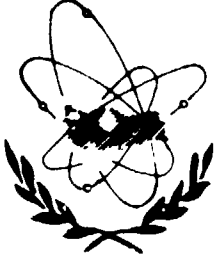


12870008



**TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU**  
**ÇEKMECE NÜKLEER ARAŞTIRMA VE EĞİTİM MERKEZİ**

Teknik Rapor No: 34

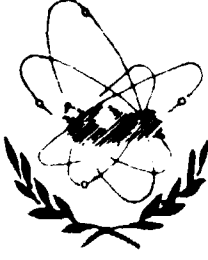
**TEK BOYUTLU DİFÜZYON TEORİSİ İLE MUKAYESELİ HESAP**

**Gülsen ÜSTÜN, Mehmet H. TURGUT**

**NÜKLEER MÜHENDİSLİK BÖLÜMÜ**

**Aralık 1986**

**P. K. 1, Hava Alanı, İstanbul**



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU  
ÇEKMECE NÜKLEER ARAŞTIRMA VE EĞİTİM MERKEZİ

Teknik Rapor No: 34

TEK BOYUTLU DİFÜZYON TEORİSİ İLE MUKAYESELİ HESAP

Gülşen ÜSTÜN, Mehmet H. TURGUT

NÜKLEER MÜHENDİSLİK BÖLÜMÜ

Aralık 1986

P. K. 1, Hava Alanı, İstanbul

## TEK BOYUTLU DİFÜZYON TEORİSİ İLE MUKAYESELİ HESAP

### - ÖZET -

Bu çalışma Nükleer Mühendislik Bölümü kod kütüphanesinde mevcut tek boyutlu difüzyon kodlarıyla yapılan mukayese (benchmark) çalışmalarını ihtiva etmektedir. Üzerinde çalışılan kodların her ikisinde gerekli alt program ilaveleri yapılmıştır.

DIFFUSE kodu, nötron difüzyon denklemini çok gruplu tek boyutlu düzlem, silindir ve küre geometrilerinde "ileri yoketme - geriye yerine koyma" tekniğini kullanarak çözmektedir. DIFFUSE kodu kritiklik tayini, kritik boyut ve kritik malzeme konsantrasyonu tayini yaptığı gibi adjoint akıları da hesaplamaktadır. Enerjiye bağlı nötron akı dağılımını ve kritikliği hesaplamakta kullanılan DIFFUSE kodu sadece bir alt gruba saçılmaları değil, istenirse tüm saçılma matrisini de kullanabilir.

Kodda izafi akıların güce normalize edilmesi, güç akılarının çizdirilmesi, diğer boyutlarda sızma terimi ilave edilmesi ve çıkışta yazdırılmaların düzenlenmesi gibi birtakım değişiklikler yapılmıştır. Bu şekliyle iki ayrı örnek probleme tatbik edilmiş ve bulunan sonuçlar aynı türden hesap yapan BBD koduyla karşılaştırılmış ve sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

# ONE DIMENSIONAL BENCHMARK CALCULATIONS USING DIFFUSION THEORY

## SUMMARY

This is a comparative study by using different one dimensional diffusion codes which are available at our Nuclear Engineering Department. Some modifications have been made in the used codes to fit the problems.

One of the codes, DIFFUSE, solves the neutron diffusion equation in slab, cylindrical and spherical geometries by using "Forward elimination- Backward substitution" technique. DIFFUSE code calculates criticality, critical dimensions and critical material concentrations and adjoint fluxes as well. It is used for the space and energy dependent neutron flux distribution. The whole scattering matrix can be used if desired.

Normalisation of the relative flux distributions to the reactor power, plotting of the flux distributions and leakage terms for the other two dimensions have been added. Some modifications also have been made for the code output. Two Benchmark problems have been calculated with the modified version and the results are compared with BBD code which is available at our department and uses same techniques of calculation. Agreements are quite good in results such as  $k$ -eff and the flux distributions for the two cases studied.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
I. GİRİŞ .....	1
II. SONLU FARK YÖNTEMİ .....	3
III. KODA YAPILAN İLAVELER .....	5
IV. UYGULAMALAR .....	
IV.1. Örnek Problem - 1 .....	7
IV.2. Örnek Problem - 2 .....	10
V. SONUÇLAR VE İRDELEME .....	15
REFERANSLAR .....	16
EKLER .....	
EK-1: DIFFUSE'un Alt Programlarının Kısa- ca Tanıtılması .....	17
EK-2: DIFFUSE Kodu Giriş Datası .....	19
EK-3: Değişkenler Listesi .....	21
EK-4: Program Listesi .....	23

## I. GİRİŞ

Kritiklik, kritik boyut ve kritik malzeme konsantrasyonu tayini gibi ilk reaktör dizayn hesaplarında kullanılabilecek hızlı ve az hafıza kapasiteli DIFFUSE kodu, merkezimizde bulunan VAX-11/750 sistemine adapte edilmiş ve iki örnek problem için yine aynı türden hesap yapan, bölümde yazılmış ve test edilmiş BBD [1] koduyla karşılaştırılmıştır.

DIFFUSE; nötron difüzyon denkleminin çok gruplu bir boyutlu çözümünü sayısal yöntemle bulan, IBM 1130 için yazılmış bir koddur. Etkin çoğaltma faktörü ve izafi akıları hesabeden kod, yapılan ilavelerle nötron akısını istenen güç seviyesine normalize etmektedir.

DIFFUSE ile yapılan çalışmalarda nötron difüzyon denklemini iki ayrı problemde iki ve dört gruplu olarak çözülmüştür. Sonuçları karşılaştırmak için BBD kodu en fazla iki grupta hesap yaptığı için önce dört grupta hesap yapacak hale dönüştürülmüştür. DIFFUSE'den alınan sonuçlar, nötron difüzyon denklemini "ileri yoketme-geriye yerine koyma" ve "Chebyshev hızlandırması" tekniklerini kullanarak çözen BBD'den alınan sonuçlara çok yakındır.

TR-2 reaktörü örnek alınarak yapılan dört gruplu hesaplar, reaktörün soğuk ve temiz hali için yapılmıştır. Eide edilen akı grafiklerinden reaktörde yapılacak deneysel çalışmalarda faydalanılabilir. Yalnız bu akıların, reaktörde kontrol çubuklarının bulunması ve reaktör işletmesi esnasında fisyon ürünlerinin birikmesinden dolayı gerçek akılardan farklı olacakları hatırlanmalıdır.

## II. SONLU FARK DENKLEMİ

Tek boyutta çok gruplu difüzyon denklemi;

$$\begin{aligned} & -\nabla \cdot D_g(r) \nabla \phi_g(r) + \Sigma_{ag}(r) \phi_g(r) + \sum_{g'=1}^G \Sigma_{g \rightarrow g'}(r) \phi_{g'}(r) \\ & = \sum_{g'=1}^G \Sigma_{g \leftarrow g'}(r) \phi_{g'}(r) + \frac{\chi_g}{k_{et}} \sum_{g'=1}^G \nu_{g'} \Sigma_{fg'}(r) \phi_{g'}(r) \quad (1) \end{aligned}$$

$g=1, \dots, G$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem; sağ tarafta boşluk sınırı şartı (sıfır akı), sol tarafta simetri sınır şartı (sıfır akım) uygulanarak ve bazı yaklaşımlar çerçevesinde üç nokta sonlu fark denklemi haline dönüştürülürse,

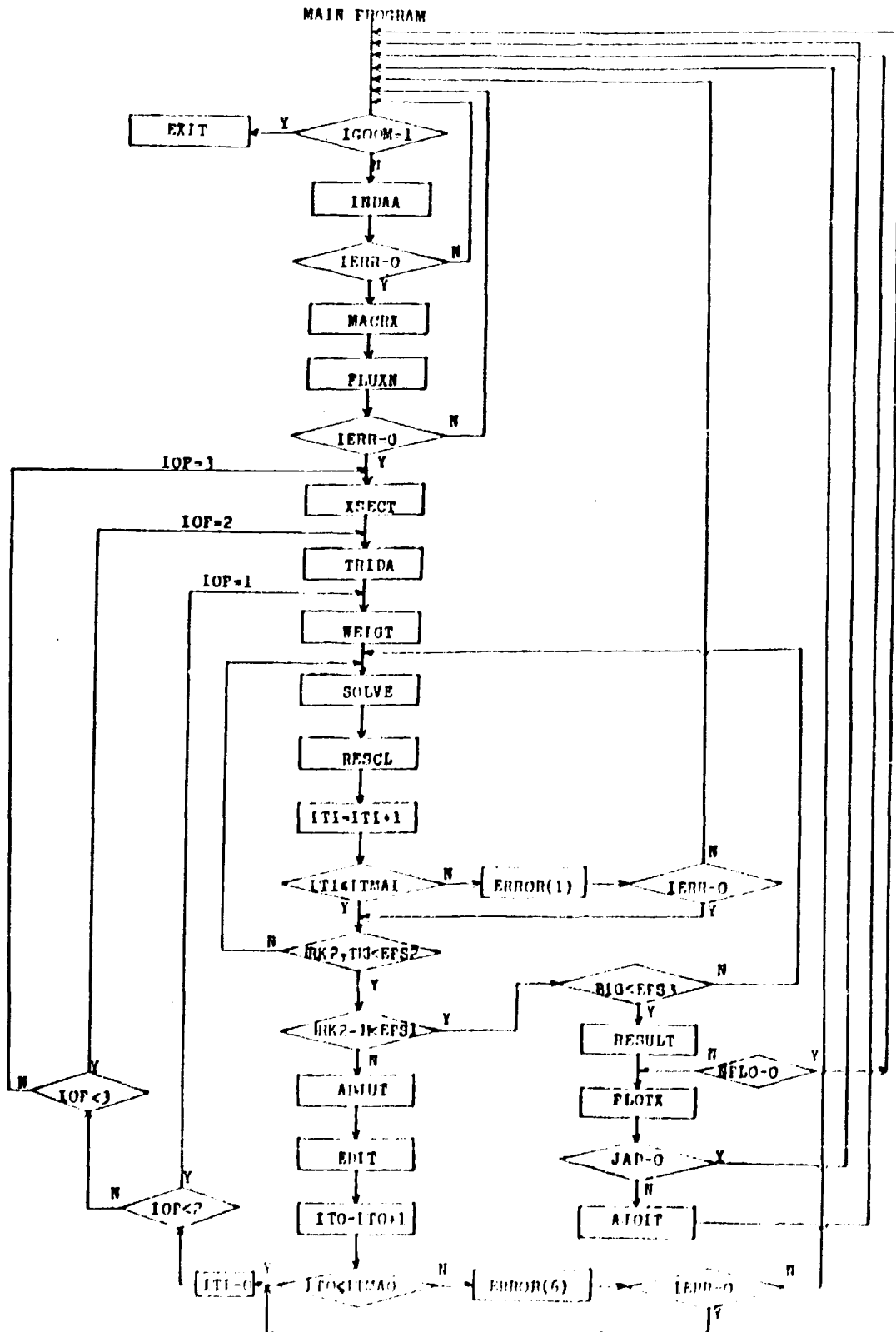
$$-a_i^g \phi_{i-1}^g + c_i^g \phi_i^g - b_i^g \phi_{i+1}^g = \frac{1}{k_{et}} F_i^g \phi_i^g = S_i^g \quad (2)$$

elde olunur.

DIFFUSE kodu, bu üç nokta sonlu fark denklemini "ileri yok etme - geriye yerine koyma" metodu ile çözmektedir.  $i=N$  için bulunan  $\phi_N$  nötron akı değerini,  $\phi_j$  ( $j=N-1, N-2, \dots, 2, 1$ ) nötron akı değerleri için geriye yerine koyarak hesaplar.

Kodun akış diyagramı Şekil-1'de verilmiştir. Kullanılan alt programların kısaca ne iş yaptıkları EK-1'de anlatılmıştır.





Şekil-1: DIFFUSE kodu akış diyagramı

### III. KODA YAPILAN İLAVELER

DIFFUSE'de datalar mikroskopik tesir kesitleri, BBD'de ise makroskopik tesir kesitleri olarak girilmektedir. DIFFUSE'e bazı ilaveler yapılarak makroskopik tesir kesitleri çıkışta yazdırılmıştır.

Koda yapılan en önemli ilave reaktör güç dağılımının bulunması için AK katsayısının hesaplatılmasıdır |2|.

Reaktör gücü;

$$P = AKxE \int_V dV \int_0^{\infty} \Sigma_f(r,E) \phi(r,E) dE \quad (3)$$

ile verilir. Burada AK akı normalizasyon sabiti, E fisyon başına çıkan enerji, V reaktör hacimidir. (3) no'lu denklem,

$$P = AK \times \sum_{g=1}^{NGP} \sum_{i=1}^{NP} \Sigma_{gi}^f \phi_{gi} \Delta V_i \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Burada NGP grup sayısı, NP nokta sayısıdır. H reaktör yüksekliği (veya kalınlığı) olmak üzere,

$$\Delta V_i = \begin{cases} (R_i - R_{i-1}) \pi r & \text{düzlem (birim genişlik) için} \\ \pi (R_i^2 - R_{i-1}^2) H & \text{silindir için} \\ \frac{4\pi}{3} (R_i^3 - R_{i-1}^3) & \text{küre için' dir.} \end{cases}$$

Kodda yapılan diğer bir değişiklik de güç akılarını çizdiren PLOTX altprogramının eklenmesidir. Ayrıca diğer boyutlardaki sızmayı temsil etmek üzere bir akıbü-küm değeri de koda girdi olarak verilebilmektedir. Bu kod-da,

$$\begin{matrix} \text{(Yeni)} & \text{(Eski)} \\ \Sigma_a & = \Sigma_a + DB^2 \end{matrix} \quad (5)$$

şeklinde kullanılmaktadır.

Kodun özellikleri yeni ilavelerden sonra şöyle sıralanabilir:

- 1- Herhangi bir gruptan diğerine saçılma hesaba katılabilir.
- 2- Akılar istenen güç seviyesine normalize edilebilir.
- 3- Seçeneğe bağlı olarak kritiklik, kritik boyut, kritik konsantrasyon tayini yapılabilir.
- 4- Sıfır akı, sıfır akım sınır şartları kullanılabilir.
- 5- Hesaplanan grup akıları çizdirilebilir.
- 6- Seçeneğe bağlı olarak adjoint akılar hesaplatılabilir.
- 7- Silindirik geometride ikinci boyuttaki kaçaklar nötron enerji grubuna ve bölgeye göre değişebilen bir akıbü-küm değeriyle gözönünde bulundurulabilir.

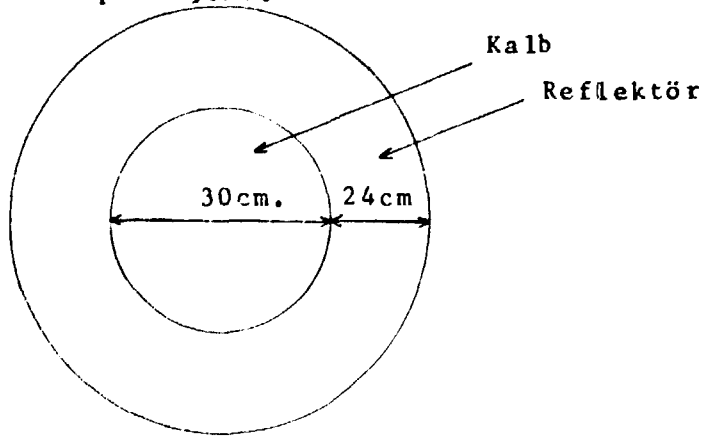
#### IV. UYGULAMALAR

DIFFUSE kodunu test etmek üzere aşağıda anlatılan iki ayrı problem ele alınmış ve sonuçlar BBD kodunun sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

##### IV. 1. Örnek Problem - 1

İlk olarak silindirik geometride kalb ve reflektörden oluşmuş iki bölgeyi homojen bir reaktör seçilmiştir. Örnek problem için nükleer parametreler Tablo-1'de  $|k|$  verilmiştir. Problemin geometrisi Şekil-2'de gösterildiği gibidir.

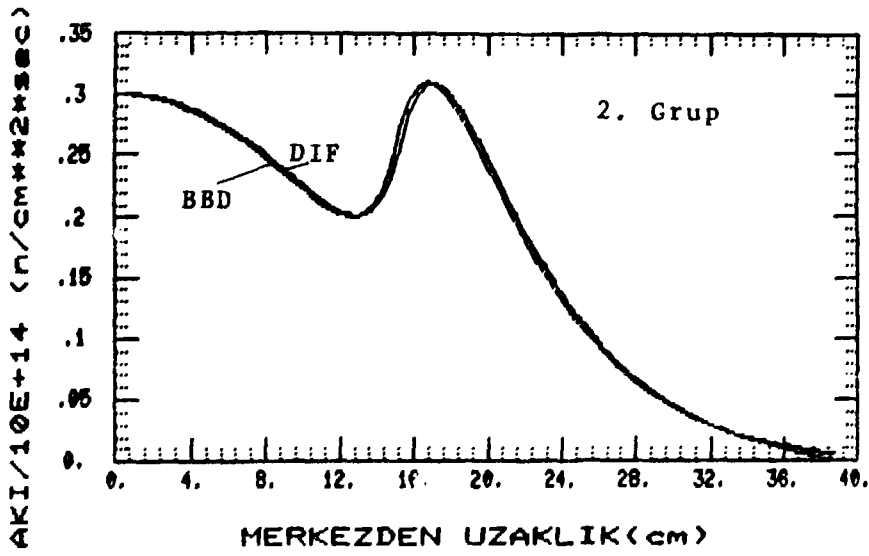
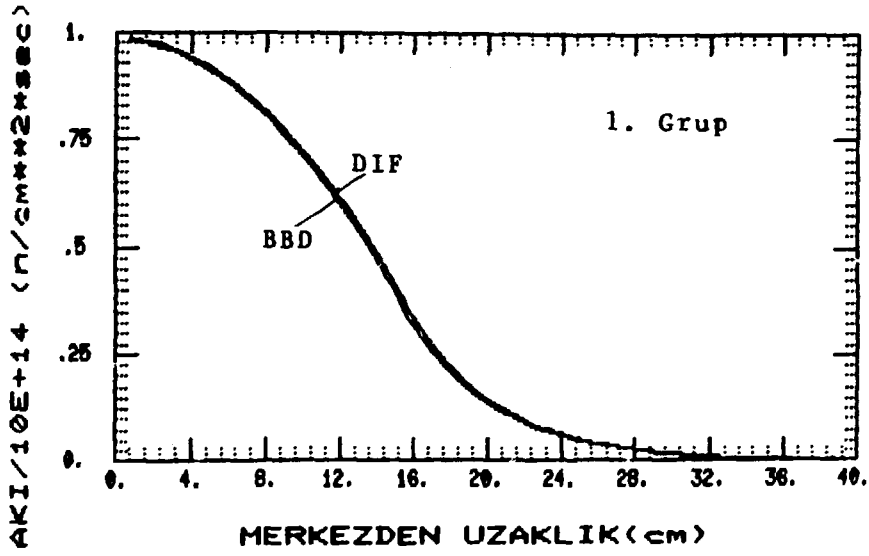
Hem DIFFUSE hem de BBD kodunda 80 kafes noktası alınarak akılar hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar Şekil-3'de her iki grup için ayrı ayrı karşılaştırılarak verilmiştir. DIFFUSE kodu  $k$ -etkin değerini 1.067342, BBD ise 1.0660899 olarak hesaplanmıştır.



Şekil-2: Problem-1'de kullanılan geometri

Tablo-1: Problem-1'de kullanılan iki grup parametreleri

PARAMETRELER	KALB	REFLEKTÖR
$D_1$	1.1881	1.1430
$D_2$	0.1963	0.1595
$\gamma a_1$	0.00536	0.00120
$\gamma a_2$	0.08343	0.01963
$(v\Sigma_f)_1$	0.006918	-
$(v\Sigma_f)_2$	0.1370	-
$\chi_1$	1.0	-
$\chi_2$	0.0	-
$\Sigma_{s1 \rightarrow 2}$	0.0262	0.0364

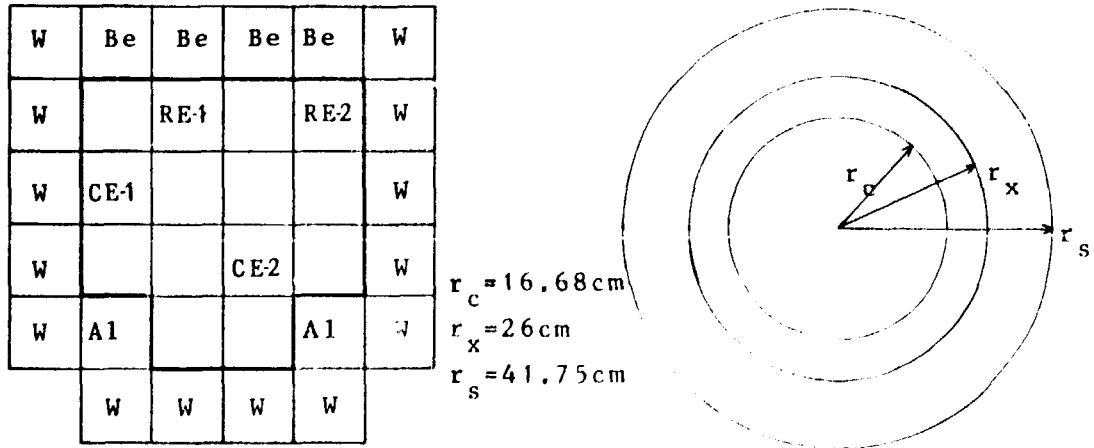


Şekil-3: 2 grup nötron akı dağılımları (örnek Problem 1).

IV. 2 Örnek Problem -2

Kalb konfigürasyonu Şekil-4'de gösterilen TR-2 reaktörü ikinci örnek problem olarak ele alınmıştır [2]. TR-2 reaktörü, kalbinde 10 standart yakıt ve 4 kontrol elemanı bulunduran ve  $5 \text{ MW}_{\text{th}}$  güce göre dizayn edilmiş havuz tipi bir reaktördür. Kalb ayrıca bir kenarında 4 Berilyum bloktan oluşan bir reflektöre sahiptir. "Be" reflektörün karşı kenarındaki köşelere, ışınlama amacı için kullanılan iki Alüminyum eleman yerleştirilmiştir. Kalb ve etrafındaki malzemeleri (Be, Al, su) tek boyutlu silindirik geometride temsil edebilmek üzere homojenleştirme yapılmış ve böylece kalb, Su+Be+Al ve su bölgelerinden oluşan üç eşdeğer bölge elde edilmiştir. İzotopların sayısal yoğunlukları herbir bölge için Tablo-2'de [2] verilmiştir. Tablo-3'te verilen dört gruplu tesir kesitlerine ait sayısal değerler [3] no'lu referanstan alınmıştır.

Üç bölge için toplam 76 kafes noktası alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda k-etkin değeri DIFFUSE kodunda 1.084629, BBD kodunda ise 1.0859387 olarak bulunmuştur. Grup akılları da ayrı ayrı Şekil-5'te karşılaştırılmıştır.



Şekil-4: TR-2 kalbi ve silindirik gösterilişi

Tablo-2: Homojenleştirilmiş bölgeler için hesaplanan sayısal yoğunluklar

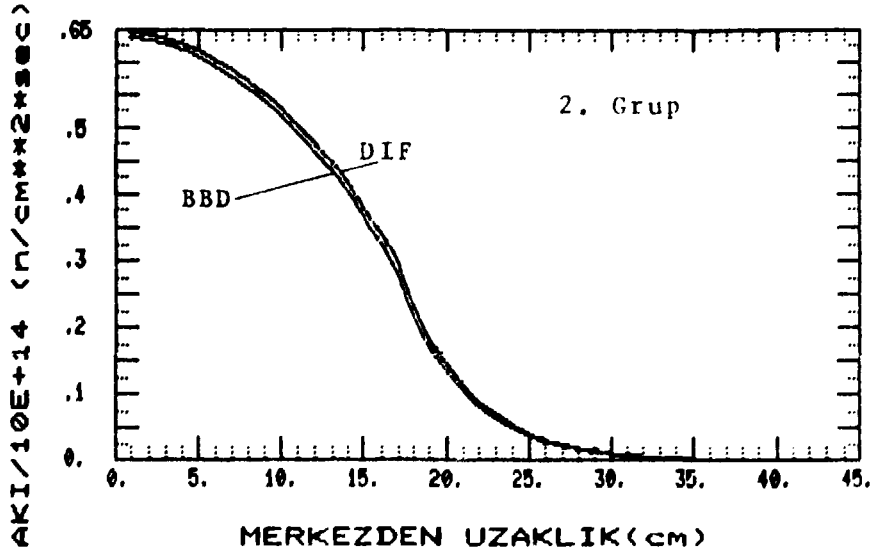
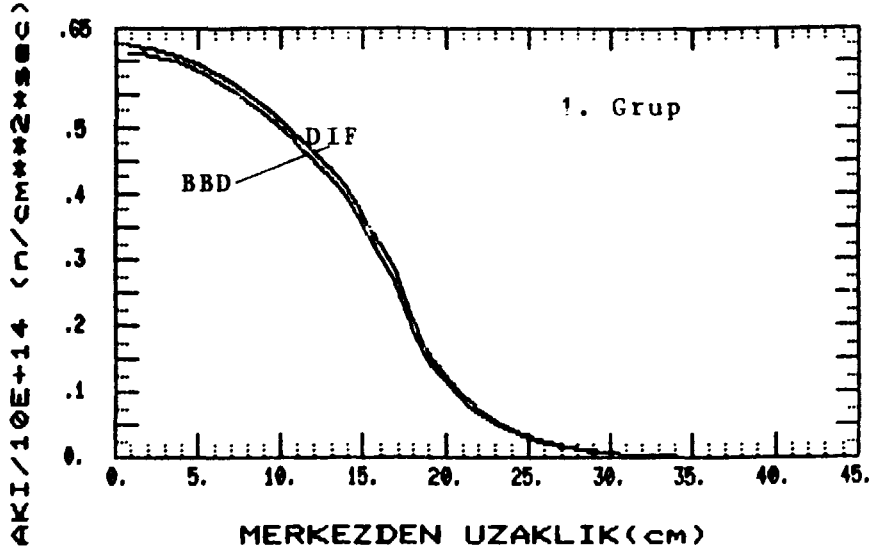
İZOTOP	KOR BÖLGESİ	Su+Be+Al BÖLGESİ	SU BÖLGESİ
U-235	$1.78704 \times 10^{-4}$	-	-
U-238	$1.32806 \times 10^{-5}$	-	-
H	$3.71392 \times 10^{-2}$	$5.16655 \times 10^{-2}$	$6.68599 \times 10^{-2}$
O	$1.85696 \times 10^{-2}$	$2.58328 \times 10^{-2}$	$3.34300 \times 10^{-2}$
Al	$2.61874 \times 10^{-2}$	$1.94522 \times 10^{-3}$	-
Be	-	$2.40981 \times 10^{-2}$	-
Zehir	$1.00000 \times 10^{-5}$	-	-



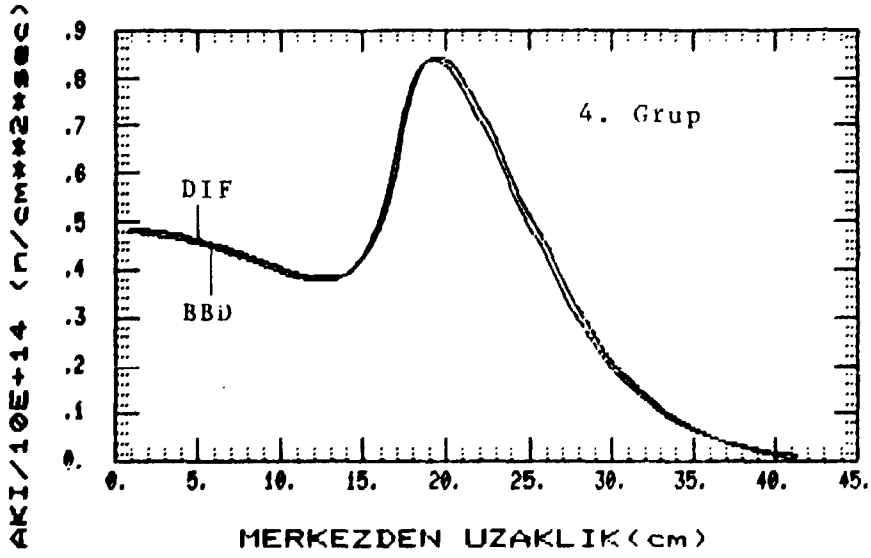
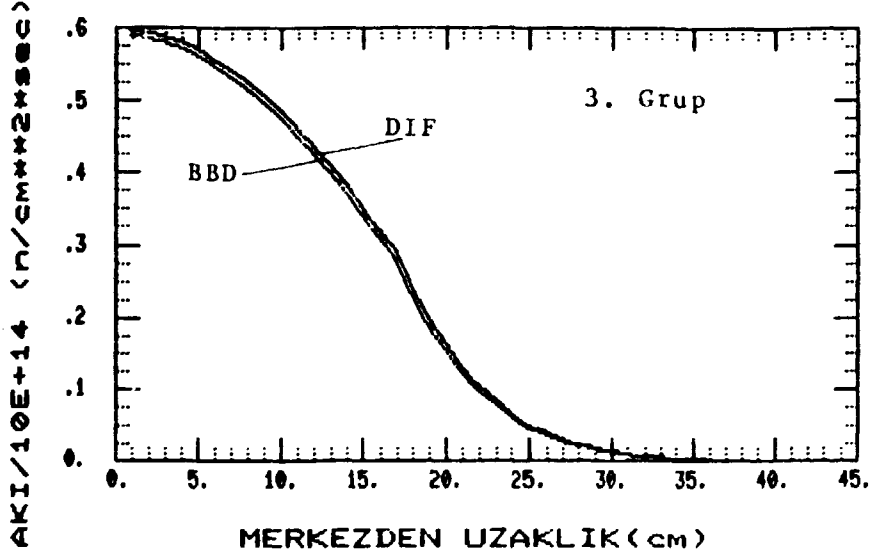
Tablo-3: TR-2 için kullanılan dört gruplu tesir kesitleri

		1. grup	2. grup	3. grup	4. grup
U-235	1	0.1308350E 01	0.2116779E 01	0.3988179E 02	0.4215308E 03
	2	0.4493389E 01	0.9136809E 01	0.4990249E 02	0.3155188E 03
	3	0.2720000E 01	0.2440000E 01	0.2420000E 01	0.2420000E 01
	4	0.1247408E 01	0.1651348E 01	0.2643863E 02	0.3592252E 03
	5	0.0	-0.1288000E 01	-0.2101600E 01	-0.3987200E 02
U-238	1	0.4415780E 00	0.2632230E 00	0.2766750E 00	0.1764310E 01
	2	0.4586659E 01	0.9192780E 01	0.3565579E 02	0.1003970E 02
	3	0.2800000E 01	0.2420000E 01	0.2300000E 01	0.0
	4	0.3813714E 00	0.3565700E-03	0.0609100E-03	0.0
	5	0.0	-0.4180700E 00	-0.2448000E 00	-0.2764200E 02
O	1	0.8711036E-02	0.0	0.9500000E-05	0.1250000E-03
	2	0.1884150E 01	0.3564059E 01	0.3548960E 01	0.3713420E 01
	3	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.1063700E 00	0.9447700E-01	0.4928400E-01
Be	1	0.4296870E-01	0.1224330E-03	0.4274999E-03	0.7606998E-02
	2	0.1758829E 01	0.4312400E 01	0.5542879E 01	0.4847309E 01
	3	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.1607300E 00	0.2050800E 00	0.2731200E 00
Al	1	0.5846146E-02	0.2703390E-02	0.1032220E-01	0.1544250E 00
	2	0.1943210E 01	0.3465210E 01	0.1384740E 01	0.1518020E 01
	3	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.7868700E-01	0.5544100E-01	0.9910000E-03
H	1	0.3477969E-04	0.1446460E-03	0.1439450E-01	0.2314860E 00
	2	0.1571230E 01	0.3167359E 01	0.6855840E 01	0.2518109E 02
	3	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.1803400E 01	0.2191000E 01	0.2166500E 01
Zehir	1	0.0	0.0	0.2528010E-02	0.1000000E-01
	2	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0	0.0
	5	0.0	0.0	0.0	0.0
x		0.7606300E 00	0.2393700E 00	0.0	0.0
DR <sup>2</sup>	1. bölge	0.4001500E-02	0.2101200E-02	0.1585500E-02	0.5276000E 03
	2. bölge	0.3298500E-02	0.1584700E 02	0.0997300E-02	0.3928000E 03
	3. bölge	0.3455100E-02	0.1754500E-02	0.1006100E-02	0.3211000E 03

- Not- 1: Mikroskopik absorpsiyon tesir kesitleri.  
 2: Mikroskopik transport tesir kesitleri.  
 3:  $\nu$  (Bir fisyonun açığa çıkan nötron sayısı)  
 4: Mikroskopik fisyon tesir kesitleri.  
 5: Mikroskopik gruptan gruba saçılma tesir kesitleri ( $\sum_{s1=1}^4 \nu_{s1} \cdot \sum_{s2=1}^4 \nu_{s2}$ )



Şekil- 5: 4 grup nötron akı dağılımları  
(örnek Problem 2).



Şekil-5 (DEVAM)

## V. SONUÇLAR VE İRDELEME

DIFFUSE ve BBD kodları verilen kafes noktalarındaki akılları hesaplamakta ve etkin çoğaltma katsayısını bulmaktadır. Çözüm bir boyutta gerçekleştirilmekte, ikinci ve üçüncü boyut uygun bir sızma terimi ithaliyle gözönüne alınmaktadır.

Ele alınan her iki problemde de bulunan sonuçlar birbiriyle oldukça iyi uyum içerisinde. K-etkin için aradaki fark %0.12, akılardaki maksimum fark ise %2.0 civarındadır.

## REFERANSLAR

- [1] T. Aldemir, U. Adalıođlu, "BBD-A One Dimensional Few Group Diffusion Code", ÇNAEM-R-226, 1982.
- [2] M.H. Turgut, U. Adalıođlu, "YANMA-1, A One Dimensional Nuclear Burn-up Code", ÇNAEM-R-221, 1983.
- [3] T. Aldemir, M.H. Turgut, H.M. Bretscher, J.L. Snelgrove, "A Feasibility Study Concerning the Conversion of the TR-2 Reactor from using Highly Enriched Uranium to Light Enriched Uranium", ÇNAEM-R-217, 1982.

EK -1: DIFFUSE'un Alt Programlarının Kısaca  
Tanıtılması

MAIN PROGRAM: Ana programda bütün alt programlar sırayla çağırılmaktadır.

Alt programlar ve yaptıkları hesaplamalar kısaca şöyle özetlenebilir.

- INDAA: Programa giriş datalarını okur ve yazdırır.
- MACRX: Mikroskopik tesir kesitlerini ve sayısal yoğunlukları kullanarak makroskopik tesir kesitlerini hesaplar ve yazdırır.
- FLUXN: İlk akı tahmininin yapılması.
- XSECT: IOP= 3 için zehir konsantrasyonunu değiştirerek bölgelerdeki yeni makroskopik tesir kesitlerini, IOP=1;2 için D (difüzyon katsayısı) ve XR (yokolma tesir kesiti)'yi hesaplar ve D'yi yazdırır.
- TRIDA: Sonlu fark denklemlerindeki katsayıları hesaplar.
- WEIGT: Filyon kaynağı  $S(S=W\phi)$  in hesabı için gerekli W operatörünü hesaplar.
- SOURE: S matrisini hesaplar.
- MATIV: Üç nokta diferans denklemini çözer.
- SOLVE: Grup akılarına hesaplar.
- RESCL: İterasyonlardaki akı oranlarını hesaplar.
- ADJUT: IOP = 1 için k-etkin,  
IOP = 2 için kritik boyut,  
IOP = 3 için kritiklik için gerekli zehir konsantrasyonunu hesaplar.
- EDIT: Seçeneğe bağlı olarak k-etkin, kritik boyut, kritik konsantrasyonu yazdırır.
- RESULT: Güç akılarının hesabı için AK katsayısını hesaplar; k-etkin'i, izafi akıları ve güç akılarını yazdırır.

- AJOIT: Adjoint akıları hesaplar.
- AEDIT: Adjoint akıları yazdırır.
- PLOTX: Güce normalize akıları çizdirir.

EK-2: DIFFUSE Kodu Geriř Datası

Kart No	Format	Değişken	Açıklama
1	(15)	IGOOM	IGOOM { =1: Hesaplanacak başka akı vektörü yok #1: Hesaplanacak başka akı vektörü var
2	(20A4)	TITLE(J) J=1,20	Bu kart, başlık kartıdır. Koşuma verilecek isim çıkışın başına yazılacaktır
3	(1615)	Col. 1 - 5 NGP	Nötron enerji grubu sayısı
		Col. 6 --10 NRG	Bölge sayısı
		Col.11 -15 NMAT	Malzeme sayısı
		Col.16-20 NGEOM	NGEOM { =1: Problem geometri=Düzlem =2: Problem geometri=Silindir =3: Problem geometri=Küre
		Col.21 - 25 JBCL	Sol sınır şartı (=1); Simetri
		Col.26-- 30 JBCR	Sağ sınır şartı (=0); Akı sıfır
		Col.31 - 35 NFG	Hızlı grup sayısı
		Col.36 - 40 JAD	JAD { ≠ 0: Adjoint akılar hesaplanır = 0: Hesaplanmaz
		Col.41 - 45 NPLO	NPLO { ≠ 0: Akı grafikleri çizdirilir = 0: Çizdirilmez
4	(5F10.5)	TH(J) J=1, NRG	Bölge genişlikleri
5	(15,5X,3E15.7)	Col. 1-5 IDMAT(1) I=1,NMAT	Malzeme numarası
		Col.11 - 25 CONK(I,J) I=1,NMAT J=1,NRG	I. Malzemenin J. bölgedeki konsantrasyonu
6	(1615)	NPT (J) J=1,NRG	Bölgelerdeki kafes noktası sayısı
7	(1615)	Col.1 - 5 IOP	IOP { =1: k-etkin =2: Kritik boyut =3: Kritik malzeme konsantrasyonu hesaplar
		Col.6 -10 NRVAY	Boyutu değiştirilecek bölge sayısı





EK-3: Değişkenler Listesi

DIFFUSE kodunda kullanılan diğer değişkenlerin listesi aşağıda verilmiştir.

Değişken adı	Açıklama
MCODE	Kritik konsantrasyonu aranan malzeme numarası (Ancak IOP=3 için kullanılabilir)
EFFK	k-etkin
RK2	} Geçici k-etkin değerleri
RK1	
XA	Makroskopik absorpsiyon tesir kesiti
XNUF	Makroskopik $Nu \times F$ isyon tesir kesiti
XTR	Makroskopik transport tesir kesiti
XF	Makroskopik fisyon tesir kesiti
XGG	Makroskopik gruptan gruba saçılma tesir kesiti
D	Difüzyon katsayısı
XR	Yokalma (removal) tesir kesiti
PHI	İzafi grup akıları
NFG	Hızlı grup sayısı (programda kullanılmıyor)
NP	Toplam kafes noktası sayısı
ITO	Yakınsamaya ulaşılan dış iterasyon sayısı
ITI	Yakınsamaya ulaşılan iç iterasyon sayısı
KEEP	İterasyonlardaki maksimum akı farkını hafızada tutmak için kullanılan bir parametre
LBIG	Akılardaki maksimum farkın bulunduğu grup
JBIG	Akılardaki maksimum farkın bulunduğu kafes noktası.
IAJ	Adjoint akının hesaplanıp hesaplanmadığını gösteren parametre
IHOLD	İç iterasyon sayısı
BIG	Tahmini akı
AHOLD	k-etkin
CC	Konsantrasyonu değiştirme katsayısı
CT	Kritik boyut tayininde kullanılan katsayı
DH	İki kafes noktası arasındaki uzaklık

Değişken Adı	Açıklama
IERR	Hata
ANORM BNORM	} Normalizasyon katsayıları
A B	} Üç nokta sonlu fark denklemindeki katsayılar
W	Kazanç operatörü
S	Fisyon kaynağı
RM	Kafes noktalarının merkeze uzaklıkları
PHIN	Güç akıları

EK- 4: Program Listesi

```
C      MAIN PROGRAM
1      COMMON NRG, NRG, NMG, NMG, JBCL, JBCL, NFG, JAD, NP, NPT(10), IOP,
2      IRVAY, IRVAY(10), MVARY, ITHAO, ITMAI, ITO, ITI, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,
3      IAJ, JJUM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,
4      AHOLD(20), ITHAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XIR(80, 16),
5      BGG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,
6      SIGC(10, 16), SIGIR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),
7      SIGGG(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),
8      AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),
      PHIN(301, 16), NPLQ

      IGDUM=0
1000    IF (IGDUM-1) 2001, 2000, 2001
2000    CONTINUE
      CALL EXIT
2001    READ (1, 1001) IGDUM
1001    FORMAT (I5)
      IERR=0
      RK1=0.
      TK=0.
      BIG=1000.
      IAJ=0
      EFFK=1.0
      KEEP=0
      CC=1.0
      ITO=1
      ITI=0
      CALL INDAA
2002    IF (IERR) 1000, 2002, 1000
      CALL MACRX
      CALL FLUXN
      IF (IERR) 1000, 1, 1000
1      CALL XSECT
7      CALL TRIDA
5      CALL WEIGT
2      CALL SOLVE
      CALL RESCL
      ITI=ITI+1
2003    IF (ITI-ITMAI) 2004, 2004, 2003
      CALL ERROR(1)
2004    IF (IERR) 1000, 2004, 1000
2005    IF (ABS(RK2-TK)-EPS1) 3, 2005, 2005
      TK=RK2
      GO TO 2
2006    IF (ABS(RK2-1.)-EPS2) 6, 2006, 2006
      CALL ADJUT
      IHOLD(ITO)=ITI
      AHOLD(ITO)=RK2
      RK1=RK2
      CALL EDIT
      ITO=ITO+1
2007    IF (ITO-ITMAO) 2008, 2008, 2007
      CALL ERROR(6)
2008    IF (IERR) 1000, 2008, 1000
      ITI=C
      GO TO (5, 7, 1), IOP
2009    IF (BIG-EPS3) 100, 2009, 2009
      BIG=0.
      KEEP=1
      GO TO 2
100    CONTINUE
      IHOLD(ITO)=ITI
      AHOLD(ITO)=RK2
      CALL RESULT
2020    IF (NPLQ) 2020, 1000, 2020
2020    CALL PLOTX
2010    IF (JAD) 2010, 1000, 2010
      CALL AJDIT
      END
```

SUBROUTINE INDAA

```

REAL TITLE (20)
COMMON NGP, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), IOP,
1  IRVAY, IRVAY(10), MVAR, ITMA0, ITMA1, ITU, ITI, KEEP, MCODE, L3IG, JBIG,
2  IAJ, JDUM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XTR(80, 16),
4  XGG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,
5  SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),
6  SIGGG(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),
8  PHIN(301, 16), NFLO
READ (1, 9901) (TITLE(J), J=1, 20)
WRITE (3, 991) (TITLE(J), J=1, 20)
READ (1, 992) NGP, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NFLO
WRITE (3, 993) NGP, NRG, NMAT
IF (NGEOM-2) 1000, 1001, 1002
1000 WRITE (3, 994)
GO TO 1003
1001 WRITE (3, 995)
GO TO 1003
1002 WRITE (3, 996)
1003 WRITE (3, 9910) JBCL, JBCR
READ (1, 9915) (TH(J), J=1, NRG)
WRITE (3, 9913) (J, TH(J), J=1, NRG)
DO 1 I=1, NMAT
READ (1, 999) IDMAT(I), (CONC(I, J), J=1, NRG)
1 CONTINUE
WRITE (3, 9900)
DO 2 I=1, NMAT
WRITE (3, 9902) IDMAT(I), (J, CONC(I, J), J=1, NRG)
2 CONTINUE
READ (1, 992) (NPT(J), J=1, NRG)
WRITE (3, 9903) (J, NPT(J), J=1, NRG)
READ (1, 992) IOP, NRVAY
IF (IOP-2) 1004, 1005, 1006
1005 READ (1, 992) (IRVAY(J), J=1, NRVAY)
GO TO 1004
1006 READ (1, 992) MVAR
1004 READ (1, 9912) EPS1, EPS2, EPS3, ITMA0, ITMA1
DO 3 I=1, NMAT
READ (1, 992) MMM, M1, M2
DO 4 J=1, NMAT
JJ=J
IF (MMM-IDMAT(J)) 4, 5, 4
4 CONTINUE
CALL ERROR (2)
IF (IERR) 10, 5, 10
5 READ (1, 997) (SIGC(JJ, J), J=1, NRG)
READ (1, 997) (SIGTR(JJ, J), J=1, NRG)
IF (M1-1) 1011, 7, 1011
1011 DO 8 J=1, NRG
XNU(JJ, J)=0.0
SIGF(JJ, J)=0.0
8 CONTINUE
GO TO 9
7 READ (1, 997) (XNU(JJ, J), J=1, NRG)
READ (1, 997) (SIGF(JJ, J), J=1, NRG)
9 IF (M2) 1012, 1012, 11
1012 DO 12 K=1, NRG
DO 13 J=1, NRG
SIGGG(JJ, K, J)=0.0
13 CONTINUE
12 CONTINUE
GO TO 3
11 DO 6 K=1, NRG
READ (1, 997) (SIGGG(JJ, K, J), J=1, NRG)
6 CONTINUE
3 CONTINUE
READ (1, 9915) (SPECT(J), J=1, NRG)
WRITE (3, 9904) (SPECT(J), J=1, NRG)
DO 10 I=1, NMAT
WRITE (3, 9905) IDMAT(I)
WRITE (3, 9906) (SIGC(I, J), J=1, NRG)
WRITE (3, 9907) (SIGF(I, J), J=1, NRG)
WRITE (3, 9911) (XNU(I, J), J=1, NRG)
WRITE (3, 9908) (SIGTR(I, J), J=1, NRG)
DO 10 K=1, NRG
WRITE (3, 9909) K, (SIGGG(I, K, J), J=1, NRG)
10 CONTINUE
RETURN

```

```
991 FORMAT (////20X,20A4)
992 FORMAT (16I5)
993 1 FORMAT (////NUMBER OF ENERGY GROUP ',I3,/'NUMBER OF REGIONS',
8X,I3,/'NUMBER OF MATERIALS ',4X,I3,/)
994 FORMAT (////PROBLEM GEOMETRY = SLAB')
995 FORMAT (////PROBLEM GEOMETRI = CYLINDER')
996 FORMAT (////PROBLEM GEOMETRI =SPHERE')
997 FORMAT (5E15.7)
999 FORMAT (15.5X,3E15.7)
9900 FORMAT (////10X, 'MATERIAL'20X, 'REGION / CONCENCRATION',/)
9901 FORMAT (20A4)
9902 FORMAT (/10X,I5.5X,4(I4,' / ',E15.7),/20X,4(I4,' / ',E15.7))
9903 FORMAT (/// REGION / NUMBER OF MESH POINTS',/10(I5,' / ',I3))
9904 FORMAT (///FISSION SPECTRUM'/(8F15.5))
9905 FORMAT (////'CROSS SECTION FOR MATERIAL',I10,/)
9906 FORMAT ('CAPTURE CROSS SECTION',/(8F15.6))
9907 FORMAT ('FISSION CROSS SECTION',/(8F15.6))
9908 FORMAT ('TRANSPORT CROSS SECTION',/(8F15.6))
9909 FORMAT ('TRANSFER CROSS SECTION FROM GROUP',I5,/(8F15.6))
9910 1 UNDRARY CONDITION = ',I5)
9911 FORMAT ('NU',/(8F15.6))
9912 FORMAT (3F10.5,2I5)
9913 1 FORMAT (///REGION / REGION THICKNESS IN CM',/6(5X,I2,' / ',
FB.4))
9915 FORMAT (5F10.5)
END
```

SUBROUTINE MACRX

```
COMMON NGP, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), IOP,
1 IRVAY, IRVAY(10), MVARY, ITMA0, ITMA1, IT0, IT1, KEF, MCODE, LBIG, JBIG,
2 IA, J, JDU0, IJDU1(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,
3 AHOLD(20), IUPAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XTR(80, 16),
4 XGG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,
5 SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),
6 SIGGG(10, 16, 16), PHI(201, 16), ANDRM, BNORM, A(301, 16), B(201, 16),
7 AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),
8 PHIN(301, 16), NPLO
DO 4 I=1, NRG
DO 4 J=1, NGP
XA(I, J)=0.0
XNUF(I, J)=0.0
XTR(I, J)=0.0
XF(I, J)=0.0
DO 4 K=1, NGP
XGC(I, J, K)=0.0
4 CONTINUE
DO 3 J=1, NMAT
DO 3 I=1, NGP
DO 3 K=1, NRG
XA(K, I)=XA(K, I)+CONC(J, K)*SIGC(J, I)
XNUF(K, I)=XNUF(K, I)+CONC(J, K)*SIGF(J, I)*XNU(J, I)
XTR(K, I)=XTR(K, I)+CONC(J, K)*SIGTR(J, I)
XF(K, I)=XF(K, I)+CONC(J, K)*SIGF(J, I)
DO 3 L=1, NGP
XGG(K, I, L)=XGG(K, I, L)+CONC(J, K)*SIGGG(J, I, L)
3 CONTINUE
DO 2 I=1, NRG
DO 2 J=1, NGP
2 XGG(I, J, J)=0.0
WRITE(3,50)
DO 5 K=1, NRG
DO 5 I=1, NGP
WRITE(3,100) K, I, XA(K, I), XNUF(K, I), XTR(K, I), XF(K, I)
DO 5 L=1, NGP
IF (NGP-3) 20, 21, 22
20 WRITE(3,200) K, XGG(K, 1, 2)
GO TO 5
21 WRITE(3,200) K, XGG(K, 1, 2), XGG(K, 2, 3)
GO TO 5
22 WRITE(3,200) K, XGG(K, 1, 2), XGG(K, 2, 3), XGG(K, 3, 4)
5 CONTINUE
50 FORMAT (// 20X, 'MAKROSKOPİK PARAMETRELER', //22X, 'YUTMA',
1 8X, 'NU*FISYON', 8X, 'TRANSPORT', 8X, 'FISYON')
100 FORMAT (2I5, 3X, 4F15.6)
200 FORMAT (15, 3X, 'GRUPTAN GRUBA SACILMALAR', 5X, 3F15.6)
RETURN
END
```

SUBROUTINE FLUXN

```

COMMON NRG, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), IOP,
1  NRVA, IRVA(10), MVARY, ITMA0, ITMA1, ITU, ITL, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,
2  IAJ, JDM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XTR(80, 16),
4  XGG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,
5  SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),
6  SIGGG(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),
8  PHIN(301, 16), NFLO
NP=1
DO 1 J=1, NRG
1  NP=NP+NPT(J)
DO 2 L=1, NGP
DO 2 J=1, NP
2  PHI(J, L)=1.0
ANORM=SQRT(1.0*NP*NGP)
GO TO (6, 6, 5), IOP
5  DO 3 J=1, NMAT
JJ=J
IF (IDMAT(J)-MVARY) 3, 4, 3
3  CONTINUE
CALL ERROR(4)
IF (IERR) 6, 4, 6
4  MCODE=JJ
6  CONTINUE
RETURN
END

```

SUBROUTINE XSECT

```

DIMENSION F(10)
COMMON NRG, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), IOP,
1  NRVA, IRVA(10), MVARY, ITMA0, ITMA1, ITU, ITL, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,
2  IAJ, JDM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XTR(80, 16),
4  XGG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,
5  SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),
6  SIGGG(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),
8  PHIN(301, 16), NFLO
GO TO (6, 6, 5), IOP
5  Z=(CC-1.0)/CC
DO 1 K=1, NRG
1  F(K)=CONC(MCODE, K)*Z
DO 2 K=1, NRG
DO 2 I=1, NGP
XA(K, I)=XA(K, I)+F(K)*SIGC(MCODE, I)
XNUF(K, I)=XNUF(K, I)+F(K)*SIGF(MCODE, I)*XNU(MCODE, I)
XTR(K, I)=XTR(K, I)+F(K)*SIGTR(MCODE, I)
DO 2 L=1, NGP
XGG(K, I, L)=XGG(K, I, L)+F(K)*SIGGG(MCODE, I, L)
2  CONTINUE
6  CONTINUE
DO 3 I=1, NRG
DO 3 J=1, NGP
3  XR(I, J)=XA(I, J)
DO 4 I=1, NRG
DO 4 J=1, NGP
D(I, J)=1.0/(3.0*XTR(I, J))
DO 4 K=1, NRG
XR(I, J)=XR(I, J)+XGG(I, J, K)
4  CONTINUE
WRITE(3, 50)
DO 7 I=1, NRG
DO 7 J=1, NGP
WRITE(3, 100) I, J, D(I, J)
7  CONTINUE
50  FORMAT (/3X, 'BOLGE', 3X, 'GRUP', 5X, 'DIF. KAT')
100  FORMAT (/3X, I5, 3X, I5, 5X, F15.6)
RETURN
END

```

SUBROUTINE TRIDA

```
COMMON NRG, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), IOP,
1  NRVAY, IRVAY(10), NVARY, ITHAD, ITHAI, ITO, ITI, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,
2  IAJ, JDUM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XIR(80, 16),
4  XGG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,
5  SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XMU(10, 16), SIGF(10, 16),
6  SIGGG(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),
8  PHIN(301, 16), NPLO
DO 3 L=1, NRG
DO 3 J=1, NP
3  B(J, L)=0.0
RWR=0.0
JJ=0
DO 1 K=1, NRG
H=TH(K)/NPT(K)
WRITE(3, 556)H
WRITE(3, 107)
R=RWR-H*0.5
JMAX=NPT(K)
DO 2 J=1, JMAX
JJ=JJ+1
R=R+H
WRITE(3, 555)R
IF (NGEOM-2) 100, 101, 102
100  RP=1.0
GO TO 103
101  RP=R
GO TO 103
102  RP=R*R
103  DO 2 L=1, NRG
A(JJ, L)=RP*D(K, L)/H
Z=A(JJ, L)+RP*XR(K, L)*H*0.5
B(JJ, L)=B(JJ, L)-Z
B(JJ+1, L)=B(JJ+1, L)-Z
2  CONTINUE
RWR=RWR+TH(K)
1  CONTINUE
IF (NGEOM-1) 104, 10, 104
10  IF (JBCL) 104, 4, 104
104  DO 5 L=1, NRG
GEOM=NGEOM
H1=TH(1)/NPT(1)
AS(L)=(GEOM*2.0*D(1, L))/H1
5  B(1, L)=- (AS(L)+XR(1, L)*H1)
GO TO 6
4  DO 7 L=1, NRG
B(1, L)=1.0
7  AS(L)=0.0
6  DO 11 L=1, NRG
B(NP, L)=1.0
11  A(NP-1, L)=0.0
107  FORMAT (/5X, 'RM=KAFES NOKTALARININ MERKEZE UZAKLIGI')
555  FORMAT(5X, F10.5)
556  FORMAT('KAFES NOKTALARI ARASINDAKI UZAKLIK(cm): DII= ', F10.5)
RETURN
EN
```



SUBROUTINE WEIGT

```
COMMON NGP, NPG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), ICP,  
1  MRVAY, IRVAY(10), MVARY, ITMA0, ITMA1, I10, ITJ, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,  
2  IAJ, JDUM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,  
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XTR(80, 16),  
4  XGG(80, 16, 16), CUNC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,  
5  SIGG(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),  
6  SIGGG(10, 16, 16), PHI(201, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(201, 16),  
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),  
8  PHIN(301, 16), NPLO  
  JJ=1  
  RWR=0.0  
  DO 1 I=1, NRG  
  H=TH(I)/NPT(I)  
  R=RWR  
  JMAX=NPT(I)-1  
  DO 2 J=1, JMAX  
  JJ=JJ+1  
  R=R+H  
  IF (NGEOM-2) 100, 101, 102  
100  RP=1.0  
      GO TO 104  
101  RP=R  
      GO TO 104  
102  RP=R*RP  
104  F=H*RP  
      DO 3 L=1, NGP  
      DO 3 K=1, NPG  
  3  W(JJ, K, L) = (XGG(I, K, L)+EFFK*SPECT(L)*XNUF(I, K))*F  
  2  CONTINUE  
105  IF (I-NRG) 105, 1, 105  
      JJ=JJ+1  
      R=R+H  
      RP=R**(NGEOM-1)  
      H2=TH(I+1)/NPT(I+1)  
      F=0.5*RP  
      DO 4 L=1, NGP  
      DO 4 K=1, NPG  
  4  W(JJ, K, L) = ((XGG(I, K, L)+EFFK*SPECT(L)*XNUF(I, K))*H + (XGG(I+1, K, L) +  
  1  EFFK*SPECT(L)*XNUF(I+1, K))*H2)*F  
      RWR=RWR+TH(I)  
  1  CONTINUE  
      IF (NGEOM-1) 5, 6, 5  
  6  IF (JBCL) 7, 7, 5  
  7  DO 8 L=1, NGP  
      DO 8 K=1, NPG  
  8  W(1, K, L)=0.0  
      GO TO 10  
  5  DO 11 L=1, NGP  
      DO 11 K=1, NPG  
      H1=TH(1)/NPT(1)  
 11  W(1, K, L) = (XGG(1, K, L)+EFFK*SPECT(L)*XNUF(1, K))*H1  
 10  DO 12 L=1, NGP  
      DO 12 K=1, NPG  
 12  W(NP, K, L)=0.0  
      RETURN  
      END
```

SUBROUTINE SOURE(L)

```

COMMON NGP, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), IOP,
1  IRVAY, IRVAY(10), MVAR, ITMA0, ITMA1, ITC, ITI, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,
2  IAJ, JDUM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XTR(80, 16),
4  XGG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,
5  SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),
6  SIGGG(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),
8  PHIN(301, 16), NPLG
DO 1 J=1, NP
1  S(J, L)=0.0
DO 2 J=1, NP
DO 2 K=1, NGP
IF (IAJ) 100, 3, 100
100 IF (IAJ-1) 3, 4, 3
3  S(J, L)=S(J, L)-W(J, K, L)*PHI(J, K)
GO TO 2
4  S(J, L)=S(J, L)-W(J, L, K)*PHI(J, K)
2  CONTINUE
RETURN
END

```

SUBROUTINE MATIV(X, ASX, AX, BX, SX, N)

```

DIMENSION WA(301), GA(301), X(301), AX(301), BX(301), SX(301)
WA(1)=ASX/BX(1)
GA(1)=SX(1)/BX(1)
DO 1 K=2, N
T1=1.0/(BX(K)-AX(K-1)*WA(K-1))
WA(K)=AX(K)*T1
GA(K)=(SX(K)-AX(K-1)*GA(K-1))*T1
1  CONTINUE
X(N)=GA(N)
KMAX=N-1
DO 2 K=1, KMAX
J=N-K
2  X(J)=GA(J)-WA(J)*X(J+1)
CONTINUE
RETURN
END

```

SUBROUTINE SOLVE

```

DIMENSION AX(301), BX(301), SX(301), X(301)
COMMON NGP, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), IOP,
1  IRVAY, IRVAY(10), MVAR, ITMA0, ITMA1, ITC, ITI, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,
2  IAJ, JDUM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XTR(80, 16),
4  XGG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,
5  SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),
6  SIGGG(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),
8  PHIN(301, 16), NPLG
FMAX=0.0
DO 1 L=1, NGP
CALL SOURE(L)
DO 2 J=1, NP
ASX=AS(L)
AX(J)=A(J, L)
BX(J)=B(J, L)
SX(J)=S(J, L)
2  CONTINUE
CALL MATIV (X, ASX, AX, BX, SX, NP)
IF (KEEP) 5, 5, 3
3  JJJ=NP-1
DO 4 J=2, JJJ
CC=X(J)/PHI(J, L)-1.0
F=ABS(CC)
IF (FMAX-F) 10, 10, 4
10  LBIG=L
JBIG=J
BIG=PHI(J, L)
FMAX=F
4  CONTINUE
5  DO 75 J=1, NP
PHI(J, L)=X(J)
75  CONTINUE
1  CONTINUE
RETURN
END

```

SUBROUTINE RESCL

```
COMMON NPG, NPG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), IOP,
1  NRVA, IRVAY(10), MVAR, ITMA0, ITMA1, IT0, IT1, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,
2  IAJ, JDUH, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XTR(80, 16),
4  XCG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,
5  SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),
6  SIGCG(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),
8  PHIN(301, 16), NPLO
  BNORM=0.0
  DO 1 J=1, NP
  DO 1 L=1, NPG
1  BNORM=BNORM+PHI(J, L)*PHI(J, L)
  BNORM=SQRT(BNORM)
  DNORM=ANORM/BNORM
  DO 2 J=1, NP
  DO 2 L=1, NPG
2  PHI(J, L)=PHI(J, L)*DNORM
  RK2=BNORM/ANORM
  IF (KEEP) 3, 3, 4
4  BIG=ABS(PHI(JBIG, LBIG)-BIG)
3  CONTINUE
  RETURN
  END
```

SUBROUTINE ADJUT

```
COMMON NPG, NPG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), IOP,
1  NRVA, IRVAY(10), MVAR, ITMA0, ITMA1, IT0, IT1, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,
2  IAJ, JDUH, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XTR(80, 16),
4  XCG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,
5  SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),
6  SIGCG(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),
8  PHIN(301, 16), NPLO
  ALPHA=1.1
  GO TO (1, 2, 3), IOP
1  EFFK=(1.0+ALPHA*(1.0-RK2))*EFFK
  RETURN
2  CT=1.0+ALPHA*(1.0-RK2)
  DO 6 J=1, NRVA
  JJ=IRVAY(J)
  TH(JJ)=CT*TH(JJ)
6  CONTINUE
  RETURN
3  IF (IT0-1) 20, 7, 20
20  CC=1.0+((CC-1.0)/CC)*((1.0-RK2)/(RK2-RK1))
  GO TO 8
7  CC=1.1
8  DO 9 J=1, NPG
  CONC(MCODE, J)=CC*CONC(MCODE, J)
9  CONTINUE
  RETURN
  END
```

SUBROUTINE ERROR(N)

```
COMMON NRG, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), IOP,  
1  MRVAY, IRVAY(10), MVAR, ITMA0, ITMA1, IT0, IT1, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,  
2  IAJ, JDUM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,  
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XIR(80, 16),  
4  XGG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,  
5  SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),  
6  SIGGC(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),  
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),  
8  PHIN(301, 16), NPLO  
WRITE(3, 1) N  
1  FORMAT ('1 ERROR STOP NUMBER', I5)  
IERR=1  
RETURN  
END
```

SUBROUTINE EDIT

```
COMMON NRG, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), IOP,  
1  MRVAY, IRVAY(10), MVAR, ITMA0, ITMA1, IT0, IT1, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,  
2  IAJ, JDUM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,  
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XIR(80, 16),  
4  XGG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,  
5  SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),  
6  SIGGC(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),  
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),  
8  PHIN(301, 16), NPLO  
WRITE (3, 996)  
WRITE (3, 997) (I, IHOLD(I), AHOLD(I), I=1, ITO)  
GO TO (1, 2, 3), IOP  
1  EFFK1=1.0/EFFK  
WRITE (3, 992) EFFK1  
RETURN  
2  WRITE (3, 992) RK2  
WRITE (3, 995) (J, TH(J), J=1, NRG)  
RETURN  
3  WRITE (3, 992) RK2  
WRITE (3, 994) MVAR, (J, CONC(MCODE, J), J=1, NRG)  
RETURN  
992 FORMAT (/// 'K EFFECTIVE = ', F10.6)  
994 FORMAT (/// 'CRITICAL CONCENTRATION OF MATERIAL', I5, /('REGION = ',  
1  I5, 10X, 'CONCENTRATION = ', F15.5))  
995 FORMAT (/// 'CRITICAL SIZE', /('THICKNESS OF REGION', I5, ' = ',  
1  F10.5, 'CM'))  
996 FORMAT (/// 'OUTER ITERATION NUMBER OF INNER ITERATIONS EIGENV  
1  ALUE', //)  
997 FORMAT (17, 20X, I5, 15X, E12.5)  
END
```

SUBROUTINE RESULT

```
COMMON NGP, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), ICP,
1  NRVA, IRVA(10), MVAR, ITMA, IIMAI, IIC, ITI, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,
2  IAJ, JDM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XTR(80, 16),
4  XCG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,
5  SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),
6  SIGGG(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),
8  PHIN(301, 16), NPLC
WRITE (3, 991)
WRITE (3, 996)
WRITE (3, 997) (I, IHOLD(I), AHOLD(I), I=1, ITO)
GO TO (1, 2, 3), IOP
1  EFFK1=1.0/EFFK
WRITE (3, 992) EFFK1
GO TO 4
2  WRITE (3, 992) RK2
WRITE (3, 995) (J, TH(J), J=1, NRG)
GO TO 4
3  WRITE (3, 992) RK2
WRITE (3, 994) MVAR, (J, CONC(MCODE, J), J=1, NRG)
4  CONTINUE
WRITE (3, 999)
DO 5 J=1, NGP
WRITE (3, 998) J
5  WRITE (3, 993) (I, PHI(I, J), I=1, NP)
DO 12 I=1, NRG
DH(I)=TH(I)/NPT(I)
12 CONTINUE
READ (1, 300) P
READ (1, 200) GAMA
G=0
DO 6 I=1, NPT(1)
G1=0
DO 7 J=1, NGP
G1=G1+XF(1, J)*PHI(I, J)
7 CONTINUE
IF(NGEOM 2) 100, 101, 102
100 G=G+G1*(I*DH(1)-(I-1)*DH(1))
GO TO 6
101 G=G+G1*((I*DH(1))**2-((I-1)*DH(1))**2)
GO TO 6
102 G=G+G1*((I*DH(1))**3-((I-1)*DH(1))**3)
6 CONTINUE
AK=P/(G*GAMA)
WRITE (3, 500) AK
DO 9 I=1, NP
DO 9 J=1, NGP
PHIN(I, J)=PHI(I, J)*AK
9 CONTINUE
WRITE (3, 1000)
DO 10 J=1, NGP
WRITE (3, 998) J
WRITE (3, 993) (I, PHIN(I, J), I=1, NP)
10 CONTINUE
RETURN
200 FORMAT (E11.5)
300 FORMAT (F10.7)
500 FORMAT (/, /, A=, 5X, E11.5)
991 FORMAT ('1', 20X, 'PROGRAM EDIT')
992 FORMAT (///, K EFFECTIVE =, F10.6)
993 FORMAT (/6(15, 2X, E12.5, 1X))
994 FORMAT (///, CRITICAL CONCENTRATION OF MATERIAL', 15, /(' REGION =',
1 IS, 10X, 'CONCENTRATION =', F15.5))
995 FORMAT (///, CRITICAL SIZE', /(' THICKNESS OF REGION', 15, ' = ',
1 F10.5, 'CM')
996 FORMAT (///, OUTER ITERATION NUMBER OF INNER ITERATIONS EIGENVA
1 LUE', /)
997 FORMAT (17, 20X, 15, 15X, E12.5)
998 FORMAT (///, 5X, 'GROUP FLUX (G =, 15)
999 FORMAT (///, 5X, 'RELATIVE FLUXES')
1000 FORMAT (///, 5X, 'NORMALIZED FLUXES')
END
```

SUBROUTINE AEDIT

```
COMMON NGP, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), ICP,  
1  NRVA, IRVA(10), MVAR, ITMAI, ITMAI, IIO, ITI, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,  
2  IAJ, JDUM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,  
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XTR(80, 16),  
4  XGG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,  
5  SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),  
6  SIGGG(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),  
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),  
8  PHIN(301, 16), NPLC  
IAJ=1  
RK1=0.0  
TK=0.0  
BIG=1000.0  
KEEP=0  
ITI=0  
2  CALL SOLVE  
CALL RESCL  
ITI=ITI+1  
IF (ITI-ITMAI) 16, 16, 15  
15  CALL ERROR(1)  
16  IF(IERR) 17, 18, 17  
17  CONTINUE  
RETURN  
10  IF (ABS(RK2-TK)-EPS1) 6, 8, 8  
8  TK=RK2  
GO TO 2  
6  IF (BIG-EPS3) 100, 9, 9  
9  BIG=0.0  
KEEP=1  
GO TO 2  
100  CALL AEDIT  
RETURN  
END
```

SUBROUTINE PLOTX

```
COMMON NGP, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), ICP,  
1  NRVA, IRVA(10), MVAR, ITMAI, ITMAI, IIO, ITI, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,  
2  IAJ, JDUM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,  
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XTR(80, 16),  
4  XGG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,  
5  SIGC(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),  
6  SIGGG(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNORM, A(301, 16), B(301, 16),  
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),  
8  PHIN(301, 16), NPLC  
CHARACTER*1 IO(110), II(4)  
WRITE(3, 1)  
II(1)='*'  
II(2)=' '  
II(3)='+'  
II(4)=' '  
AL=7.73E+11  
AL=8.9E+11  
DO 102 I=1, NP  
DO 100 IX=1, 110  
100  IO(IX)=' '  
DO 101 J=1, NGP  
KK=PHIN(I, J)/AL  
IO(KK)=II(J)  
101  CONTINUE  
WRITE (3, 2) IO  
2  FORMAT (5X, 1H, , 110A1)  
102  CONTINUE  
1  FORMAT (1H1, 3X, 24(5H, . . . .))  
RETURN  
END
```

SUBROUTINE AEDIT

```
COMMON NGP, NRG, NMAT, NGEOM, JBCL, JBCR, NFG, JAD, NP, NPT(10), ICP,  
1  MRVAY, IRVAY(10), MVARY, ITMA0, ITMA1, IT0, IT1, KEEP, MCODE, LBIG, JBIG,  
2  IAJ, JDOM, IHOLD(20), EPS1, EPS2, EPS3, EFFK, TH(10), RK1, RK2, BIG,  
3  AHOLD(20), IDMAT(10), SPECT(16), XA(80, 16), XNUF(80, 16), XTR(80, 16),  
4  XGG(80, 16, 16), CONC(10, 10), D(80, 16), XR(10, 16), CC, CT, IERR,  
5  SIGG(10, 16), SIGTR(10, 16), XNU(10, 16), SIGF(10, 16),  
6  CIGGG(10, 16, 16), PHI(301, 16), ANORM, BNCRM, A(301, 16), B(301, 16),  
7  AS(16), W(301, 16, 16), S(301, 16), DH(10), XF(10, 16), RM(10),  
8  PHIN(301, 16), NPLO  
   WRITE (3, 991)  
   DO 5 J=1, NGP  
   WRITE (3, 998) J  
5  WRITE (3, 993) (I, PHI(I, J), I=1, NP)  
   RETURN  
991  FORMAT ('1', 20X, 'ADJOINT EDIT')  
998  FORMAT (////, 5X, 'GROUP FLUX OF =', I5)  
993  FORMAT (/6(I5, 2X, E12. 5, 1X))  
   END
```