

Roos Tipi Parallel-plate İyon Odalarının Katı Fantom (RW3) için Transfer Faktörünün Belirlenmesi

Enis Kapdan, Dođan Yaşar, Muharrem Korkmaz, Tülin Zengin, Selim Aydın, Hasan Erez*
Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Metroloji Birimi 34303 Küçükçekmece- İstanbul

ÖZET

Kliniklerde uygulanan radyoterapi tedavilerinde kullanılan iyon odalarının kalibrasyon işlemleri Standart Dozimetri Laboratuvarlarında farklı metotlar kullanılarak yapılmaktadır. Bu metotlar Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (UAEA) tarafından yayınlanan TRS-277 ve TRS-398 no'lu protokoller çerçevesinde uygulanmaktadır. Bu metotlara göre yapılan kalibrasyon hizmetlerini klinikler kendi imkânları çerçevesinde ilgili laboratuvarlardan talep etmektedirler. Ülkemizde radyasyon metrolojisi konusunda kalibrasyon hizmeti, 1983 yılından beri Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) bünyesinde bulunan Sekonder Standart Dozimetri Laboratuvarı (SSDL), tarafından verilmektedir. Uluslararası organizasyonlar tarafından son yıllarda yayınlanan bildiri ve dokümanlarda, iyon odası kalibrasyonlarında TRS-398 no'lu protokol çerçevesinde, (N_{DW}) suda absorblanan doz kalibrasyon yönteminin hem kullanıcı hem de standart dozimetri laboratuvarları için tercih edilmesi özellikle tavsiye edilmektedir. Günümüzde gelişmiş ülkelerin hem Primer hem de Sekonder Standart Dozimetri Laboratuvarlarında radyoterapi tedavilerinde kullanılan iyon odalarının kalibrasyon işlemleri, sadece suda absorblanan doz (N_{DW}) kalibrasyon yöntemini kullanarak gerçekleştirilmektedir. Ülkemiz de bu konuda bir geçiş dönemi yaşamakta olup, suda absorblanan doz (N_{DW}) kalibrasyon yöntemi daha çok tercih edilir hale gelmiştir. Bununla birlikte, ülkemizde bulunan birçok kuruluş tarafından özellikle yüksek enerjili foton ve elektron tedavileri için kullanılan parallel-plate iyon odalarının kalibrasyon işlemleri için kullanım kolaylıklarından dolayı TRS-277 protokolüne göre RW3 tipi katı fantomların kullanıldığı (N_D) kalibrasyon yöntemi uygulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Roos tipi parallel-plate iyon odalarının, (RW3) tipi katı fantomlar kullanılarak doz ölçümlerinin yapılması durumunda, su fantomu kullanmaksızın su fantomu şartlarında oluşturulacak doz değerinin elde edilmesi için gereken dönüşüm faktörünün belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu transfer faktörünün belirlenmesi amacıyla hem deneysel hem de Monte Carlo doz simülasyonları yardımıyla teorik araştırmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında, 4 adet farklı Roos tipi parallel-plate iyon odası ile farklı zamanlarda toplam 10 adet ölçümler yapılarak faktörler her bir çalışma için ayrı ayrı belirlenmiştir. Daha sonra her bir çalışma sonucu belirlenen bu faktörlerin ortalaması alınarak sonuç faktör belirlenmiştir. Simülasyon çalışmalarında EGSnc kodlu Monte Carlo doz simülasyon programı kullanılmış olup, standart ışınlama düzeneği software ortamında hem su fantomu hem de RW3 katı fantomu için oluşturularak, bu verilere göre transfer faktör belirlenmiştir. Sonuç olarak, deneysel çalışmalar sonucu tespit edilen transfer faktör, bu çalışmalara ait belirsizlik değeri ile birlikte 1.011 ± 0.0016 olarak, teorik çalışmalarda ise buna paralel şekilde 1.110 ± 0.0024 olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: SSDL, N_{DW} Kalibrasyon faktörü, RW3, Su fantomu

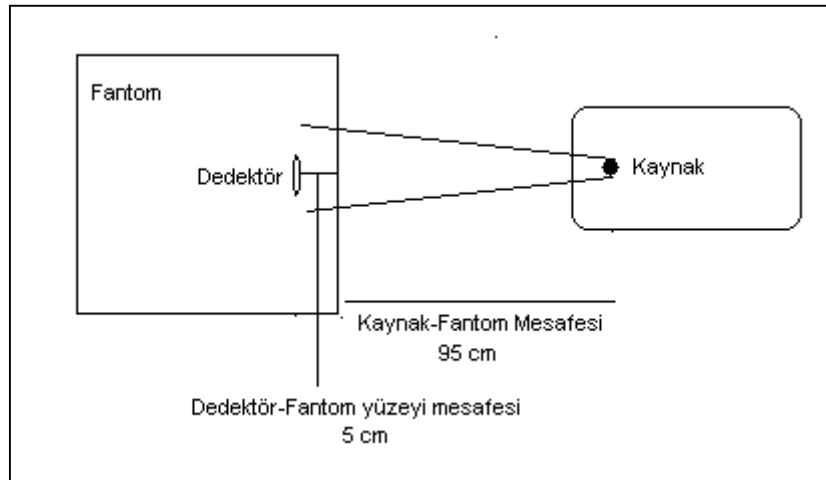
1. Giriş

Kliniklerde uygulanan radyoterapi tedavilerinde kullanılan iyon odalarının kalibrasyon işlemleri Standart Dozimetri Laboratuvarlarında farklı metotlar kullanılarak yapılmaktadır. Bu metotlar Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (UAEA) tarafından yayınlanan TRS-277 ve TRS-398 no'lu protokoller çerçevesinde uygulanmaktadır. Bu metotlara göre yapılan kalibrasyon hizmetlerini klinikler kendi imkânları çerçevesinde ilgili laboratuvarlardan talep etmektedirler. Ülkemizde radyasyon metrolojisi konusunda kalibrasyon hizmeti, 1983 yılından beri Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) bünyesinde bulunan Sekonder Standart Dozimetri Laboratuvarı (SSDL), tarafından verilmektedir. Uluslararası organizasyonlar tarafından son yıllarda yayınlanan bildiri ve dokümanlarda, iyon odası kalibrasyonlarında TRS-398 no'lu protokol çerçevesinde, (N_{DW}) suda absorblanan doz kalibrasyon yönteminin hem kullanıcı hem de standart dozimetri laboratuvarları için tercih edilmesi özellikle tavsiye edilmektedir. Günümüzde gelişmiş ülkelerin hem Primer hem de Sekonder Standart Dozimetri Laboratuvarlarında radyoterapi tedavilerinde kullanılan iyon odalarının kalibrasyon işlemleri, sadece suda absorblanan doz (N_{DW}) kalibrasyon yöntemini kullanarak gerçekleştirilmektedir. Ülkemiz de bu konuda bir geçiş dönemi yaşamakta olup, suda absorblanan doz (N_{DW}) kalibrasyon yöntemi daha çok tercih edilir hale gelmiştir. Bununla birlikte, ülkemizde bulunan birçok kuruluş tarafından özellikle yüksek enerjili foton ve elektron tedavileri için kullanılan parallel-plate iyon odalarının kalibrasyon işlemleri için kullanım kolaylıklarından dolayı TRS-277 protokolüne göre RW3 tipi katı fantomların kullanıldığı (N_D) kalibrasyon yöntemi de uygulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, Roos tipi parallel-plate iyon odalarının, (RW3) tipi katı fantomlar kullanılarak doz ölçümlerinin yapılması durumunda, su fantomu kullanmaksızın su fantomu şartlarında tespit edilecek doz değerinin elde edilmesi için gereken dönüşüm faktörünün belirlenmesi hedeflenmiştir.

Metaryel ve Metotlar

Katı fantom (RW3) – su fantomu transfer faktörünün belirlenmesi amacıyla hem deneysel hem de Monte Carlo doz simülasyon yazılım programı yardımıyla teorik araştırmalar yapılmıştır.

ÇNAEM – SSDL’de yapılan deneysel çalışmalar için 4 adet farklı Roos tipi parallel-plate iyon odası kullanılmıştır. Çalışmalarda, TRS-398 no’lu protokol çerçevesinde, standart su fantomu kullanılarak (N_{DW}) suda absorblanmış doz ölçümleri yapılmış ve akabinde aynı şartlar altında RW3 katı fantomu kullanılarak doz ölçümleri yapıp, bu iki farklı fantomdaki doz değerleri matematiksel oranlanıp, transfer faktör belirlenmiştir. Her bir ölçüm sırasında ortam sıcaklık değerlerinin 18 – 22 °C aralığında olması sağlanmıştır. Ölçümlerde 30 cm x 30 cm x 30 cm PMMA materyalinden hazırlanmış standart su fantomu ve aynı ebatlarda standart RW3 katı fantomlar kullanılmıştır. Işınlama yapılacak iyon odası fantom giriş penceresinden yatay ekseninde 5 cm derinliğe yerleştirilmekte, fantom yüzeyi Co-60 kaynağından 95 cm yatay eksen uzaklığına konumlandırılmaktadır. Bu şekilde kaynaktan toplam 100 cm uzaklıkta bulunan iyon odası, bulunduğu bu konum itibariyle 10 cm x 10 cm lik radyasyon ışınlama alanına yerleştirilmiş olmaktadır. Şekil-1 de ışınlama sisteminin kuşbakışı çizilmiş şeması gösterilmektedir.



Şekil-1 Işınlama sisteminin kuşbakışı çizilmiş şeması

Ölçümler, ön ışınlama işlemleri bittikten sonra, 1'er dakikalık 10 tekrarlı okuma ile kayıt altına alınıp bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak ham doz değeri ortaya çıkmıştır. Doz ölçüm işleminin başlangıcında ve sonunda kaydedilen basınç ve sıcaklık değerlerine uygun atmosferik düzeltme faktörü belirlenmiştir. Ham doz değeri basınç ve sıcaklık düzeltme faktörleriyle normalize edilerek son halini almıştır. Bununla birlikte, deneysel çalışmalar sırasında, her bir ölçüm sonucunun mümkün olan en düşük hata değeri ile belirlenebilmesi için fantom değişimleri hiç zaman kaybedilmeden birbirinin peşi sıra yapılarak kaynağın bozunma faktöründen gelebilecek hata minimum seviyede tutulmuştur. Şekil 2 ve Şekil 3'de her bir ölçüm için hazırlanmış su fantomu ve katı fantom düzenekleri ayrı ayrı gösterilmektedir.

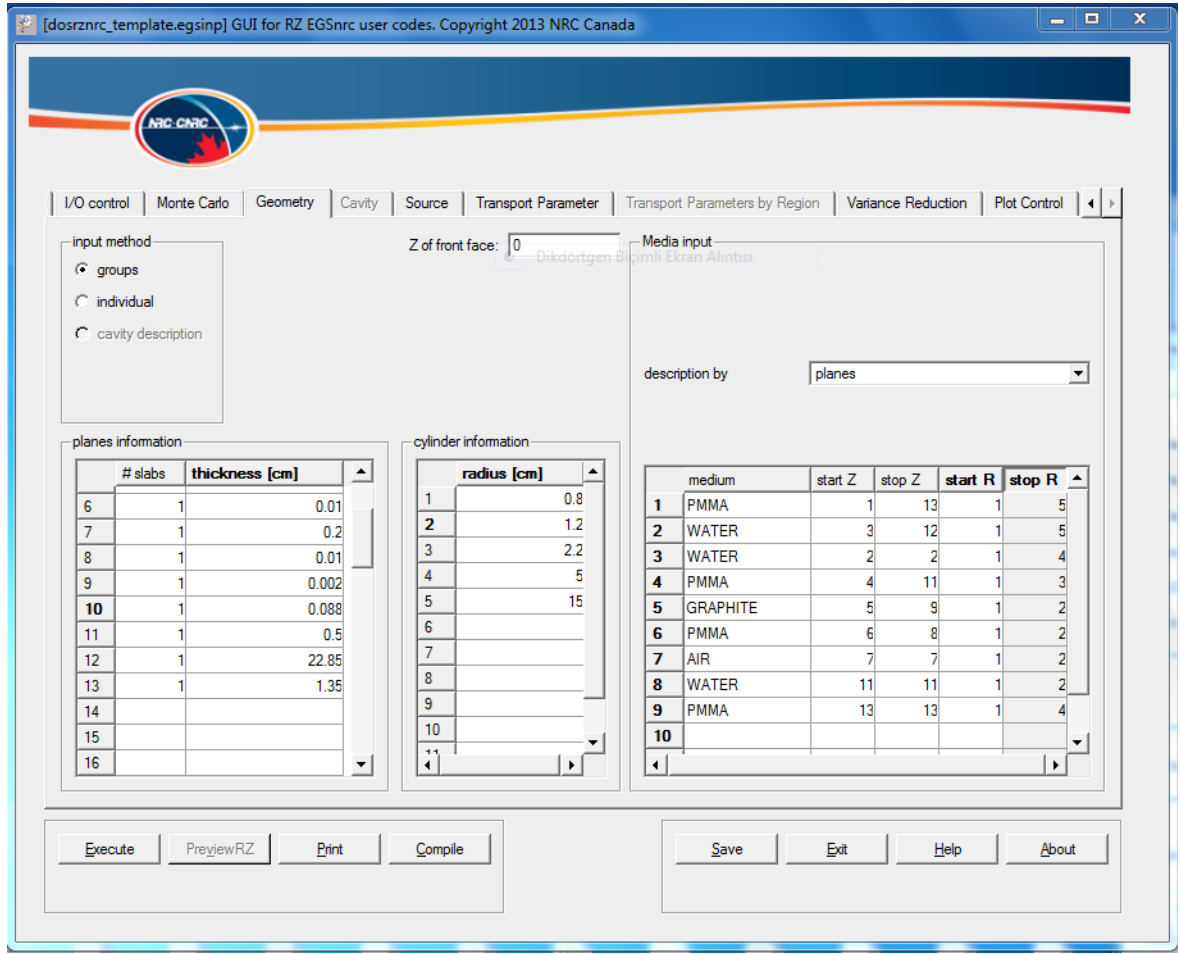


Şekil-2 Su fantomu düzenegi



Şekil-3 Katı fantom düzenegi

Simulasyon çalışmalarında EGSnrc kodlu Monte Carlo doz simülasyon programı kullanılmış olup, standart ışınlama düzenegi software ortamında hem su fantomu hem de RW3 katı fantomu için oluşturularak, bu verilere göre transfer faktör belirlemiştir. Bu yazılım programına ait ara yüz Şekil-4 te gösterilmektedir.



Şekil-4 EGSnrc programının su fantomu için hazırlanmış arayüzü (geometri kısmı)

2. Sonuçlar

DeneySEL çalışmalar sonucunda elde edilen 10 adet transfer faktörün her biri farklı tarihlerde oluşturulmuştur. Elde edilen bu faktörlerin aritmetik ortalaması alınarak deneySEL çalışmalara ait transfer faktör ortaya çıkmıştır. Yapılan deneySEL çalışmalara ait sonuçlar Tablo-1' de detaylı bir şekilde verilmiştir. Buna göre, TRS-398 no'lu protokol çerçevesinde Roos tipi parallel-plate iyon odaları için (RW3) tipi katı fantomlar kullanılarak yapılan doz ölçümlerinin, aynı şartlarda su fantomunda tespit edilecek doz değerinin elde edilmesi için gereken transfer faktörünün 1.011 ± 0.0016 olduğu tespit edilmiştir.

Deneş No	İyon Odası No	Deneş Tarihi	Akım (nC/dak)		Su/RW3 Oran
			RW3 fantom	Su fantom	
1	678	02.07.2013	3,929	3,886	0,989
2	678	05.07.2013	3,928	3,888	0,990
3	1574	09.07.2013	3,935	3,895	0,990
4	678	11.07.2013	3,926	3,882	0,989
5	678	12.07.2013	3,922	3,882	0,990
6	1891	16.07.2013	3,894	3,852	0,989
7	1951	16.07.2013	3,891	3,854	0,990
8	678	18.07.2013	3,917	3,874	0,989
9	678	19.07.2013	3,913	3,872	0,989
10	678	25.07.2013	3,907	3,866	0,989

Tablo-1 Deneşsel çalışmalara ait sonuçlar

Bununla birlikte, yapılan bu araştırma çalışması için bu çalışmaya özel belirsizlik hesaplamaları yapılarak, elde edilen transfer faktöre ait %95 güvenilirlikte hata aralığı hesaplanmıştır. Tablo-2 de bu belirsizlik çalışmalarına ait parametreler ve etki değerlendirmeleri verilmiştir.

Fiziksel nitelik ve prosedür	Standart Belirsizlik Etkisi (%)
Deneş sonuçlarının tekrarlanabilirliği	0,017
Ham sonuçlar (kaynak konum deđerikliđi, ham data tekrarlanabilirliđi)	
Katı RW3 fantom	0,08
Su fantomu	0,08
Konumlandırma (kaynak-fantom, fantom yüzeyi-iyon odası mesafe sapması)	
Katı RW3 fantom	0,06
Su fantomu	0,07
Basınç lm (kalibrasyon faktörü, znrlk, ölçüm basınç değeriklikleri)	
Katı RW3 fantom	0,02
Su fantomu	0,02
Sıcaklık (kalibrasyon faktörü, znrlk, ölçüm sıcaklık değeriklikleri)	
Katı RW3 fantom	0,04
Su fantomu	0,04
Birleřik standart belirsizlik deđerisi	0,16

Tablo-2 Deneşsel çalışmalara için hazırlanmış belirsizlik alışması

Teorik çalışmalar için kullanılan monte carlo doz simulasyon programı sonucunda hesaplanan transfer faktörün ise benzer bir şekilde 1.010 ± 0.0024 olduğu bulunmuştur. Bu çalışmaya ait belirsizlik değerleri aynı program tarafından sağlanmıştır. Programda elde edilen hem RW3 katı fantom hem de su fantomu için sonuç diyagramları Şekil-5 ve Şekil-6 da gösterilmektedir.

ZONAL OUTPUT GRID: NON-ROTATED

T : Total dose (Gray/incident fluence)
T-S: Total dose minus stoppers

0.8000	1.2000	2.2000	5.0000
0.0000 IRL 15 IZ 1 IX 2 T : 2.852E-12+- 0.08% T-S: 2.233E-12+- 0.08%	IRL 28 IZ 1 IX 3 T : 2.840E-12+- 0.04% T-S: 2.225E-12+- 0.04%	IRL 41 IZ 1 IX 4 T : 1.369E-13+- 0.07% T-S: 1.047E-13+- 0.07%	
0.2000 IRL 16 IZ 2 IX 2 T : 4.981E-12+- 0.03% T-S: 3.906E-12+- 0.03%	IRL 29 IZ 2 IX 3 T : 4.955E-12+- 0.02% T-S: 3.887E-12+- 0.02%	IRL 42 IZ 2 IX 4 T : 2.525E-13+- 0.03% T-S: 1.945E-13+- 0.03%	
1.3500 IRL 17 IZ 3 IX 2 T : 4.352E-12+- 0.02% T-S: 3.410E-12+- 0.02%	IRL 30 IZ 3 IX 3 T : 4.289E-12+- 0.01% T-S: 3.362E-12+- 0.01%	IRL 43 IZ 3 IX 4 T : 3.175E-13+- 0.01% T-S: 2.441E-13+- 0.01%	
4.9000 IRL 18 IZ 4 IX 2 T : 3.668E-12+- 0.09% T-S: 2.882E-12+- 0.09%	IRL 31 IZ 4 IX 3 T : 3.606E-12+- 0.05% T-S: 2.834E-12+- 0.05%	IRL 44 IZ 4 IX 4 T : 3.525E-13+- 0.06% T-S: 2.712E-13+- 0.06%	
4.9880 IRL 19 IZ 5 IX 2 T : 3.353E-12+- 0.20% T-S: 2.624E-12+- 0.19%	IRL 32 IZ 5 IX 3 T : 3.611E-12+- 0.09% T-S: 2.836E-12+- 0.09%	IRL 45 IZ 5 IX 4 T : 3.530E-13+- 0.13% T-S: 2.714E-13+- 0.13%	
4.9900 IRL 20 IZ 6 IX 2 T : 3.657E-12+- 0.14% T-S: 2.874E-12+- 0.14%	IRL 33 IZ 6 IX 3 T : 3.612E-12+- 0.07% T-S: 2.838E-12+- 0.07%	IRL 46 IZ 6 IX 4 T : 3.518E-13+- 0.10% T-S: 2.707E-13+- 0.10%	
5.0000 IRL 21 IZ 7 IX 2 T : 3.291E-12+- 0.22% T-S: 2.554E-12+- 0.17%	IRL 34 IZ 7 IX 3 T : 3.602E-12+- 0.04% T-S: 2.831E-12+- 0.04%	IRL 47 IZ 7 IX 4 T : 3.540E-13+- 0.05% T-S: 2.723E-13+- 0.05%	
5.2000 IRL 22 IZ 8 IX 2 T : 3.647E-12+- 0.14% T-S: 2.865E-12+- 0.14%	IRL 35 IZ 8 IX 3 T : 3.581E-12+- 0.07% T-S: 2.814E-12+- 0.07%	IRL 48 IZ 8 IX 4 T : 3.549E-13+- 0.10% T-S: 2.731E-13+- 0.10%	
5.2100 IRL 23 IZ 9 IX 2 T : 3.347E-12+- 0.21% T-S: 2.619E-12+- 0.19%	IRL 36 IZ 9 IX 3 T : 3.579E-12+- 0.09% T-S: 2.811E-12+- 0.09%	IRL 49 IZ 9 IX 4 T : 3.552E-13+- 0.13% T-S: 2.732E-13+- 0.13%	
5.2120 IRL 24 IZ 10 IX 2 T : 3.673E-12+- 0.09% T-S: 2.885E-12+- 0.09%	IRL 37 IZ 10 IX 3 T : 3.566E-12+- 0.05% T-S: 2.803E-12+- 0.05%	IRL 50 IZ 10 IX 4 T : 3.559E-13+- 0.06% T-S: 2.739E-13+- 0.06%	
5.3000 IRL 25 IZ 11 IX 2 T : 3.699E-12+- 0.05% T-S: 2.897E-12+- 0.05%	IRL 38 IZ 11 IX 3 T : 3.487E-12+- 0.03% T-S: 2.741E-12+- 0.03%	IRL 51 IZ 11 IX 4 T : 3.592E-13+- 0.03% T-S: 2.765E-13+- 0.03%	
5.8000			

wed Jul 31 12:23:29 2013

Şekil-5 EGSnrc doz simulasyon programı su fantomu için sonuç çıktısı (iyon odalı)

rw3 5cm (7) 30.07.13 - Not Defteri

Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım

ZONAL OUTPUT GRID: NON-ROTATED

T : Total dose (Gray/incident fluence)
T-S: Total dose minus stoppers

0.8000	1.2000	2.2000	5.0000
0.0000 IRL 15 IZ 1 IX 2 T : 2.591E-12+- 0.08% T-S: 2.031E-12+- 0.08%	IRL 28 IZ 1 IX 3 T : 2.579E-12+- 0.04% T-S: 2.023E-12+- 0.04%	IRL 41 IZ 1 IX 4 T : 1.265E-13+- 0.07% T-S: 9.660E-14+- 0.07%	
0.2000 IRL 16 IZ 2 IX 2 T : 4.795E-12+- 0.03% T-S: 3.778E-12+- 0.03%	IRL 29 IZ 2 IX 3 T : 4.767E-12+- 0.02% T-S: 3.758E-12+- 0.02%	IRL 42 IZ 2 IX 4 T : 2.427E-13+- 0.03% T-S: 1.879E-13+- 0.03%	
1.3500 IRL 17 IZ 3 IX 2 T : 4.211E-12+- 0.02% T-S: 3.316E-12+- 0.02%	IRL 30 IZ 3 IX 3 T : 4.150E-12+- 0.01% T-S: 3.269E-12+- 0.01%	IRL 43 IZ 3 IX 4 T : 3.068E-13+- 0.01% T-S: 2.371E-13+- 0.01%	
4.9000 IRL 18 IZ 4 IX 2 T : 3.739E-12+- 0.09% T-S: 2.938E-12+- 0.09%	IRL 31 IZ 4 IX 3 T : 3.672E-12+- 0.05% T-S: 2.886E-12+- 0.05%	IRL 44 IZ 4 IX 4 T : 3.410E-13+- 0.06% T-S: 2.637E-13+- 0.06%	
4.9880 IRL 19 IZ 5 IX 2 T : 3.408E-12+- 0.20% T-S: 2.666E-12+- 0.19%	IRL 32 IZ 5 IX 3 T : 3.650E-12+- 0.09% T-S: 2.866E-12+- 0.09%	IRL 45 IZ 5 IX 4 T : 3.412E-13+- 0.13% T-S: 2.637E-13+- 0.13%	
4.9900 IRL 20 IZ 6 IX 2 T : 3.705E-12+- 0.14% T-S: 2.912E-12+- 0.14%	IRL 33 IZ 6 IX 3 T : 3.646E-12+- 0.07% T-S: 2.865E-12+- 0.07%	IRL 46 IZ 6 IX 4 T : 3.413E-13+- 0.10% T-S: 2.639E-13+- 0.10%	
5.0000 IRL 21 IZ 7 IX 2 T : 3.324E-12+- 0.22% T-S: 2.580E-12+- 0.17%	IRL 34 IZ 7 IX 3 T : 3.610E-12+- 0.04% T-S: 2.837E-12+- 0.04%	IRL 47 IZ 7 IX 4 T : 3.432E-13+- 0.05% T-S: 2.654E-13+- 0.05%	
5.2000 IRL 22 IZ 8 IX 2 T : 3.677E-12+- 0.14% T-S: 2.888E-12+- 0.14%	IRL 35 IZ 8 IX 3 T : 3.581E-12+- 0.07% T-S: 2.814E-12+- 0.07%	IRL 48 IZ 8 IX 4 T : 3.443E-13+- 0.10% T-S: 2.663E-13+- 0.10%	
5.2100 IRL 23 IZ 9 IX 2 T : 3.372E-12+- 0.20% T-S: 2.639E-12+- 0.19%	IRL 36 IZ 9 IX 3 T : 3.582E-12+- 0.10% T-S: 2.813E-12+- 0.09%	IRL 49 IZ 9 IX 4 T : 3.450E-13+- 0.13% T-S: 2.668E-13+- 0.13%	
5.2120 IRL 24 IZ 10 IX 2 T : 3.649E-12+- 0.09% T-S: 2.867E-12+- 0.09%	IRL 37 IZ 10 IX 3 T : 3.561E-12+- 0.05% T-S: 2.799E-12+- 0.05%	IRL 50 IZ 10 IX 4 T : 3.449E-13+- 0.06% T-S: 2.668E-13+- 0.06%	
5.3000 IRL 25 IZ 11 IX 2 T : 3.565E-12+- 0.05% T-S: 2.807E-12+- 0.05%	IRL 38 IZ 11 IX 3 T : 3.476E-12+- 0.03% T-S: 2.731E-12+- 0.03%	IRL 51 IZ 11 IX 4 T : 3.481E-13+- 0.03% T-S: 2.693E-13+- 0.03%	
5.8000			

Tue Jul 30 09:41:15 2013

Şekil-6 EGSnrc doz simulasyon programı RW3 katı fantomu için sonuç çıktısı (iyon odalı)

Çıkan sonuçlar, belirsizlik değerleriyle birlikte değerlendirildiğinde teorik ve deneysel çalışmaların sonuçlar itibariyle çok ciddi bir uyum içerisinde olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışmaya ait bu sonuçlar ilginç bir bulguyu da ortaya çıkartmaktadır. RW3 tipi katı fantomların yoğunlukları 1.045 gr/cm^3 ve ışınlamada kullanılan suyun yoğunluğu 1 gr/cm^3 tür. Buna göre, suya göre yoğunluğu daha fazla olan katı RW3 katı fantomlarda ölçümlenen doz değerlerinin su fantomundakine göre daha az olması beklenirken, beklenenin aksine su fantomunda belirlenen doz değerlerinden daha az olduğu hem deneysel hem de simülasyon

programları tarafından kanıtlanmıştır. Bu yüzden aynı çalışma bilgisayar ortamında detektör olan kısma hava boşluğu yerleştirilerek tekrar tasarlanmış ve buna göre de sonuç doz değerinin, beklendiği gibi RW3 katı fantomunda daha az olduğu görülmüştür. Bu ilginç sonuca ait yapılan araştırmalarımız bizi bu ters ilişkinin sebebinin Roos tipi iyon odalarının geri saçılım faktörlerinin bu iki fantom türü için ters yönlü çalıştığı sonucuna ulaştırmıştır. Bu konu ile ilgili çalışmalarımız her iki fantom türü için derinlik analizleri yapılmak suretiyle devam edecek ve bu ters yoğunluk-doz ilişkisi tarafımızca daha detaylı araştırılacaktır.

Sonuç olarak, elde edilen su fantomu-RW3 katı fantom transfer faktörü (1.011 ± 0.0016) ülkemizde hala yaygın kullanımı olan RW3 katı fantomu kullanıcıları için hem ışınlama sistemi doz kontrol çalışmaları için hem de kendilerine ulaştırılan kalibrasyon faktörlerinin incelemesi aşamasında kolay kullanılabilir bir alternatif yol sunmaktadır.

Bu çalışmanın ön hazırlık aşamalarında ciddi katkıları bulunan PTB radyasyon metrolojisi uzmanları, Dr. Ralf-Peter Kapsch, Dr. Ludwig Büermann ve Dr. Rolf Behrens'e teşekkürlerimi sunarım.