VVER 1200 REAKTÖRÜNÜN İLK YAKIT ÇEVRİMİNDEKİ NÜKLEER MADDE ENVANTERİ İÇİN VERİ SETİ OLUŞTURULMASI

DATA GENERATION FOR NUCLEAR MATERIAL INVENTORY FOR THE FIRST CYCLE OF VVER 1200 REACTOR

ESİN ŞEKER ÜNKARACALAR

DOÇ. DR. BANU BULUT ACAR

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Nükleer Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2025

Gözbebeklerim,

Canlarım,

Sevgili Oğullarım,

İSMAİL ARAS ve ÖMER TUNA'ya…

Başarmak istediğiniz ve gerçekleşmesini beklediğiniz herşey için azminizin, kararlılığınızın, yapacağınız çalışmalarınızın ve vereceğiniz mücadelelerinizin önünde hiçbir şeyin size engel olmasına izin vermediğiniz;

Hayallerinizi ve ideallerinizi daha da ötesi Kendinizi gerçekleştirebildiğiniz;

Nice nice güzellikleri barındırmasını temenni ettiğim yaşamınızda;

Her anınızın anlamına vararak ve tadını çıkararak;

Tüm güzelliklerin, iyiliklerin ve iyi kilerinizin her daim sizinle olması dualarımla…

İyi ki varsınız ve iyi ki benim evlatlarımsınız.

"Sizi Seviyorum" demekten kendini alamayan, ancak ve fakat

Sevgisini anlatmaya kelimelerin kifayetsiz kaldığı

ANNENİZ…

ÖZET

VVER 1200 REAKTÖRÜNÜN İLK YAKIT ÇEVRİMİNDEKİ NÜKLEER MADDE ENVANTERİ İÇİN VERİ SETİ OLUŞTURULMASI

Esin ŞEKER ÜNKARACALAR

Yüksek Lisans, Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Banu BULUT ACAR

Mayıs 2025, 101 sayfa

Nükleer güç reaktörlerinden çıkan kullanılmış nükleer yakıtın güvenli, emniyetli ve sürdürülebilir yönetimi, ulusal ve uluslararası stratejiler, prosedürler ve politikalarla desteklenmesi gereken, uzun vadeli taahhüt gerektiren bir süreçtir ve nükleer enerjinin sürdürülebilirliği için önemlidir. Kullanılmış nükleer yakıt yönetiminde depolama, yeniden işleme, bölme ve dönüştürme ya da bertaraf gibi stratejiler uygulanabilir. Söz konusu stratejilerin seçiminde ve uygulanması sırasında kullanılmış nükleer yakıt içerisindeki nükleer madde envanterinin bilinmesi gerekir.

Bu çalışmada, ülkemizde Mersin Akkuyu'da inşaası devam etmekte olan VVER-1200 (Vodo-Vodyanoy Energetichesky Reaktor) reaktörlerinde ilk kor yüklemesinde yer alacak yakıt demetlerinin reaktörden çıkarıldığındaki nükleer madde envanterinin belirlenmesi ve kullanılmış yakıt yönetiminde kullanılabilir bir veri seti oluşturulması amaçlanmıştır.

Bu amaçla, VVER-1200 reaktörü ilk kor yüklemesinde yer alabilecek yakıt demetleri için Serpent Monte Carlo kodu ile yanma analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, kullanılmış nükleer yakıt demetlerinin radyoizotop içeriği, aktivitesi ve ısıl gücü gibi kullanılmış nükleer yakıt yönetiminde önemli özelliklerine ilişkin veri setleri oluşturulmuştur.

Ayrıca, yakıt demetinin yanma oranı, yakıt demetlerindeki yakıtın zenginliği, soğutucu ve yavaşlatıcı olarak kullanılan hafif su içerisindeki borik asit konsantrasyonu, yakıt demetlerinde yer alan yanabilir nötron soğurucu yakıt çubuklarının (Integrated Burnable Absorber – IBA) sayısı, IBA yakıt çubuklarındaki yakıt zenginliği ile nötron soğurucu olarak kullanılan Gd miktarı gibi değişkenlerin kullanılmış yakıt nükleer madde envanterine etkisi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: VVER-1200, AES-2006, Kullanılmış Nükleer Yakıt, Kullanılmış Nükleer Yakıt Yönetimi, Nükleer Madde Envanteri, Serpent, İlk Yakıt Çevrimi, Aktivite, Bozunum Isısı

ABSTRACT

DATA GENERATION FOR NUCLEAR MATERIAL INVENTORY FOR THE FIRST CYCLE OF VVER 1200 REACTOR

Esin ŞEKER ÜNKARACALAR

Master, Department of Nuclear Energy Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Banu BULUT ACAR

May 2025, 101 pages

Safe, secure and sustainable management of spent nuclear fuel from nuclear power reactors is a process that requires long-term commitment and should be supported by national and international strategies, procedures and policies, and is important for the sustainability of nuclear energy. Strategies such as storage, reprocessing, partitioning and transmutation or disposal can be applied in spent nuclear fuel management. During the selection and implementation of these strategies, the inventory of nuclear material in spent nuclear fuel must be known.

This study aims to determine the nuclear material inventory of the fuel assemblies that will be included in the first core of the VVER-1200 (Vodo-Vodyanoy Energetic Reaktor) reactors under construction in Mersin Akkuyu in our country, when they are removed from the reactor and to generate a usable data set in spent fuel management.

For this purpose, burnup analyses were performed with the Serpent Monte Carlo code for the fuel assemblies that may be loaded to the first core of the VVER-1200 reactor. As a

result of the analyses, data sets related to the important properties of spent nuclear fuel assemblies such as radioisotope content, activity and thermal power were generated.

Additionally, the study investigated the impact of several parameters on the nuclear material inventory in spent nuclear fuel, including the burnup level of fuel assemblies, the initial enrichment of uranium, the boric acid concentration in the light water coolant and moderator, the number of integrated burnable absorber (IBA) rods, the enrichment of the IBA rods and the amount of gadolinium (Gd) used as a neutron absorber.

Key Words: VVER-1200, AES-2006, Spent Nuclear Fuel, Spent Nuclear Fuel Management, Nuclear Material Inventory, Serpent, First Fuel Cycle, Radioactivity, Decay Heat

TEŞEKKÜR

Evlatları olmaktan her zaman gurur duyduğum, ne olursa olsun her zaman yanımda olan, varlık sebeplerim, Canım Annem **Zehra Engin ŞEKER'e** ve 2010 yılında aramızdan ayrılsa da hasreti hiç bitmeyen, son nefesime kadar benimle ve her an dualarımda olan Canım Babam Merhum **Mehmet Zeki ŞEKER**'e;

Resmimi cüzdanından, adımı dilinden, beni yüreğinden hiç çıkarmayan, İlkokul Öğretmenim Merhume **Sabiha AKDAĞ**'a; bende emeği ve hakkı olan **Tüm Öğretmenlerime**;

Kendimi gerçekleştirmek istediğim, tam olarak anlamasalar da, bu süreçte anlayış gösteren, "Senin dersin yok mu, çalışsana" diyerek beni destekleyen hatta sıkıştıran, diplomamı büyük bir heyecan ve merakla bekleyen, zamanlarından ve anneliğimden çaldığım

Gözbebeklerim, Canlarım, Sevgili Oğullarım,

İsmail Aras ÜNKARACALAR'a ve **Ömer Tuna ÜNKARACALAR**'a;

Çocuklarımızla beraber benim de okumama şahit olmaya devam edeceğinden henüz haberi olan, beni içten içe takdir eden ve destekleyen Sevgili Eşim **Önder ÜNKARACALAR**'a;

En Değerlilerimden Can Kardeşlerim **Gökçen ŞEKER ÖZEN'e** ve **İsmail ŞEKER**'e;

İsimlerini tek tek yazmak istesem de buraya sığdıramayacağım **Tüm Dostlarıma;**

Anlayış ve desteklerini esirgemeyen **Değerli Yöneticilerime** ve **Tüm Arkadaşlarıma;**

Yıllar sonra yüksek lisans yapmak istediğimi ilk paylaştığımda "Olur bu iş, çok da güzel olur" diyerek beni cesaretlendiren ve hep yanımda olan **Prof. Dr. Şule ERGÜN**'e; yıllar sonra "Ben geldim" dediğimde beni programa kabul eden Değerli Hocalarım **Prof.Dr. Cemil KOCAR** ve **Prof.Dr. Mehmet TOMBAKOĞLU**'na; "Sınavını geçtin, al yüksek lisansını, sakın bırakma" diyen Değerli Hocam **Dr.Erol ÇUBUKÇU**'ya; kendilerinden ders almasam da bölümdeki **Tüm Hocalarıma**; Asistan Arkadaşlarıma ve İdari Personele; derslere beraber girdiğim arkadaşlarıma;

Kıymetli zamanlarını ayırarak, emekleri ve değerli katkılarıyla savunmamda da yer alan Değerli Hocalarım **Prof.Dr. Okan ZABUNOĞLU**, **Doç.Dr. Senem ŞENTÜRK LÜLE** ve **Dr. Gürdal GÖKERİ**'ye;

Tabii ki ve en başta, bana inanmaktan ve güvenmekten asla ama asla vazgeçmeyen, çalışmalarım boyunca gösterdiği sabır ve rehberlik, verdiği emekler ve eşsiz katkıları için Değerli Danışmanım ve Hocam **Doç.Dr. Banu BULUT ACAR**'a;

Son olarak ve de tekrardan, beni cesaretlendiren, motive eden ve destekleyen Aileme, Sevdiklerime, Dostlarıma ve Arkadaşlarıma;

Esasen ve Kısaca,

Beni ben yapan tüm **DEĞERLERİME** ve **DEĞERLİLERİME**…

Bu sürecin bir parçası olan **HERKESE** ve **HERŞEYE**…

SONSUZ ŞÜKRAN ve EN İÇTEN TEŞEKKÜRLERİMLE…

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
ÇİZELGELER DİZİNİ x
SİMGELER VE KISALTMALAR xii
1. GİRİŞ 1
2. GENEL BİLGİLER 3
2.1. Nükleer Yakıt Çevrimi 3
2.2. Kullanılmış Nükleer Yakıt Yönetimi Seçenekleri 4
2.2.1. Kullanılmış Nükleer Yakıtın Geçici Depolanması 5
2.2.2. Kullanılmış Nükleer Yakıtın Uzun Süreli Depolanması 5
2.2.3. Kullanılmış Nükleer Yakıtın Yeniden İşlenmesi 7
2.2.4. Kullanılmış Nükleer Yakıtın Bertarafı 8
2.2.5. Kullanılmış Nükleer Yakıtın Taşınması 9
2.3. Kullanılmış Nükleer Yakıt Envanteri 10
2.4. Kullanılmış Nükleer Yakıt Envanterinin Nükleer Yakıt Yönetimi için Önemi ... 13
2.5. VVER Reaktörleri 15
2.6. Akkuyu Nükleer Güç Santrali 17
3. MODELLEME VE ANALİZ 18
3.1. VVER-1200 (AES-2006) Reaktörü 18
3.2. VVER-1200 (AES-2006) İlk Kor Yüklemesi ve Yakıt İkmali 22
3.3. Serpent Monte Carlo Kodu 24
3.4. VVER-1200 Reaktörü Yakıt Demetlerinin Serpent ile Modellenmesi 27
3.5. Kullanılmış Yakıt Demeti Veri Setleri için Radyoizotop Seçimi 32
4. SONUÇLAR 40
4.1. Kullanılmış Nükleer Yakıt Demeti Kütle Veri Seti 41
4.2. Kullanılmış Nükleer Yakıt Demeti Aktivite Veri Seti 46
4.3. Kullanılmış Nükleer Yakıt Demeti Isıl Güç Veri Seti 49

4.4. Değişkenlerin Kullanılmış Nükleer Yakıt Demeti Üzerindeki Etkileri 52
4.4.1. En Yüksek Zenginlikte (%4,95) Yakıt Çubukları ile IBA Yakıt Çubuğu İçeren Kullanılmış Yakıt Demeti İçerisindeki İzotopların Kütle Miktarları . 53
4.4.2. Borik Asit Konsantrasyonunun Kullanılmış Nükleer Yakıt Envanterine Etkisinin Değerlendirilmesi 68
4.4.3. IBA Yakıt Çubuklarındaki Gd Miktarının Etkisinin Değerlendirilmesi 82
5. SONUÇLARIN YORUMLANMASI 85
6. YORUM VE ÖNERİLER 87
7. KAYNAKLAR 89
EKLER 91
EK 1 – Yakıt Demetinin 2 Boyutlu ve 3 Boyutlu Modellenmesi 91
EK 2 – Veri Setleri için Doğrulama 98
EK 3 – Tez Çalışması Orjinallik Raporu 99
ÖZGEÇMİŞ 101

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Nükleer yakıt çevrimi arka ucu için kullanılmış yakıt yönetim seçenekleri 5
Şekil 2.2 Nükleer yakıt içerisinde meydana gelen başlıca reaksiyonlar 11
Şekil 2.4 VVER-1200 reaktörü ana bileşenleri 17
Şekil 3.1 VVER-1200 (AES-2006) reaktörü basınç kabı kesiti 19
Şekil 3.2 VVER-1200 (AES-2006) reaktörü yakıt demeti kesiti 20
Şekil 3.3 VVER-1200 (AES-2006) yakıt çubuğu kesiti 20
Şekil 3.4 VVER-1200 reaktörü kor modellemesi, yatay kesiti 23
Şekil 3.5 12 adet IBA yakıt çubuklu yakıt demeti 2-boyutlu Serpent modeli kesiti 30
Şekil 4.1 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için Pu-238 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi 74
Şekil 4.2 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için Pu-239 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi 74
Şekil 4.3 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için Pu-240 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi 75
Şekil 4.4 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için Pu-241 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi 75
Şekil 4.5 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için Pu-242 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi 76
Şekil 4.6 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için U-238 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi 76
Şekil 4.7 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için U-235 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi 77
Şekil 4.8 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için U-234 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi 77
Şekil 4.9 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için U-236 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi 78
Şekil 4.10 IBA içermeyen %3,0 zenginlikte yakıt çubuğu bulunan yakıt demeti için borik asit konsantrasyonu değişiminin toplam Pu üretimi üzerindeki etkisi 80
Şekil 4.11 IBA içermeyen %3,0 zenginlikte yakıt çubuğu bulunan yakıt demeti için borik asit konsantrasyonu değişiminin U-235 tüketimi üzerindeki etkisi 81
Şekil 4.12 IBA'sız %3,0 zenginlikli yakıt demeti için borik asit konsantrasyonu değişiminin U-238 tüketimi üzerindeki etkisi 81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Kapalı ve açık nükleer yakıt çevrimlerinin karşılaştırılması 4
Çizelge 2.2 Kullanılmış nükleer yakıt için zorunlu kayıt verileri ve gerekçeleri 14
Çizelge 2.2 VVER tipi reaktörler ve özellikleri..... 16
Çizelge 3.1 VVER-1200 reaktörü temel tasarım parametreleri..... 19
Çizelge 3.2 VVER-1200 yakıt demeti temel parametreleri 21
Çizelge 3.3 Yapısal malzemelerin element bileşimleri ve yoğunlukları 21
Çizelge 3.4 VVER-1200 reaktörü ilk kor yüklemesi için örnek yakıt demetleri..... 24
Çizelge 3.5 Yanma hesaplamalarında kullanılan parametreler ve değerleri..... 28
Çizelge 3.6 Yanma hesaplamalarında kullanılan yakıt demeti değişkenleri ve
değerleri 29
Çizelge 3.8 Kullanılmış nükleer yakıt madde envanteri için seçilen izotoplar] 38
Çizelge 4.1 Kullanılmış nükleer yakıt demetleri için kütle veri seti..... 41
Çizelge 4.2 Kullanılmış nükleer yakıt demetleri için aktivite veri seti..... 46
Çizelge 4.3 Kullanılmış nükleer yakıt demetleri için ısıl güç veri seti 49
Çizelge 4.5 En yüksek zenginlikli kullanılmış yakıt demeti için izotop kütle
miktarları..... 53
Çizelge 4.6 En yüksek zenginlikli kullanılmış yakıt demeti için kütle veri seti..... 63
Çizelge 4.7 IBA yakıt çubuğu bulunan yakıt demeti modellemesi..... 68
Çizelge 4.8 IBA'lı yakıt demetinde borik asit konsantrasyonu değişkeni için izotopların
yanma miktarına bağlı kütleleri 69
Çizelge 4.9 %4,95 yakıt demetinde borik asit konsantrasyonu değişkeni için beklenen
yanma miktarına ulaşma süresi..... 78
Çizelge 4.10 %4,95 yakıt demetinde borik asit konsantrasyonu değişkeni için
yakıt demeti toplam aktivite değerleri 79
Çizelge 4.11 %4,95 yakıt demetinde borik asit konsantrasyonu değişkeni için
yakıt demeti toplam ısıl güç değerleri..... 79
Çizelge 4.12 IBA içermeyen %3,0 zenginlikte yakıt çubuğu bulunan yakıt demeti
modellemesi 79
Çizelge 4.13 IBA içermeyen %3,0 zenginlikte yakıt çubuğu bulunan farklı borik asit
konsantrasyonu için yakıt demetleri içerisindeki Pu izotoplarının yanma
miktarına bağlı kütle değerleri 80

Çizelge 4.14 IBA yakıt çubuklarındaki Gd miktarı değişimine ait yakıt demeti modellemesi 82
Çizelge 4.15 Gd değişkeni için Pu izotoplarının yanma miktarına bağlı kütle değerleri 83
Çizelge Ek1.1 Yakıt Demeti İzotop Kütleleri 91
Çizelge Ek1.2 Yakıt Demeti İzotop Aktivite Değerleri 94
Çizelge Ek1.3 Yakıt Demeti İzotop Isıl Güç Değerleri 96
Çizelge Ek2.1 Kullanılmış yakıt için karşılaştırmalı izotop yüzdelikleri ve kütle miktarları 99

SİMGELER VE KISALTMALAR

AES-2006	VVER-1200 Gen+III tipi reaktör
Bq	Bekerel (Radyoaktivite birimi)
ENDF/B-VII	Derlenmiş Nükleer Veri Dosyası
Gd_2O_3	Gadolinyum Oksit
GWd/tU	Yanma Miktarı Birimi
IBA	Entegre Yanabilir Soğurucu (Integrated Burnable Absorber)
kWh	Kilo Watt saat
LWR	Hafif Su Reaktörü (Light Water Reactor)
MeV	Milyon elektron Volt
MOX	Karışık Oksit Yakıt (Mixed Oxide Fuel)
MWe	Mega Watt elektrik
ppm	Milyonda bir (Parts Per Million)
Pu	Plütonyum
PUREX	Pu-U redoks ekstraksiyonu (Pu-U Redox Extraction)
PWR	Basınçlı Su Reaktörü (Pressurized Water Reactor)
RCCA	Rod Cluster Control Assembly
ROSATOM	Rosatom State Corporation for Atomic Energy
U	Uranyum
UAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
UO_2	Uranyum Dioksit
UOX	Uranyum Oksit Yakıt
VVER	Vodo-Vodyanoy Energetichesky Reaktor
VVER-1000	1000 MW elektrik güce sahip VVER reaktörü
VVER-1200	1200 MW elektrik güce sahip VVER reaktörü

1. GİRİŞ

Nükleer güç ve araştırma reaktörlerinin işletilmesinin kaçınılmaz bir sonucu olarak kullanılmış nükleer yakıt oluşmaktadır. Dünya genelindeki nükleer güç santrallerinden günümüze kadar yaklaşık olarak 400.000 ton kullanılmış nükleer yakıt çıkarılmıştır [1]. İşletmede olan ve kurulması planlanan nükleer güç santrallerinden dolayı mevcut kullanılmış nükleer yakıt miktarının zamanla artacağı bilinmektedir.

Kullanılmış nükleer yakıtın güvenli, emniyetli ve sürdürülebilir yönetimi, ulusal ve uluslararası stratejiler, prosedürler ve politikalarla desteklenmesi gereken, uzun vadeli taahhüt gerektiren bir süreçtir ve gelecek nesilleri de kapsar. Bu nedenle, nükleer enerjinin sürdürülebilirliği açısından kullanılmış nükleer yakıtların güvenli ve etkin bir şekilde yönetimi giderek önem kazanmaktadır.

Kullanılmış nükleer yakıt, yüksek radyoaktiviteye sahiptir ve ısı üretir. Bu nedenle, zırhlama ve soğutma gerektirir. Ayrıca, reaktörlerde yeniden yakıt olarak kullanılabilecek uranyum ve plütonyum içermesi nedeniyle bir kaynak olarak da değerlendirilir. Dolayısıyla, günümüzde kullanılmış nükleer yakıtlar uzun süre yüzeyde depolanmakta ya da içerdiği değerli uranyum ve plütonyum izotoplarını geri kazanarak yakıt çevrimine göndermek amacıyla yeniden işlenmektedir. Yeniden işleme, radyoaktif atık miktarını ve radyotoksisitesini azaltmaktadır ancak minör aktinitleri ve fisyon ürünlerini içeren artık malzeme hala yüksek radyoaktiviteye ve ısı üretimine sahiptir. Bu nedenle, kullanılmış nükleer yakıta yeniden işleme uygulanması durumunda da güvenli bir şekilde yönetilmesi gereken yüksek seviyeli radyoaktif atıkların oluşumu söz konusudur. Bununla birlikte, kullanılmış yakıtın veya yeniden işleme sonucunda oluşan yüksek seviyeli radyoaktif atıkların depolanması sonrasında bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Depolama, yeniden işleme veya bertaraf adımlarından herhangi birinin kullanılmış nükleer yakıta uygulanması durumunda söz konusu atık yönetim adımlarının planlanabilmesi ve gerek duyulacak tesislerin tasarımlarının ve kapasitelerinin belirlenebilmesi için kullanılmış nükleer yakıt envanterinin bilinmesi gerekmektedir. Kullanılmış nükleer yakıtın miktarı, radyoizotop içeriği, radyoaktivitesi ve bozunum ısısı

gibi parametreler kullanılmış nükleer yakıt yönetim adımlarının planlanmasında belirleyicidir.

Bir nükleer güç santralinden çıkacak kullanılmış nükleer yakıt envanterini etkileyen birçok faktör söz konusudur. Taze yakıtın zenginliği, yakıtın tipi ve geometrisi, yakıtın yanma oranı, yakıtın kullanıldığı reaktörün tipi ve işletme koşulları ile reaktörden çıktıktan sonra uygulanan soğutma süresi kullanılmış nükleer yakıtın miktarını ve özelliklerini belirleyen faktörlerdir.

Bu tezin amacı, ülkemizde Mersin Akkuyu'da inşaası devam etmekte olan VVER-1200 (AES-2006) tipi reaktörde, ilk kor yüklemesinde kullanılacak yakıt demetleri için yanma miktarlarına bağlı olarak oluşan kullanılmış nükleer yakıt envanterine ait veri setlerinin oluşturulmasıdır.

Bu amaç doğrultusunda tezin ikinci bölümünde, nükleer yakıt çevrimi, kullanılmış nükleer yakıtın içeriği ve özellikleri, kullanılmış nükleer yakıt yönetimi ile VVER tipi reaktörler ve Akkuyu Nükleer Güç Santrali hakkında genel bilgiler sunulmuştur.

Tezin üçüncü bölümde, yapılan çalışmanın metodu açıklanmıştır. Bu bölümde, VVER-1200 yakıt demetlerinin Serpent ile modellenmesi ve çalışmada oluşturulan veri setleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde belirlenen değişkenlerle oluşturulan yakıt demeti modellemeleri kullanılarak Serpent kodu ile gerçekleştirilen yanma analizleri sonucunda elde edilen kullanılmış nükleer yakıt veri setleri sunulmuştur.

Tezin son bölümünde ise, elde edilen analiz sonuçları yorumlanmış ve oluşturulan veri setlerinin kullanımına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

Tezin bu bölümünde, nükleer yakıt çevrimi, kullanılmış nükleer yakıt yönetimi, kullanılmış nükleer yakıt envanteri ve kullanılmış nükleer yakıt yönetimi için önemi, VVER reaktörleri ve Akkuyu Nükleer Güç Santrali ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

2.1. Nükleer Yakıt Çevrimi

Nükleer yakıt çevrimi, nükleer yakıtın bir reaktörde elektrik üretmek için kullanılmadan önce ve sonra geçtiği tüm aşamaları kapsar. Uranyum madenciliği ile başlar ve nükleer atıkların kalıcı bertarafı ile son bulur. Nükleer yakıt çevrimi, yakıt reaktöre gönderilmeden önce gerçekleşen "ön uç" işlemlerinden ve kullanılmış nükleer yakıt reaktörden çıkarıldıktan sonra uygulanan "arka uç" adımlarından oluşur.

Ön uç faaliyetleri, yakıt türüne ve her adım için kullanılan teknolojilere göre değişebilir, ancak genel olarak uranyum madenciliği, öğütme, dönüştürme, zenginleştirme ve yakıt üretimini içermektedir [2].

Nükleer yakıt çevriminin arka ucu, kullanılmış nükleer yakıtın reaktörden alınmasıyla başlar. Arka uç yakıt çevrimi süreçleri, kullanılmış nükleer yakıt yönetim stratejisine bağlı olarak farklılık gösterir. Arka uçta kullanılmış nükleer yakıta uygulanan işlemlere göre nükleer yakıt çevrimi "açık" veya "kapalı" olarak kategorize edilir.

Açık nükleer yakıt çevrimi, nükleer yakıtın bir kez kullanıldıktan sonra atık olarak değerlendirildiği çevrimi ifade eder. Bu çevrimde, kullanılmış nükleer yakıt yeniden işlenmez. Yakıt reaktörden çıkarıldıktan sonra soğutulmak üzere reaktör yakınındaki havuzlarda tutulur. Belli bir radyoaktivite seviyesinin altına düşmesi ile kalıcı depolama havuzuna ya da kuru depolama alanına taşınır. Uzun süreli depolama sonrasında bertaraf süreci uygulanır.

Kapalı nükleer yakıt çevrimi, kullanılmış nükleer yakıtın reaktörden alınmasının ardından yeniden işlendiği ve içerdiği değerli izotopların geri kazanılarak tekrar kullanıldığı çevrimi ifade eder. Bu çevrimde, kullanılmış yakıt reaktörden çıkarıldıktan sonra bir süre reaktör yakınındaki havuzlarda tutulur. Sonrasında, yeniden işleme uygulanarak

içeriğindeki Uranyum ve Plütonyum, fisyon ürünleri ve minör aktinitlerden ayrılarak tekrar yakıt üretiminde kullanılır.

Çizelge 2.1'de açık ve kapalı nükleer yakıt çevrimlerinin temel özelliklerinin bir karşılaştırması verilmiştir [3].

Çizelge 2.1 Kapalı ve açık nükleer yakıt çevrimlerinin karşılaştırılması

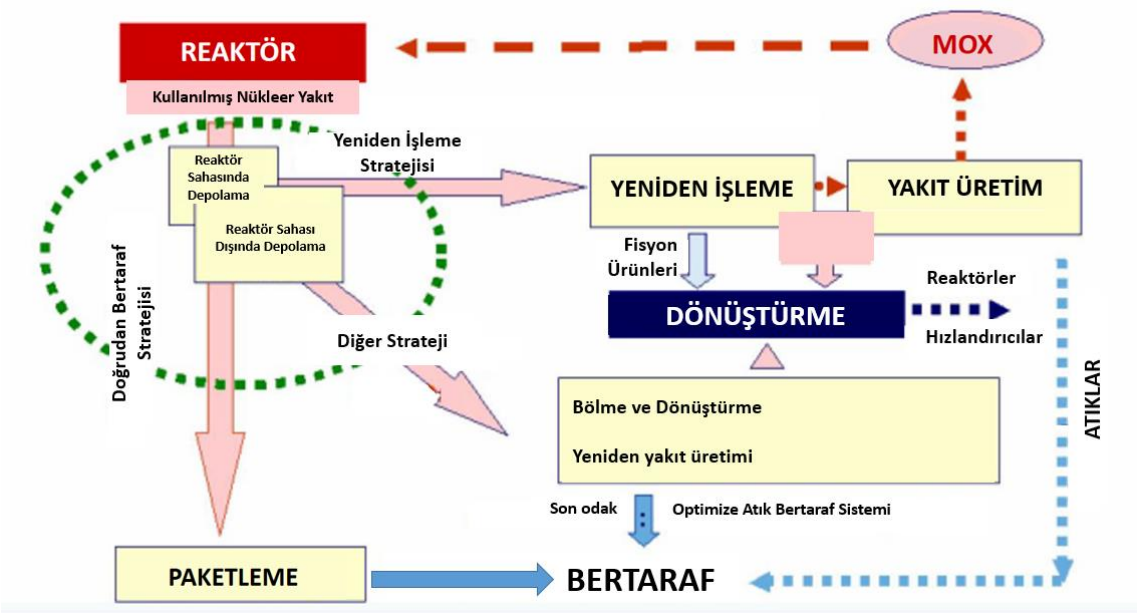
Özellik	Açık Nükleer Yakıt Çevrimi	Kapalı Nükleer Yakıt Çevrimi
Yeniden İşleme	Yapılmaz	Yapılır
Atık Miktarı	Yüksek radyoaktif atık miktarı	Daha az radyoaktif atık miktarı
Verimlilik	Düşük	Yüksek (değerli izotoplar geri kazanılır ve tekrar kullanılır)
Maliyet	Daha düşük (yeniden işleme maliyeti yoktur)	Yüksek (yeniden işleme ve geri kazanım maliyetleri)
Çevresel Etkiler	Uzun süreli radyoaktif atık depolama gereksinimi	Azaltılmış radyoaktif atık, ancak yeniden işleme süreçleri de çevresel etki yaratabilir.
Uygulama	Basit ve yaygın	Daha sınırlı uygulama

2.2. Kullanılmış Nükleer Yakıt Yönetimi Seçenekleri

Kullanılmış nükleer yakıt yönetimi, nükleer reaktörlerde enerji üretimi sırasında görevini tamamlamış ve artık yeniden kullanılamayacak hale gelen nükleer yakıtların güvenli, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir şekilde ele alınması sürecidir.

Kullanılmış nükleer yakıt yönetimi, yakıtın reaktörden çıkarılmasıyla başlar ve uygulanacak stratejiye bağlı olarak kullanılmış yakıt çeşitli adımlardan geçer. Söz konusu adımlar, kullanılmış nükleer yakıtın geçici depolanmasını, paketlenmesini, taşınmasını, yeniden işlenmesini, uzun süreli depolanmasını ve bertaraf edilmesini içerir. Bununla birlikte, kullanılmış nükleer yakıt yönetimi için araştırılmakta ve geliştirilmekte olan bölme ve dönüştürme gibi yeni yaklaşımlar da mevcuttur.

Nükleer yakıt çevriminin arka ucunda günümüzde uygulanan ve gelecekte uygulanabilirliği araştırılan kullanılmış yakıt yönetimi seçenekleri Şekil 2.1'de yer almaktadır [4].



Şekil 2.1 Nükleer yakıt çevrimi arka ucu için kullanılmış yakıt yönetim seçenekleri

2.2.1. Kullanılmış Nükleer Yakıtın Geçici Depolanması

Kullanılmış nükleer yakıt çevriminin arka ucu, yakıtın reaktörden alınmasıyla başlar. Reaktörden çıkarılan yakıt çok yüksek radyoaktiviteye ve ısı üretimine sahiptir. Bu nedenle, kullanılmış nükleer yakıta uygulanacak diğer adımlar öncesinde kısa ömürlü fisyon ürünlerinin bozunmasını sağlamak ve kullanılmış yakıttan ısı üretim oranını azaltmak için reaktörün yanıbaşında bulunan kullanılmış yakıt depolama havuzlarında birkaç yıl kadar geçici olarak depolanır. Sonrasında, kullanılmış yakıt demetleri hala oldukça radyoaktif olsa ve önemli miktarda ısı üretse de diğer kullanılmış yakıt yönetim adımlarının uygulanması amacıyla yakıtın taşınması daha kolay ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilir. Kullanılmış nükleer yakıt, reaktördeki kullanılmış yakıt havuzundan alınarak reaktör sahasındaki veya reaktörden belirli bir mesafedeki bir uzun süreli depolama tesisine taşınabilir. Kapalı çevrim uygulanacak ise, kullanılmış nükleer yakıt yeniden işleme tesisine taşınır.

2.2.2. Kullanılmış Nükleer Yakıtın Uzun Süreli Depolanması

Günümüzde kullanılmış nükleer yakıtların uzun süreli depolanmasında ıslak (havuzlarda) ve kuru depolama olmak üzere iki temel yöntem kullanılmaktadır.

Islak depolamada kullanılmış nükleer yakıtlar, reaktör sahasında bulunan veya merkezi bir havuzda depolanır. Kullanılmış nükleer yakıtın havuz depolamasında güvenliğin

sağlanabilmesi için yakıtın bazı temel özellikleri büyük önem taşır. Bunların başında, yakıtın reaktörden çıkarıldıktan sonra hâlâ önemli miktarda ısı üretmeye devam etmesi, yani bozunum ısısı gelir. Bu ısı, havuzdaki su sayesinde uzaklaştırılır. Bozunum ısısı özellikle ilk yıllarda çok yüksektir ve zamanla azalır; bu nedenle soğutma sistemlerinin yakıtın yaşına ve yanma oranına göre tasarlanması gerekir. Bir diğer önemli özellik, radyasyon seviyesidir. Kullanılmış yakıt yüksek miktarda gama ve nötron radyasyonu yayar. Bu nedenle, havuzda bulunan su sadece ısıyı taşıyan bir ortam değil, aynı zamanda etkili bir radyasyon zırhıdır. Yakıtta bulunan Sezyum-137 (Cs-137), Stronsiyum-90 (Sr-90), Plütonyum-241 (Pu-241) ve Amerikyum-241 (Am-241) gibi izotoplar hem radyasyon hem de ısı üretimi açısından kritik öneme sahiptir. Depolama sırasında kritiklik de gözetilmesi gereken önemli bir konudur. Yakıt hâlâ fisil (bölünebilir) materyal içerdiğinden, yeniden bir zincirleme reaksiyon oluşmaması için uygun geometriyle yerleştirilmeli ve nötron yavaşlatıcı malzemelerle desteklenmelidir. Sonuç olarak, yakıtın tipi, zenginlik oranı (örneğin U-235 içeriği) ve reaktörde ne kadar süreyle kullanıldığını belirten yanma oranı gibi faktörler, izotopik içeriği ve dolayısıyla havuzda depolama gereksinimlerini doğrudan etkiler.

Kuru depolamada, kullanılmış yakıt demetleri çelik varillerin içine yerleştirilir ve ek zırhlama ile radyasyon güvenliği sağlanır. Uygulanan ek zırhlamaya göre kuru depolama tesisleri kask, silo ve tonoz tipinde olarak adlandırılır. Kuru depolama yönteminde de havuzda depolamada olduğu gibi, kullanılmış nükleer yakıtların güvenli şekilde depolanabilmesi için bazı temel yakıt özellikleri kritik rol oynar. Bu özellikler hem mühendislik tasarımı hem de uzun vadeli güvenlik açısından doğrudan belirleyicidir. Öncelikle, bozunum ısısı kuru depolamada en önemli faktörlerden biridir. Kuru depolama sistemleri genellikle pasif soğutmaya (doğal konveksiyonla havaya ısı atımı) dayanır. Bu nedenle, yakıt ancak yeterli bir soğuma süresi sonunda, yani ısı üretimi yeterince düştükten sonra kuru depolamaya alınabilir. Genellikle bu süre 5 ila 10 yıl arasında değişir. Bir diğer önemli özellik, radyasyon seviyesidir. Kullanılmış yakıt hâlâ yüksek oranda gama ve nötron radyasyonu yayar. Bu nedenle, kuru depolama kapları, özellikle gama zırhlaması sağlayan çelik ve nötron zırhlaması için polietilen, beton veya reçine gibi malzemelerle donatılır. Yakıttaki Sezyum-137 (Cs-137), Stronsiyum-90 (Sr-90) gibi izotoplar bu radyasyonun başlıca kaynaklarıdır. Kritiklik de kuru depolamada göz önünde bulundurulmalıdır. Yakıt hâlâ U-235 ve Pu-239 gibi fisil maddeler içerdiğinden, yeniden zincirleme reaksiyon olasılığı, yakıtın geometrisi ve depolama kabının iç tasarımıyla

kontrol altında tutulur. Bu özellikler dikkate alınarak, kuru depolama sistemleri kullanılmış yakıtın hem geçici hem de uzun vadeli güvenli saklanması için uygun şekilde tasarlanır ve işletilir [4].

2.2.3. Kullanılmış Nükleer Yakıtın Yeniden İşlenmesi

Yeniden işleme, kullanılmış nükleer yakıtın fisil izotop içeriklerinin nükleer yakıt üretim sürecine dahil edilmesini sağlar. Bu geri dönüşüm, fisil malzemenin daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar ve belirli bir elektrik üretim seviyesi için yönetilecek toplam kullanılmış nükleer yakıt miktarını azaltır. Yeniden işlemeden kaynaklanan yüksek seviyeli atıkların uzun vadeli depolanması ve geri kazanılan fisil malzemenin ara depolanması yeniden işleme seçeneğinin önemli süreçleridir.

Günümüzde endüstriyel ölçekte uygulanabilen tek kullanılmış yakıt yeniden işleme yöntemi PUREX (Plutonium and Uranium Extraction)'tir. Kimyasal bir işlem olan PUREX, solvent ekstraksiyonuna dayanmaktadır. Standard yeniden işleme yöntemi olan PUREX'te, nitrik asit içinde çözülen kullanılmış nükleer yakıt, organik tabanlı bir solvent olan tribütil fosfat (TBP) ile etkileşime sokulur. Böylece, U ve Pu kullanılmış nükleer yakıt içindeki diğer izotoplardan ayrılır. İşlem sonucunda, fisyon ürünleri ve minör aktinitler çözelti içinde kalır ve yüksek aktiviteli atık olarak işlem görür. PUREX yeniden işleme yöntemi ile U ve Pu geri kazanılır ve nükleer yakıt çevrimine tekrar gönderilir. Böylece, doğal U kaynaklarının tüketimi azalır. Ayrıca, kullanılmış yakıt içeriğindeki uranyum ötesi elementler arasında en büyük radyotoksik etkiye sahip olan Pu'un fisyon ürünlerinden ve minör aktinitlerden ayrılması ile de beratarf edilecek radyoaktif atık miktarı azalmış olur.

Yeniden işleme tesislerinde kullanılmış nükleer yakıtların güvenli, verimli ve kontrollü şekilde işlenebilmesi için yakıtın fiziksel ve nükleer özellikleri büyük önem taşır. Bu özellikler hem kimyasal ayrıştırma işlemlerinin başarısını hem de radyolojik güvenliği doğrudan etkiler.

Kullanılmış yakıtın izotopik bileşimi yeniden işlemeye uygunluk açısından kritik bir özelliktir. Kullanılmış yakıttaki uranyum, plütonyum ve minör aktinitler (Np, Am, Cm) yeniden kazanılabilecek materyalleri oluşturur. Bu maddelerin miktarı ve oranları, yakıtın ne kadar süre reaktörde kaldığına ve başlangıç zenginliğine bağlıdır. Yüksek yanma

oranına sahip yakıtlar genellikle daha fazla plütonyum ve minör aktinit içerir, ancak ayrıştırma işlemleri daha karmaşık hâle gelir. Bununla birlikte, bozunum ısısı, yeniden işleme tesislerinde hem güvenlik hem de kimyasal işlem sıcaklık dengeleri açısından önemlidir. Yüksek ısı üreten yakıtlar özel soğutma sistemleri gerektirir ve solvent ekstraksiyonunun kararlılığını bozabilir. Bu nedenle, yeniden işleme öncesinde genellikle en az 5 yıllık bir soğuma süresi uygulanır.

Ayrıca, radyasyon seviyesi, özellikle gama ve nötron radyasyonu, çalışan personelin ve ekipmanların maruz kalacağı dozları belirler. Bu nedenle yüksek radyasyonlu izotoplar (Cs-137, Sr-90, Am-241 gibi) hem zırhlama gereksinimlerini hem de uzaktan kumandalı operasyonlara duyulan ihtiyacı artırır. Son olarak, ürün verimi ve atık miktarı, yakıtın bileşimine bağlı olarak değişir. Yeniden işleme tesisleri genellikle uranyum ve plütonyumun geri kazanımı üzerine odaklandığı için, bu iki elementin oranı tesis tasarımı ve işletme verimliliği açısından önemlidir. Aynı zamanda minör aktinitler ve fisyon ürünlerinin doğru şekilde ayrıştırılması hem yeniden üretim hem de atık yönetimi açısından kritik öneme sahiptir [5,6].

2.2.4. Kullanılmış Nükleer Yakıtın Bertarafı

Bertaraf, radyoaktif atıkların geri alınması amaçlanmadan uygun bir tesise yerleştirilmesidir. Doğrudan bertaraf seçeneğinde, kullanılmış nükleer yakıt, yüksek radyoaktivite seviyesinden dolayı yüksek seviyeli bir atık olarak kabul edilir ve geçici depolama sürecinden sonra bertarafa gönderilir. Yeniden işleme seçeneğinde ise, U ve Pu'nun geri kazanılmasından sonra arta kalan atıklar uygun bir forma getirilerek yüksek seviyeli atık olarak bertarafa hazırlanır. Bu yüksek seviyeli atıklar, bir soğutma sürecinden sonra bertarafa gönderilir.

Kullanılmış nükleer yakıt ve yüksek seviyeli radyoaktif atıkların bertarafı için yaygın olarak kabul gören yöntem jeolojik bertaraf yöntemidir. Bu yöntemde, kullanılmış nükleer yakıt içeren kaplar, nükleer atıkların nihai olarak bertaraf edilmesi amacıyla özel olarak seçilmiş yer altındaki jeolojik bir oluşumda açılan sondaj deliklerine yerleştirilir. Jeolojik oluşum, yüzeyde meydana gelebilecek olaylardan etkilenmemesi ve uzun vadede atıklara kazara ya da kasıtlı erişimin önlenmesi için yeterince derin ve kararlı olmalıdır. Kristalin kayaçlar (granit, kaynaklı tüf ve bazalt), tuz ve kil jeolojik bertaraf için en uygun oluşumlar arasında yer alır.

Jeolojik bertaraf sistemleri, jeolojik ortam, mühendislik bileşenleri ve atık yerleştirme yöntemlerine bağlı olarak farklılık gösteren çeşitli tasarım konseptlerine sahiptir. Ancak bu konseptlerin tamamı, atığın uzun vadeli güvenliğini sağlamak üzere tasarlanmış olan çoklu bariyer sistemine dayanır. Çoklu bariyer sisteminde, katı atık malzemesi, atık kapları, bertaraf tesisinin mühendislik bileşenleri ve çevreleyen jeolojik ortam birlikte çalışarak radyoaktif bileşenlerin yalıtımını sağlar. Atık tipi (kullanılmış nükleer yakıt ya da yüksek seviyeli atık), içeriği ve jeolojik ortamın özellikleri, çoklu bariyer sisteminin tasarımını belirler. Dolayısıyla, jeolojik bertaraf sahasında birim alan başına güvenli şekilde yerleştirilebilecek atık miktarı atığın özelliklerine (miktarı, izotopik bileşimi, bozunma ısısı profili vb.) güçlü bir şekilde bağlıdır.

İlk olarak, uzun yarı ömürlü ve yüksek radyotoksisiteye sahip izotopların varlığı bertaraf stratejilerinin temel belirleyicilerindendir. Özellikle transuranik elementler (örneğin Pu-239, Pu-240, Am-241, Cm-244) ve bazı fisyon ürünleri (örneğin Cs-137, Sr-90, Tc-99, I-129) çok uzun süre boyunca radyasyon yaymaya devam eder. Bu izotoplar hem radyolojik risk hem de yer altı suyu yoluyla çevresel taşınım açısından tehlike oluşturur. Bozunum ısısı, bertaraf tesis tasarımında dikkatle değerlendirilmesi gereken bir diğer özelliktir. Kullanılmış yakıt, bertaraf tesisine yerleştirilmeden önce belirli bir soğuma süresi boyunca geçici depolamada tutulur (genellikle 30-50 yıl). Böylece, bozunum ısısının önemli ölçüde azalması sağlanmaktadır; çünkü yüksek sıcaklıklar çevredeki jeolojik bariyerlerin yapısını bozabilir veya atık kaplarının bütünlüğünü etkileyebilir. Kritiklik de bertarafta önemli bir konudur. Kullanılmış yakıt hâlâ fisil materyaller içerdiğinden (özellikle U-235 ve Pu-239), yer altı ortamında yeniden zincirleme reaksiyon oluşmasını engellemek için atık kabı tasarımı, yerleştirme geometrisi ve tampon malzemeler dikkatle seçilmelidir.

2.2.5. Kullanılmış Nükleer Yakıtın Taşınması

Taşıma, kullanılmış nükleer yakıt yönetiminin tüm aşamaları arasındaki önemli bağlantıdır. Bu nedenle, farklı nükleer yakıt çevrimi tesisleri arasında (örneğin nükleer santralin depolama havuzu ile reaktör sahası dışındaki kuru depolama tesisi veya yeniden işleme tesisi arasında) kullanılmış yakıt demetlerinin güvenli bir şekilde taşınması gereklidir. Kullanılmış nükleer yakıtın taşınması için tasarlanmış ve lisanslanmış taşıma kapları mevcuttur.

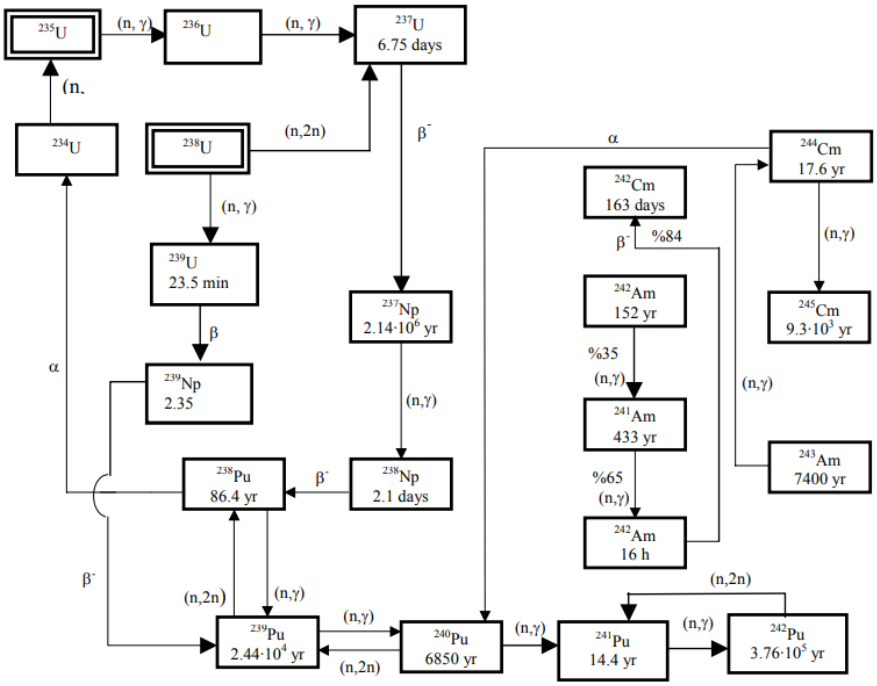
Taşıma kapları, taze yakıt zenginliği, yanma oranı, soğutma süresi ve termal yükü dikkate alınarak belli sayıda kullanılmış nükleer yakıtın yüklenebileceği şekilde tasarlanır. Bu lisanslı taşıma kaplarının kullanım gereksinimlerini karşılanması ve taşımanın güvenli bir şekilde yapılabilmesi için kullanılmış yakıt özelliklerinin belirlenmesi temel veri oluşturur.

2.3. Kullanılmış Nükleer Yakıt Envanteri

Nükleer enerji alanında, kullanılmış nükleer yakıt üretimi, dünya genelindeki ticari reaktörlerin işletilmesinin kaçınılmaz bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanılmış nükleer yakıt, bir nükleer reaktörde belirli bir zaman periyodu (yani belirli bir işletme döngüsü) boyunca ışınlanmış yakıtı ifade eder. Günümüzde işletmede olan reaktörlerde kullanılan yakıt tasarımı Zirkonyum alaşımlı yakıt zarfı içine yerleştirilmiş ağırlıkça %3 ile %5 zenginleştirilmiş uranyum içeren uranyum dioksit (UO_2) peletlerinden oluşmaktadır. Reaktör işletimi sırasında, fisyon, aktivasyon ve transmutasyon reaksiyonları sonucu çeşitli radyoaktif izotoplar meydana gelir ve yakıtın radyoizotop içeriği değişir. Şekil 2.1'de yakıt içinde meydana gelen başlıca reaksiyonlar gösterilmiştir [7].

Ticari Light Water Reactor (LWR)'lerden çıkan kullanılmış yakıtın kütlece büyük bir kısmı (%98,5 civarı) uranyum ve kısa ömürlü fisyon ürünlerinden oluşmakta olup, uzun vadede radyolojik riski oldukça azdır. Ancak, kullanılmış yakıtın kütlesinin yaklaşık %0,4'ü uzun ömürlü fisyon ürünlerinden oluşurken, yaklaşık %1'i plütonyum ve minör aktinit izotoplarından oluşmaktadır [8]. Kullanılmış yakıt içerisinde bulunan önemli radyoizotoplar aşağıda yer almaktadır:

Fisyon Ürünleri: Fisyon reaksiyonları sonucunda U-235 veya Pu-239 gibi ağır çekirdekler parçalanarak daha küçük çekirdeklere dönüşür. Fisyon ürünleri olarak adlandırılan bu çekirdekler genellikle kararsızdır ve radyoaktiftir. Nükleer reaktörde kullanım sırasında yakıt içeriğinde Cs, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Sr, Pm, Sm gibi fisyon ürünleri bulunmaktadır.



Şekil 2.2 Nükleer yakıt içerisinde meydana gelen başlıca reaksiyonlar

Aktivasyon Ürünleri: Reaktör içindeki yapısal malzemelerin ve soğutucunun nötron akısına maruz kalması sonucunda Ag-109, Co-60, Ni-63, C-14, Cl-36 gibi radyoizotoplar oluşabilir.

Minör Aktinitler: . Reaktörde U-235 dışında U-238 de nötron yakalayarak plütonyum ve diğer transuranik izotopları oluşturur. Bu izotoplar, yakıtın yeniden işlenmesi ve nükleer silahların yayılmasını önleme açısından büyük önem taşır. Amerikyum-241 (Am-241) ve Curium-244 (Cm-244) uzun yarı ömürlü minör aktinitlerdir. Bu izotoplar, plütonyum izotoplarının bozunma ürünleri olarak oluşur ve yüksek düzeyde radyasyon yayabilirler. Neptünyum-239 (Np-239), U-238'in nötronla etkileşimiyle oluşur ve kısa bir süre sonra Pu-239'a dönüşür.

Uranyum İzotopları: Uranium-235 (U-235), reaktörün ana fisyon kaynağıdır. Fisyon reaksiyonları sırasında enerji açığa çıkar ve bu reaksiyon, U-235'in U-236'ya dönüşmesini sağlar. Uranium-238 (U-238), özellikle nötronlarla etkileşim sonucu Plütonyum-239 gibi daha ağır elementlere dönüşebilir. Bu dönüşüm, hem enerji üretimini sürdürebilir hale getirir hem de yakıt bileşimini değiştirir.

Plütonyum İzotopları: Plütonyum-239 (Pu-239), U-238'in nötron yakalaması ve ardışık iki β bozunumu ile oluşur. Diğer Plütonyum izotopları (Pu-240, Pu-241, Pu-242) bu izotopun ardışık nötron yakalaması sonucunda meydana gelir.

Uranyum-235 (U-235) izotopu açısından, doğal uranyumdan daha zengin ancak %20'den az oranda U-235 içeren uranyum, düşük zenginlikte uranyum olarak tanımlanır. U-235 oranı kütlece %20'nin üzerine çıktığında ise bu uranyum, yüksek zenginlikte uranyum olarak adlandırılır. Yüksek zenginlikte uranyum, nükleer silah üretiminde kullanılabilir.

Plütonyum izotopları arasında sadece Pu-239 ve Pu-241, herhangi bir nötron enerjisinde bölünerek fisyon yapabilir ve zincirleme reaksiyon başlatabilir. Ancak, plütonyumun diğer izotopları da yüksek enerjili (MeV seviyesindeki) nötronlarla fisyon yapabilir ve bu durumda fisyon yapma olasılığı (tesir kesiti), U-235'inkinden bile daha yüksek olabilir. Bu da, bazı Pu izotoplarının nükleer silah açısından ciddi bir potansiyele sahip olabileceğini gösterir.

Kullanılmış yakıttaki plütonyumun izotop dağılımı, yakıtın yanma oranına bağlı olarak değişir. Yanma oranı arttıkça, Pu-238, Pu-240, Pu-241 ve Pu-242 izotoplarının plütonyum içindeki kütlece oranı da artar. Ancak bu durum, fisil izotopların (özellikle Pu-239) oranını azaltır. Sonuç olarak, yüksek yanma oranına sahip yakıttan elde edilen plütonyum, nükleer silah yapımı açısından daha az elverişli hale gelir. Yapılan araştırmalarda, herhangi bir yanma oranında yakıtta oluşan plütonyumun çıplak kritik kütle değeri, Pu-239 ile Pu-240'ın kritik kütleleri arasında bir yerde hesaplanmıştır. Bu da, yanma oranı ne olursa olsun, kullanılmış yakıttan elde edilen plütonyumun potansiyel olarak nükleer silah yapımında kullanılabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, plütonyumun içeriğinde bulunan bazı izotoplar, nükleer silah yapımı açısından olumsuz etkiler yaratabilir. Örneğin, Pu-238 bozunduğunda yüksek miktarda ısı üretir. Bu bozunum ısısı, silah tasarımı ve güvenliği açısından önemli bir sorundur. Ayrıca, Pu-240, istenmeyen nötron yayılımına neden olarak silahın verimini azaltabilir ve güvenilirliğini düşürebilir. Bu nedenle, bir plütonyum örneğindeki Pu-238 ve Pu-240 izotoplarının kütlece oranı, bu malzemenin nükleer silah yapımına ne kadar uygun olduğunu doğrudan etkileyen kritik faktörlerdendir.

2.4. Kullanılmış Nükleer Yakıt Envanterinin Nükleer Yakıt Yönetimi için Önemi

Kullanılmış nükleer yakıta ait temel bilgiler, yakıt yönetim stratejilerinin ve yakıtın hangi süreçlerden geçeceğinin belirlenmesinde kullanılır. Aynı zamanda bu veriler, kullanılmış nükleer yakıt yönetimi süreçlerinde yer alan tesislerin belirlenmesi, tesisin ve tesis ekipmanlarının tasarımı, lisanslanması, inşaatı ve işletimi için de gereklidir.

Yakıt çevriminin arka ucunda kullanılmış nükleer yakıt yönetimi için belirlenen strateji ne olursa olsun, kullanılmış nükleer yakıtın kimliği ve özellikleriyle ilgili verilerin belirlenerek yakıt çevriminin arka ucundaki bir sonraki adıma girdi oluşturacak şekilde aktarılması önemlidir.

Uluslararası yükümlülükler kapsamında da kullanılmış yakıt yönetimiyle ilgili kullanılmış yakıt verilerinin tutulması ve takibi için uluslararası anlaşmalar bulunmaktadır. *Kullanılmış Yakıt Yönetiminin Güvenliği ve Radyoaktif Atık Yönetiminin Güvenliğine İlişkin Ortak Sözleşme*, kullanılmış yakıt veri yönetimi yükümlülüğü kapsamında Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (UAEA) tarafından hazırlanan uluslararası belgelerin en önemlilerinden biridir.

Ayrıca nükleer güvencenin temini ve nükleer silahların yayılmasının önlenmesi için de kullanılmış yakıt içerisindeki nükleer maddelerin belirli özellikleri ile kaydedilmesi zorunlu kılınmıştır. UAEA tarafından hazırlanan "*Kullanılmış Nükleer Yakıt Yönetimi İçin Veri Gereklilikleri*" dokümanında kullanılmış yakıtlara ilişkin tutulacak kayıtlar ve veriler belirlenmiştir. Çizelge 2.2'de kullanılmış nükleer yakıt için kaydedilmesi gereken veriler yer almaktadır [15].

Nükleer yakıt çevriminin arka ucu olan kullanılmış yakıt yönetimi süreçlerinde kayıtlarının tutulması gerekli olan yakıt özellikleri ve gerekçeleri Çizelge 2.2'de yer almaktadır [9].

Çizelge 2.2 Kullanılmış nükleer yakıt için zorunlu kayıt verileri ve gerekçeleri

Kullanılmış Nükleer Yakıt için Zorunlu Kayıt Verileri	**Gerekçesi**
İzotopik İçerik ve Dağılımı	Pu-239 ve Pu-241 içeriği (nükleer silah yapımı açısından kritik) U-235 zenginliği ve tükenme derecesi Minör aktinitler ve fisyon ürünleri miktarları
Yanma Miktarı (Burnup)	GWd/tU cinsinden ölçülen toplam yanma miktarı (Yanma miktarı, Pu üretimi ve izotopik bileşim açısından belirleyicidir)
Fiziksel ve Kimyasal Form	Yakıtın fiziksel durumu (katı, sıvı, oksit, metal vb.) Yapısal değişiklikler Radyoaktif bozunma sonucu meydana gelen olası hasarlar Yakıt çubuklarının bütünlüğü: Çatlaklar, şişmeler veya malzeme değişiklikleri Yüzeyde oksidasyon veya korozyon durumu
Radyasyon Düzeyi ve Isıl Güç	Depolama ve taşıma açısından kritik anlık gama ve nötron emisyonu Toplam ısıl güç (bozunum ısısı)
Taşınabilirlik ve Saklanma Koşulları	Yakıt çubuklarının bütünlüğü Koruyucu kılıfın durumu Muhafaza edilen kapların güvenlik sertifikaları Kullanılmış yakıtın depolama yeri (soğutma havuzları, kuru depolama) Yakıt çubuklarının depolanma şekli ve bütünlüğü Yakıt hareketleri

Çizelge 2.2 de belirtildiği üzere U ve Pu içeriğinin dışında kullanılmış yakıt içerisinde bulunan diğer radyoaktif izotopların da neler olduğu, miktarları, yarılanma süreleri, aktiviteleri, ürettikleri ısı miktarları kullanılmış nükleer yakıt yönetimi için önemlidir. Dolayısıyla, reaktörden çıkarılan kullanılmış yakıtı karakterize eden ve kimyasal, fiziksel ve radyolojik durumunu ayrıntılı olarak açıklayan verilerin toplanması ve muhafaza edilmesi gerekmektedir.

Kullanılmış yakıtın özellikleri, esas olarak hem reaktördeki hem de kullanım sonrasındaki geçmişine (özellikle ara depolama ve taşıma) göre şekillenir. Bu özellikler, reaktörde ve reaktör sahası dışındaki depolama tesisleri, taşıma sistemleri, yeniden işleme tesisleri, bertaraf tesisleri gibi sonraki yakıt çevrimi arka uç tesislerinin belirlenmesi, tasarımı, inşası, işletilmesi, lisanslanması, denetlenmesi ve devre dışı bırakılması gibi bir dizi sonraki faaliyetleri etkiler. Dolayısıyla, kullanılmış yakıta ait veriler çevrimin arka ucunda yer alan tüm tesisler ve tüm süreçler için belirlenmeli ve saklanmalıdır [4]. Böylece;

- Kullanılmış yakıtın güvenli ve etkili bir şekilde yönetimi,
- Hem geçici depolama hem de takip eden depolama/bertaraf tesisi tasarımı için bozunma ısısı çıkışının tahmini,

- Kritiklik güvenlik kriterlerinin oluşturulabilmesi ve bunları karşılamak için uygun ekipman ve prosedürlerin geliştirilebilmesi,
- Depolama veya bertaraf tesislerinin tasarımı için potansiyel radyasyon alanlarının belirlenebilmesi,
- Depolama ve arka uç tesis çalışanlarını ve halkı radyasyona maruz kalmaktan korumak için yeterli koruma, ekipman ve önlemlerin sağlanması,
- Kullanılmış yakıtın güvenli ve ekonomik bir şekilde işlenmesi için uygun prosedürlerin oluşturulabilmesi ve gerekli ekipmanların geliştirilebilmesi,
- Güvenli tesis operasyonu için lisanslama gerekliliklerinin karşılanabilmesi sağlanacaktır.

2.5. VVER Reaktörleri

VVER (Vodo-Vodyanoy Energetichesky Reaktor), su soğutmalı su moderatörlü bir basınçlı su reaktörü (PWR) olup tasarım ve kullanılan malzemeler açısından diğer PWR tipi reaktörlerden önemli farklılıklar göstermektedir. VVER tipi reaktörlerinin ayırt edici özellikleri arasında yatay buhar jeneratörlerinin kullanımı, altıgen yakıt demetleri, reaktör kabının alt kısımdan geçişlerin bulunmaması ve yüksek kapasiteli basınç dengeleyicilerin kullanımı yer almaktadır. VVER tipi reaktörler, günümüzde Rusya, Çin, Hindistan ve Doğu Avrupa ülkelerinde yaygın olarak kullanılmakta olup, nükleer enerji üretiminin önemli bir kısmını oluştururlar.

Tasarım, pasif güvenlik özelliği sayesinde reaktörün korunu soğutmak için dışarıdan bir müdahale gerektirmez ve güvenlik önlemlerinin aktif sistemlere bağımlı olmadan, doğal süreçler aracılığıyla sağlanmasını mümkün kılar. Yeni nesil VVER reaktörleri, daha yüksek termal verimliliğe sahiptir. Bu durum, yakıt tasarrufu sağlarken daha fazla enerji üretimini mümkün kılar.

Yenilikçi yakıt ve atık işlem teknikleri, radyoaktif atıkları daha verimli bir şekilde yönetmeyi sağlar. Ayrıca, tasarımda çevresel emisyonların azaltılması için de çeşitli teknolojik çözümler geliştirilmiştir.

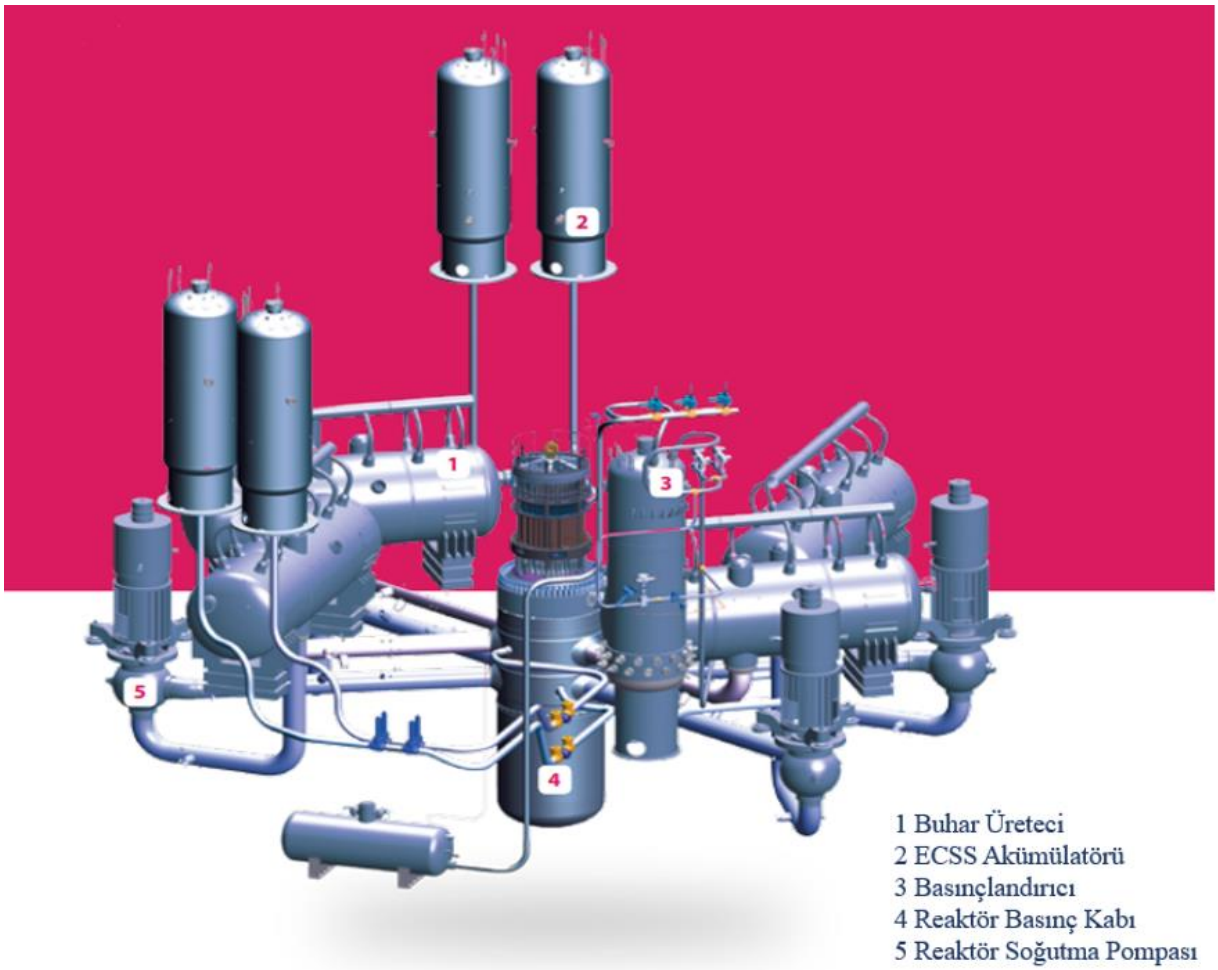
Modern VVER reaktörleri, tasarımlarındaki dayanıklılık artırıcı değişikliklerle daha uzun süre çalıştırılabilir hale gelmiştir [10]. Çizelge 2.3'te VVER tipi reaktör tasarımları ve öne çıkan özellikleri sunulmuştur.

Çizelge 2.2 VVER tipi reaktörler ve özellikleri

VVER Tipi	Geliştirilme Dönemi	Kapasite (MWe)	Öne Çıkan Özellikler
VVER-440	1960'lar	440	İlk VVER tasarımı, Batı'daki PWR'lere benzer tasarım, güvenlik tasarımı sınırlı
VVER-213	1980'ler	440	VVER-440'a göre daha büyük kapasite, geliştirilmiş güvenlik özellikleri
VVER-1000	1980'ler	1000	Daha büyük kapasite, soğutma sisteminde iyileştirmeler, Aktif ve pasif güvenlik sistemleri, Çernobil sonrası güvenlik iyileştirmeleri
VVER-1200	1990'lar ve sonrası	1200	Yüksek verimlilik, düşük yakıt tüketimi, çevre dostu emisyonlar, modern güvenlik sistemleri, geliştirilmiş işlem teknikleri, Fukishima sonrası güvenlik iyileştirmeleri
VVER-300	2010 sonrası	300	Küçük modüler reaktör, düşük güç ve kapasite tasarımı, pasif güvenlik sistemleri, otomatik güvenlik müdahale sistemleri, daha az alan gereksinimi, daha kısa inşa süresi.
VVER-1500	Planlanan/ Geliştirme Aşamasında	1500	Gelişen teknoloji ile daha yüksek kapasiteye sahip büyük ölçekli reaktör, yüksek termal verimlilik, daha az bakım ihtiyacı, daha az yakıt tüketimi ile düşük karbon ayak izi, Aktif ve pasif güvenlik sistemleri, iyileştirilmiş sismik dayanıklık, yüksek güvenlik çerçevesi, gelişmiş kontrol sisemleri

AES-2006 reaktörü, VVER-1200 reaktörlerinin en son geliştirilmiş tasarımıdır ve yaklaşık 3200 MW termal güç kapasitesine sahip olup ilave pasif güvenlik özelliklerine sahiptir. Bu reaktör, uluslararası güvenlik standartlarına uygun olup yakıt teknolojisi, modüler inşaat, güvenlik sistemleri ve standartlaştırılmış tasarım alanlarında evrimsel iyileştirmeler içermektedir.

Gen III+ nükleer santraller için belirlenen tüm uluslararası güvenlik gereksinimlerini karşılamaktadır. AES-2006 reaktörü, gelişmiş güvenlik sistemleri, yüksek verimlilik, çevre dostu tasarımı ve ekonomik faydalarıyla dikkat çekerken pasif güvenlik sistemleri, yüksek termal verimlilik ve sismik dayanıklılık gibi özellikler, reaktörün güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Ayrıca, çevresel etkilerin minimuma indirilmesi ve düşük karbon emisyonlarıyla AES-2006, modern nükleer enerji santralleri için önemli bir çözüm sunmaktadır. Şekil 2.2 de VVER-1200 reaktörünün ana bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 2.4 VVER-1200 reaktörü ana bileşenleri [11]

2.6. Akkuyu Nükleer Güç Santrali

Türkiye'nin enerji üretim kapasitesini artırmak, dışa bağımlılığını azaltmak ve çevre dostu enerji üretimini sağlamak amacıyla yürütülen Akkuyu Nükleer Güç Santrali Projesinin, geçmişi 1976'ya kadar dayanmakta olup 2010'da Rusya ile yapılan anlaşma sonrası hız kazanmıştır. Bu anlaşma ile Rosatom State Corporation for Atomic Energy (ROSATOM), Mersin ili Akkuyu bölgesinde her biri AES-2006 tipi reaktör olmak üzere 4 üniteden oluşan ve toplam 4800 MW elektrik kapasiteye sahip santral inşa etmektedir. Akkuyu Nükleer Güç Santrali, Türkiye'nin enerji güvenliği için önemli bir adım olup, yıllık 35 milyar kWh elektrik üreterek ülkenin toplam elektrik ihtiyacının %10'unu karşılayacaktır [12].

3. MODELLEME VE ANALİZ

Bu çalışma ile VVER-1200 (AES-2006) reaktörü ilk yakıt çevriminde oluşacak nükleer madde envanteri için veri setleri oluşturulmuştur. Yakın gelecekte ülkemizde de işletmeye alınması planlanan ve inşası devam eden bir VVER-1200 (AES-2006) reaktör bulunmaktadır ve söz konusu reaktörün işletmeye alınması ile birlikte kullanılmış nükleer yakıtlarının güvenli bir şekilde yönetilmesi gerekecektir. Bu kapsamda, reaktörden alınacak kullanılmış yakıtların nükleer madde envanterinin belirlenmesi önemlidir.

Bu çalışmada, ülkemizde Mersin Akkuyu'da inşaası devam etmekte olan VVER-1200 reaktörlerinde ilk kor yüklemesinde yer alacak yakıt demetlerinin reaktörden çıkarıldığındaki nükleer madde envanterinin belirlenmesi ve kullanılmış yakıt yönetiminde kullanılabilir bir veri seti oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, VVER-1200 reaktörü ilk kor yüklemesinde yer alabilecek yakıt demetleri için SERPENT Monte Carlo parçacık taşınım ve yanma kodu ile yanma analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, kullanılmış nükleer yakıt demetlerinin radyoizotop içeriği, aktivitesi ve ısıl gücü gibi kullanılmış nükleer yakıt yöneminde önemli özelliklerine ilişkin veri setleri oluşturulmuştur. Ayrıca, yakıt demetinin yanma oranı, yakıt demetlerindeki yakıtın zenginliği, soğutucu ve yavaşlatıcı olarak kullanılan hafif su içerisindeki borik asit konsantrasyonu, yakıt demetlerinde yer alan yanabilir nötron soğurucu yakıt çubuklarının (Integrated Burnable Absorber – IBA) sayısı, IBA yakıt çubuklarındaki yakıt zenginliği ile nötron soğurucu olarak kullanılan Gd miktarı gibi değişkenlerin kullanılmış yakıttaki nükleer madde envanterine etkisi belirlenmiştir.

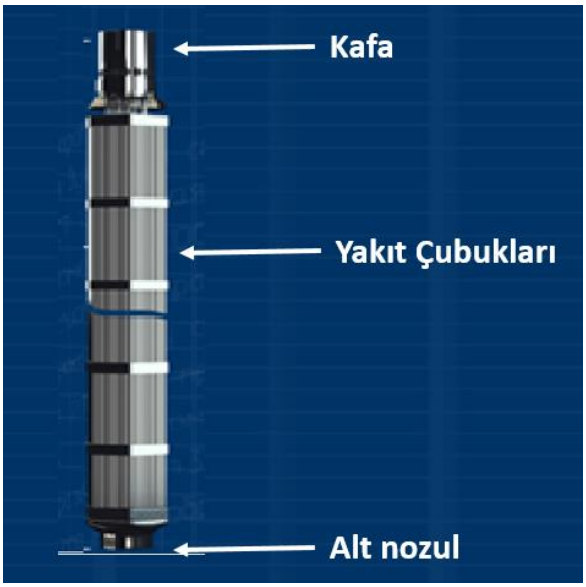
3.1. VVER-1200 (AES-2006) Reaktörü

VVER-1200 (AES-2006), 3200 MW termal ve 1200 MW elektrik gücüne sahip bir basınçlı su reaktörüdür. VVER-1200 reaktörünün temel tasarım parametreleri Çizelge 3.1'de yer almaktadır. Reaktör koru 163 adet yakıt demeti içerir. Reaktör koru ve yakıt demetlerinin geometrisi altıgendir. Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te sırasıyla VVER-1200 reaktör kabı, yakıt demeti ve yakıt çubuğu kesitleri gösterilmektedir [13].

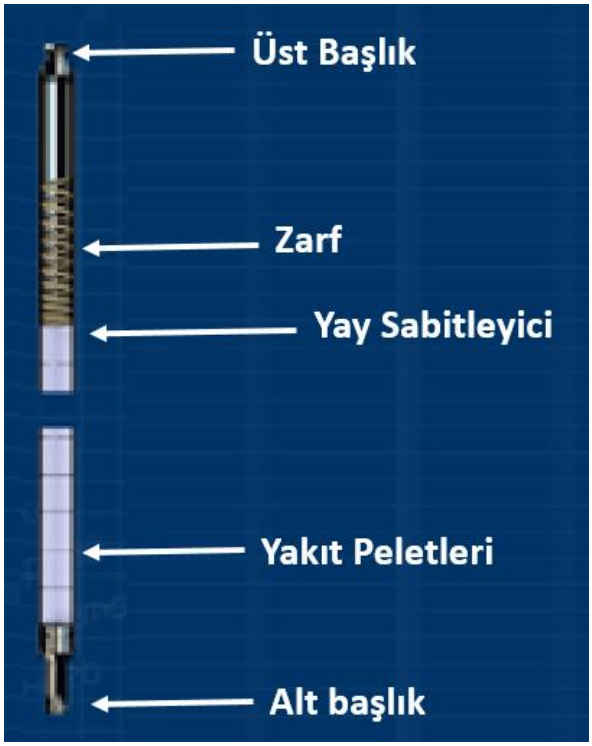
Çizelge 3.1 VVER-1200 reaktörü temel tasarım parametreleri [13]

Parametre	**Değeri**
Termal Güç (MW)	3.200
Elektrik Gücü (MW)	1.200
Soğutucu/Yavaşlatıcı	Saf Su + Borik Asit
Su Giriş Sıcaklığı (°C)	298,2
Su Çıkış Sıcaklığı (°C)	328,9
Soğutucu Akış Hızı (m^3/saat)	85.000
Kor Soğutucu Akış Alanı (m^2)	4,15
Soğutma Suyu Çıkış Basıncı (MPa)	16,2
Yakıt Malzemesi	UO_2 ve UO_2+Gd_2O_3
Yakıt Demeti, Yakıt Çubuğu Dizilimi	Altıgen
Yakıt Demeti Sayısı	163
Kor Aktif Yükseklik (m)	3,75
Kor Çapı (m)	3,16
Kor Güç Yoğunluğu (MW/m^3)	108,5
Doğrusal Isı Oranı (KW/m)	16,78
Yakıt Güç Yoğunluğu, Ortalama (KW/kgU)	36,8
Yükleme Yakıt Zenginliği, Kor Dengede İken (%)	4,79
Uranyum Yükleme (Tasarım Değeri) (ton)	76-85,5
Ortalama Yakıt Yanma Miktarı (GWd/tU)	60
Standart Yakıt Çevrimi	Tek geçişli ve açık

Şekil 3.1 VVER-1200 (AES-2006) reaktörü basınç kabı kesiti [11]



Şekil 3.2 VVER-1200 (AES-2006) reaktörü yakıt demeti kesiti [11]



Şekil 3.3 VVER-1200 (AES-2006) yakıt çubuğu kesiti [11]

Her bir altıgen yakıt demetinde 312 adet yakıt çubuğu, 18 adet kılavuz kanalı ve 1 enstrüman kanalı bulunur. Yakıt demetleri içerisinde farklı uranyum zenginliklerine ve farklı yanabilir nötron soğurucu oranlarına sahip yakıt çubukları (IBA) bulunmaktadır. VVER-1200 reaktör korunda yer alan farklı zenginliklere ve yerleşime sahip yakıt demetlerinin geometri ve malzeme özellikleri Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2 VVER-1200 yakıt demeti temel parametreleri [13,14]

Parametre Grubu	Parametre Adı	Değeri
Yakıt Çubuğu	Yakıt Çubuğu (UO_2) (adet)	300
	Merkez Boşluk Yarıçapı (cm)	0,06
	Yakıt UO_2 Yarıçapı (cm)	0,38
	Yakıt Çubuğu Zarfı Yarıçağı yarıçapı (cm)	0,455
	IBA Yakıt Çubuğu (UO_2+Gd_2O_3) (adet)	12
Kılavuz Kanalı	Kılavuz Kanalı (adet)	18
	Merkez Boşluk Yarıçapı (cm)	0,545
	Zarf Yarıçapı (cm)	0,63
Merkez Kanal	Merkez Kanal (adet)	1
	Su Yarıçapı (cm)	0,545
	Zarf Yarıçapı (cm)	0,63
Yakıt Kafesi	Kafes Tipi	Altıgen
	Kafes Boyutu	23x23
	Kafes Aralığı (cm)	1,275
	Yakıt Demeti Aralığı (cm)	23,51
Malzeme Özellikleri	UO_2 Kütle Yoğunluğu (g/cm³)	10,5
	UO_2+Gd_2O_3 Kütle Yoğunluğu (g/cm³)	10,3
	Zarf Kütle Yoğunluğu (g/cm³)	6,56
	Su Kütle Yoğunluğu (Borik Asitli) (g/cm³)	0,706
	Su içerisindeki Borik Asit Miktarı (ppm)	650
	UO_2 Yakıt Çubuğu Zenginliği, maksimum (%)	4,95
	IBA Yakıt Çubuğu Yakıt Zenginliği, maksimum (%)	3,6
	Yakıt Demeti Yüksekliği (m)	4,750
	Yakıt Çubuğu Yüksekliği (Güç Üreten Kısım) (m)	3,750
	Yakıt Çubuğu Zarfı, zirkonyum alaşımı	E110

Bu çalışmada Serpent yakıt demeti modelleri oluşturulurken tasarımdaki yapısal malzemelerin izotopik yoğunluklarının hesaplanmasında Çizelge 3.3'te verilen malzeme element bileşimleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.3 Yapısal malzemelerin element bileşimleri ve yoğunlukları [14]

Alaşım E110 (6,4516 g/cm3)		**Alaşım E635 (6,550 g/cm3)**		**Çelik (7,900 g/cm3)**		**Dy2O3TiO2 (5,100 g/cm3)**		**B4C (1,800 g/cm3)**	
Element	**%**	**Element**	**%**	**Element**	**%**	**Element**	**%**	**Element**	**%**
Zr	98,97	Zr	98,47	Fe	69,50	O	18,00	B-10	14,13
Nb	1,00	Nb	1,00	Cr	18,00	Ti	12,00	B-11	63,84
Hf	0,03	Fe	0,50	Ni	11,00	Dy	70,00	C	21,74
		Hf	0,03	Mn	1,50				

3.2. VVER-1200 (AES-2006) İlk Kor Yüklemesi ve Yakıt İkmali

VVER-1200 (AES-2006) reaktör korunu oluşturan 163 adet altıgen yakıt demetinin her biri 312 yakıt çubuğu, 18 kılavuz kanalı ve bir enstrümantasyon kanalı, 13 ara ve bir destek ızgarası ile bir araya getirilerek oluşturulmuştur. Yakıt çubuklarındaki yakıt peletlerinin malzemesi zenginleştirilmiş uranyum dioksit (UO_2) iken, IBA yakıt çubuklarındaki yakıt peletlerinin malzemesi Gd_2O_3 içeren zenginleştirilmiş UO_2 karışımıdır. Yakıt demetleri içindeki IBA yakıt çubukları, ağırlıkça %4 ile %8 arasında değişen Gd_2O_3 yanabilir nötron soğurucuya sahiptir. UO_2 yakıtın zenginliği ise ağırlıkça maksimum %4,95'tir. Reaktörde yakıtın ulaştığı ortalama yanma değeri 60 GWd/tU kadardır.

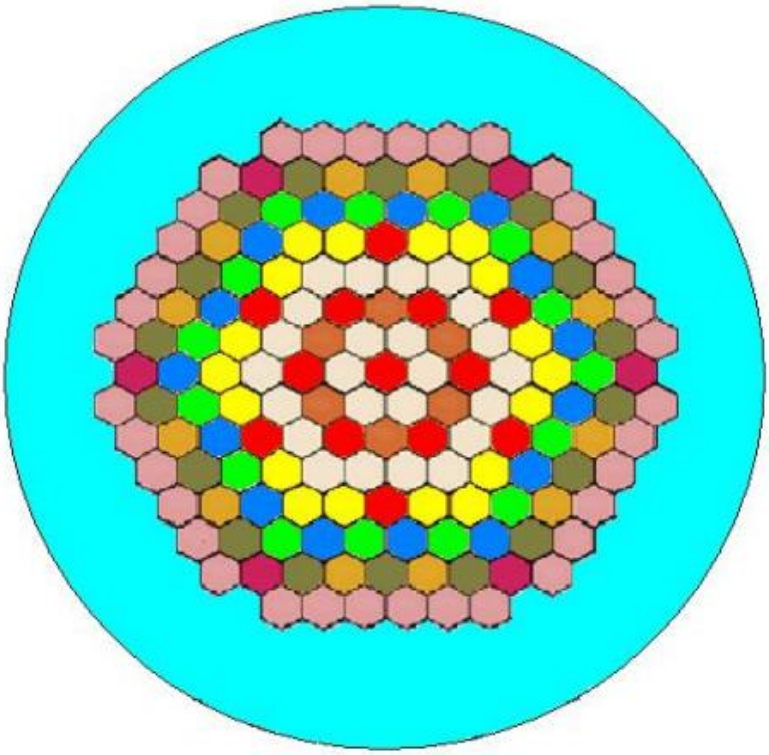
Reaktörün kontrolü ve güvenliğini sağlamak için kontrol ve koruma sistemi kullanılmaktadır. Kontrol çubukları, her yakıt demetinde "çubuk kümesi kontrol tertibatı (rod cluster control assembly-RCCA) olarak adlandırılan gruplar halinde düzenlenmiştir. Herbir RCCA, yirmi dört kontrol çubuğundan oluşur. RCCA'lar, çubuk kümesi kontrol sistemi tarafından hareket ettirilir. Reaktör korunda, reaktiviteyi değiştirmek ve reaktörü normal ve acil durumlarda kapatmak için kullanılan toplam 121 RCCA bulunmaktadır.

VVER-1200 reaktörünün standart yakıt çevrimi tek geçişli ve açıktır. İlk kor yüklemesinde, kritiklik elde etmek ve reaktörün düzgün bir şekilde çalışmasını sağlamak için gerekli tüm yakıt demetleri bulunur. Temel yakıt döngüsünü sağlamak için belirlenen periyotlardaki yakıt ikmal kesintileri sırasında, yakıt demetlerinin bir kısmı reaktörden çıkarılırken belirlenen zenginliklerde ve sayıda taze yakıt demeti reaktöre yüklenir. VVER-1200 reaktörleri için ilk yakıt değişimi reaktör ilk kez çalıştırıldıktan yaklaşık 18-24 ay sonra gerçekleşir ve takip eden yakıt ikmali genellikle her 12-18 ayda bir yapılır. Yakıt ikmali sırasında belirli sayıda yakıt demeti reaktörden alınmaktadır. Değiştirilecek demet sayısı işletme ve yakıt yönetim stratejilerine bağlıdır. Yakıt yönetiminde yakıtın yanma miktarı, nötron akısı dağılımı ve işletme verileri dikkate alınır. Yakıt ikmali sırasında genellikle kor içerisinde bulunan yakıt demetlerinin 1/3 ila 1/4'ü değiştirilir ve kor içindeki yakıt demetleri uygun nötron akısını korumak ve etkili yakıt kullanımını sağlamak için yeniden konumlandırılır [15].

Akkuyu'da kurulmakta olan VVER-1200 reaktörü için ilk kor yüklemesinde kullanılan yakıt demetlerine ait kesin bilgilere literatür taraması ile ulaşılamamıştır. Bu nedenle

örnek alınan bir VVER-1200 reaktörünün ilk kor yüklemesinde yakıt demetlerinin dizilimi Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Reaktör ilk kor yüklemesinde farklı yakıt demetleri gruplarının kullanılabileceği Çizelge 3.4'te görülmektedir [16]. Bu çalışmada ise, VVER-1200 (AES-2006) reaktörü ilk kor yüklemesinde kullanılabilecek yakıt demetleri için yakıt çubuğu zenginlik değişkeni % 2,4 ile %4,95 arasında olmak üzere geniş bir aralıkta incelenmiştir.

Kullanılan yakıt demeti grupları farklı zenginleştirme seviyelerine sahip yakıt çubuklarına (radyal profilleme), farklı yanabilir soğurucu IBA yakıt çubuğu sayılarına ve Gd_2O_3 yanabilir soğurucu ağırlık yüzdelerine sahiptir. Yakıt demetleri içindeki IBA yakıt çubukları, ağırlıkça %4 ile %8 arasında değişen Gd_2O_3 nötron soğurucu içerir, UO_2 yakıtın zenginliği ise ağırlıkça maksimum %4,95 dir. Ayrıca soğutucu ve yavaşlatıcı olarak kullanılan su içerisindeki borik asit konsantrasyonu işletme sırasında değişkenlik gösterebilmektedir.



Şekil 3.4 VVER-1200 reaktörü kor modellemesi, yatay kesiti

Çizelge 3.4 VVER-1200 reaktörü ilk kor yüklemesi için örnek yakıt demetleri

Renk	Yakıt Demeti Yakıt Zenginliği (%)	Yakıt Demeti Sayısı
	2,4	13
	3,6	18
	4,95	36
	2,4	6
	2,4	18
	3,6	15
	3,6	12
	4,95	6
	4,95	15

3.3. Serpent Monte Carlo Kodu

Yanma, bir nükleer reaktördeki yakıtın enerji üretme sürecindeki ilerlemenin ölçüsüdür ve genellikle nükleer reaksiyonlar sırasında yakıtın ne kadarının tükenmiş olduğunu gösterir. Yakıt yönetimi ve reaktör kor tasarımı gibi birçok nükleer uygulamada yanma hesaplamalarına ihtiyaç vardır. Yanma hesaplaması, reaktörün çalışması sırasında malzeme bileşimi ile nötronik özelliklerin değişimi ve gelişimi takip edilerek yapılır.

Yanma hesaplamaları için yaygın olarak kullanılan Serpent, nükleer reaktörlerin simülasyonlarını yapabilen Monte Carlo tekniğine dayanan bir yazılımdır. 2004 yılından itibaren Finlandiya'daki VTT Teknik Araştırma Merkezi'nde geliştirilen Serpent çok amaçlı üç boyutlu sürekli enerjili nötron ve foton taşıma kodudur. Serpent, nötron akışlarını, yakıt performansını ve radyoaktif atıkları simüle ederek, reaktör tasarımı, yakıt döngüsü yönetimi ve güvenlik analizlerinde önemli bir rol oynar. Serpent kodunun sağladığı detaylı ve doğruluklu simülasyonlar, nükleer mühendislik ve enerji sektörlerinde kritik kararların alınmasına yardımcı olur [17].

Serpent kullanımına ilişkin örnek senaryolar aşağıda verilmiştir:

Yeni Yakıt Tasarımının Değerlendirilmesi: Yeni bir yakıt türü veya tasarımının performansını değerlendirmek için Serpent kullanılabilir. Bu, yeni yakıtın enerji üretim kapasitesini, ömrünü ve güvenlik özelliklerini analiz etmek için yapılır.

Yakıt Çevrimi Optimizasyonu: Yakıt çevrimlerini optimize etmek ve daha verimli kullanmak için Serpent ile simülasyonlar yapılır. Bu çalışmalar, yakıtın kullanılabileceği süreyi ve enerji üretimini maksimize etmeyi hedefler.

Radyoaktif Atık Yönetimi: Radyoaktif atık ürünlerinin simülasyonu yapılır. Bu, atık yönetim stratejilerini geliştirmek ve atıkların çevresel etkilerini azaltmak için kullanılır.

Reaktör Güvenlik Analizleri: Reaktörün çeşitli işletme koşullarındaki performansını analiz eder. Güvenlik risklerini değerlendirmek ve önlemler almak için kullanılır.

Serpent ile yukarıda verilen senaryolar için gerçekleştirilen simülasyonlarda aşağıdaki adımlar ve özellikler kullanılır:

1. Reaktör ve Yakıt Modelinin Tanımlanması: İlk olarak, reaktör korunun geometrik düzeni ve yakıt elemanlarının yerleşimi, Serpent giriş dosyaları aracılığıyla tanımlanır. Bu, reaktör korunun iki ya da üç boyutlu modelini içerir ve yakıt çubuklarının, soğutucu, kontrol çubuklarının ve diğer bileşenlerin yerlerini belirtir. Daha sonra, yakıt çubuklarının ve diğer elemanların özellikleri (yakıt türü, zarf malzemesi, soğutucu vb.) tanımlanır. Serpent, farklı yakıt türlerinin (UO_2, MOX vb.) ve zenginliklerinin etkilerini değerlendirebilir.

2. Nötron Akışı Simülasyonu: Serpent, nötronların korun içindeki hareketini ve etkileşimlerini temel prensibi karmaşık bir problemi basitleştirmek amacıyla rastgele örnekler almak ve bu örnekler üzerinden sonuçlar tahmin etmek olan ve genellikle analitik çözümleri zor veya imkansız problemler için oldukça etkili bir yöntem olan Monte Carlo yöntemleri ile simüle eder. Bu simülasyon, nötronların yakıt çubuklarıyla etkileşimlerini ve kor içindeki dağılımlarını modellemek için kullanılır. Ayrıca, nötronların enerji spektrumunu ve nasıl dağıldığını analiz eder. Bu, yakıtın verimliliğini ve performansını etkileyen önemli bir faktördür.

3. Yakıt Performansının Analizi: Yakıtın fisyon süreçleri ve enerji üretimi simüle edilir. Serpent, yakıt çubuklarının ne kadar enerji ürettiğini ve hangi hızda fisyon reaksiyonlarının gerçekleştiğini belirler. Bununla birlikte, yakıtın zaman içindeki tükenme süreci ve performansı analiz edilir. Serpent, yakıtın reaktördeki ömrünü ve ne zaman değiştirilmesi gerektiğini hesaplayabilir. Yakıtın radyoaktif izotoplarının oluşumunu ve zaman içindeki bozunmalarını simüle eder. Bu, radyoaktif atıkların yönetimi ve depolama gereksinimlerinin belirlenmesinde yardımcı olur.

4. Sonuçların Analizi ve Raporlama: Nötron akışlarının ve enerji dağılımlarının detaylı analizleri sayesinde kor içindeki farklı bölgelerdeki nötron yoğunluğu ve yakıt performansı hesaplanabilir. Sonuçlar, yakıt tasarımı ve reaktör işletimi hakkında sağladığı önemli bilgiler ile yakıt performansı ve güvenliğinin değerlendirilmesinde

kullanılır. Ayrıca, farklı yakıt tasarımı ve çevrimi senaryoları üzerinde analizler yapılarak yakıt kullanımını optimize etmek ve reaktör performansını artırmak için kullanılır.

Monte Carlo yöntemlerini kullanarak yüksek doğrulukta simülasyonlar sağlaması, nötron akışları, enerji dağılımları ve yakıt performansı gibi detaylı analizler yapabilmesi, farklı yakıt türleri ve reaktör tasarımlarını simüle edebilmesi Serpent kullanımının başlıca avantajlarıdır. Bununla birlikte, Monte Carlo simülasyonlarının hesaplama açısından yoğun olması ve uzun süreler alması sebebi ile hesap maliyetlerinin artması, karmaşık reaktör geometrileri ve yakıt tasarımlarının modellenmesinin ekstra dikkat gerektirmesi ve zaman alması, tüm kor modelinin çalıştırılması için teknolojik olarak kaynakların yetersiz kalması ise Serpent kullanımının başlıca sınırlamaları arasındadır [18].

Bu çalışmada Serpent, yakıt demetlerinin yanma oranı ve tükenme hesaplamaları için kullanılmıştır. Serpent kodunda yanma hesaplaması, döngüsel iki adımdan oluşmaktadır. Taşıma döngüsü olarak adlandırılan ilk adımda, tüm nötron kaynaklı dönüşüm reaksiyonlarının oranları standart Monte Carlo yöntemleri kullanılarak hesaplanır. Elde edilen veriler nükleer veri kütüphanelerinden okunan radyoaktif bozunum sabitleriyle ve fisyon ürünü verimleri ile birleştirilir. İkinci hesaplama adımı, ışınlanmış malzemedeki izotopik değişiklikleri belirlemek için Bateman denklemlerinin çözülmesinden oluşur. Bateman denklemleri Eşitlik 3.1'de verilmiştir [19]:

$$\frac{dN_j}{dt} = \sum_{i \neq j} \lambda_{ij} N_i - \lambda_j N_j,\ N_j(0) = N_0, j = 1, .., n \qquad \text{(Eşitlik 3.1)}$$

Denklemde yer alan N_j, j çekirdeğinin atomik yoğunluğunu, n, toplam çekirdek sayısını, λ_{ij}, ise nötron kaynaklı reaksiyonların ve kendiliğinden radyoaktif bozunumların miktarlarını temsil eden katsayıları ifade etmektedir.

Hesaplama döngüsü, ikinci adımdan elde edilen güncellenmiş malzeme bileşimleri kullanılarak tekrar etmektedir. Yanma hesaplaması sonucunda malzemenin izotopik bileşimi, aktivite değerleri, kendiliğinden fisyon oranları, bozunum ısısı ve radyotoksisite verilerini içeren bir çıktı dosyası oluşur. Sonuçlar hem her bir radyoizotop için hem de kümülatif bir değer olarak çıktı dosyasına işlenir. Grup sabitleri ve diğer tüm çıktı parametreleri de hesaplanarak inputta tanımlanmış her bir yanma adımı için çıktı dosyasına yazdırılır [20].

3.4. VVER-1200 Reaktörü Yakıt Demetlerinin Serpent ile Modellenmesi

VVER-1200 reaktörünün ilk kor yüklemesinde kullanılabilecek yakıt demetlerinin içerikleri, yakıt zenginlikleri ve diğer değişkenler dikkate alınarak yakıt demetleri modellenmiş ve Serpent Monte Carlo kodu ile yanma analizleri gerçekleştirilmiştir. Yanma analizleri sonucunda elde edilen veriler ile kullanılmış yakıt demetlerinin içeriğindeki seçilmiş izotoplara ait veri setleri oluşturulmuştur.

VVER-1200 ilk kor yüklemesi için, kullanılmış nükleer yakıt demetlerinin karakteristiğine etki edebilecek değişkenlerin belirlenmesi ve değerlerinin seçilmesi ile farklı yakıt demeti modelleri için yanma hesaplamaları yapılmıştır. Yakıt demeti modellerinin oluşturulmasında kullanılan değişkenler ve bu değişkenlere ait değerler aşağıda verilmiştir:

1.Yakıt çubuğu zenginlikleri %2,4 ile %4,95 arasında değişmektedir.

2.Yakıt demeti içerisinde IBA yakıt çubukları olması durumunda, yakıt çubuğu zenginlikleri %3,0 ile %3,6 arasında, IBA yakıt çubuklarındaki nötron soğurucunun kütle oranı %4 ile %8 arasında, yakıt demeti içerisindeki IBA yakıt çubuklarının sayısı 6 ile 12 arasında değişmektedir.

3.Soğutucu ve yavaşlatıcı olarak kullanılan su içerisindeki borik asit konsantrasyonu 0 ppm, 750 ppm ve1500 ppm olarak değişmektedir.

4.Yanma miktarı için minimum 0,1 GWd/tU ile maksimum 60 GWd/tU arasındaki değerler alınmıştır.

Çalışmada yanma hesaplamaları için Serpent modellemelerinde kullanılan geometri ve malzeme parametreleri ile değerleri Çizelge 3.5'te verilmektedir.

Yanma hesaplamalarında kullanılan yakıt demeti değişkenleri ve bu değişkenlere ait değerler Çizelge 3.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 3.5 Yanma hesaplamalarında kullanılan parametreler ve değerleri

Parametre Grubu	**Parametre Adı**	**Değeri**
Geometri	Yakıt Demeti, Yakıt Çubuğu Dizilimi	Altıgen
	IBA'sız Yakıt Demeti, Yakıt Çubuğu Sayısı	312
	IBA'lı Yakıt Demeti, Yakıt Çubuğu Sayısı	300
	IBA'lı Yakıt Demeti, IBA Yakıt Çubuğu Sayısı	12
	Kılavuz Kanalı (adet)	18
	Kılavuz Kanalı Boşluk Yarıçapı (cm)	0,545
	Kılavuz Kanalı Zarf Yarıçapı (cm)	0,63
	Merkez Kanal (adet)	1
	Merkez Kanal Su Yarıçapı (cm)	0,545
	Merkez Kanal Zarf Yarıçapı (cm)	0,63
	Yakıt Kafesi Tipi	Altıgen
	Yakıt Kafesi Boyutu	23x23
	Yakıt Kafesi Aralığı (cm)	1,275
	Yakıt Çubuğu Merkez Boşluk Yarıçapı (cm)	0,06
	Yakıt Çubuğu Yarıçapı (cm)	0,38
	Yakıt Çubuğu Zarfı Yarıçapı (cm)	0,455
	Yakıt Demeti Aralığı (cm)	23,51
	Yakıt Demeti Yüksekliği (m)	4,75
	Yakıt Çubuğu Yüksekliği (güç üreten kısım) (m)	3,75
Malzeme	UO_2 Yakıt Yoğunluğu (g/cm³)	10,5
	UO_2+Gd_2O_3Yakıt Yoğunluğu (g/cm³)	10,3
	Soğutucu/Yavaşlatıcı Kütle Yoğunluğu (Borik Asitsiz) (g/cm³)	0,72
	Soğutucu/Moderatör Kütle Yoğunluğu (Borik Asitli) (g/cm³)	0,706
	Yakıt Çubuğu Zarfı, Zirkonyum Alaşımlı	E110
	E110 Kütle Yoğunluğu (g/cm³)	6,45
	Yakıt Sıcaklığı (°C)	600
	Soğutucu ve Diğer Malzemeler için Sıcaklık (°C)	300

Çizelge 3.6 Yanma hesaplamalarında kullanılan yakıt demeti değişkenleri ve değerleri

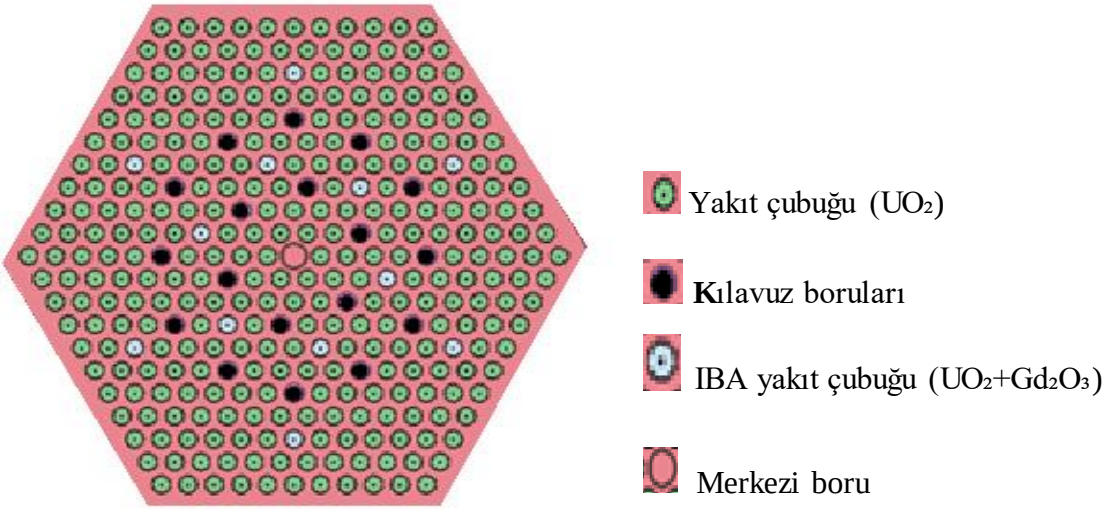
Borik Asit Konstantrasyonu (ppm)	IBA içeren Yakıt Demeti			IBA içermeyen Yakıt Demeti	Yanma Miktarı (GWd/tU)
	UO_2+Gd_2O_3 IBA Yakıt Çubuğu Sayısı (adet)	IBA Yakıt Zenginliği (ağırlıkça %)	IBA Yakıtı Gd_2O_3 Oranı (ağırlıkça %)	Yakıt zenginliği (ağırlıkça %)	
0	0	3,0	4	2,4	0,1
750	6	3,6	5	3,0	0,5
1500	12		8	3,7	1,0
				4,0	10
				4,4	20
				4,7	30
				4,95	40
					50
					60

Yanma analizlerine, %3.0 zenginliğe sahip yakıt çubuklarını içeren, IBA'sız ve 1500 ppm borik asit konsantrasyonuna sahip yakıt demetleri için 2 boyutlu ve 3 boyutlu modelleme yapılarak başlanmıştır. Söz konusu yakıt demeti için 2 ve 3 boyutlu modeller kullanılarak yapılan yanma analizlarinden elde edilen kullanılmış yakıt envanterleri karşılaştırılmıştır. Kullanılmış nükleer yakıt yakıt demeti içerisindeki izotop kütleleri, aktivite değerleri ve ısıl güçleri 2 ve 3 boyutlu modeller için karşılaştırmalı olarak EKLER bölümünde sırasıyla Çizelge Ek1.1, Çizelge Ek1.2 ve Çizelge Ek1.3'te sunulmuştur. Karşılaştırmalı veri setlerinde de görüldüğü üzere elde edilen izotop kütle miktarı, aktivite ve ısıl güç değerleri üzerinde modellemenin büyük farklara sebep olmamasından dolayı tüm yakıt demetleri için yanma analizleri 2 boyutlu modelleme ile yapılmıştır.

VVER-1200 reaktörü ilk kor yüklemesinde kullanılabilecek yakıt demeti modellemeleri için Çizelge 3.5'te verilen geometri ve malzeme özellikleri ile Çizelge 3.6'da yer alan değişkenler ve seçilen değerleri kullanılmıştır. Çizelge 3.7'de sunulmakta olan toplam 41 adet farklı yakıt demeti modeli için Serpent Monte Carlo kodu ile 2-boyutlu yanma hesaplamaları yapılmıştır.

Yanma hesaplamalarına ait sonuçların derlenmesi ile kullanılmış yakıt demetleri içerisinde oluşacak nükleer madde envanteri için izotop kütleleri, aktivite değerleri ve ısıl güçlerine ait veri setleri oluşturulmuştur.

Şekil 3.5'te 12 adet IBA yakıt çubuğu bulunan yakıt demetleri için 2-boyutlu Serpent modelinin örnek bir kesiti sunulmuştur.



Şekil 3.5 12 adet IBA yakıt çubuklu yakıt demeti 2-boyutlu Serpent modeli kesiti

Serpent kodunda yanma hesaplama modundaki ışınlama geçmişi toplamda 9 grupta (batch) olacak şekilde "dep" kartı kullanılarak tanımlanmıştır. Kullanılmış yakıt demetinin nükleer madde envanterinin belirlenmesinde 0,1 , 0,5 , 1,0 , 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 GWd/tU yanma miktarı değerleri alınmıştır. Yakıt demeti yanma hesaplamalarında sınır koşulu periyodik seçilmiştir. ENDF/B-VII veri kütüphanesi kullanılmıştır. Kritiklik için 500 inaktif döngü ve 20 aktif döngü kullanılmış, döngüde 2.000 adet nötron ile transport hesaplamaları yapılmıştır. Modellenen her bir yakıt demetindeki nükleer madde envanteri için Çizelge 3.7'de verilen değişkenler ve değerlerle yanma hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarla kullanılmış yakıt içerisindeki izotopların kütleleri, aktivite değerleri ve ısıl güçleri için yanma miktarına bağlı veri setleri oluşturulmuştur.

Çizelge 3.7 Yakıt demeti değişkenleri, değerleri ile yakıt demeti model kodları

$UO_2+Gd_2O_3$ IBA yakıt çubuğu özellikleri			UO_2 Yakıt Çubuğu U-235 zenginliği (ağrlıkça %)	Borik Asit Yoğunluğu (ppm)	Serpent Yakıt Demeti Model Kodu
IBA Sayısı	U-235 zenginliği (ağrlıkça %)	Gd_2O_3 Miktarı (ağrlıkça %)			
12	3,6	8	2,4	750	24087560
12	3,6	8	3,0	750	30087560
12	3,6	8	3,7	750	37087560
12	3,6	8	4,0	750	40087560
12	3,6	8	4,4	750	44087560
12	3,6	8	4,7	750	47087560
12	3,6	8	4,95	750	49087560
12	3,6	8	2,4	1500	24081560
12	3,6	8	3,0	1500	30081560
12	3,6	8	3,7	1500	37081560
12	3,6	8	4,0	1500	40081560
12	3,6	8	4,4	1500	44081560
12	3,6	8	4,7	1500	47081560
12	3,6	8	4,95	1500	49081560
12	3,0	5	2,4	750	24057560
12	3,0	5	3,0	750	30057560
12	3,0	5	3,7	750	37057560
12	3,0	5	4,0	750	40057560
12	3,0	5	4,4	750	44057560
12	3,0	5	4,7	750	47057560
12	3,0	5	4,95	750	49057560
12	3,0	5	2,4	1500	24051560
12	3,0	5	3,0	1500	30051560
12	3,0	5	3,7	1500	37051560
12	3,0	5	4,0	1500	40051560
12	3,0	5	4,4	1500	44051560
12	3,0	5	4,7	1500	47051560
12	3,0	5	4,95	1500	49051560
0	0	0	3,0	750	30007560
0	0	0	3,0	1500	30001560
12	3,6	4	4,95	750	49047560
12	3,6	4	4,95	1500	49041560
6	3,6	5	3,0	750	30057560_6Gd
6	3,6	5	3,0	1500	30051560_6Gd
0	0	0	3,0	0	3000000_NoBorNoGd
12	3,6	4	3,0	0	30040060_NoBor
0	0	0	3,0	1500	30001560_3D

3.5. Kullanılmış Yakıt Demeti Veri Setleri için Radyoizotop Seçimi

Bu çalışmada, yanma hesaplamaları sonucunda oluşturulan veri setlerinde yer alan izotopların seçiminde, kullanılmış nükleer yakıt yönetimi süreçlerinde önemli olan, yarılanma ömrü, nükleer silahsızlanma, tükenme kredisi, radyolojik güvenlik, atık yönetimi, tıbbi ve endüstriyel kullanım için yeniden kazanabilme kriterleri göz önünde bulundurulmuştur [21]. Veri setleri, kullanılmış yakıt yönetimi adımlarındaki önemleri ile birlikte aşağıda verilen izotoplar dikkate alınarak hazırlanmıştır:

Uranyum İzotopları:

U-234, U-235, U-236, U-238 izotopları veri setlerinde yer almıştır. U-235 izotopu, kullanılmış yakıt içerisinde büyük oranda tükenmiştir. U-238, Pu üretimine katkıda bulunur. Nükleer silah ve yeniden işleme potansiyeli açısından önemlidir. U-234 yavaş nötronla fisil olabilir ve uzun ömürlüdür. U-236 uzun yarılanma ömürlüdür, U-235'in nötron yakalamasıyla oluşur ve kullanılmış yakıtın yanma oranını gösteren izotoplardandır.

Plütonyum İzotopları:

Kullanılmış nükleer yakıttaki Pu izotopları ve miktarları, yakıtın türüne ve yanma süresine bağlı olarak değişir. Pu izotoplarından Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242 nükleer enerji ve silah teknolojisinde en kritik rolleri oynayan radyoaktif elementler arasındadır. Pu-239 hem enerji üretiminde yakıt olarak hem de nükleer silahlarda kullanılabilir fisil izotoptur. Pu-240 ve Pu-242 nükleer silah yapımında istenmeyen, uzun yarı ömürlü izotoplardır ve atığın radyoaktiflik yükünü arttırır. Pu-241 radyoaktiftir ve bozunduğunda Am-241 oluşur, bu da uzun vadeli radyotoksidite yaratır. Pu izotopları geri dönüşüm (MOX yakıtı) ve nükleer silahsızlanma açısından önemlidir.

Aktinitler:

Amerikyum (Am) izotopları çok uzun yarı ömürleri ve yüksek toksisiteleri nedeniyle atık yönetimini karmaşıklaştırmaktadır. Kimyasal olarak reaktif değillerdir ama biyolojik sistemlerde zararlı etki gösterebilirler. Gelişmiş nükleer sistemlerde bu izotoplar yeniden işlenip enerji üretiminde kullanılabilir. Am-241 alfa ve gama ışını yayar. Yutulması veya solunması durumunda yüksek dozda doku hasarına neden olur. Gama radyasyonu nedeniyle koruyucu zırhlama ve yeraltı izolasyonu gerektirir. Am-243 de alfa yayar ve uzun yarı ömürlüdür.

Küriyum (Cm) izotopları yüksek radyotoksisiteleri, yüksek enerjili gama radyasyonu ile birlikte alfa yayımı ve uzun yarı ömürleri nedeniyle radyoaktif atık yönetimi açısından kritik öneme sahiptirler. Cm-242 izotopu, Pu-241 ve Am-241 in bozunmasıyla oluşur. Yarılanma ömrü kısa olup reaktörde nötron kaynağıdır, alfa yayar. Reaktörlerde izotopik zararlara yol açabilir. Yüksek enerji üretir, ancak kontrol edilmesi zordur. Cm-243 ise Np-243'ün nötron yakalamasıyla oluşur, yarılanma ömrü 29,1 yıldır alfa kaynağıdır. Cm-244, Pu-244'ün bozunmasıyla oluşur. Alfa ve gama yayar, kısa ömürlüdür fakat yoğun ısı üretimi nedeniyle atık kaplarının sıcaklığı artırabilir. Cm-245, Cm-246 ve Cm-247 gibi uzun ömürlü izotopları ise uzun vadeli radyoaktivite sorunu yaratır. Kullanılmış yakıtın 10 yıl ve sonrası dönemlerinde, Cm izotopları başlıca ısı üreticisi haline gelir.

Neptünyum-237 izotopu, uzun yarı ömrü ve radyolojik özellikleri nedeniyle radyoaktif atık yönetimi, yeniden işleme ve nükleer silahlanma açısından önemlidir. Alfa yayıcıdır, zayıf gama ışını da yayar. Spontan fisyon yapma kapasitesi vardır. Silah yapılabilir özelliği sebebi ile nükleer güvence denetimleri açısından da önem taşır. Yüksek düzeyde radyotoksisitesi ve uzun ömürlü olması sebebiyle nükleer atıklarda izolasyon gerektirir.

Fisyon Ürünleri:

Seryum (Ce-144) izotopu yakıtın radyoaktif bozunma süreci sırasında oluşur ve beta bozunumu yaparak diğer izotoplara dönüşür. Ce-144'ün varlığı, özellikle kullanılmış yakıtın radyasyon özelliklerini ve yönetimini anlamak açısından önemlidir. Ce-144'ün beta bozunumu yaparak Praseodim-144 (Pr-144)'e dönüşmesi, nükleer reaktörlerdeki yakıtın radyoaktif bozunma sürecinin bir parçasıdır. Bu dönüşüm sırasında beta parçacıkları (elektronlar) ve bazen de gamma ışınları yayılır, kullanılmış yakıtın güvenli depolanması ve işlenmesi gerekliliğini artırır. Yarılanma ömrü yaklaşık 9,4 ay olsa da, düşük-orta seviyede radyasyon yayması nedeniyle, atıkların güvenli depolanması sırasında dikkate alınması gereken bir izotoptur. Ce-144'ün beta bozunumu sırasında ürettiği enerji, kullanılmış yakıtın ısıl yönetimi açısından önemlidir. Kullanılmış yakıtlar, zamanla bozunma süreciyle ısıl enerji üretir, bu da soğutma sistemleri ve depolama koşullarının doğru bir şekilde ayarlanmasını gerektirir. Ce-144'ün sürekli radyasyon yayması, yakıtın soğutma gereksinimlerini etkileyebilir ve depolama alanlarının termal yönetimini gerektirir.

Molibden (Mo-95) izotopu radyoaktif olması ve bozunması sırasında beta ve gamma ışınımı yayması sebebi ile kullanılmış yakıtın ısıl üretimini ve radyasyon seviyelerini doğrudan etkiler. Mo-95, beta bozunumu yaparak Rutenyum-95 (Ru-95)'e dönüşür. Bu bozunma sırasında ortaya çıkan radyoaktif ışınımlar, kullanılmış yakıtın radyasyon seviyelerini artırır, bu da yakıtın güvenli bir şekilde işlenmesini ve depolanmasını gerektirir. Mo-95, kısa ömürlü bir izotop olsa da, ilk yıllarda yüksek radyasyon seviyeleri üretebilir.

Rodyum (Rh-103) izotopu kısa ömürlü radyoaktif bir izotop olup, beta bozunumu yaparak Palladyum-103 (Pd-103)'e dönüşür. Kısa ömürlü olmakla birlikte, ilk yıllarda yüksek radyasyon ürettiği için, nükleer atıkların depolama alanlarında güvenli yönetimini gerektirir. Zamanla, radyasyon seviyesi düşer, ancak ilk yıllarda soğutma ve güvenlik açısından önemlidir.

Kalay (Sn-126) izotopu yakıtın işlenmesi ve depolanması sırasında önemli bir dikkati gerektirir. Yarı ömrünün uzunluğu, bu izotopun nükleer atık olarak yönetilmesini çok daha karmaşık hale getirir. Sn-126'nın bozunma süreci, özellikle beta bozunumu ile gerçekleşir ve ısıl enerji üretimine katkıda bulunabilir, soğutma gereksinimlerini artırır. Yüksek radyasyon seviyeleri özellikle toprak ve su kirliliğine yol açabilir. Ayrıca, biyoakümülasyon riski taşıyan bir izotop olduğu için biyolojik sistemlere zarar verebilir. Kalıcılığı nedeniyle, Sn-126'nın çevresel etkileri, uzun vadede insan sağlığı üzerinde de olumsuz sonuçlar doğurabilir. Sn-126 gibi uzun ömürlü izotoplar, yakıt işleme tesislerinde de dikkatle izlenmeli ve işlenmelidir. Çünkü bu izotoplar, işlenmiş yakıtın geri dönüşümüne ve yeniden kullanılabilir hale gelmesine yönelik süreçlerde radyasyon riski oluşturabilir.

Cs izotopları, özellikle Cs-134 ve Cs-137, yüksek radyotoksisiteleri ve uzun yarı ömürleri nedeniyle hem radyolojik güvenlik hem de çevresel etki açısından en kritik fisyon ürünleri arasındadır. Cs-137 izotopu yoğun gama ışını yayar (662 keV). Bu gama radyasyonu, insan dokusuna derinlemesine nüfuz eder, harici maruziyette ciddi risk taşır. Cs-134 izotopu, kısa yarı ömrüne rağmen yoğun gama yayımı yapar. Harici doz katkısında kısa vadede Cs-137 kadar önemlidir. Cs-135, Xe-135 (kısa ömürlü bir fisyon ürünü) izotopunun bozunması sonucu ortaya çıkar. Uzun yarı ömrü nedeniyle radyoaktif atıkların içinde önemli bir bileşendir. Kısa vadede çok tehlikeli değildir, ancak uzun

vadeli çevresel etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Bertaraf tesislerinde Cs-135'in yer altı suyu ile taşınımı ve biyolojik sistemlerle etkileşimi önemlidir.

Sr-90 izotopu beta yayıcıdır, gama ışını yaymaz, bu yüzden dış radyasyon açısından sınırlı tehlikelidir ancak yutma veya soluma yoluyla vücuda alındığında kemiklerde birikir. Sr-90 suyla kolay taşınır, bu nedenle yeraltı sularına sızma riski yüksektir. Bitkiler tarafından alınarak gıda zincirine girebilir, süt, et ve sebzelerde tespit edilebilir.

Teknesyum-99, kullanılmış nükleer yakıt içerisindeki en yaygın fisil olmayan uzun ömürlü izotoplardan biridir. Tc-99, düşük enerjili beta yayıcı olmasına rağmen çok uzun yarı ömrü ve çevreye kolay taşınabilirliği nedeniyle atık güvenliği açısından büyük risk taşır. Jeolojik bertaraf tesisi tasarlanırken, özellikle yeraltı suyu ile taşınımı dikkate alınmalıdır.

Rutenyum (Ru) izotopları hem fisil olmayan metalik fisyon ürünleri olarak, hem de katalitik ve kimyasal direnç özellikleri açısından nükleer yakıt döngüsünde dikkate alınırlar. Ru-103 ve Ru-106, nükleer atıkların ilk birkaç yılındaki radyasyon ve ısı yüküne önemli katkı sağlar.

Palladyum (Pd) izotopları kullanılmış nükleer yakıtta kimyasal kararlılığı, düşük radyotoksisitesi ve platin grubu metallere ait olması nedeniyle hem atık yönetimi, hem de geri kazanım açısından değerli bir elementtir. Geri kazanımı durumunda, otomotiv katalitik konvertörler, hidrojen absorpsiyon sistemleri, elektronik ve lehimleme ile kimyasal reaksiyon katalizörleri olarak kullanılabilirler. Pd, ekonomik değeri yüksek bir metal olduğu için ileri atık işleme ve nükleer kaynaklı değerli metal geri kazanımı açısından önemlidir.

Antimon (Sb) izotopları uçucu olmayan metalik fisyon ürünleri arasında yer alır. Kullanılmış nükleer yakıtta hem radyoaktif Sb izotopları, hem de kararlı formları bulunabilir. Sb-129, yanma sırasında yüksek miktarda üretilir fakat yarı ömrü çok kısa olduğundan hızla bozunarak Te-129'a dönüşür. Sb-125, kullanılmış yakıtta önemli bir orta vadeli gama radyasyon kaynağıdır. Uzun vadeli atık formlarında radyasyon yükü ve ısı üretimi açısından dikkatle izlenir.

Selenyum (Se) izotoplarının bazıları kısa ömürlü ve radyolojik açıdan etkinken, bazıları kararlıdır. Se-75, kısa ömürlü bir gama yayıcıdır, sadece erken dönem atık yönetiminde önemlidir. Se-79, uzun ömürlü ve çevresel olarak dikkatle izlenmesi gereken bir beta yayıcıdır. Kimyasal formuna bağlı olarak yeraltı suları ile taşınabilir, jeolojik depolamada izotop taşınımı açısından önemlidir. Toplam radyoaktiviteye katkısı sınırlı olsa da, çok uzun yarı ömrü nedeniyle önemlidir.

Samaryum (Sm) izotopları özellikle uzun süreli depolama ve atık yönetimi için önemli olan beta ve gama kaynaklarıdır. Sm-144'ün yarılanma ömrü 103 yıldır, beta ve gama yayımı yapar. Gama enerjisi 1,14 MeV civarındadır. Orta ömürlü ve fisyondan kaynaklanan önemli izotoplardan biridir, atık yönetiminde önemlidir. Sm-147 ise uzun yarılanma ömrü nedeniyle jeolojik bertarafta izlenmesi gereken bir izotop olarak kabul edilir. Beta yayar ve Nd-147 kararlı son ürününe dönüşür. Sm-148 izotopu beta ve gama yayar, yarılanma ömrü 7,4 yıldır. Kullanılmış yakıtta düşük düzeyde radyoaktiviteye sahip olsa da atık yönetiminde dikkate alınır. Sm-149, en güçlü nötron soğuruculardan birisidir ve reaktörün çalışması sırasında önemli bir reaktivite düşürücü etkisi vardır. Kullanılmış yakıt Sm-149 miktarı, reaktörün geçmiş reaktivite profili, yakıtın yanma derecesi ve kritikliğini değerlendirmede kullanılır. Sm-150, kararlı bir samaryum izotopudur ve nükleer yakıt döngüsünde Sm-149'un nötron yakalaması sonucu oluşur. Kendisi nötronları çok zayıf bir şekilde soğuran bir izotop olduğu için, reaktör reaktivitesi üzerinde neredeyse etkisizdir. Ancak, kullanılmış yakıtlarda Sm-149'un ne kadarının tüketildiği, Sm-150 miktarından tahmin edilebilir.

Europiyum (Eu) izotopları, çevresel izleme açısından önemlidirler. Eu-152 izotopunun yarılanma ömrü 13,5 yıl olup beta bozunması ile kararlı Sm-152 ye dönüşür. Aynı zamanda gama yayar ve gama enerjisi yaklaşık 0,14 MeV ve 1,4 MeV arasında değişir. Gama yayıcı olduğu için izlenmesi gereken bir izotoptur. Eu-154 ve Eu-155 kısa ömürlü beta ve gama yayıcıdır. Bu nedenle, kullanılmış yakıtın erken dönem yönetiminde önemli birer radyasyon kaynağıdır.

Gadolinyum (Gd) izotopları nötron soğurma özelliği çok yüksek olan elementlerdir. Kullanılmış yakıt içeriğinde bulunan Gd-154, diğer nötron soğurucu izotoplarla birlikte, nötron akışını kontrol etmeye yardımcı olur, atık yönetimi sırasında güvenli depolama ve işleme gereksinimlerini belirleyicidir. Gd-155 izotopu, çok yüksek nötron yakalama

yeteneği nedeniyle, nükleer reaktörlerde nötron zehiri olarak büyük rol oynar. Reaktördeyken büyük oranda tüketildiği için, kullanılmış yakıttaki Gd-155 miktarı düşer. Bu düşüş sayesinde, yakıtın ne kadar "yanmış" olduğunu (burnup) anlamak mümkündür. Gd-155'in kalıntı miktarı, nükleer adli analizlerde veya atık yönetiminde izleyici olarak kullanılabilir. Gd-156'nın varlığı da kullanılmış nükleer yakıtın yanma oranını ve ne kadar süre çalıştığını gösteren önemli bir göstergedir. Gd-157/Gd-158 oranı, reaktörün çalışma süresini ve yanma derecesini ölçmekte kullanılır. Yakıt yönetimi, yeniden işleme (reprocessing) ve kritiklik analizlerinde değerlidir. Diğer gadolinyum izotopları nötron yakalayarak tükenirken, Gd-160 miktarı değişmeden kalır. Bu nedenle Gd-160, kullanılmış yakıtta referans izotop olarak kullanılabilir ve yanma derecesinin değerlendirilmesinde karşılaştırma yapılabilir.

Neodimyum (Nd) izotopları genellikle kararlıdır, bu da onları radyolojik olarak düşük riskli, fakat nükleer yakıt analizinde iz bırakıcı olarak önemli hale getirir. Nd-143, Nd-144, Nd-145, Nd-146, Nd-148 ve Nd-150 izotopları kararlı fisyon ürünleri olarak kullanılmış nükleer yakıt içinde bulunurlar. Bu izotoplar, yakıtın yanma oranını belirlemede kullanılır.

Palladyumun (Pd) hem kararlı hem de radyoaktif izotopları mevcuttur. Pd-105, kararlı bir palladyum izotopudur ve kullanılmış yakıt analizinde kullanılabilir. Pd-107 izotopunun yarılanma ömrü uzundur ve beta yayar. Çok uzun ömürlü olması nedeniyle uzun süre izlenmesi gereken bir izotoptur. Pd-108 izotopunun kendisi radyoaktif değildir, ancak nükleer fisyon sonrası oluşan kararlı ürünlerden biri olması nedeniyle nükleer atık analizlerinde önemlidir. Pd-108'in varlığı ve miktarı, diğer fisyon ürünleriyle karşılaştırıldığında yanma hesaplamalarına katkı sağlar. Örneğin Pd-108/Cs-137 gibi oranlar kullanılarak soğuma süresi ve reaktör geçmişi hesaplanabilir.

Prometyum (Pm) izotoplarının tümü radyoaktiftir. Pm-147 izotopu kullanılmış nükleer yakıt içerisindeki en önemli Pm izotopudur. Yarılanma ömrü 2,62 yıldır ve beta bozunması ile Sm-147 ye dönüşür, ilk birkaç yılda atığın ısıl yüküne ve aktivitesine katkı yapar.

Kararlı bir izotop olan Gümüş-109 (Ag-109) izotopu, kullanılmış nükleer yakıt içinde veya reaktör bileşenlerinde iz elementi olarak bulunabilir, ancak Ag-109 doğrudan fisyon

ürünü değildir. Yüksek nötron akısı altındaki ortamda gümüş aktive olur. Ag-110, radyoaktif bir izotoptur ve özellikle Ag-110m (metastabil hali) formuyla nükleer reaktör ortamında nötron aktivasyonu yoluyla oluşur. Bu izotop kısa ömürlü beta ve gama yayıcı olarak bilinir ve kullanılmış nükleer yakıt ya da reaktör yapısal malzemeleri içinde yer alabilir.

Bu çalışmada, yanma hesaplamaları sonucunda elde edilen ve kullanılmış nükleer yakıt içerisindeki madde envanterine ait veri setleri için seçilen izotoplar Çizelge 3.8'de verilmiştir [21,22].

Çizelge 3.8 Kullanılmış nükleer yakıt madde envanteri için seçilen izotoplar [21,22]

Nükleer Madde Envanteri İçin Seçilen İzotoplar					
İzotop	**Yarılanma Ömrü**	**Yanma Kredisi**[1]	**Radyolojik Güvenlik**[2]	**Atık Yönetimi**	**Açıklama**
U-234	$2.455x10^5$ yıl	■		■	
U-235	$7.037x10^8$ yıl	■		■	
U-236	$2.342x10^7$ yıl	■		■	
U-238	$4.468x10^9$ yıl	■		■	
Pu-238	87,71 yıl	■	■	■	
Pu-239	$2,41x10^4$ yıl	■	■	■	
Pu-240	$6,56x10^3$ yıl	■		■	
Pu-241	14,35 yıl	■		■	
Pu-242	$3.73x10^5$ yıl	■	■	■	
Am-241	432,6 yıl		■	■	
Am-242	141 yıl	■	■	■	
Am-243	7.370 yıl	■		■	
Cm-242	162,8 gün		■		
Cm-243	29,1 yıl	■			MOX ve yüksek yanmalı UOX yakıtı
Cm-244	18,1 yıl		■		
Cm-245	8.500 yıl	■		■	MOX ve yüksek yanmalı UOX yakıtı
Cm-246	4.760 yıl				
Cm-247	$15,6x10^6$ yıl				
Np-237	$2,14x10^6$ yıl	■		■	
Ce-144	284,9 gün		■		
Cs-133	Kararlı	■			
Cs-134	2.065 yıl		■		
Cs-135	$2,3x10^6$ yıl			■	
Cs-137	30,07 yıl		■	■	Yanma göstergesi ve Ba-137 nin bozunma öncüsü
Eu-151	Kararlı	■			
Eu-152	13,54 yıl				
Eu-153	Kararlı	■			

Nükleer Madde Envanteri İçin Seçilen İzotoplar					
İzotop	**Yarılanma Ömrü**	**Yanma Kredisi**[1]	**Radyolojik Güvenlik**[2]	**Atık Yönetimi**	**Açıklama**
Eu-154	8,59 yıl		■		
Eu-155	4.753 yıl	■			Gd-155 in bozunma öncüsü
Gd-154	Kararlı				
Gd-155	Kararlı	■			
Gd-156	Kararlı				
Gd-157	Kararlı				
Gd-158	Kararlı				
Gd-160	Kararlı				
Mo-95	Kararlı				
Nd-143	Kararlı				
Nd-144	2,29 $x10^{15}$ yıl				
Nd-145	Kararlı				
Nd-146	Kararlı				
Nd-148	Kararlı				
Nd-150	1,1 $x10^{19}$ yıl				
Pd-105	Kararlı				
Pd-108	Kararlı				
Pm-147	2.623 yıl	■			Sm-147 nin bozunma öncüsü
Rh-103	Kararlı				
Ru-101	Kararlı				
Ru-106	371,6 gün				
Sb-129	4.366 saat				
Se-79	$2,95x10^{5}$ yıl				
Sm-147	$1,06x10^{11}$ yıl	■			
Sm-148	$8x10^{15}$ yıl				
Sm-149	Kararlı	■			
Sm-150	Kararlı	■			
Sm-151	90 yıl	■			Eu-151 in bozunma öncüsü
Sm-152	Kararlı	■			
Sm-154	Kararlı				
Sn-126	$1,0x10^{5}$ yıl				
Sr-90	28,9 yıl				
Tc-99	$2.111x10^{5}$ yıl				
Ag-109	Kararlı		■		

[1] *Yanma Kredisi (Burnup Credit): Kullanılmış yakıtın analizlerinde gerçek yanma derecesi ve içeriğindeki izotopik değişimi dikkate alan yöntemdir. Yakıt içerisinde kalan fisil malzemelerle birlikte fisyon ürünleri de analizlere dahil edilir. Böylece hem güvenlik sınırları korunur hem de tasarım optimizasyonu sağlanır.*

[2] *Radyolojik Güvenlik (Radiological Safety): Kullanılmış nükleer yakıtların taşınması, depolanması ve bertarafı süreçlerinde çevre ve insan sağlığına yönelik riskler açısından değerlendirilmesidir. Yakıt içerisindeki radyoaktif izotopların aktivitesi, ışınım türü (alfa, beta, gama) ve doz oranları gibi parametreler analizlere dahil edilir.*

4. SONUÇLAR

Tezin bu bölümünde, Çizelge 3.7'de yer alan değişkenler ve değerleri kullanılarak oluşturulan yakıt demeti modellerinin Serpent Monte Carlo kodu ile yapılan yanma analizleri sonucunda elde edilen veriler derlenerek kullanılmış yakıt demetleri içerisindeki nükleer madde envanteri için seçilen ve Çizelge 3.8'de verilen izotoplara ait veri setleri oluşturulmuştur.

Kullanılmış yakıt demeti içerisindeki nükleer madde envanterine ait veri setleri üç ana başlıkta hazırlanmıştır:

- Yanma miktarına bağlı olarak kullanılmış yakıt demeti içerisindeki izotoplara ait "Kütle Veri Seti"nde, kullanılmış yakıt demeti içerisindeki izotopların kütle miktarları, tüm yakıt demeti modellerinin yanma analizlerinden elde edilen sonuçlar üzerinden derlenerek, maksimum, minimum ve ortalama değerleri (gram) ile yer almaktadır.
- Yanma miktarına bağlı olarak kullanılmış yakıt demeti içerisindeki izotoplara ait "Aktivite Veri Seti"nde, kullanılmış yakıt demeti içerisindeki izotopların aktivite değerleri, tüm yakıt demeti modellerinin yanma analizlerinden elde edilen sonuçlar üzerinden derlenerek, maksimum, minimum ve ortalama değerleri (Bq) ile yer almaktadır.
- Yanma miktarına bağlı olarak kullanılmış yakıt demeti içerisindeki izotoplara ait "Isıl Güç Veri Seti"nde, kullanılmış yakıt demeti içerisindeki izotopların ısıl güç değerleri, tüm yakıt demeti modellerinin yanma analizlerinden elde edilen sonuçlar üzerinden derlenerek, maksimum, minimum ve ortalama değerleri (Watt) ile yer almaktadır.

Sonuçların ilk bölümünde, yakıt demeti modellemelerinin tüm kombinasyonları için yapılan 41 adet yanma hesaplamasına ait sonuçların derlenmesi ile oluşturulan veri setleri yer almaktadır.

Sonuçların ikinci bölümünde, yanma hesaplamalarında dikkate alınan değişkenlerin, kullanılmış yakıt içerisindeki madde envanterine etkisini değerlendirebilmek için tek

yakıt zenginliği detayında (en yüksek yakıt zenginliği olan %4,95 için) veri setleri oluşturulmuştur.

Sonuçların üçüncü bölümünde ise, soğutucu ve yavaşlatıcı olarak kullanılan su içerisindeki borik asit konsantrasyonu değişkeninin kullanılmış yakıt içerisindeki nükleer madde envanterine etkisini değerlendirmek için U-235 ve U-238 izotoplarının tükenme değerleri ile Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, U-236, U-239 izotoplarının kütle değişimleri, yakıt demeti toplam aktivite değerleri ve yakıt demeti toplam ısıl güç değerleri için elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Dördüncü bölümde, IBA yakıt çubuklarındaki yanabilir nötron soğurucunun kütle oranındaki değişimin kullanılmış yakıt içerisindeki nükleer madde envanteri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

4.1. Kullanılmış Nükleer Yakıt Demeti Kütle Veri Seti

Bu çalışma kapsamında modellenen tüm yakıt demetleri için yapılan yanma hesaplamaları sonucunda elde edilen ve kullanılmış nükleer yakıt demetleri içerisinde takip edilen izotopların yanma miktarına bağlı olarak minimum, maksimum ve ortalama kütle (gram) değerlerinin yer aldığı Kütle Veri Seti Çizelge 4.1'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.1 Kullanılmış nükleer yakıt demetleri için kütle veri seti

Kullanılmış Yakıt Demeti İçerisindeki İzotoplar ve Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Kütle (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
U-234	**Minimum**	0,00E+00	1,46E-02	2,92E-02	2,43E-01	4,02E-01	5,41E-01	7,08E-01	9,32E-01	1,21E+00
	Maksimum	0,00E+00	2,82E-02	5,62E-02	5,07E-01	9,11E-01	1,24E+00	1,56E+00	1,91E+00	2,32E+00
	Ortalama	0,00E+00	2,17E-02	4,34E-02	3,84E-01	6,74E-01	9,15E-01	1,16E+00	1,44E+00	1,79E+00
U-235	**Minimum**	1,14E+04	1,11E+04	1,08E+04	6,94E+03	4,14E+03	2,36E+03	1,28E+03	6,67E+02	3,41E+02
	Maksimum	2,35E+04	2,32E+04	2,29E+04	1,83E+04	1,41E+04	1,06E+04	7,75E+03	5,49E+03	3,75E+03
	Ortalama	1,85E+04	1,82E+04	1,79E+04	1,35E+04	9,77E+03	6,88E+03	4,69E+03	3,07E+03	1,93E+03
U-236	**Minimum**	0,00E+00	4,83E+01	9,54E+01	7,59E+02	1,19E+03	1,42E+03	1,51E+03	1,53E+03	1,48E+03
	Maksimum	0,00E+00	5,52E+01	1,10E+02	9,84E+02	1,75E+03	2,33E+03	2,77E+03	3,08E+03	3,25E+03
	Ortalama	0,00E+00	5,22E+01	1,04E+02	8,96E+02	1,54E+03	1,99E+03	2,29E+03	2,46E+03	2,53E+03
U-238	**Minimum**	4,51E+05	4,51E+05	4,50E+05	4,48E+05	4,45E+05	4,42E+05	4,39E+05	4,35E+05	4,31E+05
	Maksimum	4,63E+05	4,63E+05	4,63E+05	4,59E+05	4,55E+05	4,51E+05	4,47E+05	4,42E+05	4,37E+05
	Ortalama	4,56E+05	4,56E+05	4,55E+05	4,53E+05	4,50E+05	4,46E+05	4,42E+05	4,38E+05	4,34E+05

Kullanılmış Yakıt Demeti İçerisindeki İzotoplar ve Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Kütle (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
Pu-238	**Minimum**	0,00E+00	2,63E-04	2,64E-03	1,77E+00	1,10E+01	3,18E+01	6,59E+01	1,13E+02	1,63E+02
	Maksimum	0,00E+00	7,26E-04	7,11E-03	3,92E+00	2,11E+01	5,28E+01	9,58E+01	1,46E+02	2,05E+02
	Ortalama	0,00E+00	4,01E-04	3,98E-03	2,48E+00	1,47E+01	4,02E+01	7,95E+01	1,30E+02	1,86E+02
Pu-239	**Minimum**	0,00E+00	6,19E+01	1,56E+02	1,42E+03	2,08E+03	2,23E+03	2,27E+03	2,29E+03	2,29E+03
	Maksimum	0,00E+00	1,03E+02	2,55E+02	1,77E+03	2,42E+03	2,84E+03	3,03E+03	3,10E+03	3,11E+03
	Ortalama	0,00E+00	7,59E+01	1,90E+02	1,57E+03	2,25E+03	2,54E+03	2,65E+03	2,68E+03	2,67E+03
Pu-240	**Minimum**	0,00E+00	4,76E-01	2,28E+00	1,75E+02	4,52E+02	7,34E+02	9,82E+02	1,19E+03	1,35E+03
	Maksimum	0,00E+00	1,47E+00	6,88E+00	3,57E+02	7,48E+02	1,06E+03	1,28E+03	1,42E+03	1,51E+03
	Ortalama	0,00E+00	7,74E-01	3,67E+00	2,39E+02	5,65E+02	8,63E+02	1,11E+03	1,29E+03	1,42E+03
Pu-241	**Minimum**	0,00E+00	8,37E-03	8,25E-02	6,19E+01	2,54E+02	4,64E+02	6,43E+02	7,62E+02	8,01E+02
	Maksimum	0,00E+00	4,31E-02	4,10E-01	1,82E+02	4,87E+02	7,03E+02	8,40E+02	9,27E+02	1,00E+03
	Ortalama	0,00E+00	1,75E-02	1,70E-01	1,00E+02	3,40E+02	5,62E+02	7,28E+02	8,40E+02	9,08E+02
Pu-242	**Minimum**	0,00E+00	1,92E-05	3,83E-04	3,37E+00	3,16E+01	9,99E+01	2,08E+02	3,49E+02	5,10E+02
	Maksimum	0,00E+00	1,93E-04	3,73E-03	1,97E+01	1,18E+02	2,78E+02	4,71E+02	6,71E+02	8,60E+02
	Ortalama	0,00E+00	5,93E-05	1,17E-03	7,90E+00	5,93E+01	1,63E+02	3,05E+02	4,71E+02	6,44E+02
Am-241	**Minimum**	0,00E+00	2,08E-06	4,14E-05	3,34E-01	2,76E+00	7,32E+00	1,15E+01	1,31E+01	1,39E+01
	Maksimum	0,00E+00	1,08E-05	2,08E-04	9,91E-01	5,28E+00	1,03E+01	1,45E+01	1,95E+01	2,30E+01
	Ortalama	0,00E+00	4,30E-06	8,48E-05	5,42E-01	3,67E+00	8,55E+00	1,32E+01	1,66E+01	1,84E+01
Am-242	**Minimum**	0,00E+00	4,10E-09	1,01E-07	1,01E-03	8,74E-03	2,49E-02	4,63E-02	6,81E-02	8,59E-02
	Maksimum	0,00E+00	3,85E-08	9,11E-07	5,19E-03	2,71E-02	5,47E-02	7,83E-02	9,51E-02	1,06E-01
	Ortalama	0,00E+00	1,18E-08	2,87E-07	2,17E-03	1,47E-02	3,58E-02	5,91E-02	7,94E-02	9,44E-02
Am-243	**Minimum**	0,00E+00	2,56E-08	1,15E-06	1,27E-01	2,73E+00	1,38E+01	3,94E+01	8,20E+01	1,41E+02
	Maksimum	0,00E+00	4,13E-07	1,80E-05	1,20E+00	1,67E+01	5,92E+01	1,26E+02	2,07E+02	2,89E+02
	Ortalama	0,00E+00	1,03E-07	4,53E-06	3,83E-01	6,56E+00	2,78E+01	6,89E+01	1,28E+02	2,00E+02
Cm-242	**Minimum**	0,00E+00	4,97E-09	2,51E-07	2,74E-02	4,75E-01	1,99E+00	4,73E+00	8,34E+00	1,21E+01
	Maksimum	0,00E+00	4,71E-08	2,31E-06	1,52E-01	1,70E+00	5,10E+00	9,31E+00	1,33E+01	1,64E+01
	Ortalama	0,00E+00	1,37E-08	6,84E-07	5,92E-02	8,37E-01	3,02E+00	6,42E+00	1,03E+01	1,39E+01
Cm-243	**Minimum**	0,00E+00	7,46E-13	7,88E-11	9,91E-05	3,86E-03	2,62E-02	8,72E-02	1,99E-01	3,50E-01
	Maksimum	0,00E+00	1,18E-11	1,21E-09	9,00E-04	2,23E-02	1,03E-01	2,49E-01	4,28E-01	6,01E-01
	Ortalama	0,00E+00	3,02E-12	3,14E-10	2,98E-04	9,10E-03	5,09E-02	1,45E-01	2,87E-01	4,53E-01
Cm-244	**Minimum**	0,00E+00	4,94E-11	4,68E-09	6,11E-03	2,99E-01	2,52E+00	1,04E+01	2,96E+01	6,63E+01
	Maksimum	0,00E+00	1,30E-09	1,19E-07	9,57E-02	3,16E+00	1,85E+01	5,66E+01	1,23E+02	2,15E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,77E-10	2,58E-08	2,55E-02	9,97E-01	6,90E+00	2,45E+01	6,06E+01	1,20E+02
Cm-245	**Minimum**	0,00E+00	3,26E-14	5,96E-12	8,01E-05	8,14E-03	1,03E-01	5,68E-01	1,92E+00	4,89E+00
	Maksimum	0,00E+00	1,41E-12	2,51E-10	1,90E-03	1,26E-01	1,08E+00	4,13E+00	1,03E+01	1,99E+01
	Ortalama	0,00E+00	2,55E-13	4,63E-11	4,37E-04	3,45E-02	3,46E-01	1,55E+00	4,50E+00	9,84E+00
Cm-246	**Minimum**	0,00E+00	1,68E-17	6,20E-15	9,42E-07	2,16E-04	4,73E-03	4,04E-02	2,03E-01	7,29E-01
	Maksimum	0,00E+00	1,50E-15	5,35E-13	4,53E-05	6,57E-03	9,50E-02	5,44E-01	1,88E+00	4,77E+00
	Ortalama	0,00E+00	2,33E-16	8,49E-14	8,75E-06	1,51E-03	2,53E-02	1,70E-01	6,86E-01	2,00E+00
Cm-247	**Minimum**	0,00E+00	1,44E-21	1,09E-18	1,83E-09	9,07E-07	3,17E-05	3,79E-04	2,51E-03	1,13E-02

Kullanılmış Yakıt Demeti İçerisindeki İzotoplar ve Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Kütle (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
	Maksimum	0,00E+00	2,03E-19	1,49E-16	1,40E-07	4,37E-05	1,01E-03	8,03E-03	3,61E-02	1,12E-01
	Ortalama	0,00E+00	2,81E-20	2,11E-17	2,37E-08	8,74E-06	2,32E-04	2,15E-03	1,11E-02	3,98E-02
Ce-144	**Minimum**	0,00E+00	8,04E+00	1,59E+01	1,27E+02	1,98E+02	2,39E+02	2,61E+02	2,72E+02	2,78E+02
	Maksimum	0,00E+00	8,12E+00	1,61E+01	1,32E+02	2,13E+02	2,62E+02	2,91E+02	3,05E+02	3,11E+02
	Ortalama	0,00E+00	8,10E+00	1,60E+01	1,30E+02	2,08E+02	2,53E+02	2,78E+02	2,91E+02	2,96E+02
Cs-133	**Minimum**	0,00E+00	2,71E+00	9,64E+00	1,72E+02	3,36E+02	4,79E+02	6,05E+02	7,15E+02	8,13E+02
	Maksimum	0,00E+00	2,79E+00	9,79E+00	1,73E+02	3,43E+02	5,00E+02	6,44E+02	7,72E+02	8,84E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,74E+00	9,70E+00	1,73E+02	3,40E+02	4,92E+02	6,28E+02	7,48E+02	8,53E+02
Cs-134	**Minimum**	0,00E+00	2,54E-03	2,02E-02	4,77E+00	1,92E+01	4,20E+01	7,21E+01	1,08E+02	1,49E+02
	Maksimum	0,00E+00	4,23E-03	3,38E-02	7,56E+00	2,94E+01	6,12E+01	1,01E+02	1,44E+02	1,88E+02
	Ortalama	0,00E+00	3,10E-03	2,47E-02	5,72E+00	2,29E+01	4,94E+01	8,34E+01	1,23E+02	1,66E+02
Cs-135	**Minimum**	0,00E+00	1,13E+00	2,34E+00	2,53E+01	5,14E+01	7,87E+01	1,09E+02	1,45E+02	1,86E+02
	Maksimum	0,00E+00	2,24E+00	4,66E+00	4,85E+01	9,62E+01	1,42E+02	1,86E+02	2,30E+02	2,74E+02
	Ortalama	0,00E+00	1,77E+00	3,68E+00	3,85E+01	7,64E+01	1,13E+02	1,50E+02	1,88E+02	2,29E+02
Cs-137	**Minimum**	0,00E+00	8,82E+00	1,77E+01	1,78E+02	3,54E+02	5,28E+02	7,01E+02	8,71E+02	1,04E+03
	Maksimum	0,00E+00	8,85E+00	1,77E+01	1,83E+02	3,61E+02	5,38E+02	7,12E+02	8,86E+02	1,06E+03
	Ortalama	0,00E+00	8,84E+00	1,77E+01	1,79E+02	3,56E+02	5,31E+02	7,04E+02	8,76E+02	1,05E+03
Eu-151	**Minimum**	0,00E+00	3,35E-05	1,34E-04	1,54E-03	1,93E-03	2,10E-03	2,22E-03	2,34E-03	2,52E-03
	Maksimum	0,00E+00	3,63E-05	1,60E-04	4,35E-03	5,85E-03	6,24E-03	6,30E-03	6,15E-03	5,98E-03
	Ortalama	0,00E+00	3,54E-05	1,52E-04	3,13E-03	4,00E-03	4,20E-03	4,20E-03	4,13E-03	4,07E-03
Eu-152	**Minimum**	0,00E+00	1,74E-06	1,61E-05	1,58E-03	2,10E-03	2,31E-03	2,46E-03	2,61E-03	2,83E-03
	Maksimum	0,00E+00	3,16E-06	2,62E-05	3,86E-03	7,06E-03	7,88E-03	7,96E-03	7,75E-03	7,45E-03
	Ortalama	0,00E+00	2,24E-06	1,98E-05	2,94E-03	4,67E-03	5,04E-03	5,04E-03	4,93E-03	4,84E-03
Eu-153	**Minimum**	0,00E+00	1,86E-01	4,63E-01	8,36E+00	2,30E+01	4,13E+01	6,09E+01	7,98E+01	9,66E+01
	Maksimum	0,00E+00	1,94E-01	4,92E-01	1,15E+01	3,13E+01	5,26E+01	7,24E+01	8,94E+01	1,04E+02
	Ortalama	0,00E+00	1,89E-01	4,73E-01	9,43E+00	2,61E+01	4,58E+01	6,56E+01	8,40E+01	9,98E+01
Eu-154	**Minimum**	0,00E+00	9,92E-04	5,31E-03	7,49E-01	3,25E+00	7,30E+00	1,22E+01	1,72E+01	2,17E+01
	Maksimum	0,00E+00	1,79E-03	9,44E-03	1,36E+00	5,41E+00	1,08E+01	1,63E+01	2,12E+01	2,55E+01
	Ortalama	0,00E+00	1,26E-03	6,69E-03	9,55E-01	4,03E+00	8,68E+00	1,39E+01	1,90E+01	2,34E+01
Eu-155	**Minimum**	0,00E+00	5,57E-02	1,02E-01	5,78E-01	1,29E+00	2,47E+00	3,99E+00	5,61E+00	7,22E+00
	Maksimum	0,00E+00	5,74E-02	1,06E-01	7,51E-01	1,99E+00	3,65E+00	5,37E+00	6,90E+00	8,22E+00
	Ortalama	0,00E+00	5,65E-02	1,04E-01	6,30E-01	1,54E+00	2,92E+00	4,55E+00	6,18E+00	7,67E+00
Gd-154	**Minimum**	0,00E+00	5,00E-07	5,63E-06	8,68E-03	7,41E-02	2,51E-01	5,73E-01	1,04E+00	1,62E+00
	Maksimum	0,00E+00	9,08E-07	1,01E-05	1,56E-02	1,27E-01	3,95E-01	8,21E-01	1,37E+00	2,02E+00
	Ortalama	0,00E+00	6,37E-07	7,13E-06	1,10E-02	9,28E-02	3,05E-01	6,70E-01	1,17E+00	1,78E+00
Gd-155	**Minimum**	0,00E+00	6,76E-05	1,90E-04	2,09E-03	5,78E-03	1,06E-02	1,56E-02	2,04E-02	2,52E-02
	Maksimum	0,00E+00	8,24E-05	2,74E-04	3,92E-03	9,03E-03	1,70E-02	2,65E-02	3,57E-02	4,40E-02
	Ortalama	0,00E+00	7,73E-05	2,43E-04	3,07E-03	7,50E-03	1,40E-02	2,11E-02	2,78E-02	3,40E-02
Gd-156	**Minimum**	0,00E+00	4,98E-03	2,14E-02	1,78E+00	6,39E+00	1,55E+01	3,19E+01	5,82E+01	9,59E+01
	Maksimum	0,00E+00	6,06E-03	2,77E-02	3,07E+00	1,27E+01	3,25E+01	6,53E+01	1,12E+02	1,69E+02

Kullanılmış Yakıt Demeti İçerisindeki İzotoplar ve Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Kütle (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
	Ortalama	0,00E+00	5,35E-03	2,35E-02	2,20E+00	8,50E+00	2,15E+01	4,39E+01	7,77E+01	1,23E+02
Gd-157	**Minimum**	0,00E+00	3,39E-03	4,31E-03	1,58E-02	2,62E-02	3,85E-02	5,26E-02	6,83E-02	8,69E-02
	Maksimum	0,00E+00	6,38E-03	8,53E-03	2,28E-02	3,59E-02	5,40E-02	7,66E-02	1,03E-01	1,32E-01
	Ortalama	0,00E+00	5,10E-03	6,57E-03	1,93E-02	3,11E-02	4,51E-02	6,23E-02	8,27E-02	1,06E-01
Gd-158	**Minimum**	0,00E+00	1,40E-02	3,57E-02	7,93E-01	2,30E+00	4,63E+00	8,07E+00	1,31E+01	2,02E+01
	Maksimum	0,00E+00	1,94E-02	4,92E-02	1,50E+00	4,63E+00	9,57E+00	1,67E+01	2,64E+01	3,89E+01
	Ortalama	0,00E+00	1,58E-02	4,02E-02	1,02E+00	3,08E+00	6,32E+00	1,12E+01	1,80E+01	2,74E+01
Gd-160	**Minimum**	0,00E+00	1,06E-03	2,27E-03	4,94E-02	1,48E-01	2,90E-01	4,75E-01	7,03E-01	9,74E-01
	Maksimum	0,00E+00	1,39E-03	3,25E-03	1,01E-01	2,99E-01	5,62E-01	8,74E-01	1,22E+00	1,61E+00
	Ortalama	0,00E+00	1,17E-03	2,59E-03	6,63E-02	1,99E-01	3,87E-01	6,23E-01	9,03E-01	1,22E+00
Mo-95	**Minimum**	0,00E+00	1,40E-02	1,06E-01	3,98E+01	1,35E+02	2,33E+02	3,22E+02	4,04E+02	4,78E+02
	Maksimum	0,00E+00	1,48E-02	1,11E-01	4,13E+01	1,42E+02	2,52E+02	3,57E+02	4,53E+02	5,41E+02
	Ortalama	0,00E+00	1,43E-02	1,07E-01	4,06E+01	1,40E+02	2,45E+02	3,43E+02	4,33E+02	5,15E+02
Nd-143	**Minimum**	0,00E+00	1,01E+00	4,48E+00	1,32E+02	2,39E+02	3,09E+02	3,51E+02	3,73E+02	3,85E+02
	Maksimum	0,00E+00	1,05E+00	4,59E+00	1,42E+02	2,81E+02	3,94E+02	4,83E+02	5,49E+02	5,94E+02
	Ortalama	0,00E+00	1,02E+00	4,52E+00	1,39E+02	2,67E+02	3,64E+02	4,34E+02	4,80E+02	5,05E+02
Nd-144	**Minimum**	0,00E+00	8,74E-02	3,60E-01	3,64E+01	1,32E+02	2,72E+02	4,45E+02	6,44E+02	8,65E+02
	Maksimum	0,00E+00	9,48E-02	4,01E-01	4,40E+01	1,59E+02	3,23E+02	5,21E+02	7,40E+02	9,75E+02
	Ortalama	0,00E+00	9,03E-02	3,75E-01	3,91E+01	1,42E+02	2,92E+02	4,76E+02	6,88E+02	9,18E+02
Nd-145	**Minimum**	0,00E+00	5,64E+00	1,15E+01	1,10E+02	2,02E+02	2,82E+02	3,50E+02	4,08E+02	4,60E+02
	Maksimum	0,00E+00	5,68E+00	1,16E+01	1,14E+02	2,17E+02	3,11E+02	3,95E+02	4,69E+02	5,32E+02
	Ortalama	0,00E+00	5,67E+00	1,16E+01	1,13E+02	2,12E+02	3,00E+02	3,77E+02	4,44E+02	5,03E+02
Nd-146	**Minimum**	0,00E+00	4,58E+00	9,19E+00	9,38E+01	1,91E+02	2,92E+02	3,98E+02	5,11E+02	6,31E+02
	Maksimum	0,00E+00	4,59E+00	9,20E+00	9,54E+01	1,93E+02	2,97E+02	4,07E+02	5,24E+02	6,48E+02
	Ortalama	0,00E+00	4,58E+00	9,20E+00	9,44E+01	1,92E+02	2,94E+02	4,02E+02	5,17E+02	6,38E+02
Nd-148	**Minimum**	0,00E+00	2,64E+00	5,29E+00	5,38E+01	1,07E+02	1,60E+02	2,13E+02	2,66E+02	3,18E+02
	Maksimum	0,00E+00	2,66E+00	5,36E+00	5,59E+01	1,11E+02	1,65E+02	2,18E+02	2,72E+02	3,26E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,64E+00	5,32E+00	5,45E+01	1,08E+02	1,62E+02	2,15E+02	2,68E+02	3,21E+02
Nd-150	**Minimum**	0,00E+00	1,07E+00	2,15E+00	2,24E+01	4,61E+01	7,08E+01	9,66E+01	1,23E+02	1,51E+02
	Maksimum	0,00E+00	1,10E+00	2,21E+00	2,47E+01	5,16E+01	8,00E+01	1,09E+02	1,40E+02	1,70E+02
	Ortalama	0,00E+00	1,08E+00	2,17E+00	2,32E+01	4,79E+01	7,41E+01	1,01E+02	1,30E+02	1,59E+02
Np-237	**Minimum**	0,00E+00	2,01E-01	6,91E-01	2,93E+01	8,70E+01	1,54E+02	2,10E+02	2,52E+02	2,81E+02
	Maksimum	0,00E+00	3,19E-01	1,07E+00	3,89E+01	1,03E+02	1,79E+02	2,65E+02	3,48E+02	4,24E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,41E-01	8,23E-01	3,30E+01	9,43E+01	1,67E+02	2,40E+02	3,08E+02	3,66E+02
Pd-105	**Minimum**	0,00E+00	8,29E-01	1,99E+00	3,03E+01	7,28E+01	1,24E+02	1,82E+02	2,47E+02	3,16E+02
	Maksimum	0,00E+00	8,56E-01	2,10E+00	4,18E+01	1,04E+02	1,76E+02	2,54E+02	3,34E+02	4,14E+02
	Ortalama	0,00E+00	8,39E-01	2,03E+00	3,41E+01	8,38E+01	1,43E+02	2,10E+02	2,81E+02	3,55E+02
Pd-108	**Minimum**	0,00E+00	1,07E-01	2,36E-01	6,31E+00	1,96E+01	3,87E+01	6,34E+01	9,32E+01	1,28E+02
	Maksimum	0,00E+00	1,40E-01	3,49E-01	1,36E+01	4,04E+01	7,51E+01	1,15E+02	1,59E+02	2,05E+02
	Ortalama	0,00E+00	1,17E-01	2,72E-01	8,68E+00	2,67E+01	5,18E+01	8,28E+01	1,19E+02	1,58E+02

Kullanılmış Yakıt Demeti İçerisindeki İzotoplar ve Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Kütle (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
Pm-147	**Minimum**	0,00E+00	7,45E-01	2,54E+00	4,68E+01	7,39E+01	8,65E+01	9,15E+01	9,21E+01	9,15E+01
	Maksimum	0,00E+00	7,61E-01	2,58E+00	5,11E+01	8,77E+01	1,10E+02	1,21E+02	1,25E+02	1,24E+02
	Ortalama	0,00E+00	7,50E-01	2,55E+00	4,95E+01	8,23E+01	1,00E+02	1,08E+02	1,11E+02	1,09E+02
Rh-103	**Minimum**	0,00E+00	2,31E-01	8,87E-01	4,69E+01	1,14E+02	1,76E+02	2,30E+02	2,75E+02	3,05E+02
	Maksimum	0,00E+00	2,40E-01	9,25E-01	5,24E+01	1,27E+02	1,92E+02	2,44E+02	2,85E+02	3,17E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,34E-01	9,03E-01	4,88E+01	1,18E+02	1,81E+02	2,35E+02	2,78E+02	3,12E+02
Ru-101	**Minimum**	0,00E+00	5,50E+00	1,10E+01	1,12E+02	2,23E+02	3,32E+02	4,40E+02	5,46E+02	6,50E+02
	Maksimum	0,00E+00	5,52E+00	1,11E+01	1,16E+02	2,30E+02	3,42E+02	4,51E+02	5,58E+02	6,61E+02
	Ortalama	0,00E+00	5,51E+00	1,11E+01	1,13E+02	2,25E+02	3,35E+02	4,44E+02	5,50E+02	6,53E+02
Ru-106	**Minimum**	0,00E+00	5,67E-01	1,17E+00	1,68E+01	3,99E+01	6,60E+01	9,35E+01	1,22E+02	1,50E+02
	Maksimum	0,00E+00	6,51E-01	1,42E+00	2,92E+01	7,04E+01	1,13E+02	1,53E+02	1,88E+02	2,18E+02
	Ortalama	0,00E+00	5,94E-01	1,25E+00	2,09E+01	5,04E+01	8,30E+01	1,16E+02	1,48E+02	1,78E+02
Sb-129	**Minimum**	0,00E+00	2,56E-02	2,62E-02	3,08E-02	3,36E-02	3,58E-02	3,79E-02	4,00E-02	4,22E-02
	Maksimum	0,00E+00	2,68E-02	2,81E-02	3,99E-02	4,28E-02	4,51E-02	4,71E-02	4,87E-02	4,98E-02
	Ortalama	0,00E+00	2,61E-02	2,68E-02	3,38E-02	3,68E-02	3,93E-02	4,16E-02	4,37E-02	4,57E-02
Se-79	**Minimum**	0,00E+00	3,76E-02	7,51E-02	7,43E-01	1,40E+00	1,99E+00	2,50E+00	2,97E+00	3,39E+00
	Maksimum	0,00E+00	3,79E-02	7,58E-02	7,52E-01	1,47E+00	2,14E+00	2,76E+00	3,34E+00	3,86E+00
	Ortalama	0,00E+00	3,77E-02	7,55E-02	7,48E-01	1,44E+00	2,08E+00	2,67E+00	3,20E+00	3,68E+00
Sm-147	**Minimum**	0,00E+00	1,51E-03	1,07E-02	2,60E+00	8,75E+00	1,55E+01	2,14E+01	2,60E+01	2,93E+01
	Maksimum	0,00E+00	1,59E-03	1,12E-02	2,84E+00	1,04E+01	1,99E+01	2,94E+01	3,77E+01	4,39E+01
	Ortalama	0,00E+00	1,55E-03	1,09E-02	2,76E+00	9,77E+00	1,81E+01	2,61E+01	3,26E+01	3,74E+01
Sm-148	**Minimum**	0,00E+00	5,12E-04	6,22E-03	4,16E+00	1,74E+01	3,77E+01	6,39E+01	9,48E+01	1,30E+02
	Maksimum	0,00E+00	8,50E-04	1,02E-02	5,90E+00	2,32E+01	4,76E+01	7,67E+01	1,09E+02	1,42E+02
	Ortalama	0,00E+00	6,23E-04	7,56E-03	4,79E+00	1,96E+01	4,19E+01	6,96E+01	1,01E+02	1,36E+02
Sm-149	**Minimum**	0,00E+00	4,25E-01	5,48E-01	7,43E-01	8,24E-01	8,36E-01	8,29E-01	8,20E-01	8,25E-01
	Maksimum	0,00E+00	6,80E-01	1,12E+00	1,54E+00	1,68E+00	1,69E+00	1,64E+00	1,57E+00	1,50E+00
	Ortalama	0,00E+00	5,83E-01	8,78E-01	1,17E+00	1,27E+00	1,27E+00	1,23E+00	1,17E+00	1,12E+00
Sm-150	**Minimum**	0,00E+00	4,12E-01	1,67E+00	3,52E+01	7,70E+01	1,22E+02	1,67E+02	2,13E+02	2,57E+02
	Maksimum	0,00E+00	6,83E-01	2,27E+00	3,89E+01	8,53E+01	1,34E+02	1,81E+02	2,26E+02	2,69E+02
	Ortalama	0,00E+00	5,16E-01	1,92E+00	3,65E+01	8,00E+01	1,26E+02	1,73E+02	2,18E+02	2,62E+02
Sm-151	**Minimum**	0,00E+00	4,83E-01	9,52E-01	3,01E+00	3,79E+00	4,42E+00	5,03E+00	5,60E+00	6,14E+00
	Maksimum	0,00E+00	5,16E-01	1,09E+00	5,19E+00	6,33E+00	7,08E+00	7,70E+00	8,22E+00	8,70E+00
	Ortalama	0,00E+00	5,05E-01	1,05E+00	4,25E+00	5,16E+00	5,81E+00	6,36E+00	6,86E+00	7,36E+00
Sm-152	**Minimum**	0,00E+00	4,78E-01	1,04E+00	1,67E+01	3,32E+01	4,60E+01	5,62E+01	6,46E+01	7,17E+01
	Maksimum	0,00E+00	5,25E-01	1,22E+00	1,99E+01	3,71E+01	5,02E+01	6,05E+01	6,91E+01	7,67E+01
	Ortalama	0,00E+00	4,94E-01	1,10E+00	1,80E+01	3,48E+01	4,79E+01	5,83E+01	6,67E+01	7,40E+01
Sm-154	**Minimum**	0,00E+00	1,35E-01	2,74E-01	3,31E+00	7,61E+00	1,28E+01	1,88E+01	2,57E+01	3,35E+01
	Maksimum	0,00E+00	1,44E-01	3,01E-01	4,52E+00	1,10E+01	1,87E+01	2,75E+01	3,69E+01	4,68E+01
	Ortalama	0,00E+00	1,38E-01	2,83E-01	3,69E+00	8,73E+00	1,49E+01	2,20E+01	3,00E+01	3,87E+01
Sn-126	**Minimum**	0,00E+00	9,31E-02	1,88E-01	2,21E+00	4,90E+00	7,93E+00	1,12E+01	1,48E+01	1,86E+01

Kullanılmış Yakıt Demeti İçerisindeki İzotoplar ve Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Kütle (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
	Maksimum	0,00E+00	1,02E-01	2,09E-01	2,89E+00	6,55E+00	1,06E+01	1,49E+01	1,93E+01	2,39E+01
	Ortalama	0,00E+00	9,59E-02	1,95E-01	2,43E+00	5,47E+00	8,89E+00	1,26E+01	1,66E+01	2,07E+01
Sr-90	**Minimum**	0,00E+00	5,22E+00	1,04E+01	9,14E+01	1,61E+02	2,18E+02	2,67E+02	3,11E+02	3,50E+02
	Maksimum	0,00E+00	5,32E+00	1,06E+01	1,00E+02	1,89E+02	2,68E+02	3,38E+02	4,00E+02	4,54E+02
	Ortalama	0,00E+00	5,29E+00	1,05E+01	9,73E+01	1,79E+02	2,50E+02	3,11E+02	3,65E+02	4,12E+02
Tc-99	**Minimum**	0,00E+00	3,41E+00	9,34E+00	1,21E+02	2,33E+02	3,34E+02	4,25E+02	5,07E+02	5,80E+02
	Maksimum	0,00E+00	3,47E+00	9,41E+00	1,22E+02	2,38E+02	3,48E+02	4,50E+02	5,43E+02	6,28E+02
	Ortalama	0,00E+00	3,43E+00	9,36E+00	1,21E+02	2,36E+02	3,42E+02	4,39E+02	5,28E+02	6,07E+02
Ag-109	**Minimum**	0,00E+00	5,63E-02	1,33E-01	3,89E+00	1,17E+01	2,23E+01	3,48E+01	4,85E+01	6,29E+01
	Maksimum	0,00E+00	7,36E-02	1,99E-01	8,31E+00	2,30E+01	3,99E+01	5,69E+01	7,29E+01	8,78E+01
	Ortalama	0,00E+00	6,13E-02	1,52E-01	5,22E+00	1,54E+01	2,83E+01	4,28E+01	5,79E+01	7,29E+01

4.2. Kullanılmış Nükleer Yakıt Demeti Aktivite Veri Seti

Bu çalışma kapsamında modellenen tüm yakıt demetleri için yapılan yanma hesaplamaları sonucunda elde edilen ve kullanılmış nükleer yakıt demetleri içerisinde takip edilen izotopların yanma miktarına bağlı olarak minimum, maksimum ve ortalama aktivite (Bq) değerlerinin yer aldığı Aktivite Veri Seti Çizelge 4.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.2 Kullanılmış nükleer yakıt demetleri için aktivite veri seti

Kullanılmış Yakıt Demeti İçerisindeki İzotoplar ve Aktivite Değerleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Aktivite (Bq)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
U-234	**Minimum**	0,00E+00	4,35E+08	8,70E+08	7,25E+09	1,20E+10	1,62E+10	2,11E+10	2,78E+10	3,62E+10
	Maksimum	0,00E+00	8,39E+08	1,68E+09	1,51E+10	2,72E+10	3,71E+10	4,66E+10	5,71E+10	6,95E+10
	Ortalama	0,00E+00	6,48E+08	1,29E+09	1,14E+10	2,01E+10	2,72E+10	3,44E+10	4,29E+10	5,35E+10
U-235	**Minimum**	1,18E+11	1,15E+11	1,12E+11	7,20E+10	4,30E+10	2,44E+10	1,33E+10	6,89E+09	3,53E+09
	Maksimum	2,43E+11	2,40E+11	2,38E+11	1,89E+11	1,46E+11	1,10E+11	8,03E+10	5,71E+10	3,89E+10
	Ortalama	1,90E+11	1,87E+11	1,84E+11	1,39E+11	1,00E+11	7,05E+10	4,78E+10	3,12E+10	1,97E+10
U-236	**Minimum**	0,00E+00	1,50E+10	2,96E+10	2,36E+11	3,68E+11	4,39E+11	4,70E+11	4,74E+11	4,58E+11
	Maksimum	0,00E+00	1,71E+10	3,41E+10	3,05E+11	5,40E+11	7,25E+11	8,59E+11	9,57E+11	1,01E+12
	Ortalama	0,00E+00	1,62E+10	3,22E+10	2,78E+11	4,76E+11	6,17E+11	7,10E+11	7,61E+11	7,77E+11
U-238	**Minimum**	7,25E+11	7,25E+11	7,25E+11	7,20E+11	7,20E+11	7,15E+11	7,10E+11	7,00E+11	6,95E+11
	Maksimum	7,72E+11	7,72E+11	7,72E+11	7,67E+11	7,61E+11	7,56E+11	7,46E+11	7,41E+11	7,31E+11
	Ortalama	7,36E+11	7,36E+11	7,36E+11	7,31E+11	7,25E+11	7,20E+11	7,15E+11	7,10E+11	7,00E+11
Pu-238	**Minimum**	0,00E+00	2,16E+10	2,17E+11	1,46E+14	9,11E+14	2,62E+15	5,45E+15	9,36E+15	1,34E+16
	Maksimum	0,00E+00	5,97E+10	5,87E+11	3,23E+14	1,73E+15	4,34E+15	7,87E+15	1,21E+16	1,68E+16

Kullanılmış Yakıt Demeti İçerisindeki İzotoplar ve Aktivite Değerleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Aktivite (Bq)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
	Ortalama	0,00E+00	3,34E+10	3,32E+11	2,06E+14	1,22E+15	3,34E+15	6,59E+15	1,07E+16	1,53E+16
Pu-239	**Minimum**	0,00E+00	1,85E+13	4,68E+13	4,26E+14	6,17E+14	6,64E+14	6,74E+14	6,84E+14	6,84E+14
	Maksimum	0,00E+00	3,07E+13	7,61E+13	5,30E+14	7,25E+14	8,44E+14	9,00E+14	9,21E+14	9,26E+14
	Ortalama	0,00E+00	2,28E+13	5,71E+13	4,70E+14	6,74E+14	7,61E+14	7,92E+14	8,03E+14	7,97E+14
Pu-240	**Minimum**	0,00E+00	5,20E+11	2,50E+12	1,91E+14	4,95E+14	7,97E+14	1,08E+15	1,30E+15	1,47E+15
	Maksimum	0,00E+00	1,61E+12	7,51E+12	3,88E+14	8,13E+14	1,15E+15	1,39E+15	1,57E+15	1,70E+15
	Ortalama	0,00E+00	8,59E+11	4,06E+12	2,63E+14	6,23E+14	9,47E+14	1,21E+15	1,41E+15	1,55E+15
Pu-241	**Minimum**	0,00E+00	4,21E+12	4,17E+13	3,13E+16	1,27E+17	2,33E+17	3,22E+17	3,84E+17	4,09E+17
	Maksimum	0,00E+00	2,15E+13	2,04E+14	9,06E+16	2,43E+17	3,50E+17	4,18E+17	4,65E+17	4,99E+17
	Ortalama	0,00E+00	8,90E+12	8,64E+13	5,08E+16	1,71E+17	2,82E+17	3,65E+17	4,20E+17	4,54E+17
Pu-242	**Minimum**	0,00E+00	3,66E+05	7,36E+06	6,48E+10	6,02E+11	1,90E+12	3,94E+12	6,59E+12	9,67E+12
	Maksimum	0,00E+00	3,65E+06	7,05E+07	3,71E+11	2,24E+12	5,25E+12	8,90E+12	1,27E+13	1,63E+13
	Ortalama	0,00E+00	1,15E+06	2,27E+07	1,53E+11	1,14E+12	3,13E+12	5,87E+12	9,00E+12	1,23E+13
Am-241	**Minimum**	0,00E+00	3,46E+07	6,89E+08	5,61E+12	4,57E+13	1,21E+14	1,90E+14	2,15E+14	2,28E+14
	Maksimum	0,00E+00	1,77E+08	3,42E+09	1,63E+13	8,70E+13	1,70E+14	2,43E+14	3,22E+14	3,79E+14
	Ortalama	0,00E+00	7,31E+07	1,44E+09	9,11E+12	6,17E+13	1,43E+14	2,20E+14	2,75E+14	3,07E+14
Am-242	**Minimum**	0,00E+00	1,61E+10	3,96E+11	4,01E+15	3,42E+16	9,72E+16	1,81E+17	2,65E+17	3,35E+17
	Maksimum	0,00E+00	1,49E+11	3,53E+12	2,01E+16	1,05E+17	2,12E+17	3,04E+17	3,69E+17	4,13E+17
	Ortalama	0,00E+00	4,79E+10	1,16E+12	8,70E+15	5,87E+16	1,41E+17	2,33E+17	3,12E+17	3,70E+17
Am-243	**Minimum**	0,00E+00	2,51E+04	1,12E+06	1,23E+11	2,61E+12	1,33E+13	3,77E+13	7,87E+13	1,36E+14
	Maksimum	0,00E+00	3,96E+05	1,72E+07	1,15E+12	1,60E+13	5,66E+13	1,21E+14	1,98E+14	2,77E+14
	Ortalama	0,00E+00	1,03E+05	4,57E+06	3,83E+11	6,48E+12	2,74E+13	6,74E+13	1,25E+14	1,94E+14
Cm-242	**Minimum**	0,00E+00	7,97E+07	4,05E+09	4,45E+14	7,61E+15	3,18E+16	7,56E+16	1,33E+17	1,93E+17
	Maksimum	0,00E+00	7,46E+08	3,68E+10	2,42E+15	2,70E+16	8,08E+16	1,48E+17	2,11E+17	2,60E+17
	Ortalama	0,00E+00	2,39E+08	1,20E+10	1,01E+15	1,40E+16	4,98E+16	1,04E+17	1,67E+17	2,24E+17
Cm-243	**Minimum**	0,00E+00	1,84E+02	1,94E+04	2,46E+10	9,47E+11	6,38E+12	2,15E+13	4,87E+13	8,59E+13
	Maksimum	0,00E+00	2,86E+03	2,93E+05	2,18E+11	5,40E+12	2,50E+13	6,02E+13	1,04E+14	1,46E+14
	Ortalama	0,00E+00	7,51E+02	7,82E+04	7,41E+10	2,26E+12	1,26E+13	3,57E+13	7,05E+13	1,11E+14
Cm-244	**Minimum**	0,00E+00	1,96E+04	1,85E+06	2,41E+12	1,16E+14	9,83E+14	4,05E+15	1,15E+16	2,57E+16
	Maksimum	0,00E+00	5,06E+05	4,63E+07	3,71E+13	1,23E+15	7,15E+15	2,20E+16	4,78E+16	8,39E+16
	Ortalama	0,00E+00	1,11E+05	1,03E+07	1,02E+13	3,98E+14	2,75E+15	9,72E+15	2,40E+16	4,73E+16
Cm-245	**Minimum**	0,00E+00	2,75E-02	5,12E+00	6,79E+07	6,84E+09	8,49E+10	4,68E+11	1,59E+12	4,07E+12
	Maksimum	0,00E+00	1,16E+00	2,07E+02	1,56E+09	1,04E+11	8,90E+11	3,40E+12	8,44E+12	1,64E+13
	Ortalama	0,00E+00	2,17E-01	3,94E+01	3,70E+08	2,92E+10	2,92E+11	1,31E+12	3,79E+12	8,28E+12
Cm-246	**Minimum**	0,00E+00	2,53E-05	9,47E-03	1,42E+06	3,25E+08	6,95E+09	5,92E+10	2,97E+11	1,07E+12
	Maksimum	0,00E+00	2,19E-03	7,82E-01	6,64E+07	9,62E+09	1,39E+11	7,97E+11	2,75E+12	7,00E+12
	Ortalama	0,00E+00	3,53E-04	1,29E-01	1,32E+07	2,27E+09	3,82E+10	2,55E+11	1,03E+12	3,00E+12
Cm-247	**Minimum**	0,00E+00	6,64E-13	5,08E-10	8,44E-01	4,16E+02	1,42E+04	1,69E+05	1,12E+06	5,06E+06
	Maksimum	0,00E+00	9,06E-11	6,64E-08	6,23E+01	1,94E+04	4,48E+05	3,57E+06	1,61E+07	4,97E+07

Kullanılmış Yakıt Demeti İçerisindeki İzotoplar ve Aktivite Değerleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Aktivite (Bq)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
	Ortalama	0,00E+00	1,30E-11	9,72E-09	1,09E+01	4,02E+03	1,07E+05	9,88E+05	5,11E+06	1,82E+07
Np-237	**Minimum**	0,00E+00	6,79E+08	2,33E+09	9,88E+10	2,94E+11	5,20E+11	7,05E+11	8,54E+11	9,52E+11
	Maksimum	0,00E+00	1,08E+09	3,62E+09	1,32E+11	3,52E+11	6,07E+11	8,95E+11	1,17E+12	1,43E+12
	Ortalama	0,00E+00	8,18E+08	2,80E+09	1,12E+11	3,20E+11	5,66E+11	8,13E+11	1,04E+12	1,23E+12
Ce-144	**Minimum**	0,00E+00	1,23E+17	2,42E+17	1,94E+18	3,03E+18	3,65E+18	3,99E+18	4,16E+18	4,26E+18
	Maksimum	0,00E+00	1,29E+17	2,54E+17	2,05E+18	3,26E+18	4,01E+18	4,45E+18	4,67E+18	4,76E+18
	Ortalama	0,00E+00	1,24E+17	2,45E+17	2,00E+18	3,18E+18	3,87E+18	4,26E+18	4,46E+18	4,54E+18
Cs-134	**Minimum**	0,00E+00	1,58E+13	1,27E+14	2,96E+16	1,20E+17	2,62E+17	4,48E+17	6,74E+17	9,31E+17
	Maksimum	0,00E+00	2,63E+13	2,10E+14	4,69E+16	1,83E+17	3,80E+17	6,23E+17	8,90E+17	1,17E+18
	Ortalama	0,00E+00	1,95E+13	1,55E+14	3,60E+16	1,44E+17	3,10E+17	5,25E+17	7,72E+17	1,04E+18
Cs-135	**Minimum**	0,00E+00	6,23E+09	1,29E+10	1,40E+11	2,84E+11	4,35E+11	6,07E+11	8,03E+11	1,03E+12
	Maksimum	0,00E+00	1,24E+10	2,58E+10	2,69E+11	5,30E+11	7,87E+11	1,03E+12	1,27E+12	1,51E+12
	Ortalama	0,00E+00	9,78E+09	2,03E+10	2,12E+11	4,22E+11	6,28E+11	8,34E+11	1,04E+12	1,27E+12
Cs-137	**Minimum**	0,00E+00	3,68E+15	7,36E+15	7,41E+16	1,48E+17	2,20E+17	2,92E+17	3,63E+17	4,34E+17
	Maksimum	0,00E+00	3,83E+15	7,67E+15	7,82E+16	1,55E+17	2,32E+17	3,07E+17	3,82E+17	4,56E+17
	Ortalama	0,00E+00	3,69E+15	7,41E+15	7,51E+16	1,49E+17	2,22E+17	2,94E+17	3,66E+17	4,37E+17
Eu-152	**Minimum**	0,00E+00	1,45E+09	1,34E+10	1,32E+12	1,75E+12	1,92E+12	2,05E+12	2,18E+12	2,36E+12
	Maksimum	0,00E+00	2,64E+09	2,19E+10	3,22E+12	5,87E+12	6,59E+12	6,64E+12	6,48E+12	6,23E+12
	Ortalama	0,00E+00	1,88E+09	1,67E+10	2,44E+12	3,87E+12	4,18E+12	4,18E+12	4,11E+12	4,04E+12
Eu-154	**Minimum**	0,00E+00	1,29E+12	6,89E+12	9,78E+14	4,23E+15	9,52E+15	1,59E+16	2,25E+16	2,83E+16
	Maksimum	0,00E+00	2,32E+12	1,22E+13	1,76E+15	7,00E+15	1,40E+16	2,11E+16	2,76E+16	3,34E+16
	Ortalama	0,00E+00	1,65E+12	8,75E+12	1,25E+15	5,30E+15	1,14E+16	1,82E+16	2,47E+16	3,05E+16
Eu-155	**Minimum**	0,00E+00	1,30E+14	2,38E+14	1,35E+15	3,02E+15	5,76E+15	9,31E+15	1,31E+16	1,68E+16
	Maksimum	0,00E+00	1,38E+14	2,53E+14	1,75E+15	4,63E+15	8,49E+15	1,25E+16	1,62E+16	1,96E+16
	Ortalama	0,00E+00	1,32E+14	2,44E+14	1,48E+15	3,62E+15	6,84E+15	1,07E+16	1,45E+16	1,80E+16
Nd-144	**Minimum**	0,00E+00	4,55E-01	1,88E+00	1,89E+02	6,89E+02	1,41E+03	2,32E+03	3,35E+03	4,51E+03
	Maksimum	0,00E+00	5,07E-01	2,12E+00	2,29E+02	8,28E+02	1,70E+03	2,78E+03	3,99E+03	5,30E+03
	Ortalama	0,00E+00	4,72E-01	1,96E+00	2,05E+02	7,46E+02	1,53E+03	2,49E+03	3,59E+03	4,80E+03
Pm-147	**Minimum**	0,00E+00	3,32E+15	1,13E+16	2,08E+17	3,29E+17	3,85E+17	4,07E+17	4,10E+17	4,07E+17
	Maksimum	0,00E+00	3,52E+15	1,19E+16	2,27E+17	3,90E+17	4,88E+17	5,40E+17	5,56E+17	5,51E+17
	Ortalama	0,00E+00	3,35E+15	1,14E+16	2,21E+17	3,66E+17	4,46E+17	4,82E+17	4,91E+17	4,85E+17
Ru-106	**Minimum**	0,00E+00	9,00E+15	1,85E+16	2,68E+17	6,33E+17	1,05E+18	1,49E+18	1,93E+18	2,39E+18
	Maksimum	0,00E+00	1,03E+16	2,25E+16	4,63E+17	1,12E+18	1,79E+18	2,42E+18	2,97E+18	3,45E+18
	Ortalama	0,00E+00	9,47E+15	1,99E+16	3,33E+17	8,08E+17	1,33E+18	1,86E+18	2,37E+18	2,85E+18
Sb-129	**Minimum**	0,00E+00	6,84E+17	6,95E+17	8,18E+17	8,90E+17	9,52E+17	1,01E+18	1,07E+18	1,12E+18
	Maksimum	0,00E+00	7,15E+17	7,46E+17	1,06E+18	1,14E+18	1,20E+18	1,25E+18	1,29E+18	1,32E+18
	Ortalama	0,00E+00	6,95E+17	7,15E+17	9,00E+17	9,83E+17	1,05E+18	1,11E+18	1,17E+18	1,22E+18
Se-79	**Minimum**	0,00E+00	2,77E+09	5,56E+09	5,45E+10	1,03E+11	1,47E+11	1,85E+11	2,19E+11	2,50E+11
	Maksimum	0,00E+00	2,89E+09	5,76E+09	5,71E+10	1,10E+11	1,57E+11	2,04E+11	2,46E+11	2,85E+11

Kullanılmış Yakıt Demeti İçerisindeki İzotoplar ve Aktivite Değerleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Aktivite (Bq)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
	Ortalama	0,00E+00	2,79E+09	5,56E+09	5,51E+10	1,07E+11	1,54E+11	1,97E+11	2,36E+11	2,71E+11
Sm-147	**Minimum**	0,00E+00	1,67E+02	1,18E+03	2,87E+05	9,62E+05	1,71E+06	2,36E+06	2,87E+06	3,23E+06
	Maksimum	0,00E+00	1,83E+02	1,29E+03	3,19E+05	1,14E+06	2,18E+06	3,23E+06	4,15E+06	4,82E+06
	Ortalama	0,00E+00	1,70E+02	1,20E+03	3,05E+05	1,08E+06	2,00E+06	2,87E+06	3,58E+06	4,10E+06
Sm-148	**Minimum**	0,00E+00	8,49E-04	1,03E-02	6,95E+00	2,90E+01	6,28E+01	1,06E+02	1,57E+02	2,16E+02
	Maksimum	0,00E+00	1,41E-03	1,68E-02	9,78E+00	3,84E+01	7,87E+01	1,28E+02	1,84E+02	2,43E+02
	Ortalama	0,00E+00	1,04E-03	1,27E-02	8,03E+00	3,29E+01	7,00E+01	1,16E+02	1,69E+02	2,26E+02
Sm-151	**Minimum**	0,00E+00	6,12E+13	1,20E+14	3,81E+14	4,78E+14	5,61E+14	6,33E+14	7,05E+14	7,82E+14
	Maksimum	0,00E+00	6,59E+13	1,38E+14	6,53E+14	7,97E+14	8,95E+14	9,72E+14	1,04E+15	1,10E+15
	Ortalama	0,00E+00	6,38E+13	1,32E+14	5,35E+14	6,48E+14	7,36E+14	8,03E+14	8,70E+14	9,31E+14
Sn-126	**Minimum**	0,00E+00	5,51E+09	1,12E+10	1,31E+11	2,91E+11	4,70E+11	6,69E+11	8,80E+11	1,11E+12
	Maksimum	0,00E+00	6,07E+09	1,24E+10	1,71E+11	3,88E+11	6,28E+11	8,80E+11	1,14E+12	1,41E+12
	Ortalama	0,00E+00	5,71E+09	1,16E+10	1,45E+11	3,26E+11	5,30E+11	7,51E+11	9,88E+11	1,23E+12
Sr-90	**Minimum**	0,00E+00	3,46E+15	6,84E+15	6,07E+16	1,07E+17	1,45E+17	1,77E+17	2,06E+17	2,32E+17
	Maksimum	0,00E+00	3,65E+15	7,25E+15	6,64E+16	1,25E+17	1,78E+17	2,24E+17	2,65E+17	3,01E+17
	Ortalama	0,00E+00	3,51E+15	7,00E+15	6,48E+16	1,19E+17	1,65E+17	2,06E+17	2,41E+17	2,73E+17
Tc-99	**Minimum**	0,00E+00	2,80E+11	7,67E+11	9,93E+12	1,92E+13	2,75E+13	3,49E+13	4,17E+13	4,77E+13
	Maksimum	0,00E+00	2,96E+11	8,03E+11	1,03E+13	2,01E+13	2,90E+13	3,70E+13	4,46E+13	5,15E+13
	Ortalama	0,00E+00	2,83E+11	7,72E+11	9,98E+12	1,94E+13	2,82E+13	3,62E+13	4,34E+13	5,00E+13
Yakıt Demetinin Toplam Aktivitesi (Bq)	**Minimum**	8,64E+11	6,79E+20	7,00E+20	7,31E+20	7,31E+20	7,36E+20	7,46E+20	7,61E+20	7,82E+20
	Maksimum	9,72E+11	7,36E+20	7,61E+20	8,18E+20	8,03E+20	8,13E+20	8,34E+20	8,54E+20	8,75E+20
	Ortalama	9,26E+11	7,00E+20	7,20E+20	7,61E+20	7,56E+20	7,67E+20	7,82E+20	8,03E+20	8,23E+20

4.3. Kullanılmış Nükleer Yakıt Demeti Isıl Güç Veri Seti

Bu çalışma kapsamında modellenen tüm yakıt demetleri için yapılan yanma hesaplamaları sonucunda elde edilen ve kullanılmış nükleer yakıt dsemetleri içerisinde takip edilen izotopların yanma miktarına bağlı olarak minimum, maksimum ve ortalama ısıl güç (Watt) değerlerinin yer aldığı Isıl GüçVeri Seti Çizelge 4.3'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.3 Kullanılmış nükleer yakıt demetleri için ısıl güç veri seti

Kullanılmış Yakıt Demeti içerisindeki İzotoplar ve Isıl Güç Değerleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Isıl Güç (W)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
U-234	**Minimum**	0,00E+00	3,38E-04	6,77E-04	5,65E-03	9,34E-03	1,26E-02	1,65E-02	2,16E-02	2,82E-02
	Maksimum	0,00E+00	6,54E-04	1,31E-03	1,18E-02	2,12E-02	2,89E-02	3,62E-02	4,43E-02	5,39E-02
	Ortalama	0,00E+00	5,10E-04	1,02E-03	9,06E-03	1,59E-02	2,16E-02	2,73E-02	3,39E-02	4,20E-02

Kullanılmış Yakıt Demeti içerisindeki İzotoplar ve Isıl Güç Değerleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Isıl Güç (W)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
U-235	**Minimum**	8,72E-02	8,51E-02	8,30E-02	5,32E-02	3,18E-02	1,81E-02	9,80E-03	5,11E-03	2,61E-03
	Maksimum	1,80E-01	1,78E-01	1,76E-01	1,40E-01	1,08E-01	8,11E-02	5,94E-02	4,21E-02	2,88E-02
	Ortalama	1,44E-01	1,42E-01	1,40E-01	1,06E-01	7,68E-02	5,43E-02	3,71E-02	2,44E-02	1,54E-02
U-236	**Minimum**	0,00E+00	1,10E-02	2,17E-02	1,72E-01	2,69E-01	3,21E-01	3,44E-01	3,47E-01	3,35E-01
	Maksimum	0,00E+00	1,25E-02	2,49E-02	2,23E-01	3,96E-01	5,30E-01	6,29E-01	6,99E-01	7,37E-01
	Ortalama	0,00E+00	1,20E-02	2,38E-02	2,07E-01	3,57E-01	4,66E-01	5,39E-01	5,83E-01	6,02E-01
U-238	**Minimum**	4,98E-01	4,98E-01	4,98E-01	4,95E-01	4,92E-01	4,88E-01	4,85E-01	4,81E-01	4,76E-01
	Maksimum	5,29E-01	5,28E-01	5,28E-01	5,25E-01	5,21E-01	5,17E-01	5,12E-01	5,07E-01	5,01E-01
	Ortalama	5,05E-01	5,05E-01	5,04E-01	5,01E-01	4,98E-01	4,94E-01	4,90E-01	4,85E-01	4,81E-01
Pu-238	**Minimum**	0,00E+00	1,94E-02	1,94E-01	1,30E+02	8,12E+02	2,34E+03	4,85E+03	8,33E+03	1,20E+04
	Maksimum	0,00E+00	5,34E-02	5,23E-01	2,89E+02	1,55E+03	3,89E+03	7,05E+03	1,09E+04	1,51E+04
	Ortalama	0,00E+00	2,91E-02	2,90E-01	1,81E+02	1,07E+03	2,94E+03	5,83E+03	9,53E+03	1,37E+04
Pu-239	**Minimum**	0,00E+00	1,55E+01	3,91E+01	3,56E+02	5,20E+02	5,57E+02	5,68E+02	5,73E+02	5,76E+02
	Maksimum	0,00E+00	2,58E+01	6,38E+01	4,43E+02	6,07E+02	7,09E+02	7,58E+02	7,74E+02	7,77E+02
	Ortalama	0,00E+00	1,89E+01	4,74E+01	3,92E+02	5,64E+02	6,39E+02	6,67E+02	6,74E+02	6,72E+02
Pu-240	**Minimum**	0,00E+00	4,37E-01	2,09E+00	1,61E+02	4,14E+02	6,72E+02	9,00E+02	1,09E+03	1,23E+03
	Maksimum	0,00E+00	1,35E+00	6,31E+00	3,27E+02	6,86E+02	9,69E+02	1,17E+03	1,32E+03	1,43E+03
	Ortalama	0,00E+00	6,98E-01	3,31E+00	2,17E+02	5,14E+02	7,87E+02	1,01E+03	1,18E+03	1,30E+03
Pu-241	**Minimum**	0,00E+00	3,58E-03	3,53E-02	2,64E+01	1,09E+02	1,98E+02	2,75E+02	3,28E+02	3,50E+02
	Maksimum	0,00E+00	1,84E-02	1,75E-01	7,76E+01	2,08E+02	3,01E+02	3,59E+02	3,99E+02	4,28E+02
	Ortalama	0,00E+00	7,31E-03	7,12E-02	4,22E+01	1,44E+02	2,39E+02	3,11E+02	3,60E+02	3,89E+02
Pu-242	**Minimum**	0,00E+00	2,89E-07	5,78E-06	5,08E-02	4,77E-01	1,51E+00	3,13E+00	5,26E+00	7,70E+00
	Maksimum	0,00E+00	2,92E-06	5,63E-05	2,97E-01	1,79E+00	4,20E+00	7,11E+00	1,01E+01	1,30E+01
	Ortalama	0,00E+00	8,70E-07	1,71E-05	1,16E-01	8,76E-01	2,41E+00	4,54E+00	7,02E+00	9,63E+00
Am-241	**Minimum**	0,00E+00	3,08E-05	6,10E-04	4,93E+00	4,07E+01	1,08E+02	1,70E+02	1,93E+02	2,05E+02
	Maksimum	0,00E+00	1,59E-04	3,07E-03	1,46E+01	7,79E+01	1,53E+02	2,18E+02	2,88E+02	3,39E+02
	Ortalama	0,00E+00	6,30E-05	1,24E-03	7,93E+00	5,41E+01	1,27E+02	1,97E+02	2,48E+02	2,77E+02
Am-242	**Minimum**	0,00E+00	1,15E-03	2,84E-02	2,85E+02	2,46E+03	7,01E+03	1,30E+04	1,92E+04	2,42E+04
	Maksimum	0,00E+00	1,08E-02	2,57E-01	1,46E+03	7,64E+03	1,54E+04	2,20E+04	2,68E+04	3,00E+04
	Ortalama	0,00E+00	3,30E-03	7,98E-02	6,04E+02	4,10E+03	1,00E+04	1,66E+04	2,24E+04	2,68E+04
Am-243	**Minimum**	0,00E+00	2,13E-08	9,61E-07	1,06E-01	2,27E+00	1,15E+01	3,28E+01	6,83E+01	1,17E+02
	Maksimum	0,00E+00	3,44E-07	1,50E-05	9,96E-01	1,39E+01	4,94E+01	1,05E+02	1,72E+02	2,41E+02
	Ortalama	0,00E+00	8,51E-08	3,75E-06	3,15E-01	5,38E+00	2,28E+01	5,65E+01	1,05E+02	1,65E+02
Cm-242	**Minimum**	0,00E+00	7,87E-05	3,98E-03	4,34E+02	7,52E+03	3,14E+04	7,49E+04	1,32E+05	1,92E+05
	Maksimum	0,00E+00	7,45E-04	3,66E-02	2,41E+03	2,69E+04	8,07E+04	1,47E+05	2,10E+05	2,59E+05
	Ortalama	0,00E+00	2,26E-04	1,13E-02	9,59E+02	1,34E+04	4,81E+04	1,02E+05	1,63E+05	2,21E+05
Cm-243	**Minimum**	0,00E+00	1,79E-10	1,89E-08	2,38E-02	9,25E-01	6,28E+00	2,09E+01	4,76E+01	8,40E+01
	Maksimum	0,00E+00	2,82E-09	2,90E-07	2,16E-01	5,34E+00	2,47E+01	5,97E+01	1,03E+02	1,44E+02
	Ortalama	0,00E+00	7,04E-10	7,32E-08	6,94E-02	2,13E+00	1,19E+01	3,42E+01	6,81E+01	1,08E+02
Cm-244	**Minimum**	0,00E+00	1,81E-08	1,72E-06	2,24E+00	1,10E+02	9,23E+02	3,83E+03	1,09E+04	2,43E+04

Kullanılmış Yakıt Demeti içerisindeki İzotoplar ve Isıl Güç Değerleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Isıl Güç (W)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
	Maksimum	0,00E+00	4,78E-07	4,37E-05	3,51E+01	1,16E+03	6,78E+03	2,08E+04	4,52E+04	7,91E+04
	Ortalama	0,00E+00	9,89E-08	9,18E-06	9,08E+00	3,55E+02	2,46E+03	8,74E+03	2,17E+04	4,30E+04
Cm-245	**Minimum**	0,00E+00	2,43E-14	4,44E-12	5,97E-05	6,06E-03	7,68E-02	4,23E-01	1,43E+00	3,64E+00
	Maksimum	0,00E+00	1,05E-12	1,87E-10	1,42E-03	9,40E-02	8,03E-01	3,07E+00	7,65E+00	1,48E+01
	Ortalama	0,00E+00	1,88E-13	3,41E-11	3,23E-04	2,57E-02	2,59E-01	1,17E+00	3,40E+00	7,43E+00
Cm-246	**Minimum**	0,00E+00	2,18E-17	8,02E-15	1,22E-06	2,80E-04	6,12E-03	5,22E-02	2,62E-01	9,44E-01
	Maksimum	0,00E+00	1,94E-15	6,93E-13	5,86E-05	8,50E-03	1,23E-01	7,04E-01	2,43E+00	6,17E+00
	Ortalama	0,00E+00	2,89E-16	1,05E-13	1,09E-05	1,88E-03	3,17E-02	2,13E-01	8,67E-01	2,54E+00
Cm-247	**Minimum**	0,00E+00	1,07E-29	8,06E-27	1,36E-17	6,73E-15	2,35E-13	2,81E-12	1,86E-11	8,37E-11
	Maksimum	0,00E+00	7,75E-23	5,68E-20	5,24E-11	1,67E-08	3,84E-07	3,06E-06	1,38E-05	4,26E-05
	Ortalama	0,00E+00	6,03E-24	4,50E-21	4,95E-12	1,83E-09	4,83E-08	4,42E-07	2,26E-06	7,91E-06
Np-237	**Minimum**	0,00E+00	5,29E-04	1,82E-03	7,71E-02	2,29E-01	4,06E-01	5,52E-01	6,65E-01	7,41E-01
	Maksimum	0,00E+00	8,40E-04	2,83E-03	1,03E-01	2,74E-01	4,72E-01	6,99E-01	9,17E-01	1,12E+00
	Ortalama	0,00E+00	6,32E-04	2,16E-03	8,67E-02	2,49E-01	4,41E-01	6,36E-01	8,18E-01	9,73E-01
Ce-144	**Minimum**	0,00E+00	2,17E+03	4,28E+03	3,44E+04	5,36E+04	6,45E+04	7,05E+04	7,36E+04	7,52E+04
	Maksimum	0,00E+00	2,27E+03	4,49E+03	3,62E+04	5,76E+04	7,09E+04	7,85E+04	8,25E+04	8,41E+04
	Ortalama	0,00E+00	2,19E+03	4,33E+03	3,53E+04	5,63E+04	6,86E+04	7,55E+04	7,91E+04	8,05E+04
Cs-134	**Minimum**	0,00E+00	4,34E+00	3,44E+01	8,15E+03	3,28E+04	7,18E+04	1,23E+05	1,85E+05	2,55E+05
	Maksimum	0,00E+00	7,23E+00	5,78E+01	1,29E+04	5,03E+04	1,05E+05	1,72E+05	2,46E+05	3,21E+05
	Ortalama	0,00E+00	5,30E+00	4,23E+01	9,77E+03	3,90E+04	8,43E+04	1,42E+05	2,10E+05	2,84E+05
Cs-135	**Minimum**	0,00E+00	7,59E-05	1,57E-04	1,70E-03	3,45E-03	5,30E-03	7,35E-03	9,74E-03	1,25E-02
	Maksimum	0,00E+00	1,51E-04	3,13E-04	3,26E-03	6,47E-03	9,56E-03	1,25E-02	1,55E-02	1,84E-02
	Ortalama	0,00E+00	1,21E-04	2,51E-04	2,63E-03	5,22E-03	7,75E-03	1,03E-02	1,28E-02	1,56E-02
Cs-137	**Minimum**	0,00E+00	1,06E+02	2,12E+02	2,14E+03	4,25E+03	6,34E+03	8,41E+03	1,05E+04	1,25E+04
	Maksimum	0,00E+00	1,10E+02	2,21E+02	2,26E+03	4,48E+03	6,67E+03	8,84E+03	1,10E+04	1,31E+04
	Ortalama	0,00E+00	1,06E+02	2,13E+02	2,16E+03	4,29E+03	6,39E+03	8,48E+03	1,05E+04	1,26E+04
Eu-152	**Minimum**	0,00E+00	3,01E-04	2,79E-03	2,74E-01	3,64E-01	4,00E-01	4,26E-01	4,52E-01	4,90E-01
	Maksimum	0,00E+00	5,48E-04	4,54E-03	6,68E-01	1,22E+00	1,37E+00	1,38E+00	1,34E+00	1,29E+00
	Ortalama	0,00E+00	3,84E-04	3,40E-03	5,19E-01	8,29E-01	8,93E-01	8,91E-01	8,70E-01	8,52E-01
Eu-154	**Minimum**	0,00E+00	3,13E-01	1,67E+00	2,36E+02	1,03E+03	2,31E+03	3,86E+03	5,43E+03	6,85E+03
	Maksimum	0,00E+00	5,64E-01	2,98E+00	4,28E+02	1,71E+03	3,42E+03	5,15E+03	6,70E+03	8,13E+03
	Ortalama	0,00E+00	3,94E-01	2,10E+00	2,99E+02	1,27E+03	2,73E+03	4,39E+03	5,99E+03	7,40E+03
Eu-155	**Minimum**	0,00E+00	2,59E+00	4,73E+00	2,68E+01	6,01E+01	1,15E+02	1,85E+02	2,60E+02	3,35E+02
	Maksimum	0,00E+00	2,75E+00	5,03E+00	3,49E+01	9,22E+01	1,69E+02	2,49E+02	3,22E+02	3,89E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,63E+00	4,85E+00	2,92E+01	7,10E+01	1,35E+02	2,10E+02	2,86E+02	3,56E+02
Nd-144	**Minimum**	0,00E+00	1,39E-13	5,72E-13	5,78E-11	2,10E-10	4,32E-10	7,07E-10	1,02E-09	1,37E-09
	Maksimum	0,00E+00	1,55E-13	6,48E-13	6,98E-11	2,53E-10	5,19E-10	8,47E-10	1,22E-09	1,61E-09
	Ortalama	0,00E+00	1,44E-13	5,97E-13	6,21E-11	2,26E-10	4,63E-10	7,57E-10	1,09E-09	1,46E-09
Pm-147	**Minimum**	0,00E+00	3,29E+01	1,12E+02	2,07E+03	3,27E+03	3,82E+03	4,05E+03	4,07E+03	4,04E+03
	Maksimum	0,00E+00	3,50E+01	1,18E+02	2,26E+03	3,88E+03	4,85E+03	5,36E+03	5,53E+03	5,46E+03

Kullanılmış Yakıt Demeti içerisindeki İzotoplar ve Isıl Güç Değerleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Isıl Güç (W)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
	Ortalama	0,00E+00	3,32E+01	1,13E+02	2,20E+03	3,66E+03	4,46E+03	4,83E+03	4,93E+03	4,87E+03
Ru-106	**Minimum**	0,00E+00	1,44E+01	2,97E+01	4,28E+02	1,02E+03	1,68E+03	2,38E+03	3,10E+03	3,83E+03
	Maksimum	0,00E+00	1,66E+01	3,62E+01	7,44E+02	1,79E+03	2,87E+03	3,89E+03	4,78E+03	5,54E+03
	Ortalama	0,00E+00	1,51E+01	3,18E+01	5,28E+02	1,27E+03	2,10E+03	2,93E+03	3,75E+03	4,52E+03
Sb-129	**Minimum**	0,00E+00	1,74E+05	1,77E+05	2,07E+05	2,26E+05	2,41E+05	2,55E+05	2,69E+05	2,84E+05
	Maksimum	0,00E+00	1,82E+05	1,89E+05	2,69E+05	2,88E+05	3,04E+05	3,17E+05	3,27E+05	3,36E+05
	Ortalama	0,00E+00	1,76E+05	1,81E+05	2,27E+05	2,48E+05	2,64E+05	2,80E+05	2,94E+05	3,07E+05
Se-79	**Minimum**	0,00E+00	2,47E-05	4,95E-05	4,89E-04	9,24E-04	1,31E-03	1,65E-03	1,96E-03	2,23E-03
	Maksimum	0,00E+00	2,58E-05	5,17E-05	5,13E-04	9,80E-04	1,41E-03	1,82E-03	2,20E-03	2,55E-03
	Ortalama	0,00E+00	2,49E-05	4,99E-05	4,94E-04	9,55E-04	1,38E-03	1,77E-03	2,12E-03	2,43E-03
Sm-147	**Minimum**	0,00E+00	6,18E-11	4,38E-10	1,06E-07	3,57E-07	6,32E-07	8,74E-07	1,06E-06	1,20E-06
	Maksimum	0,00E+00	6,76E-11	4,76E-10	1,18E-07	4,22E-07	8,10E-07	1,20E-06	1,54E-06	1,79E-06
	Ortalama	0,00E+00	6,31E-11	4,45E-10	1,13E-07	4,00E-07	7,44E-07	1,07E-06	1,34E-06	1,54E-06
Sm-148	**Minimum**	0,00E+00	2,70E-16	3,28E-15	2,19E-12	9,18E-12	1,99E-11	3,36E-11	5,00E-11	6,84E-11
	Maksimum	0,00E+00	4,48E-16	5,35E-15	3,11E-12	1,22E-11	2,51E-11	4,08E-11	5,84E-11	7,72E-11
	Ortalama	0,00E+00	3,28E-16	3,98E-15	2,53E-12	1,04E-11	2,21E-11	3,67E-11	5,35E-11	7,18E-11
Sm-151	**Minimum**	0,00E+00	1,93E-01	3,82E-01	1,21E+00	1,52E+00	1,77E+00	2,01E+00	2,24E+00	2,48E+00
	Maksimum	0,00E+00	2,09E-01	4,38E-01	2,08E+00	2,54E+00	2,84E+00	3,09E+00	3,29E+00	3,49E+00
	Ortalama	0,00E+00	2,03E-01	4,21E-01	1,73E+00	2,09E+00	2,35E+00	2,57E+00	2,77E+00	2,97E+00
Sn-126	**Minimum**	0,00E+00	1,55E-04	3,14E-04	3,68E-03	8,17E-03	1,32E-02	1,87E-02	2,47E-02	3,11E-02
	Maksimum	0,00E+00	1,71E-04	3,49E-04	4,82E-03	1,09E-02	1,76E-02	2,48E-02	3,22E-02	3,98E-02
	Ortalama	0,00E+00	1,60E-04	3,26E-04	4,05E-03	9,11E-03	1,48E-02	2,10E-02	2,76E-02	3,45E-02
Sr-90	**Minimum**	0,00E+00	1,09E+02	2,15E+02	1,90E+03	3,35E+03	4,54E+03	5,56E+03	6,46E+03	7,28E+03
	Maksimum	0,00E+00	1,14E+02	2,27E+02	2,09E+03	3,93E+03	5,57E+03	7,03E+03	8,32E+03	9,45E+03
	Ortalama	0,00E+00	1,10E+02	2,19E+02	2,03E+03	3,74E+03	5,22E+03	6,51E+03	7,64E+03	8,64E+03
Tc-99	**Minimum**	0,00E+00	2,48E-03	6,79E-03	8,78E-02	1,70E-01	2,43E-01	3,09E-01	3,68E-01	4,22E-01
	Maksimum	0,00E+00	2,62E-03	7,12E-03	9,16E-02	1,78E-01	2,56E-01	3,27E-01	3,95E-01	4,56E-01
	Ortalama	0,00E+00	2,50E-03	6,82E-03	8,82E-02	1,72E-01	2,50E-01	3,21E-01	3,85E-01	4,43E-01
Yakıt Demetinin Toplam Isıl Gücü (W)	**Minimum**	5,99E-01	2,33E+08	2,35E+08	2,29E+08	2,18E+08	2,15E+08	2,14E+08	2,14E+08	2,14E+08
	Maksimum	6,78E-01	2,40E+08	2,43E+08	2,40E+08	2,28E+08	2,25E+08	2,25E+08	2,27E+08	2,30E+08
	Ortalama	6,49E-01	2,34E+08	2,37E+08	2,32E+08	2,23E+08	2,19E+08	2,18E+08	2,18E+08	2,20E+08

4.4. Değişkenlerin Kullanılmış Nükleer Yakıt Demeti Üzerindeki Etkileri

Çalışmanın bu bölümünde, soğutucu ve moderatör içerisindeki borik asit konsantrasyonu değişiminin ve IBA yakıt çubuğu içerisindeki Gd miktarı değişiminin kullanılmış nükleer yakıt demetlerindeki izotopların kütleleri üzerindeki etkileri yanma miktarına bağlı olarak incelenmiştir.

4.4.1. En Yüksek Zenginlikte (%4,95) Yakıt Çubukları ile IBA Yakıt Çubuğu İçeren Kullanılmış Yakıt Demeti İçerisindeki İzotopların Kütle Miktarları

Bu bölümdeki veri setleri, %4,95 zenginliğe sahip UO_2 yakıt çubuğu ve 12 adet IBA yakıt çubuğu içeren yakıt demetleri için ağırlıkça %4, %5 ve %8 Gd_2O_3 bulunması ve 750 ile 1500 ppm boron konsantrasyonu durumları için yapılan yanma hesaplarının sonuçları kullanılarak hazırlanmıştır.

Veri setleri oluşturulurken kullanılan yakıt demeti modelleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 En yüksek zenginlikli yakıt demeti modellemesi

Yakıt Demeti Model Kodu	Açıklaması
49041560	%4,95 UO_2 yakıt çubuğu; 4% Gd_2O_3 + 3,6% UO_2 içeren IBA; 1500 ppm Borik Asit Konsantrasyonu
49047560	%4,95 UO_2 yakıt çubuğu; 4% Gd_2O_3 + 3,6% UO_2 içeren IBA; 750 ppm Borik Asit Konsantrasyonu
49051560	%4,95 UO_2 yakıt çubuğu; 5% Gd_2O_3 + 3,6% UO_2 içeren IBA; 1500 ppm Borik Asit Konsantrasyonu
49057560	%4,95 UO_2 yakıt çubuğu; 5% Gd_2O_3 + 3,6% UO_2 içeren IBA; 750 ppm Borik Asit Konsantrasyonu
49081560	%4,95 UO_2 yakıt çubuğu; 8% Gd_2O_3 + 3,6% UO_2 içeren IBA; 1500 ppm Borik Asit Konsantrasyonu
49087560	%4,95 UO_2 yakıt çubuğu; 8% Gd_2O_3 + 3,6% UO_2 içeren IBA; 750 ppm Borik Asit Konsantrasyonu

Her bir yakıt demeti için yanma miktarına bağlı olarak kullanılmış yakıt içerisindeki izotopların kütlelerindeki değişim Çizelge 4.5'te sunulmuştur.

Çizelge 4.5 En yüksek zenginlikli kullanılmış yakıt demeti için izotop kütle miktarları

% 4,95 Zenginlikli Yakıt Demeti İzotop Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	İzotop ve Kütlesi (g)	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
		Yanma Süresi (Gün)								
		0	8,24	16,48	164,78	329,59	494,60	659,79	825,19	990,70
49041560	U-234	0	2,82E-02	5,62E-02	5,07E-01	9,11E-01	1,24E+00	1,56E+00	1,91E+00	2,32E+00
49047560	U-234	0	2,49E-02	4,99E-02	4,50E-01	8,10E-01	1,11E+00	1,39E+00	1,68E+00	2,03E+00
49051560	U-234	0	2,72E-02	5,45E-02	4,94E-01	8,90E-01	1,21E+00	1,53E+00	1,86E+00	2,26E+00
49057560	U-234	0	2,42E-02	4,84E-02	4,44E-01	7,93E-01	1,09E+00	1,35E+00	1,64E+00	1,97E+00
49081560	U-234	0	2,74E-02	5,45E-02	4,95E-01	8,86E-01	1,21E+00	1,52E+00	1,86E+00	2,26E+00
49087560	U-234	0	2,39E-02	4,80E-02	4,44E-01	7,94E-01	1,08E+00	1,36E+00	1,65E+00	1,99E+00
49041560	U-235	2,32E+04	2,29E+04	1,83E+04	1,41E+04	1,06E+04	7,75E+03	5,49E+03	3,75E+03	3,75E+03
49047560	U-235	2,32E+04	2,29E+04	1,82E+04	1,39E+04	1,03E+04	7,37E+03	5,04E+03	3,27E+03	3,27E+03
49051560	U-235	2,32E+04	2,29E+04	1,83E+04	1,40E+04	1,05E+04	7,67E+03	5,39E+03	3,65E+03	3,65E+03
49057560	U-235	2,32E+04	2,29E+04	1,82E+04	1,39E+04	1,03E+04	7,29E+03	4,93E+03	3,16E+03	3,16E+03

% 4,95 Zenginlikli Yakıt Demeti İzotop Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	İzotop ve Kütlesi (g)	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
		Yanma Süresi (Gün)								
		0	8,24	16,48	164,78	329,59	494,60	659,79	825,19	990,70
49081560	U-235	2,32E+04	2,29E+04	1,83E+04	1,40E+04	1,05E+04	7,68E+03	5,40E+03	3,66E+03	3,66E+03
49087560	U-235	2,32E+04	2,29E+04	1,82E+04	1,39E+04	1,03E+04	7,31E+03	4,95E+03	3,18E+03	3,18E+03
49041560	U-236	0,00E+00	5,52E+01	1,10E+02	9,84E+02	1,75E+03	2,33E+03	2,77E+03	3,06E+03	3,23E+03
49047560	U-236	0,00E+00	5,38E+01	1,07E+02	9,69E+02	1,73E+03	2,33E+03	2,77E+03	3,07E+03	3,24E+03
49051560	U-236	0,00E+00	5,49E+01	1,09E+02	9,80E+02	1,74E+03	2,33E+03	2,77E+03	3,06E+03	3,23E+03
49057560	U-236	0,00E+00	5,36E+01	1,07E+02	9,65E+02	1,73E+03	2,33E+03	2,77E+03	3,08E+03	3,25E+03
49081560	U-236	0,00E+00	5,49E+01	1,09E+02	9,81E+02	1,74E+03	2,33E+03	2,77E+03	3,07E+03	3,24E+03
49087560	U-236	0,00E+00	5,36E+01	1,07E+02	9,65E+02	1,73E+03	2,33E+03	2,77E+03	3,08E+03	3,25E+03
49041560	U-238	4,51E+05	4,51E+05	4,50E+05	4,48E+05	4,45E+05	4,42E+05	4,39E+05	4,35E+05	4,31E+05
49047560	U-238	4,51E+05	4,51E+05	4,51E+05	4,48E+05	4,46E+05	4,43E+05	4,39E+05	4,36E+05	4,32E+05
49051560	U-238	4,51E+05	4,51E+05	4,50E+05	4,48E+05	4,45E+05	4,42E+05	4,39E+05	4,35E+05	4,31E+05
49057560	U-238	4,51E+05	4,51E+05	4,51E+05	4,48E+05	4,46E+05	4,43E+05	4,40E+05	4,36E+05	4,32E+05
49081560	U-238	4,51E+05	4,51E+05	4,50E+05	4,48E+05	4,45E+05	4,42E+05	4,39E+05	4,35E+05	4,31E+05
49087560	U-238	4,51E+05	4,51E+05	4,51E+05	4,48E+05	4,46E+05	4,43E+05	4,40E+05	4,36E+05	4,32E+05
49041560	Pu-238	0	3,36E-04	3,36E-03	2,19E+00	1,35E+01	3,84E+01	7,88E+01	1,34E+02	2,01E+02
49047560	Pu-238	0	2,76E-04	2,77E-03	1,84E+00	1,14E+01	3,29E+01	6,82E+01	1,17E+02	1,76E+02
49051560	Pu-238	0	3,22E-04	3,21E-03	2,12E+00	1,30E+01	3,71E+01	7,62E+01	1,30E+02	1,95E+02
49057560	Pu-238	0	2,67E-04	2,67E-03	1,77E+00	1,10E+01	3,18E+01	6,59E+01	1,13E+02	1,70E+02
49081560	Pu-238	0	3,25E-04	3,25E-03	2,13E+00	1,30E+01	3,72E+01	7,63E+01	1,30E+02	1,96E+02
49087560	Pu-238	0	2,63E-04	2,64E-03	1,78E+00	1,11E+01	3,19E+01	6,63E+01	1,14E+02	1,72E+02
49041560	Pu-239	0	6,91E+01	1,75E+02	1,59E+03	2,42E+03	2,84E+03	3,03E+03	3,10E+03	3,11E+03
49047560	Pu-239	0	6,31E+01	1,60E+02	1,46E+03	2,20E+03	2,56E+03	2,70E+03	2,72E+03	2,70E+03
49051560	Pu-239	0	6,79E+01	1,71E+02	1,55E+03	2,36E+03	2,76E+03	2,94E+03	3,00E+03	3,00E+03
49057560	Pu-239	0	6,19E+01	1,56E+02	1,42E+03	2,14E+03	2,48E+03	2,61E+03	2,63E+03	2,60E+03
49081560	Pu-239	0	6,80E+01	1,72E+02	1,56E+03	2,36E+03	2,77E+03	2,95E+03	3,01E+03	3,02E+03
49087560	Pu-239	0	6,21E+01	1,57E+02	1,43E+03	2,16E+03	2,49E+03	2,63E+03	2,64E+03	2,61E+03
49041560	Pu-240	0	5,49E-01	2,60E+00	1,89E+02	4,75E+02	7,59E+02	1,01E+03	1,23E+03	1,39E+03
49047560	Pu-240	0	4,87E-01	2,33E+00	1,77E+02	4,57E+02	7,39E+02	9,89E+02	1,20E+03	1,36E+03
49051560	Pu-240	0	5,38E-01	2,55E+00	1,87E+02	4,74E+02	7,58E+02	1,01E+03	1,22E+03	1,38E+03
49057560	Pu-240	0	4,76E-01	2,28E+00	1,75E+02	4,52E+02	7,34E+02	9,82E+02	1,19E+03	1,35E+03
49081560	Pu-240	0	5,39E-01	2,56E+00	1,88E+02	4,74E+02	7,58E+02	1,01E+03	1,22E+03	1,38E+03
49087560	Pu-240	0	4,79E-01	2,30E+00	1,76E+02	4,54E+02	7,34E+02	9,86E+02	1,19E+03	1,35E+03
49041560	Pu-241	0	1,08E-02	1,05E-01	7,48E+01	2,96E+02	5,38E+02	7,43E+02	8,97E+02	1,00E+03
49047560	Pu-241	0	8,76E-03	8,59E-02	6,42E+01	2,61E+02	4,77E+02	6,62E+02	7,93E+02	8,74E+02
49051560	Pu-241	0	1,04E-02	1,01E-01	7,26E+01	2,88E+02	5,23E+02	7,26E+02	8,76E+02	9,72E+02
49057560	Pu-241	0	8,37E-03	8,25E-02	6,19E+01	2,54E+02	4,64E+02	6,43E+02	7,67E+02	8,44E+02
49081560	Pu-241	0	1,04E-02	1,02E-01	7,30E+01	2,89E+02	5,26E+02	7,28E+02	8,77E+02	9,79E+02
49087560	Pu-241	0	8,44E-03	8,36E-02	6,28E+01	2,55E+02	4,68E+02	6,45E+02	7,73E+02	8,50E+02
49041560	Pu-242	0	2,47E-05	4,86E-04	4,00E+00	3,55E+01	1,08E+02	2,17E+02	3,55E+02	5,10E+02

% 4,95 Zenginlikli Yakıt Demeti İzotop Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	İzotop ve Kütlesi (g)	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
		Yanma Süresi (Gün)								
		0	8,24	16,48	164,78	329,59	494,60	659,79	825,19	990,70
49047560	Pu-242	0	2,00E-05	3,98E-04	3,47E+00	3,22E+01	1,01E+02	2,09E+02	3,50E+02	5,11E+02
49051560	Pu-242	0	2,39E-05	4,71E-04	3,91E+00	3,49E+01	1,07E+02	2,16E+02	3,55E+02	5,12E+02
49057560	Pu-242	0	1,92E-05	3,83E-04	3,37E+00	3,16E+01	9,99E+01	2,08E+02	3,49E+02	5,12E+02
49081560	Pu-242	0	2,39E-05	4,75E-04	3,92E+00	3,51E+01	1,07E+02	2,16E+02	3,54E+02	5,11E+02
49087560	Pu-242	0	1,94E-05	3,88E-04	3,42E+00	3,19E+01	1,00E+02	2,09E+02	3,49E+02	5,12E+02
49041560	Am-241	0	2,68E-06	5,25E-05	4,02E-01	3,22E+00	8,47E+00	1,44E+01	1,95E+01	2,30E+01
49047560	Am-241	0	2,17E-06	4,28E-05	3,45E-01	2,82E+00	7,47E+00	1,27E+01	1,69E+01	1,93E+01
49051560	Am-241	0	2,60E-06	5,11E-05	3,93E-01	3,15E+00	8,30E+00	1,41E+01	1,91E+01	2,23E+01
49057560	Am-241	0	2,08E-06	4,14E-05	3,34E-01	2,76E+00	7,32E+00	1,24E+01	1,64E+01	1,86E+01
49081560	Am-241	0	2,60E-06	5,13E-05	3,95E-01	3,17E+00	8,33E+00	1,42E+01	1,91E+01	2,24E+01
49087560	Am-241	0	2,10E-06	4,19E-05	3,40E-01	2,78E+00	7,37E+00	1,24E+01	1,65E+01	1,88E+01
49041560	Am-242	0	5,54E-09	1,34E-07	1,27E-03	1,04E-02	2,88E-02	5,27E-02	7,70E-02	9,80E-02
49047560	Am-242	0	4,30E-09	1,05E-07	1,06E-03	8,98E-03	2,55E-02	4,74E-02	6,98E-02	8,83E-02
49051560	Am-242	0	5,32E-09	1,29E-07	1,23E-03	1,01E-02	2,81E-02	5,16E-02	7,56E-02	9,60E-02
49057560	Am-242	0	4,10E-09	1,01E-07	1,01E-03	8,74E-03	2,49E-02	4,63E-02	6,81E-02	8,59E-02
49081560	Am-242	0	5,33E-09	1,30E-07	1,24E-03	1,02E-02	2,82E-02	5,17E-02	7,59E-02	9,63E-02
49087560	Am-242	0	4,14E-09	1,02E-07	1,03E-03	8,81E-03	2,51E-02	4,66E-02	6,84E-02	8,64E-02
49041560	Am-243	0	3,75E-08	1,66E-06	1,67E-01	3,41E+00	1,63E+01	4,45E+01	8,96E+01	1,50E+02
49047560	Am-243	0	2,73E-08	1,22E-06	1,34E-01	2,80E+00	1,40E+01	3,98E+01	8,29E+01	1,42E+02
49051560	Am-243	0	3,61E-08	1,58E-06	1,63E-01	3,28E+00	1,58E+01	4,37E+01	8,88E+01	1,50E+02
49057560	Am-243	0	2,56E-08	1,15E-06	1,27E-01	2,76E+00	1,38E+01	3,95E+01	8,20E+01	1,41E+02
49081560	Am-243	0	3,51E-08	1,57E-06	1,65E-01	3,29E+00	1,60E+01	4,41E+01	8,98E+01	1,50E+02
49087560	Am-243	0	2,62E-08	1,17E-06	1,28E-01	2,73E+00	1,39E+01	3,94E+01	8,21E+01	1,42E+02
49041560	Cm-242	0	6,70E-09	3,34E-07	3,43E-02	5,67E-01	2,30E+00	5,37E+00	9,35E+00	1,36E+01
49047560	Cm-242	0	5,19E-09	2,61E-07	2,84E-02	4,86E-01	2,03E+00	4,82E+00	8,50E+00	1,23E+01
49051560	Cm-242	0	6,48E-09	3,23E-07	3,34E-02	5,53E-01	2,25E+00	5,28E+00	9,22E+00	1,34E+01
49057560	Cm-242	0	4,97E-09	2,51E-07	2,74E-02	4,75E-01	1,99E+00	4,73E+00	8,34E+00	1,21E+01
49081560	Cm-242	0	6,48E-09	3,26E-07	3,36E-02	5,57E-01	2,26E+00	5,30E+00	9,25E+00	1,34E+01
49087560	Cm-242	0	5,02E-09	2,55E-07	2,80E-02	4,79E-01	2,00E+00	4,76E+00	8,38E+00	1,22E+01
49041560	Cm-243	0	1,11E-12	1,15E-10	1,34E-04	5,05E-03	3,27E-02	1,07E-01	2,38E-01	4,18E-01
49047560	Cm-243	0	7,95E-13	8,31E-11	1,04E-04	4,03E-03	2,71E-02	9,01E-02	2,04E-01	3,62E-01
49051560	Cm-243	0	1,06E-12	1,08E-10	1,31E-04	4,84E-03	3,17E-02	1,03E-01	2,32E-01	4,08E-01
49057560	Cm-243	0	7,46E-13	7,88E-11	9,91E-05	3,86E-03	2,62E-02	8,72E-02	1,99E-01	3,50E-01
49081560	Cm-243	0	1,05E-12	1,11E-10	1,31E-04	4,90E-03	3,21E-02	1,04E-01	2,32E-01	4,06E-01
49087560	Cm-243	0	7,57E-13	7,99E-11	1,01E-04	3,91E-03	2,63E-02	8,85E-02	2,01E-01	3,53E-01
49041560	Cm-244	0	8,06E-11	7,60E-09	8,94E-03	4,18E-01	3,28E+00	1,30E+01	3,52E+01	7,53E+01
49047560	Cm-244	0	5,39E-11	5,11E-09	6,54E-03	3,13E-01	2,59E+00	1,07E+01	3,03E+01	6,74E+01
49051560	Cm-244	0	7,64E-11	7,03E-09	8,62E-03	3,93E-01	3,13E+00	1,25E+01	3,43E+01	7,40E+01
49057560	Cm-244	0	4,94E-11	4,68E-09	6,11E-03	3,01E-01	2,52E+00	1,04E+01	2,96E+01	6,64E+01

% 4,95 Zenginlikli Yakıt Demeti İzotop Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	İzotop ve Kütlesi (g)	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
		Yanma Süresi (Gün)								
		0	8,24	16,48	164,78	329,59	494,60	659,79	825,19	990,70
49081560	Cm-244	0	7,52E-11	7,05E-09	8,64E-03	3,96E-01	3,16E+00	1,26E+01	3,47E+01	7,49E+01
49087560	Cm-244	0	5,04E-11	4,75E-09	6,20E-03	2,99E-01	2,52E+00	1,04E+01	2,96E+01	6,63E+01
49041560	Cm-245	0	5,98E-14	1,11E-11	1,32E-04	1,31E-02	1,57E-01	8,22E-01	2,70E+00	6,60E+00
49047560	Cm-245	0	3,60E-14	6,83E-12	8,87E-05	8,86E-03	1,11E-01	5,96E-01	2,04E+00	5,14E+00
49051560	Cm-245	0	5,60E-14	1,01E-11	1,25E-04	1,19E-02	1,43E-01	7,66E-01	2,57E+00	6,34E+00
49057560	Cm-245	0	3,26E-14	5,96E-12	8,01E-05	8,14E-03	1,03E-01	5,69E-01	1,92E+00	4,89E+00
49081560	Cm-245	0	5,48E-14	1,01E-11	1,27E-04	1,20E-02	1,46E-01	7,59E-01	2,60E+00	6,45E+00
49087560	Cm-245	0	3,34E-14	6,21E-12	8,25E-05	8,33E-03	1,03E-01	5,68E-01	1,93E+00	4,94E+00
49041560	Cm-246	0	3,02E-17	1,13E-14	1,50E-06	3,30E-04	6,71E-03	5,31E-02	2,50E-01	8,41E-01
49047560	Cm-246	0	1,86E-17	7,08E-15	1,04E-06	2,34E-04	5,02E-03	4,19E-02	2,09E-01	7,43E-01
49051560	Cm-246	0	2,83E-17	1,03E-14	1,43E-06	3,04E-04	6,19E-03	5,00E-02	2,41E-01	8,25E-01
49057560	Cm-246	0	1,68E-17	6,20E-15	9,42E-07	2,16E-04	4,74E-03	4,06E-02	2,03E-01	7,29E-01
49081560	Cm-246	0	2,77E-17	1,02E-14	1,44E-06	3,06E-04	6,27E-03	4,97E-02	2,41E-01	8,32E-01
49087560	Cm-246	0	1,73E-17	6,46E-15	9,69E-07	2,21E-04	4,73E-03	4,04E-02	2,03E-01	7,31E-01
49041560	Cm-247	0	5,81E-26	4,41E-23	6,43E-14	3,05E-11	9,93E-10	1,09E-08	6,68E-08	2,81E-07
49047560	Cm-247	0	3,20E-26	2,49E-23	4,00E-14	1,96E-11	6,68E-10	7,77E-09	5,11E-08	2,29E-07
49051560	Cm-247	0	5,33E-26	4,00E-23	6,09E-14	2,74E-11	8,92E-10	9,93E-09	6,27E-08	2,70E-07
49057560	Cm-247	0	2,80E-26	2,11E-23	3,55E-14	1,76E-11	6,16E-10	7,36E-09	4,88E-08	2,19E-07
49081560	Cm-247	0	5,24E-26	3,95E-23	6,08E-14	2,79E-11	9,07E-10	1,01E-08	6,27E-08	2,70E-07
49087560	Cm-247	0	2,91E-26	2,22E-23	3,68E-14	1,82E-11	6,19E-10	7,36E-09	4,88E-08	2,21E-07
49041560	Np-237	0	2,38E-01	8,14E-01	3,35E+01	9,94E+01	1,79E+02	2,65E+02	3,48E+02	4,24E+02
49047560	Np-237	0	2,09E-01	7,16E-01	3,00E+01	8,90E+01	1,63E+02	2,42E+02	3,22E+02	3,94E+02
49051560	Np-237	0	2,30E-01	7,89E-01	3,28E+01	9,63E+01	1,76E+02	2,59E+02	3,42E+02	4,19E+02
49057560	Np-237	0	2,04E-01	6,98E-01	2,93E+01	8,70E+01	1,59E+02	2,37E+02	3,14E+02	3,86E+02
49081560	Np-237	0	2,32E-01	7,90E-01	3,31E+01	9,63E+01	1,75E+02	2,59E+02	3,42E+02	4,19E+02
49087560	Np-237	0	2,01E-01	6,91E-01	2,93E+01	8,72E+01	1,59E+02	2,38E+02	3,17E+02	3,89E+02
49041560	Ce-144	0	8,10E+00	1,60E+01	1,32E+02	2,12E+02	2,61E+02	2,89E+02	3,04E+02	3,10E+02
49047560	Ce-144	0	8,12E+00	1,61E+01	1,32E+02	2,13E+02	2,62E+02	2,91E+02	3,05E+02	3,11E+02
49051560	Ce-144	0	8,11E+00	1,60E+01	1,31E+02	2,12E+02	2,60E+02	2,88E+02	3,02E+02	3,08E+02
49057560	Ce-144	0	8,12E+00	1,61E+01	1,32E+02	2,13E+02	2,62E+02	2,90E+02	3,04E+02	3,09E+02
49081560	Ce-144	0	8,10E+00	1,60E+01	1,31E+02	2,12E+02	2,60E+02	2,88E+02	3,03E+02	3,09E+02
49087560	Ce-144	0	8,12E+00	1,61E+01	1,32E+02	2,13E+02	2,62E+02	2,90E+02	3,04E+02	3,09E+02
49041560	Cs-133	0	2,71E+00	9,64E+00	1,72E+02	3,41E+02	4,97E+02	6,38E+02	7,65E+02	8,76E+02
49047560	Cs-133	0	2,71E+00	9,64E+00	1,72E+02	3,43E+02	5,00E+02	6,43E+02	7,71E+02	8,83E+02
49051560	Cs-133	0	2,73E+00	9,68E+00	1,72E+02	3,42E+02	4,97E+02	6,39E+02	7,66E+02	8,78E+02
49057560	Cs-133	0	2,73E+00	9,68E+00	1,73E+02	3,43E+02	5,00E+02	6,44E+02	7,72E+02	8,84E+02
49081560	Cs-133	0	2,73E+00	9,68E+00	1,72E+02	3,42E+02	4,97E+02	6,39E+02	7,66E+02	8,77E+02
49087560	Cs-133	0	2,73E+00	9,68E+00	1,73E+02	3,43E+02	5,00E+02	6,43E+02	7,72E+02	8,84E+02
49041560	Cs-134	0	2,85E-03	2,27E-02	5,29E+00	2,12E+01	4,60E+01	7,82E+01	1,16E+02	1,59E+02

% 4,95 Zenginlikli Yakıt Demeti İzotop Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	İzotop ve Kütlesi (g)	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
		Yanma Süresi (Gün)								
		0	8,24	16,48	164,78	329,59	494,60	659,79	825,19	990,70
49047560	Cs-134	0	2,59E-03	2,06E-02	4,87E+00	1,95E+01	4,26E+01	7,32E+01	1,10E+02	1,51E+02
49051560	Cs-134	0	2,78E-03	2,23E-02	5,18E+00	2,08E+01	4,53E+01	7,70E+01	1,14E+02	1,57E+02
49057560	Cs-134	0	2,56E-03	2,02E-02	4,77E+00	1,92E+01	4,20E+01	7,21E+01	1,08E+02	1,49E+02
49081560	Cs-134	0	2,82E-03	2,25E-02	5,22E+00	2,09E+01	4,53E+01	7,68E+01	1,15E+02	1,58E+02
49087560	Cs-134	0	2,54E-03	2,04E-02	4,77E+00	1,94E+01	4,22E+01	7,22E+01	1,09E+02	1,50E+02
49041560	Cs-135	0	2,24E+00	4,66E+00	4,85E+01	9,62E+01	1,42E+02	1,86E+02	2,30E+02	2,74E+02
49047560	Cs-135	0	2,16E+00	4,48E+00	4,61E+01	9,05E+01	1,32E+02	1,72E+02	2,11E+02	2,51E+02
49051560	Cs-135	0	2,24E+00	4,65E+00	4,83E+01	9,55E+01	1,41E+02	1,84E+02	2,27E+02	2,70E+02
49057560	Cs-135	0	2,15E+00	4,46E+00	4,59E+01	8,99E+01	1,31E+02	1,70E+02	2,09E+02	2,47E+02
49081560	Cs-135	0	2,24E+00	4,65E+00	4,84E+01	9,57E+01	1,41E+02	1,85E+02	2,28E+02	2,71E+02
49087560	Cs-135	0	2,16E+00	4,47E+00	4,60E+01	9,02E+01	1,32E+02	1,71E+02	2,09E+02	2,48E+02
49041560	Cs-137	0	8,84E+00	1,77E+01	1,78E+02	3,55E+02	5,29E+02	7,02E+02	8,74E+02	1,04E+03
49047560	Cs-137	0	8,85E+00	1,77E+01	1,78E+02	3,54E+02	5,29E+02	7,01E+02	8,72E+02	1,04E+03
49051560	Cs-137	0	8,84E+00	1,77E+01	1,78E+02	3,55E+02	5,29E+02	7,02E+02	8,73E+02	1,04E+03
49057560	Cs-137	0	8,85E+00	1,77E+01	1,78E+02	3,54E+02	5,28E+02	7,01E+02	8,71E+02	1,04E+03
49081560	Cs-137	0	8,84E+00	1,77E+01	1,78E+02	3,55E+02	5,29E+02	7,02E+02	8,73E+02	1,04E+03
49087560	Cs-137	0	8,85E+00	1,77E+01	1,78E+02	3,54E+02	5,28E+02	7,01E+02	8,72E+02	1,04E+03
49041560	Eu-151	0	3,60E-05	1,59E-04	4,35E-03	5,85E-03	6,24E-03	6,30E-03	6,15E-03	5,98E-03
49047560	Eu-151	0	3,58E-05	1,58E-04	4,17E-03	5,35E-03	5,44E-03	5,25E-03	4,94E-03	4,60E-03
49051560	Eu-151	0	3,63E-05	1,60E-04	4,35E-03	5,79E-03	6,12E-03	6,12E-03	5,93E-03	5,72E-03
49057560	Eu-151	0	3,61E-05	1,59E-04	4,17E-03	5,27E-03	5,32E-03	5,08E-03	4,73E-03	4,39E-03
49081560	Eu-151	0	3,63E-05	1,60E-04	4,35E-03	5,80E-03	6,14E-03	6,15E-03	5,97E-03	5,77E-03
49087560	Eu-151	0	3,61E-05	1,59E-04	4,17E-03	5,29E-03	5,34E-03	5,12E-03	4,76E-03	4,41E-03
49041560	Eu-152	0	1,77E-06	1,64E-05	3,86E-03	7,06E-03	7,88E-03	7,96E-03	7,75E-03	7,45E-03
49047560	Eu-152	0	1,74E-06	1,61E-05	3,64E-03	6,24E-03	6,60E-03	6,32E-03	5,88E-03	5,43E-03
49051560	Eu-152	0	1,79E-06	1,65E-05	3,85E-03	6,94E-03	7,67E-03	7,69E-03	7,39E-03	7,08E-03
49057560	Eu-152	0	1,75E-06	1,62E-05	3,63E-03	6,15E-03	6,41E-03	6,07E-03	5,58E-03	5,10E-03
49081560	Eu-152	0	1,78E-06	1,65E-05	3,86E-03	6,96E-03	7,71E-03	7,73E-03	7,47E-03	7,17E-03
49087560	Eu-152	0	1,75E-06	1,62E-05	3,63E-03	6,18E-03	6,45E-03	6,14E-03	5,64E-03	5,16E-03
49041560	Eu-153	0	1,88E-01	4,69E-01	8,70E+00	2,40E+01	4,30E+01	6,25E+01	8,10E+01	9,77E+01
49047560	Eu-153	0	1,86E-01	4,63E-01	8,45E+00	2,33E+01	4,18E+01	6,12E+01	8,02E+01	9,69E+01
49051560	Eu-153	0	1,88E-01	4,68E-01	8,66E+00	2,38E+01	4,26E+01	6,22E+01	8,09E+01	9,76E+01
49057560	Eu-153	0	1,86E-01	4,63E-01	8,36E+00	2,30E+01	4,14E+01	6,09E+01	7,98E+01	9,66E+01
49081560	Eu-153	0	1,88E-01	4,68E-01	8,67E+00	2,39E+01	4,26E+01	6,21E+01	8,09E+01	9,75E+01
49087560	Eu-153	0	1,86E-01	4,63E-01	8,39E+00	2,30E+01	4,13E+01	6,10E+01	7,98E+01	9,69E+01
49041560	Eu-154	0	1,08E-03	5,82E-03	8,40E-01	3,69E+00	8,33E+00	1,40E+01	1,97E+01	2,49E+01
49047560	Eu-154	0	1,01E-03	5,38E-03	7,70E-01	3,34E+00	7,53E+00	1,26E+01	1,77E+01	2,23E+01
49051560	Eu-154	0	1,07E-03	5,73E-03	8,25E-01	3,61E+00	8,13E+00	1,36E+01	1,92E+01	2,44E+01
49057560	Eu-154	0	9,92E-04	5,31E-03	7,49E-01	3,25E+00	7,30E+00	1,22E+01	1,72E+01	2,17E+01

% 4,95 Zenginlikli Yakıt Demeti İzotop Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	İzotop ve Kütlesi (g)	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
		Yanma Süresi (Gün)								
		0	8,24	16,48	164,78	329,59	494,60	659,79	825,19	990,70
49081560	Eu-154	0	1,07E-03	5,74E-03	8,27E-01	3,62E+00	8,13E+00	1,36E+01	1,93E+01	2,45E+01
49087560	Eu-154	0	9,95E-04	5,31E-03	7,54E-01	3,27E+00	7,34E+00	1,23E+01	1,73E+01	2,19E+01
49041560	Eu-155	0	5,72E-02	1,06E-01	5,92E-01	1,35E+00	2,57E+00	4,15E+00	5,81E+00	7,40E+00
49047560	Eu-155	0	5,63E-02	1,05E-01	5,80E-01	1,31E+00	2,50E+00	4,03E+00	5,64E+00	7,23E+00
49051560	Eu-155	0	5,70E-02	1,06E-01	5,88E-01	1,34E+00	2,56E+00	4,12E+00	5,77E+00	7,38E+00
49057560	Eu-155	0	5,61E-02	1,05E-01	5,78E-01	1,29E+00	2,47E+00	3,99E+00	5,61E+00	7,22E+00
49081560	Eu-155	0	5,70E-02	1,06E-01	5,89E-01	1,34E+00	2,55E+00	4,10E+00	5,76E+00	7,37E+00
49087560	Eu-155	0	5,61E-02	1,04E-01	5,78E-01	1,29E+00	2,47E+00	4,00E+00	5,62E+00	7,22E+00
49041560	Gd-154	0	5,43E-07	6,12E-06	9,60E-03	8,29E-02	2,83E-01	6,48E-01	1,18E+00	1,84E+00
49047560	Gd-154	0	5,03E-07	5,66E-06	8,85E-03	7,56E-02	2,57E-01	5,85E-01	1,06E+00	1,65E+00
49051560	Gd-154	0	5,42E-07	6,08E-06	9,51E-03	8,18E-02	2,79E-01	6,37E-01	1,16E+00	1,81E+00
49057560	Gd-154	0	5,00E-07	5,63E-06	8,68E-03	7,41E-02	2,51E-01	5,73E-01	1,04E+00	1,62E+00
49081560	Gd-154	0	5,41E-07	6,08E-06	9,52E-03	8,21E-02	2,79E-01	6,38E-01	1,16E+00	1,81E+00
49087560	Gd-154	0	5,02E-07	5,64E-06	8,73E-03	7,44E-02	2,52E-01	5,75E-01	1,04E+00	1,62E+00
49041560	Gd-155	0	8,22E-05	2,73E-04	3,92E-03	9,03E-03	1,70E-02	2,65E-02	3,57E-02	4,40E-02
49047560	Gd-155	0	8,02E-05	2,65E-04	3,61E-03	8,00E-03	1,46E-02	2,20E-02	2,87E-02	3,45E-02
49051560	Gd-155	0	8,24E-05	2,74E-04	3,88E-03	8,86E-03	1,67E-02	2,58E-02	3,44E-02	4,23E-02
49057560	Gd-155	0	8,04E-05	2,65E-04	3,59E-03	7,83E-03	1,42E-02	2,13E-02	2,77E-02	3,31E-02
49081560	Gd-155	0	8,24E-05	2,74E-04	3,90E-03	8,89E-03	1,67E-02	2,58E-02	3,46E-02	4,27E-02
49087560	Gd-155	0	8,04E-05	2,65E-04	3,59E-03	7,86E-03	1,42E-02	2,15E-02	2,79E-02	3,34E-02
49041560	Gd-156	0	5,15E-03	2,22E-02	1,87E+00	6,77E+00	1,64E+01	3,33E+01	5,95E+01	9,62E+01
49047560	Gd-156	0	4,98E-03	2,15E-02	1,79E+00	6,46E+00	1,57E+01	3,22E+01	5,84E+01	9,59E+01
49051560	Gd-156	0	5,14E-03	2,22E-02	1,86E+00	6,72E+00	1,63E+01	3,31E+01	5,93E+01	9,62E+01
49057560	Gd-156	0	4,99E-03	2,14E-02	1,78E+00	6,39E+00	1,55E+01	3,19E+01	5,82E+01	9,59E+01
49081560	Gd-156	0	5,14E-03	2,22E-02	1,86E+00	6,73E+00	1,63E+01	3,31E+01	5,93E+01	9,61E+01
49087560	Gd-156	0	4,99E-03	2,14E-02	1,78E+00	6,41E+00	1,56E+01	3,20E+01	5,82E+01	9,60E+01
49041560	Gd-157	0	6,38E-03	8,53E-03	2,28E-02	3,59E-02	5,11E-02	6,94E-02	9,15E-02	1,17E-01
49047560	Gd-157	0	5,92E-03	7,74E-03	1,95E-02	2,98E-02	4,14E-02	5,55E-02	7,24E-02	9,18E-02
49051560	Gd-157	0	6,29E-03	8,36E-03	2,21E-02	3,45E-02	4,89E-02	6,66E-02	8,75E-02	1,11E-01
49057560	Gd-157	0	5,84E-03	7,58E-03	1,89E-02	2,87E-02	3,96E-02	5,26E-02	6,83E-02	8,69E-02
49081560	Gd-157	0	6,29E-03	8,39E-03	2,23E-02	3,47E-02	4,91E-02	6,69E-02	8,79E-02	1,13E-01
49087560	Gd-157	0	5,85E-03	7,62E-03	1,91E-02	2,90E-02	3,99E-02	5,34E-02	6,89E-02	8,75E-02
49041560	Gd-158	0	1,43E-02	3,68E-02	8,56E-01	2,50E+00	5,04E+00	8,74E+00	1,40E+01	2,14E+01
49047560	Gd-158	0	1,40E-02	3,59E-02	8,05E-01	2,34E+00	4,71E+00	8,21E+00	1,33E+01	2,04E+01
49051560	Gd-158	0	1,42E-02	3,66E-02	8,46E-01	2,47E+00	4,96E+00	8,62E+00	1,39E+01	2,12E+01
49057560	Gd-158	0	1,40E-02	3,57E-02	7,93E-01	2,30E+00	4,63E+00	8,07E+00	1,31E+01	2,02E+01
49081560	Gd-158	0	1,42E-02	3,66E-02	8,47E-01	2,47E+00	4,97E+00	8,64E+00	1,39E+01	2,12E+01
49087560	Gd-158	0	1,40E-02	3,57E-02	7,97E-01	2,31E+00	4,65E+00	8,10E+00	1,31E+01	2,02E+01
49041560	Gd-160	0	1,14E-03	2,46E-03	5,42E-02	1,61E-01	3,13E-01	5,09E-01	7,44E-01	1,02E+00

% 4,95 Zenginlikli Yakıt Demeti İzotop Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	İzotop ve Kütlesi (g)	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
		Yanma Süresi (Gün)								
		0	8,24	16,48	164,78	329,59	494,60	659,79	825,19	990,70
49047560	Gd-160	0	1,07E-03	2,31E-03	5,02E-02	1,50E-01	2,94E-01	4,82E-01	7,11E-01	9,83E-01
49051560	Gd-160	0	1,13E-03	2,42E-03	5,34E-02	1,59E-01	3,09E-01	5,03E-01	7,38E-01	1,01E+00
49057560	Gd-160	0	1,06E-03	2,27E-03	4,94E-02	1,48E-01	2,90E-01	4,75E-01	7,03E-01	9,74E-01
49081560	Gd-160	0	1,13E-03	2,43E-03	5,35E-02	1,59E-01	3,10E-01	5,04E-01	7,39E-01	1,01E+00
49087560	Gd-160	0	1,06E-03	2,28E-03	4,96E-02	1,48E-01	2,91E-01	4,77E-01	7,05E-01	9,76E-01
49041560	Mo-95	0	1,40E-02	1,06E-01	4,03E+01	1,41E+02	2,49E+02	3,52E+02	4,48E+02	5,35E+02
49047560	Mo-95	0	1,40E-02	1,06E-01	4,05E+01	1,41E+02	2,51E+02	3,55E+02	4,52E+02	5,39E+02
49051560	Mo-95	0	1,42E-02	1,07E-01	4,07E+01	1,41E+02	2,50E+02	3,54E+02	4,49E+02	5,37E+02
49057560	Mo-95	0	1,42E-02	1,07E-01	4,09E+01	1,42E+02	2,52E+02	3,57E+02	4,53E+02	5,41E+02
49081560	Mo-95	0	1,42E-02	1,07E-01	4,07E+01	1,41E+02	2,50E+02	3,54E+02	4,49E+02	5,37E+02
49087560	Mo-95	0	1,42E-02	1,07E-01	4,09E+01	1,42E+02	2,52E+02	3,56E+02	4,53E+02	5,41E+02
49041560	Nd-143	0	1,97E-05	8,72E-05	2,76E-03	5,45E-03	7,66E-03	9,39E-03	1,07E-02	1,15E-02
49047560	Nd-143	0	1,97E-05	8,73E-05	2,76E-03	5,45E-03	7,62E-03	9,27E-03	1,04E-02	1,10E-02
49051560	Nd-143	0	1,99E-05	8,78E-05	2,76E-03	5,45E-03	7,65E-03	9,37E-03	1,06E-02	1,14E-02
49057560	Nd-143	0	1,99E-05	8,79E-05	2,77E-03	5,45E-03	7,61E-03	9,24E-03	1,03E-02	1,09E-02
49081560	Nd-143	0	1,99E-05	8,78E-05	2,76E-03	5,45E-03	7,65E-03	9,37E-03	1,06E-02	1,15E-02
49087560	Nd-143	0	1,99E-05	8,79E-05	2,77E-03	5,45E-03	7,61E-03	9,25E-03	1,03E-02	1,09E-02
49041560	Nd-144	0	8,75E-02	3,60E-01	3,64E+01	1,32E+02	2,72E+02	4,45E+02	6,44E+02	8,65E+02
49047560	Nd-144	0	8,74E-02	3,60E-01	3,67E+01	1,34E+02	2,77E+02	4,56E+02	6,65E+02	8,98E+02
49051560	Nd-144	0	8,81E-02	3,63E-01	3,66E+01	1,33E+02	2,74E+02	4,49E+02	6,51E+02	8,74E+02
49057560	Nd-144	0	8,81E-02	3,63E-01	3,70E+01	1,35E+02	2,79E+02	4,60E+02	6,72E+02	9,08E+02
49081560	Nd-144	0	8,80E-02	3,62E-01	3,66E+01	1,33E+02	2,74E+02	4,48E+02	6,50E+02	8,73E+02
49087560	Nd-144	0	8,80E-02	3,63E-01	3,69E+01	1,35E+02	2,79E+02	4,60E+02	6,71E+02	9,07E+02
49041560	Nd-145	0	5,67E+00	1,16E+01	1,14E+02	2,16E+02	3,08E+02	3,91E+02	4,65E+02	5,29E+02
49047560	Nd-145	0	5,67E+00	1,16E+01	1,14E+02	2,17E+02	3,11E+02	3,94E+02	4,68E+02	5,32E+02
49051560	Nd-145	0	5,67E+00	1,16E+01	1,14E+02	2,16E+02	3,09E+02	3,92E+02	4,66E+02	5,30E+02
49057560	Nd-145	0	5,68E+00	1,16E+01	1,14E+02	2,17E+02	3,11E+02	3,95E+02	4,69E+02	5,32E+02
49081560	Nd-145	0	5,67E+00	1,16E+01	1,14E+02	2,16E+02	3,09E+02	3,92E+02	4,65E+02	5,30E+02
49087560	Nd-145	0	5,68E+00	1,16E+01	1,14E+02	2,17E+02	3,11E+02	3,95E+02	4,68E+02	5,32E+02
49041560	Nd-146	0	4,59E+00	9,20E+00	9,41E+01	1,91E+02	2,93E+02	4,00E+02	5,13E+02	6,32E+02
49047560	Nd-146	0	4,58E+00	9,20E+00	9,39E+01	1,91E+02	2,92E+02	3,99E+02	5,11E+02	6,31E+02
49051560	Nd-146	0	4,59E+00	9,20E+00	9,41E+01	1,91E+02	2,93E+02	3,99E+02	5,12E+02	6,31E+02
49057560	Nd-146	0	4,58E+00	9,20E+00	9,38E+01	1,91E+02	2,92E+02	3,98E+02	5,11E+02	6,31E+02
49081560	Nd-146	0	4,59E+00	9,20E+00	9,41E+01	1,91E+02	2,93E+02	4,00E+02	5,12E+02	6,31E+02
49087560	Nd-146	0	4,58E+00	9,20E+00	9,39E+01	1,91E+02	2,92E+02	3,98E+02	5,11E+02	6,31E+02
49041560	Nd-148	0	2,64E+00	5,30E+00	5,40E+01	1,07E+02	1,61E+02	2,13E+02	2,66E+02	3,19E+02
49047560	Nd-148	0	2,64E+00	5,30E+00	5,38E+01	1,07E+02	1,60E+02	2,13E+02	2,66E+02	3,19E+02
49051560	Nd-148	0	2,64E+00	5,30E+00	5,39E+01	1,07E+02	1,60E+02	2,13E+02	2,66E+02	3,19E+02
49057560	Nd-148	0	2,64E+00	5,29E+00	5,38E+01	1,07E+02	1,60E+02	2,13E+02	2,66E+02	3,18E+02

% 4,95 Zenginlikli Yakıt Demeti İzotop Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	İzotop ve Kütlesi (g)	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
		Yanma Süresi (Gün)								
		0	8,24	16,48	164,78	329,59	494,60	659,79	825,19	990,70
49081560	Nd-148	0	2,64E+00	5,30E+00	5,39E+01	1,07E+02	1,60E+02	2,13E+02	2,66E+02	3,19E+02
49087560	Nd-148	0	2,64E+00	5,29E+00	5,38E+01	1,07E+02	1,60E+02	2,13E+02	2,66E+02	3,18E+02
49041560	Nd-150	0	1,08E+00	2,16E+00	2,27E+01	4,67E+01	7,19E+01	9,81E+01	1,25E+02	1,53E+02
49047560	Nd-150	0	1,07E+00	2,15E+00	2,25E+01	4,62E+01	7,10E+01	9,69E+01	1,24E+02	1,52E+02
49051560	Nd-150	0	1,08E+00	2,16E+00	2,26E+01	4,66E+01	7,17E+01	9,78E+01	1,25E+02	1,53E+02
49057560	Nd-150	0	1,07E+00	2,15E+00	2,24E+01	4,61E+01	7,08E+01	9,66E+01	1,23E+02	1,51E+02
49081560	Nd-150	0	1,08E+00	2,16E+00	2,26E+01	4,66E+01	7,17E+01	9,78E+01	1,25E+02	1,53E+02
49087560	Nd-150	0	1,07E+00	2,15E+00	2,24E+01	4,61E+01	7,09E+01	9,67E+01	1,24E+02	1,51E+02
49041560	Pd-105	0	8,45E-01	2,04E+00	3,16E+01	7,64E+01	1,30E+02	1,91E+02	2,58E+02	3,29E+02
49047560	Pd-105	0	8,30E-01	2,00E+00	3,05E+01	7,34E+01	1,25E+02	1,84E+02	2,49E+02	3,18E+02
49051560	Pd-105	0	8,44E-01	2,03E+00	3,14E+01	7,58E+01	1,29E+02	1,90E+02	2,56E+02	3,27E+02
49057560	Pd-105	0	8,30E-01	1,99E+00	3,03E+01	7,28E+01	1,24E+02	1,82E+02	2,47E+02	3,16E+02
49081560	Pd-105	0	8,44E-01	2,03E+00	3,14E+01	7,59E+01	1,29E+02	1,90E+02	2,57E+02	3,27E+02
49087560	Pd-105	0	8,30E-01	1,99E+00	3,03E+01	7,30E+01	1,24E+02	1,83E+02	2,47E+02	3,16E+02
49041560	Pd-108	0	1,14E-01	2,53E-01	6,90E+00	2,13E+01	4,17E+01	6,75E+01	9,82E+01	1,33E+02
49047560	Pd-108	0	1,08E-01	2,39E-01	6,41E+00	1,99E+01	3,93E+01	6,42E+01	9,42E+01	1,29E+02
49051560	Pd-108	0	1,12E-01	2,50E-01	6,81E+00	2,10E+01	4,12E+01	6,68E+01	9,73E+01	1,32E+02
49057560	Pd-108	0	1,07E-01	2,36E-01	6,31E+00	1,96E+01	3,87E+01	6,34E+01	9,32E+01	1,28E+02
49081560	Pd-108	0	1,12E-01	2,50E-01	6,83E+00	2,10E+01	4,13E+01	6,69E+01	9,75E+01	1,32E+02
49087560	Pd-108	0	1,07E-01	2,36E-01	6,34E+00	1,97E+01	3,89E+01	6,36E+01	9,35E+01	1,28E+02
49041560	Pm-147	0	7,45E-01	2,54E+00	5,04E+01	8,55E+01	1,06E+02	1,17E+02	1,22E+02	1,21E+02
49047560	Pm-147	0	7,45E-01	2,54E+00	5,10E+01	8,73E+01	1,09E+02	1,20E+02	1,24E+02	1,23E+02
49051560	Pm-147	0	7,50E-01	2,55E+00	5,05E+01	8,59E+01	1,07E+02	1,18E+02	1,22E+02	1,21E+02
49057560	Pm-147	0	7,49E-01	2,55E+00	5,11E+01	8,77E+01	1,10E+02	1,21E+02	1,25E+02	1,24E+02
49081560	Pm-147	0	7,49E-01	2,55E+00	5,04E+01	8,59E+01	1,07E+02	1,18E+02	1,22E+02	1,21E+02
49087560	Pm-147	0	7,49E-01	2,55E+00	5,11E+01	8,76E+01	1,10E+02	1,21E+02	1,25E+02	1,23E+02
49041560	Rh-103	0	2,32E-01	8,93E-01	4,73E+01	1,15E+02	1,77E+02	2,32E+02	2,79E+02	3,16E+02
49047560	Rh-103	0	2,31E-01	8,87E-01	4,69E+01	1,14E+02	1,76E+02	2,30E+02	2,76E+02	3,12E+02
49051560	Rh-103	0	2,33E-01	8,97E-01	4,73E+01	1,15E+02	1,77E+02	2,32E+02	2,78E+02	3,16E+02
49057560	Rh-103	0	2,32E-01	8,92E-01	4,70E+01	1,14E+02	1,76E+02	2,30E+02	2,75E+02	3,11E+02
49081560	Rh-103	0	2,33E-01	8,97E-01	4,74E+01	1,15E+02	1,77E+02	2,32E+02	2,79E+02	3,16E+02
49087560	Rh-103	0	2,32E-01	8,92E-01	4,70E+01	1,14E+02	1,76E+02	2,30E+02	2,76E+02	3,12E+02
49041560	Ru-101	0	5,51E+00	1,10E+01	1,12E+02	2,23E+02	3,33E+02	4,41E+02	5,47E+02	6,50E+02
49047560	Ru-101	0	5,50E+00	1,10E+01	1,12E+02	2,23E+02	3,32E+02	4,41E+02	5,47E+02	6,50E+02
49051560	Ru-101	0	5,51E+00	1,10E+01	1,12E+02	2,23E+02	3,33E+02	4,41E+02	5,47E+02	6,50E+02
49057560	Ru-101	0	5,50E+00	1,10E+01	1,12E+02	2,23E+02	3,32E+02	4,40E+02	5,46E+02	6,50E+02
49081560	Ru-101	0	5,51E+00	1,10E+01	1,12E+02	2,23E+02	3,33E+02	4,41E+02	5,47E+02	6,50E+02
49087560	Ru-101	0	5,50E+00	1,10E+01	1,12E+02	2,23E+02	3,32E+02	4,40E+02	5,46E+02	6,50E+02
49041560	Ru-106	0	5,87E-01	1,21E+00	1,79E+01	4,27E+01	7,02E+01	9,89E+01	1,28E+02	1,56E+02

% 4,95 Zenginlikli Yakıt Demeti İzotop Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	İzotop ve Kütlesi (g)	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
		Yanma Süresi (Gün)								
		0	8,24	16,48	164,78	329,59	494,60	659,79	825,19	990,70
49047560	Ru-106	0	5,71E-01	1,18E+00	1,70E+01	4,05E+01	6,69E+01	9,48E+01	1,23E+02	1,52E+02
49051560	Ru-106	0	5,83E-01	1,20E+00	1,78E+01	4,22E+01	6,94E+01	9,77E+01	1,26E+02	1,54E+02
49057560	Ru-106	0	5,67E-01	1,17E+00	1,68E+01	3,99E+01	6,60E+01	9,35E+01	1,22E+02	1,50E+02
49081560	Ru-106	0	5,83E-01	1,21E+00	1,78E+01	4,23E+01	6,95E+01	9,79E+01	1,26E+02	1,55E+02
49087560	Ru-106	0	5,67E-01	1,17E+00	1,69E+01	4,01E+01	6,61E+01	9,37E+01	1,22E+02	1,51E+02
49041560	Sb-129	0	2,63E-02	2,68E-02	3,22E-02	3,52E-02	3,76E-02	3,97E-02	4,16E-02	4,36E-02
49047560	Sb-129	0	2,61E-02	2,65E-02	3,12E-02	3,41E-02	3,64E-02	3,85E-02	4,07E-02	4,28E-02
49051560	Sb-129	0	2,61E-02	2,65E-02	3,17E-02	3,47E-02	3,70E-02	3,91E-02	4,11E-02	4,30E-02
49057560	Sb-129	0	2,58E-02	2,62E-02	3,08E-02	3,36E-02	3,58E-02	3,79E-02	4,00E-02	4,22E-02
49081560	Sb-129	0	2,61E-02	2,66E-02	3,18E-02	3,47E-02	3,71E-02	3,91E-02	4,12E-02	4,32E-02
49041560	Se-79	0	3,79E-02	7,58E-02	7,52E-01	1,47E+00	2,14E+00	2,76E+00	3,34E+00	3,86E+00
49047560	Se-79	0	3,78E-02	7,56E-02	7,50E-01	1,46E+00	2,13E+00	2,75E+00	3,32E+00	3,83E+00
49051560	Se-79	0	3,79E-02	7,58E-02	7,52E-01	1,47E+00	2,14E+00	2,76E+00	3,33E+00	3,86E+00
49057560	Se-79	0	3,78E-02	7,56E-02	7,49E-01	1,46E+00	2,13E+00	2,75E+00	3,31E+00	3,82E+00
49081560	Se-79	0	3,79E-02	7,58E-02	7,52E-01	1,47E+00	2,14E+00	2,76E+00	3,33E+00	3,86E+00
49087560	Se-79	0	3,78E-02	7,56E-02	7,49E-01	1,46E+00	2,13E+00	2,75E+00	3,31E+00	3,82E+00
49041560	Sm-147	0	1,52E-03	1,07E-02	2,77E+00	9,99E+00	1,89E+01	2,78E+01	3,55E+01	4,13E+01
49047560	Sm-147	0	1,51E-03	1,07E-02	2,81E+00	1,02E+01	1,95E+01	2,89E+01	3,70E+01	4,31E+01
49051560	Sm-147	0	1,54E-03	1,09E-02	2,80E+00	1,01E+01	1,92E+01	2,82E+01	3,61E+01	4,21E+01
49057560	Sm-147	0	1,54E-03	1,09E-02	2,84E+00	1,04E+01	1,99E+01	2,94E+01	3,77E+01	4,39E+01
49081560	Sm-147	0	1,53E-03	1,09E-02	2,80E+00	1,01E+01	1,92E+01	2,82E+01	3,60E+01	4,20E+01
49087560	Sm-147	0	1,53E-03	1,09E-02	2,84E+00	1,03E+01	1,98E+01	2,93E+01	3,76E+01	4,37E+01
49041560	Sm-148	0	5,61E-04	6,94E-03	4,58E+00	1,90E+01	4,07E+01	6,79E+01	9,95E+01	1,35E+02
49047560	Sm-148	0	5,13E-04	6,36E-03	4,24E+00	1,77E+01	3,83E+01	6,47E+01	9,58E+01	1,31E+02
49051560	Sm-148	0	5,57E-04	6,83E-03	4,55E+00	1,87E+01	4,02E+01	6,72E+01	9,88E+01	1,34E+02
49057560	Sm-148	0	5,12E-04	6,22E-03	4,16E+00	1,74E+01	3,77E+01	6,39E+01	9,48E+01	1,30E+02
49081560	Sm-148	0	5,62E-04	6,88E-03	4,57E+00	1,87E+01	4,01E+01	6,71E+01	9,89E+01	1,34E+02
49087560	Sm-148	0	5,15E-04	6,24E-03	4,18E+00	1,75E+01	3,78E+01	6,40E+01	9,51E+01	1,30E+02
49041560	Sm-149	0	6,80E-01	1,12E+00	1,54E+00	1,68E+00	1,69E+00	1,64E+00	1,57E+00	1,50E+00
49047560	Sm-149	0	6,65E-01	1,08E+00	1,43E+00	1,50E+00	1,49E+00	1,42E+00	1,32E+00	1,23E+00
49051560	Sm-149	0	6,79E-01	1,11E+00	1,52E+00	1,63E+00	1,64E+00	1,59E+00	1,51E+00	1,43E+00
49057560	Sm-149	0	6,63E-01	1,07E+00	1,40E+00	1,47E+00	1,44E+00	1,36E+00	1,27E+00	1,17E+00
49081560	Sm-149	0	6,79E-01	1,11E+00	1,52E+00	1,64E+00	1,65E+00	1,59E+00	1,53E+00	1,44E+00
49087560	Sm-149	0	6,64E-01	1,07E+00	1,41E+00	1,48E+00	1,45E+00	1,37E+00	1,28E+00	1,18E+00
49041560	Sm-150	0	4,12E-01	1,67E+00	3,55E+01	7,81E+01	1,24E+02	1,70E+02	2,17E+02	2,62E+02
49047560	Sm-150	0	4,24E-01	1,70E+00	3,52E+01	7,72E+01	1,22E+02	1,68E+02	2,14E+02	2,58E+02
49051560	Sm-150	0	4,16E-01	1,68E+00	3,54E+01	7,79E+01	1,23E+02	1,70E+02	2,16E+02	2,61E+02
49057560	Sm-150	0	4,29E-01	1,71E+00	3,52E+01	7,70E+01	1,22E+02	1,67E+02	2,13E+02	2,57E+02
49081560	Sm-150	0	4,16E-01	1,68E+00	3,54E+01	7,79E+01	1,23E+02	1,70E+02	2,16E+02	2,61E+02

% 4,95 Zenginlikli Yakıt Demeti İzotop Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	İzotop ve Kütlesi (g)	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
		Yanma Süresi (Gün)								
		0	8,24	16,48	164,78	329,59	494,60	659,79	825,19	990,70
49087560	Sm-150	0	4,28E-01	1,71E+00	3,52E+01	7,70E+01	1,22E+02	1,67E+02	2,13E+02	2,57E+02
49041560	Sm-151	0	5,16E-01	1,09E+00	5,19E+00	6,33E+00	7,08E+00	7,70E+00	8,22E+00	8,70E+00
49047560	Sm-151	0	5,12E-01	1,08E+00	4,93E+00	5,84E+00	6,38E+00	6,81E+00	7,18E+00	7,52E+00
49051560	Sm-151	0	5,16E-01	1,09E+00	5,15E+00	6,23E+00	6,94E+00	7,52E+00	7,98E+00	8,46E+00
49057560	Sm-151	0	5,12E-01	1,08E+00	4,89E+00	5,74E+00	6,25E+00	6,63E+00	6,96E+00	7,28E+00
49081560	Sm-151	0	5,16E-01	1,09E+00	5,16E+00	6,24E+00	6,96E+00	7,55E+00	8,04E+00	8,51E+00
49087560	Sm-151	0	5,12E-01	1,08E+00	4,90E+00	5,76E+00	6,28E+00	6,68E+00	7,00E+00	7,31E+00
49041560	Sm-152	0	4,81E-01	1,04E+00	1,67E+01	3,32E+01	4,60E+01	5,62E+01	6,46E+01	7,17E+01
49047560	Sm-152	0	4,79E-01	1,04E+00	1,69E+01	3,39E+01	4,73E+01	5,83E+01	6,73E+01	7,52E+01
49051560	Sm-152	0	4,80E-01	1,04E+00	1,67E+01	3,33E+01	4,64E+01	5,67E+01	6,51E+01	7,22E+01
49057560	Sm-152	0	4,78E-01	1,04E+00	1,69E+01	3,41E+01	4,79E+01	5,89E+01	6,80E+01	7,61E+01
49081560	Sm-152	0	4,80E-01	1,04E+00	1,67E+01	3,33E+01	4,65E+01	5,68E+01	6,52E+01	7,23E+01
49087560	Sm-152	0	4,78E-01	1,04E+00	1,69E+01	3,41E+01	4,79E+01	5,88E+01	6,79E+01	7,55E+01
49041560	Sm-154	0	1,37E-01	2,79E-01	3,43E+00	7,94E+00	1,34E+01	1,97E+01	2,67E+01	3,46E+01
49047560	Sm-154	0	1,35E-01	2,75E-01	3,33E+00	7,67E+00	1,29E+01	1,90E+01	2,59E+01	3,37E+01
49051560	Sm-154	0	1,37E-01	2,78E-01	3,41E+00	7,88E+00	1,33E+01	1,95E+01	2,65E+01	3,44E+01
49057560	Sm-154	0	1,35E-01	2,74E-01	3,31E+00	7,61E+00	1,28E+01	1,88E+01	2,57E+01	3,35E+01
49081560	Sm-154	0	1,37E-01	2,78E-01	3,41E+00	7,89E+00	1,33E+01	1,95E+01	2,66E+01	3,44E+01
49087560	Sm-154	0	1,35E-01	2,74E-01	3,32E+00	7,63E+00	1,28E+01	1,89E+01	2,58E+01	3,35E+01
49041560	Sn-126	0	9,62E-02	1,95E-01	2,31E+00	5,13E+00	8,31E+00	1,18E+01	1,55E+01	1,94E+01
49047560	Sn-126	0	9,37E-02	1,90E-01	2,23E+00	4,94E+00	8,00E+00	1,13E+01	1,49E+01	1,88E+01
49051560	Sn-126	0	9,56E-02	1,94E-01	2,29E+00	5,09E+00	8,23E+00	1,17E+01	1,53E+01	1,92E+01
49057560	Sn-126	0	9,32E-02	1,88E-01	2,21E+00	4,90E+00	7,93E+00	1,12E+01	1,48E+01	1,86E+01
49081560	Sn-126	0	9,56E-02	1,94E-01	2,29E+00	5,10E+00	8,25E+00	1,17E+01	1,54E+01	1,93E+01
49087560	Sn-126	0	9,31E-02	1,88E-01	2,21E+00	4,91E+00	7,94E+00	1,13E+01	1,48E+01	1,87E+01
49041560	Sr-90	0	5,30E+00	1,06E+01	9,94E+01	1,86E+02	2,63E+02	3,32E+02	3,93E+02	4,47E+02
49047560	Sr-90	0	5,31E+00	1,06E+01	1,00E+02	1,88E+02	2,67E+02	3,37E+02	3,99E+02	4,53E+02
49051560	Sr-90	0	5,30E+00	1,06E+01	9,95E+01	1,87E+02	2,64E+02	3,33E+02	3,94E+02	4,48E+02
49057560	Sr-90	0	5,32E+00	1,06E+01	1,00E+02	1,89E+02	2,68E+02	3,38E+02	4,00E+02	4,54E+02
49081560	Sr-90	0	5,30E+00	1,06E+01	9,95E+01	1,87E+02	2,64E+02	3,33E+02	3,94E+02	4,48E+02
49087560	Sr-90	0	5,32E+00	1,06E+01	1,00E+02	1,89E+02	2,67E+02	3,38E+02	4,00E+02	4,54E+02
49041560	Tc-99	0	3,41E+00	9,34E+00	1,21E+02	2,37E+02	3,45E+02	4,46E+02	5,39E+02	6,23E+02
49047560	Tc-99	0	3,41E+00	9,34E+00	1,21E+02	2,38E+02	3,47E+02	4,49E+02	5,42E+02	6,27E+02
49051560	Tc-99	0	3,43E+00	9,36E+00	1,21E+02	2,37E+02	3,46E+02	4,47E+02	5,40E+02	6,24E+02
49057560	Tc-99	0	3,43E+00	9,36E+00	1,21E+02	2,38E+02	3,48E+02	4,50E+02	5,43E+02	6,28E+02
49081560	Tc-99	0	3,43E+00	9,36E+00	1,21E+02	2,37E+02	3,46E+02	4,47E+02	5,40E+02	6,24E+02
49087560	Tc-99	0	3,43E+00	9,36E+00	1,21E+02	2,38E+02	3,48E+02	4,49E+02	5,43E+02	6,27E+02
49047560	Ag-109	0	5,69E-02	1,35E-01	3,95E+00	1,19E+01	2,25E+01	3,50E+01	4,88E+01	6,34E+01
49051560	Ag-109	0	5,94E-02	1,41E-01	4,18E+00	1,24E+01	2,34E+01	3,62E+01	5,00E+01	6,44E+01

% 4,95 Zenginlikli Yakıt Demeti İzotop Kütleleri		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	İzotop ve Kütlesi (g)	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
		Yanma Süresi (Gün)								
		0	8,24	16,48	164,78	329,59	494,60	659,79	825,19	990,70
49057560	Ag-109	0	5,63E-02	1,33E-01	3,89E+00	1,17E+01	2,23E+01	3,48E+01	4,85E+01	6,29E+01
49081560	Ag-109	0	5,95E-02	1,41E-01	4,19E+00	1,25E+01	2,34E+01	3,62E+01	5,00E+01	6,43E+01
49087560	Ag-109	0	5,63E-02	1,33E-01	3,91E+00	1,17E+01	2,23E+01	3,48E+01	4,85E+01	6,29E+01

Çizelge 4.4'te yer alan veriler kullanılarak en yüksek zenginlikte (%4,95) yakıt çubukları ve IBA yakıt çubuğu içeren kullanılmış yakıt içerisindeki izotoplara ait kütle miktarları için minimum, maksimum ve ortalama değerlerin yer aldığı veri seti oluşturulmuş ve Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.6 En yüksek zenginlikli kullanılmış yakıt demeti için kütle veri seti

Yakıt Demeti İzotop ve Kütleleri			Yanma Miktarı (GWd/tU)							
İzotop Adı	İzotop Kütlesi (g)	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
U-234	Minimum	0,00E+00	2,39E-02	4,80E-02	4,44E-01	7,93E-01	1,08E+00	1,35E+00	1,64E+00	1,97E+00
	Maksimum	0,00E+00	2,82E-02	5,62E-02	5,07E-01	9,11E-01	1,24E+00	1,56E+00	1,91E+00	2,32E+00
	Ortalama	0,00E+00	2,60E-02	5,19E-02	4,72E-01	8,47E-01	1,16E+00	1,45E+00	1,77E+00	2,14E+00
U-235	Minimum	2,32E+04	2,29E+04	1,82E+04	1,39E+04	1,03E+04	7,29E+03	4,93E+03	3,16E+03	3,16E+03
	Maksimum	2,32E+04	2,29E+04	1,83E+04	1,41E+04	1,06E+04	7,75E+03	5,49E+03	3,75E+03	3,75E+03
	Ortalama	2,32E+04	2,29E+04	1,83E+04	1,40E+04	1,04E+04	7,51E+03	5,20E+03	3,45E+03	3,45E+03
U-236	Minimum	0,00E+00	5,36E+01	1,07E+02	9,65E+02	1,73E+03	2,33E+03	2,77E+03	3,06E+03	3,23E+03
	Maksimum	0,00E+00	5,52E+01	1,10E+02	9,84E+02	1,75E+03	2,33E+03	2,77E+03	3,08E+03	3,25E+03
	Ortalama	0,00E+00	5,43E+01	1,08E+02	9,74E+02	1,74E+03	2,33E+03	2,77E+03	3,07E+03	3,24E+03
U-238	Minimum	4,51E+05	4,51E+05	4,50E+05	4,48E+05	4,45E+05	4,42E+05	4,39E+05	4,35E+05	4,31E+05
	Maksimum	4,51E+05	4,51E+05	4,51E+05	4,48E+05	4,46E+05	4,43E+05	4,40E+05	4,36E+05	4,32E+05
	Ortalama	4,51E+05	4,51E+05	4,51E+05	4,48E+05	4,45E+05	4,42E+05	4,39E+05	4,36E+05	4,32E+05
Pu-238	Minimum	0,00E+00	2,63E-04	2,64E-03	1,77E+00	1,10E+01	3,18E+01	6,59E+01	1,13E+02	1,70E+02
	Maksimum	0,00E+00	3,36E-04	3,36E-03	2,19E+00	1,35E+01	3,84E+01	7,88E+01	1,34E+02	2,01E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,98E-04	2,98E-03	1,97E+00	1,22E+01	3,49E+01	7,20E+01	1,23E+02	1,85E+02
Pu-239	Minimum	0,00E+00	6,19E+01	1,56E+02	1,42E+03	2,14E+03	2,48E+03	2,61E+03	2,63E+03	2,60E+03
	Maksimum	0,00E+00	6,91E+01	1,75E+02	1,59E+03	2,42E+03	2,84E+03	3,03E+03	3,10E+03	3,11E+03
	Ortalama	0,00E+00	6,54E+01	1,65E+02	1,50E+03	2,27E+03	2,65E+03	2,81E+03	2,85E+03	2,84E+03
Pu-240	Minimum	0,00E+00	4,76E-01	2,28E+00	1,75E+02	4,52E+02	7,34E+02	9,82E+02	1,19E+03	1,35E+03
	Maksimum	0,00E+00	5,49E-01	2,60E+00	1,89E+02	4,75E+02	7,59E+02	1,01E+03	1,23E+03	1,39E+03
	Ortalama	0,00E+00	5,11E-01	2,43E+00	1,82E+02	4,64E+02	7,47E+02	9,99E+02	1,21E+03	1,37E+03

Yakıt Demeti İzotop ve Kütleleri			Yanma Miktarı (GWd/tU)							
İzotop Adı	**İzotop Kütlesi (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
Pu-241	Minimum	0,00E+00	8,37E-03	8,25E-02	6,19E+01	2,54E+02	4,64E+02	6,43E+02	7,67E+02	8,44E+02
	Maksimum	0,00E+00	1,08E-02	1,05E-01	7,48E+01	2,96E+02	5,38E+02	7,43E+02	8,97E+02	1,00E+03
	Ortalama	0,00E+00	9,52E-03	9,34E-02	6,82E+01	2,74E+02	4,99E+02	6,91E+02	8,31E+02	9,20E+02
Pu-242	Minimum	0,00E+00	1,92E-05	3,83E-04	3,37E+00	3,16E+01	9,99E+01	2,08E+02	3,49E+02	5,10E+02
	Maksimum	0,00E+00	2,47E-05	4,86E-04	4,00E+00	3,55E+01	1,08E+02	2,17E+02	3,55E+02	5,12E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,18E-05	4,33E-04	3,68E+00	3,35E+01	1,04E+02	2,13E+02	3,52E+02	5,11E+02
Am-241	Minimum	0,00E+00	2,08E-06	4,14E-05	3,34E-01	2,76E+00	7,32E+00	1,24E+01	1,64E+01	1,86E+01
	Maksimum	0,00E+00	2,68E-06	5,25E-05	4,02E-01	3,22E+00	8,47E+00	1,44E+01	1,95E+01	2,30E+01
	Ortalama	0,00E+00	2,37E-06	4,68E-05	3,68E-01	2,98E+00	7,88E+00	1,34E+01	1,79E+01	2,07E+01
Am-242	Minimum	0,00E+00	4,10E-09	1,01E-07	1,01E-03	8,74E-03	2,49E-02	4,63E-02	6,81E-02	8,59E-02
	Maksimum	0,00E+00	5,54E-09	1,34E-07	1,27E-03	1,04E-02	2,88E-02	5,27E-02	7,70E-02	9,80E-02
	Ortalama	0,00E+00	4,79E-09	1,17E-07	1,14E-03	9,53E-03	2,68E-02	4,94E-02	7,25E-02	9,18E-02
Am-243	Minimum	0,00E+00	2,56E-08	1,15E-06	1,27E-01	2,73E+00	1,38E+01	3,94E+01	8,20E+01	1,41E+02
	Maksimum	0,00E+00	3,75E-08	1,66E-06	1,67E-01	3,41E+00	1,63E+01	4,45E+01	8,98E+01	1,50E+02
	Ortalama	0,00E+00	3,13E-08	1,39E-06	1,47E-01	3,04E+00	1,50E+01	4,18E+01	8,59E+01	1,46E+02
Cm-242	Minimum	0,00E+00	4,97E-09	2,51E-07	2,74E-02	4,75E-01	1,99E+00	4,73E+00	8,34E+00	1,21E+01
	Maksimum	0,00E+00	6,70E-09	3,34E-07	3,43E-02	5,67E-01	2,30E+00	5,37E+00	9,35E+00	1,36E+01
	Ortalama	0,00E+00	5,81E-09	2,92E-07	3,09E-02	5,20E-01	2,14E+00	5,04E+00	8,84E+00	1,28E+01
Cm-243	Minimum	0,00E+00	7,46E-13	7,88E-11	9,91E-05	3,86E-03	2,62E-02	8,72E-02	1,99E-01	3,50E-01
	Maksimum	0,00E+00	1,11E-12	1,15E-10	1,34E-04	5,05E-03	3,27E-02	1,07E-01	2,38E-01	4,18E-01
	Ortalama	0,00E+00	9,21E-13	9,59E-11	1,17E-04	4,43E-03	2,93E-02	9,67E-02	2,18E-01	3,83E-01
Cm-244	Minimum	0,00E+00	4,94E-11	4,68E-09	6,11E-03	2,99E-01	2,52E+00	1,04E+01	2,96E+01	6,63E+01
	Maksimum	0,00E+00	8,06E-11	7,60E-09	8,94E-03	4,18E-01	3,28E+00	1,30E+01	3,52E+01	7,53E+01
	Ortalama	0,00E+00	6,43E-11	6,04E-09	7,51E-03	3,53E-01	2,87E+00	1,16E+01	3,23E+01	7,07E+01
Cm-245	Minimum	0,00E+00	3,26E-14	5,96E-12	8,01E-05	8,14E-03	1,03E-01	5,68E-01	1,92E+00	4,89E+00
	Maksimum	0,00E+00	5,98E-14	1,11E-11	1,32E-04	1,31E-02	1,57E-01	8,22E-01	2,70E+00	6,60E+00
	Ortalama	0,00E+00	4,54E-14	8,39E-12	1,06E-04	1,04E-02	1,27E-01	6,80E-01	2,29E+00	5,73E+00
Cm-246	Minimum	0,00E+00	1,68E-17	6,20E-15	9,42E-07	2,16E-04	4,73E-03	4,04E-02	2,03E-01	7,29E-01
	Maksimum	0,00E+00	3,02E-17	1,13E-14	1,50E-06	3,30E-04	6,71E-03	5,31E-02	2,50E-01	8,41E-01
	Ortalama	0,00E+00	2,32E-17	8,59E-15	1,22E-06	2,69E-04	5,61E-03	4,59E-02	2,24E-01	7,83E-01
Cm-247	Minimum	0,00E+00	2,80E-26	2,11E-23	3,55E-14	1,76E-11	6,16E-10	7,36E-09	4,88E-08	2,19E-07
	Maksimum	0,00E+00	5,81E-26	4,41E-23	6,43E-14	3,05E-11	9,93E-10	1,09E-08	6,68E-08	2,81E-07
	Ortalama	0,00E+00	4,21E-26	3,20E-23	4,97E-14	2,35E-11	7,82E-10	8,89E-09	5,68E-08	2,48E-07
Np-237	Minimum	0,00E+00	2,01E-01	6,91E-01	2,93E+01	8,70E+01	1,59E+02	2,37E+02	3,14E+02	3,86E+02
	Maksimum	0,00E+00	2,38E-01	8,14E-01	3,35E+01	9,94E+01	1,79E+02	2,65E+02	3,48E+02	4,24E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,19E-01	7,50E-01	3,13E+01	9,25E+01	1,68E+02	2,50E+02	3,31E+02	4,05E+02
Ce-144	Minimum	0,00E+00	8,10E+00	1,60E+01	1,31E+02	2,12E+02	2,60E+02	2,88E+02	3,02E+02	3,08E+02
	Maksimum	0,00E+00	8,12E+00	1,61E+01	1,32E+02	2,13E+02	2,62E+02	2,91E+02	3,05E+02	3,11E+02
	Ortalama	0,00E+00	8,11E+00	1,60E+01	1,32E+02	2,13E+02	2,61E+02	2,89E+02	3,04E+02	3,09E+02
Cs-133	Minimum	0,00E+00	2,71E+00	9,64E+00	1,72E+02	3,41E+02	4,97E+02	6,38E+02	7,65E+02	8,76E+02

Yakıt Demeti İzotop ve Kütleleri			Yanma Miktarı (GWd/tU)							
İzotop Adı	**İzotop Kütlesi (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
	Maksimum	0,00E+00	2,73E+00	9,68E+00	1,73E+02	3,43E+02	5,00E+02	6,44E+02	7,72E+02	8,84E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,73E+00	9,67E+00	1,72E+02	3,42E+02	4,99E+02	6,41E+02	7,68E+02	8,80E+02
Cs-134	Minimum	0,00E+00	2,54E-03	2,02E-02	4,77E+00	1,92E+01	4,20E+01	7,21E+01	1,08E+02	1,49E+02
	Maksimum	0,00E+00	2,85E-03	2,27E-02	5,29E+00	2,12E+01	4,60E+01	7,82E+01	1,16E+02	1,59E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,69E-03	2,14E-02	5,02E+00	2,02E+01	4,39E+01	7,49E+01	1,12E+02	1,54E+02
Cs-135	Minimum	0,00E+00	2,15E+00	4,46E+00	4,59E+01	8,99E+01	1,31E+02	1,70E+02	2,09E+02	2,47E+02
	Maksimum	0,00E+00	2,24E+00	4,66E+00	4,85E+01	9,62E+01	1,42E+02	1,86E+02	2,30E+02	2,74E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,20E+00	4,56E+00	4,72E+01	9,30E+01	1,37E+02	1,78E+02	2,19E+02	2,60E+02
Cs-137	Minimum	0,00E+00	8,84E+00	1,77E+01	1,78E+02	3,54E+02	5,28E+02	7,01E+02	8,71E+02	1,04E+03
	Maksimum	0,00E+00	8,85E+00	1,77E+01	1,78E+02	3,55E+02	5,29E+02	7,02E+02	8,74E+02	1,04E+03
	Ortalama	0,00E+00	8,85E+00	1,77E+01	1,78E+02	3,54E+02	5,29E+02	7,01E+02	8,73E+02	1,04E+03
Eu-151	Minimum	0,00E+00	3,58E-05	1,58E-04	4,17E-03	5,27E-03	5,32E-03	5,08E-03	4,73E-03	4,39E-03
	Maksimum	0,00E+00	3,63E-05	1,60E-04	4,35E-03	5,85E-03	6,24E-03	6,30E-03	6,15E-03	5,98E-03
	Ortalama	0,00E+00	3,61E-05	1,59E-04	4,26E-03	5,56E-03	5,77E-03	5,67E-03	5,41E-03	5,14E-03
Eu-152	Minimum	0,00E+00	1,74E-06	1,61E-05	3,63E-03	6,15E-03	6,41E-03	6,07E-03	5,58E-03	5,10E-03
	Maksimum	0,00E+00	1,79E-06	1,65E-05	3,86E-03	7,06E-03	7,88E-03	7,96E-03	7,75E-03	7,45E-03
	Ortalama	0,00E+00	1,76E-06	1,63E-05	3,74E-03	6,59E-03	7,12E-03	6,99E-03	6,62E-03	6,23E-03
Eu-153	Minimum	0,00E+00	1,86E-01	4,63E-01	8,36E+00	2,30E+01	4,13E+01	6,09E+01	7,98E+01	9,66E+01
	Maksimum	0,00E+00	1,88E-01	4,69E-01	8,70E+00	2,40E+01	4,30E+01	6,25E+01	8,10E+01	9,77E+01
	Ortalama	0,00E+00	1,87E-01	4,66E-01	8,54E+00	2,35E+01	4,21E+01	6,17E+01	8,04E+01	9,72E+01
Eu-154	Minimum	0,00E+00	9,92E-04	5,31E-03	7,49E-01	3,25E+00	7,30E+00	1,22E+01	1,72E+01	2,17E+01
	Maksimum	0,00E+00	1,08E-03	5,82E-03	8,40E-01	3,69E+00	8,33E+00	1,40E+01	1,97E+01	2,49E+01
	Ortalama	0,00E+00	1,04E-03	5,55E-03	7,94E-01	3,46E+00	7,79E+00	1,31E+01	1,84E+01	2,33E+01
Eu-155	Minimum	0,00E+00	5,61E-02	1,04E-01	5,78E-01	1,29E+00	2,47E+00	3,99E+00	5,61E+00	7,22E+00
	Maksimum	0,00E+00	5,72E-02	1,06E-01	5,92E-01	1,35E+00	2,57E+00	4,15E+00	5,81E+00	7,40E+00
	Ortalama	0,00E+00	5,66E-02	1,05E-01	5,84E-01	1,32E+00	2,52E+00	4,06E+00	5,70E+00	7,31E+00
Gd-154	Minimum	0,00E+00	5,00E-07	5,63E-06	8,68E-03	7,41E-02	2,51E-01	5,73E-01	1,04E+00	1,62E+00
	Maksimum	0,00E+00	5,43E-07	6,12E-06	9,60E-03	8,29E-02	2,83E-01	6,48E-01	1,18E+00	1,84E+00
	Ortalama	0,00E+00	5,22E-07	5,87E-06	9,15E-03	7,85E-02	2,67E-01	6,10E-01	1,11E+00	1,73E+00
Gd-155	Minimum	0,00E+00	8,02E-05	2,65E-04	3,59E-03	7,83E-03	1,42E-02	2,13E-02	2,77E-02	3,31E-02
	Maksimum	0,00E+00	8,24E-05	2,74E-04	3,92E-03	9,03E-03	1,70E-02	2,65E-02	3,57E-02	4,40E-02
	Ortalama	0,00E+00	8,13E-05	2,69E-04	3,75E-03	8,41E-03	1,56E-02	2,38E-02	3,15E-02	3,83E-02
Gd-156	Minimum	0,00E+00	4,98E-03	2,14E-02	1,78E+00	6,39E+00	1,55E+01	3,19E+01	5,82E+01	9,59E+01
	Maksimum	0,00E+00	5,15E-03	2,22E-02	1,87E+00	6,77E+00	1,64E+01	3,33E+01	5,95E+01	9,62E+01
	Ortalama	0,00E+00	5,07E-03	2,18E-02	1,83E+00	6,58E+00	1,60E+01	3,26E+01	5,88E+01	9,61E+01
Gd-157	Minimum	0,00E+00	5,84E-03	7,58E-03	1,89E-02	2,87E-02	3,96E-02	5,26E-02	6,83E-02	8,69E-02
	Maksimum	0,00E+00	6,38E-03	8,53E-03	2,28E-02	3,59E-02	5,11E-02	6,94E-02	9,15E-02	1,17E-01
	Ortalama	0,00E+00	6,10E-03	8,04E-03	2,08E-02	3,21E-02	4,50E-02	6,07E-02	7,94E-02	1,01E-01
Gd-158	Minimum	0,00E+00	1,40E-02	3,57E-02	7,93E-01	2,30E+00	4,63E+00	8,07E+00	1,31E+01	2,02E+01
	Maksimum	0,00E+00	1,43E-02	3,68E-02	8,56E-01	2,50E+00	5,04E+00	8,74E+00	1,40E+01	2,14E+01

Yakıt Demeti İzotop ve Kütleleri			Yanma Miktarı (GWd/tU)							
İzotop Adı	**İzotop Kütlesi (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
	Ortalama	0,00E+00	1,41E-02	3,62E-02	8,24E-01	2,40E+00	4,83E+00	8,40E+00	1,35E+01	2,08E+01
Gd-160	Minimum	0,00E+00	1,06E-03	2,27E-03	4,94E-02	1,48E-01	2,90E-01	4,75E-01	7,03E-01	9,74E-01
	Maksimum	0,00E+00	1,14E-03	2,46E-03	5,42E-02	1,61E-01	3,13E-01	5,09E-01	7,44E-01	1,02E+00
	Ortalama	0,00E+00	1,10E-03	2,36E-03	5,17E-02	1,54E-01	3,01E-01	4,92E-01	7,23E-01	9,96E-01
Mo-95	Minimum	0,00E+00	1,40E-02	1,06E-01	4,03E+01	1,41E+02	2,49E+02	3,52E+02	4,48E+02	5,35E+02
	Maksimum	0,00E+00	1,42E-02	1,07E-01	4,09E+01	1,42E+02	2,52E+02	3,57E+02	4,53E+02	5,41E+02
	Ortalama	0,00E+00	1,41E-02	1,07E-01	4,07E+01	1,41E+02	2,51E+02	3,55E+02	4,51E+02	5,38E+02
Nd-143	Minimum	0,00E+00	1,97E-05	8,72E-05	2,76E-03	5,45E-03	7,61E-03	9,24E-03	1,03E-02	1,09E-02
	Maksimum	0,00E+00	1,99E-05	8,79E-05	2,77E-03	5,45E-03	7,66E-03	9,39E-03	1,07E-02	1,15E-02
	Ortalama	0,00E+00	1,98E-05	8,76E-05	2,76E-03	5,45E-03	7,63E-03	9,31E-03	1,05E-02	1,12E-02
Nd-144	Minimum	0,00E+00	8,74E-02	3,60E-01	3,64E+01	1,32E+02	2,72E+02	4,45E+02	6,44E+02	8,65E+02
	Maksimum	0,00E+00	8,81E-02	3,63E-01	3,70E+01	1,35E+02	2,79E+02	4,60E+02	6,72E+02	9,08E+02
	Ortalama	0,00E+00	8,78E-02	3,62E-01	3,67E+01	1,34E+02	2,76E+02	4,53E+02	6,59E+02	8,88E+02
Nd-145	Minimum	0,00E+00	5,67E+00	1,16E+01	1,14E+02	2,16E+02	3,08E+02	3,91E+02	4,65E+02	5,29E+02
	Maksimum	0,00E+00	5,68E+00	1,16E+01	1,14E+02	2,17E+02	3,11E+02	3,95E+02	4,69E+02	5,32E+02
	Ortalama	0,00E+00	5,67E+00	1,16E+01	1,14E+02	2,17E+02	3,10E+02	3,93E+02	4,67E+02	5,31E+02
Nd-146	Minimum	0,00E+00	4,58E+00	9,20E+00	9,38E+01	1,91E+02	2,92E+02	3,98E+02	5,11E+02	6,31E+02
	Maksimum	0,00E+00	4,59E+00	9,20E+00	9,41E+01	1,91E+02	2,93E+02	4,00E+02	5,13E+02	6,32E+02
	Ortalama	0,00E+00	4,58E+00	9,20E+00	9,40E+01	1,91E+02	2,92E+02	3,99E+02	5,12E+02	6,31E+02
Nd-148	Minimum	0,00E+00	2,64E+00	5,29E+00	5,38E+01	1,07E+02	1,60E+02	2,13E+02	2,66E+02	3,18E+02
	Maksimum	0,00E+00	2,64E+00	5,30E+00	5,40E+01	1,07E+02	1,61E+02	2,13E+02	2,66E+02	3,19E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,64E+00	5,30E+00	5,39E+01	1,07E+02	1,60E+02	2,13E+02	2,66E+02	3,19E+02
Nd-150	Minimum	0,00E+00	1,07E+00	2,15E+00	2,24E+01	4,61E+01	7,08E+01	9,66E+01	1,23E+02	1,51E+02
	Maksimum	0,00E+00	1,08E+00	2,16E+00	2,27E+01	4,67E+01	7,19E+01	9,81E+01	1,25E+02	1,53E+02
	Ortalama	0,00E+00	1,08E+00	2,16E+00	2,25E+01	4,64E+01	7,13E+01	9,73E+01	1,24E+02	1,52E+02
Pd-105	Minimum	0,00E+00	8,30E-01	1,99E+00	3,03E+01	7,28E+01	1,24E+02	1,82E+02	2,47E+02	3,16E+02
	Maksimum	0,00E+00	8,45E-01	2,04E+00	3,16E+01	7,64E+01	1,30E+02	1,91E+02	2,58E+02	3,29E+02
	Ortalama	0,00E+00	8,37E-01	2,01E+00	3,09E+01	7,46E+01	1,27E+02	1,87E+02	2,52E+02	3,22E+02
Pd-108	Minimum	0,00E+00	1,07E-01	2,36E-01	6,31E+00	1,96E+01	3,87E+01	6,34E+01	9,32E+01	1,28E+02
	Maksimum	0,00E+00	1,14E-01	2,53E-01	6,90E+00	2,13E+01	4,17E+01	6,75E+01	9,82E+01	1,33E+02
	Ortalama	0,00E+00	1,10E-01	2,44E-01	6,60E+00	2,04E+01	4,02E+01	6,54E+01	9,56E+01	1,30E+02
Pd-147	Minimum	0,00E+00	7,45E-01	2,54E+00	5,04E+01	8,55E+01	1,06E+02	1,17E+02	1,22E+02	1,21E+02
	Maksimum	0,00E+00	7,50E-01	2,55E+00	5,11E+01	8,77E+01	1,10E+02	1,21E+02	1,25E+02	1,24E+02
	Ortalama	0,00E+00	7,48E-01	2,55E+00	5,07E+01	8,67E+01	1,08E+02	1,19E+02	1,23E+02	1,22E+02
Rh-103	Minimum	0,00E+00	2,31E-01	8,87E-01	4,69E+01	1,14E+02	1,76E+02	2,30E+02	2,75E+02	3,11E+02
	Maksimum	0,00E+00	2,33E-01	8,97E-01	4,74E+01	1,15E+02	1,77E+02	2,32E+02	2,79E+02	3,16E+02
	Ortalama	0,00E+00	2,32E-01	8,93E-01	4,72E+01	1,14E+02	1,77E+02	2,31E+02	2,77E+02	3,14E+02
Ru-101	Minimum	0,00E+00	5,50E+00	1,10E+01	1,12E+02	2,23E+02	3,32E+02	4,40E+02	5,46E+02	6,50E+02
	Maksimum	0,00E+00	5,51E+00	1,10E+01	1,12E+02	2,23E+02	3,33E+02	4,41E+02	5,47E+02	6,50E+02
	Ortalama	0,00E+00	5,51E+00	1,10E+01	1,12E+02	2,23E+02	3,33E+02	4,41E+02	5,47E+02	6,50E+02

Yakıt Demeti İzotop ve Kütleleri			Yanma Miktarı (GWd/tU)							
İzotop Adı	**İzotop Kütlesi (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
Ru-106	Minimum	0,00E+00	5,67E-01	1,17E+00	1,68E+01	3,99E+01	6,60E+01	9,35E+01	1,22E+02	1,50E+02
	Maksimum	0,00E+00	5,87E-01	1,21E+00	1,79E+01	4,27E+01	7,02E+01	9,89E+01	1,28E+02	1,56E+02
	Ortalama	0,00E+00	5,76E-01	1,19E+00	1,74E+01	4,13E+01	6,80E+01	9,61E+01	1,25E+02	1,53E+02
Sb-129	Minimum	0,00E+00	2,58E-02	2,62E-02	3,08E-02	3,36E-02	3,58E-02	3,79E-02	4,00E-02	4,22E-02
	Maksimum	0,00E+00	5,76E-01	1,19E+00	1,74E+01	4,13E+01	6,80E+01	9,61E+01	1,25E+02	1,53E+02
	Ortalama	0,00E+00	1,18E-01	2,20E-01	2,92E+00	6,91E+00	1,14E+01	1,60E+01	2,08E+01	2,55E+01
Se-79	Minimum	0,00E+00	3,78E-02	7,56E-02	7,49E-01	1,46E+00	2,13E+00	2,75E+00	3,31E+00	3,82E+00
	Maksimum	0,00E+00	3,79E-02	7,58E-02	7,52E-01	1,47E+00	2,14E+00	2,76E+00	3,34E+00	3,86E+00
	Ortalama	0,00E+00	3,78E-02	7,57E-02	7,51E-01	1,46E+00	2,13E+00	2,75E+00	3,32E+00	3,84E+00
Sm-147	Minimum	0,00E+00	1,51E-03	1,07E-02	2,77E+00	9,99E+00	1,89E+01	2,78E+01	3,55E+01	4,13E+01
	Maksimum	0,00E+00	1,54E-03	1,09E-02	2,84E+00	1,04E+01	1,99E+01	2,94E+01	3,77E+01	4,39E+01
	Ortalama	0,00E+00	1,53E-03	1,08E-02	2,81E+00	1,02E+01	1,94E+01	2,86E+01	3,67E+01	4,27E+01
Sm-148	Minimum	0,00E+00	5,12E-04	6,22E-03	4,16E+00	1,74E+01	3,77E+01	6,39E+01	9,48E+01	1,30E+02
	Maksimum	0,00E+00	5,62E-04	6,94E-03	4,58E+00	1,90E+01	4,07E+01	6,79E+01	9,95E+01	1,35E+02
	Ortalama	0,00E+00	5,37E-04	6,58E-03	4,38E+00	1,82E+01	3,91E+01	6,58E+01	9,72E+01	1,32E+02
Sm-149	Minimum	0,00E+00	6,63E-01	1,07E+00	1,40E+00	1,47E+00	1,44E+00	1,36E+00	1,27E+00	1,17E+00
	Maksimum	0,00E+00	6,80E-01	1,12E+00	1,54E+00	1,68E+00	1,69E+00	1,64E+00	1,57E+00	1,50E+00
	Ortalama	0,00E+00	6,72E-01	1,09E+00	1,47E+00	1,57E+00	1,56E+00	1,50E+00	1,41E+00	1,33E+00
Sm-150	Minimum	0,00E+00	4,12E-01	1,67E+00	3,52E+01	7,70E+01	1,22E+02	1,67E+02	2,13E+02	2,57E+02
	Maksimum	0,00E+00	4,29E-01	1,71E+00	3,55E+01	7,81E+01	1,24E+02	1,70E+02	2,17E+02	2,62E+02
	Ortalama	0,00E+00	4,21E-01	1,69E+00	3,53E+01	7,75E+01	1,23E+02	1,69E+02	2,15E+02	2,59E+02
Sm-151	Minimum	0,00E+00	5,12E-01	1,08E+00	4,89E+00	5,74E+00	6,25E+00	6,63E+00	6,96E+00	7,28E+00
	Maksimum	0,00E+00	5,16E-01	1,09E+00	5,19E+00	6,33E+00	7,08E+00	7,70E+00	8,22E+00	8,70E+00
	Ortalama	0,00E+00	5,14E-01	1,09E+00	5,04E+00	6,02E+00	6,65E+00	7,15E+00	7,56E+00	7,96E+00
Sm-152	Minimum	0,00E+00	4,78E-01	1,04E+00	1,67E+01	3,32E+01	4,60E+01	5,62E+01	6,46E+01	7,17E+01
	Maksimum	0,00E+00	4,81E-01	1,04E+00	1,69E+01	3,41E+01	4,79E+01	5,89E+01	6,80E+01	7,61E+01
	Ortalama	0,00E+00	4,79E-01	1,04E+00	1,68E+01	3,37E+01	4,70E+01	5,76E+01	6,64E+01	7,38E+01
Sm-154	Minimum	0,00E+00	1,35E-01	2,74E-01	3,31E+00	7,61E+00	1,28E+01	1,88E+01	2,57E+01	3,35E+01
	Maksimum	0,00E+00	1,37E-01	2,79E-01	3,43E+00	7,94E+00	1,34E+01	1,97E+01	2,67E+01	3,46E+01
	Ortalama	0,00E+00	1,36E-01	2,77E-01	3,37E+00	7,77E+00	1,31E+01	1,92E+01	2,62E+01	3,40E+01
Sn-126	Minimum	0,00E+00	9,31E-02	1,88E-01	2,21E+00	4,90E+00	7,93E+00	1,12E+01	1,48E+01	1,86E+01
	Maksimum	0,00E+00	9,62E-02	1,95E-01	2,31E+00	5,13E+00	8,31E+00	1,18E+01	1,55E+01	1,94E+01
	Ortalama	0,00E+00	9,46E-02	1,91E-01	2,26E+00	5,01E+00	8,11E+00	1,15E+01	1,51E+01	1,90E+01
Sr-90	Minimum	0,00E+00	5,30E+00	1,06E+01	9,94E+01	1,86E+02	2,63E+02	3,32E+02	3,93E+02	4,47E+02
	Maksimum	0,00E+00	5,32E+00	1,06E+01	1,00E+02	1,89E+02	2,68E+02	3,38E+02	4,00E+02	4,54E+02
	Ortalama	0,00E+00	5,31E+00	1,06E+01	9,99E+01	1,88E+02	2,66E+02	3,35E+02	3,97E+02	4,51E+02
Tc-99	Minimum	0,00E+00	3,41E+00	9,34E+00	1,21E+02	2,37E+02	3,45E+02	4,46E+02	5,39E+02	6,23E+02
	Maksimum	0,00E+00	3,43E+00	9,36E+00	1,21E+02	2,38E+02	3,48E+02	4,50E+02	5,43E+02	6,28E+02
	Ortalama	0,00E+00	3,42E+00	9,35E+00	1,21E+02	2,37E+02	3,47E+02	4,48E+02	5,41E+02	6,25E+02
Ag-109	Minimum	0,00E+00	5,63E-02	1,33E-01	3,89E+00	1,17E+01	2,23E+01	3,48E+01	4,85E+01	6,29E+01

Yakıt Demeti İzotop ve Kütleleri			Yanma Miktarı (GWd/tU)							
İzotop Adı	**İzotop Kütlesi (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
	Maksimum	0,00E+00	6,01E-02	1,43E-01	4,24E+00	1,26E+01	2,36E+01	3,63E+01	5,01E+01	6,46E+01
	Ortalama	0,00E+00	5,81E-02	1,38E-01	4,06E+00	1,21E+01	2,29E+01	3,55E+01	4,93E+01	6,37E+01

4.4.2. Borik Asit Konsantrasyonunun Kullanılmış Nükleer Yakıt Envanterine Etkisinin Değerlendirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde yakıt demeti içerisinde IBA yakıt çubuğu içeren ve içermeyen yakıt demeti modelleri için borik asit konsantrasyonu değişiminin kullanılmış nükleer yakıt demetlerinin radyoizotop içeriği üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

i.IBA Yakıt Çubuğu Bulunan Yakıt Demeti İçin Borik Asit Konsantrasyonunun Etkisinin Değerlendirilmesi

%4,95 zenginliğe sahip UO_2 yakıt çubuğu ve 12 adet ağırlıkça %8 Gd_2O_3 bulunan IBA yakıt çubuğu içeren yakıt demetlerinde 750 ile 1500 ppm borik asit konsantrasyonu değişkenleri için hazırlanan ve açıklamaları Çizelge 4.7'de verilen dosyalar ile yanma hesaplamaları yapılmıştır.

Çizelge 4.7 IBA yakıt çubuğu bulunan yakıt demeti modellemesi

Yakıt Demeti Model Kodu	Açıklaması
49081560	%4,95 UO_2 yakıt çubuğu; 8% Gd_2O_3 + 3,6% UO_2 içeren IBA; 1500 ppm Borik Asit Konsantrasyonu
49087560	%4,95 UO_2 yakıt çubuğu; 8% Gd_2O_3 + 3,6% UO_2 içeren IBA; 750 ppm Borik Asit Konsantrasyonu

Yanma hesaplamaları sonucunda elde edilen ve kullanılmış yakıt demeti içerisindeki izotopların yanma miktarına bağlı kütlelerindeki değişim ve ortalama değerleri Çizelge 4.8'de yer almaktadır.

Çizelge 4.8 IBA'lı yakıt demetinde borik asit konsantrasyonu değişkeni için izotopların yanma miktarına bağlı kütleleri

% 4,95 zenginlikte, 12 IBA (% 8 Gd_2O_3)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	**İzotop Adı ve Kütlesi (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
49081560	U-234	0,00E+00	2,74E-02	5,45E-02	4,95E-01	8,86E-01	1,21E+00	1,52E+00	1,86E+00	2,26E+00
49087560	U-234	0,00E+00	2,39E-02	4,80E-02	4,44E-01	7,94E-01	1,08E+00	1,36E+00	1,65E+00	1,99E+00
	Ortalama		2,57E-02	5,13E-02	4,69E-01	8,40E-01	1,15E+00	1,44E+00	1,75E+00	2,13E+00
49081560	U-235	2,32E+04	2,29E+04	1,83E+04	1,40E+04	1,05E+04	7,68E+03	5,40E+03	3,66E+03	3,66E+03
49087560	U-235	2,32E+04	2,29E+04	1,82E+04	1,39E+04	1,03E+04	7,31E+03	4,95E+03	3,18E+03	3,18E+03
	Ortalama	2,32E+04	2,29E+04	1,83E+04	1,40E+04	1,04E+04	7,49E+03	5,18E+03	3,42E+03	3,42E+03
49081560	U-236	0,00E+00	5,49E+01	1,09E+02	9,81E+02	1,74E+03	2,33E+03	2,77E+03	3,07E+03	3,24E+03
49087560	U-236	0,00E+00	5,36E+01	1,07E+02	9,65E+02	1,73E+03	2,33E+03	2,77E+03	3,08E+03	3,25E+03
	Ortalama		5,43E+01	1,08E+02	9,73E+02	1,74E+03	2,33E+03	2,77E+03	3,07E+03	3,24E+03
49081560	U-238	4,51E+05	4,51E+05	4,50E+05	4,48E+05	4,45E+05	4,42E+05	4,39E+05	4,35E+05	4,31E+05
49087560	U-238	4,51E+05	4,51E+05	4,51E+05	4,48E+05	4,46E+05	4,43E+05	4,40E+05	4,36E+05	4,32E+05
	Ortalama		4,51E+05	4,51E+05	4,48E+05	4,45E+05	4,42E+05	4,39E+05	4,36E+05	4,32E+05
49081560	Pu-238	0,00E+00	3,25E-04	3,25E-03	2,13E+00	1,30E+01	3,72E+01	7,63E+01	1,30E+02	1,96E+02
49087560	Pu-238	0,00E+00	2,63E-04	2,64E-03	1,78E+00	1,11E+01	3,19E+01	6,63E+01	1,14E+02	1,72E+02
	Ortalama		2,94E-04	2,94E-03	1,96E+00	1,21E+01	3,46E+01	7,13E+01	1,22E+02	1,84E+02
49081560	Pu-239	0,00E+00	6,80E+01	1,72E+02	1,56E+03	2,36E+03	2,77E+03	2,95E+03	3,01E+03	3,02E+03
49087560	Pu-239	0,00E+00	6,21E+01	1,57E+02	1,43E+03	2,16E+03	2,49E+03	2,63E+03	2,64E+03	2,61E+03
	Ortalama		6,51E+01	1,65E+02	1,50E+03	2,26E+03	2,63E+03	2,79E+03	2,83E+03	2,81E+03
49081560	Pu-240	0,00E+00	5,39E-01	2,56E+00	1,88E+02	4,74E+02	7,58E+02	1,01E+03	1,22E+03	1,38E+03
49087560	Pu-240	0,00E+00	4,79E-01	2,30E+00	1,76E+02	4,54E+02	7,34E+02	9,86E+02	1,19E+03	1,35E+03
	Ortalama		5,09E-01	2,43E+00	1,82E+02	4,64E+02	7,46E+02	9,98E+02	1,21E+03	1,36E+03
49081560	Pu-241	0,00E+00	1,04E-02	1,02E-01	7,30E+01	2,89E+02	5,26E+02	7,28E+02	8,77E+02	9,79E+02
49087560	Pu-241	0,00E+00	8,44E-03	8,36E-02	6,28E+01	2,55E+02	4,68E+02	6,45E+02	7,73E+02	8,50E+02
	Ortalama		9,42E-03	9,29E-02	6,79E+01	2,72E+02	4,97E+02	6,87E+02	8,25E+02	9,14E+02
49081560	Pu-242	0,00E+00	2,39E-05	4,75E-04	3,92E+00	3,51E+01	1,07E+02	2,16E+02	3,54E+02	5,11E+02
49087560	Pu-242	0,00E+00	1,94E-05	3,88E-04	3,42E+00	3,19E+01	1,00E+02	2,09E+02	3,49E+02	5,12E+02
	Ortalama		2,16E-05	4,31E-04	3,67E+00	3,35E+01	1,04E+02	2,12E+02	3,52E+02	5,11E+02
49081560	Am-241	0,00E+00	2,60E-06	5,13E-05	3,95E-01	3,17E+00	8,33E+00	1,42E+01	1,91E+01	2,24E+01
49087560	Am-241	0,00E+00	2,10E-06	4,19E-05	3,40E-01	2,78E+00	7,37E+00	1,24E+01	1,65E+01	1,88E+01
	Ortalama		2,35E-06	4,66E-05	3,67E-01	2,97E+00	7,85E+00	1,33E+01	1,78E+01	2,06E+01
49081560	Am-242	0,00E+00	5,33E-09	1,30E-07	1,24E-03	1,02E-02	2,82E-02	5,17E-02	7,59E-02	9,63E-02
49087560	Am-242	0,00E+00	4,14E-09	1,02E-07	1,03E-03	8,81E-03	2,51E-02	4,66E-02	6,84E-02	8,64E-02
	Ortalama		4,73E-09	1,16E-07	1,13E-03	9,49E-03	2,67E-02	4,91E-02	7,21E-02	9,13E-02
49081560	Am-243	0,00E+00	3,51E-08	1,57E-06	1,65E-01	3,29E+00	1,60E+01	4,41E+01	8,98E+01	1,50E+02
49087560	Am-243	0,00E+00	2,62E-08	1,17E-06	1,28E-01	2,73E+00	1,39E+01	3,94E+01	8,21E+01	1,42E+02
	Ortalama		3,06E-08	1,37E-06	1,47E-01	3,01E+00	1,49E+01	4,18E+01	8,60E+01	1,46E+02

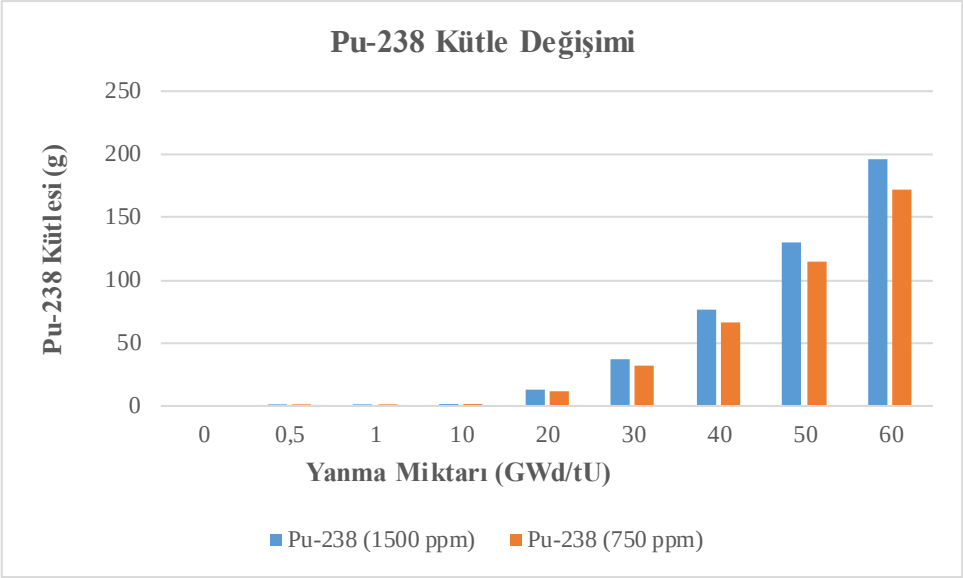
% 4,95 zenginlikte, 12 IBA (% 8 Gd_2O_3)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	**İzotop Adı ve Kütlesi (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
49081560	Cm-242	0,00E+00	6,48E-09	3,26E-07	3,36E-02	5,57E-01	2,26E+00	5,30E+00	9,25E+00	1,34E+01
49087560	Cm-242	0,00E+00	5,02E-09	2,55E-07	2,80E-02	4,79E-01	2,00E+00	4,76E+00	8,38E+00	1,22E+01
	Ortalama		5,75E-09	2,90E-07	3,08E-02	5,18E-01	2,13E+00	5,03E+00	8,82E+00	1,28E+01
49081560	Cm-243	0,00E+00	1,05E-12	1,11E-10	1,31E-04	4,90E-03	3,21E-02	1,04E-01	2,32E-01	4,06E-01
49087560	Cm-243	0,00E+00	7,57E-13	7,99E-11	1,01E-04	3,91E-03	2,63E-02	8,85E-02	2,01E-01	3,53E-01
	Ortalama		9,06E-13	9,53E-11	1,16E-04	4,41E-03	2,92E-02	9,64E-02	2,16E-01	3,80E-01
49081560	Cm-244	0,00E+00	7,52E-11	7,05E-09	8,64E-03	3,96E-01	3,16E+00	1,26E+01	3,47E+01	7,49E+01
49087560	Cm-244	0,00E+00	5,04E-11	4,75E-09	6,20E-03	2,99E-01	2,52E+00	1,04E+01	2,96E+01	6,63E+01
	Ortalama		6,28E-11	5,90E-09	7,42E-03	3,48E-01	2,84E+00	1,15E+01	3,21E+01	7,06E+01
49081560	Cm-245	0,00E+00	5,48E-14	1,01E-11	1,27E-04	1,20E-02	1,46E-01	7,59E-01	2,60E+00	6,45E+00
49087560	Cm-245	0,00E+00	3,34E-14	6,21E-12	8,25E-05	8,33E-03	1,03E-01	5,68E-01	1,93E+00	4,94E+00
	Ortalama		4,41E-14	8,14E-12	1,05E-04	1,02E-02	1,25E-01	6,63E-01	2,27E+00	5,70E+00
49081560	Cm-246	0,00E+00	2,77E-17	1,02E-14	1,44E-06	3,06E-04	6,27E-03	4,97E-02	2,41E-01	8,32E-01
49087560	Cm-246	0,00E+00	1,73E-17	6,46E-15	9,69E-07	2,21E-04	4,73E-03	4,04E-02	2,03E-01	7,31E-01
	Ortalama		2,25E-17	8,34E-15	1,21E-06	2,64E-04	5,50E-03	4,51E-02	2,22E-01	7,81E-01
49081560	Cm-247	0,00E+00	5,24E-26	3,95E-23	6,08E-14	2,79E-11	9,07E-10	1,01E-08	6,27E-08	2,70E-07
49087560	Cm-247	0,00E+00	2,91E-26	2,22E-23	3,68E-14	1,82E-11	6,19E-10	7,36E-09	4,88E-08	2,21E-07
	Ortalama		4,07E-26	3,08E-23	4,88E-14	2,30E-11	7,63E-10	8,71E-09	5,57E-08	2,46E-07
49081560	Np-237	0,00E+00	2,32E-01	7,90E-01	3,31E+01	9,63E+01	1,75E+02	2,59E+02	3,42E+02	4,19E+02
49087560	Np-237	0,00E+00	2,01E-01	6,91E-01	2,93E+01	8,72E+01	1,59E+02	2,38E+02	3,17E+02	3,89E+02
	Ortalama		2,16E-01	7,40E-01	3,12E+01	9,18E+01	1,67E+02	2,49E+02	3,29E+02	4,04E+02
49081560	Ce-144	0,00E+00	8,10E+00	1,60E+01	1,31E+02	2,12E+02	2,60E+02	2,88E+02	3,03E+02	3,09E+02
49087560	Ce-144	0,00E+00	8,12E+00	1,61E+01	1,32E+02	2,13E+02	2,62E+02	2,90E+02	3,04E+02	3,09E+02
	Ortalama		8,11E+00	1,60E+01	1,32E+02	2,12E+02	2,61E+02	2,89E+02	3,03E+02	3,09E+02
49081560	Cs-133	0,00E+00	2,73E+00	9,68E+00	1,72E+02	3,42E+02	4,97E+02	6,39E+02	7,66E+02	8,77E+02
49087560	Cs-133	0,00E+00	2,73E+00	9,68E+00	1,73E+02	3,43E+02	5,00E+02	6,43E+02	7,72E+02	8,84E+02
	Ortalama		2,73E+00	9,68E+00	1,72E+02	3,42E+02	4,99E+02	6,41E+02	7,69E+02	8,81E+02
49081560	Cs-134	0,00E+00	2,82E-03	2,25E-02	5,22E+00	2,09E+01	4,53E+01	7,68E+01	1,15E+02	1,58E+02
49087560	Cs-134	0,00E+00	2,54E-03	2,04E-02	4,77E+00	1,94E+01	4,22E+01	7,22E+01	1,09E+02	1,50E+02
	Ortalama		2,68E-03	2,14E-02	4,99E+00	2,02E+01	4,37E+01	7,45E+01	1,12E+02	1,54E+02
49081560	Cs-135	0,00E+00	2,24E+00	4,65E+00	4,84E+01	9,57E+01	1,41E+02	1,85E+02	2,28E+02	2,71E+02
49087560	Cs-135	0,00E+00	2,16E+00	4,47E+00	4,60E+01	9,02E+01	1,32E+02	1,71E+02	2,09E+02	2,48E+02
	Ortalama		2,20E+00	4,56E+00	4,72E+01	9,29E+01	1,36E+02	1,78E+02	2,18E+02	2,60E+02
49081560	Cs-137	0,00E+00	8,84E+00	1,77E+01	1,78E+02	3,55E+02	5,29E+02	7,02E+02	8,73E+02	1,04E+03
49087560	Cs-137	0,00E+00	8,85E+00	1,77E+01	1,78E+02	3,54E+02	5,28E+02	7,01E+02	8,72E+02	1,04E+03
	Ortalama		8,85E+00	1,77E+01	1,78E+02	3,54E+02	5,29E+02	7,01E+02	8,73E+02	1,04E+03
49081560	Eu-151	0,00E+00	3,63E-05	1,60E-04	4,35E-03	5,80E-03	6,14E-03	6,15E-03	5,97E-03	5,77E-03
49087560	Eu-151	0,00E+00	3,61E-05	1,59E-04	4,17E-03	5,29E-03	5,34E-03	5,12E-03	4,76E-03	4,41E-03
	Ortalama		3,62E-05	1,60E-04	4,26E-03	5,54E-03	5,74E-03	5,64E-03	5,37E-03	5,09E-03

% 4,95 zenginlikte, 12 IBA (% 8 Gd_2O_3)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	**İzotop Adı ve Kütlesi (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
49081560	Eu-152	0,00E+00	1,78E-06	1,65E-05	3,86E-03	6,96E-03	7,71E-03	7,73E-03	7,47E-03	7,17E-03
49087560	Eu-152	0,00E+00	1,75E-06	1,62E-05	3,63E-03	6,18E-03	6,45E-03	6,14E-03	5,64E-03	5,16E-03
	Ortalama		1,77E-06	1,64E-05	3,75E-03	6,57E-03	7,08E-03	6,94E-03	6,56E-03	6,16E-03
49081560	Eu-153	0,00E+00	1,88E-01	4,68E-01	8,67E+00	2,39E+01	4,26E+01	6,21E+01	8,09E+01	9,75E+01
49087560	Eu-153	0,00E+00	1,86E-01	4,63E-01	8,39E+00	2,30E+01	4,13E+01	6,10E+01	7,98E+01	9,69E+01
	Ortalama		1,87E-01	4,66E-01	8,53E+00	2,35E+01	4,19E+01	6,16E+01	8,04E+01	9,72E+01
49081560	Eu-154	0,00E+00	1,07E-03	5,74E-03	8,27E-01	3,62E+00	8,13E+00	1,36E+01	1,93E+01	2,45E+01
49087560	Eu-154	0,00E+00	9,95E-04	5,31E-03	7,54E-01	3,27E+00	7,34E+00	1,23E+01	1,73E+01	2,19E+01
	Ortalama		1,03E-03	5,52E-03	7,91E-01	3,44E+00	7,73E+00	1,30E+01	1,83E+01	2,32E+01
49081560	Eu-155	0,00E+00	5,70E-02	1,06E-01	5,89E-01	1,34E+00	2,55E+00	4,10E+00	5,76E+00	7,37E+00
49087560	Eu-155	0,00E+00	5,61E-02	1,04E-01	5,78E-01	1,29E+00	2,47E+00	4,00E+00	5,62E+00	7,22E+00
	Ortalama		5,65E-02	1,05E-01	5,83E-01	1,32E+00	2,51E+00	4,05E+00	5,69E+00	7,30E+00
49081560	Gd-154	0,00E+00	5,41E-07	6,08E-06	9,52E-03	8,21E-02	2,79E-01	6,38E-01	1,16E+00	1,81E+00
49087560	Gd-154	0,00E+00	5,02E-07	5,64E-06	8,73E-03	7,44E-02	2,52E-01	5,75E-01	1,04E+00	1,62E+00
	Ortalama		5,21E-07	5,86E-06	9,13E-03	7,82E-02	2,66E-01	6,06E-01	1,10E+00	1,72E+00
49081560	Gd-155	0,00E+00	8,24E-05	2,74E-04	3,90E-03	8,89E-03	1,67E-02	2,58E-02	3,46E-02	4,27E-02
49087560	Gd-155	0,00E+00	8,04E-05	2,65E-04	3,59E-03	7,86E-03	1,42E-02	2,15E-02	2,79E-02	3,34E-02
	Ortalama		8,14E-05	2,69E-04	3,75E-03	8,38E-03	1,55E-02	2,36E-02	3,13E-02	3,80E-02
49081560	Gd-156	0,00E+00	5,14E-03	2,22E-02	1,86E+00	6,73E+00	1,63E+01	3,31E+01	5,93E+01	9,61E+01
49087560	Gd-156	0,00E+00	4,99E-03	2,14E-02	1,78E+00	6,41E+00	1,56E+01	3,20E+01	5,82E+01	9,60E+01
	Ortalama		5,07E-03	2,18E-02	1,82E+00	6,57E+00	1,59E+01	3,25E+01	5,87E+01	9,61E+01
49081560	Gd-157	0,00E+00	6,29E-03	8,39E-03	2,23E-02	3,47E-02	4,91E-02	6,69E-02	8,79E-02	1,13E-01
49087560	Gd-157	0,00E+00	5,85E-03	7,62E-03	1,91E-02	2,90E-02	3,99E-02	5,34E-02	6,89E-02	8,75E-02
	Ortalama		6,07E-03	8,01E-03	2,07E-02	3,19E-02	4,45E-02	6,02E-02	7,84E-02	1,00E-01
49081560	Gd-158	0,00E+00	1,42E-02	3,66E-02	8,47E-01	2,47E+00	4,97E+00	8,64E+00	1,39E+01	2,12E+01
49087560	Gd-158	0,00E+00	1,40E-02	3,57E-02	7,97E-01	2,31E+00	4,65E+00	8,10E+00	1,31E+01	2,02E+01
	Ortalama		1,41E-02	3,62E-02	8,22E-01	2,39E+00	4,81E+00	8,37E+00	1,35E+01	2,07E+01
49081560	Gd-160	0,00E+00	1,13E-03	2,43E-03	5,35E-02	1,59E-01	3,10E-01	5,04E-01	7,39E-01	1,01E+00
49087560	Gd-160	0,00E+00	1,06E-03	2,28E-03	4,96E-02	1,48E-01	2,91E-01	4,77E-01	7,05E-01	9,76E-01
	Ortalama		1,09E-03	2,35E-03	5,16E-02	1,54E-01	3,01E-01	4,90E-01	7,22E-01	9,95E-01
49081560	Mo-95	0,00E+00	1,42E-02	1,07E-01	4,07E+01	1,41E+02	2,50E+02	3,54E+02	4,49E+02	5,37E+02
49087560	Mo-95	0,00E+00	1,42E-02	1,07E-01	4,09E+01	1,42E+02	2,52E+02	3,56E+02	4,53E+02	5,41E+02
	Ortalama		1,42E-02	1,07E-01	4,08E+01	1,42E+02	2,51E+02	3,55E+02	4,51E+02	5,39E+02
49081560	Nd-143	0,00E+00	1,99E-05	8,78E-05	2,76E-03	5,45E-03	7,65E-03	9,37E-03	1,06E-02	1,15E-02
49087560	Nd-143	0,00E+00	1,99E-05	8,79E-05	2,77E-03	5,45E-03	7,61E-03	9,25E-03	1,03E-02	1,09E-02
	Ortalama		1,99E-05	8,78E-05	2,76E-03	5,45E-03	7,63E-03	9,31E-03	1,05E-02	1,12E-02
49081560	Nd-144	0,00E+00	8,80E-02	3,62E-01	3,66E+01	1,33E+02	2,74E+02	4,48E+02	6,50E+02	8,73E+02
49087560	Nd-144	0,00E+00	8,80E-02	3,63E-01	3,69E+01	1,35E+02	2,79E+02	4,60E+02	6,71E+02	9,07E+02
	Ortalama		8,80E-02	3,63E-01	3,68E+01	1,34E+02	2,76E+02	4,54E+02	6,60E+02	8,90E+02

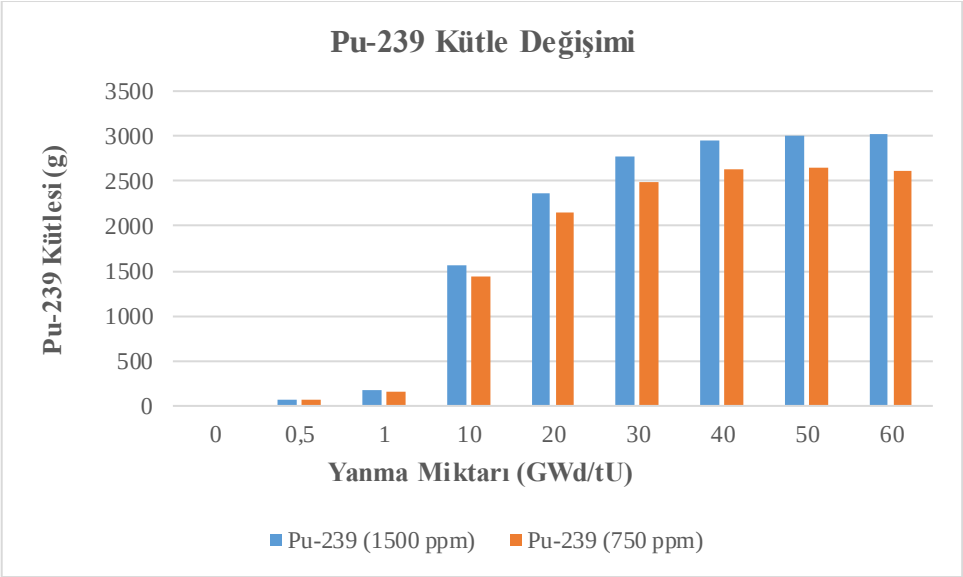
% 4,95 zenginlikte, 12 IBA (% 8 Gd_2O_3)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	**İzotop Adı ve Kütlesi (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
49081560	Nd-145	0,00E+00	5,67E+00	1,16E+01	1,14E+02	2,16E+02	3,09E+02	3,92E+02	4,65E+02	5,30E+02
49087560	Nd-145	0,00E+00	5,68E+00	1,16E+01	1,14E+02	2,17E+02	3,11E+02	3,95E+02	4,68E+02	5,32E+02
	Ortalama		5,67E+00	1,16E+01	1,14E+02	2,17E+02	3,10E+02	3,93E+02	4,67E+02	5,31E+02
49081560	Nd-146	0,00E+00	4,59E+00	9,20E+00	9,41E+01	1,91E+02	2,93E+02	4,00E+02	5,12E+02	6,31E+02
49087560	Nd-146	0,00E+00	4,58E+00	9,20E+00	9,39E+01	1,91E+02	2,92E+02	3,98E+02	5,11E+02	6,31E+02
	Ortalama		4,58E+00	9,20E+00	9,40E+01	1,91E+02	2,92E+02	3,99E+02	5,12E+02	6,31E+02
49081560	Nd-148	0,00E+00	2,64E+00	5,30E+00	5,39E+01	1,07E+02	1,60E+02	2,13E+02	2,66E+02	3,19E+02
49087560	Nd-148	0,00E+00	2,64E+00	5,29E+00	5,38E+01	1,07E+02	1,60E+02	2,13E+02	2,66E+02	3,18E+02
	Ortalama		2,64E+00	5,30E+00	5,39E+01	1,07E+02	1,60E+02	2,13E+02	2,66E+02	3,19E+02
49081560	Nd-150	0,00E+00	1,08E+00	2,16E+00	2,26E+01	4,66E+01	7,17E+01	9,78E+01	1,25E+02	1,53E+02
49087560	Nd-150	0,00E+00	1,07E+00	2,15E+00	2,24E+01	4,61E+01	7,09E+01	9,67E+01	1,24E+02	1,51E+02
	Ortalama		1,07E+00	2,16E+00	2,25E+01	4,64E+01	7,13E+01	9,73E+01	1,24E+02	1,52E+02
49081560	Pd-105	0,00E+00	8,44E-01	2,03E+00	3,14E+01	7,59E+01	1,29E+02	1,90E+02	2,57E+02	3,27E+02
49087560	Pd-105	0,00E+00	8,30E-01	1,99E+00	3,03E+01	7,30E+01	1,24E+02	1,83E+02	2,47E+02	3,16E+02
	Ortalama		8,37E-01	2,01E+00	3,09E+01	7,45E+01	1,27E+02	1,86E+02	2,52E+02	3,22E+02
49081560	Pd-108	0,00E+00	1,12E-01	2,50E-01	6,83E+00	2,10E+01	4,13E+01	6,69E+01	9,75E+01	1,32E+02
49087560	Pd-108	0,00E+00	1,07E-01	2,36E-01	6,34E+00	1,97E+01	3,89E+01	6,36E+01	9,35E+01	1,28E+02
	Ortalama		1,10E-01	2,43E-01	6,59E+00	2,03E+01	4,01E+01	6,53E+01	9,55E+01	1,30E+02
49081560	Pm-147	0,00E+00	7,49E-01	2,55E+00	5,04E+01	8,59E+01	1,07E+02	1,18E+02	1,22E+02	1,21E+02
49087560	Pm-147	0,00E+00	7,49E-01	2,55E+00	5,11E+01	8,76E+01	1,10E+02	1,21E+02	1,25E+02	1,23E+02
	Ortalama		7,49E-01	2,55E+00	5,08E+01	8,68E+01	1,08E+02	1,20E+02	1,23E+02	1,22E+02
49081560	Rh-103	0,00E+00	2,33E-01	8,97E-01	4,74E+01	1,15E+02	1,77E+02	2,32E+02	2,79E+02	3,16E+02
49087560	Rh-103	0,00E+00	2,32E-01	8,92E-01	4,70E+01	1,14E+02	1,76E+02	2,30E+02	2,76E+02	3,12E+02
	Ortalama		2,32E-01	8,94E-01	4,72E+01	1,14E+02	1,76E+02	2,31E+02	2,77E+02	3,14E+02
49081560	Ru-101	0,00E+00	5,51E+00	1,10E+01	1,12E+02	2,23E+02	3,33E+02	4,41E+02	5,47E+02	6,50E+02
49087560	Ru-101	0,00E+00	5,50E+00	1,10E+01	1,12E+02	2,23E+02	3,32E+02	4,40E+02	5,46E+02	6,50E+02
	Ortalama		5,51E+00	1,10E+01	1,12E+02	2,23E+02	3,33E+02	4,41E+02	5,47E+02	6,50E+02
49081560	Ru-106	0,00E+00	5,83E-01	1,21E+00	1,78E+01	4,23E+01	6,95E+01	9,79E+01	1,26E+02	1,55E+02
49087560	Ru-106	0,00E+00	5,67E-01	1,17E+00	1,69E+01	4,01E+01	6,61E+01	9,37E+01	1,22E+02	1,51E+02
	Ortalama		5,75E-01	1,19E+00	1,73E+01	4,12E+01	6,78E+01	9,58E+01	1,24E+02	1,53E+02
49057560	Sb-129	0,00E+00	2,58E-02	2,62E-02	3,08E-02	3,36E-02	3,58E-02	3,79E-02	4,00E-02	4,22E-02
49081560	Sb-129	0,00E+00	2,61E-02	2,66E-02	3,18E-02	3,47E-02	3,71E-02	3,91E-02	4,12E-02	4,32E-02
	Ortalama		2,09E-01	4,13E-01	5,80E+00	1,37E+01	2,26E+01	3,20E+01	4,15E+01	5,09E+01
49081560	Se-79	0,00E+00	3,79E-02	7,58E-02	7,52E-01	1,47E+00	2,14E+00	2,76E+00	3,33E+00	3,86E+00
49087560	Se-79	0,00E+00	3,78E-02	7,56E-02	7,49E-01	1,46E+00	2,13E+00	2,75E+00	3,31E+00	3,82E+00
	Ortalama		3,78E-02	7,57E-02	7,51E-01	1,46E+00	2,13E+00	2,75E+00	3,32E+00	3,84E+00
49081560	Sm-147	0,00E+00	1,53E-03	1,09E-02	2,80E+00	1,01E+01	1,92E+01	2,82E+01	3,60E+01	4,20E+01
49087560	Sm-147	0,00E+00	1,53E-03	1,09E-02	2,84E+00	1,03E+01	1,98E+01	2,93E+01	3,76E+01	4,37E+01
	Ortalama		1,53E-03	1,09E-02	2,82E+00	1,02E+01	1,95E+01	2,88E+01	3,68E+01	4,29E+01

% 4,95 zenginlikte, 12 IBA (% 8 Gd_2O_3)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
Yakıt Demeti Model Kodu	**İzotop Adı ve Kütlesi (g)**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
49081560	Sm-148	0,00E+00	5,62E-04	6,88E-03	4,57E+00	1,87E+01	4,01E+01	6,71E+01	9,89E+01	1,34E+02
49087560	Sm-148	0,00E+00	5,15E-04	6,24E-03	4,18E+00	1,75E+01	3,78E+01	6,40E+01	9,51E+01	1,30E+02
	Ortalama		5,39E-04	6,56E-03	4,38E+00	1,81E+01	3,90E+01	6,55E+01	9,70E+01	1,32E+02
49081560	Sm-149	0,00E+00	6,79E-01	1,11E+00	1,52E+00	1,64E+00	1,65E+00	1,59E+00	1,53E+00	1,44E+00
49087560	Sm-149	0,00E+00	6,64E-01	1,07E+00	1,41E+00	1,48E+00	1,45E+00	1,37E+00	1,28E+00	1,18E+00
	Ortalama		6,71E-01	1,09E+00	1,47E+00	1,56E+00	1,55E+00	1,48E+00	1,40E+00	1,31E+00
49081560	Sm-150	0,00E+00	4,16E-01	1,68E+00	3,54E+01	7,79E+01	1,23E+02	1,70E+02	2,16E+02	2,61E+02
49087560	Sm-150	0,00E+00	4,28E-01	1,71E+00	3,52E+01	7,70E+01	1,22E+02	1,67E+02	2,13E+02	2,57E+02
	Ortalama		4,22E-01	1,69E+00	3,53E+01	7,75E+01	1,22E+02	1,69E+02	2,15E+02	2,59E+02
49081560	Sm-151	0,00E+00	5,16E-01	1,09E+00	5,16E+00	6,24E+00	6,96E+00	7,55E+00	8,04E+00	8,51E+00
49087560	Sm-151	0,00E+00	5,12E-01	1,08E+00	4,90E+00	5,76E+00	6,28E+00	6,68E+00	7,00E+00	7,31E+00
	Ortalama		5,14E-01	1,09E+00	5,03E+00	6,00E+00	6,62E+00	7,11E+00	7,52E+00	7,91E+00
49081560	Sm-152	0,00E+00	4,80E-01	1,04E+00	1,67E+01	3,33E+01	4,65E+01	5,68E+01	6,52E+01	7,23E+01
49087560	Sm-152	0,00E+00	4,78E-01	1,04E+00	1,69E+01	3,41E+01	4,79E+01	5,88E+01	6,79E+01	7,55E+01
	Ortalama		4,79E-01	1,04E+00	1,68E+01	3,37E+01	4,72E+01	5,78E+01	6,66E+01	7,39E+01
49081560	Sm-154	0,00E+00	1,37E-01	2,78E-01	3,41E+00	7,89E+00	1,33E+01	1,95E+01	2,66E+01	3,44E+01
49087560	Sm-154	0,00E+00	1,35E-01	2,74E-01	3,32E+00	7,63E+00	1,28E+01	1,89E+01	2,58E+01	3,35E+01
	Ortalama		1,36E-01	2,76E-01	3,37E+00	7,76E+00	1,31E+01	1,92E+01	2,62E+01	3,40E+01
49081560	Sn-126	0,00E+00	9,56E-02	1,94E-01	2,29E+00	5,10E+00	8,25E+00	1,17E+01	1,54E+01	1,93E+01
49087560	Sn-126	0,00E+00	9,31E-02	1,88E-01	2,21E+00	4,91E+00	7,94E+00	1,13E+01	1,48E+01	1,87E+01
	Ortalama		9,44E-02	1,91E-01	2,25E+00	5,00E+00	8,09E+00	1,15E+01	1,51E+01	1,90E+01
49081560	Sr-90	0,00E+00	5,30E+00	1,06E+01	9,95E+01	1,87E+02	2,64E+02	3,33E+02	3,94E+02	4,48E+02
49087560	Sr-90	0,00E+00	5,32E+00	1,06E+01	1,00E+02	1,89E+02	2,67E+02	3,38E+02	4,00E+02	4,54E+02
	Ortalama		5,31E+00	1,06E+01	9,99E+01	1,88E+02	2,66E+02	3,35E+02	3,97E+02	4,51E+02
49081560	Tc-99	0,00E+00	3,43E+00	9,36E+00	1,21E+02	2,37E+02	3,46E+02	4,47E+02	5,40E+02	6,24E+02
49087560	Tc-99	0,00E+00	3,43E+00	9,36E+00	1,21E+02	2,38E+02	3,48E+02	4,49E+02	5,43E+02	6,27E+02
	Ortalama		3,43E+00	9,36E+00	1,21E+02	2,38E+02	3,47E+02	4,48E+02	5,41E+02	6,26E+02
49081560	Ag-109	0,00E+00	5,95E-02	1,41E-01	4,19E+00	1,25E+01	2,34E+01	3,62E+01	5,00E+01	6,43E+01
49087560	Ag-109	0,00E+00	5,63E-02	1,33E-01	3,91E+00	1,17E+01	2,23E+01	3,48E+01	4,85E+01	6,29E+01
	Ortalama		5,79E-02	1,37E-01	4,05E+00	1,21E+01	2,28E+01	3,55E+01	4,93E+01	6,36E+01

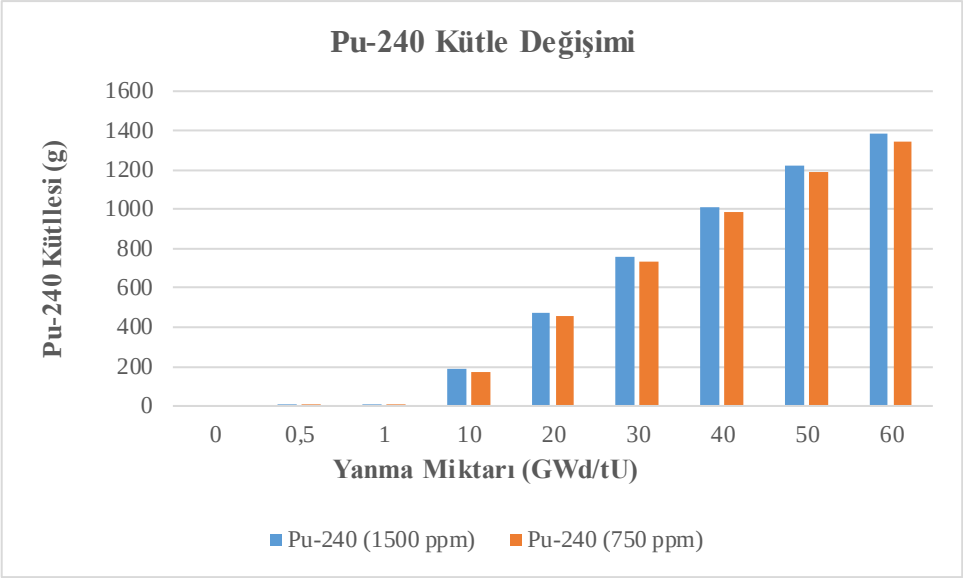
%4,95 zenginlikte ve 12 IBA yakıt çubuğu bulunan yakıt demetlerinin 750 ppm ve 1500 ppm borik asit konstantrasyonu ile yanma hesaplamalarından elde edilen ve kullanılmış yakıt demeti içerisindeki Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241 ve Pu-242 izotoplarının yanma miktarına bağlı olarak kütle değişimleri Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmektedir.



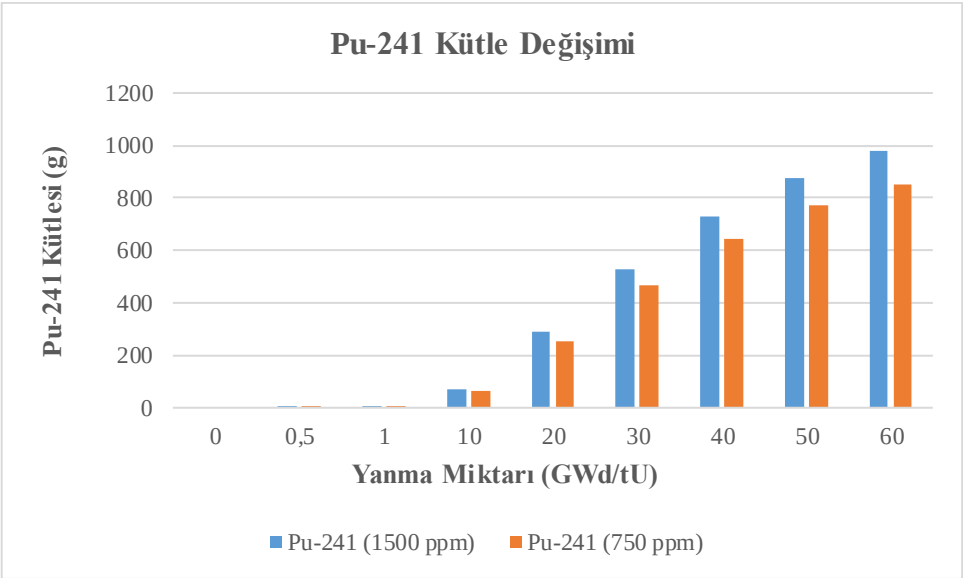
Şekil 4.1 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için Pu-238 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi



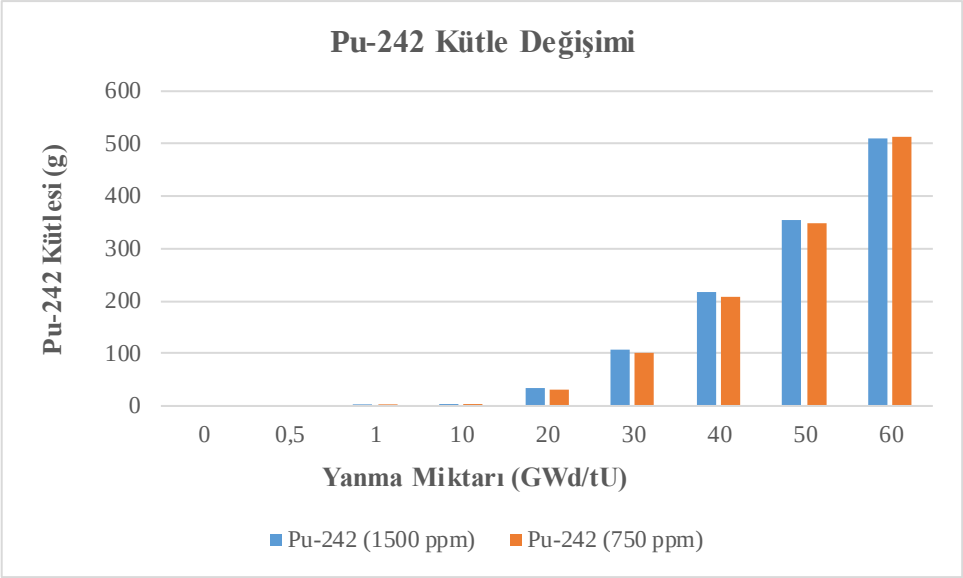
Şekil 4.2 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için Pu-239 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi



Şekil 4.3 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için Pu-240 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi

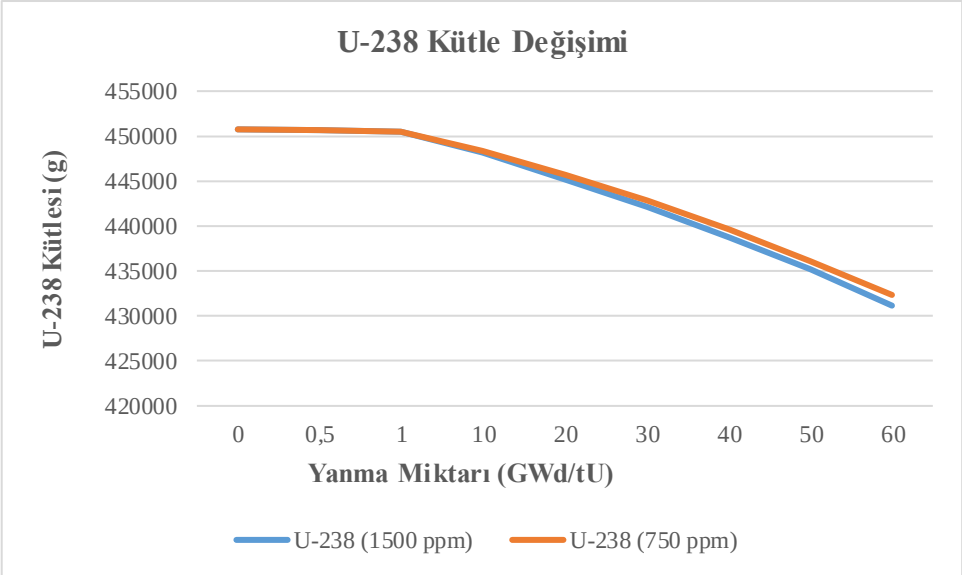


Şekil 4.4 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için Pu-241 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi

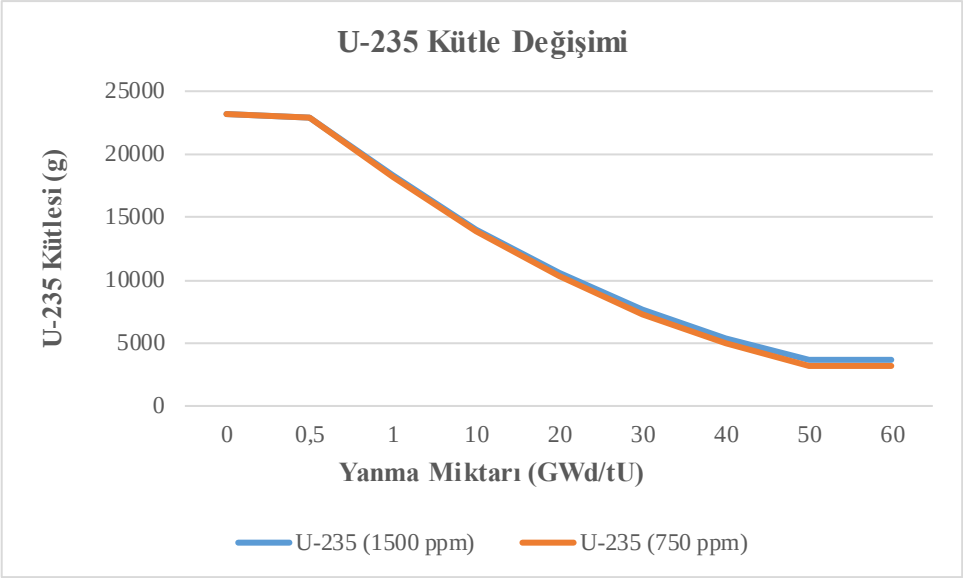


Şekil 4.5 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için Pu-242 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi

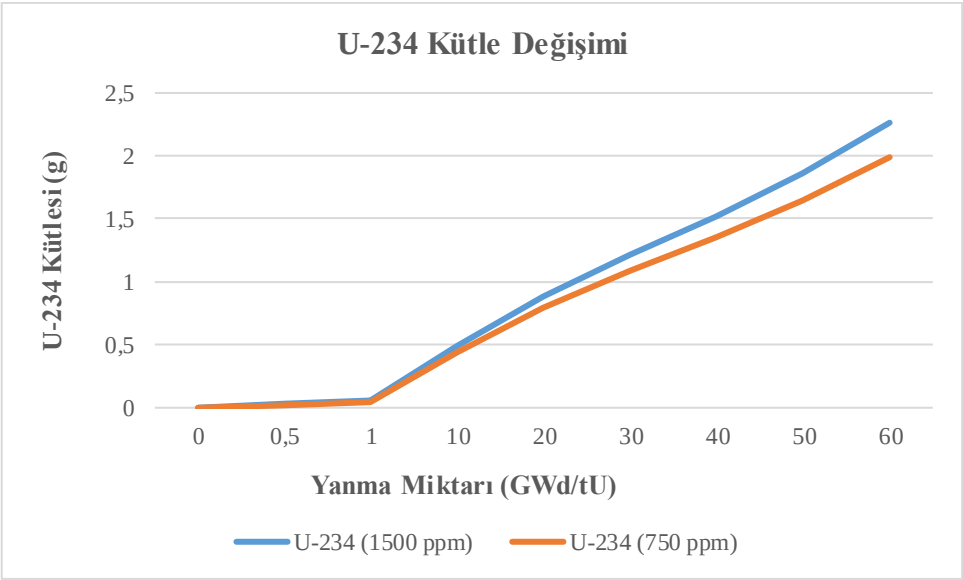
%4,95 zenginlikte ve 12 IBA yakıt çubuğu bulunan yakıt demetlerinin 750 ppm ve 1500 ppm borik asit konstantrasyonu ile yanma hesaplamalarından elde edilen sonuçlarla U-238, U-235, U-234 ve U-235 izotoplarının yanma miktarına bağlı olarak kütle değişimleri Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da verilmektedir.



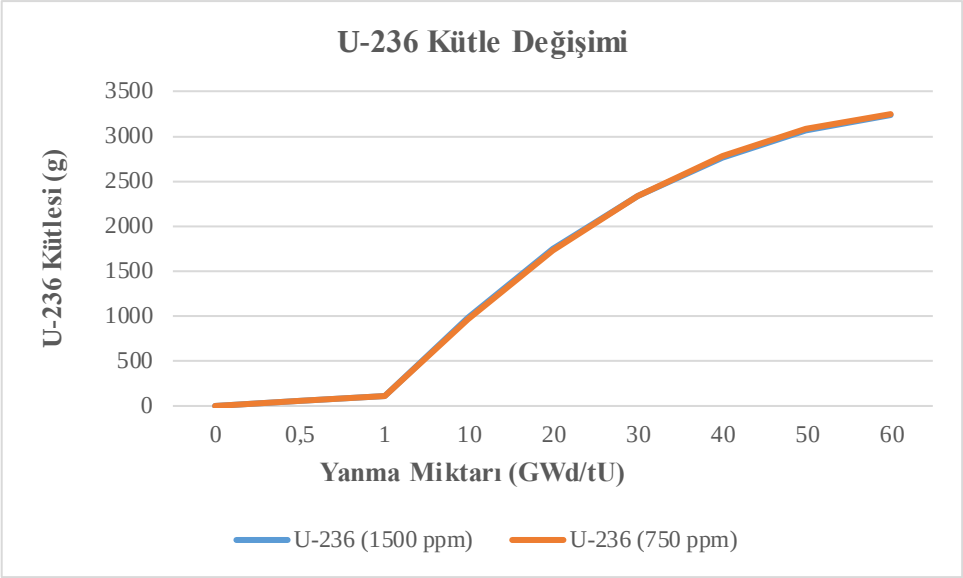
Şekil 4.6 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için U-238 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi



Şekil 4.7 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için U-235 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi



Şekil 4.8 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için U-234 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi



Şekil 4.9 %4,95 zenginlikli yakıt demetlerinde borik asit konstantrasyonu değişkeni için U-236 izotopunun yanma miktarına bağlı kütle değişimi

%4,95 zenginlikte ve 12 IBA yakıt çubuğu bulunan yakıt demetlerinin 750 ppm ve 1500 ppm borik asit konstantrasyonu ile yanma hesaplamalarından elde edilen sonuçlarla yanma miktarı için geçen süre, yakıt demeti toplam aktivite değerleri ve yakıt demeti toplam ısıl güç değerleri karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11'de verilmektedir.

Çizelge 4.9 %4,95 yakıt demetinde borik asit konsantrasyonu değişkeni için beklenen yanma miktarına ulaşma süresi

Borik Asit Konsantrasyon Değişimi için Yanma Miktarına ulaşmakta Geçen Süre (gün)	**Yanma Miktarı (GWd/tU)**								
	0	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
750 ppm borik asit içeren yakıt demeti	0	8,158	16,32	163,268	326,68	490,29	654,19	818,4	982,9
1500 ppm borik asit içeren yakıt demeti	0	8,16	16,32	163,265	326,65	490,19	653,95	817,9	982,2

Çizelge 4.10 %4,95 yakıt demetinde borik asit konsantrasyonu değişkeni için yakıt demeti toplam aktivite değerleri

Borik Asit Konsantrasyon Değişimi için Yakıt Demeti Toplam Aktivite Değerleri (Bq)	Yanma Miktarı (GWd/tU)								
	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
750 ppm borik asit içeren yakıt demeti	9,72E+11	6,79E+20	7,00E+20	7,31E+20	7,31E+20	7,36E+20	7,46E+20	7,61E+20	7,82E+20
1500 ppm borik asit içeren yakıt demeti	9,72E+11	6,84E+20	7,10E+20	7,46E+20	7,46E+20	7,51E+20	7,61E+20	7,82E+20	7,97E+20

Çizelge 4.11 %4,95 yakıt demetinde borik asit konsantrasyonu değişkeni için yakıt demeti toplam ısıl güç değerleri

Borik Asit Konsantrasyon Değişimi için Yakıt Demeti Toplam Isıl Güç (W)	Yanma Miktarı (GWd/tU)								
	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
750 ppm borik asit İçeren yakıt demeti	6,78E-01	2,33E+08	2,35E+08	2,30E+08	2,22E+08	2,18E+08	2,15E+08	2,14E+08	2,14E+08
1500 ppm borik asit içeren yakıt demeti	6,78E-01	2,34E+08	2,36E+08	2,33E+08	2,25E+08	2,21E+08	2,19E+08	2,18E+08	2,19E+08

ii.IBA yakıt çubuğu içermeyen yakıt demeti için Borik Asit Konsantrasyonunun Etkisinin Değerlendirilmesi

%3,0 zenginliğe sahip UO_2 yakıt çubuğu içeren IBA'sız yakıt demetleri için 750 ile 1500 ppm borik asit konsantrasyonu için hazırlanan ve açıklamaları Çizelge 4.12'de verilen yakıt demeti modelleri ile yanma hesaplamaları yapılmıştır.

Çizelge 4.12 IBA içermeyen %3,0 zenginlikte yakıt çubuğu bulunan yakıt demeti modellemesi

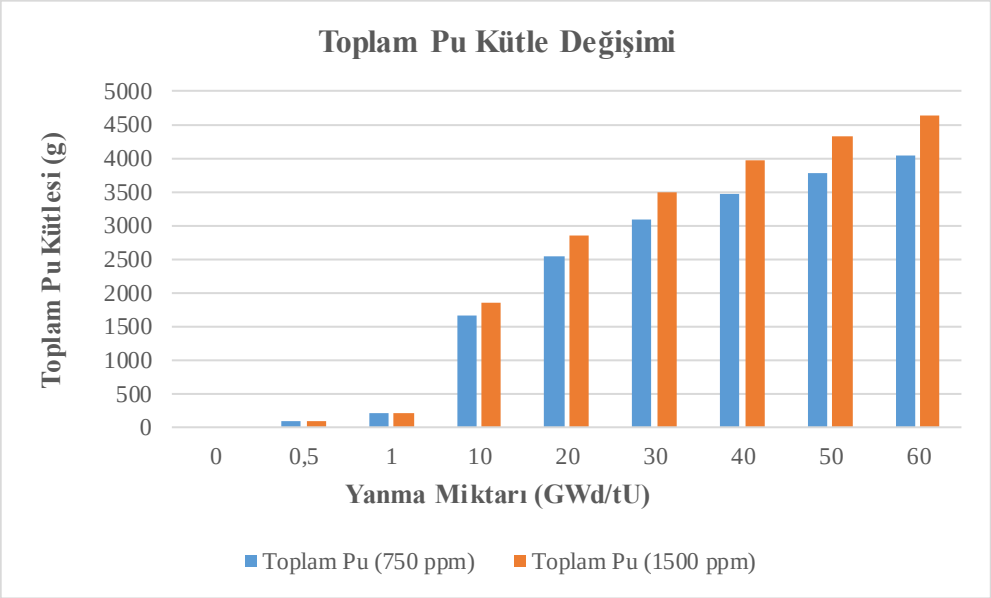
Yakıt Demeti Model Kodu	Açıklaması
30001560	%3,0 UO_2 yakıt çubuğu; 1500 ppm Borik Asit Konsantrasyonu
30007560	%3,0 UO_2 yakıt çubuğu; 750 ppm Borik Asit Konsantrasyonu

Çalışmanın sonucunda farklı borik asit konsantrasyonuna bağlı olarak kullanılmış yakıt demeti içerisinde oluşan Pu izotoplarının kütlelerindeki değişim örnek veri seti olarak hazırlanmış ve Çizelge 4.13'te sunulmuştur.

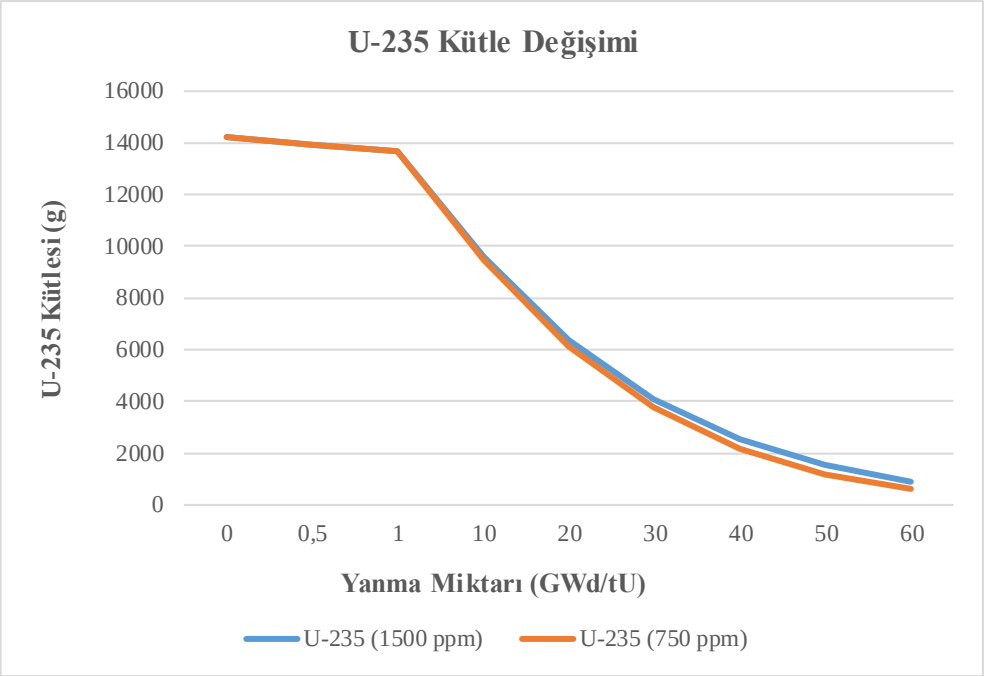
Çizelge 4.13 IBA içermeyen %3,0 zenginlikte yakıt çubuğu bulunan farklı borik asit konsantrasyonu için yakıt demetleri içerisindeki Pu izotoplarının yanma miktarına bağlı kütle değerleri

Yakıt Demeti Model Kodu ve Açıklaması		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
		0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
30007560	Pu-238	0,000421	0,004167	2,568445	15,08504	40,82269	78,52743	122,9123	167,289
%3,0 UO_2 yakıt çubuğu; 750 ppm Borik Asit Konsantrasyonu	Pu-239	79,5971	198,4021	1531,564	2084,325	2263,128	2302,396	2299,921	2292,224
	Pu-240	8,83E-06	8,44E-05	0,05415	0,250338	0,558687	0,93092	1,318075	1,698594
	Pu-241	0,019886	0,198501	114,2927	363,3439	563,5761	689,0245	761,7766	801,4197
	Pu-242	7,23E-05	0,001464	10,31211	77,56221	210,5894	385,666	579,2739	772,4424
Pu İzotop Kütleleri (g)	Toplam Pu	79,61749	198,6063	1658,792	2540,567	3078,675	3456,545	3765,202	4035,074
30001560	Pu-238	0,000532	0,005249	3,131908	17,89417	47,60967	90,67764	142,0944	195,545
%3,0 UO_2 yakıt çubuğu; 1500 ppm Boric Asit Konsantrasyonu	Pu-239	88,94836	221,3457	1698,23	2336,117	2587,354	2678,268	2714,134	2736,464
	Pu-240	1,02E-05	9,61E-05	0,057589	0,25902	0,571836	0,948584	1,34684	1,749792
	Pu-241	0,026157	0,252098	136,0329	416,4081	645,1521	799,8145	897,721	955,1457
	Pu-242	9,56E-05	0,001867	11,96853	83,58972	215,8914	385,1798	568,5258	748,5227
Pu İzotop Kütleleri (g)	Toplam Pu	88,97516	221,6051	1849,421	2854,268	3496,579	3954,888	4323,822	4637,428

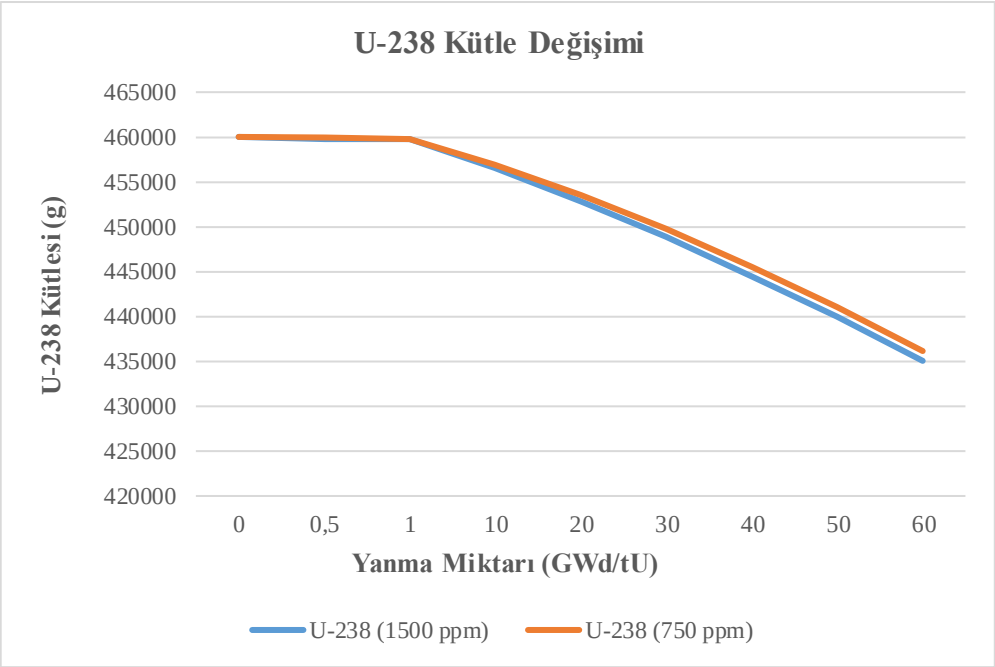
%3,0 zenginliğe sahip UO_2 yakıt çubuğu içeren IBA'sız yakıt demetleri için 750 ile 1500 ppm borik asit konsantrasyonu ile yanma hesaplamalarından elde edilen sonuçlarla yakıt demeti içerisindeki Pu izotoplarının toplam kütle değişimi ile U-235, U-238 izotoplarının kütle değişimleri Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmektedir.



Şekil 4.10 IBA içermeyen %3,0 zenginlikte yakıt çubuğu bulunan yakıt demeti için borik asit konsantrasyonu değişiminin toplam Pu üretimi üzerindeki etkisi



Şekil 4.11 IBA içermeyen %3,0 zenginlikte yakıt çubuğu bulunan yakıt demeti için borik asit konsantrasyonu değişiminin U-235 tüketimi üzerindeki etkisi



Şekil 4.12 IBA'sız %3,0 zenginlikli yakıt demeti için borik asit konsantrasyonu değişiminin U-238 tüketimi üzerindeki etkisi

Termal nötron soğurucu olan boron miktarının daha yüksek olduğu yakıt demetlerinde aynı yanma miktarlarında U-238'in dönüşümünün ve Pu izotoplarının birikimi ile U-234 izotop miktarının arttığı, U-235'in fisyonunun azaldığı görülmüştür. U-236 izotop

üretiminde ise boron miktarının değişiminin etkisinin çok düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebinin U-235 izotopunun bir nötron yakalaması ile U-236 izotopunun oluşmasıdır. Ortamdaki borik asit konsantrasyonun artması U-235'in fisyon olasılığını azaltırken diğer taraftan da nötron soğurma olasılığını artırır ve bu iki etken birbirini dengelemektedir. Diğer taraftan da, kullanılan boron miktarındaki artışın kullanılmış nükleer yakıtın toplam aktivitesini arttırdığı ve kullanılmış nükleer yakıtın izotopik bileşimi üzerinde ciddi bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Aynı yanma miktarına ulaşmak için geçen sürelerin her iki borik asit konsantrasyonuna sahip yakıt demetleri için de birbirlerine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

4.4.3. IBA Yakıt Çubuklarındaki Gd Miktarının Etkisinin Değerlendirilmesi

%2,4 zenginliğe sahip UO_2 yakıt çubuğu ve 12 adet IBA yakıt çubuğu bulunan ve 1500 ppm borik asit konsantrasyonuna sahip yakıt demetleri için ağırlıkça %5 ve %8 Gd_2O_3 bulunan ve açıklamaları Çizelge 4.14'te verilen yakıt demeti modellemeleri ile yanma hesaplamaları yapılmıştır. Bu çalışmadaki amaç, IBA yakıt çubuklarındaki Gd miktarındaki değişimin kullanılmış yakıt demetindeki izotop dağılımına etkisinin değerlendirilmesidir.

Çizelge 4.14 IBA yakıt çubuklarındaki Gd miktarı değişimine ait yakıt demeti modellemesi

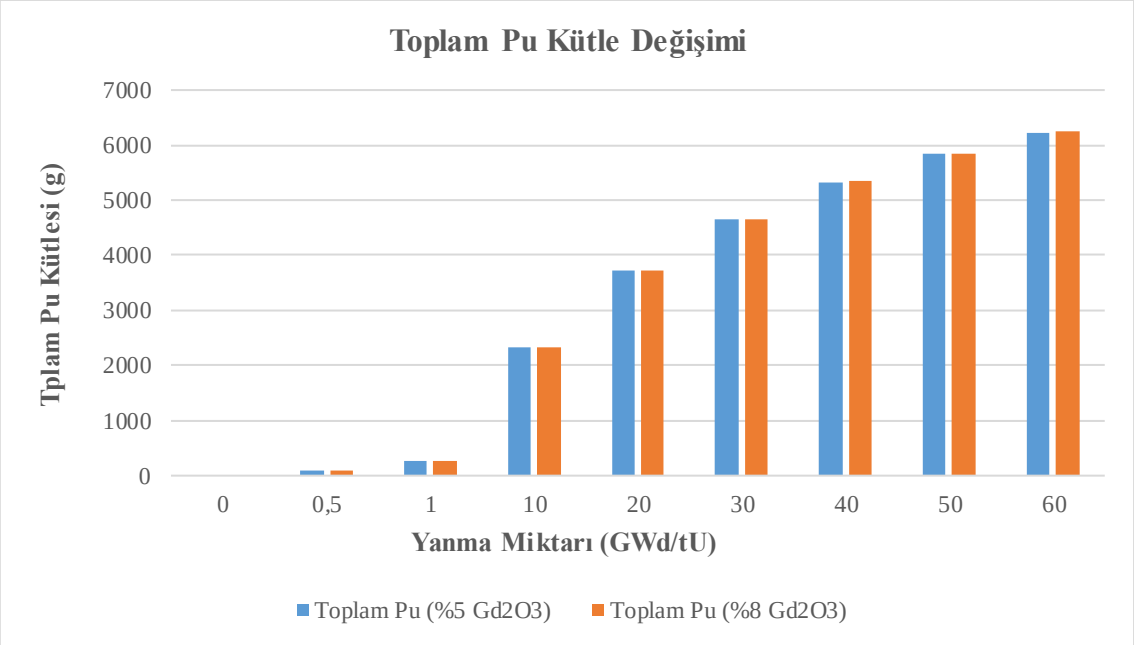
Yakıt Demeti Model Kodu	Açıklaması
24051560	%2,4 UO_2 yakıt çubuğu; %5 Gd_2O_3 + %3,6 UO_2 içeren IBA; 1500 ppm Borik Asit Konsantrasyonu
24081560	%2,4 UO_2 yakıt çubuğu; %8 Gd_2O_3 + %3,6 UO_2 içeren IBA; 1500 ppm Borik Asit Konsantrasyonu

Yanma hesaplamaları sonucunda elde edilen ve kullanılmış yakıt demeti içerisindeki Pu izotoplarının kütlelerindeki değişim ve toplam değerleri Çizelge 4.15'te verilmektedir.

Çizelge 4.15 Gd değişkeni için Pu izotoplarının yanma miktarına bağlı kütle değerleri

Yakıt Demeti Model Kodu ve Açıklaması	Yanma Miktarı (GWd/tU)								
	0	0,5	1	10	20	30	40	50	60
24051560	Pu238	0,000714	0,007023	3,879752	20,83389	52,56154	95,58403	143,5505	190,456
%2,4 UO_2 yakıt çubuğu; %5 Gd_2O_3 + %3,6 UO_2 içeren IBA; 1500 ppm Borik Asit Konsantrasyonu	Pu239	102,8597	254,3733	1771,27	2350,472	2561,041	2650,839	2694,043	2721,744
	Pu240	1,466236	6,852892	356,5236	748,4353	1056,952	1275,97	1417,944	1510,371
	Pu241	0,042693	0,408794	179,7855	483,3483	698,8929	835,182	921,651	973,2874
	Pu242	0,000192	0,003716	19,47835	117,6967	277,3787	464,5917	652,7257	829,7076
Pu İzotop Kütleleri (g)	Toplam Pu	104,3696	261,6457	2330,937	3720,786	4646,827	5322,167	5829,914	6225,566
24081560	Pu238	0,000726	0,007109	3,922286	21,06177	52,81211	95,76565	143,8041	190,546
%2,4 UO_2 yakıt çubuğu; %8 Gd_2O_3 + %3,6 UO_2 içeren IBA; 1500 ppm Borik Asit Konsantrasyonu	Pu239	103,0964	255,1806	1773,817	2354,902	2577,351	2666,357	2711,768	2742,803
	Pu240	1,474108	6,881036	355,476	743,1718	1050,439	1271,164	1416,164	1510,659
	Pu241	0,043062	0,410446	181,5348	487,4294	703,2199	840,1111	926,9864	979,6622
	Pu242	0,000193	0,003734	19,66558	118,3836	278,2019	463,5478	650,7757	826,7389
Pu İzotop Kütleleri (g)	Toplam Pu	104,6145	262,4829	2334,416	3724,949	4662,024	5336,946	5849,498	6250,41

%2,4 zenginliğe sahip UO_2 yakıt çubuğu ve 12 adet IBA yakıt çubuğu bulunan ve 1500 ppm borik asit konsantrasyonuna sahip ve ağırlıkça %5 ve %8 Gd_2O_3 bulunan modelleme ile yapılan yanma hesaplamaları sonucunda elde edilen değerlerle yakıt demeti içerindeki Pu izotoplarının yanma miktarına bağlı olarak toplam kütle değişimleri karşılaştırması Şekil 4.13'te verilmektedir.



Şekil 4.13 %2,4 zenginlikte 1500 ppm borik asit konsantrasyonuna sahip IBA içeren yakıt çubuğunda Gd miktarı değişiminin toplam Pu üretimi üzerindeki etkisi

Gd gibi yüksek nötron yakalayan ve yakıt çubuğu içerisinde yer alan malzemelerin etkisinin göz ardı edilmesinin, aynı geometrik model kullanıldığında (IBA yakıt çubuğu sayısı ve yakıt demeti içerisindeki yerleşimleri) ve diğer değişkenlere ait değerler sabit tutulduğunda elde edilen sonuçlarda çok büyük farklara neden olmadığı sonucuna varılabilir.

Gd'nin nötron soğurma tesir kesitinin yüksek olması nedeniyle, genellikle yanma sürecinin başlangıcında önemli bir etki yaratmakta, yakıt çubuğunda yer alan nötron yoğunluğunu lokal olarak azaltmaktadır. Yanma sürecinin başlangıcında, U-235 fisyonunu ve dolayısıyla Pu üretimini sınırlayabilmekte ancak yanma ilerledikçe Gd izotoplarının zamanla azalması sebebiyle nötron yutma etkisi azalmaktadır. Özellikle yanma miktarı arttıkça Gd'nin etkisinin giderek daha az belirgin hale geldiği, ayrıca, borik asit ve diğer yakıt demeti parametrelerinin de Gd'nin etkisini maskeleyebileceği göz ardı edilmemelidir.

Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda, Gd gibi yüksek nötron soğurma kapasitesine sahip malzemelerin etkisinin ihmal edilmesinin, IBA çubuğu sayısı ve yakıt demeti içindeki yeri sabit tutulduğunda hesaplama sonuçları üzerinde belirgin bir fark yaratmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum, Gd miktarındaki değişimin, sabit geometri ve işletme koşulları altında reaktivite veya izotopik dağılımlar üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir.

5. SONUÇLARIN YORUMLANMASI

Bu çalışmada, ülkemizde Mersin Akkuyu'da inşaası devam etmekte olan VVER-1200 (AES-2006) tipi reaktörde, ilk kor yüklemesinde kullanılacak yakıt demetleri için yanma miktarlarına bağlı olarak oluşacak kullanılmış nükleer yakıt envanterine ait veri setleri oluşturulmuştur. Serpent Monte Carlo kodu ile gerçekleştirilen yanma analizleri için her bir yakıt demeti içerisinde 312 adet yakıt çubuğu, 18 adet kılavuz çubuğu ve 1 adet merkezi enstrüman kanalı bulunan altıgen geometrili yakıt demeti modeli temel alınmıştır.

Çalışmada, literatür taraması sonucunda ulaşılan bilgiler ile VVER-1200 reaktörü ilk kor yüklemesinde yer alabilecek yakıt demetleri için geometri, temel parametreler ve malzeme özellikleri belirlenmiştir. Yakıt çubukları ve IBA yakıt çubukları için yakıt zenginlikleri, borik asit konsantrasyonu, IBA yakıt çubuğu sayısı, IBA yakıt çubuğundaki Gd_2O_3 miktarı ve yanma miktarı değişken olarak alınmıştır. Belirlenen değişkenler kullanılarak ilk kora yüklenecek yakıt demetleri Serpent Monte Carlo kodu ile modellenmiş ve yanma analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen verilerin derlenmesi ile VVER-1200 ilk kor yüklemesinde yer alacak yakıt demetlerinin reaktörden çıkarıldığındaki radyoizotop içerikleri, aktivite değerleri ve ısıl güç miktarı için veri setleri oluşturulmuştur. Dolayısıyla, bu çalışmada VVER-1200 reaktörü için tüm kor ve gerçek işletme koşulları modellemesi gerçekleştirilmemiş olsa da, yakıt demeti hesaplamaları ile elde edilen veri setleri, kullanılmış nükleer yakıt içindeki madde envanteri için bir öngörü oluşturmaktadır.

VVER-1200 reaktörünün ilk kor yüklemesi için belirlenen yakıt düzeneği ve yakıt demeti özelliklerine dair gerçek ve ayrıntılı bilgiler, reaktörün işletme belgeleri, işletme kayıtları, planlama belgeleri ve düzenleyici otorite programları esas alınarak sağlanabilir. Bu belgeler, reaktörün işletme koşullarını ve güvenlik standartlarını belirlemek açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, oluşturulan veri setlerinin doğruluğunu artırmak ve gerçek işletme koşullarına daha yakın sonuçlar elde etmek için, Akkuyu Nükleer Güç Santrali'nin ilk kor yüklemesine ait gerçek parametrelerin dikkate alınması gereklidir.

VVER-1200 ilk kor yüklemesine ait gerçek parametreler kullanılarak tüm korun modellenmesiyle Serpent Monte Carlo kodu ile yapılacak yanma hesaplamaları işletme

koşullarına en yakın sonuçlara ulaşılmasını ve bu çalışma ile oluşturulan veri setlerindeki sapma veya belirsizliklerin tespitini sağlayabilir.

Kullanılmış yakıt nükleer madde envanterine ait veri setleri, çalışılan yakıt demeti modellemelerinin tüm kombinasyonları için yapılan 41 adet yanma hesaplamasından elde edilen sonuçların derlenmesi ile oluşturulmuştur. Hazırlanan veri setlerinde yer alan mininum, maksimum ve ortalama kütle miktarları, aktivite değerleri ve ısıl güç değerleri için özellikle minimum ve maksimum değerler arasındaki farkların büyük olmasının temel sebebi, modellenen yakıt demetleri içerisindeki yakıt çubuğu zenginliğinin %2,4 ve %4,95 arasında değişmesidir. Ayrıca, çalışmada yapılan tüm yakıt demeti yanma simülasyonlarında soğutucu ve moderatör olarak kullanılan hafif su içerisindeki boron konsantrasyonu sabit değerlerle kullanılmıştır. Fakat nükleer reaktörün işletmesi sırasıda kritiklik ve verimlilik için boron konsanrasyonunun anlık olarak değişkenlik gösterdiği gibi, aktif yakıt yüksekliği boyunca da değişkenlik göstermekte olduğu veri setleri yorumlanırken dikkate alınmalıdır.

Bu çalışma ile elde edilen ve kullanılmış yakıt demeti içindeki madde envanterine ait veri setleri değişkenlere ve değişkenlerin değerlerine bağlı olarak bir "Kullanılmış Nükleer Yakıt Demeti Madde Envanteri Kütüphanesi"ne dönüştürülebilir. Oluşturulan kütüphane kullanılmış nükleer yakıt havuzu tasarımı, depolama tesisi tasarımı, kullanılmış nükleer yakıtın yeniden işlenmesi, taşınması veya bertaraf edilmesi gibi kullanılmış yakıt yönetim adımlarında kullanılabilir. Yakıt demetleri içindeki IBA yakıt çubuklarının sayısının ve yakıt demeti içerisindeki yerlerinin farklı kombinasyonları modellenerek yapılacak yanma hesaplamaları ile envanter kütüphanesi genişletilebilir. Benzer şekilde, yakıt çubuklarının sayısı, yerleşimi ve zenginlik gibi parametrelerin kombinasyonları üzerinde yapılacak yanma hesaplamaları, daha geniş veri setleri oluşturulmasına katkı sağlayabilir.

Ayrıca, bu çalışmada elde edilen ve kullanılmış nükleer yakıt demeti içerisindeki madde envanterine ait veri setleri, yapay zeka ve makine öğrenmesi algoritmalarına entegre olabilme potansiyeline sahiptir. Veri setlerinin değişkenlere bağlı modellenmesi ve analizi, makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlar ile daha hızlı ve doğru bir şekilde yapılabilir. Bu da özellikle nükleer yakıt yönetimi süreçlerinin optimizasyonu için önemli bir girdi sağlayabilir.

6. YORUM VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile oluşturulan veri setlerinin, kullanılmış nükleer yakıt yönetiminde uygulanan süreçlerden kullanılmış yakıt soğutma havuzu, ıslak-kuru depolama, yeniden işleme ve dönüştürme, paketleme, taşıma ve bertaraf adımlarının planlanmasında ve ihtiyaç duyulacak tesislerin tasarımı ve işletiminde kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Kullanılmış nükleer yakıt çevrimi süreçlerinin optimize edilmesi için de katkı sağlayabilir. Hazırlanan veri setlerinin, kullanılmış yakıta ait izotopik dağılımı, aktivite değerleri ve ısıl güç seviyeleri için soğutma, taşıma ve depolama süresine bağlı olarak değişimlerinin izlenebilmesinde bir referans noktası olacağı değerlendirilmektedir.

Veri setleri geriye dönük analizler için de kullanılabilir. Özellikle nükleer reaktörün operasyonel geçmişine dair önemli verilerin toplanmasını ve daha önceki yakıt yüklemelerinin sonuçlarının anlaşılmasını sağlayabilir. Nükleer yakıt tasarımındaki potansiyel zayıf noktaları belirlemek ve bu noktaları iyileştirmek için de kullanılabilir.

Bu çalışmada belirlenen değişken ve değerlerine bağlı olarak hazırlanan veri setleri ile kullanılmış nükleer yakıt için "Kullanılmış Nükleer Yakıt Madde Envanteri Kütüphanesi" oluşturulabilir. Oluşturulacak kütüphanenin, nükleer yakıt çevrimi çalışmaları ile birlikte güvenlik, çevresel etki ve sürdürülebilirlik analizlerinde de kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Kullanılmış Nükleer Yakıt Madde Envanteri Kütüphanesinin, hazırlanacak veri paylaşım protokolleri ile isteklilerin kullanımına sunulabileceği değerlendirilmektedir.

Ayrıca, nükleer kazalar veya beklenmedik olay durumunda, acil durum eylem planlarının oluşturulması ve/veya güncellenmesi için kullanılmış nükleer yakıtın davranışlarını tahmin etmek için veri setlerinin kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Öngörülemeyen veya planlı olmayan reaktör kapatma senaryolarında, reaktör koru içerisindeki yakıtın nükleer madde envanteri, reaktivite ve ısıl güç seviyeleri ile yakıtın durumu ve çevresel etkilerinin değerlendirilebilmesinde de hazırlanan veri setleri bir öngörü oluşturabilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, değişkenlere bağlı oluşturulan kullanılmış nükleer yakıt madde envanteri veri setleri, makine öğrenimi (yapay zeka) için eğitim verisi olarak kullanılabilir. Çalışma sonuçlarının, yapay zeka destekli oluşturulacak modellemelerle nükleer yakıt yönetimi süreçlerinin daha etkili ve verimli hale gelmesine destek olabileceği değerlendirilmektedir.

7. KAYNAKLAR

[1] UAEA, “Guidebook On Spent Fuel Storage Options And Systems”, Third Edition, Viyana, 2024.

[2] UAEA, “The Nuclear Fuel Cycle”, https://www.iaea.org/sites/default/files/19/02/the-nuclear-fuel-cycle.pdf

[3] S. AKTÜRK, N.ÇERÇEKER, İ.H.DARA, “Spent Nuclear Fuel Management: Trends And Back End Scenarıos”, Mülga TAEK (Türkiye Atom enerjisi Kurumu), TENMAK, https://kurumsalarsiv.tenmak.gov.tr/server/api/core/bitstreams/a7f2f994-121a-46d6-9f18-780baf7e0018/content

[4] UAEA, “Data Requirements and Maintenance of Records for Spent Fuel Management: A Review”, Viyana, 2006

[5] “How is used nuclear fuel managed?”, https://world-nuclear.org/our-association/publications/technical-positions/how-is-used-nuclear-fuel-managed

[6] UAEA, “Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management”, Viyana, 2022.

[7] “An introduction to Spent Nuclear Fuel decay heat for Light Water Reactors: a review from the NEA WPNCS”, EPJ Nuclear Sci. Technol. 10, 9 (2024), c D. Rochman et al., Published by EDP Sciences, 2024, https://doi.org/10.1051/epjn/2024010

[8] UAEA, 2009; Rohan ve Sahadath, 2023.

[9] UAEA, “Safety Glossary, Terminology Used In Nuclear Safety And Radiation Protection, 2018 Edition”, Viyana, 2019, https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1830_web.pdf

[10] UAEA, Meeting of the TWG-LWR, “Status and perspectives of VVER nuclear power plants”, Viyana, 2011, https://web.archive.org/web/20131103222853/https://www.iaea.org/NuclearPower/Downloads/Technology/meetings/2011-Jul-26-28-TWG-LWR-HWR/Session-I/21.TWG-LWR-Russia.pdf

[11] Rosatom, "The VVER Today, Evolution, Design, Safety", https://www.rosatom.ru/upload/iblock/0be/0be1220af25741375138ecd1afb18743.pdf

[12] NDK, “Akkuyu Nükleer Güç Santrali”, https://www.ndk.org.tr/akkuyu-nukleer-santrali

[13] “Status report 107 - VVER-1200 (V-392M) (VVER-1200 (V-392M))” “Status report 108 - VVER-1200 (V-491) (VVER-1200 (V-491))”, https://www.scribd.com/document/329231591/PDF-VVER-1200-V-392M https://www.collegesidekick.com/study-docs/21354615

[14] Rosatom, "VVER-1200: Advanced Nuclear Reactor Design", Rosatom State Corporation, 2020.

[15] Afroza Shelley, H. Rainad Khan Rohan, Md. Abidur Rahman Ishraq, “Decay heat generation of VVER-1200 reactor spent fuel during the pool period”, Progress in Nuclear Energy 176 (2024) 105379, 2024.

[16] Ahmed Abdelghafar Galahom, “Analyze the Effect of Void Fraction on the Main Operating Parameters of the VVER-1200”, Higher Technological Institute, Egypt, https://ajnsa.journals.ekb.eg/article_66003_b74275494986219ecbe33076ccedebd0.pdf

[17] Serpent – a Continuous-energy Monte Carlo neutron and photon transport code, https://serpent.vtt.fi

[18] User’s Manual, Serpent – a Continuous-energy Monte Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code, June 18, 2015, Jaakko Leppänen

[19] Lamarsh, J. R., & Baratta, A. J. “Introduction to Nuclear Reactor Theory”, (3rd ed.), Pearson Education.

[20] “20th AER Symposium on VVER Reactor Physics and Reactor Safety, 2.2 Serpent Monte Carlo Reactor Physıcs Code”, Jaakko Leppänen, VTT, September 2010 Espoo, Finland.

[21] OECD, “Spent Nuclear Fuel Assay Data For Isotopic Validation”, Nuclear Science NEA/NSC/WPNCS/DOC(2011)5, June 2011.

[22] Nuclear Data Center at KAERI, https://atom.kaeri.re.kr

[23] G. ÖZEŞME, B.BULUT ACAR, “Development of Canisters For Spent Fuels of VVER-1200 And ATMEA1 New Generation Reactors And Determination of Geological Disposal Densities”, Annals of Nuclear Energy, September, 2020 https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306454920305582

EKLER

EK 1 – Yakıt Demetinin 2 Boyutlu ve 3 Boyutlu Modellenmesi

%3,0 zenginlikte yakıt çubukları içeren ve IBA yakıt çubuğu bulunmayan 1500 ppm borik asit konsantrasyonuna sahip yakıt demetlerinin 2 boyutlu ve 3 boyutlu modellenerek Serpent kodu ile yapılan yanma hesaplamaları sonucunda elde edilen yakıt demeti içerisindeki izotoplara ait kütle miktarı, aktivite ve ısıl güç değerleri ile oluşturulan veri setleri Çizelge Ek1.1, Çizelge Ek1.2 ve Çizelge Ek1.3'te yer almaktadır.

Çizelge Ek1.1 Yakıt Demeti İzotop Kütleleri

Yakıt Demetleri içindeki İzotoplar ve Kütleleri (g)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Modelleme**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
U-234	2 Boyutlu	0,00	0,02	0,04	0,33	0,56	0,75	0,97	1,25	1,60
U-234	3 Boyutlu	0,00	0,02	0,04	0,33	0,56	0,76	0,98	1,26	1,61
U-235	2 Boyutlu	14.227,14	13.948,02	13.675,02	9.569,26	6.363,08	4.100,63	2.547,66	1.530,72	895,88
U-235	3 Boyutlu	14.227,14	13.948,02	13.674,96	9.569,21	6.364,36	4.105,35	2.553,53	1.536,36	899,98
U-236	2 Boyutlu	0,00	50,75	100,45	831,29	1.362,81	1.693,21	1.870,87	1.934,81	1.919,43
U-236	3 Boyutlu	0,00	50,75	100,46	830,64	1.363,11	1.692,03	1.868,65	1.932,46	1.917,95
U-238	2 Boyutlu	460.011,01	459.848,42	459.682,75	456.583,32	452.883,47	448.860,50	444.520,07	439.898,21	435.056,13
U-238	3 Boyutlu	460.011,01	459.848,42	459.682,75	456.587,44	452.878,32	448.854,84	444.514,41	439.895,12	435.070,54
Pu-238	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,01	3,13	17,89	47,61	90,68	142,09	195,55
Pu-238	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,01	3,15	17,94	47,74	91,16	142,78	196,31
Pu-239	2 Boyutlu	0,00	88,95	221,35	1.698,23	2.336,12	2.587,35	2.678,27	2.714,13	2.736,46
Pu-239	3 Boyutlu	0,00	88,96	221,39	1.695,94	2.340,49	2.591,42	2.685,95	2.720,32	2.727,55
Pu-240	2 Boyutlu	0,00	1,05	4,94	296,30	666,34	980,72	1.220,15	1.385,93	1.500,48
Pu-240	3 Boyutlu	0,00	1,05	4,94	295,59	662,86	979,44	1.214,75	1.386,31	1.502,60
Pu-241	2 Boyutlu	0,00	0,03	0,25	136,03	416,41	645,15	799,81	897,72	955,15
Pu-241	3 Boyutlu	0,00	0,03	0,25	136,03	418,66	645,54	803,11	897,57	954,76
Pu-242	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	11,97	83,59	215,89	385,18	568,53	748,52
Pu-242	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	11,98	83,87	216,06	384,91	567,51	747,50
Am-241	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,75	4,59	9,82	14,20	17,06	18,63
Am-241	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,75	4,62	9,84	14,25	17,11	18,64
Am-242	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,07	0,09	0,10
Am-242	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,07	0,09	0,10
Am-243	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,64	10,25	41,47	96,22	168,35	248,64
Am-243	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,63	10,34	41,47	96,52	168,67	248,66
Cm-242	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,10	1,23	4,10	8,11	12,19	15,60
Cm-242	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,10	1,23	4,11	8,13	12,21	15,62
Cm-243	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08	0,20	0,37	0,55
Cm-243	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,20	0,37	0,55
Cm-244	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,04	1,65	11,04	37,63	88,67	166,05

Yakıt Demetleri içindeki İzotoplar ve Kütleleri (g)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Modelleme**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
Cm-244	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,04	1,67	11,17	37,92	88,71	166,09
Cm-245	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,59	2,55	7,05	14,67
Cm-245	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,60	2,59	7,18	14,65
Cm-246	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,29	1,12	3,14
Cm-246	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,29	1,14	3,16
Cm-247	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cm-247	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Np-237	2 Boyutlu	0,00	0,27	0,94	35,95	100,17	171,55	239,55	297,12	341,32
Np-237	3 Boyutlu	0,00	0,28	0,95	36,16	100,04	172,37	241,07	298,77	342,24
Ce-144	2 Boyutlu	0,00	8,07	15,93	128,53	202,06	243,96	266,96	278,75	284,30
Ce-144	3 Boyutlu	0,00	8,07	15,93	128,52	202,05	243,88	266,84	278,62	284,18
Cs-133	2 Boyutlu	0,00	2,78	9,78	172,81	337,71	484,85	614,73	728,69	828,41
Cs-133	3 Boyutlu	0,00	2,78	9,78	172,78	337,62	484,65	614,93	728,67	828,31
Cs-134	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,03	6,63	26,13	55,81	93,31	135,53	179,93
Cs-134	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,03	6,63	26,18	55,89	92,91	135,36	179,80
Cs-135	2 Boyutlu	0,00	1,45	3,01	32,41	65,46	98,87	133,83	171,74	213,79
Cs-135	3 Boyutlu	0,00	1,45	3,01	32,38	65,49	98,95	133,89	171,84	213,90
Cs-137	2 Boyutlu	0,00	8,83	17,68	180,79	358,38	533,87	707,81	880,32	1.051,63
Cs-137	3 Boyutlu	0,00	8,83	17,68	180,76	358,37	533,77	707,59	880,01	1.051,26
Eu-151	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eu-151	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eu-152	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eu-152	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Eu-153	2 Boyutlu	0,00	0,19	0,48	10,40	28,73	49,50	69,53	87,20	102,25
Eu-153	3 Boyutlu	0,00	0,19	0,48	10,40	28,73	49,53	69,53	87,66	102,09
Eu-154	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,01	1,14	4,74	9,91	15,37	20,42	24,78
Eu-154	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,01	1,14	4,74	9,90	15,41	20,47	24,74
Eu-155	2 Boyutlu	0,00	0,06	0,10	0,68	1,77	3,32	5,03	6,67	8,06
Eu-155	3 Boyutlu	0,00	0,06	0,10	0,68	1,76	3,33	5,03	6,66	8,05
Gd-154	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,36	0,77	1,31	1,95
Gd-154	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,36	0,77	1,31	1,95
Gd-155	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03
Gd-155	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03
Gd-156	2 Boyutlu	0,00	0,01	0,03	2,58	10,38	26,66	54,24	93,93	144,89
Gd-156	3 Boyutlu	0,00	0,01	0,03	2,58	10,38	26,63	54,20	93,89	144,87
Gd-157	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,12
Gd-157	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,12
Gd-158	2 Boyutlu	0,00	0,02	0,04	1,23	3,76	7,82	13,84	22,32	33,53
Gd-158	3 Boyutlu	0,00	0,02	0,04	1,22	3,77	7,83	13,84	22,26	33,45
Gd-160	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,08	0,25	0,47	0,75	1,07	1,43
Gd-160	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,08	0,25	0,47	0,75	1,07	1,43
Mo-95	2 Boyutlu	0,00	0,01	0,11	40,92	138,76	240,19	333,38	417,66	494,45
Mo-95	3 Boyutlu	0,00	0,01	0,11	40,92	138,73	240,18	333,22	417,59	494,35
Nd-143	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01

Yakıt Demetleri içindeki İzotoplar ve Kütleleri (g)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Modelleme**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
Nd-143	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Nd-144	2 Boyutlu	0,00	0,09	0,39	41,28	149,10	303,14	490,46	700,84	926,12
Nd-144	3 Boyutlu	0,00	0,09	0,39	41,28	149,06	302,93	489,96	700,07	925,30
Nd-145	2 Boyutlu	0,00	5,66	11,53	111,56	207,21	290,42	362,73	425,46	480,18
Nd-145	3 Boyutlu	0,00	5,66	11,53	111,53	207,24	290,37	362,53	425,50	480,38
Nd-146	2 Boyutlu	0,00	4,59	9,20	94,83	192,57	295,53	404,84	520,80	643,26
Nd-146	3 Boyutlu	0,00	4,59	9,20	94,84	192,52	295,46	404,79	520,41	642,66
Nd-148	2 Boyutlu	0,00	2,65	5,33	55,10	109,18	162,85	216,38	269,77	323,06
Nd-148	3 Boyutlu	0,00	2,65	5,33	55,10	109,18	162,82	216,30	269,65	322,92
Nd-150	2 Boyutlu	0,00	1,09	2,19	23,84	49,64	76,94	105,45	134,88	164,96
Nd-150	3 Boyutlu	0,00	1,09	2,19	23,84	49,64	76,93	105,43	134,84	164,91
Pd-105	2 Boyutlu	0,00	0,85	2,07	37,69	93,80	160,37	233,61	310,80	389,88
Pd-105	3 Boyutlu	0,00	0,85	2,07	37,66	93,80	160,42	233,65	310,86	389,96
Pd-108	2 Boyutlu	0,00	0,13	0,30	10,82	33,02	63,24	99,45	139,97	183,65
Pd-108	3 Boyutlu	0,00	0,13	0,30	10,82	33,04	63,19	99,47	140,11	183,85
Pm-147	2 Boyutlu	0,00	0,76	2,57	48,31	77,83	92,49	98,27	99,54	98,44
Pm-147	3 Boyutlu	0,00	0,76	2,57	48,24	77,91	92,42	98,23	99,29	98,42
Rh-103	2 Boyutlu	0,00	0,24	0,93	50,69	122,61	186,93	240,19	282,35	315,14
Rh-103	3 Boyutlu	0,00	0,24	0,93	50,65	122,66	186,85	239,87	282,31	315,25
Ru-101	2 Boyutlu	0,00	5,52	11,07	114,32	227,28	338,42	447,28	553,42	656,56
Ru-101	3 Boyutlu	0,00	5,52	11,07	114,31	227,32	338,39	447,14	553,38	656,65
Ru-106	2 Boyutlu	0,00	0,62	1,32	24,50	59,60	97,46	134,74	169,41	200,24
Ru-106	3 Boyutlu	0,00	0,62	1,32	24,48	59,63	97,48	134,72	169,34	200,13
Sb-129	2 Boyutlu	0,00	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
Sb-129	3 Boyutlu	0,00	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
Se-79	2 Boyutlu	0,00	0,04	0,08	0,75	1,43	2,05	2,61	3,11	3,57
Se-79	3 Boyutlu	0,00	0,04	0,08	0,75	1,43	2,05	2,60	3,11	3,57
Sm-147	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,01	2,73	9,37	16,89	23,67	28,93	32,65
Sm-147	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,01	2,73	9,38	16,89	23,64	28,94	32,66
Sm-148	2 Boyutlu	0,00	0,00	0,01	5,36	21,68	45,42	74,39	106,64	140,97
Sm-148	3 Boyutlu	0,00	0,00	0,01	5,39	21,62	45,44	74,39	106,70	140,90
Sm-149	2 Boyutlu	0,00	0,51	0,71	0,97	1,08	1,11	1,10	1,08	1,08
Sm-149	3 Boyutlu	0,00	0,51	0,71	0,97	1,09	1,11	1,11	1,09	1,08
Sm-150	2 Boyutlu	0,00	0,60	2,11	37,64	82,73	130,19	177,60	223,05	265,72
Sm-150	3 Boyutlu	0,00	0,60	2,11	37,66	82,70	130,22	177,59	223,13	265,70
Sm-151	2 Boyutlu	0,00	0,50	1,01	3,71	4,64	5,39	6,06	6,72	7,35
Sm-151	3 Boyutlu	0,00	0,50	1,01	3,70	4,64	5,40	6,08	6,73	7,36
Sm-152	2 Boyutlu	0,00	0,51	1,15	18,86	35,39	48,00	57,91	65,94	72,75
Sm-152	3 Boyutlu	0,00	0,51	1,15	18,85	35,38	47,97	57,83	65,38	72,88
Sm-154	2 Boyutlu	0,00	0,14	0,29	4,05	9,77	16,75	24,77	33,62	43,09
Sm-154	3 Boyutlu	0,00	0,14	0,29	4,05	9,77	16,74	24,77	33,63	43,09
Sn-126	2 Boyutlu	0,00	0,10	0,20	2,64	5,99	9,74	13,79	18,07	22,51
Sn-126	3 Boyutlu	0,00	0,10	0,20	2,64	5,99	9,74	13,79	18,06	22,51
Sr-90	2 Boyutlu	0,00	5,26	10,45	94,63	170,46	233,89	288,02	335,07	377,04

Yakıt Demetleri içindeki İzotoplar ve Kütleleri (g)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Modelleme**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
Sr-90	3 Boyutlu	0,00	5,26	10,45	94,64	170,43	233,81	287,89	334,93	376,91
Tc-99	2 Boyutlu	0,00	3,46	9,40	121,22	234,63	337,94	431,65	515,95	591,64
Tc-99	3 Boyutlu	0,00	3,46	9,40	121,19	234,71	337,90	431,37	515,54	591,43
Ag-109	2 Boyutlu	0,00	0,07	0,17	6,66	19,17	34,40	50,53	66,84	82,14
Ag-109	3 Boyutlu	0,00	0,07	0,17	6,64	19,19	34,54	50,69	66,75	81,95

Çizelge Ek1.2 Yakıt Demeti İzotop Aktivite Değerleri

Yakıt Demeti içindeki İzotoplar ve Aktivite Değerleri (Bq)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Modelleme**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
U-234	2 Boyutlu	0,00E+00	5,92E+08	1,18E+09	1,02E+10	1,73E+10	2,34E+10	3,01E+10	3,88E+10	4,98E+10
U-234	3 Boyutlu	0,00E+00	6,02E+08	1,19E+09	1,02E+10	1,74E+10	2,35E+10	3,03E+10	3,90E+10	5,00E+10
U-235	2 Boyutlu	1,53E+11	1,50E+11	1,47E+11	1,03E+11	6,86E+10	4,42E+10	2,75E+10	1,65E+10	9,66E+09
U-235	3 Boyutlu	1,53E+11	1,50E+11	1,47E+11	1,03E+11	6,86E+10	4,43E+10	2,75E+10	1,66E+10	9,71E+09
U-236	2 Boyutlu	0,00E+00	1,64E+10	3,24E+10	2,68E+11	4,40E+11	5,47E+11	6,04E+11	6,25E+11	6,20E+11
U-236	3 Boyutlu	0,00E+00	1,64E+10	3,24E+10	2,68E+11	4,40E+11	5,46E+11	6,03E+11	6,24E+11	6,19E+11
U-238	2 Boyutlu	7,72E+11	7,72E+11	7,71E+11	7,66E+11	7,60E+11	7,53E+11	7,46E+11	7,38E+11	7,30E+11
U-238	3 Boyutlu	7,72E+11	7,72E+11	7,71E+11	7,66E+11	7,60E+11	7,53E+11	7,46E+11	7,38E+11	7,30E+11
Pu-238	2 Boyutlu	0,00E+00	4,55E+10	4,49E+11	2,68E+14	1,53E+15	4,07E+15	7,75E+15	1,21E+16	1,67E+16
Pu-238	3 Boyutlu	0,00E+00	4,67E+10	4,58E+11	2,69E+14	1,53E+15	4,08E+15	7,79E+15	1,22E+16	1,68E+16
Pu-239	2 Boyutlu	0,00E+00	2,75E+13	6,85E+13	5,26E+14	7,23E+14	8,01E+14	8,29E+14	8,40E+14	8,47E+14
Pu-239	3 Boyutlu	0,00E+00	2,75E+13	6,85E+13	5,25E+14	7,25E+14	8,02E+14	8,32E+14	8,42E+14	8,44E+14
Pu-240	2 Boyutlu	0,00E+00	1,19E+12	5,60E+12	3,36E+14	7,55E+14	1,11E+15	1,38E+15	1,57E+15	1,70E+15
Pu-240	3 Boyutlu	0,00E+00	1,19E+12	5,60E+12	3,35E+14	7,51E+14	1,11E+15	1,38E+15	1,57E+15	1,70E+15
Pu-241	2 Boyutlu	0,00E+00	1,36E+13	1,31E+14	7,05E+16	2,16E+17	3,34E+17	4,14E+17	4,65E+17	4,95E+17
Pu-241	3 Boyutlu	0,00E+00	1,36E+13	1,31E+14	7,05E+16	2,17E+17	3,34E+17	4,16E+17	4,65E+17	4,95E+17
Pu-242	2 Boyutlu	0,00E+00	1,88E+06	3,67E+07	2,35E+11	1,64E+12	4,24E+12	7,57E+12	1,12E+13	1,47E+13
Pu-242	3 Boyutlu	0,00E+00	1,89E+06	3,69E+07	2,36E+11	1,65E+12	4,25E+12	7,57E+12	1,12E+13	1,47E+13
Am-241	2 Boyutlu	0,00E+00	1,13E+08	2,21E+09	1,29E+13	7,86E+13	1,68E+14	2,43E+14	2,92E+14	3,19E+14
Am-241	3 Boyutlu	0,00E+00	1,14E+08	2,22E+09	1,29E+13	7,90E+13	1,68E+14	2,44E+14	2,93E+14	3,19E+14
Am-242	2 Boyutlu	0,00E+00	7,89E+10	1,89E+12	1,33E+16	8,20E+16	1,85E+17	2,86E+17	3,63E+17	4,13E+17
Am-242	3 Boyutlu	0,00E+00	7,91E+10	1,89E+12	1,33E+16	8,24E+16	1,86E+17	2,86E+17	3,63E+17	4,13E+17
Am-243	2 Boyutlu	0,00E+00	1,78E+05	7,75E+06	6,34E+11	1,02E+13	4,13E+13	9,58E+13	1,68E+14	2,48E+14
Am-243	3 Boyutlu	0,00E+00	1,77E+05	7,77E+06	6,24E+11	1,03E+13	4,13E+13	9,61E+13	1,68E+14	2,48E+14
Cm-242	2 Boyutlu	0,00E+00	4,01E+08	1,98E+10	1,58E+15	2,03E+16	6,78E+16	1,34E+17	2,02E+17	2,58E+17
Cm-242	3 Boyutlu	0,00E+00	4,02E+08	1,99E+10	1,58E+15	2,04E+16	6,81E+16	1,34E+17	2,02E+17	2,58E+17
Cm-243	2 Boyutlu	0,00E+00	1,31E+03	1,36E+05	1,24E+11	3,61E+12	1,89E+13	5,04E+13	9,34E+13	1,38E+14
Cm-243	3 Boyutlu	0,00E+00	1,31E+03	1,36E+05	1,23E+11	3,59E+12	1,89E+13	5,05E+13	9,31E+13	1,39E+14
Cm-244	2 Boyutlu	0,00E+00	1,95E+05	1,80E+07	1,77E+13	6,66E+14	4,46E+15	1,52E+16	3,58E+16	6,71E+16
Cm-244	3 Boyutlu	0,00E+00	1,94E+05	1,79E+07	1,75E+13	6,74E+14	4,51E+15	1,53E+16	3,58E+16	6,71E+16
Cm-245	2 Boyutlu	0,00E+00	3,86E-01	6,94E+01	6,62E+08	5,20E+10	5,07E+11	2,19E+12	6,04E+12	1,26E+13
Cm-245	3 Boyutlu	0,00E+00	3,79E-01	6,83E+01	6,60E+08	5,18E+10	5,15E+11	2,22E+12	6,15E+12	1,26E+13

Yakıt Demeti içindeki İzotoplar ve Aktivite Değerleri (Bq)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Modelleme**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
Cm-246	2 Boyutlu	0,00E+00	5,85E-04	2,12E-01	2,27E+07	4,00E+09	6,66E+10	4,38E+11	1,71E+12	4,79E+12
Cm-246	3 Boyutlu	0,00E+00	5,74E-04	2,09E-01	2,27E+07	3,96E+09	6,72E+10	4,43E+11	1,74E+12	4,82E+12
Cm-247	2 Boyutlu	0,00E+00	4,06E-16	3,05E-13	3,62E-04	1,39E-01	3,71E+00	3,41E+01	1,73E+02	6,00E+02
Cm-247	3 Boyutlu	0,00E+00	4,03E-16	2,98E-13	3,65E-04	1,37E-01	3,72E+00	3,48E+01	1,74E+02	6,02E+02
Np-237	2 Boyutlu	0,00E+00	9,64E+08	3,28E+09	1,26E+11	3,52E+11	6,02E+11	8,41E+11	1,04E+12	1,20E+12
Np-237	3 Boyutlu	0,00E+00	9,89E+08	3,34E+09	1,27E+11	3,51E+11	6,05E+11	8,46E+11	1,05E+12	1,20E+12
Ce-144	2 Boyutlu	0,00E+00	1,28E+17	2,53E+17	2,04E+18	3,21E+18	3,88E+18	4,24E+18	4,43E+18	4,52E+18
Ce-144	3 Boyutlu	0,00E+00	1,28E+17	2,53E+17	2,04E+18	3,21E+18	3,88E+18	4,24E+18	4,43E+18	4,52E+18
Cs-134	2 Boyutlu	0,00E+00	2,37E+13	1,87E+14	4,28E+16	1,69E+17	3,60E+17	6,02E+17	8,75E+17	1,16E+18
Cs-134	3 Boyutlu	0,00E+00	2,38E+13	1,88E+14	4,28E+16	1,69E+17	3,61E+17	5,99E+17	8,73E+17	1,16E+18
Cs-135	2 Boyutlu	0,00E+00	8,35E+09	1,73E+10	1,86E+11	3,76E+11	5,69E+11	7,70E+11	9,88E+11	1,23E+12
Cs-135	3 Boyutlu	0,00E+00	8,36E+09	1,73E+10	1,86E+11	3,77E+11	5,69E+11	7,70E+11	9,88E+11	1,23E+12
Cs-137	2 Boyutlu	0,00E+00	3,83E+15	7,66E+15	7,84E+16	1,55E+17	2,31E+17	3,07E+17	3,82E+17	4,56E+17
Cs-137	3 Boyutlu	0,00E+00	3,83E+15	7,66E+15	7,84E+16	1,55E+17	2,31E+17	3,07E+17	3,81E+17	4,56E+17
Eu-152	2 Boyutlu	0,00E+00	2,36E+09	2,03E+10	2,05E+12	2,94E+12	3,29E+12	3,47E+12	3,64E+12	3,82E+12
Eu-152	3 Boyutlu	0,00E+00	2,36E+09	2,02E+10	2,04E+12	2,95E+12	3,30E+12	3,49E+12	3,66E+12	3,83E+12
Eu-154	2 Boyutlu	0,00E+00	2,03E+12	1,07E+13	1,54E+15	6,39E+15	1,34E+16	2,07E+16	2,76E+16	3,34E+16
Eu-154	3 Boyutlu	0,00E+00	2,03E+12	1,07E+13	1,54E+15	6,39E+15	1,34E+16	2,08E+16	2,76E+16	3,34E+16
Eu-155	2 Boyutlu	0,00E+00	1,38E+14	2,53E+14	1,65E+15	4,28E+15	8,05E+15	1,22E+16	1,62E+16	1,95E+16
Eu-155	3 Boyutlu	0,00E+00	1,38E+14	2,53E+14	1,65E+15	4,27E+15	8,06E+15	1,22E+16	1,61E+16	1,95E+16
Nd-144	2 Boyutlu	0,00E+00	5,06E-01	2,12E+00	2,24E+02	8,07E+02	1,64E+03	2,66E+03	3,79E+03	5,01E+03
Nd-144	3 Boyutlu	0,00E+00	5,07E-01	2,12E+00	2,24E+02	8,07E+02	1,64E+03	2,65E+03	3,79E+03	5,01E+03
Nd-150	2 Boyutlu	0,00E+00	1,64E-03	3,30E-03	3,59E-02	7,48E-02	1,16E-01	1,59E-01	2,03E-01	2,49E-01
Nd-150	3 Boyutlu	0,00E+00	1,64E-03	3,30E-03	3,59E-02	7,48E-02	1,16E-01	1,59E-01	2,03E-01	2,48E-01
Pm-147	2 Boyutlu	0,00E+00	3,52E+15	1,19E+16	2,24E+17	3,60E+17	4,28E+17	4,55E+17	4,61E+17	4,56E+17
Pm-147	3 Boyutlu	0,00E+00	3,52E+15	1,19E+16	2,23E+17	3,61E+17	4,28E+17	4,55E+17	4,60E+17	4,56E+17
Ru-106	2 Boyutlu	0,00E+00	1,02E+16	2,18E+16	4,04E+17	9,82E+17	1,61E+18	2,22E+18	2,79E+18	3,30E+18
Ru-106	3 Boyutlu	0,00E+00	1,02E+16	2,18E+16	4,03E+17	9,82E+17	1,61E+18	2,22E+18	2,79E+18	3,30E+18
Sb-129	2 Boyutlu	0,00E+00	7,17E+17	7,42E+17	9,93E+17	1,08E+18	1,15E+18	1,22E+18	1,28E+18	1,32E+18
Sb-129	3 Boyutlu	0,00E+00	7,17E+17	7,42E+17	9,92E+17	1,08E+18	1,15E+18	1,22E+18	1,28E+18	1,32E+18
Se-79	2 Boyutlu	0,00E+00	2,89E+09	5,78E+09	5,74E+10	1,10E+11	1,57E+11	2,00E+11	2,38E+11	2,73E+11
Se-79	3 Boyutlu	0,00E+00	2,89E+09	5,78E+09	5,74E+10	1,10E+11	1,57E+11	2,00E+11	2,38E+11	2,73E+11
Sm-147	2 Boyutlu	0,00E+00	1,82E+02	1,28E+03	3,13E+05	1,07E+06	1,94E+06	2,71E+06	3,31E+06	3,74E+06
Sm-147	3 Boyutlu	0,00E+00	1,82E+02	1,28E+03	3,13E+05	1,07E+06	1,94E+06	2,71E+06	3,32E+06	3,74E+06
Sm-148	2 Boyutlu	0,00E+00	1,29E-03	1,54E-02	9,25E+00	3,74E+01	7,83E+01	1,28E+02	1,84E+02	2,43E+02
Sm-148	3 Boyutlu	0,00E+00	1,29E-03	1,55E-02	9,30E+00	3,73E+01	7,83E+01	1,28E+02	1,84E+02	2,43E+02
Sm-151	2 Boyutlu	0,00E+00	6,58E+13	1,33E+14	4,87E+14	6,09E+14	7,08E+14	7,96E+14	8,82E+14	9,66E+14
Sm-151	3 Boyutlu	0,00E+00	6,58E+13	1,33E+14	4,87E+14	6,10E+14	7,10E+14	7,98E+14	8,84E+14	9,66E+14
Sn-126	2 Boyutlu	0,00E+00	6,07E+09	1,24E+10	1,63E+11	3,69E+11	6,00E+11	8,50E+11	1,11E+12	1,39E+12
Sn-126	3 Boyutlu	0,00E+00	6,07E+09	1,24E+10	1,63E+11	3,69E+11	6,00E+11	8,50E+11	1,11E+12	1,39E+12
Sr-90	2 Boyutlu	0,00E+00	3,63E+15	7,20E+15	6,52E+16	1,18E+17	1,61E+17	1,99E+17	2,31E+17	2,60E+17
Sr-90	3 Boyutlu	0,00E+00	3,63E+15	7,20E+15	6,52E+16	1,17E+17	1,61E+17	1,98E+17	2,31E+17	2,60E+17
Tc-99	2 Boyutlu	0,00E+00	2,96E+11	8,04E+11	1,04E+13	2,01E+13	2,89E+13	3,69E+13	4,41E+13	5,06E+13
Tc-99	3 Boyutlu	0,00E+00	2,96E+11	8,04E+11	1,04E+13	2,01E+13	2,89E+13	3,69E+13	4,41E+13	5,05E+13

Yakıt Demeti içindeki İzotoplar ve Aktivite Değerleri (Bq)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Modelleme**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
Yakıt Demetinin Toplam Aktivitesi (Bq)	2 Boyutlu	9,25E+11	7,31E+20	7,56E+20	8,04E+20	7,97E+20	8,09E+20	8,30E+20	8,53E+20	8,76E+20
	3 Boyutlu	9,25E+11	7,31E+20	7,56E+20	8,03E+20	7,97E+20	8,09E+20	8,30E+20	8,53E+20	8,74E+20

Çizelge Ek1.3 Yakıt Demeti İzotop Isıl Güç Değerleri

Yakıt Demeti içindeki İzotoplar ve Isıl Güç Değerleri (W)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Modelleme**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
U-234	2 boyutlu	0,00E+00	4,61E-04	9,21E-04	7,91E-03	1,35E-02	1,82E-02	2,34E-02	3,02E-02	3,87E-02
U-234	3 Boyutlu	0,00E+00	4,68E-04	9,25E-04	7,95E-03	1,35E-02	1,83E-02	2,36E-02	3,04E-02	3,89E-02
U-235	2 boyutlu	1,13E-01	1,11E-01	1,09E-01	7,63E-02	5,07E-02	3,27E-02	2,03E-02	1,22E-02	7,14E-03
U-235	3 Boyutlu	1,13E-01	1,11E-01	1,09E-01	7,63E-02	5,07E-02	3,27E-02	2,04E-02	1,22E-02	7,17E-03
U-236	2 boyutlu	0,00E+00	1,20E-02	2,37E-02	1,96E-01	3,22E-01	4,00E-01	4,42E-01	4,57E-01	4,53E-01
U-236	3 Boyutlu	0,00E+00	1,20E-02	2,37E-02	1,96E-01	3,22E-01	4,00E-01	4,41E-01	4,56E-01	4,53E-01
U-238	2 boyutlu	5,29E-01	5,28E-01	5,28E-01	5,25E-01	5,20E-01	5,16E-01	5,11E-01	5,06E-01	5,00E-01
U-238	3 Boyutlu	5,29E-01	5,28E-01	5,28E-01	5,25E-01	5,20E-01	5,16E-01	5,11E-01	5,06E-01	5,00E-01
Pu-238	2 boyutlu	0,00E+00	4,07E-02	4,02E-01	2,40E+02	1,37E+03	3,64E+03	6,94E+03	1,09E+04	1,50E+04
Pu-238	3 Boyutlu	0,00E+00	4,18E-02	4,10E-01	2,41E+02	1,37E+03	3,65E+03	6,98E+03	1,09E+04	1,50E+04
Pu-239	2 boyutlu	0,00E+00	2,31E+01	5,75E+01	4,42E+02	6,07E+02	6,73E+02	6,96E+02	7,06E+02	7,11E+02
Pu-239	3 Boyutlu	0,00E+00	2,31E+01	5,76E+01	4,41E+02	6,09E+02	6,74E+02	6,98E+02	7,07E+02	7,09E+02
Pu-240	2 boyutlu	0,00E+00	1,00E+00	4,71E+00	2,82E+02	6,35E+02	9,35E+02	1,16E+03	1,32E+03	1,43E+03
Pu-240	3 Boyutlu	0,00E+00	9,99E-01	4,71E+00	2,82E+02	6,32E+02	9,34E+02	1,16E+03	1,32E+03	1,43E+03
Pu-241	2 boyutlu	0,00E+00	1,16E-02	1,12E-01	6,05E+01	1,85E+02	2,87E+02	3,55E+02	3,99E+02	4,25E+02
Pu-241	3 Boyutlu	0,00E+00	1,17E-02	1,13E-01	6,05E+01	1,86E+02	2,87E+02	3,57E+02	3,99E+02	4,24E+02
Pu-242	2 boyutlu	0,00E+00	1,50E-06	2,93E-05	1,88E-01	1,31E+00	3,39E+00	6,04E+00	8,92E+00	1,17E+01
Pu-242	3 Boyutlu	0,00E+00	1,50E-06	2,94E-05	1,88E-01	1,32E+00	3,39E+00	6,04E+00	8,91E+00	1,17E+01
Am-241	2 boyutlu	0,00E+00	1,02E-04	1,98E-03	1,15E+01	7,05E+01	1,51E+02	2,18E+02	2,62E+02	2,86E+02
Am-241	3 Boyutlu	0,00E+00	1,02E-04	1,99E-03	1,15E+01	7,08E+01	1,51E+02	2,19E+02	2,63E+02	2,86E+02
Am-242	2 boyutlu	0,00E+00	5,72E-03	1,37E-01	9,67E+02	5,95E+03	1,34E+04	2,07E+04	2,63E+04	3,00E+04
Am-242	3 Boyutlu	0,00E+00	5,74E-03	1,38E-01	9,68E+02	5,98E+03	1,35E+04	2,08E+04	2,63E+04	3,00E+04
Am-243	2 boyutlu	0,00E+00	1,55E-07	6,75E-06	5,52E-01	8,89E+00	3,60E+01	8,34E+01	1,46E+02	2,16E+02
Am-243	3 Boyutlu	0,00E+00	1,54E-07	6,76E-06	5,43E-01	8,96E+00	3,59E+01	8,37E+01	1,46E+02	2,16E+02
Cm-242	2 boyutlu	0,00E+00	3,99E-04	1,97E-02	1,57E+03	2,02E+04	6,75E+04	1,34E+05	2,01E+05	2,57E+05
Cm-242	3 Boyutlu	0,00E+00	4,00E-04	1,98E-02	1,57E+03	2,03E+04	6,78E+04	1,34E+05	2,01E+05	2,57E+05
Cm-243	2 boyutlu	0,00E+00	1,30E-09	1,34E-07	1,22E-01	3,56E+00	1,87E+01	4,98E+01	9,23E+01	1,36E+02
Cm-243	3 Boyutlu	0,00E+00	1,30E-09	1,34E-07	1,22E-01	3,55E+00	1,87E+01	4,99E+01	9,20E+01	1,37E+02
Cm-244	2 boyutlu	0,00E+00	1,84E-07	1,70E-05	1,67E+01	6,30E+02	4,21E+03	1,44E+04	3,39E+04	6,34E+04
Cm-244	3 Boyutlu	0,00E+00	1,84E-07	1,69E-05	1,65E+01	6,37E+02	4,27E+03	1,45E+04	3,39E+04	6,34E+04
Cm-245	2 boyutlu	0,00E+00	3,49E-13	6,28E-11	5,98E-04	4,70E-02	4,58E-01	1,98E+00	5,45E+00	1,14E+01
Cm-245	3 Boyutlu	0,00E+00	3,42E-13	6,17E-11	5,97E-04	4,68E-02	4,65E-01	2,01E+00	5,56E+00	1,13E+01
Cm-246	2 boyutlu	0,00E+00	5,17E-16	1,87E-13	2,01E-05	3,53E-03	5,88E-02	3,87E-01	1,51E+00	4,23E+00
Cm-246	3 Boyutlu	0,00E+00	5,07E-16	1,84E-13	2,00E-05	3,50E-03	5,93E-02	3,91E-01	1,53E+00	4,26E+00
Cm-247	2 boyutlu	0,00E+00	3,49E-28	2,62E-25	3,10E-16	1,19E-13	3,18E-12	2,93E-11	1,48E-10	5,15E-10
Cm-247	3 Boyutlu	0,00E+00	3,46E-28	2,56E-25	3,13E-16	1,18E-13	3,19E-12	2,98E-11	1,50E-10	5,16E-10

Yakıt Demeti içindeki İzotoplar ve Isıl Güç Değerleri (W)		Yanma Miktarı (GWd/tU)								
İzotop Adı	**Modelleme**	**0**	**0,5**	**1**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
Np-237	2 boyutlu	0,00E+00	7,52E-04	2,56E-03	9,85E-02	2,74E-01	4,70E-01	6,56E-01	8,14E-01	9,35E-01
Np-237	3 Boyutlu	0,00E+00	7,71E-04	2,60E-03	9,91E-02	2,74E-01	4,72E-01	6,60E-01	8,18E-01	9,38E-01
Ce-144	2 boyutlu	0,00E+00	2,27E+03	4,48E+03	3,61E+04	5,68E+04	6,85E+04	7,50E+04	7,83E+04	7,99E+04
Ce-144	3 Boyutlu	0,00E+00	2,27E+03	4,48E+03	3,61E+04	5,68E+04	6,85E+04	7,50E+04	7,83E+04	7,98E+04
Cs-134	2 boyutlu	0,00E+00	6,54E+00	5,15E+01	1,18E+04	4,64E+04	9,92E+04	1,66E+05	2,41E+05	3,20E+05
Cs-134	3 Boyutlu	0,00E+00	6,55E+00	5,19E+01	1,18E+04	4,65E+04	9,93E+04	1,65E+05	2,40E+05	3,19E+05
Cs-135	2 boyutlu	0,00E+00	1,02E-04	2,11E-04	2,27E-03	4,58E-03	6,91E-03	9,36E-03	1,20E-02	1,50E-02
Cs-135	3 Boyutlu	0,00E+00	1,02E-04	2,11E-04	2,26E-03	4,58E-03	6,92E-03	9,36E-03	1,20E-02	1,50E-02
Cs-137	2 boyutlu	0,00E+00	1,10E+02	2,21E+02	2,26E+03	4,48E+03	6,67E+03	8,84E+03	1,10E+04	1,31E+04
Cs-137	3 Boyutlu	0,00E+00	1,10E+02	2,21E+02	2,26E+03	4,48E+03	6,67E+03	8,84E+03	1,10E+04	1,31E+04
Eu-152	2 boyutlu	0,00E+00	4,90E-04	4,21E-03	4,25E-01	6,11E-01	6,82E-01	7,20E-01	7,55E-01	7,92E-01
Eu-152	3 Boyutlu	0,00E+00	4,89E-04	4,20E-03	4,24E-01	6,12E-01	6,86E-01	7,24E-01	7,59E-01	7,95E-01
Eu-154	2 boyutlu	0,00E+00	4,93E-01	2,61E+00	3,75E+02	1,56E+03	3,25E+03	5,05E+03	6,70E+03	8,13E+03
Eu-154	3 Boyutlu	0,00E+00	4,95E-01	2,61E+00	3,75E+02	1,56E+03	3,25E+03	5,06E+03	6,72E+03	8,12E+03
Eu-155	2 boyutlu	0,00E+00	2,75E+00	5,03E+00	3,29E+01	8,53E+01	1,60E+02	2,43E+02	3,22E+02	3,89E+02
Eu-155	3 Boyutlu	0,00E+00	2,75E+00	5,03E+00	3,28E+01	8,50E+01	1,61E+02	2,43E+02	3,22E+02	3,88E+02
Nd-144	2 boyutlu	0,00E+00	1,54E-13	6,47E-13	6,82E-11	2,46E-10	5,01E-10	8,10E-10	1,16E-09	1,53E-09
Nd-144	3 Boyutlu	0,00E+00	1,54E-13	6,46E-13	6,82E-11	2,46E-10	5,00E-10	8,09E-10	1,16E-09	1,53E-09
Nd-150	2 boyutlu	0,00E+00	8,84E-16	1,78E-15	1,94E-14	4,04E-14	6,25E-14	8,57E-14	1,10E-13	1,34E-13
Nd-150	3 Boyutlu	0,00E+00	8,84E-16	1,78E-15	1,94E-14	4,04E-14	6,25E-14	8,57E-14	1,10E-13	1,34E-13
Pm-147	2 boyutlu	0,00E+00	3,49E+01	1,18E+02	2,22E+03	3,58E+03	4,25E+03	4,52E+03	4,58E+03	4,52E+03
Pm-147	3 Boyutlu	0,00E+00	3,49E+01	1,18E+02	2,22E+03	3,58E+03	4,25E+03	4,52E+03	4,56E+03	4,52E+03
Ru-106	2 boyutlu	0,00E+00	1,64E+01	3,50E+01	6,49E+02	1,58E+03	2,58E+03	3,57E+03	4,48E+03	5,30E+03
Ru-106	3 Boyutlu	0,00E+00	1,64E+01	3,50E+01	6,48E+02	1,58E+03	2,58E+03	3,57E+03	4,48E+03	5,30E+03
Sb-129	2 boyutlu	0,00E+00	1,82E+05	1,88E+05	2,52E+05	2,74E+05	2,93E+05	3,09E+05	3,24E+05	3,36E+05
Sb-129	3 Boyutlu	0,00E+00	1,82E+05	1,88E+05	2,52E+05	2,75E+05	2,93E+05	3,09E+05	3,24E+05	3,35E+05
Se-79	2 boyutlu	0,00E+00	2,58E-05	5,17E-05	5,13E-04	9,80E-04	1,40E-03	1,79E-03	2,13E-03	2,45E-03
Se-79	3 Boyutlu	0,00E+00	2,58E-05	5,17E-05	5,13E-04	9,80E-04	1,40E-03	1,78E-03	2,13E-03	2,44E-03
Sm-147	2 boyutlu	0,00E+00	6,75E-11	4,75E-10	1,16E-07	3,98E-07	7,17E-07	1,00E-06	1,23E-06	1,38E-06
Sm-147	3 Boyutlu	0,00E+00	6,75E-11	4,75E-10	1,16E-07	3,98E-07	7,17E-07	1,00E-06	1,23E-06	1,39E-06
Sm-148	2 boyutlu	0,00E+00	4,10E-16	4,89E-15	2,94E-12	1,19E-11	2,49E-11	4,08E-11	5,84E-11	7,72E-11
Sm-148	3 Boyutlu	0,00E+00	4,09E-16	4,93E-15	2,96E-12	1,18E-11	2,49E-11	4,08E-11	5,85E-11	7,72E-11
Sm-151	2 boyutlu	0,00E+00	2,09E-01	4,23E-01	1,54E+00	1,93E+00	2,25E+00	2,53E+00	2,80E+00	3,06E+00
Sm-151	3 Boyutlu	0,00E+00	2,09E-01	4,23E-01	1,54E+00	1,93E+00	2,25E+00	2,53E+00	2,81E+00	3,06E+00
Sn-126	2 boyutlu	0,00E+00	1,71E-04	3,49E-04	4,58E-03	1,04E-02	1,69E-02	2,39E-02	3,13E-02	3,90E-02
Sn-126	3 Boyutlu	0,00E+00	1,71E-04	3,49E-04	4,58E-03	1,04E-02	1,69E-02	2,39E-02	3,13E-02	3,90E-02
Sr-90	2 boyutlu	0,00E+00	1,14E+02	2,26E+02	2,05E+03	3,69E+03	5,06E+03	6,23E+03	7,25E+03	8,15E+03
Sr-90	3 Boyutlu	0,00E+00	1,14E+02	2,26E+02	2,05E+03	3,69E+03	5,06E+03	6,23E+03	7,24E+03	8,15E+03
Tc-99	2 boyutlu	0,00E+00	2,62E-03	7,11E-03	9,16E-02	1,77E-01	2,55E-01	3,26E-01	3,90E-01	4,47E-01
Tc-99	3 Boyutlu	0,00E+00	2,62E-03	7,11E-03	9,16E-02	1,77E-01	2,55E-01	3,26E-01	3,90E-01	4,47E-01
Yakıt Demetinin Toplam Isıl Güç Değeri (W)	2 boyutlu	6,42E-01	2,40E+08	2,43E+08	2,40E+08	2,28E+08	2,25E+08	2,25E+08	2,27E+08	2,30E+08
	3 Boyutlu	6,42E-01	2,40E+08	2,43E+08	2,40E+08	2,28E+08	2,25E+08	2,25E+08	2,27E+08	2,30E+08

EK 2 – Veri Setleri için Doğrulama

Bu bölümde, çalışmanın sonucunda elde edilen ve kullanılmış yakıt demeti içerisindeki nükleer madde envanteri için verilerin doğrulanmasına yer verilmiştir.

Referans alınan "*Development of Canisters For Spent Fuels of VVER-1200 And ATMEA1 New Generation Reactors And Determination of Geological Disposal Densities*" makalesinde [23], VVER-1200 reaktörü yakıt demeti modellemesi için 312 adet yakıt çubuğu ve 18 adet kılavuz kanal içeren 163 adet altıgen yakıt demeti kullanılmıştır. %4,79 ağırlık oranında zenginleştirilmiş UO_2 yakıtı kullanılmış ve ortalama yanma oranı 60 GWd/tU'dur. VVER-1200 reaktörü kullanılmış yakıt içerisindeki izotopik bileşim hesaplaması, MONTEBURNS 2.0 yanma kodunda reaktörün birim hücre modellemesi yoluyla yapılmıştır. MONTEBURNS çıktı dosyası kullanılarak, ortalama 60 GWd/tU yanma değeri için kullanılmış yakıt izotopik içerikleri elde edilmiştir.

Verilerin karşılaştırılması için ise bu tez çalışması kapsamında kullanılan yakıt demeti modellemelerinden;

- %4,7 zenginlikte yakıt çubuğu, %3,6 yakıt zenginliğine sahip ve %8 Gd_2O_3 içeren 12 adet IBA yakıt çubuğu bulunan ve 750 ppm borik asit konsantrasyonuna sahip 470860 model kodlu yakıt demeti ile
- %4,95 zenginlikte yakıt çubuğu, %3,6 yakıt zenginliğine sahip ve %4 Gd_2O_3 içeren 12 adet IBA yakıt çubuğu bulunan ve 750 ppm borik asit konsantrasyonuna sahip 49047560 model kodlu yakıt demeti

için 60 GWd/tU yanma değerine ulaştığında elde edilen veriler kullanılmıştır.

Yanma hesaplamalarının sonuçları karşılaştırmalı olarak Çizelge Ek2.1'de yer almaktadır.

Referans alınan makalede yapılan yanma hesaplamaları için yakıt modellemesinde IBA ve borik asit bulunmamaktadır. Kullanılmış yakıt demeti içerisindeki izotop miktarlarındaki farklılıklar için, bu tez kapsamında yanma hesaplamaları için kullanılan yakıt demetleri içerisindeki IBA yakıt çubukları ile borik asit konsantrasyonunun göz önünde bulundurulması gerektiği değerlendirilmektedir.

Çizelge Ek2.1 Kullanılmış yakıt için karşılaştırmalı izotop yüzdelikleri ve kütle miktarları

1 ton Kullanılmış Yakıt İçerisindeki İzotoplar ve Kütleleri	Referans Makale İzotop Değerleri		47087560 Yakıt Demeti İzotop Değerleri		49047560 Yakıt Demeti İzotop Değerleri	
	Ağırlıkça % si	Kütle miktarı (g)	Ağırlıkça % si	Kütle miktarı (g)	Ağırlıkça % si	Kütle miktarı (g)
U-234		1,45E+02	0,0004	4,18E+00	0,0004	4,47E+00
U-235		8,18E+03	0,60	5,98E+03	0,72	7,19E+03
U-236		5,82E+03	0,68	6,80E+03	0,71	7,13E+03
U-238		8,06E+05	95,19	9,52E+05	95,01	9,50E+05
U-Toplam		8,20E+05	96,47	9,65E+05	96,44	9,64E+05
Pu-238		4,36E+01	0,04	3,82E+02	0,04	3,88E+02
Pu-239		6,22E+03	0,57	5,66E+03	0,59	5,93E+03
Pu-240		2,60E+03	0,30	2,98E+03	0,30	2,98E+03
Pu-241		1,66E+03	0,19	1,87E+03	0,19	1,92E+03
Pu-242		7,21E+02	0,12	1,19E+03	0,11	1,12E+03
Pu-Toplam	1,35		1,21	1,21E+04	1,23	1,23E+04
Cs-133		1,48E+03	0,19	1,93E+03	0,19	1,94E+03
Cs-134		2,08E+02	0,03	3,36E+02	0,03	3,33E+02
Cs-135		6,45E+02	0,05	5,28E+02	0,06	5,51E+02
Cs-137		1,68E+03	0,23	2,29E+03	0,23	2,29E+03
Cs-Toplam	0,48		0,51	5,08E+03	0,51	5,12E+03
Nd-143		1,08E+03	0,12	1,20E+03	0,12	1,25E+03
Nd-144			0,20	2,01E+03	0,20	1,97E+03
Nd-145		9,00E+02	0,12	1,16E+03	0,12	1,17E+03
Nd-146			0,14	1,39E+03	0,14	1,39E+03
Nd-148			0,07	7,01E+02	0,07	7,00E+02
Nd-150			0,03	3,35E+02	0,03	3,33E+02
Nd-Toplam			0,68	6,79E+03	0,68	6,81E+03
Np-237	0,15	1,21E+03	0,08	8,39E+02	0,09	8,67E+02
Ru-101	0,13	1,06E+03	0,14	1,43E+03	0,14	1,43E+03
Ru-106		3,13E+00	0,03	3,44E+02	0,03	3,34E+02
Ru-Toplam			0,18	1,77E+03	0,18	1,76E+03
Tc-99	0,13	1,07E+03	0,14	1,37E+03	0,14	1,38E+03
Ag-109	1	1,05E+02	0,01	1,43E+02	0,01	1,39E+02
Mo-95	0,12	1,02E+03	0,12	1,18E+03	0,12	1,19E+03
Am-241		9,81E+01	0,00	4,02E+01	0,00	4,25E+01
Am-242		2,91E+00	0,00	1,93E-01	0,00	1,94E-01
Am-243		2,02E+02	0,03	3,36E+02	0,03	3,13E+02
Am-Toplam	0,04		0,04	3,76E+02	0,04	3,56E+02