

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RADYOTERAPİDE KULLANILAN KAYNAK VE DEDEKTÖRLERİN ÇOKLU
GEOMETRİ TEKNİĞİ İLE EGSnrc MONTE CARLO MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ümit AYYILDIZ

Anabilim Dalı : Fizik

Programı : Nükleer Fizik

MANİSA – 2005

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RADYOTERAPİDE KULLANILAN KAYNAK VE DEDEKTÖRLERİN ÇOKLU
GEOMETRİ TEKNİĞİ İLE EGSnrc MONTE CARLO MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ümit AYYILDIZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Temmuz 2005

Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Ağustos 2005

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Gültekin YEĞİN

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. F. Serap EREEŞ

Yrd. Doç. Dr. Müslim SAÇ

MANİSA – 2005

Bölüm No	İÇİNDEKİLER	Sayfa No
	İçindekiler	I
	Şekil Listesi	III
	Çizelge Listesi	V
	Kısaltmalar Listesi	VI
	Teşekkür	VII
	Özet	VIII
	Abstract	IX
1.	GİRİŞ	1
2.	RADYASYON MADDE ETKİLEŞMESİ	3
2.1.	Fotonların Madde İle Etkileşmesi	3
2.1.1.	Fotoelektrik Olay	4
2.1.2.	Compton Olayı	4
2.1.3.	Çift Oluşumu Olayı	5
2.2.	β -Parçacıklarının Maddeyle Etkileşmesi	5
3.	MONTE CARLO YÖNTEMİ VE PARÇACIK SİMÜLASYONU	7
3.1.	Monte Carlo Yöntemi	7
3.2.	Monte Carlo Yöntemiyle Parçacık Simülasyonu	7
4.	EGS KOD SİSTEMİ	9
4.1.	EGS'nin Gelişimi ve EGS1	9
4.2.	EGS2	10
4.3.	EGS3	11
4.4.	EGS4	12
4.4.1.	EGS4 Yeteneklerinin ve Biçimlerinin Özeti	12
4.5.	EGSnrc	15
5.	EGS_mg ÇOKLU GEOMETRİ PAKETİ	19
5.1.	Primitiv	19
5.2.	Nesneler ve Özellikleri	19
5.3.	Gruplar ve Özellikleri	20
5.4.	Akış	20
5.5.	Geometride Bölgelerin Sıralanması	20
5.6.	Öncelik Numarası Atanması	21
5.7.	Geometrik Dönüşümler	22
5.7.1.	Nesnenin Çevrilmesi ve Döndürülmesi	22
5.7.2.	Bir Grubun Çevrilmesi ve Döndürülmesi	23
5.8.	Primitiv Tipleri	25
5.9.	Kullanıcı Kodları	27
5.9.1.	HOWFAR Alt Döngüsü	27
5.9.2.	AUSGAB Alt Döngüsü	27
5.9.3.	HOWNEAR Alt Döngüsü	27
5.10.	EGS-mg Çoklu Geometri Veritabanı	28
5.10.1.	Koleksiyon dosyaları (collections.mgdat)	28
5.10.2.	Grup Dosyaları (groups.mgdat)	28

5.10.3.	Primitiv Dosyaları (primitives.mgdat)	29
5.10.4.	Geometri, Materyal ve Öncelik Girdileri	29
5.10.4.1.	Geometri Girdileri	29
5.10.4.2.	Materyal Girdileri	31
5.10.4.3.	Öncelik Girdileri	31
5.10.5.	Primitivlerin Sınıflandırılması	31
5.10.6.	Çoklu Geometri Veri Tabanında Kullanıcının Geometri Oluşturması	33
6.	EGS_mg VERİ TABANINDA MODELLENEN GEOMETRİ ELEMENLARI	35
6.1.	Dedektör [4010]	36
6.2.	Dedektör [4020]	38
6.3.	Seed [5010]	40
6.4.	Seed [5020]	42
6.5.	Seed [5030]	44
6.6.	Seed [5040]	46
6.7.	Seed [5050]	48
6.8.	Seed [5060]	50
6.9.	Seed [5070]	52
6.10.	Seed [5080]	56
6.11.	Seed [5090]	60
6.12.	Seed [5100]	64
6.13.	Seed [5110]	69
6.14.	Seed [5510]	73
6.15.	Seed [5520]	76
6.16.	Seed [6010]	79
6.17.	Seed [6020]	81
6.18.	Seed [6030]	83
6.19.	Zırh [40010]	86
6.20.	Zırh [40020]	87
6.21.	Zırh [40030]	88
6.22.	Zırh [40040]	89
6.23.	Zırh [40050]	90
6.24.	Zırh[40060]	91
6.25.	Zırh [40070]	92
6.26.	Zırh [40080]	93
6.27.	Zırh [40090]	94
6.28.	Zırh [40100]	95
7.	Sonuç	96
7.1.	Öneriler	96
	Kaynaklar	97
	Özgeçmiş	99

Şekil No	ŞEKİL LİSTESİ	Sayfa No
3.1	EGSnrc kod sisteminin çalışma prensibini gösteren akış diyagramı	16
3.2	EGSnrc programında foton transferini gösteren akış diyagramı	17
3.3	EGSnrc programında foton transferini gösteren akış diyagramı	18
5.1	Üç nesneye sahip bir geometride bölge numaraları	21
5.2	Kartezyen koordinatlarda bir eksen etrafında döndürme işleminin gösterimi	23
5.3	Bir nesnenin döndürülmesi	24
5.4	Kübik primitif	25
5.5	Silindir primitif. Burada z eksenine üzerine yerleştirilmiş 3 paralel düzlem tarafından kesilmiş 4 tane silindirin oluşturduğu primitif görülmektedir	26
5.6	Küre primitif, 4 tane küreden oluşmaktadır	26
5.7	“construct_geometry” sub-routine’inin yapısı	34
6.1.	Üstte CANBERRA_ADC_8701 detektör şeması, altta modellenen geometri şekli.	37
6.2.	Üstte HPGE_WELL_TYPE dedektör şeması, altta modellenen geometri şekli	39
6.3.	Üstte I125_BRCHY_ONCOSEED_6711 kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli	41
6.4.	Üstte I125_BRCHY_PHARMASEED_BT125I kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli	43
6.5.	Üstte I125_BRCHY_SYMMETRA_125.S06 kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli	45
6.6.	Üstte I125_BRCHY_125IMPLANT_STM125I kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli	47
6.7.	Üstte I125_BRCHY_IPLANT_MODEL_3500 kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli	49
6.8.	Üstte I125_BRCHY_MODEL_2301 kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli	51
6.9.a.	Üstte I125_BRCHY_6702 kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli	54
6.9.b.	I125_BRCHY_6702 kaynak için ikinci primitif şekli	55
6.10.a.	Üstte I125_PROTASEED_I125_SL kaynak şeması, altta modellenen primitif şekli	58
6.10.b.	I125_PROTASEED_I125_SL kaynak için ikinci primitif şekli	59
6.11.a.	Üstte I125_ISOSTAR_12501 kaynak şeması, altta modellenen primitif şekli	62
6.11.b.	I125_ISOSTAR_12501 kaynak için ikinci primitif şekli	63
6.12.a.	Üstte I125_BRCHY_I0GOLD_MED3631_A/M kaynak şeması, altta modellenen primitif şekli	66
6.12.b.	I125_BRCHY_I0GOLD_MED3631_A/M kaynak için ikinci primitif şekli	67

6.12.c.	I125_BRCHY_I0GOLD_MED3631_A/M kaynak için üçüncü primitiv şekli	68
6.13.a.	Üstte I125_BRCHY_BRACHYSEED_LS_1 kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli	71
6.13.b.	I125_BRCHY_BRACHYSEED_LS_1 kaynak için ikinci primitiv şekli	72
6.14.a.	Üstte Pd103_BRCHY_BESTMODEL_2335 kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli	74
6.14.b.	Pd103_BRCHY_BESTMODEL_2335 kaynak için ikinci primitiv şekli	75
6.15.a.	Üstte Pd103_BRCHY_DRAXIMAGE_MODEL_Pd1 kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli	77
6.15.b.	Pd103_BRCHY_DRAXIMAGE_MODEL_Pd1 kaynağının her iki ucundaki yatırım küreyi tanımlayan pirimitivlerin şekli.	78
6.16.	Üstte Ir192_BRCHY_MICROSELECTRON_HDR kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli	80
6.17.	Üstte Ir192_BRCHY_BESTINDUSTRIAL_HDR kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli	82
6.18.	Üstte Ir192_BRCHY_ALPHAOMEGA_HDR kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli	84
6.19.	Modellenmiş olan zırh malzemeleri için genel görüntü şekli	85

ÇİZELGE NO	ÇİZELGE LİSTESİ	SAYFA NO
5.1	Sınıflar için Id numarası dizilişleri	32
6.1	Tüm geometrilere kullanılan element ve bileşenler için renk kodları tablosu	35

KISALTMA LİSTESİ

Kısaltma	Açılımı
EGS	E lectron G amma S hower
MC	M onte C arlo
mg	M ulti g eometry, çoklu geometri
Id	I dentity Number, Kimlik numarası
NRCC	N ational R esearch C ouncil of C anada
Med.Phys.	M edical P hysic

TEŞEKKÜR

Eğitim sürecimin bu bölümünde yeni bilgiler edinmemi, farklı bilim dallarıyla interdisiplin çalışmalar yapmamı sağlayan ve bu tezin belirlenmesinden sonuçlanmasına kadar olan uzun süreçte her zaman bana yardımcı olan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Gültekin Yeğin'e, Bölüm Başkanımız Doç. Dr. Nurdoğan Can'a, Dekanımız Prof. Dr. Şule Aycan'a, tezimin her aşamasında bana yardımcı olan Mehmet Ayvacıklı, Dr. Haluk Mergen ve aileme teşekkür ederim.

ÖZET

Radyoterapide Kullanılan Kaynak ve Dedektörlerin Çoklu Geometri Tekniği ile EGSnrc Monte Carlo Modellemesi

Ümit Ayyıldız

Bu çalışmada, EGS_mg Çoklu geometri paketi için bir veritabanı hazırlandı. Bu veritabanında çok sayıda brakiterapi kaynağı, çeşitli radyasyon dedektörleri ve bazı zırh materyalleri yer almaktadır. Bu geometri elemanları bir araya getirilerek bir çok kompleks sistem için Monte Carlo hesaplamalarında kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: EGSnrc, brakiterapi, Monte Carlo, Çoklu Geometri.

ABSTRACT

EGSnrc Monte Carlo Modeling Of Radiotherapy Source and Detectors Using The Multi Geometry Technique

Ümit Ayyıldız

In this work we prepared a database for the EGS_mg multi-geometry package. In this database, a number of brachytherapy sources, radiation detectors and shielding materials are geometrically modelled. Those geometry elements can be put together in arbitrary locations and can form quite complex geometries which can be used as a geometry in a Monte Carlo calculation.

Key Words: EGSnrc, brachytherapy, Monte Carlo, Multi Geometry.

1. GİRİŞ

Kanser, dünyadaki ölüm nedenlerinin başında gelmektedir. Yapılan bilimsel çalışmalar hastalığın anlaşılabilmesi ve tedavinin geliştirilmesinde büyük başarılar sağlamaktadır ve devam etmektedir.

Brakiterapi, tedavi için yaygın olarak kullanılan ve başarılı sonuçlar alan bir tedavi şeklidir. Brakiterapi, temel olarak kanserli hücrelerin kendilerini yenileme süreçlerinin sağlıklı hücrelere göre daha zayıf olduğu gerçeğini kullanarak tedaviyi gerçekleştirir. Uygulamada hastaya verilen doz miktarı hesaplanırken vücutta bulunan diğer organ ve dokuların limit doz değerleri aşılmadan tümörlü bölgeye maksimum doz verilmesi istenir. Bu nedenle brakiterapi kaynağının etrafındaki doz dağılımının çok iyi bir şekilde belirlenmiş olması gerekmektedir.

Kaynak etrafındaki doz dağılımı hesaplanırken ortaya çıkan karmaşık işlemler ve deneysel yöntemlerin yetersizliği ve de bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler hesaplamalarda bilgisayar simülasyonlarının yaygın bir şekilde kullanılmasına neden olmuştur.

Bu konuda yapılan çalışmalar Monte Carlo simülasyonu kullanan EGS, Geant, MCNP, Penelope gibi birçok değişik programın oluşmasını sağlamıştır. Bu programlar içerisinde EGS programının son versiyonu olan EGCnrc kod sistemi, düşük enerjilerde de etkileşimleri başarılı bir şekilde simüle etmektedir. Birçok programda ihmal edilen etkileşimler EGSnrc de hesaplamalara katılmakta ve kaynağın doz dağılımı başarılı bir şekilde simüle edilmektedir.

Kaynak etrafındaki doz dağılımı hesaplamalarında kullanılan 2 farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlardan birisi deneysel yöntemdir. Deneysel yöntemde kaynağın su ortamındaki dozimetrik karakteristiği belirlenmeye çalışılmaktadır. Kaynağın etrafına farklı uzaklıklarda ve farklı açılarda konulan termoluminesans dozimetreler (TLD) yardımıyla bölgedeki doz miktarı hesaplanmaya çalışılır. Maddesel ortam ve deneysel malzemelerin yetersizliği gibi nedenlerle doz dağılımı istenilen hassasiyette hesaplanamayabilir.

Diğer bir yöntem, Monte Carlo simülasyonudur. Bu yöntemde kaynak ve kaynağın içerisinde bulunduğu maddesel ortam bilgisayarda simüle edilir. Simülasyonda kaynaktan rasgele yönlerde ve çeşitli enerji düzeylerinde çıkan radyasyon maddesel ortamda takip edilir. Muhtemel etkileşimler ve bu etkileşimler sonrasında maddesel ortama aktarılan enerjiler kayıt edilir. Oluşabilecek ikincil etkileşimler sonucunda oluşan enerji aktarımları da bu kayıtlara eklenir. Böylece kaynak etrafındaki bölgede doz dağılımı başarılı bir şekilde belirlenir.

Monte Carlo simülasyonları başarılı bir şekilde doz dağılımını belirlemekle beraber, karmaşık geometrilerin modellenmesi ve birçok etkileşimlerin hesaplanmasının uzun zaman alması gibi sorunları vardır.

Doz dağılımlarının hassas olarak belirlenebilmesi için uygun geometri modelleme teknikleri ve hesaplamaların daha hızlı yapılabilmesi için programın geliştirilmesi günümüzde de devam etmektedir.

Bu alışmada, Gültekin Yeğin tarafından geliştirilen EGS-mg (EGSnrc için oklu Geometri Paketi) paketine ait veritabanında kullanılmak üzere radyoterapide kullanılan temel kaynakların ve çeşitli malzemelerin modellenmesi yapılmıştır (Yeğin, 2002). Veritabanında kullanılmak üzere hazırlanan bu geometri elemanları, EGSnrc kullanıcılarına geometri modellemelerinde ve doz dağılımı hesaplamalarında kolaylıklar sağlayacaktır.

2. RADYASYON MADDE ETKİLEŞMESİ

Radyasyon, madde içerisinde hareket ederken o maddenin atom ve molekülleriyle etkileşerek soğurulur. Soğurulma, radyasyonun sahip olduğu enerjiyi yitirerek tutulmasıdır. Bu enerji ısıya dönüşür ve madde tarafından emilir. 1g Ra-226 ışınla çevreye 2 cal/s enerji yayar. Kömürün 8000 cal/g'lık enerjisinin yanında radyoaktivitenin enerjisi küçük gibi görünebilir. Ancak Ra-226 bunu 1620 yıl yarı ömürle devamlı verir. 1g radyum ölçülemeyeceği kadar zayıflayınca kadar 3200000 Kcal enerji üretir. Buna göre 1g Ra-226'nın radyoaktivite enerjisi 400 kg iyi cins kömürün kimyasal enerjisine eşittir.

İyonizan radyasyonların madde içerisinden geçerken sebep oldukları olaylar farklı özelliklere sahip olduğu için radyasyonun cinsine bağlı olarak parçacık özellikli radyasyonlar ve elektromanyetik özellikli radyasyonlar diye ayrı ayrı incelenirler.

2.1. Fotonların Madde İle Etkileşmesi

Elektromanyetik radyasyonlar, parçacık özellikli radyasyonlardan farklı olarak madde ile etkileşimi ihtimaller doğrultusunda gerçekleşir. Elektromanyetik radyasyon madde ile 3 temel etkileşmeye göre etkileşir ve enerji kaybeder. Bu etkileşmeler;

- 1- Fotoelektrik olay
- 2- Compton olayı
- 3- Çift oluşumu olayı 'dır.

γ -ışınları ve x-ışınlarının madde içerisindeki soğurulmasından, toplam olarak üç süreç sorumludur. Düşük foton enerjilerinde tek yol Compton saçılmasıdır, çünkü Fotoelektrik etki için birkaç eV ve Çift oluşumu için 1.02 MeV kesin eşik enerjisi değerleri vardır (Algüneş, 2002).

γ -ışınları ve x-ışınları temelde aynı özelliklere sahip olmakla beraber elektromanyetik spektrum içinde farklı bölgelerde bulunurlar. Her ikisinde madde içerisinde etkileştiklerinde aynı etkileri bırakırlar. γ ve x ışınları madde içerisinde ilerlerken rasgele yöne ve doğrultularda enerji bırakırlar. Maddenin yapısına, yoğunluğuna ve kalınlığına bağlı olarak enerjilerini ortama aktarırlar. Paralel bir elektromanyetik radyasyon demeti için, I şiddeti, Δx maddenin kalınlığı ve ΔI şiddet kaybını vermek üzere;

$$\Delta I = -I\mu\Delta x \quad (1.1)$$

şeklinde değişir. Burada μ , soğurucu ortamın lineer soğurma katsayısıdır. Başlangıçtaki şiddetin değişimi ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (1.2)$$

I_0 başlangıç şiddetindeki radyasyon demeti, soğurucu ortamdaki geçtikten sonra şiddetin değeri I olacaktır.

Elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimini inceleyelim;

2.1.1. Fotoelektrik Olay

Belirli bir enerjiye sahip olan fotonlar madde içerisinde ilerlerken elektronlara rastlayabilirler. Böyle bir durumda foton elektronla etkileşecek ve sahip olduğu enerjiyi elektrona aktaracaktır. Elektron aldığı enerjiyle yörüngeden ayrılarak serbest hale geçecektir. Kazandığı enerjiyi kinetik enerji olarak kullanan elektron madde içerisinde ilerlerken β -parçacıklarının yapmış olduğu etkileşimleri gerçekleştirerek sahip olduğu enerjiyi harcar. Fotoelektrik etki oluşturabilecek olan elektromanyetik radyasyon genellikle 0,5 MeV altında bir enerjiye sahiptir.

2.1.2. Compton Olayı

Genellikle 0,5 MeV enerjiden daha yüksek enerjilerdeki elektromanyetik radyasyon serbest haldeki bir elektronla etkileştiğinde ya da bağlanma enerjisi çok düşük olan yörünge elektronlarıyla etkileştiğinde Compton saçılması olayı gözlenir.

Foton ile elektronun etkileşmesi sonucunda foton enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır ve saçılarak kalan enerjisiyle yoluna devam eder. Başlangıçta ν frekansına sahip olan foton saçıldıktan sonra daha küçük ν' frekansına sahip olacaktır. İki frekans değeri arasındaki enerji miktarı elektronun kinetik enerjisi olur. Saçılan foton yeni fotoelektrik olaylar ya da yeni Compton saçılmaları yaparak yoluna devam eder. Etkileşme sonucunda ortaya çıkan elektronlar ise β -parçacıkları etkileşiminde olduğu gibi etkileşimler yaparak yoluna devam edecektir.

Compton olayı sonrasında saçılan fotonun enerjisi aşağıdaki gibi değişir.

$$h\nu - h\nu' = T \quad (1.3)$$

Elektromanyetik radyasyonun dalga boyundaki değişim miktarı gelen fotonun dalga boyundan bağımsızdır. Dalga boyundaki değişim, dolayısıyla enerjideki değişim saçılan fotonun saçılma açısına bağlıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\lambda - \lambda' = \Delta\lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta) \quad (1.4)$$

Compton olayı olasılığı, soğurucu maddenin atom numarasına bağlı olarak orantılı olarak artar.

2.1.3. Çift Oluşumu Olayı

Bir foton, bir elektron ve bir pozitron halinde maddeleşebilir. Bu süreçte elektromanyetik enerji durgun enerjiye dönüşmektedir. Bir atom çekirdeği yakınında bir elektron-pozitron çifti oluşturulduğunda hiçbir korunum ilkesinde bozulmuş olmaz. Elektronun sahip olduğu $q = -e$ ve pozitronun sahip olduğu $q = +e$ yükleri toplamı sıfırdır. Bu durum fotonun yüküne eşittir. Benzer şekilde, elektronun ve pozitronun enerjileri, kütle enerjileride dahil, fotonun enerjisine eşittir. Çift oluşumu boş uzayda meydana gelmez. Enerjinin ve momentumun korunabilmesi için bir çekirdeğe yakın bir yerde gerçekleşmelidir.

Bir elektron yada pozitronun durgun enerjisi m_0c^2 , 0.51 MeV dir. Bu durumda çift oluşumu en az 1.02 MeV kadarlık bir foton enerjisi gerektirir. Bu değer üstündeki foton enerjilerinde, artan enerji elektronun ve pozitronun kinetik enerjisine dönüşecektir. Maksimum foton dalga boyu 0.012 Å olur. Böyle dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar gama ışınları olarak adlandırılır. Radyoaktif çekirdek reaksiyonları sonucunda ve kozmik ışınlar içerisinde mevcuttur.

Çift oluşumunun karşıtı, bir elektron ve pozitronun birleşerek bir foton çifti yaratmak suretiyle yok olmasıdır. Fotonların doğrultuları, hem enerji hemde çizgisel momentumun korunmasını sağlayacak şekildedir. Yok olma olayının gerçekleşmesi için bir çekirdek yada başka bir parçacık gerekli değildir.

2.2. β -Parçacıklarının Maddeyle Etkileşmesi

β -parçacıkları, aktif çekirdeklerin bozulması sırasında çekirdekteki fazla enerjinin $E=mc^2$ eşitliğine göre kütleye dönüşmesiyle oluşan, kinetik enerjiye sahip elektronlardır. Aksi söylenmedikçe negatif elektrik yüküne sahip olduğu kabul edilir. Bir β -parçacıklarının durgun kütlesi bir yörünge elektronu kütlesine eşit olduğundan soğurucu ortamı oluşturan çekirdek kütlesinden çok küçüktür. β -parçacıkları ve yörünge elektronları negatif elektrik yükü taşıdıklarından aralarındaki mesafenin karesiyle ters orantılı olarak birbirlerine elektrostatik bir itme kuvveti uygularlar. Buna karşılık çekirdekle zıt elektrik yüküne sahip olduklarından dolayı aralarında bir çekim kuvveti oluşur. Bu durumlar göz önünde bulundurularak, β -parçacıklarının madde ile etkileşmesinde aşağıda belirtilen olayların gözlenmesi söz konusudur.

β -parçacıkları içinden geçtiği yapının elektronları ile çarpışarak saçılabilir, bu olay saçılma olarak adlandırılır. Rastladığı elektronlara bir miktar enerji vererek onları uyarır. Bu elektron bulunduğu yörüngeden daha üst yörüngelere geçer. Elektron yeni yörüngesinde çok

fazla kalamaz ve kısa bir süre sonunda eski yörüngesine geri döner. İki yörünge arasındaki enerji farkını, bu enerjiye eşit bir foton yayınlayarak dışarı verir. Enerji seviyesi, soğurucu yapının atomlarına bağlıdır ve karakteristik X-ışını şeklinde olur. Bu olay uyarılma (eksitasyon) olarak adlandırılır.

β -parçacıkları, etkileştiği maddenin atomlarına elektronları koparacak seviyede enerji verdiği taktirde maddede iyonizasyona sebep olacaktır. Maddenin elektronu atomdan ayrılarak bir iyon çifti oluşturur. Bu olay iyonizasyon olarak adlandırılır.

β -parçacıkları moleküller civarından geçerken verdiği eksitasyon enerjisi ile o molekülün parçalanmasına neden olabilir. Bu olay dissosiasyon olarak adlandırılır. Yüksek enerjili β parçacıkları, içinden geçtiği ortamın atomları arasından geçerken, elektrostatik kuvvetlerin etkisinde kalarak hızlarını değiştirir ve frenlenirler. Bu esnada sürekli bir spektrum teşkil eden x ışını yayınlarlar. Bu x ışınlarına frenleme ışınları veya Bremsstrahlung adı verilir.

β -parçacıkları madde içerisinde yukarıda belirtilen etkileşmeleri enerji seviyesine göre yaparak enerjisini ortama aktarır. β -parçacıkları madde içerisinde hareket ederken zikzaklar çizerek ilerler ve her bir etkileşimde bir miktar kinetik enerjisini ortama aktarır. Kinetik enerjisi sıfıra indiğinde serbest elektrona dönüşür.

β -bozunumu yapan aktif çekirdeklerde protonun nötrona dönüşmesiyle pozitronlar ortaya çıkar. Pozitronlar, elektrik yükleri hariç diğer tüm özellikler β -parçacıkları ile aynıdır. Soğurucu ortam içerisinde ilerlerken β -parçacıkları ile aynı etkileşmeleri pozitif yük durumuna göre gerçekleştirir. Yaptığı etkileşmeler sonucunda, kinetik enerjisi belirli bir enerji değerinin altına indiğinde ortamdaki elektronlardan birisi ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda birbirlerini yok ederler. Sahip oldukları enerji, ortama bırakılan 2 adet γ fotonuna dönüşür. Bu olay pozitron-elektron annihilasyonu olarak adlandırılır (T.C. Basbakanlık Atom Enerjisi Kurumu, Bilimsel Yayınlar No:2)

3. MONTE CARLO YÖNTEMİ VE PARÇACIK SİMÜLASYONU

3.1. Monte Carlo Yöntemi

Monte Carlo parçacık transportu, çeşitli fiziksel işlemler için etkileşim olasılıklarını taklit ederek ve rasgele sayılar kullanarak problemi çözmeye kullanılır.

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmelere paralel olarak Monte Carlo yöntemi gittikçe yaygın olarak kullanılır hale gelmektedir. Bunun en önemli nedenlerinden bir tanesi, bu yöntem kullanılarak hesaplama maliyetlerinin çarpıcı bir şekilde düşmesidir. Bu nedenle çok maksatlı ve uzmanlaşmış kod sistemleri (EGS, GEANT, BEAM gibi) artmaktadır. Bu artış radyoterapi fiziğini sürekli geliştirmektedir. (Rogers, 2002)

3.2. Monte Carlo Yöntemiyle Parçacık Simülasyonu

Radyasyon madde etkileşmesi oldukça karmaşık bir işlemdir. Birinci bölümde sistemin genel etkileşimlerinden bahsedilmiştir. Bu tip etkileşmeler sonucunda birçok olaylar gözlenmektedir. Radyasyonla ilgili olan bu etkileşimlerin mekanizmasının bilinmesi ve sonuçlarının etkin bir şekilde hesaplanması uygulama alanlarında büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde bu etkileşimler ve sonuçları bilinmektedir. Ancak sistemlerin karmaşık yapıları ve hesaplamalardaki matematiksel işlemler olayı çok daha karmaşık bir hale getirmekte ve bu da sonuçların sağlıklı bir şekilde elde edilmesine engel olmaktadır.

Radyasyonun keşfedilmesinden bu yana etkileşim sisteminin incelenmesi amacıyla birçok deneyler yapılmış ve sonuçlar alınmıştır. Bugün ise bu etkileşimler sonucunda çok daha hassas sonuçlar alınması önem kazanmıştır. Bunu sağlamak için gerçekleştirilen deneyler fiziksel sınırların engellerine takılmakta ve istenildiği kadar doğru sonuçlar elde edilememektedir. Sistemin bu engellerini aşabilmek, etkileşim mekanizmasını kontrol edebilmek ve sağlıklı sonuçlar alabilmek için bilgisayar simülasyonları kullanılmaktadır.

Radyasyonun taşınması simülasyonlarında, radyasyon kaynağının özellikleri, parçacıkların ve fotonların karakteristik yapıları, başlangıç koşulları, sistemi oluşturan maddelerin özellikleri ve etkileşim ihtimalleri gibi birçok bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla beraber her bir etkileşimin olabilecek sonuçlarının hesaplanması ve oluşacak ikincil radyasyonlarında sistemde oluşturacakları etkilerin hesaplanması gereklidir. Bu durumlar sistem analizini oldukça güçleştirmektedir.

Monte Carlo (MC) tekniği her türlü enerji menzili için uygulanabilinen, bir yöntemdir.

Parçacık taşınmasının Monte Carlo simülasyonu fiziksel gerçekliğe bağlıdır. Parçacıklar, kaynağı ifade eden dağılıma göre örneklenirler, çarpışma alanına kadar (ortalama

serbest yola bağlı olarak değişen) belirli bir mesafe kat ederler ve bir başka enerji içine ya da diferansiyel kesite ilişkin bir yöne dağılırlar. Benzer şekilde yeni üretilen parçacıkların da bu denli iyi taşınması gerekmektedir. Bu uygulama tüm parçacıklar soğuruluncaya ya da geometriden ayrılincaya kadar devam eder. İlgilenilen miktar, verilen MC parçacıklarının sayısının ortalamasıyla hesaplanabilir.

4. EGS KOD SİSTEMİ

EGS kod sistemi (Elektron Gama Sağanağı), fotonların ve elektronların taşınması için Monte Carlo simülasyonunu kullanan bir bilgisayar programıdır. Fotonların ve elektronların taşınması için kullanılan birçok genel amaçlı kod sisteminden birisidir (EGS, PENELOPE, ITS

ve MCNP). EGS kod sistemi, 1970'li yıllarda Stanford Lineer Accelerator Center (SLAC) da Richard Ford ve Ralph Nelson tarafından yüksek enerjiler için bir fizik aracı olarak geliştirilmeye başlanmıştır (Ford at al, 1978). İlerleyen yıllarda yapılan çalışmalarla EGS kod sistemi 10 KeV ile 50 Mev arasındaki düşük enerjilerde çalışabilen ve tıbbi uygulamalarda da kullanılan bir programa dönüştürülmüştür.

EGS kod sisteminde, simülasyon için yapılandırılmış bir takım alt programlar kullanıcının kendi geometrisini yazmasına ve temel temel EGS kodlarına dokunmadan rutinleri değiştirmesine olanak sağlayacak şekildedir.

Program temelde iki kısımdan meydana gelir. EGS standart kod sistemi ve kullanıcı tarafından yazılan kullanıcı kodu bölümüdür. EGS standart kod kısmı ancak kullanıcının yazdığı kod kısmı ile birlikte çalışır.

4.1. EGS'nin Gelişimi ve EGS1

Monte Carlo metodu başlangıçta Ulam ve Von Neumann tarafından ortaya atıldı. Tekniği ilk olarak Goldberger, nükleer bozulmalarda üretilen yüksek enerjili parçacıklar için kullandı (Goldberger, 1948)

Çeşitli sonuçlara ulaşmak için tamamen farklı iki kod 1960'ların başında elektromanyetik çerçeveli bir ortamı simüle etmek için yazıldı. Bunlardan ilki Zerby ve Moran tarafından Oak Ridge National Laboratory'de yazıldı ve SLAC inşasını kolaylaştırmak ve yüksek enerjili elektron demeti sağanağını sağlayacak çeşitli araç ve yapılarının fizik ve mühendislik problemlerini önceden tahmin etmek için kullanılmıştır (Zerby at al, 1962).

İkinci kod Nagel tarafından geliştirildi ve birkaç eklenti yapılarak yayınlandı (Nagel, 1965). Orijinal Nagel kodu ile birlikte Ford ve Nelson, SHOWER1 diye adlandırılan silindirik geometrili kurşun içinde 1000 MeV den küçük yüksek enerjili elektronlar için Foltran kodunu yazdılar. Altı önemli elektron foton etkileşimine (bremsstrahlung, elektron-elektron saçılması, iyonizasyon kayıpları, çift oluşumu, compton saçılması ve fotoelektrik olay) Coulomb saçılmasını da eklediler.

Nicoli orijinal Nagel kodlarına eklentiler yaparak SHOWER2 olarak bilinen kodları geliştirdi. Ağustos 1966'da SHOWER2 kodu Nagel tarafından SLAC'a getirildi ve Nicoli'nin yaptığı değişimlerle MIT ' te çalıştırıldı (Nicoli, 1966).

Nelson'nun yönetiminde programcı J.Ryder, SHOWER3 kodlarını modüler bir şekilde üretti ve SHOWER3 ün ihtiyaç duyduğu ayrılma oranları ve tesir kesidi için uygun katsayılarından oluşan PREPRO şeklinde adlandırılan ön işlem kodlarını yazdı. 1972 de B.Talwar, Nelson'un liderliğinde SHOWER3/PREPRO versiyonunu bazı elementler için başarıyla test etti.

Şubat 1972 de gerekli fizik formülasyonları ve kod eklentileriyle kodlar yeniden yazıldı. Stanford Üniversitesi Higt Energy Physics Laboratory (HELP) in ürettiği bu versiyon SHOWER4

olarak sunuldu. Buna uygun olan ön işlem kodlarında yenilenerek SHINP (SHower INPut) olarak adlandırıldı. Bu kodlarla dedektör çözünürlükleri ve gama dedektörleriyle ilgili birçok çalışmalar yapıldı.

Ford, minimum girişe ihtiyaç duyacak kullanıcı kodlarıyla direkt olarak çalışabilen shower kodları için ön işlem kodları yapmayı amaçlıyordu. SHOWER3/PREPRO ve SHOWER4/SNINP içinde yeni bir sağanak başlatmak istendiği zaman kullanıcı ön işlemci kodları için literatürden foton tesir kesiti değerlerine bakması gerekiyordu. Ford sağanak kodları için ihtiyaç duyulan verileri otomatik olarak üreten ön işlem kodlarını yeniden yazdı. Nelson ise ihtiyaç duyulan tesir kesiti değerlerini 1 den 100'e kadar olan elementler için Storm ve Israel'den sağladı (Storm at al, 1970).

Esneklik ve kolaylık için kullanılan FOLTRANIV ün NAMELIST okuma kolaylığı, sağanak kodları ve ön işlem kodları için gerekli olan verileri okumakta kolaylık sağlamaktadır. Oluşturulan bu yeni kodlar tekrar adlandırılarak Electron Gama Shower (EGS) oluşturuldu. Bu kodlara eşlik eden ön işlem kodları ise PEGS (Preprocessor for EGS) olarak adlandırıldı. Foltran IV dilinde yazılan bu kodlar versiyon 1 olarak sunuldu (EGS1 ve PEGS1) (Bielajew at al, 1994).

4.2. EGS2

Oluşan gelişmeler sonucunda EGS1 in birçok parçacık için keyfi karmaşık geometrilerde sonuç ve çıktıya sahip olamayacağı anlaşıldı. Bu nedenle Ford, çoklu geometrik yapıların gerekli olduğunu düşündü. EGS1in ana kontrol programıyla birlikte EGS1deki tüm sonuç, çıktıları ve kullanıcı ara yüzünün değiştirilmesi gerekiyordu. Böylece EGS1 kodları, geometrileri ve oluşan sonuçları sırasıyla tanımlamak için iki destek programı (HATCH ve SHOWER) ve bunların ihtiyaç duyduğu kullanıcı tarafından yazılan iki sabrutine (HOWFAR ve AUSGAB) dönüştü.

Foltran dilinde oluşturulan MORTRAN2 dilinde EGS1 ve PEGS1 kodları esneklik ve taşınabilirlik eklenerek yeniden yazıldı. MORTRAN2 dilinde yazılmış olan TESTSR kodları ile ayrılmış ve yeniden yapılandırılmış ama kodlar test edildi. Gözden geçirmeler 1975 yılında tamamlanarak EGS, PEGS ve TESTSR bileşenleri EGS kod sistemi versiyon 2 olarak isimlendirildi. Versiyon 2, EGS2, PEGS2 ve TESTSR2 olarak ta adlandırılır.

4.3. EGS3

EGS2'nin estetik olarak hoşta gitmeyen bir yönü de; sadece 16 bit değer kümesinden alınan basamak uzunluğu kullanılarak elektronları çeşitli uzaklıklardan etkileşim noktaları veya sınırlarına taşımak için elektron taşıma rutinde (ELECTR) kullanılan gerekli olan karmaşık

kontrol mantığıdır. Bu işlem genel çoklu bölge bir çevrede Nagel'in ayırık dar açılı çoklu saçılma şemasını uygulamak için gerekli olmuştur. Ek olarak EGS2 tarafından hesaplanan geriye saçılan foton akımının yayınlanmamış HEPL verileriyle yapılan karşılaştırmalar olduğu kadar Bremsstrahlung açısal dağılım ölçümlerinin ETRAN kullanılarak EGS2 ile Berger ve Seltzer sonuçlarının karşılaştırılması (Berger at al 1970). EGS2'nin geri doğru yönelimlerde çok küçük olan ve bir ya da faktöre bağlı olan değerleri tahmin edebileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenlerle ve uygulamanın geniş bir evrenselliğe ulaşabilmesi için (ör: ince bir levhaya çarpan monokromatik elektron akımının çıkışta sürekli açısal dağılımı olması gibi); Ford, 1976 yazında rasgele basamak uzunlukları için sürekli çoklu-saçılma dağılımını doğru olarak simüle edilebilecek çoklu saçılma şemasını uygulamayı denemiştir. Bazı düşünceler sonrasında Messek ve Crawford tarafından kullanılan eklentiler planlandı. Bu ekin kodlarının çoğu Science Applications Inc.'de Ford tarafından yazılmış ve 1977 Ağustos'unda SLAC'a getirilmiş ve burada derlenmiş ve Nelson ve Ford tarafından test edilmiştir. Bu sistemin kullanılması CMS (Sürekli Çoklu Saçılma) adı verilen ve kendi başına çalışan kodların kullanılarak yapıldığı bir kereliğine yapılan ölçümlerin (once-only calculation) kullanılmasını gerektirmiştir. Bu esnada SLAC'a getirilen PEGS'nin 2. versiyondaki fiziğin aynısını içerdiği söylemek gerekir ancak makinenin daha bağımsız olması için kısmen yeniden yazıldığını belirtmek gerekir. TESTSR koduna eklenen diğer bir seçenek, yeni EGS çoklu saçılma örnekleme routine'i, MSCAT'ın denenmesine izin vermek için eklenmiştir.

EGS, PEGS ve TESTSR'nin bu versiyonları EGS Kod Sisteminin 3.versiyonu (yani EGS3, PEGS3, TESTSR3) olarak adlandırılan bölümünü içerir. Deneylere ve diğer Monte Carlo sonuçlarına göre yapılan ardışık EGS3 karşılaştırmaları yazarlar tarafından yapılmış (Jenkins, Nelson ve diğerleri) ve ortak kanatlar kodun temel güvenilirliğini ortaya koymuştur (Nelson at al, 1080).

EGS3 Kod Sistemi 1978 yılında ortaya çıkarılmış olup Nagel'in orijinal kodundan kendisini ayırtan pek çok biçimleri içermektedir. SHOWER1 en değerli olanı olup:

1. Shower'lar her element, bileşik veya karışım için ($Z:1$ 'den 100'e kadar) simüle edilebilir.
2. Parçacıkların taşınması için enerji değişimi, fotonlar için 100 GeV'den 1 keV'e ve yüklü parçacıklar için 1.5 MeV'e (toplam enerji) parçacık taşınması hesaplamalarının başlayabilmesi için yeterli olur.
3. Foton ve yüklü parçacıklar kodun daha hızlı bir şekilde çalışmasını sağlayacak şekilde düzenli basamaklar yerine rasgele taşınır.

4. Pozitronların uçuşta veya istirahatta birbirlerini yok etmesine izin verilmiş ve annihilasyon kuantası sıfırlanmıştır.
5. Elektron ve pozitronlar asimptotikden ziyade sırasıyla düz, Moller ve Bhabha çapraz kesitlerine tabi tutulmuştur.
6. Örneklem şemaları daha etkili olmuştur.
7. EGS3 kullanıcı arayüzüyle daha fazla esneklik sağlamış ve kodun iç detayları hakkında aşırı bilgili olmaya gerek kalmayacak ve kullanıcı tarafından kodun içine hata eklemesine gerek kalmayacak şekilde bir alt-döngü paketi haline gelmiştir.
8. Kullanıcı tarafından kullanılan geometri kullanıcı tarafından yazılan bir alt program olan HOWFAR sayesinde özelleştirilebilir. Her ne kadar geometri imkanları yörüngelerin bilinen yüzeylerle (ör: düzlem, silindir, koni, küre ve kutu) kesişmelerini belirleyecek kadar gelişmiş ve de mevcuttur.

4.4. EGS4

EGS4 olarak adlandırılan yeni geliştirilmiş sürüm eski EGS3 versiyonuna göre çeşitli ilerleme ve değişikliklerle sunulmuştur.

4.4.1. EGS4 Yeteneklerinin ve Biçimlerinin Özeti

Aşağıdakiler bağlı olduğu fizik dalı ve gerçek anlamda neyin simüle edilebildiğini belirten açıklamaların yer aldığı EGS4 Kod Sistemi'nin ana şekillerinin özetidir:

1. Elektron ve fotonların (+/-) radyasyon transportu her eleman, bileşik veya karışımla simüle edilebilir. Bu PEGS4 veri hazırlama paketi olup 1'den 100'e kadar elementler için çapraz kesit tabloları kullanarak EGS4 tarafından kullanılan verileri yaratır.
2. Hem foton ve de yüklü parçacıklar belirli aşamalardan ziyade rasgele taşınmaktadır.
3. Yüklü parçacık kinetik enerjileri dinamik sınırı birkaç on KeV 'tan birkaç bin GeV 'a kadar değişmektedir. Akla yatkın üst sınır çok yüksek olabilir fakat fiziğin geçerliliği gene sorgulanmaktadır.
4. Foton enerjilerinin dinamik sınırı 1 KeV ile birkaç GeV arasında değişmektedir.
5. EGS4 Kod Sistemi içine alınan fizik işlemleri şunlardır:

- a. Bremsstrahlung üretimi (düşük enerjilerde Elwer korreksiyonunu dışarıda tutarak)
 - b. Uçuşta ve dinlenmede pozitron annihilasyonu
 - c. Molière çoklu dağılımı.(Yani çekirdeklerden Coulomb saçılması). Kapalı açılı sürekli dağılımdan (ayrıktan ziyade) örneklenmiştir. Bu rasgele seçilmiş çok teoriyi geçersiz kılmayacak şekilde aşırı geniş ve de çok küçük olmayacak şekilde gelişigüzel basamak boyutlarıyla seçilerek yapılır.
 - d. Möller (e^-e^-) ve Bhabba (e^+e^-) saçılması. Asemptotik formüllerinin kullanılmasından ziyade daha kesin formüller.
 - e. Ayırık etkileşimler arasında yüklü parçacık izlerine uygulanan sürekli enerji kaybı
 - f. Total durdurucu güç yumuşak bremsstrahlung ve çarpışmadan kaybolan enerjilerden oluşmaktadır.
 - g. Çarpışma kaybı dansite etkisinin Sternheimer müdahalesiyle Bethe-Bloch durdurucu gücüyle belirlenmektedir.
 - h. Çift oluşumu
 - i. Compton saçılması
 - j. Koherent (Rayleigh) saçılması bir seçenek olarak eklenebilir.
 - k. Fotoelektrik etki.
 - l. Ne floresan fotonlar ne de Auger elektronları subroutine PHOTO'nun default versiyonunda oluşmamış veya taşınmamıştır.
 - m. Diğer kullanıcı tarafından yazılmış PHOTO versiyonları oluşturulabilse de bu K ve L-edge fotonlarının transport ve oluşumuna izin verir
6. PEGS4 12 altprogram ve 85 fonksiyondan oluşan tek başına çalışan veri işlemcisidir. Çıktı EGS4 tarafından direkt kullanım şeklindedir.
- a. PEGS4 çapraz kesitte parçalı-lineer geniş sayıda enerji aralığı oluşturmakta ve dallanma oranı verisi vermektedir.
 - b. Genelde kullanıcı EGS4 tarafından ihtiyaç duyulan ortam dosyalarını bir kere elde ettiğinde bir kereliğine PEGS4 kullanacaktır.
 - c. PEGS4 kontrol girişi Fortran 'ın NAMELIST 'ten okuma kolaylığından yararlanmaktadır.
 - d. EGS4 için veri oluşturmak için gerekli seçeneklere ek olarak PEGS4, EGS4 tarafından kullanılan her bir fiziksel niceliği çizme opsiyonu olduğu kadar teorik spectra ile UCTESTSR Kullanıcı Kodu tarafından üretilen örneklenmiş dağılımları karşılaştırmaktadır.
7. EGS4 altprogramlarına ek olarak esnek kullanıcı ara yüzü data bloku içermektedir.
- a. Bu kodun iç ayrıntılarını bilmeyi gerektirmeyen bir kullanma rahatlığı sağlıyor.

- b. Mortran3 dilinin makro kullanım kolaylığı kabiliyetiyle kullanıcı tarafından yapılan değişikliklerin kodlara hata sokma olasılığını azaltmaktadır.
 - c. EGS4'ün 13 altprogramı Akış çizelgesi mevcuttur.
 - d. EGS4 materyal kesit alanı ve PEGS4 tarafından yaratılan ve yerleştirilen dallanma oranı verisini kullanmaktadır.
8. Verilmiş herhangi bir problemin geometrisi kullanıcı tarafından yazılmış HOWFAR adlı altprogram tarafından özgülleştirilebilir ve sonuçta dışarıdan yardımcı altprogram kullanılabilir.
- a. Düzlem, silindir, koni, küre vs.. için yedek geometri routine'leri kendi kodlarını yazmak istemeyenler için EGS4 Kod Sistemi ile sağlanır.
 - b. Bu routine'lerin makro versiyonları makro tanımlama setinde vardır (EGS4MAC dosyası). Eğer kullanılırsa sıklıkla daha hızlı simülasyonu çalıştırır.
 - c. MORSE-CG Combinatorial Geometri Paketi HOWFAR'ın içinde yer alabilir Buna karşın tecrübeler göre daha yavaş simülasyon oluşturmaktadır.
 - d. Özel olarak tasarlanmış HOWFAR altprogramıyla yazılmış manyetik alanda transport oluşmaktadır veya daha genel anlamda (ör. elektrik alanı da içererek) ELECTR altprogramında bu amaçla uygun olarak yerleştirilmiş Mortran3 makro örnekleriyle transport oluşmaktadır.
9. Kullanıcı AUSGAB olarak adlandırılan kullanıcı tarafından yazılmış altprogramı kullanarak sonuçlama yapar ve bilgiyi çıktıdan alır.
- a. Yedek altprogram ECNSV1 korunmak veya diğer amaçlar için enerjinin izini almak için sağlanmıştır.
 - b. Yedek altprogram NTALLY kaç kere enerjinin ECNSV1 dizileri içinde sonuçları tutmak için sağlanmıştır.(Bir çeşit olay sayacı)
 - c. Yedek altprogram WATCH olay be olay, basamak be basamak takip için sağlanmıştır.
10. EGS4 "örnekleme önemliliği"ni gerçekleştirmekte ve diğer varyans redüksiyon teknikleri gerçekleştirmektedir.
11. Radyasyon transportunun başlangıcı:
- a. Pi-sıfır bozulmasından (yani CALL SHOWER deyiminde IQI=2'yi kullan) iki fotonlu shower'ı başlatmak için bir seçenek vardır.

- b. Kullanıcının menoenerjetik parçacık aracılığı veya bilinen bir dağılımdan örnekleme yoluyla (ör. Senkrotron radyasyon spektrumu) transportu başlatma seçeneği vardır.
- c. Transportun uzaysal ve/veya açısal dağılımları olan kaynaklardan başlayabilme imkanı vardır.

4.5. EGSnrc

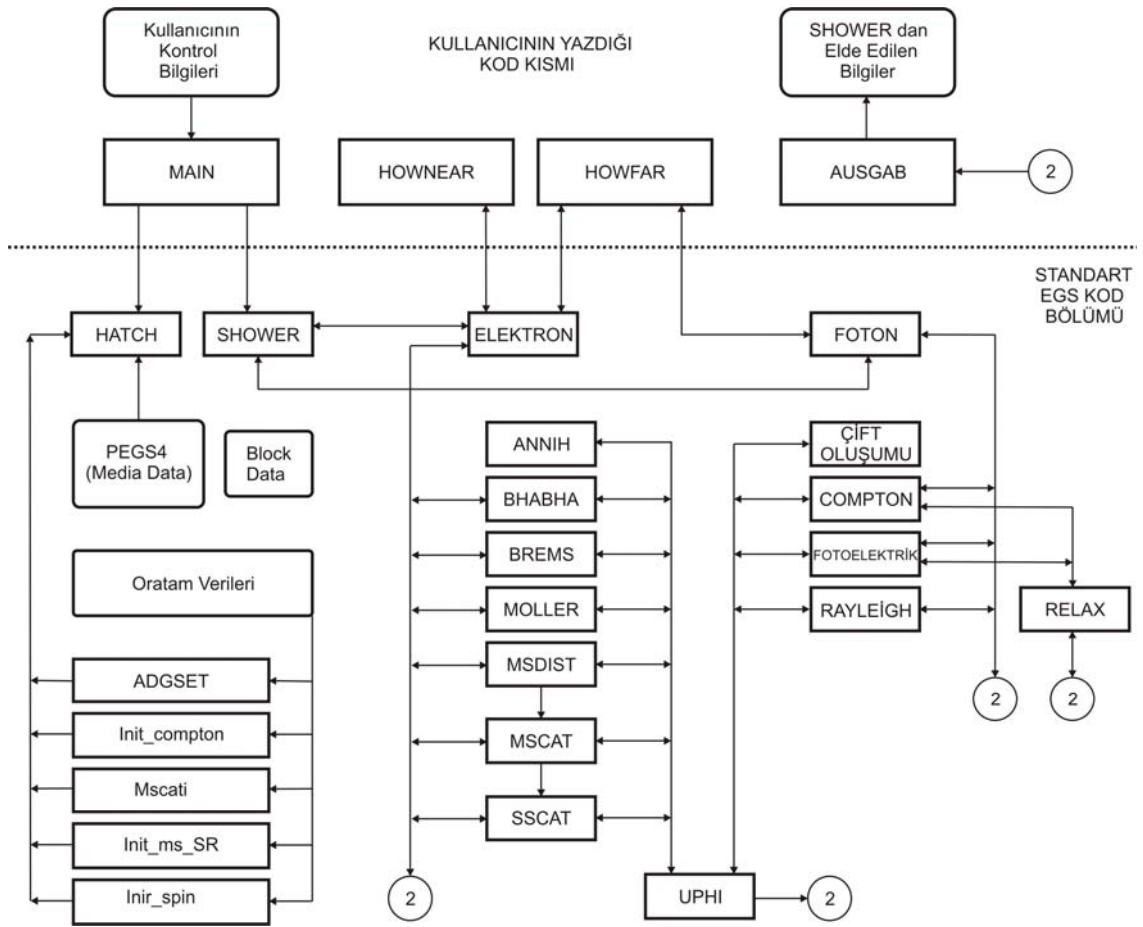
EGSnrc esnek bir kullanıcı ara yüzüne sahip standart ve altprogramlar paketidir. Oluşturulan esnek kullanıcı ara yüzü sayesinde kullanıcı, standart kod kısmının ayrıntılarını tam olarak anlamaya gerek duymadan programı rahatlıkla kullanabilmektedir. Kod, Foltran dilinin Mortran 3 geliştirilmiş moduyla yazılmıştır. Elektron, foton ve pozitronların nakledilmesinde element, bileşik veya karışımların kullanılmasına izin vermektedir.

Programı oluşturan bölümlerden MAIN, sürücü rutindir. Kullanıcı kontrol bilgilerini kullanarak EGS kod bölümünü aktif hale sokar. MAIN sürücü rutini, HATCH ve SHOWER olarak adlandırılan alt programlara bağlıdır. HATCH alt programı, PEGS4 tarafından oluşturulan ortam datalarını okur. SHOWER alt programı ise parçacık-madde etkileşimini her bir parçacık için gerçekleştirmektedir. Kullanıcı ortamın geometrisini belirlemek üzere HOWFAR ve HOWNEAR kısımlarını uygun şekilde yazmaktadır. Ayrıca yine kullanıcı tarafından AUSGAB kısmı, parametrelerin hesaplanmasına olanak sağlayan bir puanlama rutindir. Burada etkileşimle ilgili ayrıntılar ayarlanabilir. AUSGAB tan elde edilen sonuçlar, EGS sistemi tarafından modellenen tüm fiziksel işlemlerin bir özetini sunar. (Kawrakow at al, 2001)

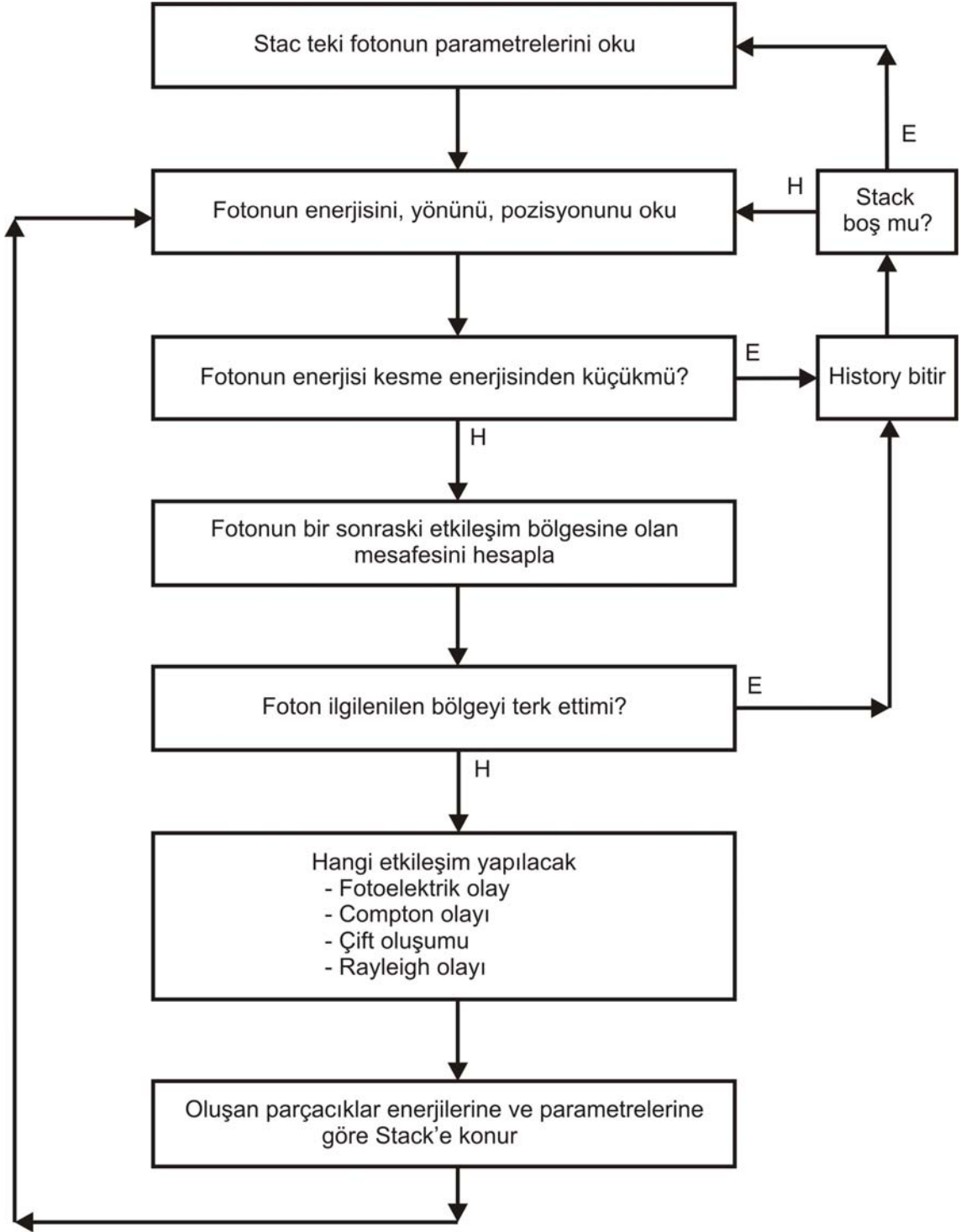
EGS kullanılan materyaller için etkileşim tesir kesidi bilgilerini üretmek için PEGS (EGS işlemcisi) kullanır. PEGS, 12 alt programdan ve 85 fonksiyondan oluşan bağımsız bir bilgi işleme kod sistemidir. 1-100 arasındaki elementler için tesir kesidi tablolarını kullanarak EGSnrc tarafından kullanılmak üzere bilgiler üretir.

HOWFAR geometri rutindir. Modelleneyecek olan geometri kullanıcı tarafından yazılır ve HOWFAR olarak adlandırılır. PEGS4 tarafından hazırlanan bilgilerin tümü HATCH rutini tarafından okunur ve SHOWER gelen parçacığın türünü belirleyerek ona göre çeşitli işlemler gerçekleştirir. Etkileşime girecek olan tüm parçacıklar, kesme enerjisine ulaşıncaya kadar geometriyi terk edinceye kadar takip edilir.

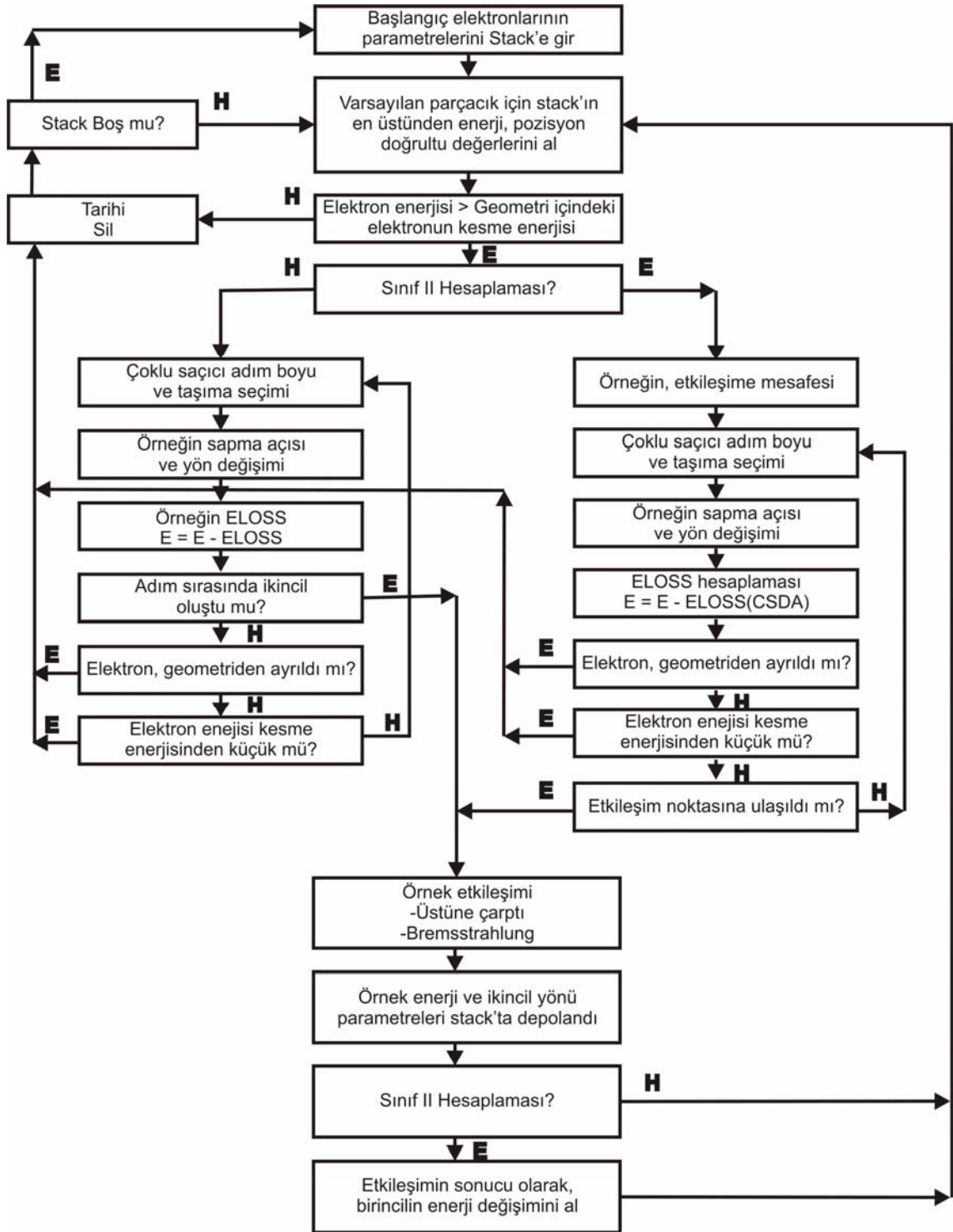
EGSnrc kod sisteminin çalışma prensibi aşağıdaki akış şemasında verilmiştir.



Şekil 3.1 EGSnrc kod sisteminin çalışma prensibini gösteren akış diyagramı.
(Kawrakow ve Rogers, 2001)



Şekil 3.2 EGSnrc programında foton transferini gösteren akış diyagramı.
(Bielajew, NRCC, Report PIRS-0393)



Şekil 3.3 EGSnrc programında elektron transferini gösteren akış diyagramı.
(Bielajew ve Rogers, NRCC, Report PIRS-0394)

5. EGS-mg ÇOKLU GEOMETRİ PAKETİ

EGS-mg, EGS kod sisteminde kompleks geometrilerin kolayca modellenebilmesini sağlamak amacıyla Çoklu Geometri tekniğini kullanarak geliştirilmiş bir geometri paketidir (Yeğin, Rogers 2005). Kullanıcı standart EGS girdi dosyalarının yanı sıra geometri inşası ve tanımlamalarından oluşan birkaç yardımcı dosyayla kontrol işlemini yapar. EGS-mg paketinin içerisinde geometri modellemek için üç çeşit primitiv mevcuttur. Bunlar, sphere, rectilinear ve cylinder (küre, düzlem ve silindir) primitivleridir. Bu üç çeşit primitiv ayrı ayrı yada birlikte ve çeşitli kombinasyonlarda kullanılarak kompleks geometrilerin modellenmesi yapılabilir.

5.1. Primitiv

Özel bir geometriye sahip elemanlardır. EGS-mg paketi içerisinde üç çeşit primitiv vardır. Bu primitivler, küre, düzlem ve silindir. Primitivler aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir;

- **Kimlik Numarası (ID number):** Primitivleri tanımlamak için kullanılan kimlik numarasıdır.
- **Başlık (Title):** Primitivin adıdır.
- **Çevirme (Translation):** Kartezyen sistemdeki bir primitivin pozisyonunu tanımlayan bir özelliktir.
- **Dönme (Rotation):** Bir primitivin doğrultusunu tanımlayan bir özelliktir.
- **Suretini Çıkarma (Duplication):** Bir primitiv geometri içerisinde birden çok kullanılabilir. Farklı farklı primitivler oluşturmak yerine bir primitiv dönme ve çevirmeleri tanımlanarak birçok kez kullanılabilir. Bu yöntem *duplication* olarak adlandırılır.

5.2. Nesnelere ve Özellikleri

Nesneler, primitivlerin oluşturduğu fiziksel gerçekliklerdir. Primitivler EGS-mg veritabanı içerisinde tanımlanırlar, nesnelere ise EGSnrc çalıştıktan sonra tanımlanan primitivler kullanılarak oluşturulurlar.

5.3. Gruplar ve Özellikleri

Grup metodu EGS-mg'nin en güçlü özelliklerinden birisidir. Grup, ilgili nesnelerin bir zincir halinde birlikte tanımlanmasıdır. Grup içerisinde "kök" olarak adlandırılan nesne grubun sahibidir ve diğer tüm nesnelere kontrol eder. EGS-mg 'nin grup özelliği sayesinde kullanıcı, kök nesnenin dönüşüm ve yersel parametrelerini değiştirerek grubu oluşturan tüm nesnelere kontrol eder.

5.4. Akış

Nesneler hafızada sıralanmış düzenli olarak depolanırlar. Bu "stream" olarak adlandırılır. Her nesne sıralamada ilk olarak hangi nesnenin geleceğini belirten bir sıra numarası alırlar. Objeler eğer diğerinden önce geliyorsa diğer objenin üzerinde bazı safhalarda öneme sahiptir. Örneğin, grup içerisinde bir nesne sahip olduğu nesneden sonra gelmemelidir. Grubun kökü olan nesne grubun bütün elemanlarından daha küçük bir sıra numarasına sahip olur.

Nesnelerin akışı (stream) gibi primitivlerinde bir akış sırası vardır. Primitivlerin akışı sadece nesnelerin akışını üretmek için kullanılır ve başka amaçlar için kullanılmaz.

5.5. Geometride Bölgelerin Sıralanması

EGS kod sisteminde her bir sınır 1 den maksimuma giden değerlerde özel sıra numarasına sahiptir. Bölgelerin sıralanması yeni çoklu geometri paketinde farklı bir yolla önemsenerek ele alınmıştır. Bu sayede bir sistemin geometrisi bağımsız nesnelere tarafından şekillenir ve her bir nesne birçok sınıra bölünebilir.

Sıralar EGS-mg de aşağıdaki gibi düzenlenirler;

Bir nesneden bölgelerin numarası m_i olsun. Burada $i = 1 \dots N$, N akıştaki (stream) nesnenin numarası ve akıştaki bütün nesnelerin bölgelerdeki toplam numarası j^{th} , M_j ;

$$M_j = \sum_{i=1}^j m_i \quad j \leq N$$

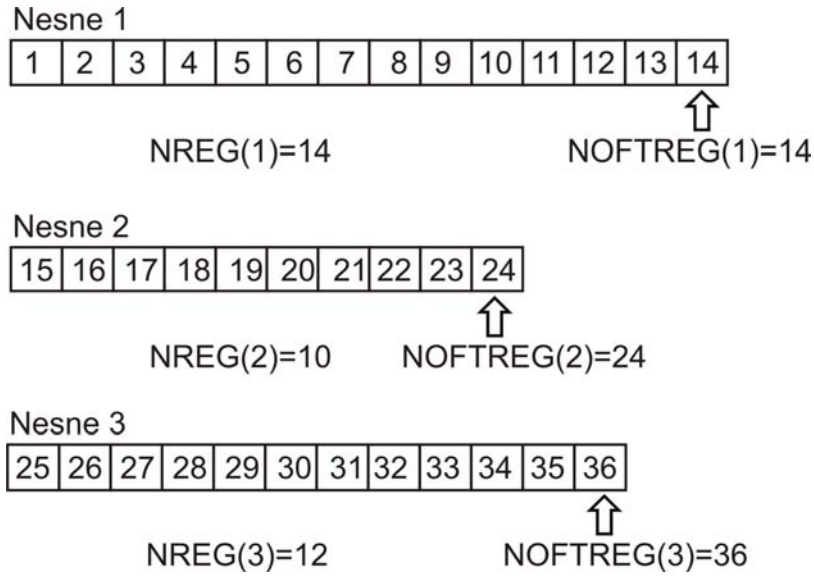
olarak verilir.

Burada verilen bir nesne i , bölge numaraları birinci bölgeden son bölgeye aşağıdaki gibi ayrılır.

$$M_{i-1} + 1, M_{i-1} + 2, \dots, M_{i-1} + m_i$$

Tanıma göre her bir bölge, sahip olduğu nesnelere önemsenmeden 1 'den maksimum değere (M_N) kadar sınırlara ayrılır. Bu nedenle sınırların sıralanışı EGS kod sistemindeki gibi olur.

Geometride bölgelerin sırasını daha açık anlamak için, özel bir geometride bölgelerin düzene konulması aşağıdaki şekilde verilmiştir. Buradaki geometri 3 nesneden oluşmaktadır. Her bir nesnede bölgelerin numaraları 14, 10 ve 12 dir.



Şekil 5.1 Üç nesneye sahip bir geometride bölge numaraları

5.6. Öncelik Numarası Atanması

EGS-mg paketi içerisinde bazı bölgeler, hesaplama parametrelerine bağlı olarak (ortam numaraları, kesilme enerjileri gibi) kullanıcının tercih ettiği özel öncelik numaralarına sahiptirler. Bir bölgenin öncelik numarası IPRIOTY değişkeni tarafından belirlenir.

Basitçe bir öncelik numarası negatif sayıları da kapsayan bir tamsayı değeri olabilir. Diğer taraftan bu varsayım, her bir bölgenin öncelik numaraları geometrik objeler için sıralı numaralar çarpan faktörüne göre atanır. Çarpan faktörü \$PRFACT değişkeni tarafından belirlenir.

Her bir nesnede bölgeleri önemli (IMPORTANT) ve tamamlayıcı (COMPLEMENTARY) olarak adlandırılan iki grupta sınıflandırılır. Önemli bölgeler nesnelere oluşturur ve yüksek öncelik numarasına sahip olur. Tamamlayıcı bölgeler ise herhangi bir nesnenin artık uzayını oluşturur. Kullanıcılar geometrinin bu bölümüyle fazla ilgilenmezler. Parçacık transferinin tam

olarak yapılabilmesi için dış uzayında tanımlanması gerekmektedir. Önemli bölgelerde tüm noktaların gerçek (virtual) olması gerekmektedir.

EGS-mg 'de önemli bölgeler pozitif önem numarasına ve tamamlayıcı bölgelerde negatif önem numarasına sahip olmaktadır. Böylece önemli bölgeler tamamlayıcı bölgelerden ayrılırlar.

Önemli ve tamamlayıcı bölgeler EGS-mg veri tabanında tanımlanmaktadır. Bir bölgenin önemli yada tamamlayıcı olmasına bağlı olarak geometri başlangıcı uygulamasında program tarafından her bir bölge özel öncelik numaralarına ayrılır.

5.7. Geometrik Dönüşümler

5.7.1. Nesnenin Çevrilmesi ve Döndürülmesi

Geometri dönüşümü bir nesnenin pozisyonunu ve doğrultusunu değiştirmek için uygulanır. Bu aşağıda belirtildiği şekilde nesne üzerinde çevirmeler veya rotasyonlarla sağlanır.

Kartezyen koordinatlar tarafından belirlenen bir uzayda nesne tanımlansın. Tanımlanan nesnenin orijin noktası $O=\{x,y,z\}$ olsun. Nesneye yapılacak çevirme işlemi her eksen üzerindeki noktaların kaydırılmasıyla $O'=\{x',y',z'\}$ orijin pozisyonunu değiştirir. Böylece eski terimlerle yeni pozisyon aşağıdaki gibi yazılır.

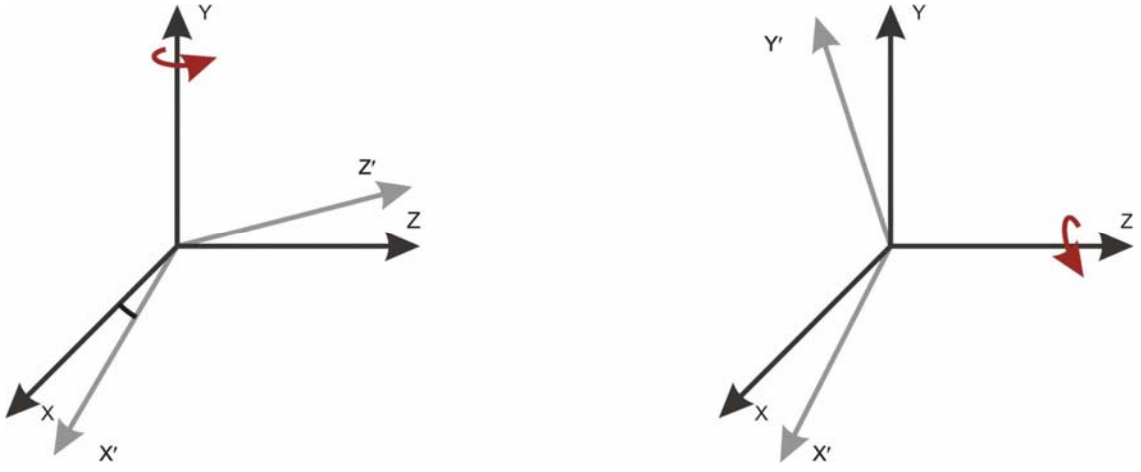
$$\begin{aligned}x' &= x + x_0 \\y' &= y + y_0 \\z' &= z + z_0\end{aligned}$$

Burada x_0, y_0, z_0 değerleri x, y ve z üzerindeki kaydırma mesafeleridir.

Döndürme işlemi nesnenin yönelimini değiştirmek için kullanılır. Bir döndürme işlemi iki aşamada tamamlanır. Birinci aşamada nesne uzayı pozitif Q açısıyla y eksenini çevresinde döndürülür. İkinci aşamada ϕ açısıyla z eksenini etrafında döndürülür.

Böylece geometri dönüşümü 5 değişkene (x_0, y_0, z_0, Q, ϕ) bağlı olarak yapılır. Parçacık transferi süresince her nesnenin pozisyonu ve yönelimi xct, yct, zct, uct, wct değişkenlerinde tanımlanır.

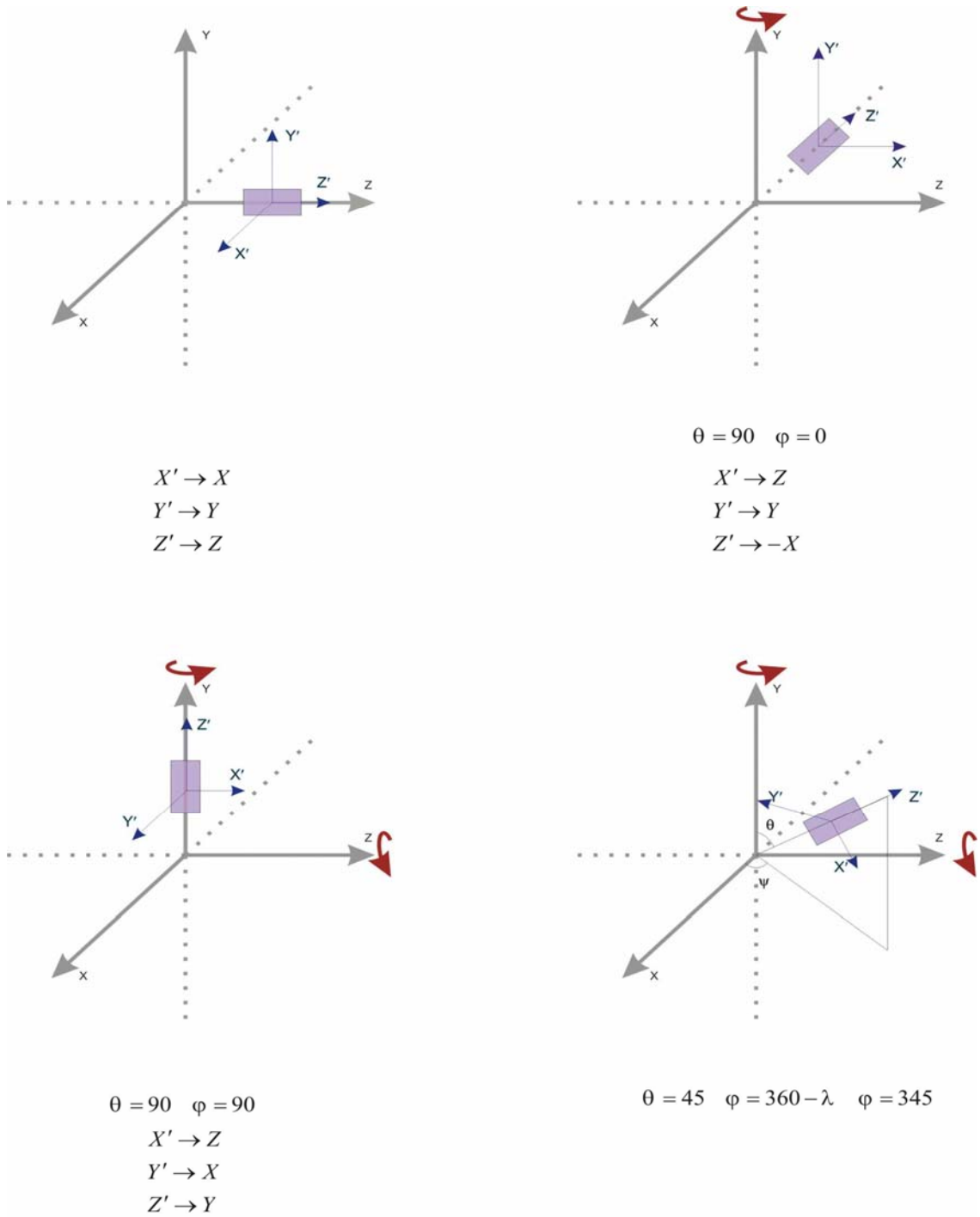
Bir döndürme işlemi, sadece parçacık pozisyonunu değil, hatta EGSnrc kod sistemindeki üç değişken, $u(np), v(np)$ ve $w(np)$ tarafından saptanan parçacık yönünü de değiştirir. Bu nedenle döndürülmüş bir nesne uzayında parçacığın transferi döndürülmüş koordinat sistemine göre en iyi şekilde dönüştürülür.



Şekil 5.2 Kartezyen koordinatlarda bir eksen etrafında döndürme işleminin gösterimi.

5.7.2. Bir Grubun Çevrilmesi ve Döndürülmesi

Nesneler grubunda diğer nesnelere tarafından sahiplenilmiş birçok nesne olabilir. EGS-mg paketinde sahiplenilmeye göre yerleştirilmiş bir alt nesnenin pozisyonu ve doğrultusu kabul edilir. Bunun sonucunda grupta bir sahip nesne hareket ettirildiğinde yada döndürüldüğünde alt nesnelere sahiplerine göre pozisyon ve doğrultuları değişmeyecek şekilde hareket ederler. Bu metod kök nesnenin altındaki tüm nesnelere zinciri için uygulanır.



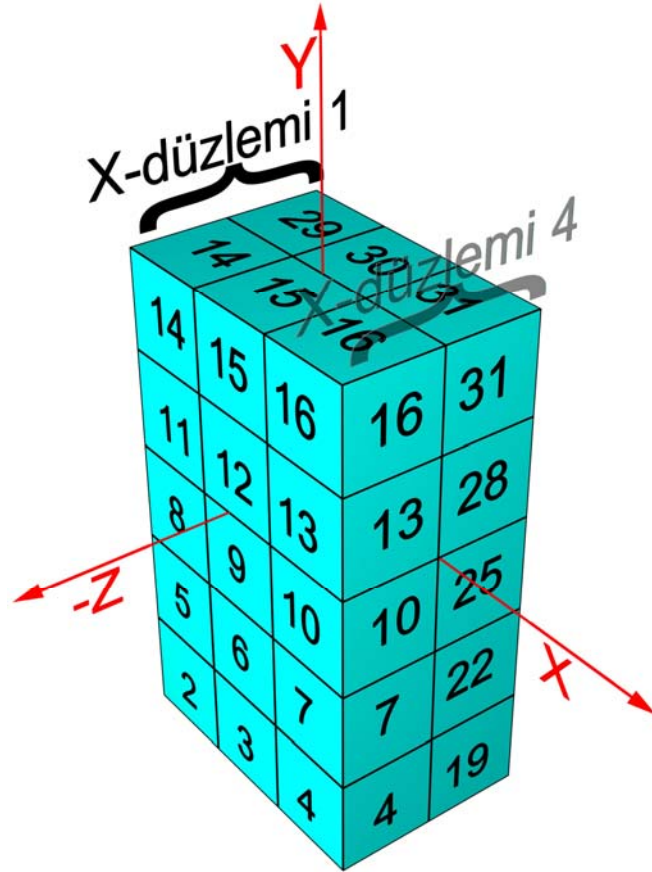
Şekil 5.3 Bir nesnenin döndürülmesi.

5.8. Primitiv Tipleri

EGS-mg paketinde, 3 tip primitiv; küp, silindir ve küre mevcuttur. Bunları kullanarak kesin olarak pek çok karmaşık sistemler modellenebilse de bazı geometriler değişik tipte primitiv kullanımının geometriye iştirak etmesini gerektirmektedir (ör: koni primitivleri veya paralel olmayan düzlem primitivleri vs.). EGS-mg paketinde mevcut olan primitiv tipleri ve özellikleri aşağıda incelenmektedir.

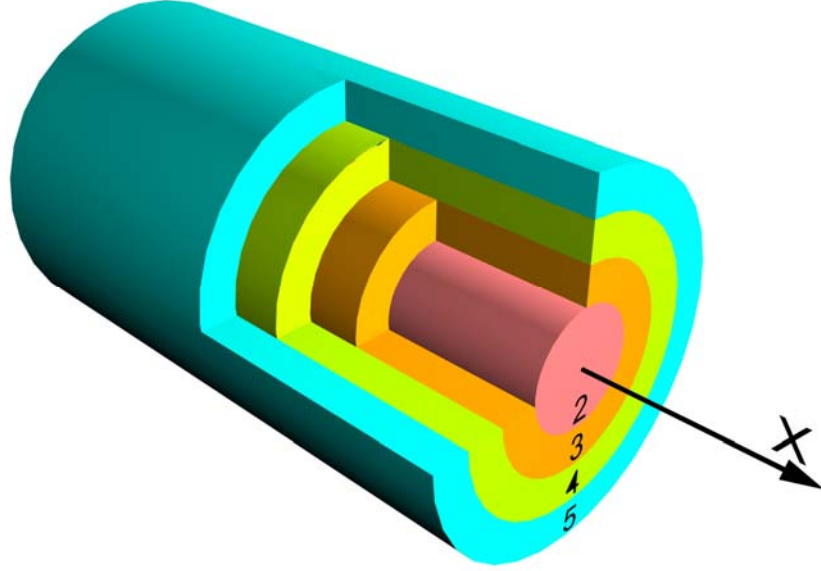
İlk primitiv tipi kübik primitivdir. Bu primitiv küp şeklindeki nesnelere modellemek için kullanılırlar. Paralel düzlemler her eksen üzerine bir tane gelecek şekilde yerleştirilirler. Eksenler isteğe bağlı olarak küp şeklinde primitivler elde etmek için eksenler üzerinde belirlenen noktalara yerleştirilirler. Paralel düzlemlerin sınırladığı hacimler bölgeler olarak adlandırılırlar.

Bir eksen boyunca sıralanan düzlemlerin maksimum numarası aşağıda belirtilen değişkenler tarafından belirlenirler. Bir geometri içerisinde eksenlerdeki düzlem koordinatları XBOUND, YBOUND ve ZBOUND olarak adlandırılan 3 değişken tarafından kayıt edilir.



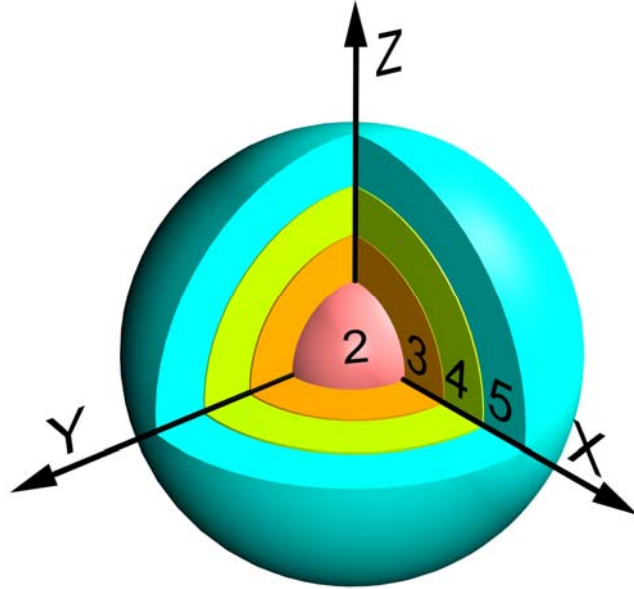
Şekil 5.4 Kübik primitiv

İkinci bir tip primitiv silindir primitivdir. Bu tür primitifler silindir biçimli nesnelerin modellenmesi için kullanılır. Geometri, iç içe geçmiş silindirlere ve bu silindirleri kesen paralel düzlemlere oluşur. Bir geometrideki bütün nesneler için silindir çapları ve z ekseni düzlem koordinatları CYLRADZ ve ZPLANE değişkenleri içerisinde bulunur.



Şekil 5.5 Silindir primitif. Burada z ekseni üzerine yerleştirilmiş 3 paralel düzlem tarafından kesilmiş 4 tane silindirin oluşturduğu primitif görülmektedir.

Üçüncü primitiv tipi küresel şekilli nesnelere modellemek için kullanılır. Aynı orijinli küreler, bir küre primitifi oluştururlar. Böyle bir primitif aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 5.6 Küre primitif, 4 tane küreden oluşmaktadır.

5.9. Kullanıcı Kodları

5.9.1. HOWFAR Alt Döngüsü

EGS kod sisteminde parçacık transferinin geometride doğru bir şekilde gitmesi HOWFAR subroutini tarafından sağlanır. HOWFAR'da program transfer esnasında bölge içerisindeki bir sonraki etkileşim mesafesini kontrol eder. Eğer etkileşimde bir sınır bölgesi değişimi yoksa bir sonraki etkileşim mesafesi USTEP ve yeni bölge numarası IRNEW olduğu gibi kalır. Eğer etkileşimde sınır olursa, etkileşimin olduğu bölge için USTEP ve IRNEW içerisinde bulunan bölgenin sınır mesafeleri ve bölgenin indeks numaraları yerleştirilir.

EGS-mg paketinde parçacık transferi, eş zamanlı olarak bütün nesnelere içerisinde parçacığı transfer etmek için çoklu geometri tekniğini kullanır. Bununla sınırların kontrolü bütün nesnelere için tekrar edilir. Bunun için önemsiz nesnelere sınırları ihmal edilir ve sadece önemli nesnenin sınırları kontrol edilir. Bu yapılırken USTEP ve IRNEW değişkenleri yukarıda tanımlandığı gibi gerek duyulduğunda yeniden değiştirilir.

\$CALCULATE-USTEP-IN-HOWFAR ifadesi HOWFAR subroutini içerisinde bulunur ve bütün nesnelere için nesnenin türüne bakmaksızın hesaplamaları yapar ve geometrinin oluşturulmasını sağlar.

5.9.2. AUSGAB Alt Döngüsü

EGS kod sisteminde AUSGAB subroutini parçacık transferi esnasında meydana gelen olaylarla ilgili bazı değerleri belirlemek için kullanılır. EGS-mg geometri paketi kullanıldığında AUSGAB subroutinin de hiçbir ek ifadeye gerek duyulmaz.

5.9.3. HOWNEAR Alt Döngüsü

EGS kod sisteminde HOWNEAR subroutini, yüklü parçacığın pozisyonundan geometrinin sınır yüzeylerine olan dik uzaklık mesafesini hesaplamakta kullanılır. Özel bir geometri için HOWNEAR subroutinlerini yazmak kullanıcının sorumluluğundadır. Bununla birlikte EGS-mg paketiyle beraber yazılmış olan bir HOWNEAR subroutini dağıtılmaktadır ve EGS kod sisteminde olduğu gibi yararlanılmaktadır.

5.10. EGS-mg Çoklu Geometri Veritabanı

EGS-mg çoklu geometri veri tabanında primitiv tipi, sınır boyutları, ortam numaraları ve öncelik numaraları gibi primitivlerle ilgili tüm bilgiler veritabanı içerisinde depolanmıştır. Bu veritabanında aşağıdaki dosyalar bulunurlar.

collections.mgdat:	Primitivlerin genel özelliklerinin saklandığı dosya.
primitives.mgdat:	Primitivlerin fiziksel özelliklerinin saklandığı dosya.
groups.mgdat:	Tüm gruplar için Id numara zincirlerinin saklandığı dosya.

5.10.1. Koleksiyon dosyaları (collections.mgdat)

Primitivlerin genel özellikleri bu dosyada depolanmıştır. Bu özellikler İkimlik numarası, primitiv ismi, primitiv kopya sayısı, çevirme ve dönme. Dosyanın formatı aşağıdaki gibidir,

Kart 1:

Id_ob	: Primitivin kimlik numarası
slabel_ob	: Primitiv tipi
label_ob	: Primitivin ismi.
idubl_ob	: Sureti çıkartılan primitivin Id numarası. Primitiv suret değilse bu alan 0 olur.
lct_ob	: Geometri dönüşümlerinin uygulanıp uygulanmadığını belirten ilgeç.

Kart 2: (Sadece lct_ob=1 olduğunda gereklidir.)

x_inp	: x ekseninde kaydırma mesafesi.
y_inp	: y ekseninde kaydırma mesafesi
z_inp	: z ekseninde kaydırma mesafesi
t_inp	: y eksen etrafında dönme açısı (derece cinsinden)
p_inp	: z eksen etrafında dönme açısı (derece cinsinden)

Burada primitivin sahipliğine bağlı olarak CARD 2'de belirtilmiş olan eksenler üzerinde kaydırma mesafesi sahibine göre göreceli mesafeler olduğuna dikkat edilmelidir.

5.10.2. Grup Dosyaları (groups.mgdat)

Bölüm 4.3.de belirtildiği gibi, grup bağlantılı primitivlerden oluşan kümedir. Primitiv grupları **groups.mgdat** dosyalarında bildirilmiştir. Primitivlerin kimlik numaralarını birbirlerine bağlanabilmek için kullanılmıştır. ESG-mg veri tabanı tarafından eklenen her primitiv için **groups.mgdat** dosyası içinde bir satır bulunması gerekir. Bu açıdan 2 alanın olması

gerekmektedir. İlk alan primitivin kimlik numarası ve ikinci alan objenin sahip olduğu alt-primitivlerin tam sayısını içermektedir. İkinci alan 0 ise, primitivin alt-primitivi yok demektir. Buna karşın, ikinci alanın pozitif tam sayısı varsa primitivin alt primitivleri olduğu kadar bu alanda girilen sayı ve alt-primitivlerin Id numaraları takip eden satır içinde girilmelidir.

5.10.3. Primitiv Dosyaları (primitives.mgdat)

Bu veri dosyalarında primitivin geometrisi tanımlanmıştır. Aşağıdaki özellikleri bulunur.

- Primitivlerde kullanılan ortam isimleri ve materyal sayıları
- Sınırlar ve bölgelerin ortam numaraları
- Bölgelerin öncelik sayıları

5.10.4. Geometri, Materyal ve Öncelik Girdileri

5.10.4.1. Geometri Girdileri

Bir primitivin fiziksel boyutları geometri girdileri girilerek belirlenir. Her bir tip primitiv için çeşitli girdi kümeleri gereklidir. Bir primitivin tipi PRIMITIVE TYPE ile girilen girdidir. Primitiv tip için 3 seçenek vardır. Bunlar: kübik, silindirik ve küreseldir.

Bir kübik primitiv için, INPUT X, INPUT Y ve INPUT Z girdileri her bir ekseninde üçlü kümeli düzlem tarif etmektedir. Bir silindirik primitiv için, INPUT CYLINDER ve INPUT Z girdileri, silindirlerin yarıçapı ve z-düzlem sayılarını belirlemek için girilmektedir. Bir küresel primitiv için INPUT SPHERE girdisi kürelerin yarıçapını belirlemek için girilmektedir.

Sınırları girmek için iki ayrı yol vardır. Bunlar ya Groups veya Individual seçeneğini seçerek olmaktadır. Eğer Groups seçildiyse, eşit kalınlıktaki levha kümeleri girilebilir. Yapılan tercihe göre, kodun tüm boyutlarıyla cm boyutunda ek girdilere ihtiyacı vardır, şöyle ki:

Eğer primitiv kübik ise;

Only if INPUT X = Groups

X OF FRONT FACE	(R)	# İlk dilimin başlangıcı
NUMBER OF X SLABS (M)		# Gruptaki düzlemsel dilimler
X SLAB THICKNESS (M)		# Gruptaki her bir dilimin kalınlığı

Only if INPUT X = Individual

DEPTH X BOUNDARIES	(M)	# Geometrik x planının koordinatları
--------------------	-----	--------------------------------------

Only if INPUT Y = Groups

Y OF FRONT FACE	(R)	# İlk dilimin başlangıcı
NUMBER OF Y SLABS (M)		# Gruptaki düzlemsel dilimler
Y SLAB THICKNESS (M)		# Gruptaki her bir dilimin kalınlığı

Only if INPUT Y = Individual

DEPTH Y BOUNDARIES (M) # Geometrik y planının koordinatları

Only if INPUT Z = Groups

Z OF FRONT FACE (R) # İlk dilimin başlangıcı

NUMBER OF Z SLABS (M) # Gruptaki düzlemsel dilimler

Z SLAB THICKNESS (M) # Gruptaki her bir dilimin kalınlığı

Only if INPUT Z = Individual

DEPTH Z BOUNDARIES (M) # Geometrik z planının koordinatları

Eğer primitiv tipi silindirik ise;

Only if INPUT CYLINDER = Groups

NUMBER OF CYLINDERS (M) # Gruptaki silindir numarası

RING THICKNESS (M) # Gruptaki silindir kalınlığı

Only if INPUT CYLINDER = Individual

RADII (M) # Geometride belirtilen silindirin yarı çapı

Only if INPUT Z = Group

Z OF FRONT FACE (R) # İlk dilimin başlangıcı

NUMBER OF Z SLABS (M) # Gruptaki düzlemsel dilimler

Z SLAB THICKNESS (M) # Gruptaki her bir dilimin kalınlığı

Only if INPUT Z = Individual

DEPTH Z BOUNDARIES (M) # Geometrik z planının yarıçapı

Eğer primitiv küre ise;

Only if INPUT SPHERE = Group

NUMBER OF SPHERES (M) # Gruptaki küre numarası

SPHERE THICKNESS (M) # Gruptaki her bir kabuğun kalınlığı

Only if INPUT SPHERE = Individual

RADII (M) # Geometride belirtilen kürenin yarıçapı

Bazı durumlarda primitiv, primitivin belirli alanından daha geniş bir geometri içerisinde yer alabilir Böyle bir geometride primitivin dış boyutları geometrinin sınırları dışına taşacaktır. (Bir başka deyişle, işaretlenmiş parçacık primitivin dış sınırına çarpar çarpmaz atılacak ve bu durum parçacık geometri içinde herhangi bir yerde bulunduğu gerçeğe geçecektir.)

EXTEND OUTER DIMENSIONS girdisi program tarafından otomatik olarak primitivin dış sınırlarını genişletmek amacıyla kullanılabilir. Girdiyi ON haline getirmek model olarak denenebilir ve programı, primitivin dış sınırlarını, geometrinin dış sınırlarından öteye hareket ettirmeyi sağlar. Girdiyi OFF hale getirmek primitivin sınırlarını sabitlemektedir.

5.10.4.2. Materyal Girdileri

Her bir geometrik alanın kendisiyle ilişkili bir materyale ihtiyacı vardır. Materyal isimleri "MEDIA" girdisi kullanılarak girilebilir. Materyal ismi PEGS4 veri kümesindekiyle aynı olmalıdır. Her bir ortam için maksimum 24 karaktere izin verilir.

Geometrik alanlar üzerinde materyalin görevi, **DESCRIBE MEDIA BY=** girdisine **Regions** veya **Planes** yazılarak iki şekilde başarılır. Eğer **DESCRIBE MEDIA BY= Regions** seçilirse, kullanıcı alan sayılarını uygun ortama göre doldurarak belirleyebilir. Eğer **DESCRIBE MEDIA BY= Planes** seçilirse, kullanıcı IX, IY, IZ, düzlem numaralarını kübik r bir primitiv için, düzlem (IZ) sayılarını ve küre (IX) sayılarını uygun ortamlara göre silindir bir primitiv için doldurur. **DESCRIBE MEDIA BY=** girdisi küresel bir primitiv için gerekmemektedir.

5.10.4.3. Öncelik Girdileri

Bölgeler öncelik numaralarına göre 2 grupta kategorize edilebilir: important (önemli) ve complementary (tümleyici). Öncelikle tüm bölgelerin tümleyici olduğu kabul edersek ve de kullanıcı bu tümleyici alanlardan önemli birini seçmek isteyecekse bunu sadece öncelik girdisi kullanarak başarabilir.

Önemli bölgeler 2 şekilde **DESCRIBE IMPORTANT REGIONS BY=** komutunu **Regions** veya **Planes**'e getirerek seçilebilir. Eğer **DESCRIBE IMPORTANT REGIONS BY= Regions** ise, kullanıcı önemli olan bölge numaralarını belirleyebilir. **DESCRIBE MEDIA BY= Planes** ise kullanıcı IX, IY, IZ ve düzlem numaralarını rectilinear bir primitiv için, düzlem (IZ) ve silindir (IX) numaralarını önemli sayılan silindir bir primitiv için belirleyebilir. **DESCRIBE IMPORTANT REGIONS=** komutunu küresel bir primitiv kullanmak gereksizdir.

Önemli ve tümleyici alanların tanımlanmasını tamamladığımızda, primitivin tüm bölgeleri önemli veya tümleyici öncelik durumuna göre ya negatif ya da pozitif öncelik sayısı ile ilişkilendirilir. Buna karşın bazı durumlarda, kullanıcının bazı bölgelerin öncelik numarasını değiştirmesi gerekebilir. Bu da **INCREASE OR DECREASE PRIORITIES** komutu ile başarılmaktadır. Bu komutun çok sayıda negatif veya pozitif tam sayının girilmesine ihtiyacı vardır. Girilen değer komutlarla belirlenen bölgelerin o anki öncelik sayısı değerine eklenir.

5.10.5. Primitivlerin Sınıflandırılması

EGS-mg veri bankasında primitivler kullanılışlarına göre 8 sınıfta gruplanmışlardır. Bu sınıflar, genel, kullanıcı tanımlı, kaynak, detektör, zırh, ortam ve diğerleri şeklindedir. Her

primitive ait olduğu grubun dizisi dahilinde bir Id numarası verilmiştir. Her bir sınıf için Id numaraları Tabloda verilmiştir. Bu sınıfların özellikleri aşağıda açıklanacaktır:

Genel: Genel bir primitivi tanımlayan her türlü primitiv. Genel primitivler EGS-mg veri bankasında yer almaz. Onun yerine kullanıcı bu primitivlerin özelliklerini EGSnrc standart input dosyasında kendisi tanımlar.

Kullanıcı Tanımlı: Kullanıcı tarafından kullanıcı veri tabanında tanımlanan her türlü primitiv.

Kaynak (Source): Bir tür radyasyon kaynağının geometrisini belirleyen her türlü primitiv. (Ör: 192-Ir brakiterapi kaynağı veya radyoaktif materyal içeren disk).

Detektör: Herhangi bir radyasyon ölçüm sisteminin geometrisini tanımlayan her türlü primitiv veya bu sınıfta yer aldığı düşünülen detektör. Ör: HPGe detektör geometrisi, İyon Odası veya bu sınıf sınırlarında id numarası verilmiş TLD dozimetresi.

Zırh (Shield): Koruyucu materyali tanımlayan her türlü primitiv veya bu sınıfta yer alan bir kolimatör.

Ortam (Phantom): Bu sınıf içinde yer aldığı düşünülen hayalet ortamı belirleyen her türlü primitiv.

Küme(Set): Sistemin dışından belli nesne kümelerinden oluşan bu sınıf sınırları içerisinde Id numarası verilmiş olan her türlü primitiv.

Diğerleri: Yukarıda bahsedilen hiçbir sınıfa girmeyen bu sınıf sınırları içerisinde yer almış her türlü primitiv.

Tablo 5.1 Sınıflar için Id numarası dizilişleri.

Sınıf	İlk Id Numarası	Son Id Numarası
Genel	1000	1002
Kullanıcı Tanımlı	2000	4000
Kaynak	5000	19999
Detektör	20000	39999
Zırh	40000	59999
Ortam	60000	79999
Küme	80000	89999
Diğerleri	90000	99999

5.10.6. Çoklu Geometri Veri Tabanında Kullanıcının Geometri Oluşturması

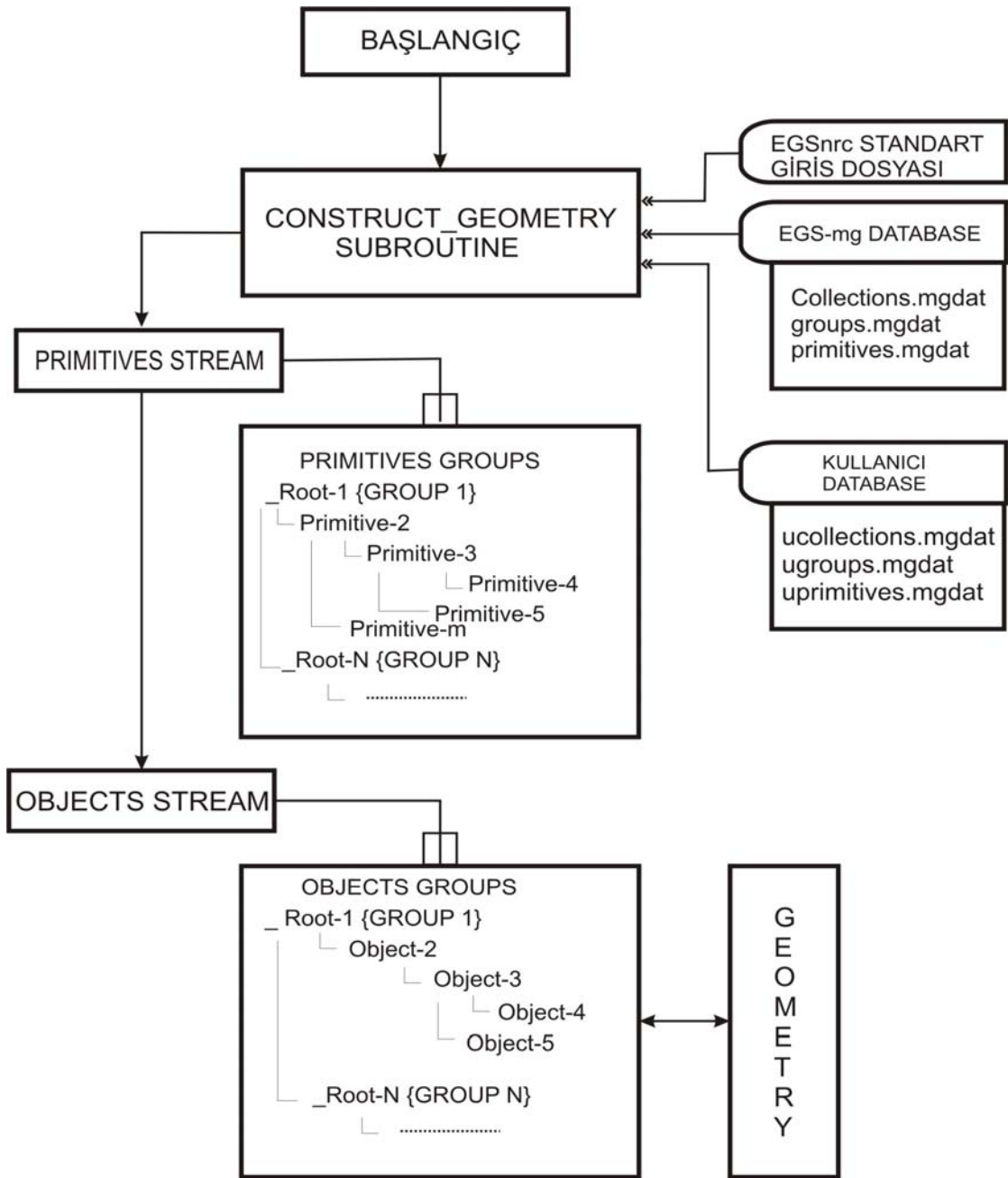
Construct_geometry olarak adlandırılan sub-routine egs standart giriş dosyasında tanımlanmış gerekli tüm bilginin ortaya çıkarılması için kullanılır. **Construct_geometry** sub-routin'inin yapısı Şekilde verilmiştir. EGS standart giriş dosyasında tanımlanan sistemin çoklu geometri bilgisini okuyarak bu sub-routinde aşağıdaki gibi ele alınır:

Öncelikle, program standart EGS giriş dosyasından grup Id numarasını (id_inp) ve bu grubun suret (duplikasyon) sayısını okur (idup_inp). Program, dönecek olan ve uzaya gönderilecek grupların geometri dönüşüm parametrelerini de okur.

İkinci olarak, program hangi primitivlerin o sıradaki gruptan olduğunu **groups.mgdat** dosyasından saptar. Daha sonra bu primitivler hakkındaki genel ve fiziksel bilgiyi özel bir sırada **collections.mgdat** ve **primitives.mgdat** dosyalarından okur ve sonra idup_inp değerini kontrol eder. Eğer bu 1'den büyükse bu şu anki primitiv grubundan türevlenen nesne gruplarının suretinin yapılması istediğimiz anlamına gelir. Sonra da, nesne grupları Idup_inp kez suretlenir. Böylece aynı tipte pek çok nesne (ör: HpGe detektörü, wedge filtresi veya 125-I çekirdek kaynağı gibi) geometriye eklenir.

Program, bu okuma işlemini Id numarası 0'a eşitleninceye dek EGS standart giriş dosyasında tanımlanan tüm primitiv grupları için tekrar eder. Normalde bir grubun veya primitivin 0 Id numarası almasına izin verilmez. Eğer bu EGS standart giriş dosyasında gerçekleşirse bunun dosyada grupların sonu anlamına gelecek şekilde değişik bir anlamı vardır. Daha sonra program sonraki primitivlerin okunup tekrarlanmasını sona erdirir.

En sonunda, tüm primitiv ve nesnelere ayrı akış olarak hafızada toplanırlar.



Şekil 5.7 “construct_geometry” sub-routine’inin yapısı.





















6. EGS-mg VERİ TABANINDA MODELLENEN GEOMETRİ ELEMANLARI

Bu çalışmamızda EGS-mg paketinde kullanılmak üzere radyoterapide kullanılan çeşitli araç ve malzemeleri çoklu geometri yöntemini kullanarak modelledik. Bu çalışmayı yaparken amacımız, medikal fizik ve özellikle radyoterapi alanında kullanılan en temel dedektör, kaynak ve çeşitli zırh malzemelerinin herhangi bir MC hesaplaması için esnek bir kullanım kolaylığı sağlayacak primitivlerin bu veri tabanına yerleştirilmesidir. Bunun için çeşitli detektörler, brakiterapide kullanılan kaynaklar ve bazı zırh malzemelerini seçtik.

Modellemede üretici firmalar tarafından sunulan geometrik bilgilere ve yapı malzemelerine bağlı kalınmıştır. Bu MC hesaplamalarında büyük önem taşımaktadır.

Aşağıda her bir geometride kullanılan ortam materyallerine ait element ve bileşenler için renk kodları tablo 6.1 de verilmiştir. Yapılan modellemeler ve özellikleri de ID numarası sırasına göre verilmiştir. Bu bölümde EGS-mg veritabanına eklenen her bir primitiv için tanımlama bilgileri, primitivin ölçekli gerçek şekli, primitivin modelleme şekli ve primitivin veri tabanında bulunan yazılım bilgileri bulunmaktadır.

Tablo 6.1 Tüm geometrilerde kullanılan element ve bileşenler için renk kodları tablosu.

RENK	ELEMENT	SEMBOL	256 RENK KODU	RENK KODU (HEX)		
				RED	GREEN	BLUE
	VACUUM	-	-	0	0	0
	TITANIUM	Ti	97.111.133	61	6F	85
	SILVER	Ag	150.149.178	96	95	94
	PALLADIUM	PI	239.155.160	EF	9B	A0
	GOLD	Au	255.245.0	FF	F5	0
	ALUMINUM	Al	150.174.190	96	AE	BE
	TUNGSTEN	W	68.146.132	44	92	84
	CUPPER	Cu	231.120.23	E7	78	17
	CERAMIC	-	194.193.193	C2	C1	C1
	WATER	H ₂ O	0.147.221	0	93	DD
	LEAD	Pb	77.73.72	4D	49	48
	IRON	Fe	218.37.29	DA	25	1D
	RESIN	-	183.79.143	B7	4F	8F
	PLATINUM	Pt	123.196.160	7B	C4	A0
	IRIDIUM	Ir	242.197.180	F2	C5	B4
	STEEL	-	192.160.174	C0	A0	AE
	MATRİX	-	187.130.91	BB	82	5B
	BERYLLIUM	Be	95-58-116	5F	3A	74
	GERMANIUM	Ge	248-195-0	F8	C3	0
	PLASTIC	-	59-179-194	3B	B3	C2

6.1. Dedektör [4010]

4010 kodu ile Canberra firmasının ürettiği N tipi ters elektrot germanyum (ReGe) radyasyon dedektörü modellenmiştir (Hurtado at al, 2004).

:Start DETECTOR_CANBERRA_ADC_8701:

#ID=[4010]

Primitive Type = cylinder

Input cylinder = individual

Radii = 0.05,0.27,0.32,0.325,50.0

Input z =individual

Depth Z boundaries = -50.0,-0.33,-0.325,-0.275,0.135,0.275,0.325,0.33,50.0

Extend outer dimensions = on

MEDIA =GE,BE

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By =regions

Media Numbers = 1, 1,2,2, 2, 2, 2, 2, 2

For media start region = 6,13,3,8,11,16,19,24,27

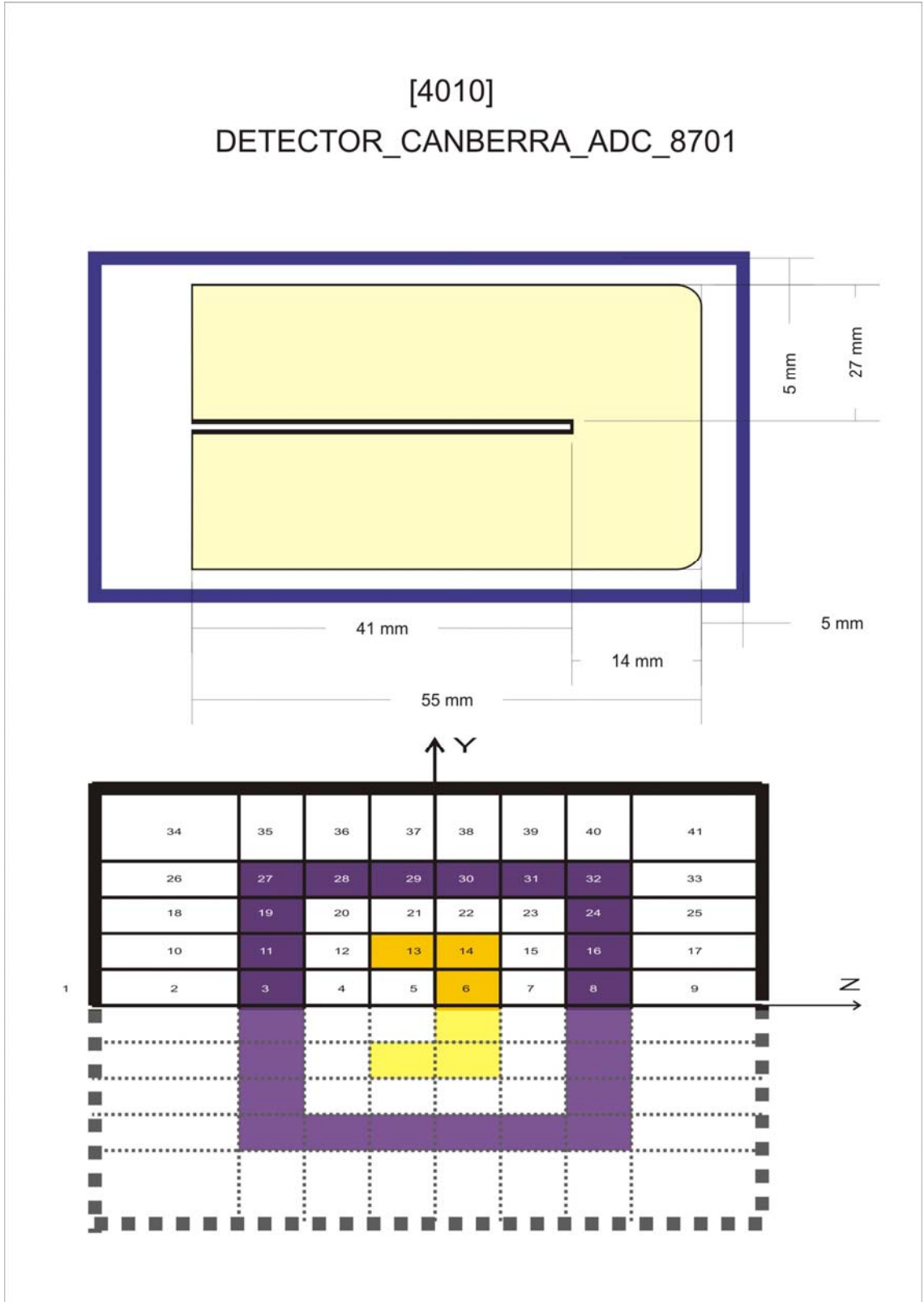
For media stop region = 6,14,3,8,11,16,19,24,32

Describe Important Regions By = regions

For important start region = 3,11,19,27

For important stop region = 8,16,24,32

:Stop DETECTOR_CANBERRA_ADC_8701:



Şekil 6.1. Üstte CANBERRA_ADC_8701 dedektör şeması, altta modellenen geometri şekli.

6.2. Dedektör [4020]

4020 kodu ile EG&E Ortec firmasının ürettiği HPGe kuyu tipi radyasyon dedektörü modellenmiştir (Hernandez at al, 2003).

:Start DETECTOR_HPGE_WELL_TYPE:

#ID=[4020]

Primitive Type = cylinder

Input cylinder = individual

Radii = 1.9,2.3,2.9,4.7,9.95,11.4,13.15,14.25,50.0

Input z = individual

Depth Z boundaries = -50.0,-20.55,-19.75,-19.75,-7.35,-6.95,-4.85,1.95,3.25,5.45,12.95,15.15,50.0

Extend outer dimensions = on

MEDIA = PLASTIC,GE,AL

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = region

Media Numbers = 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3

For media start region =6,15,27,39,51,63,75,87,8,20,32,41,53,6,15,27,39,51,63,75,87

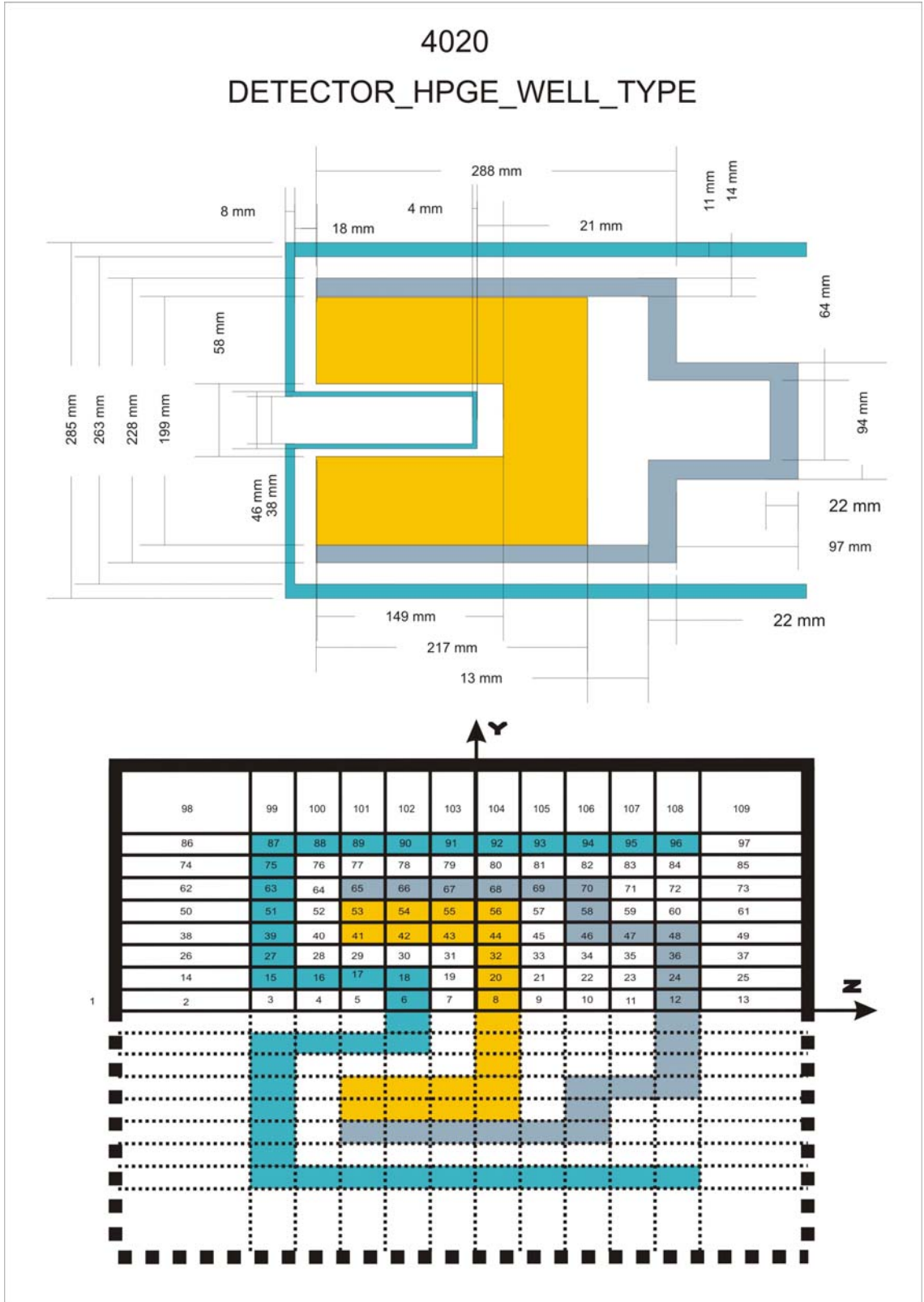
For media stop region =6,18,27,39,51,63,75,96,8,20,32,44,56,6,18,27,39,51,63,75,96

Describe Important Regions By = region

For important start region = 6, 15, 27, 39,51,63,75,87

For important stop region = 12,24,36, 48,60,72,84,96

:Stop DETECTOR_HPGE_WELL_TYPE:



Şekil 6.2. Üstte HPGE_WELL_TYPE dedektör şeması, altta modellenen geometri şekli.

6.3. Seed [5010]

Modellediğimiz brakitrapı kaynağı Amersham firması tarafından üretilmiş olup, OncoSeed 6711 olarak adlandırılmaktadır. Boyu 4.5 mm ve çapı 0.8 mm dir. Titanyum kapsül içerisine gümüş işaretleyicinin üzerine I-125 absorbe edilmesiyle oluşturulmuştur. I-125'in yarı ömrü 59.43 gündür. Kaynağın maksimum aktivitesi 1 mCi ve minimum aktivitesi 0.1 mCi'dir. Seed tarafından 27.4 ile 31.4 KeV x ışını ve 35.5 gama radyasyonu yayınlanır (Ahmad at al, 1992).

:Start I125_BRCHY_ONCOSEED_6711:

#ID=[5010]

Primitive Type = cylinder

Input cylinder = individual

Radii = 0.025,0.034,0.04,3.0

Input z = individual

Depth Z boundaries = -3.0,-0.225,-0.175,-0.15,0.15,0.175,0.225,3.0

Extend outer dimensions = on

MEDIA =TI,AG

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By =region

Media Numbers = 1, 1, 1, 1, 1, 2

For media start region = 3,7,10,14,17,5

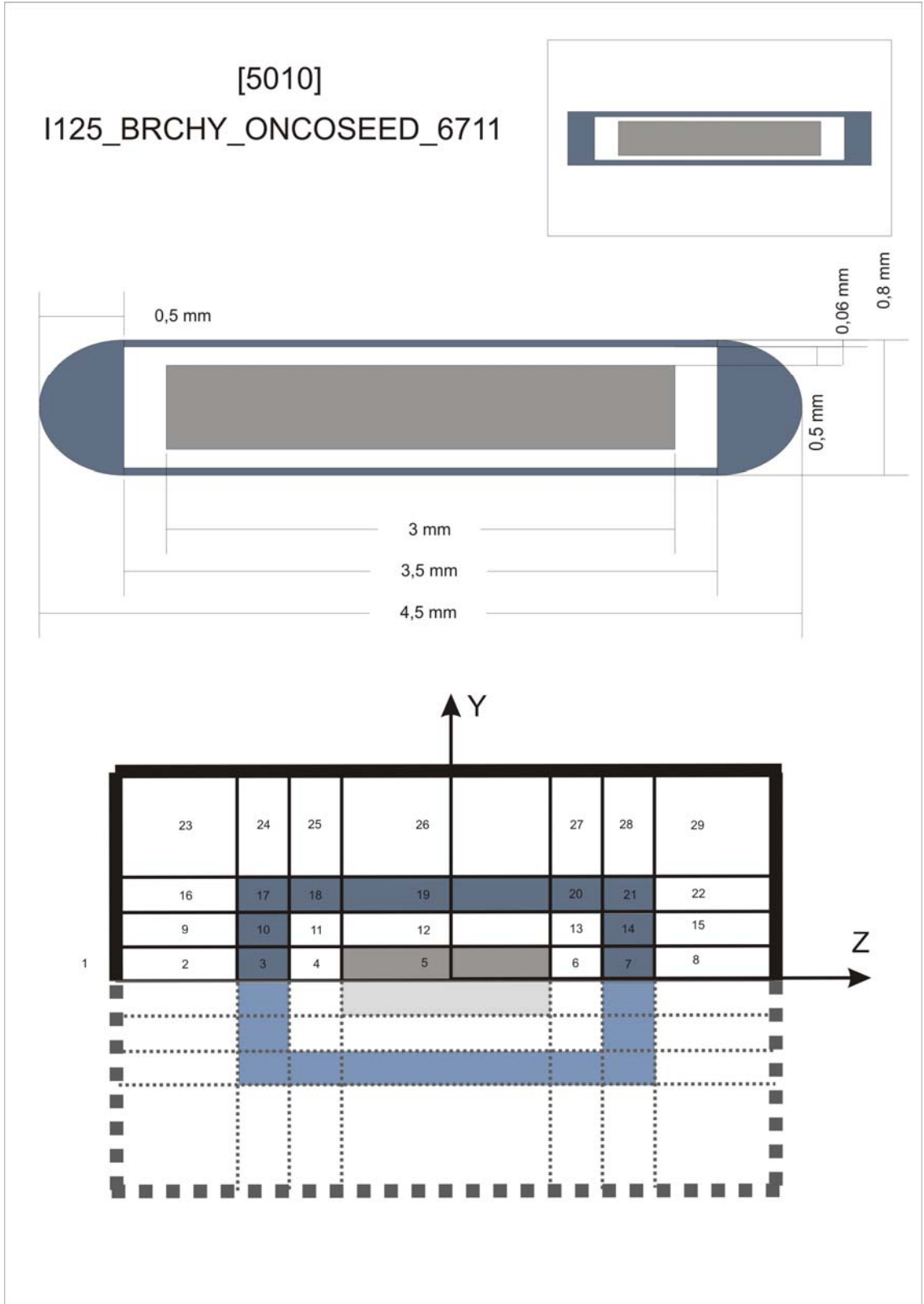
For media stop region = 3,7,10,14,21,5

Describe Important Regions By = region

For important start region = 3,10,17

For important stop region = 7,14,21

:Stop I125_BRCHY_ONCOSEED_6711:



Şekil 6.3. Üstte I125_BRCHY_ONCOSEED_6711 kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli.

6.4. Seed [5020]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı Syncor firması tarafından üretilmiş olup, PharmaSeed BT-125-I olarak adlandırılmaktadır. Boyu 4.5 mm ve çapı 0.8 mm dir. Titanyum kapsül içerisine paladyum işaretleyicinin üzerine I-125 absorbe edilmesiyle oluşturulmuştur. I-125'in yarı ömrü 59.43 gündür. Kaynağın maksimum gücü 0.634 mCi ve minimum gücü 0.28 mCi'dir (Popescu at al, 2000)

:Start I125_BRCHY_PHARMASEED_BT125I:

#ID=[5020]

Primitive Type =cylinder

Input cylinder =individual

Radii =0.025,0.034,0.04,3.0

Input z = individual

Depth Z boundaries = -3.0,-0.225,-0.175,-0.1625,0.1625,0.175,0.225,3.0

Extend outer dimensions = on

MEDIA = TI,AG

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = regions

Media Numbers = 1,1, 1, 1, 1,2

For media start region = 3,7,10,14,17,5

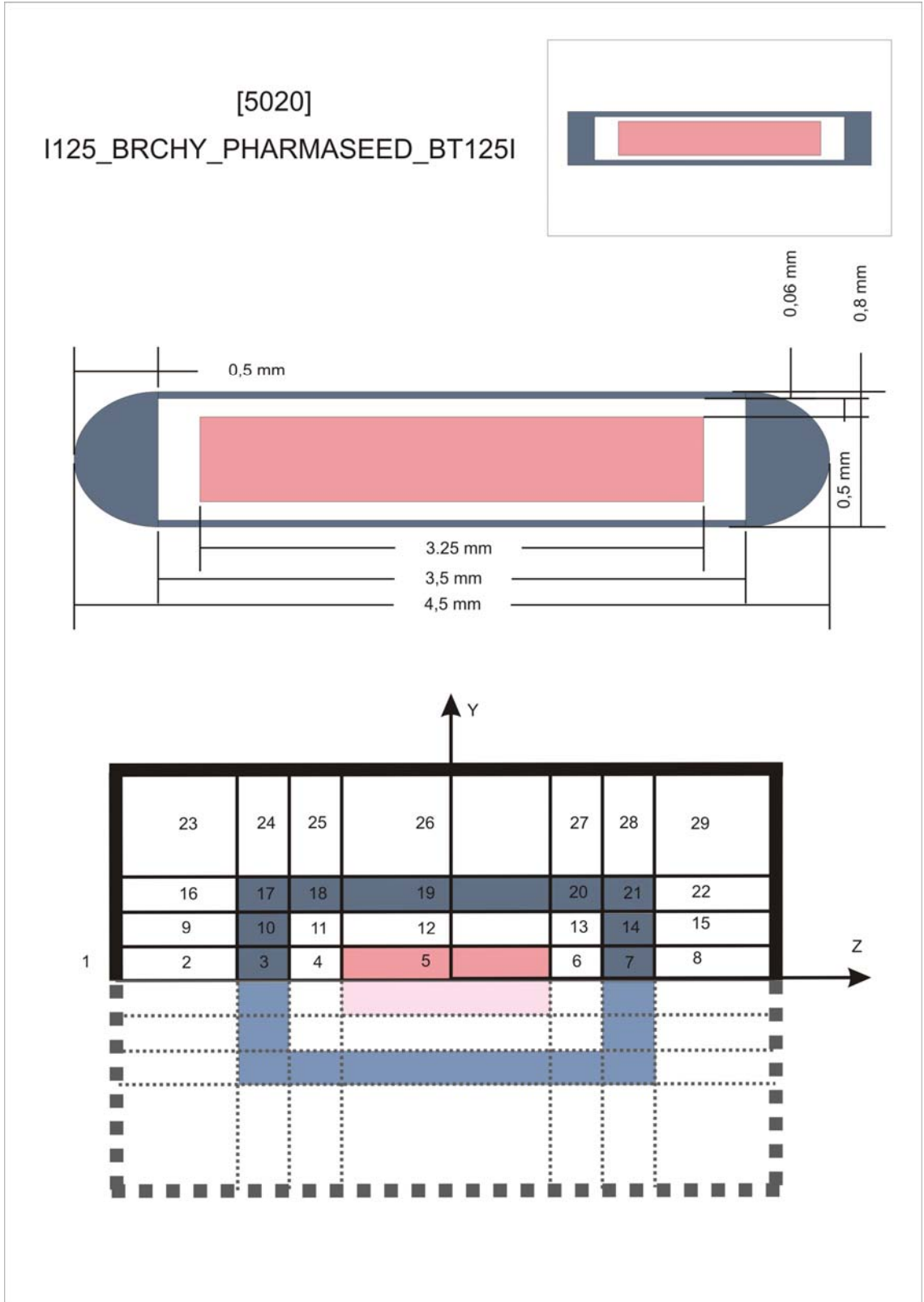
For media stop region = 3,7,10,14,21,5

Describe Important Regions By = regions

For important start region = 3,10,17

For important stop region = 7,14,21

:Stop I125_BRCHY_PHARMASEED_BT125I:



Şekil 6.4. Üstte I125_BRCHY_PHARMASEED_BT125I kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli.

6.5. Seed [5030]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı Bebig firması tarafından üretilmiş olup, Symmetra-125.S06 olarak adlandırılmaktadır. Boyu 4.5 mm ve çapı 0.8 mm dir. Titanyum kapsül içerisine altın işaretleyici ve seramik üzerine I-125 absorbe edilmesiyle oluşturulmuştur. I-125'in yarı ömrü 59.43 gündür. Kaynağın maksimum gücü 0.634 mCi ve minimum gücü 0.203 mCi'dir (Hedtjörn at al, 2000)

:Start I125_BRCHY_SYMMETRA_125.S06:

#ID=[5030]

Primitive Type = cylinder

Input cylinder = individual

Radii = 0.0085,0.03,0.035,0.04,3.0

Input z = individual

Depth Z boundaries = -3.0,-0.228,-0.184,-0.175,0.175,0.184,0.228,3.0

Extend outer dimensions = on

MEDIA = TI,AU,CERAMIC

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = regions

Media Numbers = 1,1,1,1,1,1,1,2,3

For media start region = 3,7,10,14,17,21,24,5,12

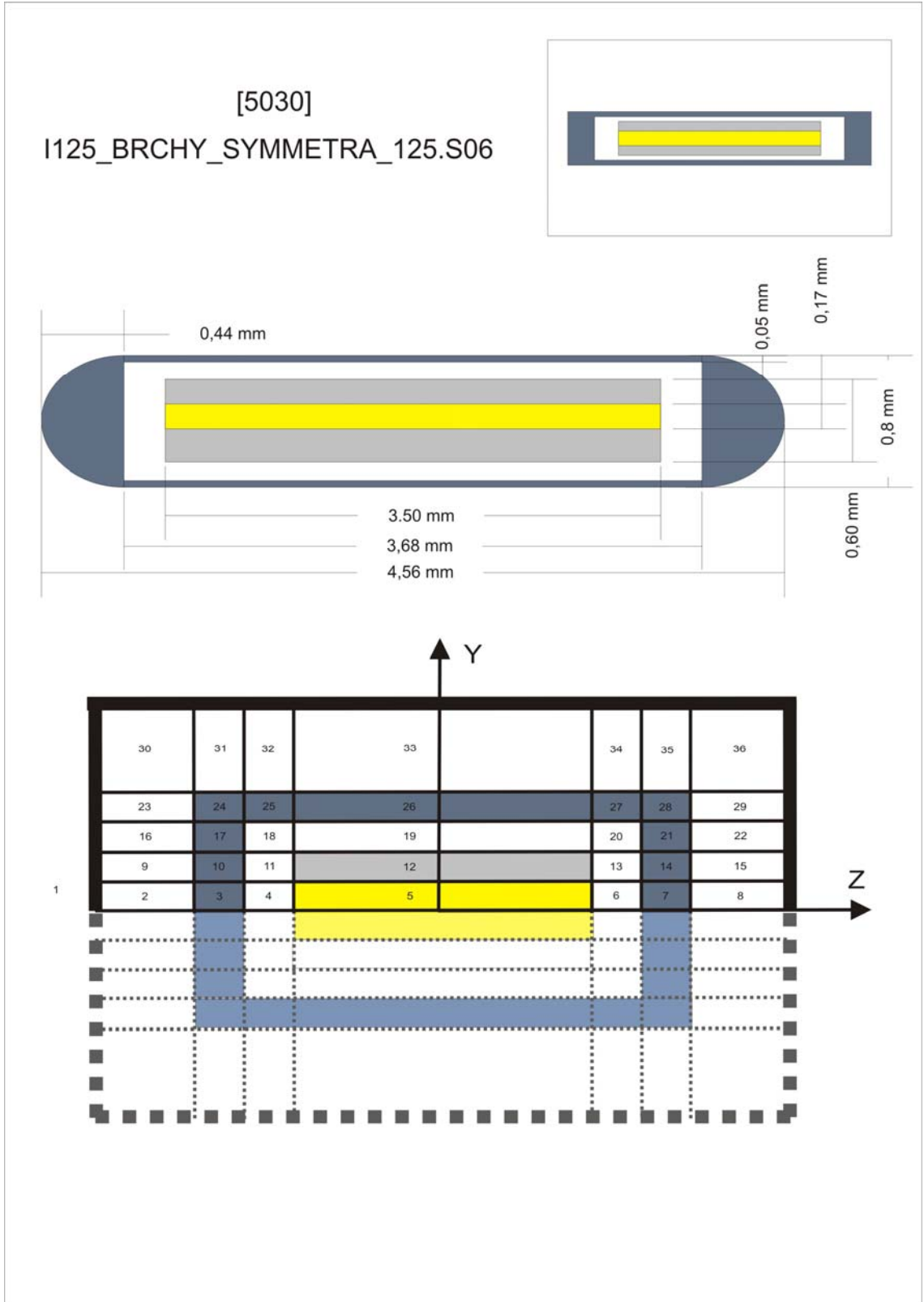
For media stop region = 3,7,10,14,17,21,28,5,12

Describe Important Regions By = regions

For important start region = 3,10,17,24

For important stop region = 7,14,21,28

:Stop I125_BRCHY_SYMMETRA_125.S06:



Şekil 6.5. Üstte I125_BRCHY_SYMMETRA_125.S06 kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli.

6.6. Seed [5040]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı Source Tech Medical firması tarafından üretilmiş olup, 125Implant BrachySource olarak adlandırılmaktadır. Boyu 4.55 mm ve çapı 0.81 mm dir. Titanyum kapsül içerisine altın çekirdekli etrafı alüminyumla çevrili işaretleyiciden oluşmaktadır. Alüminyum çevresine ince bir bakır çevrilidir ve I125 bakıra absorbe edilmiştir. I-125'in yarı ömrü 59.43 gündür. Kaynağın maksimum gücü 0.995 mCi ve minimum gücü 0.18 mCi'dir (Heintz at al, 2001).

:Start I125_BRCHY_125IMPLANT_STM125I:

#ID=[5040]

Primitive Type = cylinder

Input cylinder = individual

Radii = 0.01805,0.0255,0.032,0.04,3.0

Input z = individual

Depth Z boundaries = -3.0,-0.275,-0.2145,-0.1905,0.1905,0.2145,0.275,3.0

Extend outer dimensions = on

MEDIA = TI,AU,AL

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = regions

Media Numbers = 1,1,1,1,1,1,1,2,3

For media start region = 3,7,10,14,17,21,24,5,12

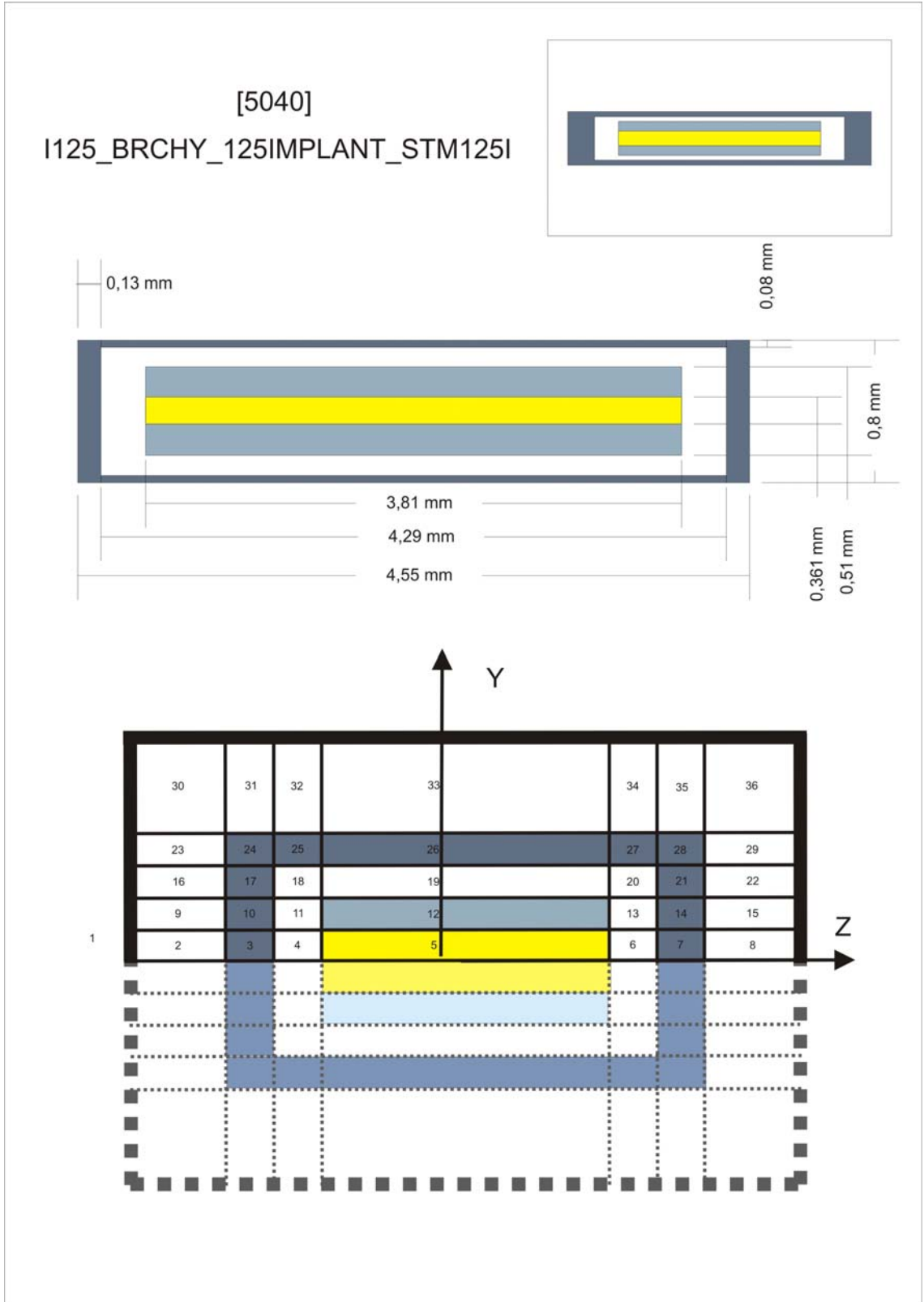
For media stop region = 3,7,10,14,17,21,28,5,12

Describe Important Regions By = regions

For important start region = 3,10,17,24

For important stop region = 7,14,21,28

:Stop I125_BRCHY_125IMPLANT_STM125I:



Şekil 6.6. Üstte I125_BRCHY_125IMPLANT_STM125I kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli.

6.7. Seed [5050]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı Implant Sciences firması tarafından üretilmiş olup, I-Plant Model 3500 olarak adlandırılmaktadır. Boyu 4.5 mm ve çapı 0.8 mm dir. Titanyum kapsül içerisine seramik silindir ve içerisinde gümüş işaretleyiciden oluşmaktadır. I125 seramik içerisine aşılantmıştır. I-125'in yarı ömrü 59.43 gündür. Kaynağın maksimum gücü 0.6 mCi ve minimum gücü 0.2 mCi'dir (Duggan at al 2001).

:Start I125_BRCHY_IPLANT_MODEL_3500:

#ID=[5050]

Primitive Type = cylinder

Input cylinder = individual

Radii = 0.005375,0.01075,0.016125,0.0215,0.035,0.04,3.0

Input z =individual

Depth Z boundaries =-3.0,-0.225,-0.2,-0.18334,-0.16668,-0.15002,0.15002,0.16668,0.18334,0.2,0.225,3.0

Extend outer dimensions = on

MEDIA = TI,AG,CERAMIC

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = regions

Media Numbers = 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,2,2,2,3

For media start region= 3,11,14,22,25,33,36,44,47,55,58,4,16,28,40,48

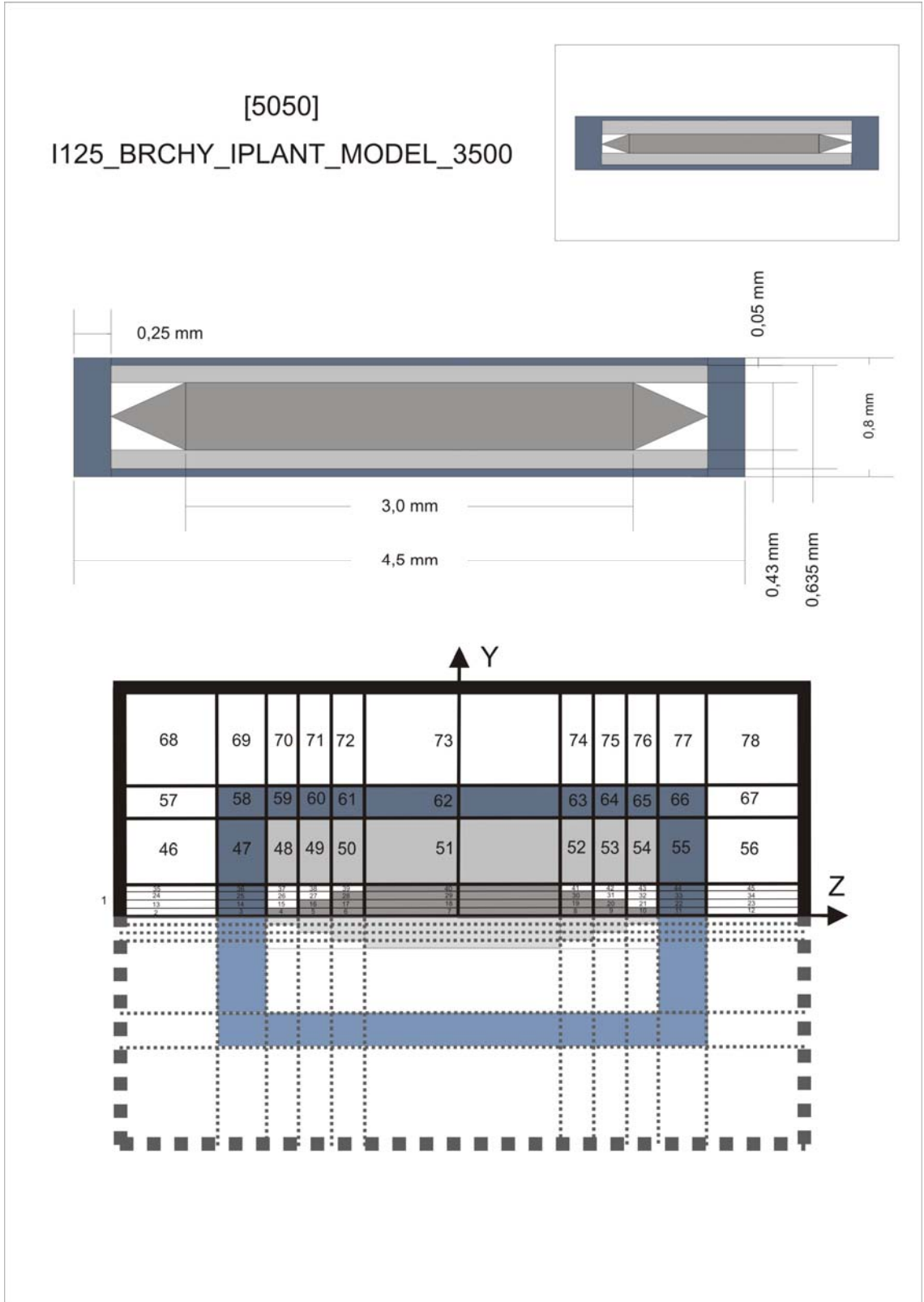
For media stop region = 3,11,14,22,25,33,36,44,47,55,66,10,20,30,40,54

Describe Important Regions By = regions

For important start region = 3,14,25,36,47,58,

For important stop region = 11,22,33,44,55,66

:Stop I125_BRCHY_IPLANT_MODEL_3500:



Şekil 6.7. Üstte I125_BRCHY_IPLANT_MODEL_3500 kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli.

6.8. Seed [5060]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı Best Medical International firması tarafından üretilmiş olup, Model 2301 adlandırılmaktadır. Boyu 4.95 mm ve çapı 0.8 mm dir. Titanyum kapsül içerisine tungsten işaretleyici ve 0.1 mm kalınlığında I125 absorbe edilmiş organik matrixten oluşmaktadır. Kaynağın maksimum gücü 1.0 mCi ve minimum gücü 0.2 mCi'dir. (Heintz at al, 2001)

:Start I125_BRCHY_MODEL_2301:

#ID=[5060]

Primitive Type = cylinder

Input cylinder = individual

Radii = 0.0025,0.0125,0.032,0.036,0.04,3.0

Input z =individual

Depth Z boundaries = -3.0,-0.228,-0.184,-0.175,0.175,0.184,0.228,3.0

Extend outer dimensions = on

MEDIA =TI,W,MATRIX

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = regions

Media Numbers = 1,1,1,1,1,1,1,1,2,3

For media start region = 3,9,12,18,21,27,30,39,5,14

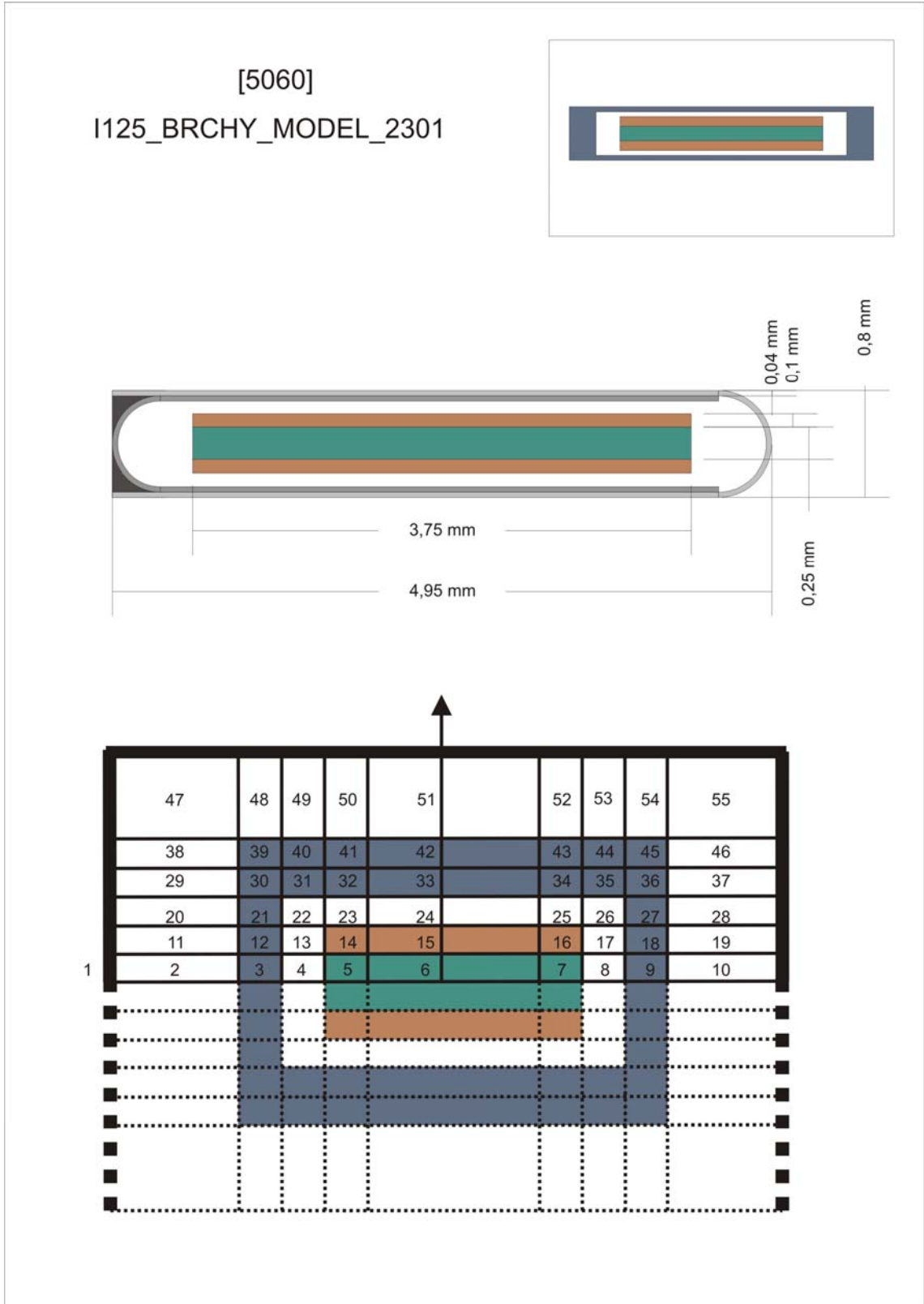
For media stop region = 3,9,12,18,21,27,36,45,7,16

Describe Important Regions By = regions

For important start region = 3,12,21,30,39

For important stop region = 9,18,27,36,45

:Stop I125_BRCHY_MODEL_2301:



Şekil 6.8. Üstte I125_BRCHY_MODEL_2301 kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli.

6.9. Seed [5070]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı Amersham firması tarafından üretilmiş olup, 6702 Model olarak adlandırılmaktadır. Boyu 4.5 mm ve çapı 0.8 mm dir. Titanyum kapsül içerisine yerleştirilmiş ve I125 absorbe edilmiş reçine kürelerden oluşmaktadır. Kaynağın maksimum gücü 40 mCi ve minimum gücü 5 mCi'dir (Williamson at al, 1999)

Kaynak modellenirken 2 farklı primitif kullanılmıştır. Bunlardan ilki silindirik primitiftir ve ikincisi küresel primitiftir.

Primitif 1 :

:Start I125_BRCHY_6702:
#ID=[5070]

Primitive Type = cylinder
Input cylinder = individual
Radii = 0.034,0.04,3.0

Input z = individual
Depth Z boundaries = -3.0,-0.225,-0.175,0.175,0.225,3.0

Extend outer dimensions = on
MEDIA = TI
Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = regions
Media Numbers = 1,1,1
For media start region = 3,5,8
For media stop region = 3,5,10

Describe Important Regions By = regions
For important start region = 3,8
For important stop region = 5,10

:Stop I125_BRCHY_6702:

Primitif 2:

:Start I125_BRCHY_6702_S1:
#[5071]

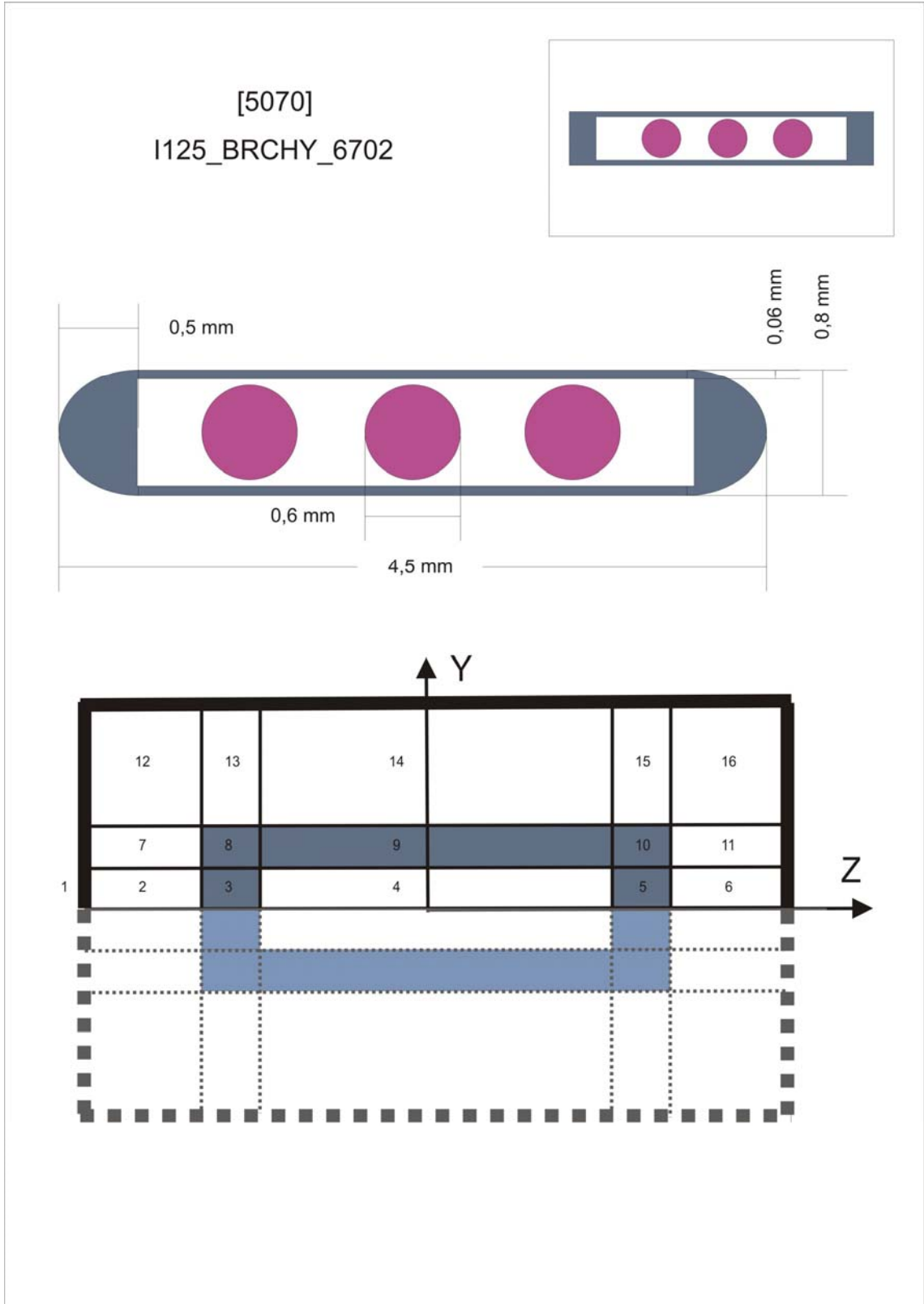
Primitive type = sphere
Input sphere = individual
Radii = 0.03, 1.0

Extend outhur dimension = on
Media = RESIN
Set medium everywhere = 0

Media numbers = 1
Media start region = 2
Media stop region = 2

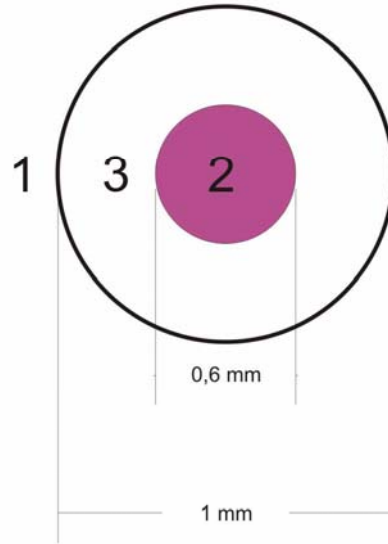
Important start region = 2
Important stop region = 2

:Stop I125_BRCHY_6702_S1:



Şekil 6.9.a. Üstte I125_BRCHY_6702 kaynak şeması, altta modellenen geometri şekli.

[5071]
I125_BRCHY_6702



Şekil 6.9.b. I125_BRCHY_6702 kaynak için ikinci primitiv şekli.

6.10. Seed [5080]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı Mills Biopharmaceuticals (A UroCor Company) firması tarafından üretilmiş olup, ProstaSeed I125-SL olarak adlandırılmaktadır. Boyu 4.5 mm ve çapı 0.8 mm dir. Titanyum kapsül içerisine yerleştirilmiş ve I125 absorbe edilmiş 5 gümüş işaretleyici küreden oluşmaktadır. Kaynağın maksimum gücü 0.97 mCi ve minimum gücü 0.28 mCi'dir (Wallace, 2000)

Kaynak modellenirken 2 farklı primitif kullanılmıştır. Bunlardan ilki silindirik primitiftir ve ikincisi küresel primitiftir.

Primitif 1 :

:Start I125_PROTASEED_I125_SL:
#ID=[5080]

Primitive Type = cylinder
Input cylinder = individual
Radii = 0.035,0.04,3.0

Input z = individual
Dept Z boundaries = -3.0,-0.225,-0.185,0.185,0.225,3.0

Extend outer dimensions = on
MEDIA = TI
Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = regions
Media Numbers = 1,1,1
For media start region = 3,5,8
For media stop region = 3,5,10

Describe Important Regions By = regions
For important start region = 3,8
For important stop region = 5,10
:Stop I125_PROTASEED_I125_SL:

Primitif 2:

:Start I125_BRCHY_PROTASEED_I125_SL:
#[5081]

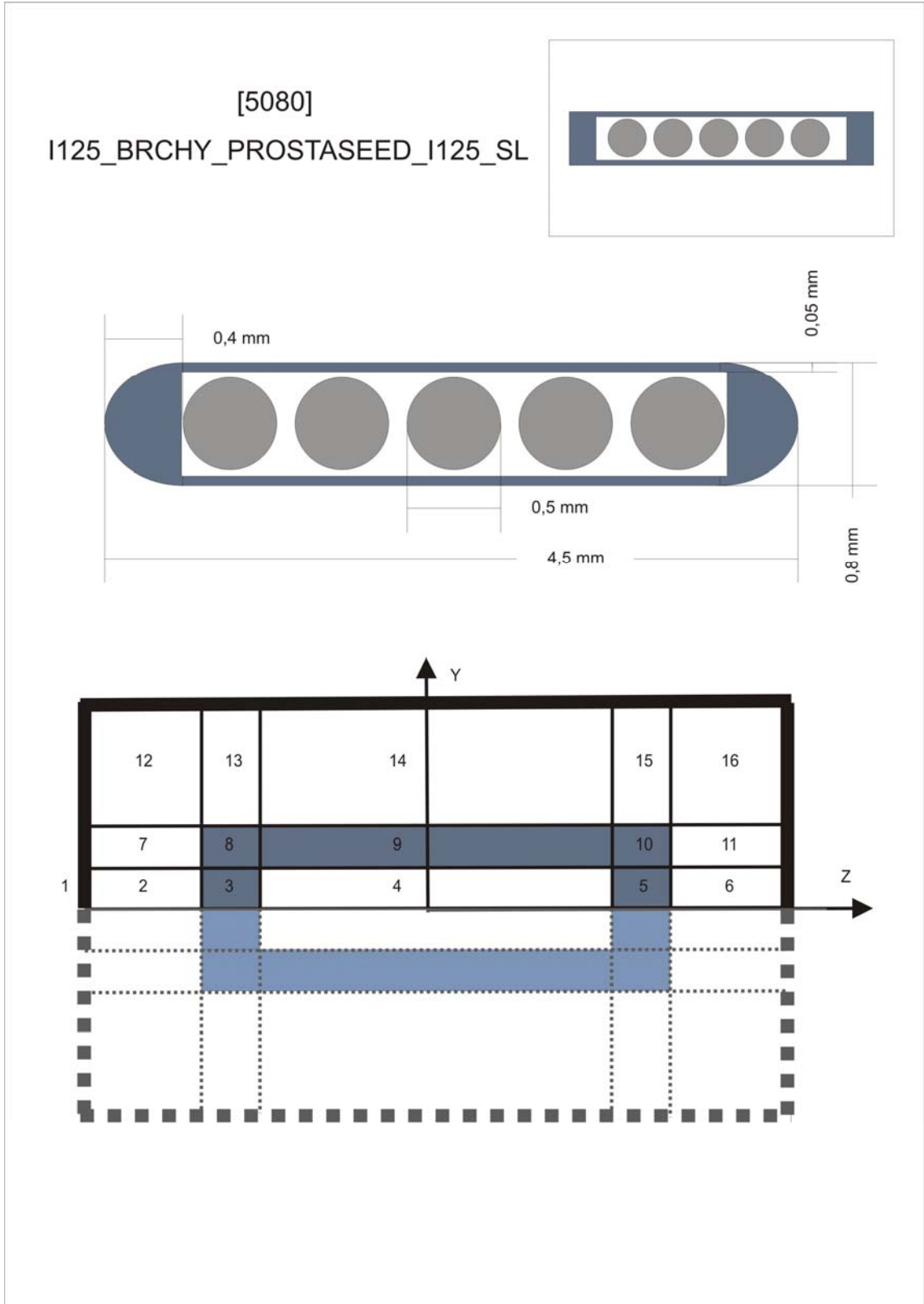
Primitive type = sphere
Input sphere = individual
Radii = 0.025, 1.0

Eextend outhur dimension = on
Media = RESIN
Set medium everywhere = 0

Media numbers = 1
Media start region = 2
Media stop region = 2

Important start region = 2
Important stop region = 2

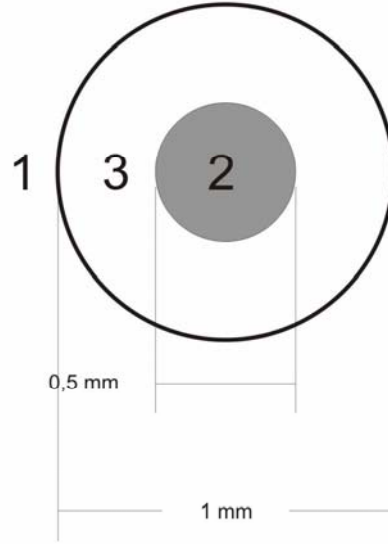
:Stop I125_BRCHY_PROSTASEED_I125_SL:



Şekil 6.10.a. Üstte I125_PROTASEED_I125_SL kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli.

[5081]

I125_BRCHY_PROSTASEED_I125_SL



Şekil 6.10.b. I125_PROSTASEED_I125_SL kaynak için ikinci primitiv şekli.

6.11. Seed [5090]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı International Isotope Inc. firması tarafından üretilmiş olup, IsoSTAR 12501 olarak adlandırılmaktadır. Boyu 4.5 mm ve çapı 0.8 mm dir. Titanyum kapsül içerisine yerleştirilmiş ve I125 absorbe edilmiş 5 gümüş işaretleyici küreden oluşmaktadır. Kaynağın maksimum gücü 1 mCi ve minimum gücü 0.1 mCi'dir (Heintz at al, 2001).

Kaynak modellenirken 2 farklı primitif kullanılmıştır. Bunlardan ilki silindirik primitiftir ve ikincisi küresel primitiftir.

Primitif 1:

```
:Start I125_ISOSTAR_12501:
#ID=[5090]
```

```
Primitive Type = cylinder
Input cylinder = individual
Radii = 0.035,0.04,3.0
```

```
Input z = individual
Dept Z boundaries = -3.0,-0.225,-0.175,0.175,0.225,3.0
```

```
Extend outer dimensions = on
MEDIA = TI
Set Medium Everywhere = 0
```

```
Describe Media By = regions
Media Numbers = 1,1,1
For media start region = 3,5,8
For media stop region = 3,5,10
```

```
Describe Important Regions By = regions
For important start region = 3,8
For important stop region = 5,10
:Stop I125_ISOSTAR_12501:
```

Primitif 2:

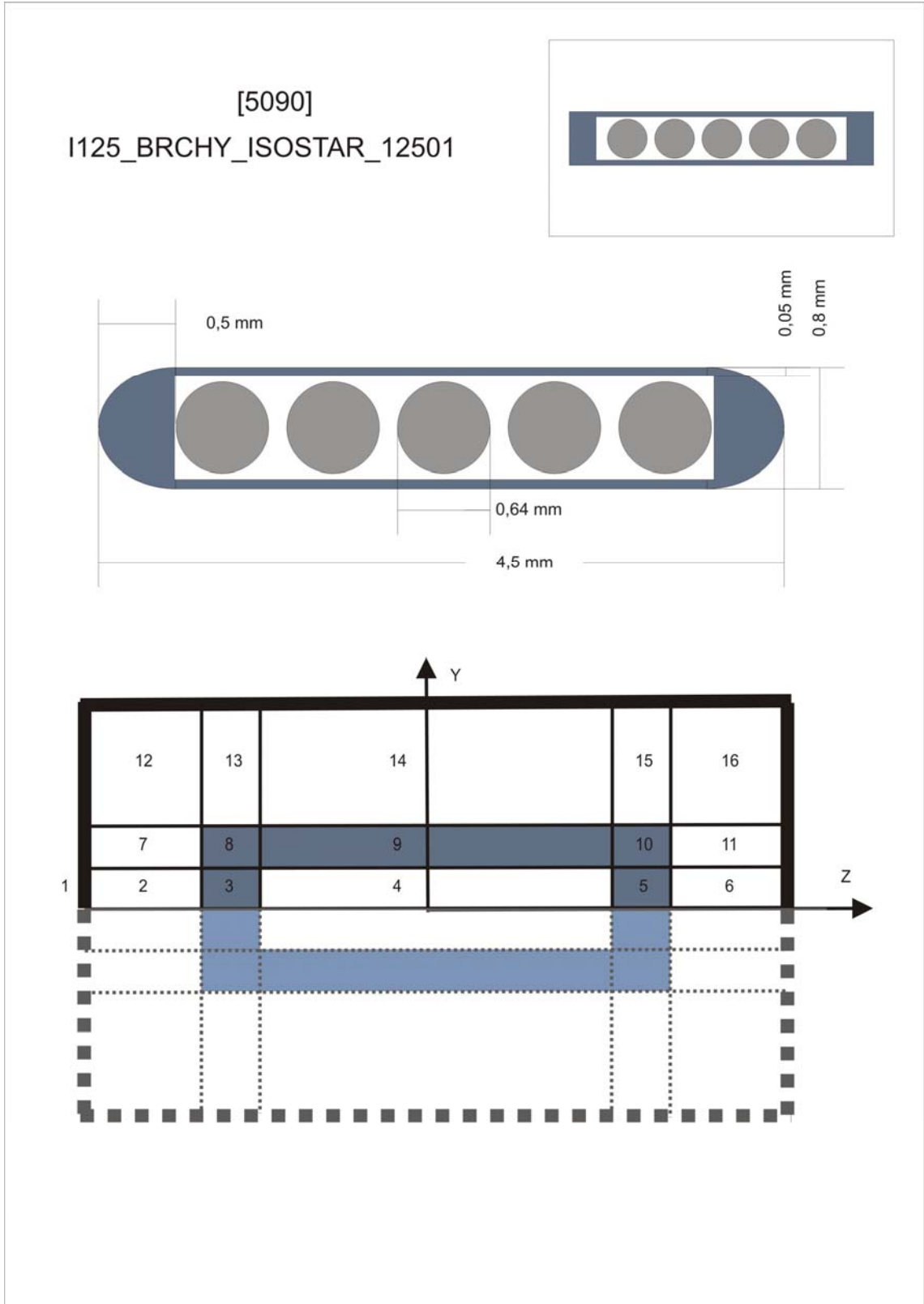
```
:Start I125_BRCHY_ISOSTAR_12501:
#[5091]
```

```
Primitive type = sphere
Input sphere = individual
Radii = 0.032, 1.0
```

```
Extend outhur dimension = on
Media = RESIN
Set medium everywhere = 0
```

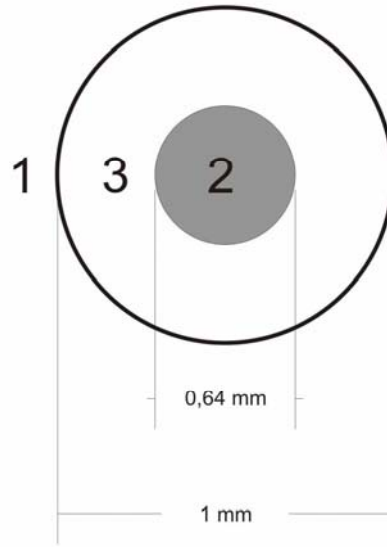
```
Media numbers = 1
Media start region = 2
Media stop region = 2
```

Important start region = 2
Important stop region = 2
:Stop I125_BRCHY_ISOSTAR_12501:



Şekil 6.11.a. Üstte I125_ISOSTAR_12501 kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli.

[5091]
I125_BRCHY_ISOSTAR_12501



Şekil 6.11.b. I125_ISOSTAR_12501 kaynak iç.in ikinci primitiv şekli.

6.12. Seed [5100]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı Nort American Scientific Inc. firması tarafından üretilmiş olup, Iogold MED3631-A/M olarak adlandırılmaktadır. Boyu 4.5 mm ve çapı 0.8 mm dir. Titanyum kapsül içerisine yerleştirilmiş ve I125 absorbe edilmiş 4 reçine küre ve bu kürelerin ortasına yerleştirilmiş 2 altın işaretleyici küreden oluşmaktadır. Kaynağın maksimum gücü 0.483 mCi ve minimum gücü 0.213 mCi'dir (Rivard, 2001)

Kaynak modellenirken 3 farklı primitif kullanılmıştır. Bunlardan ilki silindirik primitiftir ve diğerleri ise küresel primitiftir.

Primitif 1:

```
:Start I125_BRCHY_IOGOLD_MED3631_A/M:
#ID=[5100]
```

```
Primitive Type = cylinder
Input cylinder = individual
Radii = 0.035,0.04,3.0
```

```
Input z =individual
Depth Z boundaries =-3.0,-0.25,-0.235,0.235,0.25,3.0
```

```
Extend outer dimensions = on
MEDIA = TI
Set Medium Everywhere = 0
```

```
Describe Media By = regions
Media Numbers = 1,1,1
For media start region = 3,5,8
For media stop region = 3,5,10
```

```
Describe Important Regions By = regions
For important start region = 3,5,8
For important stop region = 3,5,10
:Stop I125_BRCHY_IOGOLD_MED3631_A/M:
```

```
Primitif 2:
:Start I125_BRCHY_IOGOLD_MED3631_A/M:
#[5101]
```

```
Primitive type = sphere
Input sphere = individual
Radii = 0.025, 1.0
```

```
Extend outhur dimension = on
Media = AU
Set medium everywhere = 0
```

```
Media numbers = 1
Media start region = 2
Media stop region = 2
```

Important start region = 2
Important stop region = 2
:Stop I125_BRCHY_I0GOLD_MED3631_A/M:

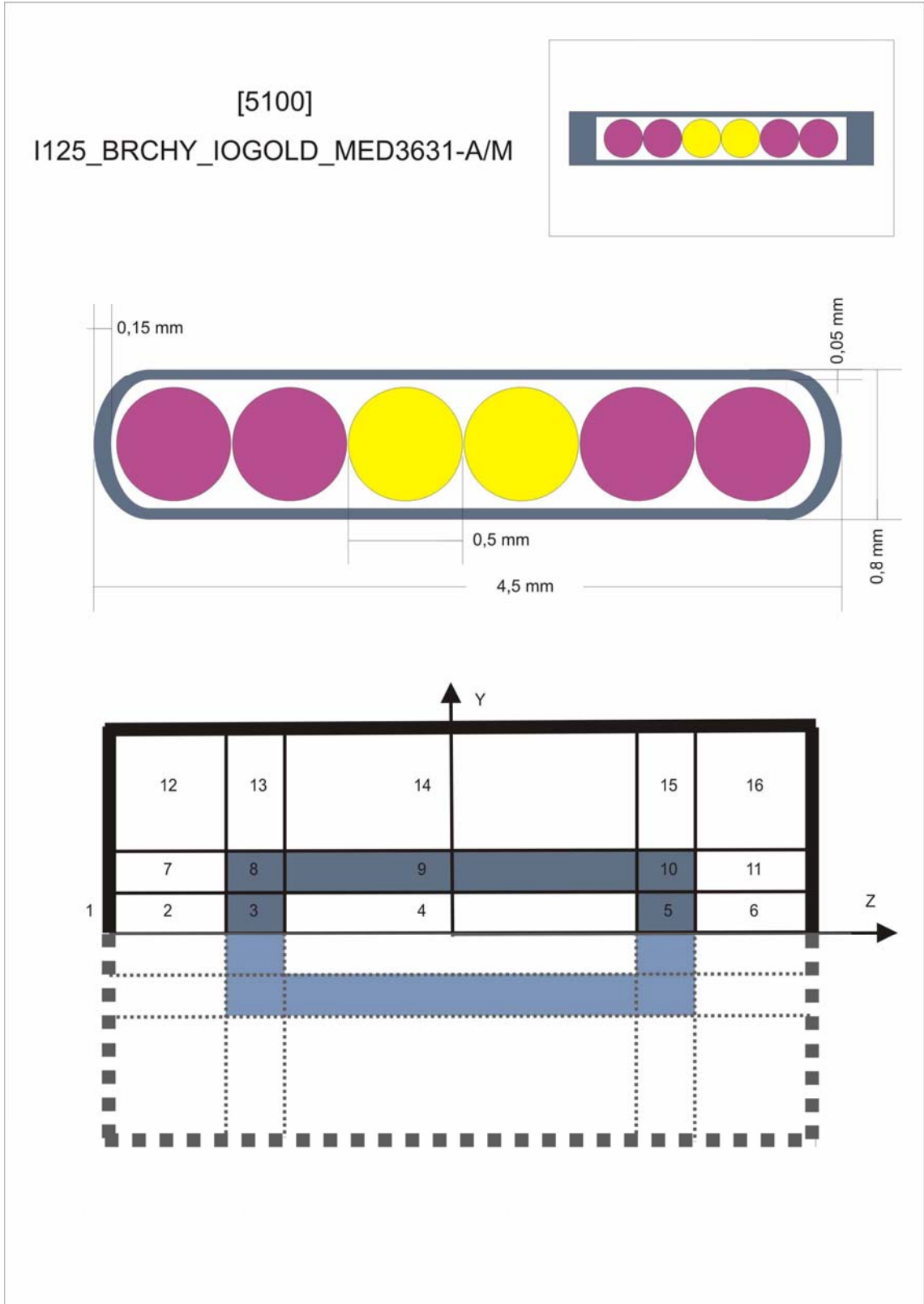
Primitif 3:
:Start I125_BRCHY_I0GOLD_MED3631_A/M:
#[5102]

Primitive type = sphere
Input sphere = individual
Radii = 0.025, 1.0

Extend outer dimension = on
Media = RESIN
Set medium everywhere = 0

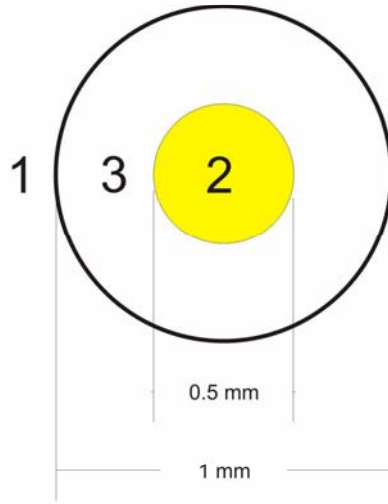
Media numbers = 1
Media start region = 2
Media stop region = 2

Important start region = 2
Important stop region = 2
:Stop I125_BRCHY_I0GOLD_MED3631_A/M:

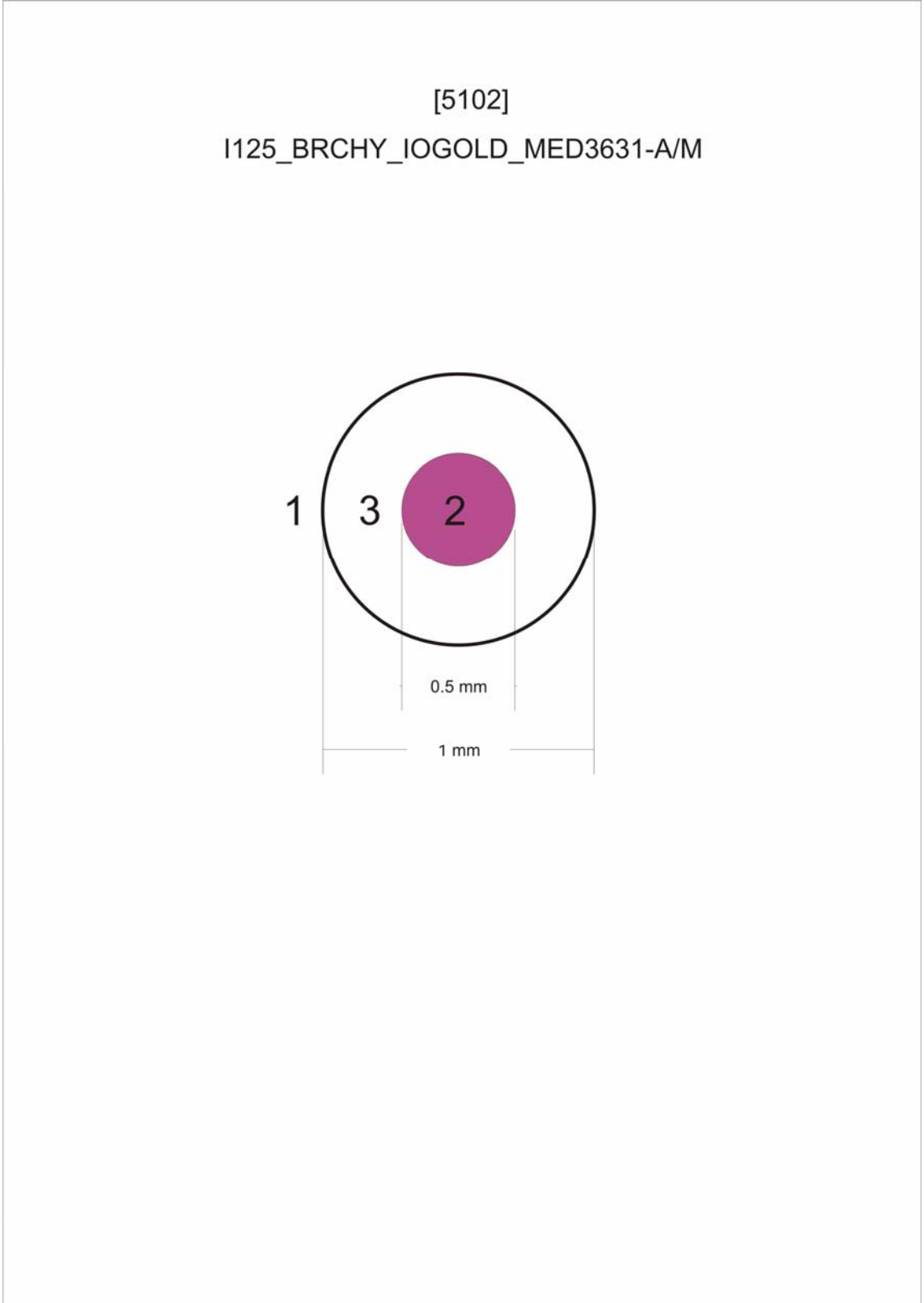


Şekil 6.12.a. Üstte I125_BRCHY_IOGOLD_MED3631_A/M kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli.

[5101]
I125_BRCHY_I0GOLD_MED3631-A/M



Şekil 6.12.b. I125_BRCHY_I0GOLD_MED3631_A/M kaynak için ikinci primitiv şekli.



Şekil 6.12.c. I125_BRCHY_I0GOLD_MED3631_A/M kaynak için üçüncü primitiv şekli.

6.13. Seed [5110]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı DraxImage Inc. Cytogen firması tarafından üretilmiş olup, BrachSeed LS-1 olarak adlandırılmaktadır. Boyu 4.4 mm ve çapı 0.8 mm dir. Titanyum kapsül içerisine yerleştirilmiş I125 absorbe edilmiş 2 cam macunla kaplı gümüş küre ve Pt/%10 Ir işaretleyiciden oluşmaktadır. Kaynağın maksimum gücü 40 mCi ve minimum gücü 0.08 mCi'dir (Heintz at al, 2001)

Kaynak modellenirken 2 farklı primitif kullanılmıştır. Bunlardan ilki silindirik primitiftir ve ikincisi küresel primitiftir.

Primitif 1:

:Start I125_BRCHY_BRACHYSEED_LS_1:
#ID=[5110]

Primitive Type = cylinder

Input cylinder = individual

Radii = 0.0192,0.03,0.035,0.04,3.0

Input z =individual

Depth Z boundaries =-3.0,-0.18,-0.15,-0.06,0.06,0.15,0.18,3.0

Extend outer dimensions = on

MEDIA = TI,PT-IR

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = regions

Media Numbers = 1,1,1,2

For media start region = 12,17,24,4

For media stop region = 12,21,28,6

Describe Important Regions By = regions

For important start region = 3,10,17,24,

For important stop region = 7,14,21,28

:Stop I125_BRCHY_BRACHYSEED_LS_1:

Primitif 2:

:Start I125_BRCHY_BRACHYSEED_LS_1:
#[5111]

Primitive type = sphere

Input sphere = individual

Radii = 0.025, 0.0735,0.08,1.0

Extend outer dimension = on

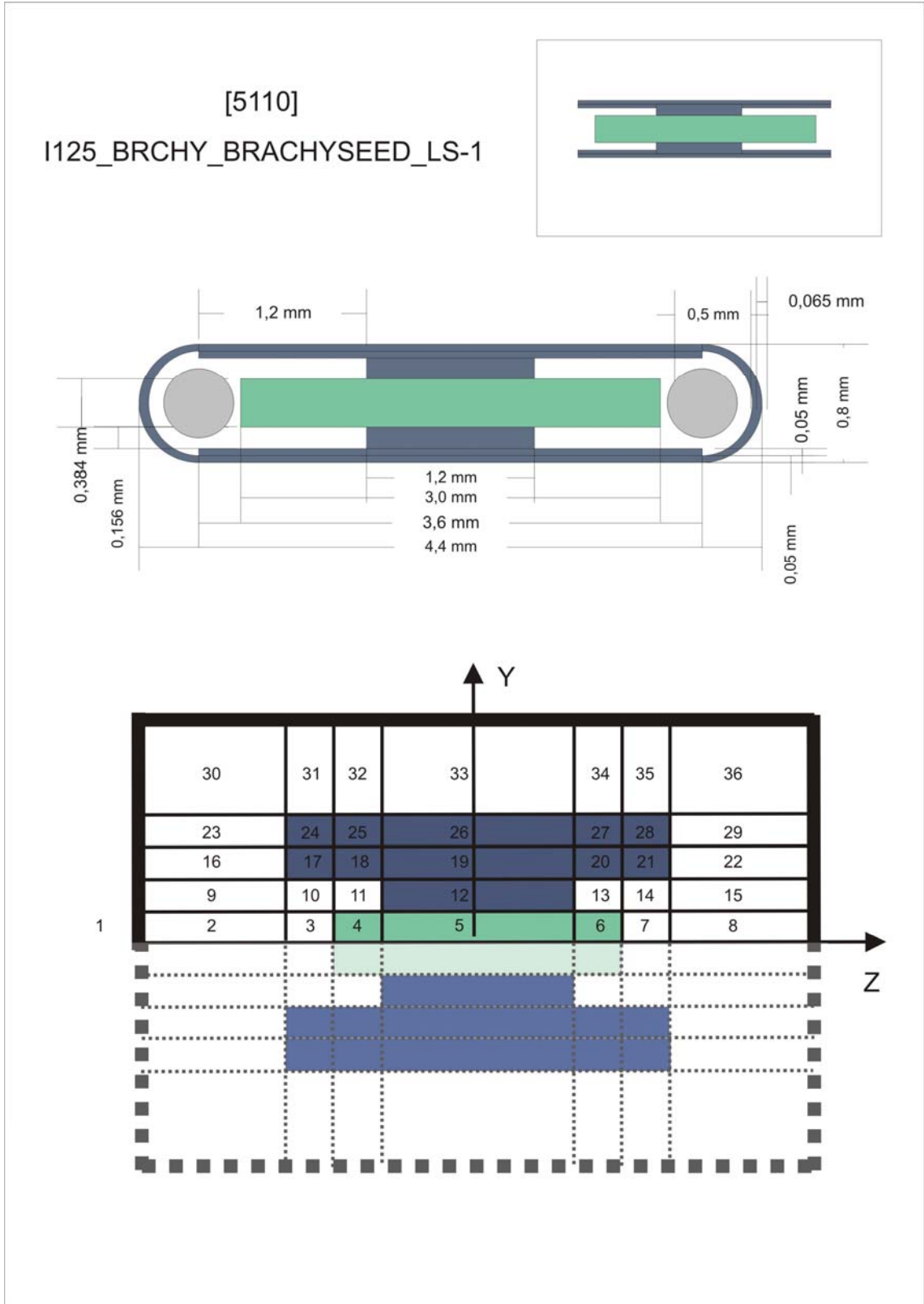
Media = AG,TI

Set medium everywhere = 0

Media numbers = 1,2
Media start region = 2,4
Media stop region = 2,4

Important start region = 2
Important stop region = 4

:Stop I125_BRCHY_BRACHYSEED_LS_1:



Şekil 6.13.a. Üstte I125_BRCHY_BRACHYSEED_LS_1 kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli.



Şekil 6.13.b. I125_BRCHY_BRACHYSEED_LS_1 kaynak için ikinci primitiv şekli.

6.14. Seed [5510]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı Best Medical International firması tarafından üretilmiş olup, Best Model 2335 olarak adlandırılmaktadır. Boyu 5 mm ve çapı 0.8 mm dir. Titanyum kapsül içerisine yerleştirilmiş ve Pd103 absorbe edilmiş 6 reçine küreden oluşmaktadır. Kaynak içerisinde 1,25 mm uzunluğunda tungsten işaretleyici bulunmaktadır. (Peterson at al, 2002)

Kaynak modellenirken 2 farklı primitif kullanılmıştır. Bunlardan ilki silindirik primitiftir ve ikincisi küresel primitiftir.

Primitif 1:

:Start Pd103_BRCHY_BESTMODEL_2335:

#ID=[5510]

Primitive Type = cylinder

Input cylinder = individual

Radii = 0.028,0.0365,0.04,3.0

Input z = individual

Dept Z boundaries = -3.0,-0.250,-0.2465,-0.0625,0.0625,0.2465,0.250,3.0

Extend outer dimensions = on

MEDIA = T1,W

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = regions

Media Numbers = 1,1,1,1,1,2

For media start region = 3,7,10,14,17,5

For media stop region = 3,7,10,14,21,5

Describe Important Regions By = regions

For important start region = 3,10,17

For important stop region = 7,14,21

:Stop Pd103_BRCHY_BESTMODEL_2335:

Primitif 2:

:Start Pd103_BRCHY_BESTMODEL_2335:

#[5511]

Primitive type = sphere

Input sphere = individual

Radii = 0.028, 1.0

Extend outer dimension = on

Media = RESIN

Set medium everywhere = 0

Media numbers = 1

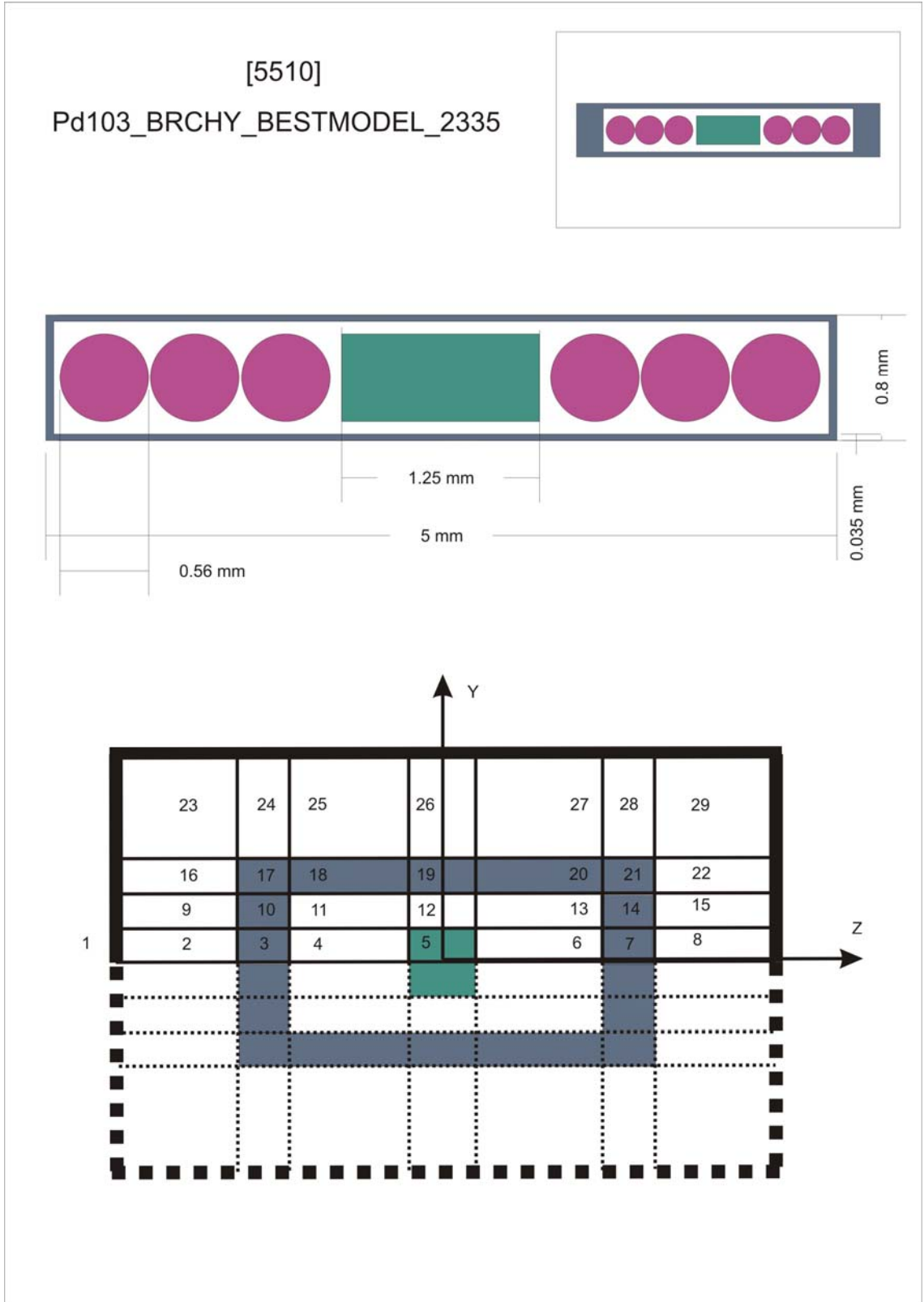
Media start region = 2

Media stop region = 2

Important start region = 2

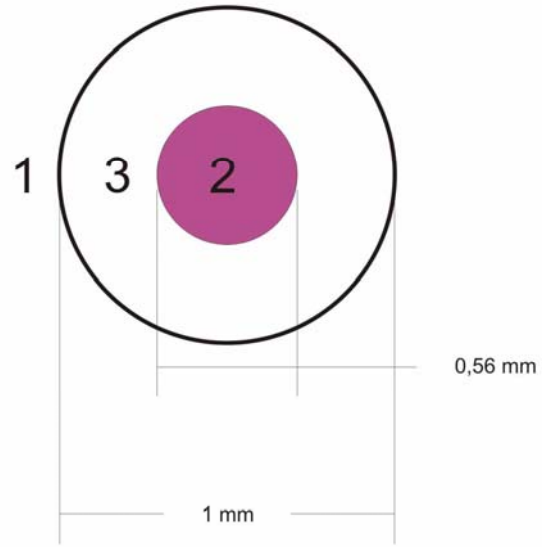
Important stop region = 2

:Stop Pd103_BRCHY_BESTMODEL_2335:



Şekil 6.14.a. Üstte Pd103_BRCHY_BESTMODEL_2335 kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli.

[5511]
Pd103_BRCHY_BESTMODEL_2335



Şekil 6.14.b. Pd103_BRCHY_BESTMODEL_2335 kaynak için ikinci primitiv şekli.

6.15. Seed [5520]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı DRAXIMAGE Inc. firması tarafından üretilmiş olup, Model Pd-1 olarak adlandırılmaktadır. Boyu 4.4 mm ve çapı 0.8 mm dir. Titanyum kapsül içerisine yerleştirilmiş ve Pd103 yüklenmiş 2 adet seramik küre ve platinyum ve iridyum karışımı işaretleyiciden oluşmaktadır (Meigooni at al, 2003).

Kaynak modellenirken 2 farklı primitif kullanılmıştır. Bunlardan ilki silindirik primitiftir ve ikincisi küresel primitiftir.

:Start Pd103_BRCHY_DRAXIMAGE_MODEL_Pd1:
#ID=[5520]

Primitive Type = cylinder
Input cylinder = individual
Radii =0.019,0.03,0.035,0.04,3.0

Input z = individual
Depth Z boundaries = -3.0,-0.17835,-0.155,-0.05945,0.05945,0.155,0.17835,3.0

Extend outer dimensions = on
MEDIA = TI,PT-IR
Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = regions
Media Numbers = 1,1,1,2
For media start region = 12,17,24,4
For media stop region = 12,21,28,6

Describe Important Regions By = regions
For important start region = 3,10,17,24
For important stop region = 7,14,21,28
:Stop Pd103_BRCHY_DRAXIMAGE_MODEL_Pd1:

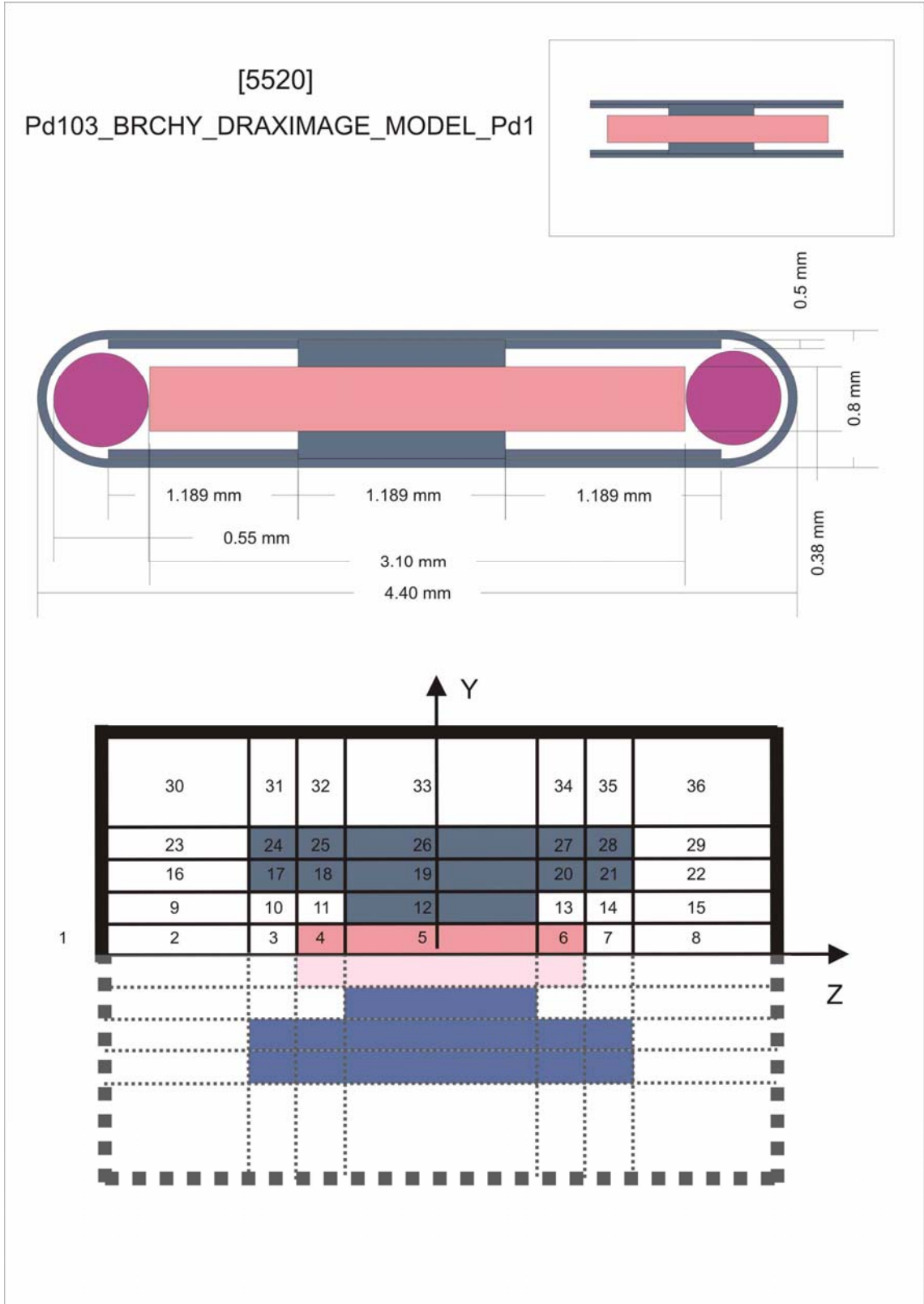
Primitif 2:
:Start Pd103_BRCHY_DRAXIMAGE_MODEL_Pd1:
#[5521]

Primitive type = sphere
Input sphere = individual
Radii = 0.0275, 0.0735,0.08,1.0

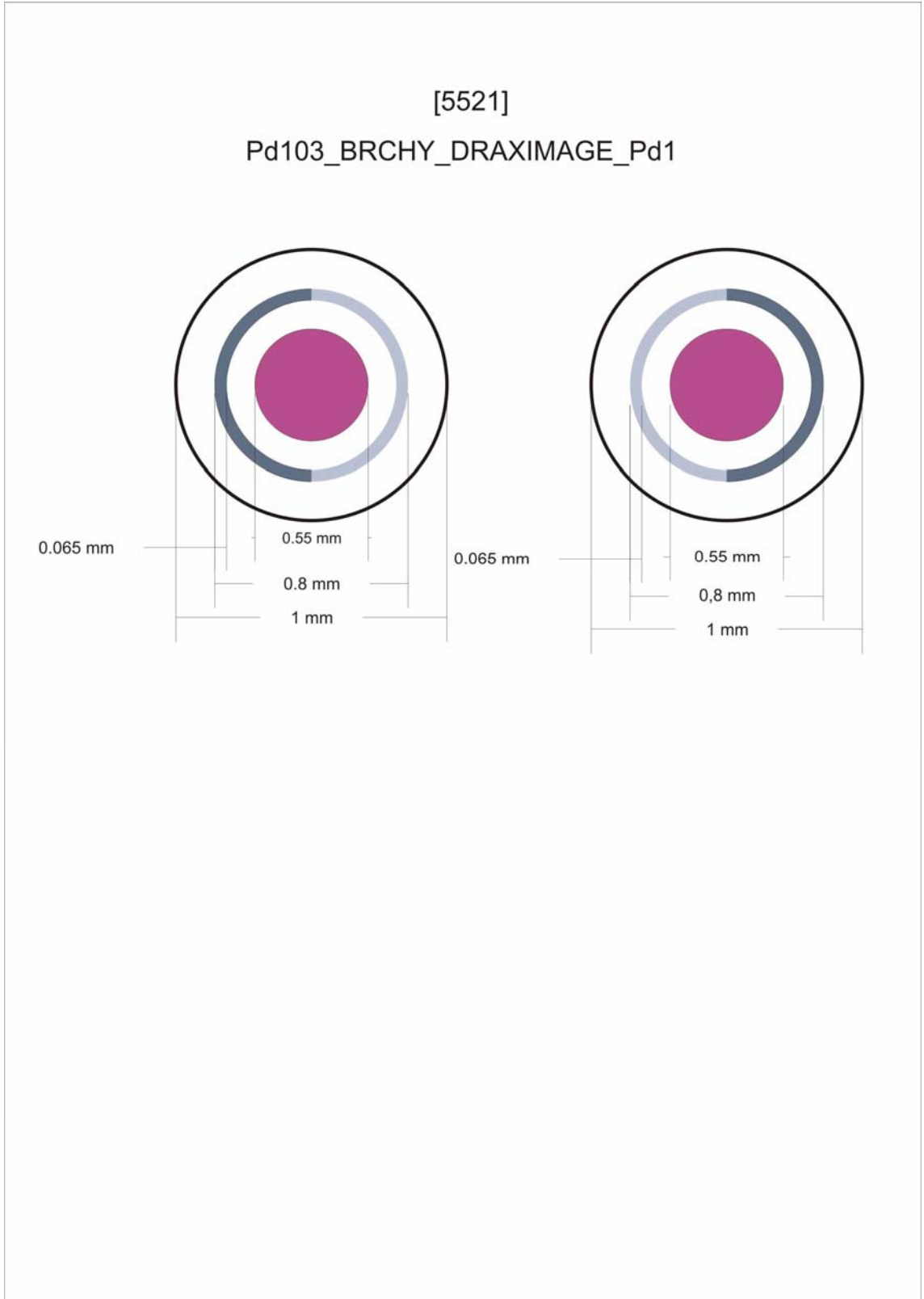
Extend outer dimension = on
Media = CERAMIC,TI
Set medium everywhere = 0

Media numbers = 1,2
Media start region = 2,4
Media stop region = 2,4

Important start region = 2
Important stop region = 4
:Stop Pd103_BRCHY_DRAXIMAGE_MODEL_Pd1:



Şekil 6.15.a. Üstte Pd103_BRCHY_DRAXIMAGE_MODEL_Pd1 kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli.



Şekil 6.15.b. Pd103_BRCHY_DRAXIMAGE_MODEL_Pd1 kaynağının her iki ucundaki yatırım küreyi tanımlayan pirimitivlerin şekli.

6.16. Seed [6010]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı Microselectron_HDR olarak adlandırılmaktadır. Boyu 0.45 mm ve çapı 0.09 mm dir. Çelik içerisine yerleştirilmiş iridyum silibndirden oluşmaktadır (Yeğin, 2002)

:Start Ir192_BRCHY_MICROSELECTRON_HDR:

#ID=[6010]

Primitive Type = cylinder

Input cylinder = individual

Radii = 0.0035,0.0045,3.0

Input z = individual

Dept Z boundaries = -3.0,-0.0225,-0.018,0.018,0.0225,3.0

Extend outer dimensions = on

MEDIA = STEEL,IR

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = regions

Media Numbers = 1,1,1,2

For media start region = 3,5,8,4

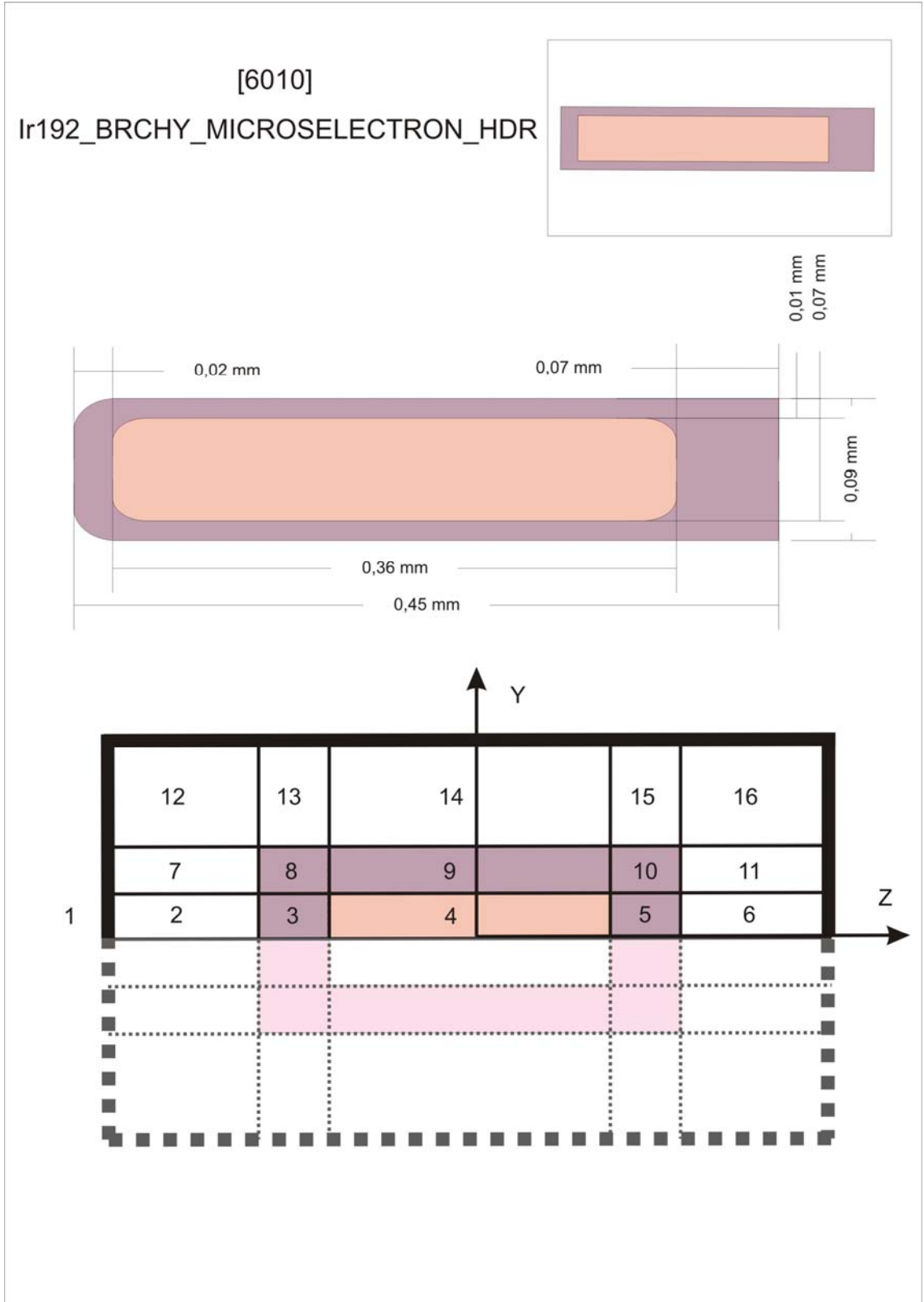
For media stop region = 3,5,10,4

Describe Important Regions By = regions

For important start region = 3,8

For important stop region = 5,10

:Stop Ir192_BRCHY_MICROSELECTRON_HDR:



Şekil 6.16. Üstte Ir192_BRCHY_MICROSELECTRON_HDR kaynak şeması, altta modellenen primitif şekli.

6.17. Seed [6020]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı Bestindustrial_HDR olarak adlandırılmaktadır. Boyu 0.3 mm ve çapı 0.5 mm dir. Çelik içerisine yerleştirilmiş iridyum silibndirden oluşmaktadır (Yeğin, 2002)

:Start Ir192_BRCHY_BESTINDUSTRIAL_HDR:

#ID=[6020]

Primitive Type = cylinder

Input cylinder = individual

Radii = 0.005,0.025,3.0

Input z = individual

Dept Z boundaries = -3.0,-0.15,0.15,3.0

Extend outer dimensions = on

MEDIA = STEEL,IR

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = regions

Media Numbers = 1,2

For media start region = 6,3

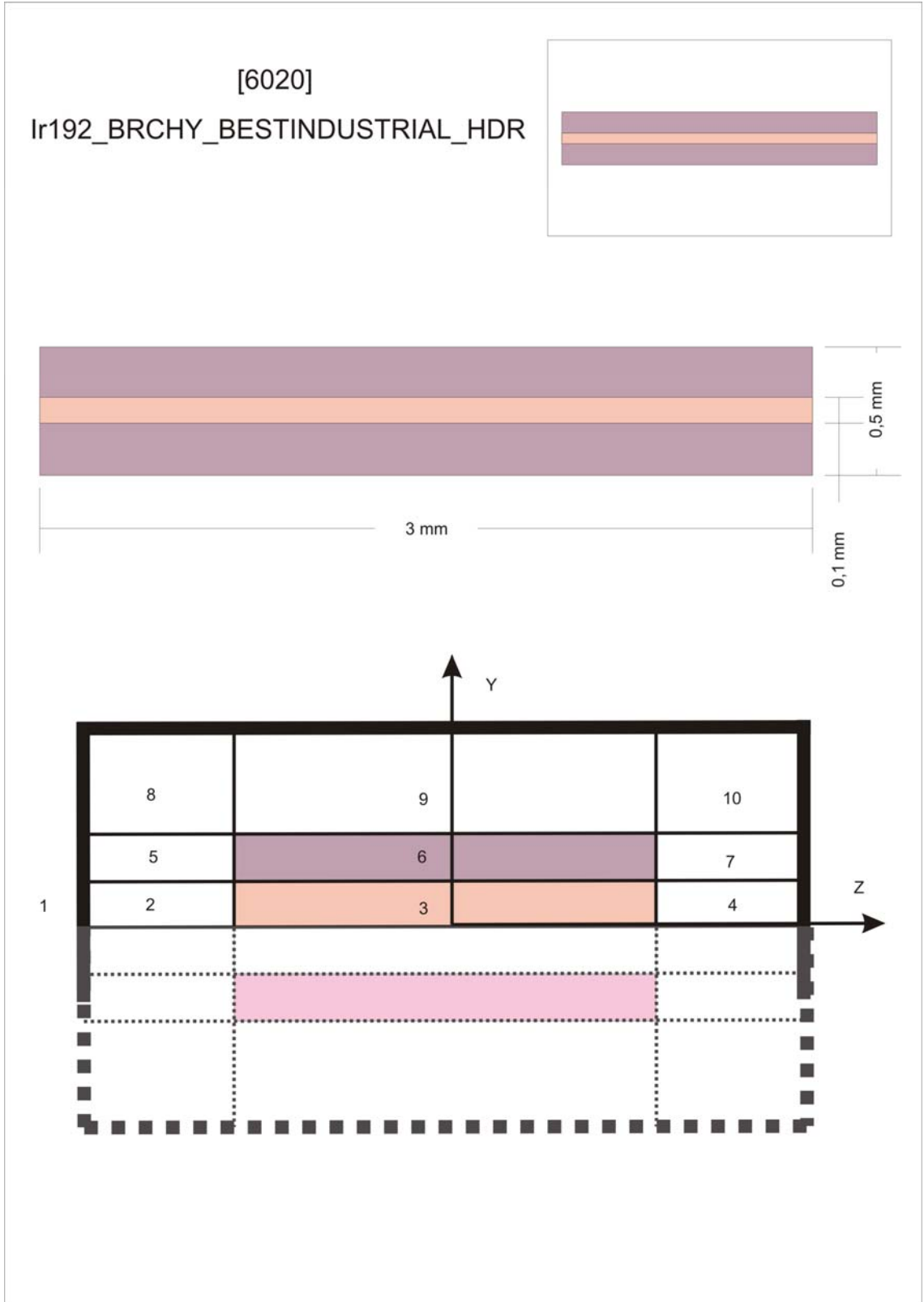
For media stop region = 6,3

Describe Important Regions By = regions

For important start region = 3,6

For important stop region = 3,6

:Stop Ir192_BRCHY_BESTINDUSTRIAL_HDR:



Şekil 6.17. Üstte Ir192_BRCHY_BESTINDUSTRIAL_HDR kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli.

6.18. Seed [6030]

Modellediğimiz brakiterapi kaynağı Alphaomega_HDR olarak adlandırılmaktadır. Boyu 0.3 mm ve çapı 0.5 mm dir. Çelik içerisine yerleştirilmiş iridyum silibndirden oluşmaktadır (Yeğin, 2002)

:Start Ir192_BRCHY_ALPHAOMEGA_HDR:

#ID=[6030]

Primitive Type = cylinder

Input cylinder = individual

Radii = 0.015,0.025,3.0

Input z = individual

Dept Z boundaries = -3.0,-0.15,0.15,3.0

Extend outer dimensions = on

MEDIA = STEEL,IR

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = regions

Media Numbers = 1,2

For media start region = 6,3

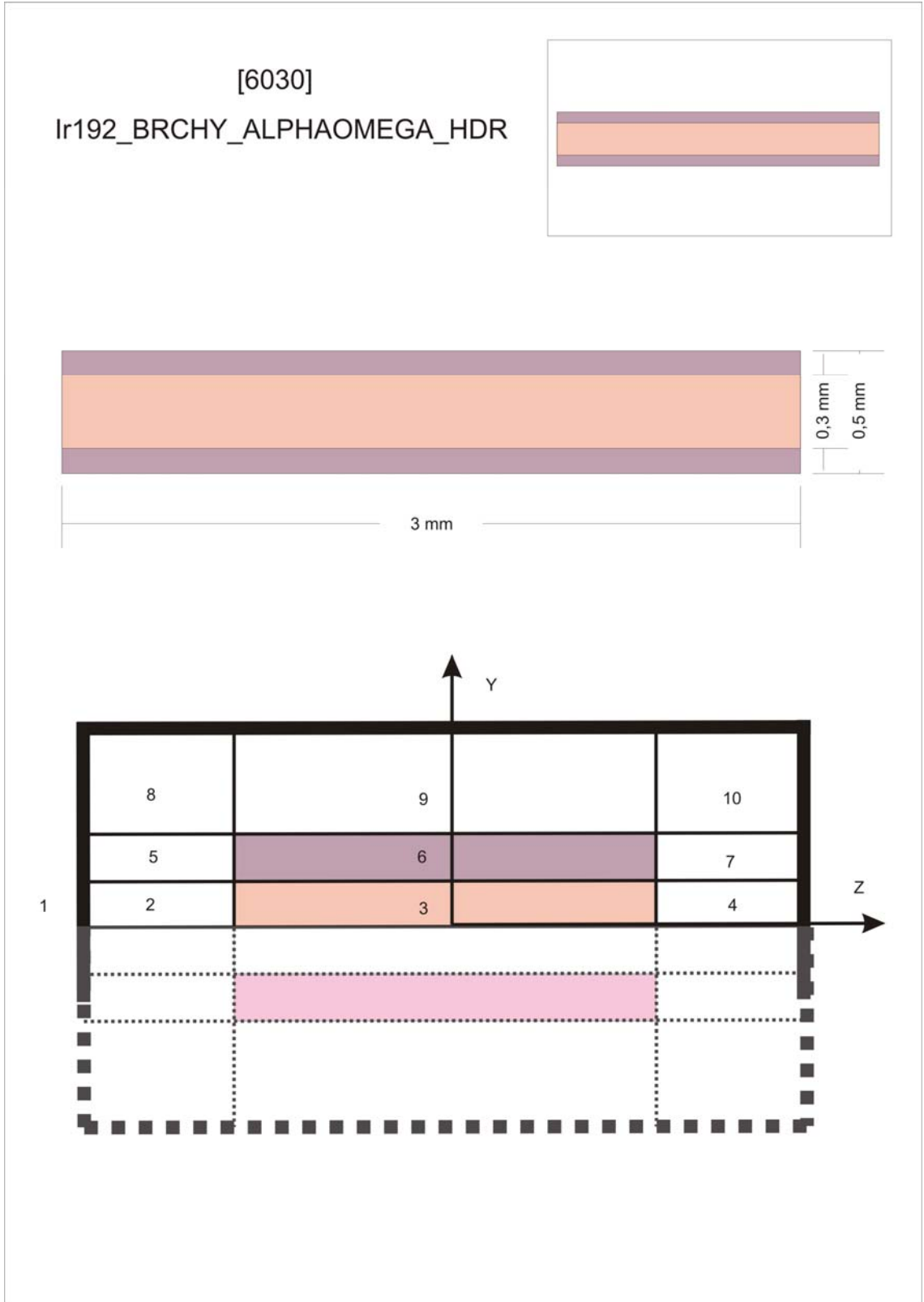
For media stop region = 6,3

Describe Important Regions By = regions

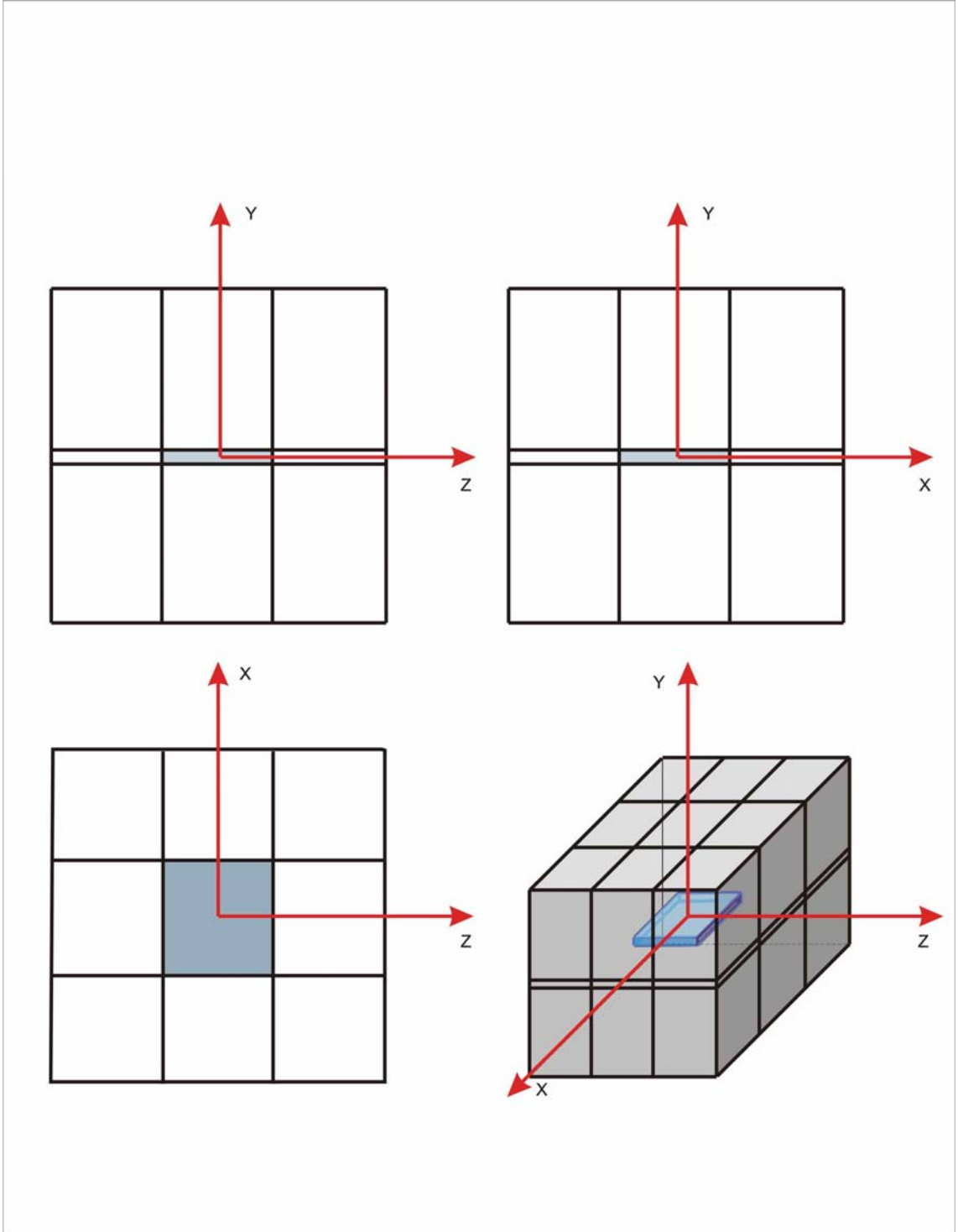
For important start region = 3,6

For important stop region = 3,6

:Stop Ir192_BRCHY_ALPHAOMEGA_HDR:



Şekil 6.18. Üstte Ir192_BRCHY_ALPHAOMEGA_HDR kaynak şeması, altta modellenen primitiv şekli.



Şekil 6.19. Modellenmiş olan zırh malzemeleri için genel görüntü şekli.

6.19. Zırh [40010]

Modellemede kullandığımız zırh malzemeleri için genel bir görünümün Şekil 6.19 ' da verilmiştir. Bu genel görüntü altında tüm zırh malzemeleri kullanılan malzemenin türü ve zırhın kalınlığına göre ayrı ayrı ele alınarak veri tabanı için primitivleri yazılmıştır.

İlk zırh malzememiz $10*10*0.1$ boyutlarındaki Al bloktur.

```
:Start SHL_AI_10x10x0_1:
# ID =[40010]
Primitive Type = rectilinear
Input X = groups
X of Front Face = -15
Number of X slabs = 4
X Slab Thicknes = 10

Input Y = groups
Y of Front Face = -15
Number of Y slabs = 1,1,1
Y Slab Thicknes = 10,1,10

Input Z = groups
Z of Front Face = -15
Number of Z slabs = 4
Z Slab Thicknes = 10

Extend Outer Dimensions = On
Media = Al

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = Planes
Media Numbers = 1
For Media Start X Slab = 2
For Media Stop X Slab = 3
For Media Start Y Slab = 2
For Media Stop Y Slab = 3
For Media Start Z Slab = 2
For Media Stop Z Slab = 3

Describe Important Regions by = Planes
For Important Start X Slab = 2
For Important Stop X Slab = 3
For Important Start Y Slab = 2
For Important Stop Y Slab = 3
For Important Start Z Slab = 2
For Important Stop Z Slab = 3

:Stop SHL_AI_10x10x0_1:
```

6.20. Zırh [40020]

Zırh malzememiz 10*10*0.3 boyutlarındaki Al bloktur.

:Start SHL_AI_100x100x0_3:

ID =40020

Primitive Type = rectilinear

Input X = groups

X of Front Face = -15

Number of X slabs = 4

X Slab Thicknes = 10

Input Y = groups

Y of Front Face = -15

Number of Y slabs = 1,1,1

Y Slab Thicknes = 10,3,10

Input Z = groups

Z of Front Face = -15

Number of Z slabs = 4

Z Slab Thicknes = 10

Extend Outer Dimensions = On

Media = Al

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = Planes

Media Numbers = 1

For Media Start X Slab = 2

For Media Stop X Slab = 3

For Media Start Y Slab = 2

For Media Stop Y Slab = 3

For Media Start Z Slab = 2

For Media Stop Z Slab = 3

Describe Important Regions by = Planes

For Important Start X Slab = 2

For Important Stop X Slab = 3

For Important Start Y Slab = 2

For Important Stop Y Slab = 3

For Important Start Z Slab = 2

For Important Stop Z Slab = 3

:Stop SHL_AI_100x100x0_3:

6.21. Zırh [40030]

Zırh malzememiz $10*10*0.1$ boyutlarındaki Pb bloktur.

:Start SHL_Pb_10x10x0_1:

ID =40030

Primitive Type = rectilinear

Input X = groups

X of Front Face = -15

Number of X slabs = 4

X Slab Thicknes = 10

Input Y = groups

Y of Front Face = -15

Number of Y slabs = 1,1,1

Y Slab Thicknes = 10,1,10

Input Z = groups

Z of Front Face = -15

Number of Z slabs = 4

Z Slab Thicknes = 10

Extend Outer Dimensions = On

Media = Pb

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = Planes

Media Numbers = 1

For Media Start X Slab = 2

For Media Stop X Slab = 3

For Media Start Y Slab = 2

For Media Stop Y Slab = 3

For Media Start Z Slab = 2

For Media Stop Z Slab = 3

Describe Important Regions by = Planes

For Important Start X Slab = 2

For Important Stop X Slab = 3

For Important Start Y Slab = 2

For Important Stop Y Slab = 3

For Important Start Z Slab = 2

For Important Stop Z Slab = 3

:Stop SHL_Pb_10x10x0_1:

6.22. Zırh [40040]

Zırh malzememiz $10*10*0.3$ boyutlarındaki Pb bloktur.

:Start SHL_Pb_10x10x0_3:

ID =40040

Primitive Type = rectilinear

Input X = groups

X of Front Face = -15

Number of X slabs = 4

X Slab Thicknes = 10

Input Y = groups

Y of Front Face = -15

Number of Y slabs = 1,1,1

Y Slab Thicknes = 10,3,10

Input Z = groups

Z of Front Face = -15

Number of Z slabs = 4

Z Slab Thicknes = 10

Extend Outer Dimensions = On

Media = Pb

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = Planes

Media Numbers = 1

For Media Start X Slab = 2

For Media Stop X Slab = 3

For Media Start Y Slab = 2

For Media Stop Y Slab = 3

For Media Start Z Slab = 2

For Media Stop Z Slab = 3

Describe Important Regions by = Planes

For Important Start X Slab = 2

For Important Stop X Slab = 3

For Important Start Y Slab = 2

For Important Stop Y Slab = 3

For Important Start Z Slab = 2

For Important Stop Z Slab = 3

:Stop SHL_Pb_10x10x0_3:

6.23. Zırh [40050]

Zırh malzememiz $10*10*0.1$ boyutlarındaki Cu bloktur.

:Start SHL_Cu_10x10x0_1:
ID =[40050]

Primitive Type = rectilinear
Input X = groups
X of Front Face = -15
Number of X slabs = 4
X Slab Thicknes = 10

Input Y = groups
Y of Front Face = -15
Number of Y slabs = 1,1,1
Y Slab Thicknes = 10,1,10

Input Z = groups
Z of Front Face = -15
Number of Z slabs = 4
Z Slab Thicknes = 10

Extend Outer Dimensions = On
Media = Cu

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = Planes
Media Numbers = 1
For Media Start X Slab = 2
For Media Stop X Slab = 3
For Media Start Y Slab = 2
For Media Stop Y Slab = 3
For Media Start Z Slab = 2
For Media Stop Z Slab = 3

Describe Important Regions by = Planes
For Important Start X Slab = 2
For Important Stop X Slab = 3
For Important Start Y Slab = 2
For Important Stop Y Slab = 3
For Important Start Z Slab = 2
For Important Stop Z Slab = 3

:Stop SHL_Cu_10x10x0_1:

6.24. Zırh[40060]

Zırh malzememiz $10*10*0.3$ boyutlarındaki Cu bloktur.

```

:Start SHL_Cu_10x10x0_3:
# ID =40060
Primitive Type = rectilinear
Input X = groups
X of Front Face = -15
Number of X slabs = 4
X Slab Thicknes = 10

Input Y = groups
Y of Front Face = -15
Number of Y slabs = 1,1,1
Y Slab Thicknes = 10,3,10

Input Z = groups
Z of Front Face = -15
Number of Z slabs = 4
Z Slab Thicknes = 10

Extend Outer Dimensions = On
Media = Cu

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = Planes
Media Numbers = 1
For Media Start X Slab = 2
For Media Stop X Slab = 3
For Media Start Y Slab = 2
For Media Stop Y Slab = 3
For Media Start Z Slab = 2
For Media Stop Z Slab = 3

Describe Important Regions by = Planes
For Important Start X Slab = 2
For Important Stop X Slab = 3
For Important Start Y Slab = 2
For Important Stop Y Slab = 3
For Important Start Z Slab = 2
For Important Stop Z Slab = 3

:Stop SHL_Cu_10x10x0_3:

```

6.25. Zırh [40070]

Zırh malzememiz 10*10*0.1 boyutlarındaki Fe bloktur.

:Start SHL_Fe_10x10x0_1:

ID =[40070]

Primitive Type = rectilinear

Input X = groups

X of Front Face = -15

Number of X slabs = 4

X Slab Thicknes = 10

Input Y = groups

Y of Front Face = -15

Number of Y slabs = 1,1,1

Y Slab Thicknes = 10,1,10

Input Z = groups

Z of Front Face = -15

Number of Z slabs = 4

Z Slab Thicknes = 10

Extend Outer Dimensions = On

Media = Fe

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = Planes

Media Numbers = 1

For Media Start X Slab = 2

For Media Stop X Slab = 3

For Media Start Y Slab = 2

For Media Stop Y Slab = 3

For Media Start Z Slab = 2

For Media Stop Z Slab = 3

Describe Important Regions by = Planes

For Important Start X Slab = 2

For Important Stop X Slab = 3

For Important Start Y Slab = 2

For Important Stop Y Slab = 3

For Important Start Z Slab = 2

For Important Stop Z Slab = 3

:Stop SHL_Fe_10x10x0_1:

6.26. Zırh [40080]

Zırh malzememiz 10*10*0.3 boyutlarındaki Fe bloktur.

```

:Start SHL_Fe_10x10x0_3:
# ID =40080
Primitive Type = rectilinear
Input X = groups
X of Front Face = -15
Number of X slabs = 4
X Slab Thicknes = 10

Input Y = groups
Y of Front Face = -15
Number of Y slabs = 1,1,1
Y Slab Thicknes = 10,3,10

Input Z = groups
Z of Front Face = -15
Number of Z slabs = 4
Z Slab Thicknes = 10

Extend Outer Dimensions = On
Media = Fe

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = Planes
Media Numbers = 1
For Media Start X Slab = 2
For Media Stop X Slab = 3
For Media Start Y Slab = 2
For Media Stop Y Slab = 3
For Media Start Z Slab = 2
For Media Stop Z Slab = 3

Describe Important Regions by = Planes
For Important Start X Slab = 2
For Important Stop X Slab = 3
For Important Start Y Slab = 2
For Important Stop Y Slab = 3
For Important Start Z Slab = 2
For Important Stop Z Slab = 3

:Stop SHL_Fe_10x10x0_3:

```


6.27. Zırh [40090]

Zırh malzememiz 10*10*0.1 boyutlarındaki W bloktur.

```

:Start SHL_W_10x10x0_1:
# ID =[40090]
Primitive Type = rectilinear
Input X = groups
X of Front Face = -15
Number of X slabs = 4
X Slab Thicknes = 10

Input Y = groups
Y of Front Face = -15
Number of Y slabs = 1,1,1
Y Slab Thicknes = 10,1,10

Input Z = groups
Z of Front Face = -15
Number of Z slabs = 4
Z Slab Thicknes = 10

Extend Outer Dimensions = On
Media = W

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = Planes
Media Numbers = 1
For Media Start X Slab = 2
For Media Stop X Slab = 3
For Media Start Y Slab = 2
For Media Stop Y Slab = 3
For Media Start Z Slab = 2
For Media Stop Z Slab = 3

Describe Important Regions by = Planes
For Important Start X Slab = 2
For Important Stop X Slab = 3
For Important Start Y Slab = 2
For Important Stop Y Slab = 3
For Important Start Z Slab = 2
For Important Stop Z Slab = 3

:Stop SHL_W_10x10x0_1:

```

6.28. Zırh [40100]

Zırh malzememiz 10*10*0.3 boyutlarındaki W bloktur.

:Start SHL_W_10x10x0_3:

ID =40100

Primitive Type = rectilinear

Input X = groups

X of Front Face = -15

Number of X slabs = 4

X Slab Thicknes = 10

Input Y = groups

Y of Front Face = -15

Number of Y slabs = 1,1,1

Y Slab Thicknes = 10,3,10

Input Z = groups

Z of Front Face = -15

Number of Z slabs = 4

Z Slab Thicknes = 10

Extend Outer Dimensions = On

Media = W

Set Medium Everywhere = 0

Describe Media By = Planes

Media Numbers = 1

For Media Start X Slab = 2

For Media Stop X Slab = 3

For Media Start Y Slab = 2

For Media Stop Y Slab = 3

For Media Start Z Slab = 2

For Media Stop Z Slab = 3

Describe Important Regions by = Planes

For Important Start X Slab = 2

For Important Stop X Slab = 3

For Important Start Y Slab = 2

For Important Stop Y Slab = 3

For Important Start Z Slab = 2

For Important Stop Z Slab = 3

:Stop SHL_W_10x10x0_3:

7. SONUÇ

Bu çalışmada doz hesaplamalarında kullanılan Monte Carlo simülasyonu programlarından EGSnrc paketine ek olarak hazırlanan Çoklu Geometri paketi yardımıyla brakiterapi ve radyoterapide kullanılan temel bazı detektör, kaynak ve zırh malzemelerinin doz dağılımlarını incelemek üzere modellenmesi yapılmıştır.

Kanser tedavisinde tümör üzerine maksimum miktarda doz verilmesi istenirken çevredeki sağlıklı hücrelerin sınır değerlerini aşmaması istenir. Bu nedenle tedavi planlaması aşamasında kanserli bölgenin ve çevresinin mümkün olduğunca iyi modellenmesi gerekir. Oldukça karmaşık olan bu yapıların modellenmesinde, Çoklu Geometri Tekniği ve hazırlanan bu veri bankası, daha hassas bir şekilde modelleme yapmamızı sağlayacaktır. EGSnrc kullanıcıları bu modellemelerde esnek ve hızlı bir şekilde Çoklu Geometri Tekniğini kullanması için hazırlanmış olan bu veri bankasından yararlanabilirler.

EGS-mg kullanılarak tedavi planlamasının yanı sıra çeşitli amamlar için kullanılan dedektörler, sanayi uygulamaları ve mühendislik uygulamaları için gerekli olan doz hesaplamalarında yapılabilir.

Hazırlanılmış olan bu veri bankası EGS-mg paketiyle beraber kullanıcıların hizmetine sunulacaktır. Bu veri bankasında modellenen temel detektör, kaynak ve zırh malzemeleri için temel bilgiler, ayrıntılı ve ölçekli şekiller, modellemede kullanılan geometrik şekil ve Çoklu Geometri Tekniğine uygun olarak yazılmış ve EGSnrc programı için hazırlanmış primitiv yazılımı bulunmaktadır.

Paketi kullanan kullanıcılar ilgili geometri elemanını veri bankası yardımıyla tekrar hazırlamaya ve hesaplamalarını yapmaya ihtiyaç duymadan kullanabilecektir.

7.1. ÖNERİLER

Hazırlanılmış olan bu veri tabanı EGS-mg kullanıcıları için yapacakları modellemelerde esneklik ve kolaylık sağlayacaktır. EGS-mg'nin geliştirilmesine paralel olarak veri tabanı içerisine yeni primitivler eklenebilir ve bu sayede daha karmaşık geometrilerin modellenmesinde kolaylıklar sağlanmış olur.

Yaptığımız bu çalışmayla doz dağılımı hesaplamalarında elde edebileceğimiz iyileştirmeler kanser hastalığının tedavisinde ve bu konu ile ilgili yeni araç dizaynı ve üretiminde kolaylıklar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Ahmad M., Fontenla D. P., Chiu-Tsao S., Chiu C. S., Reiff J. E., Anderson L. L., "Diyote dosimetry of model 6711 and 6712 I125 seeds in water phantoms" *Med. Phys.*, 19:391-399, 1992.
2. Algüneş Ç., *Trakya Üniversitesi Yayınları No:5 Edirne*, 2002.
3. Berger M. J. and Seltzer S. M., "Bremsstrahlung and photoneutrons from thick tungsten and tantalum targets," *Phys. Rev.*, C2:621-631, 1970.
4. Bielajew F. and Rogers D. W. O., *NRCC Report Pirs-0394*, 1993.
5. Bielajew F., Hirayama H., Nelsony W. R. and Rogers D. W. O., *National Research Council of Canada Report NRC-PIRS-0436*, 1994.
6. Bielajew F., *NRCC Report Pirs-0393*, 1993.
7. Duggan M. and Johnson B. L., "Dosimetry of the Model 3500 iodine-125 brachytherapy source", *Med Phys.* 661-70, 2001,
8. Ford R.L. and Nelson W.R., "The EGS code system - Version 3," *Stanford Linear Accelerator Center Report SLAC-210*, 1978.
9. Goldberger M. L., "The interaction of high energy neutrons and heavy nuclei," *Phys. Rev.* 74:1269–1277, 1948.
10. Hedtjörn H., Carlsson G. A., and Williamson J. F., "Monte Carlo-aided dosimetry of the UroMed/Bebig Symetra I-125, Model 125.S06 interstitial brachytherapy seed," *Med. Phys.* 27: 1076-1085, 2000.
11. Heintz H., Wallace R. E., Hevezi J. M., "Comparison of I-125 source used for permanent interstitial implants," *Med. Phys.* 28 4, 2001.
12. Hernandez F., El-Daoushy F., "Accounting for incomplete collection in Monte Carlo simulations of the efficiency of well-type Ge-detectors," *Nucl. Instr. and Meth. A* 498: 340-351, 2003.
13. Hurtado S., Garcia-Leon M., Garcia-Tenorio R., "GEANT4 code for simulation of a germanium gamma-ray detector and its application to efficiency calibration," *Nuclear Instruments and physics Research A* 518: 764-774, 2004.
14. Kawrakow I., Rogers D. W. O., *The EGS Code System*, *NRCC Report Pirs-701*, 2001.
15. Meigooni S., Zhang H., Perry C., Dini S. A., Kona R. A., "Theoretical and experimental determination of dosimetric characteristics for brachyseedt Pd-103, model Pd-1, source," *Applied Radiation and Isotopes* 58:533–541, 2003.
16. Nagel H. H., "Elektron-Photon-Kaskaden in Blei: Monte-Carlo-Rechnungen für Primärelektronenergien zwischen 100 und 1000 MeV," *Z. Physik* 186: 319-346, 1965. (English translation *Stanford Linear Accelerator Center Report Number SLAC-TRANS-28*, 1965).

17. Nelson W. R. and Jenkins T. M., "Computer Techniques in Radiation Transport and Dosimetry," Plenum Press, New York, 1980.
18. Nelson W.R. and Bielajew A.F., "EGS - A Technology Spinoff to Medicine," *Beam Line* 21, 1:7-11, 1991.
19. Nicoli D. F., "The application of Monte Carlo cascade shower generation in lead," submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Bachelor of Science at the Massachusetts Institute of Technology, 1966.
20. Peterson S. W., Thomadsen B., "Measurement of the dosimetric constants for a new Pd103 brachytherapy source," *Brachytherapy* 1, 110-119, 2002.
21. Popescu C., Wise J., Sowards K., Meigooni A. S., and Ibbott G. S., "Dosimetric characteristics of the Syncor PharmaSeed model BT-125-I source," *Med. Phys.* 27, 2174-2181, 2000.
22. Rivard M. J., "Monte Carlo calculations of AAPM Task Group Report No. 43 Dosimetry parameters for the MED3631-A/M 125I source" *Med. Phys.* 629-37, 2001.
23. Rogers D.W.O., *Monte Carlo in Radiotherapy, Ionizing Radiation Standards NRC, Ottawa, Physics in Canada, Medical Physics Special Issue*, 58: 63-70, 2002.
24. Storm E. and Israel H.I., "Photon Cross Sections from 1 keV to 100 MeV for Elements Z=1 to Z=100," *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 565-681, 1970.
25. T.C. Başbakanlık Atom Enerjisi Komisyonu, Bilimsel Yayınlar No:2
26. Ulam S.M. and Neumann J. V., "On combination of stochastic and deterministic processes," *Bull. Amer. Math Soc.* 53: 1120, 1947.
27. Wallace R. E., "Empirical Dosimetric characterization of model I125-SL 125iodine brachytherapy source in phantom," *Med. Phys.* 27: 2796-2802, 2000.
28. Williamson J. F., Coursey B. M., Dewerd L. A., Hanson W. F., Nath R., and Ibbott G. S., "Guidance to users of Nycomed Amersham and North American Scientific, Inc. I-125 Interstitial source: Dosimetry and calibration changes," *Med. Phys.* 26: 570-573, 1999.
29. Yegin G. and Rogers DWO, "EGS-mg : The multi-geometry package for EGSnrc", (to be published).
30. Yeğin G., "¹⁹²Ir brakiterapi kaynaklarının dozimetrik karakteristiklerinin Monte Carlo yöntemiyle incelenmesi" *E.Ü. Fen Bil. Ens. Nükleer Bil. ABD, Doktora Tezi*, 2002.
31. Zerby C.D. and Moran H.S., "A Monte Carlo calculation of the three-dimensional development of high-energy electron-photon cascade showers," Report ORNL-TM-422, Oak Ridge National Laboratory, USA, 1962.

Özgeçmiş

Soyadı : Ayyıldız

Adı : Ümit

Doğum tarihi : 01.11.1976

Doğum yeri : Erzincan

Eğitim Durumu

İlkokul : 1982–1987 Ziya Gökalp İlkokulu Erzincan

Ortaokul : 1987–1990 Kazım Karabekir Lisesi Orta Kısım

Lise : 1990–1993 Manisa Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümü

Lisans : 1994–2001 Celal Bayar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

Yüksek Lisans : 2002– ... Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü