve dekstroz ihtiva eden bir sulu çözelti geçirilir. Diyalizat bileşimi kandaki iyon ve asit-baz dengelerini, kan ve diyalizat arasında gerçekleşen bir değiş tokuş aracılığıyla normalize etmek üzere ayarlanır. Membranın iki tarafındaki kan ve diyalizat akımları arasındaki konsantrasyon farkı, kandaki istenmeyen küçük molekül ağırlıklı maddelerin membrandan difüze olmasına sebep olur. Bunun yanı sıra protein ve hücreler gibi kandaki daha büyük moleküller ise membrandan geçemeyerek kanda kalır. Hemodiyalizde membrandan madde geçişinin bu temel prensibi Şekil 1.1’de görülmektedir. Hemodiyaliz sırasında gerçekleştirilmek istenen bir diğer olay da fazla

vücut sıvısının uzaklaştırılmasıdır. Bunun için proste membranin iki tarafı arasında ufak bir basınç farkı (≈ 200 mm Hg) uygulanarak hastanın böbrekleri tarafından üretilmemiş bir miktar idrar da oluşturulur.



Şekil 1.1 Hemodiyalizin temel prensibi

Hemodiyaliz tedavisinin can damarı kandaki toksik maddelerin giderilmesi amacıyla kullanılan yarı geçirgen membrandır. Bir hemodiyaliz seansında kullanılan membranı ihtiva eden diyalizör ikinci bir defa kullanılmamakta ve atılmaktadır. Sentetik membranların hemodiyalizde ilk kullanımının üzerinden 40 yıldan fazla geçmiş olmasına rağmen hemodiyaliz membranlarının hala biyoyumsuzluk, protein adsorpsiyonu, sınırlı ömürlü olması gibi sorunları mevcuttur. Bunun yanı sıra rekabetin çok şiddetli olduğu membran teknolojisinde membran üretiminin incelikleri üretici firmalar tarafından son derece gizlilik içinde tutulmakta ve üretim gelişmiş ülkelerdeki firmaların tekelinde bulunmaktadır. Bu nedenle Türkiye’de diyaliz tedavisi için gerekli membran diyalizörleri yurtdışından ithal edilmektedir.

1.2 HEMODİYALİZİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Diyaliz küçük moleküllerin geçişine izin veren buna karşılık büyük moleküllerin geçişini engelleyen membranların kullanıldığı bir ayırma prosesidir. İlk olarak 1854 yılında İskoçyalı kimyacı Thomas Graham tarafından tanımlanmıştır [2]. Graham, hayvan bağırsağından yararlanarak elde ettiği membranlarla ilk diyaliz çalışmalarını

gerçekleştirmiştir. 19. yüzyılın ikinci yarısında araştırmacılar parşömen kağıdından ve kolloidondan yaptıkları membranlarla diyaliz alanındaki çalışmaları sürdürmüşlerdir [3]. Kolloidon özellikle molekül ağırlığı 5000 Dalton'dan büyük moleküllerin geçişini önlediği için faydalı bulunmuştur. 1889 yılında İngiliz araştırmacı Richardson tarafından insan kanının kullanıldığı ilk hemodiyaliz çalışmaları yapılmıştır [3]. Richardson kolloidon membranlar kullanarak kandaki ve diğer vücut sıvılarındaki maddeleri, kristaloid ve kolloid maddeler olmak üzere iki gruba ayırmıştır. Bu madde gruplarından kristaloid maddelerin membrandan kolayca geçtiği, kolloidal maddelerin ise geçemediği belirlenmiştir.

Hemodiyaliz alanında gerçek anlamda yapılan ilk çalışmalar Abel, Rowntree ve Turner tarafından gerçekleştirilmiştir [2]. Abel ve çalışma arkadaşları bugünün içi boş lif (hollow fiber) diyalizörlerine benzeyen bir cihaz tasarlamışlardı. Bu cihaz, geniş bir cam tüp içerisine yerleştirilen bir seri tüp şeklindeki kolloidon membrandan oluşmaktaydı. Abel ve arkadaşları bu cihazı öncelikle kanda bulunan salisilik asit tuzlarının giderilmesi amacıyla geliştirmişlerdi. Daha sonraki çalışmalarda üre ve azotlu bileşiklerin de etkin olarak uzaklaştırılabildiğini kanıtlamışlardır. Bu olumlu gelişmelerin belirlendiği cihaz sadece hayvanlar üzerinde denenmiştir.

İnsanlar üzerinde denenilen ilk hemodiyaliz çalışmaları 1915 yılında Almanya'da George Haas tarafından gerçekleştirilmiştir [2]. Haas, Abel ve arkadaşlarının geliştirdiği cihaza oldukça benzer bir sistem geliştirmiştir. Bu sistemde yeterli yüzey alanı elde etmek için altı tane cihazı birbirine paralel olarak birleştirerek sürekli akım sağlamıştır. Ayrıca Haas çalışmalarında kandaki pıhtılaşmayı önlemek amacı ile antikoagülant madde olarak heparini bulup kullanan ilk bilim adamıdır. Haas tarafından geliştirilen sürekli akımın sağlandığı bu proses ile bir böbrek hastasına ilk diyaliz tedavisi uygulanmıştır.

Böbrek yetmezliği tedavisinde hemodiyalizin ilk klinik uygulaması 1943 yılında William Kolff tarafından gerçekleştirilmiştir. Kolff, gerçek anlamda fonksiyonel yapay böbreği geliştiren ilk araştırmacıdır. Aslında Kolff tarafından 1940 yılında tasarlanan bu sistemin kliniklerdeki uygulaması İkinci Dünya Savaşı'ndan dolayı 1943 yılına

kadar engellenmiştir. İlk yapay böbrek olarak adlandırılan bu cihaz, 25-30 metre uzunluğunda 1 inch kalınlığında selofan tüplerle sarılı alüminyum silindirin yaklaşık 100 litrelik diyalizat tankının içerisinde dönerek çalıştırılmasından oluşmaktaydı. Bu gelişmelerden iki yıl sonra Kolff'un tedavi ettiği bir böbrek hastası hayatta kalmayı başarmıştır [3].

Hemodiyaliz çalışmalarında kullanılmak üzere ilk paralel plaka diyalizörler, 1948 yılında Skeggs ve Leonard tarafından geliştirilmiştir [2]. Bu diyalizörler çeşitli sayıda düz selüloz tabakalardan oluşmuş olup, her selüloz çifti düz plastik bloklarla birbirinden ayrılmıştır. Cihaz, kanın iki selüloz tabaka arasında, diyalizat sıvısının ise plastik bloklar ile selüloz tabakalar arasında akması prensibine göre tasarlanmıştır.

1966 yılında Richard Stewart ilk içi boş liflerden oluşmuş diyalizörleri yapmıştır. İç çapı 30 mikron olan 800 tane içi boş lifin 3 inch çapında plastik bir tüp içerisine yerleştirilmesinden oluşan cihazın kullanımı, etkin bir diyalizör dizaynı olduğu kanıtlandıktan sonra hızla yaygınlaşmıştır .

1.3 TEZİN AMACI VE ORGANİZASYONU

Hemodiyaliz böbrek yetmezliği tedavisinde en sık uygulanan bir tedavi yöntemidir. Bilindiği üzere son dönemde böbrek yetmezliğinin tek tedavisi böbrek naklidir. Hastalar uygun böbrek bulma şansına sahip olana kadar hayatlarını hemodiyaliz ile devam ettirmek zorundadırlar.

Ülkemizde kronik böbrek yetmezliği çeken çok sayıda hasta mevcuttur. Bu hastalara diyaliz hizmeti verebilecek kuruluşların yetersiz olması çok sayıda böbrek hastasının tedavi olanaklarını azaltmaktadır. Diyalize girmesi gerektiği halde giremeyen hasta sayısının diyalize giren hasta sayısına yakın olduğu tahmin edilmektedir. Kaliteli bir diyaliz tedavisi haftada 12 saat kadar uygulanırken. Türkiye’de bu süre 6-8 saat kadardır. Ülkemizdeki bu düşük süreli uygulamanın başlıca sebepleri yeterli diyaliz merkezlerinin olmaması ve diyaliz tedavisinin pahalı olmasıdır. Bu nedenlerle diyalize

giremeyen veya yeterli sürede diyaliz tedavisi göremeyen hastaların sayısı oldukça fazladır.

Hemodiyaliz tedavisinin pahalı olmasının en büyük sebebi, kullanılan membranı içeren diyalizör setinin ve diyalizat çözeltisinin yurtdışından ithal ediliyor olmasıdır. Bir diyalizör setinin maliyeti diyaliz tedavisinin toplam maliyetinin yaklaşık % 55-60'ını oluşturmaktadır. Hemodiyaliz tedavisinin pahalı olması diyalize girmesi gereken fakat ekonomik nedenlerden dolayı tedavi edilemeyen hastalar için hayati önem taşımaktadır.

İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde böbrek yetmezliği olan hemodiyalizde kullanılan içi boş lif (hollow fiber) konfigürasyonunda membranların hazırlanmasını ve Türkiye'de diyalizör üretimi için gerekli membran teknolojisini geliştirilmesini amaçlayan geniş kapsamlı bir proje başlatılmıştır. Bu projenin başarı ile sonuçlanması sağlandığı takdirde hemodiyaliz membranlarını ülkemizde üretebilmek için gerekli teknoloji geliştirilmiş olacaktır. Membran hazırlama oldukça kompleks ve çok parametrelili bir işlemdir. Hemodiyaliz amaçlı içi boş lif membranlar hazırlamak için önce bir alt yapı çalışmaları yapılmalı ve membran hazırlama yöntemleri, kullanılan polimerik membran malzemelerinin özellikleri, membran hazırlama parametreleri belirlenmelidir. Hazırlanacak membranlarda istenen gözenek büyüklüğü ve dağılımı, membran kalınlığı ve geçirgenliği gibi parametrelerin optimum değerleri ve hazırlama parametrelerinin membran özellikleri üzerine etkileri belirlenmelidir. Bu çalışmalar düz membranlar hazırlanarak gerçekleştirildikten sonra içi boş lif (hollow fiber) membran çalışmalarına başlanılabilir.

Bu tezde düz levha (flat sheet) şeklinde polisülfon membranlar hazırlanarak proje kapsamında gerçekleştirilecek içi boş lif konfigürasyonunda membranların hazırlanması için bir alt yapı oluşturulacaktır. Bu çalışmanın amacı membran hazırlama şartlarının etkilerini incelemek üzere değişik şartlarda hazırlanan membranların üre ve kreatinin geçirgenliklerini ölçerek ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapı analizlerini yaparak karakterize etmektir. Membran hazırlamada faz dönüşümü yöntemi uygulanacak ve faz dönüşümü yönteminde önemli olduğu bilinen üç

parametre incelenecektir. Bunlar sırasıyla polisülfon matrisi içerisine hidrofilik bir polimerin katılması, çöktürme banyosunun bileşimi ve gliserinleme son işlemidir.

Tezin organizasyonu şu şekilde olacaktır: Bölüm 2’de hemodiyaliz ve temel prensipleri hakkında genel bilgiler sunulacaktır. Hemodiyaliz membranları ve hazırlama yöntemlerine ait bilgiler Bölüm 3’te yer alacaktır. Membran hazırlama çalışmaları ve geçirgenlik deneyleri Bölüm 4’te anlatılacak ve bunu deney sonuçlarını ve yorumları içeren Bölüm 5 izleyecektir. Son olarak bu çalışmadan çıkarılan vargılar ve ileride yapılacak çalışmalar için öneriler Bölüm 6’da yer alacaktır.



BÖLÜM 2

HEMODİYALİZİN TEMEL PRENSİPLERİ

2.1 TANIMLAR VE KAVRAMLAR

Bütün diyaliz prosesleri, küçük moleküllerin geçişine izin verirken, büyük moleküllerin taşınımını engelleyen, bir çeşit yarı geçirgen membrandan faydalanır. Sürekli hemodiyaliz, sağlıklı bir böbrek tarafından gerçekleştirilemeyen süzme işlemi ile su ve elektrolit dengesinin sağlanması görevini üstlenir. Hemodiyaliz sistemi başlıca iki ana kısımdan oluşur. Bunlardan birincisi yarı geçirgen membranı ihtiva eden diyalizör, ikincisi ise pompalar, borular ve kontrol monitörleridir. Kan diyalizör membranının bir tarafından akarken, diyalizat çözeltisi ters yönde membranın diğer tarafında akar. Burada diyalizat sıvısının bileşimi normal damar içinde dolaşan sıvının bileşimine yakındır [4].

Hemodiyaliz sırasında aynı anda iki fiziksel proses gerçekleşir. Bunlardan birincisi “difüzyon” olup; üre, kreatinin, ürik asit gibi toksik maddelerin yarı geçirgen membran aracılığı ile kandan diyalizat sıvısına, bunun yanı sıra kalsiyum ve bikarbonat gibi maddelerin de diyalizattan kana geçişini tanımlar. Bir başka deyişle difüzyonla taşınım, çözücünün olmadığı durumda membranın bir tarafından diğer tarafına, çözünen maddenin kendi moleküler hareketi ile gerçekleşen geçişidir. Membranın bir tarafından diğer tarafına bu hareketin sebebi, membranın iki tarafı arasında oluşan konsantrasyon gradyentidir. Yarı geçirgen membrandan difüze olan madde miktarı, membran yüzey alanının, konsantrasyon gradyentinin, membran malzemesine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen membran difüzivitesinin ve membranın çözücü ve çözünen ile yaptığı ara yüzeylerin bir fonksiyonudur.

Yarı geçirgen membrandan gerçekleşen madde difüzyonu aşağıdaki ifade ile tanımlanabilir:

$$J_i = - D_i \cdot A \cdot \frac{dC_i}{dx} \quad (2.1)$$

Bu ifadede i indisi bileşeni, J kütle akısını (mg/s), D , difüzyon katsayısını (cm^2/s), A , membran yüzey alanını (cm^2) ve $\frac{dC}{dx}$, konsantrasyon gradyentini (mg/ml.cm) gösterir.

Diyaliz işlemi sırasında konsantrasyon değişiminin lineer olduğu kabul edilirse Eşitlik (2.1) aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$J_i = - D_i \cdot A \cdot \frac{\Delta C_i}{\Delta x} \quad (2.2)$$

Eşitlik (2.2) yeniden düzenlendiğinde:

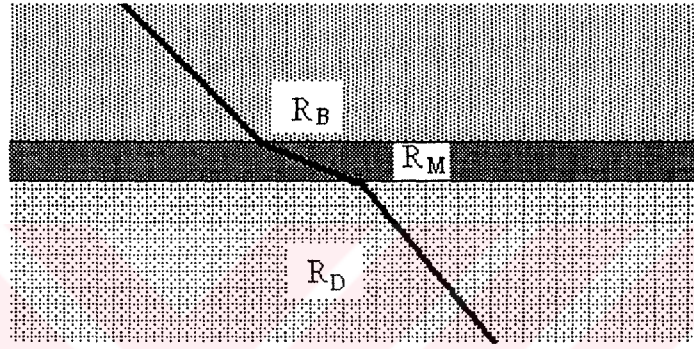
$$\frac{J_i}{A} = - \frac{\Delta C_i}{R} \quad (2.3)$$

eşitliği elde edilir ki burada $R = \Delta x/D_i$ olup direnci temsil etmektedir [5].

Eşitlik (2.3) ten de görüldüğü üzere birim alandaki madde akışı konsantrasyon gradyenti ile doğru, maddenin kandan diyalizata geçişi sırasında karşılaştığı direnç ile ters orantılıdır. Bu direnç kan tarafındaki direnç, membran direnci ve diyalizat tarafındaki direncin toplamına eşittir. Toplam direnç ne kadar az olursa, diyalizörün etkinliği de o kadar fazla olur. Kan ve diyalizat tarafındaki dirençler, membranın her iki tarafındaki kanın ve diyalizat çözeltisinin akış karakteristikleri ile membran ve sıvı arasındaki ara yüzeydeki sıvı tabakasının dağılımına bağlıdır. Ayrıca membran direnci, membranın kalınlığı kadar kimyasal karakteri ve üretim proseslerine de bağlıdır. Diyalizör membranların konfigürasyonu bağlı direnci saptamak açısından oldukça önemlidir.

Yarı geçirgen bir membrandan difüzyon ile geçişi belirleyen dört temel parametre vardır:

a) Membranın Geçirgenlik Sabiti ($\mathcal{P}$): Çözünen maddenin membranın diğer tarafına geçen miktarını belirler. Kandan diyaliz sıvısına geçiş olması için her molekül önce kandan sonra diyaliz membranından en son olarak da diyaliz sıvısına geçmelidir. Kan, membran ve diyaliz sıvısını içeren bölümlerin her biri bu geçişe karşı direnç gösterirler. Bu dirençler Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Diyalizörde difüzyona karşı oluşan dirençlerin şematik gösterilmesi

R_B = Kan bölümünün direnci,

R_M = Membran direnci,

R_D = Diyalizat bölümünün direnci

Toplam direnç (R) bu üç bölmenin gösterdiği dirençlerin toplamına eşittir :

$$R = R_B + R_M + R_D \quad (2.4)$$

Ortalama geçirgenlik sabiti $\mathcal{P}$, toplam direncin tersi olarak ifade edilir:

$$\mathcal{P} = \frac{1}{R} \quad (2.5)$$

Difüzyonla geçişin artması için, her bölmenin direncinin mümkün olduğu kadar düşük olması gerekmektedir. R_B , kan kanalının aktif yüksekliğinin azaltılması ile düşürülebilir. İlk yapılan diyalizörlerde bu yükseklik 400 mikron iken, şimdiki gelişmiş modellerde 150 mikrona kadar düşürülmüştür. İçi boş lif (hollow fiber) diyalizörlerde

ise bu yükseklik 100 mikrona kadar indirilmiştir. R_D , diyaliz sıvısının akış hızı artırılarak azaltılabilir. İçi boş lif diyalizörlerde bu hız dakikada 0.5-1 litre iken bobin (coil) diyalizörlerde 30 litreye ulaşır. R_M , sentetik membranın kalınlığının azaltılması ile düşürülebilir.

b) Etkin Diyaliz Yüzeyi: Membrandan geçen moleküllerin difüzyon hızı çözeltinin temasta bulunduğu yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla geniş yüzey alanına sahip diyaliz sistemleri daha verimlidir.

c) Konsantrasyon Gradyenti : Moleküllerin difüzyonla taşınımı membran boyunca oluşan konsantrasyon gradyenti ile doğru orantılıdır.

d) Molekül Ağırlığı: Moleküllerin difüzyonla membrandan geçişi, molekül ağırlıkları ile ters orantılıdır. Molekül ağırlığı küçük moleküllerin geçiş hızı daha yüksektir.

Hemodiyaliz esnasında gerçekleşen ikinci proses ise ultrafiltrasyon veya konveksiyondur. Diyalizde moleküllerin membrandan konveksiyonla taşınımı çözen ve çözünen maddelerin bir kısmının membranın diğer tarafına aynı anda geçişi demektir. Sıvılar hidrostatik basınç altında diyaliz sırasında kandan diyalizata geçerler. Konveksiyonla membrandan geçen sıvının miktarı, kan ve diyalizat bölümleri arasındaki basınç farkına bağlıdır. Membranın her iki tarafın arasında oluşan bu basınç farkı “transmembran basıncı (TMP)” olarak tanımlanır. Transmembran basıncı, kan ve diyalizat bölümlerindeki basıncın değiştirilmesiyle kontrol edilebilir. Negatif diyalizat basıncının artması, ultrafiltrasyonu arttıracaktır. Konveksiyonla taşınım hızı üç faktöre bağlı olarak gerçekleşir:

a) Eleme Katsayısı: Bir membranın eleme katsayısı, membranın gözenek boyutunun bir ölçüsüdür. Membranlar, her molekül için ayrı bir eleme katsayısına sahiptirler. Eleme katsayısının “0” olması membranın gözeneklerinin hiçbir molekülün geçişine izin vermeyecek kadar küçük olduğu anlamına gelirken bu katsayının “0.5” olması moleküllerin yarısının geçtiği gözenek yapısını ifade eder.

Bir molekül için membranın eleme katsayısı (S) matematiksel olarak $S = C_p/C_f$ olarak ifade edilir. Burada C_p , membrandan geçen akımdaki molekül konsantrasyonunu, C_f ise besleme çözeltisindeki molekül konsantrasyonu olarak tanımlanır.

b) Çözücü Geçiş Hızı: Konveksiyonla taşınım ultrafiltrasyon hızı ile doğru orantılıdır. Bu hız membranın iki tarafındaki basınç farkı (transmembran basıncı) kadar membranın etkin yüzey alanına ve membranın geçirgenliğine de bağlıdır. Etkin transmembran basıncı (TMP) kan dolaşımının pozitif basıncı ile diyaliz sıvısının ortalama basınç (çoğunlukla negatif veya sıfır) toplamından, kan dolaşımındaki proteinlerin ozmotik basıncının çıkarılmasına eşittir (25-30 mmHg). Hidrolik geçirgenlik, belirli bir membranın belirli bir zamanda maddeyi geçirme kapasitesi olarak tanımlanan fiziksel özelliğidir.

c) Moleküllerin Çözücü İçindeki Konsantrasyonu: Her molekülün konveksiyonla taşınımı, onun çözücü içindeki konsantrasyonu ile doğru orantılıdır.

Ultrafiltrasyon, büyük molekül ağırlığındaki maddelerin taşınımını arttırmasına rağmen asıl uygulanma amacı; vücuttaki fazla sıvının uzaklaştırılmasını sağlamaktır. İstenen miktarda sıvının uzaklaştırılması için gerekli basınç farkını belirlemek üzere diyalizörün “ultrafiltrasyon katsayısı”nın bilinmesi gerekir. Ultrafiltrasyon katsayısı (KU_f); 1 mmHg TMP uygulandığında membrandan geçen sıvının milimetre cinsinden miktarıdır. Ultrafiltrasyon katsayısının değeri çeşitli membran tiplerinde değişiktir. Genelde selülozik membranlar, sentetik membranlardan daha düşük ultrafiltrasyon katsayısına sahiptirler. Tablo 2.1’ de çeşitli membranlar için KU_f değerleri verilmektedir. Ultrafiltrasyon ile ultrafiltrasyon katsayısı arasındaki ilişki

$$\text{Ultrafiltrasyon} = KU_f \times \text{TMP} \times \text{diyaliz süresi (saat)} \quad (2.6)$$

şeklindedir.

Pratikte doğru basınç ölçümü zorlukları, aynı membranın farklı şartlarda değişik ultrafiltrasyon katsayısına sahip olması genelde diyalizin sonunda çekilmesi istenen tam sıvı miktarının önceden tahminini zorlaştırır. Bir diyalizörün üzerindeki KU_f

değeri genellikle in vitro (laboratuvar) değerlerini verir ve çoğu zaman olduğundan fazladır.

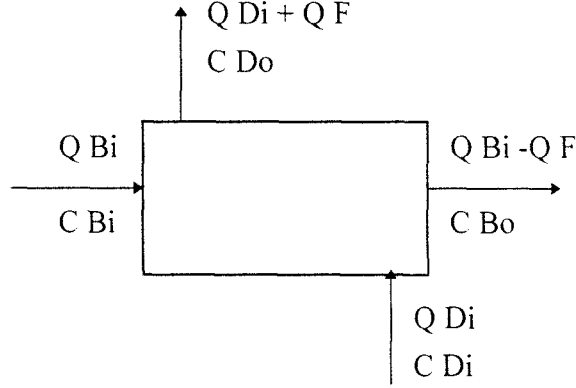
Tablo 2.1 En çok kullanılan hemodiyaliz membranlarında ultrafiltrasyon katsayısı (KU_f) değerleri [6].

Membran	KU_f aralığı (ml/mmHg/h)
Kuprofan	0.4 - 21.4
Hemofan	2.0 - 10.9
Selüloz Asetat (CA)	2.4 - 3.6
Poliakrilonitril (PAN)	19 - 56
Polisülfon (POLİSÜLFON)	5.5 - 60
Polimetilmetakrilat (PMMA)	45 - 113
Polietilen vinil alkol (PVA)	6.8 - 11.3

2.2 KLİRENS

Diyalizörler için kullanılan diğer bir kavram klirenstir ve diyalizörlerdeki klirens kavramı, doğal böbrekle aynıdır. Klirens, birim zamanda belirli bir maddeden temizlenmiş kan hacmini verir; örneğin bir dakikada 100 ml kandan temizlenen üre miktarı 100 ml/dak'lık "üre klirensine" karşılık gelir. Üre klirensi ile küçük moleküllerin, B12 vitamini klirensi ile orta büyüklükteki moleküllerin klirensi hakkında bir fikir sahibi olunabilir.

Hemodiyaliz sırasında gerçekleşen difüzyon ve konveksiyon prosesleri ile klirens arasındaki ilişki, Şekil 2.2'de gösterilen diyalizör sistemi için kütle dengesi kurularak açıklanabilir [7]. Şekil 2.2'den de görüldüğü gibi kan diyalizöre Q_{B_i} hacimsel debisi ve C_{B_i} konsantrasyonunda girmekte, difüzyon ve konveksiyondan sonra C_{B_o} konsantrasyonunda ve giriş debisi ile ultrafiltrasyon debisinin farkından oluşan $(Q_{B_i} - Q_F)$ debisi ile çıkmaktadır. Diyalizat ise C_{D_i} konsantrasyonu ve Q_{D_i} debisi ile girip Q_{D_o} konsantrasyonunda ve giriş ile ultrafiltrasyon debilerinin toplamı olan $(Q_{D_i} - Q_F)$ debisi ile diyalizörü terketmektedir.



Şekil 2.2 Diyalizörde kütle dengesi

Kütlenin korunumu kanununa göre:

$$Q_{Bi} \cdot C_{Bi} + Q_{Di} \cdot C_{Di} = (Q_{Bi} - Q_F) \cdot C_{Bo} + (Q_{Di} - Q_F) \cdot C_{Do} \quad (2.7)$$

yazılabilir. Eşitlik (2.7) düzenlenirse,

$$Q_{Bi} \cdot (C_{Bi} - C_{Bo}) + Q_F \cdot C_{Bo} = Q_{Di} \cdot (C_{Do} - C_{Di}) + Q_F \cdot C_{Do} \quad (2.8)$$

elde edilir. Eşitlik (2.8) de her iki tarafta ilk ifade difüzyif bileşeni, ikinci ifade ise konvektif bileşeni gösterir. Kan bölümündeki net akı;

$$J = Q_{Bi} \cdot (C_{Bi} - C_{Bo}) + Q_F \cdot C_{Bo} \quad (2.9)$$

şeklinde yazılır. Eşitlik (2.9) da her iki tarafın konsantrasyon gradyentine bölünmesiyle:

$$\frac{J}{C_{Bi} - C_{Di}} = \frac{Q_{Bi} (C_{Bi} - C_{Bo})}{(C_{Bi} - C_{Di})} + \frac{Q_F \cdot C_{Bo}}{(C_{Bi} - C_{Di})} \quad (2.10)$$

ifadesi elde edilir. Tek geçişli sistemlerde, içi boş lif (hollow fiber) ve plaka diyalizörlerde olduğu gibi C_{Di} sıfırdır. Bu durumda Eşitlik (2.10)

$$\frac{J}{C_{Bi}} = \frac{Q_{Bi} (C_{Bi} - C_{Bo})}{C_{Bi}} + \frac{Q_F \cdot C_{Bo}}{C_{Bi}} \quad (2.11)$$

şeklini alır. Burada ;

$$\frac{J}{C_{Bi}} = \text{Net Klirens} = K_{\text{net}} \quad (2.12)$$

olarak tanımlanır. Eşitlik (2.11) de ilk terim difüzyif klirens, ikinci terim ise konvektif klirens olarak ifade edilir. Toplam veya net klirens, bu iki terimin toplamına eşittir. Eğer ultrafiltrasyon yoksa, $Q_F = 0$ olur ve Eşitlik (2.11);

$$\frac{J}{C_{Bi}} = \frac{Q_{Bi} (C_{Bi} - C_{Bo})}{C_{Bi}} = K_d \quad (2.13)$$

şeklini alır. Burada K_d terimi, hemodiyaliz için klirensi ifade eder.

Diyalizörlerde klirens kan ve diyalizat akım miktarları ile paralel olarak artar. Bu etki üre gibi küçük moleküller için yüksek, B12 vitamini gibi orta moleküller için ise daha düşük değerler verir. Yarı geçirgen membranın iki tarafında diyalizat ve kan tabakaları oluşur. Molekül transferi önce bu tabakalar arasında meydana gelir. Diyalizat akımındaki artış giderek bu tabakaların azalmasına yol açar. 500 ml/dak'dan hızlı diyalizat akımı klirenste anlamlı bir artışa sebep olmaktadır. "Kütle transfer katsayısı" kavramı, moleküllerin bir diyalizör membranından geçiş kabiliyetini gösterir ki çok geçirgen membranlarda bu değer yüksektir. Diyalizde yüksek kütle transfer katsayısı ve yüksek kan akımı, hem küçük hem de büyük moleküllerin klirensini arttıracaktır [8].

2.3 ORTA MOLEKÜL TEORİSİ

Hemodiyaliz tedavisinde böbrek tarafından süzülemeyen kandaki toksik maddelerin, yarı geçirgen bir membran kullanılarak uzaklaştırılması ve su ile elektrolit dengesinin

sağlanması amaçlanmaktadır. Normal kişilerde azotlu bileşiklerin bozulması sonucu ortaya çıkan tüm atıklar böbrekler tarafından süzülerek uzaklaştırılır. Böbrek yetmezliği olan hastalarda ise bu atık maddeler kanda ve dokularda fonksiyon kaybı ile orantılı olarak birikme gösterirler. Bu maddelerin zararlı etkileri üremik hastalarda görülen birçok klinik ve biyokimyasal bozukluklardan sorumludur.

Böbrek yetmezliği sonucunda vücutta biriken toksik maddeler fazla sayıda olmalarına rağmen, genelde zararları en fazla olan maddeler üre, ürik asit ve kreatinindir. Bu maddelerin molekül ağırlıkları 500 Daltonun altında olup kolaylıkla diyalizör membranından geçerler. Miktar olarak üre en önemli azotlu madde atığıdır. Vücudun tüm su bölümlerine serbest olarak yayılır. Hücre içi yoğunluğu nerede ise kandaki kadar yüksektir. Üre, böbrek yetmezliği olan hastaların vücudunda önemli ölçüde birikir [9].

Yukarıda sözü edilen toksik maddeler, kronik böbrek yetmezliğinde görülen bozuklukların sadece bir kısmını açıklamaya yetmektedir. Bu bozukluklara sadece kolayca difüze olabilen düşük molekül ağırlıklı maddeler yol açmış olsalar idi, kronik hemodiyalizde bütün bozuklukların tamamını düzeltmek mümkün olabilirdi. Bu nedenle böbrek yetmezliğinde gözüken bozuklukların bir kısmından daha yüksek molekül ağırlıklı maddelerin sorumlu olduğu fikri akla gelmektedir. Çünkü bu maddeler, membrandan ya süzülememekte yada daha yavaş süzülmemektedirler. Tüm bu gözlemlerden Babb ve Scribner öncülüğünde “orta molekül teorisi” doğmuştur [9].

Babb ve Scribner, böbrek yetmezliği tedavisinde üre, ürik asit, kreatinin gibi düşük molekül ağırlıklı maddelerin kandan uzaklaştırıldığı halde üremik polinörit gibi bozuklukların giderilemeyişinin, molekül ağırlığı 500-2000 Dalton arasında olan toksik maddelerle ilişkili olduğunu ortaya çıkarmışlar ve bunlara “orta moleküller” adını vermişlerdir. Bu maddelerin kimyasal yapıları henüz aydınlatılamamış olmasına rağmen bu teori, üremik zehirlenmenin belirtilerini daha iyi anlamak konusunda iyi bir aşama kabul edilmektedir. Teorik nedenlerle orta moleküllerin uzaklaştırılması, kan ve diyalizatın akım hızına daha az bağımlı iken, kullanılan membranın yüzey alanına ve

diyaliz süresine daha fazla bağımlıdır. Bu kavram Babb ve Scribner tarafından “metre kare-saat” teorisi olarak ileri sürülmüştür [10].

Orta moleküllerin varlığı ve klinik ilişkileri üzerine yapılan tartışmalar klinik ve biyokimyasal araştırmaları teşvik etmiş, bu da;

- a) yeni diyaliz stratejilerinin gelişmesini,
- b) orta molekül olarak kabul edilen maddeler ayırabilecek yeni membranlar geliştirilmesini
- c) üremik vücut sıvılarının araştırılmasını hızlandıran yeni yöntemlerin gelişmesini sağlamıştır.

2.4 DİYALİZÖR MEMBRANLARININ İNSANA UYUMLULUĞU

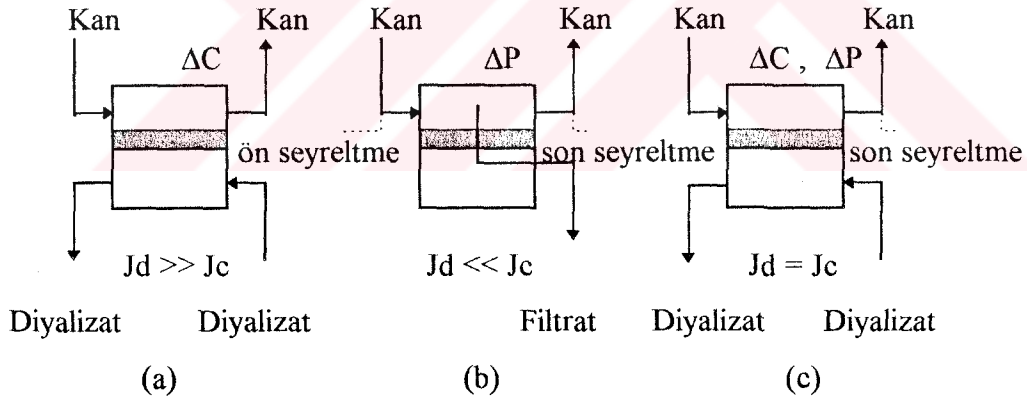
Yabancı bir madde olarak diyalizörlere hasta vücudu değişik reaksiyonlarla cevap verir. Hemodiyaliz tedavisi sırasında plazma proteinleri (komplement) ve kan hücreleri (lökosit ve trombositler) kan ile diyaliz membranının etkileşmesiyle aktive olurlar. Bu aktive ürünler birbiri ardısıra değişik klinik ve subklinik olaylara yol açarlar. Protein adsorpsiyonu, pıhtılaşma (thrombogenicity), komplement aktivasyonu, hücrenin membran yüzeyine yapışması (platelet adhesion) gibi olaylar membran yüzeyi ile kandaki komponentler arasındaki ilişkinin bir sonucu olarak ortaya çıkarlar. Bütün bu olaylar kan uyumu ifadesiyle özetlenebilir. Membranların kan ile biyolojik uyumunu belirleyen faktörler oldukça kompleks olup henüz tam olarak aydınlatılamamıştır.

Hemodiyaliz sırasında kandaki proteinlerin membran yüzeyine adsorpsiyonu. kullanılan membranın yüzey özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır. Membran yüzeyine adsorplanan protein, membran performansını etkiler ve düşük kan uyumuna yol açar. Dolayısıyla protein ve membran yüzeyi arasındaki etkileşimin, diyaliz işleminin verimliliği için minimuma indirilmesi gerekmektedir.

Proteinlerin membran yüzeyine adsorpsiyonu, membran yüzeyinin hidrofobik veya hidrofilik karakterinden oldukça etkilenir. Hidrofilik özellik gösteren membranlarda protein adsorpsiyonu, hidrofobik özellikte olan membranlara göre çok daha düşüktür. Buna göre hemodiyalizde kullanılacak membranların hidrofilik karakter göstermeleri tercih edilmektedir. Hidrofobik yapıdaki membranlara basit kimyasal yüzey işlemleri uygulanarak daha düşük protein adsorpsiyon değerleri elde edilebilir [11,12].

2.5 BÖBREK YETMEZLİĞİ TEDAVİSİNDE UYGULANAN DİĞER MEMBRAN PROSESLERİ

Günümüzde böbrek yetmezliği tedavisinde membranların üç farklı proste kullanımı söz konusudur. Hemodiyaliz, hemofiltrasyon ve hemodiyafiltrasyon olarak adlandırılan bu proseslerin akım şemaları Şekil 2.3’de gösterilmektedir [11].



Şekil 2.3 Böbrek yetmezliği tedavisinde kullanılan membran prosesleri

Hemodiyaliz, kandaki toksik maddelerin diyalizat çözeltisine geçişini konsantrasyon gradyentinin sağladığı, izobarik ve izotermik koşullarda gerçekleşen proses şeklindedir.

Hemofiltrasyon prosesinde toksik maddelerin kandan diyalizata geçişi hidrostatik basınç farkı altında gerçekleşir. Burada madde transferi konveksiyonla gerçekleştiği için orta moleküllerin geçişi daha fazladır. Hemofiltrasyon sırasında bir miktar sıvı da diyalizata geçer. Bu kayıp sürekli olarak steril çözeltilerle kana ilave edilmelidir.

Hemodiyafiltrasyon prosesi ise hemodiyaliz ve hemofiltrasyonun bir bileşimidir. Bu proseste kullanılacak membranlar yüksek hidrolik geçirgenlik ve yüksek moleküler ağırlık gibi özel ihtiyaçlara cevap veren yüksek akı membranları olmalıdır.

2.6 DİYALİZÖR ÇEŞİTLERİ

Hemodiyalizde kullanılan cihazlarla ilgili teknolojik çalışmalarla 1960'dan bu yana önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bunu hekimler ve mühendislerin işbirliği içerisindeki yoğun çalışmalara borçluyuz. Yapılan çalışmalar sonucunda, diyalizde kullanılan gereçlerin kullanımı ve endüstrideki üretimi çok daha kolay hale gelmiştir. Hemodiyalizde kullanılan cihazları iki ana sınıfta toplamak mümkündür. Bunlardan birincisi yarı geçirgen membranı ihtiva eden diyalizör, ikincisi ise kontrol monitörleri, pompalar ve borulardır. Diyaliz işleminde temel olarak kullanılan üç diyalizör tipi vardır [2].

Bobin diyalizörler, bir veya iki tane yassı kuprofon tüpün enine olarak silindirik şeklindeki bir destek yapı çevresine sarılmasından oluşan diyalizörlerdir. Dizayn şekli, kan ve diyalizat akımı arasındaki direnci artırır. Diyalizat akım hızı, yaklaşık 20-30 litre/dakika kadardır. Ultrafiltrasyonu kontrol altında tutmak, kan basıncı ve akımı sürekli değişiklik gösterdiğinden güçtür. Bobin diyalizörlerin üstün özellikleri; verimli olması ve kullanım kolaylığıdır. Olumsuz sayılabilecek yönleri ise, kan bölmesindeki direnci kırmak için yüksek basınç uygulamak zorunluluğu sonucunda membranın yırtılma olasılığı ve ultrafiltrasyonu düzenlemedeki güçlüğüdür.

Paralel tabaka diyalizörler, iki veya daha fazla sayıda birbirine paralel olan dikdörtgen tabakalardan oluşan diyalizörlerdir. Bu tabakalar, sağlam ve çok az esneklik gösteren destek yapıları ile birbirlerinden ayrılmışlardır. Basınç değişimi ile şekil değişikliğine uğramazlar. Diyalizör içinde dolaşan kan hacmine göre oldukça yüksek yüzey alanına sahip olduklarından daha yüksek klirens ve ultrafiltrasyon hızı gösterirler. Diyaliz

sonunda diyalizörde kalan kan hacmi, bobin diyalizörlere göre daha azdır. Ultrafiltrasyon daha kolay uygulanır ve düzenlenir.

İçi boş lif diyalizörler, birbirleriyle sıkıca bağlanmış binlerce ince lif kanallarından meydana gelen ve poliüretan bir muhafaza içine yerleştirilerek hazırlanan diyalizörlerdir. Kan akımı liflerin içinden, diyalizat ise dışından akacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu diyalizörler kolay ve etkin kullanıma sahiptirler. Kan bölmesindeki basınç düşüşü azdır ve ultrafiltrasyonun ayarlanması kolaydır. Membran yüzey alanı ve diyaliz hacmi esas alınarak bir karşılaştırma yapıldığında bu diyalizörlerin en yüksek klirens ve ultrafiltrasyon hızına sahip oldukları görülür. Buna karşılık en önemli dezavantajı ise zaman zaman lifler içinde pıhtılaşmanın olmasıdır ki bu diyalizin etkinliğini ve kan dolaşımını azaltır. Ayrıca teknik olarak üretimleri biraz zor olup maliyetleri fazladır. Bu dezavantajlara rağmen bugün hemodiyalizde en fazla tercih edilen diyalizör olma özelliğini taşımaktadırlar [2].

BÖLÜM 3

HEMODİYALİZ MEMBRANLARI

3.1 HEMODİYALİZ MEMBRANLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ

Böbrek yetmezliği olan hastaların tedavisinde sentetik membranların ilk kullanımı yaklaşık 50 sene öncesine dayanmaktadır. 1943 yılında William Kolff tarafından gerçekleştirilen ilk başarılı hemodiyaliz çalışmalarından sonra birçok teknik problemlere rağmen hemodiyaliz membranların geliştirilmesine yönelik önemli çalışmalar yapılmıştır [2].

İlk orijinal diyaliz deneylerinde, selüloz nitratın organik bir çözücü içerisinde çözünmesiyle elde edilen kolloidon membranlar kullanılmıştır [2]. Düşük kalite ve zayıf mekanik dayanıklılığa sahip olan bu membranların kullanımında birtakım zorluklar yaşanmıştır. 1930' lu yıllarda kolloidon membranlara oldukça benzer yine selülozdan üretilen selofan membranlar geliştirilmiştir [1]. Daha sonraki çalışmalarda selofan membranların yerini kuprofan membranların aldığı diyaliz çalışmaları yapılmıştır [3]. Kuprofan membranların selofan membranlara göre daha iyi difüzyon ve ultrafiltrasyon özelliği göstermeleri, çalışmaları bu membranlar üzerinde yoğunlaştırmıştır.

Özellikle 1960'lı yıllardan itibaren hemodiyaliz membranları teknolojisi hızla gelişmeye başlamıştır. Kuprofan membranlardan alınan olumlu sonuçlar araştırmacıları diyaliz makinelerinin modifikasyonuna yöneltmiştir. Bu çalışmalar sonucunda bobin diyalizörler yerlerini paralel plaka diyalizörlere, onlar da içi boş lif diyalizörlere bırakmıştır. Böylece içi boş lif (hollow fiber) diyalizörlerin kullanımının tercih edildiği hemodiyaliz çalışmaları başlamıştır [3].

Hemodiyaliz membranlarının geliştirilmesine yönelik çalışmalarda öncelikle esas değerlendirme kriteri olarak; kandan süzülmesi istenen toksik maddelerden üre, kreatinin, ürik asit için yüksek geçirgenlik değerlerinin olması düşünülmüştür. Babb ve Scribner tarafından ortaya atılan orta molekül teorisinden sonra çalışmalar yeni membranlar hazırlamaya yönelmiştir [9]. Mevcut selüloz bazlı membranların orta ve yüksek molekül ağırlıklı maddeler için geçirgenliklerinin düşük olması araştırmacıları farklı teknikler geliştirmeye zorlamıştır. Bu çalışmalar sonunda konvektif kütle transferi ile yüksek molekül ağırlıklı maddelerin geçişinin hızlandırıldığı hemofiltrasyon, daha sonra da hemodiyaliz ile hemofiltrasyonun kombinasyonundan oluşan hemodiyafiltrasyon prosesi geliştirilmiştir.

Geliştirilen yeni tekniklerle membranlardan beklenen özellikler değişiklik göstermeye başlamıştır. Membranın difüzyif taşınım özellikleri kadar konvektif taşınım özellikleri de esas alınmıştır. Bu doğrultuda membran geçirgenliğinin artırılması için membranların yapılarında değişiklik yapılması yoluna gidilmiş ve bunun için iki yöntem önerilmiştir. Bunlardan birincisi membranın kalınlığının azaltılıp, yüzey alanının artırılması, ikincisi ise daha gözenekli ve geçirgen yapıya sahip polisülfon, poliakrilonitril, polimetilmetakrilat gibi polimerlerden sentetik membranların hazırlanmasıdır.

Membran performansını sadece yapısal özelliklerinin belirlemediği, membranın kan ile biyolojik uyumunun da önemli bir etken olduğu anlaşıldıktan sonra çalışmalar protein adsorpsiyonu, komplement aktivasyonu, pıhtılaşma gibi olaylar üzerinde yoğunlaşmış ve bu etkileri azaltacak metodlar bulma yönüne gidilmiştir.

Son kırk yıl içerisinde hemodiyaliz membranlarının geliştirilmesine yönelik çalışmalarda hem membran performansı hem de prosesin etkinliği açısından önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Bu ilerlemelere rağmen membranların kan ile biyolojik uyumlarında ve toksik maddelerin temizlenmelerinde hala birtakım problemler söz konusudur.

3.2 HEMODİYALİZ MEMBRAN MALZEMELERİ

Diyaliz membranlarını genel olarak sentetik ve selülozik olmak üzere iki ana grupta toplamak mümkündür [13]. Selülozik membran sınıfı, doğal selüloz molekülünün temel alınarak hazırlandığı membranları temsil eder. Bu molekül, glikoz monomerinden doğal olarak sentezlenerek elde edilir. Yüksek saflıktaki selüloz molekülü doğrudan membran polimeri olarak kullanıldığı gibi, birtakım kimyasal işlemlerin uygulanmasıyla farklı özellikte polimerlerde elde edilebilir. Bu duruma esterleşme ve eterleşme işlemlerinin uygulanmasıyla hazırlanan hemofan ve selüloz asetat örnek verilebilir.

Sentetik olarak adlandırılan ikinci sınıf membranlar ise selülozik olmayan polimerlerden üretilirler. Polisülfon, poliakrilonitril, polikarbonat, polimetilmetakrilat bu gruba örnek verilebilecek sentetik polimerlerdir. Sentetik polimerlerin en önemli özelliği monomerlerinin doğada bulunmayışıdır.

Hemodiyalizde olduğu gibi kanla ilgili bütün tedavi yöntemlerinde biyouyumluluk özellikle önem arz etmektedir, çünkü kan hemodiyaliz için kullanılan membranlarla karşılıklı etkileşime girdiği zaman biyouyumsuzluk mekanizmalarının tümü aktif hale gelmektedir. Biyouyumluluk açısından sentetik ve selülozik membranlar karşılaştırıldığında, sentetik membranların daha iyi uyum gösterdikleri belirlenmiştir. Ayrıca sentetik membranların özellikle molekül ağırlığı yüksek maddeler için geçirgenlikleri ve ultrafiltrasyon katsayıları daha yüksektir. Bunun yanında sentetik membranlar, selülozik membranlara kıyasla daha pahalıdır.

Hemodiyalizde kullanılan başlıca membran çeşitleri ve bu membranların biyouyumluluk performansları aşağıda özetlenmiştir:

- a) Rejenere Selüloz: Bu membranların yüzeyi serbest hidroksil grubu ihtiva eder ki bu maddenin kan bileşenleriyle reaksiyona girme oranı yüksektir. Rejenere selüloz olarak selofan ve kuprofan örnek verilebilir. Kuproamonyum prosesi ile elde edilen kuprofan membranlar daha iyi yapıya sahip olup, membran yüzeyi daha yumuşaktır

ve insana daha uyumludur. Selofan ve kuproamonyum yapısındaki membranlar membran kalitesini düzeltmek üzere çeşitli işlemlere tabi tutularak değişik ürünler elde edilebilir.

- b) Selüloz Asetat: Burada hidroksil grubu radikaller, kimyasal olarak asetatla birleştirirler ve insana daha iyi uyumluluk gösterirler.
- c) Modifiye Selüloz: Bu gruba örnek olarak hemofan membranlar gösterilebilir. Hemofan, kuprofanın modifiye edilmiş halidir. Burada hidroksil gruplar tersiyer amino asitle selüloz üzerine kaplanırlar. Hemofan membranlar biyoyumluluk açısından iyi bir performansa sahiptirler.
- d) Sentetik Polimerler: Bunlar nonselülozik polimerlerden üretilirler ve çok yaygın olarak kullanılan polimerlerdir. Polisülfon, poliakrilonitril, polikarbonat örnek verilebilecek sentetik polimerlerdir. Hemodiyalizde özellikle polisülfon termal dayanıklılık, yüksek mekanik direnç, asit, tuz çözeltilerine karşı dayanıklılık gibi birçok özelliğinden dolayı tercih edilen bir polimerdir. Sentetik polimerler yüksek biyoyumluluğa sahip olup diğerlerinden daha pahalıdır.

3.3 FAZ DÖNÜŞÜMÜ YÖNTEMİ İLE MEMBRAN HAZIRLANMASI

Çözelti çöktürme veya polimer çöktürme olarak da bilinen “faz dönüşümü” metodu, iki veya daha fazla bileşenli sıvı halde homojen bir polimer çözeltisinin iki fazlı sisteme dönüştürülmesinden ibarettir. Bu fazlardan biri polimerce zengin katı bir faz, diğeri ise polimerce fakir sıvı bir fazdır. Katı faz membran matrisini, sıvı faz ise membranın gözeneklerini oluşturur. Eğer çöktürme prosesi hızlı olursa gözenek oluşturan sıvı damlacıkları küçük ve hazırlanan membran oldukça asimetric yapıda olur. Eğer çöktürme prosesi yavaş olursa gözenek oluşturan sıvı damlacıkları bir araya toplanıp gözeneklerin büyük olmasına yol açar ve bu şekilde oluşan membran genelde daha simetric bir yapıya sahiptir [14].

Faz ayrımı, belirli sıcaklık veya bileşim değerlerinde homojen çözelti veren bir polimer sisteminin sıcaklık veya bileşiminin değiştirilmesi ile gerçekleştirilebilirken termodinamik ve kinetik parametrelerle incelenebilir. Faz dönüşümü prosesinin iyi tanımlanması ve anlaşılması, membran oluşum mekanizmasının açıklık kazanması ve membran hazırlama özelliklerinin optimize edilebilmesi için çok önemlidir.

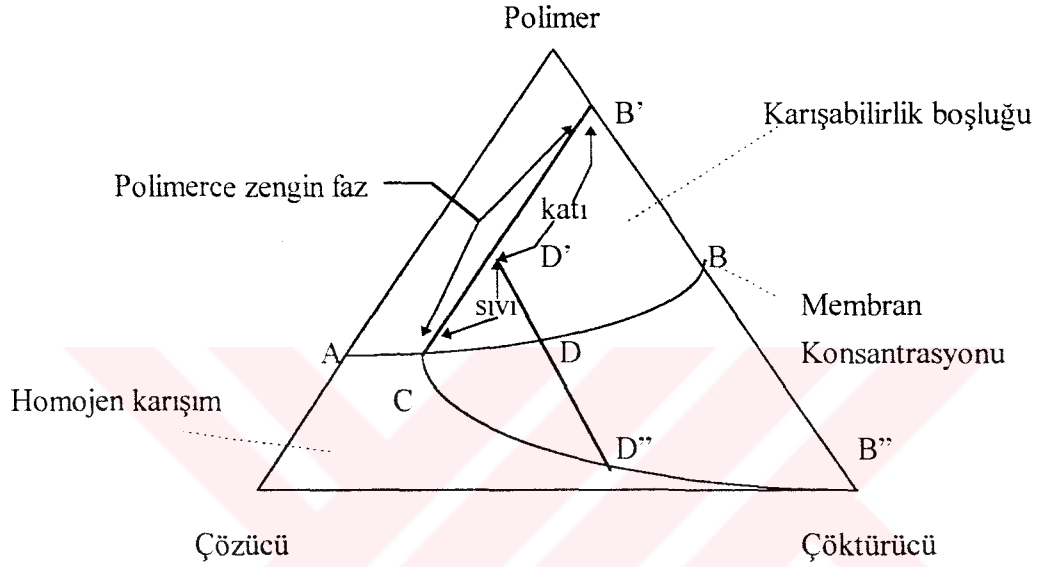
Faz dönüşümü yöntemi ile membran hazırlanmasında üç farklı yöntem uygulanır:

- 1) İki bileşenli karışımın ısı katılaşması
- 2) İki veya daha fazla bileşenli karışımdan uçucu çözücünün evaporasyonu
- 3) Çözücü olmayan bir sıvı banyosuna daldırma

Hemodiyaliz amaçlı membranların hazırlanmasında en çok kullanılan yöntem homojen polimer çözeltisinin çözücü olmayan bir sıvı banyosuna daldırılarak çöktürülmesidir. Bu yöntemde önce bir polimer ve çözücüsünden oluşan ve yaklaşık % 10-20 oranında polimer ihtiva eden homojen polimer çözeltisi ince bir film halinde dökülür. Daha sonra dökülen film, çözücü olmayan bir sıvı banyosuna daldırılır. Çözücü olmayan sıvı, filmin üst yüzeyini hızla çöktürür ve çok yoğun ince bir tabaka oluşumunu sağlar. Bu ince tabaka, banyo sıvısının polimer çözeltisi içerisine difüze olmasını yavaşlatır ve polimerin daha yavaş çökmesine sebep olur. Bu da daha büyük gözenekli bir yapı oluşturur. Çoğu zaman bu işleme banyoya daldırmadan önce çözücünün bir kısmını buharlaştırmak üzere kısa bir buharlaşma süresi ilave edilir [14].

Faz dönüşümü yönteminin mekanizması, bir faz diyagramı üzerinde daha kolay anlaşılabilir. Şekil 3.1' de görülen faz diyagramında üçgenin köşeleri saf bileşenleri, köşeleri birleştiren doğru iki bileşenin karışımını, üçgen içindeki herhangi bir nokta ise üç bileşenli karışımı göstermektedir. Faz diyagramında A noktası ile gösterilen homojen polimer çözeltisine çözücü olmayan bir bileşen ilave edildiğinde, eğer çözücünün sistemi terk etme hızı çözücü olmayan bileşenin çözeltiye giriş hızı ile aynı ise, çözeltideki bileşim değişimi A-B çizgisini takip eder. C noktasında sistem karışabilirlik boşluğuna girecek ve iki faz oluşmaya başlayacaktır: karışabilirlik aralığının üst sınırı ile temsil edilen polimerce zengin faz ve karışabilirlik aralığının alt sınırı ile temsil edilen polimerce fakir faz. Üç bileşenli karışımın belirli bir bileşiminde,

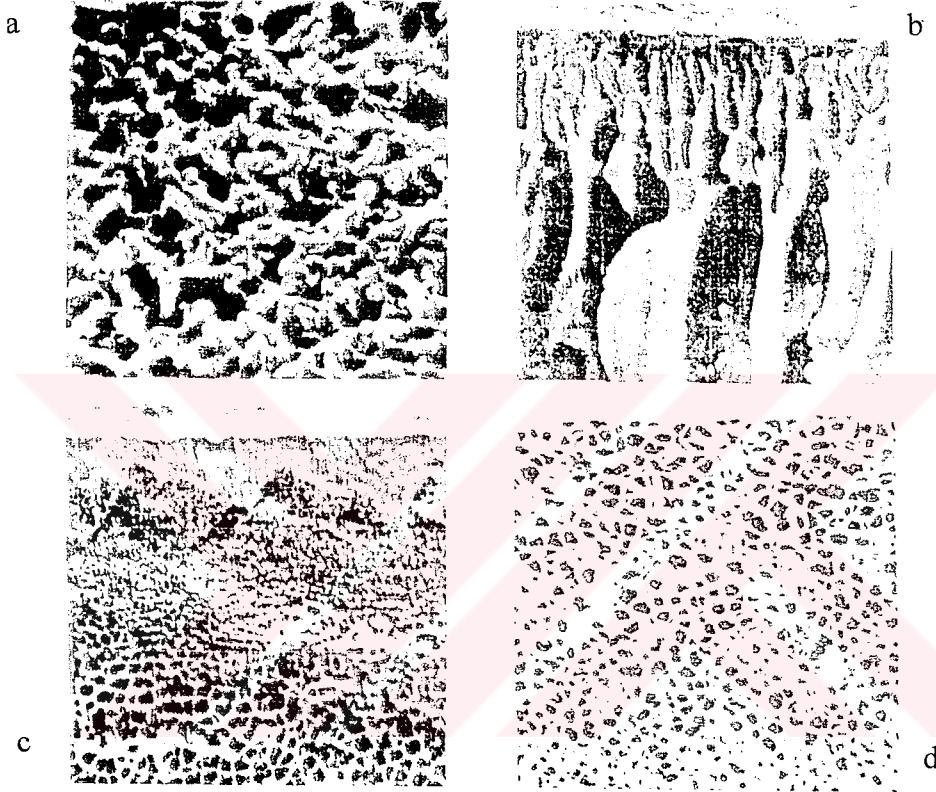
polimerce zengin fazdaki polimer bileşimi çözeltiyi katı sayabilecek kadar yüksek olacaktır. Bu nokta Şekil 3.1' de D noktası ile gösterilmektedir. Bu noktada membran yapısı aşağı yukarı belirlidir. Çözücü olan ve olmayan bileşenlerin daha fazla yer değiştirmesi ile son membran yapısı oluşur. Bu yapının gözenekliliği, B noktası ile gösterilen polimerce zengin katı faz ile artık polimer ve çözücü içermeyen B'' ile gösterilen sıvı faz tarafından belirlenir.



Şekil 3.1 Mikrogözenekli membran oluşumunu gösteren üçlü faz diyagramı [10].

Şekil 3.2 faz dönüşümü yöntemi ile hazırlanmış ve tipik özelliklere sahip 4 farklı yapıda membranın taramalı elektron mikroskopta (SEM) incelenmesi ile elde edilen kesit fotoğraflarını göstermektedir. Şekil 3.2-a' da selüloz nitratin nem kontrollü bir ortamda su buharı ile çöktürülmesi sonunda elde edilen bir mikrofiltrasyon membranının kesit alanı gösterilmektedir. Yüzeyinde ince bir tabaka olmayan bu membran, süngerimsi bir yapıya sahiptir. Şekil 3.2-b' de poliamid çözeltisinin su banyosunda çöktürülmesi sonucu elde edilen tipik bir ultrafiltrasyon membranının kesit alanı gösterilmektedir. Kesitinde parmak şeklinde boşlukların olduğu bir yapıya sahip olan bu membranın yüzeyinde yoğun ince bir tabaka vardır ve gözenek boyutu üst yüzeyden alta doğru artmaktadır. Şekil 3.2-c' de poliamid çözeltisinin su banyosunda çöktürülmesi ile elde edilen tipik bir ters ozmos membranının kesit alanı gösterilmektedir. Yüzeyde yoğun ince bir tabakaya sahip olan membran süngerimsi bir

yapı göstermektedir ve gözenek çapında üst yüzeyden alta doğru bir artış görülmektedir. Şekil 3.2'de b ve c arasındaki tek fark polimer konsantrasyonu ve çöktürme sıcaklığıdır. Şekil 3.2-d'de poliamid çözeltisinin su çözücü karışımında çöktürülmesiyle elde edilen bir ters ozmos membranı görülmektedir. Membran süngerimsi bir yapıya sahiptir. Yüzeyde ince bir tabaka ve kesit boyunca düzgün bir gözenek boyutu dağılımı gösteren gözenekli bir yapı vardır.



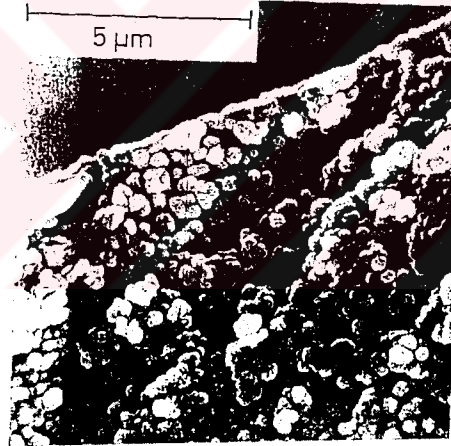
Şekil 3.2 Tipik membran yapılarının taramalı elektron mikroskop fotoğrafları [14].

a) Simetrik mikro gözenekli membran, b) Yüzeyde ince yoğun bir tabakaya sahip parmak tipli membran, c) Süngerimsi bir yapıya sahip asimetric membran, yüzeyde yoğun bir ince tabaka ve gözenekli bir yapı mevcuttur. Gözenek boyutu membranın yüzeyinden alta doğru artmaktadır, d) Süngerimsi bir yapıya sahip asimetric membran, yüzeyde yoğun ince bir tabaka ve uniform gözenek boyutuna sahip gözenekli bir yapı.

Şekil 3.2'de gösterilen yapılar oldukça karakteristik özelliklere sahiptirler. Şekil 3.2-a'da ki simetrik membran oldukça geniş bir yüzey alanı ve gözenekliliğe sahiptir. Hidrodinamik akışa karşı nispeten yüksek bir direnç gösterir ve bu direnç membranın kalınlığı ile ters orantılıdır. Şekil 3.2-b'deki membran asimetric yapıdan dolayı daha düşük bir hidrodinamik akış direncine sahiptir. Bu membranda hidrodinamik dirence sadece membranın yüzeyindeki ince tabaka boyunca rastlanır. Yapıda dikey olarak

uzanan geniş gözeneklerde hiç akış direnci görülmez. Çünkü akış direnci gözenek çapının karesi ile ters orantılıdır. Bu şekilde gösterilen membran yapısı hemofiltrasyon için uygun ancak hemodiyaliz için uygun değildir ve iki önemli dezavantajı vardır. Birincisi mekanik direncinin az olması ikincisi ise düşük yüzey gözenekliliğidir (genelde %3 den az). Düşük mekanik özellikler Şekil 3.2-c’de gösterildiği gibi membranın derecelendirilmiş gözeneklere sahip olacak şekilde süngerimsi bir yapıda hazırlanması ile giderilebilir [14].

Şekil 3.3’de istenilen yüksek gözenekliliğe sahip bir membranın SEM fotoğrafı görülmektedir. Bu membran son derece düzgün dairesel polimer parçacıklarının gevşek olarak birleşmesi ile oluşmuş granül bir yapıya sahiptir. Bu yapıdaki membranların mekanik dirençleri düşüktür. Ancak kesitinde açık hücre yapısına ve granül yüzey yapısına sahip bir membran yapılarak hem iyi bir mekanik direnç hem de yüksek yüzey gözenekliliği sağlanmış olur.



Şekil 3.3 Granül yapıya sahip bir membranın kesitinin SEM fotoğrafı.

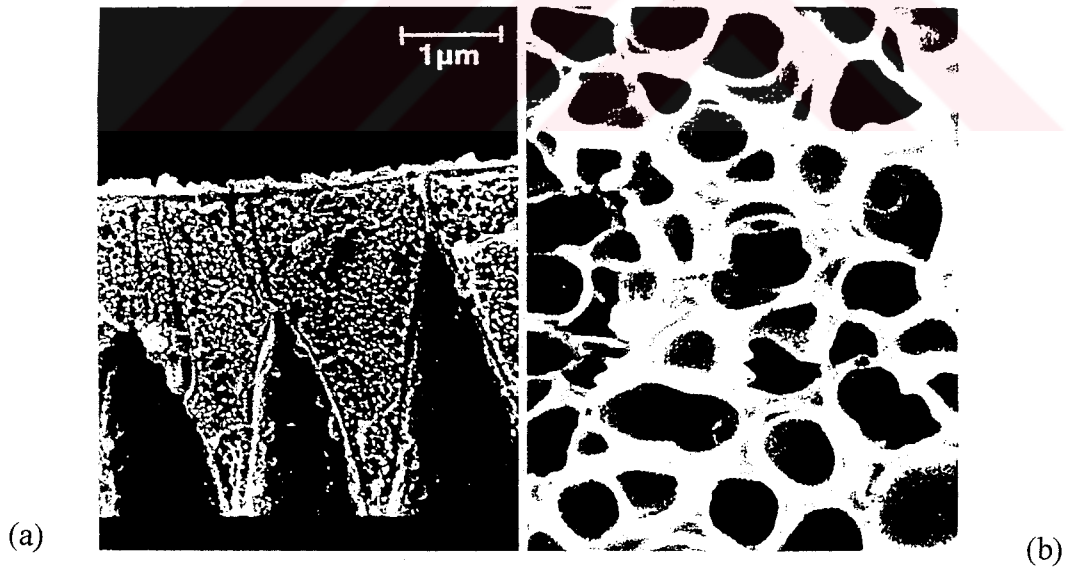
Faz dönüşümü ile elde edilen membranların yapısı ve özelliklerine etki edebilecek başlıca parametreleri şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Polimerin cinsi ve döküm çözeltisindeki polimer konsantrasyonu,
- 2) Çözelti hazırlamak için kullanılan çözücü veya çözücü sistemi,
- 3) Çöktürücü veya çöktürücü sistemi,
- 4) Çöktürme sıcaklığı.

Bu parametrelere ilave olarak diğerk birkaç işlem membran özelliklerini etkileyebilir. Örnek olarak ısı ile muamele sonucu membranın büzüldüğü tavlama işlemi ya da çöktürme işleminden önce filmin yüzeyinden çözücü ya da çözücü sisteminin buharlaştığı evaporasyon aşaması görülebilir.

Bazı membran hazırlama parametrelerinin membran yapısı ve performansına etkileri şunlardır :

1. Polimer konsantrasyonunun membran yapısına etkisi: Şekil 3.4’de farklı konsantrasyonlarda poliamid ve DMAc çözeltilerinden hazırlanan membranların taramalı elektron mikroskop (SEM) fotoğrafları görülmektedir. Döküm çözeltisinin düşük polimer konsantrasyonlarına sahip olması membran kesitinin parmak tipi (Şekil 3.4.a) bir yapıda, yüksek konsantrasyona sahip olması ise süngerimsi (Şekil3.4.b) bir yapıda olmasına yol açar.. Ayrıca yapılan araştırmalarda çözelti konsantrasyonunun artması ile yüzey kusurlarının, çukurların ve makro gözeneklerin azaldığı görülmüştür [15].



Şekil 3.4 Farklı konsantrasyonlardaki poliamid çözeltilerinden elde edilmiş membranların kesit SEM fotoğrafları, a) % 10 poliamid - DMAc, b) % 22 poliamid - DMAc [12].

2. Çöktürmeden önce ve sonra yapılan işlemlerin etkisi: Bu işlemler döküm çözeltisinin çöktürme işleminden önce kısmen buharlaştırılması ya da çökmüş polimer filminin tavlama işlemi gibi işlemlerdir. Her iki işlem de membranın ayırma özelliklerini ve yapısını büyük ölçüde etkiler. Evaporasyon esnasında filmin yüzeyindeki konsantrasyon artar. Evaporasyon işlemi, döküm çözeltisindeki çözücü oranını değiştirir. Bu da membranın yapısını ve geçirgenlik özelliklerini etkiler. Aynı olay tavlama işlemi için de geçerlidir. Bu işlemle membran büzülür ve geçirgenlik özellikleri değişir.

3. Çökme hızı ve membran yapısı arasındaki ilişki: Karakteristik membran yapıları, polimer çözeltisinin çökme hızı ile ilişkilendirilebilir. Çökmenin hızlı olduğu durumlarda parmak tipinde boşluklar içeren bir yapı, hızlı olduğu durumlarda ise süngerimsi bir yapı oluşmaktadır. Döküm çözeltisi içinde bulunan polimer konsantrasyonundaki artış çökme hızında bir azalmaya sebep olur. Bu da süngerimsi bir yapı oluşturur.

3.4 POLİSÜLFON MEMBRAN HAZIRLAMA ÇALIŞMALARI

Hemodiyaliz membranların hazırlanmasına ait çalışmalarda değişik polimerlerin kullanımı söz konusudur. Genel olarak hemodiyaliz membran malzemelerinin selülozik ve sentetik olmak üzere iki ana sınıfta toplandığı ve sentetik polimerlerden hazırlanan membranların selülozik membranlardan daha iyi sonuçlar verdiği önceki bölümde belirtilmişti. Sentetik polimerlere polisülfon, poliakrilonitril, polimetilmetakrilat örnek verilebilir.

Günümüzde hemodiyaliz tedavisinde polisülfon membranlardan hazırlanan diyalizörlerin kullanımı oldukça yaygındır. Özellikle Fresenius firması tarafından üretilen F 60 diyalizörleri ile yapılan hemodiyaliz tedavilerinden olumlu sonuçlar alınmaktadır.

Hemodiyalizde kullanıma uygun polisülfon membranlar faz dönüşümü yöntemi uygulanarak hazırlanırlar. Bu yöntemin uygulanmasında ilk adım polimer ve çözücüsünden oluşan döküm çözeltisinin hazırlanmasıdır. Polisülfon için kullanılabilecek uygun çözücülere N-metilpirolidon (NMP), dimetilformamid (DMF), N,N-dimetilasetamid (DMAc), kloroform örnek verilebilir.

Polisülfon membranların yapısını ve yüzey özelliklerini modifiye etmek için membran matrisine ikinci bir polimer katılabilir [16,17]. Membran yapısına katılan bu polimerik maddelere polivinilpirolidon (PVP), polietilenglikol (PEG), poliüretanlar örnek verilebilir. Polisülfon tek başına kullanıldığında hidrofobik yüzey özelliği gösteren membranlar hazırlanır. PVP, PEG gibi katkı maddelerinin membran matrisine katılmasıyla elde edilen membranların hidrofobik özelliği azaltılarak bu membranlara hidrofilik özellik kazandırılır. Hemodiyalizde kullanılacak membranların kan ile biyolojik etkileşimi sonucu ortaya çıkan protein adsorpsiyonu, komplement aktivasyonu gibi bozuklukların azaltılması için hidrofilik yüzey özelliğinde olmaları istenir.

Polisülfon membran matrisine katılan ve membranın yapısını değiştiren maddelerin seçimi, elde edilecek membranların özelliklerini belirlemek açısından oldukça önemlidir. Membranlarda gözenek oluşumu, seçilen katkı maddesinin döküm çözeltisindeki diğer maddelerle karşılıklı etkileşimine de bağlıdır. Gözenek oluşturuca olarak da adlandırılan bu maddelerin yapıya katılımı, membranın gözenekliliği, geçirgenliği ve morfolojisini oldukça etkiler.

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 GİRİŞ

Bu çalışmada hemodiyalizde kullanıma uygun polisülfon membranların hazırlanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla polisülfon bazlı polimerik karışımlardan faz dönüşümü yöntemi ile asimetrik yapıda membranlar hazırlanıp karakterize edilmiş ve membran hazırlama parametrelerinin membranların yapısına ve ayırma özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Hazırlanan membranların ayırma özelliklerinin karakterizasyonu üre ve kreatinin geçirgenliklerinin incelendiği kütle iletimi deneyleri ile, yapı analizleri ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır.

Bu bölümde önce deneylerde kullanılan malzemeler belirtilecek ve membran hazırlama prosedürü açıklanacaktır. Daha sonra kütle iletim deneylerinin gerçekleştirildiği deney düzeneği tanıtılacak ve deneyin yapısı hakkında bilgi verilecektir. Son olarak deneysel verilerden geçirgenlik değerlerinin hesaplanması ve deney parametreleri açıklanacaktır.

4.2 MEMBRAN HAZIRLAMA

4.2.1 Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar

Deneysel çalışmalarda membran hazırlamak için kullanılan polisülfon (PS, MW 50000) Aldrich firmasından temin edilmiş olup, her kullanımdan önce 120 °C de etüvde bir gece kurutulmuştur. Polisülfonu çözmek için kullanılan N-metilpirolidon (NMP)

%99 saflıkta olup Merck markadır. Polivinilpirolidon (PVP, MW 10000) ise Aldrich marka olup kullanılmadan önce 25 °C deki vakum etüvünde bir gece kurutulmuştur. Homojen polimer çözeltisinden membran dökme işlemi “doctor blade” adı verilen döküm bıçağının kullanıldığı SHEEN 1133 marka otomatik film dökme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Döküm bıçağı, paslanmaz çelik bir bıçak ve onu taşıyan iki ayaktan oluşmuştur. Bıçağı yukarı kaldıran bir yay mekanizması mevcuttur. Bıçağın üzerinde istenen kalınlıkta film dökülmesini sağlayan iki adet mikrometre vardır. Döküm yüzeyi ile temasta olan bıçak kısmı hassas olarak tıraşlanmıştır. Döküm bıçağının kullanıldığı otomatik sistemde, döküm yüzeyi üzerindeki bıçağı iterek ilerlemesini sağlayan bir mekanizma mevcuttur. Bu mekanizma ile 10 - 25 cm/s arasındaki herhangi bir hızda film dökümü mümkün olmaktadır. Hazırlanan membranların son kalınlıkları mikrometre ile ölçülmüştür.

4.2.2 Asimetrik Membranların Hazırlanması

Membran hazırlamanın ilk aşaması önceden miktarları belirlenen polisülfon, polivinilpirolidon ve N-metilpirolidondan oluşan bir polimer çözeltisi hazırlamaktır. Bu çözelti homojen bir karışım oluncaya kadar manyetik bir karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Karıştırma hızı, polimer çözeltisinde hava kabarcıkları olmayacak şekilde ayarlanmıştır. Elde edilen polimerik döküm çözeltisinden, yatay temiz bir cam üzerine “doktor blade” döküm bıçağının kullanıldığı otomatik film dökme cihazı ile istenen kalınlıkta ince bir film tabakası oluşturulmuştur. Oluşan film tabakası daha sonra çöktürme işlemine tabi tutulmuştur.

Asimetrik yapıda membranlar elde etmek için polimeri çöktürme işlemi, polimer için çözücü olmayan fakat çözücü ile karışabilen bileşen veya bileşenlerin ilavesi ile gerçekleştirilir. Bu çalışmada hazırlanan polisülfon membranları çöktürmek için üç farklı özellikte çöktürücü ortam olarak kullanılan banyolar hazırlanmıştır. Bu banyoların birincisi polimer için çözücü olmayan saf sudan, ikincisi saf su + polimeri çözmek için kullanılan çözücünden, üçüncü ise saf su + çözücü + polimeri şişiren fakat çözmeyen bir bileşenden oluşmaktadır.

Her üç banyoda da gerçekleşen temel olay; dökülen polimer filmdeki çözücü ile banyo ortamındaki bileşenlerin yer değiştirmeleri sonucu polimerin değişik hızlarda çökmesi ve böylece gözenekli bir yapının oluşmasıdır. Bu şekilde banyolarda çöktürülerek hazırlanan membranlar, gözeneklerinin hidrofilik bir sıvı ile doldurularak genişletilmesini sağlamak amacıyla gliserin banyosuna daldırılarak gliserinleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Gliserinleme işleminden sonra membranlar 60 °C deki etüvde 20 dakika kurutulmuştur.

4.3 GEÇİRGENLİK DENEYLERİ

4.3.1 Kullanılan Malzemeler

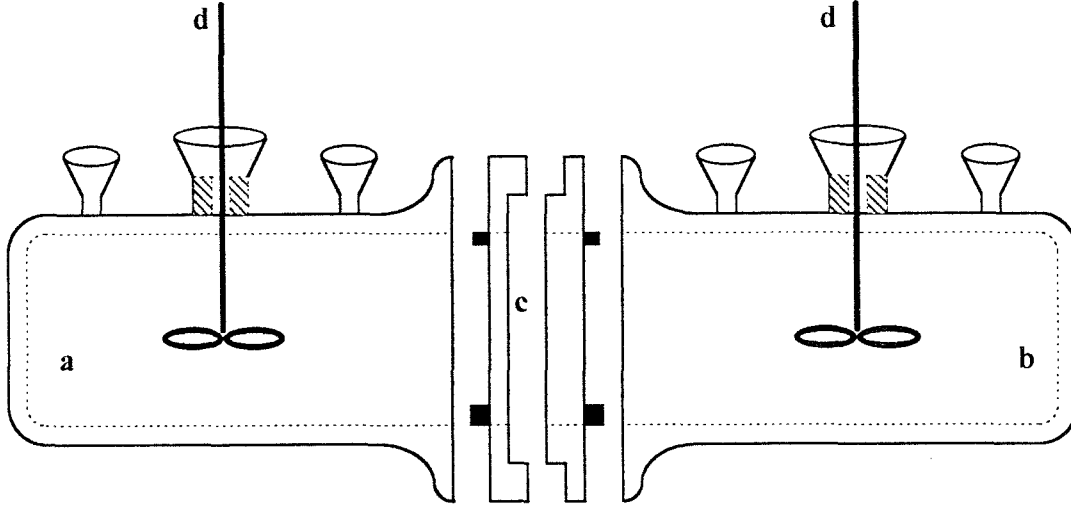
Difüzyon deneylerinde kullanılan üre ve kreatinin Merck firmasından temin edilmiştir. Deney sırasında membrandan geçen üre ve kreatinin konsantrasyonlarını belirlemek için yapılan analizlerde kullanılan FeCl_3 , H_2SO_4 , H_3PO_4 ve pikrik asit, Merck, tiyosemikarbazid ise Carlo Erba markadır.

4.3.2 Deney Düzeneği

Hazırlanan polisülfon membranların geçirgenlik ölçüm deneyleri Şekil 4.1`de gösterilen birbirlerinden bir membran ile ayrılmaları sağlanan iki adet cam hazneden oluşan bir diyaliz hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

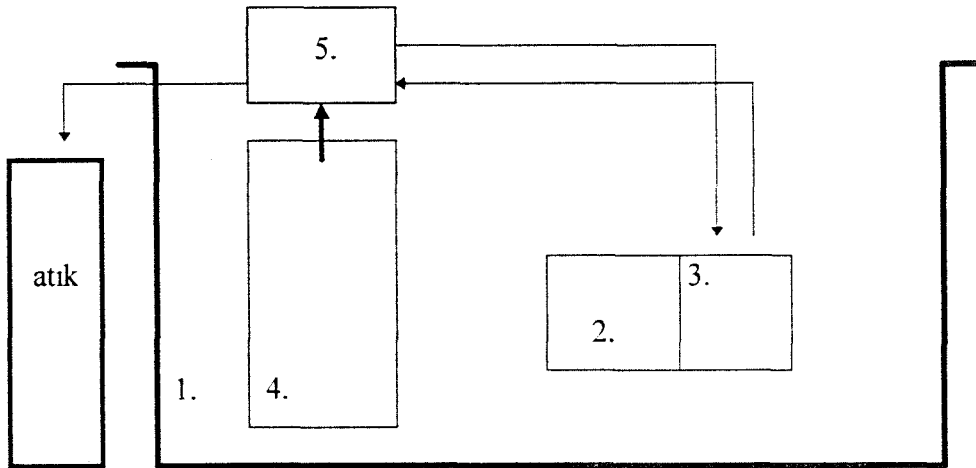
Hücresinin sol tarafındaki haznede membrandan geçmesi istenen üre, kreatinin gibi metabolitlerin bulunduğu besleme çözeltisi, sağ tarafındaki haznede ise saf su bulunmaktadır. Karakterize edilecek membran bir teflon conta aracılığıyla iki cam bölmenin arasına yerleştirilmiş ve yine teflon bir destekle birbirine tutturulmuştur. Şekil 4.1`de görüldüğü üzere her iki haznede üç tane giriş vardır. Besleme çözeltisinin bulunduğu bölümdeki ilk giriş, sıcaklık kontrolünün yapılabilmesi için kullanılan termometre girişidir. İkinci giriş homojen bir konsantrasyon dağılımı sağlamak için

kullanılan karıştırıcının yerleştirildiği giriştir. Üçüncü giriş ise numune alma işleminin gerçekleştirilmesi içindir.



Şekil 4.1 Diyaliz Hücresi : (a) Metabolit Çözeltisi, (b) Saf Su, (c) Membran, (d) Karıştırıcı.

Diyaliz hücresinin saf su içeren sağ tarafında ise su sirkülasyonunu sağlamak için kullanılan ISMATEC Reglo - Digital MS - 4/8 marka peristaltik pompaya ait su giriş ve çıkışı için bağlantılar ile ortada karıştırıcı için bir giriş mevcuttur. Diyaliz hücresinin sabit sıcaklıkta tutulabilmesi için sistem bir su banyosu içerisine yerleştirilmiştir. Ayrıca diyaliz hücresinin sağ tarafındaki suyun sirkülasyonunda kullanılan iki adet 1 litrelik su rezervuarı da hücre ile aynı sıcaklıkta olmalarını sağlamak için bu su banyosu içerisine yerleştirilmiştir. Şekil 4.2’de geçirgenlik deneylerinin gerçekleştirildiği diyaliz sistemi bütün ayrıntılarıyla görülmektedir.



Şekil 4.2 Diyaliz Sistemi : (1) Su Banyosu, (2) Diyaliz Hücresi, (3) Membran, (4) Su Rezervuarı, (5) Peristaltik Pompa.

4.3.3 Geçirgenlik Deneylerinin Yapılışı

Geçirgenlik deneylerine başlamadan önce diyaliz hücresi ve kullanılacak tüm cam malzemeler önce seyreltik nitrik asit ile yıkanmış ve daha sonra saf su ile çalkalanmıştır. Karakterize edilecek membran uygun boyutta kesilerek iki cam hazne arasına teflon conta ile sıkıştırılarak yerleştirilmiştir ve her iki cam hazneye saf su konularak contanın sızdırmazlığı kontrol edilmiştir. Diyaliz hücresinde kullanılmak üzere, belirlenen konsantrasyonlarda hazırlanan üre ve kreatinin çözeltileri ile banyo suyu sıcaklığı deneye başlanmadan önce 37 °C ye getirilmiştir. Diyaliz hücresine yerleştirilen membranın basınçtan dolayı yırtılmasını önlemek için besleme çözeltisi ile saf suyun diyaliz hücresine beslenmesi eşit debide gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde hazırlanan diyaliz hücresi 37 °C deki banyo içerisine yerleştirilmiş ve karıştırıcı ve peristaltik pompanın su giriş ve çıkış bağlantıları yapılmıştır. Belirli zaman aralıklarında hücrenin sol tarafındaki metabolit çözeltisinden gerekli miktarlarda numuneler alınmış ve bu numunelerdeki üre veya kreatinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Deney sonunda herhangi bir ozmos etkisi veya seyrelme olup olmadığını anlamak için besleme çözeltisinin hacmi ölçülmüştür.

4.4 ÜRE VE KREATİNİN KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

Belirli aralıklarla diyaliz hücresinden alınan numunelerdeki üre ve kreatinin konsantrasyonları HP 84524 marka bir UV spektrofotometre kullanılarak belirlenmiştir. Bunun için üre tayininde diasetilmonoksim yöntemi [18], kreatinin tayininde ise pikrik asit yöntemi [18] kullanılmıştır. Her iki yöntemin de esası, üre ve kreatininin belirli kimyasal maddelerle reaksiyona sokularak fotometrik tayin için uygun renkli bileşikler hazırlanmasına dayanmaktadır. UV de üre tayini 526 nm dalga boyunda, kreatinin tayini ise 486 nm de gerçekleştirilmiştir. Üre ve kreatinin miktarları standartla kıyaslama veya kalibrasyon eğrileri yardımı ile bulunmuştur.

4.5 DENEYSEL VERİLERDEN GEÇİRGENLİK DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

Geçirgenlik değeri, diyaliz hücresinin sol tarafındaki çözelti için oluşturulacak makroskopik bileşen kütle dengesi yardımıyla hesaplanmıştır.

$$-J_A A = \frac{d(V \cdot C_A)}{dt} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte J_A , membrandan difüze olan A bileşeni akısını, A, membran yüzey alanını, V, diyaliz hücresinin sol tarafındaki hacmi, C_A bileşeni konsantrasyonunu vermektedir. Membrandan difüze olan A bileşenin akısı

$$J_A = -P \cdot \frac{D C_A}{l} = -P \frac{C_{A\text{sağ}} - C_A}{l} \quad (4.2)$$

eşitliğinden hesaplanabilir [19]. Bu eşitlikte P geçirgenliği, l membran kalınlığını, ΔC ise membranın iki tarafı arasındaki A bileşeni konsantrasyon farkını göstermektedir. Eşitlik 4.2, Eşitlik 4.1'de yerine konulur ve hücrenin sağ tarafındaki haznede A bileşeni konsantrasyonunun sıfır olduğu kabul edilirse

$$\frac{d C_A}{dt} = - \frac{P \cdot A \cdot C_A}{V \cdot l} \quad (4.3)$$

elde edilir. Eşitlik 4.3

$$\frac{d C_A}{C_A} = - \frac{P \cdot A}{V \cdot l} dt \quad (4.4)$$

şeklinde düzenlenip, her iki tarafın integrali alınırsa

$$\ln \frac{C_{A0}}{C_A} = \frac{P \cdot A}{V \cdot l} \cdot t \quad (4.5)$$

elde edilir. Herhangi bir t anındaki A bileşeni konsantrasyonunu veren bu eşitlik

$$\ln \frac{C_{A0}}{C_{At}} = \frac{P \cdot A}{V} \cdot \frac{t}{l} \quad (4.6)$$

şeklinde düzenlendiğinde, $\ln C_0 / C_t - t/l$ ye karşılık grafiklenirse eğimi PA/V olan bir doğru verecektir ve geçirgenlik eğimden hesaplanabilir.

4.6 DENEY PARAMETRELERİ

PVP'nin polisülfon membranlara katılmasının amacı, membranın yüzey özelliklerinde ve yapısında değişikliklere yol açmaktır. Dolayısıyla deneylerde polimerik karışımlardaki PVP / PS oranının membranların yapısındaki etkileri incelenmiştir. Hazırlanan membranların farklı hızda çöktürülmelerini sağlamak amacıyla 3 değişik bileşimde çöktürme banyoları hazırlanmıştır. Bu banyoların birincisi saf su, ikincisi saf su + çözücü, üçüncüsü ise saf su + çözücü + şişme sağlayıcı bileşenden oluşmaktadır. Membranların gözeneklerinin genişletilmesini sağlamak amacıyla uygulanan gliserinleme işlemi incelenen diğer bir parametredir. Söz konusu parametrelerin etkilerini incelemek amacı ile hazırlanan 11 adet membranın hazırlama şartları ve son kalınlıkları Tablo 4.1'de özetlenmiştir.

4.7 TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) ANALİZLERİ

Hazırlanan PVP katkılı polisülfon membranların yapıları taramalı elektron mikroskop (SEM) kullanılarak yapılmıştır. Bunun için hazırlanan numuneler sıvı azotta kırılarak HUMMER VII marka kaplama cihazında altınla kaplanmış, bu membranların kesitleri JEOL JSM. 840 marka taramalı elektron mikroskopunda incelenmiştir.

Tablo 4.1 Kullanılan Membranların Hazırlanma Şartları ve Son Kalınlıkları

Membran No	Polimer Çözeltisindeki PVP/PS oranı	Banyo Sıcaklığı (°C)	Banyo Bileşimi			Döküm Kalınlığı (µm)	Son Kalınlığı (µm)	Gliserinizasyon
			% Su	%NMP	% IPA			
1	0.25	17	100	-	-	100	68	-
2	0.40	17	100	-	-	100	66	-
3	0.60	17	100	-	-	100	64	-
4	0.80	17	100	-	-	100	63	-
5	1	17	100	-	-	100	62	-
6	1	17	80	20	-	100	52	+
7	1	17	80	40	-	100	44	+
8	1	17	40	20	40	100	55	+
9	1	17	30	40	30	100	50	+
10	1	17	100	-	-	100	50	+
11	0.40	17	40	-	-	100	66	+

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

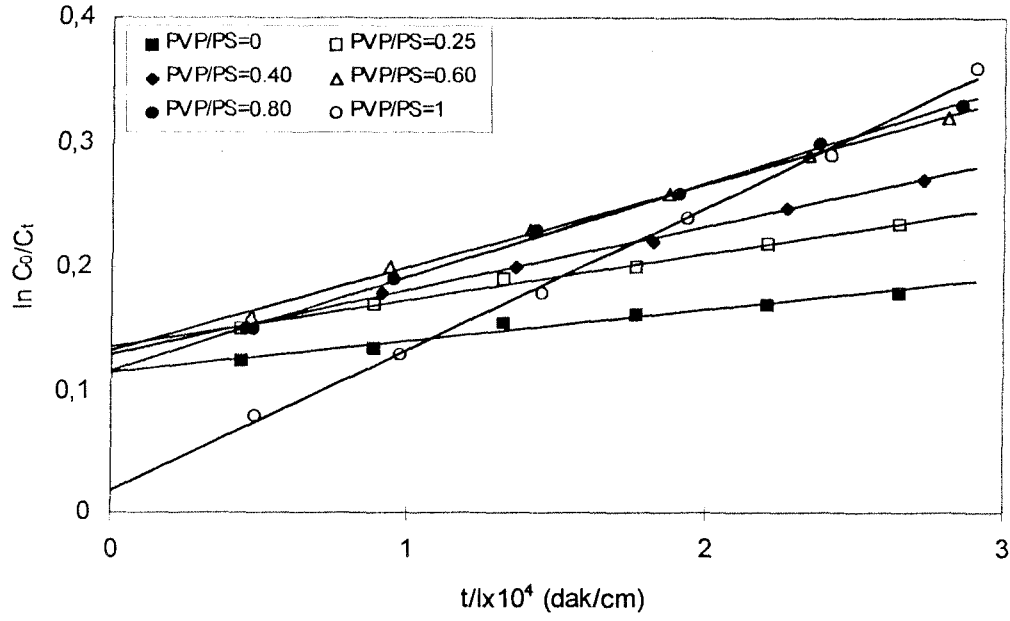
5.1 GİRİŞ

Bu çalışmada polivinilpirolidon katkılı polisülfon membranlar hazırlanmıştır. Hazırlanan membranların difüzyon deneyleri sonucunda üre ve kreatinin geçirgenlikleri ölçülerek ayırma özellikleri incelenmiş ve taramalı elektron mikroskop ile yapıları karakterize edilmiştir. Bu bölümde değişik şartlarda hazırlanan membranların geçirgenlik deney sonuçları sunulacak ve bu sonuçlar değerlendirilecektir.

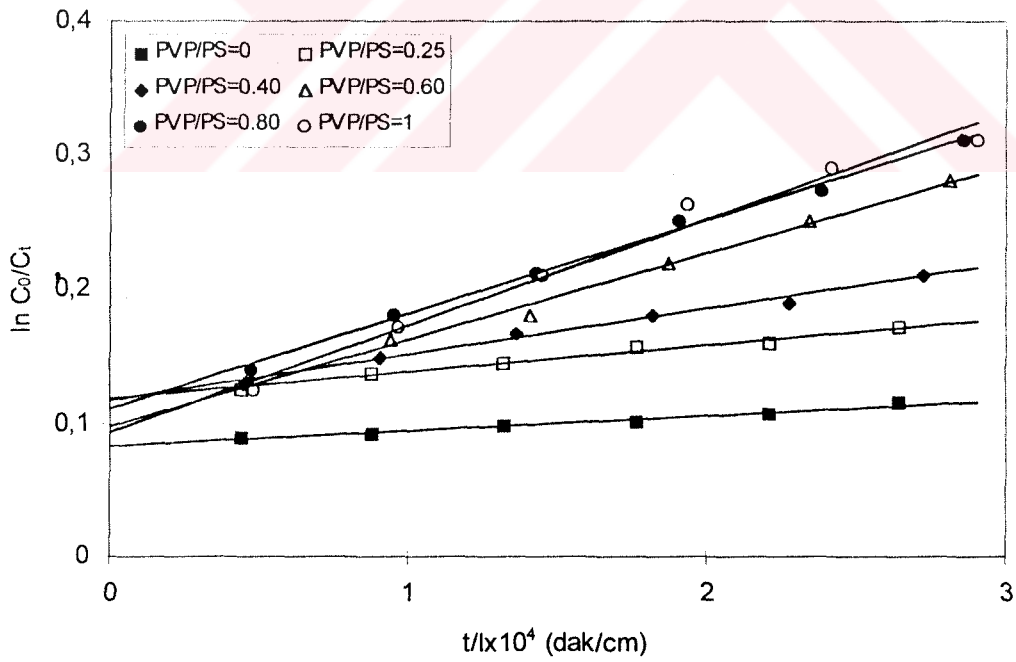
5.2 DÖKÜM ÇÖZELTİSİNDEKİ PVP/PS ORANININ ETKİSİ

Banyoda çöktürme yolu ile membran hazırlama işlemi genelde bir polimer, bir çözücü ve bir çözücü olmayan sıvı ile gerçekleştirilir. Döküm çözeltisine ikinci bir polimerin eklenmesi ile çok farklı yapıda membranlar hazırlamak mümkündür. Bu çalışmada polisülfon-NMP-su sistemine suda çözünebilen bir polimer olan polivinilpirolidon ilave edilmesinin etkileri incelenmiştir. Literatürde rastlanan birkaç çalışmadan [19-23] elde edilen bilgilere göre dörtlü sistemden hazırlanan membranlarda, üçlü sistemden hazırlanan membranlara kıyasla daha yüksek gözeneklilik elde edildiği, makroboşluk oluşumunun azaldığı ve membranın yüzey özelliklerinin değiştiği görülmüştür.

Farklı PVP/PS oranlarında hazırlanan döküm çözeltilerinden 17 °C deki saf su banyosunda çöktürülerek hazırlanan membranlara ait üre ve kreatinin geçirgenlik



Şekil 5.1 Farklı PVP/PS oranlarında hazırlanan membranların üre geçiş hızları.



Şekil 5.2 Farklı PVP/PS oranlarında hazırlanan membranların kreatinin geçiş hızları.

deneylerinde elde edilen $\ln C_0/C_t - t/l$ grafikleri Şekil 5.1 ve 5.2’de gösterilmektedir. Şekil 5.1 ve 5.2’den $\ln C_0/C_t - t/l$ arasındaki ilişkinin beklenildiği gibi lineer olduğu, ancak doğruların beklenilenin aksine orijinden geçmeyip kayım değerleri verdiği görülmektedir. Bu durumun iki nedenden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Birincisi deney sırasında üre ve kreatinin membranda geçirgenliklerinin sınırlı olmasından dolayı membran yüzeyinde birikerek ilk anda gözenekleri bir anlamda kapatıyor ve membran yüzeyinde yüksek konsantrasyonda bir film tabakası oluşturuyor olabilir. Konsantrasyon polarizasyonu [14] olarak da bilinen bu durum üre ve kreatininin membrandan geçişini geciktirecektir. Grafiklerde kayım değeri elde edilmesinin ikinci nedeni de üre ve kreatininin membran yüzeyinde adsorplanması olabilir. Deneyin başlangıcında çözelti ile temas eden membran yüzeyinde üre ve kreatininin adsorplandığı ve bir süre sonra membran kesiti boyunca difüze olmaya başladığı düşünülebilir. Üre ve kreatininin membran yüzeyinde adsorplanması membran malzemesi ile üre ve kreatinin arasında elektrostatik etkileşim olmasından kaynaklanabilir. Membran yüzeyinde adsorplanma gerçekleşen benzer durumlara literatürde de rastlanmaktadır [18]. Adsorpsiyon davranımına genellikle hidrofobik yüzey özelliğinde olan membranlarda daha fazla rastlanmaktadır. Polisülfon membranlar da hidrofobik özellikte olduğundan membran yüzeyinde adsorpsiyon olması muhtemeldir. Hidrofobik bir polimere hidrofilik bir polimer katıldığında hidrofobikliği azalacağından polisülfona PVP katıldığında adsorpsiyon davranımının azalması beklenir. Nitekim Şekil 5.1. üre için bu beklentiye kısmen doğrulamaktadır.

Çözeltideki PVP/PS oranı arttıkça üre için kayım değerleri 0.25-0.8 aralığındaki PVP/PS oranları için birbirine yakın olmasına rağmen PVP/PS oranı 1 olan membranda büyük oranda azalma göstermektedir. Bu azalışın deneysel hata olabileceği düşünülerek deney tekrar edilmiş ve yine benzer bir sonuç elde edilmiştir. Buradan membranın hidrofobikliğindeki etkin bir azalmanın ancak PVP miktarının en az PS miktarı kadar olması ile sağlanabildiği sonucuna varılabilir. Şekil 5.2. incelendiğinde kreatinin için kayım değerinde benzer bir azalma olmadığı görülmektedir. PVP/PS oranı 1 olan membranda gözenek boyutunun üre geçişi için diğer membranlara kıyasla daha büyük olduğu, ancak aynı gözenek boyutunun kreatinin molekülünün geçişine kolaylıkla izin verecek kadar büyük olmadığı sonucu

çıkarılabilir. Bu da Şekil 5.1 ve 5.2’de kayım değerleri görülmesinin konsantrasyon polarizasyonundan kaynaklandığı görüşünü kuvvetlendirmektedir.

Şekil 5.1 ve 5.2’deki üre ve kreatinin geçiş hızı doğrularının eğimlerinden hesaplanan geçirgenlik değerleri Tablo 5.1. de verilmektedir. Şekil 5.3.’de ise PVP/PS oranının üre ve kreatinin geçirgenliklerine olan etkisi grafiklenmiştir PVP/PS oranı arttıkça hem üre hem de kreatinin için geçirgenlik değerleri artmaktadır. Bütün PVP/PS oranlarında üre geçirgenliğinin kreatinine oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Ürenin molekül ağırlığı kreatininden daha küçük olduğu ve difüzyon molekül ağırlığı ile ters orantılı olduğu için bu beklenen bir sonuçtur.

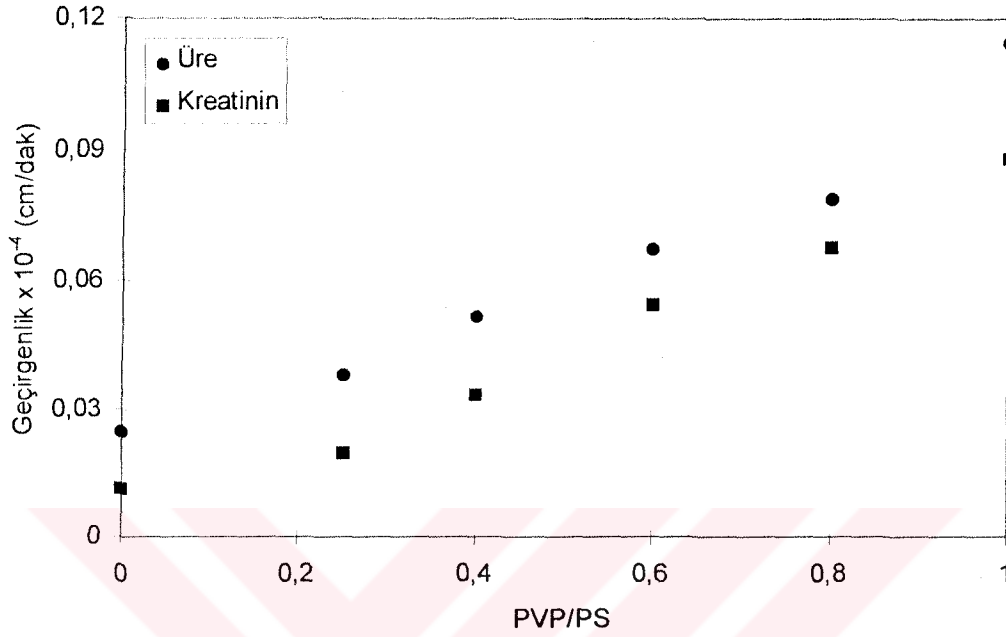
Tablo 5.1 Farklı PVP/PS oranlı membranların üre ve kreatinin geçirgenlikleri.

PVP/PS	$\phi_{üre} \times 10^{-4}$ (cm/dak)	$\phi_{kreatinin} \times 10^{-4}$ (cm/dak)
0	0,0249	0,0116
0,25	0,0378	0,0196
0,4	0,0519	0,0336
0,6	0,0671	0,0544
0,8	0,0786	0,0677
1	0,1146	0,088

Literatürde hidrofobik bir polimerden oluşan polimer-çözücü-çöktürücü üçlü sistemine hidrofilik bir polimer katarak oluşturulan dördü sistemden gözenekliliği daha yüksek membranlar elde edilebileceği söylenmektedir. Gözenekliliğin artması daha yüksek geçirgenlik demektir. Şekil 5.3.’te de PVP/PS oranı arttıkça üre ve kreatinin geçirgenliklerinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir.

PVP/PS oranı arttıkça geçirgenliklerin artmasının membran yapısındaki değişikliklerle olan ilişkisini belirlemek için aynı membranların taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır. Farklı PVP/PS oranında hazırlanan membranların SEM fotoğrafları Şekil 5.4.’de görülmektedir. Bu fotoğraflarda hazırlanan membranların

asimetrik yapıları açıkça görülmektedir. Membran yüzeyinde yaklaşık 0.6-0.8 mikron kalınlığındaki ince ayırıcı bir tabaka ile bu tabakayı destekleyen parmak yapı tipinde olan bir destek tabakası membran kesitini oluşturmaktadır.



Şekil 5.3 Üre ve kreatinin geçirgenliklerinin PVP/PS oranı ile değişimi.

Farklı PVP/PS oranlarında hazırlanan membranların ayırıcı ince tabakalarında gözenek boyutu açısından belirgin bir değişiklik bu fotoğraflarda ayırt edilememektedir. Bu durumda membran gözenekliliğini ölçmeden gözenek boyutu hakkında bir şey söylemek mümkün olmamaktadır. Ancak geçirgenliklerin artması ile birlikte kayım değerlerinin de azalmış olması gözenekliliğin arttığına işaret etmektedir. Bu fotoğraflarda görülen ilginç bir durum çok belirgin olmamakla birlikte PVP katkısının makroboşluk oluşumunu arttırdığıdır. Halbuki literatürdeki bazı çalışmalarda bunun tam tersi bildirilmiştir [19-21]. Bir çalışmada ise [24] polietersülfona PVP katılmasının makroboşluk oluşumunu önce attırdığı ancak çok yüksek PVP oranlarında azaldığı gözlenmiştir. Bu çalışmada daha yüksek molekül ağırlıklı PVP katkısı ve daha yüksek PVP katkıları incelenmeden bu durumu açıklamak mümkün değildir. Makroboşluk oluşumu membranın mekanik dayanıklılığını azalttığından istenmeyen bir şeydir ve söz konusu durumun detaylı incelenmesi gereklidir.



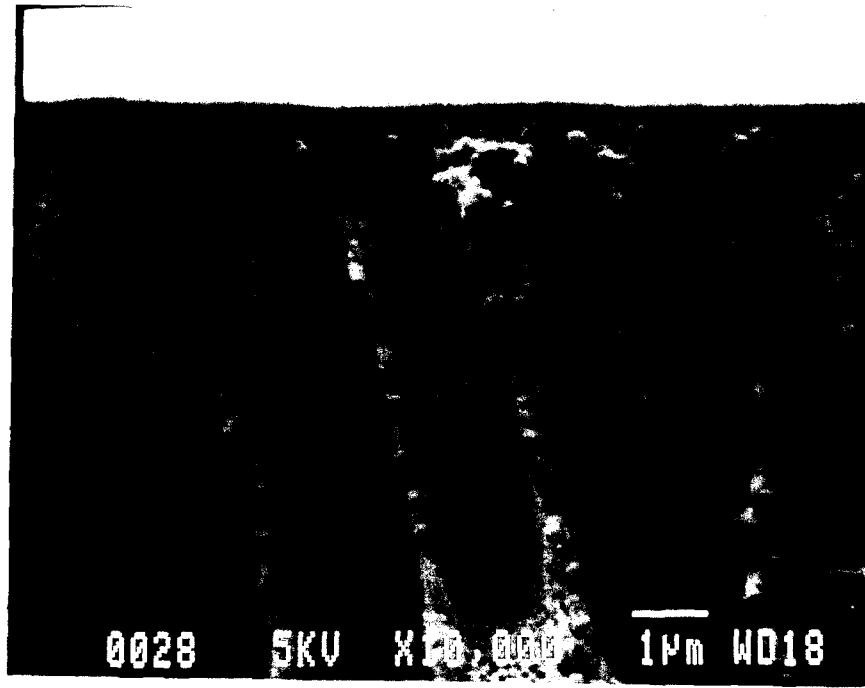
(a)



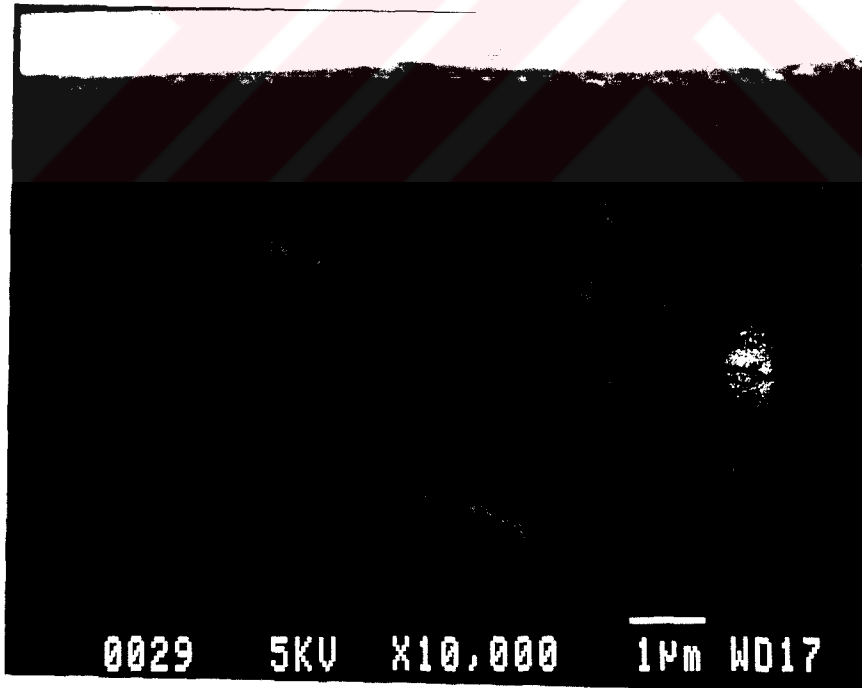
(b)

Şekil 5.4 Farklı PVP/PS oranında hazırlanan membranların SEM fotoğrafları.

- (a) PVP/PS =0, (b) PVP/PS =0.25, (c) PVP/PS =0.40, (d) PVP/PS =0.60
 (e) PVP/PS =0.80, (f) PVP/PS =1

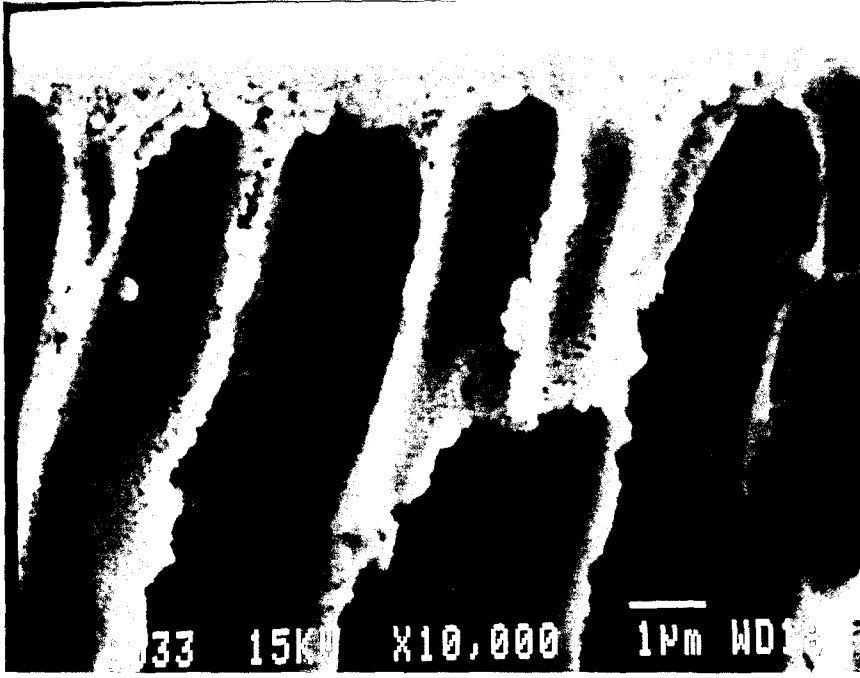


(c)



(d)

Şekil 5.4 (devam)



(e)



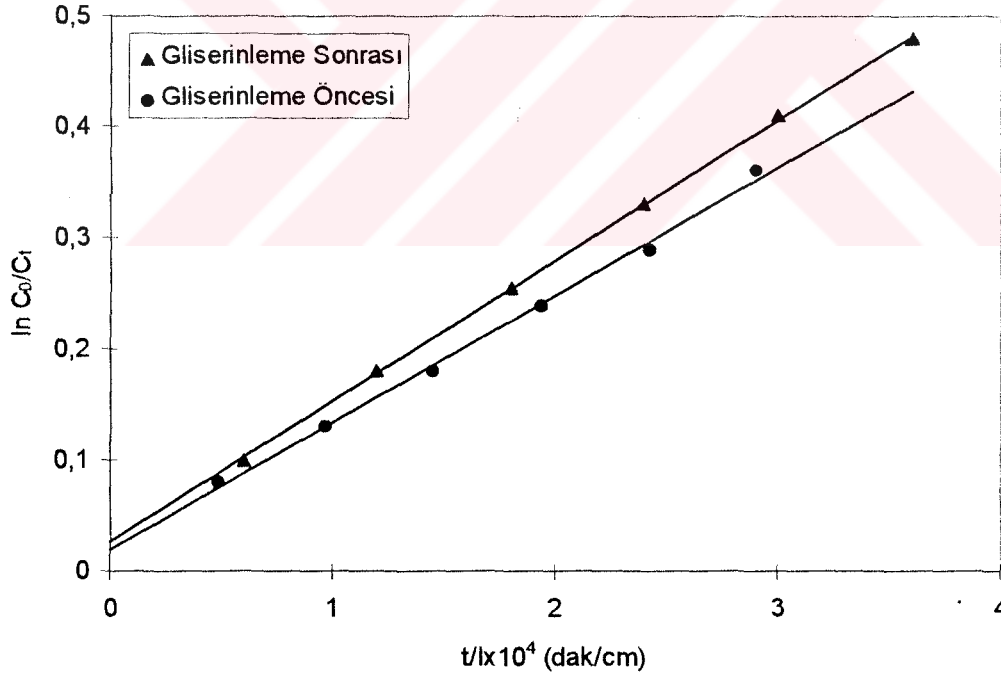
(f)

Şekil 5.4 (devam)

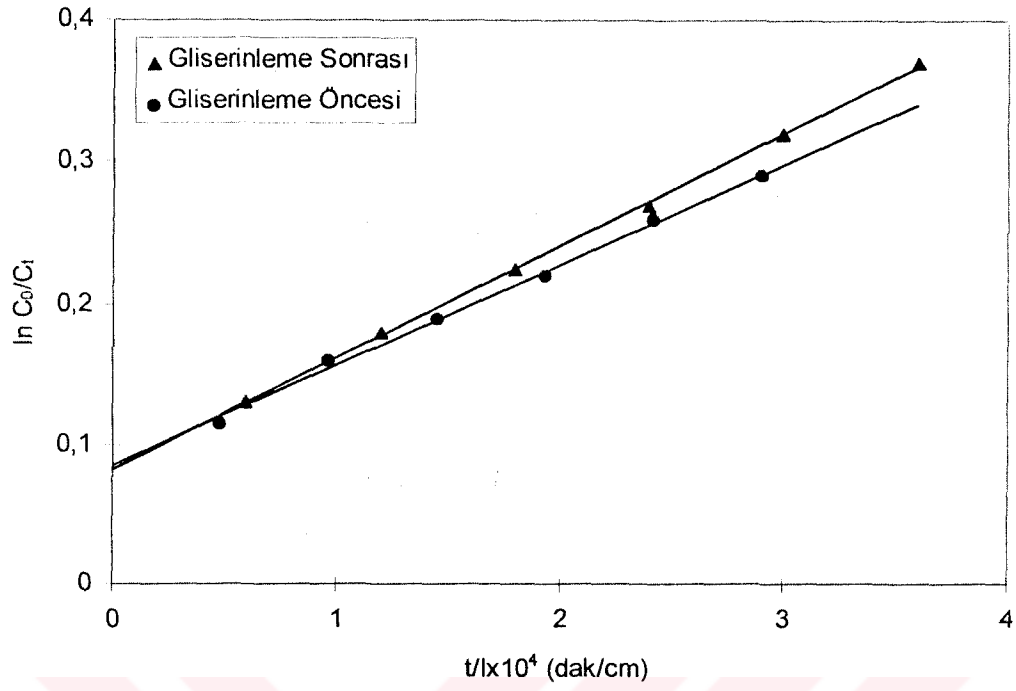
5.3 GLİSERİNLEME İŞLEMİNİN ETKİSİ

Membranların gözeneklerinin hidrofilik bir sıvı olan gliserinle doldurularak genişletilebileceği düşüncesinden yola çıkarak PVP/PS oranı 1 olan membranların yapısında gliserinleme işleminin etkisi incelenmiştir. Bu membranların gliserinleme işlemi öncesi ve sonrasına ait üre ve kreatinin geçiş hızları Şekil 5.5 ve 5.6'da verilmektedir.

Membranların üre ve kreatinin geçirgenliklerinin gliserinleme işleminin etkisi ile bir miktar arttığı görülmektedir. Bu durum gliserinin membran yapısına nüfuz ederek gözenekleri doldurduğu ve genişlettiği şeklinde açıklanabilir. Ancak çok büyük boyutta olmamakla birlikte bu artış kreatinin için üreden çok daha az gözükmemektedir. Geçirgenlik değerlerindeki bu artış Şekil 5.7'de özetlenmiştir.



Şekil 5.5 Gliserinleme öncesi ve sonrasına ait üre geçiş hızları.



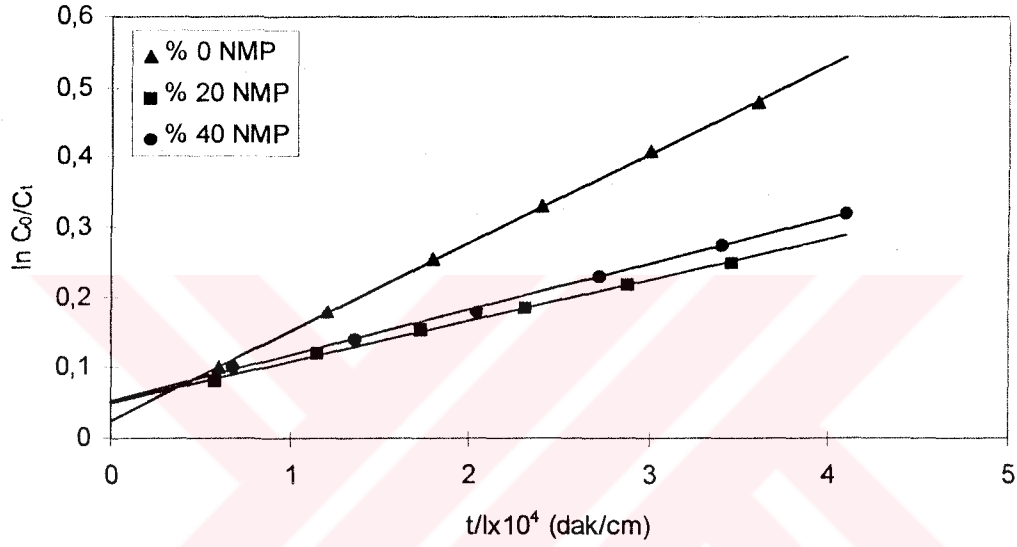
Şekil 5.6 Gliserinleme öncesi ve sonrasına ait kreatinin geçiş hızları.



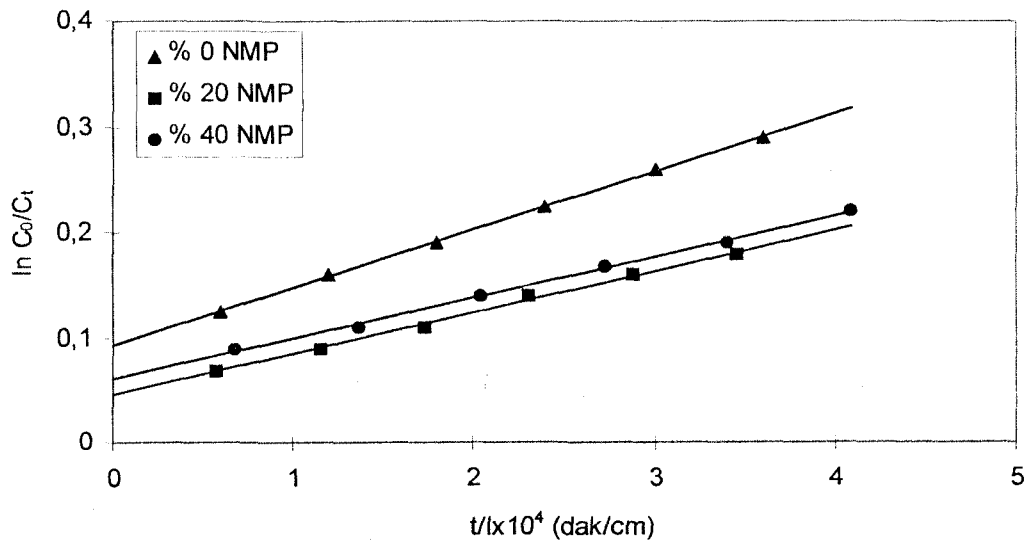
Şekil 5.7 Gliserinleme işleminin üre ve kreatinin geçirgenliklerine etkisi.

5.4 BANYO ORTAMINA ÇÖZÜCÜ KATILMASININ ETKİSİ

Polisülfon membranlar hazırlamada çöktürme ortamı olarak kullanılan saf su içerisine bir miktar NMP katılmasının elde edilecek membranın özelliklerine etkisini incelemek amacıyla % 20 ve % 40 NMP içeren çöktürme banyoları hazırlanmıştır. PVP/PS oranı 1 olan döküm çözeltisinden hazırlanan ve bu banyolarda çöktürülerek elde edilen membranların üre ve kreatinin geçiş hızları sırasıyla Şekil 5.8 ve 5.9'da görülmektedir.

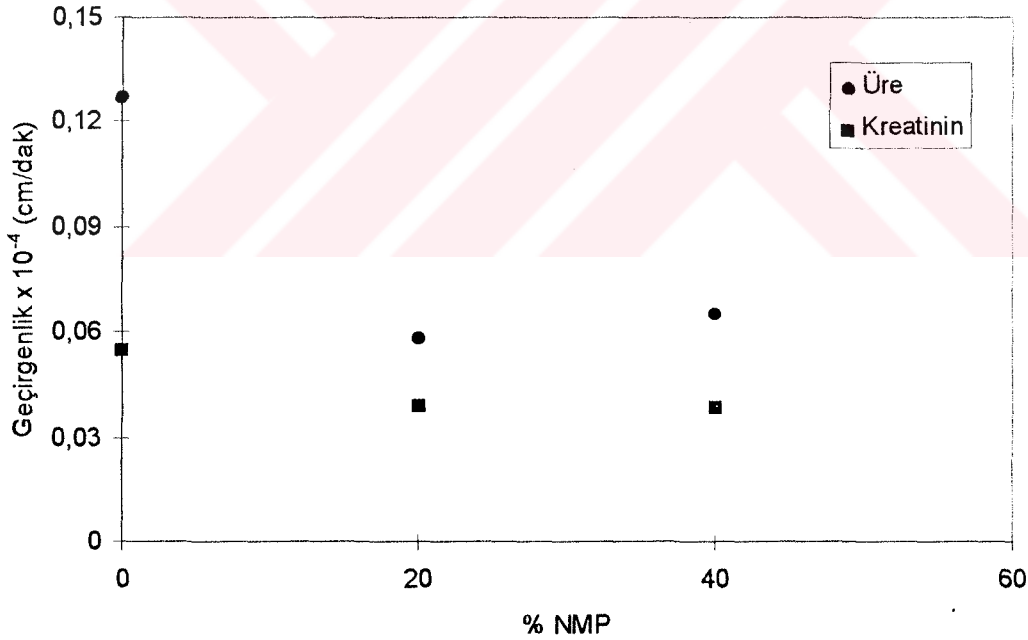


Şekil 5.8 Banyo ortamındaki NMP konsantrasyonu değişimine bağlı olarak elde edilen üre geçiş hızları



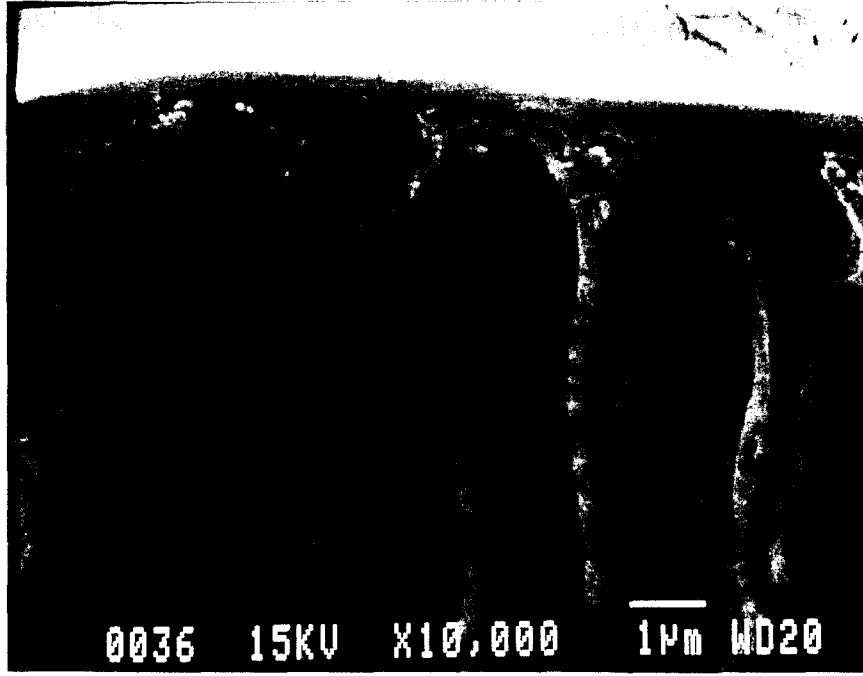
Şekil 5.9 Banyo ortamındaki NMP konsantrasyonu değişimine bağlı olarak elde edilen kreatinin geçiş hızları.

Banyo sıvısına çözücü katılması ile elde edilen membranlarda Şekil 5.8 ve 5.9 daki doğruların eğimlerinin azaldığı ve dolayısıyla üre ve kreatinin geçirgenliklerinin de azaldığı (Şekil 5.10) açıkça görülmektedir. Banyoya %20 oranında çözücü katılması ile %40 oranında çözücü katılması arasında geçirgenliklerde çok büyük farklar görülmemekle birlikte %40 çözücü katılması durumunda %20 çözücü katılmasına oranla üre geçirgenliğinde hafif bir artma söz konusudur. Çöktürme banyosuna çözücü katılması polimerin çökmesini geciktireceğinden oluşan membranın daha büyük gözenekli olması ancak kesitte makroboşluk oluşumunun azalması beklenir [25,26]. Banyoya NMP katılarak hazırlanan membranların geçirgenlik değerindeki azalma makroboşluk oluşumunun azalmasına bağlanabilir. Çünkü geçirgenlik yalnız ayırıcı tabakanın değil tüm membran kesitinin bir özelliğidir. NMP oranının %20'den %40'a çıkarılması ile üre geçirgenliğinde görülen hafif artış gözenek boyutunun artmasına bağlanabilir.

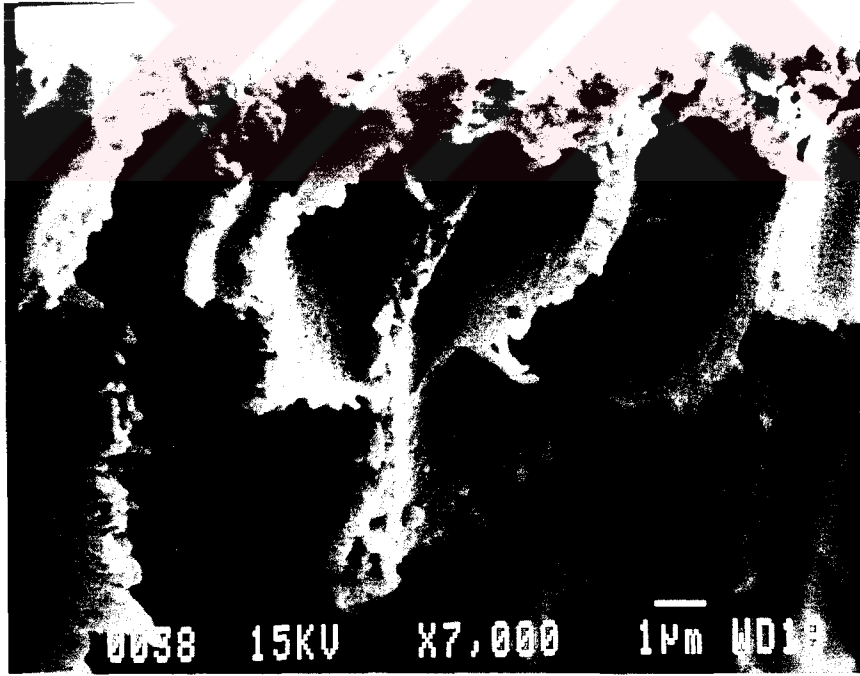


Şekil 5.10 Banyo ortamına NMP katılmasının üre ve kreatinin geçirgenliklerine etkisi.

Taramalı elektron mikroskobu çalışmaları ile membran yapıları incelendiğinde elde edilen SEM fotoğrafları Şekil 5.11'de görülmektedir. Bu fotoğraflarda farklı konsantrasyonlarda NMP içeren banyolarda çöktürülen membranların yapıları arasında



(a)



(b)

Şekil 5.11 Banyo ortamına NMP katılması ile elde edilen membranların SEM fotoğrafları. (a) %20 NMP+%80 Su, (b) %40 NMP+%60 Su

çok büyük bir fark görülmemektedir, ancak makroboşluk oluşumunda hafif bir azalma olduğu söylenebilir.

5.5 BANYO ORTAMINA ŞİŞME SAĞLAYICI BİLEŞENİN KATILMASININ ETKİSİ

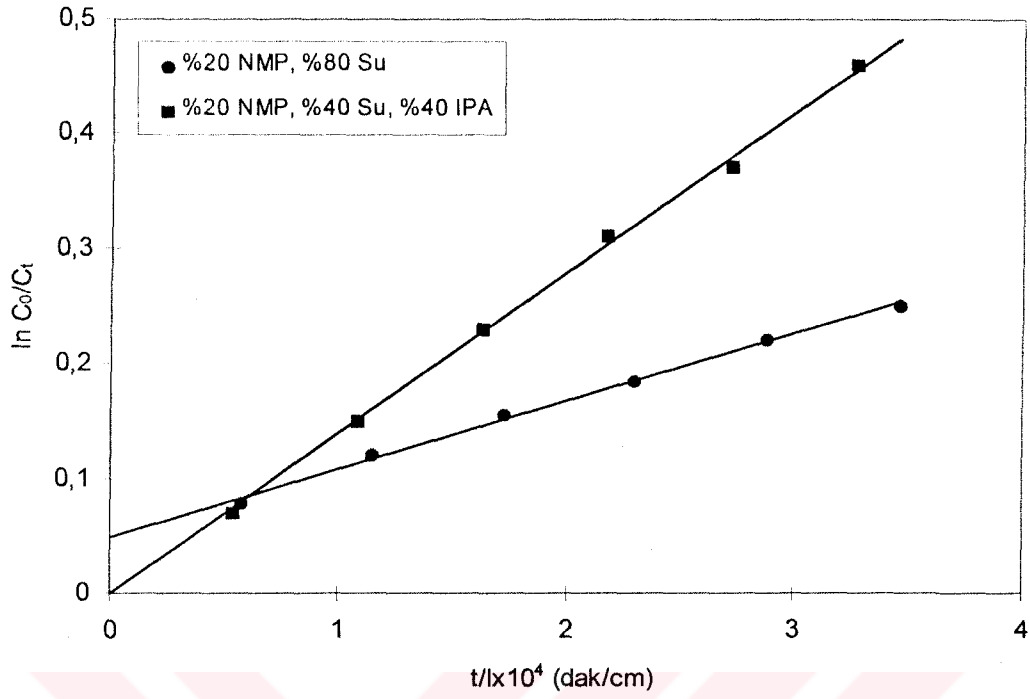
PVP/PS oranı 1 olan membranları çöktürme ortamı olarak kullanılan su ve NMP' den oluşan banyolara polisülfon için çözücü olmayan izopropilalkol (IPA) katılmasının elde edilecek membranların yapısı ve geçirgenlik değerlerine etkisini incelemek amacıyla hazırlanan yeni banyo bileşimleri Tablo 5.2'de, bu banyolarda çöktürülerek hazırlanan membranların üre ve kreatinin geçiş hızları Şekil 5.12, 5.13, 5.14 ve 5.15' de sunulmuştur. Bu şekillerde IPA içeren ve içermeyen banyolarda hazırlanan membranların üre ve kreatinin geçiş hızları birlikte grafiklenerek diğer bütün şartlar aynı kaldığında banyoya IPA katılmasının membran geçirgenliğine etkisini belirlemek amaçlanmıştır.

Tablo 5.2 IPA etkisini incelemek üzere hazırlanan banyo bileşimleri

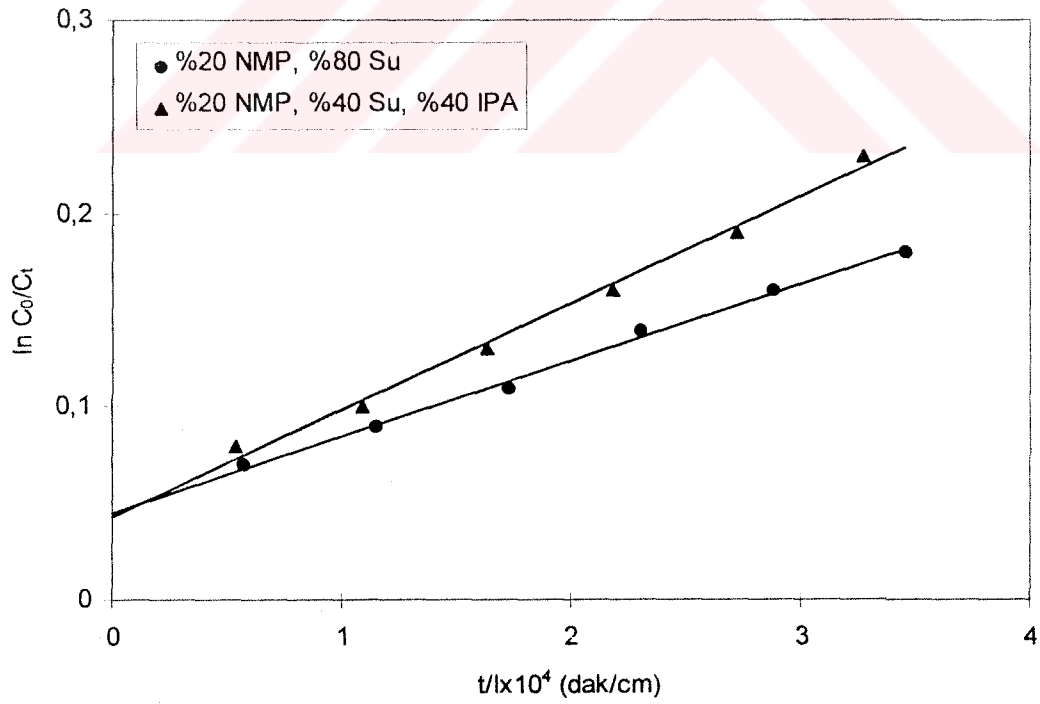
	% NMP	% IPA	% Su
Banyo	20	40	40
Bileşimi	40	30	30

Şekil 5.12 ve 5.13' de görüldüğü gibi IPA katılarak hazırlanan banyolardan elde edilen membranların üre ve kreatinin geçiş hızları, IPA içermeyen banyolarda hazırlanan membranların üre ve kreatinin geçiş hızlarından daha büyüktür. Genel olarak banyo ortamına IPA katılmasının membranların üre ve kreatinin geçirgenliklerini artırdığı ve üre geçişinin kreatinin geçişinden daha fazla olduğunu söylemek mümkündür.

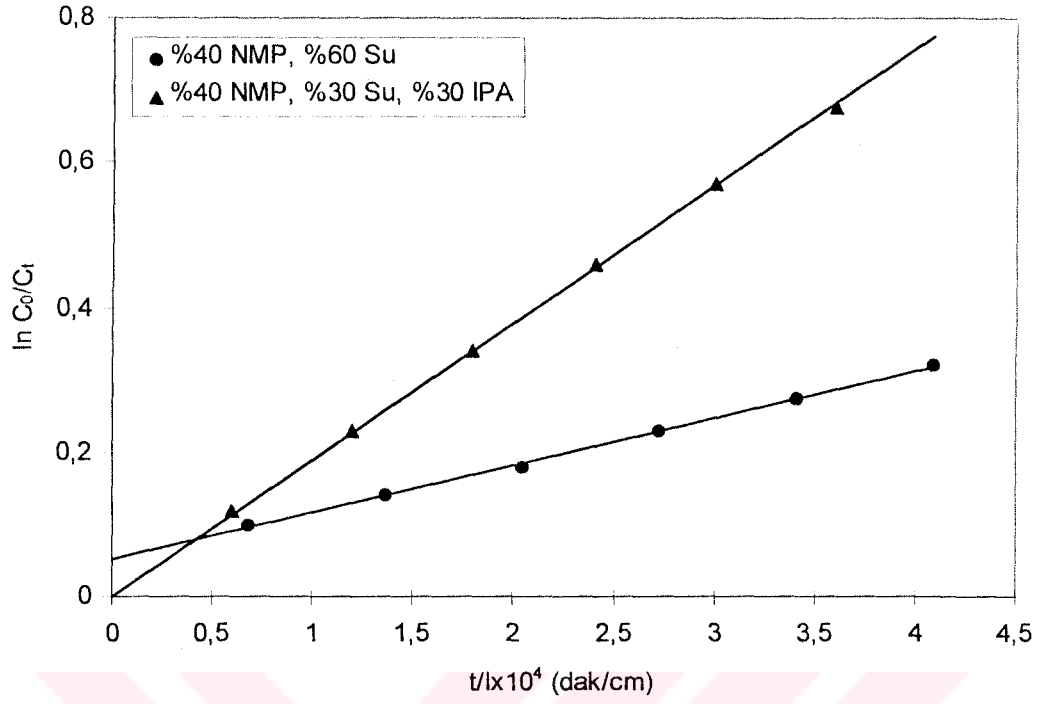
Şekil 5.12 ve 5.14'de dikkati çeken önemli bir nokta $\ln C_0/C_t - t/l$ grafiğinde IPA katkılı banyolarda hazırlanan membranların üre geçiş hızını gösteren doğruların orijinden geçmesidir. Bu durum üre adsorpsiyonunun olmadığına veya üre moleküllerinin yüzeyde birikmediğine işaret etmektedir. Üre molekülü için görülen bu



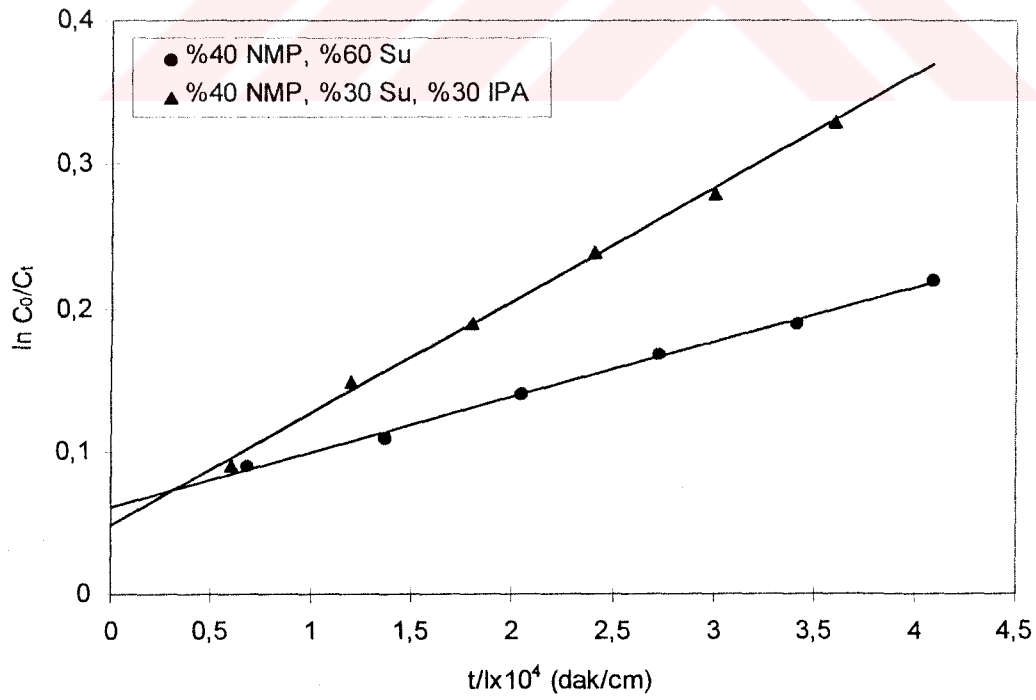
Şekil 5.12 Banyo ortamına %40 IPA katılmasının üre geçiş hızına etkisi



Şekil 5.13 Banyo ortamına %40 IPA katılmasının kreatinin geçiş hızına etkisi



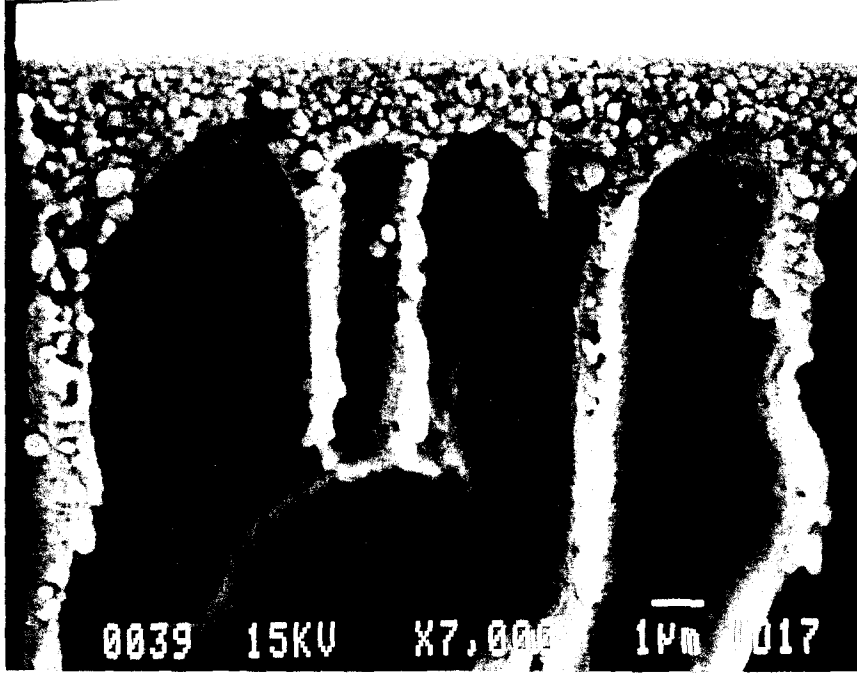
Şekil 5.14 Banyo ortamına %30 IPA katılmasının üre geçiş hızına etkisi



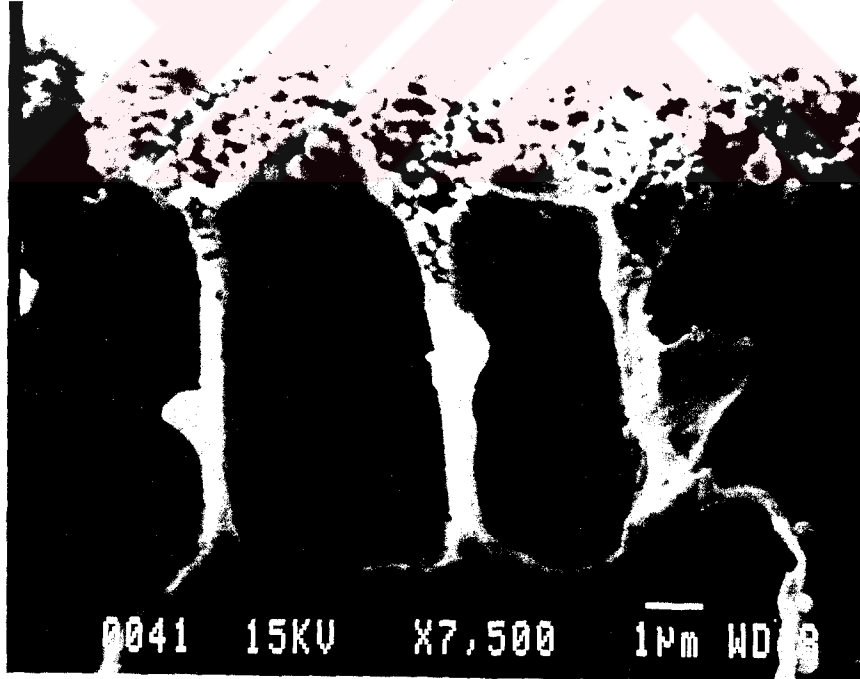
Şekil 5.15 Banyo ortamına %30 IPA katılmasının kreatinin geçiş hızına etkisi

durum Şekil 5.13 ve 5.15’de de görüldüğü üzere kreatinin geçişi için gerçekleşmemektedir. Bu da adsorpsiyon olayının yanı sıra membran geçirgenliğinin sınırlı olması nedeniyle yüzeyde moleküllerin birikmesi olayının daha etkin olduğu ihtimalini kuvvetlendirmektedir. Yani yüzeye yaklaşan kreatinin molekülleri hemen membran içerisine giremedikleri için yüzeyde bir trafik tıkanıklığı yaratmaktadırlar. Gözenekler üre için yeterince büyük olduğundan bu trafik tıkanıklığı gerçekleşmemektedir. Banyo ortamına IPA katılımı ile hazırlanan membranların yapılarında şişmenin gerçekleştiği ve gözenek yapılarının genişlediği söylenebilir. Bu doğrultuda genişlediği düşünülen gözeneklerden üre molekülünün kolaylıkla geçtiği ve bu sayede membran yüzeyinde birikmediği sonucu çıkarılabilir. Üre molekülünün geçişine kolaylıkla izin veren gözenek boyutlarının kreatinin geçişi için yeterli büyüklükte olmadığı ve bu yüzden kreatininin membran yüzeyinde biriktiği düşünülmektedir. Gerek üre gerekse kreatinin geçirgenlik değerleri IPA katkısı durumunda daha yüksektir.

Banyo ortamına IPA katılarak hazırlanan membranların taramalı elektron mikroskop fotoğraflar Şekil 5.16’da görülmektedir. Çöktürme banyosuna IPA katılmasıyla hazırlanan membranların ayırıcı ince tabakalarının, IPA içermeyen banyolarda hazırlanan membranların ayırıcı ince tabakalarından daha farklı ve daha gözenekli bir yapıya sahip oldukları açıkça görülmektedir. Bu durum IPA etkisiyle hazırlanan membranların üre ve kreatinin geçirgenliklerindeki artışı desteklemektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.16 Banyo ortamına IPA katılması ile elde edilen membranların SEM fotoğrafları. (a) %20 NMP+%40 IPA+%40 Su, (b) %40 NMP+%30IPA+%30 Su

BÖLÜM 6

VARGILAR ve ÖNERİLER

- PVP katkılı polisülfon membranlar hazırlanmış ve bu membranlarda üre ve kreatinin geçirgenlik ölçümleri yapılmıştır. Molekül ağırlıklarındaki farklılıktan dolayı üre geçiş hızının beklenildiği gibi kreatinin geçiş hızından daha büyük olduğu gözlenmiştir.
- Yapılan deneylerin birçoğunda hem üre ve hem de kreatinin için $\ln C_0/C_1 - t/l$ grafiklerinde elde edilen doğruların orijinden geçmediği görülmüş ve bu durumun nedeninin üre ve kreatininin membran yüzeyinde birikmesi veya adsorplanması olduğu düşünülmüştür. Adsorpsiyon üre ve kreatinin molekülleri ile membran yüzeyi arasındaki etkileşimden kaynaklanabilir. Membran yüzeyinde birikme ise moleküllerin membrandan geçiş hızlarının sınırlı olmasının bir sonucudur.
- Hidrofobik bir polimer olan polisülfona hidrofilik PVP katıldığında PVP/PS oranındaki artışın membranların üre ve kreatinin geçirgenlik değerlerini artırdığı gözlenmiştir. 0.25-1 aralığında PVP/PS oranları için PVP katkısının makroboşluk oluşumunu artırdığı bu nedenle geçirgenliklerin arttığı düşünülmektedir. SEM fotoğraflarından gözenek boyutu ile ilgili bir sonuca varmak mümkün olmadığından bu duruma açıklık kazandırmak için söz konusu membranların gözenek boyutu dağılımlarını belirleyici çalışmalar yapılmalıdır.
- Farklı PVP/PS oranlarında hazırlanan membranlarda en iyi üre ve kreatinin geçirgenlik değerlerini PVP/PS oranı 1 olan membranların verdiği gözlenmiştir.

- Membranlara uygulanan gliserinleme son işlemi ile üre ve kreatinin geçirgenliklerinin arttığı görülmüştür. Hidrofilik bir sıvı olan gliserinin membran yapısına nüfuz ederek gözenekleri genişlettiği düşünülmektedir.
- Çöktürme banyosuna çözücü olarak NMP katılmasının hem üre hem de kreatinin geçirgenliklerini azalttığı görülmüştür. Bu durum banyodaki çözücünün etkisiyle polimerin çökmesinin gecikmesinden ve böylece makroboşluk oluşumunun azalmasından kaynaklanabilir.
- Çöktürme ortamı olarak kullanılan su ve NMP den oluşan banyolara izopropilalkol (IPA) katılmasının membranların üre ve kreatinin geçirgenliklerini arttırdığı gözlenmiştir.
- Banyo ortamına IPA katılmasıyla hazırlanan membranların üre geçiş hızını veren $\ln C_0/C_t - t/l$ grafiklerindeki doğruların orijinden geçtiği, ancak aynı durumun kreatinin için gerçekleşmediği görülmüştür. Doğruların orijinden geçmesi membran yüzeyindeki üre adsorpsiyonunun veya birikiminin olmamasına bağlanabilir. Banyodaki IPA'nın membran yapısına girerek gözenekleri şişirdiği ve bu şekilde üre moleküllerinin geçişine kolaylıkla izin verebilen gözeneklerin oluştuğu ve membran yüzeyinde bir birikimin olmadığı düşünülmektedir.
- Hazırlanan membranların özelliklerinin daha iyi belirlenebilmesi için detaylı bir morfoloji çalışması yapılmalıdır.
- Üre ve kreatinin geçirgenlikleri test edilen membranlarda hemodiyalizde kandan giderilmesi istenen ürik asit, fosfat gibi maddeler için de geçirgenlik ölçüm çalışmaları yapılabilir.
- Hazırlanan membranların gözenek boyutları ve dağılımları ölçülmelidir.

- Bu çalışmada besleme çözeltisi olarak sadece üre veya kreatinin içeren metabolit çözeltileri kullanılmıştır. Her iki molekülün birlikte bulunduğu besleme çözeltileri ile geçirgenlik deneyleri yapılarak membran seçicilikleri incelenebilir.



KAYNAKLAR

- [1] **ARNOLD, P. B.** Characterization of Hemodialysis Membranes : Membran Structure and Function, PhD Thesis, University of Twente, Enschede, Netherlands (1993).
- [2] **VAN STONE, J. C.** Dialysis and the treatment of Renal Sufficiency, Grane Stratton, Inc (1983).
- [3] **CLINKMAN, H.** Historical Overview of Renal Failure Therapy-A Homoge to Nills Alwall, Contr. Neph., 78, 1-13 (1990).
- [4] **LAZARUS, M.J. and HAKIM, R.M.** Medical Aspects of Hemodialysis, The Kidney, 4. Edition, Vol. 2 (1991).
- [5] **LEONARD, E. F., BLUEMLE, L.W.** The Permeability Concept As Applied to Dialysis, Trans. Am. Soc. Artif. Intern. Organs, 6, 33 (1990).
- [6] **EREK, E.,** Dializ Tedavisi, Türk Nefroloji Derneği Yayınları (1995).
- [7] **BRANNER, B. M., REOTOR, F. C. Jr.** The Kidney, 4 th Edition Vol II, W.B Senders Company (1991).
- [8] **BAKİOĞLU, I.** Hemodializin Esasları, Nobel Tıp Kitabevi (1995).
- [9] **BABB, A. L., SCRIBNER, B. H.** The Genesis of the Square Meter-Hour Hypothesis, Trans. Am. Soc. Artif. Organs, 17, 81 (1971).

- [10] **NISSENSON, A.** Dialysis Therapy, Hawley and Belfis. Inc. (1993).
- [11] **STRATHMANN, H., GOHL, H.** Membranes for Blood Purification State of the Art and New Developments, *Contr. Nephrol.*, 78, 119 (1990).
- [12] **STRATHMANN, H., GOHL, H.** Basic Features of the Poliamid Membranes, *Contr Nephrol.*, 96, 1-25 (1992).
- [13] **BAURMAISTER, U., VIENKEN, J., ANSORGE, W.** Cellulosic Versus Synthetic Membranes : A Reasonable Comparison, *Artificial Organs*, 13(1), 52-57 (1989).
- [14] **MULDER, M.** Basic principle of Membrane Technology, Kluwer Academic Publishers, Netherlands (1991).
- [15] **KIM, H. J., TYAGI, R K., FOU DA, A. E.** The Kinetic Study for Assymmetric Membrane Formation Via Phase Inversion Proces, Jr. *Appl. Pol. Sci.*, 62, 621-629 (1996).
- [16] **NYUGEN, D. T., HUBBY, C. M.** Process for Continious Spinning of Hollow Fiber Membranes Using A Solvent Mixture As A Precipitation Medium , US Patent 5 151 227 (1992).
- [17] **CHAKONG, C., BERNARD, S. L.** High Flux Hollow Fiber Membranes, US Patent 5 232 601 (1993).
- [18] **BEHMENYAR G.** Hemodiyaliz Amaçlı Poliakrilonitril Membranların Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi (1997).

- [19] **CABASSO, I., KLEIN, E., SMITH, J.K.** Polysulfone Hollow Fibers I. Spinning and Properties, *J. Apply. Polym. Sci.*, 20, 2377 (1976).
- [20] **CABASSO, I., KLEIN, E., SMITH, J.K.** Polysulfone Hollow Fibers II. Morphology, *J. Appl. Polym. Sci.*, 21, 165 (1977).
- [21] **CABASSO, I., KLEIN E., ROBERT, K.Q., SMITH, J.K.** Porosity and Pore Size Determination In Polysulfone Hollow Fibers, *J. Appl. Polym. Sci.*, 21, 1883 (1977).
- [22] **TWEDDLE, T.A., KUTOWY, O., THAYER, W.L., SOUNROYON, S.,** Polysulfone Ultrafiltration Membranes, *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, 22, 320 (1983).
- [23] **APTEL, P., ABIDINE, N., IVALDI, F., LA FAILLE, J.P.** Polysulfone Hollow Fibers-Effect of Spinning Conditions On Ultrafiltration Properties, *J. Memb. Sci.*, 22, 199 (1985).
- [24] **BOOM, R.** Membrane Formation by Immersion Precipitation: The Role of Polymeric Additive, Ph.D. Thesis, U. Of Twente, The Netherlands (1992).
- [25] **REUVERS, A.J.** Formation of Membranes By Means of Immersion Precipitation Part I. A Model To Describe Mass Transfer During Immersion Precipitation, *J. Memb.Sci.*, 34, 45 (1987).
- [26] **REUVERS, A.J., SMOLDERS, C.A.** Formation of Membranes By Means of Immersion Precipitation Part II. The Mechanism of Formation of Membranes Prepared From The System Cellulose Acetate - Acetone water, *J. Memb. Sci.*, 34, 67 (1987).

ÖZGEÇMİŞ

Tubanur Karakaş 1971 yılında Ordu'da doğdu. Babasının mesleği nedeni ile ilk ve orta öğrenimini değişik şehirlerde tamamladı. 1988 yılında İstanbul Bahçelievler Lisesi'nden mezun oldu. 1989 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü' ne girmeye hak kazandı. 1991 yılında İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'ne yatay geçiş yaparak 1993 yılında aynı bölümden dördüncülükle mezun oldu ve İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.

Dr. TUBANUR KARAKAŞ
DOKÜMANLARIYLA BİRLİKTE