

55126

UZAYDA KULLANILACAK NÜKLEER GÜÇ REAKTÖRÜNÜN
KONTROL MEKANİZMASINDAKİ SICAKLIK DAĞILIMININ SONLU
FARKLAR METODU İLE HESAPLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
(MAKİNA EĞİTİMİ)

TURGAY POLAT

1996

ANKARA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu tezin Y. Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

S. Şin

Danışman

Prof.Dr. Sümer ŞAHİN

A. Sözen

Danışman

Yrd. Doç.Dr. Adnan SÖZEN

Sınav Jürisi:

Başkan : Prof. Dr. Sümer ŞAHİN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Adnan SÖZEN

Üye : Doç. Dr. Hüseyin YAPICI

Üye : Doç. Dr. E. Sait ÖZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Kurtuluş BORAN

S. Şin
A. Sözen
H. Yapıcı
E. Sait ÖZ
K. Boran

Bu tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Esaslarına

Uygundur.

göven bno

**UZAYDA KULLANILACAK NÜKLEER GÜÇ REAKTÖRÜNÜN
KONTROL MEKANİZMASINDAKİ SICAKLIK DAĞILIMININ
SONLU FARKLAR METODU İLE HESAPLANMASI**

(Y.LİSANS TEZİ)

TURGAY POLAT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ, FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EYLÜL 1996

ÖZ

Bu çalışmada, uzayda kullanılacak bir hibrid termiyonik nükleer güç reaktörünün kontrol mekanizmasının ısı dağılımları hesaplanarak, fourier ısı transfer denkleminin sonlu farklar (merkezi fark) metodu ile çözülmesi neticesinde sıcaklık dağılımları bulunmuştur. Isı dağılımı hesabı için tek boyutlu nötron transport kodu ANISN ve iki boyutlu ($r-\theta$) nötron transport kodu DORT kullanılmıştır. Sıcaklık dağılımı hesapları için fourier ısı transfer denklemini silindirik geometride sonlu farklar metodu ile çözen fortran dilinde program yazılmıştır. Elde edilen neticeler 3 boyutlu grafikler halinde verilmiştir. Bulunan neticeler doğrultusunda kontrol mekanizmasının reaktörün kontrolünü sağlayıp, sağlayamayacağı test edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Uzay nükleer reaktörü, fourier ısı iletim denklemleri, sonlu farklar metodu

BİLİM KODU : 625 05 05

SAYFA ADETİ : 45

DANIŞMAN : Prof.Dr. Sümer ŞAHİN, Yrd.Doç.Dr. Adnan SÖZEN

**BY FINITE DIFFERENCE METHOD, CALCULATION OF
TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE CONTROL MECHANISM
OF
NUCLEAR POWER REACTOR USED IN SPACE**

(M. Sc. Thesis)

GAZİ UNIVERSITY, INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ABSTRACT

In this study, heat distribution in the control mechanism of a hybrid thermionic nuclear power reactor being used in space is calculated. Solving Fourier heat transfer equation by the method of Finite Differences (i. e. central difference), temperature distributions are obtained. One-dimensional neutron transport code called "ANISN" and two- dimensional (r- θ) neutron transport code called "DORT" were used for the heat distribution calculation. In order to calculate the temperature distribution a computer program was written in Fortran language to solve Fourier heat transfer equation in the cylindrical coordinates by means of finite difference method. The results are shown in the 3. dimensional graphics. By evaluating the results, the effectiveness of the control mechanism in the reactor control is tested.

Science Code :625.05.05

Key Words : Space Nuclear Reactor, Fourier Heat Conduction
Equation, Finite Difference Method.

Number of Page : 45

Supervisor : Prof. Dr. Sumer ŞAHİN
Assist. Prof. Dr. Adnan SÖZEN

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada her türlü yardımını esirgemeyen değerli hocam Prof.Dr. Sümer ŞAHİN'e ve tezin her aşamasında ilgi ve desteğini gördüğüm Yrd.Doç.Dr. Adnan SÖZEN'e teşekkürlerimi sunarım.



SİMGELER DİZİNİ

q = Üretilen Isı Miktarı

λ = Isı İletim Katsayısı

T = Sıcaklık

∇ = Laplace Operatörü

x : Bir Boyutlu Ortamda Uzay Değişkeni

r : Uzay Vektörü

θ : Uzay Vektörü

G : Boltzman Sabiti

β : Tambur Açısı

ε : Emisyon Katsayısı

F : Şekil Faktörü

t : Zaman

E : Enerji

Ω : Nötron Hareket Yönü

TFE: Termiyonik Yakıt Elemanı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1. Filyon Reaktörün Şematik Görünümü.....	3
2. Kontrol tamburlarıyla Reaktörün Kontrolünün Şematik Görünümü.....	4
1.1. Reaktör Geometrisi.....	6
1.2. Termiyonik Yakıt Elemanı.....	7
1.3. Reaktör Kontrol Pozisyonu ($\beta=0^\circ$).....	12
1.4. Reaktör Kontrol Pozisyonu ($\beta=30^\circ$).....	13
1.5. Reaktör Kontrol Pozisyonu ($\beta=60^\circ$).....	14
1.6. Reaktör Kontrol Pozisyonu ($\beta=90^\circ$).....	15
1.7. Reaktör Kontrol Pozisyonu ($\beta=120^\circ$).....	16
1.8. Reaktör Kontrol Pozisyonu ($\beta=150^\circ$).....	17
1.9. Reaktör Kontrol Pozisyonu ($\beta=180^\circ$).....	18
1.10. Reaktördeki Isınma Değerleri ($\beta=0^\circ$).....	20
1.11. Reaktördeki Isınma Değerleri ($\beta=30^\circ$).....	21
1.12. Reaktördeki Isınma Değerleri ($\beta=60^\circ$).....	22
1.13. Reaktördeki Isınma Değerleri ($\beta=90^\circ$).....	23
1.14. Reaktördeki Isınma Değerleri ($\beta=120^\circ$).....	24
1.15. Reaktördeki Isınma Değerleri ($\beta=150^\circ$).....	25
2.1. Sıcaklık Geometrisi ve Sınır Şartları.....	31

2.2.Radyal Reflektördeki Sıcaklık Dağılımı ($\beta=0^\circ$).....	33
2.3.Radyal Reflektördeki Sıcaklık Dağılımı ($\beta=30^\circ$).....	34
2.4.Radyal Reflektördeki Sıcaklık Dağılımı ($\beta=60^\circ$).....	35
2.5.Radyal Reflektördeki Sıcaklık Dağılımı ($\beta=90^\circ$).....	36
2.6.Radyal Reflektördeki Sıcaklık Dağılımı ($\beta=120^\circ$).....	37
2.7.Radyal Reflektördeki Sıcaklık Dağılımı ($\beta=150^\circ$).....	38
2.8.Radyal Reflektördeki Sıcaklık Dağılımı ($\beta=180^\circ$).....	39



ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 1.1. Hibrid Termiyonik Reaktör ve TFE'nin Teknik Özellikleri.....	9
Tablo 1.2. 7 Gruplu Isınma Tesir Kesitleri.....	18



İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
GİRİŞ.....	1
 BÖLÜM 1	
REAKTÖR VE ISI HESAPLARI.....	5
1.1 Reaktör Modeli.....	5
1.1.1 Reaktörün Kontrolü.....	8
1.2. Isı Hesaplarında Kullanılan Metodlar.....	10
 BÖLÜM 2	
RADYAL REFLEKTÖRDEKİ SICAKLIK DAĞILIMI HESAPLARI.....	27
2.1. Fourier Isı İletim Denklemi.....	27
2.2. Sonlu Farklar (Merkezi Fark) Metodu.....	27

BÖLÜM 3

SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	39
KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ.....	45
EK 1.....	46



GİRİŞ

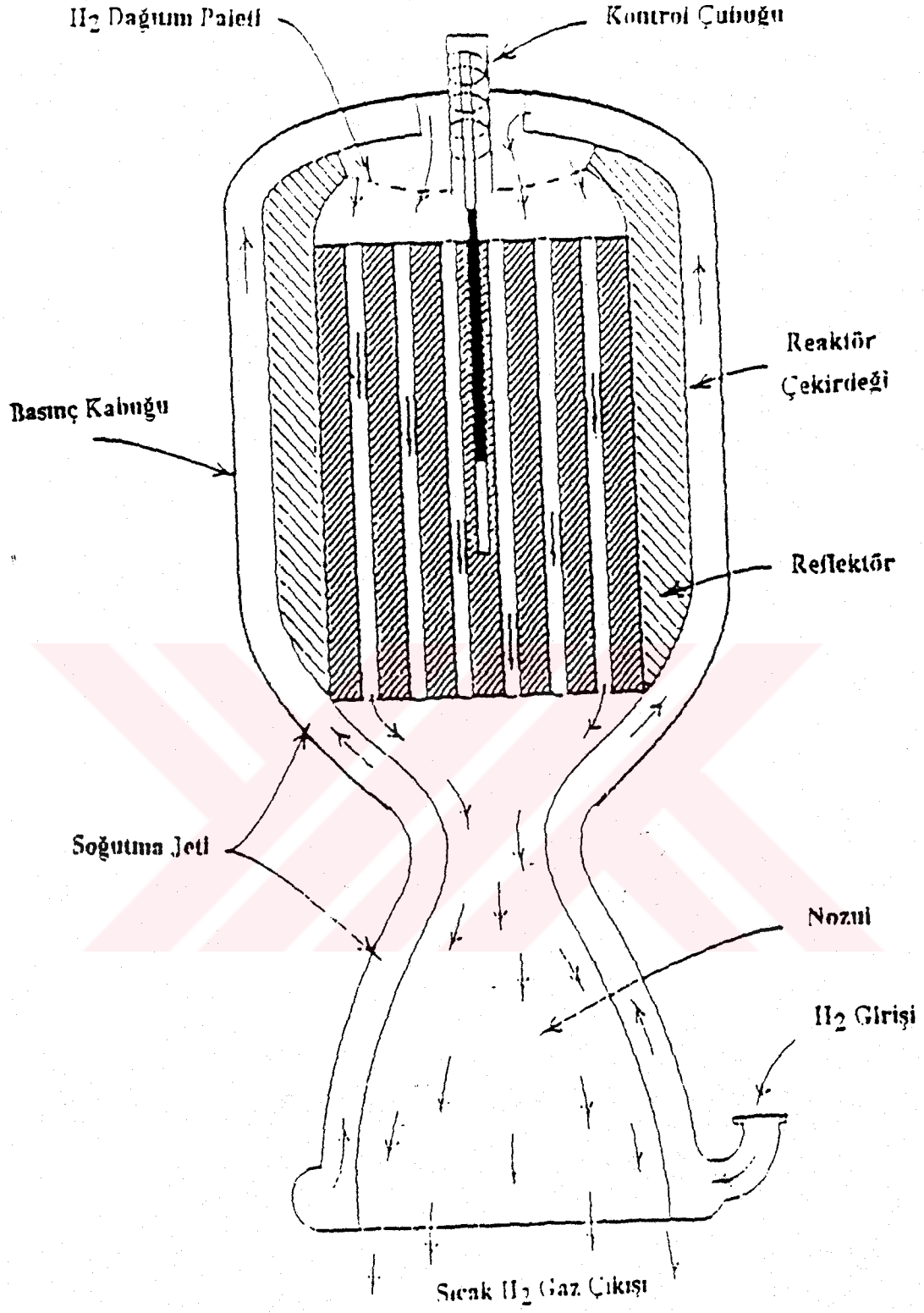
Enerji kaynağına göre uzay araçlarında değişik tiplerde roketler kullanılmaktadır. Bu roket tiplerinin en önemlileri kimyasal, nükleer fisyon ve güneş enerji kaynaklı olanlarıdır. Uzay araçlarında güç kaynağının hem elektrik hemde termal roket motoru olarak kullanılmasına hibrid sistem adı verilir. Termiyonik değişim ise temelde yüksek sıcaklıklarda metal yüzeylerindeki elektron yayılımı yardımıyla elektrik elde edilmesidir. Bu şekilde dizayn edilmiş sistemler hem maliyeti düşürür; hemde yüksek elektrik gücü ve büyük miktarlarda itme gücü elde edilmesini sağlar [1]. Bu sebeple uzay araçlarında nükleer güç reaktörü kullanılması üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda hızla artmaktadır. Bu çalışmada ise üzerinde çalışılan bu tip reaktörlerden kaynak 1 de verilen tip alınarak reaktör kontrolünün sağlanabilmesinin testinin yapılması planlanmıştır.

Uzay araçlarında kullanılması planlanan reaktörün çalışma prensibi ise; Nükleer güç reaktöründe kullanılan akışkanın (genelde sıvı hidrojen) reaktörde ısıtılarak genişleyen nozuldan yüksek hızda dışarı atılması şeklindedir. Uranyumun parçalanmasıyla ısı elde edilir ve bu ısı reaktörde kullanılan akışkana transfer edilmiş olur. Gelişmiş uzay nükleer termal itme araçlarında 3000 K civarında reaktör çekirdeğinden ısıtılmış hidrojen kullanılarak büyük miktarlarda roket itmesi elde edilmiştir. Nükleer roket ve itme sisteminin görünümü Şekil 1'de verilmiştir. [1]

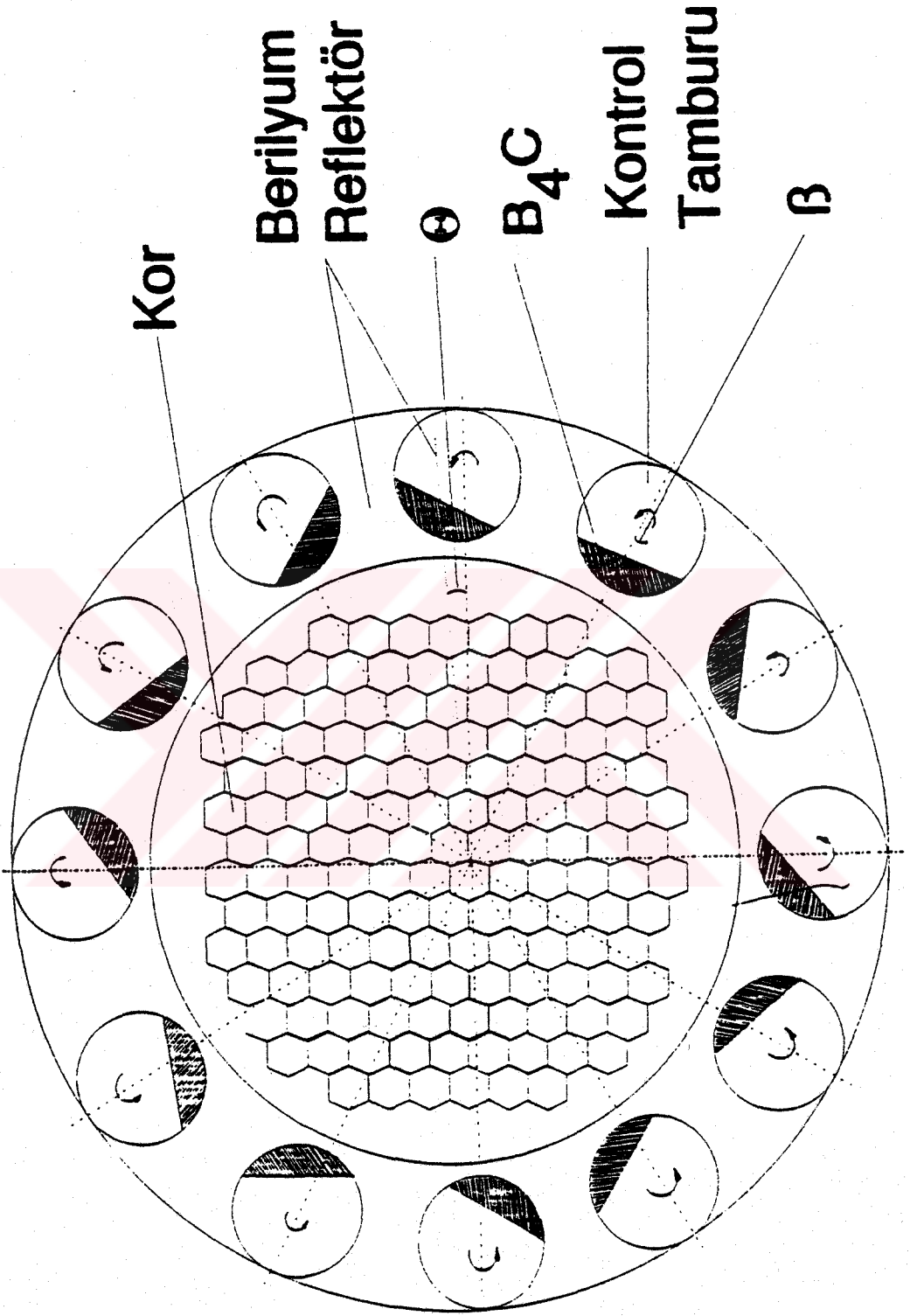
Bu çalışmada Şekil 2'de görüldüğü gibi kaynak 1 den alınan radyal reflektör içerisine yerleştirilmiş dönen kontrol tamburları yardımıyla kontrol

edilen bir uzay reaktör modeli tasarlanmış ve reflektör içerisindeki sıcaklık dağılımları hesaplanarak reaktör kontrolünün tasarlanan tamburlarla yapılıp, yapılamayacağı araştırılmıştır. Hesaplamalarda reflektör içerisindeki ısı hesabı yapılarak fourier ısı denkleminin belirlenen reaktör geometrisinde çözümü için sonlu farklar (merkezi fark) metodunu kullanan fortran dilinde bir bilgisayar programı yapılmıştır. Elde edilen sıcaklık dağılımı, reaktör kontrollünün tasarlanan reflektör içerisindeki kontrol tamburları yardımıyla yapılıp yapılamayacağını test edecektir. Üzerinde çalışılan reaktör tipi için geniş bilgi kaynak 1’de verilmiştir.





Şekil 1. Filyon Reaktörün Şematik Görünümü[1].



Şekil 2. Kontrol Tamburlarıyla Reaktörün Kontrolünün Şematik Görünümü [1].

BÖLÜM 1

REAKTÖR VE ISI HESAPLARI

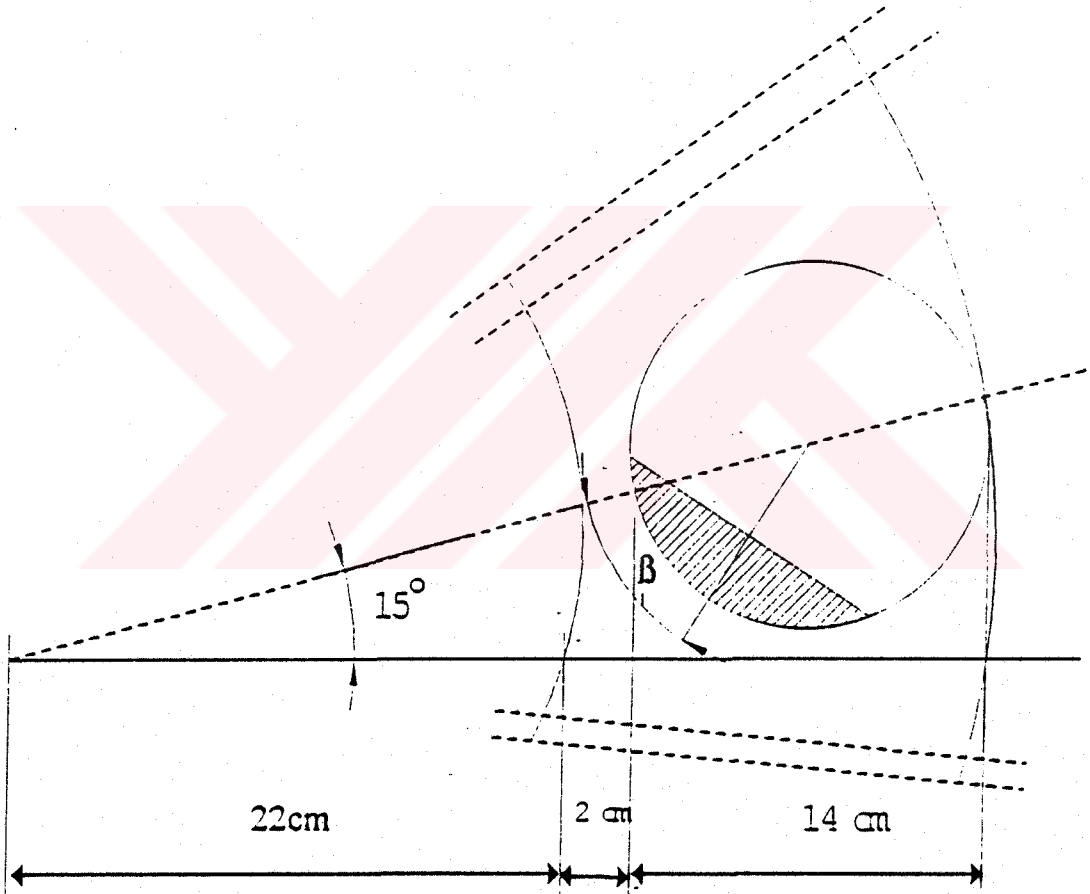
1.1. Reaktör Modeli

Reaktör geometrisi Şekil 1.1’de gösterildiği gibi 22 cm reaktör çekirdeği, 16cm radyal reflektör ve 14cm çapında dönen kontrol tamburlarında oluşmaktadır[1]. Reaktör aktif çekirdeğinin yüksekliği 35 cm olup reaktör alttan ve üstten 12cm Berilyum reflektör ile kaplanmıştır. Ayrıca reaktör kontrolü Berilyum reflektör içerisine simetrik olarak yerleştirilmiş 12 adet kontrol tamburu üzerindeki B₄C ile sağlanmaktadır.

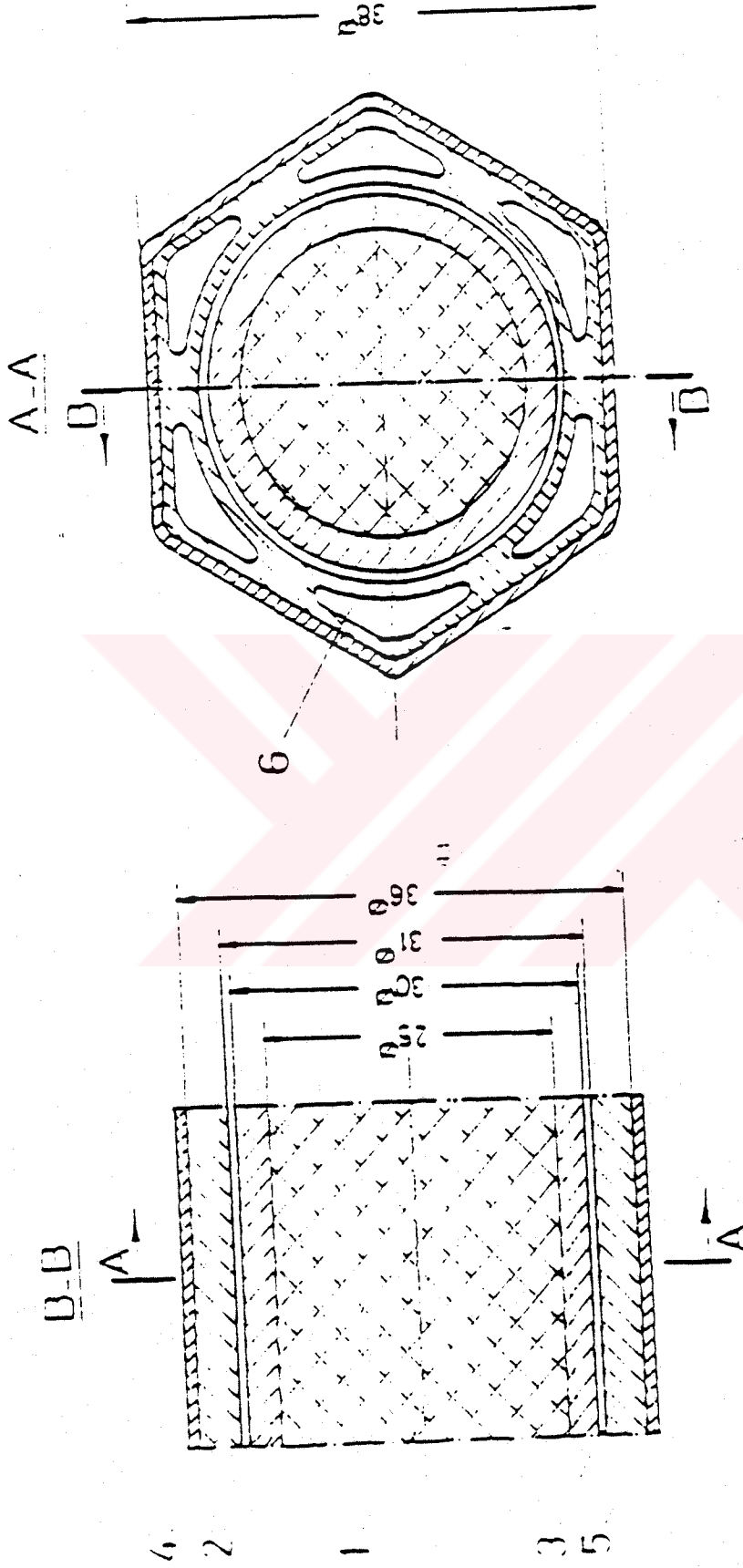
Reaktörde yüksek sıcaklıklarda (2000-3000 °K) aşağıda belirtilen özellikleri bakımından tercih edilen 80UC-20TaC kombinasyonlu Şekil 1.2’de[1] görülen termiyonik özelliği bakımından elektrik elde edilmesini sağlayan yakıt kullanılmıştır.

- Buharlaşma
- Ergime
- Reaktördeki Nötron Spektrumu
- Kimyasal süreklilik
- Fabrikasyon

- Fısyon üretimi
- Yakıt yoğunluğu



Şekil 1.1. Reaktör Geometrisi



Şekil 1.2. Termoniyonik Yakıt Elemanı (Boyutlar mm)

- 1) Nükleer yakıt
- 2) Yayıcı
- 3) Elektrotlar arası boşluk
- 4) Toplayıcı Kollektör
- 5) Al_2O_3 kaplama
- 6) Isı borusu

1.1.1. Reaktörün Kontrolü

Analizi yapılan reaktörün kontrolü şekil 1.1'deki gibi dönen reflektör içerisindeki kontrol tamburları üzerine yerleştirilmiş Borkarbid (B_4C)'le yapılmaktadır. Reaktör kontrol işlemlerinin uzun dönemde işletme şartlarında fisyon güç yoğunluğunu bozmayacak şekilde olması istenir. Konveksiyonel kontrol çubukları yardımıyla yapılan reaktör kontrolü reaktörde fisyon güç yoğunluğunu bozar ve reaktör boyutlarını artırır.

Son zamanlarda yapılan çalışmalara bakıldığında reaktör kontrolünün reflektör içersine yerleştirilmiş, dönen kontrol tamburları yardımıyla yapılması önerilmektedir [2, 3, 4, 5, 6, 7](Şekil 2.). Reaktör tamburlarının uzay nükleer güç reaktörünün kontrolü için $>10\%$ reaktivite değişikliğine ulaşması istenir. Reflektör tamburları yardımıyla reaktör kontrolü, herhangi bir kinematik bozulmaya neden olmaz.

Reaktör kontrol işleminde, eğer tamburun çapı, radyal reflektör kalınlığından daha küçük seçilirse ve eğer radyal reflektörün dış yüzüne Borkarbid (B_4C) yerleştirilirse fisyon güç profilindeki bozulma, önemsiz bir seviyede tutulabilmektedir [2].

Reaktörün teknik özellikleri Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Hibrid Termiyonik Reaktör ve TFE 'nin Teknik Özellikleri[1]

Elektrik Gücü	50 kW
TFE Sayısı	121
Uzunluk	35 cm
Emitter	W-4Ta
Kollektör	Nb
Yalıtım Kaplama	Safir
Yakıt	80UC-20TaC
Uranyum Yoğunluğu	8.2752 gr / cm ³
Her TFE'deki Uranyum	1.42172775 kg
TFE Th Gücü	5.24 kW
Minimum Ömrü	7 Yıl
²³⁵ Kütlesi	160.245 kg
TFE Elektrik Gücü	410 W
Güç Yoğunluğu	1.243 W / cm ²
Uranyum Yüğü	172.029 kg
Isı Pompası alanı	3.515 cm ²
Çekirdek Çapı	44 cm
Reflektör Çapı	76 cm

1.2. Isı Hesaplarında Kullanılan Metodlar

Bir boyutlu ısı hesapları, ANISN [8] nötron transport kodunun Şekil 1.1'de verilen reaktör geometrisi için $S_{16}P_3$ yaklaşımı kullanılarak Boltzman Transport denkleminin silindirik geometride çözülmesiyle yapılmıştır. ANISN nötron transport kodu CLAW-IV [9] nötron transport aktivite tesir kütüphanesini kullanmaktadır. Boltzman transport denklemi;

$$\frac{1}{V} \frac{\partial}{\partial t} \phi(\vec{r}, E, \bar{\Omega}, t) = S(\vec{r}, E, \bar{\Omega}, t) + \int_{E'} \int_{\bar{\Omega}'} \sum_S (\vec{r}, E' \rightarrow E, \bar{\Omega}' \rightarrow \bar{\Omega}) \phi(\vec{r}, E, \bar{\Omega}', t) dE' d\bar{\Omega}' - \bar{\Omega} \nabla \phi(\vec{r}, E, \bar{\Omega}, t) - \sum_i (\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, E, \bar{\Omega}, t)$$

şeklindedir. Bu ifade de

t= Zaman

r= Uzay koordinatı

E= Enerji

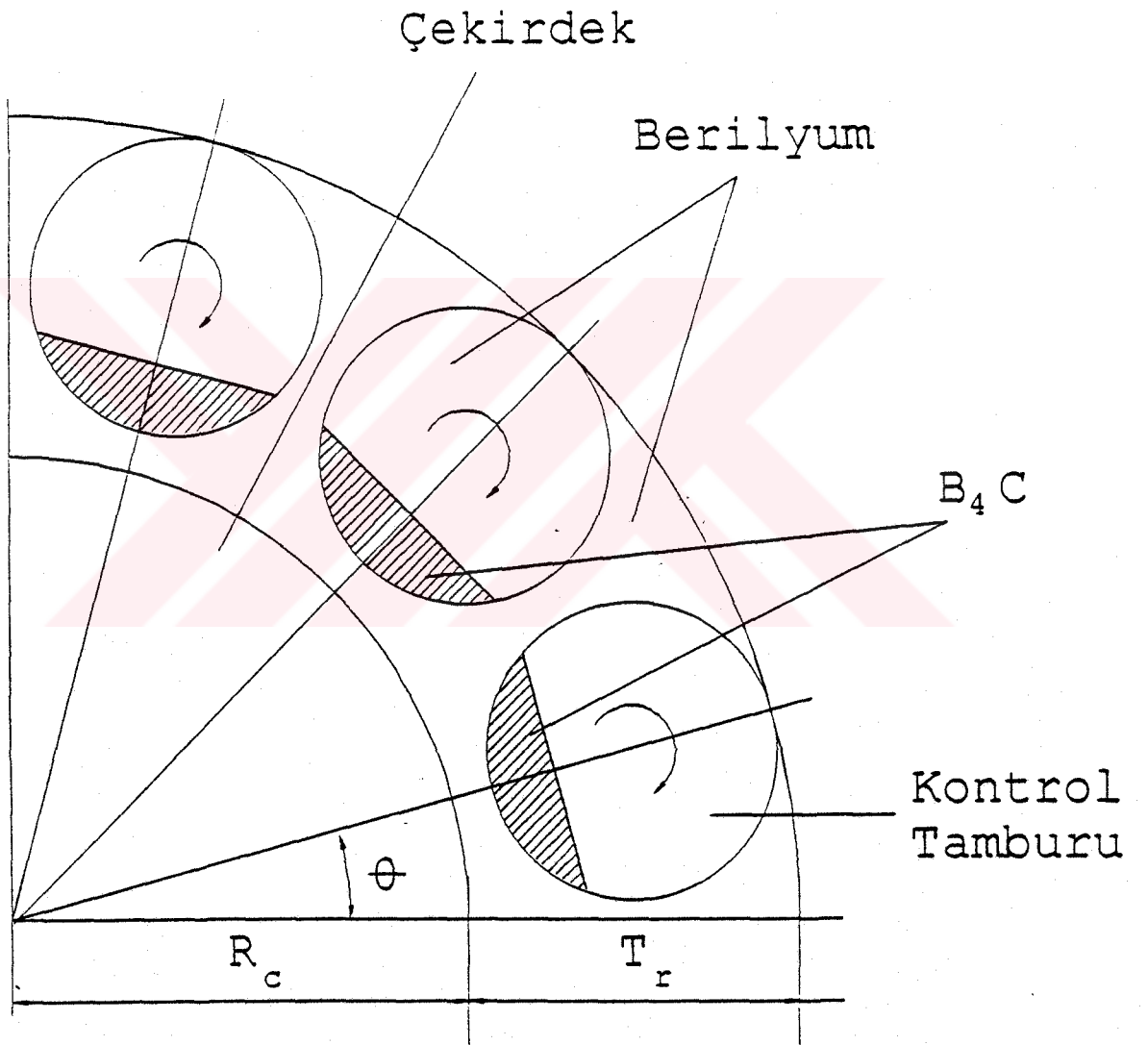
Ω = Hareket yönünü belirtir.

Silindirik geometrilerde z eksen simetrik olduğundan r- θ geometrisinde yapılan hesaplamalar iki boyutlu hesaplara eşdeğerdir. Hesaplamalarda silindirik geometrideki reaktör yüksekliği 59 cm (35 cm Aktif çekirdek +2*12 cm eksenel reflektör), Rc=22 cm Tr=16 cm olarak alınmıştır.

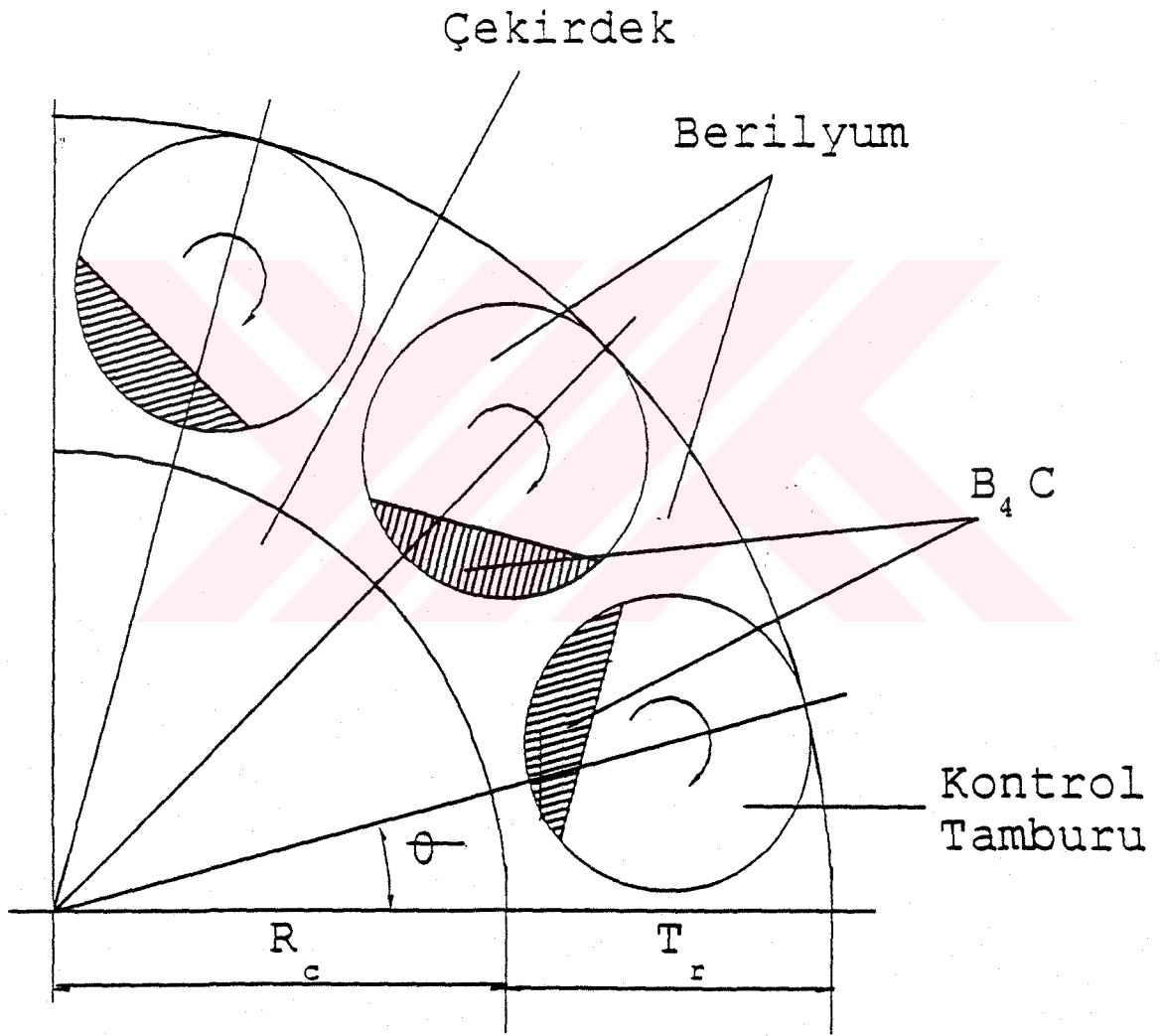
İki boyutlu ısı hesaplarında DORT bilgisayar kodu kullanılmıştır. DORT kodu iki veya üç boyutlu geometrilerde reaktörde oluşan nötron akı dağılımı ve partiküllerin etkileşimleri ile ilgili analizlerin yapılmasına imkan verir [4]. Kritikallite problemlerinin çözümünde de kullanılır. Esas uygulama alanı foton ve nötronların dağılımının belirlenmesidir. Boltzman Transport denklemi difüzyon teorisi veya sonlu elemanlar metodlarının birini kullanımı ile çözülmektedir.

İki boyutlu hesaplamalar 7 nötron gruplu ve S_8P_3 yaklaşımıyla 48 uzay açısında silindirik geometride DORT kodu kullanılarak yapılmıştır. Bu yaklaşımlar reaktör geometrilerinde yüksek derecede doğru neticeler verir.

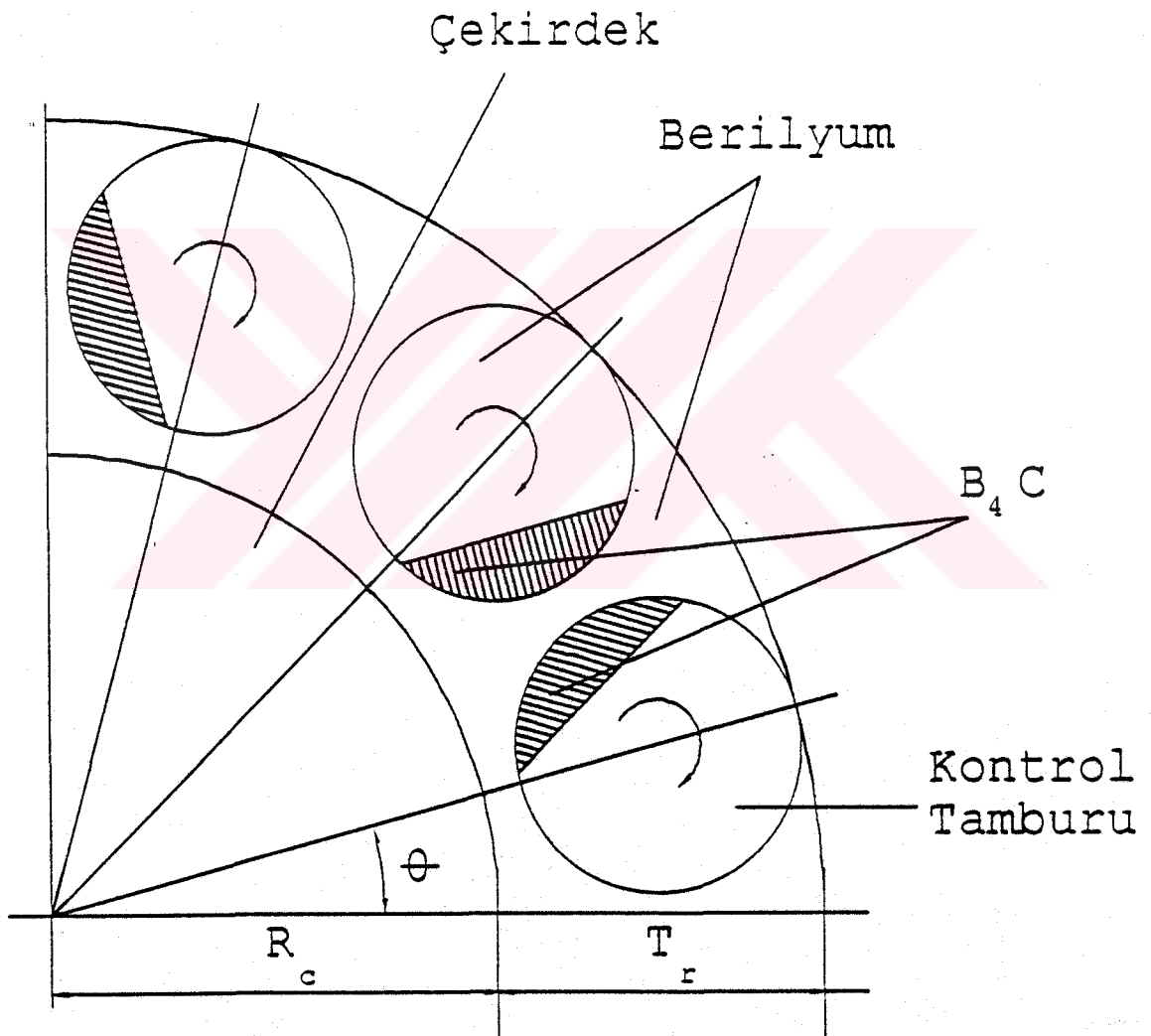
Reaktör kontrol operasyonunun farklı basamaklarında kontrol tamburlarındaki Borkorbid'in (B_4C) farklı pozisyonlarında Şekil 1.3'den Şekil 1.9'a ($R_c=22$ cm $T_r= 16$ cm) kadar gösterildiği gibi 14 cm çaplı 12 adet simetrik olarak düzenlenmiş dönen kontrol tamburları düşünülmüştür. Dönme açısı β tamburlardaki Borkorbid'in (B_4C) açısını (pozisyonunu) göstermektedir. Yapılan hesaplamalar bu açının değişik değerlerinde yapılmıştır. $\beta=0^\circ$ reaktörün alt kritik, $\beta=180^\circ$ üst kritik durumunu göstermektedir.



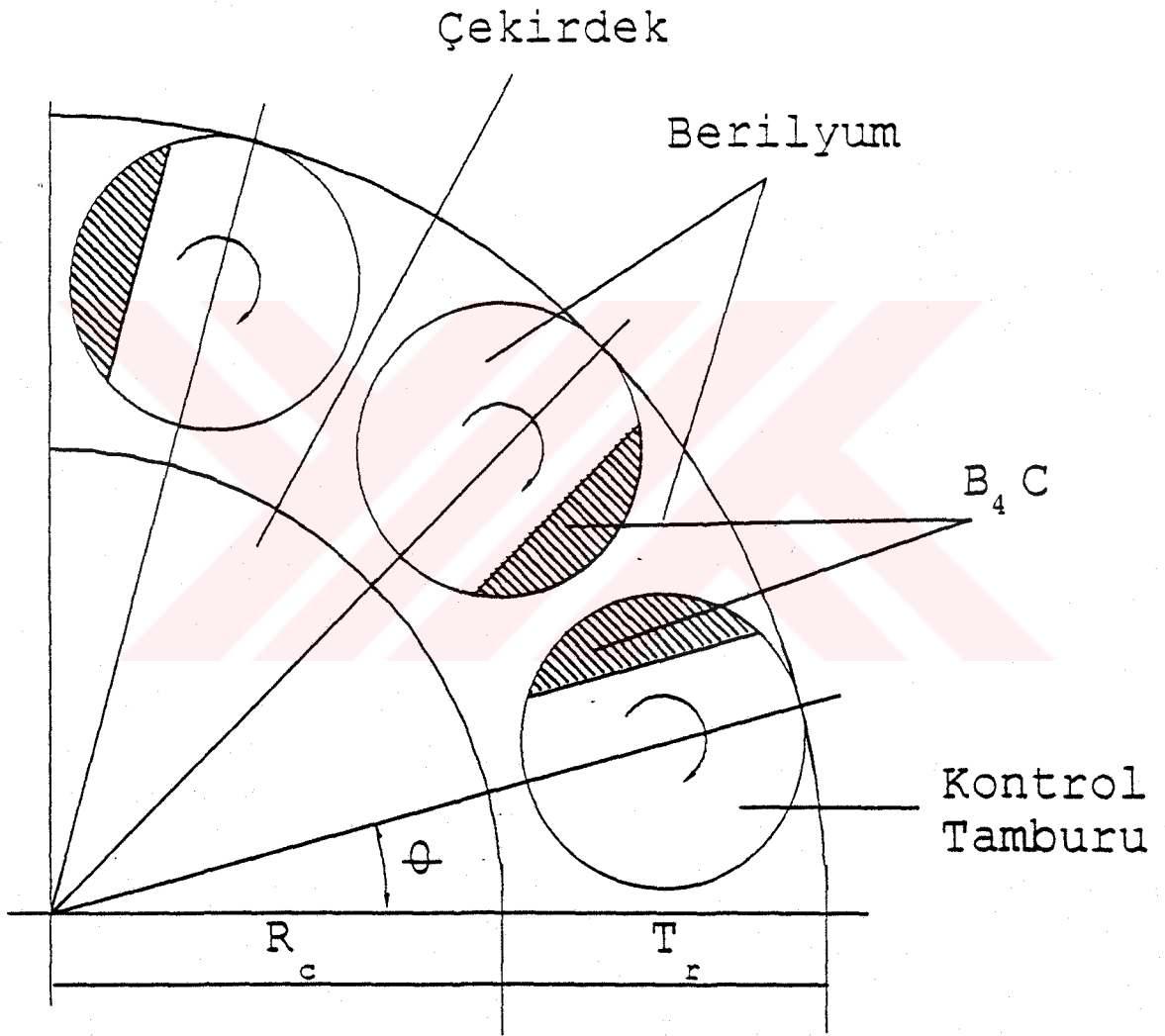
Şekil 1.3. Reaktör Kontrol Pozisyonu $\beta=0^\circ$



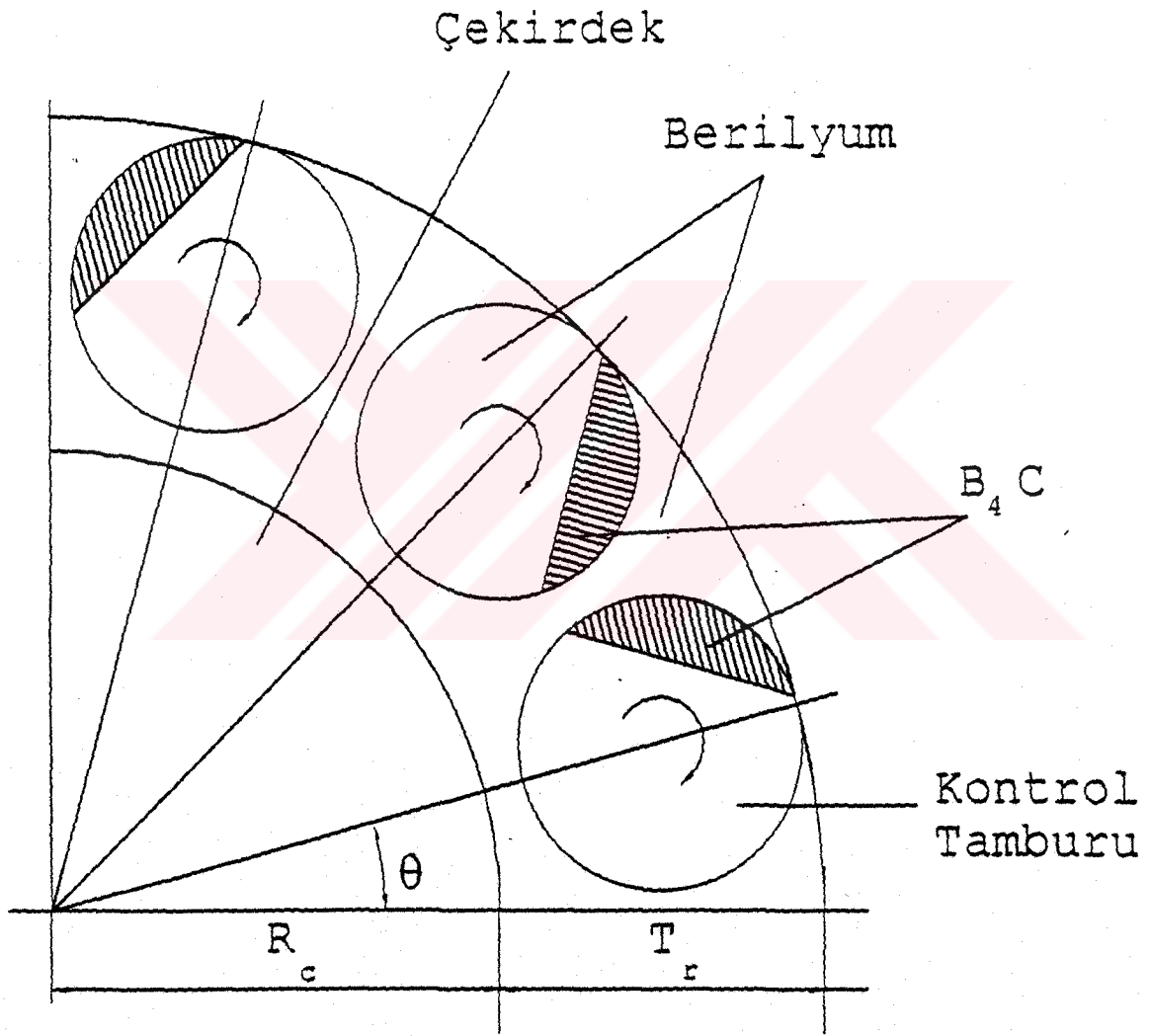
Şekil 1.4. Reaktör Kontrol Pozisyonu $\beta=30^\circ$



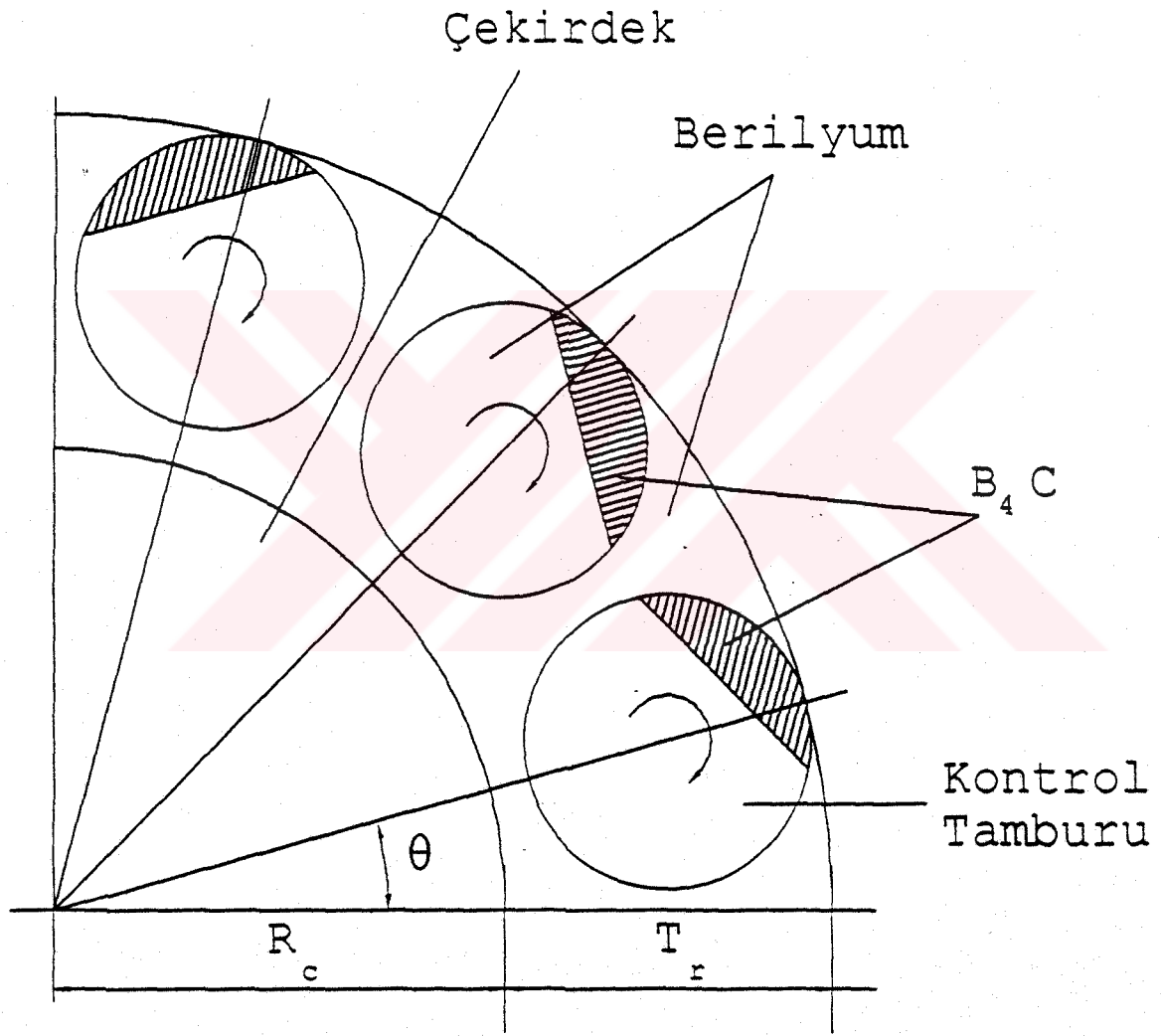
Şekil 1.5. Reaktör Kontrol Pozisyonu $\beta=60^\circ$



Şekil 1.6. Reaktör Kontrol Pozisyonu $\beta=90^\circ$



Şekil 1.7. Reaktör Kontrol Pozisyonu $\beta=120^\circ$



Şekil 1.8. Reaktör Kontrol Pozisyonu $\beta=150^\circ$

Çekirdekdeki U²³⁵ ve U²³⁸ ile Berilyum reflektör ve içerisine yerleştirilmiş kontrol tamburları üzerindeki borkarbidlerin ısınmalarının hesaplanabilmesi için için 30 gruplu tesir kesiti kütüphanesinden ısınmalarla ilgili olan tesir kesitleri, 7 gruplu olarak aşağıda verilen 1.2 ifadesi ile elde edilmiştir (Tablo 1.2)

$$\sigma_I = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i \phi_i}{\sum_{i=1}^n \phi_i} \quad (1.2)$$

Bu ifadede σ_i 30 gruplu ısınma tesir kesiti, ϕ_i 30 gruplu nötron akısı, $I=1-7$ olup makroskopik grup sayısı ve n mikroskopik grup sayılarıdır.

Tablo 1.2. 7 Gruplu Isınma Tesir Kesitleri (Joule*Barn)

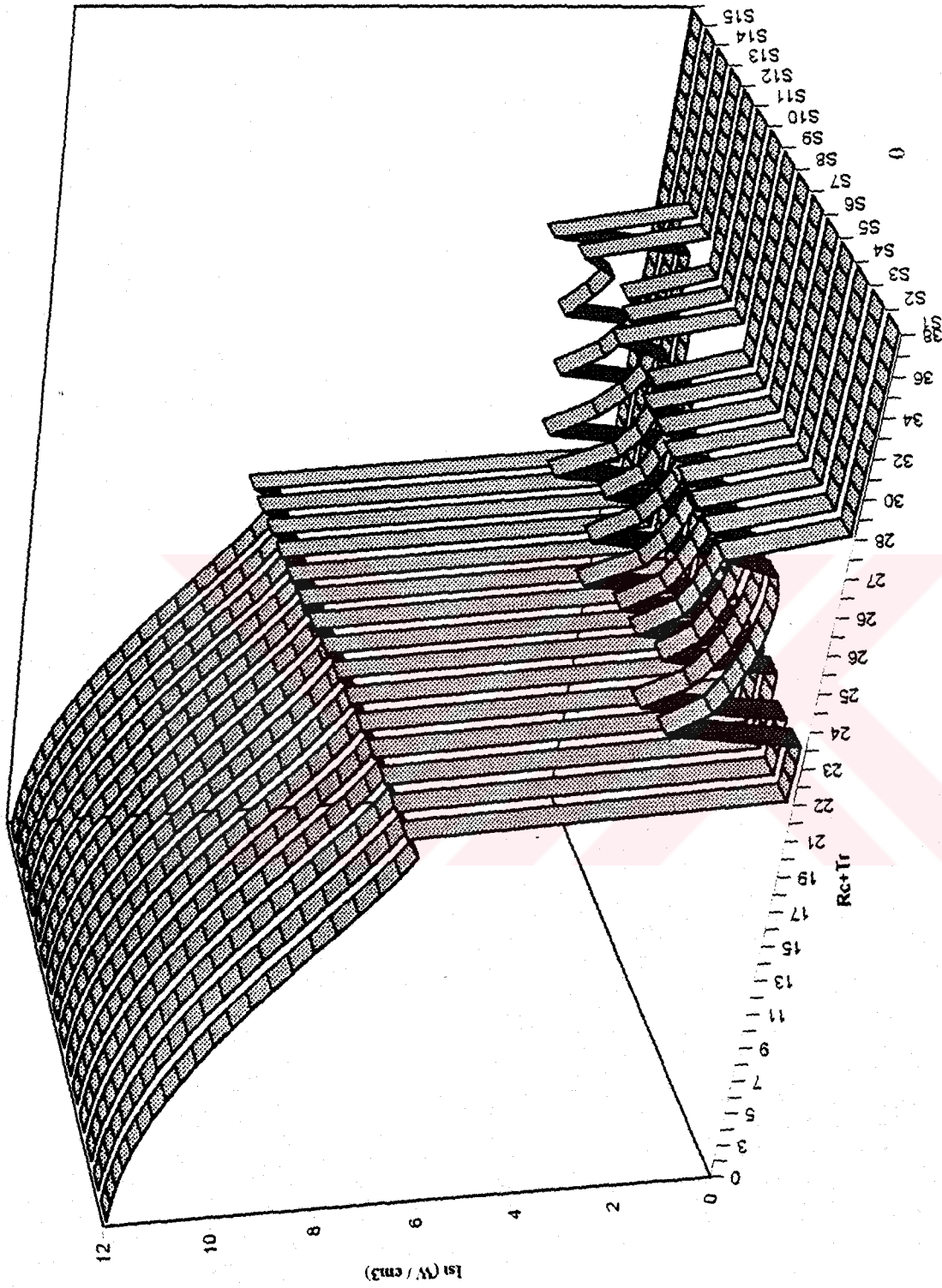
Grup	U ²³⁵	U ²³⁸	Be	B ¹⁰
1	4.29917E-11	2.49681E-11	2.45544E-13	5.38264E-13
2	3.30294E-11	1.50159E-11	1.90111E-13	4.24382E-13
3	3.37372E-11	4.86458E-12	7.84638E-14	2.60304E-13
4	3.85980E-11	1.84812E-14	2.70502E-15	9.46803E-13
5	1.15194E-10	3.44523E-15	1.36493E-16	5.38301E-12
6	4.79221E-10	2.56844E-14	5.57364E-18	3.64756E-11
7	6.10520E-10	1.50175E-15	5.90949E-17	7.08249E-10

DORT bilgisayar kodu ile yapılan üç boyutlu hesaplamalarda Borkarbid'in değişik pozisyonları için elde edilen 7 gruplu nötron akı değerleri kullanılarak, çekirdek merkezinden radyal reflektör sonuna kadar ısınma değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar 12 adet kontrol tamburlu reaktörler için yapılmıştır. Şekil 1.10-16 arası değişik pozisyonlarda hesaplanan ısınma

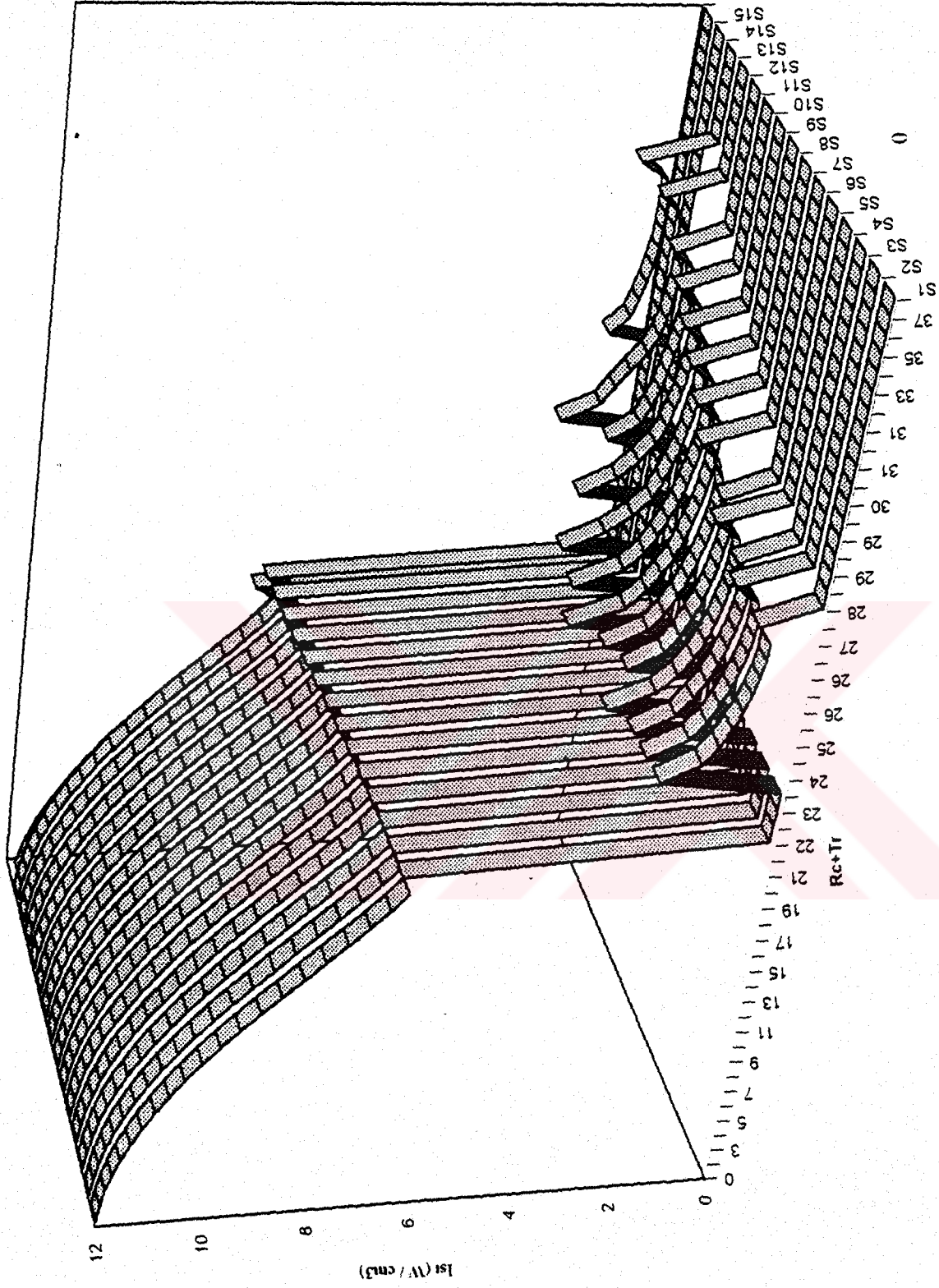
değerlerini çekirdekten başlayarak radyal reflektör sonuna ayrıca θ açısı boyunca değişimini üç boyutlu olarak göstermektedir.

Reaktörlerde kontrol mekanizmasının ısınmasının çekirdekteki ısınmanın üzerinde olması istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle Borkarbid'deki Bor'un ısınmasının makul değerler içerisinde olması istenir. Hesaplamalar neticesinde Borkarbid'deki Bor'un ısınma değeri Berilyum'dan fazla olmuştur. Ancak $\beta=120^\circ$, $\beta=150^\circ$ ve $\beta=180^\circ$ 'de Borkarbid'deki ısınma değeri $R_c=22$ cm'de yani $T_r=0$ cm 'deki Berilyum'un ısınma değerine çok yaklaşmıştır.

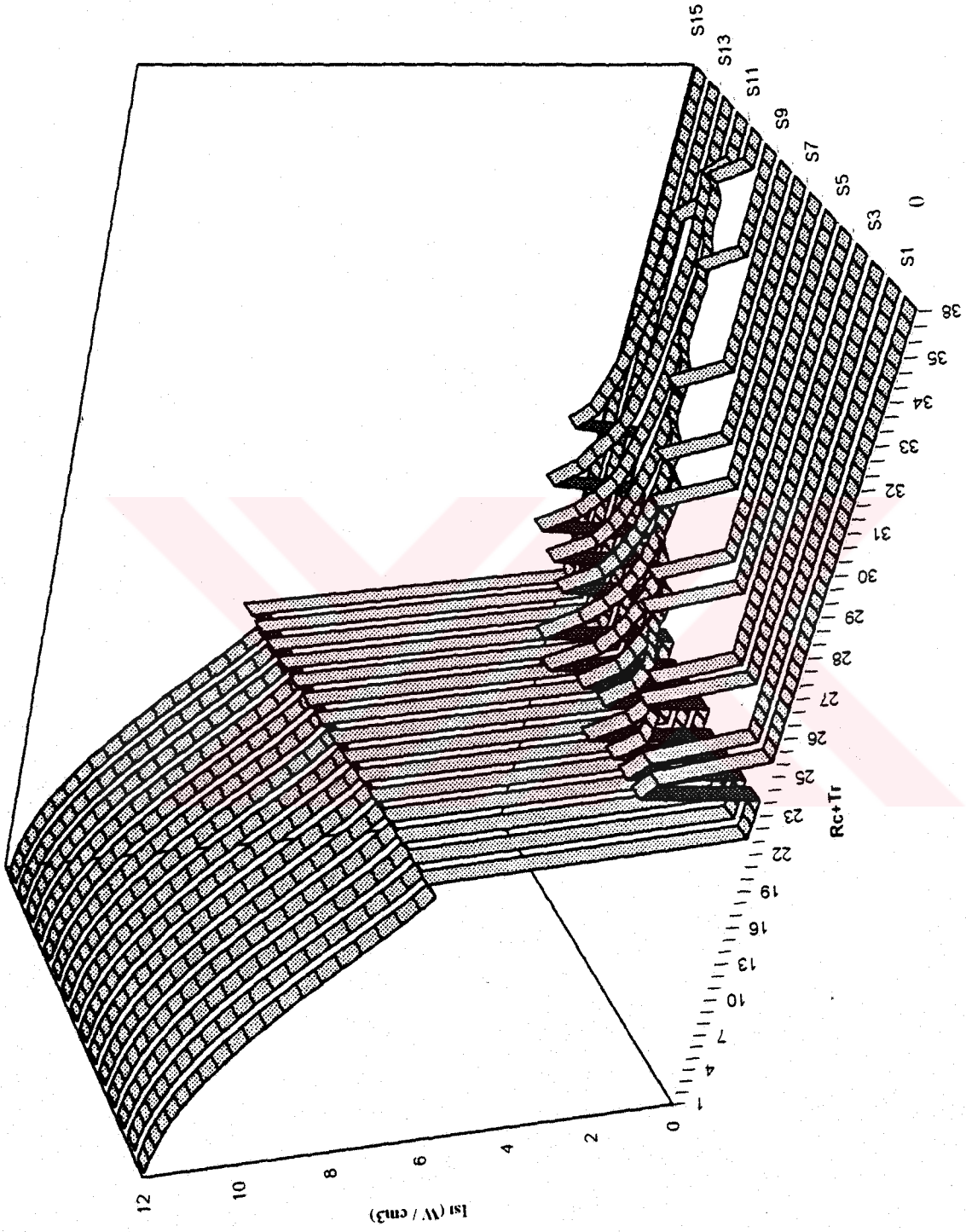




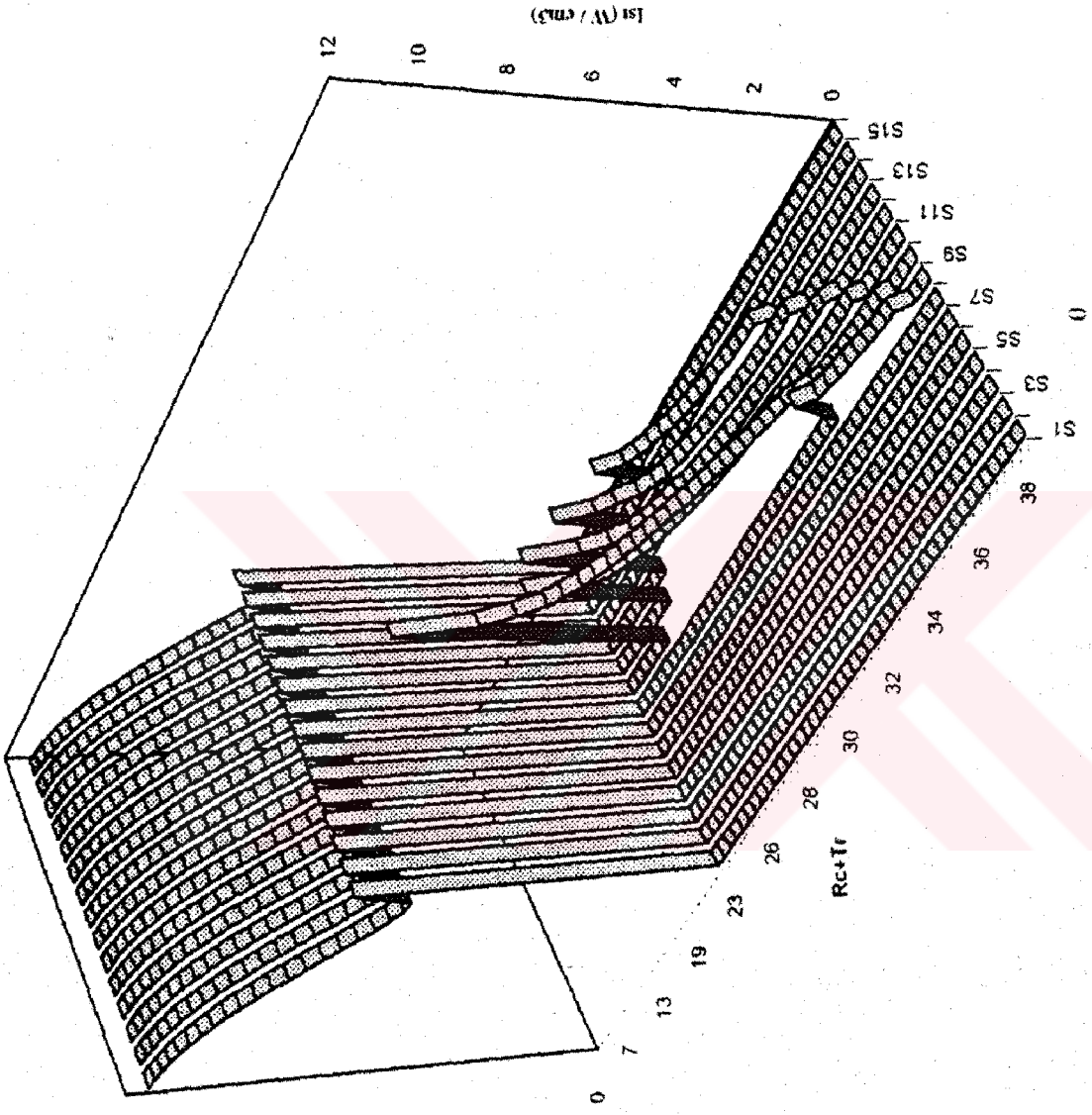
Şekil 1.10. Reaktördeki Isınma Değerleri $\beta=0^\circ$



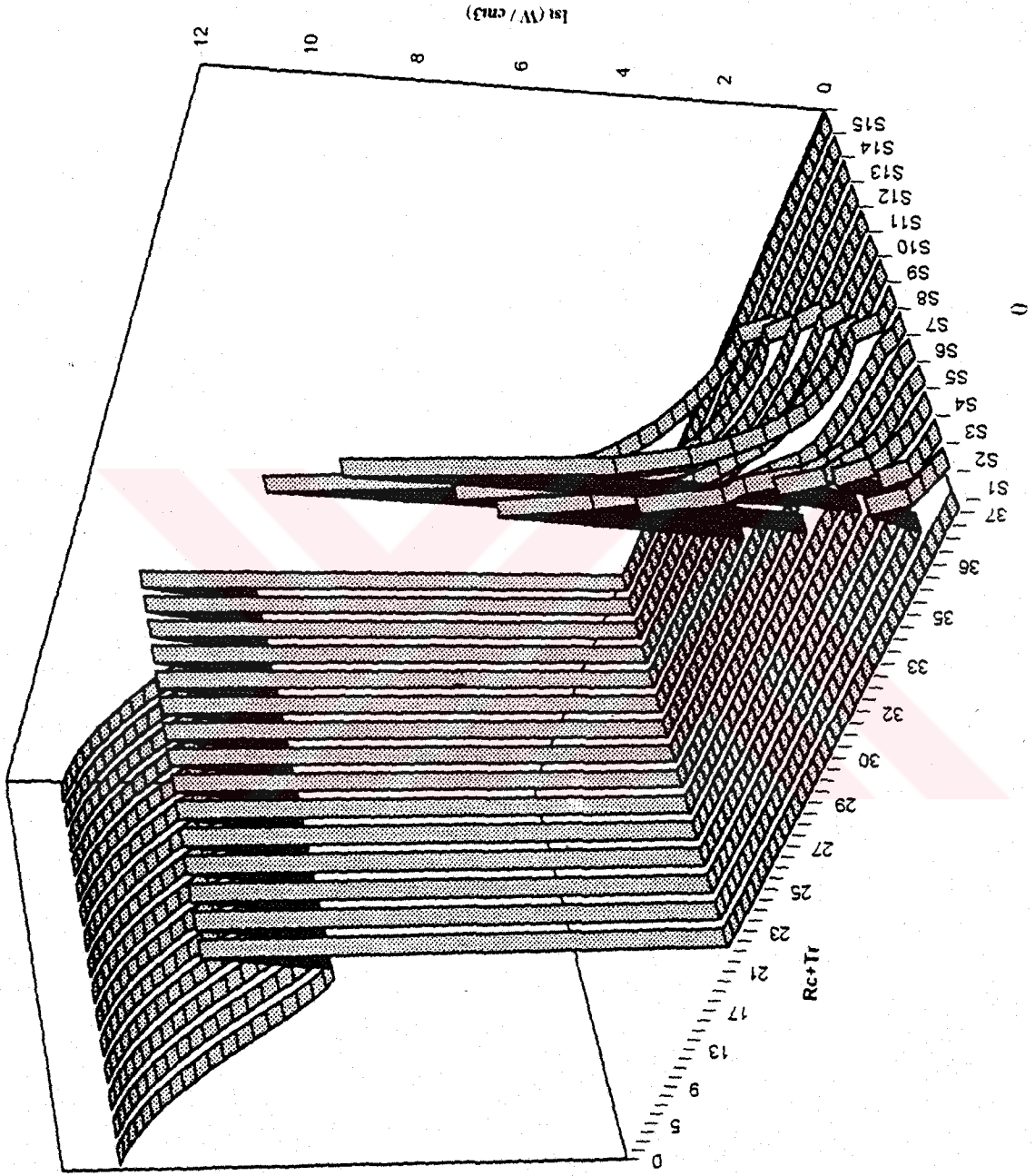
Şekil 1.11. Reaktördeki Isınma Değerleri $\beta \approx 30^\circ$



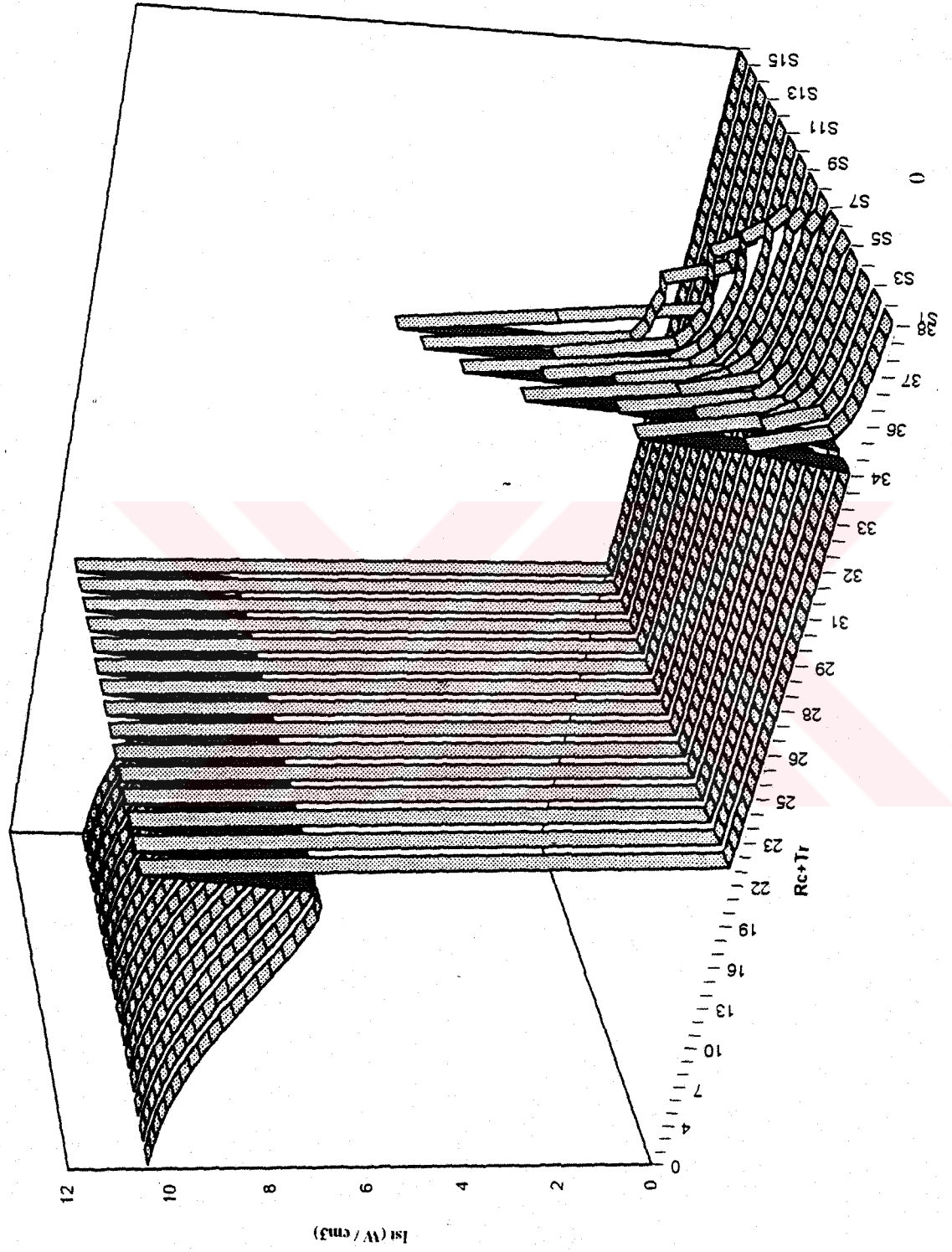
Şekil 1.12. Reaktördeki Isınma Değerleri $\beta=60^\circ$



Şekil 1.13. Reaktördeki Isınma Değerleri $\beta=90^\circ$



Şekil 1.1.4. Reaktördeki Isınma Değerleri $\beta=120^\circ$



Şekil 1.15. Reaktördeki ısıma değerleri $\beta=150^\circ$

BÖLÜM 2

RADYAL REFLEKTÖRDEKİ SICAKLIK DAĞILIMI HESAPLARI

2.1. Fourier Isı İletim Denklemi

Silindirik koordinatlarda $(r-\theta)$ geometrisi için ısı kaynağı ihtiva eden fourier ısı iletim denklemi

$$\nabla T = -\frac{q(r,\theta)}{\lambda} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} \quad (2.1)$$

şeklindedir. Bu denklemin çözümü ancak nümerik metotlarla ve bilgisayar yardımıyla yapılabilmektedir. Bu çalışmada fortran dilinde yazılmış bilgisayar programı kullanılarak denklemin çözümü sonlu farklar (merkezi farklar) metodu ile Bölüm 1’de hesaplanan ısı değerleri kullanılarak yapılmıştır.

2.2. Sonlu Farklar (Merkezi Fark) Metodu

$f(x)$ fonksiyonunu, x noktasından h kadar uzaktaki bir noktada taylor serisine açarsak

$$f(x+h) = f(x) + hf'(x) + \frac{(-h)^2}{2!} f''(x) + \frac{(-h)^3}{3!} f'''(x) + \dots \quad (2.2)$$

Ve $f(x)$ fonksiyonunu, x noktasından h kadar geri alarak taylor serisine açarsak;

$$f(x-h) = f(x) - hf'(x) + \frac{(-h)^2}{2!} f''(x) + \frac{(-h)^3}{3!} f'''(x) + \dots \quad (2.3)$$

Buradan

$$f(x+h) - f(x-h) = 2hf'(x) + \frac{(-h)^2}{2!} f''(x) + \frac{(-h)^3}{3!} f'''(x) + \dots \quad (2.4)$$

elde edilir. Fonksiyon türevi

$$f'(x) = \frac{f(x+h) - f(x-h)}{2h} + O(h^2) \text{ şeklindedir.}$$

$f(x)$ 'in ikinci türevini bulmak için $f(x+h)$ ile $f(x-h)$ 'i toplayalım.

$$f(x+h) + f(x-h) = 2f(x) + h^2 f''(x) + \frac{h^4}{4!} f^{(4)}(x) + \dots \quad (2.6)$$

$$f''(x) = \frac{f(x+h) - 2f(x) + f(x-h)}{h^2} + O(h^2) \text{ şeklindedir.}$$

$$f''_i = \frac{f_{i+1} - 2f_i + f_{i-1}}{h^2} + O(h^2)$$

f_{i1} ve f''_i ne merkezi farklar metodu adı verilir. Bu metodla hassas neticeler elde edilir. Bu denklemlerden faydalanılarak silindirik geometriler için merkezi farklar metodunu fourier ısı denkleminde uygulanırsa:

Fourier ısı iletim denkleminin

$$\nabla T = -\frac{q(r, \theta)}{\lambda} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2}$$

terimlerinin her birini merkezi farklar cinsinden yazarsak

$$\frac{\partial T}{\partial r} = \left(\frac{\Delta T}{\Delta r} \right)_A = \frac{T_{i,j} - T_{i-1,j}}{\Delta r} \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = \left(\frac{\Delta T}{\Delta r} \right)_B = \frac{T_{i+1,j} - T_{i,j} - T_{i,j} - T_{i-1,j}}{\Delta \theta} \quad (2.8)$$

olur. Bu 2.7 ve 2.8 ifadeleri fourier ısı iletim denkleminde yazılırsa

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} &= \frac{\Delta^2 T}{(\Delta r)^2} = \frac{1}{\Delta r} \left[\left(\frac{\Delta T}{\Delta r} \right)_B - \left(\frac{\Delta T}{\Delta r} \right)_A \right] \\ &= \frac{T_{i+1,j} - T_{i,j} - T_{i,j} - T_{i-1,j}}{(\Delta r)^2} = \frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} - T_{i-1,j}}{(\Delta r)^2} \end{aligned} \quad (2.9)$$

ifadesi elde edilir.

Aynı şekilde θ istikameti için:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} \cong \frac{\Delta^2 T}{(\Delta \theta)^2} = \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} - T_{i,j-1}}{(\Delta \theta)^2} \quad (2.10)$$

şeklinde olur. Buradan Fourier ısı denklemi

$$\nabla T = \frac{\alpha(r, \theta)}{\lambda} = \frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} - T_{i-1,j}}{(\Delta r)^2} + \frac{1}{r} \frac{T_{i,j} - T_{i-1,j}}{\Delta r} + \frac{1}{r^2} \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} - T_{i,j-1}}{\Delta \theta^2} \quad (2.11)$$

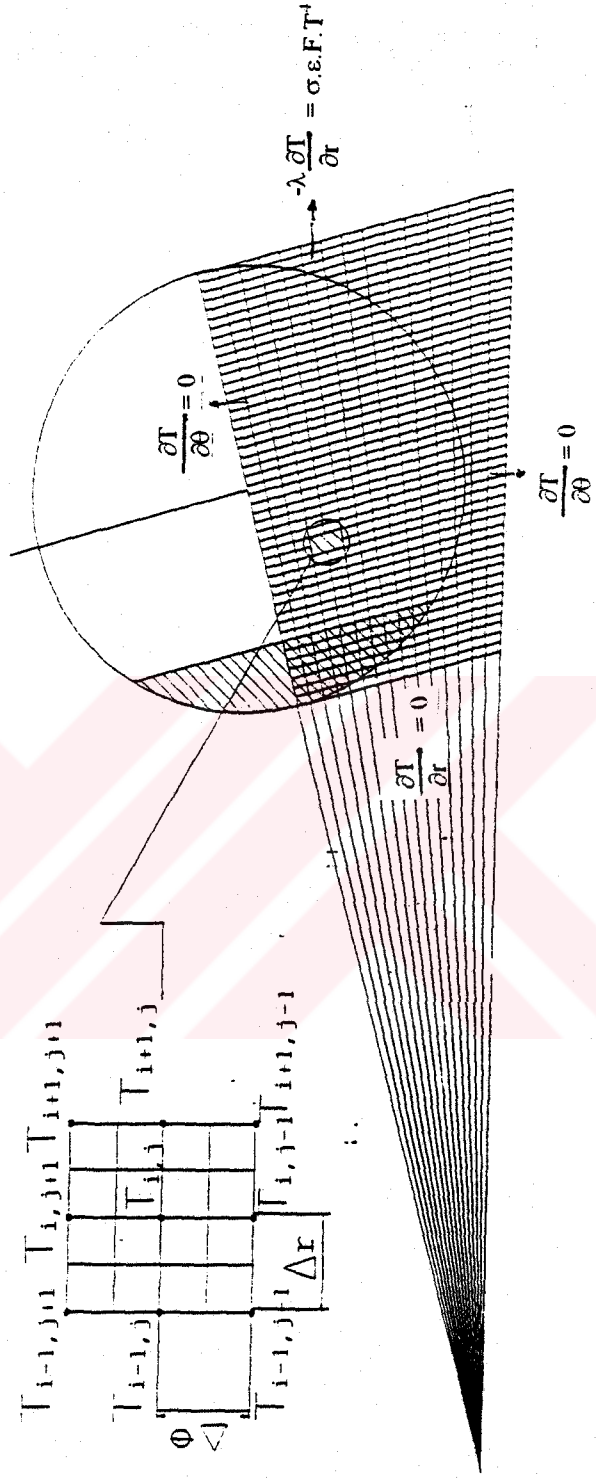
bulunur. Bu ifadede

λ : Isı iletim katsayısıdır.

Bu ifadenin radyal reflektör için yazılımı için geometri Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Ancak bu ifadenin çözümünün yapılabilmesi için bazı sınır şartlarını kullanmak gerekecektir.

Reaktörün radyal reflektörü için kabul edilen sınır şartları Şekil 2.1. üzerinde gösterilmiştir. Radyal reflektörün dış yüzeyi uzaya açık olduğundan bu yüzeyinde radyasyon sınır şartı kullanılmıştır. Radyal reflektörün reaktör çekirdeği yüzeyi ile simetriden dolayı θ yönlerindeki sınır şartları ise izolasyon sınır şartı olarak kabul edilmiştir. Ayrıca tamburlar üzerindeki Borkarbid ile Berilyum arasında ise arayüzey sınır şartı kullanılmıştır.

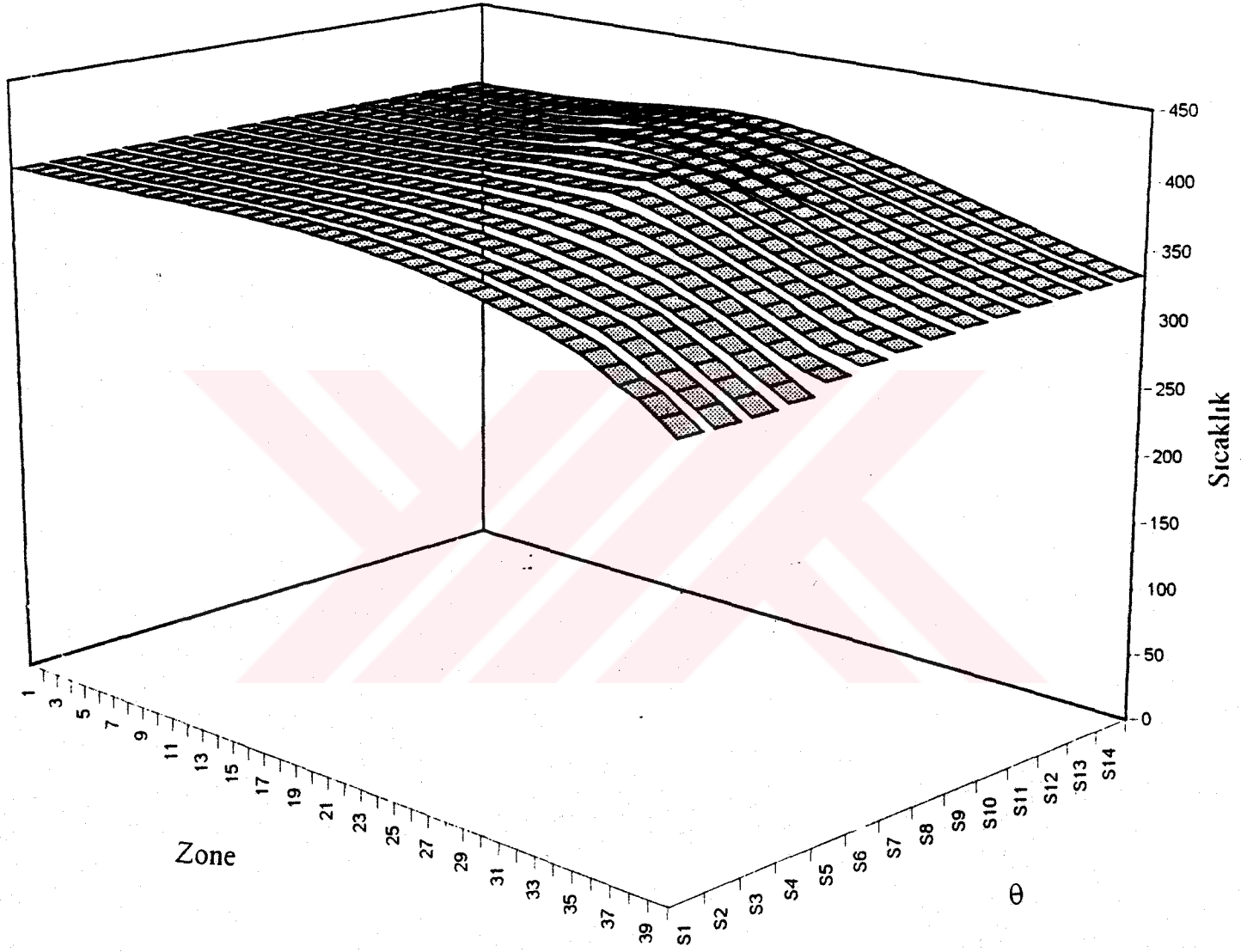
Denklem 2.11'in çözümü için, fortran dilinde bilgisayar programı yazılarak (Ek 1), reaktörde kullanılan kontrol tamburlarında Şekil 2.1'de gösterildiği gibi her noktasında ayrı, ayrı sıcaklıkları bulunmuştur.



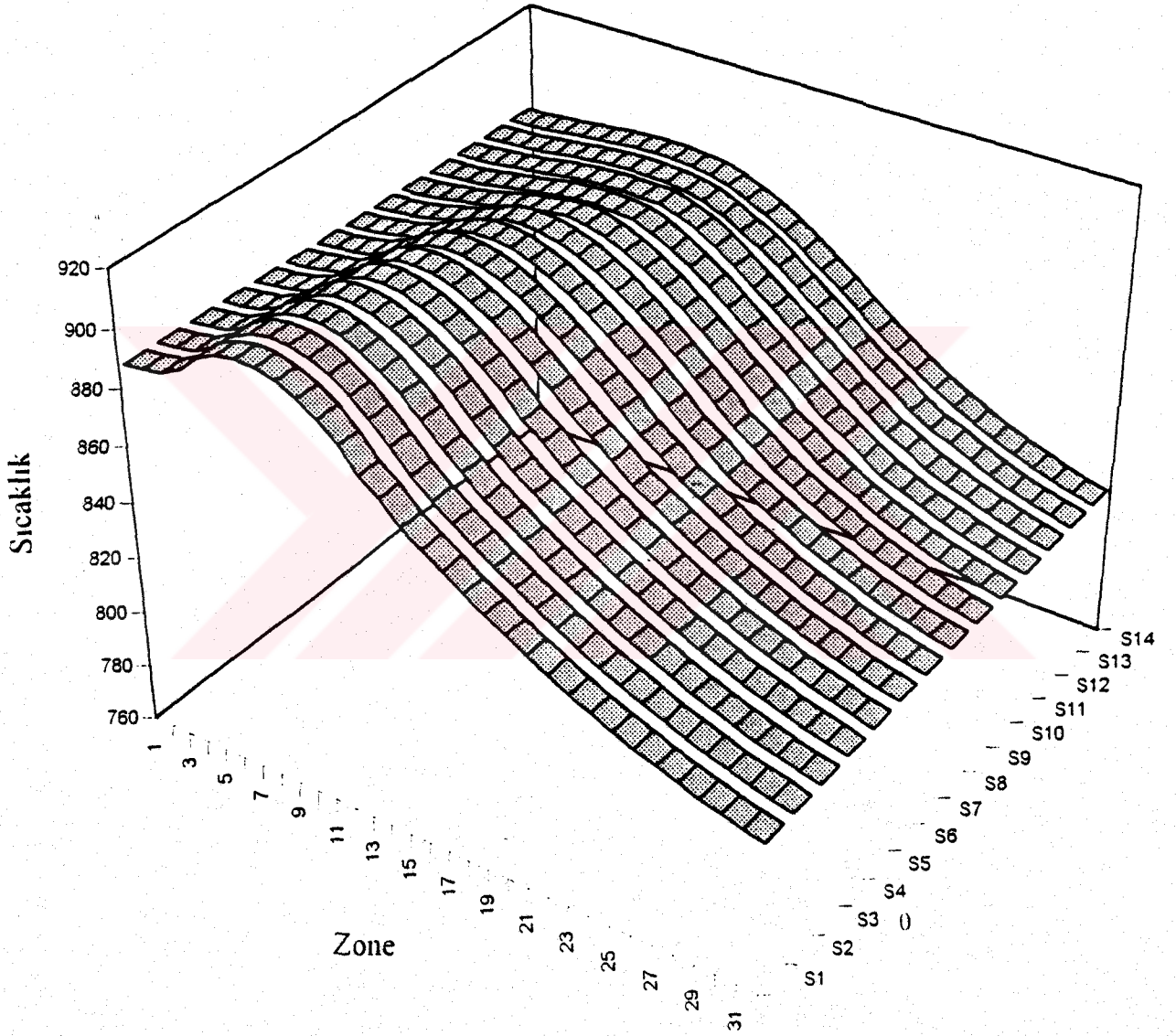
Şekil 2.1. Sıcaklık Hesapları Geometrisi ve Sınır Şartları

Hazırlanan program Şekil 2.1’de gösterildiği gibi her bir giridteki sıcaklık değerlerini verilen sınır şartları altında bulmaktadır. Hesaplamalar değişik pozisyon açıları için Şekil 2.2-8 ‘de verilmiştir. Elde edilen sıcaklık değerleri üç boyutlu olarak verilmektedir. Boyutlardan birisi sıcaklık değerini diğeri radyal reflektör kalınlığını, üçüncüsü ise değişik θ açısı değerini göstermektedir.

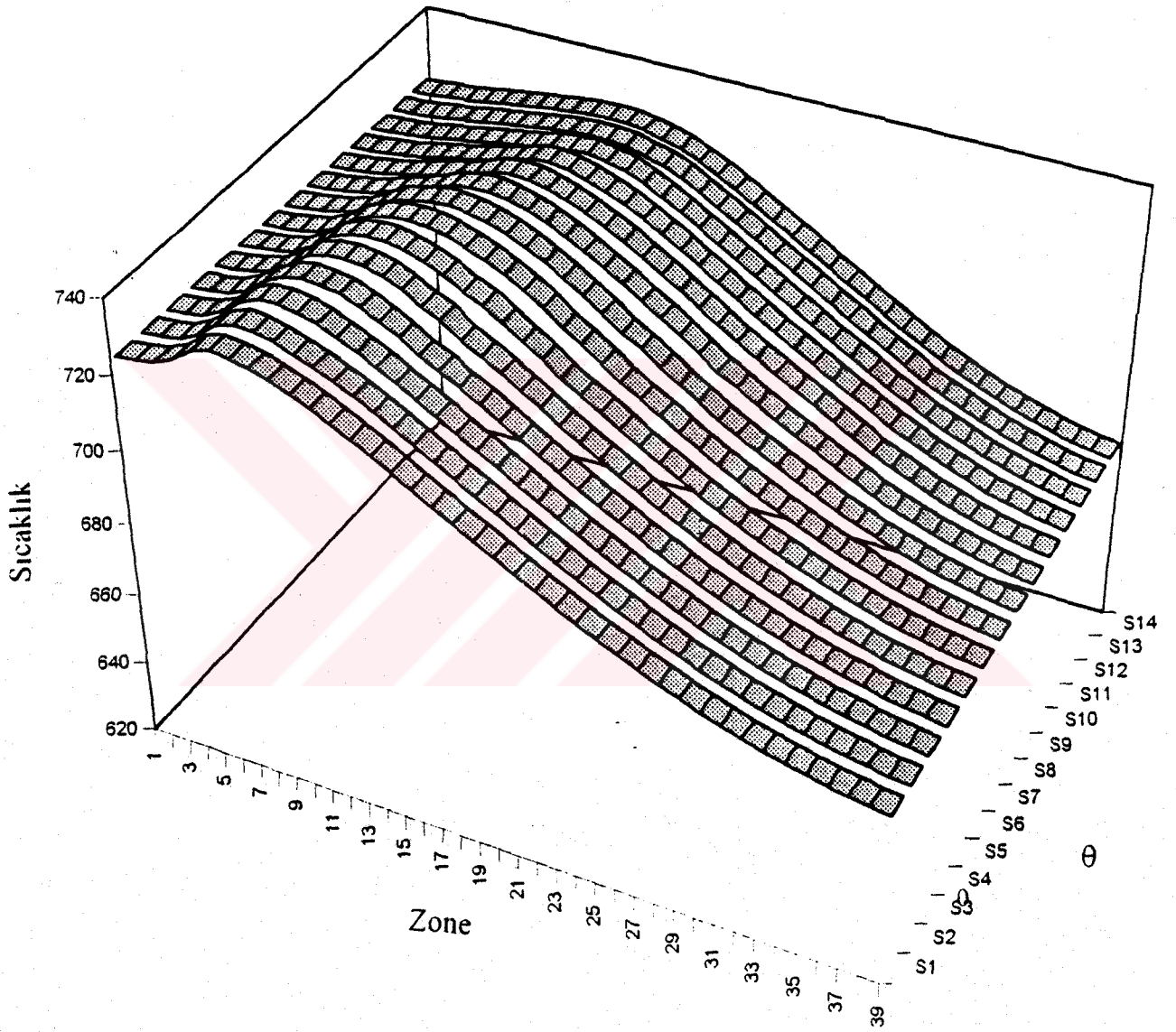




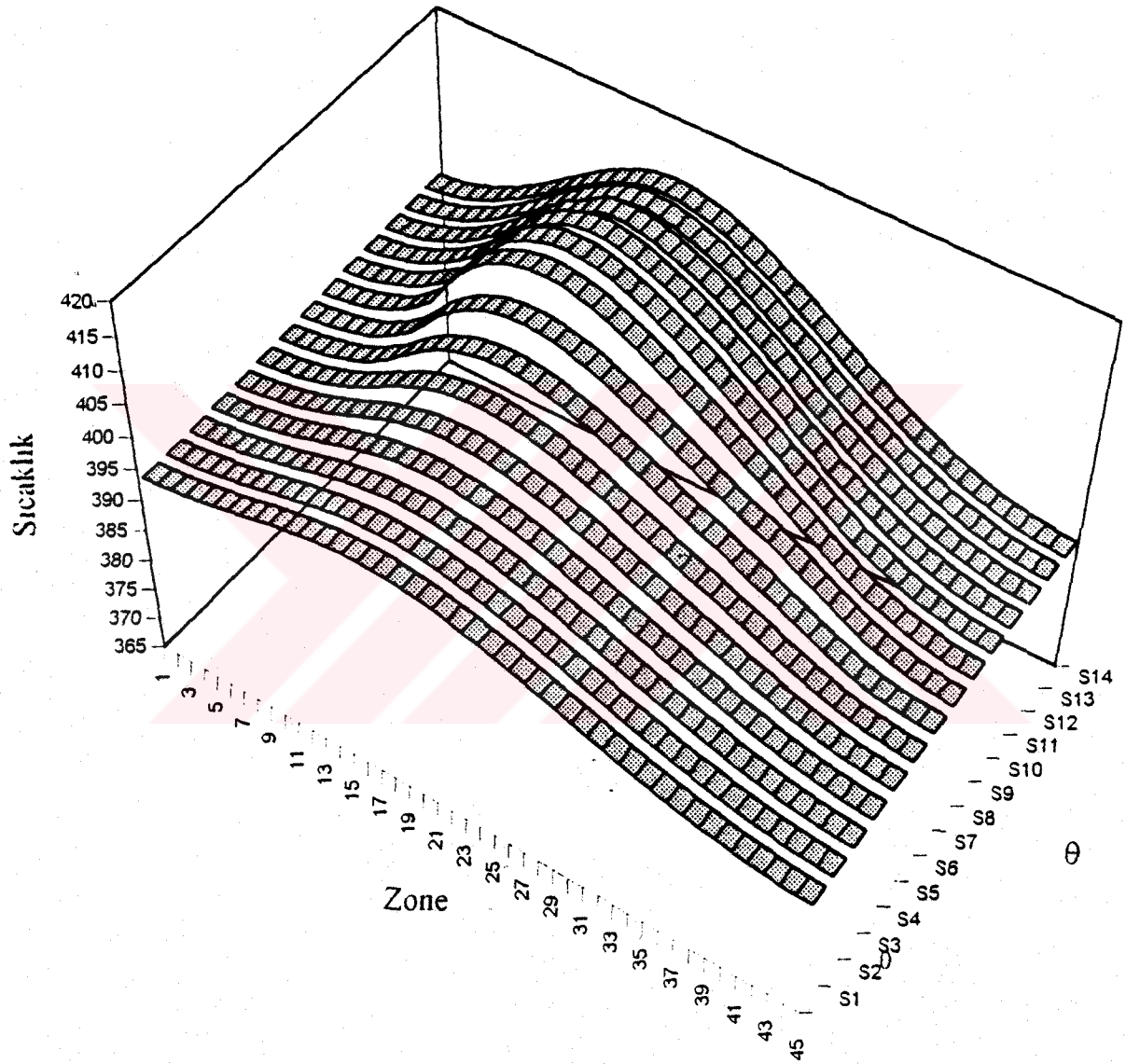
Şekil 2.2. Radyal Reflektördeki Sıcaklık Dağılımı $\beta=0^\circ$



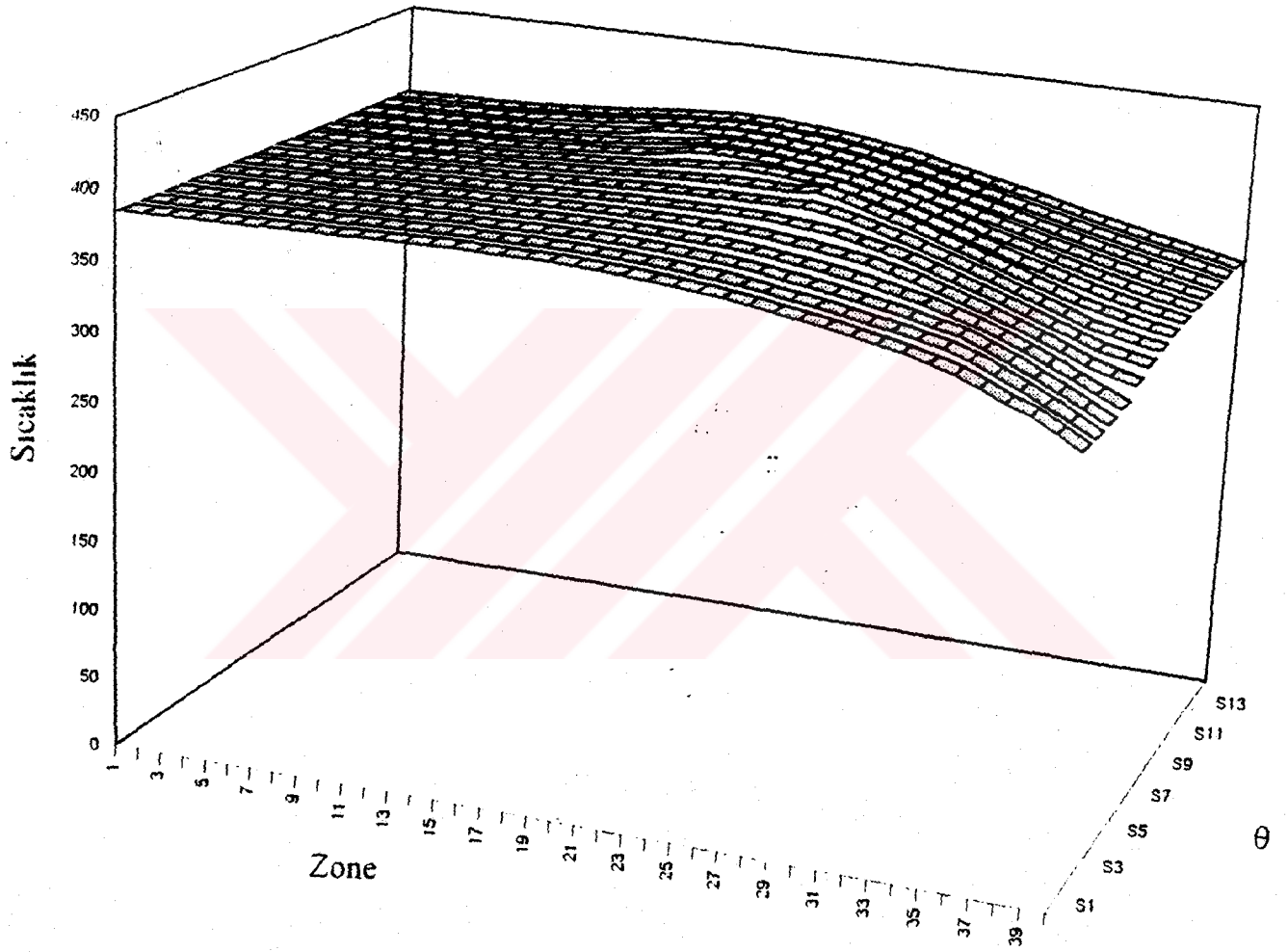
Şekil 2.3. Radyal Reflektördeki Sıcaklık Dağılımı $\beta=30^\circ$



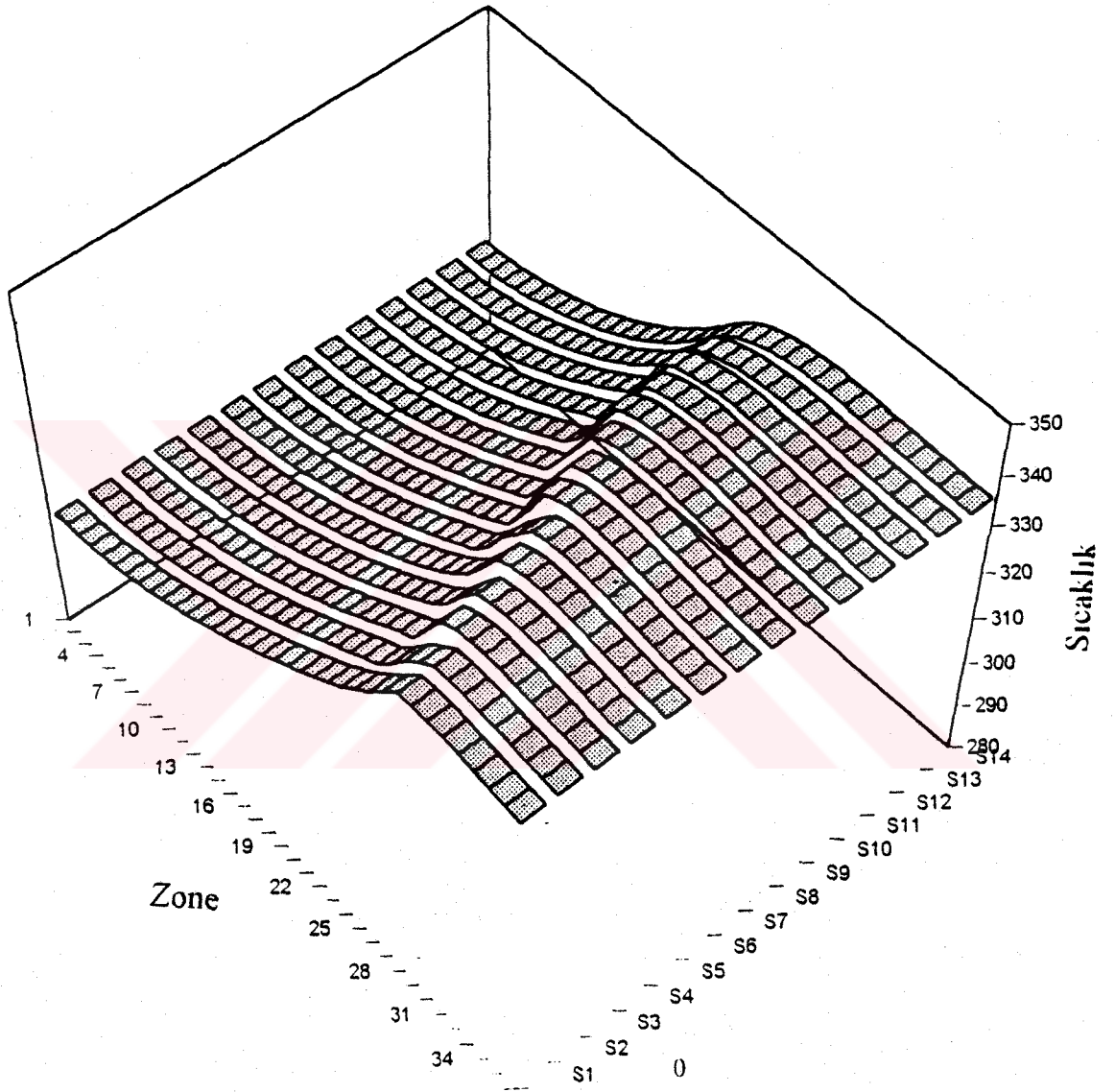
Şekil 2.4. Radyal Reflektördeki Sıcaklık Dağılımı $\beta=60^\circ$



Şekil 2.5. Radyal Reflektördeki Sıcaklık Dağılımı $\beta=90^\circ$



Şekil 2.6. Radyal Reflektördeki Sıcaklık Dağılımı $\beta=120^\circ$



Şekil 2.7. Radyal Reflektördeki Sıcaklık Dağılımı $\beta=150^\circ$

BÖLÜM 3

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada termiyonik 80UC-20TaC yakıtı kullanan bir uzay aracı hibrid nükleer güç reaktörünün radyal reflektöründeki sıcaklık dağılımları hesapları yapılarak reaktör kontrolünün radyal reflektör içerisine yerleştirilmiş kontrol tamburları üzerindeki Borkarbid yardımıyla yapılıp yapılamayacağı test edilmiştir. Seçilen reaktör son zamanlarda üzerinde çok yoğun bir şekilde çalışılan reaktör tipidir.

Kontrol tamburları yardımıyla reaktörün kontrol edilmesi reaktördeki fisyon güç yoğunluğunu bozmayacağı gibi reaktör geometrisinde daha küçük olmasını sağlar.

Yapılan ısı hesapları neticesinde radyal reflektördeki Berilyum ve Bor'un ısınma değerlerinin çekirdekteki ısınma değerlerinden daha küçük olduğu bulunmuştur. Ancak Bor'daki ısınma değeri Berilyum 'dan çok daha yüksek çıkmıştır.

Önemli olan radyal reflektör içerisindeki kontrol tamburları üzerindeki Borkarbid'teki sıcaklık değerleridir. Çünkü reaktörün kontrolünü sağlayacak olan Borkarbid'dir. Sıcaklık dağılımı hesapları için geliştirilen fortran dilinde

yazılmış program radyal reflektör içerisindeki sıcaklık hesaplarını yapmaktadır.

Yapılan bu hesaplamalarda radyal reflektörün sıcaklık değerlerinin normal güç durumunda makul seviyelerde ancak roket itme modunda çok yükseldiği görülmüştür. Bu sebeple reaktör bir hibrid sistemli olduğundan radyal reflektörün herhangi bir şekilde soğutulması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

1. Sözen, A., "80UC-20TaC Yakıtlı Uzayda Kullanılacak Bir Hibrid Termiyonik Nükleer Güç Reaktörünün Kontrol Mekanizmasının Nötronik Analizi", G.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 1994.
2. Sutton, G.P., Ross, D.M., Rocket Propulsion Elements, Fourth Edition , John Wiley&Sons Inc., U.S.A., 1976.
3. Şahin, S., Kennel, E.B., "Hybrid Thermionic Space Reactors for Power and Propulsion", Nuclear Technology, Vol. 107, Number 2, pp. 155-181, August 1994.
4. Şahin, S., Kumar, A., "Fast Hybrid Thermionic Blankets with Actinide Waste Fuel", Nuclear Technology/Fusion Technology, Vol.6, pp.97-108, 1984.
5. Begg, L.L., et. al., "Hybrid Space Nuclear Reactor Concept", 27th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference Proceedings, Vol.I, pp. 1.325-1.330, San Diego, CA August 1992.
6. Begg, L.L., et. al., "STAR-C Thermionic Space Nuclear Power System", 9th Symposium on Space Nuclear Power Systems, AIP Conference Proceedings, no. 246, Part I, pp. 114-119, Albuquerque, New Mexico, 1992.
7. Begg, L.L., et. al., "STAR-C Thermionic Space Nuclear Power System", 26th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference Proceedings, Vol.I, pp. 446-451, Boston, 1991.

8. Malloy, J., et. al., "10 KWe Dual-Mode Space Nuclear Power System for Military and Scientific Applications", 27th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference Proceedings, Vol.I, pp. 1.357-1.362, San Diago, CA August 1992.
9. Bernnat, W., "Control of the Incore Thermionic Reactor ITR by Movable Reflector Segments, Proceedings", 3rd International Conference on Thermionic Electrical Power Generation, Julich, Germany, 1972.
- 10.Şahin, S., Sözen, A., "Control Through Reflector Drums for A Dual Purpose Space Craft Thermionic Reactor", Energie-Technik-Umwelt, Almanya 1995.
- 11.Şahin, S., Erişen, A., "Investigation of the Suitability of the Reflector Drums as Control Mechanism for Thermionic Reactors in Space Crafts with U^{233} as Fuel and $ZrH_{1.7}$ as Moderator", Annals of Nuclear Energy, Vol. 5, pp. 107-116, 1978.
- 12.Şahin, S., et. al., "Reflector Drums as Control Mechanism for Compact Thermionic Space Craft Reactors with U^{233} as Fuel", Nuclear energy, Journal of the British Nuclear Energy Society, Vol.18, pp. 401-408, 1979.
- 13.Şahin, S., "Control Mechanism for Space Craft Thermionic Reactors Leading to Lower Radiation Shielding Mass", Trans. Amer. Nucl. Soc. 1979 Winter Meeting, Vol. 33, pp. 677-678, San Francisco, 1979.
- 14.Şahin, S., Selvi, S., "Reflector Drums as Control Mechanism for Space Craft Thermionic Reactors with Constant Emitter Heating Containing U^{233} as Fuel and beryllium as Moderator", Atomkernenergie/Kerntechnik, Vol. 35, pp. 12-14, 1980.

15. Gunther, N.G., et al., "Control Aspects of Hybride/Be Moderated Thermionic Reactors", 9th Symposium on Space Nuclear Power Systems, AIP Conference Proceedings, No. 246, Part II, pp. 604-611, Albuquerque, New Mexico, 1992.
16. Lundberg, L.B., Hobbins, R.R., "Nuclear Fuels for Very High Temperature Applications", 27th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference Proceedings, Vol.I, pp. 1.363-1.368, San Diego, CA August 1992.
17. Kennel, E.B., et. al., "Single Cell Carbide Fueled Thermionic Fuel Element", Final Report, Contract F 33615-92-C-2261, 16 November 1992.
18. Cooper, R.H., "Materials for Space Reactors", ANS, pp. 331-333, June 1984.
19. Williams, W.S.C., Nuclear and Particle Physics, Oxford University, New York, 1991.
20. Glasstone, S., Edlund, M.C., The Elements of Nuclear Reactor Theory, Ninth Printing, D.Van Nostrand Company, Inc., New Jersey, U.S.A., 1962.
21. Hildebrand, F.B., Advanced Calculus for Applications, Second Edition, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, U.S.A., 1976.
22. TORT-DORT, Two and Three Dimensional Discrete Ordinates Transport Code, Radiation Shielding Information Center, Oak Ridge National Laboratory, CCC-543, U.S.A., 1993.

23. Engle, W.W., ANISN, A One Dimensional Discrete Ordinates Transport Code with Anisotropic Scattering K-1693, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, 1970.
24. Al-Kusayer, T.A., Aahin, S., Drira, A., "CLAW-IV, Coupled 30 Neutrons, 12 Gamma-Ray Group Cross Section with Retrieval Programs for Radiation Transport Calculations", Radiation Shielding Information Center, Oak Ridge National Laboratory, RSIC-Newsletter, p. 4, 1988.
25. Bondarenko, I. I. (Ed.), Group Constants for Nuclear Reactor Calculations, (Consultants Bureau, New York 1964)
26. El-Wakil, M.M., Nuclear Heat Transfer, The American Nuclear Society, La Grange Park, IL, 1978.
27. Glasstone, S., Edlund, M.C., The Elements of Nuclear Reactor Theory, Ninth Printing, D. Van Nostrand Company. Inc., New Jersey, U.S.A., 1962.
28. Determan, W.R., Otting, W.D., "System Startup simulation for In-Core Thermionic Reactor with Heat Pipe Cooling", 9th Symposium on Space Nuclear Power Systems, AIP Conference Proceedings, No. 246, Part II, pp. 510-514, Albuquerque, New Mexico, 1992.
29. Lee, H., et al., "System Modeling and Reactor Design Studies of the Advanced Thermionic Initiative Space Nuclear Reactor", Nuclear Technology, Vol. 115, pp. 1-22, July 1995.

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Ankara'da doğdu. İlk, Orta ve Lise tahsilini Ankara'da tamamladı. 1989 yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümünü kazandı. 1994 yılında mezun oldu. 1995 yılında G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programına Kayıt yaptırdı. Halen G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Anabilim Dalı Enerji Bilim Dalında Araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.





EK 1

```

PROGRAM ADNAN
DIMENSION T(51,51),Q(51,51),QL(60,60),TC(60,60),TK(60,60)
*TW(60,60)
OPEN(UNIT=15,FILE='HAF.DAT',STATUS='OLD')
OPEN(UNIT=11,FILE='K.DAT',STATUS='OLD')
RADF=5.67*0.8/100000000.0
DA=3.1415/180
DR=0.16/25.0
R0=0.22
IM=27
JM=16
DO 3 I=2,IM-1
  READ(15,*)(QL(I,J),J=2,JM-1)
  READ(11,*)(TW(I,J),J=2,JM-1)
3 CONTINUE
DO 4 J=2,JM-1
DO 4 I=2,IM-1
  Q(I,J)=QL(I,J)*1000000.0
C  WRITE(*,*)Q(I,J),I,J
  IF(TW(I,J).EQ.1)TC(I,J)=70.0
  IF(TW(I,J).EQ.2)TC(I,J)=22.3
4 CONTINUE
DO 99 L=1,100000
DO 1 I=1,IM
  T(I,1)=T(I,2)
  T(I,JM)=T(I,JM-1)
1 CONTINUE
DO 2 J=2,JM-1
  T(1,J)=T(2,J)
C  T(IM,J)=T(IM,J)+393
  T(IM,J)=T(IM-1,J)-(DR*((RADF/TC(IM-1,J))*(T(IM,J)**4-393.0**4)))
2 CONTINUE
DO 7 I=2,IM-2
DO 7 J=2,JM-2
  IF(TC(I,J).NE.TC(I,J+1))T(I,J)=(T(I,J+1)*TC(I,J)+
*TC(I,J-1)*T(I,J-1))/(TC(I,J)+TC(I,J-1))
C  IF(TC(I,J).NE.TC(I+1,J))WRITE(*,*)T(I,J),I,J
  IF(TC(I,J).NE.TC(I+1,J))T(I,J)=(T(I+1,J)*TC(I+1,J)+
*T(I-1,J)*TC(I,J))/(TC(I,J)+TC(I+1,J))
7 CONTINUE
DO 11 I=2,IM-1
DO 11 J=2,JM-1
  R=R0+DR*(I-1)
  T(I,J)=((Q(I,J)/TC(I,J))+((T(I+1,J)+T(I-1,J))/DR**2)+
*((T(I+1,J)-T(I-1,J))/(2.0*R*DR))+
*((T(I,J+1)+T(I,J-1))/((R**2)*(DA**2))))/
*((2.0/(DR**2))+ (2.0/((R**2)*(DA**2))))
C  SIC(I,J,L)=T(I,J)
C  EPS=SIC(I,J,L)-SIC(I,J,L-1)
C  IF(EPS.GT.0.01)WRITE(*,*)T(I,J),I,J
C  IF(L.EQ.40000)WRITE(*,*)T(I,J),I,J
C  IF(L.EQ.50000)WRITE(*,*)T(I,J),I,J
  IF(L.EQ.100000)WRITE(*,*)T(I,J),I,J
C  IF(L.EQ.200000)WRITE(*,*)T(I,J),I,J
  IF(L.EQ.500000)WRITE(*,*)T(I,J),I,J
11 CONTINUE
99 CONTINUE
STOP
END

```