

**ALMARAZ2 REAKTÖRÜ İÇİN DRAGON2 NÖTRON TRANSPORT-
CITATION NÖTRON DİFÜZYON KOD ÇİFTİ YARDIMIYLA NÖTRONİK
HESAPLAMA ZİNCİRİNİN OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fizikçi Emrah OĞUZHAN
(304970031011)

98124

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 2 Haziran 2000
Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Haziran 2000

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hasan SAYGIN

10.7.2000

h. saygin

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Atilla ÖZGENER

10.7.2000

Atilla ÖZGENER

Doç. Dr. Akif ATALAY

10.7.2000

Akif ATALAY

HAZİRAN 2000

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezi nötron transport kodu DRAGON2 ve nötron difüzyon kodu CITATION kod çiftinin bir çok nötronik hesaplamada güvenilir ve geçerliliğinin görülmesi için yapılmıştır. Bu çalışmanın konuyla ilgilenen diğer araştırmacılara da yardımcı olacağını umuyorum.

Öncelikle, tez çalışmamın her aşamasında yol gösterdiği ve desteklediği için danışmanım Doç. Dr. Hasan Saygın'a çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca vermiş olduğu destek ve yardımlarından dolayı Nükleer Yüksek Mühendis M. Yılmaz Peker'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca, tezimin ne zaman biteceğini sabırla bekleyen ve bu süreç içinde maddi ve manevi hiçbir yardımdan kaçınmayan anne ve babama sonsuz şükranlarımı sunarım.

Haziran 2000

Emrah OĞUZHAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1.GİRİŞ	1
2. TEORİ	3
2.1 DRAGON2 Nötron Transport Kodu	3
2.1.1 Tarihi gelişimi	3
2.1.2 DRAGON2 kullanılarak yapılabilecekler	5
2.1.3 DRAGON2 yapısı hakkında bilgiler	5
2.2 DRAGON2’de Transport Denkleminin Çözümü	8
2.2.1 Standart PIJ metodu	11
2.2.2 Devirli PIJ metodu	12
2.2.3 IC metodu	13
2.2.4 $J_{\pm}$ metodu	15
2.3 Tükenme Modülünün Gelişimi	16
2.4 CITATION Nötron Difüzyon Kodu	19
2.4.1 Kodun çözdüğü problemler	19
2.4.2 Çözüm metodu	21
2.4.3 CITATION kodunun gerekliliği	21
2.4.4 Input datanın hazırlanışı	21
2.4.5 Difüzyon denkleminin enerji gruplarına ayrılması	22
2.4.5.1 Sabit kaynak	23
2.4.6 Makroskopik tesir kesiti ve reaksiyon hızı hesabı	23
3. SAYISAL UYGULAMALAR	27
3.1 ALMARAZ2 Reaktörü Hakkında Temel Bilgiler	27
3.2 ALMARAZ2 Reaktörü Yakıt Hücre Modeli	30
3.3 Yakıt Hücre Modeli Kullanılarak Yapılan Çalışmalar ve Bu Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar	33
3.3.1 Yakıtın değişik zenginlikleriyle sonsuz çoğaltma faktörünün değişimi	33
3.3.2 Pitch/Diameter oranlarıyla sonsuz çoğaltma faktörünün değişimi	33
3.3.3 Moderatör yoğunluğu azaltılması	39
3.4 17x17’lik ALMARAZ2 Yakıt Demeti Modeli	40
3.5 17x17’lik ALMARAZ2 Yakıt Demeti Modeli Kullanılarak Yapılan Çalışmalar	44
3.5.1 Yakıtın değişik zenginlikleriyle sonsuz çoğaltma faktörünün değişimi	44
3.5.2 Moderatör yoğunluğu azaltılması	47
3.5.3 Sıcaklık arttırımı	48

3.6 Projeje Katılan Ülkelerin Kullandıkları Kodlar	49
3.6.1 Bhabha Atomic Research Centre (Hindistan)	49
3.6.2 Universidad Polytechnica de Madrid (İspanya)	49
3.6.3 Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (Türkiye)	50
3.6.4 Ruder Boskovic Institute and University of Zagreb (Hrvatistan)	50
3.6.5 Boris Kidric Institute of Nuclear Sciences (Sırbistan)	50
3.6.6 Atomic Energy Corporation of South Africa (Güney Afrika Cumhuriyeti)	51
3.7 Pyrexglass'ın Yanıcı Zehir Olarak Kullanılması	53
3.8 Tükenme Analizi Yapılmasının Nedeni	53
3.9 Kalp Güç Dağılımı Hesabı	62
4. SONUÇLAR	68
KAYNAKLAR	70
EKLER	71
ÖZGEÇMİŞ	151



KISALTMALAR

IAEA	: International Atomic Energy Agency
NPP	: Nuclear Power Plant
AGR	: Advanced Grafit Reactor
IC	: Interface Current(ara yüzey akım)
PWR	: Pressurized Water Reactor
BPR	: Burnable Poison Rod
ppm	: piece per million
IND	: Hindistan
SPA	: İspanya
TUR	: Türkiye
CRO	: Hırvatistan
SER	: Sırbistan
SAF	: Güney Afrika Cumhuriyeti
DRA	: DRAGON
CITA	: CITATION

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No:
Tablo 2.1. Çeşitli çarpışma olasılığı metodlarıyla alanın ayrılması.....	9
Tablo 3.1. Yakıtı oluşturan izotopların değişik zenginliklerdeki izotopik yoğunlukları.....	32
Tablo 3.2. Almaraz2 reaktörü yakıt hücresi için yakıt zenginliği değiştirilerek elde edilen K_{inf} değerleri.....	34
Tablo 3.3. Yakıt hücresinde moderatör yarıçapı değiştirilerek elde edilen Pitch/Diameter oranlarına karşılık gelen K_{inf} değerleri.....	37
Tablo 3.4. Yakıt hücresinde yakıt, gaz aralığı, zarf yarıçapları değiştirilerek elde edilen Pitch/Diameter oranlarına karşılık gelen K_{inf} değerleri.....	38
Tablo 3.5. Yakıt hücresinde moderatör yoğunluğu azalma oranlarına karşılık gelen K_{inf} değerleri.....	39
Tablo 3.6. A, B, C, D, E yakıt demetlerinde moderatör, zarf, gaz aralığı ve yakıt sıcaklıkları.....	44
Tablo 3.7. C türündeki yakıt demeti için değişik zenginliklere karşılık gelen K_{inf} değerleri.....	45
Tablo 3.8. C türündeki yakıt demeti için değişik moderatör yoğunluğu azaltılmasına karşılık gelen K_{inf} değerleri.....	47
Tablo 3.9. C türündeki yakıt demeti için artan sıcaklıkla değişen K_{inf} değerleri.....	48
Tablo 3.10. Projeye katılan ülkelerin yakıt demetleri için %2.1, %2.6, %3,1 zenginliklerde elde ettikleri K_{inf} değerleriyle DRAGON2'den elde edilenlerin karşılaştırılması.....	51
Tablo 3.11. %2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	58
Tablo 3.12. %2.6 zenginlikte 20BPR ve 1000 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	59
Tablo 3.13. %2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	60
Tablo 3.14. %2.6 zenginlikte 20BPR ve 1000 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	61
Tablo 3.15. CITATION kodundan elde edilen Almaraz2 reaktörü güç dağılımı sonuçları.....	67

Tablo C.1.	A türündeki yakıt demeti için değişik zenginliklere karşılık gelen K_{inf} değerleri.....	78
Tablo C.2.	B türündeki yakıt demeti için değişik zenginliklere karşılık gelen K_{inf} değerleri.....	80
Tablo C.3.	D türündeki yakıt demeti için değişik zenginliklere karşılık gelen K_{inf} değerleri.....	82
Tablo C.4.	E türündeki yakıt demeti için değişik zenginliklere karşılık gelen K_{inf} değerleri.....	84
Tablo D.1.	%2.1 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	86
Tablo D.2.	%3.1 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	87
Tablo D.3.	%2.1 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	88
Tablo D.4.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	89
Tablo D.5.	%3.1 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	90
Tablo D.6.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 12 BPR içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	91
Tablo D.7.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 16 BPR içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	92
Tablo D.8.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 20 BPR içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	93
Tablo D.9.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 12BPR içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	94
Tablo D.10.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 16BPR içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	95
Tablo E.1.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U236 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	96
Tablo E.2.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U238 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	97
Tablo E.3.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	98
Tablo E.4.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu240 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	99

Tablo E.5.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu241 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	100
Tablo E.6.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu242 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	101
Tablo E.7.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U236 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	102
Tablo E.8.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U238 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	103
Tablo E.9.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	104
Tablo E.10.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu240 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	105
Tablo E.11.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu241 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	106
Tablo E.12.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu242 miktarı ve bu değerlerin diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	107
Tablo F.1.	%2.1 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238, U236 miktarları.....	108
Tablo F.2.	%2.1 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241,Pu242 miktarları.....	109
Tablo F.3.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238, U236 miktarları.....	110
Tablo F.4.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241,Pu242 miktarları.....	111
Tablo F.5.	%3.1 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238, U236 miktarları.....	112
Tablo F.6.	%3.1 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241,Pu242 miktarları.....	113
Tablo F.7.	%2.1 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238, U236 miktarları.....	114
Tablo F.8.	%2.1 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241,Pu242 miktarları.....	115
Tablo F.9.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238, U236 miktarları.....	116
Tablo F.10.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241,Pu242 miktarları.....	117
Tablo F.11.	%3.1 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238, U236 miktarları.....	118
Tablo F.12.	%3.1 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241,Pu242 miktarları.....	119

Tablo F.13.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 12BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238, U236 miktarları ve boron oranı.....	120
Tablo F.14.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 12BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları.....	121
Tablo F.15.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 16BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238, U236 miktarları ve boron oranı.....	122
Tablo F.16.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 16BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları.....	123
Tablo F.17.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238, U236 miktarları ve boron oranı.....	124
Tablo F.18.	%2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları.....	125
Tablo F.19.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 12BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238, U236 miktarları ve boron oranı.....	126
Tablo F.20.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 12BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları.....	127
Tablo F.21.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 16BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238, U236 miktarları ve boron oranı.....	128
Tablo F.22.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 16BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları.....	129
Tablo F.23.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238, U236 miktarları ve boron oranı.....	130
Tablo F.24.	%2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları.....	131
Tablo G.1.	Her bir yakıt demeti için CITATION kodunda kullanılmak üzere DRAGON2 kodundan elde edilen 0 tükenmedeki makroskopik tesir kesitleri.....	132

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 2.1	: DRAGON nötron transport kodunun gelişimi.....	4
Şekil 2.2	: DRAGON2’de kapıların hesaplama modülleriyle ilişkisi.....	7
Şekil 2.3	: Paralel Standart ve Tek Devirli Yol yaklaşımları arasındaki fark.....	13
Şekil 2.4	: CITATION kodu akış diyagramı.....	20
Şekil 3.1	: İspanya’nın nükleer tesisleri.....	27
Şekil 3.2	: Almaraz2 reaktörü yakıt hücresi (pincell) kesiti.....	31
Şekil 3.3	: Yakıt hücresi için artan zenginlikle değişen K_{inf} değerleri.....	35
Şekil 3.4	: Pitch/Diameter oranlarıyla K_{inf} değerlerinin değişimi.....	37
Şekil 3.5	: Pitch/Diameter oranlarıyla K_{inf} değerlerinin değişimi.....	38
Şekil 3.6	: Moderatör yoğunluğu azalmasıyla değişen K_{inf} değerleri.....	39
Şekil 3.7a	: DRAGON2 tarafından modellenen Almaraz2 yakıt demeti....	41
Şekil 3.7b	: Yakıt demeti içinde yer alan hücre çeşitleri.....	41
Şekil 3.7c	: 17x17’lik yakıt demetini DRAGON2’de temsil edecek 1/8’lik kısmı.....	41
Şekil 3.8a	: Almaraz2 reaktörü yakıt demetinde yer alan C2 hücresi.....	42
Şekil 3.8b	: Almaraz2 reaktörü assembly’inde yer alan C1 hücresi.....	42
Şekil 3.8c	: Almaraz2 reaktörü assembly’inde yer alan C4 hücresi.....	43
Şekil 3.8d	: Almaraz2 reaktörü assembly’inde yer alan C5 hücresi.....	43
Şekil 3.9	: C türündeki yakıt demeti için artan zenginlikle değişen K_{inf} değerleri.....	46
Şekil 3.10	: C yakıt demeti için moderatör yoğunluğu azaltılmasına Karşılık elde edilen K_{inf} değerleri.....	47
Şekil 3.11	: C yakıt demeti için artan sıcaklıkla değişen K_{inf} değerleri.....	48
Şekil 3.12	: Almaraz2 reaktöründe yakıt demetine eklenen yanıcı çubuk hücresi.....	54
Şekil 3.13a	: Almaraz2 reaktöründe yakıt demetine eklenen 20 zehirli yanıcı çubuğun yerleşim düzenleri.....	55
Şekil 3.13b	: Almaraz2 reaktöründe yakıt demetine eklenen 16 zehirli yanıcı çubuğun yerleşim düzenleri.....	55
Şekil 3.13c	: Almaraz2 reaktöründe yakıt demetine eklenen 12 zehirli yanıcı çubuğun yerleşim düzenleri.....	55
Şekil 3.14	: Almaraz2 reaktörü 1. Devir için yakıt demeti yerleşim düzeni.	63
Şekil 3.15	: CITATION kodunda Almaraz2 reaktör kalbinin temsili.....	64
Şekil 3.16	: 1. Devir için Almaraz2 reaktörünün CITATION kodunda gösterilen 1/4’lük kısmı.....	65

Şekil C.1	: A türündeki yakıt demeti için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.....	79
Şekil C.2	: B türündeki yakıt demeti için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.....	81
Şekil C.3	: D türündeki yakıt demeti için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.....	83
Şekil C.4	: E türündeki yakıt demeti için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.....	85



SEMBOL LİSTESİ

$\Phi_g(r, \Omega)$	: g'inci gruptaki açısal akı
$Q_g(r, \Omega)$	: g'inci gruptaki açısal kaynak
$\Phi_g(r)$	: g'inci gruptaki birleşik akı
$J_g(r)$	: g'inci gruptaki birleşik akım vektörü
$q_g(r, \Omega)$	: kaynak (filyon ve diğler gruptardan gelen aşığı ve yukarı saçılma)
$\Sigma_g(r)$	: toplam tesir kesidi
$\beta(r_s)$	: yerel albedo
n	: dış normal
Ω_R	: yansıma açısı
K	: tükenen izotop sayısı
L	: filyon ürünlerini üreten izotop sayısı
$N_k(t)$	: k'inci izotop için zamana bağılı number density (izotopik yoğunluk)
λ_k	: k'inci izotop için radyoaktif bozunum sabiti
$\sigma_{x,l}(u)$	: k'inci izotopun x nükleer reaksiyonu için leterjiye bağılı mikroskopik tesir kesidi (x = a ve x = f sırasıyla yutulma ve filyon tesir kesitleri yerini tutar)
$\phi(t, u)$	: zamana ve leterjiye bağılı nötron akısı
Y_{kl}	: fisil izotop l tarafından filyon ürününü k'nın üretimi için filyon ürünü
$m_{kl}(t)$	: l izotopu tarafından k izotopunun üretimi için radyoaktif bozunum sabiti
κ_k	: k fisil izotopunun filyon başına verdiği enerji (MeV)
C_0	: metrik ton cinsinden belirtilen ağır başlangıç elementlerinin kütleleriyle çarpılan çevirme faktörü
∇^2	: geometrik laplasyen operatörü
$\phi_{r,g}$	: r konumundaki ve g enerji grubundaki nötron akısı
$\Sigma_{a,r,g}$	: makroskopik yutulma tesir kesiti
$\Sigma_{s,r,g \rightarrow g'}$	: g enerji grubundan g' enerji grubuna saçılan nötronlar için makroskopik saçılma tesir kesiti
$D_{r,g}$	: difüzyon katsayısı
B_g^2	: buckling terimi
$\nu \Sigma_{f,r,g}$	: makroskopik üretim tesir kesiti
ν	: bir filyondan çıkan nötron sayısı
Σ_f	: makroskopik filyon tesir kesiti
χ_g	: Kaynak nötronları için dağılım fonksiyonu
k_e	: efektif çoğaltma faktörü
h	: görelî çekirdek yoğunluğu
$\Sigma_{a,r,g'}$	: yutulma tesir kesiti
$\Sigma_{p,r,g'}$	: üretim tesir kesiti
$S_{r,g}$	: sabit kaynak
N	: çekirdek yoğunluğu
P	: reaktörün gücü

ALMARAZ2 REAKTÖRÜ İÇİN DRAGON2 NÖTRON TRANSPORT – CITATION NÖTRON DİFÜZYON KOD ÇİFTİ YARDIMIYLA NÖTRONİK HESAPLAMA ZİNCİRİNİN OLUŞTURULMASI

ÖZET

Bu Yüksek Lisans Tez Çalışması iki bölüme ayrılarak incelenebilir. Birinci bölüm hücre hesaplamaları, ikinci bölümse global kalp hesaplamalarıdır. Hücre hesaplamaları için Ecole Polytechnique de Montreal'de geliştirilen DRAGON2 nötron transport kodu, global kalp hesaplamaları için Oak Ridge Ulusal Laboratuvarlarında geliştirilen CITATION nötron difüzyon kodu kullanılmıştır. Tüm hesaplamalar PWR tipi bir reaktör olan ve 1983 yılında işleme açılan İspanya'nın Almaraz2 reaktörü yakıt hücresi, yakıt demetleri ve kalbi modellenerek gerçekleştirilmiştir.

Hücre hesaplamaları Almaraz2 reaktörü yakıt hücresi ve yakıt demetleri üzerinde yapılmıştır. Hücre hesaplamaları statik hücre hesaplamaları ve tükenme hücre hesaplamaları olmak üzere ikiye ayrılır. Statik hücre hesaplamalarının amacı farklı zenginlikteki yakıt hücresi ve yakıt demetleri için K_{inf} (sonsuz çoğaltma faktörü) değerlerini elde etmektir. Tükenme hücre hesaplamalarının amacı tükenmeyle K_{inf} değerlerinin, uranyum ve plütonyumun izotopik içeriğinin nasıl değiştiğini görmek ve dışarıya kaçış olmadan yanıcı yutucu çubuklarda kalan boronu bulabilmek için yapılmıştır. Statik hücre hesaplamaları yapılarak yakıt hücresi ve beş değişik yakıt demeti için % 1.5, % 1.7, % 1.9, % 2.1, % 2.3, % 2.5, % 2.6, % 2.7, % 2.9, % 3.1, % 3.3, % 3.5 zenginliklerinde K_{inf} değerleri elde edilmiştir. Ayrıca yakıt hücresi üzerinde moderatör yoğunluğu azaltılması ve Pitch/Diameter oranlarının değiştirilmesiyle, yakıt demeti üzerinde moderatör yoğunluğu azaltılması ve sıcaklık arttırımıyla K_{inf} değerlerinin nasıl değiştiğini görmek için çalışmalar yapılmıştır. Tükenme hesaplamaları % 2.1, % 2.6, % 3.1 zenginlikte UO_2 içeren yakıt demetleri için 0, 150, 2000, 4000, 6000, 8000, 10000, 140000, 18000, 22000, 26000, 30000, 34000, 38000, 42000, 46000, 50000 MWd/tU burn-up (tükenme) değerlerinde 0 ve 1000ppm'lik boron ve yanıcı yutucu çubuklar katılarak yapılmıştır. Tükenme hesaplamaları 0 MWd/tU'da Xe olmadığı ve sonradan dengeye geldiği yaklaşımıyla yapılmıştır. Global kalp hesaplamalarıysa Almaraz2 reaktörü 1. devri için kalp üzerinde yapılmıştır. 0 burn-up'ta Almaraz2 reaktörü 1. devir güç dağılımı elde edilmiştir.

Bu hesaplamaların büyük bir çoğunluğundan elde edilen sonuçlar daha önce altı ülkenin – İspanya, Hindistan, Hırvatistan, Sırbistan, Güney Afrika Cumhuriyeti, Türkiye (Ç.N.A.E.M.)- katılımıyla gerçekleştirilen projenin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Amaç kodların etkili ve zayıf oldukları noktaların görülmesidir. Sonuçlar karşılaştırıldığında yeterli yakınlığın sağlandığı görülmüştür.

FORMATION OF NEUTRONIC CALCULATION CHAIN WITH THE HELP OF DRAGON2 NEUTRON TRANSPORT-CITATION NEUTRON DIFFUSION CODE PACKAGE FOR ALMARAZ2 REACTOR

SUMMARY

This study should be examined in two parts. First part is cell calculations, and the second part is global core calculations. DRAGON2 neutron transport code which was developed in Ecole Polytechnique de Montreal was used for cell calculations, and CITATION neutron diffusion code which was developed in Oak Ridge National Laboratories was used for global core calculations. Almaraz2 reactor in Spain was used to perform all pincell, assemblies and core calculations. Almaraz2 is a Westinghouse type of PWR.

Cell calculations were performed with using the DRAGON2 inputs of pincell and assemblies of Almaraz2. Cell calculations can be divided into two parts. One is static lattice cell calculations, and the other is burn-up lattice cell calculations. Static cell calculations were performed to obtain K_{inf} values for pincell and assemblies which had different enriched fuel. Burn-up lattice cell calculations were performed to see variations of K_{inf} , and variations of uranium and plutonium isotopic inventory with burn-up. One function of these calculations was to find the amount of boron remaining in burnable absorbers. Static cell calculations were performed for pincell and five different assemblies had % 1.5, % 1.7, % 1.9, % 2.1, % 2.3, % 2.5, % 2.6, % 2.7, % 2.9, % 3.1, % 3.3, % 3.5 enriched fuel. In addition, some calculations like halving the number density of moderator and changing Pitch/diameter ratios were made to see variations of K_{inf} with using pincell input and some calculations like halving the number density of moderator and increasing the temperature of fuel, gap, clad, coolant were made to see the variations of K_{inf} with using the assembly input. Burn-up lattice cell calculations were done for assemblies had % 2.1, % 2.6, % 3.1 enriched fuel at 0, 150, 2000, 4000, 6000, 8000, 10000, 140000, 18000, 22000, 26000, 30000, 34000, 38000, 42000, 46000, 50000 MWd/tU burn-up values at 0 and 1000 ppm boron concentrations with the assumptions of no Xe at burn-up 0 MWd/tU, and equilibrium Xe thereafter. Global core calculations were performed to obtain core power distribution of Almaraz2 for Cycle 1.

Finally, the results obtained from these calculations compared with the results obtained from the project of six participants Spain, India, Croatia, Serbia, South Africa, Turkey (Ç.N.A.E.M). The aim of this study to see the the strong and weak parts of the two codes and applied computational approaches and to determine the capacity of the two codes in some neutronic calculations. It can be said the comparison of the results was in a good agreement.

BÖLÜM 1 GİRİŞ

Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu tarafından desteklenen ve koordine edilen, uzun yıllar süren araştırma ve geliştirme faaliyetleri sonucu PWR, BWR, PHWR tipi reaktörler için yakıt yönetimi kod paketleri hazırlanmış ve geliştirilmiştir. Bu kodlar üç grupta toplanabilir. Birinci grup, nükleer mühendisler için kalp içi yakıt yönetimine ilk girişte yararlı olabilecek seviyede kodları içerir. İkinci grup, yeniden yükleme lisansı için yeterli olmayan kesinlik derecesine sahip, alan ve hassalık analizlerinde kullanılabilen kodlardan oluşur. Üçüncü grup, gerçek reaktör tasarımı, lisansı ve işletimi için gerekli bilgiyi sunabilen kodlardan oluşur.

IAEA'nın bu alanda desteklediği araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin sonraki amacı ikinci ve üçüncü grupta yer alan kodları kontrol etmek için uygun test durumları geliştirmektir. Bu amaçla önceden geliştirilmiş kod paketlerini iyileştirmek ve geçerli hale getirmek için 1988 yılında yeni bir araştırma projesi başlatıldı. Hesaplamalar için gerekli olan bilgiler reaktörlerden, yakıt üreticilerinden ve ele alınan reaktörü işleten kuruluştan alınacaktı.

Kendi kod paketlerini kontrol etmek isteyen farklı katılımcıların elde edecekleri sonuçları karşılaştırmak ve kalp içi yakıt yönetiminde referans çözümler sunabilmek için teslim edilecek sonuçların belirli bir formatta olması gerekiyordu.

Test uygulamalarından elde edilen sonuçlar hesaplamaların yapılması için gerekli olan parametrelerden daha fazla bilgi içermekteydi. Örneğin, bu bilgiler kalp tüketimi sırasında çeşitli zamanlarda kalpte yer alan her bir yakıt demeti için K_{inf} (sonsuz çoğaltma faktörü) değerleridir, homojenleştirilmiş izotopik yoğunluklardır, seçilmiş reaksiyon hızlarıdır. IAEA üyesi ülkelerde geçerli olan kod paketleri ayrıca başlama testleri için gereken parametrelerin hesaplanması ve kaza analizi gibi durumlarda da kullanılabilir.

PWR için hazırlanan örnek problem NPP Almaraz2 reaktörü birinci ve ikinci devirleri için yakıt demeti ve kalp bilgisi elde edilmesi üzerine kurulmuştur. Madrid

Politeknik Üniversitesi İspanya’da bulunan Almaraz2 reaktörünü işleten kuruluşla işbirliği yaparak Almaraz2 reaktörü hakkında belirlenen format içinde seçilen teknik bilgileri sağlamıştır. Referans olarak Almaraz2’nin ilk iki devrinin işletimi sırasında elde edilen ölçümler sunulmuştur.

Hazırlanan bu projeye altı katılımcı kullandıkları nötron transport-nötron difüzyon kod çiftinin geçerliliğini kontrol etmek için katılmıştır. Bu katılımcılar Hindistan, İspanya, Türkiye (ÇNAEM), Hırvatistan, Sırbistan ve Güney Afrika Cumhuriyetidir [1].

Bu yüksek lisans tezinde Almaraz2 reaktörünün yakıt hücresi, yakıt demeti ve kalp modellemeleri Ecole Polytechnique de Montreal’de geliştirilen DRAGON2 nötron transport ve Oak Ridge Ulusal Laboratuvarlarında geliştirilen CITATION nötron difüzyon kod çifti kullanılarak yapılmıştır. Bu modeller kullanılarak yakıtın değişik zenginlikleriyle K_{inf} ’in nasıl değiştiği, kaza analizi, tükenmeyle K_{inf} ’in, uranyum ve plütonyum izotoplarının nasıl değiştiği, kalp güç dağılımı çalışmaları ve daha bir çok çalışma yapılarak nötronik hesaplama zinciri oluşturulmuştur.

Bu tezde yapılmış olan çalışmalar ve hesaplamaların amacı yalnızca elde ettiğimiz sonuçların daha önce altı ülkenin katılımıyla gerçekleştirilen projenin sonuçlarıyla karşılaştırılması değildir. Ayrıca, yapılan hesaplamalar ile ilgili bir referans çözüm sunabilmektir. Yani, asıl amaç DRAGON2 nötron transport ve CITATION nötron difüzyon kod çiftinin etkili ve zayıf olduğu noktaların belirlenmesidir. Kodların etkili ve zayıf noktalarının belirlenmesi, kodların belirli reaktör tipleri ve durumlar için ayarlanabilmesine ve geliştirilebilmesine olanak verecektir.

Tezin ikinci bölümünde kullanılan iki kodun ne zaman ve nerede geliştirildikleri, hesaplama modülleri hakkında bilgiler, transport ve difüzyon denklemlerini çözerken kullandıkları yöntemler ve tükenme modülünün gelişimi anlatılmıştır. Üçüncü bölümde Almaraz2 reaktörü hakkında genel ve teknik bilgiler verilmiş ve yakıt hücresi, yakıt demeti ve kalp modelleri üzerinde çeşitli nötronik hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar altı ülkenin elde ettiği sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Dördüncü bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

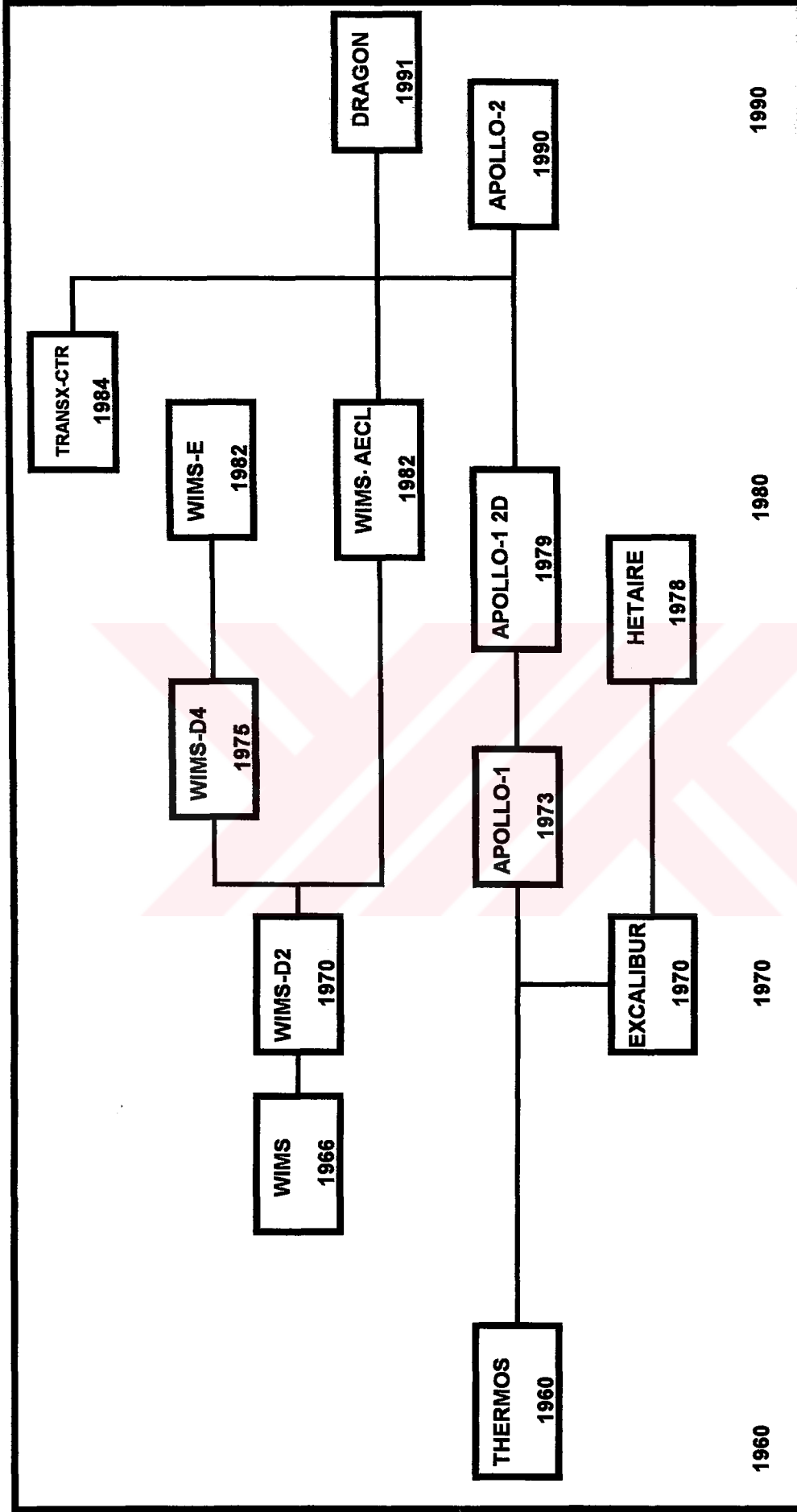
BÖLÜM 2 TEORİ

2.1 DRAGON2 Nötron Transport Kodu

DRAGON2 bilgisayar kodu nötron transport denklemini çözmek için kullanılan farklı model ve algoritmaları birleştirmek, modern hale getirmek, ve yeni hesaplama tekniklerindeki gelişmeleri kolaylaştırmak için Ecole Polytechnique de Montreal'de yazılmış ve geliştirilmiştir [2]. Bu kod uluslararası alanda kullanılan birkaç koddan biridir. Nükleer reaktörün yakıt demetlerinin veya birim hücrenin nötronik davranışı bu kod ile incelenebilir. Diğer bir deyişle DRAGON2 kodu, CANDU ve PWR reaktörlerinde kare veya altıgen şeklinde görülen karmaşık geometrileri ele almada kolaylık sağlayan, nötron transport teorisi üzerine kurulmuş yeni bir hücre kodudur.

2.1.1 Tarihi Gelişimi

Şekil 2.1'den de görüleceği üzere DRAGON kodu oluşturulurken APOLLO1, WIMS-AECL ve TRANSX-CTR kodlarından elde edilen deneyimlerden yararlanılmıştır. Örneğin, DRAGON2 nötron transport kodu APOLLIB1 tesir kesidi kütüphanelerinin kullanımına olanak verecek şekilde geliştirilmiştir. Dolayısıyla PWR kafeslerinin (lattice) modellenmesinde APOLLO ailesine mensup kodların yaptığı işlerin büyük bir çoğunluğunu aynen gerçekleştirir. Ayrıca, DRAGON2 nötron transport kodu WIMS-AECL kodunun PIJ algoritmasına benzer yakıt demeti modelleri içerir. Bu da CANDU, AGR, VVER kafeslerinin çözümünde yarar sağlar. Son olarak DRAGON2 fisyon ve saçılma matrislerinin kullanımı ve depolanması için TRANSX-CTR koduyla aynı tesir kesidi gösterimine sahiptir. İki kod da MATXS kütüphanesinin içerdiği izotopların homojen karışımlarının çözümü için aynı nötronik sonuçları verir [3]. Anlaşılabacağı gibi DRAGON2 bu üç uluslar arası kodun birtakım özellikleri alınarak ve geliştirilerek oluşturulmuş bir üst düzey



Şekil 2.1 DRAGON kodunun gelişimi [3]

koddur. Dört farklı tipte uluslararası standartlara uygun kütüphaneyi (WIMSLIB, DRAGLIB, APOLLIB, MATXS) kullanabilmesi ayrıca önemli bir avantajdır.

2.1.2 DRAGON2 Kullanılarak Yapılabilecekler [2]

DRAGON2 nötron transport kodu hücre kodu için gereken rezonans self-shielding hesabı, akı hesaplaması, çoğaltma faktörü (K_{inf}) hesabı, kritik buckling araştırması, izotopik tükenme (isotopic depletion) hesabı gibi önemli hesapların hepsini gerçekleştirir.

DRAGON2 nötron transport koduyla yapılabilecekler kabaca beş maddede toplanılabilir;

- 1-) MATXS, DRAGLIB, WIMSLIB, APOLLIB standart kütüphanelerince desteklenen tesir kesitlerinin interpolasyon ve transkripsyonu.
- 2-) Çok boyutlu geometrilerde rezonans self shielding hesaplamaları.
- 3-) Temel mod (fundamental mode) modelini kullanarak nötron kaçışını gözönünde tutan çok gruplu ve çok boyutlu nötron akı hesaplamaları.
- 4-) Transport-transport veya transport-difüzyon eşitlik denklemleri hesabı.
- 5-) İzotopik tükenme hesaplamaları.

2.1.3 DRAGON2 Yapısı Hakkında Bilgiler [2]

DRAGON2 kodu nötron transport denklemini çözen farklı algoritmaları kontrol eder. Bu algoritmaların her biri, diğer enerji gruplarından gelen dağılımın kaynak terimine dahil edildiği tek grup çözüm yöntemi şeklinde gösterilir. DRAGON2'nin kullanılan versiyonu böyle üç algoritma içermektedir.

JPM	$J_{\pm}$ metodunu (homojen bloklara uygulanan interface current metodunu) kullanarak integral transport denklemini çözen algoritma.
SYBIL	Çarpışma olasılığı metodunu veya interface current metodunu (ara yüzey akım metodu) tek veya iki boyutlu durumlarda kullanarak integral transport denklemini çözen algoritma.
EXCELL	2 boyutlu demet geometrileri çözümleyebildiği gibi, kare ve altıgen geometrileri aynı anda barındıran 3 veya 2 boyutlu

durumlar için çarpışma olasılığı metodunu kullanarak integral transport denklemini çözen algoritma.

DRAGON2 nötron transport kodu modüler bir yapıya sahiptir. Modüleritesi ileri programlama tekniklerinin kullanılmasıyla sağlanmıştır. Basit, hiyerarşik temel data modüller arasında bilgi alışverişini kolaylaştırmak, önemli kafes parametrelerini toplamak ve kodun yeniden başlatılabilmesine olanak vermek için sunulmuştur. DRAGON2, GAN genelleştirilmiş sürücüsü üzerine kurulmuş bir koddur. Sonuç olarak denilebilir ki, DRAGON2 nötron transport kodu GAN genelleştirilmiş sürücüsünü kullanan, birbirine bağlanmış hesaplama modüllerine ayrılabilen çok grup integratörü ve kafes hücre kodudur. Bu modüller, 4 standart “doors” (kapı) ve T modülünün kullanılmasıyla tek grup transport çözüm teknikleriyle ilişkilendirilmişlerdir. Modüllerle kapılar arasındaki ilişki Şekil 2.2’de gösterilmiştir. T modülü ve dört kapı aşağıdaki görevleri yerine getirirler.

modül T: Problemde belirtilen geometriyi bilgisayara aktarır. Bağlı liste tahsis edilmesini, alan ve yüzey numaralandırılmasını, ve integrasyon yollarının üretimini sağlar.

door P: Kaynak içeren tek gruplu problemin doğrudan çözümü için gerekli olan bütün çarpışma olasılıklarını hesaplar.

door A: Kaynak içeren tek gruplu problemin doğrudan ve ya iteratif çözümü için gereken matrisleri birleştirir.

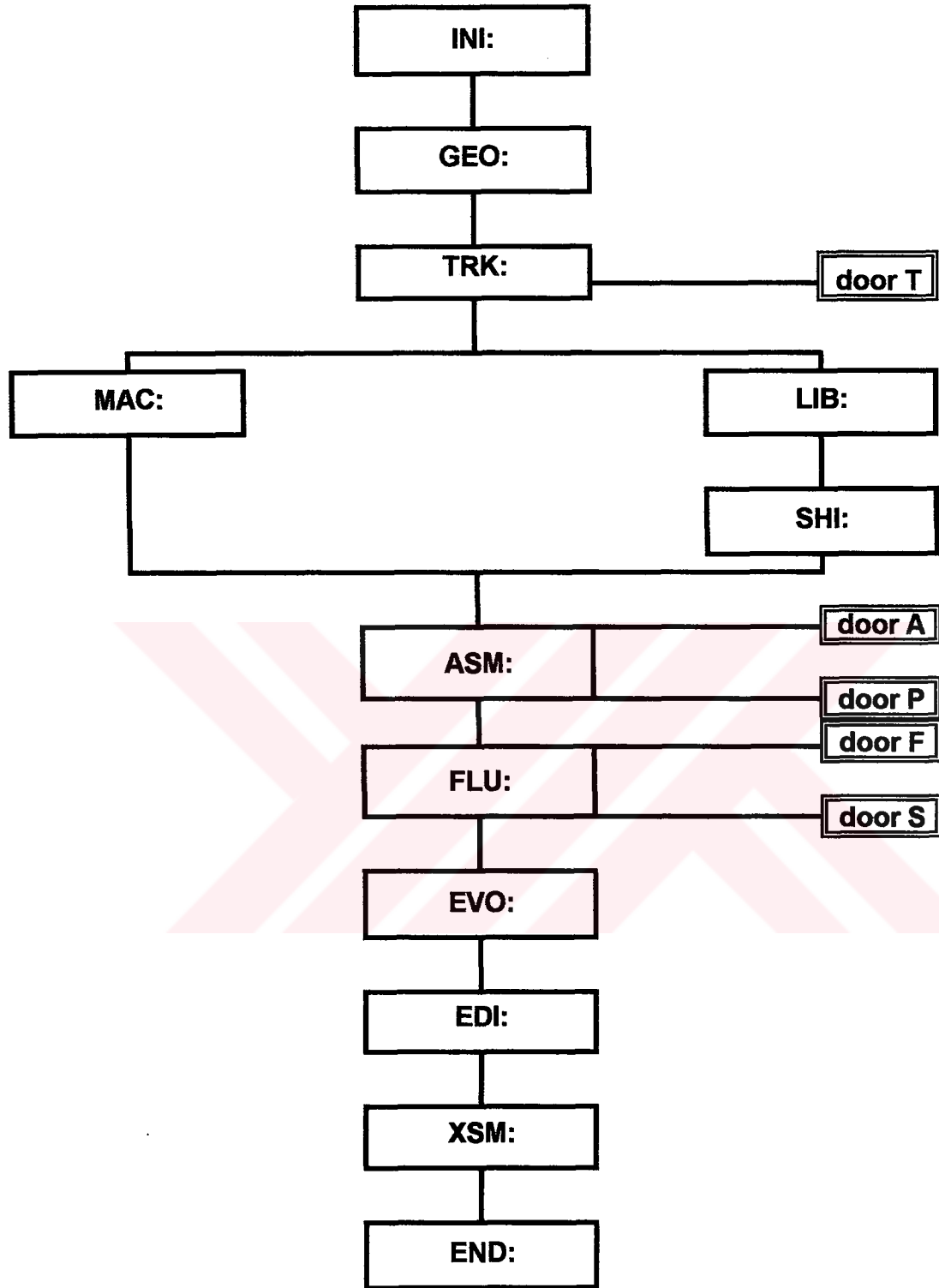
door F: Uygun matrisi kullanarak kaynak içeren tek gruplu problemi çözer.

door S: Uygun matrisi kullanarak, verilen akıyla ve kaynak dağılımıyla ilgili kaynak fazlalığını çözümler.

Çok gruplu problemin çözümü birkaç tip iterasyon gerektirir.

1-) Nötronların yukarı saçılmaya (upscattering) uğradıkları durumda termal akı dağılımını yeniden dengelemek için DRAGON2 tarafından yapılan termal iterasyonlar.

2-) Çoğaltan ortam analiz edilirken özdeğer problemini çözmek için DRAGON2 tarafından gerçekleştirilen güç iterasyonları. Efektif çoğaltma faktörü (K_{eff}) güç



Şekil 2.2 DRAGON2'de door(kapı)ların hesaplama modülleriyle ilişkisi [4]

iterasyonlarıyla elde edilir. Kritik buckling araştırması, çoğaltma faktörünü sabit bir değer almaya zorlayan güç iterasyonu yapılr.

JPMP ailesine mensup door'lar geometriyle ilgili her bölgede interface current tekniğini kullanırlar. DRAGON2'de JPM hesaplamaları JPMT: modülünün JPMP, JPMA, JPMF, JPMS door'larıyla birlikte kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir. JPMP door'u her bir homojen bölge için çarpışma, kaçış ve transmisyon olasılıklarını kullanarak tüm geometri için çarpışma olasılıklarının yeniden yapılmasını sağlar. JPMA daha sonra JPMF ve JPMS door'ları tarafından kullanılacak matrisleri türetir. Seyrek matris cebri kullanılarak iteratif olmayan hesaplamalarla tek grup nötron akısının bulunması sağlanır.

SYBIL ailesine mensup door'lar, APOLLO1 kodundaki ana akı hesaplamasındaki seçeneklerin aynısını yerine getirirler. Ayrıca interface current metodunu kullanarak dörtgen ve altıgen geometrilerin her ikisi için de reaktör assembly hesaplarını yapan EURYDICE-2'nin yeni versiyonunu içerir. Ara yüzeylerde açısız akı yaklaşımından kaçındığı ve bütünü üzerinde tüm çarpışma hesaplarını yaptığı için JPM'den daha az yaklaşımcıdır. SYBIL geometri için JPM'le aynı data yapısına sahiptir; böylelikle bir door'dan diğerine transfer de kolaydır. SYBIL ailesine mensup door'lar SYBILT: modülünü DRAGON2'nin SYBILP door'uyla birlikte kullanırlar.

EXCELL ailesine mensup door'lar 2 veya 3 boyutlu dörtgen ve silindirik olarak karıştırılmış geometrilere sahip durumlar için çarpışma olasılıklarını hesaplar. EXCELL hesaplamaları EXCELT: modülü ve EXCELP door'u kullanılarak yapar. DRAGON-2, WIMS ve APOLLO.GOX format dosyalarını kullanarak, TRANSX-CTR ve ya TRANSX-2 gibi kodlarla makroskopik tesir kesitlerini karşılıklı değiştirebilme yeteneğine sahiptir. Ayrıca makroskopik tesir kesidi DRAGON2'nin input dosyası yoluyla da okunabilir.

DRAGON2 nötron transport kodu kullanılarak input datanın hazırlanması, modüllerin nasıl kullanılacağı ve görevleri hakkındaki bilgiler Ek A'da verilmiştir.

2.2 DRAGON2'de Transport Denkleminin Çözümü [5]

Bu bölüm DRAGON2 hücre kodunda transport denkleminin çözümü için farklı teknik kullanan 4 kısma ayrılır.

$$\vec{\Omega} \cdot \vec{\nabla} \Phi_g(r, \vec{\Omega}) + \Sigma_g(r) \Phi_g(r, \vec{\Omega}) = Q_g(r, \vec{\Omega}) \quad (2.1)$$

$\Phi_g(r, \Omega)$ ve $Q_g(r, \Omega)$ sırasıyla g'inci gruptaki açısal akı ve açısal kaynaktır. Basitleştirilmiş lineer anizotropik modelde kaynak akıya bağlıdır.

$$Q_g(r, \vec{\Omega}) = \frac{1}{4\pi} [\Sigma_{s,g \rightarrow g}^0(r) \Phi_g(r) + 3\Sigma_{s,g \rightarrow g}^1(r) \vec{\Omega} \cdot \vec{J}_g(r, \vec{\Omega})] + q_g(r, \vec{\Omega}) \quad (2.2)$$

burada $\Phi_g(r)$ ve $J_g(r)$ sırasıyla g'inci gruptaki birleşik akı ve birleşik akım vektörüdür, kalan kaynak $q_g(r, \Omega)$ da fisyon ve diğer gruplardan gelen aşağı ve yukarı saçılmanın yerini tutar. Lineer anitropik etkinin gözönüne alındığı durumda, denklem (2.1)'deki toplam tesir kesidi $\Sigma_g(r)$ kullanılarak uygun bir yaklaşım yapılabilir. Bununla birlikte, kafes hücre hesaplamalarının çoğunda lineer anizotropik bileşen yaklaşımı için transport düzeltmesi yapılmış tesir kesitleri kullanılır ve izotropik problem çözülür. Şimdi de, (2.1) ve (2.2) denklem setinin inverse power (ters güç) metodunu kullanan çok grup modeli içinde verilen uygun sınır koşullarıyla çözüleceği varsayılacak fakat tek grup akı çözücü ve onun çeşitli yaklaşımları üzerinde durulacaktır. Bu yaklaşımları gösterebilmek için, transport denklemleri bölgelere ayrılmış $V_i (i = 1, I)$ sonlu bir alana sınırlandırılacak ve yüzeylere ayrılan $S_\alpha (\alpha = 1, A)$ alanının dış sınırı ∂D üzerinde kabul edilen sınır koşulları kullanılacaktır. Aşağıdaki tabloda DRAGON'un mevcut metodlarıyla alanın nasıl ayrılabilirliği gösterilecektir.

Tablo 2.1 Çeşitli çarpışma olasılığı metodlarıyla alanın ayrılması.

Metod	Alt alanların sayısı	Alt alandaki bölgeler	Alt alandaki yüzeyler	Sınır koşulları
PIJ	$N = I$	$V_i (i = 1, I)$	$S_\alpha (\alpha = 1, A)$ Yalnızca dış	Albedolar spekular ve ya izotropik
IC	$I < N < I$ $I = K \cup K' \cup \dots$	$V_i (i \in K)$	$\partial V_i \cap \partial V_j \neq \emptyset$ $(i \in K, j \in K')$	İç DP ₀ veya DP ₁ çifti
$J_\pm$	$N = I$	Yalnızca V_i	$\partial V_i \cap \partial V_j \neq \emptyset$ $(i, j = 1, I)$	İç DP ₀ veya DP ₁ çifti

Dış sınırdaki, DRAGON'da izotropik ve spekular olarak adlandırılan iki temel yerel sınır koşulu tanımlanabilir. $r_s, r_s' \in \partial D$ olduğu kabul edilirse, bu sınır koşulları β çekirdek fonksiyonundan aşağıdaki gibi tanımlanabilir. Spekular sınır koşulu için,

$$\beta(r_s', \vec{\Omega}' \rightarrow r_s, \vec{\Omega}) = \beta(r_s) \delta_2(\vec{\Omega}' \cdot \vec{\Omega}_R) \delta(r_s' - r_s) \quad (2.3a)$$

ve izotropik sınır koşulu için,

$$\beta(r_s', \vec{\Omega}' \rightarrow r_s, \vec{\Omega}) = \beta(r_s) \frac{\vec{\Omega}' \cdot \vec{n}}{\pi} \delta(r_s' - r_s) \quad (2.3b)$$

yukarıdaki formülde $\beta(r_s) \rightarrow$ yerel albedo, $n \rightarrow$ dış normal ve $\Omega_R \rightarrow$ yansıma açısıdır.

Bu denklemlerden korunmak istenen şey, izotropik dış sınırdaki gelen açısal akının dışa giden nötronlar hakkındaki bilgi kaybı ve gelen nötronların gelen akımın kosünüsü cinsinden açısal olarak homojenleştirileceğidir.

(2.3b)'de, yerel albedoların her yüzey üzerinden sabitlendiği varsayılır. Bu varsayım da genellikle diagonal olan $A \times A$ boyutunda iç-dış akım çifti matrisini ortaya çıkarır. Daha sonra da görüleceği gibi standart ve devirli (cyclic) PIJ metodları arasındaki en büyük farklılık da yaptığımız bu iki yaklaşımdır.

İlerde yapılacak yaklaşımlar D alanındaki bilinmeyen sayısını azaltmak için kullanılacaktır. İki yaklaşım ele alınabilir. Ara yüzey akım metodunda(IC), alan, kendi içinde arayüzey akım çiftleri oluşturan küçük alanlara ayrılır. $J_{\pm}$ metodu, alanın I orijinal bölgeye bölündüğü ve her bir bölgenin de kendi alt alanını oluşturduğu istisnai bir durumdur. DP_0 yaklaşımının yapıldığında iç akımlar (2.3b) denkleminde benzer bir denklemlerle çiftlenirler (coupling). Bu da yüzey üzerinden homojenleştirilmeleri ve açı üzerinden integrallerinin alınması demektir. Ara yüzeylerin arttırılması çözümün doğruluğunu azaltır. Bu problem ara yüzeylerde geliştirilmiş çiftlerin oluşumuyla kısmen engellenebilir. Örneğin $J_{\pm}$ metodunda $r_i \in \partial V_i$ varsayılırsa, daha doğru olan bu metod lineer kısım ekleyeceğimiz DP_1 yaklaşımını kullanarak iç akımları hesaplayacaktır.

$$J_{\pm}(r_i, \vec{\Omega}) = t_0(r_i) + \vec{T}_1(r_i) \cdot \vec{\Omega} \quad (2.4)$$

Bu genişletme her yüzey üzerinden yerel ortanormal temel kullanılarak yapılır ve sonra ara yüzey akımları doğru bir şekilde çiftlenerek tüm alan oluşturulur. (2.4)'üncü denklemde gelen ve giden akım bileşenleri yüzey üzerinden sabit olacak şekilde kabul edilir. Bu akımlar (2.2). denklemdekilerle aynı anlama gelmez. DP₁ yaklaşımı ayrılmış alan içindeki kesinliği arttırmak için yapılan (2.3b)'nin geliştirilmiş bir versiyonudur. Şimdi DRAGON'daki her bir çarpışma olasılığı metodunun özelliklerini detaylı olarak görelim.

2.2.1 Standart PIJ Metodu

DRAGON2'nin daha önceki versiyonlarından farkı ele alınabilen iki ve üç boyutlu geometrilerin çeşidinin ve sayısının artırılmış olmasıdır. Ama daha önemlisi, çarpışma olasılığı tekniğinin kullanılmasının bu versiyonda modern hale getirilmesidir. DRAGON'un yeniden yapılandırılmasının başlıca iki avantajı vardır. Birincisi, iki ve üç boyutlu integrasyon hesaplamaları geometri özelliklerinden bağımsız hale getirilmiştir. Bu da geometri tam olarak verilmeden sonuç alınabilmesini sağlar, çünkü standart izleme dosyası bu geometriyi türetir. Örneğin, cluster geometrinin ayrılmasında DRAGON'da bazı kısıtlamalar olsa bile WIMS-AECL izleme dosyası DRAGON izleme dosyasına çevirilebilir ve çarpışma olasılığı hesaplamaları için kullanılabilir. İkincisiyse iki ve üç boyutlu durumlarda integrasyon hesaplamalarının iyileştirilmesi ve boş bölgelerde çarpışma olasılıklarının hesaplanabilmesidir.

Diğer gelişmeler şöyledir.

- Hangi tip geometriyle ilgili olursa olsun dosya içindeki hacimler için trackingi(izlemeyi) doğru olarak normalize etmek için tek rutin hesaplama programlamak.
- Geometri tanımlamasından bağımsız üç tip çarpışma olasılığı normalizasyon metodu 1-) diagonal 2-) Gelbard 3-) nonlinear normalizasyon teknikleri.

Çarpışma olasılığı hesaplamalarını yapabilmek için DRAGON'da tanımlanabilen iki boyutlu geometriler şunlardır.

- Kartezyen hücreler ve yakıt demetleri : Merkezi silindirik alt bölüm içeren dikdörtgen ve kare hücreler ve içinde merkezi silindirler bulunan dikdörtgen ve kare hücrelerin oluşturduğu yakıt demetleri.
- Hegzagonal hücreler ve yakıt demetleri : Merkezi silindirik alt bölüm içeren hegzagonal hücreler ve bu türden hegzagonal hücrelerin oluşturduğu yakıt demetleri.
- Cluster içeren hücreler : Dış kartezyen, hegzagonal ve dairesel sınırlı yakıt hücresi.

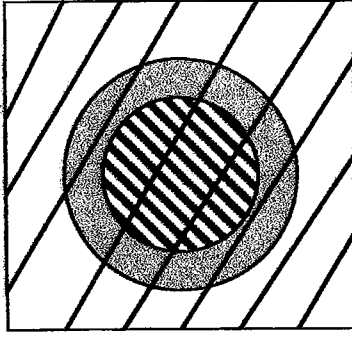
Tanımlanabilen üç boyutlu geometriler de şunlardır.

- Kartezyen hücreler ve yakıt demetleri : Merkezi silindirik alt bölüm içeren dikdörtgen ve kare hücreler ve X, Y, Z doğrultularında merkezi silindirik alt bölümler içeren dikdörtgen ve kare hücrelerin oluşturduğu yakıt demetleri.
- Hegzagonal hücreler ve yakıt demetleri : Merkezi silindirik alt bölüm içeren hegzagonal hücreler ve Z doğrultusunda silindirik alt bölmeler içeren XY düzlemindeki hegzagonal hücrelerin oluşturduğu yakıt demetleri.

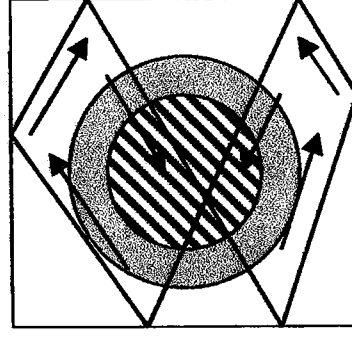
CANDU reaktörlerinin analizi için üç boyutlu süper hücrede olduğu gibi (reaktivite mekanizmasını modellemek için) DRAGON iki boyutlu cluster hücreleri için transport denklemini çözebilir. Bu iki çözüm de tek bir DRAGON hesabıyla elde edilebilir. Üç boyutlu süper hücre modeli bütün kütüphane yapısını kullanabildiğinden herhangi bir noktada grup yoğunlaştırılmasına gidilmesine ihtiyaç yoktur.

2.2.2 Devirli (Cyclic) PIJ Metodu

Bir önceki bölümdeki standart izleme yaklaşımında birim hücre veya hücrelerin yakıt demetinin dış yüzeyleri CP çözümlemesinde hâlâ mevcut durumdadır. Kişi sistemi kapatabilmek için akımların bu yüzeylerde izotropik olduğunu farzetmek zorundadır. Bu yaklaşım dış yüzeylerde orijinal yönleri hakkındaki tüm bilgileri kaybeden izleme çizgileriyle sonuçlanır. Alternatifi, araştırma altındaki hücrenin sonlu sayıda çaprazlanmasından sonra yolun bir anlamda başlatılan yerde bittiği “devirli” yol üzerine konularak seçilen bir numerik alan hesabını içerir. İki yaklaşım arasındaki fark Şekil 2.3’te gösterilmiştir.



Paralel Standart Yol



Tek Devirli Yol

Şekil 2.3 Paralel Standart ve Tek Devirli Yol yaklaşımları arasındaki fark.

İki boyutlu kartezyen geometriler için spekular sınır koşulları gözönüne alındığında izotropik saçılma ve kaynakla devirli yol yöntemi kullanılarak integral transport denklemi çözülebilir. Çarpışma olasılığı hesaplamaları, bu devirli yollar üzerinde sonsuz çizgi integrasyonu sonucu oluşan kapalı form dağılımlarının toplanmasıyla yapılabilecektir. Bu metod ayrıca anizotropik saçılmalı durumlar için de genişletilmiştir.

Devirli yol yönteminin en önemli özellikleri aşağıda verilmiştir.

- Sınır koşullarını dahil etmek için hiçbir yaklaşım yapılmamıştır.
- Boş bölge problemlere kolaylıkla uygulanabilecektir.
- Devirli yol yöntemi test edilirken hiçbir ışın etkisi bulunmamıştır.

Orta boy problemler için (birkaç yüz bölgeden fazlaya ayrılmayan), - bir çok kontrolden sonra- bu integral metodunun geçerli olduğu sonucuna varılabilir.

2.2.3 IC Metodu(Ara Yüzey Akım Metodu)

Yukarıdaki zaman alıcı doğrudan çarpışma olasılığı hesaplamalarının alternatif yolu ara yüzey akım yaklaşımını kullanmaktır. Bu durumda heterojen bir bölgeyle ilgili olasılıklar, yakıt demetindeki çeşitli hücreleri çiftlemek için kullanılacak ek kaçış (leakage) ve geçme (transmission) olasılıklarını birlikte hesaplayan PIJ metodu kullanılarak entegre edilir. Bu metod yüzeyler arasında lineer anizotropik (DP_1) açısal akı ve izotropik (DP_0) açısal akının her ikisi de varsayılarak geliştirilmiştir.

IC tekniğinin PIJ metoduna göre avantajları iki grupta toplanılabilir.

a-) Verilen herhangi bir hücre için olasılıkların toplam sayısını hesaplamak N (hücredeki homojen bölge sayısı) içinde her zaman ikinci dereceden ve N_c (yakıt demetindeki hücre sayısı) için de lineer olmuştur.

b-) Bir çok olasılık –geride yalnızca birkaç iki boyutlu integrasyon kalırken- tek boyutlu integrasyon kullanılarak türetilir.(PIJ metodu için iki boyutlu alan hesabı gereklidir.) Bu teknik gerçekten iki boyutlu clusterlar için selfshielding hesabında ve transport denkleminin çözümünde kullanılan olasılıkları türetme sürecini hızlandırır.

Fakat, IC metodunda çarpışma olasılığını hesaplamak için kullanılan teknik boş bölgeleri yasaklamıştır.

Ayrıca IC metoduyla ilgili bazı problemler vardır. Bunlardan biri ızgaranın (mesh) boyutu küçültüldüğünde transport çözümüne yaklaşamamasıdır. Diğer problem, iki boyutlu geometrilerde, kesişen iki bölgenin yüzeyinde nötronların yönü hakkındaki bilgi kaybı dolayısıyla ortaya çıkan kırılma etkisidir. Yine de iki boyutlu geometriler için yakıt demetinin içinde PIJ metodu kullanılarak elde edilen sonuçlara çok yakın akı dağılımı verdiği gözlemlenmiştir.

Bu teknik kullanılarak OECD/NEA Reaktör Fiziği Komitesi (NEACRP) tarafından beyan edilen dört problemin dışında üç örnek problem analiz edilmiştir. Bu üç boyutlu kalp problemleri çok geniş, yakıttaki akımlar ve kontrol çubuğu bölgeleri için akı çözümünde farklılıkları arttıran IC metodu kullanılmak zorunda kalmıştır. Bu örneklerden sonra IC metoduyla ilgili tüm üç boyutlu geometri modülleri DRAGON' dan çıkarılmıştır. Akı dağılımına etkisini minimuma indirmek için moderatör bölgesindeki ara yüzeylerle süper hücrelerdeki $\Delta\Sigma$ artan tesir kesitlerinin pratik olarak belirlenmesi için üç boyutlu hesaplamalar PIJ metoduyla sınırlandırılmıştır. Kısacası, DRAGON'un IC metodunun üç boyutlu kalp transport hesaplamaları için uygun olmadığı söylenilebilir.

IC metoduyla çözümlenebilen iki boyutlu geometriler aşağıdaki gibidir.

- Kartezyen yakıt demetleri : Merkezi silindirik alt bölümler içeren dikdörtgen ve kare hücrelerden oluşan yakıt demetleri. Burada DP_0 ve DP_1 yaklaşımlarının ikisi de kullanılabilir.
- Hegzagonal yakıt demetleri : Merkezi silindirik alt bölümler içeren hegzagonal yakıt demetleri. DP_0 ve DP_1 yaklaşımlarının her ikisi de kullanılabilir.

2.2.4 $J_{\pm}$ Metodu

$J_{\pm}$ tekniği, olasılık matrisinin yakıt demeti ve hücre içindeki her bir homojen bölgeyle ilgili olduğu yerde PIJ metodunun bir yaklaşımıdır. Yüzeyler ara yüzey akım tekniğiyle çiftlenmişlerdir. $J_{\pm}$ tekniğiğinin PIJ metoduna göre üç avantajı vardır.

- a-) Verilen bir hücre için toplam olasılık sayısı hesabı her zaman N (hücredeki homojen bölge sayısı) içinde lineerdir.(PIJ metodu için 2. derecedendir.)
- b-) Bir çok olasılık tek boyutlu integrasyon kullanılarak türetilir.(PIJ metodu için iki boyutlu alan hesabı gereklidir.)
- c-) Hücrenin herhangi bir bölgesindeki tesir kesidi, tüm çarpışma olasılığı matrisi üzerinden bir kez daha integral alınmaya gerek kalmadan değıştirilebilir.

Bu teknik kullanılarak boş bölgeler ele alınabilir. Ayrıca DRAGON'da her bir homojen bölgeyle ilgili çarpışma olasılıklarını içeren akım-akı denklemleri için hızlı çözüm algoritması programlanmıştır. Gerçekten bu teknik transport denkleminin çözümünde kullanılan olasılıkları türetme sürecini hızlandırır. Tükenme ve self-shielding hesaplamaları için kısmen yararlı olan bir özellik de, yakıt ve self shielded izotopların tesir kesitlerinde değışiklikler görüldüğü yerde yalnızca bu bölgeyle ilgili çarpışma olasılıklarının hesaplanmak zorunda olmasıdır. Burada DP_0 ve DP_1 yaklaşımlarının ikisi de gözden geçirilecektir. Düzgün açısal akı dağılımına ek olarak lineer anizotropik dağılımlar da dikkate alınacaktır.

IC metoduyla ilgili problemler $J_{\pm}$ tekniğini de etkilemektedir. Bununla birlikte, iki boyutlu geometrilerde $J_{\pm}$ metodunu kullanırken ortaya çıkan kırılma etkisini ortadan kaldırmak için bazı durumlarda bir yüzey kırılma düzeltmesi yapılabilmektedir. IC metodunda olduğu gibi, $J_{\pm}$ metodunun kullanımı da tek ve iki boyutlu geometrilerle sınırlandırılmıştır.

- Kartezyen hücreler ve yakıt demetleri : Merkezi silindirik alt bölüm içeren dikdörtgen ve kare hücreler ve içinde merkezi silindirler bulunan dikdörtgen ve kare hücrelerin oluşturduğu yakıt demetleri. Burada fiziksel olmayan kırılma etkilerini ortadan kaldırmak için hiçbir yüzey kırılma metodu kullanılmaz.
- Hegzagonal hücreler ve yakıt demetleri : Merkezi silindirik alt bölüm içeren hegzagonal hücreler ve bu türden hegzagonal hücrelerin oluşturduğu yakıt

demetleri. Burada fiziksel olmayan kırılma etkilerini ortadan kaldırmak için hiçbir yüzey kırılma metodu kullanılmaz.

- Cluster içeren hücreler : Dış kartezyen, hegzagonal ve dairesel sınırlı yakıt hücresi. Yüzey kırılması metodu DP_0 ve DP_1 yaklaşımlarının her ikisi de kırılma etkilerini azaltmak için burada kullanılabilir.

2.3 Tükenme Modülünün Gelişimi [5]

DRAGON'da tükenme modülü geliştirilirken varolan yazılım kullanılmamıştır. Orjinal özellikleri oluşturabilmek için baştan yapılmıştır.

- Ağır izotopların ve fisyon ürünlerinin sayısı değişken ve probleme bağlıdır. Hafızada dinamik tahsis kullanılır ve bu dinamik tahsis herhangi bir tükenme zincirine uygun hale getirilebilir.
- Modül gama yakalanması, fisyon, $(n, 2n)$ ve $(n, 3n)$ reaksiyonları, α , β_- , β_+ 'yla birlikte izomerik bozunum ve gecikmiş nötron bozunumunu da ele alabilir. Tükenme problemlerini kolaylaştırmak için zaman bağımsız değişken olarak seçilir.
- Doymuş izotop yaklaşımı yarı ömürlerin, tesir kesitlerinin ve tükenme periyotlarının fonksiyonu olarak kod tarafından kendiliğinden yapılır.
- Tükenme denklemleri Kaps-Rentop metoduyla çözülür. Çıkan lineer sistemler yeterli seyrek LU algoritması tarafından çözülür.

Tükenme modülü WINFRITH kütüphanesi kullanılarak CANDU-600 kafes hücresine uygulanmış ve WIMS'ten elde edilen sonuçlara yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Bu modül, DRAGON'un kütüphane modülünde daha önce tanımlanmış olan tükenme zincirini kullanarak problemdeki çeşitli izotoplar için tükenme denklemlerini çözmede kullanılır. Kalp içi ve kalp dışı hesaplamaların her ikisi de gözönüne alınabilir. Başlangıç akı dağılımları önceki akı hesaplamalarından bulunacaktır. Kalp içi tükenimi lineer akı değişiminin her bir irradyasyon periyodu üzerinde varsayıldığı yerde sabit güç ve sabit akıyla yapılabilir, fakat bu değerler bir zaman aralığından diğerine kademe değişikliğine uğrayabilir. Başarılı bir tükenme hesaplaması için gerekli olan tüm bilgi hiyerarşik data temelinde depolanır. Böylece bir önceki basamağa dönüp hesaplamayı yeniden başlatmak mümkün olur.

Birim hücredeki her bir tükenme bölgesinde (t_0, t_f) zaman aralığında K tane izotopun tükenmesi aşağıdaki denklemde tanımlanmıştır.

$$\frac{dN_k}{dt} + N_k(t)\Lambda_k(t) = S_k(t) \quad K=1, k \quad (2.5)$$

$$\Lambda_k(t) = \lambda_k + \langle \sigma_{f,l} \phi(t) \rangle \quad (2.6)$$

$$S_k(t) = \sum_{l=1}^L Y_{kl} \langle \sigma_{f,l} \phi(t) \rangle N_l(t) + \sum_{l=1}^K m_{kl}(t) N_l(t) \quad (2.7)$$

$$\langle \sigma_{x,l} \phi(t) \rangle = \int_0^{\infty} \sigma_{x,l}(u) \phi(t, u) du \quad (2.8)$$

Ve

$$\phi(t, u) = \phi(t_0, u) + \frac{\phi(t_f, u) - \phi(t_0, u)}{t_f - t_0} \quad (2.9)$$

K : tükenen izotop sayısı.

L : fisyon ürünlerini üreten izotop sayısı.

$N_k(t)$: k'nci izotop için zamana bağlı number density (izotopik yoğunluk).

λ_k : k'nci izotop için radyoaktif bozunum sabiti.

$\sigma_{x,l}(u)$: k'nci izotopun x nükleer reaksiyonu için leterjiye bağlı mikroskopik tesir kesidi . x = a ve x = f sırasıyla yutulma ve fisyon tesir kesitleri yerini tutar.

$\phi(t, u)$: zamana ve leterjiye bağlı nötron akısı.

Y_{kl} : fisil izotop l tarafından fisyon ürünü k'nın üretimi için fisyon ürünü.

$m_{kl}(t)$: l izotopu tarafından k izotopunun üretimi için radyoaktif bozunum sabiti ve ya $\langle \sigma_{x,l} \phi(t) \rangle$ terimi.

$\Lambda_k(t_0)[t_f - t_0] \geq 80.0$ ve $\Lambda_k(t_f)[t_f - t_0] \geq 80.0$ koşullarıyla tükenme izotopları doyumda olarak ele alınabilir. Bunlar denklem (2.5)'de $dN_k/dt = 0$ yapılarak ve başlangıç ve bitiş aralığı Dirac dağılımında tanımlanarak yazılabilir.

$$N_k(t) = \frac{1}{\Lambda_k(t)} [a\delta(t-t_o) + S_k(t) + b\delta(t-t_f)] \quad (2.10)$$

(eğer k doyma noktasındaysa)

a ve b denklem (2.10)'teki zaman integralini sağlamak üzere seçildiğinde;

$$N_k(t_f^+) - N_k(t_0^-) + \int_{t_0^-}^{t_0^+} N_k(t) \Lambda_k(t) dt = \int_{t_0^-}^{t_0^+} S_k(t) dt \quad (2.11)$$

Nümerik olarak a ve b'nin aşağıdaki değerlerini seçmek mümkündür.

$$a = N_k(t_0^-) - \frac{S_k(t_0^+)}{\Lambda_k(t_0^+)} \quad (2.12)$$

$$b = \frac{S_k(t_0^+)}{\Lambda_k(t_0^+)} - \frac{S_k(t_f^+)}{\Lambda_k(t_f^+)} \quad (2.13)$$

Tükenme modülünde kullanılan nümerik çözüm teknikleri şunlardır. Çok kısa periyotlu izotoplar doyma noktasında alınır ve doymamış izotoplardan bağımsız olarak çözüm yapılır. Doymamış izotop içeren tükenme matrisi sistemi kümesi ya beşinci derece Runge-Kutta algoritması ya da dördüncü derece Kaps-Rentop algoritması kullanılarak çözülür. $[m_{kl}(t_0)]$ ve $[m_{kl}(t_f)]$ diagonal olarak gösterilir ve çıkan matris $[Y_{kl}]$ 'den ayrı tutulur. Her matris çarpımı ve lineer sistem çözümü LU algoritması yoluyla elde edilir.

Tükenme denklemlerinin çözümü akı normalizasyon faktörlerinden etkilenir. DRAGON iki normalizasyon tekniği arasında seçim yaparak iç ve dış kalp tükenme hesaplamalarını yapabilir.

1-) Sabit akı tükenmesi : Bu durumda başlangıç ve bitiş anlarındaki leterji integre edilmiş akılar sabit bir F değerine eşitlenir.

$$\int_0^\infty \phi(t_0, u) du = \int_0^\infty \phi(t_f, u) du = F \quad (2.14)$$

2-) Sabit güç tükenmesi : Başlangıç ve bitiş anlarındaki başlangıçtaki ağır element başına verilen güç sabit W 'ye eşitlenir. Yalnızca fisyon ürünü üretebilen fisil izotopların güç ürettiği varsayılır. Zaman aralığının bitiminde ortaya çıkan gücü hesaplamak için ağır elementler için tükenme denklemlerini çözmek yeterlidir.

$$\sum_{k=1}^L \kappa_k \langle \sigma_{f,k} \phi(t_0) \rangle N_k(t_0) = \sum_{k=1}^L \kappa_k \langle \sigma_{f,k} \phi(t_f) \rangle N_k(t_f) = C_0 W \quad (2.15)$$

κ_k : k fisil izotopunun fisyon başına verdiği enerji (MeV)

C_0 : metrik ton cinsinden belirtilen başlangıç ağır elementlerinin kütlesiyle çarpılan çevirme faktörü.

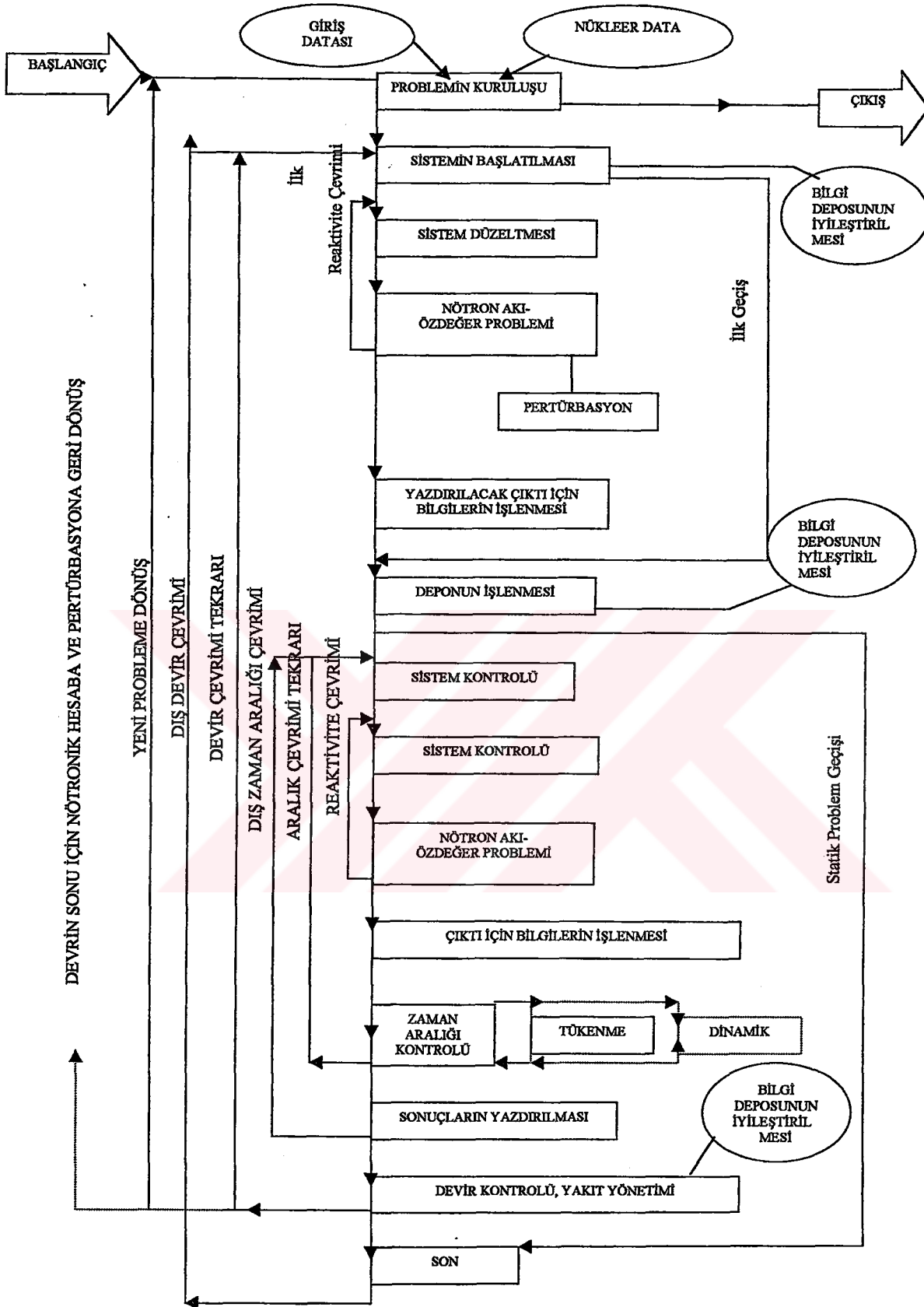
Devrenin sonundaki güç number density $N_k(t_f)$ 'in fonksiyonudur. Verilen bu güç istenilen değere eşitlenmeden önce birkaç iterasyona ihtiyaç olacaktır. Bu değere ulaşıldığında, bütün tükenme sistemi çözülür. Bu zaman içinde verilen gücün istenilen değerde tutulmasının garanti olmaması not edilmelidir. Güç yalnızca başlangıç ve bitişte istenilen değerde olacak şekilde ayarlanmıştır.

2.4 CITATION Nötron Difüzyon Kodu [6]

CITATION kodu, nötron difüzyon denklemini sonlu farklar yöntemini kullanarak çözmek için Oak Ridge Ulusal Laboratuvarlarında geliştirilmiştir. Kod, birden fazla çevrim analizi için tükenme problemlerini çözmek üzere tasarlanmıştır. Tükenme problemlerini ayrıntılı yakıt yenileme davranışını gözönüne alarak da çözebilmektedir. Özdeğer problemini çözmek için bir nötron transport kodundan elde edilen makroskopik tesir kesitleri kullanılır. CITATION kodunun akış diyagramı Şekil 2.4' de gösterilmiştir. Bu çalışmada DRAGON2 nötron transport kodundan elde edilen makroskopik tesir kesitleri kullanılmıştır.

2.4.1 Kodun Çözdüğü Problemler

Bu kod gruptan gruba rastgele saçılmayla difüzyon teorisinin sonlu fark gösterimini 3 boyuta kadar içeren problemleri çözmek için tasarlanmıştır. X-Y-Z, Φ -R-Z,



Şekil 2.4 CITATION kodu akış diyagramı [6]

hegzagonal Z ve triagonal Z geometrileri ele alınabilir. Tükenme problemleri çözülebilir ve birden fazla çevrim analizi için yakıt yönetimi sağlanır.

2.4.2 Çözüm Metodu

Uzayda ve zamanda sonlu fark yaklaşımları kullanılmaktadır. Çoğaltma faktörünü veya kritik sistem için gerekli olan izotop yoğunluklarını belirlemek için nötron akı özdeğer problemleri doğrudan iterasyonla çözülür.

2.4.3 CITATION Kodunun Gerekliliği

Bir bilgisayar eğer kodlar mevcut donanım becerikli bir şekilde kullanılarak tasarlanırsa problemleri çözmede etkili bir şekilde kullanılabilir. CITATION'dan önceki kodlar, nötron akı özdeğer probleminin çözümüne odaklanmışlardı. Bu kodlarla daha global bir problemi çözmek mümkün olmuyordu. Bu, kodlar temel olarak özdeğer problemi için talimatlar içerdiğinden diğer hesaplamaların koda eklenmesini gerektiriyordu. Kodu genişletmek de kolay olmuyordu. CITATION kodunda nötron akı özdeğer problemi ana değil yardımcı hesaplama olarak ele alındı. Amaç mümkün olduğu kadar çok boyutlu, çok nötron gruplu problem datalarıyla sonlu fark özdeğer problemini çözümlemektir. CITATION kodunun en önemli özelliklerinden birisi de kullanıcıya sonuçların yazdırılmasında olduğu gibi hesaplamaların yöntemi üzerinde de esnek kontrol hakkı vermesiydi.

2.4.4 Input Datanın Hazırlanışı

CITATION inputu bölümlere ayrılır. Bu bölümler de kartlardan oluşmaktadır. Her bölümün ilk kartı yalnızca ardından gelecek inputu tanımlayan bölüm numarasını içerir. Bu numara 3 basamaklı bir tamsayıdır. (001, 008, 999 gibi) CITATION kodunda kartların diziliş sırası kadar, bu kartlarda yer alan bilgilerin hangi sütunlar içinde yer alacağı da önemlidir. Örneğin bölüm numarası bölümün ilk kartının 1-3. sütunları içinde belirtir. Inputun bölümleri bir düzen içinde olmak zorundadır. 1-3. sütunlar içindeki 999 numaralı kart input datanın birbirini takip eden bölümlerinin son kartı olmak zorundadır.

Tanımlanacak ilk durum en azından 001, 003, 004, 005, ya 012 veya 020 ya da makroskopik data ilave edildiğinde 008 numaralı bölümleri içermek zorundadır. Ardından gelen her durum belirtilirken, istenilen değişikliklerin

yapılmasına dikkat edilmek zorundadır. Çünkü değiştirilmeyen her data bir önceki durumdan gelecektir.

2.4.5 Difüzyon Denkleminin Enerji Gruplarına Ayrılması

Bu kod, difüzyon teorisinde gruptan gruba saçılmaları göz önüne alarak sonlu farklar yöntemini kullanarak üç boyutta çözümler yapar. E enerjisindeki ve r konumundaki nötronları ifade edilen difüzyon denklemi;

$$-\nabla D_{r,E} \nabla \phi_{r,E} + (\Sigma_{a,r,E} + \Sigma_{s,r,E}) \phi_{r,E} = \int_{E'} (\Sigma_{r,E' \rightarrow E} + \frac{\chi_E (v\Sigma)_{f,r,E'}}{k_e}) \phi_{r,E'} dE' \quad (2.16)$$

Enerji skalasını gruplara ayırarak elde ettiğimiz difüzyon denklemimiz şu şekildedir (χ , kaynak terimi konuma bağlı değildir);

$$-D_{r,g} \nabla^2 \phi_{r,g} + (\Sigma_{a,r,g} + \sum_n \Sigma_{s,r,g \rightarrow g'} + D_{r,g} B_g^2) \phi_{r,g} = \sum_n (\Sigma_{s,r,g' \rightarrow g} + \frac{\chi_g (v\Sigma)_{f,r,g'}}{k_e}) \phi_{r,g'} \quad (2.17)$$

∇^2	: geometrik laplasyen operatörü	birimi cm^{-2}
$\phi_{r,g}$	: r konumundaki ve g enerji grubundaki nötron akısı	birimi n/sn-cm^{-2}
$\Sigma_{a,r,g}$	: makroskopik yutulma tesir kesiti	birimi cm^{-1}
$\Sigma_{s,r,g \rightarrow g'}$	: g enerji grubundan g' enerji grubuna saçılan nötronlar için makroskopik saçılma tesir kesiti	birimi cm^{-1}
$D_{r,g}$	: difüzyon katsayısı	birimi cm
B_g^2	: buckling terimi	birimi cm^{-2}
$v \Sigma_{f,r,g}$	: makroskopik üretim tesir kesiti (v bir fisyonndan çıkan nötron sayısı, Σ_f makroskopik fisyon tesir kesitidir)	birimi cm^{-1}
χ_g	: Kaynak nötronları için dağılım fonksiyonu ($\sum_g \chi_g = 1.0$)	
k_e	: efektif çoğaltma faktörü (üretilen nötronların kayıp nötronlara oranı)	

Kritiklik doğrudan iteratif süreç tarafından çekirdek yoğunluklarının değiştirilmesinden etkilendiğinde, k_e bire yakın bir değere sabitlenir ve depolanmış çekirdek yoğunluklarından gelen tesir kesitilerindeki dağılım bu şekilde olur.

$$\begin{aligned}
& -\nabla^2 D_{r,g} \phi_{r,g} + (\Sigma_{a,r,g} + h \Sigma_{b,r,g} + \sum_{g'} \Sigma_{s,r,g \rightarrow g'} + D_{r,g} B_{\perp g}^2) \phi_{r,g} \\
& = \sum_{g'} \left[\Sigma_{s,r,g' \rightarrow g} + \frac{\chi_g}{k_e} (v \Sigma_{f,r,g'} + h v \Sigma_{p,r,g'}) \right] \phi_{r,g'}
\end{aligned} \tag{2.18}$$

h görelî çekirdek yoğunluğu, problemin özdeğeri $\Sigma_{a,r,g'}$ ve $\Sigma_{p,r,g'}$ sırasıyla yutulma ve üretim tesir kesitleridir.

Araştırma çekirdeklerinden saçılma çekirdeklerine ve difüzyon katsayısına olan katkı burada gösterilmemiştir. Fakat bunlar dahil edilebilir. $1/v$ için yapılan araştırmada $\Sigma_{b,r,g}$ değerleri ilgilenilen sıcaklık ve malzemenin hızının yerine geçebilir. Asimtotik yaklaşımda $h \approx w$ olduğundan akı $\Phi_{r,g} e^{wt}$ şeklinde verilir.

2.4.5.1 Sabit Kaynak

Sabit kaynak hesaplamalarının başlıca uygulaması belki de hesaplama oyunları uygulamada bulunmaktadır. Sabit kaynak problemleri, sokulan kaynakla reaktörün çalışması veya ince ızgara tanımıyla reaktör kalbinin dışında yapılan bir deney analizi veya kaçak kaynağını kalbe bağlama gibi belirli durumlarda ortaya çıkar. Sabit kaynak problemi basit olarak denklem (2.17)'de k_e 'nin 1'e eşitlenmesi ve eşitliğin sağ tarafına kaynak ilave edilmesiyle elde edilir.

$$\begin{aligned}
& -D_{r,g} \nabla^2 \phi_{r,g} + \left(\Sigma_{a,r,g} + \sum_{g'} \Sigma_{s,r,g \rightarrow g'} + D_{r,g} B_{\perp g}^2 \right) \phi_{r,g} \\
& = \sum_{g'} \left(\Sigma_{s,r,g' \rightarrow g} + \chi_g (v \Sigma)_{f,r,g'} \right) \phi_{r,g'} + S_{r,g}
\end{aligned} \tag{2.19}$$

$S_{r,g}$: sabit kaynak, bu terim uzayda ve enerjide ayrıklaştırılabilir.

2.4.6 Makroskopik Tesir Kesiti ve Reaksiyon Hızı Hesabı

Bu kod, özel amaçlı hesaplamalarda makroskopik tesir kesitlerini kullanabilir. Bununla beraber bu kod, özel çekirdeklerde çekirdek konsantrasyonlarındaki değişiklikleri hesaba katmada mikroskobik dataları kullanabilmek için tasarlanmıştır. Azalmayan çekirdek konsantrasyonları olarak tasarladığımız ilgili yoğunluklarda birleştirilen tesir kesitleri makroskobiktir bu bazı durumlar için kullanışlı olabilir.

Makroskopik tesir kesitlerini hesaplamak için kullanılan temel eşitlikler aşağıda gösterilmiştir. Eğer alt bölgeler varsa, her bir çekirdeğin konsantrasyonu alt bölge konsantrasyonunun aritmetik ortalaması olarak alınır. Bu kod, mikroskopik tesir kesitlerini bölgeye bağımlı olacak şekilde hesaba katar. Ancak bu aşağıdaki denklemlerde gösterilmemiştir. Kütle dengelerinde, tükenmede ve reaksiyon hızları hesabında çekirdek yoğunlukları atom/barn-cm ve mikroskopik tesir kesitleri barn cinsinden kabul edilir.

Her bir bölgedeki çekirdek yoğunluğu N dir.

a - yutulma

f - fisyon

tr – transport

s – saçılma

g ve k enerji grupları

z – bölge

n – çekirdek

ifade etmek üzere, makroskopik tesir kesitleri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\Sigma_{a,g,z} = \sum_n N_{n,z} \sigma_{a,n,g} \quad (2.20)$$

$$\Sigma_{f,g,z} = \sum_n N_{n,z} \sigma_{f,n,g} \quad (2.21)$$

$$v\Sigma_{f,g,z} = \sum_n N_{n,z} v\sigma_{f,n,g} \quad (2.22)$$

$$\Sigma_{tr,g,z} = \sum_n N_{n,z} \sigma_{tr,n,g} \quad (2.23)$$

$$D_{g,z} = \frac{1}{3\Sigma_{tr,g,z}} \quad (2.24)$$

$$\Sigma_{s,g \rightarrow k} = \sum_n N_{n,z} \sigma_{s,g \rightarrow k} \quad (2.25)$$

İteratif yöntemi hızlandırmak için her bir $\sum_{s,g \rightarrow g}$ değeri sıfır alınır.

Reaksiyon hızını belirlemek için aşağıdaki eşitlik kullanılır. P reaktörün gücünü göstermektedir.

$$P = 10^{-6} \frac{C_1}{C_2} \sum_z V_z \sum_n N_{n,z} W_{n,z} \sum_g \bar{\phi}_{g,z} \sigma_{f,n,g} \quad (2.26)$$

$W_{n,z}$ her bir fisyon için termal watt, C_1 kullanışlı gücün belirtilmiş kısmı, C_2 ele alınan korun belirtilmiş parçası ve değeri belirtilmiş hesaplanmış sadece hacim ve V_z bölge hacmidir. $\phi_{g,z}$ 'nin değerleri her bir enerji bölgesinden hacim katılarak yazılır.

$$\bar{\phi}_{g,z} = \frac{\sum_i \phi_{i,g} V_i}{V_z} \quad (2.27)$$

Reaksiyon hızları, özel çekirdeklerde her bir bölge için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Yutulma]_{n,z} = N_{n,z} \sum_g \bar{\phi}_{g,z} \sigma_{a,n,g} \quad (2.28)$$

$$Yakalanma]_{n,z} = Yutulma]_{n,z} - N_{n,z} \sum_g \bar{\phi}_{g,z} \sigma_{f,n,g} \quad (2.29)$$

$$Üretim]_{n,z} = N_{n,z} \sum_g \bar{\phi}_{g,z} \nu \sigma_{f,n,g} \quad (2.30)$$

Ve sistem için toplamlar alınır. Üstteki denklemlerde kullanılan çekirdek yoğunlukları, başlangıç ve bitiş tükenme zaman aralıklarındaki aritmetik ortalamalarıdır. Ayrıca uygunluk için etkili eta ve üretimin yutulmaya oranı yazdırılır.

Yer değiştirmelerde hasar hızı veya aktivasyon reaksiyonun genel integralinden elde edilir.

$$R_d(Z,t)=10^{-24}\sum_g\sum_n N_{nz,t}\sigma_{x,n}(g)\bar{\phi}_{g,z,t} \quad (2.31)$$

$$D(Z,T)=\sum_{t=0}^T R_d(z,t)\Delta_t \quad (2.32)$$

Δ_t = poz süresi.



BÖLÜM 3 SAYISAL UYGULAMALAR

3.1 ALMARAZ2 Reaktörü Hakkında Temel Bilgiler



Şekil 3.1 İspanya'nın nükleer tesisleri.

İspanya'nın yarımada üzerine kurulmuş dokuz nükleer tesisi Şekil 3.1'de görülmektedir. Bu tesislerden yedisi Almaraz, Asco, Cofrentes, Jose Cabrera, Sta. Maria de Gorona, Trillo ve Vandellos2 dokuz nükleer reaktöre sahiptir. Ülkede ayrıca nükleer yakıt tesisi Juzbado ve düşük ve orta dereceli atık deposu El-Cabril bulunmaktadır. Bu çalışmada Almaraz2 reaktörü ele alınmış ve bu reaktör üzerinde DRAGON2 nötron transport kodu kullanılarak hücre ve yakıt demeti modellemesi CITATION kodu kullanılarak da tüm kalbin modellemesi yapılmıştır. Almaraz2 reaktörü PWR tipi bir reaktördür. Westinghouse firması tarafından yapılmış ve Eylül 1983'de işleme açılmıştır. Aşağıda Almaraz2 reaktörüyle ilgili genel ve teknik bilgiler sunulacaktır.

Genel Bilgi

Tipi	: PWR
Ülke	: İspanya

Adres : C. N. ALMARAZ, APTDO. 74,10300 NAVALMORAL DE
LA MATA, CACERES SPAIN

Enlem : 39: 48: 29: Kuzey

Boylam : 5: 41: 49: Batı

İnşaata Başlama : 7. 1983

İlk Kritiklik : 9. 1983

Ticari İşletim : 7. 1984

Teknik Bilgi

Yakıt Hücresi (Pincell)

Malzeme : Sinterlenmiş UO_2

Yoğunluk (teorik yüzde): %95

Geometrik Şekil : Şekil 3.2

Yarıçap : 0.4096×10^{-2} m

Uzunluk : 1.346×10^{-2} m

Yakıt Demeti (Assembly)

Sayı : 157

Çubuk Sırası : 17x17

Geometrik Şekil : Şekil 3.7

Yakıt Demeti Başına

Düşen Yakıt Çubuğu : 264

Sayısı

Zarf

Malzeme : Zirkalay4

Dış Yarıçap : 0.4750×10^{-2} m

İç Yarıçap : 0.4179×10^{-2} m

Yanıcı Zehirli Çubuk (BPR)

Geometri : Şekil 3.12

Yutucu içeren malzeme : Pyrex-glass

Malzemedeki B oranı : 12.5w/o

Çubuğun Birim

Uzunluğu Başına : 0.006234×10^{-1} kg/m

Düşen B-10 Miktarı

Yanıcı Zehirli

Çubukların Yakıt : Şekil 3.13

Demeti İçindeki Yeri

Dış Yarıçap : 0.48387×10^{-2} m

Zarf Kalınlığı : 0.04699×10^{-2} m

Zarf Malzemesi : SS304

İç Tüp Malzemesi : SS304

İç Tüp Yarıçapı : 0.2305×10^{-2} m

İç Tüp Kalınlığı : 0.01651×10^{-2} m

Kalp Bilgisi

Termal Güç : 2686 MW

Yakıtta Üretilen Isı : %97.4

Soğutucu

Kalp Akışı : 1.38×10^4 kg/s

Giriş Sıcaklığı : 564.55 K (291.40 C⁰)

Çıkış Sıcaklığı : 599.75 K (326.60 C⁰)

Ortalama Moderatör

Sıcaklığı : 583.05 K (309.90 C⁰)

Ortalama Yakıt Zarfı

Sıcaklığı : 613.15 K (340.00 C⁰)

Ortalama Yakıt

Sıcaklığı : 927.15 K (654.00 C⁰)

Efektif Yakıt

Sıcaklığı : 913.15 K (640.00 C⁰)

Kalpteki Toplam UO₂ : 81856 kg

Geometri : Şekil 3.14

Kalpteki Yakıtların Zenginliklerine Göre Sayısı ve Cinsi

L 53 (%2.1)

M 52 (%2.6)

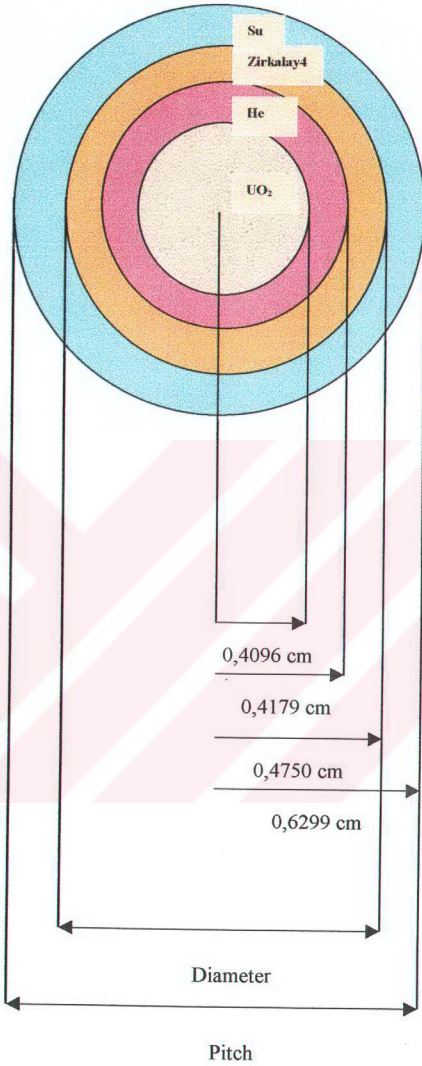
N 52 (%3.1) [1]

3.2 ALMARAZ2 Reaktörü Yakıt Hücresi (Pincell) Modellenmesi

DRAGON2 nötron transport kodu kullanılarak Şekil 3.2’te görülen PWR yakıt hücresi modellenmiştir. Bu yakıt hücresi içeriden dışarıya sırasıyla merkezden 0.4096cm’ye kadar UO_2 yakıt, 0.4096cm’den 0.4179cm’ye kadar helyum gaz aralığı, 0.4179cm’den 0.4750cm’ye kadar Zirkalay4 zarf ve 0.4750cm’den 0.612cm’ye kadar su içeren içiçe geçmiş silindirlerden oluşmaktadır.

Ek H’de verilen TCWD01 isimli dosya bu yakıt hücresi için hazırlanmış input’u, içermektedir. DRAGON2 kodu kullanılarak hazırlanacak input her zaman modüller arasında iletişimi sağlayan ve her modüle ait bilgileri içinde barındıran bağlı listelerin ve ya XSM dosyalarının koda tanıtılmasıyla başlar. Daha sonra input boyunca kullanılacak modüller koda tanıtılmaktadır. Uygun sıradaki hesaplama modülleri tek tek çağırılarak yakıt hücresi modellenmektedir. LIB: modülünden de anlaşılacağı gibi WIMSD4’ün 69 gruplu WNEALIB kütüphanesi kullanılmıştır. UO_2 , helyum, Zirkalay4 ve su sırasıyla karışım olarak koda tanıtılmıştır. Her karışımın sahip olduğu sıcaklık(Kelvin cinsinden) ve bu karışımı oluşturan izotopların WNEALIB tesir kesidi kütüphanesince tanımladıkları isim ve temsili numaraları verilmiştir. Numaralar yazıldıktan sonra her izotopun izotopik yoğunluğu(number density) verilmiştir. Çağırılan GEO: modülünde içiçe geçmiş 4 silindirden oluşan geometriyi tanımlamak için TUBE anahtar sözcüğü kullanılmıştır. Ardından gelen 4 sayısı içiçe geçmiş silindirlerin sayısını vermektedir. Merkezden başlanılarak her homojen karışımı yarıçapı sırasıyla verilmiştir. MIX anahtar sözcüğüyle, içiçe geçmiş 4 silindirden oluşan bu tek boyutlu geometride yer alan her bölgeye sırasıyla hangi karışımın geleceği belirtilmiştir. Self shielding hesabı için JPMT: modülü, tracking için SYBILT: modülünün kullanıldığı görülmektedir. Daha sonra çarpışma olasılıklarının hesaplanması için ASM: modülünün, çözüm için FLU: modülünün ve yapılan hesaplamaların yazdırılması için EDI: modülünün kullanıldığı görülmektedir.

Hazırlanan yakıt hücresi inputunun outputu Ek I’da verilmiştir.



Şekil 3.2 Almaraz2 reaktörü yakıt hücresi

Tablo 3.1 Yakıtı oluşturan izotopların değişik zenginliklerdeki izotopik yoğunlukları (atom / cm³ X barn)

Zenginlik (%)	U235'in izotopik yoğunluğu	U238'in izotopik yoğunluğu	O ₂ 'nin izotopik yoğunluğu
1,5	3,4868E-04	2,2897E-02	4,6491E-02
1,7	3,9518E-04	2,2851E-02	4,6492E-02
1,9	4,4168E-04	2,2805E-02	4,6493E-02
2,1	4,8819E-04	2,2759E-02	4,6494E-02
2,3	5,3469E-04	2,2713E-02	4,6495E-02
2,5	5,8120E-04	2,2667E-02	4,6496E-02
2,6	6,0445E-04	2,2644E-02	4,6497E-02
2,7	6,2771E-04	2,2621E-02	4,6497E-02
2,9	6,7422E-04	2,2575E-02	4,6498E-02
3,1	7,2074E-04	2,2529E-02	4,6499E-02
3,3	7,6725E-04	2,2483E-02	4,6500E-02
3,5	8,1377E-04	2,2437E-02	4,6501E-02

3.3 Yakıt Hücresi Modeli Kullanılarak Yapılan Çalışmalar ve Bu Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

3.3.1 Yakıtın Değişik Zenginlikleriyle Sonsuz Çoğaltma Faktörünün Değişimi

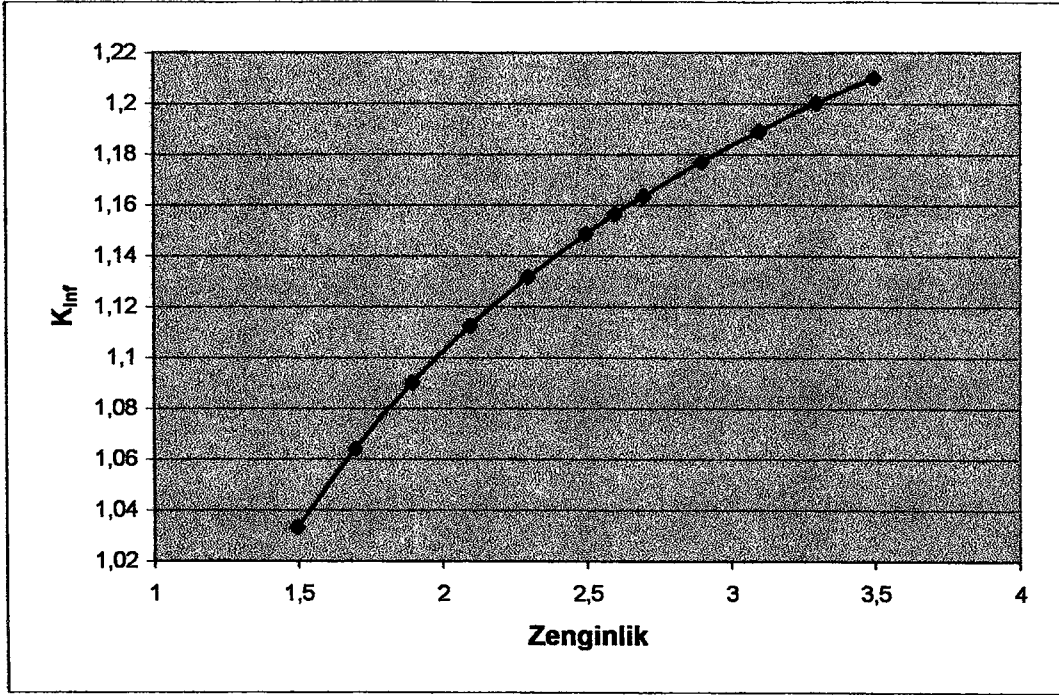
UO₂ içindeki U235 miktarı yani yakıtın zenginliği değiştirilerek sonsuz çoğaltma faktörünün(K_{inf}) yani kritikliğin buna bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermek için yapılan çalışmada, bu zenginlik değerlerini bilgisayara aktarabilmek için izotopik yoğunluklar zenginliklere uygun olarak hesaplanmıştır. İzotopik yoğunluk hesabının nasıl yapıldığı Ek B'de gösterilmiştir. % 1.5'den % 3.5'e kadar oniki farklı zenginlik için izotopik yoğunluklar hesaplanmıştır. Farklı zenginlikler için hesaplanan U235, U238 ve O16 izotopik yoğunlukları da Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada yakıtın içindeki U235 yani fisil madde miktarı arttıkça, daha fazla fisyon olayı gerçekleşeceğinden beklenildiği üzere ortaya daha çok nötron çıkacaktır. Sonsuz çoğaltma faktörü de ardışık nesildeki nötron sayısı oranı olduğu için doğal olarak artış gerçekleşecektir. Ayrıca hazırlanan yakıt hücresi inputuna 1000 ppm oranında boron katılmış ve yine değişen zenginliklere karşılık gelen K_{inf} değerleri elde edilmiştir. Artan zenginlik değerlerine karşılık artan K_{inf} değerleri Tablo 3.2'de ve Şekil 3.3a ve Şekil 3.3b'de görülmektedir. Her iki grafikte de artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin arttığı görülmektedir. Fakat 1000 ppm'lik boron katılmış durumda zenginliklere karşılık gelen K_{inf} değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Örneğin %2.6 yakıt zenginliği için K_{inf} değeri 1.156345 olurken boron katılmış durumda bu değer 1.116147'ye düşmektedir.

3.3.2 Pitch/Diameter Oranlarıyla Sonsuz Çoğaltma Faktörünün Değişimi

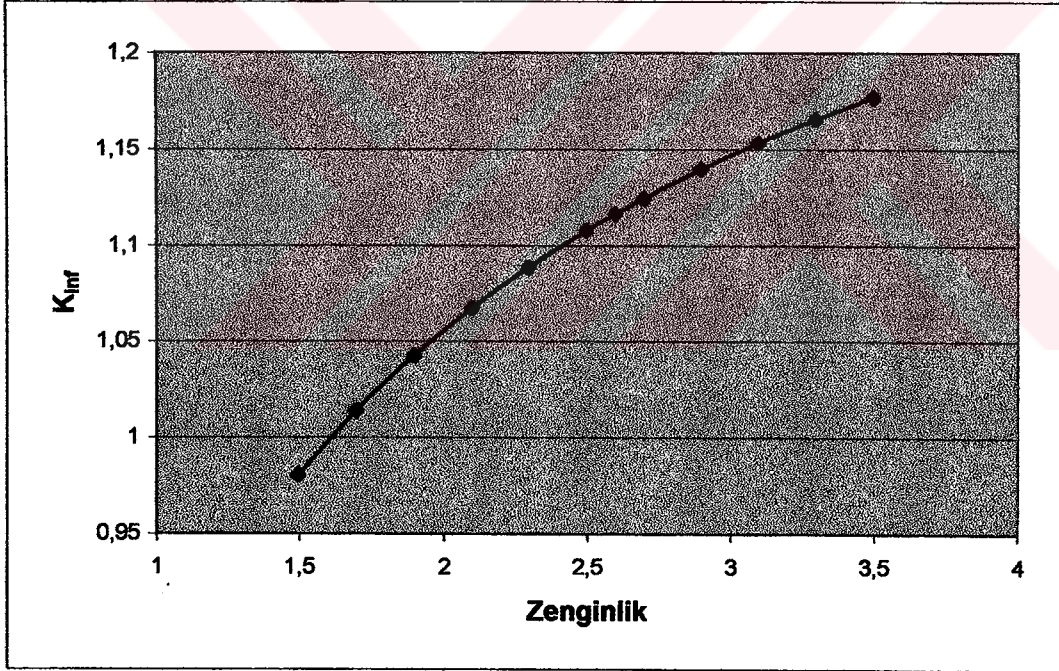
Yakıt hücresi modeli üzerinde yapılan bir diğer çalışma da Pitch/Diameter oranlarıyla sonsuz çoğaltma faktörünün nasıl değiştiğini gösteren bir çalışmadır. Şekil 3.2'de de görülebileceği gibi suyun çapı pitch, suyun dışında kalan malzemenin çapı diameter olarak isimlendirilmiştir. Bu çalışmada amaç termalizasyonu sağlayacak en uygun moderatör yarıçapını bulmaktır. Çalışma hazırlanan input kullanılarak iki değişik şekilde yapılmıştır.

Tablo 3.2 Almaraz2 reaktörü yakıt hücresi için yakıt zenginliği değiştirilerek elde edilen K_{inf} değerleri

Zenginlik (%)	K_{inf}	K_{inf} (boron katılmış)
1,5	1,033249	0,980233
1,7	1,064112	1,013842
1,9	1,090117	1,04241
2,1	1,112386	1,067052
2,3	1,131689	1,088538
2,5	1,148622	1,107481
2,6	1,156345	1,116147
2,7	1,163637	1,124344
2,9	1,177056	1,139466
3,1	1,189155	1,153138
3,3	1,200137	1,165572
3,5	1,210175	1,176957



a-)



b-)

Şekil 3.3

a-) Yakıt hücresi için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.

b-) 1000 ppm'lik boron içeren yakıt hücresi için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.

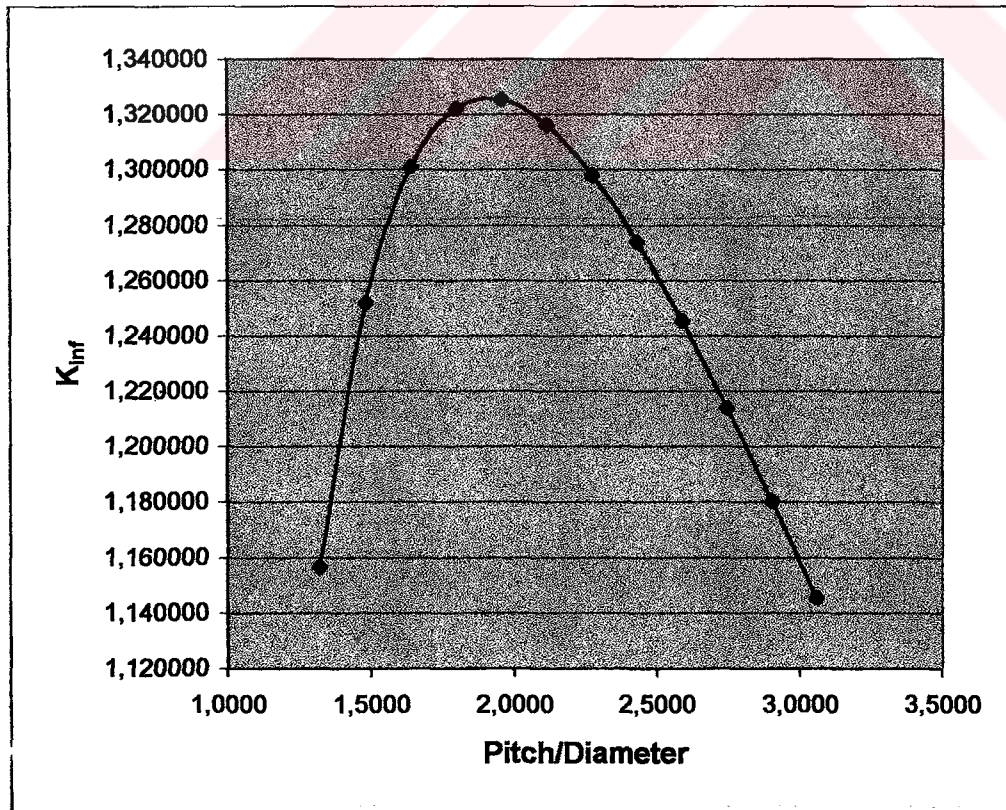
Birinci çalışma Pitch değeri yani suyun çapı arttırılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen Pitch/Diameter değerlerine karşılık gelen K_{inf} değerleri Tablo 3.3 ve Şekil 3.4’de görülmektedir. Suyun çapı arttırıldığında sonsuz çoğaltma faktörünün ilkönce arttığı, daha sonra artıştan daha yavaş bir biçimde düştüğü görülmektedir. Su moderatör olarak kullanılmaktadır ve görevi fisyon sonucu ortaya çıkan hızlı nötronları yavaşlatmaktır. Su miktarı arttıkça fazla sayıda hızlı nötron daha kısa sürede yavaşlatılmış olacaktır. Termal nötronların sayısı arttıkça fisyon sayısı artacak bu da doğal olarak K_{inf} değerini yükseltecektir. Ama bir noktadan sonra artan su nötronları yutmaya başlayacaktır. Yavaşlatılacakları yerde yutulan nötronlar yüzünden fisyon sayısı azalacak ve K_{inf} değeri düşecektir.

İkinci çalışmada suyun yarıçapı sabit tutulup; yakıt, gaz aralığı ve zarf malzemesinin yarıçapı değiştirilmiştir. Bu da Pitch’in sabit tutulup, diameter’ın değiştirilmesi demektir. Yakıt çapı azaltıldıkça, doğal olarak su miktarı artmaktadır. Bir süre hızlı nötronlar artan sudan dolayı daha çabuk yavaşlatılmaktadır. Buna bağlı olarak K_{inf} değeri artmaktadır. Ama yine artan su sonucu yutulmalar başladığından K_{inf} değeri düşmektedir. İkinci çalışmadan elde edilen sonuçlar Tablo 3.4 ve Şekil 3.5’te gösterilmiştir.

Bu çalışmalarda K_{inf} ’in alabileceği en yüksek değer ve buna karşılık gelen yarıçap belirlenmiştir. Bu değer in altında yarıçap değerine sahip olan hücrelere undermoderated, üstünde yarıçapa sahip olanlara overmoderated denilmektedir. Bir kaza olduğunda overmoderated olma durumu istenmez, çünkü böyle bir durumda su kaybedildiğinde (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’ten de görüleceği gibi) sonsuz çoğaltma faktörü artacaktır. Bir kaza durumunda çoğaltma faktörünün düşmesi istendiği için bu düşmenin sağlanabileceği noktanın bulunması gereklidir. Her iki çalışmada da bu noktanın yaklaşık Pitch/Diameter=1.9’a karşılık gelen yarıçap olduğu görülmüştür. Buradan da bu yakıt çapı için en uygun moderatör yarıçapının 0.9000 cm civarında olduğunu söyleyebiliriz. Ve ya tam tersi olarak varolan moderatör yarıçapı için (0,6299 cm) en uygun yakıt, gaz aralığı ve zarf yarıçaplarının sırasıyla 0.2665 cm, 0,2748 cm ve 0.3319 cm olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 3.3 Yakıt hücresinde moderatör yarıçapı değiştirilerek elde edilen Pitch/Diameter oranlarına karşılık gelen K_{inf} değerleri.

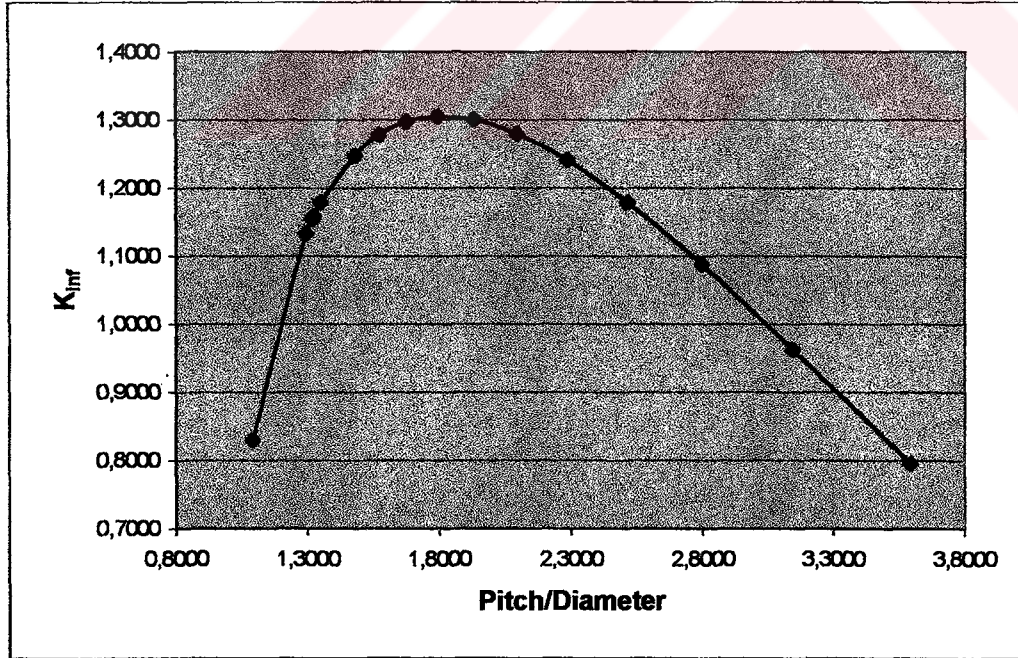
Pitch/Diameter	K_{inf}
1,3261	1,156345
1,4840	1,251925
1,6419	1,300964
1,7998	1,322208
1,9577	1,325330
2,1156	1,316062
2,2735	1,298082
2,4314	1,273918
2,5893	1,245376
2,7472	1,213791
2,9051	1,180165
3,0629	1,145266



Şekil 3.4 Pitch/Diameter oranlarıyla K_{inf} değerlerinin değişimi.

Tablo 3.4 Yakıt hücresinde yakıt, gaz aralığı, zarf yarıçapları yani diameter değiştirilerek elde edilen Pitch/Diameter oranlarına karşılık gelen K_{inf} değerleri.

Pitch/Diameter	K_{inf}
3,5994	0,7950
3,1495	0,9620
2,8000	1,0879
2,5196	1,1786
2,2905	1,2404
2,0997	1,2793
1,9381	1,2997
1,7997	1,3048
1,6797	1,2969
1,5747	1,2776
1,4821	1,2476
1,3546	1,1780
1,3289	1,1586
1,3261	1,1563
1,3233	1,1541
1,2988	1,1329
1,0955	0,8292



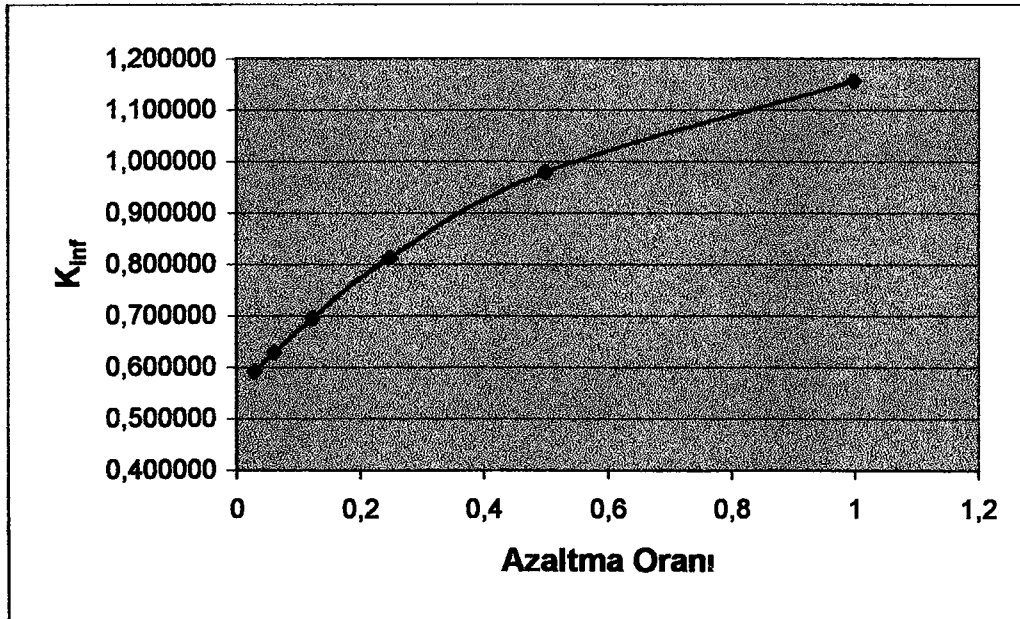
Şekil 3.5 Pitch/Diameter oranlarıyla K_{inf} değerlerinin değişimi.

3.3.3 Moderatör Yoğunluğu Azaltılması

Yakıt hücresi inputu kullanılarak yapılan üçüncü çalışma da moderatör yoğunluğu azaldıkça sonsuz çoğaltma faktörünün bu durumdan ne şekilde etkileneceğini görmek için yapılmıştır. Moderatör yoğunluğu hidrojen ve oksijenin izotopik yoğunluklarının sürekli yarısı alınmak suretiyle azaltılmıştır. Bu hesaplamaların sonucunda elde edilen değerler Tablo 3.5'te gösterilmiştir. Yakıt hücremizde suyun yarıçapı olan 0.6299 cm, ideal soğutucu yarıçapı olarak belirlediğimiz 0.9000 cm'den daha küçük olduğu için hücremizin undermoderated olduğunu söyleyebiliriz. Moderatör yoğunluğu düşürüldüğünde hücremiz undermoderated konumunda olduğu için sonsuz çoğaltma faktörü değerlerinin de giderek düştüğünü görüyoruz. Bu düşme de Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Buradan da Almaraz2 yakıt hücresinin bir kaza sırasında soğutucu kaybetmesi durumunda bir tehlikeyle karşı karşıya kalmayacağını göstermektedir.

Tablo 3.5 Yakıt hücresinde moderatör yoğunluğu azalma oranlarına karşılık gelen K_{inf} değerleri

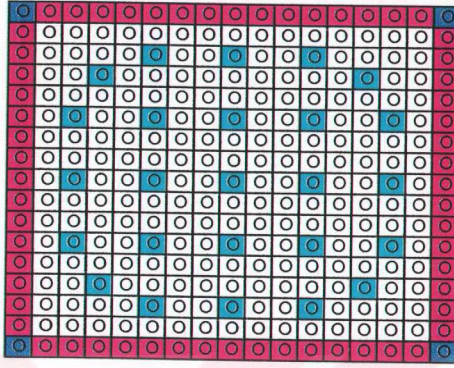
Azaltma Oranı	K_{inf}
1	1,156345
1/2	0,978454
1/4	0,812055
1/8	0,695174
1/16	0,628127
1/32	0,590750



Şekil 3.6 Moderatör yoğunluğu azalmasıyla değişen K_{inf} değerleri.

3.4 17x17'lik ALMARAZ2 Yakıt Demeti (Assembly) Modellenmesi

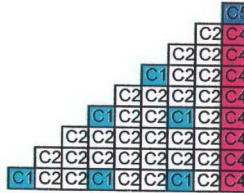
Yakıt hücresi inputu üzerinde yapılan çeşitli hesaplamalardan sonra 17x17'lik bir PWR yakıt demeti için input hazırlanmıştır. Modellenen yakıt demeti Şekil 3.7'de bu yakıt demeti içinde yer alan farklı hücreler Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Ek J'de verilen TCWD02 isimli dosya bu yakıt demeti için hazırlanmış inputu içermektedir. Bu inputa da ilk önce bağlı listelerin ve kullanılacak modüllerin koda tanıtılmasıyla başlandığını görülmektedir. Input incelendiğinde yakıt hücresi modellemesinde kullanılan modüllerden farklı bir modül kullanılmadığı göze çarpmaktadır. Farklılık, oluşturulacak geometride ve tanımlanacak karışımların sayısı ve içeriğindedir. 17x17'lik yakıt demetinin içinde birbirinden farklı dört hücre bulunmaktadır. Bu hücrelerden C1(boş hücre)'le gösterileni yalnızca su ve kontrol çubuklarının içinden geçeceği kılavuz tüpleri içerir. C1 hücresi Şekil 3.8b'de gösterilmiştir. C2 hücresi olarak gösterilen ve yakıt hücresi olarak adlandırılan hücre yakıt hücresi hesabı yaparken kullanmış olduğumuz hücrenin aynıdır. C2 hücresi Şekil 3.8a'da gösterilmiştir. C4 hücresi bir yanından Zirkalay4 zarfla çevrelenmiş yakıt hücresidir. Sınır yakıt hücresi adı verilmiştir. C4 hücresi Şekil 3.8c'de gösterilmiştir. Aynı şekilde C5 hücresi de iki tarafından Zirkalay4 zarfla çevrilmiştir. C5 hücresi Şekil 3.8d'de gösterilmiştir. Modelleme yapılırken Zirkalay4 zarfın suyun içine homojen bir şekilde dağıldığı kabul edilmiştir. GEO: modülü oluşturulurken 17x17 hücrenin tamamının koda tanıtılmasına gerek yoktur. Bu çalışmada 17x17'lik yakıt demetinin 1/8'lik kısmı alınmış ve sınır koşullarının yardımıyla bütüne tamamlanmıştır. Yakıt demetinin bütünü tanımlamak için kullanılan anahtar sözcük iki boyutlu kartezyen geometrileri tanımlamak için kullanılan CAR2D sözcüğüdür. Alt geometrileri tanımlayan anahtar sözcükse CARCEL'dir. İki boyutlu içiçe geçmiş silindirleri çevreleyen kare geometrileri belirtir. CARCEL anahtar sözcüğünden sonra gelen sayı içiçe geçmiş silindirlerin sayısını gösterir. LIB: modülü tanımlanırken kullanılan karışım sayısı yedidir. Bu karışımlar yakıt, helyum, Zirkalay4, farklı sıcaklıktaki Zirkalay4(kılavuz tüpler için), C4 ve C5 geometrilerinde bulunan iki ayrı su-Zirkalay4 karışımlarıdır.



a-)

- C2  yakıt hücresi(fuel cell)
- C1  boş hücre(empty cell)
- C4  sınır yakıt hücresi(boundary cell)
- C5  köşe yakıt hücresi(corner cell)

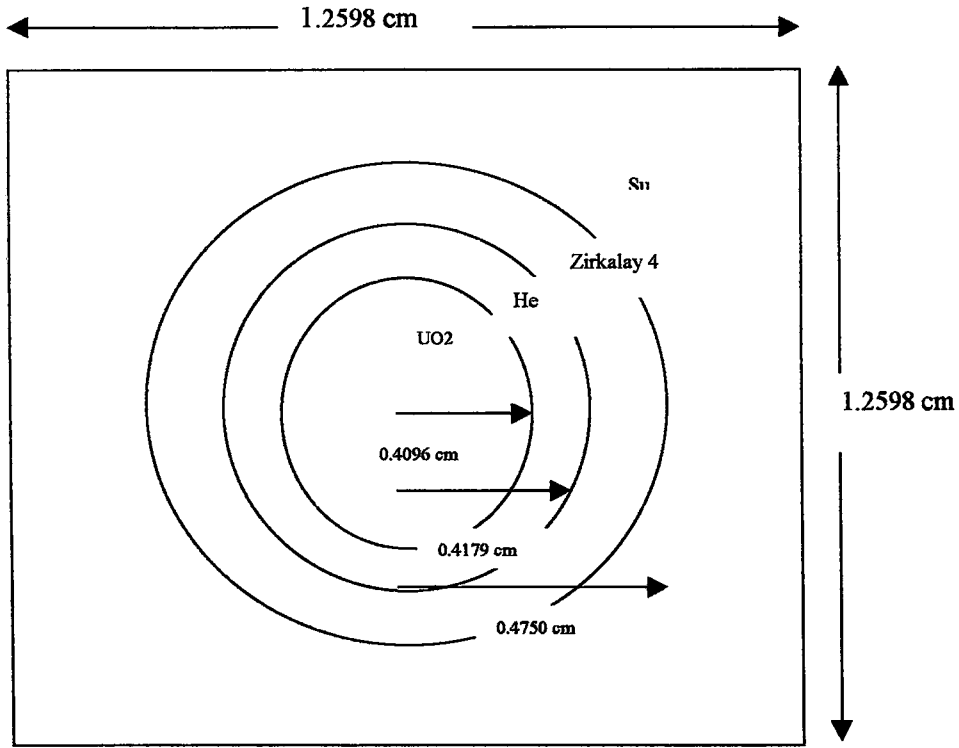
b-)



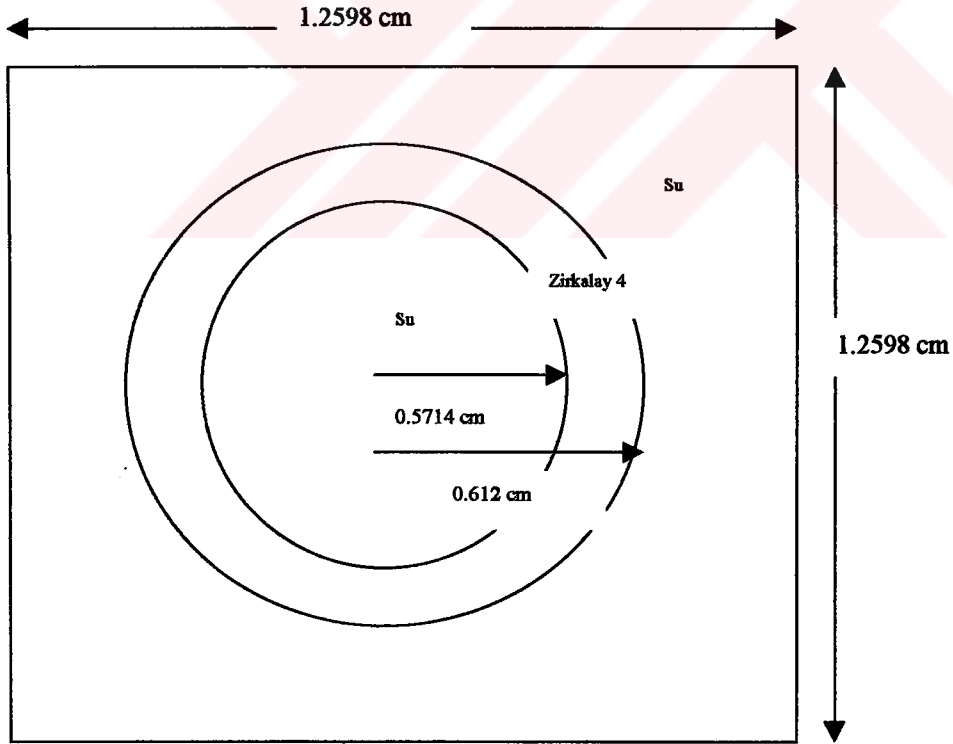
c-)

Şekil 3.7

- a-) DRAGON2 tarafından modellenen PWR yakıt demeti[1]
b-) Yakıt demeti içerisinde yer alan hücre çeşitleri[1]
c-) 17x17'lik yakıt demetini DRAGON2'de temsil edecek 1/8'lik parçası

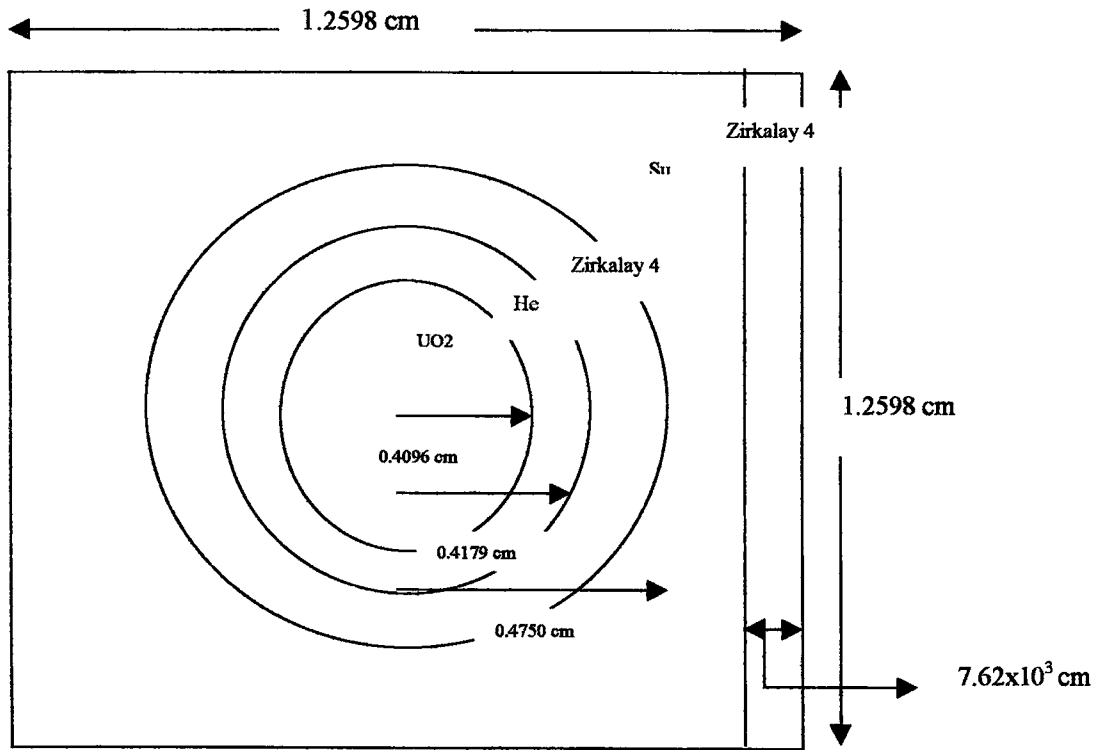


a-) C2 Yakıt Hücresi

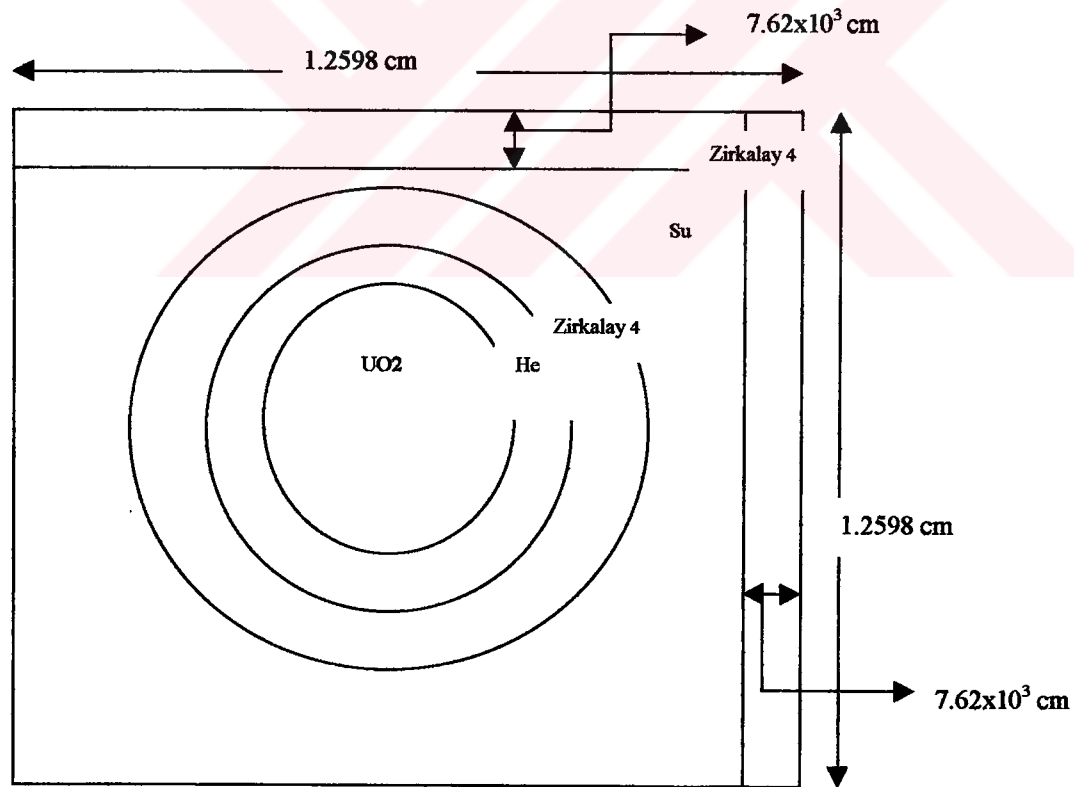


b-) C1 Boş Hücre

Şekil 3.8 a-) Yakıt demetinde yer alan C2 hücresinin boyutları ve içerdikleri
b-) Yakıt demetinde yer alan C1 hücresinin boyutları ve içerdikleri



c-) C4 Sınır Yakıt Hücresi



d-) C5 Köşe Yakıt Hücresi

Şekil 3.8 c-) Yakıt demetinde yer alan C4 hücresinin boyutları ve içerdikleri
d-) Yakıt demetinde yer alan C5 hücresinin boyutları ve içerdikleri

3.5 17x17'lik ALMARAZ2 Yakıt Demeti Modeli Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

3.5.1 Yakıtın Değişik Zenginlikleriyle Sonsuz Çoğaltma Faktörünün Değişimi

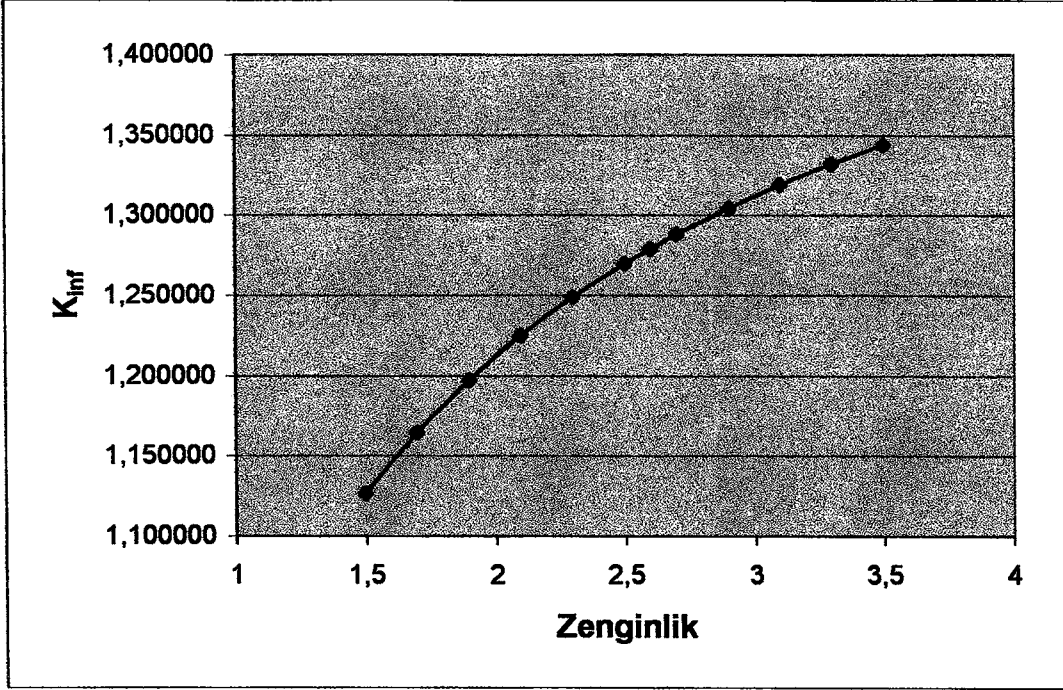
Yakıt demeti inputu kullanılarak beş değişik yakıt demeti için yakıtların değişik zenginliklerine karşılık gelen sonsuz çoğaltma faktörü değerleri hesaplanmıştır. Bu yakıt demetlerini birbirinden ayıran özellik yakıt, gaz aralığı, zarf ve moderatör sıcaklıklarının birbirinden farklı olmasıdır. Bu değerler Tablo 3.6'da gösterilmektedir. Ayrıca A, B, C, D, E yakıt demetleri için K_{inf} değerleri tablolanmış ve yakıt zenginliğiyle K_{inf} 'in nasıl değiştiği şekillerde gösterilmiştir. C tipi yakıt demeti reaktör koşullarına en uygun yakıt demeti olduğu için örnek olarak seçilmiş ve bu yakıt demeti inputu üzerinde yapılan çalışmadan elde edilenler Tablo 3.7 ve Şekil 3.9a ve Şekil 3.9b'de gösterilmiştir. Diğer yakıt demetleri için de yakıt zenginliğiyle K_{inf} 'in değişimi çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Ek C'ye konulmak suretiyle gösterilmiştir. Bu çalışmalar 1000 ppm'lik boron katılarak da tekrar edilmiştir. Yakıt hücresi modeli üzerine uygulanan çalışmalarda olduğu gibi artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3.6 A, B, C, D, E yakıt demetlerindeki moderatör, zarf, gaz aralığı ve yakıt sıcaklıkları.

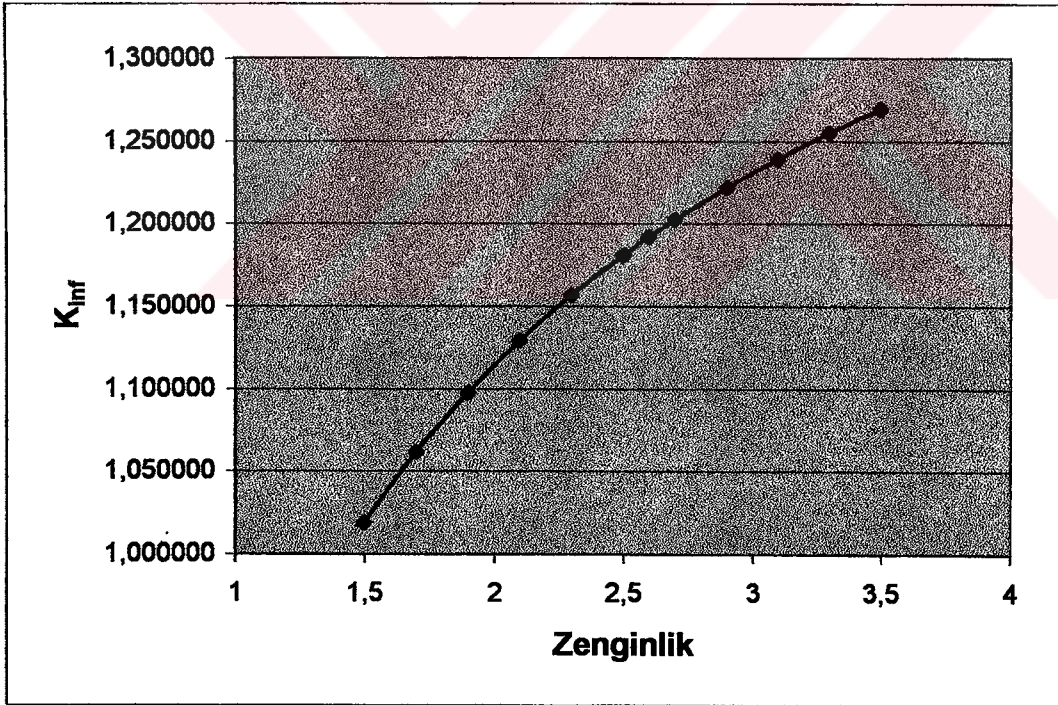
Assembly	Tmod (K)	Tzarf (K)	Tgaz (K)	Tyakıt, ort(K)	Tyakıt, eff (K)
A	293,15	293,15	293,15	293,15	293,15
B	546,55	546,55	546,55	546,55	546,55
C	583,05	613,15	795,15	977,15	913,15
D	583,05	613,15	895,15	1177,15	1113,15
E	553,05	613,15	795,15	977,15	913,15

Tablo 3.7 C türündeki yakıt demeti için değişik zenginliklere karşılık gelen K_{inf} değerleri

Zenginlik(%)	K_{inf}	K_{inf} (boron katılmış)
1,5	1,126318	1,018846
1,7	1,164742	1,061289
1,9	1,197121	1,097625
2,1	1,224786	1,129097
2,3	1,248682	1,156607
2,5	1,269549	1,180884
2,6	1,279017	1,191978
2,7	1,287925	1,202462
2,9	1,304234	1,221773
3,1	1,318814	1,239165
3,3	1,331925	1,254910
3,5	1,343787	1,269244



a-)



b-)

Şekil 3.9 a-) C türündeki yakıt demeti için zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.

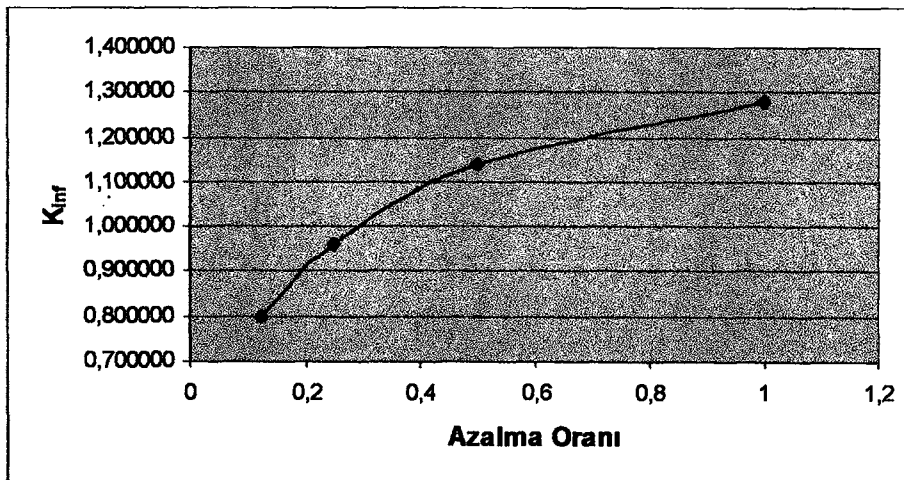
b-) 1000 ppm'lik boron katılmış durumda C yakıt demeti için zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.

3.5.2 Moderatör Yoğunluğu Azaltılması

Yakıt demeti inputu kullanılarak yapılan ikinci çalışma da moderatör yoğunluğu azaldıkça sonsuz çoğaltma faktörünün bu durumdan ne şekilde etkileneceğini görmek için yapılmıştır. Bu çalışma yalnız C yakıt demeti üzerinde yapılmıştır. Moderatör yoğunluğu hidrojen ve oksijenin izotopik yoğunluklarının sürekli yarısı alınmak suretiyle azaltılmıştır. Bu hesaplamaların sonucunda elde edilen değerler Tablo 3.8’te gösterilmiştir. Moderatör yoğunluğu düşürüldüğünde yakıt demetimizi oluşturan hücrelerimiz undermoderated konumunda olduğu için sonsuz çoğaltma faktörü değerlerinin de giderek düştüğünü görüyoruz. Bu düşme de Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Buradan da Almaraz2 yakıt demetinin bir kaza sırasında soğutucu kaybetmesi durumunda bir tehlikeyle karşı karşıya kalmayacağını göstermektedir. Buradan da diyebiliriz ki Almaraz2 reaktörü bu tür kazalar için güvenli bir reaktördür.

Tablo 3.8 C yakıt demeti için moderatör yoğunluğu azaltılmasına karşılık gelen K_{inf} değerleri.

Azalma Oranı	K_{inf}
1	1,279017
1 / 2	1,141323
1 / 4	0,962075
1 / 8	0,798384



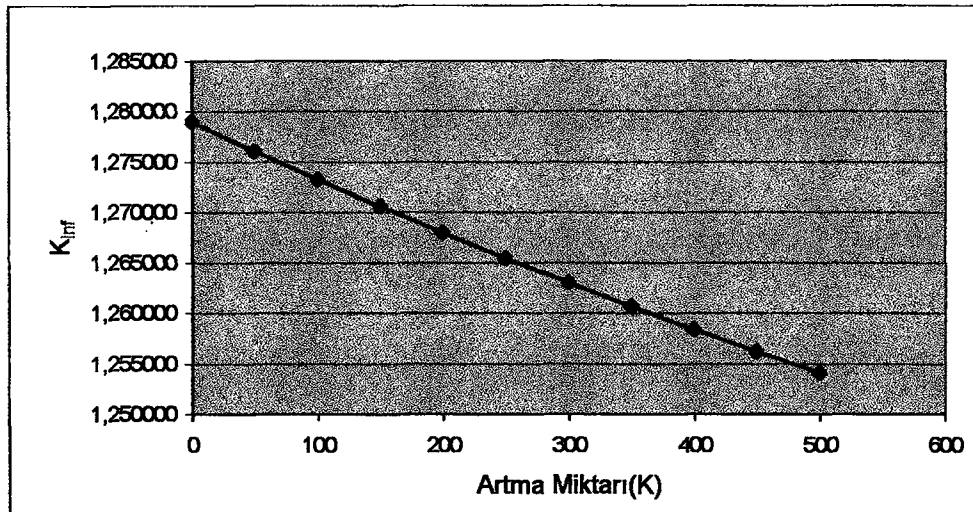
Şekil 3.10 C yakıt demetinde moderatör yoğunluğu azaltılmasına karşılık elde edilen K_{inf} değerleri.

3.5.3 Sıcaklık Arttırımı Çalışması

Yakıt hücresi inputu üzerinde yapmış olduğumuz çalışmalardan farklı olarak sıcaklık arttırımı çalışması yapılmıştır. Yakıt, gaz aralığı, zarf ve moderatör sıcaklıkları aynı oranda arttırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen değerler Tablo 3.9’de gösterilmiştir. Şekil 3.11’den de görüldüğü gibi sıcaklık arttırıldığında sıcaklık geri beslemesinden dolayı K_{inf} değerleri de düşmüştür.

Tablo 3.9 C yakıt demeti için farklı sıcaklıklara karşılık gelen K_{inf} değerleri.

Artma Miktarı	K_{inf}
0	1,279017
50	1,276096
100	1,273278
150	1,270570
200	1,267958
250	1,265436
300	1,263004
350	1,260654
400	1,258383
450	1,256185
500	1,254056



Şekil 3.11 C yakıt demeti için sıcaklık arttırılmasıyla K_{inf} 'in değişimi.

3.6 Projeye Katılan Ülkelerin Kullandıkları Kodlar

Bu bölümde IAEA'nın desteğiyle gerçekleştirilen ve 1995 yılında sonuçlandırılan projede her bir katılımcı tarafından problemi çözmek için kullanılan hesaplama yöntemleri ve kodlar üzerinde durulacaktır. Katılımcılar Hindistan, İspanya, Türkiye, Hırvatistan, Güney Afrika ve Sırbistan'dır.

3.6.1 Bhabha Atomic Research Centre (Hindistan)

Kullanılan kod paketi SUPERB-AKHILESH'tir. Yakıt demeti hesaplamaları için SUPERB kafes kodu kullanılmıştır. Global kalp analizi ise tek gruplu iki boyutlu AKHILESH koduyla yapılmıştır.

Temel olarak kullanılan data grup yapısı termal enerji bölgesindeki Pu izotopunun önemli rezonansları için yeterince iyi olan UK'nin 69 gruplu WIMS kütüphanesidir. Tesir kesitleri tipik bir PWR kafes hücresinin spektrumuyla 28 gruba toplanmıştır. Bu 28 gruplu kütüphane 69 gruplu sonuçlara yakın sonuçlar üretmiştir.

Bu çalışmada 28 grup içinde ara yüzey akım yaklaşımı kullanılarak tek boyutlu bir dizi transport hesaplaması yapıldı. Ve sonra herhangi bir noktada multi grup nötron spektrumu çeşitli tek boyutlu transport çözümlerinin üstüste konulmasıyla elde edilir.

AKHILESH kodu tek gruplu iki boyutlu difüzyon denklemini sonlu fark yöntemiyle çözer. Akı dağılımı yerine nötron dağılımı için çözüm yapar [1].

3.6.2 Universidad Polytechnica de Madrid (İspanya)

Kullanılan kod paketi, daha önce PWR kalp analizi sisteminden geliştirilen JEN-UMP sisteminin son versiyonu SEANAP'tır. Bu son versiyon önceki kod ve yöntemlerin geliştirilerek birleştirilmesi sonucu geliştirilmiştir. Ayrıca geliştirilmiş yeni özellikler koda eklenmiştir.

SEANAP sistemi dört alt sistem ve kodun birleşmesiyle oluşmuştur. Yakıt demeti hesaplamaları için MARIA alt sistemi, hücre hücre detaylı kalp hesaplamaları için COBAYA2 kodu ve ya CARMEN kodu, tek grup düzeltilmiş kalp simülasyonu için LOLA altsistemi ve yakıt yönetimi analizi için CICLON kodu [1].

3.6.3 Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (Türkiye)

Kullanılan kod paketi kalp içi yakıt yönetimi modüler sistemi GELS-GEREBUS'tur. GELS-GEREBUS kalp sistemi, spektral GELS kodu tarafından üretilen multigrup tesir kesidi, tek boyutlu integral kafesi ve iki boyutlu GEREBUS kodundan oluşur. Bu iki kod her bir yakıt tipi için GELS tarafından üretilen ve tükenme değerlerine bağlı olarak polinomlar şeklinde gösterilen mikroskopik tesir kesidi kütüphanesiyle birbirine bağlanır.

GELS 45 gruplu kütüphane kullanan hücre tükenim kodu ve tesir kesidi oluşumudur. GEREBUS ise iki boyutlu multigrup difüzyon tükenim kodu EREBUS'un bir versiyonudur [1].

3.6.4 Ruder Boskovic Institute and University of Zagreb (Hırvatistan)

Kullanılan kod paketi Penn State Yakıt Yönetimi Paketi PFMP (Penn State Fuel Management Package)'dir. Bu paket PSU-LEOPARD (Penn State University Leopard) ve MCRAC (Multiple Cycle Reactor Analysis Code) kodlarından oluşur. PSU-LEOPARD temel olarak MCRAC koduyla uygun formda tesir kesidi üreten ek seçeneğiyle birlikte LEOPARD kodudur. MCRAC kritik boron araştırması, yakıt demetlerinin makroskopik tükenimi ve ve güce bağlı Xenon düzeltmesi gibi kalp modeli içinde genellikle bulunan seçenekleri birleştiren global kalp hesaplama modelidir. İki boyutta nötron difüzyon denkleminin iki enerji gruplu çözümü EXTERMINATOR-II sonlu fark algoritmasından elde edilir [1].

3.6.5 Boris Kidric Institute of Nuclear Sciences (Sırbistan)

İki temel bilgisayar programı normal olarak detaylı kalp içi yakıt yönetimi nötronik analizinde kullanılır. Yakıt demetinin nötronik özelliklerini tükenme olarak tanımlayan yakıt demeti kodu ve reaktör kalbinin çalışmasını gösteren iki ve üç boyutlu simülatör kod. Simülatör kodun kalp şekli ve termal hidrolik şartlara olduğu kadar yakıt demeti tükenim kodundan elde edilen nötronik data inputuna da ihtiyacı vardır. Hücre ve yakıt demeti hesaplamaları için 40 enerji gruplu WIMSD4 kodu, reaktör kalp hesaplamaları için WAMPIR kodu kullanılmıştır. WIMSD4 kodu belirli tükenme değerleri için yakıt demeti tesir kesitlerinin grup değerlerini verir. Bunlar

tükenmeye karşı global reaktör kalp parametrelerini hesaplamak için input olarak kullanılır [1].

3.6.6 Atomic Energy Corporation of South Africa (Güney Afrika Cumhuriyeti)

PWR kalp içi hesaplamaları için Güney Afrika'nın atom enerji kurumunun reaktör teorisi bölümünde kullanılan metod mikroskopik kalp tükenim modeli üzerine kurulmuştur. Global reaktör hesaplamaları iki boyutlu iki gruplu nodal difüzyon koduyla yapılır. Kalp için tükenme hesaplamalarında gereken iki gruplu homojenleştirilmiş yakıt demeti mikroskopik tesir kesidi datası tek boyutlu multigrup yakıt demeti tükenim kodu paketiyle hazırlanır. Kafes hücre kodu her biri belirli görevleri yapan başlıca dört modülden oluşur : PREWIM, WIMSD4, WEDRO-1, CLIPAR. Kalp analizi içinde BOLD VENTURE kodu kullanılmıştır [1].

Projenin altı katılımcısından beşi A, B, C, D ve E yakıt demetleri için sonsuz çoğaltma faktörü değerlerini elde etmişlerdir. Bu değerler yakıtın % 2,1, % 2,6, % 3,1 zenginlikleri için boronsuz ve 1000ppm boron katılmış durumlar için ayrı ayrı elde edilmiştir. Beş katılımcının sonuçları DRAGON2 nötron transport kodundan elde edilen sonuçlarla Tablo 3.10'da karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.10 DRAGON2 kullanılarak modellenmiş yakıt demetlerinden elde edilen K_{inf} değerlerinin projenin beş katılımcı ülkesinin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

a-) %2,1 zenginlikteki yakıt için elde edilen K_{inf} değerlerinin karşılaştırılması.

ppm	T	DRA	SPA	IND	SAF	TUR	CRO
0	A	1,26423	1,28558	1,29692	1,28750	1,28541	1,28805
0	B	1,24160	1,24877	1,26303	1,25050	1,24599	1,24984
0	C	1,22479	1,22941	1,24416	1,23194	1,22536	1,23193
0	D	1,21818	1,22279	1,23751	1,22479	1,21988	1,22641
0	E	1,22559	1,23841	1,25250	1,24062	1,23939	1,24178
1000	A	1,16402	1,06973	1,07791	1,06694	1,07010	1,07723
1000	B	1,14455	1,08552	1,09911	1,08870	1,08621	1,09074
1000	C	1,12910	1,07630	1,09001	1,07868	1,07568	1,08219
1000	D	1,12299	1,07330	1,08414	1,07258	1,07089	1,07717
1000	E	1,12970	1,07268	1,08564	1,07553	1,07656	1,09791

b-) %2,6 zenginlikteki yakıt için elde edilen K_{inf} değerlerinin karşılaştırılması.

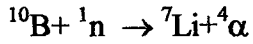
ppm	T	DRA	SPA	IND	SAF	TUR	CRO
0	A	1,31815	1,34788	1,35929	1,35022	1,34600	1,34916
0	B	1,29631	1,30594	1,32024	1,30743	1,30190	1,30532
0	C	1,27902	1,28513	1,30003	1,28762	1,27981	1,28594
0	D	1,27220	1,27829	1,29317	1,28006	1,27417	1,28025
0	E	1,27973	1,29562	1,30982	1,29755	1,29551	1,29745
1000	A	1,22682	1,14592	1,15480	1,14353	1,14619	1,15282
1000	B	1,20803	1,15566	1,16982	1,15756	1,15545	1,15957
1000	C	1,19198	1,14454	1,15645	1,14688	1,14295	1,14910
1000	D	1,18561	1,13829	1,15892	1,14028	1,13794	1,14387
1000	E	1,19250	1,14285	1,15276	1,14537	1,14605	1,14877

c-) %3,1 zenginlikteki yakıt için elde edilen K_{inf} değerlerinin karşılaştırılması.

ppm	T	DRA	SPA	IND	SAF	TUR	CRO
0	A	1,35757	1,39370	1,40536	1,39642	1,39108	1,39383
0	B	1,33641	1,34785	1,36244	1,34922	1,34723	1,34570
0	C	1,31881	1,32603	1,34131	1,32848	1,31962	1,32527
0	D	1,31186	1,31903	1,33434	1,32066	1,31390	1,31950
0	E	1,31946	1,33761	1,35216	1,33940	1,33655	1,33803
1000	A	1,27381	1,20457	1,21416	1,20261	1,20467	1,21076
1000	B	1,25561	1,20902	1,22383	1,21077	1,20802	1,21170
1000	C	1,23917	1,19641	1,21152	1,19871	1,19399	1,19971
1000	D	1,23262	1,18996	1,20519	1,19180	1,18882	1,19433
1000	E	1,23962	1,19634	1,21065	1,19866	1,19891	1,20116

3.7 Pyrexglass'ın Yanıcı Zehir Olarak Kullanılması

Pyrexglass ve ya diğer adıyla boronsilikat %81 SiO₂, %3.5 Na₂O, %2.5 Al₂O₃, %13 B₂O₃'ten oluşmuştur. Bu yüzdelerden Pyrexglass'ın içindeki boron miktarının % 4 civarında olduğu söylenilebilir. ¹⁰B'nin çok yüksek termal yutma tesir kesidine ve düşük maliyete sahip olması termal reaktörlerde kontrol elemanı ve yanıcı zehir olarak kullanılmasını sağlar. Yutma reaksiyonu aşağıdaki gibidir.

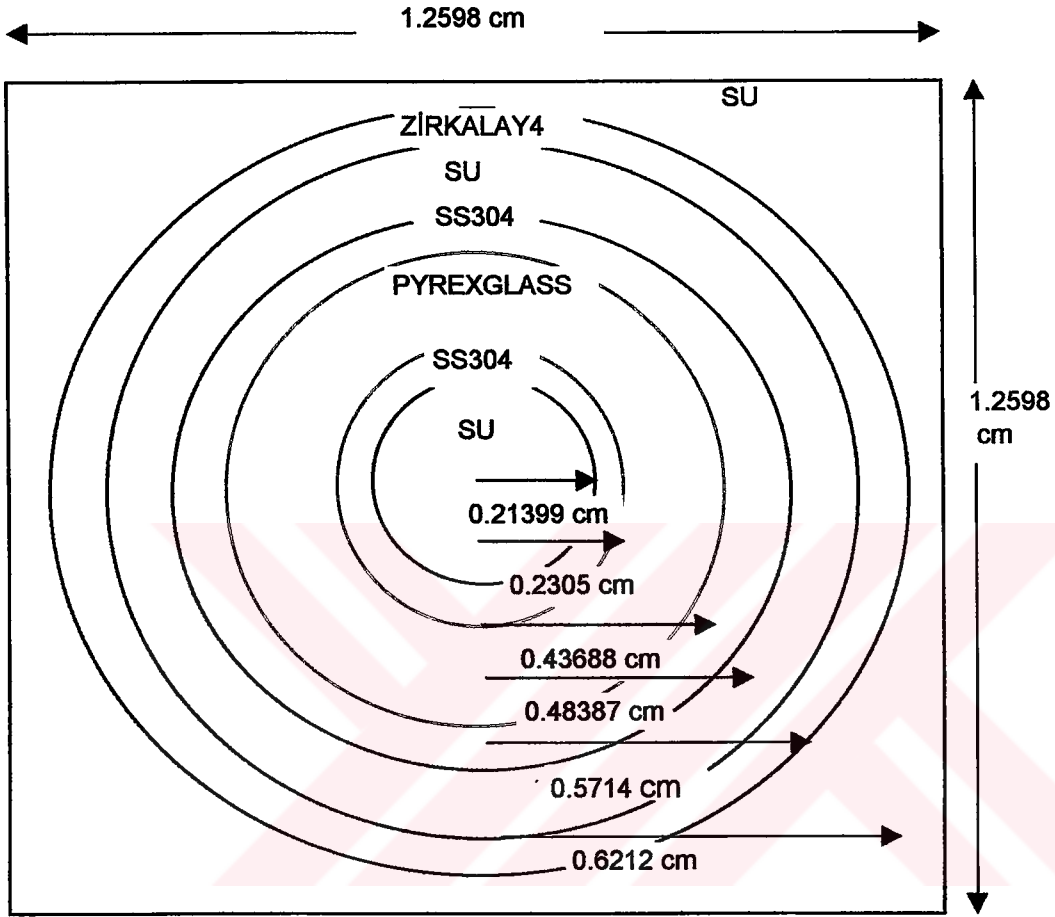


Boron yanıcı zehir olarak yaşam zamanı boyunca reaktivitedeki değişikliği gidermek için kullanılabilir. Küçük bir miktar boron başlangıçtaki reaktiviteyi düşürmek için yakıt ve ya özel yanıcı zehir çubuklarına konulur. Boronun tükenmesi reaktivitede artışa neden olarak yakıtın yanması ve fisyon ürünlerinin birikmesinden kaynaklanan reaktivitedeki azalmayı kısmen giderir. Boron doğrudan yakıt dahil edildiğinde zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu yüzden bir çok uygulamada ayrı yanıcı zehir çubukları kullanılmak zorundadır. Paslanmaz çelik-boron alaşımları bu amaç için kullanılabilir. Böylece çubuklardaki boron tükenimi düşük tutulabilir. Alternatif olarak, Almaraz2 reaktöründe kullanıldığı üzere paslanmaz çelik tüplerin içinde kapsul haline getirilmiş pyrexglass lokumları şeklinde de boron yutucu malzeme olarak kullanılabilir [7].

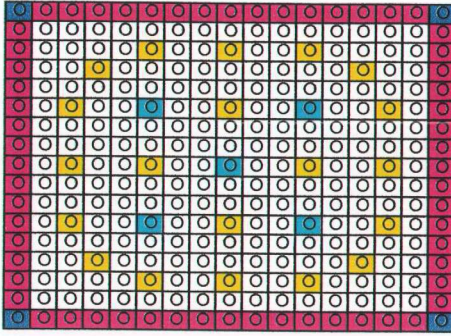
Şekil 3.12'de Almaraz2 reaktörü yakıt demetine eklenen pyrexglass hücresi görülmektedir. Zirkalay4 kılavuz tüplerinin içinde hareket eden iki yanında paslanmaz çelikle çevrelenmiş yarıçap olarak 0.2305 cm ile 0.43688 cm arasına yerleşmiş Pyrexglass maviyle gösterilmiştir. Şekil 3.13a, Şekil3.13b ve Şekil 3.13c'de sırasıyla yakıt demetine katılan 12, 16, 20 yanıcı yutucu çubuğun (burnable poison rod-BPR) yerleşim düzeni verilmiştir. Yanıcı yutucu çubuklar yakıt demeti içerisinde sarı renkle gösterilmiştir.

3.8 Tükenme Analizi Yapılmasının Nedeni

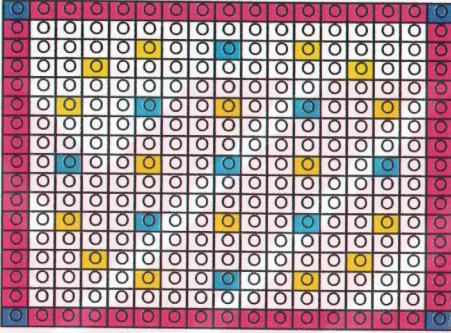
Reaktör işletimi sırasında fisil izotoplar tükeneceğinden ve fisyon ürünleri oluşacağından yakıt kompozisyonu değişecektir. Nükleer tasarımcı, taşınan enerjinin fonksiyonu olan reaktivite ve yakıt kompozisyonunu öğrenme çabası içindedir. Bu, tükenme üzerine çalışmayı gerektirmektedir. Çoğaltma faktörünün ve güç



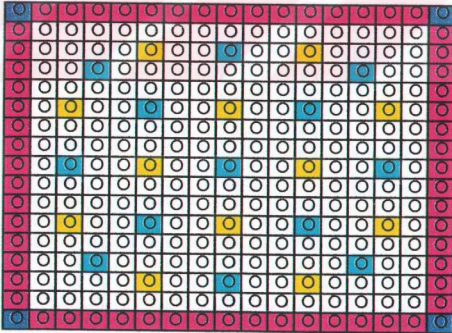
Şekil 3.12 Almaraz Reaktöründe yakıt demetine eklenen yanıcı yutucu hücresi.



a-)



b-)



c-)

Şekil 3.13 a-) Almaraz2 reaktöründe yakıt demetine eklenen 20 tane yanıcı yutucu çubuğun yerleşim düzeni.

b-) Almaraz2 reaktöründe yakıt demetine eklenen 16 tane yanıcı yutucu çubuğun yerleşim düzeni

c-) Almaraz2 reaktöründe yakıt demetine eklenen 12 tane yanıcı yutucu çubuğun yerleşim düzeni

dağılımının hesabı, kalp kompozisyonu değıştikçe, reaktör işletim süresi üzerinden bir çok kereler yapılmak zorundadır. Kalpteki çekirdeklerin zamana bağılı üretimi ve ya tüketimiyle kalp güç dağılımının etkileşimi, tükenme (burnup) analizi olarak bilinir. Nükleer reaktör analizinin belki en pahalı ve zaman alıcı yanı budur. Nükleer reaktörün ekonomik performansını gösterdiğinden tükenme analizi, reaktör güvenlik analizi bir tarafa bırakılırsa, nükleer reaktör analizinin belki de en önemli yanıdır. Diğer bir deyişle burn-up terimi fisyon olayı boyunca fisil madde kaybının yerini tutan sözcüktür ve genellikle yakıtın tonu başına üretilen Megawatt-gün cinsinden tanımlanır. Kalbin yaşam süresi üzerinden tükenmeyi belirlemek için fisyon kadar yakalanma'nın da yakıt tüketimine etkisi araştırılmalıdır. Tükenme hesaplarının yapılmasının nedenleri şöyle sıralanabilir;

- 1-) Kalbin yaşam süresini ve gerekli excess reaktiviteyi tahmin etme olasılığı sağlar.
- 2-) Reaktör güvenliğiyle ve kontrolüyle ilgili önemli ve gerekli bilgileri sunar. Fisyon sonucu açığa çıkan zehirlerin bazıları (Xe^{135} ve Sm^{149} gibi) reaktiviteyi düşürürler. Diğer yandan, fertil maddeler nötron yakalayarak fisil malzemeye (U^{238} 'den Pu^{239} 'a gibi) dönüşürler, bu da reaktiviteyi artırır.
- 3-) Kontrol çubuğu programları, yani kalp yaşamının farklı devrelerinde kritikliği sağlayan kontrol çubuğu pozisyonları saptanabilir.
- 4-) Yakıt çevrim maliyetleri tükenmenin fonksiyonudur, ve bu maliyetler reaktörün ekonomik olup olmadığı sorusunun cevabını belirlemede önemli bir parametre olduğundan belirlenmesi zorunludur.
- 5-) Yakıt kullanımı ve tükenme, yanıcı zehirler ve yakıt değışimi planlarının kullanımıyla optimize edilebilir. Tükenme hesaplamaları optimizasyon işleminin ayrılmaz bir parçasıdır.

Bu tartışmadan nükleer tasarımcının sorumluluklarının oldukça çok ve değışik olduğu anlaşılmaktadır. Tasarımcı limitleri, yakıt moderatör hacim oranının değeri, yakıt çubuğu çapını ve yakıt elemanı düzenini sağlamak zorundadır. Yakıt tükenimi, ve fisyon ürünlerinin oluşumu gözönüne alınarak yakıt yerleşiminin nasıl olacağı belirlenmeli ve kontrol çubuğu geometrisi, yanıcı zehirler ve reaktivite şartları da dahil edilerek kontrol şartları sağlanmalıdır [7].

Bu çalışmada DRAGON2 nötron transport kodu kullanılarak 12, 16 ve 20 yanıcı yutucu çubuğa sahip yakıt demetleri modellenmiştir. Tükenme hesaplamaları %2.1, %2.6, %3.1 zenginlikte UO_2 içeren yakıt demetleri için 0, 150, 2000, 4000, 8000,

10000, 14000, 18000, 22000, 26000, 30000, 34000, 38000, 42000, 46000, 50000 MWd/tU (Megawattday/ton uranium) tükenme (burn-up) değerlerinde 0 ve 1000 ppm'lik boron ve 12, 16, 20 yanıcı yutucu çubuk katılarak yapılmıştır. Tükenme hesaplamaları 0 burn-up'ta Xe olmadığı ve sonradan dengeye geldiği yaklaşımıyla yapılmıştır. Aşağıdaki oniki durum için tükenme değerleriyle K_{inf} , U235, U238, Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları ve boron oranlarının nasıl değiştiği saptanmıştır.

- 1-) % 2.1 zenginlikte UO_2 , 0 BPR (yanıcı yutucu çubuk) ve 0 ppm boron içeren yakıt demeti.
- 2-) % 3.1 zenginlikte UO_2 , 0 BPR ve 0 ppm boron içeren yakıt demeti.
- 3-) % 2.6 zenginlikte UO_2 , 0 BPR ve 0 ppm boron içeren yakıt demeti.
- 4-) % 2.6 zenginlikte UO_2 , 12 BPR ve 0 ppm boron içeren yakıt demeti.
- 5-) % 2.6 zenginlikte UO_2 , 16 BPR ve 0 ppm boron içeren yakıt demeti.
- 6-) % 2.6 zenginlikte UO_2 , 20 BPR ve 0 ppm boron içeren yakıt demeti.
- 7-) % 2.1 zenginlikte UO_2 , 0 BPR ve 1000 ppm boron içeren yakıt demeti.
- 8-) % 3.1 zenginlikte UO_2 , 0 BPR ve 1000 ppm boron içeren yakıt demeti.
- 9-) % 2.6 zenginlikte UO_2 , 0 BPR ve 1000 ppm boron içeren yakıt demeti.
- 10-) % 2.6 zenginlikte UO_2 , 12 BPR ve 1000 ppm boron içeren yakıt demeti.
- 11-) % 2.6 zenginlikte UO_2 , 16 BPR ve 1000 ppm boron içeren yakıt demeti.
- 12-) % 2.6 zenginlikte UO_2 , 20 BPR ve 1000 ppm boron içeren yakıt demeti.

DRAGON2 nötron transport kodu kullanılarak elde edilen %2.6 zenginlikte 0ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin projeye katılan diğer altı ülkeyle karşılaştırılması Tablo 3.11'de verilmiştir. DRAGON2 nötron transport kodu kullanılarak elde edilen %2.6 zenginlikte 1000ppm boron ve 20 yanıcı yutucu çubuk içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin projeye katılan altı ülkeyle karşılaştırılması Tablo 3.12'de verilmiştir. Örnek olarak hesaplamalardan elde edilen değerlerden %2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen U235 miktarları ve bu değerlerin projeye katılan diğer altı ülkeyle karşılaştırılması Tablo3.13'de, %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20 yanıcı yutucu çubuk içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen U235 miktarları ve bu değerlerin projeye katılan altı ülkeyle karşılaştırılması Tablo 3.14'de verilmiştir. Geriye kalan oniki

Tablo 3.11 %2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	1,28551	1,28513	1,30003	1,28594	1,28762	1,27981	1,29817
	1,23782						
0,15	1,23742	1,23653	1,24747	1,23954	1,23989	1,23305	1,24902
	1,21233						
2,00	1,21281	1,21424	1,21808	1,21184	1,21315	1,20629	1,22646
	1,18508						
4,00	1,18527	1,18838	1,19032	1,18400	1,18610	1,17876	1,20034
	1,15784						
6,00	1,15789	1,16161	1,16221	1,15621	1,15910	1,15146	1,17330
	1,13223						
8,00	1,13216	1,13592	1,13637	1,12986	1,13358	1,12595	1,14736
	1,10822						
10,00	1,10813	1,11185	1,11255	1,10518	1,10976	1,10236	1,12304
	1,06592						
14,00	1,06525	1,06778	1,06951	1,06059	1,06706	1,05978	1,07853
	1,02780						
18,00	1,02698	1,02798	1,03138	1,02104	1,02854	1,02192	1,03833
	0,99329						
22,00	0,99240	0,99144	0,99679	0,98537	0,99320	0,98752	1,00142
	0,96166						
26,00	0,96082	0,95782	0,96526	0,95238	0,96061	0,95600	0,96746
	0,93294						
30,00	0,93212	0,92708	0,93595	0,92304	0,93071	0,92710	0,93641
	0,90709						
34,00	0,90636	0,89932	0,90914	0,89581	0,90353	0,90073	0,90837
	0,88398						
38,00	0,88335	0,87465	0,88471	0,87112	0,87920	0,87687	0,88346
	0,86361						
42,00	0,86308	0,85311	0,86249	0,84897	0,85772	0,85550	0,86170
	0,84593						
46,00	0,84552	0,83460	0,84261	0,82951	0,83905	0,83656	0,84300
	0,83070						
50,00	0,83041	0,81891	0,82486	0,81283	0,82304	0,81989	0,82715

Tablo 3.12 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{mr} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	0,97374	0,95644	0,96081	0,93419	0,95701	0,94927	0,96826
	0,94894						
0,15	0,94873	0,93228	0,93371	0,91402	0,93330	0,92543	0,94356
	0,96773						
2,00	0,97043	0,95250	0,95127	0,93880	0,95106	0,94305	0,96400
	0,98344						
4,00	0,98557	0,96508	0,96689	0,95556	0,96285	0,95524	0,97673
	0,99409						
6,00	0,99558	0,97213	0,97454	0,96502	0,96978	0,96240	0,98386
	1,00006						
8,00	1,00106	0,97540	0,97664	0,96911	0,97304	0,96591	0,98717
	1,00087						
10,00	1,00129	0,97499	0,97711	0,96859	0,97252	0,96572	0,98676
	0,99846						
14,00	0,98813	0,96312	0,96641	0,95681	0,96129	0,95495	0,97474
	0,96561						
18,00	0,96488	0,94171	0,94602	0,93653	0,94062	0,93545	0,95308
	0,93933						
22,00	0,93862	0,91680	0,92216	0,91317	0,91660	0,91224	0,92787
	0,91423						
26,00	0,91361	0,89203	0,89842	0,88981	0,89266	0,88917	0,90280
	0,89098						
30,00	0,89045	0,86882	0,87583	0,86773	0,87012	0,86738	0,87931
	0,86999						
34,00	0,86953	0,84759	0,85491	0,84723	0,84943	0,84727	0,85782
	0,85119						
38,00	0,85075	0,82847	0,83561	0,82846	0,83067	0,82884	0,83847
	0,83437						
42,00	0,83400	0,81145	0,81784	0,81140	0,81383	0,81207	0,82124
	0,81954						
46,00	0,81926	0,79645	0,80165	0,79608	0,79886	0,79689	0,80606
	0,80652						
50,00	0,80631	0,78335	0,78687	0,78257	0,78563	0,78319	0,79281

Tablo 3.13 %2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235 miktarı(kg/tU) ve diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	26,000	26,000	26,000	25,999	26,000	25,997	26,000
	25,816						
0,15	25,816	25,817	25,820	25,816	25,818	25,815	26,081
	23,691						
2,00	23,689	23,688	23,710	23,669	23,686	23,708	23,929
	21,610						
4,00	21,609	21,601	21,660	21,578	21,596	21,641	21,817
	19,712						
6,00	19,711	19,693	19,760	19,674	19,688	19,750	19,888
	17,968						
8,00	17,967	17,937	18,060	17,929	17,935	18,013	18,121
	16,356						
10,00	16,353	16,316	16,490	16,321	16,317	16,411	16,484
	13,507						
14,00	13,501	13,428	13,690	13,477	13,449	13,561	13,565
	11,069						
18,00	11,063	10,955	11,280	11,049	10,998	11,126	11,070
	8,995						
22,00	8,991	8,849	9,228	8,984	8,912	9,051	8,939
	7,245						
26,00	7,241	7,070	7,510	7,238	7,148	7,296	7,141
	5,780						
30,00	5,778	5,585	6,025	5,776	5,672	5,824	5,646
	4,574						
34,00	4,570	4,363	4,786	4,563	4,451	4,604	4,404
	3,583						
38,00	3,580	3,371	3,765	3,750	3,456	3,604	3,404
	2,781						
42,00	2,779	2,580	2,932	2,766	2,656	2,796	2,606
	2,144						
46,00	2,142	1,957	2,263	2,124	2,023	2,151	1,980
	1,641						
50,00	1,639	1,474	1,731	1,618	1,528	1,642	1,485

Tablo 3.14 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235 miktarı(kg/tU) ve diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması

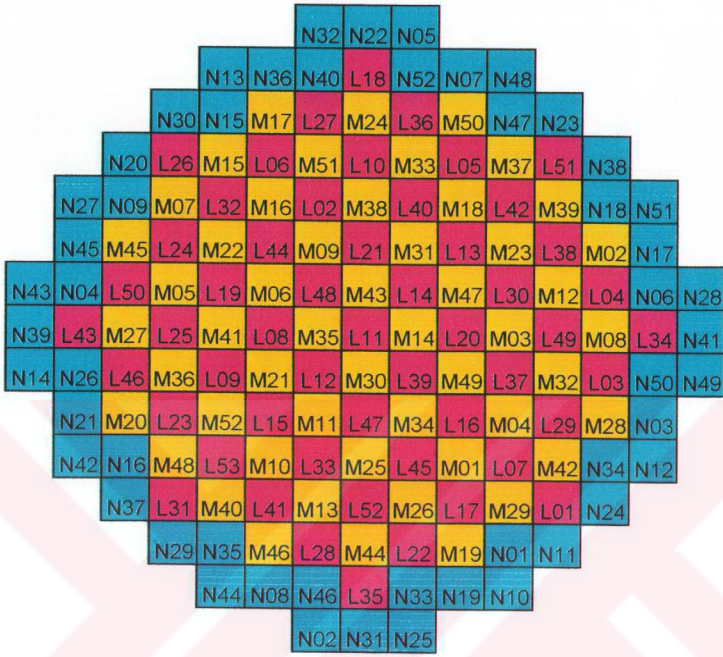
BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	26,000	25,997	26,000	25,999	26,000	25,996	26,000
	25,816						
0,15	25,816	25,817	25,820	25,819	25,820	25,815	25,870
	23,713						
2,00	23,709	23,737	23,760	23,728	23,735	23,738	24,027
	21,690						
4,00	21,687	21,733	21,780	21,725	21,725	21,737	21,992
	19,866						
6,00	19,862	19,921	19,970	19,920	19,912	19,935	20,160
	18,201						
8,00	18,197	18,265	18,360	18,274	18,259	18,292	18,491
	16,665						
10,00	16,662	16,743	16,890	16,762	16,740	16,785	16,942
	13,960						
14,00	13,952	14,034	14,250	14,082	14,049	14,112	14,199
	11,636						
18,00	11,631	11,710	11,990	11,787	11,744	11,825	11,851
	9,651						
22,00	9,646	9,715	10,030	9,820	9,767	9,865	9,827
	7,959						
26,00	7,956	8,011	8,383	8,138	8,078	8,188	8,107
	6,527						
30,00	6,525	6,566	6,941	6,708	6,642	6,761	6,649
	5,327						
34,00	5,324	5,348	5,716	5,498	5,429	5,554	5,415
	4,321						
38,00	4,319	4,331	4,681	4,481	4,411	4,539	4,382
	3,487						
42,00	3,485	3,489	3,813	3,634	3,565	3,691	3,532
	2,802						
46,00	2,801	2,798	3,090	2,931	2,867	2,988	2,834
	2,241						
50,00	2,241	2,235	2,492	2,353	2,295	2,409	2,257

durum için hesaplanan K_{inf} , U235, U238, Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları ve boron oranları Ek D, Ek E ve Ek F'deki tablolarda sırasıyla verilmiştir.

3.9 Kalp Güç Dağılımı Hesabı

Nükleer reaktörlerin hesaplama modellerinin temel bileşenleri reaktör kalbinde statik nötron davranışı analiz eden hesaplama modülleri grubudur. Bu statik hesaplamalar kalp geometrisini tanımlayan çok grup akısı ve çoğaltma faktörü için çok gruplu difüzyon denklemi çözümü üzerine kurulmuştur. Statik reaktör akısı ve güç dağılımı reaktör tasarımında büyük öneme sahiptir. Bu hesaplamalar, kritikliğin sağlanması için gerekli olan yakıt yüklemesini belirleyebilmek ve kontrol sistemlerini ayarlayabilmek için gerekli olan hesaplamalardır. Kalp güç dağılımı hesabı bölgesel fisyon oranları hesaplanılarak elde edilebilir. Akı ve güç dağılımı bilinmeden reaktörde bir periyotta gerekli gücü elde etmek için kalbe yüklenmesi gereken yakıt miktarı bilinemez. Eğer reaktör az yakıtla yüklenmişse zamanından önce subkritikliğe düşecektir. Diğer taraftan da reaktörü, reaktör malzemelerinin elverdiğinden daha uzun süre işletecek yakıt yüklemenin ekonomik olmadığı görülmektedir. Güç dağılımı hesabı, kalbin termal-hidrolik analizi için de gereklidir. Örneğin, sıcak kanal faktörleri ve eksensel güç profili kalp performansının termal tasarım limitlerine ne kadar yaklaşacağını belirler. Tasarımcı, uzun bir kalp yaşamı sağlamak için gerekli excess reaktiviteyi sağlarken düzgün güç profilini meydana getirebilmek için bu analizin sonucunda elde edilen bilgileri kullanmak zorundadır. Sonuç olarak, optimum kalp performansını belirlemek için mümkün olduğu kadar termal sınırlar aşılmadan güç dağılımının tahmin edilmesinin gerektiği söylenebilir [7,8].

Sayısal hesaplamalar bölümünün bu kısmında Almaraz2 reaktörü için birinci devir için kalp güç dağılımı hesabı yapılmıştır. Almaraz2 reaktörü birinci devir için yakıt yerleşim düzeni Şekil 3.14'de verilmiştir. Güç dağılımı hesabı yapılırken CITATION nötron difüzyon kodu kullanılmıştır. Şekil 3.15'de Almaraz2 reaktör kalbinin CITATION kodunda modellenen 1/4 'lük kısmı ve bu kısma dahil olan yakıt demetleri, Şekil 3.16'da ise modellenen parçada yer alan sekiz değişik yakıt demetinin yerleşim düzeni ve özellikleri görülmektedir. Difüzyon denklemini çözmek için sıfır tükenmede kalpteki tüm farklı yakıtlar için DRAGON2 nötron



1. Devir için

- L 53 (%2.1 zenginleştirilmiş)
- M 52 (%2.6 zenginleştirilmiş)
- N 52 (%3.1 zenginleştirilmiş)

Şekil 3.14 Almaraz2 reaktörü 1.devir için yakıt yerleşim düzeni [1]

3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	2	3	3	3	3	3	3	3
1	8	2	2	3	3	3	3	3
4	1	5	7	2	3	3	3	3
1	5	1	5	1	2	3	3	3
6	1	5	1	5	7	2	3	3
1	5	1	5	1	5	2	3	3
6	1	5	1	5	1	8	2	3
1	6	1	6	1	4	1	2	3

Şekil 3.16 1. Devir için Almaraz2 reaktörünün CITATION kodunda gösterilen 1/4'lük kısmı.

- 1-) L yakıt demeti (%2.1 zenginlikteki yakıt demeti)
- 2-) N yakıt demeti (%3.1 zenginlikteki yakıt demeti)
- 3-) Su
- 4-) M-12 yakıt demeti (%2.6 zenginlikte, 12 BPR içeren yakıt demeti)
- 5-) M-16 yakıt demeti (%2.6 zenginlikte, 16 BPR içeren yakıt demeti)
- 6-) M-20 yakıt demeti (%2.6 zenginlikte, 20 BPR içeren yakıt demeti)
- 7-) N-12 yakıt demeti (%3.1 zenginlikte, 12 BPR içeren yakıt demeti)
- 8-) N-16 yakıt demeti (%3.1 zenginlikte, 16 BPR içeren yakıt demeti)

transport kodundan elde edilen makroskopik tesir kesitleri kullanılmıştır. Kullanılan sekiz farklı yakıt demeti için CITATION kodunda kullanılmak üzere DRAGON2 kodundan sıfır tükenmede elde edilen makroskopik tesir kesitleri Ek G’de verilmiştir. CITATION kodundan elde edilen güç dağılımı sonuçları ve bu sonuçların altı katılımcı ve referans sonuçlarla karşılaştırılması Tablo 3.15’te verilmiştir. Kalp için CITATION nötron difüzyon kodu kullanılarak hazırlanan input Ek K, output ise Ek L’da gösterilmiştir.



Tablo 3.15 CITATION kodundan elde edilen Almaraz2 reaktörü güç dağılımı sonuçları ve diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

1,098						CITA
1,138						REF
1,104						SPA
1,228						IND
1,020						CRO
1,035						SAF
1,127						TUR
1,111						SER
1,006	1,135					
1,061	1,157					
1,062	1,148					
1,049	1,261					
1,025	1,077					
1,002	1,081					
1,109	1,182					
1,034	1,129					
1,141	1,096	1,160				
1,176	1,142	1,200				
1,156	1,155	1,182				
1,262	1,135	1,273				
1,092	1,136	1,135				
1,094	1,098	1,131				
1,190	1,212	1,220				
1,147	1,102	1,146				
1,026	1,147	1,077	1,078			
1,078	1,178	1,127	1,120			
1,094	1,171	1,133	1,094			
1,053	1,256	1,094	1,162			
1,089	1,128	1,136	1,063			
1,052	1,125	1,101	1,077			
1,143	1,203	1,176	1,088			
1,052	1,110	1,067	1,084			
1,151	1,072	1,078	0,933	0,889		
1,192	1,126	1,123	0,977	0,855		
1,186	1,144	1,105	0,972	0,835		
1,247	1,088	1,160	0,928	0,878		
1,169	1,161	1,075	0,974	0,834		
1,157	1,121	1,091	0,980	0,873		
1,216	1,184	1,105	0,959	0,791		
1,209	1,075	1,086	1,007	0,883		
1,122	1,095	0,937	0,917	0,902		
1,189	1,143	0,989	0,913	0,630		
1,195	1,132	0,993	0,924	0,646		
1,127	1,163	0,932	0,881	0,653		
1,251	1,129	0,995	0,915	0,684		
1,206	1,135	1,007	0,958	0,690		
1,240	1,134	0,977	0,873	0,612		
1,125	1,157	1,051	0,937	0,645		
1,029	0,991	1,007	0,743			
1,082	1,022	0,911	0,593			
1,048	1,028	0,929	0,607			
1,068	0,938	0,912	0,620			
1,076	1,068	0,936	0,630			
1,088	1,064	0,962	0,651			
1,028	1,007	0,902	0,565			
1,119	1,068	0,943	0,630			
0,915	0,759					
0,843	0,633					
0,830	0,632					
0,831	0,636					
0,887	0,680					
0,895	0,684					
0,768	0,585					
0,888	0,662					

BÖLÜM 4 SONUÇLAR

Sayısal hesaplamalar bölümü hücre hesaplamaları ve global kalp hesaplamaları olmak üzere iki bölümde incelenebilir. Hücre hesaplamalarında Almaraz2 reaktörü yakıt hücresi ve yakıt demeti, global hesaplamalarda ise kalbi modellenmiştir.

Yakıt hücresi ve yakıt demeti modelleri kullanılarak yapılan farklı yakıt zenginlikleriyle sonsuz çoğaltma faktörünün (K_{inf}) değişimi çalışmasında beklenildiği üzere artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin de arttığı görülmüştür.

Yakıt hücresi modeli üzerinde yapılan Pitch/Diameter oranlarının değiştirilmesiyle K_{inf} değerlerinin nasıl değiştiği elde edildiği gibi Almaraz2 yakıt çapına karşılık gelen en uygun moderatör yarıçapının 0.90 cm civarında olduğu da hesaplanmıştır.

Yakıt hücresi ve yakıt demeti için yapılan ortak bir çalışma olan moderatör yoğunluğu azaltılması çalışmasında bir su kaybı kazası durumuyla karşı karşıya kalındığında K_{inf} değerlerinin giderek düştüğü böylece bir tehlikeyle karşı karşıya kalınmayacağı sonucu elde edilmiştir.

Ayrıca yakıt demeti üzerinde yapılan sıcaklık arttırımı çalışması sonucunda yine artan sıcaklıkla K_{inf} değerlerinin azaldığı ve tehlikeli bir durumun oluşmadığı gözlemlenmiştir.

Çalışmalar sonucunda A, B, C, D, E yakıt demetlerinin sıfır ve 1000 ppm boron içerdikleri durumlar için elde edilen K_{inf} değerleri diğer katılımcılarla karşılaştırıldıklarında sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Özellikle yakıt, gaz aralığı, zarf ve yavaşlatıcı sıcaklıkları bakımından reaktör koşullarına en uygun olan C yakıt demeti için elde edilen sonuçların diğer katılımcı sonuçlarıyla daha fazla uyum içinde olduğu görülmüştür. Yanıcı zehir olmadan elde edilen sonuçların birbirine daha yakın olduğu, yanıcı zehir katılmasıyla birlikte sonuçlar arası farklılığın arttığı görülmüştür. Bunun nedeninin de kodların yanıcı yutucu

modellemesinde kullandıkları yöntemler arasındaki incelik farkı olduğu sonucuna varılmıştır.

Yakıt demeti modeli kullanılarak yapılan diğer çalışmalardan elde edilen tükenmeyle K_{inf} , uranyumun ve plütonyumun izotopik içeriği ve dışarıya kaçış olmadan yanıcı yutucu çubuklarda kalan boron miktarı sonuçları diğer katılımcılarla karşılaştırıldığında yine uyumun sağlandığı görülmüştür.

Sayısal hesaplamaların ikinci bölümü olan global kalp hesaplamaları sonucunda CITATION nötron difüzyon kodundan yararlanarak Almaraz2 reaktörü 1. devir için güç dağılımı bulunmuştur. Bu sonuçlar, reaktörden elde edilen referans sonuçlar ve diğer katılımcıların sonuçlarıyla karşılaştırıldığında genelde uyumun sağlanmış olduğu görülmüştür.

Tüm bu hesaplamaların sonucu olarak DRAGON2 nötron transport, CITATION nötron difüzyon kod çiftinin PWR tipi bir reaktör tasarımında yapılan tüm analizler için oldukça iyi sonuç verebilen bir kod çifti olduğu söylenilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **IAEA-TECDOC**, 1995. In Core Fuel Management Code Package Validation for PWR's, Madrid.
- [2] **Marleau, G., Hebert, A. And Roy, R.**,1994. A User's Guide for DRAGON, **Report IGE-174**, *Institute de Genie Energetique*, Ecole Polytechnique de Montreal, Canada.
- [3] **Hebert, A. and Saygin, H.**, 1992. Development of DRAGR for the formatting of DRAGON cross-Section libraries, paper presented at the seminar on NJOY-91 and THEMIS for the Processing of Evaluated Nuclear Data Files, NEA Data Bank, Saclay, France.
- [4] **Saygin, H.**,1993. Etude du ralentissement des neutrons et de l'autoprotection des resonances dans les reacteurs nucleaires, Ph. D. Thesis, Ecole Polytechnique de Montreal, Montreal, Canada.
- [5] **Rozon, D.**,1992.The development of DRAGON and other reactor physics codes for CANDU reactor calculations, **Report IGE-147**, *Institute de Genie Energetique*, Ecole Polytechnique de Montreal, Canada.
- [6] **Fowler, T. B., Wondy, D. R. and Cunningham, G. W.**, 1969. Nuclear Reactor Analysis Code: CITATION, Oak Ridge National Laboratory Press, Oak Ridge.
- [7] **Weisman, J.**, 1983. Elements of Nuclear Reactor Design, Robert e. Kriger Publishing Company, Malabar, Florida.
- [8] **Duderstadt, J. J. and Hamilton, L. J.**, 1976. Nuclear Reactor Analysis. John Wiley&Sons, Inc, New York.
- [9] **Todreas, N. E. and Kazimi, M. S.**, 1990. Nuclear Systems I – Thermal Hydraulic Fundamentals, Hemisphere Publishing Corporation, New York.

EK A

DRAGON2 Kodu Kullanılarak Input Datanın Hazırlanışı [2]

DRAGON2 input'u verilen transport hesaplamasında gereken her bir hesaplama modülünü çağıran komutların oluşturduğu bir yapı şeklinde hazırlanmaktadır.

Input datanın yapılış tarzı kalabalık sistemin fiziksel ve ya hesapsal karakteristiklerinden bağımsızdır. Input datanın fiziksel karakteristikleri 80 karakter uzunluğunda birbirini takip eden kayıtlar topluluğudur. Bu karakterler ASCII karakterleridir.

Inputun mantıksal organizasyonu serbest formatla belirtilen input değişkenlerinin arada gelen bir formu şeklindedir. Bu yapı inputta ilk 72 karakter olacak şekilde yerleştirilmelidir. 73'ten 80'e kadar olan karakterler kaydı tanıtmak ve dilekleri yazmak için kullanılır. Input değişkeni 2 şekilde tanımlanabilir.

- 1-) Boşluk içermeyen ardarda karakterlerden oluşan bir set şeklinde. Bu ya bir tamsayı ya da input değişkeninin formatına uygun karakter değişkeni şeklinde olacaktır.
- 2-) Tırnak içindeki karakterler şeklinde. Bu durumda, input değişkeni her zaman karakter değişkeni olmak zorundadır.

İki input değişkeni arasında izin verilen tek ayırıcı tek ve ya set şeklinde bir çok boşluktur.

Açıklamalar input'a üç şekilde dahil edilebilir.

- 1-) 73'ten 80'e kadar olan karakterler açıklama olarak kabul edilir
- 2-) *'la başlayan her kayıt açıklama olarak kabul edilir.
- 3-) (* ve *) arasına konulmuş karakterler açıklama olarak kabul edilir.

DRAGON2 Nötron Transport Kodunu Oluşturan Başlıca Modüller [2]

LIB: Modülü

DRAGON2 birkaç tane farklı tipte mikroskopik tesir kesidi kütüphanesine girişe olanak verecek şekilde geliştirilmiştir. Her giriş, her tip kütüphane için yapılmış subroutine tarafından yerine getirilen çift interpolasyon (temperature, dilution) gerektirir. Yapı tamamlandıktan sonra her izotop için mikroskopik tesir kesitleri izotopik konsantrasyonu (parçacık/cm^3) ile çarpılır ve makroskopik tesir kesitleri üretilir. LIB: modülü aşağıdaki datayı içeren bir iç kütüphane yaratır.

- Kafes hücrenin ve ya yakıt demetinin içindeki izotoplar için düzenlenmiş mikroskopik tesir kesidi datası.
- Tükenme datası.
- Makroskopik tesir kesidi datasını içeren MACROLIB.
- Yalnızca self-shielding hesaplamalarında kullanılacak data.

Genel Kullanım Şekli

NAME1 := LIB: [{NAME1/NAME2}] :: (lib_data)

NAME1 iç kütüphaneyi içeren bağlı listenin ve ya XSM dosyasının ismi.

NAME2 yapıyı oluşturmadan önce iç kütüphane içine dahil edilecek MACROLIB'in ismi.

(lib_data) modülü tamamlayacak bilgileri içeren yapı.

GEO: Modülü

Geometriyi tanımlamak (yaratmak) ve ya değiştirmek için kullanılan modül. DRAGON2'deki geometri tanımlama modülü, tanıtılacak basit ve ya karmaşık geometrinin bütün özelliklerine (koordinatlar, materyal karışım tipleri ve sınır koşulları) izin ve yer verecek şekilde geliştirilmiştir. Her geometri bir isimle temsil edilir ve verilen bu isimle bağlı listeye kaydedilir. Varolan bir geometriyi değiştirmek ve ya komşu bağlı listeye kopyalamak her zaman mümkündür.

Genel Kullanım Şekli

{NAME1 := GEO: :: (geo_data1)/

NAME1 := GEO: {NAME1/NAME2} :: (geo_data2)}

NAME1 geometriyi içeren bağlı listenin ismi.

NAME2 varolan geometriyi içeren bağlı listenin veya XSM dosyasının ismi.

NAME2'nin tüm özellikleri NAME1'e kopyalanır.

(geo_data1) yeni geometrinin özelliklerini açıklayan yapı.

(geo_data2) geometride varolan özelliklerin değiştirileceğini açıklayan yapı.

JPMT: Modülü

Verilen hesaplama algoritmasının çarpışma olasılığı hesabı için kullanılacağını varsayarak geometriyi analiz ettirmeyi gerektirir. Bölge numaralandırma işlemleri, hacim ve yüzey alanı hesaplarını yapar ve GEO: modülünde tanımlanan geometri için gereken integrasyon çizgilerini türetir. Bu işlemler kullanılacak çözüm algoritmasına bağlı olarak farklı şekilde yapırlar. JPMT: modülü geometri üzerine JPM tipi çözümü sağlamak için kullanılır. JPMT: modülüyle aşağıdaki geometriler analiz edilebilir.

- Tek boyutlu silindirik (TUBE), küresel (SPHERE), kartezyen (CAR1D) geometriler.
- İç içe geçmiş silindirler kare (CARCEL) veya altıgen (HEXCEL) alt geometrilere sahip 2 boyutlu kartezyen (CAR2D) ve altıgen (HEX) geometriler.
- 2 boyutlu iç içe geçmiş silindirler içeren silindirik (TUBE), kare (CARCEL) veya hegzagonal (HEXCEL) geometriler.
- 3 boyutlu silindirik (TUBEZ) geometriler.
- Çift heterojenlik seçeneği.

Genel Kullanım Şekli

NAME1[TRKFIL] := JPMT: [NAME1] [TRKFIL] NAME2 ::

(jpmT_data)

NAME1 İzleme bilgisini içeren bağlı liste ve ya XSM dosyasının ismi.

TRKFIL Ardışık çift izleme dosyasının ismi. Bu dosya yalnızca ve yalnızca JPMT: modülü demet geometriler için kullanıldığı zaman gerekmektedir.

NAME2 Geometriyi içeren bağlı liste veya XSM dosyasının ismi.

(jpmT_data) JPMT: modülünü tamamlayacak datayı içeren yapı.

SYBILT: Modülü

SYBILT: modülü geometri üzerinde SYBIL tipi izleme yapabilmek için kullanılır.

SYBILT: modülüyle şu geometriler analiz edilebilir.

- HOMOG (sonsuz homojen geometrileri belirtmek için DRAGON2’de kullanılan anahtar sözcük) anahtar sözcüğü ile belirtilen homojen geometriler.
- Tek boyutlu küresel, silindirik ve kartezyen geometriler.
- CARCEL ve HEXCEL alt geometrilerini içeren 2 boyutlu CAR2D ve HEX geometriler.
- İçerisinde mikro yapılar bulunduran 2 boyutlu geometriler.
- Çift heterojenlik seçeneği.

Genel Kullanım Şekli

NAME1 := SYBILT: [NAME1] NAME2 :: (sybilT_data)

NAME1 İzleme bilgisini içeren bağlı listenin veya XSM dosyasının ismi.

NAME2 Geometriyi içeren bağlı listenin veya XSM dosyasının ismi.

(sybilT_data) SYBILT: modülünü tamamlayacak datayı içeren yapı.

EXCEL: Modülü

EXCEL: modülü geometri üzerinde EXCEL tipi izleme yapabilmek için kullanılır.

EXCEL: modülü kullanılarak analiz edilebilen geometriler şunlardır.

- CARCEL ve HEXCEL alt geometrilerini içeren 2 boyutlu CAR2D ve HEX geometriler.
- 2 boyutlu içiçe geçmiş silindirler içeren silindirik, kare veya altıgen demet geometrileri.
- CARCELX, CARCELY, CARCELZ alt geometrilerini içeren 3 boyutlu CAR3D geometrisi ve HEXCELZ alt geometrilerini içeren 3 boyutlu HEXZ geometrisi.

CARCELX, CARCELY, CARCELZ içiçe geçmiş sırasıyla X, Y, Z eksenli yönelimli silindirler içeren 3 boyutlu kartezyen hücreleri belirten anahtar sözcükler.

CAR3D- 3 boyutlu kartezyen geometrileri belirten anahtar sözcük.

HEXCELZ- Z eksenli yönelimli içiçe geçmiş silindirlerden oluşan 3 boyutlu altıgen hücreleri belirten anahtar sözcük.

HEXZ- 3 boyutlu altıgen geometrileri belirtmek için kullanılan anahtar sözcük.

Genel Kullanım Şekli

NAME1[TRKFIL] := EXCELT: [NAME1] [TRKFIL] NAME2 ::

(excelT_data)

NAME1 izleme bilgisini içeren bağlı listenin ismi.

TRKFIL Ardışık çift izleme dosyasının ismi. Bu dosya ismi eşitliğin ya sağında ya solunda ya da her iki tarafında olmak zorundadır.

NAME2 geometriyi içeren bağlı listenin veya XSM dosyasının ismi.

(excelT_data)EXCELT: modülünü tamamlayacak datayı içeren yapı.

ASM: Modülü

Akı bulma modülü (FLU:) için gereken gruba bağlı çarpışma olasılıklarıyla ilgili bilgi ve matrislerin üretimini sağlayan modüldür.

Genel Kullanım Şekli

NAME1 := ASM:= [NAME1] NAME2 NAME3 [TRKFIL] :: (asm_data)

NAME1 sistem matrislerini içeren bağlı liste veya XSM dosyasının ismi.

NAME2 makroskopik tesir kesitlerini içeren bağlı listenin ismi.

NAME3 izleme bilgisini içeren bağlı listenin ismi.

TRKFIL Ardışık çift izleme dosyasının adı.. Bu dosya yalnız ve yalnız bir önceki izleme modülü çağırıldığında gerekiyorsa ASM: modülü yazılırken de verilir.

(asm_data) ASM: modülünü tamamlayan datayı içeren yapı.

FLU: Modülü

Özdeğer problemini çözen yani akı hesaplayan modüldür.

Genel Kullanım Şekli

NAME1 := FLU: [NAME1] NAME2 :: (flu_data)

NAME1 çözümü içeren bağlı listenin ve ya XSM dosyasının ismi.

NAME2 gruba bağlı sistem matrisleri içeren bağlı listenin veya XSM dosyasının ismi.

(flu_data) FLU: modülünü tamamlayacak datayı içeren yapı.

EVO: Modülü

İzotopik yoğunluklar ve güncelleştirilmiş kalp içi (burn-up) ve kalp dışı tükenim bilgilerini türeten modüldür.

Genel Kullanım Şekli

NAME1 NAME2 := EVO: [NAME1] {NAME2 | NAME3} {NAME4 | NAME5} :: (evo_data)

NAME1 tükenme modülü tarafından tanımlanan tükenme bilgisini içeren bağlı listenin veya XSM dosyasının adı.

NAME2 tükenme modülü tarafından tanımlanan iç kütüphaneyi içeren bağlı liste veya XSM dosyasının adı.

NAME3 NAME2'ye kopyalanacak yalnızca okunabilen iç kütüphanenin adı.

NAME4 yalnızca okunabilen çözümün adı. Bu bilgi yalnızca kalp içi tükenme hesaplamalarında kullanılır.

NAME5 geometri üzerinde yapılan izlemenin adı. Bu bilgi yalnızca kalp dışı tükenme hesaplamalarında kullanılır.

(evo_data) EVO: modülünü tamamlayacak datayı içeren yapı.

EDI: Modülü

Hesaplanan dataların yazdırıldığı modüldür.

Genel Kullanım Şekli

NAME1 := EDI: [NAME1] NAME2 [NAME3] :: (out_data)

NAME1 yazdırılacakları içeren bağlı listenin ve ya XSM dosyasının ismi.

NAME2 çözümü içeren bağlı listenin ve ya XSM dosyasının ismi.

NAME3 macro geometriyi içeren bağlı listenin ismi.

EK B

İZOTOPIK YOĞUNLUK (NUMBER DENSITY) HESABI

Genel Çıkarım [9]

$$N^{25} = a \cdot Av \cdot \rho_{UO_2} / M_{UO_2}$$

$$N^{28} = (1-a) Av \cdot \rho_{UO_2} / M_{UO_2}$$

Av : Avagadro Sayısı $(0.60225) \times 10^{24}$ molekül/gram.mol

a : zenginlik

M_{UO_2} : UO_2 'nin molekül kütlesi

ρ_{UO_2} : UO_2 'nin yoğunluğu

$$M_{UO_2} = M_U + 2M_O$$

$$M_U = aM_{25} + (1-a)M_{28}$$

$$M_{UO_2} = aM_{25} + (1-a)M_{28} + 2M_O$$

%2.6 zenginlikteki UO_2 için

$$a = \% 2.6$$

$$\begin{aligned} M_{UO_2} &= (0.026)(235.0439) + (1-0.026)(238.0508) + 2(15.9994) \\ &= 269.971 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N^{25} &= (0.026)(0.60225 \cdot 10^{24})(10.4215)/(269.971) \\ &= 6.0445 \times 10^{20} \text{ atom/cm}^3 \end{aligned}$$

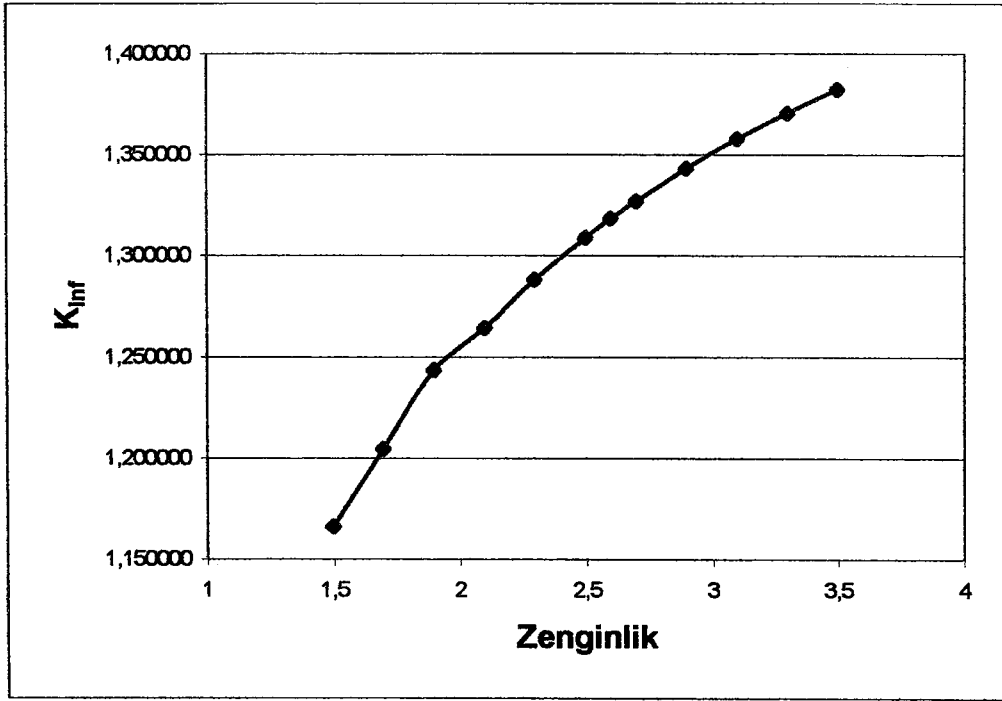
$$\begin{aligned} N^{28} &= (1-0.026)(0.60225 \cdot 10^{24})(10.4215)/(269.971) \\ &= 2.2644 \times 10^{22} \text{ atom/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N^O &= (2)(0.60225 \cdot 10^{24})(10.4215)/(269.971) \\ &= 4.6497 \times 10^{22} \text{ atom/cm}^3 \end{aligned}$$

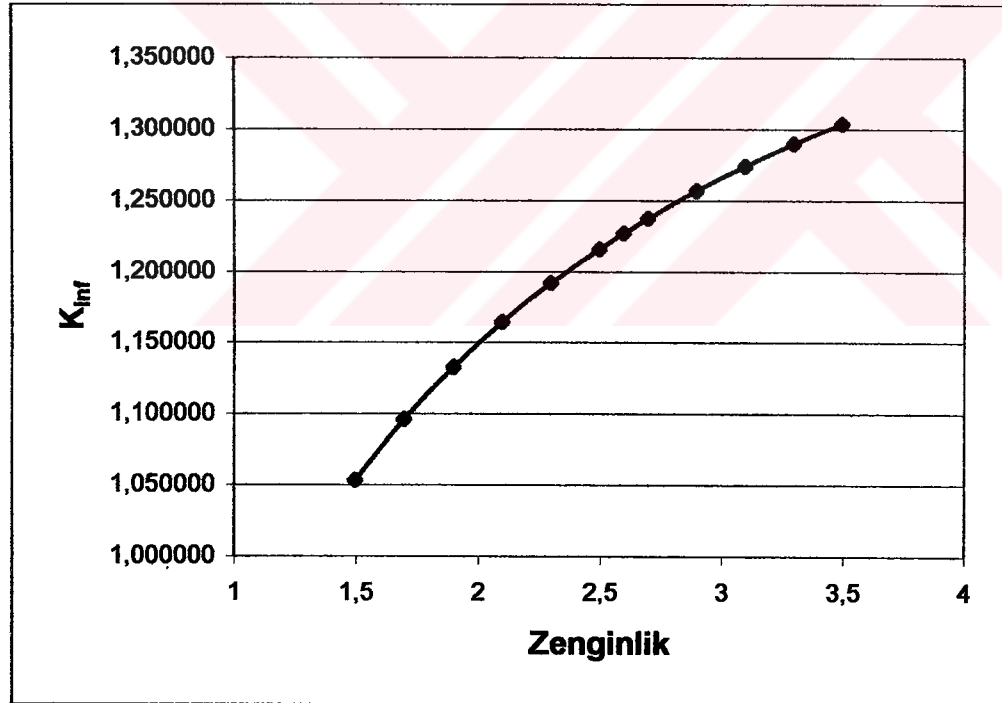
EK C

Tablo C.1 A türündeki yakıt demeti için değişik zenginliklere karşılık gelen K_{inf} değerleri

Zenginlik (%)	K_{inf}	$K_{inf}(\text{boron katılmış})$
1,5	1,165821	1,053421
1,7	1,204298	1,096076
1,9	1,243046	1,132516
2,1	1,264232	1,164023
2,3	1,288018	1,191525
2,5	1,308751	1,215756
2,6	1,318149	1,226821
2,7	1,326984	1,237271
2,9	1,343143	1,256506
3,1	1,357570	1,273812
3,3	1,370528	1,289468
3,5	1,382235	1,303706



a-)



b-)

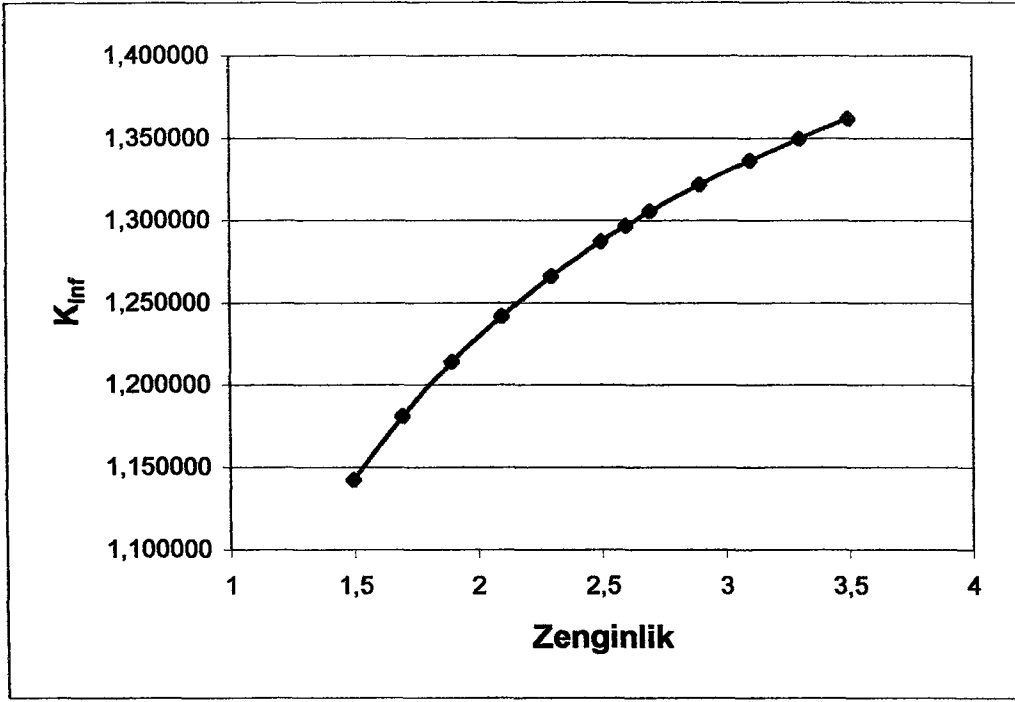
Şekil C.1

a-) A yakıt demeti için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.

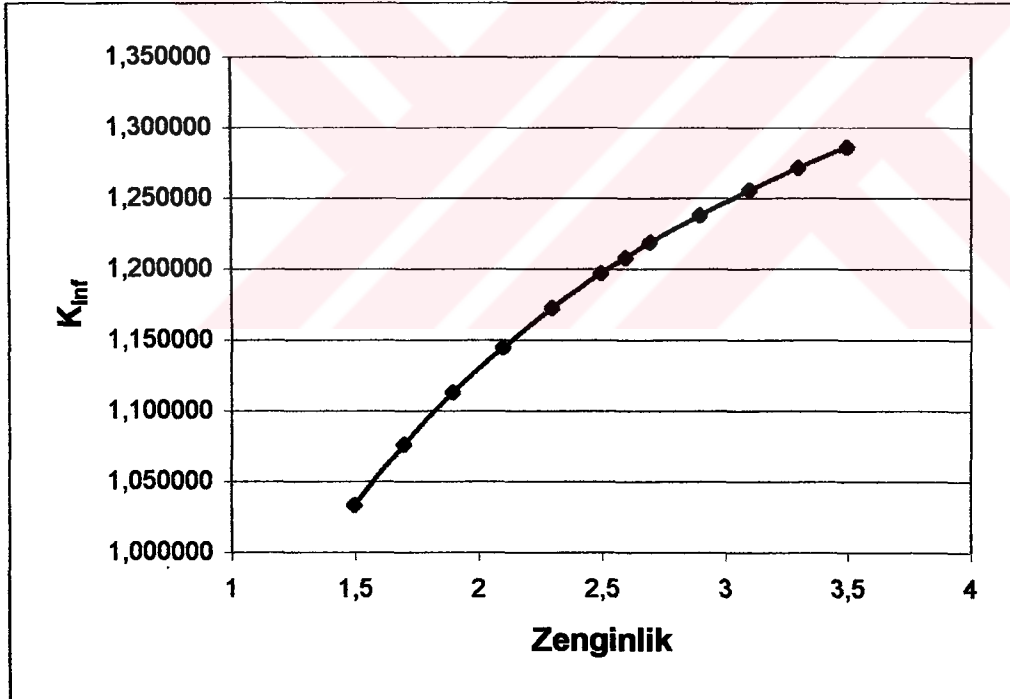
b-) 1000 ppm'lik boron içeren A yakıt demeti için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.

Tablo C.2 B türündeki yakıt demeti için değişik zenginliklere karşılık gelen gelen K_{inf} değerleri

Zenginlik(%)	K_{inf}	K_{inf} (boron katılmış)
1,5	1,142107	1,033103
1,7	1,180951	1,076025
1,9	1,213666	1,112753
2,1	1,241603	1,144551
2,3	1,265719	1,172331
2,5	1,286768	1,196837
2,6	1,296314	1,208031
2,7	1,305294	1,218608
2,9	1,321724	1,238080
3,1	1,336405	1,255611
3,3	1,349599	1,271476
3,5	1,361528	1,285908



a-)



b-)

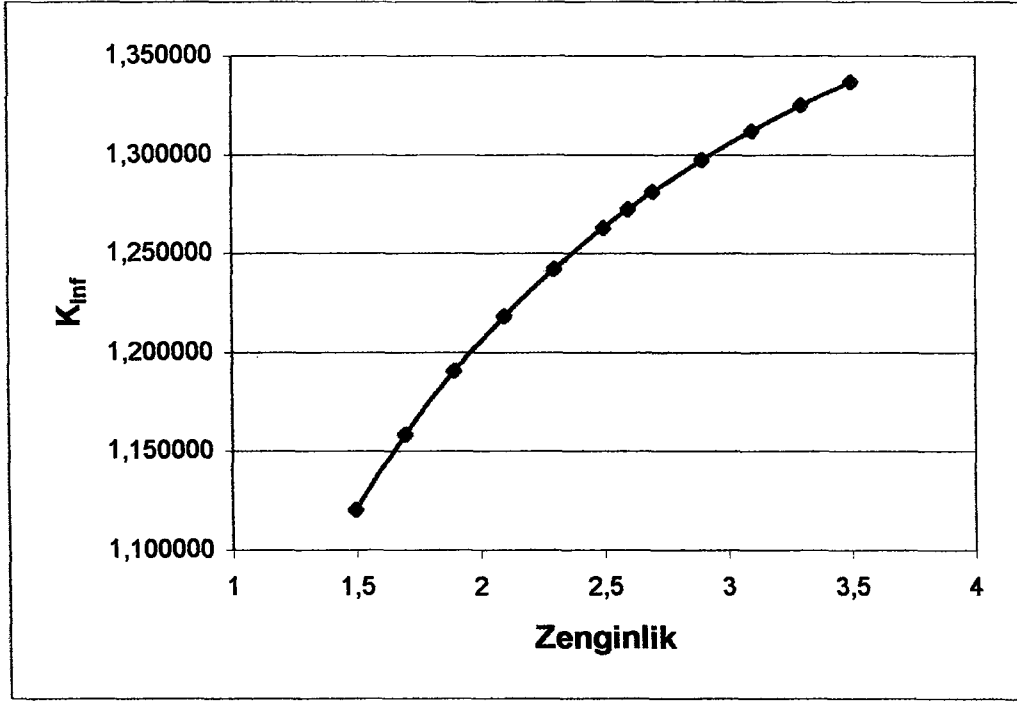
Şekil C.2

a-) B yakıt demeti için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.

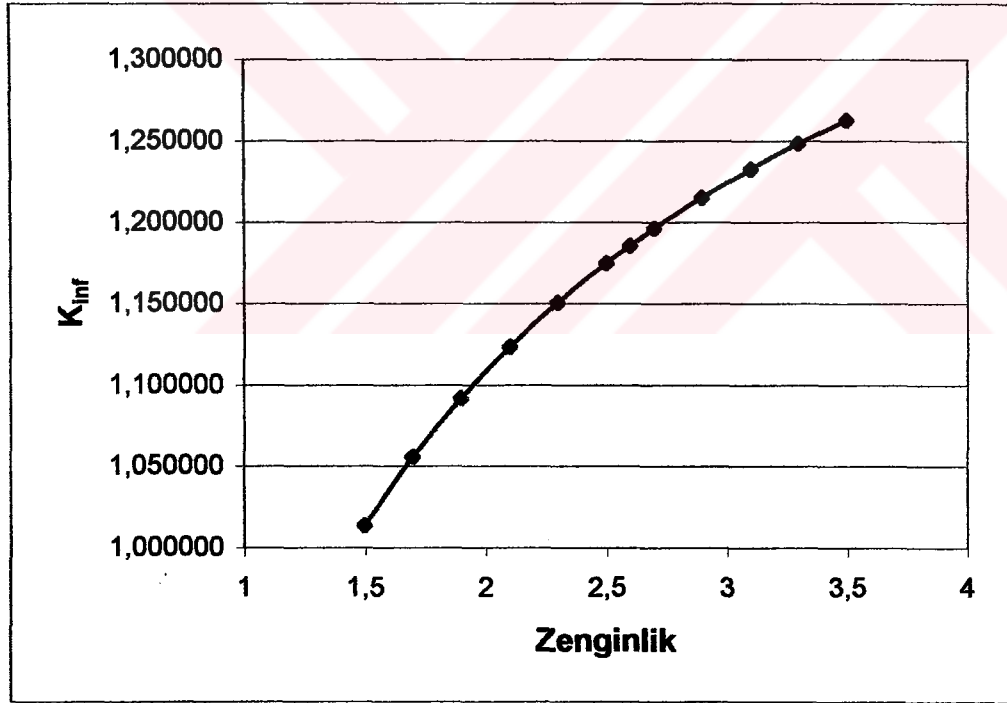
b-) 1000 ppm'lik boron içeren B yakıt demeti için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.

Tablo C.3 D türündeki yakıt demeti için değişik zenginliklere karşılık gelen K_{inf} değerleri

Zenginlik (%)	K_{inf}	$K_{inf}(\text{boron katılmış})$
1,5	1,120157	1,013251
1,7	1,158401	1,055490
1,9	1,190639	1,091657
2,1	1,218180	1,122989
2,3	1,241978	1,150528
2,5	1,262763	1,174989
2,6	1,272196	1,185610
2,7	1,281072	1,196053
2,9	1,297326	1,215292
3,1	1,311859	1,232622
3,3	1,324928	1,248315
3,5	1,33676	1,262603



a-)



b-)

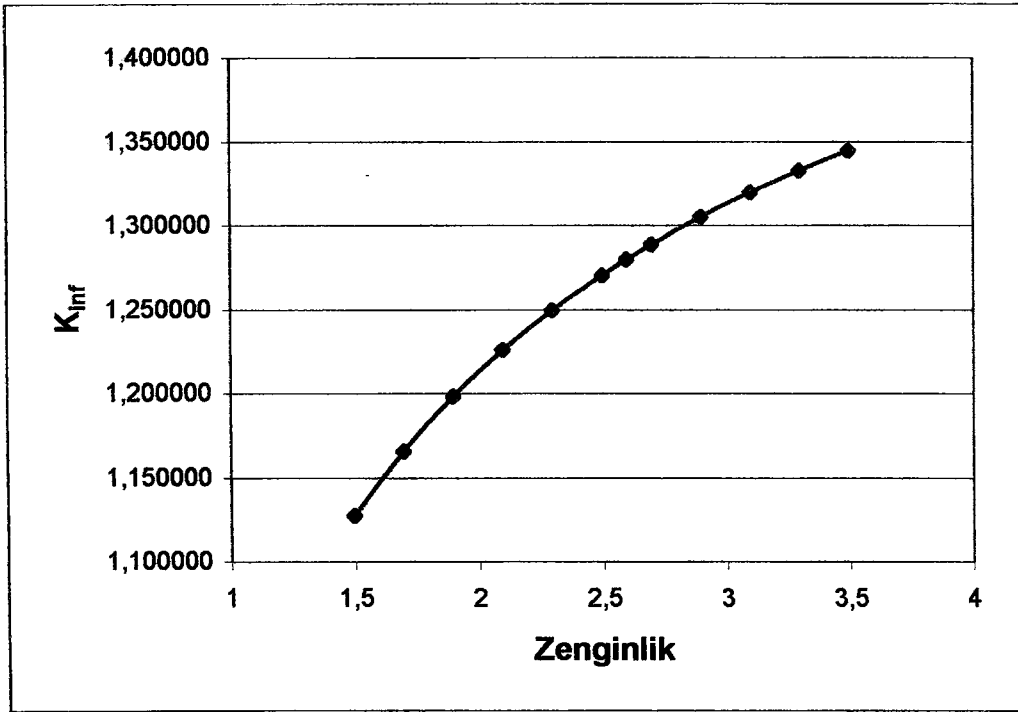
Şekil C.3

a-) D yakıt demeti için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.

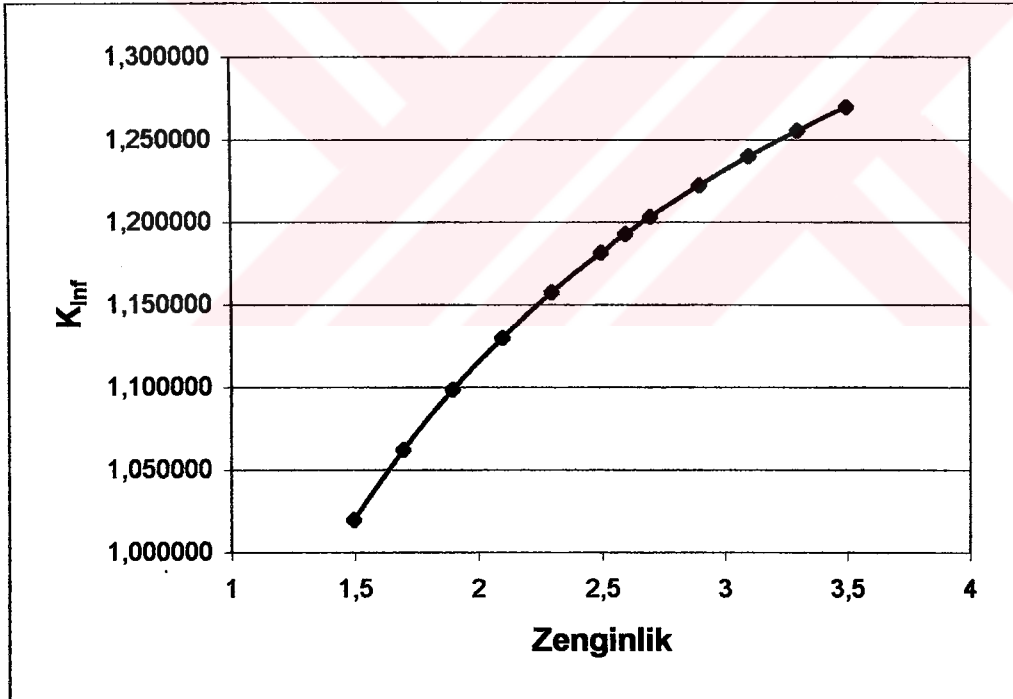
b-) 1000 ppm'lik boron içeren D yakıt demeti için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.

Tablo C.4 E türündeki yakıt demeti için değişik zenginliklere karşılık gelen K_{inf} değerleri

Zenginlik (%)	K_{inf}	$K_{inf}(\text{boron katılmış})$
1,5	1,127241	1,019563
1,7	1,165620	1,061966
1,9	1,197958	1,098262
2,1	1,225585	1,129698
2,3	1,249445	1,157175
2,5	1,270280	1,181421
2,6	1,279733	1,192500
2,7	1,288627	1,202970
2,9	1,304909	1,222255
3,1	1,319463	1,239623
3,3	1,332551	1,255345
3,5	1,344392	1,269659



a-)



b-)

Şekil C.4

a-) E yakıt demeti için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.

b-) 1000 ppm'lik boron içeren E yakıt demeti için artan zenginlikle K_{inf} değerlerinin değişimi.

EK D

Tablo D.1 %2.1 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	1,23140	1,22941	1,24416	1,23193	1,23193	1,22536	1,24186
	1,18533						
0,15	1,18495	1,18279	1,19366	1,18763	1,18763	1,18002	1,19471
	1,16207						
2,00	1,16284	1,16302	1,16702	1,16245	1,16209	1,15552	1,17470
	1,13480						
4,00	1,13513	1,13696	1,13987	1,13413	1,13486	1,12758	1,14838
	1,10756						
6,00	1,10763	1,10999	1,11233	1,10582	1,10771	1,10009	1,12114
	1,08217						
8,00	1,08209	1,08430	1,08655	1,07913	1,08231	1,07486	1,09519
	1,05854						
10,00	1,05843	1,06042	1,06306	1,05436	1,05874	1,05184	1,07107
	1,01745						
14,00	1,01669	1,01711	1,02108	1,01021	1,01710	1,01064	1,02732
	0,98094						
18,00	0,98008	0,97871	0,98443	0,97185	0,98001	0,97461	0,98854
	0,94861						
22,00	0,94777	0,94440	0,95185	0,93805	0,94671	0,94260	0,95388
	0,92003						
26,00	0,91927	0,91390	0,92291	0,90812	0,91694	0,91408	0,92308
	0,89486						
30,00	0,89426	0,88714	0,89666	0,88157	0,89064	0,88877	0,89605
	0,87313						
34,00	0,87264	0,86403	0,87337	0,85808	0,86774	0,86647	0,87271
	0,85442						
38,00	0,85408	0,84437	0,85282	0,83747	0,84807	0,84696	0,85285
	0,83949						
42,00	0,83926	0,82786	0,83465	0,81961	0,83138	0,83015	0,83617
	0,82506						
46,00	0,82496	0,81409	0,81881	0,80439	0,81737	0,81530	0,82227
	0,81372						
50,00	0,81372	0,80266	0,80489	0,79174	0,80559	0,80257	0,81072

Tablo D.2 %3.1 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	1,32517	1,32603	1,34131	1,32527	1,32848	1,31962	1,33951
	1,27718						
0,15	1,27676	1,27682	1,28800	1,27813	1,27995	1,27247	1,28975
	1,25100						
2,00	1,25135	1,25373	1,25827	1,24959	1,25248	1,24512	1,26639
	1,22469						
4,00	1,22481	1,22891	1,23065	1,22290	1,22648	1,21884	1,24132
	1,19826						
6,00	1,19828	1,20308	1,20346	1,19625	1,20035	1,19249	1,21523
	1,17320						
8,00	1,17314	1,17810	1,17818	1,17079	1,17546	1,16755	1,18999
	1,14952						
10,00	1,14947	1,15453	1,15466	1,14678	1,15207	1,14425	1,16619
	1,10749						
14,00	1,10692	1,11108	1,11174	1,10308	1,10977	1,10192	1,12230
	1,06936						
18,00	1,06863	1,07153	1,07342	1,06388	1,07138	1,06381	1,08235
	1,03426						
22,00	1,03349	1,03478	1,03839	1,02805	1,03579	1,02880	1,04523
	1,00158						
26,00	1,00082	1,00023	1,00597	0,99484	1,00242	0,99618	1,01033
	0,97144						
30,00	0,97065	0,96778	0,97532	0,96383	0,97103	0,96563	0,97755
	0,94311						
34,00	0,94235	0,93750	0,94671	0,93479	0,94165	0,93703	0,94696
	0,91696						
38,00	0,91634	0,90955	0,91994	0,90772	0,91440	0,91039	0,91873
	0,89346						
42,00	0,89276	0,88413	0,89493	0,88275	0,88941	0,85578	0,89306
	0,87231						
46,00	0,87170	0,86142	0,87187	0,86001	0,86684	0,86327	0,87012
	0,85341						
50,00	0,85288	0,84148	0,85070	0,83983	0,84676	0,84293	0,84997

Tablo D.3 %2.1 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen Kinf değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	1,13438	1,07630	1,09001	1,08219	1,07868	1,07568	1,08720
	1,09597						
0,15	1,09566	1,04163	1,05207	1,04930	1,04471	1,04062	1,05213
	1,08037						
2,00	1,08142	1,03382	1,03866	1,03699	1,03307	1,02830	1,04420
	1,05931						
4,00	1,05982	1,01710	1,02112	1,01828	1,01520	1,00988	1,01177
	1,03719						
6,00	1,03737	0,99792	1,00130	0,99787	0,99586	0,99040	1,00794
	1,01616						
8,00	1,01616	0,97898	0,98201	0,97798	0,97721	0,97195	0,98881
	0,99646						
10,00	0,99646	0,96107	0,96438	0,95915	0,95960	0,95479	0,97072
	0,96152						
14,00	0,96103	0,92807	0,93239	0,92507	0,92806	0,92378	0,93739
	0,93063						
18,00	0,92997	0,89850	0,90410	0,89516	0,89958	0,89631	0,90752
	0,90306						
22,00	0,90244	0,87191	0,87873	0,86877	0,87381	0,87168	0,88067
	0,87870						
26,00	0,87810	0,84812	0,85602	0,84529	0,85059	0,84955	0,85664
	0,85702						
30,00	0,85656	0,82704	0,83523	0,82436	0,82989	0,82972	0,83535
	0,83826						
34,00	0,83796	0,80859	0,81657	0,80570	0,81163	0,81201	0,81671
	0,82181						
38,00	0,82158	0,79263	0,79985	0,78913	0,79569	0,79627	0,80059
	0,80773						
42,00	0,80756	0,77894	0,78483	0,77456	0,78189	0,78233	0,78676
	0,79564						
46,00	0,79560	0,76728	0,77148	0,76189	0,77003	0,77002	0,77499
	0,78535						
50,00	0,78533	0,75740	0,75953	0,75110	0,75986	0,75914	0,76501

Tablo D.4 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen Kinf değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	1,19726	1,14454	1,15645	1,14910	1,14688	1,14295	1,15616
	1,15632						
0,15	1,15598	1,10664	1,11758	1,11293	1,10958	1,10550	1,11782
	1,13646						
2,00	1,13712	1,09312	1,09821	1,09496	1,09222	1,08767	1,10413
	1,11380						
4,00	1,11410	1,07418	1,07779	1,07442	1,07216	1,06711	1,08500
	1,09045						
6,00	1,09055	1,05335	1,05576	1,05276	1,05115	1,04581	1,06396
	1,06823						
8,00	1,06820	1,03292	1,03497	1,03174	1,03091	1,02558	1,04332
	1,04735						
10,00	1,04734	1,01358	1,01583	1,01178	1,01182	1,00688	1,02379
	1,01004						
14,00	1,00949	0,97787	0,98090	0,97541	0,97732	0,97238	0,98772
	0,97662						
18,00	0,97590	0,94547	0,94978	0,94289	0,94602	0,94150	0,95499
	0,94608						
22,00	0,94538	0,91568	0,92143	0,91356	0,91721	0,91360	0,92490
	0,91852						
26,00	0,91782	0,88832	0,89556	0,88692	0,89069	0,88797	0,89727
	0,89291						
30,00	0,89228	0,86331	0,87146	0,86254	0,86632	0,86446	0,87200
	0,87026						
34,00	0,86960	0,84068	0,84939	0,84025	0,84414	0,84295	0,84915
	0,84985						
38,00	0,84935	0,82044	0,82916	0,81998	0,82417	0,82341	0,82870
	0,83168						
42,00	0,83130	0,80259	0,81064	0,80168	0,80639	0,80575	0,81067
	0,81596						
46,00	0,81564	0,78703	0,79389	0,78543	0,79071	0,78989	0,79496
	0,80218						
50,00	0,80196	0,77360	0,77873	0,77124	0,77701	0,77574	0,78139

Tablo D.5 %3.1 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	1,24440	1,19641	1,21152	1,19971	1,19871	1,19399	1,20858
	1,20238						
0,15	1,20201	1,15679	1,16830	1,16172	1,15959	1,15525	1,16851
	1,18055						
2,00	1,18100	1,14043	1,14617	1,14084	1,13941	1,13474	1,15195
	1,15771						
4,00	1,15791	1,12088	1,12434	1,11983	1,11873	1,11368	1,13220
	1,13429						
6,00	1,13436	1,09967	1,10190	1,09800	1,09727	1,09194	1,11077
	1,11189						
8,00	1,11186	1,07882	1,08064	1,07679	1,07655	1,07112	1,08971
	1,09075						
10,00	1,09074	1,05900	1,06087	1,05659	1,05692	1,05154	1,06969
	1,05270						
14,00	1,05219	1,02224	1,02456	1,01949	1,02124	1,01576	1,03256
	1,01834						
18,00	1,01760	0,98869	0,99200	0,98605	0,98873	0,98367	0,99867
	0,98672						
22,00	0,98599	0,95753	0,96218	0,95549	0,95855	0,95394	0,96720
	0,95716						
26,00	0,95649	0,92835	0,93461	0,92723	0,93032	0,92632	0,93772
	0,92879						
30,00	0,92913	0,90104	0,90855	0,90096	0,90388	0,90052	0,91014
	0,90455						
34,00	0,90391	0,87566	0,88428	0,87649	0,87921	0,87644	0,88450
	0,88135						
38,00	0,88071	0,85229	0,86160	0,85372	0,85634	0,85406	0,86090
	0,86018						
42,00	0,85961	0,83101	0,84041	0,83268	0,83537	0,83338	0,83940
	0,84096						
46,00	0,84048	0,81189	0,82081	0,81349	0,81635	0,81441	0,82009
	0,82395						
50,00	0,82352	0,79495	0,80272	0,79629	0,79929	0,79714	0,80298

Tablo D.6 %2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 12BPR içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{mf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	1,11721	1,13261	1,13576	1,11452	1,13409	1,12222	1,14546
	1,08270						
0,15	1,08240	1,09618	1,09694	1,08218	1,09831	1,08744	1,10857
	1,08629						
2,00	1,08839	1,09922	1,09687	1,08688	1,09782	1,08782	1,11161
	1,08821						
4,00	1,08990	1,09725	1,09772	1,08739	1,09479	1,08560	1,10961
	1,08684						
6,00	1,08802	1,09201	1,09331	1,08342	1,08933	1,08070	1,10431
	1,08248						
8,00	1,08315	1,08492	1,08576	1,07642	1,08226	1,07411	1,09714
	1,07441						
10,00	1,07176	1,07588	1,07764	1,06681	1,07320	1,06544	1,08800
	1,04960						
14,00	1,04913	1,05071	1,05363	1,04131	1,04893	1,04155	1,06255
	1,01865						
18,00	1,01779	1,01947	1,02363	1,01113	1,01873	1,01196	1,03096
	0,98695						
22,00	0,98613	0,98673	0,99240	0,98006	0,98711	0,98128	0,99785
	0,95744						
26,00	0,95664	0,95527	0,96258	0,95014	0,95668	0,95187	0,96603
	0,92967						
30,00	0,92912	0,92614	0,93455	0,92222	0,92841	0,92452	0,93658
	0,90532						
34,00	0,90459	0,89967	0,90878	0,89650	0,90258	0,89942	0,90981
	0,86324						
38,00	0,86267	0,87602	0,88519	0,87306	0,87933	0,87660	0,88589
	0,86364						
42,00	0,86318	0,85521	0,86363	0,85194	0,85870	0,85601	0,86485
	0,84852						
46,00	0,84816	0,83715	0,84422	0,83322	0,84059	0,83759	0,84658
	0,83165						
50,00	0,83138	0,82167	0,82675	0,81700	0,82490	0,82124	0,83093

Tablo D.7 %2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 16BPR içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	1,07198	1,08642	1,09214	1,06326	1,08760	1,07605	1,09918
	1,04070						
0,15	1,04043	1,05350	1,05580	1,03485	1,05528	1,04447	1,06583
	1,05115						
2,00	1,05360	1,06429	1,06279	1,04930	1,06286	1,05268	1,07671
	1,06000						
4,00	1,06202	1,06961	1,07068	1,05833	1,06720	1,05768	1,08209
	1,06504						
6,00	1,06649	1,07089	1,07231	1,06151	1,06822	1,05913	1,08338
	1,06617						
8,00	1,06712	1,06938	1,06969	1,06026	1,06667	1,05792	1,08186
	1,06300						
10,00	1,06340	1,06483	1,06604	1,05512	1,06197	1,05359	1,07725
	1,04377						
14,00	1,04340	1,04532	1,04798	1,03525	1,04319	1,03526	1,05752
	1,01538						
18,00	1,01454	1,01670	1,02081	1,00791	1,01552	1,00839	1,02856
	0,98480						
22,00	0,98398	0,98515	0,99080	0,97830	0,98507	0,97898	0,99664
	0,95575						
26,00	0,95492	0,95438	0,96158	0,94922	0,95533	0,95032	0,96552
	0,92877						
30,00	0,92810	0,92574	0,93400	0,92191	0,92756	0,92350	0,93654
	0,90470						
34,00	0,90400	0,89968	0,90858	0,89669	0,90215	0,89883	0,91018
	0,88297						
38,00	0,88242	0,87635	0,88528	0,87369	0,87925	0,87636	0,88658
	0,86359						
42,00	0,86316	0,85577	0,86395	0,85290	0,85888	0,85606	0,86575
	0,84677						
46,00	0,84640	0,83786	0,84470	0,83444	0,84097	0,83786	0,84764
	0,83201						
50,00	0,83175	0,82245	0,82734	0,81841	0,82539	0,82165	0,83205

Tablo D.8 %2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	1,02957	1,04300	1,04696	1,01524	1,04381	1,03287	1,05567
0,15	1,00125						
	1,00100	1,01329	1,01396	0,99037	1,01466	1,00418	1,02555
2,00	1,01808						
	1,02084	1,03127	1,02885	1,01377	1,02979	1,01962	1,04372
4,00	1,03332						
	1,03562	1,04336	1,04476	1,03073	1,04097	1,03128	1,05595
6,00	1,04424						
	1,04593	1,05069	1,05276	1,04060	1,04806	1,03856	1,06337
8,00	1,05057						
	1,05170	1,05440	1,05509	1,04488	1,05165	1,04232	1,06712
10,00	1,05185						
	1,05220	1,05406	1,05567	1,04398	1,05107	1,04201	1,06678
14,00	1,03795						
	1,03763	1,03995	1,04280	1,02953	1,03749	1,02901	1,05250
18,00	1,01214						
	1,01126	1,01389	1,01813	1,00487	1,01229	1,00478	1,02613
22,00	0,98277						
	0,98184	0,98354	0,98922	0,97658	0,98302	0,97666	0,99541
26,00	0,95405						
	0,95331	0,95346	0,96058	0,94832	0,95395	0,94874	0,96497
30,00	0,92774						
	0,92708	0,92532	0,93344	0,92159	0,92668	0,92245	0,93649
34,00	0,90406						
	0,90339	0,89965	0,90837	0,89686	0,90169	0,89822	0,91051
38,00	0,88268						
	0,88216	0,87664	0,88537	0,87427	0,87914	0,87611	0,88722
42,00	0,86359						
	0,86313	0,85629	0,86428	0,85383	0,85903	0,85610	0,86662
46,00	0,84697						
	0,84665	0,83854	0,84522	0,83566	0,84131	0,83812	0,84886
50,00	0,83229						
	0,83206	0,82323	0,82799	0,81983	0,82586	0,82158	0,83316

Tablo D.9 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 12BPR içeren C yakıt demeti için tüketimle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	1,05004	1,02775	1,03157	1,01460	1,02900	1,02084	1,03941
	1,02002						
0,15	1,01977	0,99856	1,00022	0,98871	1,00032	0,99242	1,00985
	1,02654						
2,00	1,02364	1,00604	1,00499	0,99745	1,00476	0,99705	1,01738
	1,02997						
4,00	1,03156	1,00673	1,00824	1,00018	1,00452	0,99736	1,01808
	1,02944						
6,00	1,03049	1,00331	1,00536	0,99791	1,00095	0,99424	1,01462
	1,02555						
8,00	1,02619	0,99769	0,99920	0,99257	0,99542	0,98915	1,00893
	1,01875						
10,00	1,01900	0,99020	0,99243	0,98480	0,98798	0,98210	1,00136
	0,99649						
14,00	0,99603	0,96934	0,97247	0,96382	0,96804	0,96253	0,98026
	0,96916						
18,00	0,96838	0,94371	0,94775	0,93899	0,94330	0,93829	0,95435
	0,94114						
22,00	0,94042	0,91687	0,92201	0,91338	0,91740	0,91317	0,92720
	0,91482						
26,00	0,91420	0,89106	0,89738	0,88875	0,89242	0,88905	0,90110
	0,89093						
30,00	0,89035	0,86713	0,87417	0,86574	0,86915	0,86656	0,87690
	0,86931						
34,00	0,86881	0,84534	0,85278	0,84455	0,84785	0,84587	0,85487
	0,84999						
38,00	0,84956	0,82578	0,83310	0,82514	0,82861	0,82698	0,83509
	0,83269						
42,00	0,83236	0,80842	0,81501	0,80759	0,81138	0,80983	0,81753
	0,81762						
46,00	0,81735	0,79318	0,79858	0,79185	0,79611	0,79434	0,80212
	0,80430						
50,00	0,80414	0,77994	0,78363	0,77806	0,78269	0,78041	0,78873

Tablo D.10 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 16BPR içeren C yakıt demeti için tükenmeyle değişen K_{inf} değerleri ve bu değerlerin diğer ülkelerin sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	1,01079	0,99118	0,99702	0,97332	0,99213	0,98404	1,00283
	0,98348						
0,15	0,98324	0,96461	0,96740	0,95040	0,96602	0,95801	0,97590
	0,99634						
2,00	0,99875	0,97865	0,97819	0,96744	0,97732	0,96935	0,99007
	1,00613						
4,00	1,00801	0,98548	0,98723	0,97742	0,98327	0,97581	0,99698
	1,01140						
6,00	1,01269	0,98745	0,98948	0,98115	0,98510	0,97801	0,99897
	1,01256						
8,00	1,01338	0,98640	0,98742	0,98058	0,98409	0,97737	0,99791
	1,00967						
10,00	1,01003	0,98254	0,98435	0,97651	0,98019	0,97385	0,99401
	0,99251						
14,00	0,99212	0,96626	0,96925	0,96029	0,96467	0,95869	0,97754
	0,96736						
18,00	0,96659	0,94275	0,94684	0,93769	0,94200	0,93666	0,95375
	0,94024						
22,00	0,93955	0,91687	0,92208	0,91325	0,91703	0,91255	0,92757
	0,91448						
26,00	0,91389	0,89158	0,89791	0,88927	0,89257	0,88898	0,90198
	0,89093						
30,00	0,89039	0,86801	0,87501	0,86675	0,86967	0,86689	0,87814
	0,86974						
34,00	0,86919	0,84650	0,85385	0,84590	0,84867	0,84651	0,85638
	0,85062						
38,00	0,85015	0,82716	0,83436	0,82683	0,82967	0,82788	0,83681
	0,83359						
42,00	0,83321	0,80996	0,81643	0,80952	0,81264	0,81092	0,81941
	0,81861						
46,00	0,81831	0,79484	0,80012	0,79399	0,79752	0,79559	0,80412
	0,80547						
50,00	0,80529	0,78167	0,78525	0,78032	0,78419	0,78178	0,79079

EK E Bu bölümdeki tüm tablolarda yer alan izotop miktarları kg/tU cinsinden verilmiştir.

Tablo E.1 %2.6 zenginlikte 0ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U236 miktarı ve diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,033	0,033	0,032	0,033	0,033	0,034	0,030
	0,033						
2,00	0,421	0,418	0,411	0,413	0,418	0,425	0,416
	0,423						
4,00	0,803	0,793	0,779	0,782	0,793	0,808	0,782
	0,805						
6,00	1,151	1,133	1,117	1,116	1,133	1,154	1,119
	1,153						
8,00	1,470	1,443	1,416	1,418	1,441	1,468	1,426
	1,471						
10,00	1,763	1,725	1,689	1,693	1,722	1,752	1,713
	1,764						
14,00	2,272	2,217	2,168	2,168	2,208	2,244	2,198
	2,275						
18,00	2,699	2,622	2,567	2,556	2,607	2,641	2,594
	2,703						
22,00	3,051	2,950	2,894	2,868	2,929	2,956	2,920
	3,079						
26,00	3,333	3,208	3,151	3,112	3,182	3,198	3,178
	3,334						
30,00	3,553	3,403	3,359	3,296	3,374	3,374	3,366
	3,554						
34,00	3,716	3,543	3,515	3,427	3,512	3,494	3,504
	3,718						
38,00	3,834	3,634	3,626	3,512	3,602	3,564	3,593
	3,835						
42,00	3,917	3,683	3,698	3,557	3,651	3,592	3,643
	3,910						
46,00	3,949	3,698	3,737	3,570	3,666	3,585	3,663
	3,950						
50,00	3,960	3,684	3,747	3,556	3,653	3,549	3,643
	3,960						

Tablo E.2 %2.6 zenginlikte Oppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U238 miktarı ve diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	974,00	974,00	974,00	974,00	974,00	974,00	974,00
0,15	973,91	973,90	973,90	973,87	973,96	973,90	973,94
	973,91						
2,00	972,62	972,62	972,60	972,58	972,67	972,66	972,68
	972,58						
4,00	971,16	971,22	971,20	971,16	971,26	971,30	971,30
	971,16						
6,00	969,70	969,79	969,70	969,74	969,82	969,89	969,89
	969,70						
8,00	968,19	968,33	968,20	968,27	968,34	968,47	968,45
	968,19						
10,00	966,64	966,83	966,70	966,76	966,84	967,00	966,96
	966,64						
14,00	963,50	963,73	963,70	963,70	963,73	963,96	963,89
	963,46						
18,00	960,15	960,49	960,50	960,50	960,48	960,78	960,67
	960,15						
22,00	956,66	957,10	957,20	957,21	957,09	957,48	957,30
	956,66						
26,00	953,05	953,56	953,70	953,79	953,56	954,03	953,78
	953,05						
30,00	949,30	949,88	950,15	950,29	949,89	950,46	950,11
	949,26						
34,00	945,43	946,05	946,45	946,64	946,07	946,76	946,29
	945,39						
38,00	941,43	942,09	942,70	942,87	942,13	942,96	942,34
	941,38						
42,00	937,30	938,00	938,80	939,05	938,08	939,03	938,26
	937,30						
46,00	933,08	933,80	934,80	935,10	933,91	935,01	934,06
	933,08						
50,00	928,78	929,51	930,75	931,10	929,64	930,90	929,77
	928,78						

Tablo E.3 %2.6 zenginlikte 0ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen tükenmeyle değişen Pu239 miktarı ve diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,092	0,093	0,093	0,093	0,092	0,038	0,089
	0,093						
2,00	1,084	1,089	1,107	1,098	1,087	1,005	1,079
	1,110						
4,00	1,953	1,923	1,957	1,939	1,922	1,847	1,901
	1,974						
6,00	2,644	2,574	2,632	2,596	2,580	2,514	2,544
	2,662						
8,00	3,201	3,090	3,152	3,116	3,103	3,049	3,059
	3,216						
10,00	3,655	3,500	3,571	3,528	3,522	3,479	3,465
	3,669						
14,00	4,298	4,087	4,174	4,107	4,119	4,106	4,049
	4,333						
18,00	4,752	4,453	4,556	4,467	4,498	4,510	4,405
	4,776						
22,00	5,052	4,671	4,789	4,681	4,731	4,761	4,623
	5,109						
26,00	5,244	4,793	4,911	4,798	4,864	4,908	4,742
	5,254						
30,00	5,365	4,852	4,975	4,849	4,931	4,986	4,801
	5,371						
34,00	5,438	4,872	4,993	4,857	4,954	5,018	4,821
	5,444						
38,00	5,484	4,872	4,982	4,840	4,952	5,021	4,821
	5,489						
42,00	5,524	4,861	4,955	4,808	4,934	5,007	4,811
	5,517						
46,00	5,532	4,847	4,918	4,767	4,910	4,985	4,801
	5,536						
50,00	5,546	4,835	4,880	4,725	4,884	4,959	4,791
	5,551						

Tablo E.4 %2.6 zenginlikte 0ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu240 miktarı ve diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP Gwd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000						
2,00	0,059	0,055	0,055	0,055	0,054	0,048	0,049
	0,056						
4,00	0,184	0,179	0,181	0,179	0,177	0,165	0,178
	0,183						
6,00	0,346	0,339	0,342	0,339	0,333	0,315	0,337
	0,347						
8,00	0,527	0,517	0,516	0,517	0,506	0,483	0,515
	0,530						
10,00	0,719	0,703	0,697	0,701	0,687	0,660	0,693
	0,723						
14,00	1,095	1,081	1,057	1,062	1,044	1,018	1,069
	1,113						
18,00	1,475	1,445	1,399	1,399	1,388	1,366	1,426
	1,496						
22,00	1,835	1,781	1,712	1,699	1,707	1,688	1,762
	1,873						
26,00	2,167	2,081	1,985	1,958	1,996	1,977	2,059
	2,188						
30,00	2,464	2,342	2,227	2,174	2,250	2,231	2,316
	2,484						
34,00	2,725	2,562	2,431	2,349	2,468	2,448	2,534
	2,742						
38,00	2,950	2,744	2,601	2,488	2,651	2,629	2,712
	2,965						
42,00	3,141	2,891	2,740	2,594	2,801	2,778	2,861
	2,980						
46,00	3,300	3,006	2,849	2,672	2,921	2,896	2,980
	3,311						
50,00	3,433	3,095	2,935	2,729	3,015	2,989	3,059
	3,441						

Tablo E.5 %2.6 zenginlikte 0ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu241 miktarı ve diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000						
2,00	0,006	0,006	0,006	0,005	0,006	0,005	0,010
	0,006						
4,00	0,037	0,035	0,035	0,032	0,035	0,035	0,030
	0,036						
6,00	0,096	0,091	0,094	0,085	0,093	0,092	0,089
	0,093						
8,00	0,178	0,169	0,174	0,160	0,173	0,173	0,168
	0,174						
10,00	0,276	0,262	0,271	0,251	0,269	0,269	0,257
	0,271						
14,00	0,509	0,470	0,489	0,463	0,490	0,485	0,465
	0,490						
18,00	0,734	0,681	0,712	0,682	0,707	0,704	0,673
	0,714						
22,00	0,943	0,877	0,918	0,887	0,904	0,908	0,871
	0,932						
26,00	1,130	1,047	1,095	1,067	1,073	1,086	1,039
	1,112						
30,00	1,289	1,190	1,245	1,217	1,213	1,235	1,178
	1,273						
34,00	1,423	1,306	1,366	1,338	1,326	1,357	1,297
	1,409						
38,00	1,533	1,398	1,460	1,430	1,415	1,453	1,386
	1,520						
42,00	1,625	1,470	1,529	1,499	1,483	1,528	1,455
	1,612						
46,00	1,694	1,525	1,579	1,547	1,534	1,584	1,515
	1,686						
50,00	1,752	1,567	1,615	1,579	1,573	1,626	1,554
	1,745						

Tablo E.6 %2.6 zenginlikte 0ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu242 miktarı ve diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SFA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000						
2,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000						
4,00	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000
	0,001						
6,00	0,006	0,006	0,006	0,005	0,006	0,006	0,010
	0,006						
8,00	0,016	0,016	0,016	0,014	0,016	0,016	0,020
	0,016						
10,00	0,032	0,031	0,031	0,028	0,032	0,032	0,030
	0,032						
14,00	0,088	0,085	0,084	0,077	0,086	0,086	0,079
	0,087						
18,00	0,174	0,169	0,166	0,155	0,172	0,171	0,168
	0,173						
22,00	0,290	0,282	0,278	0,262	0,286	0,285	0,277
	0,291						
26,00	0,433	0,421	0,417	0,395	0,425	0,424	0,416
	0,432						
30,00	0,597	0,580	0,573	0,551	0,584	0,584	0,574
	0,597						
34,00	0,778	0,756	0,745	0,726	0,757	0,758	0,752
	0,778						
38,00	0,972	0,941	0,927	0,915	0,940	0,942	0,931
	0,971						
42,00	1,174	1,131	1,114	1,114	1,127	1,130	1,119
	1,172						
46,00	1,374	1,321	1,302	1,319	1,314	1,318	1,307
	1,375						
50,00	1,576	1,508	1,486	1,527	1,497	1,502	1,495
	1,576						

Tablo E.7 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U236 miktarı ve diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,035	0,035	0,033	0,034	0,035	0,036	0,030
	0,035						
2,00	0,433	0,432	0,423	0,428	0,433	0,448	0,425
	0,436						
4,00	0,818	0,810	0,793	0,802	0,812	0,840	0,800
	0,819						
6,00	1,162	1,148	1,128	1,134	1,150	1,188	1,136
	1,163						
8,00	1,473	1,452	1,422	1,433	1,454	1,500	1,432
	1,475						
10,00	1,758	1,727	1,689	1,703	1,728	1,780	1,709
	1,759						
14,00	2,250	2,204	2,154	2,167	2,200	2,258	2,173
	2,254						
18,00	2,662	2,597	2,541	2,547	2,587	2,643	2,569
	2,666						
22,00	3,002	2,917	2,860	2,854	2,901	2,949	2,885
	3,005						
26,00	3,279	3,172	3,115	3,096	3,150	3,187	3,132
	3,280						
30,00	3,497	3,369	3,322	3,283	3,343	3,363	3,329
	3,498						
34,00	3,663	3,515	3,484	3,421	3,486	3,487	3,478
	3,665						
38,00	3,787	3,617	3,603	3,516	3,586	3,564	3,576
	3,787						
42,00	3,871	3,680	3,687	3,574	3,648	3,603	3,636
	3,871						
46,00	3,921	3,710	3,739	3,600	3,677	3,609	3,665
	3,922						
50,00	3,944	3,713	3,764	3,601	3,679	3,587	3,665
	3,944						

Tablo E.8 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U238 miktarı ve diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	974,00	973,90	974,00	974,00	974,00	974,00	973,94
0,15	973,87	973,77	973,90	973,87	973,94	973,88	973,87
	973,87						
2,00	972,28	972,19	972,30	972,27	972,34	972,33	972,20
	972,28						
4,00	970,56	970,51	970,60	970,63	970,63	970,67	970,55
	970,56						
6,00	968,88	968,84	968,90	968,94	968,94	969,01	968,90
	968,84						
8,00	967,16	967,16	967,30	967,29	967,25	967,36	967,24
	967,16						
10,00	965,44	965,48	965,60	965,65	965,55	965,70	965,57
	965,44						
14,00	962,04	962,08	962,20	962,32	962,12	962,36	962,20
	962,00						
18,00	958,47	958,59	958,80	958,90	958,61	958,94	958,74
	958,47						
22,00	954,86	955,00	955,30	955,44	955,00	955,43	955,17
	954,82						
26,00	951,07	951,29	951,75	951,88	951,29	951,82	951,49
	951,07						
30,00	947,20	947,47	948,05	948,24	947,47	948,11	947,68
	947,16						
34,00	943,20	943,54	944,30	944,51	943,54	944,30	943,76
	943,20						
38,00	939,12	939,51	940,45	940,69	939,51	940,41	939,74
	939,12						
42,00	934,94	935,38	936,50	936,83	935,39	936,43	935,62
	934,94						
46,00	930,73	931,16	932,50	932,88	931,19	932,38	931,41
	930,69						
50,00	926,38	926,86	928,45	928,88	926,91	928,26	927,11
	926,38						

Tablo E.9 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239 miktarı ve diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,115	0,116	0,113	0,115	0,115	0,048	0,119
	1,117						
2,00	1,327	1,339	1,337	1,332	1,342	1,250	1,324
	1,358						
4,00	2,360	2,337	2,341	2,321	2,346	2,267	2,312
	2,380						
6,00	3,157	3,102	3,124	3,078	3,120	3,054	3,063
	3,172						
8,00	3,783	3,698	3,721	3,668	3,726	3,672	3,655
	3,795						
10,00	4,283	4,166	4,196	4,131	4,203	4,163	4,120
	4,293						
14,00	4,984	4,831	4,870	4,783	4,881	4,868	4,772
	5,012						
18,00	5,468	5,255	5,304	5,197	5,320	5,328	5,197
	5,493						
22,00	5,805	5,530	5,585	5,461	5,608	5,635	5,463
	5,827						
26,00	6,046	5,709	5,760	5,627	5,798	5,839	5,641
	6,064						
30,00	6,219	5,825	5,878	5,727	5,921	5,973	5,750
	6,235						
34,00	6,346	5,899	5,947	5,781	5,999	6,058	5,829
	6,360						
38,00	6,442	5,946	5,983	5,804	6,044	6,110	5,878
	6,454						
42,00	6,516	5,977	5,998	5,806	6,068	6,138	5,908
	6,527						
46,00	6,575	5,998	5,997	5,794	6,079	6,151	5,928
	6,586						
50,00	6,625	6,015	5,988	5,773	6,079	6,152	5,937
	6,635						

Tablo E.10 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu240 miktarı ve diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000						
2,00	0,073	0,066	0,066	0,067	0,066	0,060	0,069
	0,069						
4,00	0,216	0,209	0,206	0,209	0,209	0,195	0,207
	0,216						
6,00	0,395	0,385	0,382	0,384	0,381	0,360	0,375
	0,399						
8,00	0,590	0,575	0,564	0,571	0,567	0,540	0,573
	0,593						
10,00	0,791	0,771	0,751	0,762	0,758	0,724	0,761
	0,796						
14,00	1,178	1,162	1,117	1,129	1,126	1,091	1,146
	1,201						
18,00	1,568	1,531	1,459	1,465	1,475	1,439	1,512
	1,591						
22,00	1,932	1,869	1,769	1,762	1,797	1,757	1,847
	1,955						
26,00	2,267	2,169	2,039	2,016	2,086	2,043	2,144
	2,287						
30,00	2,566	2,431	2,278	2,229	2,342	2,294	2,401
	2,585						
34,00	2,831	2,656	2,483	2,403	2,565	2,512	2,628
	2,847						
38,00	3,064	2,847	2,656	2,544	2,756	2,700	2,816
	3,078						
42,00	3,266	3,006	2,803	2,655	2,918	2,858	2,974
	3,279						
46,00	3,441	3,137	2,923	2,742	3,053	2,990	3,102
	3,452						
50,00	3,590	3,244	3,023	2,807	3,165	3,100	3,201
	3,600						

Tablo E.11 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu241 miktarı ve diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000						
2,00	0,009	0,008	0,008	0,008	0,009	0,008	0,010
	0,009						
4,00	0,053	0,049	0,049	0,046	0,051	0,050	0,049
	0,050						
6,00	0,130	0,122	0,125	0,117	0,128	0,128	0,119
	0,126						
8,00	0,231	0,220	0,224	0,211	0,230	0,231	0,217
	0,225						
10,00	0,347	0,332	0,339	0,320	0,346	0,349	0,326
	0,340						
14,00	0,614	0,575	0,592	0,568	0,605	0,603	0,573
	0,591						
18,00	0,863	0,817	0,843	0,816	0,855	0,864	0,810
	0,841						
22,00	1,095	1,042	1,076	1,049	1,080	1,093	1,027
	1,075						
26,00	1,304	1,242	1,279	1,256	1,278	1,296	1,225
	1,286						
30,00	1,487	1,414	1,457	1,434	1,447	1,472	1,393
	1,472						
34,00	1,645	1,560	1,605	1,582	1,589	1,620	1,541
	1,631						
38,00	1,779	1,680	1,725	1,702	1,706	1,742	1,660
	1,767						
42,00	1,892	1,779	1,820	1,797	1,801	1,841	1,759
	1,882						
46,00	1,987	1,860	1,895	1,869	1,877	1,922	1,838
	1,979						
50,00	2,067	1,926	1,954	1,923	1,939	1,986	1,907
	2,060						

Tablo E.12 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu242 miktarı ve diğer ülke sonuçlarıyla karşılaştırılması.

BURN-UP GWd/tU	DRA	SPA	IND	CRO	SAF	TUR	SER
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000						
2,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,000						
4,00	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000
	0,002						
6,00	0,008	0,008	0,008	0,007	0,008	0,008	0,010
	0,008						
8,00	0,020	0,019	0,019	0,017	0,020	0,020	0,020
	0,020						
10,00	0,039	0,038	0,037	0,034	0,039	0,039	0,040
	0,039						
14,00	0,101	0,096	0,095	0,088	0,099	0,099	0,099
	0,100						
18,00	0,192	0,184	0,181	0,169	0,190	0,188	0,178
	0,191						
22,00	0,311	0,298	0,294	0,277	0,306	0,304	0,296
	0,310						
26,00	0,454	0,434	0,430	0,408	0,443	0,440	0,425
	0,453						
30,00	0,615	0,588	0,581	0,558	0,597	0,591	0,583
	0,614						
34,00	0,789	0,753	0,744	0,724	0,761	0,754	0,741
	0,788						
38,00	0,973	0,926	0,914	0,902	0,932	0,922	0,919
	0,973						
42,00	1,162	1,102	1,089	1,088	1,106	1,093	1,087
	1,162						
46,00	1,352	1,277	1,262	1,280	1,278	1,263	1,265
	1,352						
50,00	1,541	1,448	1,432	1,473	1,447	1,428	1,432
	1,541						

EK F Bu bölümde yer alan tüm tablolardaki izotop miktarları kg/tU cinsinden verilmiştir.

Tablo F.1 %2.1 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238 ve U236 miktarları.

BURN-UP	U-235 KÜTLESİ	U-238 KÜTLESİ	U-236 KÜTLESİ
0.00	21,000	979,000	0,000
0.15	20,818	978,871	0,032
	20,818	978,871	0,033
2.00	18,747	977,494	0,403
	18,747	977,451	0,405
4.00	16,780	975,902	0,757
	16,780	975,859	0,759
6.00	15,029	974,267	1,072
	15,028	974,267	1,073
8.00	13,456	972,632	1,353
	13,455	972,589	1,354
10.00	12,032	970,911	1,606
	12,031	970,911	1,607
14.00	9,590	967,426	2,030
	9,587	967,383	2,033
18.00	7,585	963,768	2,368
	7,582	963,768	2,370
22.00	5,950	959,982	2,629
	5,948	959,939	2,631
26.00	4,629	956,023	2,825
	4,627	956,023	2,827
30.00	3,571	951,936	2,968
	3,569	951,936	2,969
34.00	2,735	947,762	3,062
	2,734	947,762	3,062
38.00	2,080	943,502	3,119
	2,079	943,502	3,120
42.00	1,571	939,157	3,144
	1,570	939,114	3,145
46.00	1,182	934,725	3,170
	1,181	934,725	3,171
50.00	0,885	930,250	3,179
	0,884	930,207	3,179

Tablo F.2 %2.1 zenginlikte 0 ppm boron içeren Cyakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları.

BURN-UP	Pu239 kütlesi	Pu240 kütlesi	Pu241 kütlesi	Pu242 kütlesi
0.00	0,000	0,000	0,000	0,000
0.15	0,102	0,000	0,000	0,000
	0,104	0,001	0,000	0,000
2.00	1,166	0,074	0,008	0,000
	1,199	0,072	0,008	0,000
4.00	2,058	0,228	0,049	0,003
	2,084	0,228	0,047	0,002
6.00	2,739	0,420	0,122	0,010
	2,760	0,422	0,118	0,010
8.00	3,268	0,629	0,218	0,024
	3,285	0,633	0,213	0,024
10.00	3,684	0,846	0,329	0,047
	3,700	0,851	0,323	0,047
14.00	4,243	1,255	0,580	0,123
	4,284	1,278	0,559	0,121
18.00	4,627	1,656	0,807	0,233
	4,655	1,680	0,786	0,232
22.00	4,872	2,022	1,008	0,377
	4,892	2,044	0,990	0,376
26.00	5,030	2,345	1,181	0,546
	5,046	2,365	1,164	0,545
30.00	5,135	2,624	1,324	0,735
	5,148	2,641	1,310	0,734
34.00	5,207	2,860	1,441	0,935
	5,219	2,875	1,429	0,935
38.00	5,262	3,058	1,536	1,142
	5,273	3,071	1,527	1,142
42.00	5,306	3,223	1,614	1,351
	5,318	3,233	1,607	1,351
46.00	5,345	3,358	1,677	1,556
	5,357	3,367	1,672	1,557
50.00	5,383	3,470	1,730	1,756
	5,394	3,477	1,726	1,756

Tablo F.3 %2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238 ve U236 miktarları.

BURN-UP	U-235 KÜTLESİ	U-238 KÜTLESİ	U-236 KÜTLESİ
0.00	26,000	974,000	0,000
0.15	25,816	973,914	0,033
	25,816	973,914	0,033
2.00	23,691	972,623	0,421
	23,689	972,580	0,423
4.00	21,610	971,160	0,803
	21,609	971,160	0,805
6.00	19,712	969,697	1,151
	19,711	969,697	1,153
8.00	17,968	968,191	1,470
	17,967	968,191	1,471
10.00	16,356	966,642	1,763
	16,353	966,642	1,764
14.00	13,507	963,501	2,272
	13,501	963,458	2,275
18.00	11,069	960,145	2,699
	11,063	960,145	2,703
22.00	8,995	956,659	3,051
	8,991	956,659	3,079
26.00	7,245	953,045	3,333
	7,241	953,045	3,334
30.00	5,780	949,301	3,553
	5,778	949,258	3,554
34.00	4,574	945,429	3,716
	4,570	945,386	3,718
38.00	3,583	941,427	3,834
	3,580	941,384	3,835
42.00	2,781	937,296	3,917
	2,779	937,296	3,910
46.00	2,144	933,079	3,949
	2,142	933,079	3,950
50.00	1,641	928,777	3,960
	1,639	928,777	3,960

Tablo F.4 %2.6 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları.

BURN-UP	Pu239 kütlesi	Pu240 kütlesi	Pu241 kütlesi	Pu242 kütlesi
0.00	0,000	0,000	0,000	0,000
0.15	0,092	0,000	0,000	0,000
	0,093	0,000	0,000	0,000
2.00	1,084	0,059	0,006	0,000
	1,110	0,056	0,006	0,000
4.00	1,953	0,184	0,037	0,001
	1,974	0,183	0,036	0,001
6.00	2,644	0,346	0,096	0,006
	2,662	0,347	0,093	0,006
8.00	3,201	0,527	0,178	0,016
	3,216	0,530	0,174	0,016
10.00	3,655	0,719	0,276	0,032
	3,669	0,723	0,271	0,032
14.00	4,298	1,095	0,509	0,088
	4,333	1,113	0,490	0,087
18.00	4,752	1,475	0,734	0,174
	4,776	1,496	0,714	0,173
22.00	5,052	1,835	0,943	0,290
	5,109	1,873	0,932	0,291
26.00	5,244	2,167	1,130	0,433
	5,254	2,188	1,112	0,432
30.00	5,365	2,464	1,289	0,597
	5,371	2,484	1,273	0,597
34.00	5,438	2,725	1,423	0,778
	5,444	2,742	1,409	0,778
38.00	5,484	2,950	1,533	0,972
	5,489	2,965	1,520	0,971
42.00	5,524	3,141	1,625	1,174
	5,517	2,980	1,612	1,172
46.00	5,532	3,300	1,694	1,374
	5,536	3,311	1,686	1,375
50.00	5,546	3,433	1,752	1,576
	5,551	3,441	1,745	1,576

Tablo F.5 %3.1 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238 ve U236 miktarları.

BURN-UP	U-235 KÜTLESİ	U-238 KÜTLESİ	U-236 KÜTLESİ
0.00	31,000	969,000	0,000
0.15	30,815	968,914	0,034
	30,815	968,914	0,034
2.00	28,651	967,709	0,436
	28,649	967,709	0,438
4.00	26,567	966,375	0,840
	26,489	966,375	0,841
6.00	24,486	965,041	1,214
	24,484	964,998	1,215
8.00	22,616	963,621	1,562
	22,614	963,601	1,563
10.00	20,862	962,201	1,887
	20,859	962,201	1,888
14.00	17,699	959,276	2,466
	17,691	959,232	2,470
18.00	14,912	956,177	2,969
	14,905	956,177	2,973
22.00	12,470	952,993	3,399
	12,464	952,950	3,403
26.00	10,340	949,637	3,762
	10,334	949,637	3,764
30.00	8,496	946,152	4,061
	8,492	946,152	4,063
34.00	6,921	942,581	4,299
	6,917	942,581	4,301
38.00	5,581	938,837	4,485
	5,577	938,837	4,487
42.00	4,455	934,964	4,623
	4,453	934,964	4,624
46.00	3,526	931,006	4,716
	3,524	931,006	4,717
50.00	2,765	926,918	4,771
	2,763	926,918	4,772

Tablo F.6 %3.1 zenginlikte 0 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları.

BURN-UP	Pu239 kütlesi	Pu240 kütlesi	Pu241 kütlesi	Pu242 kütlesi
0.00	0,000	0,000	0,000	0,000
0.15	0,085	0,000	0,000	0,000
	0,086	0,000	0,000	0,000
2.00	1,022	0,048	0,005	0,000
	1,044	0,046	0,004	0,000
4.00	1,869	0,154	0,029	0,001
	1,886	0,153	0,028	0,001
6.00	2,563	0,293	0,078	0,004
	2,578	0,294	0,076	0,004
8.00	3,138	0,453	0,148	0,011
	3,151	0,454	0,145	0,011
10.00	3,618	0,624	0,235	0,023
	3,631	0,626	0,231	0,023
14.00	4,331	0,968	0,450	0,065
	4,362	0,983	0,433	0,065
18.00	4,851	1,324	0,668	0,133
	4,871	1,343	0,649	0,132
22.00	5,207	1,672	0,880	0,227
	5,221	1,692	0,861	0,226
26.00	5,446	2,002	1,075	0,346
	5,454	2,022	1,057	0,346
30.00	5,601	2,307	1,249	0,488
	5,603	2,325	1,231	0,487
34.00	5,693	2,581	1,397	0,648
	5,693	2,599	1,381	0,648
38.00	5,743	2,826	1,523	0,823
	5,743	2,843	1,508	0,823
42.00	5,768	3,040	1,627	1,010
	5,766	3,055	1,613	1,010
46.00	5,774	3,224	1,710	1,204
	5,772	3,236	1,699	1,204
50.00	5,770	3,377	1,777	1,400
	5,769	3,388	1,768	1,401

Tablo F.7 %2.1 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238 ve U236 miktarları.

BURN-UP	U-235 KÜTLESİ	U-238 KÜTLESİ	U-236 KÜTLESİ
0.00	21,000	979,000	0,000
0.15	20,819	978,871	0,033
	20,819	978,871	0,033
2.00	18,761	977,408	0,405
	18,761	977,365	0,407
4.00	16,819	975,730	0,759
	16,819	975,930	0,761
6.00	15,098	974,052	1,072
	15,097	974,009	1,074
8.00	13,555	972,331	1,351
	13,554	972,388	1,353
10.00	12,162	970,567	1,602
	12,160	970,524	1,603
14.00	9,776	966,995	2,021
	9,773	966,909	2,023
18.00	7,817	963,209	2,354
	7,815	963,166	2,356
22.00	6,216	959,337	2,613
	6,215	959,293	2,615
26.00	4,914	955,292	2,809
	4,912	955,292	2,810
30.00	3,861	951,161	2,952
	3,859	951,161	2,953
34.00	3,019	946,988	3,049
	3,017	946,945	3,051
38.00	2,348	942,685	3,110
	2,346	942,642	3,111
42.00	1,817	938,296	3,141
	1,803	938,253	3,141
46.00	1,401	933,864	3,146
	1,400	933,821	3,147
50.00	1,077	929,389	3,133
	1,076	929,347	3,133

Tablo F.8 %2.1 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları.

BURN-UP	Pu239 kütlesi	Pu240 kütlesi	Pu241 kütlesi	Pu242 kütlesi
0.00	0,000	0,000	0,000	0,000
0.15	0,108	0,000	0,000	0,000
	0,109	0,000	0,000	0,000
2.00	1,222	0,078	0,009	0,000
	1,258	0,075	0,009	0,000
4.00	2,156	0,236	0,053	0,003
	2,185	0,236	0,051	0,003
6.00	2,871	0,432	0,132	0,010
	2,895	0,434	0,128	0,010
8.00	3,429	0,644	0,235	0,025
	3,449	0,648	0,230	0,025
10.00	3,873	0,862	0,353	0,049
	3,891	0,866	0,347	0,049
14.00	4,476	1,270	0,617	0,126
	4,523	1,294	0,596	0,126
18.00	4,904	1,671	0,857	0,238
	4,937	1,695	0,837	0,237
22.00	5,188	2,037	1,073	0,381
	5,214	2,059	1,055	0,379
26.00	5,382	2,361	1,259	0,548
	5,402	2,381	1,243	0,547
30.00	5,517	2,630	1,416	0,732
	5,535	2,661	1,402	0,731
34.00	5,617	2,885	1,546	0,927
	5,635	2,898	1,534	0,927
38.00	5,700	3,087	1,654	1,128
	5,712	3,101	1,645	1,128
42.00	5,761	3,261	1,744	1,330
	5,775	3,271	1,736	1,330
46.00	5,816	3,406	1,818	1,529
	5,830	3,415	1,812	1,529
50.00	5,866	3,527	1,880	1,723
	5,879	3,534	1,876	1,723

Tablo F.9 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238 ve U236 miktarları.

BURN-UP	U-235 KÜTLESİ	U-238 KÜTLESİ	U-236 KÜTLESİ
0.00	26,000	974,000	0,000
0.15	25,817	973,914	0,034
	25,817	973,871	0,034
2.00	23,701	972,537	0,424
	23,700	972,537	0,426
4.00	21,639	971,031	0,807
	21,639	971,031	0,808
6.00	19,765	969,525	1,154
	19,763	969,482	1,156
8.00	18,047	967,933	1,472
	18,042	967,933	1,473
10.00	16,462	966,341	1,763
	16,460	966,341	1,764
14.00	13,699	963,071	2,268
	13,663	963,028	2,272
18.00	11,282	959,628	2,690
	11,277	959,585	2,694
22.00	9,253	956,057	3,038
	9,248	956,014	3,041
26.00	7,535	952,356	3,318
	7,532	952,313	3,319
30.00	6,093	948,527	3,536
	6,090	948,527	3,538
34.00	4,894	944,611	3,702
	4,892	944,568	3,703
38.00	3,902	940,567	3,821
	3,901	940,523	3,822
42.00	3,090	936,393	3,900
	3,088	936,393	3,901
46.00	2,432	932,176	3,945
	2,431	932,176	3,946
50.00	1,905	927,873	3,961
	1,904	927,830	3,962

Tablo F.10 %2.6 zenginlikte 1000ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları.

BURN-UP	Pu239 kütlesi	Pu240 kütlesi	Pu241 kütlesi	Pu242 kütlesi
0.00	0,000	0,000	0,000	0,000
0.15	0,097	0,000	0,000	0,000
	0,096	0,000	0,000	0,000
2.00	1,132	0,061	0,007	0,000
	1,161	0,059	0,006	0,000
4.00	2,040	0,191	0,040	0,002
	2,063	0,190	0,039	0,002
6.00	2,762	0,356	0,104	0,007
	2,782	0,358	0,101	0,007
8.00	3,346	0,541	0,191	0,017
	3,363	0,543	0,187	0,017
10.00	3,824	0,735	0,295	0,034
	3,841	0,738	0,290	0,034
14.00	4,509	1,111	0,540	0,091
	4,549	1,131	0,521	0,090
18.00	5,004	1,493	0,777	0,177
	5,032	1,515	0,758	0,177
22.00	5,341	1,854	1,000	0,295
	5,363	1,875	0,981	0,294
26.00	5,691	2,185	1,198	0,437
	5,586	2,205	1,181	0,436
30.00	5,725	2,483	1,371	0,599
	5,738	2,502	1,355	0,599
34.00	5,831	2,747	1,517	0,777
	5,841	2,764	1,503	0,776
38.00	5,904	2,976	1,640	0,965
	5,913	2,991	1,628	0,965
42.00	5,956	3,175	1,742	1,160
	5,965	3,186	1,732	1,160
46.00	5,997	3,341	1,826	1,356
	6,004	3,352	1,818	1,356
50.00	6,028	3,482	1,896	1,551
	6,036	3,491	1,889	1,551

Tablo F.11 %3.1 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238 ve U236 miktarları.

BURN-UP	U-235 KÜTLESİ	U-238 KÜTLESİ	U-236 KÜTLESİ
0.00	31,000	969,000	0,000
0.15	30,816	968,914	0,034
	30,816	968,214	0,035
2.00	28,659	967,666	0,439
	28,656	967,623	0,441
4.00	26,512	966,289	0,844
	26,511	966,246	0,846
6.00	24,526	964,869	1,219
	24,525	964,826	1,221
8.00	22,679	963,406	1,567
	22,677	963,406	1,568
10.00	20,949	961,900	1,891
	20,946	961,900	1,893
14.00	17,836	958,888	2,467
	17,828	958,845	2,471
18.00	15,099	955,704	2,966
	15,092	955,704	2,971
22.00	12,703	952,391	3,393
	12,699	952,391	3,396
26.00	10,616	948,992	3,751
	10,611	948,949	3,754
30.00	8,806	945,420	4,047
	8,801	945,420	4,049
34.00	7,252	941,763	4,285
	7,249	941,763	4,287
38.00	5,926	937,977	4,471
	5,925	937,977	4,472
42.00	4,805	934,061	4,609
	4,803	934,061	4,610
46.00	3,868	930,059	4,705
	3,866	930,059	4,707
50.00	3,091	925,972	4,765
	3,090	925,972	4,766

Tablo F.12 %3.1 zenginlikte 1000 ppm boron içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241, Pu242 miktarları.

BURN-UP	Pu239 kütlesi	Pu240 kütlesi	Pu241 kütlesi	Pu242 kütlesi
0.00	0,000	0,000	0,000	0,000
0.15	0,089	0,000	0,000	0,000
	0,090	0,000	0,000	0,000
2.00	1,063	0,051	0,005	0,000
	1,088	0,048	0,005	0,000
4.00	1,946	0,159	0,031	0,001
	1,965	0,159	0,031	0,001
6.00	2,669	0,302	0,084	0,005
	2,686	0,295	0,082	0,004
8.00	3,269	0,465	0,159	0,012
	3,284	0,466	0,155	0,012
10.00	3,773	0,638	0,251	0,025
	3,787	0,640	0,246	0,024
14.00	4,524	0,984	0,476	0,068
	4,560	1,000	0,459	0,067
18.00	5,083	1,343	0,705	0,137
	5,107	1,362	0,690	0,136
22.00	5,476	1,692	0,929	0,232
	5,492	1,713	0,911	0,231
26.00	5,746	2,023	1,136	0,352
	5,759	2,043	1,118	0,351
30.00	5,934	2,329	1,322	0,493
	5,943	2,348	1,305	0,492
34.00	6,059	2,606	1,482	0,651
	6,065	2,623	1,467	0,650
38.00	6,140	2,854	1,620	0,823
	6,143	2,869	1,606	0,823
42.00	6,191	3,071	1,736	1,005
	6,193	3,086	1,724	1,005
46.00	6,220	3,260	1,832	1,194
	6,224	3,273	1,821	1,194
50.00	6,239	3,422	1,911	1,385
	6,241	3,433	1,902	1,385

Tablo F.13 %2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 12BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238 ve U236 miktarları ve boron oranı.

BURN-UP	U-235 KÜTLESİ	U-238 KÜTLESİ	U-236 KÜTLESİ	BORON ORANI
0.00	26,000	974,000	0,000	1,00000
0.15	25,817	973,871	0,034	0,97555
	25,817	973,871	0,034	0,97532
2.00	23,713	972,451	0,428	0,71941
	23,710	972,451	0,430	0,70427
4.00	21,669	970,902	0,812	0,48631
	21,667	970,902	0,813	0,47424
6.00	19,812	969,310	1,159	0,31135
	19,809	969,310	1,160	0,30375
8.00	18,109	967,761	1,475	0,18928
	18,106	967,718	1,476	0,18511
10.00	16,534	966,126	1,765	0,10964
	16,531	966,126	1,766	0,10765
14.00	13,750	962,898	2,269	0,03463
	13,742	962,855	2,272	0,03316
18.00	11,355	959,499	2,692	0,00943
	11,349	959,499	2,695	0,00927
22.00	9,309	955,971	3,042	0,00245
	9,304	955,971	2,925	0,00243
26.00	7,572	952,313	3,325	0,00061
	7,569	952,313	3,327	0,00061
30.00	6,110	948,527	3,548	0,00014
	6,107	948,527	3,549	0,00014
34.00	4,893	944,654	3,716	0,00003
	4,891	944,654	3,717	0,00003
38.00	3,887	940,653	3,838	0,00001
	3,885	940,653	3,839	0,00001
42.00	3,063	936,521	3,919	0,00000
	3,061	936,521	3,920	0,00000
46.00	2,399	932,305	3,965	0,00000
	2,398	932,305	3,966	0,00000
50.00	1,867	928,045	3,982	0,00000
	1,866	928,002	3,982	0,00000

Tablo F.14 %2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 12BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241 ve Pu242 miktarları.

BURN-UP	Pu239 kütlesi	Pu240 kütlesi	Pu241 kütlesi	Pu242 kütlesi
0.00	0,000	0,000	0,000	0,000
0.15	0,103	0,000	0,000	0,000
	0,104	0,000	0,000	0,000
2.00	1,200	0,065	0,007	0,000
	1,226	0,062	0,007	0,000
4.00	2,144	0,199	0,044	0,002
	2,162	0,198	0,042	0,002
6.00	2,880	0,368	0,111	0,007
	2,893	0,369	0,107	0,007
8.00	3,461	0,555	0,201	0,018
	3,472	0,559	0,196	0,018
10.00	3,925	0,752	0,305	0,035
	3,935	0,756	0,300	0,035
14.00	4,579	1,131	0,551	0,093
	4,607	1,152	0,530	0,092
18.00	5,028	1,515	0,783	0,181
	5,049	1,538	0,762	0,180
22.00	5,328	1,878	0,999	0,298
	5,345	1,899	0,979	0,297
26.00	5,530	2,209	1,013	0,440
	5,541	2,229	1,173	0,439
30.00	5,663	2,506	1,358	0,603
	5,673	2,525	1,342	0,602
34.00	5,751	2,768	1,498	0,781
	5,754	2,785	1,484	0,781
38.00	5,809	2,996	1,615	0,971
	5,815	3,011	1,603	0,971
42.00	5,848	3,191	1,712	1,167
	5,854	3,204	1,702	1,167
46.00	5,877	3,356	1,791	1,365
	5,883	3,367	1,782	1,365
50.00	5,900	3,495	1,856	1,562
	5,906	3,504	1,849	1,562

Tablo F.15 %2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 16BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238 ve U236 miktarları ve boron oranı.

BURN-UP	U-235 KÜTLESİ	U-238 KÜTLESİ	U-236 KÜTLESİ	BORON ORANI
0.00	26,000	974,000	0,000	1,00000
0.15	25,817	973,871	0,034	0,97580
	25,817	973,871	0,034	0,97557
2.00	23,720	972,408	0,430	0,72238
	23,717	972,408	0,432	0,70744
4.00	21,688	970,816	0,814	0,49152
	21,685	970,773	0,816	0,47956
6.00	19,845	969,181	1,161	0,31745
	19,841	969,181	1,163	0,30983
8.00	18,155	967,589	1,477	0,19501
	18,151	967,589	1,478	0,19071
10.00	16,592	965,953	1,766	0,11420
	16,589	965,953	1,767	0,11213
14.00	13,830	962,683	2,268	0,03695
	13,821	962,640	2,271	0,03534
18.00	11,450	959,284	2,690	0,01030
	11,444	959,241	2,694	0,01012
22.00	9,415	955,756	3,039	0,00273
	9,410	955,756	3,042	0,00272
26.00	7,682	952,055	3,323	0,00069
	7,679	952,055	3,059	0,00069
30.00	6,222	948,269	3,546	0,00017
	6,219	948,269	3,548	0,00017
34.00	5,003	944,396	3,716	0,00004
	5,001	944,396	3,717	0,00004
38.00	3,992	940,394	3,839	0,00001
	3,990	940,351	3,841	0,00001
42.00	3,162	936,264	3,922	0,00000
	3,159	936,221	3,924	0,00000
46.00	2,488	932,047	3,971	0,00000
	2,487	932,047	3,971	0,00000
50.00	1,948	927,744	3,989	0,00000
	1,946	927,744	3,990	0,00000

Tablo F.16 %2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 16BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241 ve Pu242 miktarları.

BURN-UP	Pu239 kütlesi	Pu240 kütlesi	Pu241 kütlesi	Pu242 kütlesi
0.00	0,000	0,000	0,000	0,000
0.15	0,107	0,000	0,000	0,000
	0,108	0,000	0,000	0,000
2.00	0,124	0,067	0,008	0,000
	0,127	0,064	0,007	0,000
4.00	2,207	0,203	0,046	0,002
	2,226	0,203	0,044	0,002
6.00	2,960	0,375	0,116	0,007
	2,972	0,377	0,112	0,007
8.00	3,550	0,564	0,208	0,018
	3,561	0,567	0,203	0,018
10.00	4,022	0,762	0,316	0,036
	4,030	0,766	0,310	0,036
14.00	4,679	1,143	0,566	0,095
	4,705	1,165	0,543	0,094
18.00	5,128	1,529	0,800	0,183
	5,148	1,552	0,778	0,182
22.00	5,428	1,892	1,018	0,301
	5,445	1,914	0,998	0,299
26.00	5,633	2,224	1,213	0,442
	5,647	2,245	1,195	0,442
30.00	5,769	2,522	1,382	0,605
	5,780	2,541	1,366	0,604
34.00	5,862	2,785	1,525	0,782
	5,870	2,801	1,511	0,782
38.00	5,925	3,013	1,645	0,970
	5,932	3,028	1,633	0,970
42.00	5,968	3,210	1,744	1,165
	5,976	3,223	1,734	1,165
46.00	6,002	3,376	1,826	1,362
	6,001	3,387	1,817	1,362
50.00	6,028	3,517	1,893	1,557
	6,035	3,526	1,886	1,557

Tablo F.17 %2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238 ve U236 miktarları ve boron oranı.

BURN-UP	U-235 KÜTLESİ	U-238 KÜTLESİ	U-236 KÜTLESİ	BORON ORANI
0.00	26,000	974,000	0,000	1,00000
0.15	25,818	973,871	0,035	0,97589
	25,818	973,871	0,035	0,97566
2.00	23,728	972,365	0,432	0,72374
	23,724	972,322	0,434	0,70895
4.00	21,707	970,730	0,817	0,49439
	21,704	970,687	0,819	0,48258
6.00	19,877	969,052	1,164	0,32124
	19,873	969,052	1,165	0,31367
8.00	18,201	967,417	1,479	0,19890
	18,197	967,417	1,480	0,19458
10.00	16,650	965,781	1,767	0,11757
	16,647	965,781	1,768	0,11546
14.00	13,910	962,468	2,267	0,03883
	13,900	962,468	2,271	0,03713
18.00	11,546	959,026	2,688	0,01106
	11,540	959,026	2,692	0,01086
22.00	9,522	955,497	3,037	0,00301
	9,517	955,497	3,039	0,00299
26.00	7,795	951,840	3,320	0,00078
	7,792	951,797	3,323	0,00078
30.00	6,335	948,011	3,545	0,00019
	6,333	948,011	3,546	0,00019
34.00	5,116	944,138	3,715	0,00005
	5,113	944,095	3,717	0,00005
38.00	4,099	940,093	3,841	0,00001
	4,098	940,093	3,841	0,00001
42.00	3,262	935,962	3,925	0,00000
	3,260	935,962	3,927	0,00000
46.00	2,581	931,746	3,976	0,00000
	2,580	931,746	3,976	0,00000
50.00	2,031	927,486	3,996	0,00000
	2,029	927,486	3,997	0,00000

Tablo F.18 %2.6 zenginlikte 0 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241 ve Pu242 miktarları.

BURN-UP	Pu239 kütlesi	Pu240 kütlesi	Pu241 kütlesi	Pu242 kütlesi
0.00	0,000	0,000	0,000	0,000
0.15	0,097	0,000	0,000	0,000
	0,112	0,000	0,000	0,000
2.00	1,277	0,069	0,008	0,000
	1,305	0,066	0,008	0,000
4.00	2,273	0,208	0,049	0,002
	2,291	0,207	0,047	0,002
6.00	3,042	0,382	0,121	0,008
	3,053	0,384	0,117	0,008
8.00	3,642	0,573	0,216	0,019
	3,652	0,576	0,211	0,019
10.00	4,119	0,772	0,326	0,037
	4,127	0,777	0,320	0,037
14.00	4,783	1,155	0,580	0,097
	4,805	1,177	0,557	0,095
18.00	5,231	1,543	0,817	0,186
	5,249	1,567	0,795	0,184
22.00	5,530	1,907	1,038	0,303
	5,548	1,929	1,018	0,302
26.00	5,738	2,239	1,235	0,445
	5,752	2,260	1,217	0,444
30.00	5,880	2,538	1,407	0,606
	5,891	2,556	1,391	0,606
34.00	5,977	2,801	1,553	0,783
	5,986	2,817	1,540	0,782
38.00	6,045	3,030	1,675	0,970
	6,052	3,045	1,663	0,970
42.00	6,093	3,229	1,777	1,163
	6,101	3,241	1,767	1,163
46.00	6,131	3,397	1,861	1,358
	6,138	3,408	1,853	1,358
50.00	6,160	3,540	1,931	1,552
	6,168	3,549	1,924	1,552

Tablo F.19 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 12BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238 ve U236 miktarları ve boron oranı.

BURN-UP	U-235 KÜTLESİ	U-238 KÜTLESİ	U-236 KÜTLESİ	BORON ORANI
0.00	26,000	975,000	0,000	1,00000
0.15	25,815	973,871	0,034	0,97527
	25,815	973,871	0,034	0,97504
2.00	23,698	972,408	0,429	0,71750
	23,695	972,365	0,431	0,70232
4.00	21,653	971,935	0,811	0,48452
	21,650	970,731	0,814	0,47261
6.00	19,802	969,139	1,157	0,31069
	19,800	969,096	1,158	0,30327
8.00	18,112	967,462	1,470	0,18979
	18,109	967,462	1,471	0,18571
10.00	16,553	965,784	1,756	0,11082
	16,550	965,784	1,757	0,10890
14.00	13,808	962,429	2,251	0,03591
	13,800	962,386	2,255	0,03444
18.00	11,456	958,945	2,665	0,01017
	11,451	958,902	2,669	0,01001
22.00	9,452	955,289	3,006	0,00277
	9,448	955,289	3,009	0,00276
26.00	7,751	951,547	3,282	0,00073
	7,747	951,547	3,284	0,00073
30.00	6,320	947,676	3,499	0,00019
	6,314	947,676	3,500	0,00019
34.00	5,120	943,718	3,663	0,00005
	5,117	943,718	3,664	0,00005
38.00	4,121	939,632	3,783	0,00001
	4,120	939,632	3,784	0,00001
42.00	3,299	935,503	3,863	0,00000
	3,297	935,460	3,865	0,00000
46.00	2,628	931,244	3,911	0,00000
	2,627	931,244	3,912	0,00000
50.00	2,084	926,943	3,930	0,00000
	2,082	926,900	3,931	0,00000

Tablo F.20 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 12BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241 ve Pu242 miktarları.

BURN-UP	Pu239 kütlesi	Pu240 kütlesi	Pu241 kütlesi	Pu242 kütlesi
0.00	0,000	0,000	0,000	0,000
0.15	0,107	0,000	0,000	0,000
	0,109	0,000	0,000	0,000
2.00	1,245	0,068	0,008	0,000
	1,274	0,064	0,008	0,000
4.00	2,226	0,205	0,047	0,002
	2,246	0,204	0,045	0,002
6.00	2,992	0,377	0,118	0,007
	3,008	0,379	0,115	0,007
8.00	3,600	0,567	0,213	0,019
	3,614	0,570	0,208	0,019
10.00	4,092	0,765	0,323	0,037
	4,103	0,769	0,318	0,037
14.00	4,786	1,145	0,581	0,096
	4,818	1,168	0,559	0,095
18.00	5,276	1,532	0,825	0,185
	5,301	1,555	0,804	0,184
22.00	5,612	1,895	1,053	0,302
	5,635	1,917	1,033	0,301
26.00	5,851	2,228	1,258	0,444
	5,851	2,248	1,240	0,443
30.00	6,019	2,527	1,437	0,605
	6,033	2,545	1,421	0,604
34.00	6,138	2,791	1,590	0,779
	6,149	2,808	1,576	0,779
38.00	6,224	3,023	1,720	0,965
	6,234	3,037	1,708	0,964
42.00	6,288	3,224	1,829	1,155
	6,298	3,236	1,819	1,155
46.00	6,339	3,395	1,920	1,348
	6,348	3,407	1,911	1,348
50.00	6,380	3,542	1,996	1,539
	6,390	3,551	1,989	1,539

Tablo F.21 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 16BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238 ve U236 miktarları ve boron oranı.

BURN-UP	U-235 KÜTLESİ	U-238 KÜTLESİ	U-236 KÜTLESİ	BORON ORANI
0.00	26,000	974,000	0,000	1,00000
0.15	25,815	973,871	0,035	0,97553
	25,816	973,871	0,035	0,97530
2.00	23,705	972,365	0,431	0,72041
	23,702	972,322	0,433	0,70544
4.00	21,671	970,688	0,815	0,48961
	21,668	970,645	0,816	0,47780
6.00	19,834	969,010	1,159	0,31662
	19,831	968,967	1,161	0,30918
8.00	18,157	967,333	1,472	0,19534
	18,153	967,290	1,473	0,19117
10.00	16,609	965,612	1,756	0,11529
	16,606	965,612	1,758	0,11328
14.00	13,884	962,214	2,251	0,03819
	13,875	962,214	2,254	0,03660
18.00	11,545	958,730	2,663	0,01105
	11,541	958,687	2,667	0,01086
22.00	9,551	955,074	3,004	0,00308
	9,547	955,031	3,007	0,00306
26.00	7,854	951,332	3,280	0,00083
	7,851	951,289	3,282	0,00083
30.00	6,420	947,461	3,498	0,00022
	6,419	947,418	3,499	0,00022
34.00	5,224	943,460	3,663	0,00005
	5,220	943,460	3,664	0,00005
38.00	4,221	939,374	3,784	0,00001
	4,220	939,374	3,785	0,00001
42.00	3,392	935,202	3,867	0,00000
	3,391	935,202	3,867	0,00000
46.00	2,714	930,986	3,916	0,00000
	2,713	930,986	3,916	0,00000
50.00	2,162	926,642	3,937	0,00000
	2,161	926,642	3,937	0,00000

Tablo F.22 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 16BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241 ve Pu242 miktarları.

BURN-UP	Pu239 kütlesi	Pu240 kütlesi	Pu241 kütlesi	Pu242 kütlesi
0.00	0,000	0,000	0,000	0,000
0.15	0,111	0,000	0,000	0,000
	0,112	0,000	0,000	0,000
2.00	1,283	0,070	0,009	0,000
	1,312	0,066	0,008	0,000
4.00	2,288	0,209	0,049	0,002
	2,308	0,209	0,047	0,002
6.00	3,070	0,384	0,123	0,008
	3,075	0,386	0,119	0,008
8.00	3,688	0,575	0,221	0,019
	3,701	0,579	0,215	0,019
10.00	4,185	0,775	0,333	0,038
	4,195	0,779	0,327	0,037
14.00	4,885	1,157	0,595	0,098
	4,915	1,180	0,573	0,097
18.00	5,374	1,544	0,841	0,187
	5,400	1,568	0,820	0,186
22.00	5,712	1,909	1,072	0,305
	5,734	1,931	1,052	0,303
26.00	5,952	2,243	1,279	0,446
	5,971	2,262	1,261	0,445
30.00	6,124	2,542	1,461	0,606
	6,139	2,560	1,445	0,605
34.00	6,248	2,807	1,616	0,781
	6,260	2,823	1,602	0,780
38.00	6,339	3,039	1,749	0,964
	6,350	3,054	1,736	0,964
42.00	6,407	3,241	1,860	1,154
	6,418	3,254	1,850	1,154
46.00	6,462	3,415	1,953	1,345
	6,472	3,426	1,945	1,345
50.00	6,507	3,564	2,032	1,535
	6,517	3,573	2,024	1,535

Tablo F.23 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen U235, U238 ve U236 miktarları ve boron oranı.

BURN-UP	U-235 KÜTLESİ	U-238 KÜTLESİ	U-236 KÜTLESİ	BORON ORANI
0.00	26,000	974,000	0,000	1,00000
0.15	25,816	973,871	0,035	0,97562
	25,816	973,871	0,035	0,97539
2.00	23,713	972,279	0,433	0,72176
	23,709	972,279	0,436	0,70693
4.00	21,690	970,559	0,818	0,49243
	21,687	970,559	0,819	0,48076
6.00	19,866	968,881	1,162	0,32032
	19,862	968,838	1,163	0,31292
8.00	18,201	967,161	1,473	0,19912
	18,197	967,161	1,475	0,19493
10.00	16,665	965,440	1,758	0,11856
	16,662	965,440	1,759	0,11651
14.00	13,960	962,042	2,250	0,04003
	13,952	961,999	2,254	0,03836
18.00	11,636	958,472	2,662	0,01182
	11,631	958,472	2,666	0,01161
22.00	9,651	954,859	3,002	0,00336
	9,646	954,816	3,005	0,00334
26.00	7,959	951,074	3,279	0,00093
	7,956	951,074	3,280	0,00092
30.00	6,527	947,203	3,497	0,00025
	6,525	947,159	3,498	0,00025
34.00	5,327	943,202	3,663	0,00006
	5,324	943,202	3,665	0,00006
38.00	4,321	939,116	3,787	0,00002
	4,319	939,116	3,787	0,00002
42.00	3,487	934,944	3,871	0,00000
	3,485	934,944	3,871	0,00000
46.00	2,802	930,728	3,921	0,00000
	2,801	930,685	3,922	0,00000
50.00	2,241	926,384	3,944	0,00000
	2,241	926,384	3,944	0,00000

Tablo F.24 %2.6 zenginlikte 1000 ppm boron ve 20BPR içeren C yakıt demetinde tükenmeyle değişen Pu239, Pu240, Pu241 ve Pu242 miktarları.

BURN-UP	Pu239 kütlesi	Pu240 kütlesi	Pu241 kütlesi	Pu242 kütlesi
0.00	0,000	0,000	0,000	0,000
0.15	0,115	0,000	0,000	0,000
	1,117	0,000	0,000	0,000
2.00	1,327	0,073	0,009	0,000
	1,358	0,069	0,009	0,000
4.00	2,360	0,216	0,053	0,002
	2,380	0,216	0,050	0,002
6.00	3,157	0,395	0,130	0,008
	3,172	0,399	0,126	0,008
8.00	3,783	0,590	0,231	0,020
	3,795	0,593	0,225	0,020
10.00	4,283	0,791	0,347	0,039
	4,293	0,796	0,340	0,039
14.00	4,984	1,178	0,614	0,101
	5,012	1,201	0,591	0,100
18.00	5,468	1,568	0,863	0,192
	5,493	1,591	0,841	0,191
22.00	5,805	1,932	1,095	0,311
	5,827	1,955	1,075	0,310
26.00	6,046	2,267	1,304	0,454
	6,064	2,287	1,286	0,453
30.00	6,219	2,566	1,487	0,615
	6,235	2,585	1,472	0,614
34.00	6,346	2,831	1,645	0,789
	6,360	2,847	1,631	0,788
38.00	6,442	3,064	1,779	0,973
	6,454	3,078	1,767	0,973
42.00	6,516	3,266	1,892	1,162
	6,527	3,279	1,882	1,162
46.00	6,575	3,441	1,987	1,352
	6,586	3,452	1,979	1,352
50.00	6,625	3,590	2,067	1,541
	6,635	3,600	2,060	1,541

EK G

Tablo G.1 Her bir yakıt demeti için CITATION kodunda kullanılmak üzere DRAGON2 kodundan elde edilen O burn-up'taki makroskopik tesir kesitleri(cm^{-1})

Bölge No	Grup No	Difüzyon Sabiti	Yutma	Üretim	Saçılma	
					grup içi	grup dışı
1	1	1,9390E+00	8,8333E-03	4,9549E-03	4,8854E-01	1,9288E-02
1	2	9,9390E-01	5,8222E-02	8,1345E-02	1,1704E+00	2,6862E-05
2	1	1,9370E+00	9,4112E-03	6,0756E-03	4,8779E-01	1,8855E-02
2	2	9,8200E-01	7,0503E-02	1,0882E-01	1,1480E+00	3,2284E-05
3	1	1,0930E+00	4,3293E-04	4,2381E-04	5,4152E-01	3,6743E-02
3	2	6,2440E-01	9,9924E-03	5,9489E-04	1,9476E+00	7,2724E-07
4	1	2,0030E+00	9,3266E-03	5,4863E-03	4,8369E-01	1,8254E-02
4	2	1,0180E+00	7,1883E-02	9,2874E-02	1,1116E+00	3,4575E-05
5	1	2,0260E+00	9,3922E-03	5,4737E-03	4,8220E-01	1,7984E-02
5	2	1,0280E+00	7,4154E-02	9,1987E-02	1,0966E+00	3,6216E-05
6	1	2,0500E+00	9,4391E-03	5,4249E-03	4,8074E-01	1,7726E-02
6	2	1,0390E+00	7,6054E-02	9,0227E-02	1,0823E+00	3,7727E-05
7	1	2,0020E+00	9,6074E-03	6,0373E-03	4,8332E-01	1,8045E-02
7	2	1,0120E+00	7,7574E-02	1,0568E-01	1,1018E+00	3,7175E-05
8	1	2,0250E+00	9,6720E-03	6,0243E-03	4,8183E-01	1,7775E-02
8	2	1,0230E+00	7,9788E-02	1,0470E-01	1,0869E+00	3,8825E-05

EK H DRAGON2 nötron transport kodu kullanılarak
hazırlanan Almaraz2 yakıt hücresi inputu

```

*-----
* TEST CASE TCWD01
* PWR PINCELL(CCC TYPE)
* WIMSD4 69 GROUPS LIBRARY FILE WNEALIB
* 1D ANNULAR CELL
*
*-----
* Define STRUCTURES and MODULES used
*-----
LINKED_LIST
  PINA DISCR1 DISCR2 LIBRARY CP CALC OUT ;
SEQ_BINARY
  TRKSPC ;
MODULE
  LIB: GEO: JPMT: SYBILT: SHI: ASM: FLU: EDI:
  FREE: DELETE: END: ;
*-----
* Microscopic cross sections from file WNEALIB format WIMSD4
*-----
LIBRARY := LIB: ::
  NGRO 69
  NMIX 4 CTRA WIMS
  MIXS LIB: WIMSD4 FIL: WNEALIB
  MIX 1 977.15
    O16 = '16' 4.6497E-2
    U235 = '235' 6.0445E-4 1 SHIB '235.4'
    U238 = '238' 2.2644E-2 1 SHIB '238.4'
  MIX 2 795.15
    HE4 = '4' 4.7453E-4
  MIX 3 613.15
    Zr91 = '91' 4.3059E-2
    O16 = '16' 2.9598E-4
    FE56 = '56' 1.4128E-4
    CR52 = '52' 7.5883E-5
    SI29 = '29' 1.4045E-5
    NI58 = '58' 2.3527E-6
    HF178 = '178' 1.1051E-6
    BNat = '11' 7.2924E-8
    CU63 = '63' 1.2427E-8
  MIX 4 583.05
    H1H2O = '2001' 4.7511E-2 O16 = '16' 2.3755E-2
  ;
*-----
* Geometry PINA : annular 4 region geometry
*-----
PINA := GEO: :: TUBE 4
  R+ REFL RADIUS 0.0 0.4096 0.4179 0.4750 0.6299 SPLITR 1 1 1 1
  MIX 1 2 3 4 ;
*-----
* Case 1 -- annular CELL
* Self-Shielding calculation JPM
* Transport calculation SYBIL
* Flux calculation for K no leakage
*-----

```

```

DISCR1 := JPMT: PINA ::
  TITLE 'TCWD14: PWR PINCELL (JPM / SYBIL)'
  MAXR 4 IP01 QUA1 5 ;
LIBRARY := SHI: LIBRARY DISCR1 :: ;
DISCR2 := SYBILT: PINA ::
  TITLE 'TCWD14: PWR PINCELL (JPM / SYBIL)'
  MAXR 4 QUA1 5 ;
CP := ASM: LIBRARY DISCR2 :: ;
CALC := FLU: CP LIBRARY DISCR2 ::
  TYPE K ;
OUT := EDI: CALC LIBRARY DISCR2 ::
  EDIT 4 MERG MIX 1 2 3 4 COND 4.0 SAVE ;
DISCR1 DISCR2 CP CALC LIBRARY := FREE: DISCR1 DISCR2 CP CALC LIBRARY ;
DISCR1 DISCR2 CP := DELETE: DISCR1 DISCR2 CP ;
END: ;

```



EK I DRAGON2 kodu kullanılarak elde edilen Almaraz2 yakıt hücresi outputu

```

**:      EXECUTION SUMMARY
**:
**:CMD   RDRAGON TCWD01
**:USR   emrah
**:MAC   emrah
**:PWD   /home/emrah/dragon_971124/wimsd4
**:EXEC  /home/emrah/dragon_971124/bin/dragon
**:DATE  Fri Jun 2 12:31:30 Local time zone must be set--see zic manual page 2000
**:
**:HELP  man RDRAGON
**:
DDDDDD  RRRRRR   AAA   GGGGG   OOOOO   NN   NN
DDDDDDD  RRRRRRR  AAAAA  GGGGGGG  OOOOOOO  NNN  NN
DD  DD  RR  RR  AA  AA  GG  OO  OO  NNNN  NN
DD  DD  RRRRRR  AA  AA  GG  GGG  OO  OO  NN  NN  NN
DD  DD  RRRR  AAAAAA  GG  GGG  OO  OO  NN  NN  NN
DD  DD  RR  RR  AAAAAA  GG  GG  OO  OO  NN  NNNN
DDDDDDD  RR  RR  AA  AA  GGGGGGG  OOOOOOO  NN  NNN
DDDDDD  RR  RR  AA  AA  GGGGG  OOOOO  NN  NN

VERSION-971124 (1997/11/24)
ALSO KNOWN AS DRAGON 3.02
GROUPE D'ANALYSE NUCLEAIRE
ECOLE POLYTECHNIQUE DE MONTREAL

```

COPYRIGHT NOTICE FOR THIS VERSION OF DRAGON:

PERMISSION IS GRANTED TO THE PUBLIC TO COPY
 DRAGON WITHOUT CHARGE PROVIDED THAT THIS
 NOTICE IS REPRODUCED ON ALL COPIES.
 ECOLE POLYTECHNIQUE DE MONTREAL MAKES NO
 WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, AND ASSUMES
 NO LIABILITY OR RESPONSIBILITY FOR THE USE
 OF DRAGON.

```

(* CLE-2000 COMPILER * R.ROY, EPM COPYRIGHT 1994 *)
*-----
*   TEST CASE TCWD01
*   PWR PINCELL(CCC TYPE)
*   WIMSD4 69 GROUPS LIBRARY FILE WNEALIB
*   1D ANNULAR CELL
*
*-----
*   Define STRUCTURES and MODULES used
*-----
LINKED_LIST                                0001
  PINA DISCR1 DISCR2 LIBRARY CP CALC OUT ; 0002
SEQ_BINARY                                0003
  TRKSPC ;                                0004
MODULE                                    0005
  LIB: GEO: JPMT: SYBILT: SHI: ASM: FLU: EDI: 0006
  FREE: DELETE: END: ;                    0007
*-----
*   Microscopic cross sections from file WNEALIB format WIMSD4
*-----
LIBRARY := LIB: ::                        0008
  NGRO 69                                0009
  NMIX 4 CTRA WIMS                        0010
  MIXS LIB: WIMSD4 FIL: WNEALIB          0011

```

```

MIX 1 977.15          O16      = '16'      4.6497E-2      0012
  U235      = '235'      6.0445E-4 1 SHIB '235.4'      0013
  U238      = '238'      2.2644E-2 1 SHIB '238.4'      0014
MIX 2 795.15          HE4 = '4' 4.7453E-4      0015
MIX 3 613.15          0016
  Zr91      = '91'      4.3059E-2      0017
  O16       = '16'      2.9598E-4      0018
  FE56      = '56'      1.4128E-4      0019
  CR52      = '52'      7.5883E-5      0020
  SI29      = '29'      1.4045E-5      0021
  NI58      = '58'      2.3527E-6      0022
  HF178     = '178'     1.1051E-6      0023
  BNat      = '11'      7.2924E-8      0024
  CU63      = '63'      1.2427E-8      0025
MIX 4 583.05          0026
  H1H2O     = '2001'    4.7511E-2      O16      = '16'      2.3755E-2      0027
;                                                    0028
*-----
* Geometry PINA : annular 4 region geometry
*-----
PINA := GEO: :: TUBE 4      0029
  R+ REFL RADIUS 0.0 0.4096 0.4179 0.4750 0.6299 SPLITR 1 1 1 1 0030
  MIX 1 2 3 4 ;      0031
*-----
* Case 1 -- annular CELL
* Self-Shielding calculation JPM
* Transport calculation SYBIL
* Flux calculation for K no leakage
*-----
DISCR1 := JPMT: PINA ::      0032
  TITLE 'TCWD14: PWR PINCELL (JPM / SYBIL)'      0033
  MAXR 4 IP01 QUAL 5 ;      0034
LIBRARY := SHI: LIBRARY DISCR1 :: ;      0035
DISCR2 := SYBIL: PINA ::      0036
  TITLE 'TCWD14: PWR PINCELL (JPM / SYBIL)'      0037
  MAXR 4 QUAL 5 ;      0038
CP := ASM: LIBRARY DISCR2 :: ;      0039
CALC := FLU: CP LIBRARY DISCR2 ::      0040
  TYPE K ;      0041
OUT := EDI: CALC LIBRARY DISCR2 ::      0042
  EDIT 4 MERG MIX 1 2 3 4 COND 4.0 SAVE ;      0043
DISCR1 DISCR2 CP CALC LIBRARY := FREE: DISCR1 DISCR2 CP CALC LIBRARY ;      0044
DISCR1 DISCR2 CP := DELETE: DISCR1 DISCR2 CP ;      0045
END: ;      0046

----- MODULE "LIB: " LEVEL 1 -> BEGINS AT TIME = 0.0 SECONDS. -----
---
```

STATE-VECTOR FOR MICROLIB

```

-----
MAXMIX      4 (MAXIMUM NUMBER OF MIXTURES)
NBISO       15 (NUMBER OF ISOTOPES OR MATERIALS)
NGROUP      69 (NUMBER OF ENERGY GROUPS)
NL           2 (NUMBER OF LEGENDRE ORDERS)
ITRANC       2 (TYPE OF TRANSPORT CORRECTION)
IPROB        0 (0=DIRECT/1=ADJOINT)
ITIME        1 (1=STEADY-STATE/2=PROMPT)
NLIB         1 (NUMBER OF SETS OF LIBRARIES)
NGF          14 (NUMBER OF FAST ENERGY GROUPS)
NGFR         27 (NUMBER OF FAST+RESONANCE ENERGY GROUPS)
NDEPL        0 (NUMBER OF DEPLETING ISOTOPES)
NCOMB        0 (NUMBER OF DEPLETING MIXTURES)
NEDMAC       4 (NUMBER OF EXTRA EDITS)
NBMIX        4 (NUMBER OF MIXTURES)
NRES         1 (NUMBER OF SETS OF RESONANT MIXTURES)

MATXS EDIT NAME (LCM DIRECTORY NAME)

1  NFTOT
2  NHEAT
3  NG
4  N2N

```

SPEC LOCAL NAME		ISOTOPE	FROM LIBRARY		MIX	NUMBER	DENSITY	WEIGHT%
TEMP(K)	SIGZERO	SELF-SHIEL	THERMAL	CORRECT				
1	O16	1 16	WIMSD4	WNEALIB	1	4.6497E-02		
9.772E+02	-1.00E+10	0	0					
2	U235	1 235	WIMSD4	WNEALIB	1	6.0445E-04		
9.772E+02	-1.00E+10	1 235.4	0					
3	U238	1 238	WIMSD4	WNEALIB	1	2.2644E-02		
9.772E+02	-1.00E+10	1 238.4	0					
4	HE4	2 4	WIMSD4	WNEALIB	2	4.7453E-04		
7.952E+02	-1.00E+10	0	0					
5	Zr91	3 91	WIMSD4	WNEALIB	3	4.3059E-02		
6.132E+02	-1.00E+10	0	0					
6	O16	3 16	WIMSD4	WNEALIB	3	2.9598E-04		
6.132E+02	-1.00E+10	0	0					
7	FE56	3 56	WIMSD4	WNEALIB	3	1.4128E-04		
6.132E+02	-1.00E+10	0	0					
8	CR52	3 52	WIMSD4	WNEALIB	3	7.5883E-05		
6.132E+02	-1.00E+10	0	0					
9	SI29	3 29	WIMSD4	WNEALIB	3	1.4045E-05		
6.132E+02	-1.00E+10	0	0					
10	NI58	3 58	WIMSD4	WNEALIB	3	2.3527E-06		
6.132E+02	-1.00E+10	0	0					
11	HF178	3 178	WIMSD4	WNEALIB	3	1.1051E-06		
6.132E+02	-1.00E+10	0	0					
12	BNat	3 11	WIMSD4	WNEALIB	3	7.2924E-08		
6.132E+02	-1.00E+10	0	0					
13	CU63	3 63	WIMSD4	WNEALIB	3	1.2427E-08		
6.132E+02	-1.00E+10	0	0					
14	H1H2O	4 2001	WIMSD4	WNEALIB	4	4.7511E-02		
5.830E+02	-1.00E+10	0	0					
15	O16	4 16	WIMSD4	WNEALIB	4	2.3755E-02		
5.830E+02	-1.00E+10	0	0					

----- MODULE "LIB: " LEVEL 1 -> EXECUTION TIME = 0.0 SECONDS. -----

----- MODULE "GEO: " LEVEL 1 -> BEGINS AT TIME = 0.0 SECONDS. -----

CREATION OF A LEVEL 1 GEOMETRY
 GEOMETRY NAME = /
 LINKED LIST NAME = PINA
 GEOMETRY TYPE = TUBE 1-D

----- MODULE "GEO: " LEVEL 1 -> EXECUTION TIME = 0.0 SECONDS. -----

----- MODULE "JPMT: " LEVEL 1 -> BEGINS AT TIME = 0.0 SECONDS. -----

1-D CYLINDRICAL GEOMETRY.

+ BASED ON GEOMETRY PINA

NUMBER OF MESH INTERVALS ALONG THE X AXIS =	4	AVAILABLE STORAGE MAXX =	4
ALONG THE Y AXIS =	1	AVAILABLE STORAGE MAXY =	4
ALONG THE Z AXIS =	1	AVAILABLE STORAGE MAXZ =	4
NUMBER OF DISTINCT MIXTURES =	4		

INFINITE DOMAIN.

DP-1 APPROXIMATION WITH ISOTROPIC BOUNDARY CONDITIONS.

QUADRATURE PARAMETER = 5

TOTAL NUMBER OF BLOCKS IN THE DOMAIN = 4
TOTAL NUMBER OF MERGED BLOCKS = 4
TOTAL NUMBER OF GENERATING BLOCKS = 4 AVAILABLE STORAGE MAXPTS = 4

TOTAL NUMBER OF DISTINCT OUT-CURRENTS = 13
TOTAL NUMBER OF OUT-CURRENTS LEAVING ALL THE MERGED BLOCKS = 13
TOTAL NUMBER OF IN-CURRENTS SURROUNDING ALL THE BLOCKS = 13 AVAILABLE STORAGE
MAXJ = 50

JPMT: JPM RECOVER OPTION OFF.

----- MODULE "JPMT: " LEVEL 1 -> EXECUTION TIME = 0.0 SECONDS. -----

----- MODULE "SHI: " LEVEL 1 -> BEGINS AT TIME = 0.0 SECONDS. -----

1 SSSSS HH HH IIIIII BBBBBA AAA 1

SSSSSS HH HH IIIIII BBBBBA AAAAA 11 *****
MULTIDIMENSIONAL SELF-SHIELDING CALCULATION. A. HEBERT
SS SS HH HH II BB BB AAAAAA 111
SSS HHHHHH II BBBBBA AA AA == 11
SSS HHHHHH II BBBBBA AAAAAA == 11
SS SS HH HH II BB BB AAAAAA 11
SSSSSS HH HH IIIIII BBBBBA AA AA 111111
SSSS HH HH IIIIII BBBBBA AA AA 111111

TCWD14: PWR PINCELL (JPM / SYBIL)

COLLISION PROBABILITY MODULE: JPM

STAMMLER APPROXIMATION.

OPTIONS

IGRMIN 15 (FIRST GROUP TO PROCESS)
IGRMAX 27 (MOST THERMAL GROUP TO PROCESS)
MAXXO 20 (MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS)
IBIEFF 0 (=1: USE LIVOLANT-JEANPIERRE NORMALIZATION)
IGC 1 (=1: USE GOLDSTEIN-COHEN APPROXIMATION)
ITRANZ 2 (TYPE OF TRANSPORT CORRECTION)
EPS 1.0E-04 (STOPPING CRITERION)

CONVERGENCE REACHED AT SHIBA ITERATION = 4 ERROR = 2.162E-06
TIME SPENT IN THE SELF-SHIELDING CALCULATION = 0.0 SECONDS.

----- MODULE "SHI: " LEVEL 1 -> EXECUTION TIME = 0.0 SECONDS. -----

----- MODULE "SYBILT: " LEVEL 1 -> BEGINS AT TIME = 0.0 SECONDS. -----

1-D CYLINDRICAL GEOMETRY.

+ BASED ON GEOMETRY PINA .

NUMBER OF MESH INTERVALS ALONG THE X AXIS = 4 AVAILABLE STORAGE MAXX = 4
ALONG THE Y AXIS = 1 AVAILABLE STORAGE MAXY = 4
ALONG THE Z AXIS = 1 AVAILABLE STORAGE MAXZ = 4
NUMBER OF DISTINCT MIXTURES = 4

INFINITE DOMAIN.

QUADRATURE PARAMETER JQUA1 = 5


```

----- MODULE "SYBILT:      " LEVEL 1 -> EXECUTION TIME =      0.0 SECONDS. -----
---

----- MODULE "ASM:         " LEVEL 1 -> BEGINS AT TIME =      0.0 SECONDS. -----
---

COMPUTATION OF DRAGON COMPLETE CP BY DOOR =      SYBIL

USE TRANSPORT CORRECTED CROSS-SECTIONS

----- MODULE "ASM:         " LEVEL 1 -> EXECUTION TIME =      0.0 SECONDS. -----
---

----- MODULE "FLU:         " LEVEL 1 -> BEGINS AT TIME =      0.0 SECONDS. -----
---

P. I. M.      SOLUTION TO TRANSPORT EQUATION

CALCULATION TYPE           =      K-INF
FLUX SOLUTION DOOR         =      TRAFIC
NUMBER OF GROUPS           =      69
NUMBER OF REGIONS          =      4
MAX. OUTER ITERATIONS      =      7
MAX. THERMAL ITERATIONS    =      138
ACCELERATION SCHEME        =( 3 FREE, 3 ACCELERATED)
REBALANCING OPTION         =      ON
EIGENVALUE TOLERANCE       =      1.000E-05
UNKNOWN OUTER TOLERANCE    =      5.000E-05
UNKNOWN INNER TOLERANCE    =      5.000E-05

OUTER ITERATION NUMBER     =      1
-----
CONVERGENCE REACHED AT INNER ITERATION =      4
MAXIMUM ERROR ON FLUX FOUND      = 8.36535E-06

TYPE K    -- OUTER ITERATION COMPLETED =      1
          CURRENT K-EFFECTIVE           = 1.156345
          CURRENT K-INFINITE            = 1.156344
          ERROR ON EIGENVALUE           = 3.589E-01
          MAXIMUM ERROR ON FLUXES       = NOT CHECKED

OUTER ITERATION NUMBER     =      2
-----
CONVERGENCE REACHED AT INNER ITERATION =      1
MAXIMUM ERROR ON FLUX FOUND      = 1.65259E-06

TYPE K    -- OUTER ITERATION COMPLETED =      2
          CURRENT K-EFFECTIVE           = 1.156345
          CURRENT K-INFINITE            = 1.156345
          ERROR ON EIGENVALUE           = 4.375E-07
          MAXIMUM ERROR ON FLUXES       = 1.902E-06

=====
CONVERGENCE REACHED AT OUTER ITERATION =      2
MAXIMUM FLUX ERROR           = 1.902E-06
MAXIMUM EIGENVALUE ERROR     = 4.375E-07
K-EFFECTIVE                  = 1.156345

----- MODULE "FLU:         " LEVEL 1 -> EXECUTION TIME =      0.0 SECONDS. -----
---

----- MODULE "EDI:         " LEVEL 1 -> BEGINS AT TIME =      0.0 SECONDS. -----
---

```

EDIT STATE-VECTOR

```

-----
NMERGE =      4 (NUMBER OF MERGED REGIONS)
NGCOND =      2 (NUMBER OF CONDENSED ENERGY GROUPS)
IFFAC =      0 (=1: 4 FACTORS CALCULATION REQUESTED)
ILUPS =      0 (=1: REMOVE UP-SCATTERING CONTRIBUTIONS)
NACTI =      0 (NUMBER OF MIXTURES WITH ACTIVATION EDITS)
NSTATS =      0 (TYPE OF STATISTIC CALCULATIONS)
NSPH =      0 (= 0: NO SPH ; = 1: READ SPH FACTORS; = 1: TYPE OF CALCULATION FOR SPH
FACTORS)
KSPH =      0 (=1: AVERAGE FLUX SPH NORMALIZATION; >1 : SELENGUT NORMALIZATION)
NBMICR =      0 (<-1: FULL LIBRARY -NBMICR-1 ISOTOPE; -1: FULL LIBRARY ALL ISOTOPE;
0: NO ISOTOPE;
1: MICROSCOPIC ALL ISOTOPE; > 1: MICROSCOPIC NBMICR-1 ISOTOPE)
IPRINT =      4 (PRINT LEVEL)
NSAVES =      2 (=0: NO COMPUTE/NO SAVE; =1: COMPUTE/NO SAVE; =2: COMPUTE/SAVE; =3:
PERTURBATION/SAVE)
NWGTH =      0 (=0: FLUX WEIGHTING FOR P1 INFO; =1: CURRENT WEIGHTING FOR P1 INFO)
MAXISM =     201 (MAXIMUM ISOTOPE PER MATERIAL)
MERGING INDEX (INITIAL -> FINAL):
1 -> 1 2 -> 2 3 -> 3 4 -> 4

```

REGION	VOLUME	REGION	VOLUME	REGION	VOLUME	REGION
VOLUME	REGION	VOLUME				
1	5.27072E-01	2	2.15773E-02	3	1.60173E-01	4
5.37680E-01						

ENERGY LIMITS (EV)

1.0000E+07 > 1 > 4.0000E+00 > 2 > 1.0000E-05

SPH CORRECTION FACTOR ALL EQUAL TO 1.0

FLUXES AND REACTION RATES

GROUP : 1

REGION	AVERAGE	INTEGRATED	COLLISION	TRANSPORT	ABSORPTION	NU*FISSION
PRODUCTION	SCATTERING RATE					
	FLUX	FLUX	RATE	CORRECTION	RATE	RATE
RATE	IN GROUP	FROM GROUP				
1	2.9384E+01	1.5487E+01	6.3688E+00	-1.1767E+00	3.9957E-01	2.5238E-01
9.9997E-01	5.9607E+00	8.4692E-03				
2	2.9235E+01	6.3081E-01	4.5934E-04	-6.6691E-11	0.0000E+00	0.0000E+00
0.0000E+00	4.5699E-04	2.3523E-06				
3	2.9172E+01	4.6725E+00	1.4486E+00	1.6330E-01	8.6297E-03	0.0000E+00
0.0000E+00	1.4392E+00	8.0112E-04				
4	2.9051E+01	1.5620E+01	9.8650E+00	5.2178E+00	2.3709E-03	0.0000E+00
0.0000E+00	9.4173E+00	4.4528E-01				

GROUP : 2

REGION	AVERAGE	INTEGRATED	COLLISION	TRANSPORT	ABSORPTION	NU*FISSION
PRODUCTION	SCATTERING RATE					
	FLUX	FLUX	RATE	CORRECTION	RATE	RATE
RATE	IN GROUP	FROM GROUP				
1	5.0671E+00	2.6707E+00	1.4317E+00	2.1966E-02	4.3297E-01	7.4762E-01
0.0000E+00	9.9853E-01	2.4197E-04				
2	5.2253E+00	1.1275E-01	3.5747E-05	-5.8115E-12	3.5707E-13	0.0000E+00
0.0000E+00	3.5746E-05	4.1382E-10				
3	5.2791E+00	8.4557E-01	2.5758E-01	1.8976E-03	3.0419E-03	0.0000E+00
0.0000E+00	2.5445E-01	8.6531E-05				
4	5.3975E+00	2.9021E+00	4.5584E+00	1.6125E+00	1.8187E-02	0.0000E+00
0.0000E+00	4.5402E+00	3.0431E-05				

FLUXES AND HOMOGENIZED X-S

GROUP : 1

REGION	AVERAGE	TOTAL	TRANSPORT	ABSORPTION	NUSIGF	FISSION
SCATTERING X-S						
	FLUX	X-S	CORRECTION	X-S	X-S	SPECTRUM
GROUP	FROM GROUP					IN
1	2.9384E+01	4.1122E-01	-7.5979E-02	2.5800E-02	1.6296E-02	9.9997E-01
3.8487E-01	5.4684E-04					

2 2.9235E+01 7.2817E-04 -1.0572E-10 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
 7.2444E-04 3.7290E-06
 3 2.9172E+01 3.1002E-01 3.4948E-02 1.8469E-03 0.0000E+00 0.0000E+00
 3.0800E-01 1.7145E-04
 4 2.9051E+01 6.3155E-01 3.3404E-01 1.5179E-04 0.0000E+00 0.0000E+00
 6.0289E-01 2.8507E-02

FLUX DISADVANTAGE FACTOR = 1.00594E+00

GROUP : 2
 REGION AVERAGE TOTAL TRANSPORT ABSORPTION NUSIGF FISSION
 SCATTERING X-S
 FLUX X-S CORRECTION X-S X-S SPECTRUM IN
 GROUP FROM GROUP
 1 5.0671E+00 5.3609E-01 8.2246E-03 1.6212E-01 2.7993E-01 0.0000E+00
 3.7388E-01 9.0600E-05
 2 5.2253E+00 3.1705E-04 -5.1544E-11 3.1670E-12 0.0000E+00 0.0000E+00
 3.1705E-04 3.6704E-09
 3 5.2791E+00 3.0462E-01 2.2442E-03 3.5974E-03 0.0000E+00 0.0000E+00
 3.0092E-01 1.0233E-04
 4 5.3975E+00 1.5707E+00 5.5562E-01 6.2669E-03 0.0000E+00 0.0000E+00
 1.5644E+00 1.0486E-05

FLUX DISADVANTAGE FACTOR = 9.67079E-01

TRANSPORT-CORRECTED SCATTERING MATRIX

ORDER OF LEGENDRE: 0

SCATTERING TRANSFER X-S (I TOWARD J) IN REGION 1:

J= 1 J= 2
 I= 1: 3.8487E-01 5.4684E-04
 I= 2: 9.0600E-05 3.7388E-01

TRANSPORT-CORRECTED SCATTERING MATRIX

ORDER OF LEGENDRE: 0

SCATTERING TRANSFER X-S (I TOWARD J) IN REGION 2:

J= 1 J= 2
 I= 1: 7.2444E-04 3.7290E-06
 I= 2: 3.6704E-09 3.1705E-04

TRANSPORT-CORRECTED SCATTERING MATRIX

ORDER OF LEGENDRE: 0

SCATTERING TRANSFER X-S (I TOWARD J) IN REGION 3:

J= 1 J= 2
 I= 1: 3.0800E-01 1.7145E-04
 I= 2: 1.0233E-04 3.0092E-01

TRANSPORT-CORRECTED SCATTERING MATRIX

ORDER OF LEGENDRE: 0

SCATTERING TRANSFER X-S (I TOWARD J) IN REGION 4:

J= 1 J= 2
 I= 1: 6.0289E-01 2.8507E-02
 I= 2: 1.0486E-05 1.5644E+00

TRANSPORT-CORRECTED SCATTERING MATRIX

ORDER OF LEGENDRE: 1

SCATTERING TRANSFER X-S (I TOWARD J) IN REGION 1:

J= 1 J= 2
 I= 1: 1.2883E-02 -2.4595E-04
 I= 2: 0.0000E+00 1.0311E-02

TRANSPORT-CORRECTED SCATTERING MATRIX

ORDER OF LEGENDRE: 1

SCATTERING TRANSFER X-S (I TOWARD J) IN REGION 2:

J= 1 J= 2
 I= 1: 0.0000E+00 0.0000E+00
 I= 2: 0.0000E+00 0.0000E+00

TRANSPORT-CORRECTED SCATTERING MATRIX

ORDER OF LEGENDRE: 1

SCATTERING TRANSFER X-S (I TOWARD J) IN REGION 3:

```

      J= 1      J= 2
I= 1: 8.2089E-05 -1.6711E-06
I= 2: 0.0000E+00 6.5237E-05

```

```

TRANSPORT-CORRECTED SCATTERING MATRIX
ORDER OF LEGENDRE: 1
SCATTERING TRANSFER X-S (I TOWARD J) IN REGION 4:

```

```

      J= 1      J= 2
I= 1: 3.6054E-01 1.1863E-02
I= 2: 0.0000E+00 5.3127E-01

```

```

MERGED/CONDENSED SET OF X-S SAVED IN LCM DIRECTORY = REF-CASE 1

```

```

----- MODULE "EDI:      " LEVEL 1 -> EXECUTION TIME =      0.0 SECONDS. -----
---
```

```

----- MODULE "FREE:     " LEVEL 1 -> BEGINS AT TIME =      0.0 SECONDS. -----
---
```

```

----- MODULE "FREE:     " LEVEL 1 -> EXECUTION TIME =      0.0 SECONDS. -----
---
```

```

DRVDE2: ENTRY 'DISCR1    ' FREED.

```

```

DRVDE2: ENTRY 'DISCR2    ' FREED.

```

```

DRVDE2: ENTRY 'LIBRARY   ' FREED.

```

```

DRVDE2: ENTRY 'CP        ' FREED.

```

```

DRVDE2: ENTRY 'CALC      ' FREED.

```

```

----- MODULE "DELETE:   " LEVEL 1 -> BEGINS AT TIME =      0.0 SECONDS. -----
---
```

```

----- MODULE "DELETE:   " LEVEL 1 -> EXECUTION TIME =      0.0 SECONDS. -----
---
```

```

DRVDE2: ENTRY 'DISCR1    ' DELETED.

```

```

DRVDE2: ENTRY 'DISCR2    ' DELETED.

```

```

DRVDE2: ENTRY 'CP        ' DELETED.

```

```

----- MODULE "END:      " LEVEL 1 -> BEGINS AT TIME =      0.0 SECONDS. -----
---
```

```

----- MODULE "END:      " LEVEL 1 -> EXECUTION TIME =      0.0 SECONDS. -----
---
```

```

----- END OF EXECUTION AT TIME      0.0 SECONDS. -----

```

```

NORMAL END OF EXECUTION
CHECK FOR WARNING IN LISTING
BEFORE ASSUMING YOUR RUN WAS SUCCESSFUL

```

EK J DRAGON2 kodu kullanılarak hazırlanan Almaraz2
yakıt demeti inputu

```

*----,
* TEST CASE TCWD02
* PWR ASSEMBLY CCCCC
* WIMSD4 69 GROUPS LIBRARY FILE WNEALIB
*
*----
* Define STRUCTURES and MODULES used
*----
LINKED LIST
  ASSMB DISCR1 DISCR2 LIBRARY CP CALC OUT ;
SEQ_BINARY
  TRKSPC ;
MODULE
  LIB: GEO: JPMT: SYBILT: SHI: ASM: FLU: EDI:
  FREE: DELETE: END: ;
*----
* Microscopic cross sections from file WNEALIB format WIMSD4
*----
LIBRARY := LIB: ::
  NGRO 69
  NMIX 9 CTRA WIMS
  MIXS LIB: WIMSD4 FIL: WNEALIB
  MIX 1 977.15
    O16 = '16' 4.6497E-2
    U235 = '235' 6.0445E-4 1 SHIB '235.4'
    U238 = '238' 2.2644E-2 1 SHIB '238.4'
  MIX 2 795.15 HE4 = '4' 4.7453E-4
  MIX 3 613.15
    Zr91 = '91' 4.3059E-2
    O16 = '16' 2.9598E-4
    FE56 = '56' 1.4128E-4
    CR52 = '52' 7.5883E-5
    SI29 = '29' 1.4045E-5
    NI58 = '58' 2.3527E-6
    HF178 = '178' 1.1051E-6
    BNat = '11' 7.2924E-8
    CU63 = '63' 1.2427E-8
  MIX 4 583.05
    H1H2O = '2001' 4.7511E-2 O16H2O = '16' 2.3755E-2
  MIX 5 583.05
    Zr91 = '91' 4.3059E-2
    O16 = '16' 2.9598E-4
    FE56 = '56' 1.4128E-4
    CR52 = '52' 7.5883E-5
    SI29 = '29' 1.4045E-5
    NI58 = '58' 2.3527E-6
    HF178 = '178' 1.1051E-6
    BNat = '11' 7.2924E-8
    CU63 = '63' 1.2427E-8
  MIX 6 583.05
    H1H2O = '2001' 4.6992E-2 O16H2O = '16' 2.3498E-2
    Zr91 = '91' 4.7054E-4
    FE56 = '56' 1.5439E-6
    CR52 = '52' 8.2923E-7
    SI29 = '29' 1.5348E-7
    NI58 = '58' 2.5710E-8

```

```

HF178   = '178'   1.2076E-8
CU63    = '63'    1.3580E-10
MIX 7 583.05
H1H2O   = '2001'  4.6476E-2   O16H2O   = '16'   2.3243E-2
Zr91    = '91'    9.3813E-4
FE56    = '56'    3.0781E-6
CR52    = '52'    1.6533E-6
SI29    = '29'    3.0600E-7
NI58    = '58'    5.1259E-8
HF178   = '178'   2.4077E-8
CU63    = '63'    2.7075E-10
;
*-----
*   Geometry ASSMB
*-----
ASSMB := GEO: :: CAR2D 9 9
X- DIAG X+ REFL
Y- SYME Y+ DIAG
CELL C1 C2 C2 C1 C2 C2 C1 C2 C4
      C2 C2 C2 C2 C2 C2 C4
        C2 C2 C2 C2 C2 C4
          C1 C2 C2 C1 C2 C4
            C2 C2 C2 C2 C4
              C1 C2 C2 C4
                C2 C2 C4
                  C2 C4
                    C5
MERGE 1 3 12 11 12 12 11 12 15
      4 6 5 6 6 5 6 8
        13 5 6 6 5 6 8
          2 5 5 10 5 8
            13 5 5 6 8
              2 5 7 8
                13 7 8
                  14 8
                    9
::: C1 := GEO: CARCEL 2
    MESHX 0.0 1.2598 MESHY 0.0 1.2598
    RADIUS 0.0 0.5714 0.612 MIX 4 5 4 ;
::: C2 := GEO: CARCEL 3
    MESHX 0.0 1.2598 MESHY 0.0 1.2598
    RADIUS 0.0 0.4096 0.4179 0.4750 MIX 1 2 3 4 ;
::: C4 := GEO: C2
    MIX 1 2 3 6 ;
::: C5 := GEO: C4
    MIX 1 2 3 7 ;
;
*-----
*   Case 1 -- assembly
*   Self-Shielding calculation JPM
*   Transport calculation SYBIL
*   Flux calculation for K no leakage
*-----
DISCR1 := JPMT: ASSMB ::
    TITLE 'TCWD35: PWR ASSEMBLY (JPM / SYBIL)'
    MAXR 400 OLD ;
LIBRARY := SHI: LIBRARY DISCR1 :: ;
DISCR2 := SYBILT: ASSMB ::
    TITLE 'TCWD35: PWR ASSEMBLY (JPM / SYBIL)'
    MAXR 400 ;
CP := ASM: LIBRARY DISCR2 :: ;
CALC := FLU: CP LIBRARY DISCR2 ::
    TYPE K ;
OUT := EDI: CALC LIBRARY DISCR2 ::
    EDIT 4 COND 4.0 SAVE ;
DISCR1 DISCR2 CP CALC LIBRARY := FREE: DISCR1 DISCR2 CP CALC LIBRARY ;
DISCR1 DISCR2 CP := DELETE: DISCR1 DISCR2 CP ;
END: ;

```

EK K CITATION kodu kullanılarak kalp için hazırlanan
input

EMRAH : PWR-2686 MWth REACTOR INPUT

X-Y GEOMETRY

001

```
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 4 0
0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0
```

003

```
0 2 6 1 0 0 1 0 0 0 0
```

0

```
32.0 0.03 0.25
```

004

```
1 10.75 1 10.75 1 10.75 1 10.75 1 10.75 1 10.75
1 10.75 1 10.75 1 10.75 1 10.75 1 10.75 1 10.75
1 10.75 1 10.75 1 10.75 1 8.75
1 8.75 1 10.75 1 10.75 1 10.75 1 10.75 1 10.75
1 10.75 1 10.75 1 10.75 1 10.75 1 10.75 1 10.75
1 10.75 1 10.75 1 10.75 1 10.75
```

005

```
3 3 3 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9
2 2 2 3 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9
2 2 2 3 3 3 3 9 9 9 9 9 9 9 9
1 8 8 2 2 2 2 3 9 9 9 9 9 9 9
1 8 8 2 2 2 2 3 3 9 9 9 9 9 9
4 1 1 5 5 7 7 2 2 3 9 9 9 9 9
4 1 1 5 5 7 7 2 2 3 3 9 9 9 9
1 5 5 1 1 5 5 1 1 2 2 3 9 9 9
1 5 5 1 1 5 5 1 1 2 2 3 3 9 9
6 1 1 5 5 1 1 5 5 7 7 2 2 3 9 9
6 1 1 5 5 1 1 5 5 7 7 2 2 3 9 9
1 5 5 1 1 5 5 1 1 5 5 2 2 3 9 9
1 5 5 1 1 5 5 1 1 5 5 2 2 3 3 9
6 1 1 5 5 1 1 5 5 1 1 8 8 2 2 3
6 1 1 5 5 1 1 5 5 1 1 8 8 2 2 3
1 6 6 1 1 6 6 1 1 4 4 1 1 2 2 3
```

008

```
2 2 2
1 1 0.19390E+01 0.88333E-02 0.49549E-02
0.48854E+00 0.19288E-01
1 2 0.99390E+00 0.58222E-01 0.81345E-01
0.26862E-04 0.11704E+01
2 1 0.19370E+01 0.94112E-02 0.60756E-02
0.48779E+00 0.18855E-01
2 2 0.98200E+00 0.70503E-01 0.10882E+00
0.32284E-04 0.11480E+01
3 1 0.10864E+01 0.34640E-03 0.00000E-00
0.54147E+00 0.36961E-01
3 2 0.62113E+00 0.22850E-01 0.00000E-00
0.16409E-05 0.19093E+01
4 1 0.20030E+01 0.93266E-02 0.54863E-02
0.48369E+00 0.18254E-01
4 2 0.10180E+01 0.71883E-01 0.92874E-01
0.34575E-04 0.11116E+01
```


5	1	0.20260E+01	0.93922E-02	0.54737E-02
0.48220E+00	0.17984E-01			
5	2	0.10280E+01	0.74154E-01	0.91987E-01
0.36216E-04	0.10966E+01			
6	1	0.20500E+01	0.94391E-02	0.54249E-02
0.48074E+00	0.17726E-01			
6	2	0.10390E+01	0.76054E-01	0.90227E-01
0.77270E-04	0.10823E+01			
7	1	0.20020E+01	0.96074E-02	0.60373E-02
0.48332E+00	0.18045E-01			
7	2	0.10120E+01	0.77574E-01	0.10568E+00
0.37175E-04	0.11018E+01			
8	1	0.20250E+01	0.96720E-02	0.60243E-02
0.48183E+00	0.17775E-01			
8	2	0.10230E+01	0.79788E-01	0.10470E+00
0.38825E-04	0.10869E+01			
9	1	0.15864E+05	0.34640E-01	0.00000E-00
0.54147E+00	0.36961E-01			
9	2	0.67113E+03	0.22850E+01	0.00000E-00
0.16409E-05	0.19093E+01			
0				
	1.	0.	0.	
024				
	2.961E-04			
999				



EK L CITATION kodu kullanılarak kalp için elde edilen output

```

1          *****citation - revision 2 (july 1971) - supplement 3
(july 1972)*****
0          *****this job was run on  on the ibm
360/75*****

EMRAH : PWR-2686 MWth REACTOR INPUT
X-Y GEOMETRY
0
0general control input - section 001
0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 4
0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0
200 100 10 2 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 60 30 60
30 60 120
1.500000E+00 5.000000E-01 1.000000E+10 1.000000E+24 0.000000E+00 1.000000E+00
0
0neutron flux problem description - section 003
0 0 2 0 0 6 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0
1.000000E-04 1.000000E-05 1.000000E-04 1.000000E-04 1.000000E-04 0.000000E+00
0.000000E+00 0.000000E+00 3.200000E+01 3.000000E-02 2.500000E-01 0.000000E+00
0
0left,top,right,bottom,front,back boundary conditions are
0.000000E+00 4.692000E-01 4.692000E-01 0.000000E+00 4.692000E-01 4.692000E-01
0 two dimensional slab geometry (x,y) width 1.699000E+02 height 1.699000E+02

0 region specifications
pts region width
1 1.075000E+01 1 1.075000E+01 1 1.075000E+01 1 1.075000E+01
1 1.075000E+01 1 1.070000E+01
1 1.075000E+01 1 1.075000E+01 1 1.075000E+01 1 1.075000E+01
1 1.075000E+01 1 1.070000E+01
1 1.075000E+01 1 1.075000E+01 1 1.075000E+01 1 8.750000E+00
0 pts region height
1 8.750000E+00 1 1.075000E+01 1 1.075000E+01 1 1.075000E+01
1 1.075000E+01 1 1.070000E+01
1 1.075000E+01 1 1.075000E+01 1 1.075000E+01 1 1.075000E+01
1 1.075000E+01 1 1.070000E+01
1 1.075000E+01 1 1.075000E+01 1 1.075000E+01 1 1.075000E+01
0 x-dir. points 16 y-dir. points 16
0 distances to mesh interval interfaces
0 j dist.
2 10.750 3 21.500 4 32.250 5 43.000 6 53.750 7 64.450 8
75.200 9 85.950 10 96.700
11 107.450 12 118.200 13 128.900 14 139.650 15 150.400 16 161.150 17
169.900
0 i dist.
2 8.750 3 19.500 4 30.250 5 41.000 6 51.750 7 62.450 8
73.200 9 83.950 10 94.700
11 105.450 12 116.200 13 126.900 14 137.650 15 148.400 16 159.150 17
169.900
0 distances to flux points
0 j dist.
1 5.375 2 16.125 3 26.875 4 37.625 5 48.375 6 59.100 7
69.825 8 80.575 9 91.325

```

```

10 102.075 11 112.825 12 123.550 13 134.275 14 145.025 15 155.775 16
165.525
0 1 dist.
1 4.375 2 14.125 3 24.875 4 35.625 5 46.375 6 57.100 7
67.825 8 78.575 9 89.325
10 100.075 11 110.825 12 121.550 13 132.275 14 143.025 15 153.775 16
164.525
0
Ozone input by region
3 3 3 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9
2 2 2 3 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9
2 2 2 3 3 3 3 9 9 9 9 9 9 9 9 9
1 8 8 2 2 2 2 3 9 9 9 9 9 9 9 9
1 8 8 2 2 2 2 3 3 9 9 9 9 9 9 9
4 1 1 5 5 5 7 2 2 3 9 9 9 9 9 9
4 1 1 5 5 7 7 2 2 3 3 9 9 9 9 9
1 5 5 1 1 5 5 1 1 2 2 3 9 9 9 9
1 5 5 1 1 5 5 1 1 2 2 3 3 9 9 9
6 1 1 5 5 1 1 5 5 7 7 2 2 3 9 9
6 1 1 5 5 1 1 5 5 7 7 2 2 3 9 9
1 5 5 1 1 5 5 1 1 5 5 2 2 3 9 9
1 5 5 1 1 5 5 1 1 5 5 2 2 3 3 9
6 1 1 5 5 1 1 5 5 1 1 8 8 2 2 3
6 1 1 5 5 1 1 5 5 1 1 8 8 2 2 3
1 6 6 1 1 6 6 1 1 4 4 1 1 2 2 3
Ozone number at each mesh interval
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
1 3 3 3 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9
2 2 2 2 3 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9
3 2 2 2 3 3 3 3 9 9 9 9 9 9 9 9
4 1 8 8 2 2 2 2 3 9 9 9 9 9 9 9
5 1 8 8 2 2 2 2 3 3 9 9 9 9 9 9
6 4 1 1 5 5 7 7 2 2 3 9 9 9 9 9
7 4 1 1 5 5 7 7 2 2 3 3 9 9 9 9
8 1 5 5 1 1 5 5 1 1 2 2 3 9 9 9
9 1 5 5 1 1 5 5 1 1 2 2 3 3 9 9
10 6 1 1 5 5 1 1 5 5 7 7 2 2 3 9 9
11 6 1 1 5 5 1 1 5 5 7 7 2 2 3 9 9
12 1 5 5 1 1 5 5 1 1 5 5 2 2 3 9 9
13 1 5 5 1 1 5 5 1 1 5 5 2 2 3 3 9
14 6 1 1 5 5 1 1 5 5 1 1 8 8 2 2 3
15 6 1 1 5 5 1 1 5 5 1 1 8 8 2 2 3
16 1 6 6 1 1 6 6 1 1 4 4 1 1 2 2 3
0
Ofission source distribution and sum 1.00000 .00000 1.00000
Ocore storage difference (words) equation constants i/o instead of stored 544
0
Oequation constants will be stored in core
Onumber of---columns, rows, planes, groups, upscat, downscat, regions, and zones
16 16 1 2 2 2 256 9
Omemory locations reserved for data storage--- 50000
memory locations used for this problem----- 7305
memory locations not used----- 42695
0
O*****warning***** there is scattering from some group to itself - has
been se t to zero
0
O*****warning***** input specified upscatter = 2 has been changed to
actual upscatter = 1
0
O*****warning***** input specified downscatter = 2 has been changed to
actual downscatter = 1
0
O zone macroscopic cross sections
0 zone name grp d sigr siga nusigf bsq
power/flux
1 1 1.93900E+00 5.07828E-01 8.83330E-03 4.95490E-03
2.96100E-04 4.95490E+03
2 9.93900E-01 1.17043E+00 5.82220E-02 8.13450E-02
2.96100E-04 8.13450E+04
2 1 1.93700E+00 5.06645E-01 9.41120E-03 6.07560E-03
2.96100E-04 6.07560E+03
2 9.82000E-01 1.14803E+00 7.05030E-02 1.08820E-01
2.96100E-04 1.08820E+05

```

```

3 000000000000 1 1.08640E+00 5.78431E-01 3.46400E-04 0.00000E+00
2.96100E-04 0.00000E+00
2 6.21130E-01 1.90930E+00 2.28500E-02 0.00000E+00
2.96100E-04 0.00000E+00

4 000000000000 1 2.00300E+00 5.01944E-01 9.32660E-03 5.48630E-03
2.96100E-04 5.48630E+03
2 1.01800E+00 1.11163E+00 7.18830E-02 9.28740E-02
2.96100E-04 9.28740E+04

5 000000000000 1 2.02600E+00 5.00184E-01 9.39220E-03 5.47370E-03
2.96100E-04 5.47370E+03
2 1.02800E+00 1.09664E+00 7.41540E-02 9.19870E-02
2.96100E-04 9.19870E+04

6 000000000000 1 2.05000E+00 4.98466E-01 9.43910E-03 5.42490E-03
2.96100E-04 5.42490E+03
2 1.03900E+00 1.08238E+00 7.60540E-02 9.02270E-02
2.96100E-04 9.02270E+04

7 000000000000 1 2.00200E+00 5.01365E-01 9.60740E-03 6.03730E-03
2.96100E-04 6.03730E+03
2 1.01200E+00 1.10184E+00 7.75740E-02 1.05680E-01
2.96100E-04 1.05680E+05

8 000000000000 1 2.02500E+00 4.99605E-01 9.67200E-03 6.02430E-03
2.96100E-04 6.02430E+03
2 1.02300E+00 1.08694E+00 7.97880E-02 1.04700E-01
2.96100E-04 1.04700E+05

9 000000000000 1 1.58640E+04 5.78431E-01 3.46400E-02 0.00000E+00
2.96100E-04 0.00000E+00
2 6.71130E+02 1.90930E+00 2.28500E+00 0.00000E+00
2.96100E-04 0.00000E+00
1EMRAH : PWR-2686 MWth REACTOR INPUT
X-Y GEOMETRY
line relaxation will be done on rows - 1 inner iteration(s)
iteration flux change beta mu-1 mu-2 mu-3 k
61 -9.07779E-05 1.36456 .81697 .93220 .68105 1.036573
Oend of eigenvalue calculation - iteration time .000 minutes
Oconvergence indication by minimizing the sum of the squares of the residues -
relative absorption 1.0000032 k 1.0365770
0 leakage 1.07916E+00 total losses 2.57258E+02 total productions 2.66667E+02
reactor power(watts) 1.06667E+09
0
Oaverage fluxes by zone and group
Ozone 1--000000000000
5.32430E-01 1.65601E-01
Ozone 2--000000000000
3.50769E-01 9.37956E-02
Ozone 3--000000000000
6.22951E-02 6.97004E-02
Ozone 4--000000000000
5.52856E-01 1.45336E-01
Ozone 5--000000000000
5.23007E-01 1.32471E-01
Ozone 6--000000000000
5.37558E-01 1.33407E-01
Ozone 7--000000000000
4.38755E-01 1.02685E-01
Ozone 8--000000000000
4.81298E-01 1.11712E-01
Ozone 9--000000000000
6.06257E-05 7.59705E-05
0
Ozone average power densities(watts/cc)
1.61090E+04 1.23380E+04 0.00000E+00 1.65310E+04 1.50484E+04 1.49531E+04
1.35006E+04 1.45957E+04 0.00000E+00
1EMRAH : PWR-2686 MWth REACTOR INPUT
X-Y GEOMETRY
0
0 point power distribution (watts/cc)
0 1 2 3 4 5 6 7
8 9 10 11
1 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00

```

2	1.140E+04	1.026E+04	7.996E+03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3	1.558E+04	1.416E+04	1.237E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4	1.464E+04	1.428E+04	1.312E+04	1.444E+04	1.261E+04	1.052E+04	7.853E+03
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
5	1.572E+04	1.591E+04	1.514E+04	1.676E+04	1.561E+04	1.385E+04	1.161E+04
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6	1.633E+04	1.620E+04	1.559E+04	1.400E+04	1.293E+04	1.361E+04	1.226E+04
1.193E+04	8.606E+03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7	1.676E+04	1.665E+04	1.611E+04	1.465E+04	1.368E+04	1.448E+04	1.368E+04
1.443E+04	1.231E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
8	1.706E+04	1.591E+04	1.556E+04	1.596E+04	1.533E+04	1.362E+04	1.293E+04
1.318E+04	1.201E+04	1.231E+04	8.599E+03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
9	1.686E+04	1.595E+04	1.579E+04	1.635E+04	1.590E+04	1.451E+04	1.388E+04
1.395E+04	1.318E+04	1.442E+04	1.192E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
10	1.509E+04	1.682E+04	1.686E+04	1.579E+04	1.546E+04	1.589E+04	1.536E+04
1.388E+04	1.292E+04	1.367E+04	1.224E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
11	1.510E+04	1.688E+04	1.700E+04	1.603E+04	1.581E+04	1.634E+04	1.589E+04
1.450E+04	1.361E+04	1.447E+04	1.359E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
12	1.681E+04	1.610E+04	1.620E+04	1.710E+04	1.696E+04	1.581E+04	1.546E+04
1.589E+04	1.532E+04	1.367E+04	1.291E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
13	1.676E+04	1.605E+04	1.620E+04	1.716E+04	1.710E+04	1.603E+04	1.578E+04
1.634E+04	1.594E+04	1.463E+04	1.397E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
14	1.491E+04	1.671E+04	1.697E+04	1.620E+04	1.620E+04	1.700E+04	1.685E+04
1.578E+04	1.554E+04	1.609E+04	1.556E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
15	1.472E+04	1.644E+04	1.671E+04	1.605E+04	1.610E+04	1.687E+04	1.681E+04
1.594E+04	1.589E+04	1.663E+04	1.617E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
16	1.616E+04	1.472E+04	1.491E+04	1.676E+04	1.682E+04	1.510E+04	1.509E+04
1.685E+04	1.704E+04	1.674E+04	1.630E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

0	12	13	14	15	16
1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
3	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
5	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
6	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
7	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
8	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
9	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
10	1.159E+04	7.841E+03	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
11	1.382E+04	1.051E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
12	1.557E+04	1.258E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
13	1.672E+04	1.441E+04	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
14	1.511E+04	1.309E+04	1.234E+04	7.979E+03	0.000E+00
15	1.587E+04	1.426E+04	1.413E+04	1.024E+04	0.000E+00
16	1.568E+04	1.461E+04	1.555E+04	1.138E+04	0.000E+00

End of case - total cpu time was .00 minutes total clock time was .00 minutes

0 *****this job was run on 00000000 on the ibm
360/75*****

ÖZGEÇMİŞ

25.02.1976 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Lüleburgaz'da tamamladı. 1997 yılında Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi (İng) Fizik Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü'nde yüksek lisans programına girdi. Halen Trakya Üniversitesi Eğitim Fakültesinde Araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

