

126657

**FARKLI CAMLARIN RADYASYON KARŞISINDAKİ DAVRANIŞLARININ  
İNCELENMESİ, DOZİMETRİK AMAÇLI KULLANIMLARININ  
DEĞERLENDİRİLMESİ VE YENİ BİR KORELASYON**

**DOKTORA TEZİ**  
**Fiz. Yük. Lis. Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN**  
**(303982001)**

İTÜ NÜKLEER ENERJİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK BÖLÜMÜ

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Ocak 2002**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 5 Nisan 2002**

**Tez Danışmanı :**

**Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL**

**Diğer Jüri Üyeleri**

**Prof.Dr. Hasbi YAVUZ (İ.T.Ü.)**

**Prof.Dr. Nurfer GÜNGÖR (İ.T.Ü.)**

**Doç.Dr. Mustafa DEMİR (İ.Ü.)**

**Doç.Dr. Filiz BAYTAŞ (İ.T.Ü.)**

02.05.2002

01.02.2002

01.05.02

01.05.02

21/5/2002

**NİSAN 2002**

126657

## ÖNSÖZ

Bu doktora tez çalışmasında, dört farklı cam türünün, farklı radyasyon tipleri ile ışınlamaları yapılmış, böylece, bu camların, dozimetrik amaçlı kullanımı değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu camların, güneş enerjisine yönelik ısı parametreleri belirlenmiştir. Radyasyona maruz kalmış camların, renk ve ısı parametreleriyle incelenmesine yönelik, yapılan literatür taramasında, tarafımızdan yayınlanan iki makale dışında herhangi başka bir yayına rastlanmamıştır. İncelenen camların, spektrofotometrik verilerle elde edilen, güneş enerjisine yönelik solar soğurma sonuçları, tarafımızdan oluşturulan bir denklemle, yeniden elde edilmeye çalışılmıştır. Bütün bunlara ek olarak, radyasyona en hızlı cevap veren cam tipini belirlemek amacıyla, matematiksel olarak bir denklem oluşturularak, özgün bir cam dozimetre seçim parametresi belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada, hem uygulama yönünden ve hem de teorik yönden ilerleme kaydedilmiştir. İTÜ Araştırma Fonu Tarafından Doktora Araştırma Projesi olarak desteklenen bu çalışmanın, konu ile ilgili çalışacaklara yardımcı olacağını umarız.

Çalışmalarımın her aşamasında, fikirlerinden son derece yararlandığım her zaman yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, her türlü zor çalışma şartı altında, öğrencilerine dayanma gücü vererek, daima, bizlere iyilik ve çalışma sevgisi aşılayan, Çok Kıymetli Hocam, Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL'a, en derin ve en samimi, minnet ve şükranlarımı, burada ifade etmeyi bir borç bilirim.

İTÜ TRİGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü'nde, camlarımızın değişik radyasyon tipleri ile ışınlamalarına izin ve destek veren, Reaktör Müdürü ve Çok Kıymetli Hocamız, Prof. Dr. Hasbi YAVUZ'a minnet ve teşekkürlerimi, burada ifade etmeyi bir borç bilirim.

Topkapı Şişecam AŞ'ye ve Topkapı Şişecam Araştırma Merkezi'nde, Renk ve Spektrometri Laboratuvarı'nda, çalışmalarına, maddi ve manevi, çok büyük destek veren, Bölüm Şefi, Gülçin ALBAYRAK'a ve bu laboratuvarı görevli, Araştırma Mühendisleri, Esra AKMORAN, Fehimhan AKMAZ ve Hande SENDEL'e, ayrıca, buradaki kütüphaneden sorumlu, Semih İŞEVİ'ye, en derin, sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, incelediğimiz camların, İTÜ TRİGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü'nde ışınlamaları için, yardım eden, Reaktör Personeli, Müh. Mehmet GENÇELİ, Dr. Muhittin OKKA ve Yüksek Lis. Secaattin YENER'e teşekkür ederim.

Bütün eğitim hayatım boyunca, göstermiş oldukları, müşfik sabır, anlayış, hoşgörü ve destek için, anneme ve babama teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, doktora tezimin son dönemlerinde, bana gösterdiği, sabır ve anlayış için, eşime çok teşekkür ederim.

Ocak, 2002

Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN

## **İÇİNDEKİLER**

|                                                                                      |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>ÖNSÖZ</b>                                                                         | <b>ii</b>    |
| <b>KISALTMALAR</b>                                                                   | <b>xi</b>    |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                                                 | <b>xii</b>   |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                                 | <b>xv</b>    |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>                                                                | <b>xxi</b>   |
| <b>ÖZET</b>                                                                          | <b>xxii</b>  |
| <b>SUMMARY</b>                                                                       | <b>xxiii</b> |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                                      | <b>1</b>     |
| <b>2. CAM</b>                                                                        | <b>9</b>     |
| 2.1.Cam Eldesi                                                                       | 9            |
| 2.2.Cam Yapısı                                                                       | 10           |
| 2.3.Cam Tipleri                                                                      | 12           |
| 2.4.Camın Işık Geçirgenliği Davranışının İncelenmesi                                 | 14           |
| 2.4.1.Camın Morötesi ve Görünür ( UV-VIS ) Bölgeki Işınlara Karşı Davranışı          | 15           |
| 2.4.2.Yakın Kızılaltı (NIR) Bölge                                                    | 16           |
| 2.4.3.Kızılaltı Bölge                                                                | 16           |
| 2.5. Camda Renklenme                                                                 | 17           |
| 2.5.1.İyonik Yapıya Bağlı Olan Renklenme                                             | 17           |
| 2.5.2.Cam Yapısındaki Distorsiyon (Şekil Değişikliği) Sonucu Meydana Gelen Renklenme | 23           |
| 2.5.3.Kolloidal Çökme Sonucu Oluşan Renklenme                                        | 24           |
| 2.5.4.Cam Yapısındaki Hatalar Sonucu Meydana Gelen Renklenme                         | 25           |

|                                                                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3. RADYASYONUN CAM ÜZERİNDEKİ ETKİSİ</b>                                                                        | <b>26</b> |
| 3.1.Radyoaktivite ve Radyasyon Tipleri                                                                             | 26        |
| 3.2.Radyasyonun Malzemeyi Etkileme Mekanizmaları                                                                   | 27        |
| 3.3.Camların Radyasyon Karşısında Davranışı                                                                        | 30        |
| 3.4.Camlarda Renk ve Isıl Parametrelerin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler                                       | 35        |
| 3.4.1. Camlarda Renklenme Mekanizmaları                                                                            | 35        |
| 3.4.1.1.Camda Renk Koordinatları, Baskın Dalgaboyu ( $\lambda_d$ ), Işığın Uyarılma Saflığı (% P), Parlaklık (% B) | 35        |
| 3.4.2.Camlarda Isı Geçişi ve Isıl Özellikler                                                                       | 38        |
| 3.4.3.Avrupa Standartlar Komitesin'in (CEN) Camlar İçin Belirtilen Optik Özellikler                                | 40        |
| 3.4.3.1.Işık Geçirgenliği                                                                                          | 40        |
| 3.4.3.2.Işık Yansıtıcılığı                                                                                         | 41        |
| 3.4.3.3.Toplam Soğurma ve Enerji Geçirgenliği (Güneş Işını Faktörü)                                                | 42        |
| 3.4.3.4.Morötesi Geçirgenliği                                                                                      | 46        |
| <b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>                                                                                      | <b>48</b> |
| 4.1.Çalışılan Camların Tanıtımı                                                                                    | 48        |
| 4.2.Çalışılan Radyasyon Kaynaklarının Tanıtımı                                                                     | 51        |
| 4.2.1.Radyoizotop Kaynaklar                                                                                        | 51        |
| 4.2.1.1.Gama Radyoizotop Kaynağın Seçimi                                                                           | 51        |
| 4.2.1.2.Beta Radyoizotop Kaynağın Seçimi                                                                           | 56        |
| 4.2.2.İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü                                                           | 59        |
| 4.2.2.1.İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Teğetsel Işınlama Tüpü (TIT)                            | 60        |
| 4.2.2.2.İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı                                 | 61        |
| 4.3.Uygulanan Doz                                                                                                  | 62        |
| 4.4.Deneyin Yapılışı ve Işınlama Düzenekleri                                                                       | 64        |
| 4.4.1.Co-60 Radyoizotop Kaynağı ile Işınlamalar İçin Hazırlanan Deney Düzeneklerinin Tanıtılması                   | 64        |
| 4.4.2.Sr-90 Kaynağı ile Işınlamalar İçin Hazırlanan Deney Düzeneklerinin Tanıtılması                               | 65        |

|                                                                                                                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4.3.İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Eğitim ve Araştırma<br>Reaktörünün Teğetsel Işınlama Tüpü (TIT) Işınlama Düzenegi                              | 66        |
| 4.4.4.İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Eğitim ve Araştırma<br>Reaktörünün Merkezi Işınlama Kanalı Işınlama Düzenegi                                   | 67        |
| 4.5.Ölçümleme Deney Düzeneginin Tanıtımı                                                                                                                       | 69        |
| 4.5.1.Cam Örneklerin Yapılan Ölçümlere Hazırlanması                                                                                                            | 69        |
| 4.5.2.XRF Spektrometresi ile Yapılan Çalışmalar                                                                                                                | 69        |
| <b>5. DENEY SONUÇLARI</b>                                                                                                                                      | <b>71</b> |
| 5.1.Soda-kireç-silika Camlara İlişkin Sonuçlar                                                                                                                 | 71        |
| 5.1.1.Soda-kireç-silika Camlar ile Gama Kaynağı Kullanılarak Yapılan<br>Deneylerin Sonuçları                                                                   | 72        |
| 5.1.1.1.Soda-kireç-silika Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde<br>Edilen Morötesi Bölgeye İlişkin Deneysonuçları                                         | 72        |
| 5.1.1.2.Soda-kireç-silika Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla<br>Elde Edilen Görünür Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları                                         | 74        |
| 5.1.1.3.Soda-kireç-silika Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde<br>Edilen Solar Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları                                           | 80        |
| 5.1.2.Soda-kireç-silika Camları ile Beta Kaynağı Kullanılarak Yapılan<br>Deneylerin Sonuçları                                                                  | 85        |
| 5.1.3.Soda-kireç-silika Camları ile İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve<br>Araştırma Reaktörü Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan<br>Deneylerin Sonuçları  | 91        |
| 5.1.4.Soda-kireç-silika Camları ile İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve<br>Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak Yapılan<br>Deneylerin Sonuçları | 92        |
| 5.2.Borosilikat Camlara İlişkin Deney Sonuçları                                                                                                                | 98        |
| 5.2.1.Borosilikat Camlar ile Gama Kaynağı Kullanılarak Yapılan<br>Deney Sonuçları                                                                              | 98        |
| 5.2.1.1.Borosilikat Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla<br>Elde Edilen Morötesi Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları                                              | 98        |
| 5.2.1.2.Borosilikat Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla<br>Elde Edilen Görünür Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları                                               | 100       |

|                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2.1.3.Borosilikat Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla<br>Elde Edilen Solar Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları                                                  | 105 |
| 5.2.2.Borosilikat Camlar ile İTÜ NEE TRIGA Mark II Eğitim ve<br>Araştırma Reaktörü Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak<br>Yapılan Deneylerin Sonuçları          | 110 |
| 5.2.3.Borosilikat Camlar ile İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma<br>Reaktör'ü Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak Yapılan<br>Deneylerin Sonuçları        | 111 |
| 5.3.Kurşun-alkali-silika Camlara İlişkin Deney Sonuçları                                                                                                        | 111 |
| 5.3.1.Kurşun-alkali-silika Camlar ile Gama Kaynağı Kullanılarak<br>Yapılan Deney Sonuçları                                                                      | 111 |
| 5.3.1.1.Kurşun-alkali-silika Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla<br>Elde Edilen Morötesi Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları                                      | 112 |
| 5.3.1.2.Kurşun-alkali-silika Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla<br>Elde Edilen Görünür Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları                                       | 114 |
| 5.3.1.3.Kurşun-alkali-silika Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla<br>Elde Edilen Solar Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları                                         | 119 |
| 5.3.2.Kurşun-alkali-silika Camlar ile İTÜ NEE TRIGA Mark II Eğitim ve<br>Araştırma Reaktörü Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan<br>Deneylerin Sonuçları | 124 |
| 5.3.3.Kurşun-alkali-silika Camlar ile İTÜ NEE TRIGA Mark-II Reaktörü<br>Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları                       | 131 |
| 5.4.Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlara İlişkin Deney<br>Sonuçları                                                                                 | 137 |
| 5.4.1.Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile Gama Kaynağı<br>Kullanılarak Yapılan Deney Sonuçları                                                  | 137 |
| 5.4.1.1.Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile<br>Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Morötesi Bölgeye<br>İlişkin Deney Sonuçları               | 137 |
| 5.4.1.2.Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile Gama<br>Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Görünür Bölgeye İlişkin<br>Deney Sonuçları                | 139 |

|                                                                                                                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.4.1.3.Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Solar Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları                                         | 144        |
| 5.4.2.Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü, Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları   | 149        |
| 5.4.3.Baryum ve Boron Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları | 50         |
| 5.5.Farklı Camlar ile Yapılan Deney Sonuçlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi                                                                                              | 156        |
| 5.5.1.Co-60 Rayoizotopu Kullanılarak Yapılan Çalışmalarda Dört Farklı Tipteki Camda Oluşan Değişimlerin Karşılaştırılması                                                        | 156        |
| 5.5.1.1.Morötesi Bölgede Oluşan Değişimlerin Karşılaştırılması                                                                                                                   | 56         |
| 5.5.1.2.Görünür Bölgede Oluşan Değişimlerin Karşılaştırılması                                                                                                                    | 158        |
| 5.5.1.3.Solar Bölgede Oluşan Değişimlerin Karşılaştırılması                                                                                                                      | 161        |
| 5.5.2.İTÜ NEE TRIGA Mark-II Reaktörü Teğetsel Işınlama Tüpü (TIT) Kullanılarak Yapılan Çalışmalarda Dört Farklı Tipteki Camda Oluşan Değişimlerin Karşılaştırılması              | 165        |
| 5.5.3.İTÜ NEE TRIGA Mark-II Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak Yapılan Çalışmalarda Üç Farklı Tipteki Camda Değişimlerin Karşılaştırılması                            | 165        |
| 5.5.4.İncelenen Camlarda Spesifik Soğurma Değerlendirmesi ve Birbirinden Farklı Kaynaklar Kullanılarak Camlarda Soğurulan Dozun Karşılaştırılması                                | 173        |
| <b>6.İNCELENEN CAMLARIN DOZİMETRİK AMAÇLI KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ</b>                                                                                                     | <b>180</b> |
| 6.1.Soda-kireç-silika Camların Dozimetrik Amaçlı Kullanımının İncelenmesi                                                                                                        | 181        |
| 6.2.Borosilikat Camların Dozimetrik Amaçlı Kullanımının İncelenmesi                                                                                                              | 188        |
| 6.3.Kurşun-alkali-silika Camların Dozimetrik Amaçlı Kullanımının İncelenmesi                                                                                                     | 194        |

|                                                                                                                                                                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.4.Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camların Dozimetrik Amaçlı Kullanımının İncelenmesi                                                                                                             | 200        |
| 6.5.Farklı Camların Dozimetrik Amaçlı KullanımınınMukayeseli Olarak İncelenmesi                                                                                                                              | 209        |
| <b>7. IŞINLANMIŞ FARKLI CAMLARIN GÜNEŞ ENERJİSİNE YÖNELİK (SOLAR) ISIL PARAMETRELERİ</b>                                                                                                                     | <b>213</b> |
| 7.1.Soda-kireç-silika Camlarda Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi                                                                                                        | 216        |
| 7.1.1.Gama Kaynağı Kullanılarak Işınlanan Soda-kireç-silika Camların Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi                                                                  | 216        |
| 7.1.2.Beta Kaynağı Kullanılarak Işınlanan Soda-kireç-silika Camların Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi                                                                          | 220        |
| 7.1.3.İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak Işınlanan Soda-kireç-silika Camların Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi            | 221        |
| 7.2.Borosilikat Camlarda Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi                                                                                                                      | 223        |
| 7.2.1.Gama Kaynağı Kullanılarak Işınlanan Borosilikat Camların Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi                                                                                | 224        |
| 7.3.Kurşun-alkali-silika Camlarda Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi                                                                                                     | 227        |
| 7.3.1.Gama Kaynağı Kullanılarak Işınlanan Kurşun-alkali-silika Camların Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi                                                               | 228        |
| 7.3.2.İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Işınlanan Kurşun-Alkali-Silika Camların Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi  | 231        |
| 7.3.3.İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak Işınlanan Kurşun-Alkali-Silika Camların Güneş Enerjisine Yönelik (solar) Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi | 233        |

|                                                                                                                                                                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.4.Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlarda Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi                                                                                                      | 235        |
| 7.4.1.Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile Gama Kaynağı Kullanılarak Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi                                                                        | 236        |
| 7.4.2.Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak, Güneş Enerjisine (Solar) Yönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi | 239        |
| 7.5.İncelenen Dört Farklı Cam Tipine Göre Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerinin Karşılaştırılması                                                                                                        | 241        |
| 7.5.1.Gama Kaynağı Kullanılarak İncelenen Dört Farklı Cam Tipinin Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerinin Karşılaştırılması                                                                                | 242        |
| 7.5.2.Nötronlarla Yapılan İncelemelerde Dört Farklı Cam Tipinin Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerinin Karşılaştırılması                                                                                  | 246        |
| 7.5.3.Karışık Radyasyon ile Yapılan İncelemelerde Farklı Cam Tiplerinin Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerinin Karşılaştırılması                                                                                  | 249        |
| 7.5.4.Farklı Radyasyon Kaynaklarının Dört Farklı Cam Tipindeki Isıl Parametrelere Olan Etkisinin Karşılaştırılması                                                                                                        | 253        |
| <b>8.İŞINLANMIŞ FARKLI CAMLARIN, GÜNEŞ ENERJİSİ (SOLAR) SOĞURMASINA YÖNELİK YENİ BİR KORELASYON</b>                                                                                                                       | <b>258</b> |
| 8.1.İşinlanmış Camlardaki Güneş Enerjisi (Solar) Soğurmasına İlişkin Önerilen Yeni Bir Korelasyonun Oluşturulması                                                                                                         | 258        |
| 8.2.Camların Öz direnci                                                                                                                                                                                                   | 260        |
| 8.3.Farklı Camlar İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Önerilen Yeni Korelasyon ile İncelenmesi                                                                                                                            | 264        |
| 8.3.1.Soda-Kireç-Silika Camlar İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Önerilen Korelasyona Göre İncelenmesi                                                                                                                  | 267        |
| 8.3.2.Borosilikat Camlar İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Önerilen Yeni Korelasyona Göre İncelenmesi                                                                                                                   | 269        |

|                                                                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.3.3.Kurşun-alkali-silika Camlar İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının<br>Önerilen Yeni Korelasyona Göre İncelenmesi                     | 271        |
| 8.3.4.Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar İçin Elde Edilen<br>Deney Sonuçlarının Önerilen Yeni Korelasyona Göre İncelenmesi | 273        |
| 8.4.Farklı Camlar İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Önerilen Yeni<br>Korelasyona Göre Uyumlarının Yorumlanması                        | 274        |
| <b>9.SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b>                                                                                                           | <b>279</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                                                                                        | <b>287</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                                                                                         | <b>294</b> |



## KISALTMALAR

|      |                                                                                                         |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ASME | : The American Society of Mechanical Engineers - Amerikan Makina Mühendisleri Birliği                   |
| ASTM | : The American Society for Testing and Materials - Amerikan Test ve Malzeme Birliği                     |
| ICI  | : International Commission on Illumination-Uluslararası Aydınlatma Komitesi                             |
| CIE  | : The Commission International de L'eclairage-Uluslararası Renk Komisyonu                               |
| CEN  | : Comite Europeen de Normalisation- European Committee for Standardization -Avrupa Standartlar Komitesi |
| EN   | : European Standart-Avrupa Standartları                                                                 |
| TSE  | : Türk Standartları Enstitüsü                                                                           |
| UV   | : Ultraviolet Radiation-Elektromanyetik Spektrumdaki Morötesi Bölge                                     |
| VIS  | : Visible Radiation-Elektromanyetik Spektrumdaki Görünür Bölge                                          |
| NIR  | : Near Infrared Radiation-Elektromanyetik Spektrumdaki Yakın Kızılaltı Bölge                            |

## TABLO LİSTESİ

|                    |                                                                                                                                                                          |     |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 2.1.</b>  | Camı Oluşturan Bileşenler.....                                                                                                                                           | 10  |
| <b>Tablo 2.2.</b>  | Cam Tipleri.....                                                                                                                                                         | 12  |
| <b>Tablo 3.1.</b>  | Görünür Bölge İçin Değerler.....                                                                                                                                         | 41  |
| <b>Tablo 3.2.</b>  | Solar Radyasyonun Görelî Spektral Dağılımı.....                                                                                                                          | 44  |
| <b>Tablo 3.3.</b>  | Tüm Dünyayı Etkileyen Solar Radyasyonun UV Kısımının,<br>Normalize Edilmiş Görelî Spektral Dağılım $U_{\lambda}\Delta\lambda$ Dalgaboyu<br>Aralığı ile Çarpılmıştır..... | 47  |
| <b>Tablo 4.1.</b>  | Çalışılan Camların XRF Tekniğı ile Kimyasal Analiz Sonuçları.....                                                                                                        | 49  |
| <b>Tablo 4.2.</b>  | Optik Özelliklerine Göre İncelenen Camların Sınıflandırılması.....                                                                                                       | 50  |
| <b>Tablo 4.3.</b>  | Gama Radyoizotop Kaynaklarının Özellikleri.....                                                                                                                          | 52  |
| <b>Tablo 4.4.</b>  | Yarı Ömrü Bir Yıldan Fazla ve Yayınladığı Gama Fotonu<br>Enerjisi 1.02 MeV'in Üzerinde Olan Radyoizotoplar.....                                                          | 54  |
| <b>Tablo 4.5.</b>  | Kullanılan Co-60 Radyoizotop Kaynağının Özellikleri.....                                                                                                                 | 55  |
| <b>Tablo 4.6.</b>  | Beta Radyoizotop Kaynaklarının Özellikleri.....                                                                                                                          | 57  |
| <b>Tablo 4.7.</b>  | Kullanılan Sr-90 Radyoizotop Kaynağının Özellikleri.....                                                                                                                 | 58  |
| <b>Tablo 4.8.</b>  | Çeşitli Nükleer Uygulamalarda Kullanılan Dozlar.....                                                                                                                     | 63  |
| <b>Tablo 5.1.</b>  | Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik Değerlerine İlişkin Sonuçlar.....                                                                                                         | 73  |
| <b>Tablo 5.2.</b>  | Cam Kalınlığına Bağlı Görünür Işık Geçirgenliği ( $\tau_v$ ),<br>Yansıtıcılık ( $\rho_v$ ) ve Soğurma ( $\alpha_v$ ) Değerleri.....                                      | 75  |
| <b>Tablo 5.3.</b>  | Cam Kalınlığına Bağlı Solar Işık Geçirgenliği, Yansıtıcılık ve<br>Soğurma Değerleri.....                                                                                 | 80  |
| <b>Tablo 5.4.</b>  | 10 mm Kalınlıktaki Soda-Kireç-Silika Camların Optik Değerleri.....                                                                                                       | 86  |
| <b>Tablo 5.5.</b>  | Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan, Deney Sonuçları.....                                                                                                        | 92  |
| <b>Tablo 5.6.</b>  | Merkezi Işınlama Kanalı İşınlanan, Camların Optik<br>Özelliklerde Oluşan Değişim.....                                                                                    | 92  |
| <b>Tablo 5.7.</b>  | Borosilikat Camlarda Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik Değerleri.....                                                                                                       | 98  |
| <b>Tablo 5.8.</b>  | Görünür Bölgedeki Geçirgenlik $\tau_v$ (%), Yansıtıcılık $\rho_v$ (%) ve<br>Soğurma $\alpha_v$ (%) Değerleri.....                                                        | 101 |
| <b>Tablo 5.9.</b>  | Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Yapılan İncelemelere Göre,<br>Borosilikat Camlarda, Kalınlığa Bağlı, Solar Bölgede,<br>Optik Değerlerdeki Değişim.....                   | 105 |
| <b>Tablo 5.10.</b> | Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki<br>Borosilikat Camların Optik Değişimleri.....                                                                   | 111 |
| <b>Tablo 5.11.</b> | Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak, Borosilikat Camlardaki<br>Optik Değişimler.....                                                                                    | 111 |
| <b>Tablo 5.12.</b> | Kurşun-Alkali-Silika Camlarda, Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik<br>Değerleri.....                                                                                          | 112 |
| <b>Tablo 5.13.</b> | Kurşun-Alkali-Silika Camlarda Kalınlığa Bağlı Görünür<br>Bölgedeki Geçirgenlik $\tau_v$ (%), Yansıtıcılığı $\rho_v$ (%) ve Soğurma<br>$\alpha_v$ (%) Değerleri.....      | 115 |
| <b>Tablo 5.14.</b> | Solar Bölgede Geçirgenlik $\tau_e$ (%), Yansıtıcılık $\rho_e$ (%) ve<br>Soğurma $\alpha_e$ (%).....                                                                      | 119 |

|                    |                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 5.15.</b> | Teğetsel Işınlama Tüpü'nde, 10 mm Kalınlıktaki Camlarla Yapılan Çalışmalar .....                                                                                                 | 124 |
| <b>Tablo 5.16.</b> | Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak, Kurşun-Alkali-Silika Camlara İlişkin Yapılan Çalışmalarda Elde Edilen Sonuçlar.....                                                        | 131 |
| <b>Tablo 5.17.</b> | Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlarda Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik Değerleri .....                                                                                 | 138 |
| <b>Tablo 5.18.</b> | Görünür Bölgedeki Geçirgenlik $\tau_v(\%)$ , Yansıtıcılık $\rho_v(\%)$ ve Soğurma $\alpha_v(\%)$ Değerleri.....                                                                  | 140 |
| <b>Tablo 5.19.</b> | Baryum ve Bor Taşıyan Optik Kireçli Camlarda Kalınlığa Bağlı Solar Bölgedeki Geçirgenlik $\tau_e(\%)$ , Yansıtıcılık $\rho_e(\%)$ ve Soğurma $\alpha_e(\%)$ Değerleri .....      | 144 |
| <b>Tablo 5.20.</b> | Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlara İlişkin Deney Sonuçları .....                                           | 150 |
| <b>Tablo 5.21.</b> | Merkezi Işınlama Kanalı'nda Işınlanan Camların Görünür Bölgedeki Geçirgenlik $\tau_v(\%)$ , Yansıtıcılık, $\rho_v(\%)$ ve Soğurma $\alpha_v(\%)$ Değerlerindeki Değişimler ..... | 150 |
| <b>Tablo 5.22.</b> | Nötronlara Maruz Kalmış, Dört Farklı Tip Camdaki Optik Değerlerde Oluşan Değişimler .....                                                                                        | 165 |
| <b>Tablo 6.1.</b>  | Soda-Kireç-Silika Camlardaki Mevcut Elementlerin Nötron Tesir Kesitleri ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Geçirgenlik Katsayıları.....                                             | 187 |
| <b>Tablo 6.2.</b>  | Soda-Kireç-Silika Camlarda Nötron Tesir Kesiti ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Soğurma Katsayıları.....                                                                          | 188 |
| <b>Tablo 6.3.</b>  | Borosilikat Camlardaki Elementlerin Nötron Tesir Kesitleri ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Geçirgenlik Katsayıları.....                                                          | 192 |
| <b>Tablo 6.4.</b>  | Borosilikat Camlarda Nötron Tesir Kesiti ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Geçirgenlik Katsayıları.....                                                                            | 193 |
| <b>Tablo 6.5.</b>  | Kurşun-Alkali-Silika Camlardaki Elementlerin Nötron Tesir Kesitleri ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Geçirgenlik Katsayıları.....                                                 | 199 |
| <b>Tablo 6.6.</b>  | Kurşun-Alkali-Silika Camlarda Nötron Tesir Kesiti ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Geçirgenlik Katsayıları.....                                                                   | 200 |
| <b>Tablo 6.7.</b>  | İncelediğimiz Camlardaki Elementlerin Nötron Tesir Kesitleri ve 1.25 MeV Enerjili Fotonlar İçin Geçirgenlik Katsayıları .....                                                    | 207 |
| <b>Tablo 6.8.</b>  | Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlarda 1.25 MeV Enerjili Fotonların Geçirgenlik Katsayıları.....                                                                      | 208 |
| <b>Tablo 6.9.</b>  | İncelenen Cam Tiplerine Göre, Nötron Etkin Tesir Kesitleri ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Soğurma Katsayıları.....                                                              | 211 |
| <b>Tablo7.1.</b>   | Soda-Kireç-Silika Camlarda Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi .....                                            | 217 |
| <b>Tablo7.2.</b>   | Soda-Kireç-Silika Camlarda Sr-90 Radyoizotopu Kullanılarak Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi .....                                    | 220 |
| <b>Tablo7.3.</b>   | Soda-kireç-silika Camların, Merkezi Işınlama Kanalı'nda Işınlanmasıyla, Güneş enerjisine Yönelik (solar) Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi.....                        | 222 |
| <b>Tablo7.4.</b>   | Borosilikat Camlarda Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi .....                                          | 224 |

|                    |                                                                                                                                                  |     |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 7.5.</b>  | Kurşun-alkali-silika Camlarda Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi .....                                  | 228 |
| <b>Tablo 7.6.</b>  | Kurşun-alkali-silika Camların, Teğetsel Işınlama Tüpü'nde Işınlanmasıyla, Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi .....                      | 232 |
| <b>Tablo 7.7.</b>  | Kurşun-alkali-silika Camların, Merkezi Işınlama Kanalı'nda Işınlanmasıyla, Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi .....                     | 234 |
| <b>Tablo 7.8.</b>  | Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlarda Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi .....              | 236 |
| <b>Tablo 7.9.</b>  | Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camların, Merkezi Işınlama Kanalı'nda Işınlanmasıyla, Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi ..... | 240 |
| <b>Tablo 8.1.</b>  | İncelenen Dört Farklı Camdaki Özdirenç Katsayısını Etkileyen Oksitler .....                                                                      | 264 |
| <b>Tablo 8.2.</b>  | Camdaki Özdirenç Katsayısını Etkileyen Oksitler.....                                                                                             | 265 |
| <b>Tablo 8.3.</b>  | Cam Kompozisyonuna Göre, Belirlenen Özdirenç Katsayısı (K) ....                                                                                  | 266 |
| <b>Tablo 8.4.</b>  | Çalışılan Camların Etkin Özdirenç Katsayıları ( $\eta$ ).....                                                                                    | 266 |
| <b>Tablo 8.5.</b>  | 10 mm Kalınlıktaki, Soda-Kireç-Silika Camlardaki, Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum .....                           | 268 |
| <b>Tablo 8.6.</b>  | 6 mm Kalınlıktaki Soda-Kireç-Silika Camlardaki, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum.....                                               | 268 |
| <b>Tablo 8.7.</b>  | 3 mm Kalınlıktaki Soda-Kireç-Silika Camlarda, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum.....                                                 | 269 |
| <b>Tablo 8.8.</b>  | 10 mm Kalınlıktaki Borosilikat Camdaki, Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum .....                                     | 270 |
| <b>Tablo 8.9.</b>  | 6 mm Kalınlıktaki Borosilikat Camda, Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum .....                                        | 270 |
| <b>Tablo 8.10.</b> | 3 mm Kalınlıktaki Borosilikat Camda Solar Soğurmada Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum.....                                           | 271 |
| <b>Tablo 8.11.</b> | 10 mm Kalınlıktaki Kurşun-Alkali-Silika Camda, Solar Soğurmada ile Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum ...                             | 271 |
| <b>Tablo 8.12.</b> | 6 mm Kalınlıktaki, Kurşun-Alkali-Silika Camdaki, Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum .....                            | 272 |
| <b>Tablo 8.13.</b> | 3 mm Kalınlıktaki, Kurşun-Alkali-Silika Camda, Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum.....                               | 272 |
| <b>Tablo 8.14.</b> | 10 mm Kalınlıktaki, Baryum ve Bor Taşıyan, Özel Optik Kireçli Camlardaki Solar Soğurmada Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum .....     | 273 |
| <b>Tablo 8.15.</b> | 6 mm Kalınlıktaki Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlardaki Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum .....       | 274 |
| <b>Tablo 8.16.</b> | 3 mm Kalınlıktaki Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camdaki Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum .....          | 274 |
| <b>Tablo 8.17.</b> | Çalışılan Camlara İlişkin Olarak (30 kGy Dozun Altında) Tavsiye Edilen Cam Kalınlıkları İçin Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum.....  | 277 |

## ŞEKİL LİSTESİ

|              |                                                                                                                                                   |    |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1 :  | Silika Ağ Yapısı .....                                                                                                                            | 18 |
| Şekil 2.2 :  | Modifiye Edici Oksit Olarak, Na <sub>2</sub> O İlavesi ile Camsı Yapının Değiştirilerek Düzenleyici Oksitin Yapıya Girdikten Sonraki Konumu ..... | 19 |
| Şekil 2.3 :  | Fe <sup>+2</sup> ve Fe <sup>+3</sup> İyonlarının Cam Yapısında Bulunabileceği Üç Farklı Konum .....                                               | 22 |
| Şekil 4.1 :  | Çalışılan Camlar .....                                                                                                                            | 50 |
| Şekil 4.2 :  | Deneylede Kullanılan Co-60 Radyoizotop Kaynağı .....                                                                                              | 56 |
| Şekil 4.3 :  | Deneylede Kullanılan Sr-90 Radyoizotop Kaynağı .....                                                                                              | 58 |
| Şekil 4.4 :  | İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü'nün Radyal Kesiti .....                                                                        | 59 |
| Şekil 4.5 :  | İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Teğetsel Işınlama Tüpünün Kesiti .....                                                         | 61 |
| Şekil 4.6 :  | İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama Tüpü .....                                                                    | 62 |
| Şekil 4.7 :  | Co-60 İle Oluşturulan Panaromik Işınlama Düzeni .....                                                                                             | 65 |
| Şekil 4.8 :  | Sr-90 İle Oluşturulan Işınlama Düzeninin Şematik Görünümü .....                                                                                   | 66 |
| Şekil 4.9 :  | Camların Teğetsel Işınlama Tüpündeki Işınlama Konumu .....                                                                                        | 67 |
| Şekil 4.10 : | Camların Merkezi Işınlama Tüpündeki Işınlama Konumu .....                                                                                         | 68 |
| Şekil 5.1 :  | Cam Kalınlığına Bağlı, Morötesi Geçirgenlik Değişimi .....                                                                                        | 73 |
| Şekil 5.2 :  | Cam Kalınlığına Bağlı, Morötesi Geçirgenlik Değişimi .....                                                                                        | 74 |
| Şekil 5.3 :  | Görünür Işık Geçirgenliğinin Soğurulan Doza Göre Değişimi .....                                                                                   | 76 |
| Şekil 5.4 :  | Bağlı Görünür Işık Geçirgenliğinin Cam Kalınlığına Göre Değişim .....                                                                             | 76 |
| Şekil 5.5 :  | Görünür Işık Yansıtıcılığının Soğurulan Doza Bağlı Değişimi .....                                                                                 | 77 |
| Şekil 5.6 :  | Görünür Bölgedeki Bağlı Geçirgenliğin Cam Kalınlığına Göre Değişimi .....                                                                         | 78 |
| Şekil 5.7 :  | Görünür Işık Soğurmasının, Soğurulan Doza Göre Değişimi .....                                                                                     | 79 |
| Şekil 5.8 :  | Görünür Bölgedeki Bağlı Soğurmanın Cam Kalınlığına Göre Değişimi .....                                                                            | 79 |
| Şekil 5.9 :  | Soğurulan Doza Bağlı Solar Bölgedeki Geçirgenliğin Değişimi .....                                                                                 | 81 |
| Şekil 5.10 : | Cam Kalınlığına Bağlı Solar Bölgedeki Geçirgenliğin Değişimi .....                                                                                | 81 |
| Şekil 5.11 : | Soğurulan Doza Bağlı Solar Bölgedeki Yansıtıcılık Değişimi .....                                                                                  | 82 |
| Şekil 5.12 : | Cam Kalınlığına Bağlı Solar Bölgedeki Yansıtıcılık Değişimi .....                                                                                 | 83 |
| Şekil 5.13 : | Soğurulan Doza Bağlı, Solar Bölgede Soğurmadaki Değişim .....                                                                                     | 84 |
| Şekil 5.14 : | Cam Kalınlığına Bağlı, Solar Bölgede Soğurmadaki Değişim .....                                                                                    | 84 |
| Şekil 5.15 : | Soğurulan Doza Bağlı, Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik Değişimi .....                                                                               | 85 |
| Şekil 5.16 : | Soğurulan Doza Bağlı, Görünür Bölgedeki Geçirgenlik Değişimi .....                                                                                | 87 |
| Şekil 5.17 : | Soğurulan Doza Bağlı, Solar Bölgedeki Geçirgenlik Değişimi .....                                                                                  | 88 |
| Şekil 5.18 : | Soğurulan Doza Bağlı, Görünür Bölgedeki Yansıtıcılık Değişimi .....                                                                               | 89 |
| Şekil 5.19 : | Soğurulan Doza Bağlı, Solar Bölgedeki Yansıtıcılık Değişimi .....                                                                                 | 89 |
| Şekil 5.20 : | Soğurulan Doza Bağlı, Görünür Bölgedeki Soğurma .....                                                                                             | 90 |
| Şekil 5.21 : | Soğurulan Doza Bağlı, Solar Bölgedeki Soğurma .....                                                                                               | 91 |

|                     |                                                                                                                              |     |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 5.22 :</b> | Merkezi Işınlama Kanalında Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik Değerlerinde Oluşan Değişimler .... | 93  |
| <b>Şekil 5.23 :</b> | Görünür Bölgedeki Geçirgenlikte Oluşan Değişimler .....                                                                      | 94  |
| <b>Şekil 5.24 :</b> | Solar Bölgedeki Geçirgenlik Değerlerindeki Değişimler .....                                                                  | 94  |
| <b>Şekil 5.25 :</b> | Merkezi Işınlama Kanalında Yapılan Işınlamalar Sonucu, Görünür Bölgedeki Yansıtıcılık Değerlerindeki Değişimler .....        | 95  |
| <b>Şekil 5.26 :</b> | Solar Bölgedeki Yansıtıcılık Değerlerindeki Değişimler .....                                                                 | 96  |
| <b>Şekil 5.27 :</b> | Görünür Bölgedeki Soğurma Değerlerindeki Değişimleri .....                                                                   | 96  |
| <b>Şekil 5.28 :</b> | Merkezi Işınlama Kanalında Yapılan Işınlamalarda, Solar Bölgedeki Soğurma Değerlerindeki Değişimleri .....                   | 97  |
| <b>Şekil 5.29 :</b> | Borosilikat Camlarda, Morötesi Bölgede Oluşan Geçirgenliğin, Soğurulan Doza Göre Değişimi .....                              | 99  |
| <b>Şekil 5.30 :</b> | Borosilikat Camlarda, Morötesi Bölgedeki Bağlı Geçirgenliğin, Cam Kalınlığına Göre Değişimi .....                            | 100 |
| <b>Şekil 5.31 :</b> | Görünür Bölgede, Soğurulan Doza Bağlı Geçirgenlikteki Değişim .....                                                          | 101 |
| <b>Şekil 5.32 :</b> | Borosilikat Camlarda, Görünür Bölgedeki Bağlı Geçirgenliğin Cam Kalınlığına Bağlı Değişimi .....                             | 102 |
| <b>Şekil 5.33 :</b> | Soğurulan Doza Bağlı Yansıtıcılıktaki Değişim .....                                                                          | 103 |
| <b>Şekil 5.34 :</b> | Bağlı Yansıtıcılığın, Cam Kalınlığına Göre Değişimi .....                                                                    | 103 |
| <b>Şekil 5.35 :</b> | Borosilikat Camlarda, Görünür Bölgedeki Soğurmadaki, Soğurulan Doza Bağlı Oluşan Değişim .....                               | 104 |
| <b>Şekil 5.36 :</b> | Görünür Bölgedeki Bağlı Soğurmanın, Cam Kalınlığına Göre Değişimi .....                                                      | 105 |
| <b>Şekil 5.37 :</b> | Borosilikat Camlarda, Solar Bölgedeki Geçirgenliğin, Soğurulan Doza Göre Değişimi .....                                      | 106 |
| <b>Şekil 5.38 :</b> | Bağlı Geçirgenliğin, Soğurulan Doza Göre Değişimi .....                                                                      | 107 |
| <b>Şekil 5.39 :</b> | Borosilikat Camlarda, Solar Bölgedeki Yansıtıcılığın, Soğurulan Doza Göre Değişimi .....                                     | 108 |
| <b>Şekil 5.40 :</b> | Solar Bölgedeki Yansıtıcılığın, Soğurulan Doza Göre Değişimi .....                                                           | 108 |
| <b>Şekil 5.41 :</b> | Borosilikat Camlarda, Solar Bölgedeki Soğurmanın, Soğurulan Doza Göre Değişimi .....                                         | 109 |
| <b>Şekil 5.42 :</b> | Solar Bölgedeki Soğurmanın, Soğurulan Doza Göre Değişimi .....                                                               | 110 |
| <b>Şekil 5.43 :</b> | Kurşun-Alkali-Silika Camlarda, Morötesi Bölgedeki Geçirgenliğin Soğurulan Doza Göre Değişimi .....                           | 113 |
| <b>Şekil 5.44 :</b> | Cam Kalınlığına Bağlı, Morötesi Bölgedeki Geçirgenliğin Değişimi .....                                                       | 114 |
| <b>Şekil 5.45 :</b> | Görünür Bölgedeki Geçirgenliğin Soğurulan Doza Bağlı Değişimi .....                                                          | 115 |
| <b>Şekil 5.46 :</b> | Görünür Bölgedeki Bağlı Geçirgenliğin Cam Kalınlığına Göre Değişimi .....                                                    | 116 |
| <b>Şekil 5.47 :</b> | Görünür Bölgedeki Yansıtıcılığın Soğurulan Doza Bağlı Değişimi .....                                                         | 117 |
| <b>Şekil 5.48 :</b> | Görünür Bölgedeki Yansıtıcılığın Cam Kalınlığına Bağlı Değişimi .....                                                        | 117 |
| <b>Şekil 5.49 :</b> | Görünür Bölgedeki Soğurmanın Soğurulan Doza Bağlı Değişimi .....                                                             | 118 |
| <b>Şekil 5.50 :</b> | Görünür Bölgedeki Bağlı Soğurmanın Cam Kalınlığına Göre Değişimi .....                                                       | 119 |
| <b>Şekil 5.51 :</b> | Kurşun-Alkali-Silika Camlarda Solar Bölgedeki Geçirgenliğin Soğurulan Doza Bağlı Değişimi .....                              | 120 |
| <b>Şekil 5.52 :</b> | Solar Bölgedeki Bağlı Geçirgenliğin Cam Kalınlığına Göre Değişimi .....                                                      | 121 |
| <b>Şekil 5.53 :</b> | Solar Bölgedeki Yansıtıcılığın Soğurulan Doza Bağlı Değişimi .....                                                           | 122 |
| <b>Şekil 5.54 :</b> | Solar Bölgedeki Yansıtıcılığın Cam Kalınlığına Bağlı Değişimi .....                                                          | 122 |

|                     |                                                                                                                                            |     |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 5.55 :</b> | Kurşun-Alkali-Silika Camlarda, Solar Bölgedeki Soğurmanın Soğurulan Doza Bağlı Değişimi.....                                               | 123 |
| <b>Şekil 5.56 :</b> | Solar Bölgedeki Bağlı Soğurmanın, Cam Kalınlığına Göre Değişimi.....                                                                       | 124 |
| <b>Şekil 5.57 :</b> | Camların Morötesi Bölgedeki Geçirgenlikteki Değişim.....                                                                                   | 126 |
| <b>Şekil 5.58 :</b> | Camların Görünür Bölgede, Geçirgenlikteki Değişim.....                                                                                     | 126 |
| <b>Şekil 5.59 :</b> | Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Işınlama Süresine Göre, Görünür Bölgede, Yansıtıcılıktaki Değişim ..... | 127 |
| <b>Şekil 5.60 :</b> | Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Işınlama Süresine Göre, Görünür Bölgede, Soğurmadaki Değişim..          | 128 |
| <b>Şekil 5.61 :</b> | Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan Camların, Solar Bölge Geçirgenliği.....                                                                | 129 |
| <b>Şekil 5.62 :</b> | Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan Camların Solar Bölge Yansıtıcılığı.....                                                                | 129 |
| <b>Şekil 5.63 :</b> | Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Işınlama Süresine Göre Soğurmada Meydana Gelen Değişim.....             | 130 |
| <b>Şekil 5.64 :</b> | Cam Kalınlığına Göre Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik Değişimi....                                                                           | 132 |
| <b>Şekil 5.65 :</b> | Cam Kalınlığına Göre, Görünür Bölgedeki Geçirgenlik.....                                                                                   | 132 |
| <b>Şekil 5.66 :</b> | Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalarda, Cam Kalınlığına Göre, Görünür Bölgede Yansıtıcılık.....                                 | 133 |
| <b>Şekil 5.67 :</b> | Cam Kalınlığına Göre, Görünür Bölgedeki Soğurma.....                                                                                       | 134 |
| <b>Şekil 5.68 :</b> | Cam Kalınlığına Göre, Solar Bölgedeki Geçirgenlik Değişimi.....                                                                            | 135 |
| <b>Şekil 5.69 :</b> | Cam Kalınlığına Göre, Solar Bölgede Yansıtıcılık Değişimi.....                                                                             | 135 |
| <b>Şekil 5.70 :</b> | Merkezi Işınlama Kanalındaki Işınlamalarda, Cam Kalınlığına Göre, Solar Bölgedeki Soğurma.....                                             | 136 |
| <b>Şekil 5.71 :</b> | Soğurulan Doza Bağlı Morötesi Bölgede, Bağlı Geçirgenlikte.....                                                                            | 138 |
| <b>Şekil 5.72 :</b> | Cam Kalınlığına Göre, Morötesi Bölgedeki Bağlı Geçirgenlik.....                                                                            | 139 |
| <b>Şekil 5.73 :</b> | Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlarda, Görünür Bölgedeki Geçirgenliğin, Soğurulan Doza Bağlı Değişimi.....                     | 140 |
| <b>Şekil 5.74 :</b> | Cam Kalınlığına Bağlı, Görünür Bölgedeki Bağlı Geçirgenliğin, Soğurulan Doza Göre Değişimi .....                                           | 141 |
| <b>Şekil 5.75 :</b> | Görünür Bölgedeki Yansıtıcılık ile Soğurulan Doz Arasındaki Değişim.....                                                                   | 142 |
| <b>Şekil 5.76 :</b> | Cam Kalınlığına Göre, Bağlı Yansıtıcılık Soğurulan Doza Göre Değişimi.....                                                                 | 142 |
| <b>Şekil 5.77 :</b> | Soğurulan Doza Bağlı, Görünür Bölgedeki Soğurma Değişimi.....                                                                              | 143 |
| <b>Şekil 5.78 :</b> | Cam Kalınlığına Göre, Görünür Bölgedeki Bağlı Soğurmada Oluşan Değişim.....                                                                | 144 |
| <b>Şekil 5.79 :</b> | Soğurulan Doza Bağlı Solar Bölgedeki Geçirgenlikteki Değişim.....                                                                          | 145 |
| <b>Şekil 5.80 :</b> | Cam Kalınlığına Göre Solar Bölgedeki Bağlı Geçirgenliğe Bağlı Değişim.....                                                                 | 146 |
| <b>Şekil 5.81 :</b> | Soğurulan Doza Bağlı, Solar Bölgedeki Yansıtıcılıkta Oluşan Değişim.....                                                                   | 147 |
| <b>Şekil 5.82 :</b> | Cam Kalınlığına Bağlı Olarak Solar Bölgedeki Bağlı Yansıtıcılıktaki Değişim.....                                                           | 147 |
| <b>Şekil 5.83 :</b> | Soğurulan Doza Göre, Solar Bölgedeki Soğurmaya Bağlı Değişimler.....                                                                       | 148 |
| <b>Şekil 5.84 :</b> | Cam Kalınlığına Göre Solar Bölgedeki Bağlı Soğurmadaki Değişimler.....                                                                     | 149 |

|               |                                                                                                                                 |     |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 5.85 :  | Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Morötesi Bölgedeki, Geçirgenlik Değerlerindeki Değişimler .....      | 151 |
| Şekil 5.86 :  | Görünür Bölgedeki Geçirgenlik Değerleri Değişimleri .....                                                                       | 152 |
| Şekil 5.87 :  | Görünür Bölgedeki Yansıtıcılık Değerlerindeki Değişimleri .....                                                                 | 152 |
| Şekil 5.88 :  | Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Görünür Bölgedeki Soğurma Değerlerindeki Değişimler .....            | 153 |
| Şekil 5.89 :  | Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Cam Kalınlığına Göre, Solar Bölgedeki Geçirgenlik Değişimi .....     | 154 |
| Şekil 5.90 :  | Cam Kalınlığına Göre, Solar Bölgede Yansıtıcılık Değişimi .....                                                                 | 155 |
| Şekil 5.91 :  | Cam Kalınlığına Göre, Solar Bölgede, Soğurmadaki Değişim .....                                                                  | 155 |
| Şekil 5.92 :  | Co-60 Radyoizotopu Etkisinde Kalmış, .... Dört Farklı Tipteki Camda, Morötesi Bölgede Geçirgenlik Değerleri .....               | 157 |
| Şekil 5.93 :  | Co-60 Radyoizotopu Etkisinde Kalmış, Dört Farklı Tipteki Camda, Görünür Bölgede Geçirgenlik Değerlerindeki Değişimler ..        | 159 |
| Şekil 5.94 :  | Co-60 Radyoizotopu Etkisinde Kalmış, Dört Farklı Tipteki Camda, Görünür Bölgede Yansıtıcılık Değerlerindeki Değişimler ..       | 160 |
| Şekil 5.95 :  | Dört Farklı Tipteki Camda, Görünür Bölgedeki Soğurma Değerleri ..                                                               | 161 |
| Şekil 5.96 :  | Dört Farklı Tipteki Camda, Solar Bölgede Geçirgenlik Değerleri ...                                                              | 162 |
| Şekil 5.97 :  | Dört Farklı Tipteki Camda, Solar Bölgede Yansıtıcılık Değerleri ...                                                             | 163 |
| Şekil 5.98 :  | Co-60 Radyoizotopu Etkisinde Kalmış, Dört Farklı Tipteki Camda, Solar Bölgede Soğurma Değerleri .....                           | 164 |
| Şekil 5.99 :  | Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalarla, Morötesi Bölgedeki, Geçirgenlik Değerlerindeki Değişimler .....              | 166 |
| Şekil 5.100 : | Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalar Sonucu, Görünür Bölgedeki, Geçirgenlik Değerlerindeki Değişimler .....          | 167 |
| Şekil 5.101 : | Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Görünür Bölgedeki, Yansıtıcılık Değerlerindeki Değişimler .....      | 168 |
| Şekil 5.102 : | Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Görünür Bölgedeki, Soğurma Değerlerindeki Değişimler .....           | 169 |
| Şekil 5.103 : | Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Solar Bölgedeki, Geçirgenlik Değerlerindeki Değişimler .....         | 170 |
| Şekil 5.104 : | Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Solar Bölgedeki, Yansıtıcılık Değerlerindeki Değişimler .....        | 171 |
| Şekil 5.105 : | Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Solar Bölgedeki, Soğurma Değerlerindeki Değişimler .....             | 172 |
| Şekil 5.106 : | İncelenen Camlarda Soğurulan Doza Göre, Solar Soğurmada Oluşan Değişimin Karşılaştırılması .....                                | 174 |
| Şekil 5.107 : | Cam Kalınlığına Göre, Spesifik Solar Soğurmada Oluşan Değişimler .....                                                          | 175 |
| Şekil 5.108 : | İncelenen Camlarda Soğurulan Doza Göre, Birim Alan Başına Spesifik Solar Soğurmada Oluşan Değişimin Karşılaştırılması .....     | 177 |
| Şekil 5.109 : | Farklı Radyasyon Kaynakları ile Işınlanan Camlarda, Soğurulan Doza Göre, Solar Soğurmada Oluşan Değişimin Karşılaştırılması ..  | 178 |
| Şekil 5.110 : | Farklı Radyasyon Kaynakları ile Işınlanan Camlarda, Soğurulan Doza Göre, Optik Yoğunlukta Oluşan Değişimin Karşılaştırılması .. | 179 |
| Şekil 6.1 :   | Soda-Kireç-Silika Camların, Dalgaboyuna Bağlı, Optik Yoğunluk Değişimleri .....                                                 | 182 |
| Şekil 6.2 :   | Soda-Kireç-Silika Camlarda Renk Haritasındaki Renk Değişimi ...                                                                 | 185 |
| Şekil 6.3 :   | Borosilikat Camların, Dalgaboyuna Bağlı, Optik Yoğunluk Değişimleri .....                                                       | 189 |

|                   |                                                                                                                                                                                          |     |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 6.4</b>  | : Borosilikat Camlarda Renk Haritasındaki Renk Değişimi.....                                                                                                                             | 191 |
| <b>Şekil 6.5</b>  | : Kurşun-Alkali-Silika Camların, Dalgaboyuna Bağlı,<br>Optik Yoğunluk Değişimleri.....                                                                                                   | 195 |
| <b>Şekil 6.6</b>  | : Kurşun-Alkali-Silika Camlarda Renk Haritasındaki Renk<br>Değişimi.....                                                                                                                 | 198 |
| <b>Şekil 6.7</b>  | : Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camların,<br>Dalga Boyuna Bağlı, Optik Yoğunluk Değişimleri.....                                                                              | 201 |
| <b>Şekil 6.8</b>  | : Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlarda<br>Renk Haritasındaki Renk Değişim.....                                                                                              | 206 |
| <b>Şekil 7.1</b>  | : İkincil Isı Geçiş Faktörünün Değişimi.....                                                                                                                                             | 218 |
| <b>Şekil 7.2</b>  | : Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliğindeki Değişim.....                                                                                                                                   | 218 |
| <b>Şekil 7.3</b>  | : Soda-kireç-silika Camlarda, Gama Işınlara Maruz Kalmış<br>Camlardaki Gölgeleme Katsayısında Oluşan Değişim .....                                                                       | 219 |
| <b>Şekil 7.4</b>  | : Beta Parçacıklarına Maruz Kalmış, Soda-kireç-silika Camlarda,<br>İkincil Isı Geçiş Faktörü, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği ve<br>Gölgeleme Katsayısında Meydana Gelen Değişim..... | 221 |
| <b>Şekil 7.5</b>  | : İkincil Isı Geçiş Faktörü, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği ve<br>Gölgeleme Katsayısı Değişimi.....                                                                                  | 223 |
| <b>Şekil 7.6</b>  | : Borosilikat Camlarda, Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Gama<br>Işınlara Maruz Kalmış Camlarda İkincil Isı Geçiş Faktörü<br>Değişimi.....                                                | 225 |
| <b>Şekil 7.7</b>  | : Borosilikat Camlarda, Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Gama<br>Işınlara Maruz Kalmış Camlarda Toplam Güneş Enerjisi<br>Geçirgenliğinde Meydana Gelen Değişim.....                       | 226 |
| <b>Şekil 7.8</b>  | : Borosilikat Camlarda, Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Gama<br>Işınlara Maruz Kalmış Camlardaki Gölgeleme Katsayısında<br>Meydana Gelen Değişim .....                                   | 227 |
| <b>Şekil 7.9</b>  | : Kurşun-alkali-silika Camlarda, Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak<br>Gama Işınlara Maruz Kalmış Camlarda İkincil Isı Geçiş<br>Katsayısının Değişimi.....                                  | 229 |
| <b>Şekil 7.10</b> | : Kurşun-alkali-silika Camlarda, Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak<br>Gama Işınlara Maruz Kalmış Camlarda Toplam Güneş Enerjisi<br>Geçirgenliğinde Meydana Gelen Değişim.....              | 230 |
| <b>Şekil 7.11</b> | : Gölgeleme Katsayısında Meydana Gelen Değişim.....                                                                                                                                      | 231 |
| <b>Şekil 7.12</b> | : Teğetsel Işınlama Tüpü'nde Yapılan Işınlamalarla, Camlarda,<br>İkincil Isı Geçiş Faktörü, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği ve<br>Gölgeleme Katsayısında Meydana Gelen Değişim.....   | 233 |
| <b>Şekil 7.13</b> | : İkincil Isı Geçiş Faktörü, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği ve<br>Gölgeleme Katsayısında Meydana Gelen Değişim.....                                                                  | 235 |
| <b>Şekil 7.14</b> | : İkincil Isı Geçiş Faktörünün Değişimi.....                                                                                                                                             | 237 |
| <b>Şekil 7.15</b> | : Co-60 Radyoizotopuna Maruz Kalmış Camlarda Toplam Güneş<br>Enerjisi Geçirgenliğinde Meydana Gelen Değişim.....                                                                         | 238 |
| <b>Şekil 7.16</b> | : Co-60 Radyoizotopuna Maruz Kalmış Camlardaki Gölgeleme<br>Katsayısında Meydana Gelen Değişim.....                                                                                      | 239 |
| <b>Şekil 7.17</b> | : İkincil Isı Geçiş Faktörü, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği ve<br>Gölgeleme Katsayısında Meydana Gelen Değişim.....                                                                  | 241 |
| <b>Şekil 7.18</b> | : Soğurdukları Doza Bağlı Olarak, 10 mm Kalınlıktaki<br>Farklı Camların, İkincil Isı Geçiş Faktörleri Değişimi.....                                                                      | 243 |
| <b>Şekil 7.19</b> | : Soğurdukları Doza Bağlı Olarak, 10 mm Kalınlıktaki Farklı<br>Camların, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği Değişimi.....                                                                | 244 |

|                   |                                                                                                                              |     |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 7.20</b> | : Soğurdukları Doza Bağlı Olarak, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, Gölgeleme Katsayısı Değişimi .....                     | 245 |
| <b>Şekil 7.21</b> | : TeğetselIşınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, İkincil Isı Geçiş Faktörleri Değişimi .....        | 247 |
| <b>Şekil 7.22</b> | : Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği Değişimi ..... | 248 |
| <b>Şekil 7.23</b> | : TeğetselIşınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, Gölgeleme Katsayısı Değişimi .....                 | 249 |
| <b>Şekil 7.24</b> | : MerkeziIşınlama Kanalında Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, İkincil Isı Geçiş Faktörleri Değişimi .....       | 250 |
| <b>Şekil 7.25</b> | : TeğetselIşınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği Değişimi .....  | 251 |
| <b>Şekil 7.26</b> | : Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, Gölgeleme Katsayısı Değişimi. ....                | 252 |
| <b>Şekil 8.1</b>  | : Çalışılan Dört Farklı Camın, Soğurulan Doza Bağlı Renk Haritasındaki Renk Değişimleri .....                                | 276 |



## SEMBOL LİSTESİ

|                                                    |                                                                                   |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>B (%)</b>                                       | : Parlaklık,                                                                      |
| <b>b</b>                                           | : Mavi renk birimi                                                                |
| <b>c</b>                                           | : Camda renk verici maddenin ( veya safsızlığın) konsantrasyonu,                  |
| <b>c'</b>                                          | : İncelenen elementin konsantrasyonu                                              |
| <b>C</b>                                           | : Oluşan renk birimi                                                              |
| <b>D</b>                                           | : Cam tarafından soğurulan doz                                                    |
| <b>d</b>                                           | : Cam kalınlığı,                                                                  |
| <b>D<sub>65</sub> aydınlatması</b>                 | : Uluslararası Aydınlatma Komisyonunun resmi olarak önerdiği standart aydınlatma, |
| <b>D<sub>op</sub></b>                              | : Optik yoğunluk                                                                  |
| <b>D<sub>λ</sub></b>                               | : D <sub>65</sub> aydınlatmasının göreceli spektral dağılımı                      |
| <b>g'</b>                                          | : Sarı renk birimi                                                                |
| <b>g</b>                                           | : Toplam güneş enerjisi geçirgenliği                                              |
| <b>h<sub>e</sub></b>                               | : Camdan dış tarafa olan ısı geçiş katsayısı                                      |
| <b>h<sub>i</sub></b>                               | : Camdan iç tarafa olan ısı geçiş katsayısı camın konumuna,                       |
| <b>I</b>                                           | : Ortamdan çıkan radyasyon şiddeti                                                |
| <b>I<sub>o</sub></b>                               | : Ortama giren ışın şiddeti                                                       |
| <b>K</b>                                           | : Camın özdirenç katsayısı,.                                                      |
| <b>P (%)</b>                                       | : Uyarılma saflığı,                                                               |
| <b>P<sub>λ</sub></b>                               | : Gelen ışığın spectral enerji dağılımı                                           |
| <b>q<sub>i</sub></b>                               | : Camın iç tarafına doğru olan ikincil ısı geçiş faktörü                          |
| <b>q<sub>o</sub></b>                               | : Camın dış tarafına doğru olan ikincil ısı geçiş faktörü                         |
| <b>r</b>                                           | : Kırmızı renk birimi                                                             |
| <b>sc</b>                                          | : Shading coefficient - Gölgeleme Katsayısı                                       |
| <b>S<sub>λ</sub></b>                               | : Solar radyasyonun göreceli spektral dağılımıdır.                                |
| <b>t</b>                                           | : Işınlama süresi,                                                                |
| <b>T<sub>i</sub></b>                               | : İzafi geçirgenlik,                                                              |
| <b>t<sub>k</sub></b>                               | : Cam kalınlığı                                                                   |
| <b>T<sub>λ</sub></b>                               | : Camın spektral geçirgenliği ifade etmektedir.                                   |
| <b>UV</b>                                          | : Spektrumdaki morötesi bölge                                                     |
| <b>V(λ)</b>                                        | : Spektral ışıma verimi ve                                                        |
| <b>x', y', z'</b>                                  | : Normalize edilmiş tristimulus değerleri veya renk koordinatları                 |
| <b>P<sub>λ</sub></b>                               | : Belirli bir dalga boyundaki (λ) ışığın şiddetidir.                              |
| <b>x y z</b>                                       | : Camın renk koordinatları,                                                       |
| <b>X</b>                                           | : Kırmızı tristimulus değeri                                                      |
| <b>x</b>                                           | : Radyasyonun malzeme içinde aldığı yol                                           |
| <b>x'', y'', z''</b>                               | : Işık karışımının renk koordinatları,                                            |
| <b>X<sub>T</sub>, Y<sub>T</sub>, Z<sub>T</sub></b> | : Geçirilen ışığın renk koordinatları                                             |
| <b>x<sub>λ</sub> y<sub>λ</sub> z<sub>λ</sub></b>   | : CIE tarafından tanımlanan dağılım katsayıları                                   |
| <b>Y</b>                                           | : Sarı tristimulus değeri                                                         |
| <b>Z</b>                                           | : Mavi tristimulus değeri                                                         |

|                 |                                                               |
|-----------------|---------------------------------------------------------------|
| $\eta$          | : Camın etkin özdirenç katsayısı                              |
| $\chi_{ar}$     | : Camda özdirenç katsayısını arttırıcı oksitler toplamı       |
| $\chi_{az}$     | : Camda özdirenç katsayısını azaltıcı oksitler toplamı        |
| $\Delta\lambda$ | : Dalgaboyu aralığı                                           |
| $\alpha$        | : Optik soğurma                                               |
| $\alpha_e$      | : Doğrudan güneş ışını soğurması,                             |
| $\alpha_{oe}$   | : Işınlanmamış camın güneş enerjisi (solar) soğurma katsayısı |
| $\varepsilon$   | : Söz konusu renk verici maddenin soğurma katsayısı,          |
| $\varepsilon_i$ | : Sıradan bir cam için düzeltilmiş emissivitedir.             |
| $\phi_e$        | : Gelen solar radyasyon akısı                                 |
| $\lambda$       | : Gelen ışığın dalga boyu                                     |
| $\lambda_d$     | : Renk baskın dalgaboyu,                                      |
| $\mu$           | : Camın soğurma katsayısı                                     |
| $\rho$          | : Optik yansıtıcılık                                          |
| $\rho_e$        | : Doğrudan solar yansıtıcılık                                 |
| $\rho_v$        | : Camın ışık yansıtıcılığı                                    |
| $\rho(\lambda)$ | : Camın spektral yansıtıcılığı                                |
| $\tau_e$        | : Camın doğrudan güneş ışını geçirgenliği                     |
| $\tau_{uv}$     | : Camın morötesi ışın geçirgenliği                            |
| $\tau_v$        | : Işık geçirgenliği                                           |
| $\tau(\lambda)$ | : Camdaki spektral geçirgenlik,                               |

## **FARKLI CAMLARIN RADYASYON KARŞISINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ, DOZİMETRİK AMAÇLI KULLANIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE YENİ BİR KORELASYON**

### **ÖZET**

Cam, farklı amaçlar için yaygın kullanılan bir mühendislik malzemesidir. Günümüzde farklı cam türleri arasında en yaygın kullanılanlar soda-kireç-silika camlarıdır. Ayrıca, kurşun-alkali-silika ve borosilikat camlar ile baryum ve bor taşıyan özel optik camlar da nispeten geniş kullanıma sahiptir. Farklı cam türlerinin radyasyon karşısındaki davranışı genel olarak bir benzerlik göstermekle birlikte, kullanılan radyasyonun tipi ve enerjisi ile cam yapısında bulunan asal ve tali elementler bu davranışı önemli ölçüde etkileyen unsurlardır. Bu çalışmada farklı radyasyon tipleri karşısındaki davranışlarını incelemek amacıyla Topkapı Şişecam Fabrikası'ndan temin edilen ve kimyasal bileşimleri X-Işını Floresans Tekniği (XRF) ile belirlenen, soda-kireç-silika, kurşun-alkali-silika, ve borosilikat camlar ile baryumlu camlar kullanılmıştır. Söz konusu farklı radyasyon tipleri, camlara nüfuziyeti oldukça önemli olan gama ve beta ışınları ile, nötronlar ve karışık radyasyon dozlarıdır. Gama ve Beta ışını kaynağı olarak sırasıyla, Co-60 radyoizotopu ve Sr-90 radyoizotopu kullanılmıştır. Nötron kaynağı olarak İ.T.Ü. TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü'nün Teğetsel Işınlama Tüpü, Merkezi Işınlama Kanalı ise karışık radyasyon kaynağı olarak kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarla camların radyasyon karşısında renk değiştirdiği ve bu renk değiştirmenin alınan radyasyon dozu miktarı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu ilişki spektrofotometrik olarak incelenmiş ve farklı camlar için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen deneysel veriler ışığında, camların dozimetrik amaçlı kullanılabileceğine ilişkin çalışmalar yapılmış ve ışınlanmış camlardaki renk değişimini ifade eden spektrofotometrik veriler ile camın uğurduğu doz arasında matematiksel bir korelasyon kurulmuştur.

## **INVESTIGATION OF THE BEHAVIOURS OF DIFFERENT GLASSES AGAINST RADIATION, EVALUATION OF THE USAGE FOR DOSIMETRIC PURPOSES AND A NEW CORRELATION**

### **SUMMARY**

Glass is an engineering material commonly used for different purposes. Today, soda-lime-silicate glass is the most widely used one among different types of glasses. In addition, lead-alkali-silicate, borosilicate, barium, and boron containing special optical glasses have also relatively wide use. Although, the behaviours of different types of glasses against radiation are generally similar, this is significantly affected by major and minor elements present in the glass structure as well as the type and the energy of the radiation source. In this study, soda-lime-silica, lead-alkali silica, borosilicate and barium glasses, which were supplied from Topkapı Sisecam Co. and whose chemical compositions were analysed with X-Ray Fluorescence Technique (XRF), were used in order to investigate the behaviours of them against different types of radiation. To do this, gamma rays, beta rays, neutrons and mixed radiation were selected to use because of their important penetration characteristics into the glasses. Co-60 radioisotope and Sr-90 radioisotope were used as the gamma and the beta source, respectively. Tangential Beam Tube of ITU TRIGA Mark-II Training and Research Reactor was used as the neutron source and Central Thimble of the Reactor was used as the mixed radiation source. It was determined from the experimental studies the irradiated glasses changed their colours and this colour change was connected with the absorbed dose. This behaviour was investigated spectrophotometrically and evaluated for different glasses comparatively. Based on experimental data, further evaluations were performed about the usage of the glasses for dosimetric purposes and established a new mathematical correlation expressing the relation between spectrophotometric data, which states the colour change and the absorbed dose.

## 1. GİRİŞ

Cam; metal ve polimerlerden önce yaşıntımızın parçası haline gelmiş bir malzeme olmasına karşın, yapısı daha yeni anlaşılmaya başlanmış bir elemandır. Yakın zamanlara kadar, malzeme olarak cam hakkında bilinenler, cam teknolojisi ve cam sanatının deneme-yanılma yoluyla yarattığı bilgi birikiminden ibaret kalmıştır.

İnsanoğlunun camı ilk kez nerede kullandığı konusunda çeşitli sorular bulunmaktadır. Ancak kuartz yapıdaki ilk doğal camın M.Ö. 75.000'lerde oluştuğu kabul edilmektedir. Camın, tarihte ilk kez insanoğlu tarafından, M.Ö. 3000 yıllarında, antik Mısır'da dekoratif amaçlı, boncuk, mücevher taşı olarak ve renkli camlar şeklinde kullanıldığı kabul edilmektedir. Cam yapım sanatı, M.Ö. 1500'de Mısır ve Yakın Doğu'da ileri bir seviyeye ulaşmıştır. Eski Mısır'da cam, vazo yapımında kullanıldığı gibi içine merhemler ve yağların konulduğu kaplar olarak da kullanılmıştır (Amstock, 1997). M.Ö. II. Yüzyılda bugünkü Suriye'de cam üflemenin keşfedilmesiyle, camın günlük yaşamda kullanımı hızla yaygınlaşmıştır. Romalılar döneminde önceleri züccaciye amaçlı, daha sonra ise pencere camı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Roma'nın çöküşünden sonra Bizanslılar ve Araplar cam üretiminde öne çıkmışlardır. M.S. 1300'lerden sonra Venedik önemli bir cam merkezi haline gelmiştir. Bilimsel prensiplerin cam bilimine gerçek anlamıyla uygulanması günümüzden ancak yarım yüzyıl kadar önce başlamıştır (Şişecam, 1992).

Ehrt ve Vogel (1996), makalelerinde belirttiklerine göre, dünyanın oluşumu süresince, kayalardaki yüksek sıcaklık derecesinde bulunan silika eriyikleri, obsidyen gibi, doğal cam arasında donmuştur. Eğer bir eriyik dünyanın yüzeyine doğru, örneğin volkanik bir patlamada, penetrasyona uğrarsa, yüksek basınç altındaki eriyikte homojen şekilde çözünen su, hızla buharlaşmaktadır. Bu makalede, köpüren eriyik hızla soğuduğunda, yüksek viskozitesi, kabarcıkların kaçmasını engellediği için katı bir doğal cam köpük haline gelebildiği belirtilmektedir. Burada ifade edildiğine göre, günlük yaşamda ve teknolojiye çok uzun süren uygulama periyodu

boyunca doğal cam araştırılmamış olarak kalmıştır. Cam hakkındaki bilimsel araştırmalar hayli yenidir ve bu alanda ünlü isimler olarak Jena, Fraunhofer, Goethe, Dobereiner, Abbe, Zeiss ve Schott sayılabilir.

Günlük yaşantımızda cam, çok amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bunlar; pencere camından sıcak hücre camına kadar olan kullanımlardır. Halen günlük yaşantımızda ve günümüz teknolojisinin çeşitli alanlarında cam geniş bir kullanım spektrumuna sahiptir. Nükleer teknoloji ve nükleer uygulama alanlarında farklı amaçlarla cam kullanımı ile karşılaşmaktadır. Örneğin, nükleer alanda, radyasyon dozimetresi olarak ve radyasyon zırhlama amaçlı kullanımına yönelik çalışmalara rastlanmaktadır (Doğan ve Tuğrul, 1999).

Günümüzde, dünyada cam bilim ve teknolojisi konusuna ilişkin yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Ancak radyasyonun cam üzerine etkisini ve radyasyon karşısında camın davranışlarını içeren, literatürde sınırlı sayıda makale bulunmaktadır.

Ehrt ve Vogel, (1996), makalelerinde hem kristaller hem de camların katı olduğu ancak, bunların özellik ve davranışlarında temel farklılıklar bulunduğu belirtilmektedir. Camın termodinamik olarak kararsız olduğu ve kristal ile karşılaştırıldığında kusurlu bir yapıya sahip olduğu açıklanarak, cam ve cam özelliklerinin yüksek enerjili radyasyon altında farklı değişiklikler gösterme eğiliminde olduğu bildirilmektedir. Genelde, bu etkilerin belirli iyonların indirgenmesinden ağına tamamının kırılmasına kadar uzanmakta olduğu bu çalışmada açıklanmaktadır. Gama ışınlarının kimyasal bağların kopmasına, ağına kısmen yıkılmasına, kusurların başlangıcına, rengin bozularak solmasına neden olduğu ifade edilmektedir. Görünür bölge spektrumundaki kısa dalga boylu ışık, camların geçirgenliğinde az yada çok tanınan etkilere sahip olduğu açıklanarak, berrak camın renginin bozularak solmasının solarizasyon olarak isimlendirildiği belirtilmektedir.

Pascoal ve diğ. (1999),  $10^7$  Roentgen'lik gama ışınları ile ışınlanan kabal camlarındaki BOHC'nin (boron oxygen hole center) kompozisyona etkisi ve demir içeriğinin etkisini optik soğurma yönünden ele almışlardır. Bu çalışmada belirtildiğine göre radyasyon hasarı BOCH ve BEC (boron electron centre) gibi çeşitli paramanyetik merkezleri uyartır. Bu konular, Yasaitis ve Smaller (1953) ve

daha sonraları **Lee ve Bray (1964)** ve **Griscon ve diğ. (1968)**, **Friebele ve Griscon (1979)** tarafından incelenmiştir. 350-750 K arasında gözlemlenen termoluminesansın bastırılması sonucu, bir yüklü boşluğun (hole) yakalandığı ışınlama süresince, tetrahedral yapıdaki  $Fe^{+2}$ , BOHC'nin oluşumunu sergiler (**Pascoal ve diğ., 1999**).

**Ezz-Eldin ve diğ. (1994)**, radyasyon dozimetresi olarak soda-kireç-silika camlarının kullanılması üzerine ileri bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Soda-kireç-silika camlarının, gama-ışınlarına maruz bırakıldığında renklendiği görülmektedir. Bu çalışmada, yaygın kullanımı olan soda-kireç-silika camları gama ışınlamaya maruz bırakıldığında radyasyon etkisi sonucu oluşan renklerin kararlılığı, bu tür camların küçük dozlardaki gama-ışınlarına hassasiyetiyle test edilmeye çalışılmıştır. İncelenilen doz aralığı 0-27 kGy olmuştur. Işınlamadan sonra, 400 ve 600 nm'de iki soğurma bandı meydana geldiği gözlemlenmiş olup, ilk sözü edilen bandın, sonrakinden daha güçlü bir soğurma sergilediği açıklanmaktadır. Her iki bandın şiddeti, radyasyon dozunun artmasıyla kademeli bir şekilde artış gösterdiği ve ışınlamadan sonra geçen sürenin artmasıyla kademeli bir şekilde azaldığı belirtilmiştir. Bu bantların ortaya çıkmasının, cam örgüsündeki bağ kurmamış oksijen atomları ve pozitif yük merkezleri (hole centers) ile bağlantılı olduğu belirtilmektedir. Elde edilen sonuçlar, geniş radyasyon spektrumu boyunca (0.1-10 MeV), gama ışınlamalarının soğurma özellikleri ile ilgili olduğu da bu çalışmada öngörülmektedir.

**Ishitsuka ve diğ. (1994)**, yayınladıkları radyasyon zırhlama amaçlı kurşunlu camların kullanımına yönelik makalelerinde ifade ettiklerine göre, örneğin; gama radyasyonu ile ışınlamanın yapıldığı yerlerde ve radyasyon zırhlamasına ihtiyaç duyulan bölgelerde radyasyon zırhlama camları yaygın olarak kullanılmaktadır.

**Speit ve diğ. (1992)**, radyasyona dayanıklı optik camlara yönelik makalelerinde belirttiklerine göre, UV, X-ışını ve gama ışını gibi kısa dalga boylu elektromanyetik radyasyonla yada alfa parçacıkları, beta parçacıkları, protonlar ve nötronlar kullanılarak optik camlarda kusurlar üretebilmektedir.

**Uhlman ve Kreidl, 1991** yılında kitaplarında belirttiklerine göre, camın fiziksel özelliklerinde, radyasyon, önemli değişimlere neden olmaktadır. Burada en belirgin

etkinin, görünür olarak renginde ve bunun nedeni olan, renk merkezleri olarak bakılan kusur merkezlerinde olduğu belirtilmiştir.

**Ezz-Eldin ve diğ. (1988)**, demir taşıyan alkali borat camlarda gama ışınları ile yapının bozulması ve renk merkezlerinin uyartılmasına yönelik yaptıkları araştırmalarında, demir katkılı ve de pratikçe saf olmak üzere iki tür alkali borat camla çalışmışlardır. Camın renklenmesine yönelik yaptıkları bu çalışmalarında, 400-750 nm aralığında çeşitli gama dozlarında ışınlamadan önce ve sonra camların geçirgenlik değerleri ölçülmüştür. Demir taşımayan camlarda gama ışınlarının uyarttığı yüklü boşluk merkezleri (hole centers) oluşumuna katkıda bulunan üç soğurma bandının gama ışınları tarafından uyartıldığı bu çalışmada tespit edilmiştir. Buna karşın demir taşıyan bu tür camlarda gama ışınlarının iki yeni soğurma bandını uyarttığı gözlenmiştir. Bu sonuçların, cam yapısıyla bağlantılı olan pozitif yük merkezlerinin yok olmasına uygun olan ferrik iyonlarının (demirin  $3^+$  değerlikli iyonları) oluşumu süresince, bu pozitif yük merkezlerinin, elektronların serbest bıraktığı belirtilmektedir. Uyartılan renk merkezleri, camlar iki saat,  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  ısıtıldığında, hızlı bir şekilde ve bunun ardından gelen iki saatlik periyotda daha yavaş bir şekilde bozulmakta olduğu ifade edilmektedir.

**Geottibianchini ve diğ. (1998)**, görünür bölgedeki ışık saçılmasıyla, soda-kireç-silika camlarının faz dağılım davranışlarını incelemişlerdir. Üçlü cam sistemindeki (Bileşiminde Wt %: 76  $\text{SiO}_2$ , 13  $\text{Na}_2\text{O}$ , 11  $\text{CaO}$  olmak üzere) camların başlıca özellikleri incelenmiş ve bu tip camların uygun sıcaklık seviyelerinde tavlandığında, faz dağılımlarının kolayca geliştirildiği gösterilmiştir. Tersine olarak, kayda değer bir şekilde  $\text{SiO}_2$  azaldığında ve daha karmaşık formülasyonlarla, kayda değer  $\text{Al}_2\text{O}_3$  konsantrasyonu varlığında, alüminyum taşıyıcı camların harmandaki ayrışmayı engellediği ifade edilmektedir.

**El-Batal ve diğ. (1996)** belirttiklerine göre gama ışınlarıyla ışınlanan kabal camlarının,  $40\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklık aralığında  $\text{CaO-B}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  cam sisteminin elektrik iletkenliği ve dielektrik özelliklerini incelemişlerdir. % 5'lik  $\text{B}_2\text{O}_3$  in,  $\text{CaO}$ 'nun yerini alması ya da  $\text{Na}_2\text{O}$  veya  $\text{MgO}$  tarafından % 5'lik  $\text{CaO}$ 'nun yer değiştirmesinin, iletkenlikte bir azalmaya sebep olduğu belirtilmiştir. Ancak, bu etkinin soda olması halinde magnezyum durumuna göre daha büyük olduğu görüldüğü ve test edilen camların aktivasyon enerjisinin hesaplandığı belirtilmektedir. Çalışmada incelenen

camlar için sabit frekansta, dielektrik sabiti sıcaklıktan yaklaşık olarak bağımsız bulunmuştur. Belirli bir dozdaki gama ışınlarının belirtilen cam sistemine etkisi hem elektrik iletkenliği hem de dielektrik sabitini değiştirmekte olduğu ifade edilmiştir.

**Ezz-Eldin ve diğ. (1996)**, gama ışınlarıyla ışınlanan vanadyum taşıyan alkali-borat camlardaki uyartılan renk merkezlerinin oluşumu ve ağarması konusunu ele almışlardır. Burada alkali oksit R olarak alınırsa, ( $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  veya  $\text{K}_2\text{O}$  gibi) temel yapısı  $\text{B}_2\text{O}_3$  ve  $\text{R}_2\text{O} + 0.5 \text{ g V}_2\text{O}_5$  olan camlarda radyasyonla ve üretim yöntemleriyle oluşan kusurlar üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Camların ışınlanması 17 kGy civarında olup, optik soğurma 200-1100 nm menziline ölçülmüştür. İncelenen üç faktör;  $\text{V}_2\text{O}_5$ ' in rolü, kimyasal yapının etkisi, radyasyon dozu ve  $200^\circ\text{C}$ 'de ısı uygulanması ile renk merkezlerinin bozulması olarak belirtilmektedir. Işınlanan camların tepkisinin, uyartılan kusurların oluşumu ve yok olmasıyla ilgili bulunmuş ve bu nedenle karakteristik renk merkezleri gözlenmiştir. Belirli zaman aralıklarındaki termal ağarma oranı da tartışılmıştır.

**Sharaf ve diğ. (1994)**, bakır taşıyan kurşun borat camlarda renk merkezlerinin oluşumunda gama ışınlarının etkisini ele almışlardır ve belirttiklerine göre, bakır taşıyan kurşun borat camlarda gama ışınlarının uyarttığı 350-950 nm dalga boyu aralığındaki soğurma bantları teşhis edilerek nitelendirilebilmektedir. Işınlama dozunun etkisini incelemek için, kurşun ve bakır oksit içeriği ile uyartılan soğurma bantlarının konumunun mutlaka göze alınması gerektiğini ifade etmişlerdir. Burada, radyasyonla uyartılan soğurma bantlarının gözlemlendiği ve en azından iki bantın ayırt edilebildiği belirtilmektedir. Bu bantların  $\text{Cu}^{+2}$  iyonları ile bağlantılı olduğu ileri sürülmektedir. 800-830 nm (1.6 eV) dalga boyu aralığında bantlar  $\text{Pb}^{+3}$  iyonlarına atfedilmektedir. Buna karşın, 600-630 ve 650-730 nm menziline meydana gelen soğurma bantlarının ise incelenen cam yapısındaki kendine özgü kusurlardan oluştuğu belirtilmektedir.

**Ghoneim ve diğ. (1985)** yaptıkları çalışmalarında, mangan katkılı ve pratikçe saf olmak üzere iki tür kabal camı ( $\text{CaO}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{B}_2\text{O}_3$ ) için, gama-ışınları ile ışınlamadan önce ve sonra 400-800 nm aralığında ölçümler yapmışlardır. Işınlanmış ve ışınlanmamış camların uyartılmış soğurma spektrumu arasındaki fark olarak hesaplanan uyartılmış soğurma spektrumu, ana kabal camlarında 410 ve 560 nm civarında iki soğurma bandı sergilendiği belirtilmiştir. Mn camlarının ise,

420-440, 520-540, ve 580-600 nm aralığında üç temel soğurma bandı sergilediği gözlenmiştir. Uyarılan bantların şiddeti ve konumunun, uygulanan radyasyon dozuna ve camın kimyasal yapısına bağlı olduğu ifade edilmiştir. Gama ışınları ile ışınlanan camların tepkisi, yapıdaki kusurlara ve bundan dolayı belirli bir radyasyon dozu sonrası doygunluğa ulaşan renk merkezlerine ve keza camdaki geçiş metallerinin olası fotokimyasal etkisine bağlılığı da belirtilmiştir.

**Ahmed ve diğ. (1984)** gama ışınları ile renk merkezleri uyarılan kabal camlarında, çeşitli gama-dozları verilmeden önce ve verildikten sonra camların görünür bölgedeki soğurma spektrumlarını ölçmüşlerdir. Bakır katkılı ve bakır katkısız  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$  camların gamayla ışınlanmasıyla renk merkezlerinin oluşumu ve bozulumunun sağlandığı, bu çalışmada ayrıntılarıyla belirtilmektedir. Bakır olmayan camlardaki gama ışınları, pozitif yük merkezlerinin oluşumuna katkıda bulunan iki soğurma bandını uyartmış, buna karşılık gama ışınlarının, bakır taşıyan camlarda, ikisi bakır iyonlarına bağlı olan beş soğurma bandını uyarttığı açıklanmaktadır. Bu sonuçlar, camdaki ağ yapısına bağlı olan pozitif yük merkezlerinin yok olmasına uygun olan bakır iyonlarının oluşumu süresince elektronların serbest kaldığını gösterdiği ifade edilmiştir. Her iki tip renk merkezlerindeki bozulma, oda sıcaklığında yavaş bir şekilde,  $200^\circ\text{C}$  sıcaklıkta ise hızlı bir şekilde olduğu ayrıca renk merkezlerindeki bozulmanın, ışınlama ile oluşan tuzaklanmış yüklü boşluklar (holes) ve iki değerlikli bakır iyonları (cupric ions) ile elektronların tekrar bileşimine katkıda bulunduğu belirtilmiştir.

**Ghoneim ve diğ. (1983a)**, krom taşıyan kabal camlarının gama ışınları ile etkileşimine yönelik çalışmalarında, krom taşıyan kabal camlarındaki ( $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$  cam yapısı) görünür bölgedeki merkezleri uyartan radyasyonun, soğurma spektrumundaki geçiş metallerine etkisini incelemişlerdir. Krom taşımayan camların ışınlama sonrasında uyarılan renk merkezleri olarak düşünülen 410 ve 560 nm civarında karakteristik soğurma bantları gösterdiği ifade edilmektedir. Krom taşıyıcı camların optik soğurması, ışınlama dozundaki artış ile 600-650 nm'deki  $\text{Cr}^{3+}$  iyonuna bağlı olan bant şiddetinde bir artışı gösterdiği belirtilmiştir. Önce artışın keskin ve  $8 \times 10^5$  rad'lık doz artışı ile üstel olduğu ancak, bundan sonra artışın yavaşladığı ve optik yoğunluğun hemen hemen sabit olduğu tespit edilmiştir. Ancak, cam bileşimindeki değişimin soğurma spektrumunu kayda değer bir şekilde

değiştirmediği ifade edilmiştir. Radyasyon enerjisinin etkisiyle valans bandından iyonize olan elektronlar sayesinde bu sonuçlar yorumlanmıştır.

**Ghoneim ve diğ. (1983b)**, mangan taşıyan kurşun silika ve yüksek oranda kurşun bulunan bor camlarındaki optik soğurmayı incelenmişler ve mangana bağlı soğurma dağılımını ölçmüşlerdir. Işınlamadan önce ve sonra görünür soğurma bandı sonuçları göstermiştir ki, radyasyon dozundaki değişim camın kimyasal yapısını da değiştirmektedir. Gama ışınının cama etkisinin; “renk merkezleri” kusur dağılımına ve doğasına, doygunluk şartı yaklaşımına ve geçiş metallerindeki fotokimyasal etkiye bağlı olduğu açıklanmıştır.

**Levy (1960)**, camlarda gama ışınlarıyla uyartılan renk kinetiğine yönelik makalesinde belirttiğine göre, iyonizan radyasyonla camlar renklendiğinde, radyasyon ilerledikçe ve birkaç ayrı soğurma bandının üst üste binmesine (superposition) bağlı meydana çıkmasıyla, uyartılan optik soğurma artmaktadır. Bu çalışmada, Co-60 radyoizotopu kullanılarak ışınlama yapılmış ve borosilikat camlarda renklenme meydana gelmiştir. Cam, X-ışınları ve gama ışınları gibi iyonizan radyasyona maruz kaldığında meydana gelen temel etkiler elektronsal işlemlerin sonucu olduğu açıklanmaktadır. Belirgin bir şekilde bu etkiler, elektronsal işlemler sonucu, atom uzayındaki normal konumlarından ayrılan ve cam yapısı içinde hareket eden elektronların yeterince uyartılması nedeniyle meydana geldiği ifade edilmiştir.

**Bishay (1961)**, tarafında yapılan bir makalede, yüksek seviyedeki gama ölçümlerinde bizmut kurşun borat camların kullanımına yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada bazı camların, iyonizan radyasyonla ışınlandığında optik özelliklerindeki değişimin dozimetride geniş bir uygulaması olduğu belirtilmektedir.

**Paymal ve diğ. (1960)**, radyasyon dozimetresi camlarına yönelik çalışmalarında belirli değerlik iyonlarını taşıyan camlarda iyonizan radyasyonun görünür renkler ürettiği belirtilmektedir. Radyasyon dozuna bağlı olan renklenmenin genelde kararsız olduğu tespit edilmiş ve belirli iyonların karışımıyla radyasyon dozimetresi olarak kullanılabilen yeterli renk kararlılığına sahip camların üretilebildiği ifade edilmiştir. Mn-Fe, Mn-V ve Mn-V-Fe karışımlarının bu çalışmada incelendiği belirtilmektedir.

Mn-V-Fe taşıyan camların tepkisinin, radyasyon şiddetinden bağımsız olduğu ve bunların  $10^5$  ile  $2 \times 10^7$  R arasında kullanılabileceği belirtilmiştir.

**Hedden ve diğ. (1960)** yüksek seviyedeki gama dozlarında radyasyon dozimetresi olarak bazı camların incelenmesine yönelik çalışmalarında, çeşitli cam sistemlerinin radyasyon dozunun bir fonksiyonu olarak optik yoğunluğunun ölçülmesi ile  $10^6$ - $10^9$  rad menziline ölçümü tamamlanan dozlarda dozimetre olarak değerlendirilmesine ilişkin bir çalışma yapmışlardır. Burada açıklandığına göre, Corning Code 8392 ve yüksek miktarda antimon içeren özel bir cam üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu iki camla maksimum dozaj bu çalışmada belirlenememiştir.  $3 \times 10^8$  rad üzerindeki ışınlamalarda doz ile birlikte optik yoğunluğun sürekli arttığı ve kullanılan en yüksek dozda herhangi bir doygunluk belirtisi olmadığı ifade edilmiştir. Hazırlanan camlar,  $8.7 \times 10^7$  rad civarını aşan dozlarda yavaşça kararmaktadır. Bu camların  $10^9$  rad üzerindeki dozlarda kullanılabileceği belirtilmiştir.

**Schlenz ve diğ. (2002)** makalelerinde, Ba-silikat camlar üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada, Ba-silikat camların analizi difraksiyon ve spektroskopik metodlar ile yapıldığı belirtilmiş olup, bilgisayar simülasyonu ve mikroskopik incelemeleri yapılmıştır. Camdaki tetrahedral yapılar incelendiği belirtilmiştir.

Yapılan literatür taramasından çeşitli cam türlerinde, radyasyon dozunun, renk ve optik özellikleri değiştirdiği anlaşılmaktadır. Ancak farklı camlarda ve dozlarda, farklı dalga boylarında farklı soğurma olduğu görülmektedir. Bu doktora tez çalışmasının amacı, üzerinde çalışılmamış kimyasal bileşimdeki camlarla orijinal çalışmaların yapılmasıdır. Bu amaçla yapılan orijinal çalışmalar beş ana grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi, farklı radyasyon tipleri karşısında, bu doktora tezinde çalışılan soda-kireç-silika, borosilikat, kurşun alkali silikat cam ve baryumlu türlerinden ekstra hafif kurşunlu cam ve baryumlu camların davranışlarının deneysel incelenmesi, ikincisi çalışılan dozlarda incelenen camların farklılaşma limitlerinin belirlenmesi, üçüncüsü radyasyon dozu ile söz konusu camların optik ve ısı parametrelerinin değişimlerinin hesaplanması, dördüncüsü bütün bu veriler bağlamında nükleer uygulamalara yönelik amaçlar için çeşitli camların dozimetrik değerlendirmelerinin yapılması ve beşincisi ise doza bağlı olarak camlarda ilgili parametre veya bu parametrelere ilişkin korelasyon geliştirilmesi araştırmalarıdır.

## 2. CAM

Cam kısaca, amorf yapıda bir katı olarak tanımlanmaktadır. Moleküler grup elemanlarının; büyüklüklerinden daha büyük ölçekteki yerleşiminde, düzen olmadığında bu duruma, "uzun erimli olmayan düzen" adı verilir. Böyle uzun erimli olmayan bir düzenin olduğu malzeme ise, amorf bir malzeme olarak nitelendirilmektedir (Doremus, 1994). ASTM Standartları tanımına göre, "cam, billurlaşmadan soğutularak katı hale getirilen bir eriyik inorganik üründür" (Pye ve diğ., 1972).

### 2.1. Cam Eldesi

Silika kum, kalsiyum karbonat, feldispatlar, boratlar ve fosfatlar gibi inorganik malzemelerin tepkimeye girerek, camdaki metalik oksitleri oluşturmasıyla geleneksel cam meydana gelir. Son yıllarda, camsı polimerler de geniş olarak kullanılmakta ve bunlar da teknik literatürde camlar olarak adlandırılmaktadır (Doremus, 1994).

ASTM'deki cam tanımı, belirtilen inorganik elemanlarla sınırlıdır. Son zamanlardaki camla ilgili tanımlamalarda ise; arsenik, sülfür, selenyum ve tellur halid ailesinden elemanların da adı geçmektedir. Bu elemanların kullanımıyla, elektrik iletken camlar, oksit camlar ile akua çözeltilerinin bulunduğu camlar ve camsı organik polimerler gibi daha yeni ve daha yabancı malzemeleri içeren camlar oluşturulmuştur (Doremus, 1994).

Cam oluşumu için, kristalleşmenin olmaması ve bu bağlamda cam için kristalleşmeyi engelleyen bir noktaya, erime sıcaklığının düşürülmesi gereklidir. Bu camsı hal, eriyiğin kimyasal bileşimine bakılmaksızın doğrudur. Eriyiğin kimyasal bileşimi esas itibarıyla belirli metaller, oksitler, nitratlar içermektedir. Tablo 2.1'de cam bileşenleri verilmektedir (Pye ve diğ., 1972).

**Tablo 2.1. Camı Oluşturan Bileşenler (Pye ve diğ., 1972).**

| Madde                              | Erime Noktası<br>(°K) | Eriyip Kaynaşma Isısı<br>(Kcal/mol) | Eriyip Kaynaşma Entropisi<br>(cal/°) |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Se                                 | 491                   | 1.20                                | 2.50                                 |
| Na                                 | 371                   | 0.63                                | 1.70                                 |
| SiO <sub>2</sub>                   | 1980                  | 1.30                                | 0.70                                 |
| S                                  | 394                   | 0.29                                | 0.75                                 |
| LiCl                               | 887                   | 4.70                                | 5.30                                 |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>      | 733                   | 5.30                                | 7.20                                 |
| GeO <sub>2</sub>                   | 1388                  | 10.00                               | 7.00                                 |
| K <sub>2</sub> O.4SiO <sub>2</sub> | 1073                  | 11.70                               | 10.90                                |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 2318                  | 26.00                               | 1.10                                 |

Sadece belirli maddelerin camı oluşturmalarının nedeni; halen de tamamen anlaşılamamıştır. Cam oluşumu ne periyodik kurala, ne de faz dengesine bağlıdır. Bu konuda, genelleme yapmak hayli zordur (Pye ve diğ., 1972).

## 2.2. Cam Yapısı

Tammann, cam yapısıyla bilimsel anlamda ilgilenen ilk bilim adamı olarak kabul edilmektedir. Tammann, cam yapısına "kuvvetli soğuk altındaki sıvılar" olarak bakmıştır. Daha sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda, X-ışını difraksiyonu bilgilerinin kullanılmasıyla bu düşünceye hemfikir olunmuştur. Tammann aynı zamanda, eriyiğin süratli bir şekilde soğutulmasıyla elde edilen organik camları da inceleyen ilk kişi olmuştur. Buna karşın, Goldschmidt modern kristal kimyasının kurucusu olarak kabul edilir ve aynı zamanda, cam yapısındaki ampirik kuralları türeten kişi olarak bilinmektedir (Vogel, 1994).

Zachariasen tarafından, ağ hipotezi modeli, ileri bir hipotez olarak ileri sürülmüştür. Warren'ın X-ışını difraksiyonu çalışması ile bu hipotez desteklenmiştir. Düşük koordinasyon sayılı yapı birimlerinden meydana gelen düzensiz yapıda, üç boyutta sonsuz erimli oluşan ağ; soğutulduğunda, viskozitenin aşırı artışı açıklanabilmiştir (Doremus, 1994).

Düşük erimli şebeke yapısına sahip basit camlara, SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O yada CaO'nun ergitilmesi ile büyük katyonlar ilave edilirse, ağ yapısındaki köprüler kırılmaktadır. Bu durumda, büyük katyonla beraber gelen oksijen (yada S<sup>2-</sup>, F<sup>-</sup>, gibi anyonlar), ağdaki

köprülerin kırılması ile ayrılan tetrahedronun serbest ucundaki konumda yer almaktadır. Ancak, büyük katyonun kendisi, ağın kopup ayrıldığı yerde meydana gelen, daha büyük bir boşluğa yerleşmektedir. Teori, ağın kopup ayrıldığı yere ve ağın boşluklarına büyük katyonların yerleşmesinin istatistiksel olarak dağıldığını kabul etmektedir (Vogel, 1994).

Zachariasen camlardaki katyonları, aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır.

1. Si, B, P, Ge, As, Be (F ile) gibi ağ oluşturucular.
2. Na, K, Ca, Ba gibi ağ modifiye ediciler.
3. Ağı güçlendiricilerebilir.

Geleneksel camlar için, çok sayıda özellik, Zachariasen-Warren yaklaşımıyla açıklanabilmekte veya öngörülmektedir. Büyük katyonlardaki artış, esas ağdaki köprüleri kırdığı için, yapı birimlerinin ve modifiye edicilerin artan hareketliliğiyle, artan elektriksel iletkenlik, azalan viskozite ve azalan ergime aralığını açıklamaktadır. Bir başka deyişle, istatistiksel dağılım pek çok camda düzgün oluşum eğrilerini ifade etmektedir. Ancak, bir B bileşeni içindeki A bileşeninin istatistiksel dağılımının belirli karışımlara ve yoğunluk dalgalanmalarına olanak tanıdığı belirtilmelidir(Vogel, 1994).

Camlardaki bileşenlerin dağılım problemleri, Laves tarafından incelenmiştir. Laves, dağılımın istatistiksele yakın olduğu sonucuna varmıştır. Biraraya gelme durumlarında ise kümeleşmeden söz edilmektedir (Vogel, 1994; Pye ve diğ., 1972).

Zachariasen-Warren'in ağ teorisi tüm cam sistemlerine uygulanamamaktadır (Vogel, 1994). Şöyle ki;

- a) Özellik-bileşim ilişkilerindeki süreksizlikler, sistemlerde kısa erimli düzende önemli değişimlerin etkisini göstermektedir.
- b) Daha sıkı soğuma işlemlerinin uygulanması durumunda, sıra dışı ergime ve buharlaşma sistemleri elde edilebilmektedir.

### 2.3. Cam Tipleri

Çeşitli kullanım alanlarına göre, çeşitli cam tiplerine rastlanmaktadır. Cam tiplerinin tanımı, cam bilim ve teknolojisine yönelik çeşitli kitaplar arasında, camların teknolojiideki uygulama alanlarına bağlı olarak, birtakım farklılıklar taşıyabilmektedir (Uhlman ve Kreidl; 1991; Vogel, 1994; Fuxi, 1992; Pye ve diğ., 1972). Ancak bu kitaplardan edinilen bilgilere göre, genel olarak Tablo 2.2'de belirtildiği gibi, cam tiplerine yönelik bir tanımlama yapmak mümkündür.

**Tablo 2.2. Cam Tipleri.**

| <b>Cam Tipleri</b> | <b>Açıklamalar</b>                                                                                                                                     |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Silika Camlar      | Yaygın kullanımı olan silikat içeriği önemli camlardır. Örnek; soda-kireç-silika, alumina silika vb.                                                   |
| Optik Camlar       | Işık geçirgenliği yüksek camlar olup ve içine bileşen katılımları ile berraklaştırılmış camlardır. Örnek; alkali-borosilikat, kurşun-alkali-silika vb. |
| Özel Camlar        | Kullanım amaçlarına göre ilave bileşenli camlardır. Örneğin, Ba ve B taşıyan özel optik camlar, silikon camlar, fosfat camlar vb.                      |

Esas olarak cam tipleri, silika camlar, optik camlar ve özel camlar olarak nitelenerek, başlıca üç grupta toplanabilir. Bu cam tipi gruplarının birbirinden ayırımı, sadece kimyasal bileşim açısından olmamakta, aynı zamanda, üretim teknolojisine göre, camın kazandığı özelliklere bağlı olarak da olabilmektedir (Amstock, 1997).

Yaygın kullanımı olan Soda-Kireç-Silika camlar; kimyasal yapısında, % 70  $\text{SiO}_2$ , % 15  $\text{Na}_2\text{O}$  ve % 10  $\text{CaO}$ , taşıyan camlar olarak tanımlanmaktadır. Silika cam yapısı olarak tanımlanan yapıya soda ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) veya potasyum ( $\text{K}_2\text{O}$ ) katılması yumuşama noktasını  $800-900^\circ\text{C}$ 'a düşürür. Kireç ( $\text{CaO}$ ) veya magnezyumoksit ( $\text{MgO}$ ) ya da alüminyumoksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) kimyasal dayanıklılığı geliştirmek için camlara eklenmektedir. Bu tür camlar; ampullerde, taşıyıcılarda, pencerelerde kaplama amaçlı olarak ve züccaciye yapımında uygun şekilde kullanılan camlardır (Amstock, 1997).

Optik Camlar, ayrı bir itina ile çekilerek parlatılıp, berraklaştırılarak üretilmekte ve kırılma indisleri ile dispersiyonlarına (Abbe sayılarına) göre sınıflandırılmaktadırlar. Bu camlarda, renklenmenin meydana gelmesinden kaçınılır. Optik Camlarda ışığın geçirgenliği önemlidir. Bu yüzden, optik camda mümkün olan en düşük soğurma istenir. Cam fırınında kolay erimeyen bileşimli elemanların ve hammaddelerin seçimindeki gösterilen büyük dikkate rağmen, az bir miktar renk verici eleman kirliliği nedeniyle, camda kirlilik olması mümkündür (Bamford, 1977).

"Kireçli Cam" (Crown Glass), üfleme yolu ile üretilen düz cam veya kireç taşıyan cam olarak tanımlanır. Cam bilim ve teknolojisine yönelik kaynaklarda, "Optik Kireçli Cam" olarak bilinen camlar, kırılma indisi düşük optik cam veya kireçli optik cam olarak tanımlanmaktadır. "Kireçli Kurşun Cam" olarak tanımlanan, "Kireç Taşıyan Kurşunlu Optik Camlar" ise, kurşunlu ve kırılma indisi yüksek olan optik cam olarak nitelenmektedir (Şişecam, 1980). "Kireçli Optik Camlar" kendi içinde, az baryumlu kireçli cam (light barium crown glass), yoğun baryumlu kireçli cam (dense barium crown glass), çok az kurşunlu cam (very light flint glass), çok yoğun kurşunlu cam (very dense flint glass) olarak sınıflandırılmaktadır Ayrıca karışımında farklı maddeler barındıran, özel camların da mevcut olduğu belirtilmektedir (Amstock, 1997).

Optik cam sınıflarını meydana getiren ana cam sistemlerinde, başlıca  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$  şeklinde bileşenler taşıyan camlar mevcut bulunmaktadır (Vogel, 1994). Optik camların gelişimiyle  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$  camlara katılan elementler de kullanım amaçlarına uygun olarak geliştirilerek değişmiştir.  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$  cam sistemlerinde (% ağırlık olarak) yaklaşık %10 yada % 20'lik bir oranda  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  birbirine eşit olarak cam yapıya katılırken  $\text{CaO}$  oranı değişebilmektedir (Morey, 1938). Ayrıca el imalatı camlarda  $\text{SiO}_2$  içine  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  ve diğer yapıyı kuvvetlendirici elementlerin katılmasının başlıca nedeni  $\text{SiO}_2$ 'nin oldukça yüksek erime sıcaklığına sahip olmasıdır (Vogel, 1994). Toprak alkali gruptaki elementler içinde yer alan en sert element olan baryum, cam yapısında baryum oksit olarak yer almaktadır (Benneth, 1947). Baryum oksit, cam yapısına camın imalatı aşamasında onu renksizleştirmek amacıyla katılmaktadır (Lewis, 1993; American Geological Institute, 1997). Çeşitli optik cihazların yapımında kullanılan optik kireçli camlara, çeşitli elementler katılarak, kırılma indisi ve

optik yoğunluğu artırılmış camlar elde edilebilmektedir. Bu uygulamalar sayesinde, optik dispersiyonu, soda-kireç-silika camlara göre daha yüksek, camlar oluşturulabilmektedir. Böylece, ışığı renklerine ayırma gücü bakımından, soda-kireç-silika camlarla karşılaştırıldığında cam kalitesi yüksek camlar elde etmek mümkün olmaktadır (Amstock, 1997).

Borosilikat camlar, kimyasal yapısında % 60-80  $\text{SiO}_2$ , % 10-25  $\text{B}_2\text{O}_3$ , % 1-4  $\text{Al}_2\text{O}_3$  taşıyan camlar olarak tanımlanmaktadır (Amstock, 1997). Bu tip camlar, soda-kireç-silika camlarının yaklaşık üçte biri kadar düşük termal genleşmeye, hayli iyi bir kimyasal dirence ve hayli yüksek dielektrik güce sahiptir. Bu camların yüksek erime sıcaklığına sahip olması, borosilikat camların yapımını soda-kireç ile kurşunlu camlardan daha zor hale getirmektedir (Doremus, 1994). Borosilikat camlar, laboratuvarlarda kullanılan cam araç gereçlerde, endüstriyel borularda, yüksek sıcaklıklı termometrelerin yapımında, geniş teleskop aynalarında, pyrex kaplarda, elektronik tüplerde ve çok sıcak lambalarda kullanılmaktadır (Amstock, 1997).

Kurşun-alkali-silika camlar ise kimyasal yapısında % 30-70  $\text{SiO}_2$ , %18-65  $\text{PbO}$ , % 5-20  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  taşıyan camlardır. Kurşunoksit, camda yumuşama noktasını  $\text{CaO}$ 'dan daha fazla düşürmekte ve kırılma indisi ile ışığı kırma gücünü artırmaktadır (Amstock, 1997). Optik amaçlı kurşunlu camlar ve çeşitli ev gereçlerinde kullanılan kristal camların her ikisi de kurşunlu camlardır. Bu camlar, termometre tüpleri, elektrik lamba parçaları ve neon sinyal tüpleri olarak da kullanılmaktadır (Vogel,1994).

#### 2.4. Camın Işık Geçirgenliği Davranışının İncelenmesi

Cam spektrumunun farklı bölgelerindeki geçirgenlik eğrileri ve bu eğrilerin spektrumun farklı bölgelerine göre değişen fiziksel özelliklerinin incelenmesi gereklidir. Çünkü, bu geçirgenlik eğrilerinin ve değişen fiziksel özelliklerin açıklanması, meydana gelen olayların anlaşılması bakımından önemlidir. Cam yüzeyine gelen ışığın bir kısmı direkt olarak yüzeyden yansırken, bir kısmı soğurulur. Işığın bir bölümü de diğer yüzeyden yansır ve geri kalanı camdan geçer (Plumat, 1986). Camın ışık geçirgenliği  $\tau$ , camdan geçen ışığın, gelen ışığa oranı olup,

$$\tau = \tau_o e^{-c \cdot \epsilon \cdot d} \quad (2.1.)$$

şeklinde gösterilir (Bamford, 1977).

Burada,

c: Camda renk verici maddenin (veya safsızlığın) konsantrasyonu,

ε: Söz konusu renk verici maddenin soğurma katsayısı,

d: Cam kalınlığı, olarak tanımlanmıştır. Denklem 2.1. eşitliği logaritmik olarak yazıldığında ise;

$$-\log \frac{\tau_o}{\tau} = c \cdot \epsilon \cdot d \quad (2.2)$$

elde edilir. (c.ε) çarpımı camda mevcut bulunan renk verici maddenin soğurma katsayısını ifade etmektedir. Bu eşitlik yardımı ile, camın ışık geçirgenliği ve bünyesindeki renk verici madde veya maddelerin konsantrasyonu arasında bir ilişki kurulabilmektedir. Dalgaboyuna bağlı olarak camın fiziksel özellikleri değiştiğinden, söz konusu eşitlik sadece görünür bölgede geçerli olmaktadır. Işık geçirgenliği grafikleri, ışığın dalgaboyuna karşı, camın ışık geçirgenliği değerlerinin çizilmesi ile elde edilmektedir (Plumat, 1986).

#### 2.4.1. Camın Morötesi ve Görünür ( UV-VIS ) Bölgeki Işınlara Karşı Davranışı

185-700 nm dalgaboyu aralığında yer alan morötesi ve görünür bölgede ışığın frekansı oldukça yüksektir. 400-700 nm dalgaboyları arasındaki görünür bölge içinde incelenebilen camda renklenme mekanizmaları, cam yapısına bağlı olarak, bazı iyonların elektronlarının titreşim hareketi sonucu, cam yapısında çok küçük bir bölgede meydana gelir (Bamford, 1977).

Herhangi bir safsızlık içermediğini varsaydığımız soda-kireç-silis camında, Si, Na ve Ca gibi camın ana yapısını oluşturan iyonlar, görünür bölgede soğurma oluşturmadiğundan, söz konusu cam, ışık geçirgenliğinin ve parlaklığının yüksek olması nedeni ile renksiz olarak algılanmaktadır. Bu cama, geçiş metallerinin herhangi

biri ilave edildiğinde, metal iyonunun camın ana bileşenlerinden  $O^{2-}$  ile oluşturacağı bağ, zayıf ve düşük enerjili bir bağ olmaktadır (Plumat, 1986).

Yüksek frekanstaki bir ışık hüzmesi cama düştüğünde, ışık enerjisi, metal iyonlarının (çoğunlukla katyon) dış yörüngelerindeki elektronlarının kuantum seviyesine bağlı olarak, enerji seviyelerinde bazı değişiklikler meydana getirir. Bu değişimlerle, geçiş metal iyonu ve  $O^{2-}$  arasında meydana gelen etkileşim sonucu ışık soğurulur ve camda renklenme meydana getirmektedir (Plumat, 1986).

#### 2.4. 2. Yakın Kızılaltı (NIR) Bölge

Frekansın orta seviyede olduğu bu bölgede 2750 nm civarında fotonun soğurulması, cam yapısına ve üretildiği fırının özelliklerine bağlı olarak farklılık gösteren O-H bağı yer almaktadır (Bamford, 1977). Bu bölgede, gelen ışının frekansına bağlı olarak camda mevcut O-H bağlarında oluşan rezonans sonucu ışık soğurulur. Cam yapısındaki O-H bağlarının miktarına bağlı olarak değişen bu soğurma bandı, camdaki su miktarının tespitinde kullanılmaktadır (Plumat, 1986).

Ateşlemeli fırınlarda üretilen camlarda değişik seviyelerde de olsa genellikle O-H bandına rastlanır (Bamford, 1977). Elektrikli fırınlarda ise, tamamiyle kuru harman kullanıldığı takdirde, üründe O-H soğurması görülmez (Plumat, 1986).

#### 2.4.3. Kızılaltı Bölge

Uzun dalga boylarının ve buna bağlı olarak düşük ışık frekansının gözlemlendiği kızılötesi bölgede, camın ışık geçirgenliği azalmaktadır. Bu bölge, camdaki renk mekanizmaları ile bağlantılı olmamakla birlikte, camın ana yapısını teşkil eden iyonların incelenmesindeki rolü açısından teori için önem taşımaktadır (Bamford, 1977). Kızılaltı bölgede incelenen sistem için ( $SiO_2$  sisteminde olduğu gibi) iyonlar arasındaki bağlar kuvvetli olup, ayrıca bağlar arasındaki enerji de yüksektir. Düşük frekanstaki ışığın, cam yapısındaki bu bağlar arasında oluşturduğu titreşime bağlı olarak meydana gelen yüksek soğurmanın sonucu kızılaltı bölgede camın ışık geçirgenliği büyük ölçüde azalma göstermektedir (Plumat, 1986).

Başlıca üç bölgede incelenen geçirgenlik eğrileri, camın yapısına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir (Bamford, 1977). Borosilikat, alkali borat veya fosfat camlarının ışık geçirgenliği eğrileri, incelenen soda-kireç-silika camındakinden farklıdır. Örneğin, yalnızca  $\text{SiO}_2$ 'den oluşan kuvars camının ışık geçirgenliği eğrisi morötesi bölgede, soda-kireç- silika camına kıyasla daha kısa dalga boylarından başlar. Bu yapıda, silisyuma bağlı oksijenin yerine kükürt, selenyum ve tellüryum iyonlarının geçmesi halinde elde edilen kalkojenür camların kızılötesi bölgede ışık geçirgenlikleri oldukça yüksektir (Plumat, 1986).

Özet olarak, camın kompozisyonuna (harman bileşimi) ve yapısına bağlı olarak çok farklı optik özellikler ortaya çıkmaktadır. Günümüzde tüm bu özellikleri gelişmiş spektroskopi teknikleri ile incelemek mümkün olabilmektedir (Plumat, 1986).

## 2.5. Camda Renklenme

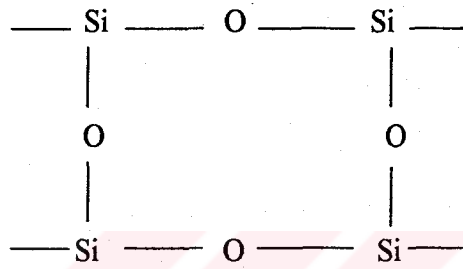
Renkli cam üretimi çok eskilere dayanmasına rağmen camda renklenme ile ilgili farklı teoriler öngörülmektedir. Bu teorilerle, renklenme ile ilgili uygulama safhasında çözümlenememiş konular hala mevcut bulunmaktadır (Doremus, 1994). Bunun nedeni, camda renklenmenin karmaşıklığı ile, bazı renklerin camda homojen ve kararlı olarak elde edilebilmesinin kolay, bazılarının ise oldukça problemli olmasından kaynaklanmaktadır. Camda renklenme olayı başlıca 4 grup altında toplanmaktadır. Söz konusu bu renklenme mekanizmaları aşağıdaki alt bölümlerde açıklanmaktadır (Plumat, 1986).

### 2.5.1. İyonik Yapıya Bağlı Olan Renklenme

Fe, Ni, Cu gibi geçiş metallerinin yer aldığı grup, renklenme mekanizmaları içinde en önemlisini teşkil etmektedir. Bu grupta yer alan renklenme, iyonların kuantum seviyelerindeki değişim sonucu meydana gelmektedir. Ligant alanı teorisi, bu oluşumu açıklayan teori olmaktadır (Bamford, 1977). Söz konusu teori, iyonik renklenmeyi ışık enerjisi altında camdaki geçiş metal iyonları ile  $\text{O}^{2-}$  iyonları arasındaki etkileşime bağlı olarak, yapıdaki iyonların dış yörüngelerindeki elektronların enerji seviyelerinde meydana gelen değişim olarak tanımlanmaktadır (Plumat, 1986).

En genel cam tipi olarak soda-kireç-silika camlar incelendiğinde, anyon olarak  $O^{2-}$  ve katyon olarak da cam yapıcı veya modifiye edici (kimyasal yapıyı kuvvetlendirici) olmak üzere iki tip iyon bulunduğu görülmüştür (Nassau, 1983).

Cam yapıcıların ana özelliği, küçük, yüksek elektronegativiteli ve kuvvetli polarizasyon etkisine sahip katyonlar olmalarıdır ( $B^{+3}$ ,  $Si^{+4}$  ve  $P^{+5}$  gibi). Şekil 2.1'den görüleceği gibi koordinasyon sayısı 4 olan  $SiO_2$  ağ yapısında merkez, +4 yüklü ve küçük bir katyon olan  $Si^{+4}$  iyonu olup, tetrahedral yapıda 4 adet büyük  $O^{2-}$  iyonu ile çevrili bulunmaktadır (Plumat, 1986).

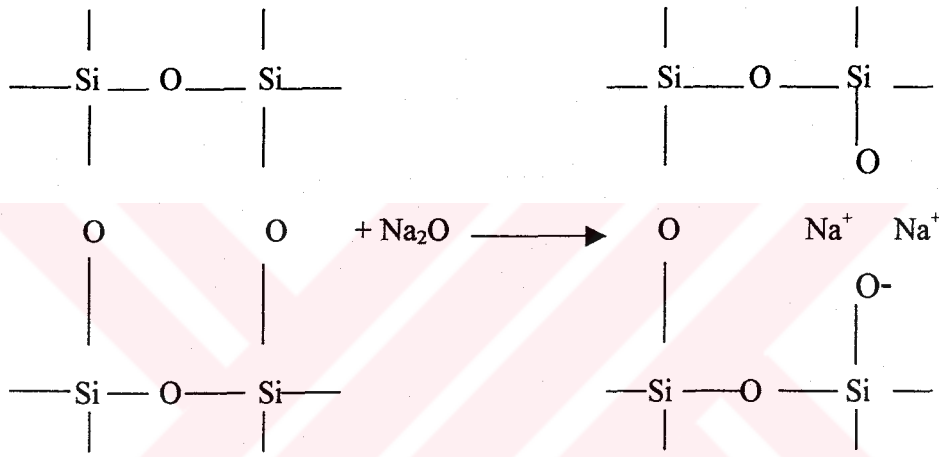


Şekil 2.1. Silika Ağ Yapısı.

Kovalent bağlı elementler, ideal gaz konumuna gelebilmek için gereken elektronları paylaşmaktadırlar.  $SiO_2$  molekülünde,  $Si$ 'nin +4 yükü,  $O^{2-}$ 'nin elektronları üzerinde de etkili olarak dış elektron yörüngesinde önemli bir deformasyona neden olmaktadır. Dış yörüngenin bu deformasyonuna "polarizasyon" adı verilir.  $SiO_2$ 'nin elektron yoğunluğu incelendiğinde, iyonlar arasındaki yoğunluğun,  $NaCl$ 'ye oranla daha fazla olduğu görülür. Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi, uzayda üç boyutta ilerleyen silika ağ yapısıdır ve sıvı fazda,  $Si^{+4}$  ve  $O^{2-}$  iyonları arasındaki çekim kuvveti çok yüksek olduğundan, iyonların hareket etme imkanları az olup, viskozite oldukça yüksektir. Erime sıcaklığının altına hızla inildiğinde ( $1710^\circ C$ ), iyonlar organize olmak için zaman bulamaz ve sıvı fazdaki düzensiz hallerini koruyarak, camsı yapıyı oluştururlar. Ancak, sıvı silika çok yavaş soğutulursa, düzenli kristal yapı katılar oluşur. Dolayısıyla, ergimiş haldeki bir maddenin akışkanlığı ve buna bağlı olarak cam yapma yeteneği, o maddedeki bağların iyonik yada kovalent olmasıyla yakından ilgilidir (Vogel, 1994).

Camsı silikanın moleküler yapısı,  $Si$  ve  $O$  atomlarının tetrahedral bir yapı oluşturur ve buradaki,  $Si-O-Si$  bağları, son derece kuvvetli bağlardır. Bu bağlardaki,  $O$  iyonlarına

camın ağ yapısını oluşturduğundan, "köprü kuran oksijen" (bridging oxygen) adı verilir. Periyodik Tablonun IA grubundaki, Li, Na, K, Rb, Cs elementlerinin ortak özelliği, son yörüngelerinde tek bir elektron bulunması ve bu elektronu kolayca vererek iyonik bağ kurmalarıdır. Bu oksitler, silika ağ yapısına sokulduğunda, ağ yapının sürekliliği bozulur. Alkali ile yapıya giren oksijen iyonları, Şekil-2.2'de görüldüğü gibi, Si-O-Si bağlarını kırarak, "köprü kurmayan oksijen" (non-bridging oxygen) olarak anılan, iyonları oluştururlar. Bir bağ kuran bu oksijen iyonları, negatif yüklüdür. Pozitif yüklü alkali iyonları ise, elektriksel nötrlüğü sağlayabilmek için köprü kurmayan negatif yüklü oksijen iyonlarına yakın noktalara yerleşirler (Vogel, 1994).



**Şekil 2.2.** Modifiye Edici Oksit Olarak, Na<sub>2</sub>O İlavesi ile Camsı Yapının Değiştirilerek Düzenleyici Oksitin Yapıya Girdikten Sonraki Konumu.

Alkali oksitlerin yer almasıyla yapı önemli ölçüde değişikliğe uğramaktadır. Bu durumda, yeni bir kompozisyona sahip olan camın, bazı özellikleri de değişir. Alkali oksitleri iki gruba ayırmak gerekir. Li ve Na küçük iyonlar grubunda yer alırken, K, Rb ve Cs büyük iyonlar grubuna girerler. Alkali metal iyonları içinde en küçük iyon çapına sahip olan Li<sup>+</sup>, oldukça kuvvetli bir çekim kuvvetine sahiptir. Böylece ağ yapıda yer alan negatif yüklü oksijen iyonlarına sıkıca tutunarak camın kimyasal dayanıklılığını geliştirmektedirler. Ancak Li, iyon çapının küçük olmasından dolayı ağ yapıda boşlukların oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durumun meydana gelmesi, camın yoğunluğunu büyük ölçüde azaltmaktadır. Li ile aynı gruba girmesine rağmen, Na iyonunun durumu biraz daha farklı olmaktadır. Na, iyon çapının Li<sup>+</sup> iyonununundan daha büyük olması nedeniyle, onun kadar kuvvetli bir çekim kuvvetine sahip değildir. Bu nedenle, negatif yüklü ve köprü kurmayan oksijenlere doğru çekimi kuvvetli olmayacağından, yerleştiği

noktalardan koparılması daha kolay olmaktadır. Bu da, camın kimyasal dayanıklılığını, Li'nin tersine olumsuz yönde etkilemektedir. Daha büyük bir iyon çapına sahip K ise,  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Li}^+$  iyonuna göre daha hareketsiz olup, çekim kuvveti de oldukça düşük olmaktadır. Bu yüzden, K-O bağı Na-O bağına göre 1/3 oranında daha zayıftır. Bu noktada  $\text{K}^+$  iyonunun kolaylıkla cam yapısından ayrılabilmesi söz konusudur. Ancak, çekim kuvveti zayıf olmakla birlikte, iyon çapının büyüklüğü nedeniyle hareketsizleşen  $\text{K}^+$ , cam yapısını kolayca terk edememektedir (Pye ve diğ., 1972).

Peryodik tablonun IIA grubunda yer alan, toprak alkali metaller, son yörüngelerinde bulunan iki elektronu vererek +2 değerlik alırlar, böylece iki iyonik bağ yaparlar. Ancak, +2 yüklü birer katyon olduklarından, herbiri iki adet köprü kurmayan oksijen bağı oluştururlar. Böylece alkali metallerden daha kuvvetli bağlarla yapıya tutunurlar. Camda en çok rastlanan IIA grubu elementi, Ca ve Mg'dir. Yapısında bulundukları camın özelliklerini aynı yönde etkilemelerine rağmen, bu elementlerin ağ yapıdaki yerleşim biçimleri arasında bazı temel farklılıklar vardır. Ca, cam yapısında oldukça güçlü bağ yapar. İyon çapı Na'nın çapına yakın olmasına rağmen, Ca'nın iki değerlikli olması ağ yapıya daha sıkı tutunmasını sağlar (Vogel, 1994).

IIIA grubu elementleri arasında yer alan Al ve B, cam yapısı için büyük önem taşırlar. Al bir ağ yapıcı olmamakla birlikte, cam yapısı içinde silisyuma çok yakın özellikler göstermesi bakımından ilginçtir. Eşit derecede iyonik ve kovalent karakter gösteren Al, düşük iyon çapı ve yüksek (+3) yükü ile çok güçlü bir Al-O bağı kurar.  $\text{SiO}_4$  tetrahedronu ile aynı büyüklükte bir  $\text{AlO}_4$  tetrahedronu ve bu nedenle Si'ye benzerlik göstermektedir. Buna karşın Al, yine de kendi başına polimerleşerek cam oluşturamaz. Ancak, Al, silika ağ içinde, camdaki metal oksit ve tür oranlarına bağlı olarak dört yada altı koordinasyonlu (komşulu) halde bulunabilir.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'ün molar oranıyla  $\text{Na}_2\text{O}$  oranı aynı düzeye gelinceye kadar Al dört koordinasyonlu iken, bu oranın üzerinde  $\text{Al}_2\text{O}_3$  artışıyla birlikte altı koordinasyonlu Al oranı da artar. Li içeren silika camlarında da Al altı oksijenle çevrelenmiştir (Vogel, 1994).

Kendi başına bir cam yapıcı olan B, aynı zamanda silikat cam yapısında yer aldığı anda bazı değişiklikler meydana getirmektedir. Ancak, Si'den farklı olarak yapıda iyonik bağı elementler olması durumunda üç ve dört koordinasyonlu olmak üzere iki tür yapı oluşturmaktadır. B her iki koordinasyonunda da yüksek çekim kuvvetine sahiptir.

Bu nedenle B-O bağı çok kuvvetli olmaktadır (Vogel, 1994).

Ancak,  $[BO_n]$  yapı taşlarının birbirine olan bağları yüksek sıcaklıkta oldukça zayıftır. Bu güne kadar borun bu özelliğine uygun bir açıklama getirilememiştir. Bu özellik, beraberinde kolay erime özelliğini ve akışkanlığı da getirmektedir. Bor hem kendinin ağ oluşturduğu camlarda, hem de silikat camlarında, bu özelliğini korumaktadır (Vogel, 1994).

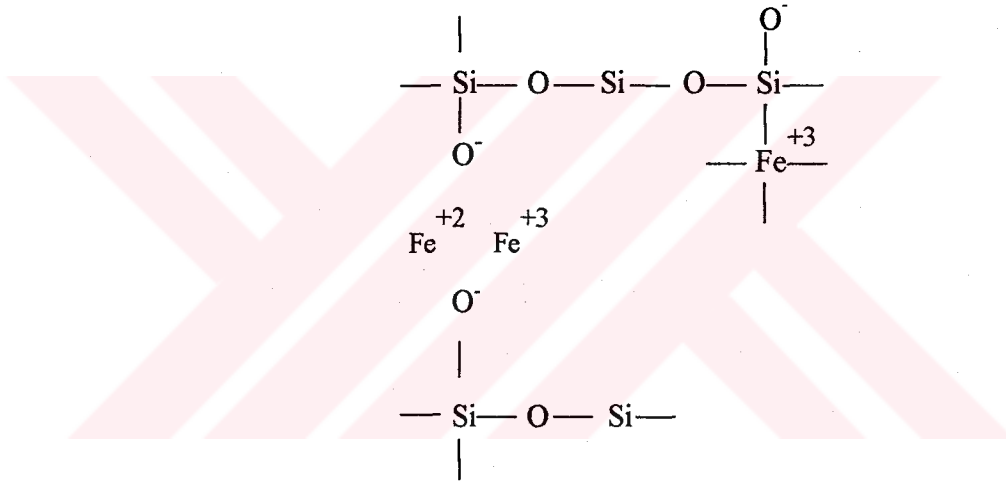
Fe, Ni, Co, Cr gibi geçiş elementleri de, cam yapısı içindeki davranışları ile özellikle renkli cam üretimi bakımından önem taşırlar. Cama giren görünür ışık bölgesindeki bir foton, kolaylıkla az farkla daha yüksek bölgede bulunan bu bozulmuş enerji düzeylerinden birine çıkarabilir. Bu olay sırasında, sözü edilen foton soğurulmuş olur ve bu nedenle, camı renkli görürüz. Kırmızı, turuncu ve sarı gibi uzun dalgaboylu, dolayısı ile düşük enerjili olan bu ışınlar, geçiş elementlerini içeren camlar tarafından soğurulduğunda, bu camlar mavi, yeşil ve mor renklere sahip olurlar. Örneğin;  $Cr^{+3}$  cama yeşil,  $Fe^{+2}$  mavi yeşil,  $Mn^{+3}$  mor,  $Co^{+2}$  ise mavi renk verirler (Bamford, 1977).

Cam yapısında bulunan Si-O-Si-O iyonları arasında büyük boşluklar olan  $SiO_2$  yapısına,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Li^+$  gibi alkali metal veya  $Ba^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  gibi toprak alkali metal iyonları ilave edilerek cam yapısı farklılaşır. Bu duruma, değiştirilerek düzenlenmiş (modifiye edilmiş) cam yapısı denir (Nassau, 1983). Şekil 2.2'de  $SiO_2$  sistemine  $Na_2O$  ilavesi şematik olarak gösterilmektedir. Herhangi bir safsızlık içermeyen bu yapı, incelendiği dalgaboyundaki radyasyonun, yapıda mevcut iyonları çevreleyen iyonların kuantum seviyelerinde belirli bir değişime, dolayısı ile iyonlar arası bir etkileşime sebep olmaması itibarı ile renkli değildir. Ticari camlarda kullanılan renklendiricilerin en belirgin örneğini, iyonik renklenme grubuna dahil olan demir oluşturmaktadır. Demirin yanı sıra renklendiriciler arasında  $Ni^{+2}$ ,  $Co^{+2}$ ,  $Mn^{+3}$ ,  $Cu^{+2}$  ve  $V^{+3,+4,+5}$  iyonları da sayılabilir (Plumat, 1986).

Hammaddelerden safsızlık şeklinde bulaşması nedeniyle camda en sık rastlanan renklendirici demir oksit olmakta ve renksiz camlarda genellikle istenmeyen yeşilimsi, mavimsi yeşil ve sarımsı tonları oluşturmaktadır. İyonik renklenme grubuna dahil olan demir, camda  $Fe^{+2}$  ve  $Fe^{+3}$  olmak üzere iki farklı değerlikte bulunmakta ve, camda her zaman için (2.3) denklemindeki gibidir.



Sadece tek bir demir değeriğinin elde edilmesi çok zor hatta imkansızdır. Birbirleri ile sürekli etkileşim içinde olan  $\text{Fe}^{+2}$  ve  $\text{Fe}^{+3}$  iyonlarının dengesi üzerinde, fırındaki eritme sıcaklığı ve oksidasyon konumunun etkinliği söz konusudur. Özellikle, yapısında demir oksit içeren soda-kireç-silika camlarının ışık geçirgenliği eğrisinde,  $\text{Fe}^{+2}$  ve  $\text{Fe}^{+3}$  iyonlarına özgü soğurma bantlarını görmek mümkündür.  $\text{Fe}^{+2}$  ve  $\text{Fe}^{+3}$  iyonları soda-kireç-silika camı yapısında üç farklı konumda yer alabilir (Plumat, 1986).  $\text{Fe}^{+2}$  iyonu, tipik modifiye edici iyon konumundadır.  $\text{Fe}^{+3}$  ise  $\text{Al}^{+3}$  gibi cam yapıcı iyon konumunda veya modifiye edici iyon konumunda bulunabilmektedir. Cam yapısındaki bu üç konum, Şekil 2.3’de şematik olarak görölmektedir (Paul, 1990).



**Şekil 2.3.**  $\text{Fe}^{+2}$  ve  $\text{Fe}^{+3}$  İyonlarının Cam Yapısında Bulunabileceği Üç Farklı Konum.

Ağ yapıda her zaman modifiye edici konumda bulunan  $\text{Fe}^{+2}$  mavimsi yeşil;  $\text{Fe}^{+3}$  ise cam yapıcı konumda, ortamda yüksek miktarda aktif oksijen bulunması kaydı ile renksiz yakın pembe, modifiye edici konumda ise sarımsı yeşil tonda renk oluşturur. Bu bağlamda camda üretim koşullarına bağlı olarak değişebilen  $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$  oranı, sıcaklık ve ortamın indirgenliği ile doğru orantılı olup, cam renginde mavimsi yeşil veya sarımsı yeşil yönünde değişimlere neden olur (Plumat, 1986).

Son olarak, camda iyonik renklenmeye ilişkin olarak belirgin örnekleri ile incelerken arsenik, antimon ve kalay iyonlarından da söz etmek gerekir (Paul, 1990). Sıcaklık ve fırındaki oksidasyon koşullarının değişimine bağlı olarak, camda renk verici iyonların

değerliklerinin oranı da değişebilmekte, bu şekilde farklı cam renkleri elde edilmektedir. Bu üç katyon, kendileri cama renk vermemekle birlikte, söz konusu değişimlere yardımcı olmaktadır. Arsenik ve antimon genelde harman içerisinde, oksidan madde olarak kullanılmakta ve erime sırasında ortama  $O_2$  vererek denklem (4)'de verilen dengeyi  $Fe^{+3}$  yönüne çevirmektedirler (Plumat, 1986).

Bütün bu oluşumlardan dolayı renksiz cam üretiminde en önemli konulardan biri, camın demir oksit içeriğidir. Hammaddelerle harmana kaçınılmaz olarak giren demir, camda istenmeyen mavimsi yeşil rengi oluşturur. Burada yapılması gereken işlem, hammaddelerdeki demirin mekanik yöntemlerle mümkün olduğunca azaltılmasıdır. İkinci işlem ise,  $Fe^{+3}$  iyonunun camda oluşturduğu sarımsı yeşil tonun,  $Fe^{+2}$  iyonun mavimsi yeşil rengine kıyasla daha az belirgin olması itibarı ile, camdaki  $Fe^{+2}/Fe^{+3}$  oranının mümkün olabilecek en az düzeye indirilmesidir. Bu da, çok yüksek olmayan uygun bir eritme sıcaklığı ve harmandaki nitrat, arsenik (tercihen antimon), sülfat gibi maddelerin kullanımına bağlı olarak camda oksidan koşulların sağlanması ile mümkün olmaktadır (Plumat, 1986).

Buna karşın kimi durumlarda bilinçli olarak, bir takım cam kap türleri ve güneş kontrol camları gibi uygulamalarda cama demir ilave edilmektedir. Söz konusu uygulamalarda, camdaki demir oksit seviyesi yaklaşık % 0.5 veya daha fazladır. Koyu yeşil tondaki bu camlarda teorik olarak, kızıl altı bölge ışık geçirgenliğinin azaltılması, dolayısı ile  $Fe^{+2}$  iyonunun varlığı hedeflenmektedir (Plumat, 1986).

#### **2.5.2. Cam Yapısındaki Distorsiyon (Şekil Değişikliği) Sonucu Meydana Gelen Renklenme**

İyonik renklenmede, anyonun sadece  $O^{2-}$  olduğu oksit camlar söz konusudur. Ancak, bu grupta renklenme başlıca iki mekanizmanın etkisiyle, cam yapısında meydana gelen distorsiyona bağlı olarak oluşmaktadır (Bamford, 1977). Bu mekanizmalardan ilki silikat ana yapısındaki oksijenin kükürt veya selenyum iyonları ile yer değiştirmesidir.  $SiO_2$  homojen dağılımlı ve bağ yapısı çok kuvvetli olan bir sistemdir. Çünkü tetrahedral bir yapıda olup, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile bağ yapmaktadır. Bu nedenle iyonlar arasındaki uzaklık hemen hemen aynıdır (Plumat, 1986).

Kükürdün oksijen ile yer değiştirdiği durumlarda ise  $S^{-2}$  iyonunun  $O^{-2}$  iyonundan büyük olması, bağ kuvvetinin ve buna bağlı olarak da  $Si^{+4}$  ve  $S^{-2}$  iyonları arasındaki uzaklığın bir miktar farklılaşmasına neden olur ki; bu da cam yapısında bir distorsiyon oluşturur. Se iyonu ile de aynı durum söz konusudur. Bu tür şekil değişiklikleri sonucunda da camda renklenme oluşur. Camdaki oksijen iyonlarının kükürt iyonları ile yer değiştirmesi sonucu elde edilen bal rengi ve selenyum iyonları ile yer değiştirmesi sonucu oluşan pembe, distorsiyonal renklenme mekanizmasının tipik örnekleridir. Camda distorsiyonal renklenmeyi oluşturan ikinci mekanizma ise, radyasyon etkisi ile meydana gelir. Silikat cam, X veya gama ışınları ile radyasyona tabi tutulduğuunda bal rengi oluşumu gözlenir. Burada, kükürdün oksijen ile yer değişimi söz konusu değildir. Tekrarlanabilir özellikteki bu mekanizmada bal rengi, verilen enerjiye bağlı olarak tetrahedral yapıda meydan gelen distorsiyonla oluşmaktadır. Radyasyona tabi tutulan cam örneği, tekrar bir ısıtma işleminden geğirildiğinde ise yapıdaki distorsiyonun düzelmesi ile yine başlangıçtaki renksiz konumuna döner (Bamford, 1977).

### 2.5.3. Kolloidal Çökme Sonucu Oluşan Renklenme

Camda oluşan belli başlı renklerden bazılarının kolloidal çökme sonucu meydana geldiği varsayımı, çok eski yıllara dayanmakla birlikte 20 yıl öncesine kadar kanıtlanamamıştır. Camda kolloidal kirlenmenin bir tür faz ayrımı olduğu bilinmektedir. Nükleasyon ve faz ayrılması olarak gerçekteşen bu mekanizmanın ispatlanması oldukça güçtür. Nedeni ise, gerek nükleasyonun gerekse kolloidal ayrılmanın çok küçük boyutlarda iki faz meydana getirmesidir (Bamford, 1977). Bugün söz konusu mekanizmalar, çok küçük parçacıkların izlenebildiği özel cihazlarla belirlenebilmekte ve faz ayrımı konusunda yapılan araştımalarda elde edilen bulgular ile de açıklanmaktadır. Altın, gümüş ve bakır gibi metallerin iyonları veya kükürt, selenyum ve fosfor gibi sistemler, camda ayrı bir faz oluşturabilir. Renklenme teorisi açıklaması oldukça zor olmakla birlikte, ışığın söz konusu faz ayrımını oluşturan kolloidal parçacıklar üzerindeki bir çeşit saçılımı olarak tanımlanmaktadır. Bu özellik, parçacıkların büyüklüğu, şekli ve camdaki konsantrasyonu ile bağıntılıdır. Cd-S-Se bileşiği de, pratik uygulamalarda oldukça önem taşıyan bu renklenme mekanizmasını oluşturur (Plumat, 1986).

#### 2.5.4. Cam Yapısındaki Hatalar Sonucu Meydana Gelen Renklenme

Bu grupta yer alan renklenme mekanizmaları, cam yapısındaki hataların ( $O^{2-}$  boşluğu gibi) bir araya gelmesi sonucu renk merkezi oluşumu olarak açıklanmaktadır. Örnek olarak NaCl sistemi ele alındığında, ışık geçirgenliği çok yüksek olan bu sistemde,  $Cl^-$  boşluğu mevcudiyetinde herhangi bir safsızlığa bağlı olmadan renklenme meydana gelir. Frenkel ve Schottky teorileri bu tür sistemleri açıklayıcı niteliktedir. Yukarıdaki başlıklar altında özetlenen camda renk mekanizmaları, söz konusu dört gruptan birinin veya birkaçının varlığında meydana gelebilir. Her iki durum için de geçerli olan husus, iyonlar ve gruplar arasında olan etkileşimdir. Söz konusu olan etkileşim nedeniyle, diğer renklenme mekanizmalarına kıyasla daha basit olan iyonik renklenmede dahi iki renk verici iyon mevcudiyetinde camda elde edilen renk, ikisinin ayrı ayrı oluşturacağı renklerin toplamı olarak düşünülemez (Bamford, 1977). Birden fazla renk merkezi birleştirildiğinde ise doğal olarak, meydana gelecek etkileşimler de artacaktır. Bu itibarla farklı renk sistemlerinin bir araya gelmesi ile renk bandı değişebilmektedir. Renk oluşumunda diğer önemli bir parametre de, camın yapısıdır. Bu tek renk verici sistem varlığında dahi, cam kompozisyonu değiştirildiğinde farklı renkler elde edilebilmektedir (Plumat, 1986).

Sementasyon olarak adlandırılan bir diğer camı renklendirme yöntemi de katı haldeki cama difüzyon yoluyla iyon ilavesidir (Paul, 1990). Normal koşullarda  $Ag^+$ ,  $Au^+$  veya  $Cu^+$  soda-kireç camında mevcut  $Na^+$  veya  $K^+$  iyonları ile yer değiştirdiğinde herhangi bir renklenme meydana gelmez. Cam,  $Sn^{+2}$  içerek şekilde indirgen ortamda 500-600 °C gibi sıcaklıklarda Ag, Au ve Cu tuzları ile teması sağlandığında meydana gelen difüzyon sonucu oluşan reaksiyon ile çeşitli renkler elde edilir. Bu uygulama Flot Camın renklendirilmesinde daha ucuz bir yöntem olduğundan tercih edilir (Plumat, 1986).

### 3. RADYASYONUN CAM ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Radyasyon tipi ve doz seviyesinin güvenilir bir şekilde belirlenmesi; çevre ve insan sağlığı açısından önem arz etmektedir. Bu bakımdan, radyasyonla çalışmalarda radyasyon tipi ve doz seviyesinin belirlenmesi bir gerekliliktir. Kullanılan malzemenin ve bu bağlamda camın radyasyon karşısındaki karakteristik davranışlarının ve dayandığı temel ilkelerin incelenmesi radyasyon ölçümlemesinin güvenilirliği açısından bilinmesi gerekli bir diğer konudur. Bu nedenle, çeşitli radyasyon tiplerinin madde ile etkileşiminin incelenmesi, nükleer uygulamalar bakımından ayrı bir önem taşımaktadır.

#### 3.1. Radyoaktivite ve Radyasyon Tipleri

Uzayda veya maddi bir ortam içinde elektromanyetik dalgalar yada parçacıklar olarak yayınlanan enerjiye "radyasyon" denir (ASME, 1963). Radyasyon, yeterli kalınlıktaki madde içinden geçerken ya enerji kaybına uğrar yada soğurulur. Radyasyonun madde içinde aldığı yola "erişme uzaklığı" veya "menzil" adı verilir (Lamarsh, 1983).

Elektromanyetik radyasyon, ışık hızı ile hareket eden ve dalga mekaniğine uyan fotonlardır. Elektromanyetik radyasyon; frekansına göre radyo dalgaları, radar, kızılaltı, görünür ışık, morötesi, X-ışınları, gama ışınları ve kozmik ışınlar şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bunlardan X ve gama ışınları girici elektromanyetik radyasyonu oluştururlar (ASME, 1963).

Girici elektromanyetik radyasyonun malzeme ile etkileşiminde üç önemli olay meydana gelir. Bunlardan birincisi, Fotoelektrik Olay olup, fotonun soğurucu atomla çarpışıp tamamının soğurulmasıdır. İkincisi, "Compton Saçılması"dır ve fotonun madde atomunun dış elektronuyla moment ve enerjinin korunumu kuralları ile yaptığı esnek çarpışmayı ifade eder (Wang, 1975). Üçüncü önemli olay ise "Çift Oluşum Olayı"dır. Çift Oluşumu Olayı, enerjisi 1.02 MeV veya daha fazla olan

fotonun, atom çekirdeğinin yanından geçerken bu kuvvetli alanda yok edilmesi ve bir elektron-pozitron çifti oluşmasıyla bunların birbirini yok etmesidir (anhilasyon) (Lamarsh, 1983).

Radyasyon başlıca iki ana grupta incelenebilir. Bunlar, parçacık radyasyonu ve elektromanyetik radyasyondur (Lamarsh, 1983). Beta parçacıkları, protonlar, nötronlar, alfa parçacıkları, dötronlar, ağır yüklü parçacıklar, mezonlar gibi radyasyon tipleri parçacık radyasyonu adını almaktadır. Elektromanyetik radyasyon ise enerjinin süreksiz, başka bir deyişle kesikli ve çok küçük bir değerinin tam katları şeklinde soğurulup yayınlanabildiği dalgalar olarak kabul edilmektedir. Einstein,  $v$  frekansına sahip monokromatik bir ışık hüzmesinin, ( $h$ ; plank sabiti, olmak üzere)  $h\nu$  enerjili boyutsuz paketiciklerden oluştuğunu belirtmiştir. Başka bir deyişle, ışık; taneciksi yapıdaki fotonlardan oluşmuş olup, bu fotonlar dalga tabiatı göstererek ışık hızıyla hareket etmektedirler (Wang, 1975).

### 3.2. Radyasyonun Malzemeyi Etiketleme Mekanizmaları

Alfa parçacıkları elektrikçe +2 yüke sahiptirler. Bu nedenle, Coulomb Kuvvetleri çerçevesinde, madde ile kuvvetle etkileşirler ve madde içinde önemli ölçüde iyonizasyona neden olurlar. Alfa parçacıkları madde içinde ilerlerken iyon çiftleri oluştururlar ve bu sırada hızları azalır (Lamarsh, 1983) Bu parçacıklar malzeme içinde iyonlaşmaya neden olarak ilerlerken, enerjilerinde bir azalma meydana gelir ve nihayet iyonizasyon meydana getiremez hale gelerek yüksüz helyum atomlarına dönüşürler. Alfa parçacıklarının kütleleri ağır olduğundan, madde içinden geçerken, atom çekirdekleri ve elektronlara çarptıklarında, yönlerinde önemli bir değişme olmaz (Wang, 1975).

Beta parçacıklarının kütleleri alfa parçacıklarının kütlelerinden küçük olduğundan aynı enerjide oluşturdukları özgül iyonizasyon daha küçüktür. Beta parçacıkları madde içinden geçerken Coulomb etkileşimleri bağlamında elektronlarla etkileşirler. Böylece yönlerinde de bir değişiklik olur. Pozitif yüklü beta parçacıklarına "pozitron", negatif yüklü beta parçacıklarına ise "negatron" adı verilir. Pozitron, elektronla birleşme eğilimindedir. Pozitron ve elektron birbirlerini nötralize eder ve

oluşan enerji, radyasyon olarak açığa çıkar. Buna, yok olma (anihilasyon) radyasyonu adı verilir (Lamarsh, 1983; Wang, 1975).

Nötronlar, maddenin atom çekirdeği ile saçılma ve soğurulma olmak üzere başlıca iki şekilde etkileşirler. Saçılma olayı esnek ve esnek olmayan saçılma olmak üzere iki şekilde meydana gelir. Nötron her iki saçılma olayında da enerji kaybetmektedir. Nötronun soğurulması olayı ise farklı şekillerde meydana gelir. Nötronun atom çekirdeği tarafından soğurulmasını takiben; bir gama fotonu, bir alfa parçacığı, bir proton veya iki nötron atılabildiği gibi atom çekirdeği kararsız ve büyük bir çekirdek ise, bölünerek fisyon olayı da meydana gelebilir (Lamarsh, 1983; Wang, 1975).

Girici elektromanyetik radyasyonun madde ile etkileşimi sonucunda; X veya gama ışınları cismin üzerine düştüğünde bir kısmı cismin içinden geçer, bir kısmı soğurulur ve diğer bir kısmı da çeşitli yönlerde saçılır. Gama veya X-ışını madde içinde soğurulabildiğinden, malzemeden geçerken şiddetlerinden kaybederler. Kaybedilen radyasyonun miktarı; radyasyon enerjisine, malzemenin yoğunluğuna ve kalınlığına bağlıdır (Lamarsh, 1983; Wang, 1975).

Elektromanyetik radyasyon şiddeti "  $I$ ,  $1 \text{ cm}^2$  'lik alana bir saniyede gelen ışın enerjisinin erg olarak miktarıdır " şeklinde tanımlanmaktadır.  $T_i$  olarak gösterilen izafi geçirgenlik, ortamdan çıkan radyasyon şiddetinin  $I$ , ortama giren ışın şiddetine  $I_0$  oranı olarak ifade edilmektedir. Radyasyonun malzeme içinde aldığı yol "  $x$  " olarak gösterilmektedir. Radyasyonun malzeme içinde aldığı yol arttıkça soğurma artmaktadır. Bu durum ;

$$\log(T_i) = - c\mu x \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Atkins, 1990).

Denklem (3.1)'den elde edilen  $\mu$  soğurma katsayısının belirlenmesi, yapının optik özelliklerinin tanınması bakımından önem taşımaktadır. Burada  $c$  renk verici yada incelenen elementin konsantrasyonu olarak tanımlanmaktadır. Bütün bu veriler yardımıyla,  $\mu$  soğurma katsayısını,

$$\mu = \frac{-\log T_i}{cx} \quad (3.2)$$

belirlemek mümkün olmaktadır (**Bamford, 1977**). Lambert-Beer Kanunu,

$$I(\lambda) = I_0 e^{-c\mu x} \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu kanun, kolorimetrik analizin temelini oluşturmaktadır (**Bamford, 1977**).

Nükleer uygulamalar ve nükleer teknikler bakımından diğer önemli bir konu da radyasyonun madde ile etkileşimi sonucu maddede iyonlaşma meydana gelip gelmemesidir. Radyasyonun madde ile etkileşimi sonucu maddede iyonizasyon meydana getiren radyasyona "iyonizan radyasyon" veya "iyonlaştırıcı radyasyon", madde ile etkileşimi sonucunda maddede iyonizasyon meydana getiremeyen radyasyonlara ise "iyonizan olmayan radyasyon" veya "iyonlaştırıcı olmayan radyasyon" adı verilir (**Lamarsh, 1983**).

Alfa, beta, gama, X-ışınları, elektronlar ve nötronlar iyonlaştırıcı özellikteki radyasyonlardır. İyonlaştırıcı radyasyonların, iyonlaştırıcı olmayan radyasyonlara göre malzeme üzerinde etkileri daha fazladır. İyonlaştırıcı radyasyonlar karşılaştıkları moleküllerde iyon çifti meydana getirebildikleri gibi iyonlaştırıcı radyasyonların yapıları ya parçacık yada elektromanyetik dalgalar şeklinde olabilmektedir. İyonlaşma olayı bir atomdan veya bir molekülden bir elektronun kopması olayıdır (**Lamarsh, 1983; Wang, 1975**).

Alfa veya beta parçacığı gibi hareket eden yüklü parçacık, maddenin içinden geçerken atomun dış elektronunu almaya yeterli elektriksel etkileşmeyi sağlayacak şekilde atoma veya moleküle yeterli derecede yaklaşır. Böylece, atom, elektronunu kaybederek, pozitif yüklü bir iyon haline gelir. Kopan bu elektronla pozitif yüklü iyon sistemi bir iyon çifti oluşturur. Elektrik yüklü olan bu parçacıklar madde içinde yol alırken iyonizasyona neden olurlar ve yolları boyunca arkalarında pek çok iyon çifti bırakırlar. Bu nedenle bu tip yüklü radyasyona "doğrudan iyonizan

radasyon" adı verilir. Yüklü parçacık havada ilerlerken ortalama olarak herbir iyon çifti üretmesinde 32.5 eV'lik enerji kaybedebilmektedir (Lamarsh, 1983).

Gama ve X-ışınları, elektrik yükü taşımazlar. Bunlar maddeden geçerken sebep oldukları olaylar sonucunda, atomdan elektron atılmasına neden olurlar. Böylece iyonizasyon meydana getirmiş olurlar (Lamarsh, 1983).

Nötronlar ise sebep oldukları olaylar sonucunda, dolaylı olarak iyonizan radyasyonun yayılmasına sebep olurlar. Diğer bir deyişle, elektrik yükü olmayan radyasyon doğrudan iyonizasyon yaratmayıp, ancak doğrudan iyonizasyon yapabilen parçacıkların oluşmasına neden olmaktadır. Bu tip radyasyonlara "dolaylı iyonizan radyasyon" adı verilmektedir (Lamarsh, 1983).

Radyo dalgaları, kızılaltı, görünür ışık ve morötesi ışınlar iyonizan etkisi bulunmayan radyasyonlardır. Bu tür ışınlar iyonizasyona neden olmazlar ve "iyonizan olmayan radyasyonu" oluştururlar. Morötesi ışınlar gibi nispeten enerjisi yüksek olanlar ise, moleküller arası bağların bozulmasına neden olabilirler (Lamarsh, 1983).

### **3.3. Camların Radyasyon Karşısında Davranışı**

Nükleer Reaktörlerin gelişmesiyle, bilim dünyasında, malzeme üzerinde radyasyon hasarı ile ilgili çalışılması gereken yeni sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sorunların giderilmesi için yapılan çalışmalar, malzeme mühendisliği gibi yeni bilim alanlarının doğmasına neden olmuştur (Chalmers, 1982).

Cam, iyonizan radyasyona maruz kaldığında meydana gelen temel etki elektronla ilgili işlemlerin sonucu olmaktadır. Radyasyona maruz kalan camlarda elektronlar normal konumlarından ayrılarak uyarılırlar ve cam ağı içinde hareket ederler. Bu sırada, her bir iyonizan elektron için, bir eksik elektron bölgesi yada pozitif yüklü boşluk oluşur. Elektron yada pozitif yüklü boşlukların tuzaklanması ile oluşan merkezler sonucunda soğurma bantları oluşturdukları gözlenmiştir (Ehrt ve Vogel, 1996).

Oluşan tuzaklar iki çeşit reaksiyon başlatıcı meydana getirmektedir. Bunlardan, birinci tip reaksiyon başlatıcılar, radyasyonun soğurulması ile oluşan pozitif yüklü

boşluk merkezleridir. (A) olarak nitelenen ve  $A^+$  oluşturabilen pozitif yüklü boşluk reaksiyon başlatıcılar, elektronunu kaybedebilirler. (B) ile nitelenen, ikinci tip reaksiyon başlatıcılar ise A'nın bir elektronunu kaybetmesi ile bir elektron merkezi ( $B^-$ ) oluşturarak, elektron kazanabilen elektron reaksiyonu başlatıcılarıdır. Böylece, hem  $A^+$  hem de  $B^-$  kendi kendine ışığı soğurabilen renk merkezi oluşturabilecektir (Ehrt ve Vogel, 1996).

A ve B olarak adlandırılan reaksiyon başlatıcıların, camın yapısında önceden var olan kusurlar olabilmesi veya bu kusurların yüksek enerjili radyasyondan türeyen radyolitik işlemler ile veya atomik yer değiştirmelerle yaratılabilmesi mümkündür. Soğurma bandları genelde çok geniştir ve yorumlanması zordur (Ehrt ve Vogel, 1996).

Çoğu camlar, radyasyon altında sarımsı kahverengi bir renk meydana getirmektedir. Cam yapısına uygulanan radyasyon etkisiyle oluşan renk, görünür bölgedeki geniş soğurma bantlarına sahip olan ve pozitif yüklü boşluk merkezlerine bağlı elektronların tekrar dağılımlarının bir sonucu olmaktadır. UV bölgesindeki soğurma bandları elektron merkezlerine bağlıdır. Bütün bunlara ek olarak, demir kirliliği miktarının azalmasıyla renk merkezlerinin oluşumu da azalmaktadır (Ehrt ve Vogel, 1996).

X ve gama ışınları camda, elektronların ayrılmasından kimyasal bağların kopmasına kadar yapısal pek çok değişikliğe sebep olabilmektedir. Bu durum, genelde camın, sarımsı tonlardan koyu tonlara doğru çeşitli renk tonlarına dönüşerek solması olarak tanınmaktadır. Radyasyonla uyartılan renk merkezleri, radyasyona karşı dayanıklı camların çeşitli radyasyon ortamlarında kullanımının zamanla elverişsiz olmasına sebep olmaktadır (Vogel, 1994).

Bir insanın yüksek enerjili radyasyon kaynağı yada radyoaktif maddeler içeren bir ortama girmesine izin verilmediği için bazı gözlemsel bağlantılar tartışmasız bir gereklilik olmaktadır. Tüm ortam, ağır veya baritli betonlar tarafından çevrelenmişse, gözlemsel bağlantılar kalın kurşunlu cam panellerle sağlanır. Radyasyona karşı koruyucu camlar olarak yüksek oranda kurşun içeren camlar kullanılmakta ve bu camlarla istenen koruyuculuk, diğer camlara oranla daha az kalınlık ile

sağlanabilmektedir. Kurşunlu camın koruyucu etkisi cam yoğunluğu ve cam kalınlığı ile belirlenebilmektedir (Vogel, 1994).

UV, X-ışını ve gama ışını gibi kısa dalgaboylu elektromanyetik radyasyonlar, yada alfa, beta, protonlar ve nötronlar gibi parçacık akısından meydana gelen radyasyonlar, optik camlarda kusurlar üretebilirler ve bu nedenle geçirgenlikte bir kayıp meydana gelebilir. Geçirgenlikteki bu kaybın optik sistemlerin çalışmasında zararlı olduğu, dolayısıyla geçirgenlikteki söz konusu bu kaybın yok edilmesi yada kontrol edilebilir bir seviyede olması gerekir. İyonizan radyasyon camlarda, sonradan tuzaklanabilen serbest boşluklar ve elektronlar üretebilir böylece, kusur merkezleri meydana gelir. Oluşan bu kusur merkezleri camın koyulaşmasına yol açtığı için, elektromanyetik spektrumdaki, görünür bölgede yer alan optik soğurmada bir artışa sebep olmaktadır (Speit ve diğ., 1992).

Kısa dalgaboylu elektromanyetik radyasyon cam içinden geçerek elektronlarla ve onun elektrik alanından geçerek atomun iç yapısıyla etkileşmektedir. En önemli olabilecek hasar mekanizması Fotoelektrik Olay, Compton Saçılması ve Çift Oluşum olayları ile meydana gelmektedir (Speit ve diğ., 1992).

Nötronlar sadece atomun iç yapısıyla etkileşse de, yüklü parçacıklar hem elektron bulutlarıyla hem de atomun iç yapısıyla etkileşebilirler. Renkteki solmanın şiddeti, radyasyon cinsi ve dozu ile iyonizan radyasyonun enerjisi ve şiddetine bağlı olabilmektedir. Ayrıca, ışınlanan camın kompozisyonu da renkteki solma şiddetine bağlıdır. Toplam doz olarak 10 Gy ( $10^3$  rad) kadar gama radyasyonu (foton enerjisi 1.25 MeV) alarak kararsız hale gelmiş optik camlarda, gözle fark edilebilir bir renklenme ile meydana gelebilir. Co-60 radyoizotopu ile  $10^4$  Gy'de uygulanan ışınlamadan sonra, geçirgenlik artık camın bir optik sistem olarak yeterince çalışamayacağı kadar düşük bir noktaya inmektedir. Normal optik camlarla karşılaştırıldığında radyasyona dayanıklı camlar, yüksek enerjilerdeki yüksek radyasyon dozlarına maruz kaldıklarında sadece zayıf soğurma kaybı sergilemektedirler. Cam kompozisyonunda rengin solmasını engelleyen  $CeO_2$  mevcudiyeti durumunda cam ile radyasyon arasında hızlı bir etkileşim söz konusudur. (Speit ve diğ., 1992).

Kurşun taşıyan camlar gama, proton ve nötronlarla ışınlamaya karşı iyi bir direnç sergilerler ancak, elektron akısı karşısında iyi bir direnç sergilemezler. Kurşunlu camların, elektron ışınıyla ışınlaması süresince Pb metalik haldeki kurşuna indirgenmektedir ve bu ufak metalik kurşun parçacıkları rengin solmasından sorumlu olabilmektedir. Işınlanmış bu dayanıklı camlarda tipik renk merkezleri Oksijen-Boşluk-Merkezleri (Oxygen-Hole-Centres OHC) olarak adlandırılmaktadır (Speit ve diğ., 1992).

Krom taşıyan kabal camlarının gama ışınları ile etkileşimine yönelik çalışmalarda, krom taşıyan kabal camlarındaki ( $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$  cam yapısı) görünür bölgedeki merkezleri uyartan radyasyonun, soğurma spektrumundaki geçiş metallerine etkisi incelenmiştir. Krom taşıyıcı camların optik soğurması, ışınlama dozundaki artış ile 600-650 nm civarında tespit edilebilmektedir.  $\text{Cr}^{+3}$  iyonuna bağlı olan bant şiddetinde bir artış görülmektedir. Bant şiddetindeki bu artış, önce keskin ve daha sonra  $8 \times 10^5$  rad civarına kadar olan doz artışı ile eksponansiyel, ancak bundan sonra, yavaş ve optik yoğunluğun ise hemen hemen sabit kaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, radyasyon enerjisinin etkisiyle valans bandından iyonize olan elektronlar sayesinde yorumlanabilmektedir (Ghoneim ve diğ., 1983a).

Hareket eden elektronlar, pozitif yüklü boşlukların olduğu önceden var olan kusurlar tarafından tuzaklanmaktadır. Bir veya daha fazla bağ kurmayan oksijen bir elektron kaybederse dokular arasında bulunan pozitif yüklü iyonlar yapı içinde konumunu değiştirmekte ve bu nedenle, bağ kurmayan oksijen renk merkezlerini artırarak, bir boşluğu (hole) tuzaklayabilmektedir. Camın gama ışınlarına olan tepkisindeki değişim, ışınlamanın ilk basamağı süresince, var olan kusurlardaki tuzaklanan yüke ve daha sonraki yüksek doz etkisi ise, daha çok sayıdaki kusur merkezlerinin yaradılışına bağlı olmaktadır (Ghoneim ve diğ., 1983a).

$\text{Ce}^{+4}$  iyonu bir elektron alıcı tuzak (akseptör) olarak renk bozulmasına karşı kaydadeğer bir kararlılık göstererek işlem görmektedir. Ayrıca, fotohassas (photosensitive) camlarda  $\text{Ce}^{+3}$  elektron verici olarak görev yapmakta ve gümüş iyonlarıyla bağlantılı olarak fotohassasiyeti ayarladığı belirtilmektedir (Vogel, 1994).

Endüstriyel uygulamalar ile nükleer fizik ve nükleer teknoloji için yapılan çalışmalarda kurşunsuz optik camlar için bu kararlılığa ulaşılabilmektedir. Bu kararlılık

görünür bölge içine ulaşan  $Ce^{4+}$  bandının kuyruğunun neden olduğu az bir miktar sarı renklenme ile ilişkilidir.  $Ce^{4+}$  'nın olmaması durumunda ışınlama yine de başka bir durumda kendi temel hallerine kolaylıkla indirgenemeyecek iyonları indirgeyebilmektedir. Fosfat camlar ise, gama ışını altında kırmızı olabilmektedir. Bunun sebebi,  $P^{5+}$  'nın,  $P^0$  'a indirgenmesidir. Kırmızı renklenme kuvvetli  $HNO_3$  buharında oksidasyonla giderilebilmektedir (Vogel, 1994).

Geleneksel optik camlar,  $2.58 \times 10^{-4}$  Ci.kg<sup>-1</sup> 'lik dozdan sonra gözle açık bir şekilde görülebilecek renklenme sergilemekte ve koyulaşmaktadır.  $2.58 \times 10^{-2}$  ile  $2.58 \times 10^{-1}$  'lik ışınlamadan sonra camlar başlangıçtaki özelliklerini hayli kayberek kullanılamaz hale geldikleri belirtilmektedir. Ancak,  $2.58 \times 10^{-1}$  Ci.kg<sup>-1</sup> 'lik ışınlama dozundan sonra bile, korunmalı camlar olarak isimlendirilen % 1-2'lik  $CeO_2$  'le kararlı hale gelen optik camlar neredeyse hiçbir renk bozulması sergilememektedirler (Vogel, 1994).

Kreidl ve Hensler (1955), optik camların renk bozulmasını engelleyen elektron tuzaklanması olarak,  $Ce^{4+}$  'nın etkisini incelemişler ve demir, manganez, kobalt, nikel, vanadyum ile bakır taşıyan ışınlanmış fosfat camlarda uyartılan yeni renk merkezleri bulmuşlardır. Bulunan bu yeni renk merkezlerinin, başlangıçta camlarda bantların oluşumunu engelleyen benzer tuzaklarda değişikliklere sebep oldukları düşünülmektedir (Vogel, 1994).

Fanderlik (1958),  $2.58 \times 10^{-1}$  Ci.kg<sup>-1</sup> üzerinde gama radyasyonu kullanarak sistematik bir şekilde ticari olan renkli filtre camları üzerinde çalışmıştır ve çeşitli sonuçlar elde etmiştir (Vogel, 1994).

Fanderlik'in sonuçlarına göre renkli camlar; gama ışınlamasında geçirgenlik davranışlarındaki tepkiye göre üç gruba ayrılabilir (Vogel, 1994).

- a) Geçirgenlik davranışlarında hiçbir değişiklik olmayan, renkli camlar ( $1.032 \times 10^{-2}$  Ci.kg<sup>-1</sup> 'e kadar olan ışınlamalara duyarsızdırlar.)
- b) Görünür bölgedeki geçirgenlikte kaydadeğer bir şekilde değişime sahip olan renkli camlar ( $1.03 \times 10^{-2}$  Ci.kg<sup>-1</sup> 'e kadar hassastırlar).
- c)  $2.58 \times 10^{-2}$  Ci.kg<sup>-1</sup> gama dozunda dahi soğurma özelliği değişmeden kalan renkli camlar. Ancak tüm görünür bölge göz önüne alınacak olursa, bu tür camlarda geçirgenlikte bir miktar azalma tespit edilmektedir. Bu gruptaki camlar özellikle Cu, Fe, Co ve Ni içeren camlardır.

### 3.4. Camlarda Renk ve Isıl Parametrelerin Belirlenmesinde Uygulanan

#### Yöntemler

Fe ve Ti gibi geçiş metalleri cam yapısı içine girebilmekte ve kirlilik atomları olarak yapı içinde yer almaktadır. Bu tür geçiş metallerinin varlığı cam rengini önemli ölçüde etkilemektedir. Kirlilik atomlarının iyonik oluşumları arasındaki bağlantılar ve cam yapısındaki diğer atomların iyonik oluşumlarının radyasyonla uyartılması sonucu oluşan renk merkezleri, camın rengini belirler.

Her valans hali belirli soğurma spektrumuna sahiptir ve bir renk ile bağlantılıdır. Böylece, camda radyasyonla uyartılma sonucu meydana gelen renk değişimi camın optik özellikleri ve bunun paralelinde ısıl özelliklerinin değişimine neden olmaktadır.

#### 3.4.1. Camlarda Renklenme Mekanizmaları

Çeşitli seviyelerde doz almış cam örneklerinde, aldıkları doza bağlı olarak renklenmeler olduğu görülmüştür. İncelediğimiz cam örneklerindeki renklenme miktarlarını bilimsel olarak ifade edebilmek için camın renk koordinatları (x, y, z), camdan geçen ışığın baskın dalgaboyu, ( $\lambda_d$ ), ışığın uyartılma saflığı, (% P) ve parlaklığı, (% B) adları verilen çeşitli değerler kullanmamız gerekmektedir. Bu amaçla, Uluslararası Aydınlatma Komitesi (International Commission on Illumination-I.C.I.)'a göre Uluslararası Renk Komisyonu (The Commission International De L'eclairage-C.I.E.)'ın tanımladığı kolorimetrik hesaplamalar kullanılarak, test edilen camlardaki renklenme miktarları bilimsel olarak ifade edilmektedir (Bamford, 1977).

##### 3.4.1.1. Camda Renk Koordinatları, Baskın Dalgaboyu ( $\lambda_d$ ), Işığın Uyartılma Saflığı (% P), Parlaklık (% B)

Herhangi bir rengin kırmızı-sarı-mavi karışımı eşdeğeri ,

$$c(C) = r(R) + g(G) + b(B) \quad (3.4)$$

gösterilmektedir. Burada, c renk birimi; kırmızının birimi r, sarının birimi g ve mavinin birimi b alınarak, oluşan renk C 'ye göre değerlendirilmektedir. Bu denklem

tristimulus denklemi ve r, g, b tristimulus değerleri olarak adlandırılmaktadır. Bir renk birimi (C) olarak tristimulus denkleminin ifadesi,

$$I(C) = [r/(r+b+g)] (R) + [g/(r+b+g)] (G) + [b/(r+b+g)] (B) \quad (3.5)$$

olarak tanımlanmaktadır (**Bamford, 1977**).

Normalize edilmiş tristimulus değerleri,

$$x' = r/(r+b+g), \quad (3.6)$$

$$y' = g/(r+b+g), \quad (3.7)$$

$$z' = b/(r+b+g), \quad (3.8)$$

ile ifade edilebilmektedir. Normalize edilmiş, tristimulus değerleri, renk koordinatları veya rengin kromatiksel koordinatları olarak da isimlendirilmektedir. Renk koordinatları toplam birimi  $x'+y'+z'=1$  olarak öyle düzenlenmiştir ki, kırmızı, sarı ve yeşil ışığın özelliklerini sağlamaktadır. Uluslararası Renk Komisyonu (The Commission Internationale de L'eclairage-CIE), görünür bölge menzilineki herbir dalgaboyu için ışığın renk koordinatlarını belirlemiştir (**Bamford, 1977**).

Renk haritaları yada kromatiksel haritalar olarak bilinen haritalarda, x koordinatının bir fonksiyonu olarak çizilen y koordinatları kullanılarak, bu koordinatlar temsil edilmektedir. Noktaların yeri, spektrum yeri olarak bilinmektedir. Farklı dalga boylarındaki ışık şiddetinin karışımı olarak tristimulus ve renk koordinat değerleri, CIE tarafından tanımlanan bir prosedürle hesaplanmaktadır. Bu duruma göre,  $P_\lambda$  belirli bir dalga boyundaki ( $\lambda$ ) ışığın şiddetidir. Kırmızı, sarı ve mavi tristimulus değerleri,

$$X = \sum p_\lambda x_\lambda, \quad (3.9)$$

$$Y = \sum p_\lambda y_\lambda \quad (3.10)$$

$$Z = \sum p_\lambda z_\lambda \quad (3.11)$$

olarak ifade edilebilmektedir (**Hardy, 1966**).

$x_\lambda$ ,  $y_\lambda$ , ve  $z_\lambda$  faktörleri, CIE tarafından tanımlanan dağılım katsayıları olarak bilinmektedir. Işığın karışımının renk koordinatları,

$$x''=X/(X+Y+Z), \quad (3.12)$$

$$y''=Y/(X+Y+Z), \quad (3.13)$$

$$z''=Z/(X+Y+Z) \quad (3.14)$$

ile hesaplanabilmektedir (**Bamford, 1977**).

Camın spektral geçirgenliği, cam tarafından geçirilen, her  $\lambda$  dalga boyunda gelen ışığın,  $T_\lambda$  parçasıyla ölçülmektedir.  $P_\lambda$ , gelen ışığın spectral enerji dağılımı olarak alınırsa, geçirilen ışığın renk koordinatları,

$$X_T=\sum P_\lambda T_\lambda x_\lambda, \quad (3.15)$$

$$Y_T=\sum P_\lambda T_\lambda y_\lambda \quad (3.16)$$

$$Z_T=\sum P_\lambda T_\lambda z_\lambda. \quad (3.17)$$

kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu durumda renk koordinatları,

$$x=X_T/(X_T+Y_T+Z_T), \quad (3.18)$$

$$y=Y_T/(X_T+Y_T+Z_T), \quad (3.19)$$

$$z=Z_T/(X_T+Y_T+Z_T) \quad (3.20)$$

ile hesaplanabilir (**Bamford, 1977**). Bu koordinatlar camda geçen ışık için renk koordinatlarıdır.

Renk koordinatlarına bir alternatif olarak, renk baskın dalgaboyu,  $\lambda_d$  uyartılma saflığı, P (%) ve parlaklık, B (%) terimleriyle de tanımlanabilmektedir. Baskın dalga boyu veya başat dalgaboyu olarak da anılan,  $\lambda_d$  değerleri ışık demeti içindeki en baskın ışık dalgaboyudur. Uyartılma saflığı P(%), renk doygunluğunu ölçmekte olup, uyartılma saflığı P (%), aynı baskın dalgaboyundaki % 100 saf renge göre, baskın

dalgaboyundaki ışık yüzdesidir. Diğer bir deyişle, ölçülen renge ne kadar beyaz yada ne kadar siyah karışmış olduğunun veya rengin ne kadar pastel yada doygun olduğunun ölçüsüdür. Parlaklık, B (%) standartlardaki tanımlara uygun olarak görünür ışık yüzdesi olup, cismin saydamlığının yada parlaklığının bir ölçüsüdür. Parlaklık saydam cisimler için % 100'e yaklaşırken, opak camlarda sifıra kadar inmektedir (Şişecam, 1993).

CIE Renk Diagramı, renklerin x ve y koordinatları işaretlenerek oluşturulmuştur. Yaklaşık 400-700 nm (görünür bölge) arasında yer alan tüm saf renkler renk diagramını çevreleyen eğri üzerinde yer alır. Beyaz, siyah ve tüm griler ise diagramın merkezindeki C noktasında yer almaktadır. Diğer bütün renkler ise, saf renkleri barındıran eğri ile C noktası arasında yer almaktadır. C noktası sıfır saflığı verirken, bu noktadan uzaklaştıkça, saflık eğri üzerinde % 100 olana kadar artar. C noktasını, x ve y koordinatlar ile işaretlediğimiz renk noktasına birleştiren doğru, Renk Diagramını çevreleyen saf renkler eğrisini o cismin baskın dalagabyunda kesecektir.

Cisme ait noktanın C noktasından uzaklığı, bize cismin renginin saflığını vermektedir. Bu yöntem sayesinde, cisimlerin renkleri ve parlaklıkları yoruma yer bırakmayacak şekilde belirlenmiş olur (Şişecam, 1993).

Co-60 kaynağı ile camların ışınlanmasından sonra soğurulan dozun bir fonksiyonu olarak cam renksiz halden genellikle kahverenginin çeşitli tonlarına dönmektedir. Bu yüzden camın renk koordinatlarının değişmesi camdaki, doza bağlı geçirgenlik oranlarını değiştirmektedir. Soğurulan dozun artmasıyla, parlaklığın azalmasına karşın uyartılma saflığı artmaktadır (Bamford, 1977).

### 3.4.2. Camlarda Isı Geçişi ve Isıl Özellikler

Isı geçişinde karşılan sorunlar çeşitli bilim dalları arasında ilgi odağı olmuştur. Özellikle, nükleer reaktörler ve güneş enerjisinden faydalanmada ısı geçişi kanunları uygulanmaktadır. Ayrıca, uzay araştırmalarında dünya atmosferine tekrar giren yüksek hızlı cisimlerin yanıp kül olmalarını önlemede ısı geçişi kanunlarının uygulanması oldukça önem taşımaktadır.

Cam ile cam çevresi arasında yalnız sıcaklık farkı sebebiyle akan ve "ısı" adı verilen bir enerji söz konusudur. Bu bakımdan cam ile çevresi arasında yalnız sıcaklık farkı

nedeniyle meydana gelen enerji geçişi mekanizması ve yapı içindeki sıcaklık dağılımı, camdaki ısı geçişi açısından ayrı bir önem taşımaktadır (Öztürk ve Yavuz, 1995).

Isının getiğı gaz, sıvı ve katı ortamlarda üç çeşit ısı geçişi söz konusudur. Bunlar, iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışıdır (radyasyon). Karşılaşılan problemin cinsine göre verilen bu üç ısı geçişi şeklinin bir, iki ve hatta üç tanesi bir arada olmak üzere ısı geçişi meydana gelebilmektedir (Öztürk ve Yavuz, 1995).

Saydam olmayan homojen katı cisimlerde bir sıcaklık gradyeni etkisiyle meydana gelen ısı yayılmasına "ısı iletimi" adı verilir. Katı cisimlerin yapı taşları olan molekül veya atomlar serbest hareket etme özelliğine sahip değillerdir. Buna karşılık bulundukları yerde denge konumu civarında titreşim hareketleri yapabilirler. Bu hareketin şiddeti, katı cismin sıcaklığı ile artar. Molekül veya atomların kinetik enerjilerini komşu moleküle aktarması ile ısı iletimi meydana gelmektedir. Eğer, katı cisim ısıtılırsa buradaki molekül veya atomlar daha hızlı titreşmeye başlayacaklarından etraflarındaki diğerk molekül veya atomları da daha hızlı titreşmeye zorlayacaklardır.

Gaz ve sıvıların içerisinde makroskopik hareket meydana geldiğinde ısı, akışkan paketlerinin birbiriyle karışması ve enerjilerinin taşınması sonucunda yayılır ve bu olaya "ısı taşınımı" adı verilir. Sonlu boyutları olan bir ortamdaki akışkan, ısıtılmaya başlandığında, ısınan akışkan molekülleri veya atomları kaldırma kuvveti etkisiyle yukarıya doğru yükselirken kısmen boşalan bölgeyi çevresindeki molekül veya atomlar doldurur. Böylece, meydana gelen yükselme ve doldurma olayı, akışkan içinde tüm molekül veya atomların yer değıştirmesini sağlar. Akışkan ısıtıldığı bölgeden aldığı ısı sebebiyle yükselirken, taşıdığı ısıyı daha soğuk ortamlara bırakması sebebiyle meydana gelen bu ısı yayılmasına "ısı taşınımı" denir.

Bütün cisimler sıcaklıklarından dolayı ısı ışıdır yayınlırlar. Yayınlanan ışıdır, maddesel ortam olmaksızın her yönde yayılır. Donuk yüzeyler arasındaki ışıdırma da "yüzey ışıdırımı" denir (Öztürk ve Yavuz, 1995).

Gazlarda, sıvılarda ve cam gibi bazı katı cisimlerde yüzeyi geçen ışıdır, ortamda yutulduğundan azalarak yayılır. Böyle bir ışıdırma "gaz ışıdırımı, (hacimsel ışıdırım)" ve

Sıcak cisimler her yönde elektromanyetik dalgalar şeklinde ısı enerjisi yayınlırlar. Sıcak cisimlerin elektromanyetik dalgalar şeklinde yayınladığı enerji başka bir cisme çarptığında o cisimle etkileşir ve ısıya dönüşür. Elektromanyetik dalgalar ile olan ısı geçişi uzay gibi bir boşluk içinde de olabilir ve bu olgu dalga teorisi ile açıklanabilir. Katı cisimler, sıvılar ve bazı gazlar radyasyon enerjisi yayınlama gücüne sahiptir (Öztürk ve Yavuz, 1995).

Isı geçişi olaylarında genellikle, birden fazla ısı geçişi mekanizması bir arada bulunmaktadır. Cam ve kuartz gibi saydam cisimlerde ısı; iletme ek olarak radyasyon yolu ile de yayılmaktadır. Örneğin, kışın bir oda havasından pencere camına; doğal taşınım ile de yayılmaktadır. Cam içinde iletimle, camın dış yüzeyinden dış havaya ise taşınım ile ısı geçişi olmaktadır. Aynı zamanda, camdan ışınlama ile ısı geçişi de olmaktadır. Bu durumda, farklı ısı geçişi mekanizmalarının ortak etkileri sonucunda, akan toplam ısıyı hesaplamak için camlarda uygun metodların geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır (Öztürk ve Yavuz, 1995).

### 3.4.3. Avrupa Standartlar Komitesi'nce (CEN) Camlar İçin Belirtilen Optik Özellikler

Camlar için CEN tarafından belirtilen optik özellikler; görünür bölge ve solar bölgeye ait geçirgenlik, yansıtıcılık ve soğurma değerleri ile morötesi bölge için geçirgenlik değerleri, CEN standartlarında belirtilmektedir (EN-410, 1998).

#### 3.4.3.1. Işık Geçirgenliği

Görünür bölgede ışık geçirgenliği; ( $\tau_v$ ) 380-780 nm dalga boyu arasında gelen ışığın, camın yüzeyine dikey olarak düşmesi halinde, camın geçirdiği ışık şiddetinin, gelen ışık şiddetine oranıdır (TS-11172, 1993). Camın ışık geçirgenliği ( $\tau_v$ ) ifadesi,

$$\tau_v = \frac{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} \tau(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (3.21)$$

hesaplanabilmektedir (EN-410, 1998). Burada;

$D_\lambda$  :  $D_{65}$  aydınlatmasının göreceli spektral dağılımı,

$D_{65}$  aydınlatması: Uluslararası Aydınlatma Komisyonunun (International Commission on Illumination- ICI) resmi olarak önerdiği standart aydınlatma,

$\tau(\lambda)$  : Camdaki spektral geçirgenlik,

$V(\lambda)$  : Spektral ışıma verimi ve

$\Delta\lambda$  : Dalgaboyu aralığı olarak tanımlanmaktadır.

10 nm' lik dalgaboyu aralıklarındaki  $D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda$  için değerler, Tablo 3.1'de belirtilmekte ve

$$\sum D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda = 1 \quad (3.22)$$

olduğu ifade edilmektedir. Burada, normalize edilmiş göreceli spektral dağılım,  $D_\lambda$   $D_{65}$  aydınlatmasının spektral aydınlatma verimi,  $V(\lambda)$  ve dalgaboyu aralığı,  $\Delta\lambda$  ile çarpılmaktadır.

**Tablo 3.1. Görünür Bölge İçin Değerler (EN-410, 1998).**

| $\lambda$ (nm) | $D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda \cdot 10^2$ | $\lambda$ (nm) | $D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda \cdot 10^2$ | $\lambda$ (nm) | $D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda \cdot 10^2$ |
|----------------|-------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------|
| 380            | 0.0000                                          | 520            | 7.0523                                          | 660            | 0.4612                                          |
| 390            | 0.0005                                          | 530            | 8.7990                                          | 670            | 0.2485                                          |
| 400            | 0.0030                                          | 540            | 9.4427                                          | 680            | 0.1255                                          |
| 410            | 0.0103                                          | 550            | 9.8077                                          | 690            | 0.0536                                          |
| 420            | 0.0352                                          | 560            | 9.4306                                          | 700            | 0.0276                                          |
| 430            | 0.0948                                          | 570            | 8.6891                                          | 710            | 0.0146                                          |
| 440            | 0.2274                                          | 580            | 7.8994                                          | 720            | 0.0057                                          |
| 450            | 0.4192                                          | 590            | 6.3306                                          | 730            | 0.0035                                          |
| 460            | 0.6663                                          | 600            | 5.3542                                          | 740            | 0.0021                                          |
| 470            | 0.9850                                          | 610            | 4.2491                                          | 750            | 0.0008                                          |
| 480            | 1.5189                                          | 620            | 3.1502                                          | 760            | 0.0001                                          |
| 490            | 2.1336                                          | 630            | 2.0812                                          | 770            | 0.0000                                          |
| 500            | 3.3491                                          | 640            | 1.3810                                          | 780            | 0.0000                                          |
| 510            | 5.1393                                          | 650            | 0.8070                                          |                |                                                 |

#### 3.4.3.2. Işık Yansıtıcılığı

Işık yansıtması ( $\rho_v$ ), 380-780 nm dalgaboyları arasında gelen ışığın camın yüzeyine dikey olarak düşmesi halinde, camın yansıttığı ışık şiddetinin, gelen ışık şiddetine oranıdır (TS-11172, 1993). Camın ışık yansıtıcılığı ( $\rho_v$ ) ifadesi,

$$\rho_v = \frac{\sum_{\lambda=380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} D_\lambda \rho(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (3.23)$$

kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bölüm 3.4.3.1'de,  $D_\lambda$ ,  $V(\lambda)$  ve  $\Delta\lambda$  ile ilgili tanımlamalar ışık yansıtıcılığı için de aynen geçerlidir.  $\rho(\lambda)$ , camın spektral yansıtıcılığı olarak tanımlanmaktadır (EN-410, 1998).

### 3.4.3.3. Toplam Soğurma ve Enerji Geçirgenliği (Güneş Işını Faktörü)

Toplam güneş enerjisi geçirgenliği, doğrudan güneş ışını geçirgenliği ( $\tau_e$ ) ile camdan içeri doğru olan ikincil ısı geçiş faktörü ( $q_i$ )'nin toplamıdır (TS-11172, 1993). Cam tarafından soğurulan gelen solar radyasyonun, taşınım (konveksiyon) ve uzundalgaboyuna sahip kızılaltı radyasyon yoluyla ısı geçişinden oluşan toplam solar enerji geçirgenliği meydana geldiğinden, toplam güneş enerjisi geçirgenliği ( $g$ ), doğrudan solar geçirgenlik ( $\tau_e$ ) ve camdan içeri doğru olan ikincil ısı geçiş faktörü ( $q_i$ )'nin toplamıdır (EN-410, 1998). Toplam güneş enerjisi geçirgenliği ( $g$ ),

$$g = \tau_e + q_i \quad (3.24)$$

yardımıyla ifade edilebilmektedir.

### Solar Radyasyon Akısı:

Gelen solar radyasyon akısı ( $\phi_e$ ) kendi içinde üç kısma ayrılır. Bunlar:

- 1) Geçen Kısım:  $\tau_e \phi_e$
- 2) Yansıyan Kısım:  $\rho_e \phi_e$
- 3) Soğurulan Kısım:  $\alpha_e \phi_e$ .

Burada,

$\tau_e$ : Doğrudan solar geçirgenlik

$\rho_e$ : Doğrudan solar yansıtıcılık

$\alpha_e$ : Doğrudan solar soğurma

olarak tanımlanmaktadır ve bu üç değer arasındaki bağıntı,

$$\tau_e + \rho_e + \alpha_e = 1 \quad (3.25)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir.

Soğurulan kısım  $\alpha_e \phi_e$ , içeriye ve dışarıya geçen enerji olarak sırasıyla;  $q_i \phi_i$  ve  $q_e \phi_e$  şeklinde iki kısma ayrılmaktadır. Bu durum daha ayrıntılı olarak,

$$\alpha_e = q_i + q_o \quad (3.26)$$

ifade edilebilmektedir (EN-410, 1998).

Burada,

$q_i$ : Camın iç tarafına doğru olan ikincil ısı geçiş faktörü

$q_o$ : Camın dış tarafına doğru olan ikincil ısı geçiş faktörü

olarak temsil edilmektedir.

### Doğrudan Güneş Işını (Solar) Geçirgenliği

Doğrudan güneş ışını geçirgenliği, 300-2500 nm dalgaboyları arasında gelen ışının cam yüzeyine dikey olarak düşmesi halinde camdan doğrudan geçen güneş ışını şiddetinin cam üzerine düşen güneş ışını şiddetine oranıdır (TS-11172, 1993). Camın doğrudan solar geçirgenliği,  $\tau_e$ ,

$$\tau_e = \frac{\sum_{300}^{2500} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta \lambda}{\sum_{300}^{2500} S_{\lambda} \Delta \lambda} \quad (3.27)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. Burada;

$S_{\lambda}$ : solar radyasyonun görelî spektral dağılımıdır.

$T_{\lambda}$ : camın spektral geçirgenliği ifade etmektedir.

Görelî spektral dağılım ( $S_\lambda$ ), spektral geçirgenlik ( $\tau_\lambda$ )'yı hesaplamada kullanılmaktadır.  $S_\lambda \Delta\lambda$  değerleri Tablo 3.2'de görülmektedir. Bu tablo,  $\sum S_\lambda \Delta\lambda = 1$  olduğu kabul edilerek hazırlanmıştır.

Tüm dünyayı etkileyen solar radyasyonun normalize edilmiş görelî spektral dağılımı ( $S_\lambda$ ),  $\Delta\lambda$  dalgaboyu aralığı ile çarpılarak  $S_\lambda \Delta\lambda$  değerleri hesaplanmıştır (EN-410, 1998).

**Tablo 3.2. Solar Radyasyonun Görelî Spektral Dağılımı (EN-410, 1998).**

| $\lambda$ (nm) | $S_\lambda \Delta\lambda$ | $\lambda$ (nm) | $S_\lambda \Delta\lambda$ | $\lambda$ (nm) | $S_\lambda \Delta\lambda$ | $\lambda$ (nm) | $S_\lambda \Delta\lambda$ |
|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|
| 300            | 0.0005                    | 600            | 0.0289                    | 1050           | 0.0306                    | 1800           | 0.0024                    |
| 320            | 0.0069                    | 620            | 0.0289                    | 1100           | 0.0185                    | 1850           | 0.0005                    |
| 340            | 0.0122                    | 640            | 0.0280                    | 1150           | 0.0136                    | 1900           | 0.0002                    |
| 360            | 0.0145                    | 660            | 0.0273                    | 1200           | 0.0210                    | 1950           | 0.0012                    |
| 380            | 0.0177                    | 680            | 0.0246                    | 1250           | 0.0211                    | 2000           | 0.0030                    |
| 400            | 0.0235                    | 700            | 0.0237                    | 1300           | 0.0166                    | 2050           | 0.0037                    |
| 420            | 0.0268                    | 720            | 0.0220                    | 1350           | 0.0042                    | 2100           | 0.0057                    |
| 440            | 0.0294                    | 740            | 0.0230                    | 1400           | 0.0010                    | 2200           | 0.0066                    |
| 460            | 0.0343                    | 760            | 0.0199                    | 1450           | 0.0044                    | 2300           | 0.0060                    |
| 480            | 0.0339                    | 780            | 0.0211                    | 1500           | 0.0095                    | 2400           | 0.0041                    |
| 500            | 0.0326                    | 800            | 0.0330                    | 1550           | 0.0123                    | 2500           | 0.0006                    |
| 520            | 0.0318                    | 850            | 0.0453                    | 1600           | 0.0110                    |                |                           |
| 540            | 0.0321                    | 900            | 0.0381                    | 1650           | 0.0106                    |                |                           |
| 560            | 0.0312                    | 950            | 0.0220                    | 1700           | 0.0093                    |                |                           |
| 580            | 0.0294                    | 1000           | 0.0329                    | 1750           | 0.0068                    |                |                           |

### Doğrudan Güneş Işını Yansıtıcılığı

Doğrudan güneş ışını yansıtıcılığı ( $\rho_e$ ), 300-2500 nm dalgaboyları arasında gelen ışının, camın yüzeyine dikey olarak düşmesi halinde, camdan doğrudan yansıyan güneş ışını şiddetinin, cam üzerine düşen güneş ışını şiddetine oranıdır (TS-11172, 1993).

$$\rho_e = \frac{\sum_{300}^{2500} S_\lambda \rho(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{300}^{2500} S_\lambda \Delta\lambda} \quad (3.28)$$

Camdaki doğrudan solar yansıtıcılık ( $\rho_e$ ), şeklinde ifade edilmektedir.  $\rho(\lambda)$  camın spektral yansıtıcılığı olarak tanımlanmaktadır. Burada,

$S_{\lambda}$  : Solar radyasyonun görelî spektral dağılımı ve

$\rho(\lambda)$  : Camın spektral yansıtıcılığı olarak tanımlanmıştır.

Doğrudan solar yansıtıcılık  $\rho_e$ , Tablo 3.2'deki  $S_{\lambda}\Delta(\lambda)$  değerleri ile, spektrofotometreden ölçülerek elde edilen  $\rho_{\lambda}$  değerlerinin çarpılmasıyla hesaplanmaktadır (EN-410, 1998).

### **Doğrudan Güneş Işını Soğurması**

Doğrudan güneş ışını soğurması, ( $\alpha_e$ ) cam yüzeyine dikey olarak düşen güneş ışını şiddetinin cam tarafından soğurulan kısmıdır (TS-11172, 1993). Camdan odanın iç tarafına olan ikincil ısı geçiş faktörü  $q_i$ 'nin hesaplanması için, camdan dış tarafa olan ısı geçiş katsayısı  $h_e$  ve camdan iç tarafa olan ısı geçiş katsayısı  $h_i$ 'ye ihtiyaç vardır. Bu değerler başlıca;

- Camın konumuna,
- Rüzgarın hızına,
- İç ve dış sıcaklıklara ve
- Camın her iki dış yüzeylerinin sıcaklıklarına bağlıdır.

Camın dayanıklılığındaki genel bilgileri sağlamak için CEN (Comite Europeen De Normalisation / European Committee For Standardization) ve bunun paralelinde EN (Europaische Norm / European Standard) geleneksel bir takım şartlar öne sürmüştür bu şartlar sırasıyla,

- 1) Camın konumu: yatay
- 2) Camın dış yüzeyi: Rüzgarın hızı; Yaklaşık olarak 4 m/sn'lik hız, düzeltilmiş neşretme (yayma) = 0.837
- 3) İç yüzey: doğal taşınım, (emissivity)
- 4) İçi hava dolu boşluklar olarak ifade edilmektedir

Bu geleneksel şartlar altında,  $h_e$  ve  $h_i$  için standart değerler elde edilmiştir (EN-410, 1998).

$$h_e = 23 \text{ W / (m}^2 \text{ K)} \quad (3.29)$$

$$h_i = 3.6 + (4.4 \epsilon_i / 0.837) \text{ W / (m}^2 \text{ K)} \quad (3.30)$$

olduğundan;

$\epsilon_i$  sıradan bir cam için düzeltilmiş emissivitedir. Bu durumda,

$\epsilon_i = 0.837$  ve  $h_i = 8 \text{ W / (m}^2 \text{ K)}$  olarak alınmaktadır (EN-410, 1998).

### Doğrudan Solar Soğurmanın ve İkincil Isı Geçiş Faktörünün Hesaplanması

Tek bir camın ikincil ısı geçiş faktörü ( $q_i$ ),

$$q_i = \alpha_e \frac{h_i}{h_e + h_i} \quad (3.31)$$

olarak hesaplanabilmektedir.

Böylece doğrudan solar soğurma  $\alpha_e$  hesaplanabilir. Burada  $h_e$  camdan dış tarafa ve  $h_i$  camdan iç tarafa olan ısı geçiş katsayılarıdır (EN-410, 1998).

#### 3.4.3.4. Morötesi Geçirgenliği

Morötesi ışın geçirgenliği ( $\tau_{uv}$ ), 280-380 nm dalga boyları arasında gelen ışının camın yüzeyine dikey düşmesi halinde, yüzeyin geçirdiği ışın şiddetinin, gelen ışın şiddetine oranıdır (TS-11172, 1993). Morötesi (UV) ışınlar menziline tüm dünyayı etkileyen güneş ışınları 280-315 nm dalgaboyu aralığında UV-B ve 315-380 nm dalgaboyu aralığında UV-A' yı içermektedir. Tablo 3.3, UV-A ve UV-B menzilineki 5 nm'lik dalgaboyu aralıklarındaki  $U_\lambda \Delta_\lambda$  değerlerini vermektedir. Toplam UV menziline,  $U_\lambda \Delta_\lambda = 1$  eşitliğine uygun olarak göreceli değerler,

$$\tau_{uv} = \frac{\sum_{\lambda=280}^{380} U_\lambda \tau(\lambda) \Delta_\lambda}{\sum_{\lambda=280}^{380} U_\lambda \Delta_\lambda} \quad (3.32)$$

Böylece, UV geçirgenliği, hesaplanabilmektedir. Burada,

$U_{\lambda}\Delta\lambda$ : UV-A ve UV-B arasındaki 5 nm'lik dalgaboyu aralıklarında için oluşturulan değerlerdir.

İncelenen EN Standartları'nda ifade edildiğine göre, UV bölge toplamı için  $\Sigma U_{\lambda}\Delta\lambda=1$  olarak kabul edilmektedir. İncelenen standartlarda morötesi bölgeye ait toplam yansıtıcılık hesaplamaları standartlaştırılmamış olup, sadece morötesi bölgede toplam geçirgenlik hesaplamaları belirtilmekte olup, ilgili değerler Tablo 3.3'de verilmiştir (EN-410, 1998).

**Tablo 3.3.** Tüm Dünyayı Etkileyen Solar Radyasyonun UV Kısımının, Normalize Edilmiş Görelî Spektral Dağılımı  $U_{\lambda}$ ,  $\Delta\lambda$  Dalgaboyu Aralığı ile Çarpılmıştır (EN-410, 1998).

| $\lambda$ (nm) | $U_{\lambda}\Delta\lambda$ | $\lambda$ (nm) | $U_{\lambda}\Delta\lambda$ | $\lambda$ (nm) | $U_{\lambda}\Delta\lambda$ | $\lambda$ (nm) | $U_{\lambda}\Delta\lambda$ |
|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|
| 282.5          | 0.00000                    | 307.5          | 0.01373                    | 332.5          | 0.07062                    | 357.5          | 0.07896                    |
| 287.5          | 0.00000                    | 312.5          | 0.02746                    | 337.5          | 0.07258                    | 362.5          | 0.08043                    |
| 292.5          | 0.00000                    | 317.5          | 0.04120                    | 342.5          | 0.07454                    | 367.5          | 0.08337                    |
| 297.5          | 0.00082                    | 322.5          | 0.05591                    | 347.5          | 0.07601                    | 372.5          | 0.08631                    |
| 302.5          | 0.00461                    | 327.5          | 0.06572                    | 352.5          | 0.07700                    | 377.5          | 0.09073                    |

Özellikle camlardaki UV geçirgenliğinde  $\tau_{uv}$ 'nin hesaplanması özellikle ayrı bir önem taşımaktadır. Camlardaki  $\tau_{uv}$ 'nin hesaplanması sırasında kullanılan eşitlik ile tüm dünyayı etkileyen güneş ışınlarındaki toplam UV radyasyonu göz önüne alınmış olmaktadır. Bu bakımdan, hesaplamanın önemini artmaktadır.

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu doktora tez çalışması kapsamında, farklı radyasyon tipleri karşısında farklı camların davranışlarının incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, beta ışınları, gama ışınları, nötronlar ve karışık radyasyon dozu ile çalışılmıştır. Böylelikle, çeşitli camların, çeşitli radyasyonlara karşı gösterdiği davranışlar arasındaki benzerlikler ve ayrılıkların deneysel olarak incelenmesi yoluna gidilmiştir.

##### 4.1. Çalışılan Camların Tanıtımı

Deneylerde, dört farklı cam tipi ile çalışılmıştır. Bu cam tipleri;

- Kurşun-alkali-silikat,
- Borosilikat,
- Soda-kireç-silika,
- Baryum ve bor içeren özel optik kireçli cam,

olarak seçilmiştir. Şişecam Araştırma Merkezi'nden temin edilen bu dört farklı camın kimyasal analizlerinin kesin olarak bilinmesi, sonuçların yorumlanabilmesinde, ilk önemli aşamayı oluşturmaktadır. Dolayısıyla, cam analizlerinin hassas ve güvenilir bir teknik ile yapılması zorunluluk arz etmektedir.

Cam analizlerinin yapılması için, çoğu kez cam analizi için tercih edilen, hassas ve ileri bir nükleer teknik olan, X-Işını Floresans (XRF) Tekniği kullanılmıştır. Topkapı Şişecam Ar-Ge Laboratuvarı'nda mevcut, Philips PW 1606 Model, Dalgaboyu Dağılımlı, XRF Spektrometre kullanılmıştır. İncelenen camların, XRF ile elde edilen kimyasal analiz sonuçları ise, Tablo 4.1'de verilmektedir.

**Tablo 4.1. Çalışılan Camların XRF Tekniği ile Belirlenen Kimyasal Analiz Sonuçları.**

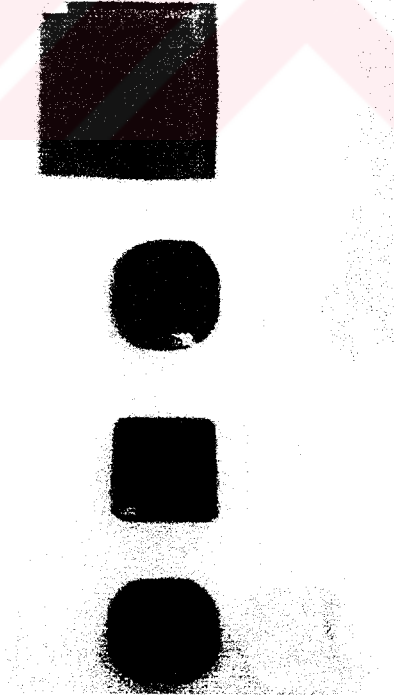
| Cam Türleri                        | Kimyasal Kompozisyon ( % Ağırlık ) |                 |       |                  |        |                  |                   |                               |       |                                |                                |         |       |                  |
|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-------|------------------|--------|------------------|-------------------|-------------------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|---------|-------|------------------|
|                                    | BaO                                | SO <sub>3</sub> | MgO   | SiO <sub>2</sub> | PbO    | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SbO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | NiO     | CaO   | TiO <sub>2</sub> |
| Kurşun-Alkali-Silika               | -                                  | -               | -     | 59.974           | 24.000 | 13.000           | 2.000             | 1.000                         | 0.180 | 0.010                          | 0.008                          | 0.00026 | -     | 0.008            |
| Borosilikat                        | -                                  | -               | 0.030 | 79.132           | -      | 0.400            | 5.050             | 12.750                        | 0.180 | 2.600                          | 0.020                          | 0.00026 | -     | 0.018            |
| Soda-Kireç-Silika                  | -                                  | 0.230           | 4.150 | 71.730           | -      | 0.050            | 13.070            | -                             | 0.180 | 1.370                          | 0.091                          | 0.00026 | 8.350 | 0.160            |
| Ba ve B Taşıyan Özel Optik Kireçli | 1.000                              | 0.250           | -     | 69.622           | -      | 9.000            | 9.000             | 1.000                         | 0.180 | 0.100                          | 0.010                          | 0.00026 | 9.000 | 0.018            |

Bu çalışma için seçilen camlar, Bölüm 2'deki Tablo 2.2'de belirtilen camlara göre, farklı tiplere girmektedir. Tablo 4.2'de ise, çalışılan camlar optik özelliklerine göre sınıflandırılmıştır.

**Tablo 4.2.** Optik Özelliklerine Göre İncelenen Camların Sınıflandırılması

| Cam Sınıfı                | İncelenen Cam Tipleri                        |
|---------------------------|----------------------------------------------|
| Optik Camlar              | Borosilikat Cam,<br>Kurşun-alkali-silika Cam |
| Kireçli Camlar            | Soda-kireç-silika Cam                        |
| Özel Optik Kireçli Camlar | Ba ve B Taşıyan Özel Optik Kireçli Cam       |

Tablo 4.2'den görüldüğü gibi, bu çalışma için seçilen camlar, ana cam sınıflama gruplarına girmekte, fazla olarak biri özel optik cam grubuna dahil olmaktadır. Böylelikle, genel cam tipleri ile çalışmakla beraber özel bir cam tipi ile de deneylerin yapılması hedeflenmiştir. Çalışılan camların ışınlanmış ve ışınlanmamış hali Şekil 4.1'de görülmektedir.



**Şekil 4.1.** Çalışılan Camlar

## 4.2. Çalışılan Radyasyon Kaynaklarının Tanıtımı

İncelenen dört farklı camın çeşitli radyasyon kaynakları ile ışınlaması sırasında, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü olanaklarından yararlanılmıştır. Söz konusu radyasyon kaynakları olarak, hem radyoizotop kaynaklardan hem de İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü'nde bulunan Eğitim ve Araştırma Reaktörü'nden faydalanılmıştır.

### 4.2.1. Radyoizotop Kaynaklar

Bu çalışmalar kapsamında, yayınladıkları radyasyon tiplerine göre kullanılan radyoizotop kaynaklarının sınıflandırılması;  $\gamma$  ve  $\beta$  radyasyon kaynakları olarak yapılabilir.

Cam yapıda, atom ağırlıkları 50-100 arasında olan elementlere ilişkin olarak, uyarılma yada iyonizasyon meydana gelebilmesi için, kullanılan radyoizotopun en az 0.5 MeV'in üzerinde enerjiye sahip olması gerekmektedir (Ghonein ve diğ., 1983; Taylor, 1959).

#### 4.2.1.1. Gama Radyoizotop Kaynağın Seçimi

Camların gama fotonu yayınlayan radyoizotoplar karşısındaki davranışlarının, bu radyoizotopların yarıömrüleri ve yayınladıkları değişik enerjilerdeki fotonlar ve diğer parçacıklar göz önüne alındığında, farklılıklar göstermektedir.

Bu bakımdan, gama radyoizotop kaynakların amaca uygun irdelenmesi ve seçimin buna göre yapılması gerekmiştir. Tablo 4.3'de farklı gama radyoizotop kaynaklar verilmiştir (Földiák, 1986).

Yüksek dozlarda, camların yapısında meydana gelen değişimlerin bilimsel açıdan incelenmesi hedeflenmiş olduğundan, "uzun süreli" ışınlamalar yapılması söz konusudur. Söz konusu ışınlama süresinde radyoizotop aktivitesinin değişiminin ihmal edilebilmesinin mümkün olabilmesi için ışınlama süresinin, radyoizotopun yarı ömrüne göre yeterince (örneğin; yarı ömrün % 2'sinden az) olması gerekmektedir.

İncelenen camların ışınlamasında, özellikle uzun yarıömürlü radyoizotop kullanılması tercih edilmiştir. Bir başka deyişle, 1 yılın üzerinde yarı ömrü olan bir gama kaynağı ile çalışılmasının uygun olabileceği düşünülmüştür.

Tablo 4.3. Gama Radyoizotop Kaynaklarının Özellikleri (Földiák, 1986).

| Yarı Ömür  | Gama Enerjisi (MeV)                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                      |                                                                                                 |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            | < 0.1                                                                                                                                         | 0.1 -0.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0.5 -1.0                                                                                                                                                                                                                                                        | 1.0 -1.5                                                                                             | >1.5                                                                                            |
| < 1 gün    |                                                                                                                                               | <sup>28</sup> Mg<br><sup>99</sup> Tc <sup>m</sup><br><sup>113</sup> In <sup>m</sup><br><sup>132</sup> I<br><sup>197</sup> Hg <sup>m</sup>                                                                                                                                                                                                                               | <sup>18</sup> F<br><sup>56</sup> Mn<br><sup>64</sup> Cu<br><sup>72</sup> Ga<br><sup>132</sup> I<br><sup>137</sup> Ba <sup>m</sup>                                                                                                                               | <sup>24</sup> Na<br><sup>28</sup> Mg<br><sup>31</sup> Si                                             | <sup>24</sup> Na<br><sup>42</sup> K<br><sup>56</sup> Mn<br><sup>72</sup> Ga<br><sup>132</sup> I |
| 1-10 gün   | <sup>67</sup> Cu<br><sup>67</sup> Ga<br><sup>133</sup> Xe<br><sup>153</sup> Sm<br><sup>197</sup> Hg                                           | <sup>47</sup> Ca<br><sup>65</sup> Ni<br><sup>67</sup> Cu<br><sup>67</sup> Ga<br><sup>99</sup> Mo<br><sup>111</sup> Ag<br><sup>115</sup> Cd<br><sup>132</sup> Te<br><sup>131</sup> I<br><sup>133</sup> Xe <sup>m</sup><br><sup>131</sup> Cs<br><sup>140</sup> La<br><sup>143</sup> Ce<br><sup>153</sup> Sm<br><sup>187</sup> W<br><sup>198</sup> Au<br><sup>199</sup> Au | <sup>47</sup> Ca<br><sup>76</sup> As<br><sup>82</sup> Br<br><sup>99</sup> Mo<br><sup>115</sup> Cd<br><sup>122</sup> Sb<br><sup>131</sup> I<br><sup>140</sup> La<br><sup>187</sup> W                                                                             | <sup>47</sup> Ca<br><sup>65</sup> Ni<br><sup>76</sup> As<br><sup>82</sup> Br                         | <sup>140</sup> La                                                                               |
| 10-50 gün  | <sup>140</sup> Ba                                                                                                                             | <sup>51</sup> Cr<br><sup>71</sup> Ge<br><sup>114</sup> In <sup>m</sup><br><sup>141</sup> Ce<br><sup>181</sup> Hf<br><sup>102</sup> Hg                                                                                                                                                                                                                                   | <sup>84</sup> Rb<br><sup>95</sup> Nb<br><sup>115</sup> Cd <sup>m</sup><br><sup>115</sup> Im<br><sup>140</sup> Ba                                                                                                                                                | <sup>59</sup> Fe<br><sup>86</sup> Rb<br><sup>115</sup> Cd <sup>m</sup>                               |                                                                                                 |
| 50-365 gün | <sup>125</sup> I<br><sup>160</sup> Tb<br><sup>170</sup> Tm                                                                                    | <sup>57</sup> Co<br><sup>75</sup> Se<br><sup>113</sup> Sn<br><sup>160</sup> Tb<br><sup>175</sup> Hf<br><sup>182</sup> Ta<br><sup>192</sup> Ir                                                                                                                                                                                                                           | <sup>46</sup> Sc<br><sup>54</sup> Mn<br><sup>58</sup> Co<br><sup>65</sup> Zn<br><sup>85</sup> Sr<br><sup>95</sup> Zr<br><sup>110</sup> Ag <sup>m</sup><br><sup>113</sup> Sn<br><sup>124</sup> Sb<br><sup>160</sup> Tb<br><sup>192</sup> Ir<br><sup>210</sup> Po | <sup>46</sup> Sc<br><sup>65</sup> Zn<br><sup>110</sup> Ag<br><sup>160</sup> Tb<br><sup>182</sup> Ta  | <sup>124</sup> Sb                                                                               |
| > 1 yıl    | <sup>55</sup> Fe<br><sup>133</sup> Be<br><sup>155</sup> Eu<br><sup>232</sup> Th<br><sup>238</sup> U<br><sup>239</sup> Pu<br><sup>241</sup> Am | <sup>133</sup> Ba<br><sup>152</sup> Eu<br><sup>154</sup> Eu<br><sup>155</sup> Eu<br><sup>226</sup> Ra                                                                                                                                                                                                                                                                   | <sup>22</sup> Na<br><sup>85</sup> Kr<br><sup>134</sup> Cs<br><sup>133</sup> Ba<br><sup>152</sup> Eu<br><sup>154</sup> Eu<br><sup>226</sup> Ra                                                                                                                   | <sup>60</sup> Co<br><sup>137</sup> Cs<br><sup>152</sup> Eu<br><sup>154</sup> Eu<br><sup>226</sup> Ra | <sup>226</sup> Ra                                                                               |

Tablo 4.3'de ayrıntılarıyla görüldüğü gibi; enerjisi 0.5 MeV'den küçük fotonlar, yapıda yetersiz uyartılma ve iyonizasyona neden olacaklarından, yayınladıkları foton enerjisi bu seviyeden daha düşük olan radyoizotopların kullanımından, özellikle kaçınılmıştır (Ghonein ve diğ., 1983; Taylor, 1959).

Ayrıca, bu çalışmada gama fotonunun madde ile yapabileceği her tür etkileşimin incelenmesi de hedeflenmiştir. Böylelikle, renk merkezlerinin oluşumuna en uygun şartla çalışılmış olacaktır. Bu nedenle, çift oluşumu olayının eşik enerjisi olan, 1.02 MeV'in üzerinde gama fotonu yayınlayan bir radyoizotop kaynak ile çalışılması gerekmektedir.

Bu durumda, gama fotonları eşliğinde yayınlanan diğer parçacıkların enerjilerinin de göz önüne alındığı, bir radyoizotop irdelemesi yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Tablo 4.4'de, yayınladıkları gama foton enerjisi 1.02 MeV'in üzerinde ve yarıömrü 1 yılın üzerinde olan radyoizotoplar bir araya toplanarak derleme yapılmıştır (Földiák, 1986).

Tablo 4.4'den elde edilen bilgilere göre,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$  ve  $^{226}\text{Ra}$  radyoizotoplarının, çeşitli elektrikçe yüklü parçacıklar yayınladıkları gibi, birbirinden oldukça farklı sayılabilecek, değişik enerjilerde gama fotonları da yayınladıkları görülmektedir. Cam yapının gama fotonları ile etkileşimi sonucu, oluşan renk merkezlerinin daha sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için, sadece gama fotonu yayınlayan bir radyoizotop kaynak kullanılması gerekmektedir.

Cam yapıda, uyartılma ve iyonizasyon meydana getirerek, renk merkezleri oluşturabilmek için, cam ışınlamalarında kullanılması gerekli, en uygun gama radyoizotopunun, Co-60 radyoizotopu olduğu görülmektedir. Bu sebeple, Co-60 bu doktora tez çalışması için, camların gama ışınları ile ışınlanmasında, kullanılacak gama kaynağı seçilerek, ışınlamalar Co-60 radyoizotopu ile yapılmıştır.

**Tablo 4.4.** Yarı Ömrü Bir Yıldan Fazla ve Yayınladığı Gama Fotonu Enerjisi 1.02 MeV'in Üzerinde Olan Radyoizotoplar (Földiák, 1986).

| Radyo -<br>İzotop | Yarı<br>Ömür | Gama Enerjisi (MeV) ve Bolluk (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Doz sabiti ( $K_\gamma$ )                                    |                                                              |
|-------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                   |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | aA m <sup>2</sup> / (kg Bq)                                  | R m <sup>2</sup> / (Ci s)                                    |
| <sup>60</sup> Co  | 5.26 yıl     | $\beta_1^-$ 0.312 (99)<br>$\gamma_1$ 1.173 (99)<br>$\gamma_2$ 1.332 (100)                                                                                                                                                                                                                                              | 2.52                                                         | 1.30                                                         |
| <sup>152</sup> Eu | 12.2 yıl     | $\beta_1^-$ 0.22 (2)<br>$\beta_2^-$ 0.36 (3)<br>$\beta_3^-$ 0.71 (12)<br>$\beta_4^-$ 1.05 (2)<br>$\beta_5^-$ 1.47 (7)<br>$\beta_1^+$ 0.47 (0.01)<br>$\beta_2^+$ 0.70 (0.01)<br>$\gamma_1$ 0.12 (59)<br>$\gamma_2$ 0.24 (9)<br>$\gamma_4$ 0.87 (6)<br>$\gamma_5$ 0.96 (14)<br>$\gamma_6$ 1.09                           | 1.12                                                         | 0.58                                                         |
| <sup>154</sup> Eu | 16 yıl       | $\beta_1^-$ 0.12 (2)<br>$\beta_2^-$ 0.25 (27)<br>$\beta_3^-$ 0.59 (35)<br>$\beta_4^-$ 0.83 (23)<br>$\beta_5^-$ 1.60 (3)<br>$\beta_6^-$ 1.84 (10)<br>$\gamma_1$ 0.12 (14)<br>$\gamma_2$ 0.25 (6)<br>$\gamma_3$ 0.59 (4)<br>$\gamma_4$ 0.73 (21)<br>$\gamma_5$ 0.87 (13)<br>$\gamma_6$ 1.00 (31)<br>$\gamma_7$ 1.28 (42) | 1.20                                                         | 0.62                                                         |
| <sup>226</sup> Ra | 1602 yıl     | $\alpha_1$ 4.50 (5.7)<br>$\alpha_2$ 4.78 (94.31)<br>$\gamma_2$ 0.242 (10.5)<br>$\gamma_4$ 0.295 (18.9)<br>$\gamma_5$ 0.352 (37.7)<br>$\gamma_{13}$ 0.609 (47.1)<br>$\gamma_{26}$ 1.120 (16.6)<br>$\gamma_{29}$ 1.238 (6.0)<br>$\gamma_{39}$ 1.764 (16.3)<br>$\gamma_{46}$ 2.204 (5.2)                                  | 1.82<br><br>( 0.50 mm'lik Pt<br>filtreden<br>geçerse; 1.59 ) | 0.94<br><br>( 0.50 mm'lik<br>Pt filtreden<br>geçerse; 0.82 ) |

## Co-60 Gama Radyoizotop Kaynağı

Yapay radyoizotoplardan biri olan, Co-60 radyoizotop kaynağı, endüstriyel ve tıp amaçlı kullanılan yaygın bir radyoizotop kaynaktır (Földiák, 1985). Bu radyoizotop, diğer alternatif radyoizotoplara göre, uzun sayılabilecek yarı ömrü, yüksek gama foton enerjisi ve nispeten düşük fiyatı nedeniyle tercih edilen bir radyasyon kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Földiák, 1985).

Co-60'ın dikkate alınması gereken 1.17 ve 1.33 MeV'lik sadece iki farklı ama birbirine yakın gama enerjisi olmasından dolayı, özellikle radyoterapide, doz oranı daha kolay ve hassas bir şekilde değerlendirilebilmektedir (Földiák, 1985). Dolayısıyla, Co-60 radyoizotop kaynağı, çalışmalarımızda tercih edilerek kullanılmıştır.

Gama kaynağı olarak, İTÜ, Nükleer Enerji Enstitüsü, Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı, Radyografi Laboratuvarı'nda mevcut, Co-60 radyoizotopu kullanılmıştır. Bu radyoizotopun, tercih edilmesinin nedeni, enerji seviyesinin 0.5 MeV'nin üzerinde olmasının yanı sıra, yayınlamış olduğu fotonların enerjisinin 1.02 MeV'in üzerinde olmasıdır. Böylelikle, gama ışınlarının incelenen camların yapısında Compton, Fotoelektrik ve Çift Oluşum Olayları'nın üçünün birden oluşturacağı etkiyi meydana getirebilmesi mümkün olabilmektedir. Bu bağlamda, cam yapısında oluşturulabilecek en etkin renk merkezlerinin meydana getirilmesi sağlanabilecektir.

Deneylerde kullanılan Co-60 radyoizotop kaynağının özellikleri, Tablo 4.5'de verilmektedir. Kullanılan gama radyoizotop kaynağın fotoğrafı ise, Şekil 4.2'de görülmektedir.

**Tablo 4.5. Kullanılan Co-60 Radyoizotop Kaynağının Özellikleri.**

|                                               |                                                             |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>Kaynak Aktivitesi (Işınlama sırasında)</b> | 9.3 Ci                                                      |
| <b>Kaynak Tipi</b>                            | Projeksiyon Tipi                                            |
| <b>Zırh Malzemesi</b>                         | Uranyum+Çelik                                               |
| <b>Foton Enerjisi ve Bolluğu</b>              | $\gamma_1$ ; 1.173 MeV % 99<br>$\gamma_2$ ; 1.332 MeV % 100 |
| <b>Yarı Ömrü</b>                              | 5.26 yıl                                                    |



**Şekil 4.2.** Deneylerde Kullanılan Co-60 Radyoizotop Kaynağı.

#### **4.2.1.2. Beta Radyoizotop Kaynağın Seçimi**

Eczacılık ve organo-kimya endüstrisinde sıklıkla kullanılan ve beta yayınlayan, çeşitli radyoizotoplar mevcuttur (Földiak, 1986). Geniş bir uygulama alanı bulan bu radyoizotoplar Tablo 4.6’da görülmektedir.

Camların ışınlamasına yönelik olarak gama radyoizotop kaynağı seçiminde olduğu gibi, bazı hususları göz önüne almak gerekmektedir. Bunların başında yarı ömür gelmektedir. Betaların giricilikleri, gamalar göre daha az olduğundan tüm cam yapısının beta radyasyonundan etkilenmesi ve yapının yüksek radyasyon dozuna maruz kalması için “uzun süreli” ışınlama gerekmektedir.

**Tablo 4.6. Beta Radyoizotop Kaynaklarının Özellikleri.**

| İzotop            | $E_{\beta\max}$<br>(MeV) | Yarı Ömür             | Açıklamalar                                                                 |
|-------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| $^3\text{H}$      | 0.019                    | 12.26 yıl             | $E_{\max} < E_{\text{uyartılma}}^{\text{cam}}$                              |
| $^{106}\text{Ru}$ | 0.039                    | 1.0 yıl               | $E_{\max} < E_{\text{uyartılma}}^{\text{cam}}$                              |
| $^{63}\text{Ni}$  | 0.067                    | 92 yıl                | $E_{\max} < E_{\text{uyartılma}}^{\text{cam}}$                              |
| $^{14}\text{C}$   | 0.156                    | 5730 yıl              | $E_{\max} < E_{\text{uyartılma}}^{\text{cam}}$                              |
| $^{35}\text{S}$   | 0.167                    | 87.9 gün              | $E_{\max} < E_{\text{uyartılma}}^{\text{cam}}$                              |
| $^{147}\text{Pm}$ | 0.224                    | 2.62 yıl              | $E_{\max} < E_{\text{uyartılma}}^{\text{cam}}$                              |
| $^{45}\text{Ca}$  | 0.252                    | 165 gün               | $E_{\max} < E_{\text{uyartılma}}^{\text{cam}}$ , kısa yarı ömür.            |
| $^{185}\text{Wa}$ | 0.430                    | 75 gün                | $E_{\max} < E_{\text{uyartılma}}^{\text{cam}}$ , kısa yarı ömür.            |
| $^{137}\text{Cs}$ | 0.514                    | 30 yıl                | $\beta$ ile beraber $\gamma$ yayını                                         |
| $^{90}\text{Sr}$  | 0.545                    | 28.1 yıl              | $E_{\max} < E_{\text{uyartılma}}^{\text{cam}}$ , homojen kaynak yapısı.     |
| $^{39}\text{Ar}$  | 0.565                    | 269 yıl               | Saf olmayan bir kaynak.                                                     |
| $^{85}\text{Kr}$  | 0.670                    | 10.76 yıl             | $\beta$ ile beraber $\gamma$ yayını                                         |
| $^{36}\text{Cl}$  | 0.714                    | $3.1 \times 10^5$ yıl | Saf olmayan bir kaynak oluşu ve düşük özgül aktiviteli olarak hazırlanması. |
| $^{204}\text{Tl}$ | 0.766                    | 3.80 yıl              | Homojen olmayan aktif bir kaynak olması.                                    |
| $^{143}\text{Pr}$ | 0.930                    | 13.6 gün              | Kısa yarı ömür.                                                             |
| $^{89}\text{Sr}$  | 1.462                    | 52.7 gün              | Kısa yarı ömür.                                                             |
| $^{32}\text{P}$   | 1.707                    | 14.28 gün             | Kısa yarı ömür.                                                             |
| $^{90}\text{Y}$   | 2.273                    | 64.0 saat             | Kısa yarı ömür.                                                             |

Beta enerjisinin, camda amaca uygun uyartma meydana getirebilmesi için 0,5 MeV üzerinde enerjiye sahip olması gerekmektedir. Bu durumda, uygun bir beta radyoizotop kaynak, Sr-90 kaynağı olmaktadır.

Beta parçacıkları ile ışınlamalarda kullanılan radyoizotoplar içerisinde, yarıömrü ve sahip olduğu beta enerjisi bakımından, tıpta ve sanayide kullanılan radyoizotoplar, Tablo 4.6'de incelenmiştir. Sr-90 radyoizotopu cam yapısında uyartılma ve iyonizasyon oluşturmak için en uygun olan radyoizotop olarak görülmektedir.

#### **Sr-90 Beta Radyoizotop Kaynağı**

Deneylerde beta kaynağı olarak Sr-90 radyoizotopu seçilmiştir. Sr-90 radyoizotopunun kullanılmasının nedeni, en yüksek enerjisi 0.546 MeV olan, beta ışınları meydana getirebilmesidir. Bir başka deyişle, Sr-90 radyoizotopunun 0.5 MeV'den yüksek beta enerjide beta ışınlarına sahip olmasıdır. Cam yapıda uyartılma ve iyonizasyon oluşturabilecek en küçük enerjilli beta ışınları ile çalışmak mümkün olmuştur. Sr-90 radyoizotopu yardımıyla, cam yapıya derinlemesine nüfuz edebilecek penetrasyon özelliğine sahip ve renk merkezleri adı verilen elektron-

boşluk çiftleri meydana getirebilecek, en küçük enerjideki beta ışınlarının elde edilebileceği düşünülmüştür.

Sr-90 radyoizotopu, diğer beta aktif radyoizotoplara göre uzun bir yarı ömre sahiptir ve bu özelliğinden dolayı, zırhlanmış kaynak (sealed source) olarak tanınmaktadır (Földiák, 1986). Sr-90 bir fisyon ürünüdür ve kolayca taşınabilen bu radyoizotopun fiyatı, diğer alternatif radyoizotoplara göre daha düşüktür.

Sr-90 radyoizotopunun yarı ömrü 28.7 yıl olup, en yüksek beta enerjisi 0.546 MeV'dir. Su için yarıdeğer kalınlığı 0.15 cm ve kurşun için 0.014 cm olarak belirtilmektedir. Sr-90'ın bozunum ürünü, yarı ömrü 64 saat olan Y-90'dır ve Sr-90'ın Y-90'a bozunumu sırasında negatif yüklü beta parçacıkları yayınlanmaktadır (Földiák, 1986).

Bu çalışmada kullanılan, Sr-90 beta radyasyon kaynağının özellikleri, Tablo 4.7'de verilmektedir. Fotoğrafi ise şekil 4.3'de görülmektedir.

**Tablo 4.7.** Kullanılan Sr-90 Radyoizotop Kaynağının Özellikleri.

| Sr-90 Radyoizotop Kaynağı Özellikleri |                                 |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| Kaynak Aktivitesi                     | 3.58 mCi                        |
| Beta Enerjisi                         | $\beta_1^-$ ; 0.546 MeV (%) 100 |
| Yarı Ömrü                             | 28.1 yıl                        |

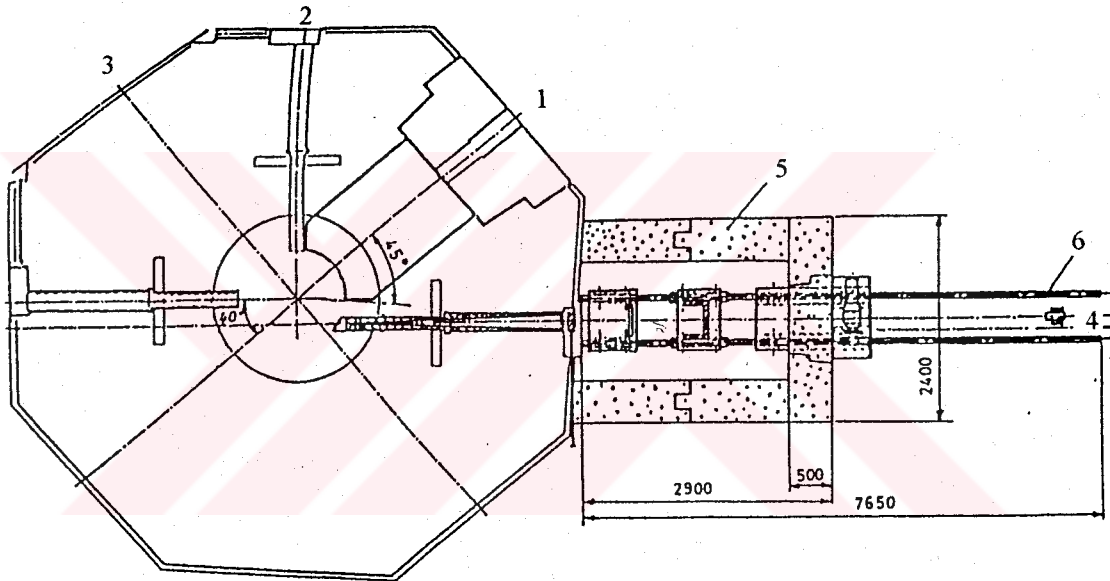


**Şekil 4.3.** Deneylerde Kullanılan Sr-90 Radyoizotop Kaynağı.

#### 4.2.2. İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü

İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü 250 kW nominal güce çıkabilen puls modunda ise 1200 MW'a çıkabilen tank tipi bir reaktördür (Yavuz, 2000). Merkezi ışınlama tüpünden ayrı olarak ışınlama tüpleri bulunmaktadır. Söz konusu bu ışınlama tüpleri sırasıyla, termal kolon, radyal ışınlama tüpü teğetsel ışınlama tüpü ve delici ışınlama tüpüdür.

İşınlama tüplerinin reaktörü görme açıları veya tanka ulaşimleri farklılıklar arz etmektedir. İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü'nün radyal kesiti Şekil 4.4'de verilmektedir (Tuğrul, 2000).



1. Termal Kolon
2. Radyal Işınlama Tüpü
3. Delici Radyal Işınlama Tüpü
4. Teğetsel Işınlama Tüpü
5. Zırhlama Duvar Bloğu
6. Ray

Şekil 4.4. İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü'nün Radyal Kesiti (SAR, 1978)

#### 4.2.2.1. İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Teğetsel Işınlama Tüpü (TIT)

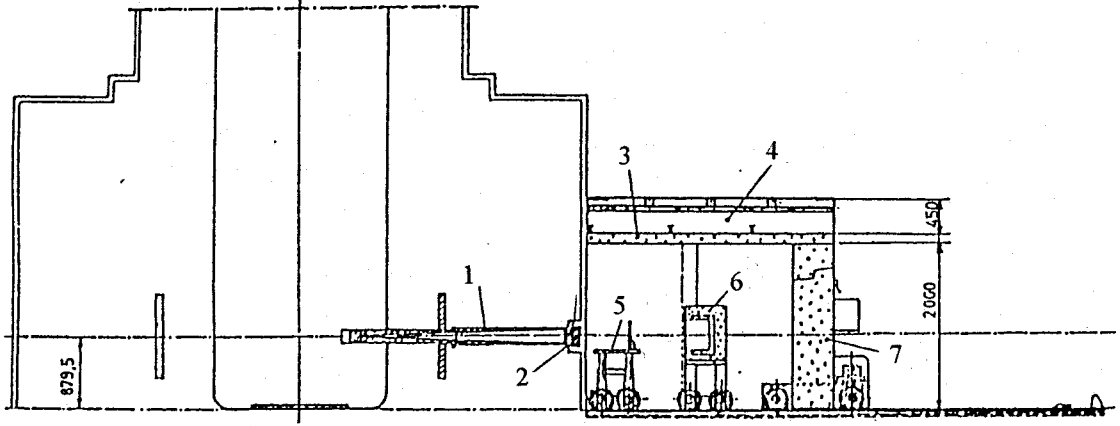
İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü'nün teğetsel ışınlama tüpünün konumu, eksenini reaktör kalbine teğet doğrultudadır. Bu sebeple, tüpün minimum gama radyasyonunu içeren nötron demeti ile yapılacak çalışmalarda kullanılması uygundur (Yavuz, 2000).

Teğetsel ışınlama tüpü, reaktörü çevreleyecek şekilde, ağır betondan inşa edilmiş olan zırhlama duvarının içine inşaat esnasında, silindirik bir boşluk bırakılmasıyla meydana getirilmiştir. Böylece, nötron demeti kolimatörü, teğetsel ışınlama tüpü içine yerleştirilmiştir (Tuğrul, 2000). Şekil 4.5'de teğetsel ışınlama tüpünün kesiti görülmektedir.

Nötron kolimatörünün reaktöre yakın olan tarafında yer alan ilk bölümünün kalbe yakın olan ucuna, ikisi gamaları ve biri ise nötronları soğurmak üzere, dış çapları ışınlama tüpünün iç çapına uygun olacak şekilde, üç adet disk, sandviç şeklinde yerleştirilmiştir. Nötronların ise, sadece bu üç diskin ortasına açılan giriş deliğine yerleştirilen ve bizmattan yapılan bir gama filtresinden, geçmesi sağlanmaktadır (Yavuz, 2000).

Kolimatör giriş çapı (D) 1.7 cm, çıkış çapı 16.33 mm ve buna göre kolimatör çıkışında demetin kesit alanı  $209.44 \text{ cm}^2$ 'dir. Kolimatör hol uzunluğu (L) 240.7 cm olup, kolimatör holü oranı olarak isimlendirilen L/D oranı ise 141.6 olarak belirlenmektedir (Doğan ve Tuğrul, 1999).

Kolimatör holü çıkışında toplam nötron akısı  $1.98 \times 10^5 \text{ n/cm}^2$  olarak belirlenmiş bulunmaktadır.  $n/\gamma$  oranları, kolimatör çıkışında  $1.44 \times 10^4 \text{ n/cm}^2 \text{ mR}$  değerindedir. Deneysel çalışmalarda elde edilen değerler belirli bir miktar, kolimatörün tasarımı esnasında öngörülen  $n/\gamma > 10^5 \text{ n/cm}^2 \text{ mR}$  değerinden düşük olarak belirlenmiştir. (Tuğrul, 2000; Yavuz 2000).



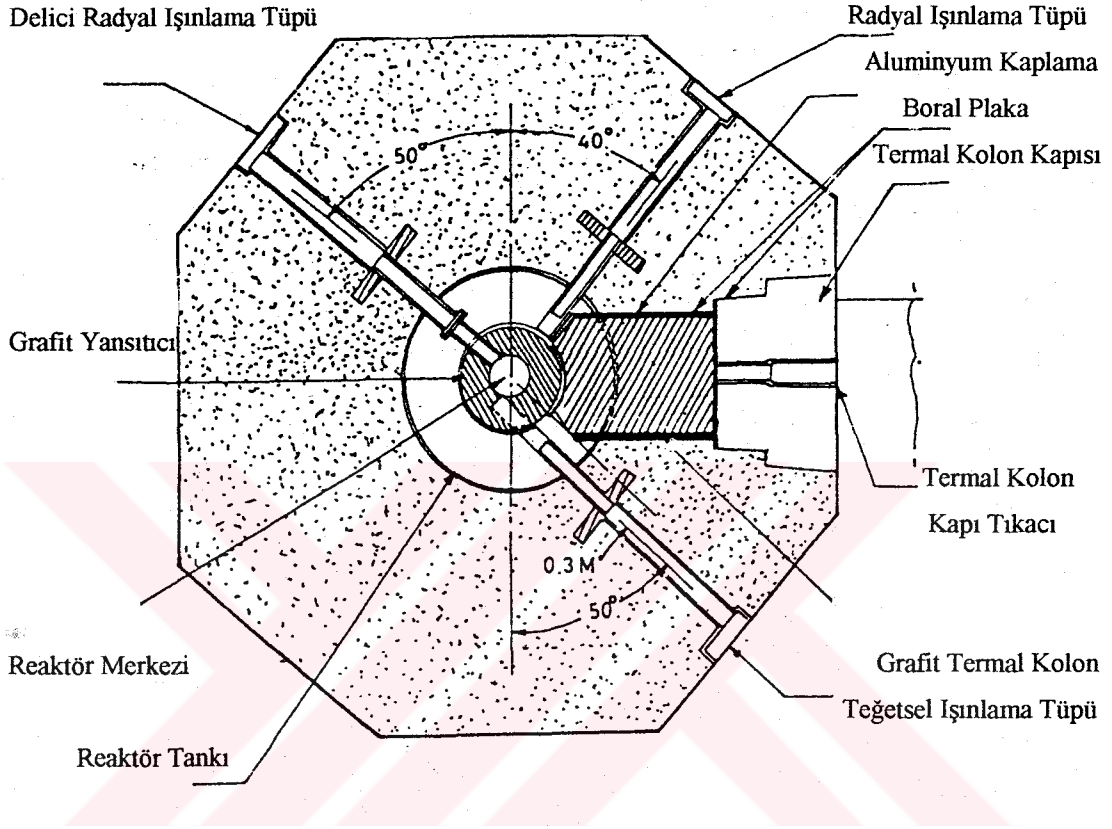
1. Kolimatör
2. Işınlama Tüpü Kapağı
3. Tavan Zırhlama Beton Bloğu
4. Zırhlama Havuzu
5. Örnek Sehpası
6. Nötron – Gama Kapanı
7. Zırhlam Kapısı

**Şekil 4.5. İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Teğetsel Işınlama Tüpünün Kesiti (Ş 2000).**

#### **4.2.2.2. İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı**

Çalıştığımız reaktörde, küçük deney örneklerinin, akının maksimum olduğu noktada ışınlaması amacıyla, bu deney örneklerinin reaktörün merkez kısmına nakledilmesi için merkezi bir kanala sahip olarak donatılmıştır (SAR, 1978). Merkezi ışınlama kanalı, dış çapı 3.81 cm olan alüminyum bir tüpten meydana gelmektedir ve bu alüminyum tüpün alt ve üst ızgara plakaları (grid plates) reaktörün merkezi boşluğuna tutturulmuştur. Tüpteki boşluk suyla doldurulmuştur.

Şekil 4.6’da, reaktör içinde, akının en yüksek olduğu yerde ışınlama yapılmasının gerekli olduğu bu çalışmada, incelenen cam örneklerinin reaktör içine yüklenebilme imkanı reaktörün merkezi ışınlama kanalı kullanılarak sağlanmış olmaktadır. Reaktör kalbine göre merkezi ışınlama kanalının konumu görülmektedir (Yavuz, 2000).



**Şekil 4.6. İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama Tüpü (Yavuz, 2000).**

#### 4.3. Uygulanan Doz

Camlara uygulanan “yüksek doz” nitelemesiyle, radyasyon çalışanları için maksimum müsaade edilebilen dozlara göre yüksek ve cam malzeme yapısında farklılıklar meydana getirebileceği düşünülen dozlar kastedilmektedir. Yapılan araştırmanın hayata geçirilebilirliği açısından realistik dozlarla çalışılması da amaçlanmıştır. Realistik doz değerleri ile, örneğin; sterilizasyon ışınlamaları, mikroorganizmaların dekontaminasyonları yada ışınlamaları ile nükleer tesislerde karşılaşılan doz değerleri kastedilmektedir.

Bu bağlamda, uygulamada kullanılan doz aralıklarını, bu doktora tez çalışmasının doz aralığının kapsaması hedeflenmiştir.

Gama radyasyon kaynakları ile, özellikle endüstriyel (örneğin; sterilizasyon amaçlı uygulamalar) ve tıp amaçlı (örneğin; terapik amaçlı uygulamalar) ışınlamalara ilişkin dozu aralığının bu doktora tezinde uygulanan doz aralığı olması çalışmanın dozimetrik amaçlı kullanımın değerlendirmesi açısından uygun ve yerinde olacağı düşünülmüştür. Çeşitli nükleer uygulamalarda kullanılan dozlar Tablo 4.8’de verilmektedir (Tuğrul, 1998; McLaughlin, 1989).

**Tablo 4.8. Çeşitli Nükleer Uygulamalarda Kullanılan Dozlar (Tuğrul, 1998).**

|                                                 |                                                          |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>Yüksek Seviyede Doz<br/>&gt; 10 kGy</b>      | Ticari sterilizasyon                                     |
|                                                 | Bazı maddelerin dekontaminasyonu                         |
| <b>Orta Seviyede Doz<br/>1-10 kGy</b>           | Gıdaların raf ömrünün uzatılması                         |
|                                                 | Bozucu ve patojenik mikroorganizmaların dekontaminasyonu |
|                                                 | Gıdanın teknolojik özelliklerini düzeltme                |
| <b>Düşük Seviyede<br/>Dozlar<br/>&lt; 1 kGy</b> | Filizlenmenin önlenmesi                                  |
|                                                 | Haşerelerin kontrolü                                     |
|                                                 | Fizyolojik işlemlerin geciktirilmesi                     |

Tablo 4.8’den hareketle, gama dozu olarak en yaygın kullanımın görüldüğü ve endüstriyel ışınlamaların önemli bir kısmı ile tıbbi uygulamaları kapsayan doz aralığı olan 1 ile 36 kGy doz aralığında çalışılması tercih edilmiştir. Böylelikle, cam ışınlamaları için farklı amaçlı ışınlamalarda kullanılan bir doz aralığı seçilmiş olmaktadır.

Beta radyasyon dozu ile de kGy’in üzerine çıkılması amaçlanmıştır. Böylelikle, canlılar için beta yanığı oluşturacak sınırın aşılması amaçlanmış olmaktadır. Bu da bu doktora çalışmasının farklı bir bakış açısını oluşturmaktadır.

Nötron dozuna ilişkin olarak değerlendirmeler, gama dozu kadar kolay değildir. Zira, nötron absorpsiyonu sonucu maddede meydana gelebilecek olaylar farklı olabilmektedir. (n, $\gamma$ ) reaksiyonu, birçok malzeme için en yüksek olasılıkla meydana gelebilecek bir olay olması nedeniyle, malzemede üreyen gamaların önemi büyüktür. Keza, bu durum, cam ışınlamaları için de önemlidir. Bu bağlamda, bu doktora tez çalışmasında, “eşdeğer doz” kapsamında bir değerlendirme yapılması hedeflenmiştir.

İTÜ TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü'nde yapılan çalışmalarda, Co-60 gama radyoizotop kaynağı ile yapılan çalışmalar uzantısında eşdeğer doz kapsamında değerlendirmeler yapılması düşünülmüştür. Özellikle, merkezi ışınlama kanalında yapılan çalışmalar karışık dozu oluşturduğundan, bu husus burada daha önem arz etmektedir.

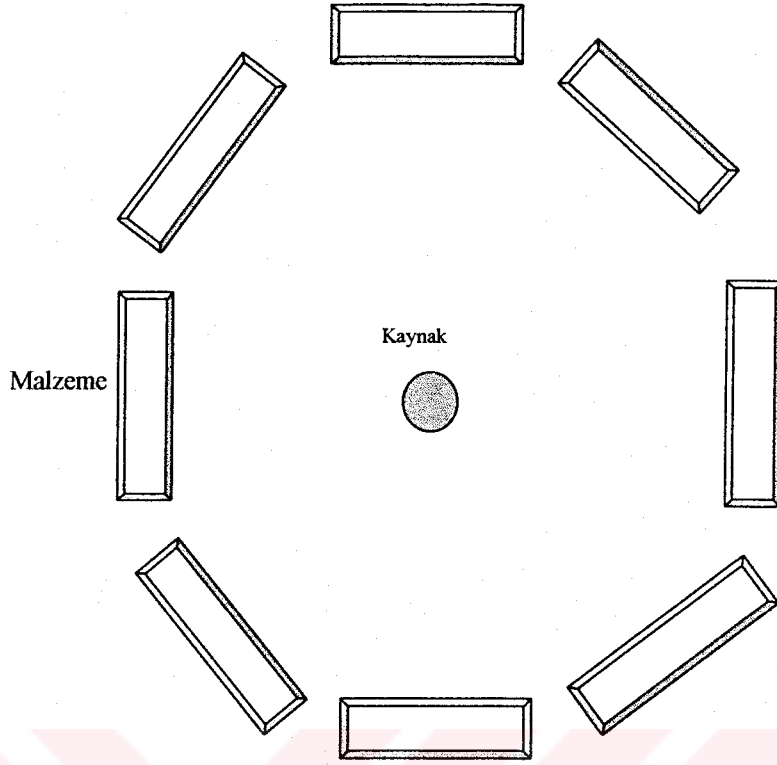
Öz olarak belirtmek gerekirse, cam yapısında değişikliklere neden olacağı düşünülen ve de nükleer uygulamalar açısından önem arzeden gama doz aralığında çalışılması öncelikle amaçlanmıştır. Gamalardan ayrı olarak, beta, nötron ve karışık doz ile de çalışılması hedeflenmiştir ve (gamalara göre madde ile etkileşimleri farklılık gösterdiğinden) eşdeğer doz kavramı bağlamında, gama dozuna göre değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

#### **4.4. Deneyin Yapılışı ve Işınlama Düzenekleri**

Bu Doktora Tez çalışmasında, farklı kalınlıkta camlarla çalışılmıştır. Öncelikle gama radyasyonu karşısında farklı camların davranışları incelenmiştir. Çalışılan cam kalınlıkları; 3, 6 ve 10 mm'dir.

##### **4.4.1. Co-60 Radyoizotop Kaynağı ile Işınlamalar İçin Hazırlanan Deney Düzeneklerinin Tanıtılması**

Co-60 gama radyoizotop kaynağı, ışınlama sırasında, uzaktan mekanik kumandayla, zırh içinden çıkartılarak, zırh kabından yaklaşık 1.5 m uzakta sabitlenmiş bir noktada ışınlama durumuna getirilmiştir. Ayrıca, ışınlama başının yaklaşık 180°'lik bir ışınlama açısına sahip olması sağlanmıştır. Böylece, radyasyon kaynağı ışınlama başı olarak adlandırılan radyasyon kaynağının, ışınlama durumuna geldiği yerde, kaynak etrafına çeşitli uzaklıklarda, çevresel olarak yerleştirilen cam örneklerin ışınlaması, "Panaromik Işınlama Tekniği" doğrultusunda, bir seferde yapılabilmektedir. Şekil 4.7'de panoramik ışınlama düzeni şematik olarak görülmektedir.



Şekil 4.7. Co-60 ile Oluşturulan Panaromik Işınlama Düzeni.

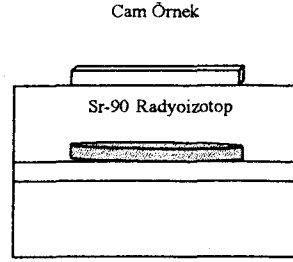
#### 4.4.2. Sr-90 Kaynağı ile Işınlamalar İçin Hazırlanan Deney Düzeneğinin Tanıtılması

Sr-90 radyoizotopu, 0.015 cm çapında bir radyoizotop kaynaktır. Hava içinde beta parçacıklarının menzili çok fazla değildir (0.5 MeV enerjili beta parçacıkları için, yaklaşık 1.5 m). Bu bakımdan, ışınlama geometrisi önemlidir.

Hava sıcaklığı ve basınçtaki değişimler camın soğurduğu doz seviyesini etkileyebileceği düşünülmüştür. Bu nedenle, hava tabakasının hep aynı özellikte kalması istenmiştir. Deneyler boyunca hava sıcaklığının ölçümü için civalı termometre kullanılmış ve nem ölçer cihaz ile yapılan ölçümlerde, relatif nemin takibi yapılmıştır.

Sr-90 beta radyoizotopu kullanılarak yapılan ışınlamalarda, kaynak ile incelenen cam örneklerin arasındaki mesafenin çok fazla olmaması istenmiş ve bu mesafenin 0.015 cm olması sağlanmıştır.

Kullanılan Sr-90 radyoizotopunun aktivitesi de göz önüne alınarak, incelenen camların yapısında, renk merkezlerinin meydana gelebilmesi için uygun mesafe sağlanmıştır. Şekil 4.8'de ışınlama geometrisi şematik olarak görülmektedir.



**Şekil 4.8. Sr-90 İle Oluşturulan Işınlama Düzeninin Şematik Görünümü.**

#### **4.4.3. İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Eğitim ve Araştırma Reaktörünün Teğetsel Işınlama Tüpü (TIT) Işınlama Düzeneği**

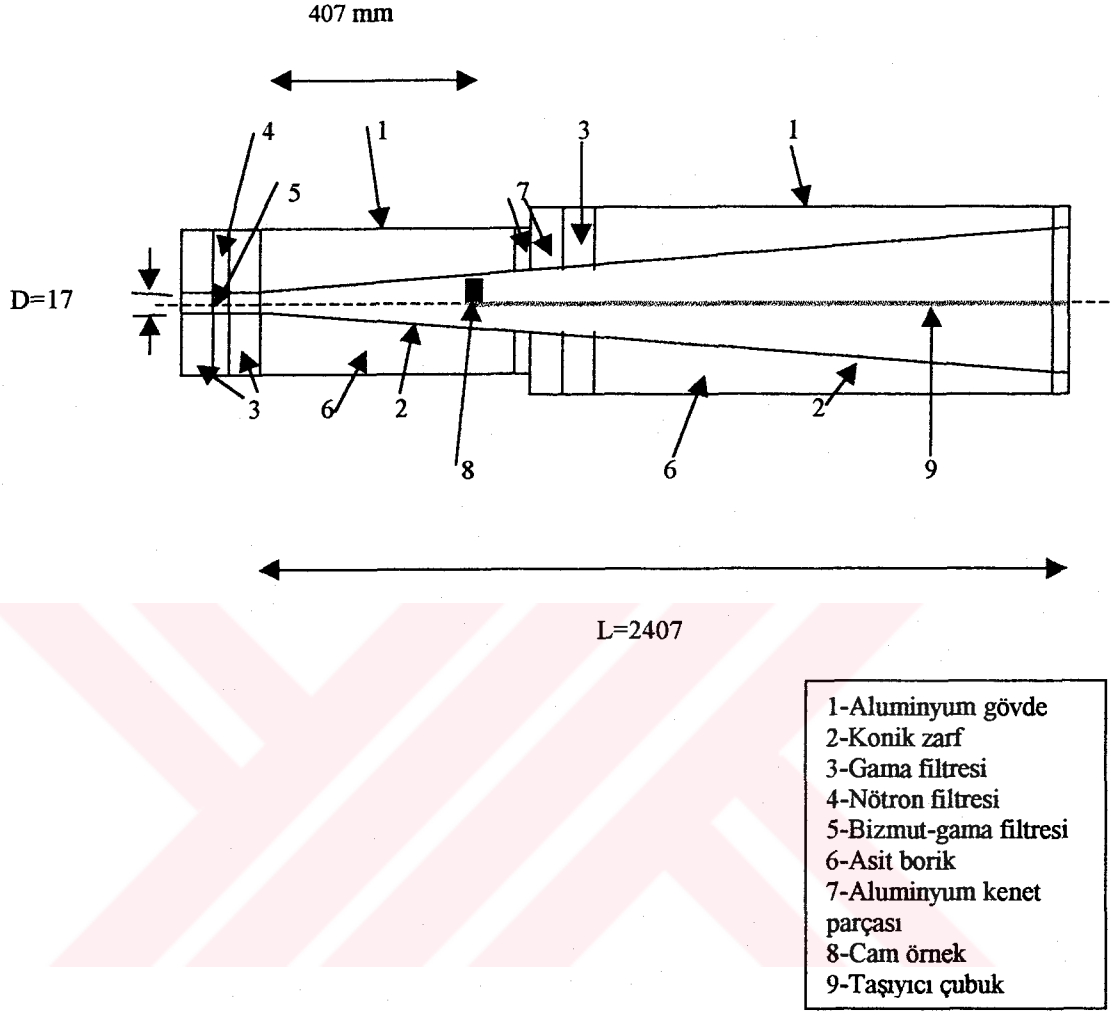
10 mm kalınlıklardaki, kurşun alkali silika, borosilikat, soda-kireç silika ve baryumlu ile bor içeren özel bir optik kireçli cam olmak üzere dört farklı tipteki cam üzerinde, nötronların etkisi incelenmek istenmiştir. Bu amaçla, nötron akısının gamalara göre daha yüksek olduğu, İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Eğitim Reaktörü'nün Teğetsel Işınlama Tüpü (TIT) kullanılmıştır.

İncelenen cam örneklerinin ışınlanacak olan ön yüzeylerinin reaktör kalbini daha yakından teğet doğrultuda görebilmesi istenmiştir. Bu amaçla, yatay eksen reaktör kalbine teğet olacak doğrultuda, reaktörün teğetsel ışınlama tüpü içerisine uzatılan ince uzun bir ray kullanılmıştır. Böylece nötron kolimatörü girişi ile incelenen cam örnekleri arasındaki mesafenin 407 cm olması sağlanmıştır. Işınlamalar reaktör tam güçte çalışırken 30 dakika süresince yapılmıştır.

Reaktörün teğetsel ışınlama tüpündeki cam örnekte 0.2 kGy'lik soğurulan doz elde edilmeye çalışılmıştır. Uygulanan 0.2 kGy'lik soğurulan doz değeri,  $10^{-2}$  ve  $10^2$  kGy soğurma doz aralığı olarak verilen menzilde, camda ilk renklenme dozu olarak beklenen doz ile uyumludur (Vogel, 1994).

Ayrıca, bir cam tipi için farklı bir dozda daha çalışılması hedeflenmiştir. İkinci bir doz için çalışma camı olarak, radyasyon zırhlamasında da kullanılabileceği düşünülerek, kurşun-alkali-silika cam seçilmiştir. Kurşun-alkali-silika cam için 30 dakikalık ışınlamadan ayrı olarak 60 dakikalık ikinci bir doz ile daha çalışılmıştır.

Şekil 4.9’de, Teğetsel Işınlama Tüpü içerisinde, camların radyasyona maruz kaldığı konum, şematik olarak verilmektedir.



Şekil 4.9. Camların Işınlandığı Teğetsel Işınlama Tüpünün Konumu.

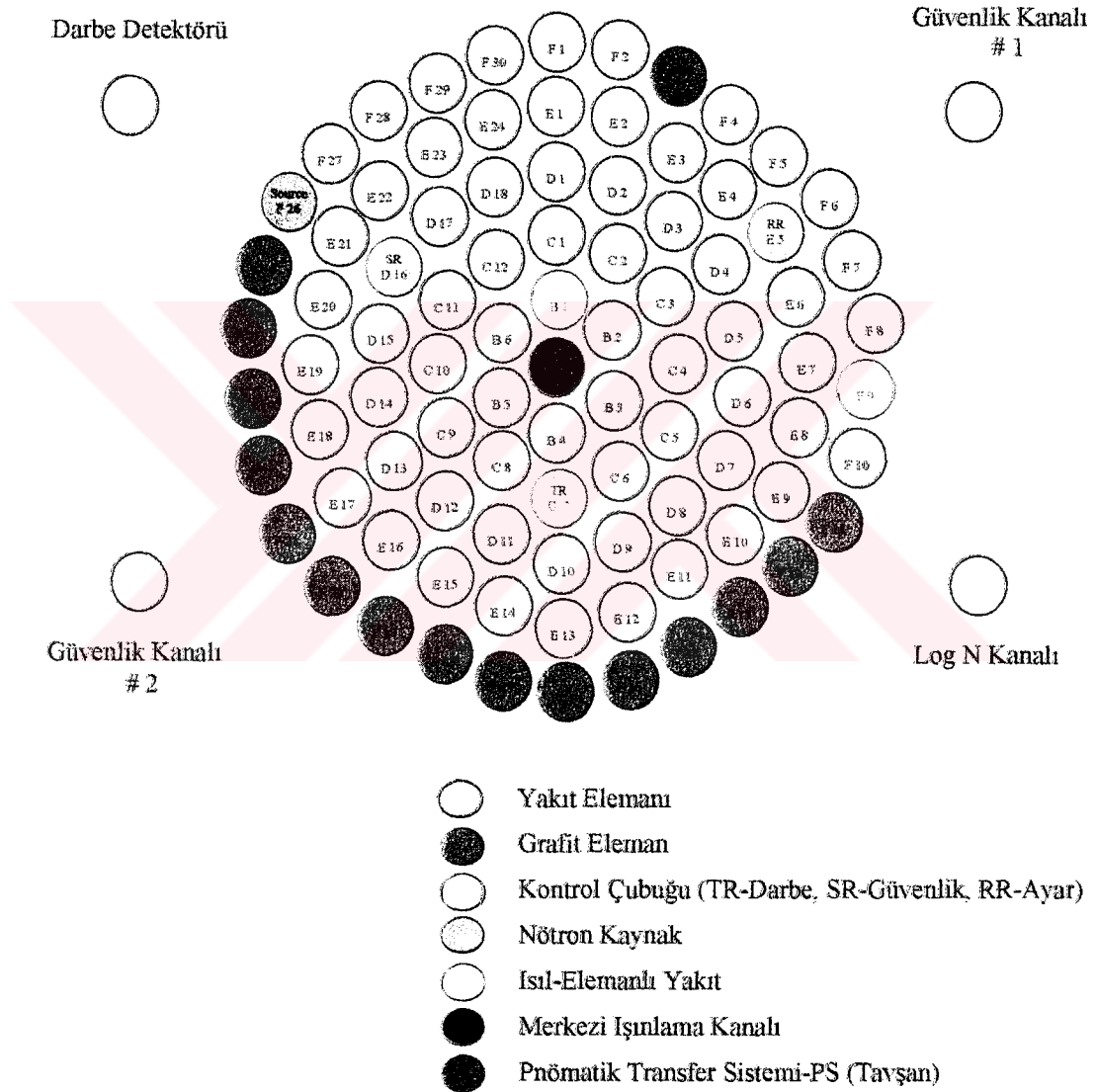
#### 4.4.4. İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Eğitim ve Araştırma

##### Reaktörünün Merkezi Işınlama Kanalı Işınlama Düzeneği

İncelenen cam örneklerinin hem ön hem de arka yüzeyi olmak üzere, her iki yüzeyden de eşit miktarlarda, Merkezi Işınlama Kanalı’nda, yüksek doz alması istenmiştir. Bu amaçla 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki, (kurşun alkali silika, borosilikat, soda-kireç silika ve baryumlu ve baryum ve bor içeren özel bir optik kireçli cam olmak üzere) dört farklı tip cam da merkezi ışınlama tüpünde ışınlanmıştır.

içerisine yerleştirilmiştir. Işınlamalar, camların, Merkezi Işınlama Kanalı'na gönderilmesi sayesinde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.10da, Merkezi Kanal'da yapılan ışınlamalar, reaktör tam gücü olan 250 kW'da çalışırken, 5 dakika süresince devam etmiştir. Cam örneklerin reaktör içinde ısımlandığı konum görülmektedir.



Şekil 4.10.Camların Işımlandığı, Merkezi Işınlama Kanalı'nın Konumu.

#### **4.5. Ölçümleme Deney Düzeneginin Tanitimi**

Farklı camlar için yapılan tüm ışınlamalar sonucunda cam yapısındaki değişimlerin rasyonel değerlendirmeleri için Topkapı Şişecam Ar-Ge Laboratuvarı'nda mevcut bulunan (Bölüm 4.1 içinde tanıtılan) Philips PW 1606 Model, Dalgaboyu Dağılımlı, X-Işını Floresans (XRF) Spektrometreden yararlanılmıştır.

##### **4.5.1. Cam Örneklerin Yapılan Ölçümlere Hazırlanması**

İncelenen cam örnek spektrofotometreye yerleştirilmeden önce, cam örneklerinin spektrofotometrede ışık geçecek karşılıklı yüzeyleri, birbirine tam paralel olması gerekmektedir. Bu yüzeylerin tam paralel olmaması veya pürüzlü olması halinde paralelliği sağlamak ve pürüzü gidermek amacıyla cam örneğin yüzeyleri parlatılması bir zorunluluktur (TS-11172, 1993). Ayrıca, yapılan ölçümlerde incelenen cam örnek üzerinde toz ve/veya yağ gibi kir zerreciklerinin kalması istenmemektedir. Her bir cam örneğin ölçüm öncesi hazırlanması gerekliliği olmuştur. Tüm cam örnekleri, önce saf su, daha sonra etanol ile yıkanmış, yüzeyler yumuşak kağıt, temiz yumuşak bir bez ve/veya kurutma makinesi ile kurutulmuştur.

##### **4.5.2. XRF Spektrometresi ile Yapılan Çalışmalar**

X-Işını Floresans monitörü olarak kullanılan cihaz, X-Işını Soğurma monitörü olarak kullanılan cihaza benzemektedir (Braun, 1987). X-Işını Floresansında kullanılan aletler, ya dalga boyu dağılımlı yada enerji dağılımlı devreler içerebilmektedir. Bu tez çalışmasında Dalga Boyu Dağılımlı X-Işını Floresans cihazı kullanılmıştır. Yapılan ölçümlerinde, kaynak bir X-Işın tüpüdür. Uzundalgaboyu içeren fotonlarla çalışmalarda, krom ve kısa dalgaboyu içeren fotonlarla çalışmalarda tungsten hedef kullanılmaktadır (Braun, 1987).

X-Işını Floresans Tekniği (XRF) uygulanarak elektronlar ile incelenen yüzey bombardıman edilirken, yüzeyden saçılan parçacık yada ışınlar bir algılayıcı ile izlenmektedir. Yüzey üzerine düşen enerji ile algılanan enerji arasındaki fark, yüzeyin niteliklerini ortaya çıkartmaktadır (Şişecam, 1992).

Elektronlarla bombardıman edilen cam örnek yüzeyinden yayılan X-ışını fotonlarının enerji ve sayıları incelenerek malzeme yüzeyi hakkında bilgi edinilmektedir. Bu

analiz yöntemi sayesinde dört yüzey karakteri (kimyasal kompozisyon, faz ayrımı ve/veya kristallenme, yüzey gerilmeleri ve yüzey hataları) elde edilebilmektedir. (Şişecam, 1992).

Kullanılan spektrofotometrede ölçümü yapılacak cam örneğin konulduğu bölme daha geniş büyüklükteki örneklerle yetecek kadar bir yere sahiptir. Hazırlanan cam örnek sadece kenarlarından tutturularak spektrofotometrenin numune bölmesine yerleştirilmektedir. Örneğin konumu, yüzeyleri gelen ışığa dik olacak şekilde ayarlanmaktadır (TS11172, 1993). Geçirgenlik ve yansımalar camlarla ilgili ölçüm kurallarına göre hesaplanmaktadır. Detektör bölmesi, detektör topluluğunu içinde barındırmakta olup, standart detektör topluluğu, optik düzenek ve detektörleri içmektedir.

Işıma kaynakları, spektrometre biriminin en arka bölümüne yerleştirilmiştir. Kaynak lambalar, spektrometre biriminin üzerindeki menteşeyle tutturulmuş bir kapak vasıtasıyla kolayca yer değiştirebilmektedir. Spektrometrenin önemli öğeleri bir yansıtıcı, çift-ışın ve çift monokromatör optik sisteminden oluşmaktadır. Lambda 9 tipi spektrofotometrede iki ışın kaynağı vardır. Bunlardan birincisi döteryum lamba (DL) ve ikincisi bir halojen lambadır (HL). Bu lambalar, spektrometrenin çalıştığı dalgaboyu aralığını kapsamaktadır.

Spektrofotometre, deneylere uygun dalgaboyu aralığında geçirgenliği ve/veya yansıtmayı % 0.1 hassasiyetle ölçebilen bir cihazdır (TS11172, 1993). Farklı radyasyon tipleri karşısında çeşitli dozlarda ışınlanan, 3, 6 ve 10 kalınlıklardaki, kurşun-alkali-silika, borosilika, soda-kireç-silika ve baryum ve bor içeren özel bir optik kireçli cam olmak üzere dört farklı tipteki camın morötesi, görünür ışık ve solar ışık geçirgenlikleri ile görünür ışık ve solar ışık yansıtıcılıkları Perkin Elmer, Lambda 9 Spektrofotometre ile ölçülmüştür. Kullanılan bu spektrofotometre % 0.1 hassasiyetle ölçüm yapabildiğinden, cam ölçümlerinde belirtilen hassasiyet kurallarını sağlamaktadır. Tüm camlarımıza ilişkin alınan sonuçların bu hassasiyette olduğu söylenebilir.

## 5. DENEY SONUÇLARI

Cam sınıflandırması göz önüne alınırsa, üç farklı sınıfa mensup üç farklı cam tipinin, çeşitli radyasyon tipleri ile ışınlanmalarını takiben incelenen radyasyon tipi karşısındaki davranışları, bu bölüm içinde verilmektedir. Söz konusu sonuçlar, hem spektrofotometre sonuçları olarak ve hem de elde edilen verilerin değerlendirilmesi şeklinde sunulmaktadır.

Deney sonuçları; morötesi, görünür ve solar bölge olmak üzere üç ayrı bölge için, Avrupa Standartlar Komitesi'nin (CEN-European Committee For Standardization) belirlediği standartlara uygun olarak değerlendirilerek aşağıdaki bölümler içinde her cam tipi için ayrı ayrı verilmektedir (EN-410, 1998). Değerlendirmelerde, CEN standartlarının kullanılması, uluslararası alanda bilimsel terimler birliğinin sağlanması açısından önemlidir.

Test edilen camlardaki renklenme miktarları, Uluslararası Aydınlatma Komitesi'ne (ICI - International Commission on Illumination) göre verilmiş olup, renklenme hesapları için Uluslararası Renk Komitesi'nin (CIE-The Commission International de L'eclairage) tanımladığı kolorimetrik hesaplamalar kullanılmıştır. Ulaşılan sonuçlar da, yine uluslararası standartlara göre değerlendirilerek, ifade edilmeye çalışılmıştır.

### 5.1. Soda-Kireç-Silika Camlara İlişkin Sonuçlar

Soda-kireç-silika camların, gama, beta, nötron ve karışık radyasyondan oluşan, çeşitli radyasyon kaynakları karşısındaki, davranışları incelenmiştir. Böylelikle, soda-kireç-silika camların, elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerindeki çeşitli optik parametreler ile çalışılmıştır. İncelenmesi gerekli olduğu düşünülen bu optik parametreler, cam standartlarında belirtilen değerlerdir.

### 5.1.1. Soda-Kireç-Silika Camlar ile Gama Kaynağı Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları

Soda-kireç-silika camların morötesi, görünür ve solar bölgedeki optik özellikleri, yapılan spektrofotometrik analizler yardımıyla, aşağıdaki alt bölümlerde incelenmektedir.

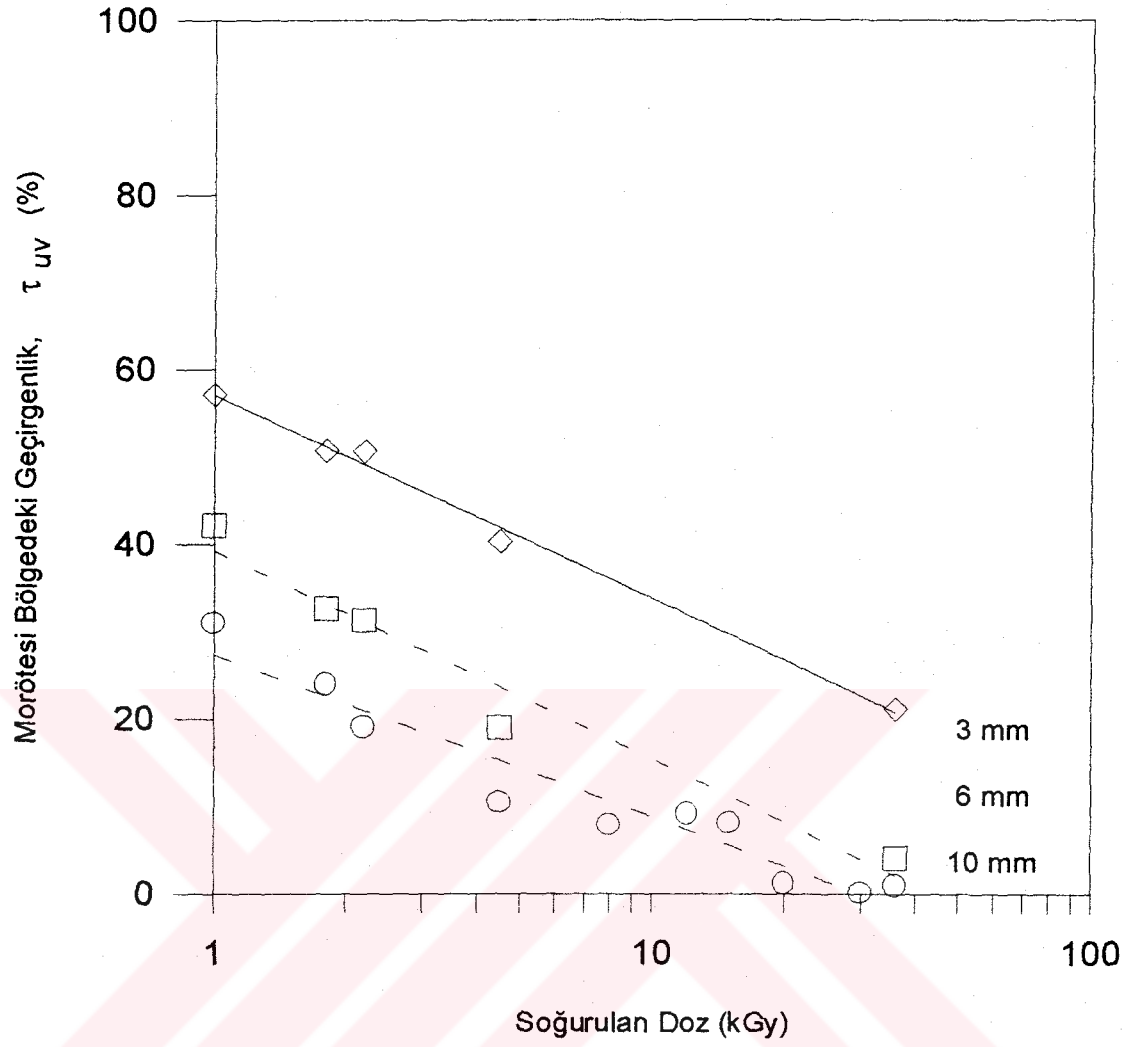
#### 5.1.1.1. Soda-Kireç-Silika Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Morötesi Bölgeye İlişkin Deneysel Sonuçlar

Co-60 radyoizotopu kullanılarak ışınlanan soda-kireç-silika camlarda, kalınlığa ve soğurulan doza bağlı, morötesi bölgedeki geçirgenlik değerlerine ilişkin sonuçlar Tablo 5.1'de verilmektedir. İncelenen standartlarda morötesi bölgeye ait toplam yansıtıcılık ihmal edilebilecek mertebede olduğundan standartlaştırılmamış olup, sadece morötesi bölgede toplam geçirgenlik hesaplamaları belirtilmektedir (EN-410, 1998). Bu sebeple, Tablo 5.1'de morötesi bölgedeki yansıtıcılık değerleri yer almamaktadır.

**Tablo 5.1.** Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik Değerlerine İlişkin Sonuçlar.

| Soğurulan Doz (kGy) | $\tau_{uv}$ (%) |       |       |
|---------------------|-----------------|-------|-------|
|                     | 3 mm            | 6 mm  | 10 mm |
| 0.0                 | 64.94           | 53.31 | 44.32 |
| 1.0                 | 57.16           | 42.20 | 30.89 |
| 1.8                 | 50.71           | 32.67 | 23.95 |
| 2.2                 | 50.63           | 31.29 | 19.06 |
| 4.5                 | 40.28           | 19.04 | 10.42 |
| 36.0                | 21.15           | 4.09  | 0.87  |

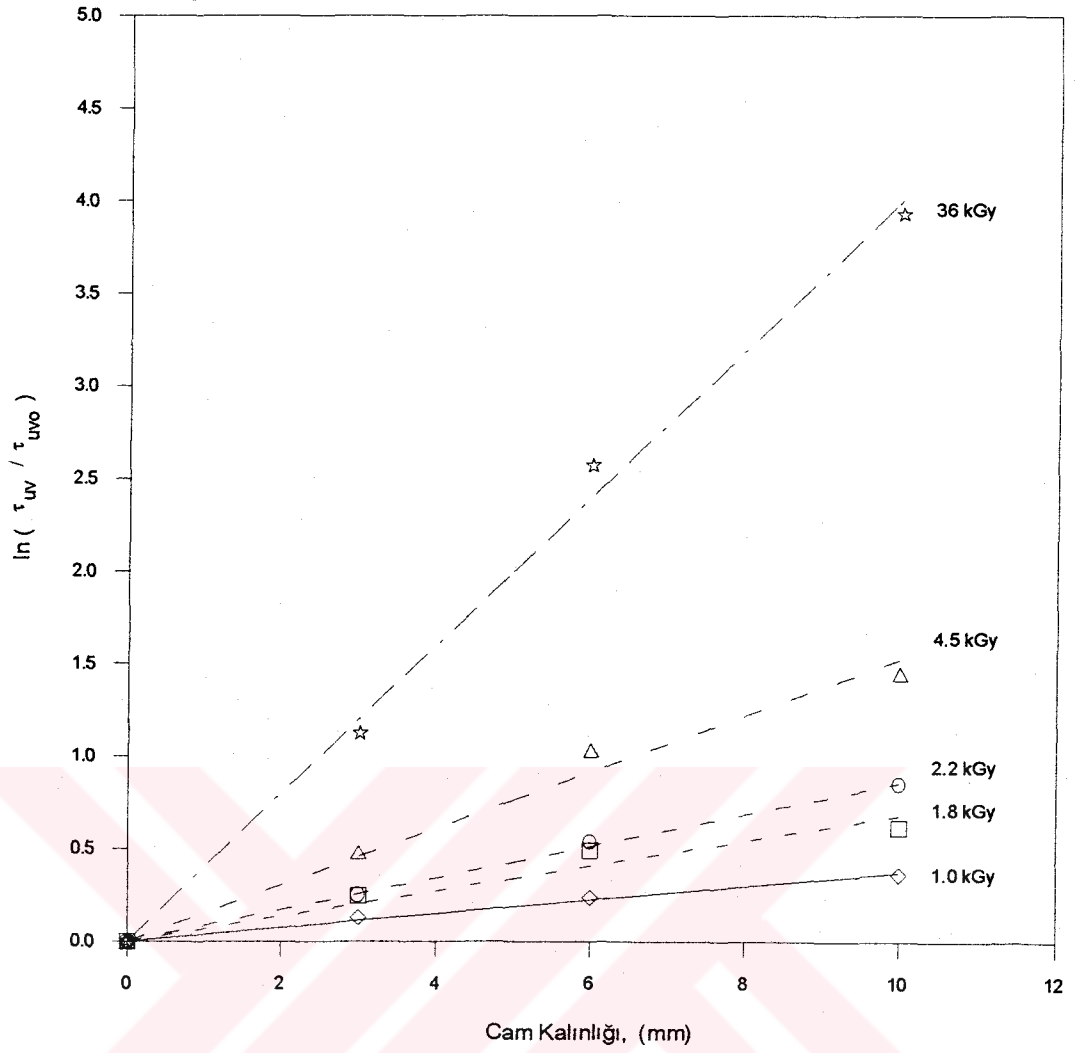
Co-60 radyoizotopu kullanılarak, ışınlanan soda-kireç-silika camların, morötesi bölgedeki değerleri, Denklem 3.32 yardımıyla hesaplanmış ve Şekil 5.1, böylelikle meydana getirilmiştir. Bu grafik incelenecek olursa, 36 kGy doz almış 10 mm kalınlıktaki camda, morötesi bölgeyi kapsayan geçirgenlikte oldukça önemli bir azalma görülmektedir. Söz konusu bu değişim, eksponansiyel (yarılogaritmik ekseninde, doğru) bir karaktere sahiptir. Ancak, cam kalınlığı arttıkça, morötesi bölgede meydana gelen geçirgenlikte önemli bir azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1. Cam Kalınlığına Bağlı, Morötesi Geçirgenlik Değişimi.

Morötesi bölgedeki geçirgenlikte, cam kalınlığına bağlı olarak meydana gelen değişim, Şekil 5.2’de görülmektedir. Cam kalınlığına bağlı olarak, yapılan incelemeler göz önüne alınacak olursa, eğrilerdeki değişimin soğurulan dozdaki artışa bağlı, olarak arttığı görülmektedir.

Bu grafiğe göre, incelenen soda-kireç-silika camların, geçirgenlikteki değişim eğimlerinin, camın soğurduğu gama radyasyonuna bağlı, karakteristik bir değişim sergilediği görülmektedir. Özellikle 36 kGy’lik doza maruz kalmış camlarda, cam kalınlığına bağlı eğrilerin eğimlerinin, bu camlara özgü karakteristik bir şekilde, hızla arttığı görülmektedir.



Şekil 5.2. Cam Kalınlığına Bağlı, Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik Değişimi.

#### 5.1.1.2. Soda-Kireç-Silika Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Görünür Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları

Co-60 radyoizotopu kullanılarak ısınlanan soda-kireç-silika camlarda kalınlığa ve soğurulan doza bağlı, görünür bölgedeki ışık geçirgenliği ( $\tau_v$ ) ve yansıtıcılık ( $\rho_v$ ) değerleri, CEN standartlarına göre, Denklem 3.21 ve Denklem 3.22'ye göre hesaplanmıştır. Soğurma ( $\alpha_v$ ) değerleri ise, görünür bölgeye göre, Denklem 3.26'da belirtildiği şekilde hesaplanmış ve elde edilen tüm sonuçlar, Tablo 5.2'de verilmiştir. Soda-kireç-silika camların geçirgenlik değerleri, hem cam kalınlığı ve hem de soğurulan dozadaki artmaya paralel olarak azalmaktadır. Bu camların görünür bölgedeki yansıtıcılık değerleri, genel olarak, cam kalınlığı ve doz miktarındaki artmaya bağlı olarak azalmaktadır. 10 mm kalınlıktaki camlarda, görünür ışık geçirgenliğindeki önemli azalmaya karşın, soğurmadaki artış dikkat çekicidir.

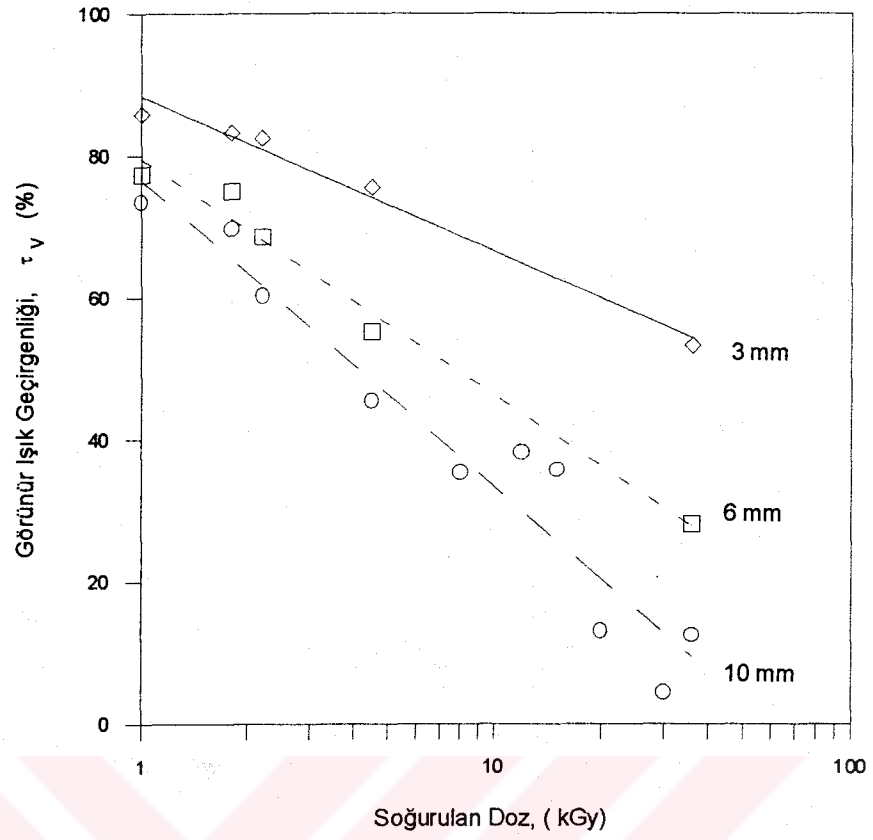
**Tablo 5.2.** Cam Kalınlığına Bağlı, Görünür Işık Geçirgenliği ( $\tau_v$ ), Yansıtıcılık ( $\rho_v$ ) ve Soğurma ( $\alpha_v$ ) Değerlerindeki Değişim

| Soğurulan<br>Doz<br>(kGy) | Işık geçirgenliği,<br>$\tau_v$ (%) |       |       | Işık yansıtıcılığı,<br>$\rho_v$ (%) |      |      | Işık soğurması,<br>$\alpha_v$ (%) |       |       |
|---------------------------|------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------|------|------|-----------------------------------|-------|-------|
|                           | 3mm                                | 6mm   | 10mm  | 3mm                                 | 6mm  | 10mm | 3mm                               | 6mm   | 10mm  |
| 0.0                       | 90.30                              | 88.22 | 86.44 | 7.90                                | 7.60 | 7.50 | 1.94                              | 4.92  | 6.16  |
| 1.0                       | 85.86                              | 78.79 | 73.45 | 7.29                                | 6.79 | 6.58 | 6.85                              | 14.42 | 19.97 |
| 1.8                       | 83.20                              | 74.97 | 69.68 | 7.10                                | 6.65 | 6.32 | 7.38                              | 18.38 | 24.00 |
| 2.2                       | 82.50                              | 68.60 | 60.23 | 6.93                                | 6.21 | 5.77 | 10.57                             | 25.20 | 34.00 |
| 4.5                       | 75.53                              | 55.20 | 45.48 | 6.35                                | 6.26 | 5.14 | 18.13                             | 38.55 | 49.28 |
| 36.0                      | 53.26                              | 28.10 | 12.43 | 5.15                                | 4.27 | 4.00 | 41.60                             | 67.63 | 83.57 |

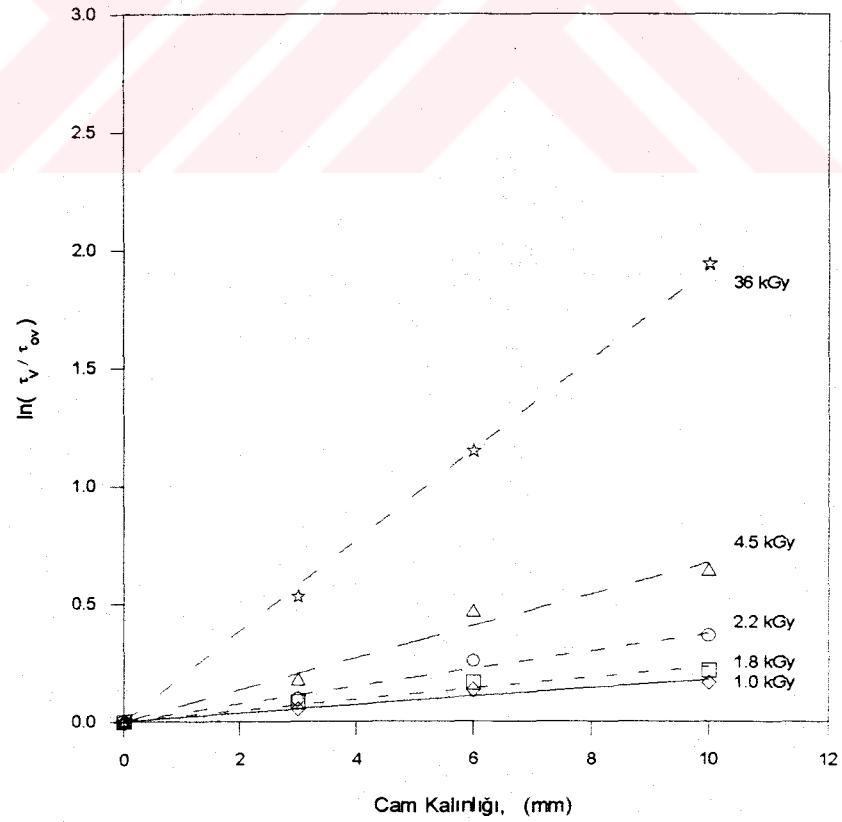
Tablo 5.2’de dikkat çekici bir diğer nokta; yüzde en yüksek değerler bağlamında, bu camların görünür bölgedeki, geçirgenlik ve soğurma değerlerine göre, yansıtıcılık değerlerinin hayli küçük olduğudur. Ancak, camların görünür bölgedeki yansıtıcılık değerleri, kendi içinde değerlendirildiğinde, özellikle 10 mm kalınlıktaki camlarda önemli bir azalma görülmektedir.

Soğurulan doza bağlı olarak, görünür bölgedeki geçirgenlik Şekil 5.3’de görülmektedir. Bu sonuçlara göre, görünür bölgedeki geçirgenliğin en yüksek olduğu cam, 3 mm kalınlıktaki camdır. Bütün bunlara ek olarak, soğurulan doz arttıkça, görünür bölgedeki geçirgenlikte önemli bir azalma görülmektedir. Özellikle, 10 mm kalınlıktaki camlarda bu değişimin oldukça belirgin olduğu görülmektedir. Deneyler boyunca çalışılan bu camlardaki ışık geçirgenliği değişimleri, camların soğurduğu doz için, yarılogaritmik ekseninde çizilmiştir. Böylelikle, uygulanan dozdaki artışa bağlı olarak, meydana gelen bu değişimlerin, lineer bir karakter taşıdığı belirlenmiştir.

Cam kalınlığına bağlı olarak, bağıl ışık geçirgenliği değişimini gösteren, Şekil 5.4, spektrumun görünür bölgesi için çizilmiştir. Bu grafikte bağıl geçirgenlik ile soğurulan doz ve cam kalınlığı arasında önemli bir ilişki olduğu görülmektedir. Ayrıca, yaklaşık 36 kGy’lik doz seviyesinde, 10 mm kalınlığındaki camın görünür ışık geçirgenliğinde meydana gelen azalma ile ulaşılan değer "hayli" önemlidir.

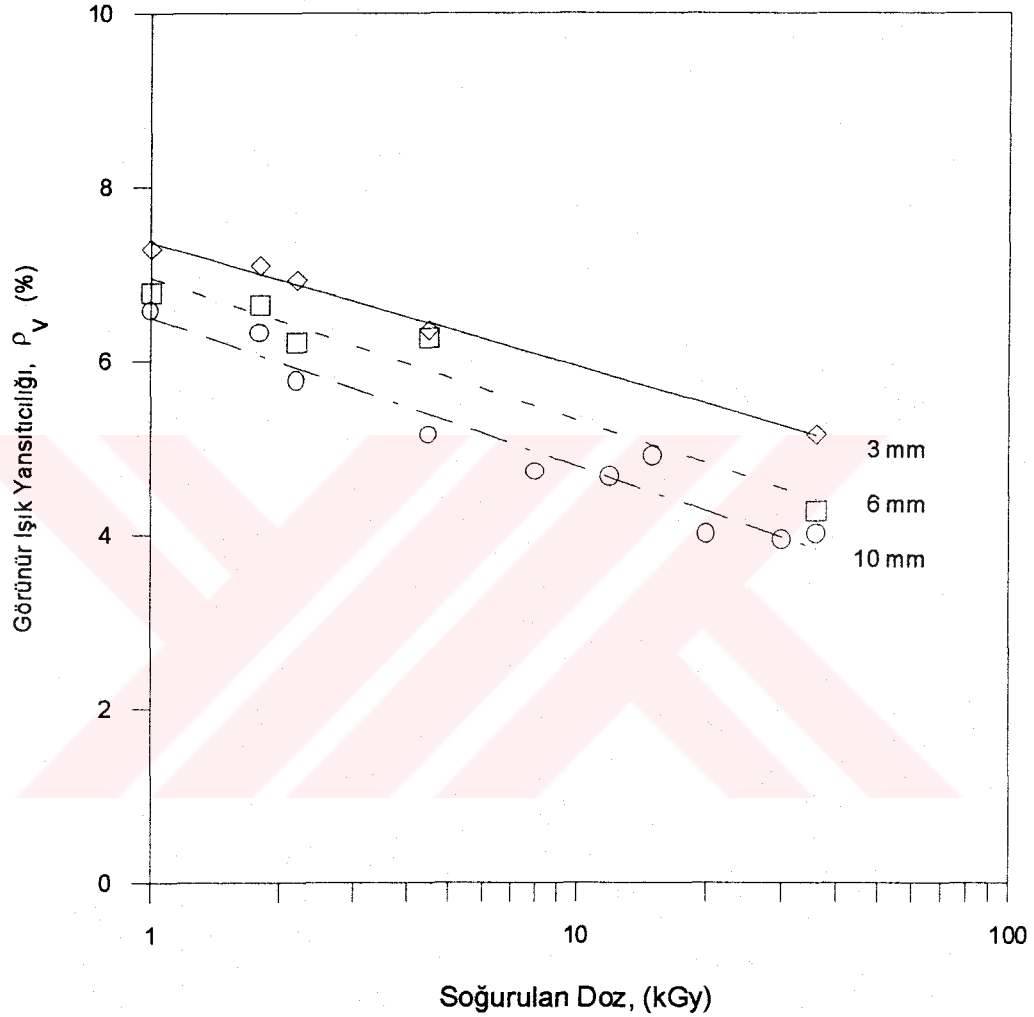


Şekil 5.3. Görünür Işık Geçirgenliğinin Soğurulan Doza Göre Değişimi.



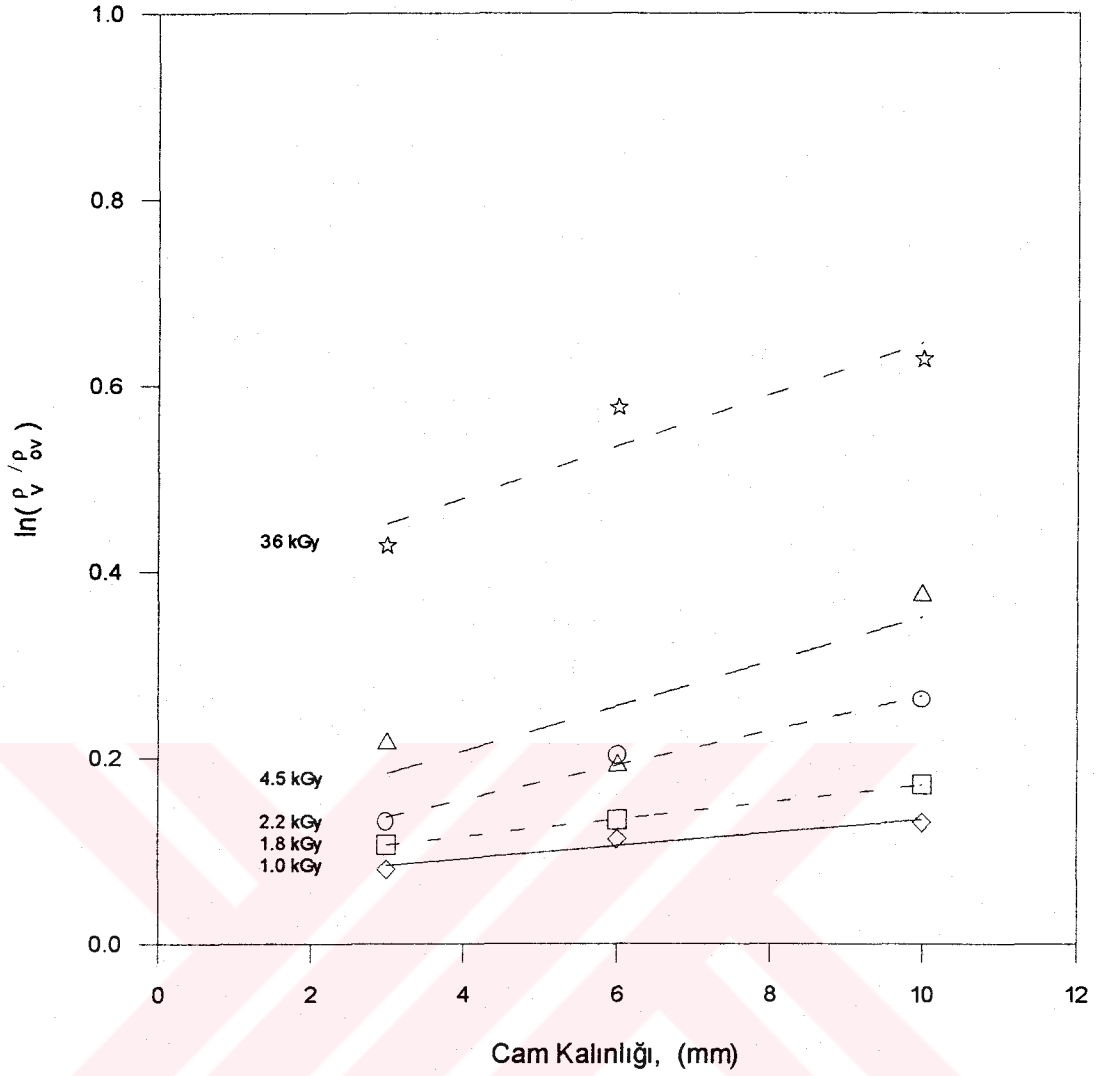
Şekil 5.4. Bağlı Görünür Işık Geçirgenliğinin Cam Kalınlığına Göre Değişim.

Soğurulan doza bağlı olarak, görünür bölgedeki yansıtıcılık değişimi Şekil 5.5’de görülmektedir. Elektromanyetik spektrumun görünür bölgesini içeren aralıkta, cam kalınlığına bağlı olarak, soda-kireç-silika camlarda, yansıtıcılık önemli değişim göstermemektedir. Cam kalınlığındaki artışa göre, görünür bölgedeki yansıtıcılığın, yarılogaritmik ekseninde, lineer bir değişim oluşturduğu belirlenmiştir.



**Şekil 5.5.** Görünür Işık Yansıtıcılığının Soğurulan Doza Bağlı Değişimi.

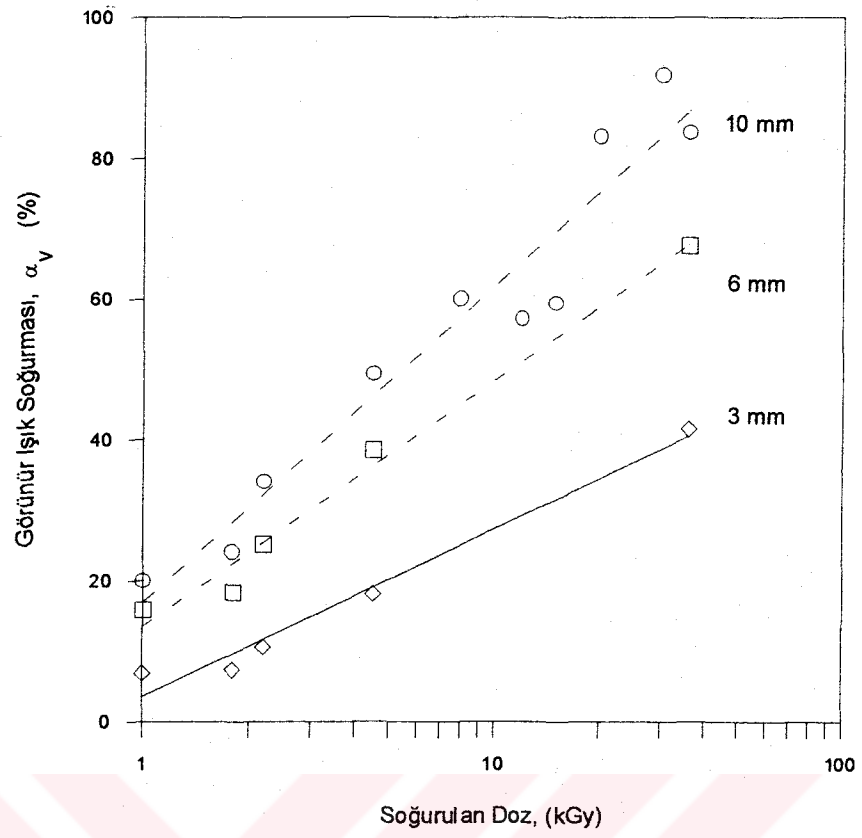
Şekil 5.6'daki grafikte, cam kalınlığındaki artışa göre, görünür bölgedeki yansıtıcılıkta, lineer karakterde oluşan, değişimlerin meydana geldiği tespit edilmiştir. Eğimdeki bu değişimler, camlara uygulanan dozdaki artıştan kaynaklanmakta olup, yapının radyasyondan daha fazla etkilenmesi sonucu, giderek artan bir tarzda, farklılık göstermektedir. Bağlı yansıtıcılık eğiminin, özellikle, camların soğurduğu en yüksek gama radyasyon dozu olan, 36 kGy'de, belirgin bir şekilde arttığı tespit edilmiştir.



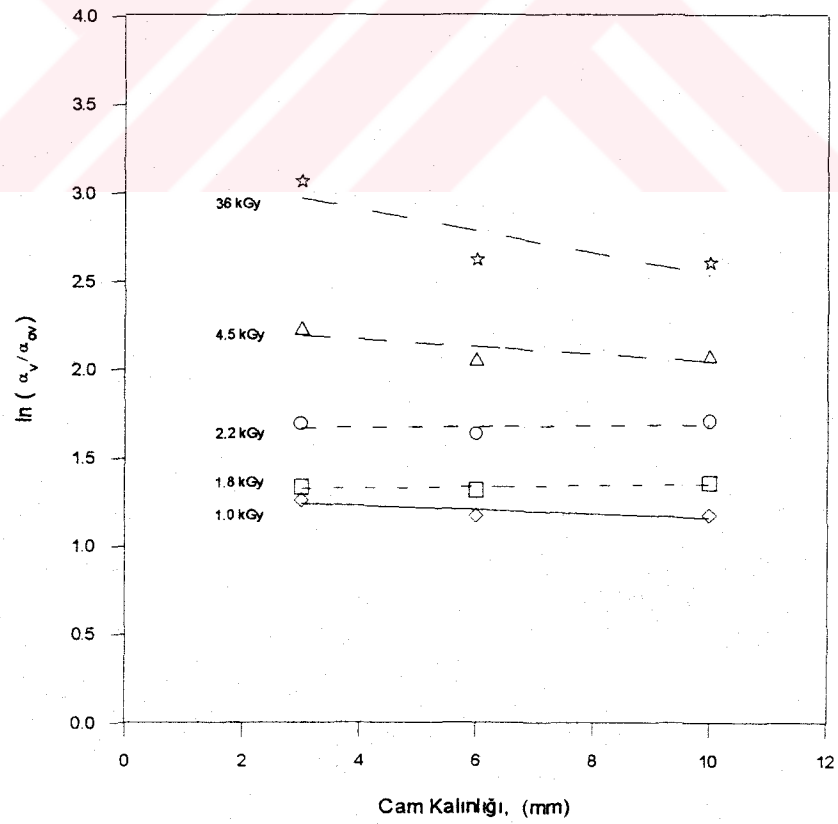
Şekil 5.6. Görünür Bölgedeki Bağlı Geçirgenliğin Kalınlığına Göre Değişimi.

Şekil 5.7'deki grafikte, soğurulan dozdaki artışa bağlı olarak, görünür bölgedeki soğurma yarılogaritmik ekseninde gösterilmektedir. Özellikle 10 mm kalınlıktaki soda-kireç-silika camlara özgü, karakteristik bir artış belirlenmiştir. Lineer olarak meydana gelen bu artışlar değerlendirildiğinde, uygulanan en yüksek gama dozu olan, 36 kGy'de, elektromanyetik spektrumun, görünür bölgesindeki soğurmanın, oldukça belirginleştiği tespit edilmiştir.

Şekil 5.8'de, hiç doz almamış camlara göre, yaklaşık 1 kGy'lik doz almış camlar incelenirse, kalınlıktaki artışa bağlı olarak, görünür bölgedeki soğurulan ışıktaki önemli bir değişim olmamaktadır. Diğer bir değişle, bu doğrunun eğiminin yaklaşık sıfır olduğunu düşünmek mümkündür.



Şekil 5.7. Görünür Bölgedeki Işık Soğurmasının, Soğurulan Doza Göre Değişimi.



Şekil 5.8. Görünür Bölgedeki Bağıl Soğurmanın Cam Kalınlığına Göre Değişimi.

### 5.1.1.3. Soda-Kireç-Silika Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Solar Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları

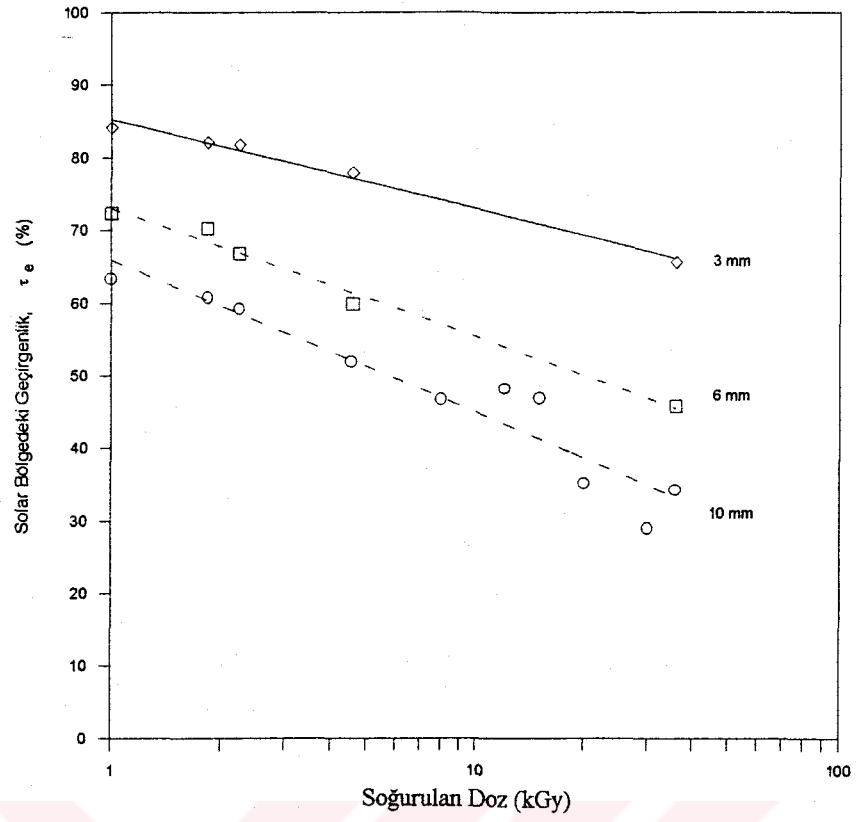
Co-60 radyoizotopu kullanılarak ışınlanan soda-kireç-silika camlarda, kalınlığa ve soğurulan doza bağlı, incelenen dalga boylarındaki spektrofotometreden elde edilen optik parametreler göz önüne alınarak, CEN Standartları'na göre, Denklem 3.27 - Denklem 3.28'de tanımlandığı gibi solar bölgedeki geçirgenlik ve yansıtıcılık değerleri hesaplanmıştır. Solar bölgedeki soğurma değeri, Denklem 3.26 yardımıyla belirlenmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar, Tablo 5.3'de verilmektedir.

**Tablo 5.3. Cam Kalınlığa Bağlı Solar Işık Geçirgenliği, Yansıtıcılık ve Soğurma Değerleri.**

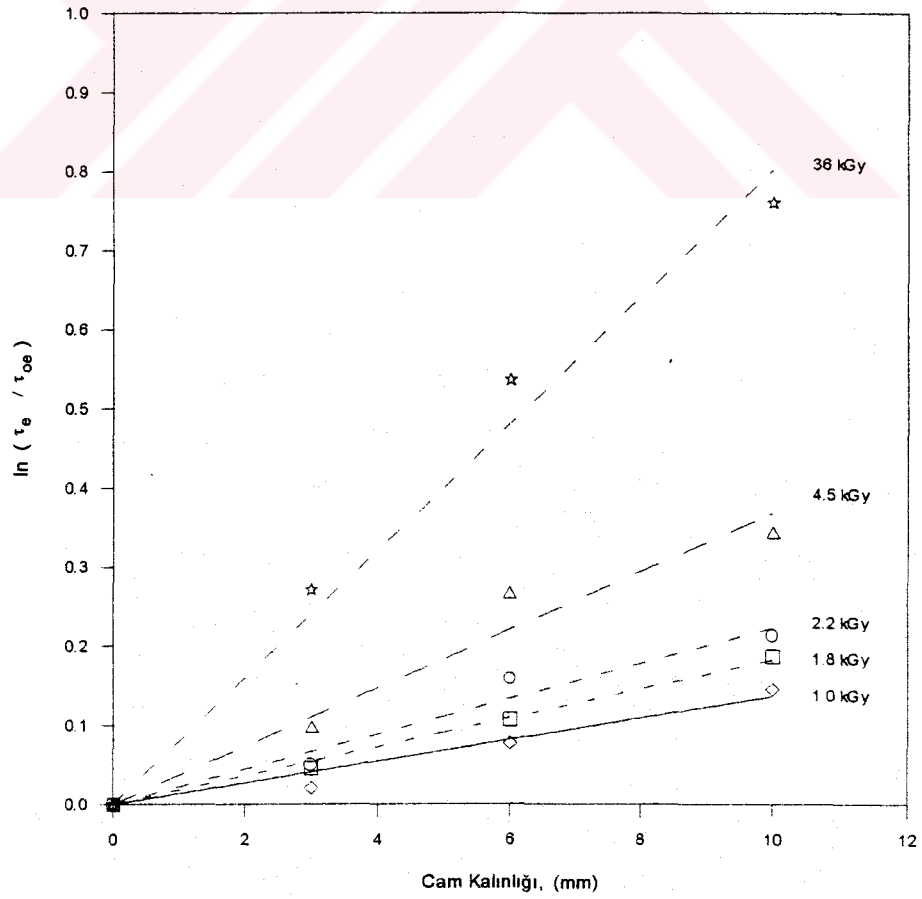
| Soğurulan    | Solar geçirgenlik |       |       | Solar yansıtıcılık |      |       | Solar soğurma  |       |       |
|--------------|-------------------|-------|-------|--------------------|------|-------|----------------|-------|-------|
|              | $\tau_e$ (%)      |       |       | $\rho_e$ (%)       |      |       | $\alpha_e$ (%) |       |       |
| Doz<br>(kGy) | 3 mm              | 6 mm  | 10 mm | 3 mm               | 6 mm | 10 mm | 3 mm           | 6 mm  | 10 mm |
| 0.0          | 85.90             | 78.15 | 73.16 | 7.54               | 6.58 | 6.39  | 4.48           | 14.49 | 20.94 |
| 1.0          | 83.18             | 72.37 | 66.33 | 7.33               | 6.19 | 6.10  | 8.52           | 21.44 | 30.80 |
| 1.8          | 82.09             | 70.24 | 61.16 | 7.11               | 6.14 | 5.80  | 10.80          | 23.62 | 33.49 |
| 2.2          | 81.75             | 66.74 | 52.42 | 7.00               | 6.06 | 5.62  | 11.14          | 27.20 | 35.25 |
| 4.5          | 76.23             | 59.85 | 45.00 | 6.79               | 5.51 | 5.34  | 15.32          | 34.64 | 42.78 |
| 36.0         | 65.52             | 45.74 | 34.20 | 5.95               | 4.99 | 4.37  | 28.53          | 49.27 | 61.43 |

Soğurulan doza bağlı, solar bölgedeki geçirgenlik değişimi, Şekil 5.9'da görülmektedir. 10 mm kalınlıkta, 3 mm kalınlığa göre solar geçirgenlikte önemli ve karakteristik bir azalma tespit edilmiştir. Solar bölgedeki geçirgenlik, bu camlara uygulanan 36 kGy'lik dozda yapının radyasyondan etkilenmesinin bir sonucu olarak, oldukça belirgin bir azalma oluşmaktadır.

Cam kalınlığına bağlı olarak, solar bölgede geçirgenlikteki değişim Şekil 5.10'da görülmektedir. Cam kalınlığına bağlı olarak meydana gelen değişimler incelenecek olursa, uygulanan dozdaki artışa göre, ışık geçirgenliğinde de önemli azalmalar olduğu görülmektedir.



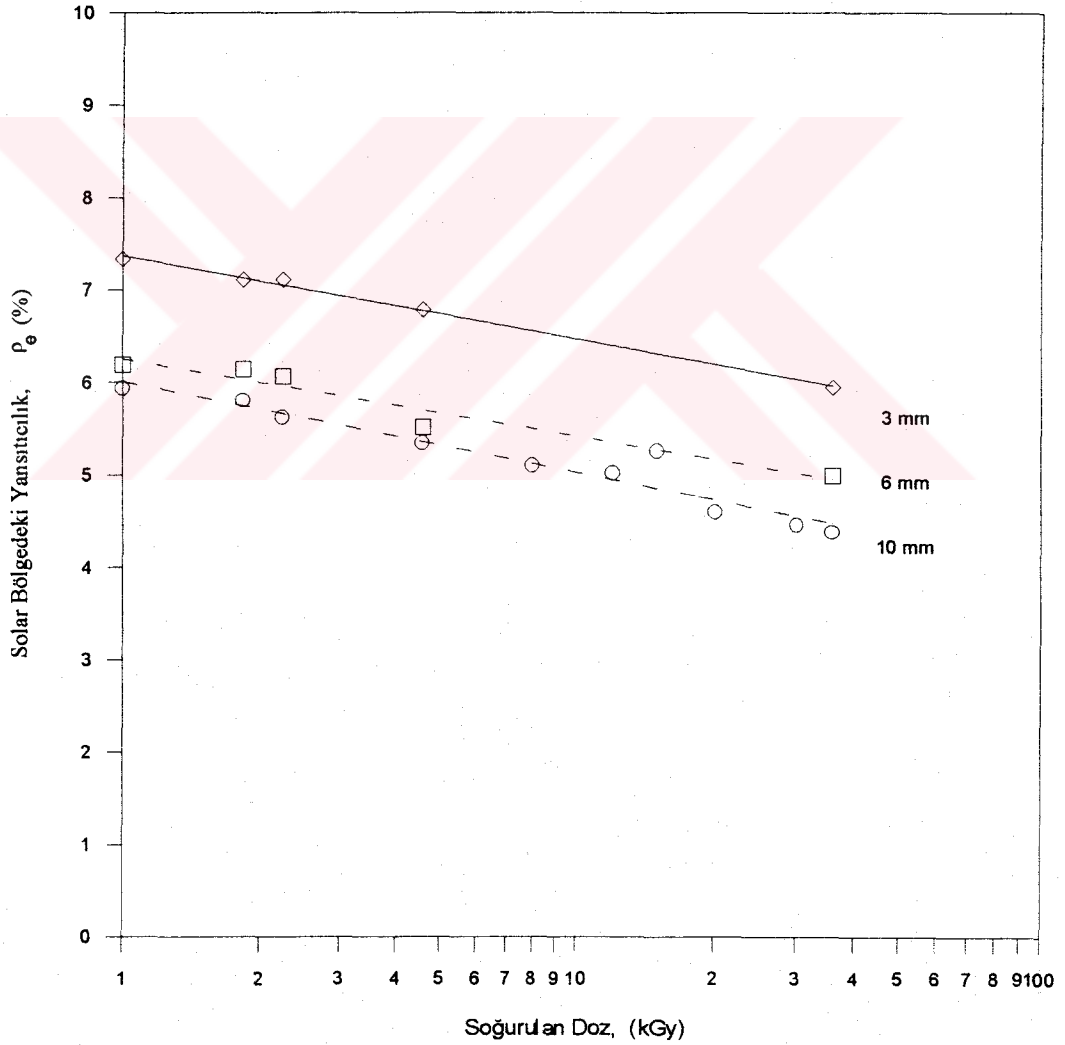
Şekil 5.9. Soğurulan Doza Bağlı Solar Bölgedeki Geçirgenliğin Değişimi.



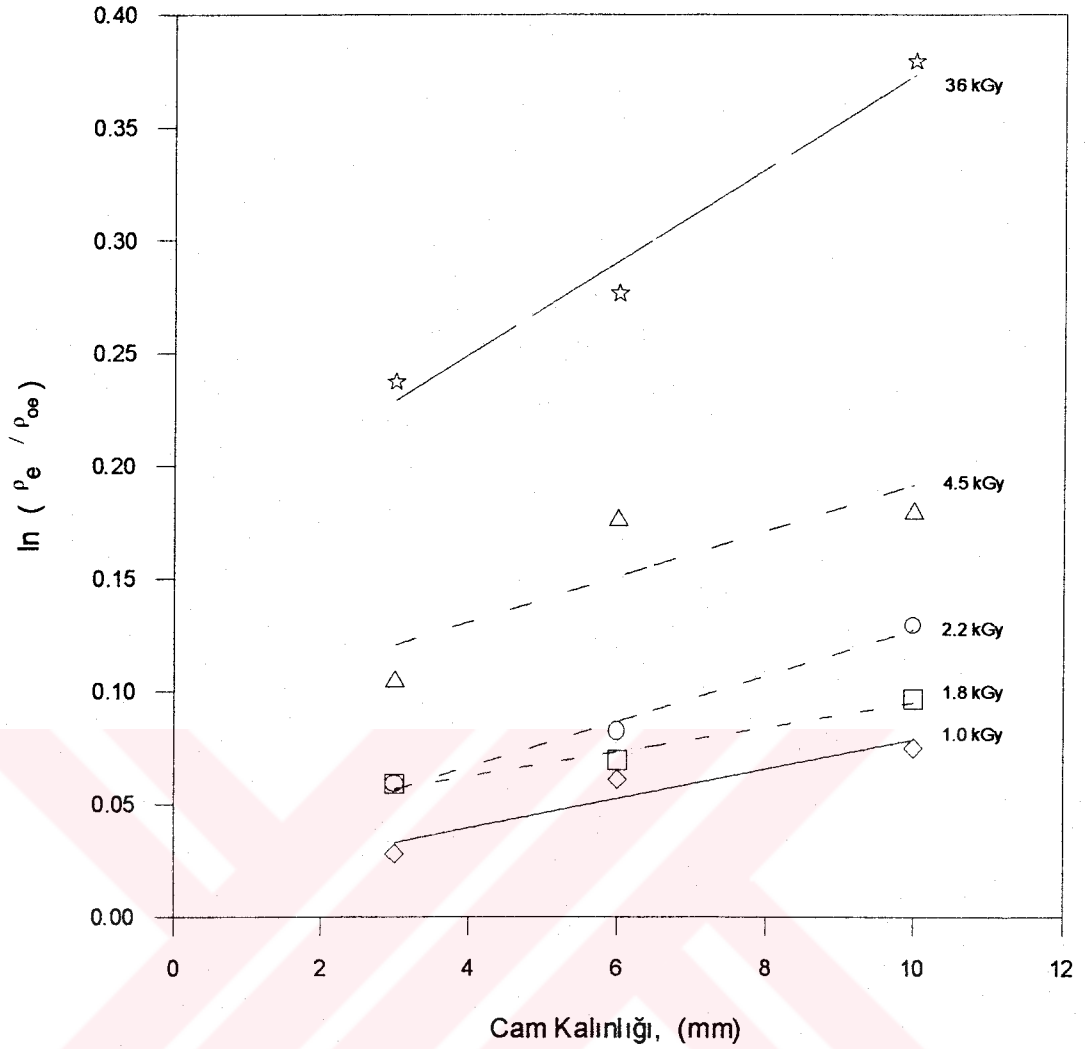
Şekil 5.10. Cam Kalınlığa Bağlı Solar Bölgedeki Geçirgenliğin Değişimi.

Şekil 5.11’de, solar bölgedeki soğurulan doza bağlı olan, yansıtıcılık değişimi görülmektedir. Cam tarafından, 36 kGy’lik soğurulan doz göz önüne alınırsa, 10 mm kalınlıktaki camda, diğer kalınlıklara göre, malzeme miktarı daha fazla olduğundan, camın diğer yüzeyinden olan solar bölgedeki yansıma azalmaktadır. Böylelikle, solar bölgedeki yansıtıcılık için elde edilen bu sonuçların, 10 mm kalınlıkta, 3 mm kalınlığa göre, beklenti doğrultusunda, azalarak gerçekleştiği düşünülmektedir.

Şekil 5.12’de, cam kalınlığına bağlı olarak, solar bölgedeki bağıl yansıtıcılık değişimi görülmektedir. 36 kGy’lik gama radyasyon dozuna maruz kalmış, 10 mm kalınlıktaki, soda-kireç-silika camların, solar bölgedeki yansıtıcılık eğiminde oldukça belirgin bir artış meydana geldiği görülmektedir.



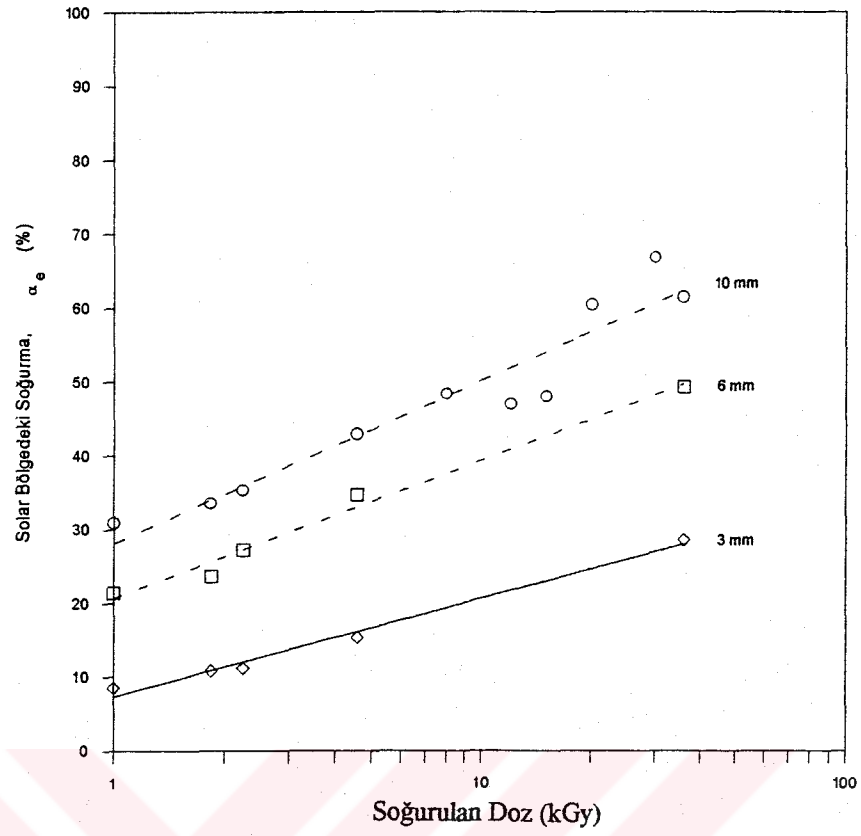
Şekil 5.11. Soğurulan Doza Bağlı Solar Bölgedeki Yansıtıcılık Değişimi.



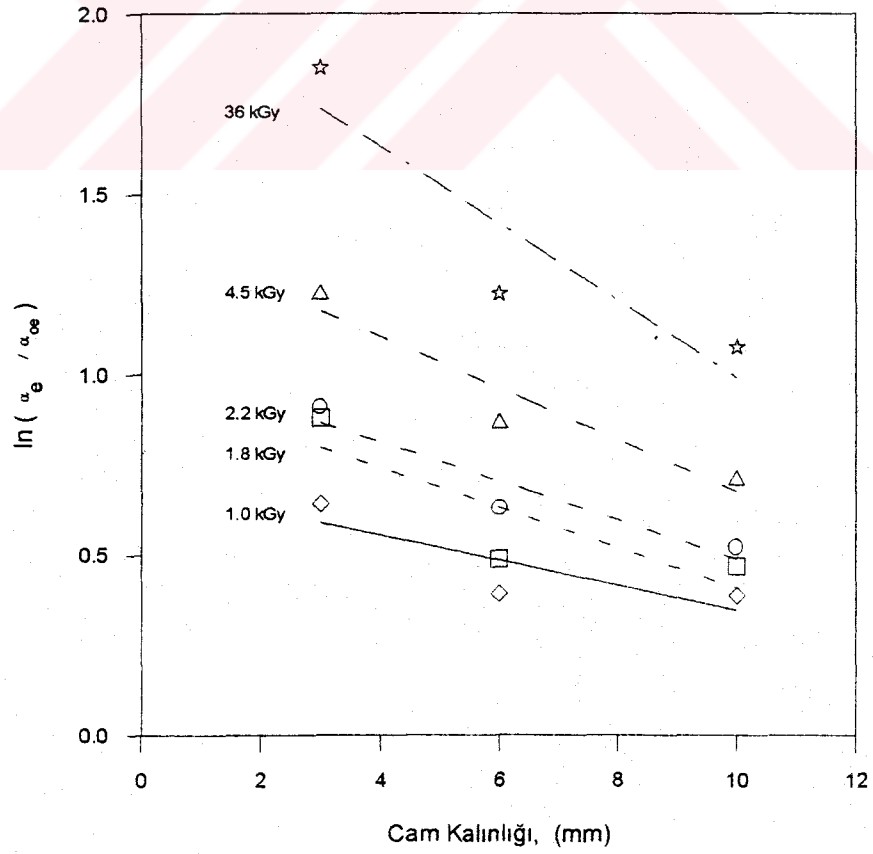
**Şekil 5.12.** Cam Kalınlığına Bağlı Solar Bölgedeki Yansıtıcılık Değişimi.

Şekil 5.13'deki, camların soğurduğu doza bağlı olarak, solar bölgedeki soğurmada oluşan değişim, yarı logaritmik eksenlerdeki lineer bir değişimdir. Bu grafiğe göre, 10 mm kalınlıktaki camlarda, diğer incelenen cam kalınlıklarına göre, malzeme miktarının fazlalığından kaynaklanan, belirgin bir artışın olduğu görülmektedir.

Şekil 5.14'deki, cam kalınlığına bağlı olarak, solar bölgedeki bağıl soğurmada meydana gelen değişim, camlara uygulanan dozun artması ile belirginleşmektedir. Camların bağıl soğurmasında tespit edilen bu artış, camların maruz kaldığı en yüksek gama radyasyon dozu olan, 36 kGy'de, bu camlara özgü, oldukça hızlı bir azalma göstermektedir.



Şekil 5.13. Soğurulan Doza Bağlı, Solar Bölgede Soğurmadaki Değişim.



Şekil 5.14. Cam Kalınlığına Bağlı, Solar Bölgede Soğurmadaki Değişim.

### 5.1.2. Soda-Kireç-Silika Camları ile Beta Kaynağı Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları

Beta parçacıklarının, özellikle, cam yapıdaki ağır metal elementleri ile etkileşimi sonucu, "Bremstrahlung" veya frenleme ışınlamaları adı verilen, X-ışınlarının oluşumu söz konusudur. Bu nedenle, özellikle, yüksek atom numaralı metal elementlerine sahip camlarla çalışmaktan kaçınılmıştır. Beta kaynağı ile yapılan çalışmalarda, beta parçacıklarının mümkün olduğunca cam yapı içine nüfuz etmesinin sağlanması istenmiştir. Bu yüzden, mümkün olduğunca düşük atom numaralı elementlere sahip camlarla çalışması düşünülmüştür. Böylelikle, beta parçacıklarının cam yapıdaki tüm elementlerle etkileşiminin sağlanması ve doğrudan doğruya beta parçacıklarının oluşturacağı renk merkezlerinin meydana getirilmesi istenmiştir. İncelediğimiz camlar içinde, özellikle, soda-kireç-silika camların, beta parçacıkları ile oluşturulacak en uygun renk merkezlerini meydana getireceği düşünülmüştür.

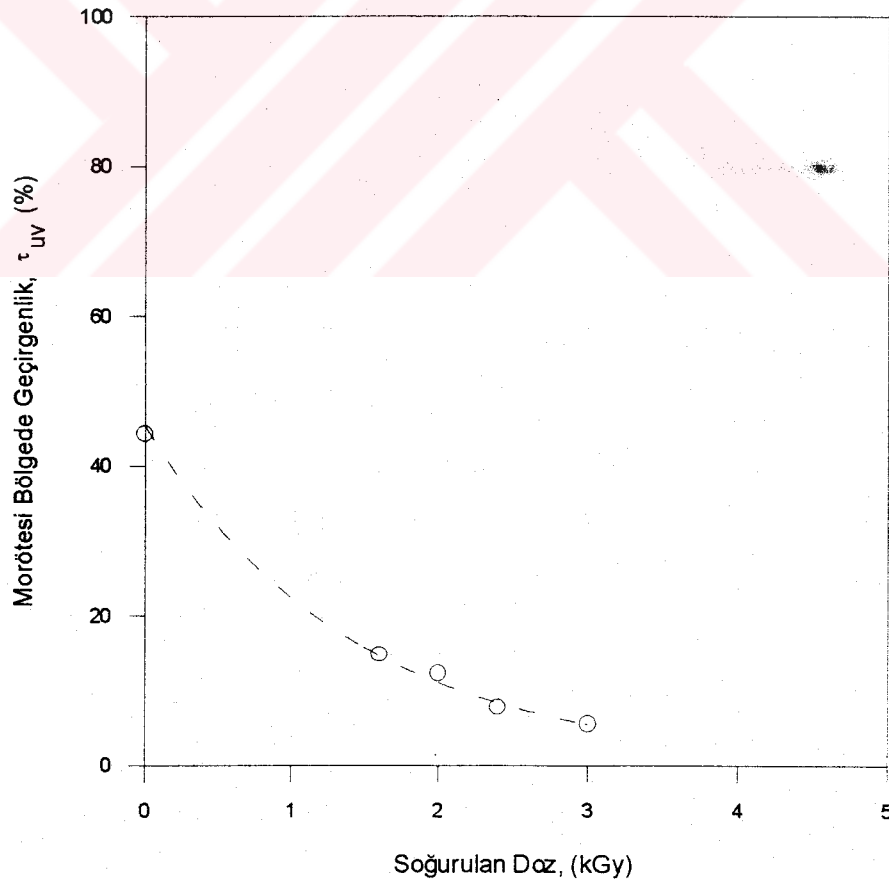
Sr-90 radyoizotopu kullanılarak, 10 mm kalınlıktaki soda-kireç-silika camlarının, beta radyasyonu karşısındaki davranışları incelenmeye çalışılmıştır. Gama ışınları ile camların ışınlanmasından sonra, yapılan spektrofotometrik incelemelerde, optik değerlerde oluşan maksimum değişimlerin, 10 mm kalınlıktaki camlarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sebeple, beta kaynağı ile yapılan deneylerde, beta ışınlarının karakteri de göz önüne alınarak, gama ışınları ile yapılan deneylerde edinilen deneyim bağlamında, sadece 10 mm kalınlıktaki camlarla çalışılması düşünülmüştür.

Bu amaçla, 5 cm x 5 cm boyutlarında ve 10 mm kalınlıktaki, bir adet soda-kireç-silika cam, söz konusu deneyler için kullanılmıştır. Belirli doz aralıklarında beta ışınlarına maruz kalan bu camın, her defasında spektrofotometre kullanılarak, geçirgenlik ve yansıtıcılık ölçümleri yapılmıştır. Laboratuvar çalışmasına başlandığında Sr-90 radyoizotopunun aktivitesinin 3.58 mCi olduğu tespit edilmiştir ve uzun süreli ışınlamalar yapılmıştır. Ancak, Sr-90 radyoizotopunun yarıömrü, 27,7 yıl olduğundan, her spektrofotometrik ölçüm yapıldığında yeni aktivite hesabı da yapılmıştır ve böylece cam tarafından soğurulan doz hesaplanmıştır. Deney sonuçları Tablo 5.4'de görülmektedir.

**Tablo 5.4.** 10 mm Kalınlıktaki Soda-Kireç-Silika Camların Optik Değerleri.

| Soğurulan Doz (kGy) | $\tau_v$ (%) | $\tau_e$ (%) | $\tau_{uv}$ (%) | $\rho_v$ (%) | $\rho_e$ (%) | $\alpha_v$ (%) | $\alpha_e$ (%) |
|---------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| 0.0                 | 86.31        | 72.65        | 44.32           | 7.53         | 6.41         | 6.16           | 20.94          |
| 1.6                 | 50.84        | 55.18        | 14.73           | 5.47         | 5.42         | 47.90          | 41.52          |
| 2.0                 | 45.69        | 69.66        | 12.29           | 5.08         | 5.10         | 49.22          | 25.24          |
| 2.4                 | 37.47        | 47.31        | 7.70            | 4.36         | 4.73         | 58.18          | 47.97          |
| 3.0                 | 31.44        | 44.23        | 5.40            | 4.32         | 4.71         | 64.25          | 51.06          |

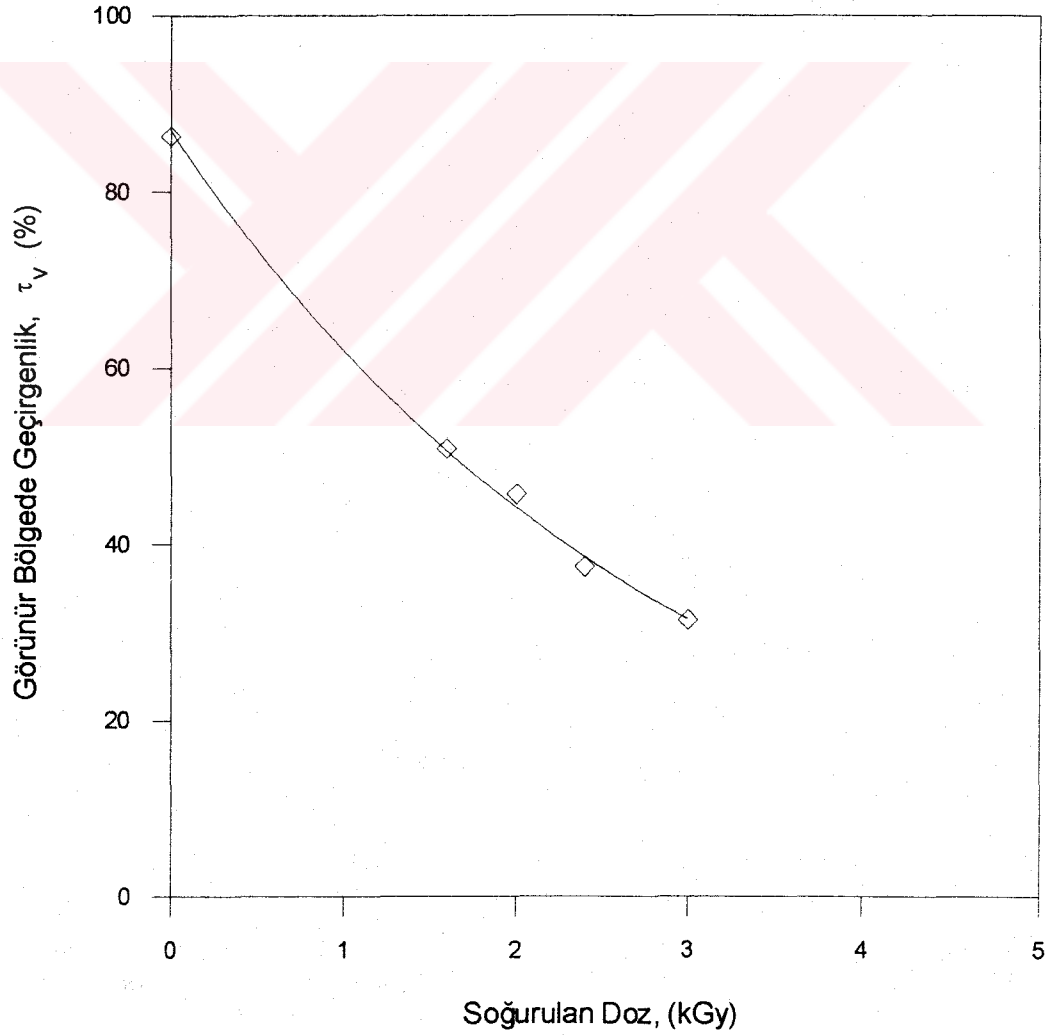
Şekil 5.15’de, soğurulan doza bağlı olarak, camların elektromanyetik spektrumdaki, morötesi bölgede meydana gelen geçirgenlik değerindeki değişimin, üstel bir şekilde azaldığı görülmektedir. Yaklaşık 2 kGy’e kadar beta ışınlarına maruz bırakılan camların, morötesi bölgedeki geçirgenliğinde hızlı sayılabilecek bir azalma olduğu belirlenmiştir. Ancak, uygulanan bu doz üzerinde, yaklaşık 3 kGy’e kadar, başlangıçtaki morötesi bölge geçirgenliğine göre, yavaş sayılabilecek bir azalma olduğu tespit edilmiştir.



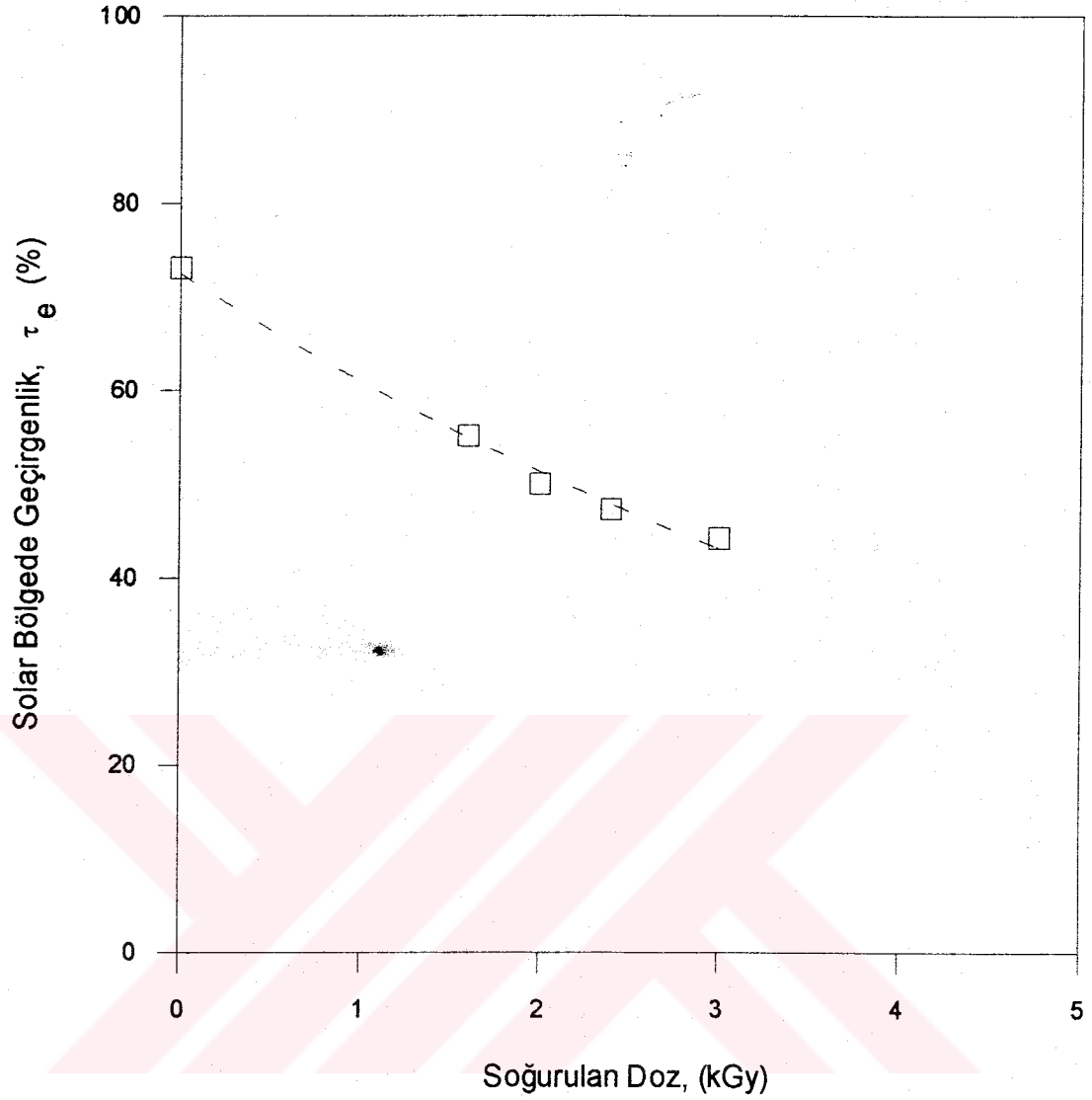
**Şekil 5.15.** Doza Bağlı, Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik Değişimi.

Şekil 5.16'da, Sr-90 radyoizotop kaynak kullanılarak, cam yapının uyartılması sonucu, görünür bölgedeki geçirgenlikte oluşan değişimler görülmektedir. Soğurulan dozdaki artışa bağlı olarak, görünür bölgedeki geçirgenlikte, oldukça hızlı sayılabilecek bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.17'de, solar bölgedeki geçirgenlikte, beta parçacıkları ile cam yapının uyartılması sonucu oluşan değişimler görülmektedir. Cam tarafından soğurulan dozdaki artışa bağlı olarak, bu bölgedeki geçirgenlikte lineer bir azalmanın meydana geldiği belirlenmiştir. Solar bölgedeki geçirgenlikte meydana gelen azalmanın, görünür bölgedeki geçirgenlikteki meydana gelen azalmadan daha düşük olduğu görülmektedir.



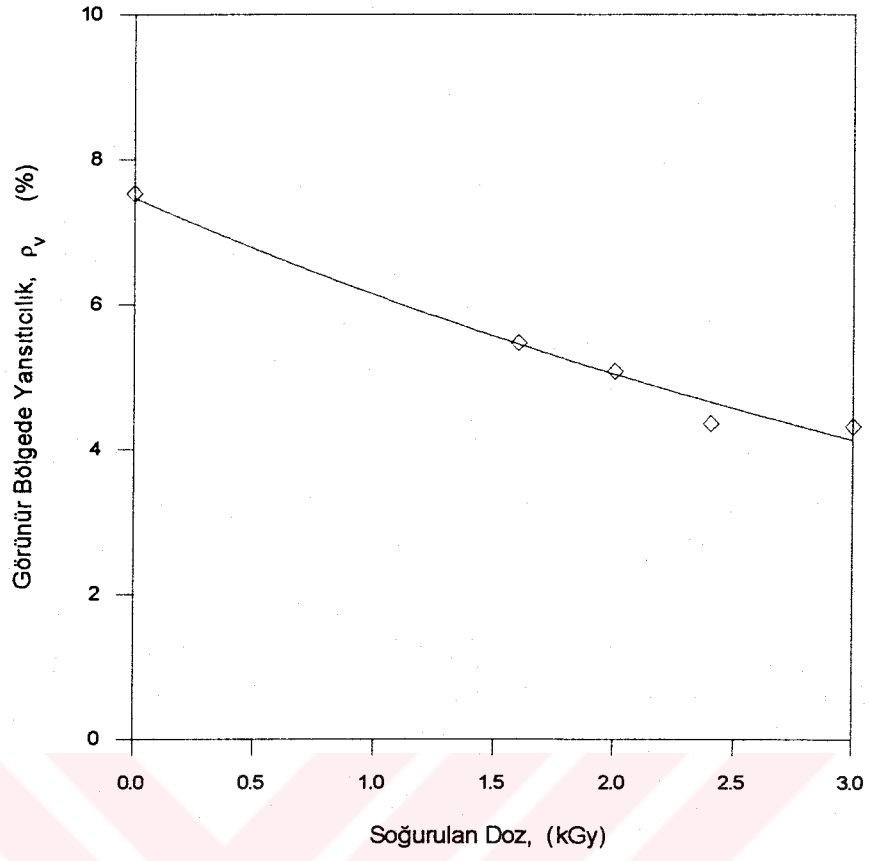
Şekil 5.16. Soğurulan Doza Bağlı, Görünür Bölgedeki Geçirgenlik Değişimi.



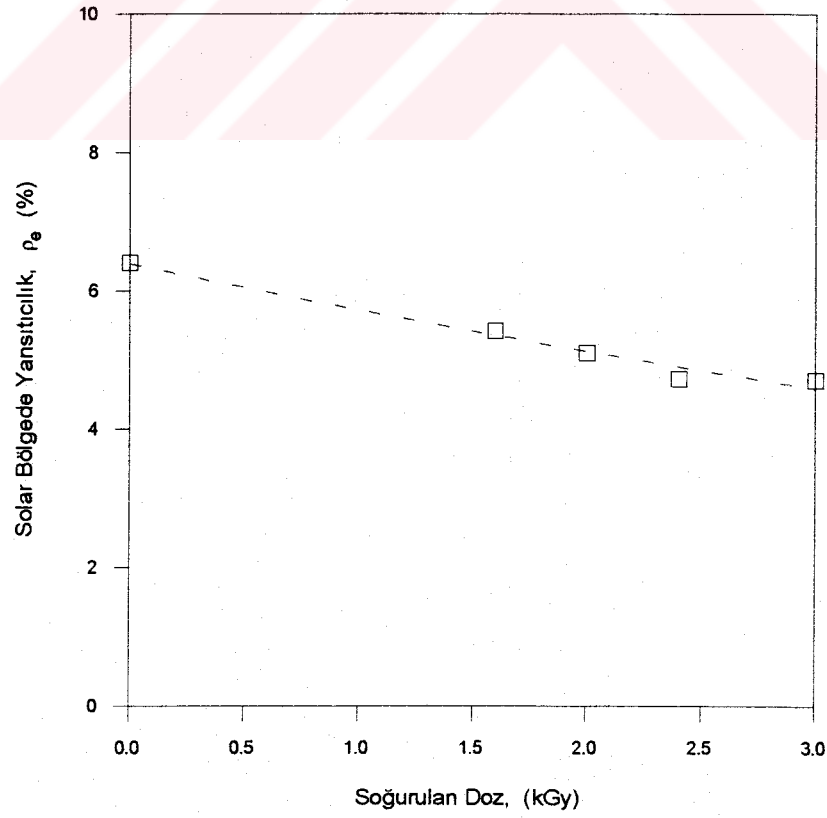
**Şekil 5.17.** Soğurulan Doza Bağlı, Solar Bölgedeki Geçirgenlik Değişimi.

Şekil 5.18’de, 3 kGy’e kadar, cam tarafından soğurulan doza bağlı olarak, görünür bölgedeki yansıtıcılık değerlerinde lineer karakterde bir değişimin meydana geldiği görülmektedir. Cam tarafından soğurulan doz arttıkça, yansıtıcılıkta, bu camlara özgü bir azalmanın olduğu belirlenmiştir.

Şekil 5.19’da, cam tarafından soğurulan dozdaki artışa bağlı olarak, solar bölgedeki yansıtıcılık değerlerinde meydana gelen değişim görülmektedir. Soğurulan doz arttıkça, bu bölgedeki yansıtıcılıkta, lineer karakterli bir azalmanın olduğu tespit edilmiştir.

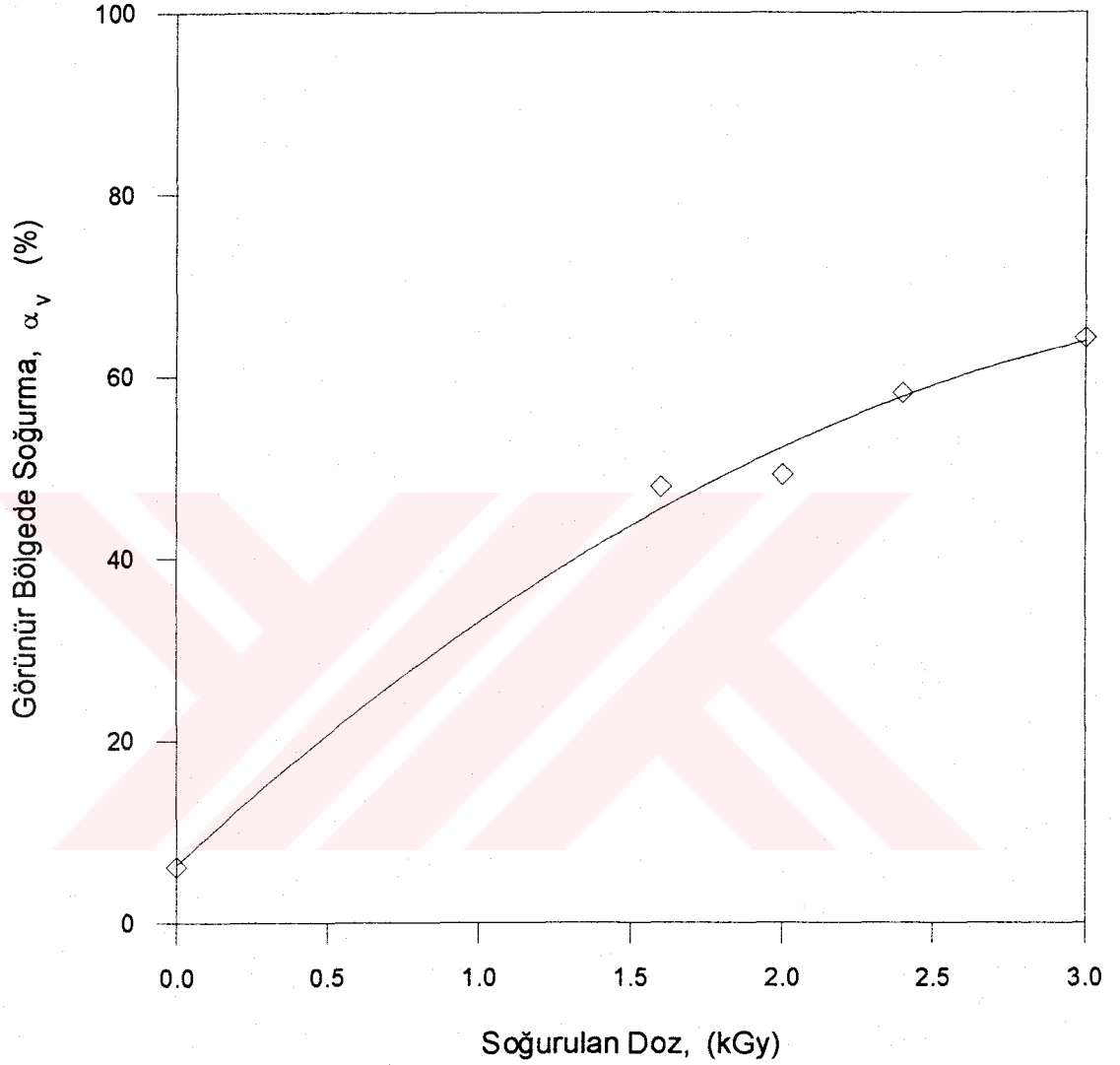


Şekil 5.18. Soğurulan Doza Bağlı, Görünür Bölgedeki Yansıtıcılık



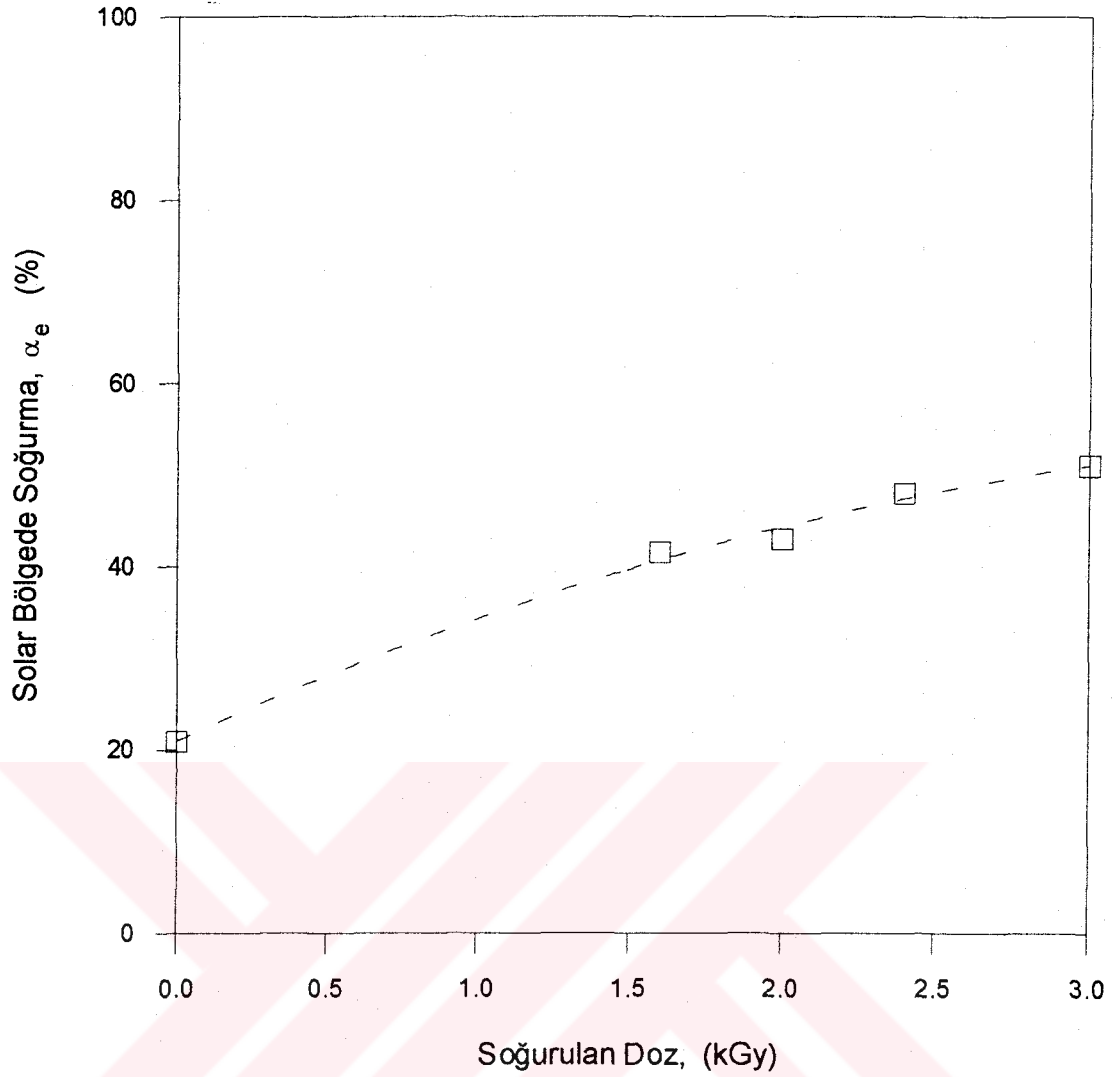
Şekil 5.19. Soğurulan Doza Bağlı, Solar Bölgedeki Yansıtıcılık Değişimi.

Şekil 5.20’de, soğurulan doza bağlı olarak, görünür bölgedeki soğurmanın üstel karakterde meydana gelen bir değişim olduğu görülmektedir. Soğurulan dozdaki artışa bağlı olarak, bu bölgedeki soğurmanın, 3 kGy’e kadar, monoton bir şekilde arttığı görülmüştür.



**Şekil 5.20. Soğurulan Doza Bağlı, Görünür Bölgedeki Soğurma**

Şekil 5.21’de, soda-kireç-silika camların, soğurulan dozdaki artışa bağlı olarak, solar bölgedeki soğurma değerlerinde meydana gelen değişimin incelenmeye çalışılmıştır. Sr-90 radyoizotopu etkisinde kalan camların, soğurduğu dozdaki artışa bağlı olarak, solar bölgedeki soğurmanın giderek arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.21. Soğurulan Doza Bağlı, Solar Bölgedeki Soğurma

#### 5.1.3. Soda-Kireç-Silika Camları ile İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Teğetsel Işınlama Tüpünde Yapılan Deneyler

Gama ışınları ile camların ısıtılmasından sonra, yapılan spektrofotometrik incelemelerde, optik değerlerde oluşan maksimum değişimlerin, 10 mm kalınlıktaki camlarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sebeple, Teğetsel Işınlama Tüpü ile yapılan deneylerde, gama ışınlarında edinilen deneyim bağlamında, sadece 10 mm kalınlıktaki camlarla çalışılması düşünülmüştür.

Soda-kireç-silika camlara ilişkin, Teğetsel Işınlama Tüpü kullanılarak yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar, reaktörün 250 kW güçte, 30 dakika çalıştırılmasıyla sağlanmıştır. Yapılan çalışma sonuçları, Tablo 5.5’de verilmektedir.

**Tablo 5.5. Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan, Deney Sonuçları.**

| Işınlama Süresi (dakika) | $\tau_v$ (%) | $\tau_e$ (%) | $\tau_{uv}$ (%) | $\rho_v$ (%) | $\rho_e$ (%) | $\alpha_v$ (%) | $\alpha_e$ (%) |
|--------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| 0                        | 86.31        | 72.65        | 44.32           | 7.53         | 6.41         | 6.16           | 20.94          |
| 30                       | 67.89        | 63.14        | 28.52           | 6.09         | 5.68         | 6.09           | 31.18          |

#### 5.1.4. Soda-Kireç-Silika Camları ile İTÜ NEE TRİGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı Yapılan Deneyler

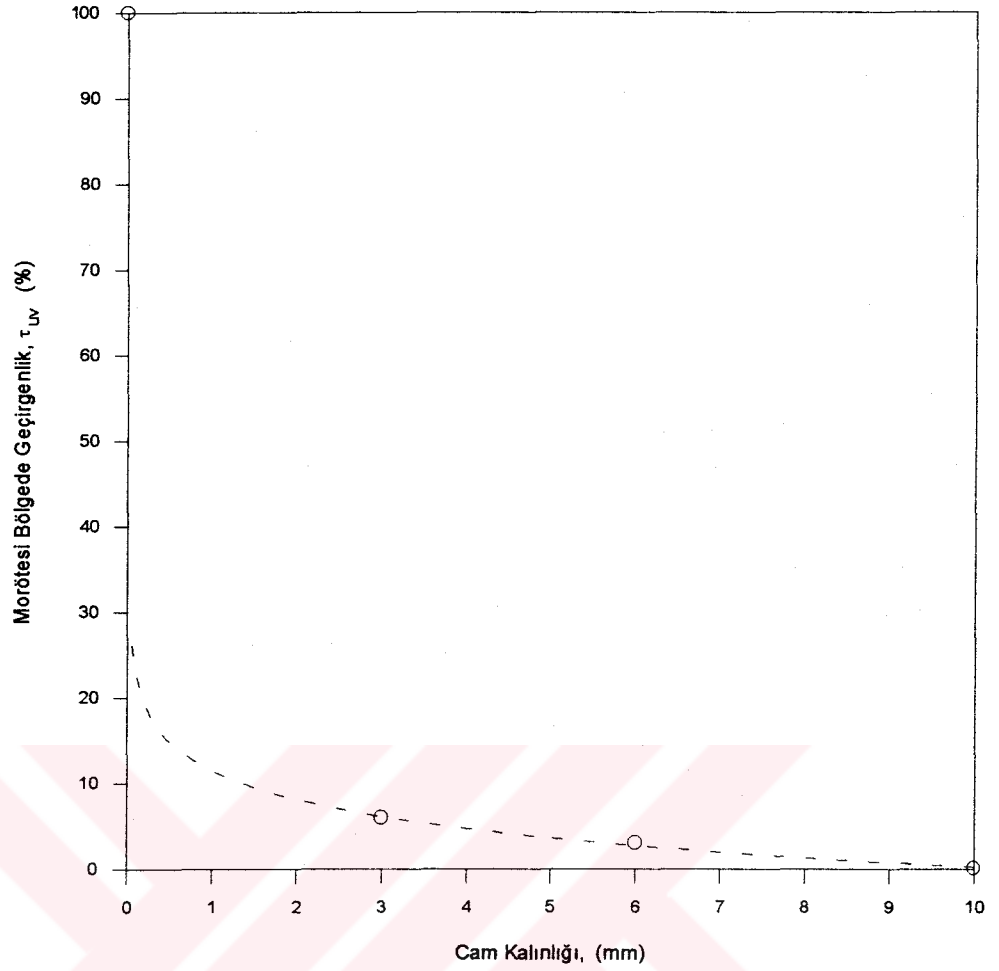
Reaktör tankı içindeki ışınlama düzeneklerinden, Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak, yapılan çalışmalarda sonuçlar, Tablo 5.6'da görülmektedir. Böylelikle, nötron, gama ve az miktarda da olsa betalardan oluşan karışık doz almış, 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki camların optik özelliklerinde oluşan spektral değişimler incelenmiştir.

Merkezi Işınlama Kanalı içinde, cam örneklerinin ısınlanması, reaktörün 250 kW güçte, 5 dakika çalıştırılması ile sağlanmıştır. Karışık radyasyonla ısınlanan camlar, aldıkları doz sonucu, şeffaf renkten koyu kahve rengine dönüşmüştür. Işınlamalar sonunda, mümkün olduğunca çabuk bir şekilde, radyasyonla uyartılarak renk değiştiren bu cam örneklerin spektrofotometrik ölçümleri yapılmıştır.

**Tablo 5.6. Merkezi Işınlama Kanalı Işınlanan Camların Optik Özelliklerinde Oluşan Değişim.**

| Cam Kalınlığı (mm) | $\tau_v$ (%) | $\tau_e$ (%) | $\tau_{uv}$ (%) | $\rho_v$ (%) | $\rho_e$ (%) | $\alpha_v$ (%) | $\alpha_e$ (%) |
|--------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| 3                  | 28.51        | 51.74        | 5.97            | 5.00         | 5.91         | 66.49          | 42.35          |
| 6                  | 10.00        | 37.00        | 3.00            | 4.60         | 5.30         | 85.40          | 57.70          |
| 10                 | 2.48         | 25.06        | 0.04            | 4.20         | 4.48         | 93.32          | 70.45          |

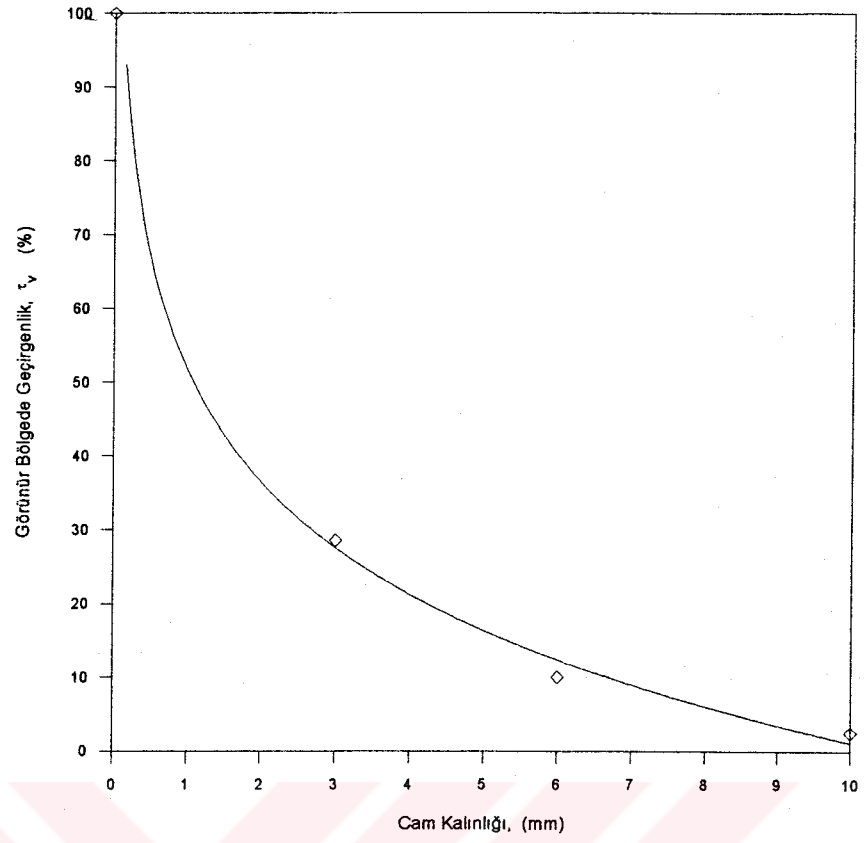
Şekil 5.22'de, Merkezi Işınlama Tüpü'nde ısınlanan camların kalınlığındaki artışa bağlı olarak, elektromanyetik spektrumun, morötesi bölgesindeki geçirgenliğinde, bu cama özgü karakteristik bir azalma görülmektedir. Cam kalınlığına bağlı olarak, meydana gelen bu azalma, yaklaşık 6 mm kalınlıktan sonra, oldukça belirginleşmektedir. Çalışılan doz göz önüne alınsa, 10 mm kalınlıktaki cam örneklerde oluşan geçirgenliğin sıfıra oldukça yakın bir değere ulaşması dikkat çekicidir.



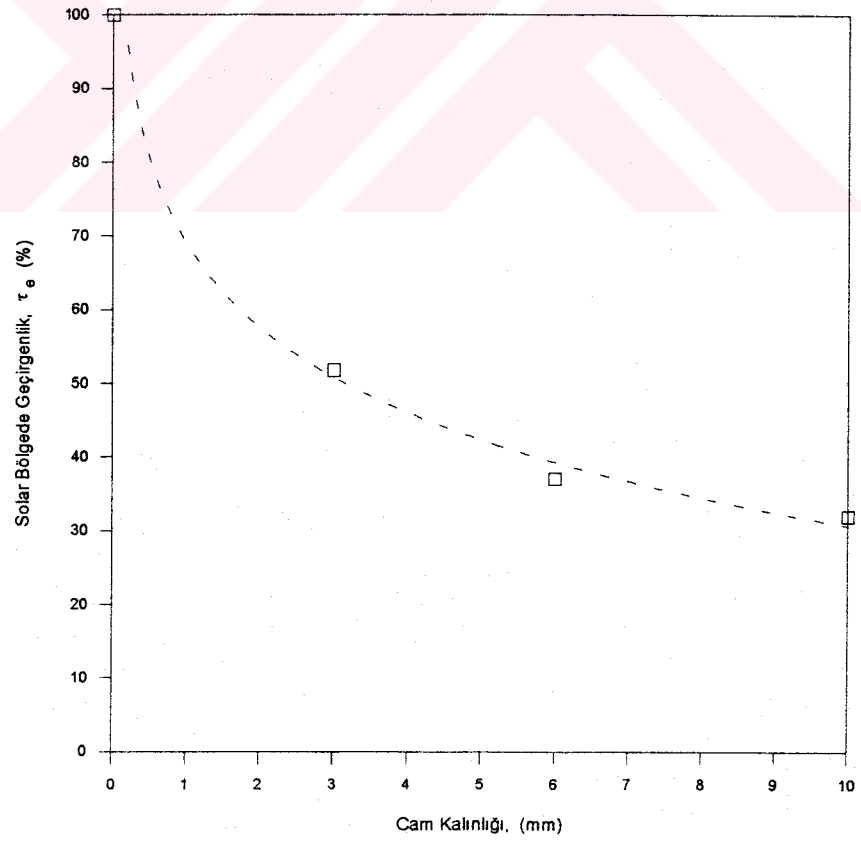
**Şekil 5.22.** Merkezi Işınlama Kanalında Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Morötesi Bölgedeki Geçirgenlikte Oluşan Değişimler.

Şekil 5.23’de, karışık radyasyonla ışınlanmış örneklerde, cam kalınlığına göre, görünür bölgedeki geçirgenlikte meydana gelen azalma, cam kalınlığındaki artışa bağlı olarak, çok hızlı bir şekilde oluşmaktadır. Bu grafikte, karışık radyasyonla ışınlanmış soda-kireç-silika camlarda, görünür bölgedeki geçirgenlikte oluşan değişim, kalınlığa bağlı olarak eksponansiyel karakterde azalma gösteren bir değişimdir ve 10 mm kalınlıktaki camda önemli bir azalma göstermektedir.

Şekil 5.24’de, karışık radyasyonla ışınlanmış camların kalınlığındaki artışa göre, solar bölgedeki geçirgenlikte oluşan azalma hızlı bir şekilde oluşarak, üstel karakterde bir değişim göstermektedir. Bu grafikte, hiç doz almamış camlar göz önüne alınacak olursa, karışık dozla ışınlanmış camların geçirgenliğinde meydana gelen en büyük değişim, görünür bölgede oluşmaktadır. Geçirgenlikte oluşan en az değişim ise, morötesi bölgede meydana gelmektedir. Ancak, morötesi geçirgenliğin sıfıra yakınsadığı görülmektedir.

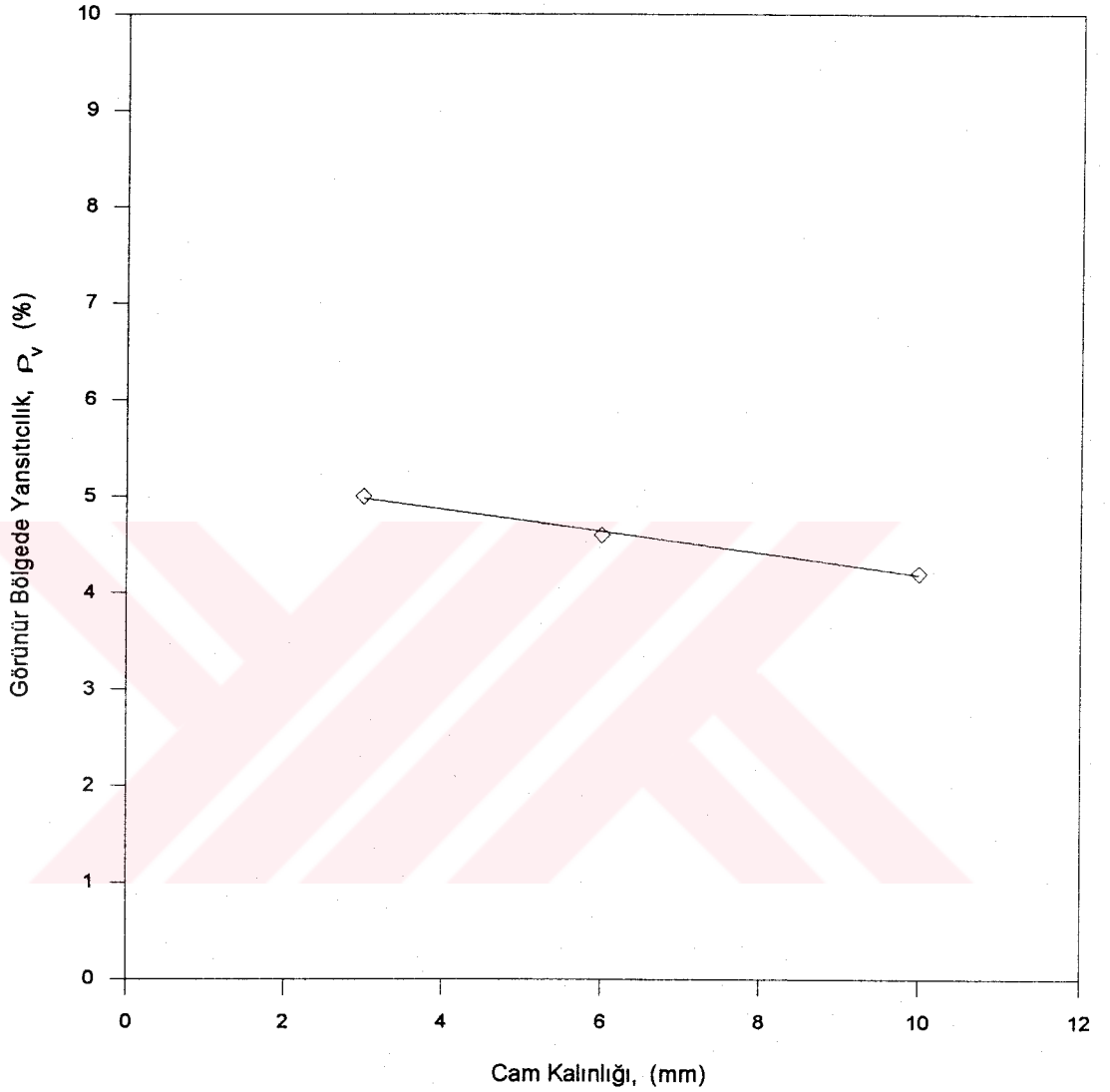


**Şekil 5.23.** Görünür Bölgedeki Geçirgenlikte Oluşan Değişimler.



**Şekil 5.24.** Solar Bölgedeki Geçirgenlik Değerlerindeki Değişimler.

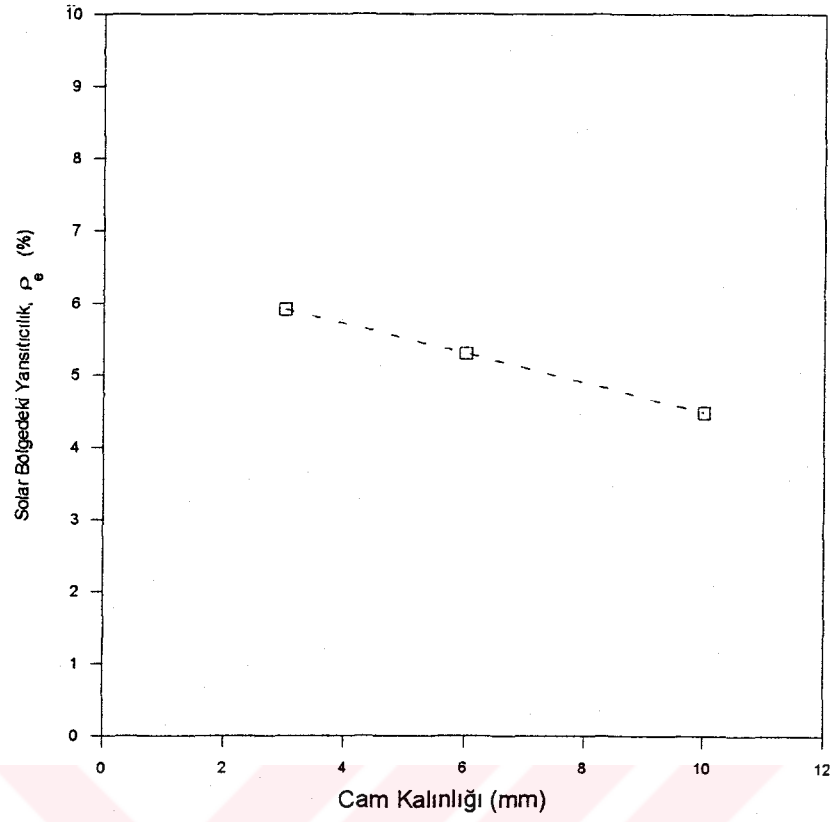
Şekil 5.25’de, karışık dozla ışınlanmış camların, görünür bölgedeki yansıtıcılığında meydana gelen değişim görülmektedir. Bu grafikteki doğrunun eğimi, cam kalınlığındaki artışa bağlı olarak, hızla azalmaktadır. 10 mm kalınlıktaki cam örnekte, 3 mm kalınlıktakine göre, bir miktar azalma oluştuğu belirlenmiştir.



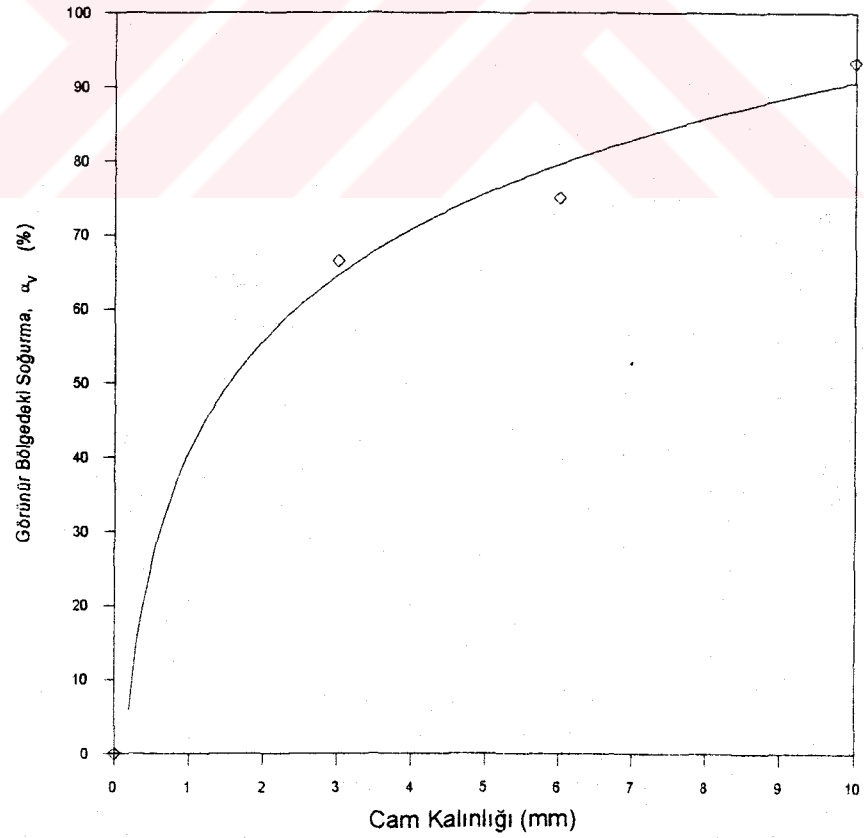
**Şekil 5.25.** Merkezi Işınlama Kanalında Yapılan Işınlamalar Sonucu, Görünür Bölgedeki Yansıtıcılık Değerlerindeki Değişimler.

Şekil 5.26’da, karışık dozla ışınlanmış camların, solar bölgedeki yansıtıcılığında meydana gelen değişim görülmektedir. 10 mm kalınlıktaki soda-kireç-silika cam örnekte, 3 mm kalınlıktaki örneğe göre önemli bir azalma oluştuğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.27’de, karışık dozla ışınlanmış camların, kalınlığa göre, görünür bölgedeki soğurmada oluşan değişimi görülmektedir. Bu grafikte, görünür bölgede oluşan artış, üstel karakterdedir. Görünür bölgedeki geçirgenlikte meydana gelen bu değişimde, cam kalınlığındaki artışa bağlı, oldukça hızlı bir artış belirlenmiştir.

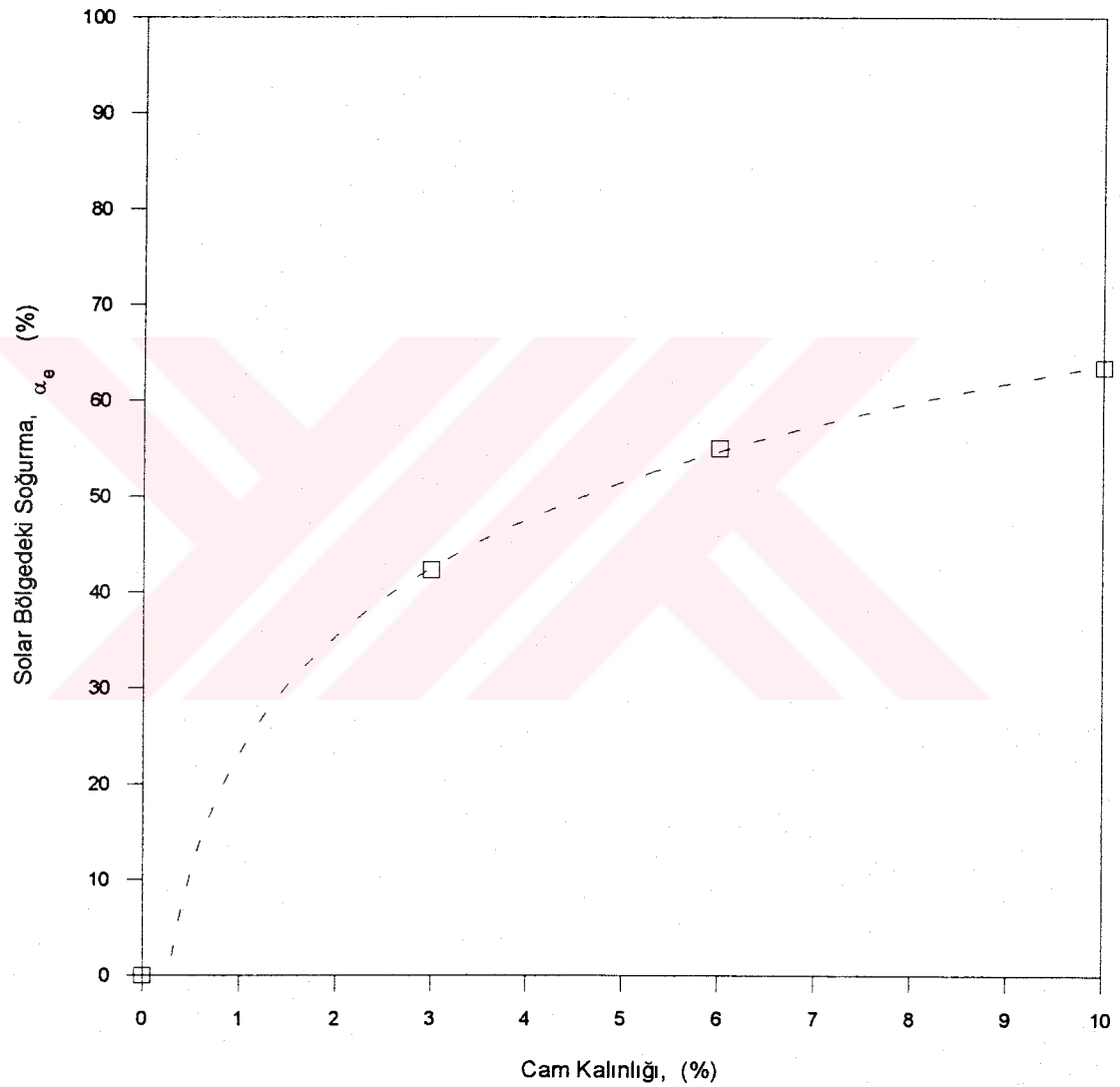


Şekil 5.26. Solar Bölgedeki Yansıtıcılık Değerlerindeki Değişimler.



Şekil 5.27. Görünür Bölgedeki Soğurma Değerlerindeki Değişimleri.

Şekil 5.28’de, karışık tipteki radyasyon dozu ile ışınlanmış camlarda, solar bölgedeki soğurmada meydana gelen artış, üstel karakterde bir değişim göstermektedir. Cam kalınlığına bağlı olarak, bu bölgedeki geçirgenlikte meydana gelen değişim, cam kalınlığının artmasına bağlı olarak, soda-kireç-silika camlara özgü karakteristik bir değişim sergilemektedir. Söz konusu bu değişim hızının, cam kalınlığındaki artışa bağlı olarak, başlangıçta hızlı bir şekilde, yaklaşık 3 mm kalınlıktan sonra ise yavaşlayarak artma karakterinde olduğu görülmektedir.



**Şekil 5.28.** Merkezi Işınlama Kanalında Yapılan Işınlamalarda, Solar Bölgedeki Soğurma Değerlerindeki Değişimleri.

## 5.2. Borosilikat Camlara İlişkin Deney Sonuçları

Burada, 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki borosilikat camların çeşitli radyasyon kaynakları karşısında davranışları incelenmiştir. Bu amaçla, gama, nötron ve karışık radyasyondan faydalanılmıştır.

### 5.2.1. Borosilikat Camlar ile Gama Kaynağı Kullanılarak Yapılan Deney Sonuçları

Çeşitli seviyelerde doz almış, farklı kalınlıklardaki borosilikat camların morötesi görünür ve solar bölgelerdeki optik özellikleri incelenmiştir. 3, 6 ve 10 mm olmak üzere, üç farklı kalınlıkta incelemeler yapılmış olup, elde edilen sonuçlar, her bir spektral bölge için ayrı ayrı aşağıdaki alt bölümlerde verilmektedir.

#### 5.2.1.1. Borosilikat Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Morötesi Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları

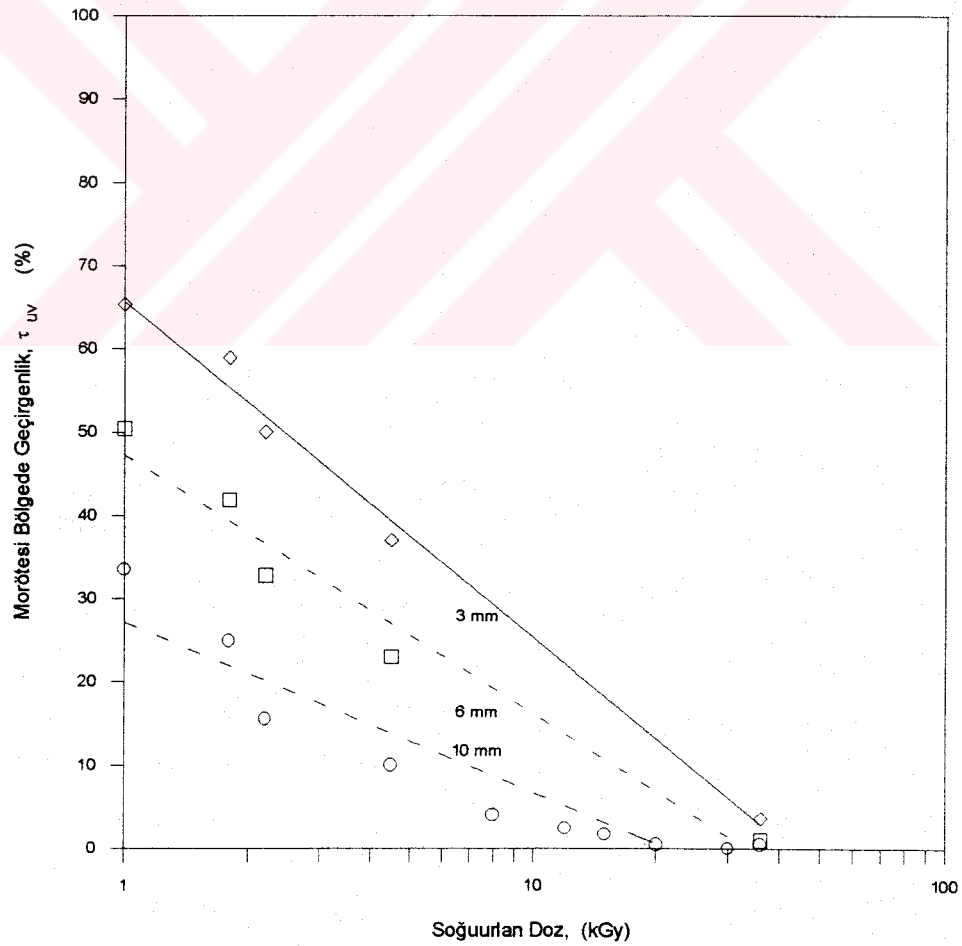
Borosilikat camlarda, kalınlığa ve soğurulan doza bağlı, morötesi bölgedeki optik değerlere ilişkin sonuçlar, Tablo 5.7’de verilmektedir. İncelenen standartlarda morötesi bölgeye ait toplam yansıtıcılık ihmal edilebilecek mertebede olduğundan, standartlaştırılmamış olup, sadece morötesi bölgede toplam geçirgenlik hesaplamaları belirtilmektedir (EN-410, 1998). Bu sebeple, Tablo 5.7’de morötesi bölgedeki yansıtıcılık değerleri yer almamaktadır.

**Tablo 5.7. Borosilikat Camlarda Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik Değerleri.**

| Soğurulan Doz<br>(kGy) | $\tau_{uv}$ (%) |       |       |
|------------------------|-----------------|-------|-------|
|                        | 3mm             | 6mm   | 10mm  |
| 0.0                    | 87.18           | 84.14 | 79.55 |
| 1.0                    | 65.34           | 50.43 | 33.50 |
| 1.8                    | 58.95           | 41.86 | 24.91 |
| 2.2                    | 50.05           | 32.78 | 15.48 |
| 4.5                    | 30.69           | 15.19 | 4.55  |
| 36.0                   | 3.60            | 1.00  | 0.42  |

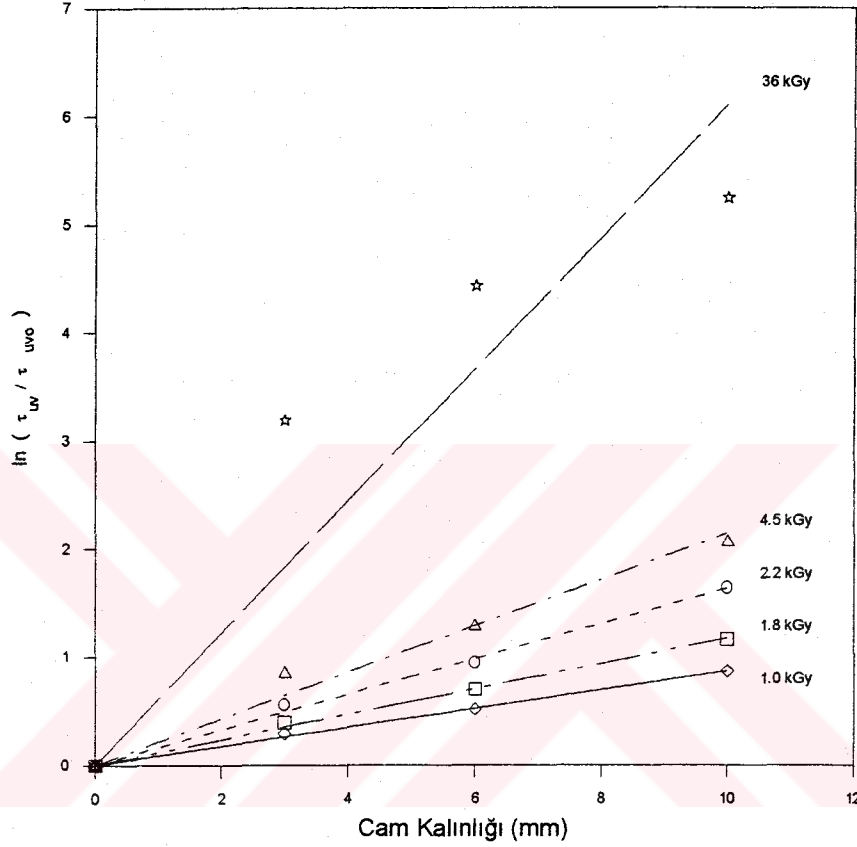
Tablo 5.7 incelendiğinde, özellikle 36 kGy doz almış camların mor ötesi bölgedeki geçirgenliklerinde oldukça belirgin azalmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, özellikle, 36 kGy'lik radyasyon dozuna maruz kalmış borosilikat camların, morötesi bölgedeki ışınların geçişini, önemli ölçüde engellemesinden dolayı, karakteristik davranışlar içerdiği düşünülmüştür.

Şekil 5.29'da, Co-60 radyoizotopu kullanılarak ışınlanan borosilikat camlarda, morötesi bölgedeki geçirgenlikte oluşan değişimler, görülmektedir. Bu grafik incelenecek olursa, 36 kGy doz almış, 10 mm kalınlıktaki camda, morötesi bölgeyi kapsayan geçirgenliğin, oldukça önemli bir azalma sergilediği görülmektedir. Bu değişim, cam tarafından soğurulan dozun yarılogaritmik ekseninde oluşturulması ile bir doğru karaktere sahip olduğu belirlenmiştir. Cam kalınlığı arttıkça, morötesi bölgede meydana gelen geçirgenlikte, önemli bir azalmanın olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 5.29.** Borosilikat Camlarda, Morötesi Bölgede Oluşan Geçirgenliğin, Soğurulan Doza Göre Değişimi.

Morötesi bölgede, cam kalınlığına göre, bağıl geçirgenlik değişimi, Şekil 5.30'da görülmektedir. Bu grafikte, cam kalınlığına bağlı olarak oluşturulan eğrilerdeki eğimin, soğurulan doza bağlı olarak arttığı görülmektedir. Özellikle, 36 kGy doz almış, borosilikat camlarda meydana gelen, morötesi bölgedeki geçirgenlik değişimi, cam kalınlığındaki artışa bağlı olarak, oldukça önemli bir değişim göstermektedir.



**Şekil 5.30.** Borosilikat Camlarda, Morötesi Bölgedeki Bağıl Geçirgenliğin, Cam Kalınlığına Göre Değişimi.

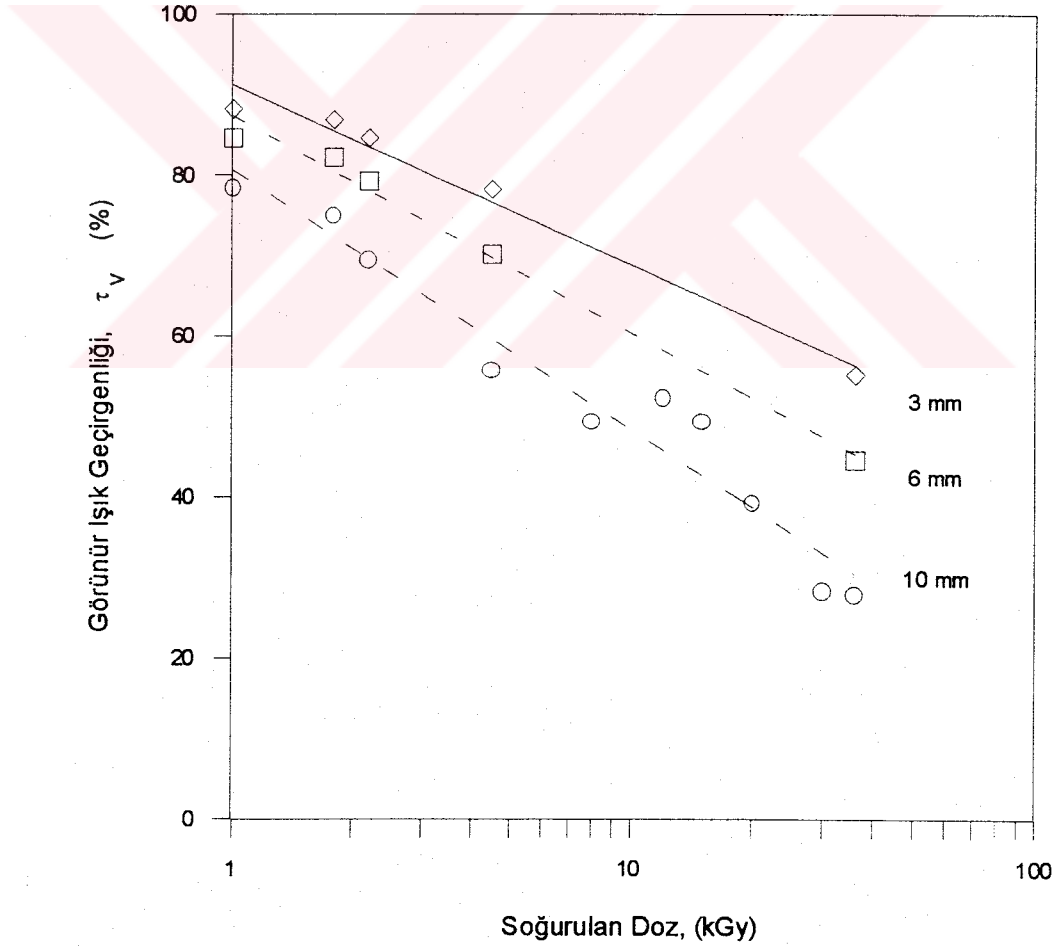
#### 5.2.1.2. Borosilikat Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Görünür Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları

Co-60 radyoizotopu kullanılarak ışınlanan borosilikat camlarda, kalınlığa ve soğurulan doza bağlı çeşitli incelemeler yapılmıştır. Bütün bu incelemelerde, CEN standartlarına göre, Denklem 3.21, Denklem 3.23 ve Denklem 3.25'de ifade edildiği gibi ölçümlenerek hesaplanan, ışık geçirgenliği ( $\tau_v$ ), yansıtıcılığı ( $\rho_v$ ) ve soğurma ( $\alpha_v$ ), değerleri Tablo 5.8'de görülmektedir. Bu tabloda, 3, 6 ve 10 mm olmak üzere, üç farklı cam kalınlığında optik özelliklere ilişkin, yapılan inceleme sonuçları yer almaktadır.

**Tablo 5.8.** Görünür Bölgedeki Geçirgenlik  $\tau_v$  (%),  
Yansıtıcılık  $\rho_v$  (%) ve Soğurma  $\alpha_v$  (%) Değerleri.

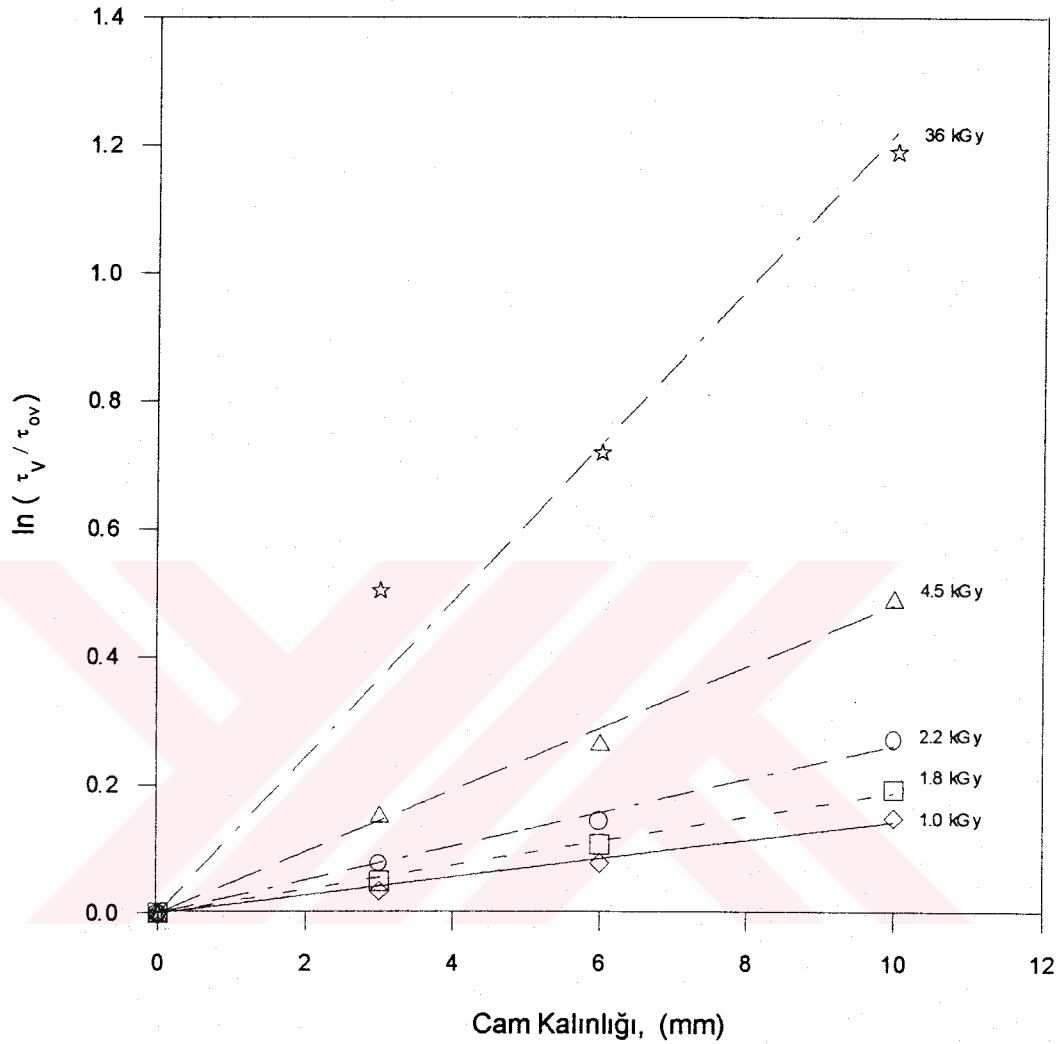
| Soğurulan<br>Doz<br>(kGy) | $\tau_v$ (%) |       |       | $\rho_v$ (%) |      |      | $\alpha_v$ (%) |       |       |
|---------------------------|--------------|-------|-------|--------------|------|------|----------------|-------|-------|
|                           | 3mm          | 6mm   | 10mm  | 3mm          | 6mm  | 10mm | 3mm            | 6mm   | 10mm  |
| 0.0                       | 91.31        | 91.58 | 90.97 | 6.93         | 6.47 | 5.79 | 1.76           | 1.95  | 3.25  |
| 1.0                       | 88.19        | 84.62 | 78.34 | 6.77         | 6.15 | 5.64 | 5.04           | 9.235 | 16.02 |
| 1.8                       | 86.83        | 82.23 | 74.94 | 6.34         | 6.05 | 4.82 | 6.83           | 11.72 | 20.24 |
| 2.2                       | 84.59        | 79.25 | 69.39 | 6.38         | 6.07 | 4.97 | 9.04           | 14.68 | 25.64 |
| 4.5                       | 78.21        | 70.10 | 55.61 | 5.88         | 5.44 | 4.46 | 15.91          | 24.47 | 39.93 |
| 36.0                      | 55.17        | 44.61 | 27.68 | 4.52         | 4.43 | 3.68 | 40.32          | 50.96 | 68.65 |

Co-60 radyoizotopu kullanılarak yapılan incelemelere göre, görünür bölgede geçirgenlik ile soğurulan doz arasında değişim, Şekil 5.31’de görülmektedir. Bu grafiğe göre, en büyük değişim, 10 mm kalınlıktaki camda meydana gelmektedir. Ayrıca, soğurulan doz arttıkça, geçirgenlikte yarılogaritmik eksende, lineer bir değişimin olduğu görülmektedir.



**Şekil 5.31.** Görünür Bölgede, Soğurulan Doza Bağlı Geçirgenlikteki Değişim.

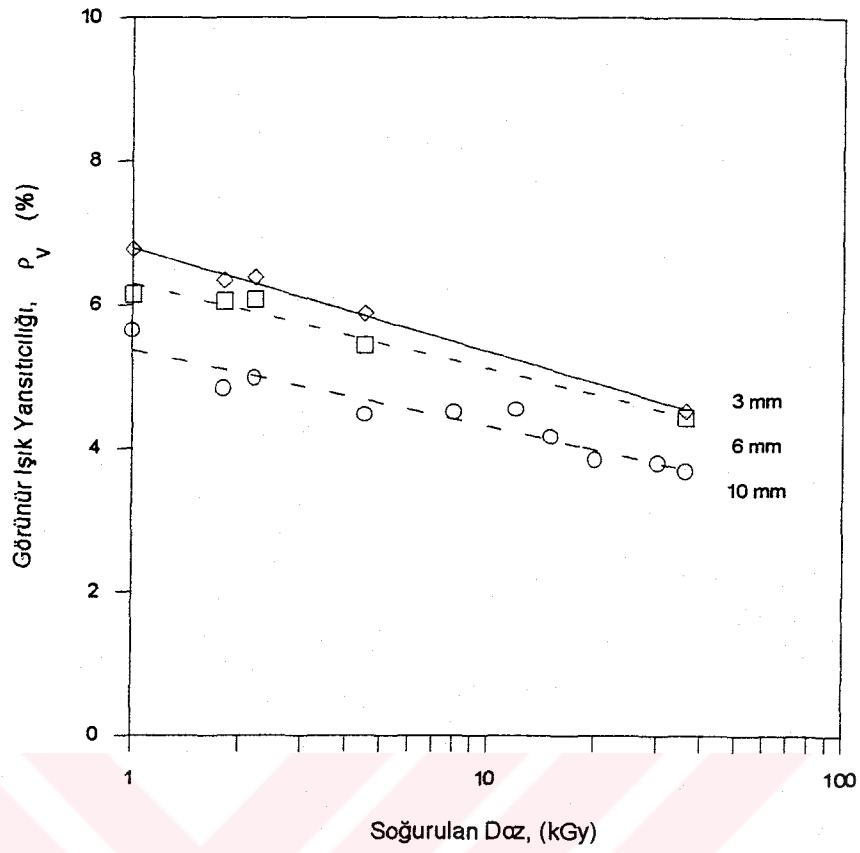
Görünür bölgede, cam kalınlığına bağlı olarak, geçirgenlikte meydana gelen değişimler Şekil 5.32’de görülmektedir. Bu grafiğe göre, geçirgenlikte meydana gelen en büyük değişim, incelenen en büyük doz olan, 36 kGy’de oluşmaktadır.



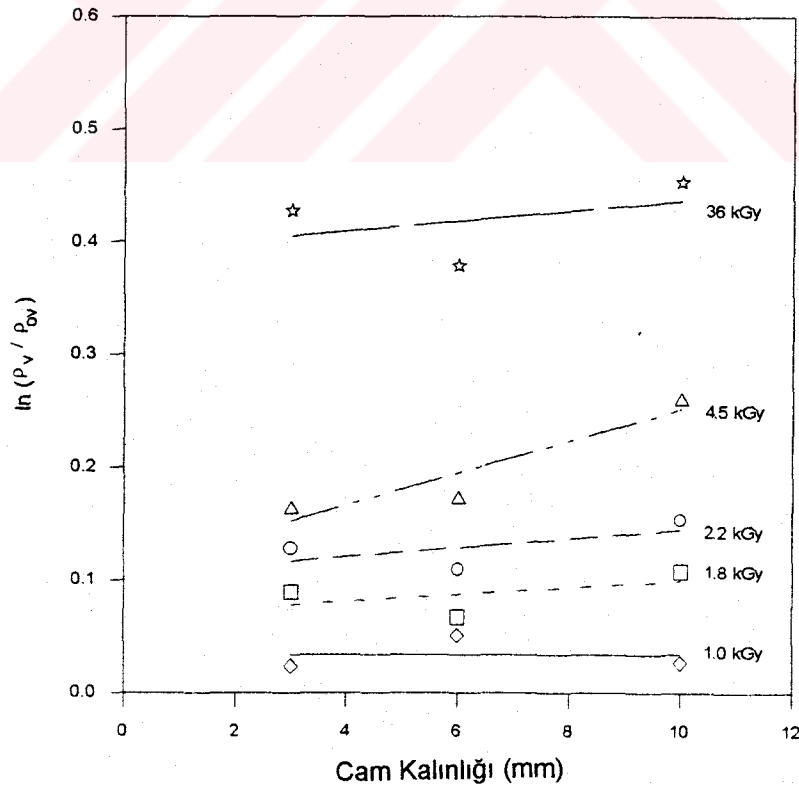
**Şekil 5.32.** Borosilikat Camlarda, Görünür Bölgedeki Bağlı Geçirgenliğin Cam Kalınlığına Bağlı Değişimi.

Görünür bölgedeki yansıtıcılık ile soğurulan doz arasında oluşan değişim, Şekil 5.33’de görülmektedir. Bu grafiğe göre, soğurulan doza bağlı, en düşük yansıtıcılık, 10 mm kalınlıktaki camda meydana gelmektedir. Soğurulan doz arttıkça, camdaki yansıtıcılıkta yarılogaritmik ekseninde, lineer karakterde bir azalmanın olduğu görülmektedir.

Görünür bölgede, cam kalınlığının bağlı yansıtıcılığa göre değişimi, Şekil 5.34’de görülmektedir. Bu grafikde, uygulanan doz arttıkça, bağlı yansıtıcılığın değiştiği görülmektedir.

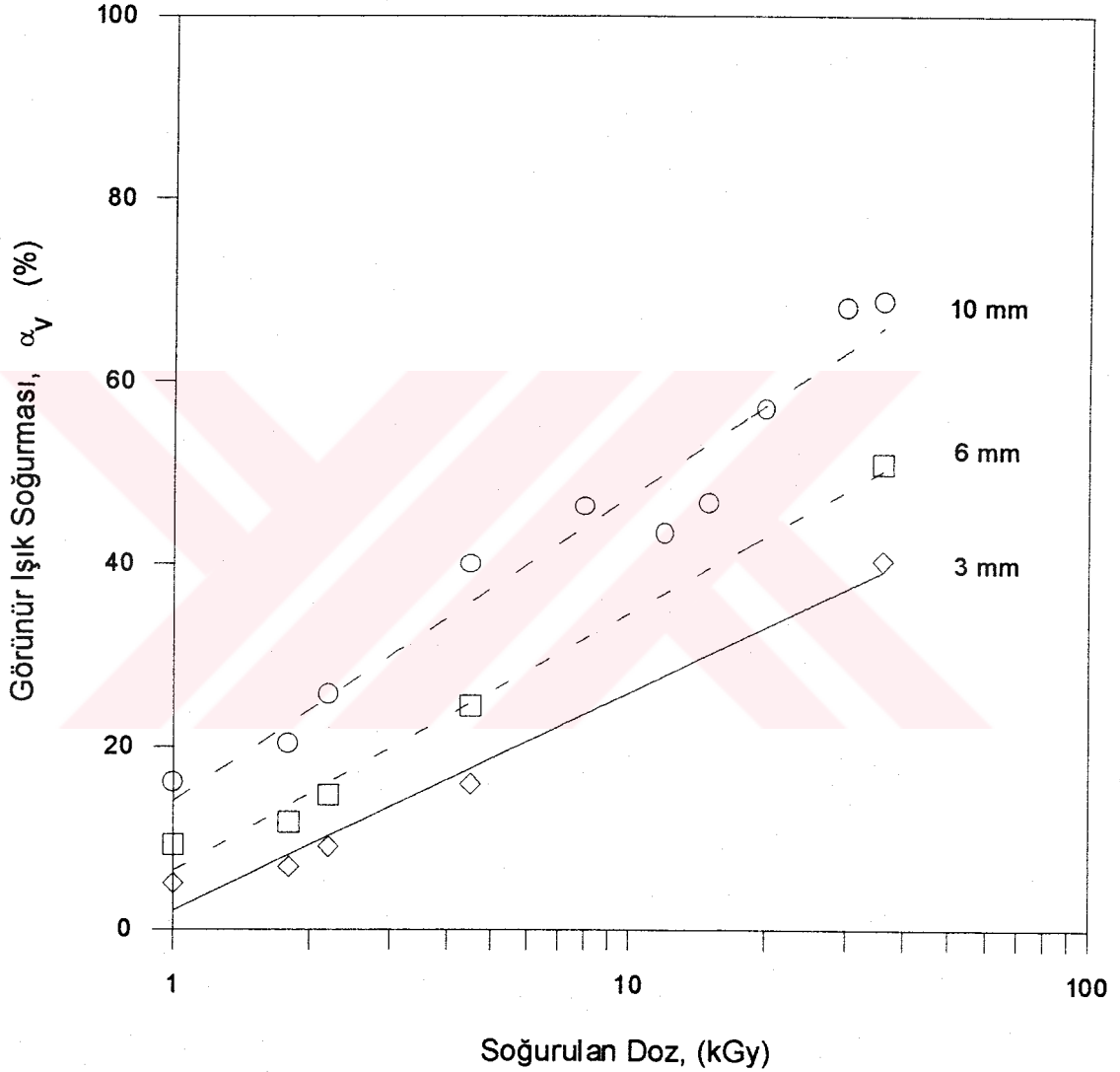


Şekil 5.33. Soğurulan Doza Bağlı Yansıtıcılıktaki Değişim.



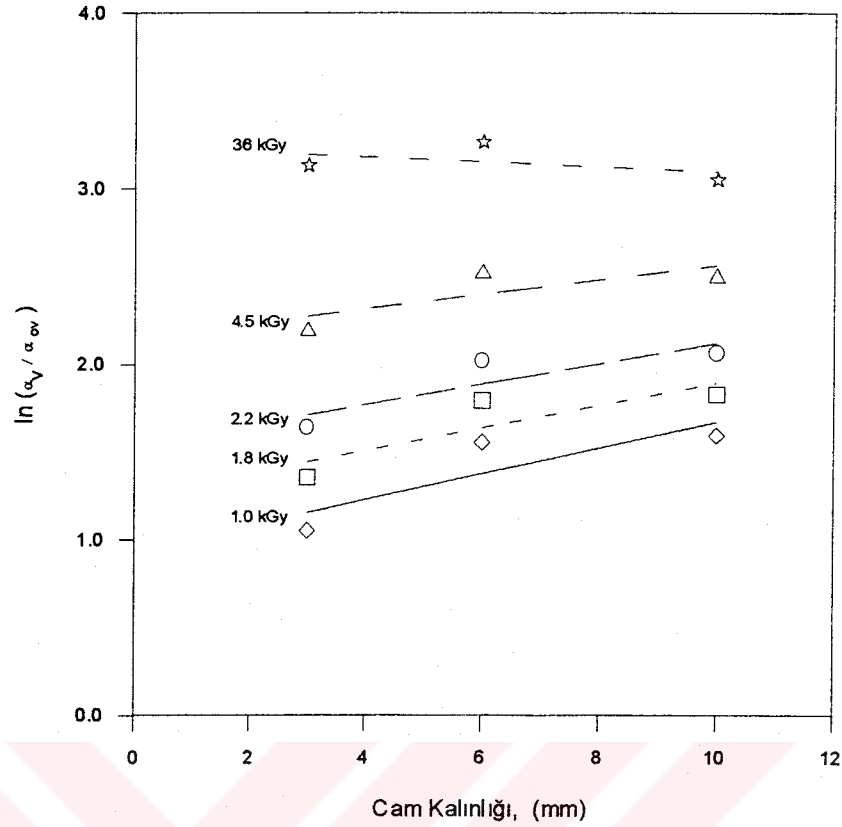
Şekil 5.34. Bağlı Yansıtıcılığın, Cam Kalınlığına Göre Değişimi.

Şekil 5.35’de, yarılogaritmik eksenlerdeki, cam tarafından soğurulan radyasyon dozu arttıkça, lineer karakterde bir artış olduğu görülmektedir. Bu grafiğe göre, görünür bölgedeki en yüksek soğurma, 10 mm kalınlıktaki camlarda meydana gelmektedir. Cam tarafından soğurulan dozun bir artışıyla, görünür bölgede soğurmada bu camlara özgü karakteristik bir şekilde artan değişimin olduğu görülmektedir.



**Şekil 5.35.** Borosilikat Camlarda, Görünür Bölgedeki Soğurmada, Soğurulan Doza Bağlı Oluşan Değişim.

Görünür bölgede, cam kalınlığına göre, bağıl soğurmada oluşan değişim, Şekil 5.36’da görülmektedir. Bu grafikte, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, görünür bölgedeki soğurmada oluşan değişim artmaktadır.



Şekil 5.36. Görünür Bölgedeki Bağlı Soğurmanın, Cam Kalınlığına Göre Değişimi.

#### 5.2.1.3. Borosilikat Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Solar Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları

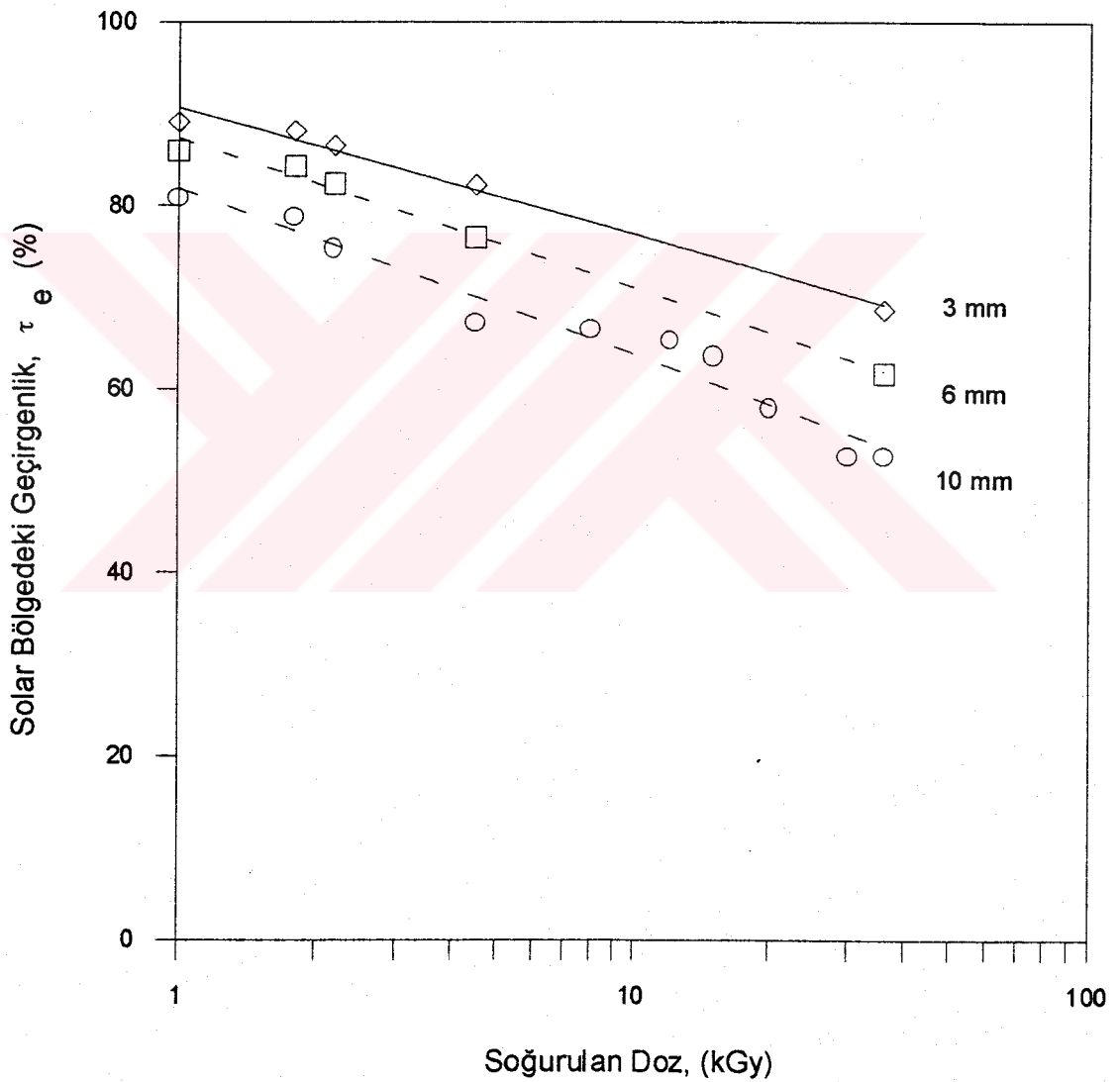
Co-60 radyoizotopunun kullanılarak ışınlanan borosilikat camlarda, kalınlığa ve soğurulan doza bağlı değişimler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, CEN standartlarında belirtildiği gibi, Denklem 3.26, Denklem 3.27, Denklem 3.28 kullanılarak, solar bölgedeki geçirgenlik, yansıtıcılık ve soğurma değerlerine ait sonuçlar, Tablo 5.9'da verilmektedir.

Tablo 5.9. Borosilikat Camlarda, Kalınlığa Bağlı, Solar Bölgede, Optik Değerlerdeki Değişim.

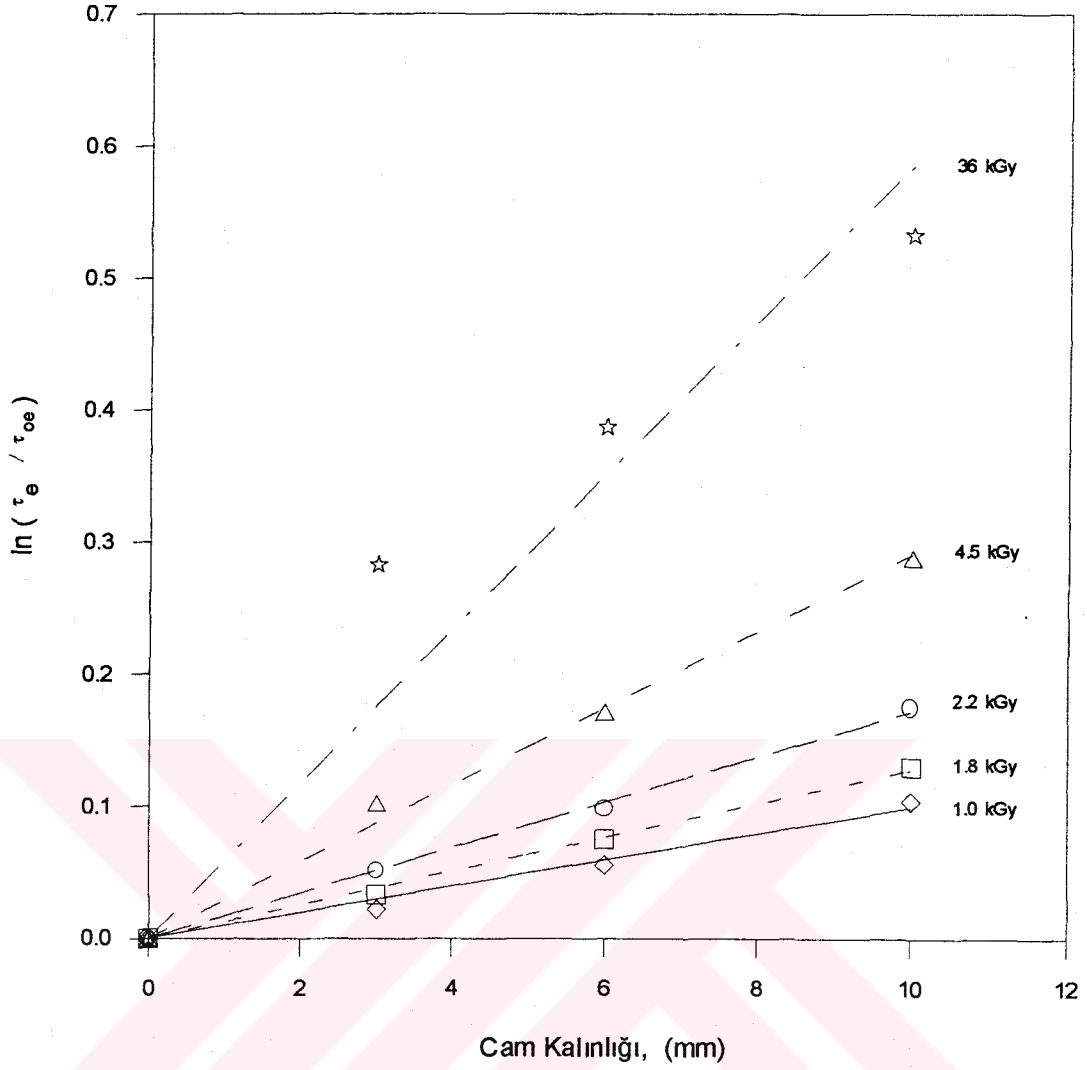
| Soğurulan Doz (kGy) | $\tau_e$ (%) |       |       | $\rho_e$ (%) |      |       | $\alpha_e$ (%) |       |       |
|---------------------|--------------|-------|-------|--------------|------|-------|----------------|-------|-------|
|                     | 3 mm         | 6 mm  | 10 mm | 3 mm         | 6 mm | 10 mm | 3 mm           | 6 mm  | 10 mm |
| 0.0                 | 91.07        | 90.83 | 89.62 | 6.77         | 6.38 | 5.84  | 2.16           | 2.79  | 4.54  |
| 1.0                 | 89.09        | 85.93 | 80.79 | 6.68         | 6.25 | 5.70  | 4.23           | 7.82  | 13.52 |
| 1.8                 | 88.09        | 84.27 | 78.72 | 6.46         | 6.21 | 5.10  | 5.46           | 9.52  | 16.18 |
| 2.2                 | 86.52        | 82.35 | 75.25 | 6.50         | 6.13 | 5.21  | 6.98           | 11.53 | 19.54 |
| 4.5                 | 82.22        | 76.54 | 67.18 | 6.16         | 5.84 | 5.03  | 11.63          | 17.62 | 27.79 |
| 36.0                | 68.64        | 61.70 | 51.11 | 5.36         | 5.24 | 4.38  | 26.00          | 33.07 | 44.51 |

Co-60 radyoizotopu kullanılarak yapılan incelemelerde, solar bölgedeki, soğurulan doza göre, geçirgenlikteki değişim, Şekil 5.37’de görülmektedir. Bu grafiğe göre, solar bölgedeki en düşük geçirgenlik, 10 mm kalınlıktaki camda meydana gelmektedir.

Solar bölgede, cam kalınlığına göre, bağıl geçirgenlikte oluşan değişim, Şekil 5.38’de görülmektedir. Bu grafiğe göre, bağıl geçirgenlikte oluşan en büyük değişim, 36 kGy’de meydana gelmektedir.



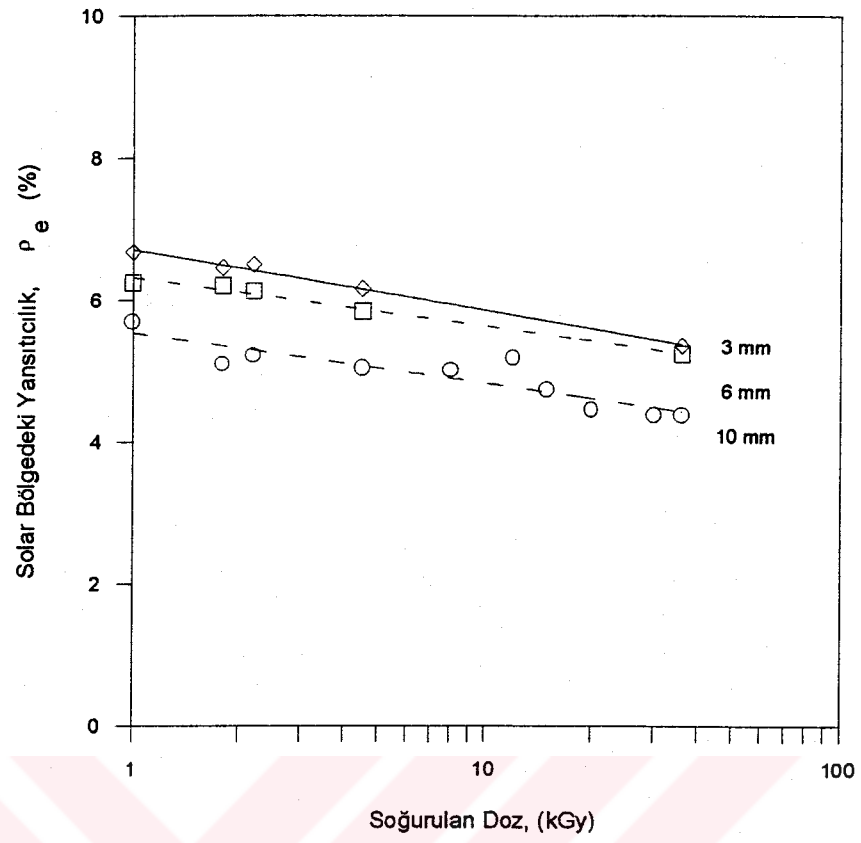
**Şekil 5.37.** Borosilikat Camlarda, Solar Bölgedeki Geçirgenliğin, Soğurulan Doza Göre Değişimi.



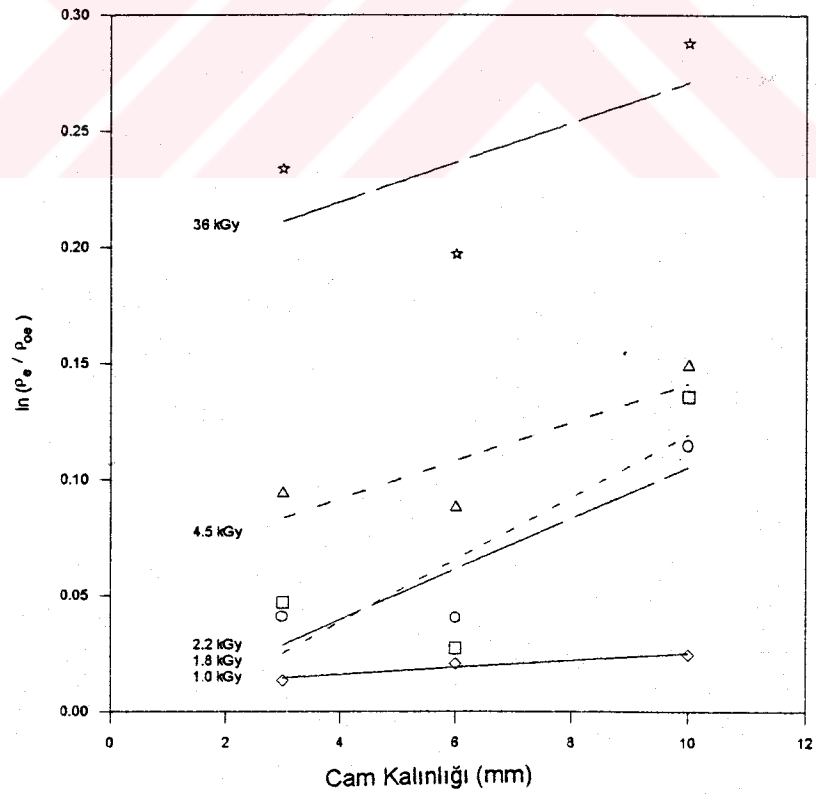
**Şekil 5.38.** Bağlı Geçirgenliğin, Soğurulan Doza Göre Değişimi.

Solar bölgedeki, soğurulan doza göre yansıtıcılıkta oluşan değişim, Şekil 5.39'da görülmektedir. Bu grafiğe göre, 3, 6 ve 10 mm olmak üzere, üç farklı kalınlıktaki camda yansıtıcılıkta meydana gelen değişim, yarılogaritmik ekseninde, lineer bir değişim olup, cam kalınlığındaki artışa bağlı olarak giderek azalmaktadır. Solar bölgedeki en düşük yansıtıcılık, 10 mm kalınlıktaki camda oluşmaktadır.

Solar bölgede cam kalınlığına göre, bağlı yansıtıcılık değişimi, Şekil 5.40'da görülmektedir. Bu grafiğe göre, eğimde oluşan en büyük değişim, uygulanan en yüksek doz olan, 36 kGy'de meydana gelmiştir.



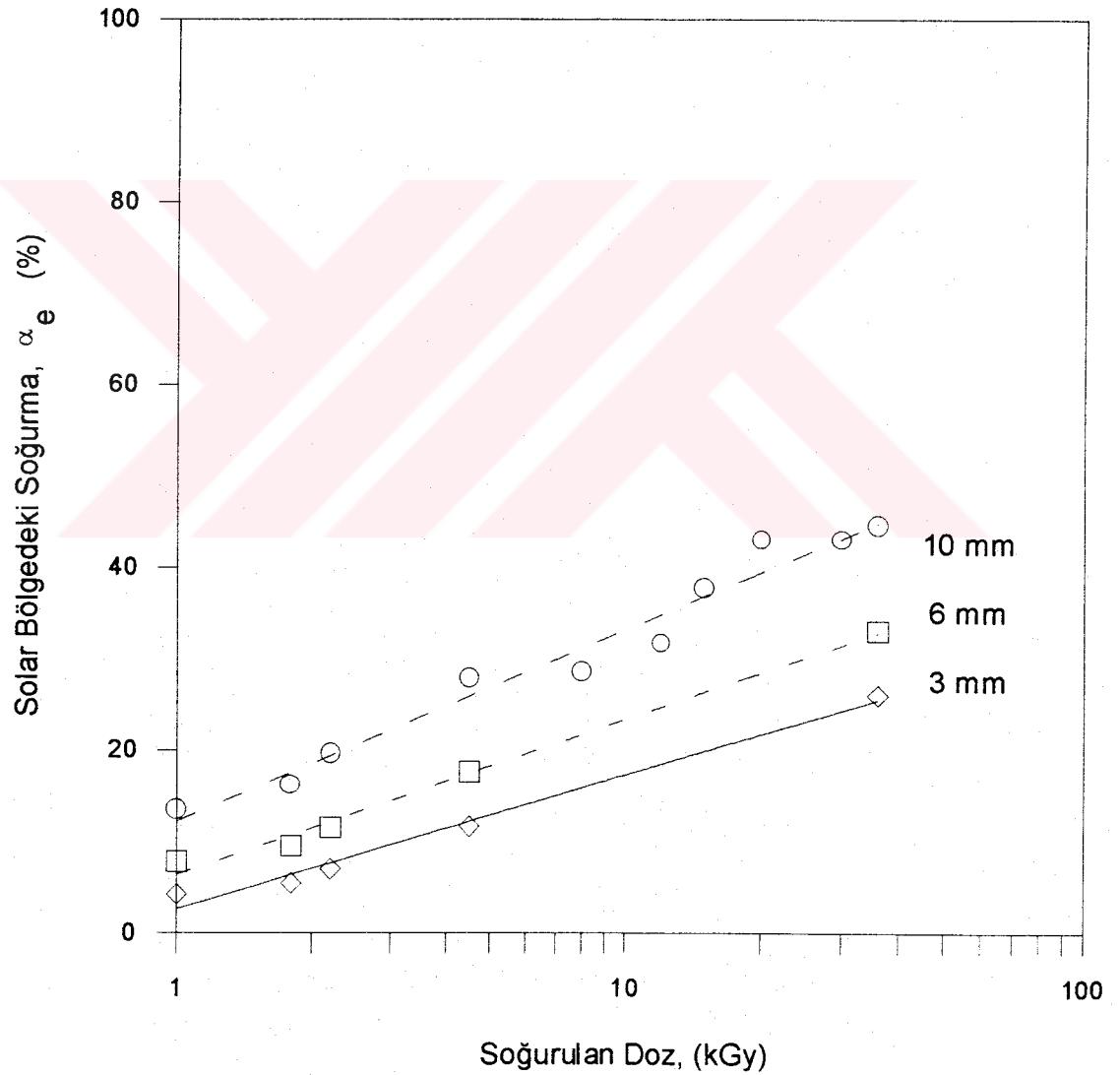
Şekil 5.39. Solar Bölgedeki Yansıtıcılığın, Soğurulan Doza Göre Değişimi.



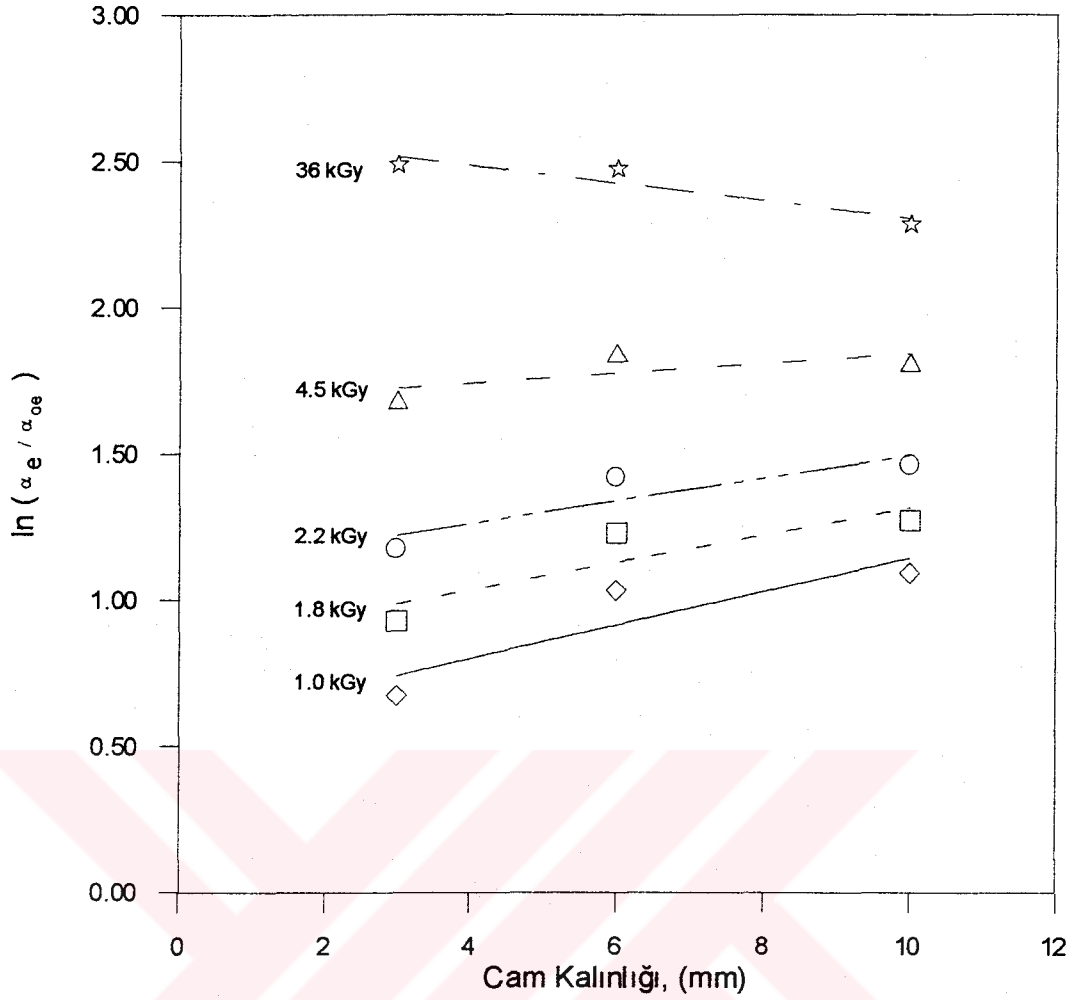
Şekil 5.40. Solar Bölgedeki Yansıtıcılığın, Soğurulan Doza Göre Değişimi.

Cam tarafından soğurulan dozdaki artışa göre, solar bölgedeki soğurmada meydana gelen değişim, Şekil 5.41'de görülmektedir. Bu grafiğe göre, 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki solar soğurmada oluşan artış, uygulanan dozdaki artışa bağlı olmaktadır. Ayrıca, 10 mm kalınlıktaki camda, solar bölgedeki en yüksek soğurmayı sağlamaktadır.

Solar bölgede, cam kalınlığına göre, bağıl soğurmada meydana gelen değişim, Şekil 5.42'de görülmektedir. Bu grafiğe göre, solar bölgedeki soğurmada oluşan değişim, soğurulan doz arttıkça, giderek artmaktadır. Solar soğurmada oluşan en büyük artış, 10 mm kalınlıktaki camlarda meydana gelmiştir.



**Şekil 5.41.** Borosilikat Camlarda, Solar Bölgedeki Soğurmanın, Soğurulan Doza Göre Değişimi.



Şekil 5.42. Solar Bölgedeki Soğurmanın, Soğurulan Doza Göre Değişimi.

### 5.2.2. Borosilikat Camlar ile İTÜ NEE TRIGA Mark II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları

Gama ışınları ile camların ışınlanmasından sonra, yapılan spektrofotometrik incelemelerde, optik değerlerde oluşan maksimum değişimlerin, 10 mm kalınlıktaki camlarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sebeple, gama ışınları ile yapılan deneylerde edinilen deneyimler doğrultusunda, burada, sadece 10 mm kalınlıktaki camlarla çalışmanın uygun olacağı düşünülmüştür.

Teğetsel Işınlama Tüpü kullanılarak yapılan ışınlamalarda, reaktör 250 kW güçte, 30 dakika çalıştırılmıştır. Böylece, nötronların cam üzerindeki etkisine yönelik spektrofotometrik incelemelerde, 10 mm kalınlıktaki borosilikat camlarla çalışılmıştır ve sonuçlar Tablo 5.10'da mevcuttur.

**Tablo 5.10. Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Borosilikat Camların Optik Değişimleri**

| Işınlama Süresi (dakika) | $\tau_v$ (%) | $\tau_e$ (%) | $\tau_{uv}$ (%) | $\rho_v$ (%) | $\rho_e$ (%) | $\alpha_v$ (%) | $\alpha_e$ (%) |
|--------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| 0                        | 90.97        | 89.62        | 79.55           | 5.79         | 5.84         | 3.25           | 4.54           |
| 30                       | 89.20        | 88.32        | 71.78           | 5.82         | 5.91         | 4.97           | 5.77           |

### 5.2.3. Borosilikat Camlar ile İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktör'ü Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları

Merkezi Işınlama Kanalı'nda ısınlanan, 10 mm kalınlıktaki borosilikat camlara ilişkin değerler, Tablo 5.11'de bulunmaktadır. Bu incelemeler, reaktörün 250 kW güçte, 5 dakika çalıştırılması ile elde edilmiştir.

**Tablo 5.11. Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak, Borosilikat Camlardaki Optik Değişimler.**

| Işınlama Süresi (dakika) | $\tau_v$ (%) | $\tau_e$ (%) | $\tau_{uv}$ (%) | $\rho_v$ (%) | $\rho_e$ (%) | $\alpha_v$ (%) | $\alpha_e$ (%) |
|--------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| 0                        | 90.97        | 89.62        | 79.55           | 5.79         | 5.84         | 3.25           | 4.54           |
| 5                        | 7.63         | 38.39        | 0.01            | 3.56         | 4.29         | 88.81          | 57.32          |

### 5.3. Kurşun-Alkali-Silika Camlara İlişkin Deney Sonuçları

3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki kurşun-alkali-silika camların, çeşitli radyasyon kaynakları karşısındaki davranışları incelenmiştir. Bu amaçla, gama kaynağı olarak Co-60 radyoizotopundan, nötron ve karışık radyasyon kaynağı olarak ise, bir nükleer reaktörden faydalanılmıştır.

#### 5.3.1. Kurşun-Alkali-Silika Camlar İle Gama Kaynağı Kullanılarak Yapılan Deney Sonuçları

Kurşun-alkali-silika camlar ile çeşitli dozlardaki gama ışınına yönelik yapılan çalışmalarda, Co-60 radyoizotopu kullanılmış ve 3, 6 ve 10 mm olan, üç farklı cam kalınlığında çalışmalar yapılmıştır. Çeşitli seviyelerde doz almış ve doz almamış

kurşun-alkali-silika cam örneklerinin spektrofotometrik incelemeleri yapılmıştır. Çeşitli dalga boylarında, geçirgenlik ve yansıtıcılık değerleri ölçüldükten sonra görünür, solar ve morötesi bölgedeki geçirgenlik ve görünür bölge ile solar bölgedeki yansıtıcılık değerleri incelenmiştir.

#### 5.3.1.1. Kurşun-Alkali-Silika Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Morötesi Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları

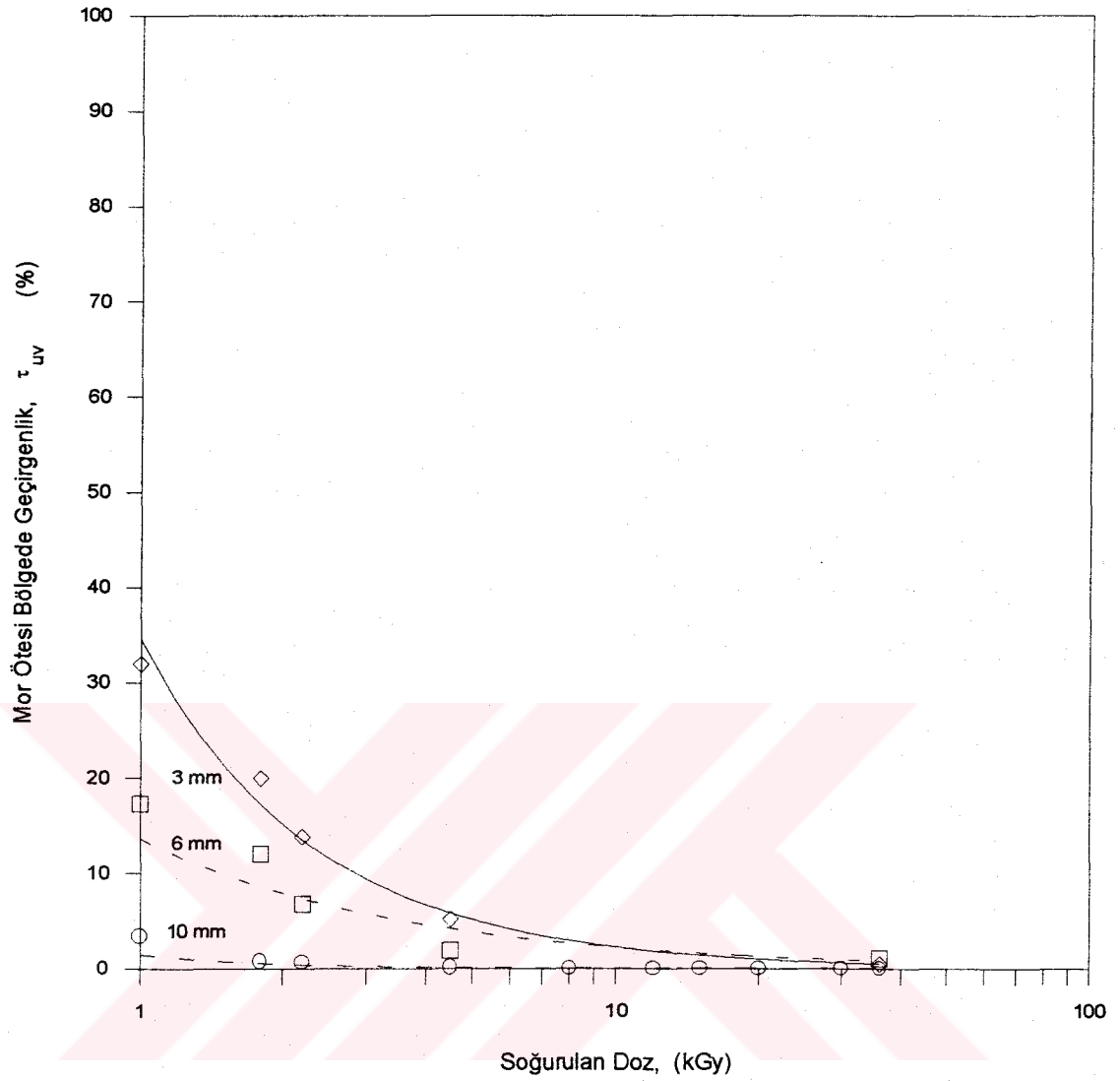
Co-60 radyoizotopu kullanılarak ışınlaması sağlanan kurşun-alkali-silika camlarda, kalınlığa ve soğurulan doza bağlı, morötesi bölge geçirgenlik değerleri, Tablo 5.12’de verilmektedir. Çeşitli doz seviyelerinde ışınlanmış, 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki kurşun-alkali-silika camların, CEN Standartlarına göre, morötesi bölgede geçirgenlik hesaplamaları, Denklem 3.32 kullanılarak yapılmıştır (EN-410, 1998; CEN-TC129, 1992).

İncelenen standartlarda, morötesi bölgeye ait toplam yansıtıcılık ihmal edilebilecek mertebede olduğundan, standartlaştırılmamış olup, sadece morötesi bölgede toplam geçirgenlik hesaplamaları belirtilmektedir (EN-410, 1998). Bu sebeple, Tablo 5.12’de morötesi bölgedeki yansıtıcılık değerleri yer almamaktadır.

**Tablo 5.12.** Kurşun-Alkali-Silika Camlarda, Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik Değerleri.

| Soğurulan Doz<br>(kGy) | $\tau_{uv}$ (%) |       |       |
|------------------------|-----------------|-------|-------|
|                        | 3mm             | 6mm   | 10mm  |
| 0.0                    | 81.40           | 76.27 | 69.95 |
| 1.0                    | 31.96           | 17.28 | 3.36  |
| 1.8                    | 21.94           | 12.08 | 0.78  |
| 2.2                    | 13.85           | 6.76  | 0.70  |
| 4.5                    | 5.13            | 1.87  | 0.03  |
| 36.0                   | 0.50            | 1.08  | 0.01  |

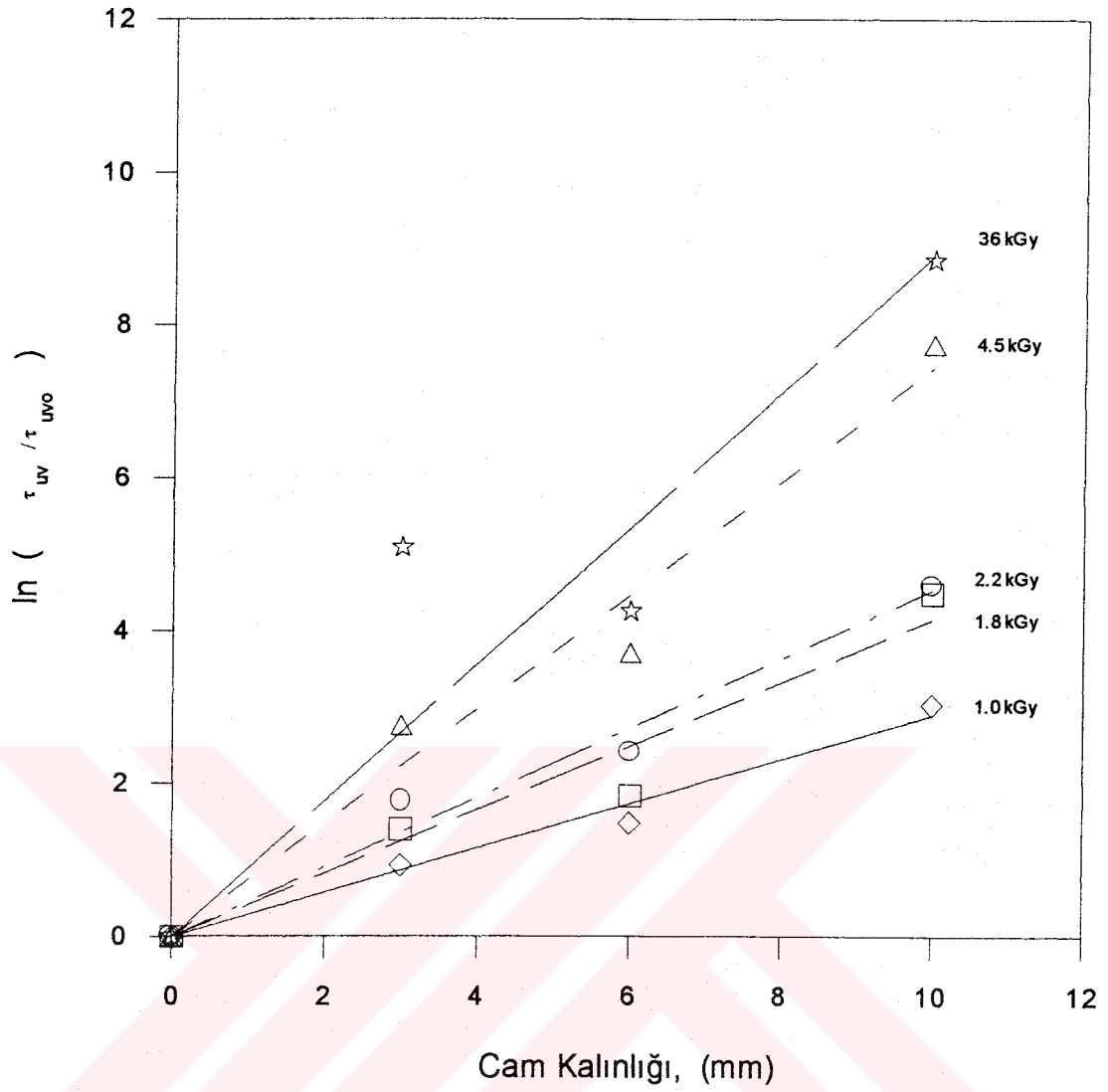
Co-60 radyoizotopu kullanılarak yapılan incelemelere göre, kurşun-alkali-silika camlarda morötesi bölgedeki geçirgenlikte oluşan değişim, Şekil 5.43’de görülmektedir. Bu grafik incelenecek olursa, 3, 6 ve 10 mm kalınlıklarda eksponansiyel bir değişim olduğu görülmektedir. Morötesi bölgedeki en yüksek geçirgenliğin, 3 mm kalınlıktaki camlarda meydana geldiği gözlenmektedir. 10 mm kalınlıktaki cam göz önüne alınırsa, yaklaşık 5 kGy’den sonra, morötesi bölgedeki geçirgenlikte önemli bir azalmanın meydana geldiği görülmektedir.



**Şekil 5.43.** Kurşun-Alkali-Silika Camlarda, Morötesi Bölgedeki Geçirgenliğin Soğurulan Doza Göre Değişimi.

Şekil 5.44'de, cam kalınlığına göre, morötesi bölgede, bağıl geçirgenlik değişimi görülmektedir. Özellikle 4,5 kGy'lik radyasyon dozundan itibaren, camlarda, morötesi bölgedeki bağıl geçirgenlikte oldukça önemli değişimler olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.44'e göre, yapılan optik incelemelerde, 4,5 kGy'den sonra, bağıl geçirgenlikte kurşun-alkali-silika camlara özgü karakteristik değişimlerin meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 5.44. Cam Kalınlığına Bağlı Morötesi Bölgedeki Geçirgenliğin Değişimi.

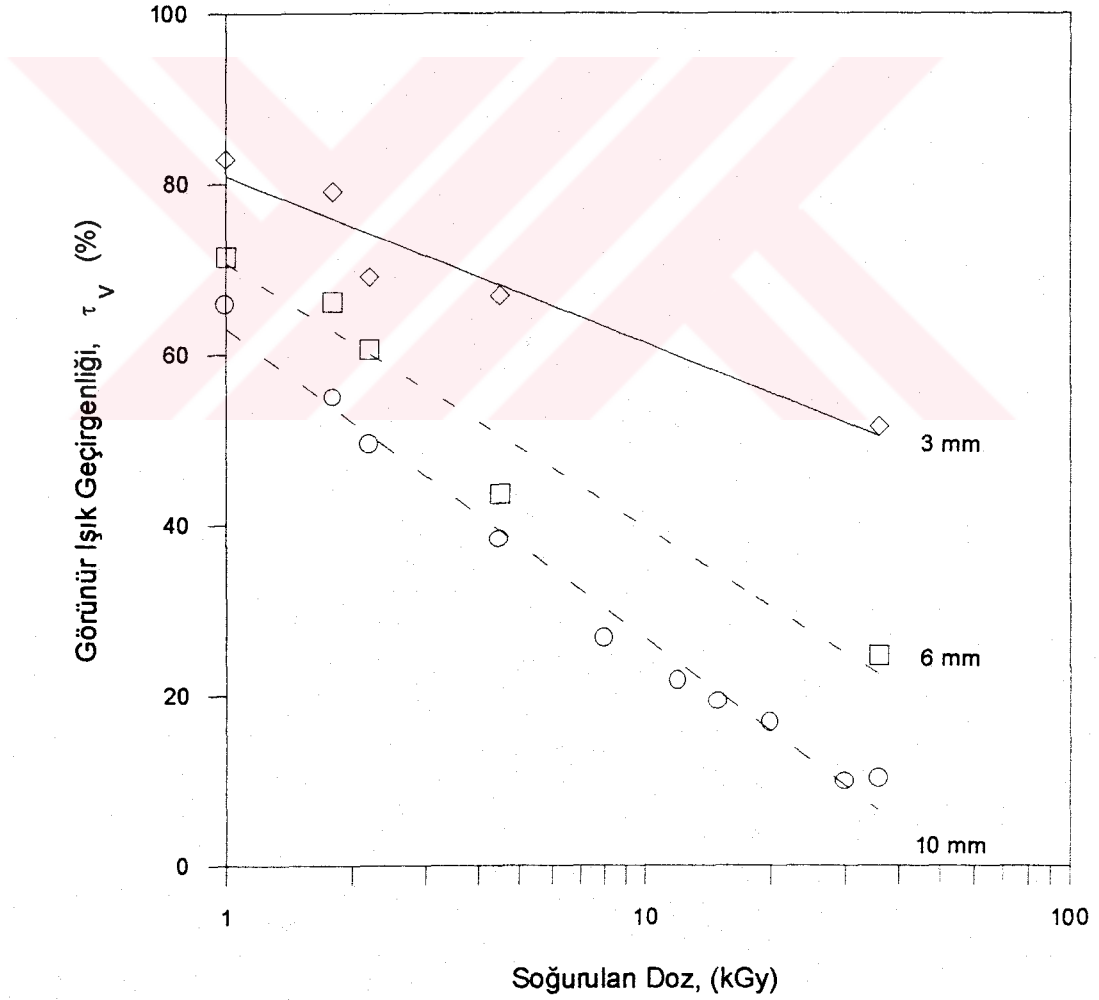
#### 5.3.1.2. Kurşun-Alkali-Silika Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Görünür Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları

Co-60 radyoizotopu kullanılarak ısınlanan kurşun-alkali-silika camlarda, kalınlığa ve soğurulan doza bağlı, çeşitli incelemeler yapılmıştır. Bütün bu incelemelerde, CEN standartlarına göre, Denklem 3.21, Denklem 3.23 ve Denklem 3.25'de belirtildiği gibi; görünür bölgede hesaplanan, ışık geçirgenliği ( $\tau_v$ ), yansıtıcılığı ( $\rho_v$ ) ve soğurma ( $\alpha_v$ ), değerleri Tablo 5.13'de görülmektedir. Bu tabloda, 3, 6 ve 10 mm olmak üzere, üç farklı cam kalınlığında yapılan inceleme sonuçları yer almaktadır.

**Tablo 5.13.** Kurşun-Alkali-Silika Camlarda Kalınlığa Bağlı Görünür Bölgedeki Geçirgenlik  $\tau_v$  (%), Yansıtıcılık  $\rho_v$  (%) ve Soğurma  $\alpha_v$  (%) Değerleri.

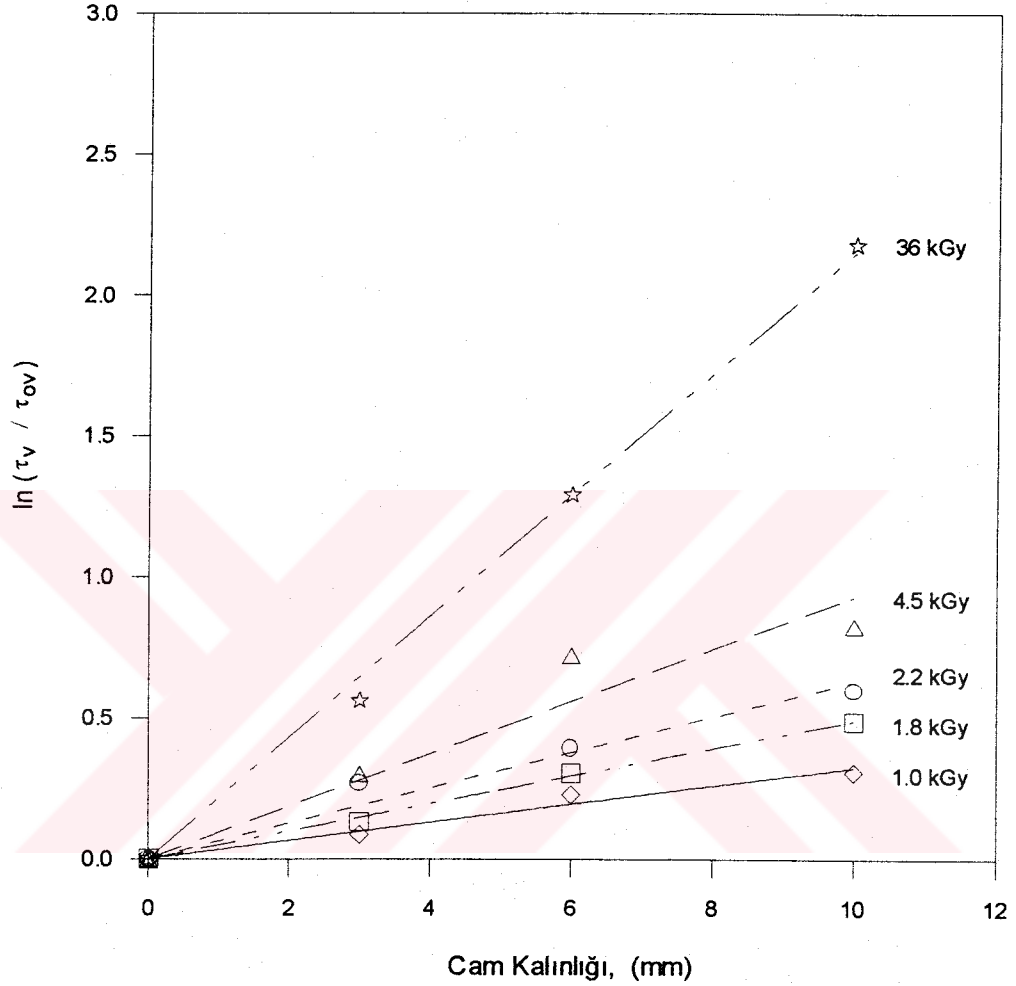
| Soğur. Doz (kGy) | $\tau_v$ (%) |       |       | $\rho_v$ (%) |      |       | $\alpha_v$ (%) |       |       |
|------------------|--------------|-------|-------|--------------|------|-------|----------------|-------|-------|
|                  | 3mm          | 6 mm  | 10 mm | 3mm          | 6 mm | 10 mm | 3mm            | 6 mm  | 10 mm |
| 0.0              | 90.24        | 89.73 | 89.47 | 8.33         | 8.28 | 7.82  | 0.8            | 1.98  | 2.71  |
| 1.0              | 82.94        | 71.48 | 65.82 | 7.78         | 6.85 | 5.89  | 9.28           | 21.67 | 28.29 |
| 1.8              | 79.10        | 66.22 | 54.97 | 7.35         | 6.40 | 5.77  | 13.55          | 26.88 | 39.26 |
| 2.2              | 69.10        | 60.59 | 49.38 | 6.72         | 6.35 | 5.62  | 24.18          | 33.06 | 45.00 |
| 4.5              | 66.88        | 43.62 | 38.22 | 6.46         | 6.00 | 5.00  | 26.66          | 50.96 | 55.88 |
| 36.0             | 51.52        | 24.69 | 10.13 | 5.77         | 4.58 | 4.38  | 42.70          | 70.73 | 85.49 |

Görünür bölgedeki geçirgenliğin soğurulan doza göre değişimi, Şekil 5.45’de görülmektedir. 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki camlarda soğurulan doz için tespit ettiğimiz bu değişim, yarılogaritmik eksenle, lineer olarak azalmakta olup, özellikle, 10 mm kalınlıktaki camda belirgin bir şekilde görülmektedir.



**Şekil 5.45.** Görünür Bölgedeki Geçirgenliğin Soğurulan Doza Bağlı Değişimi.

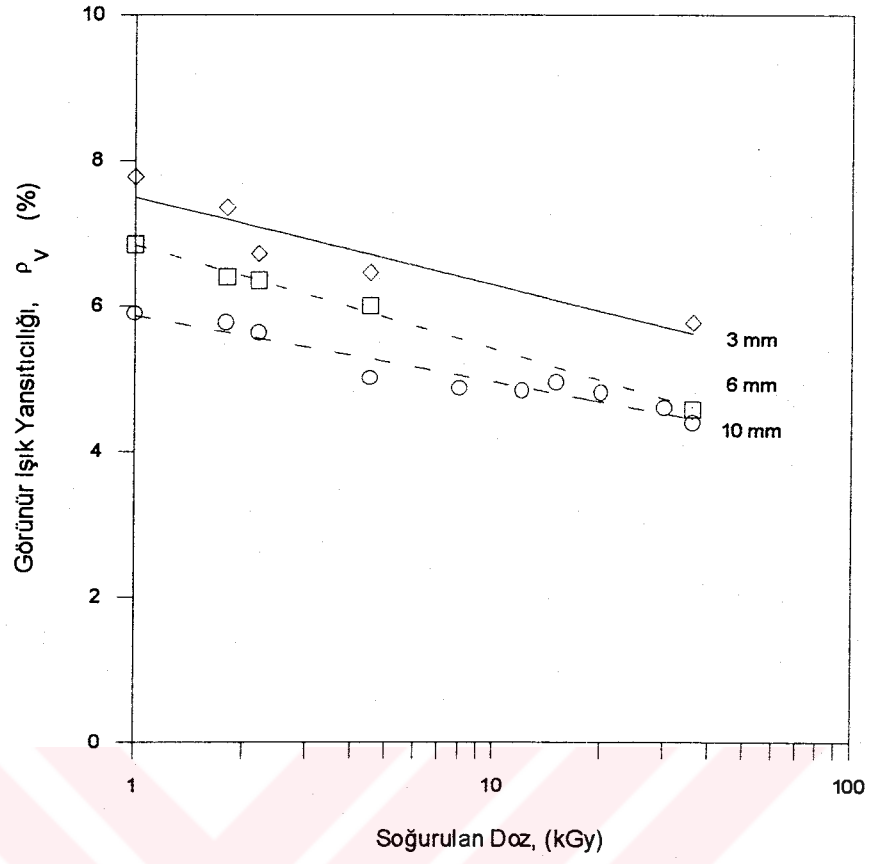
Şekil 5.46'da, görünür bölgedeki bağıl geçirgenliğin, cam kalınlığına göre değişimi, görülmektedir. Söz konusu bu geçirgenliğin lineer bir şekilde arttığı belirlenmiş olup, özellikle 36 kGy'lik radyasyon dozuna maruz kalmış camlarda bu artışın oldukça hızlı bir değişim sergilediği tespit edilmiştir.



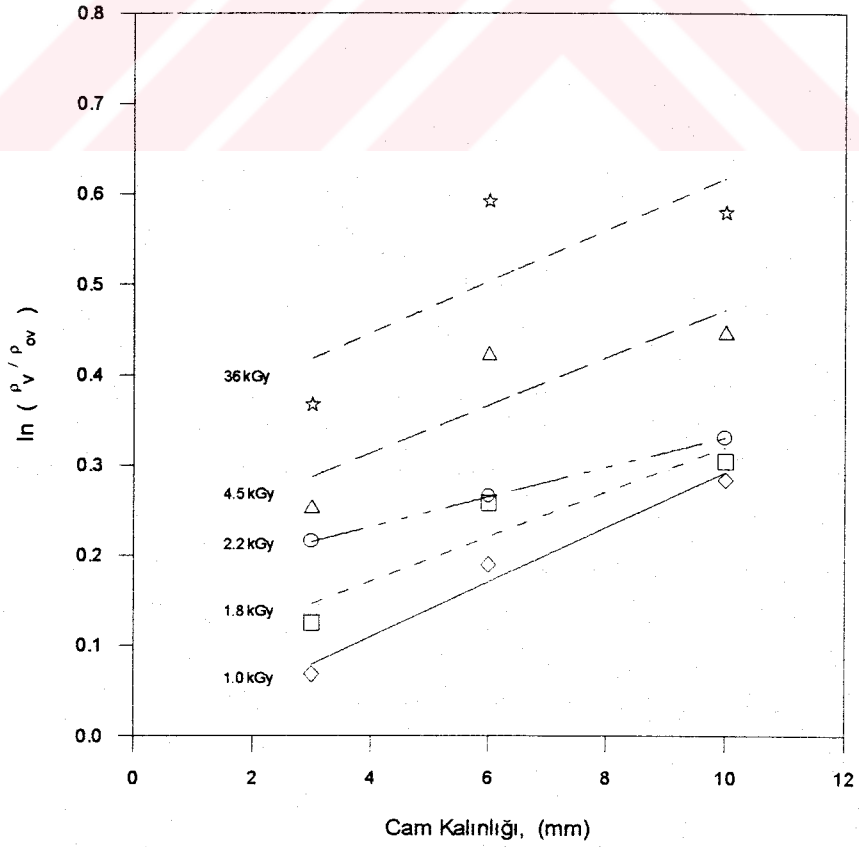
**Şekil 5.46.** Görünür Bölgedeki Bağıl Geçirgenliğin Cam Kalınlığına Göre Değişimi.

Görünür bölgedeki yansıtıcılığın soğurulan doza göre değişimi, Şekil 5.47'de görülmektedir. 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki bu değişimin, giderek azalan bir karakterde olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.48'de, görünür bölgedeki bağıl yansıtıcılığın cam kalınlığına göre değişimi, görülmektedir. Bu grafikte, cam kalınlığındaki artışa bağlı olarak, bağıl yansıtıcılığın giderek arttığı ve 36 kGy doz almış camda, 1 kGy doz almış cama göre oldukça yüksek sayılabilecek değerlerde bağıl yansıtıcılık değişiminin meydana geldiği tespit edilmiştir.

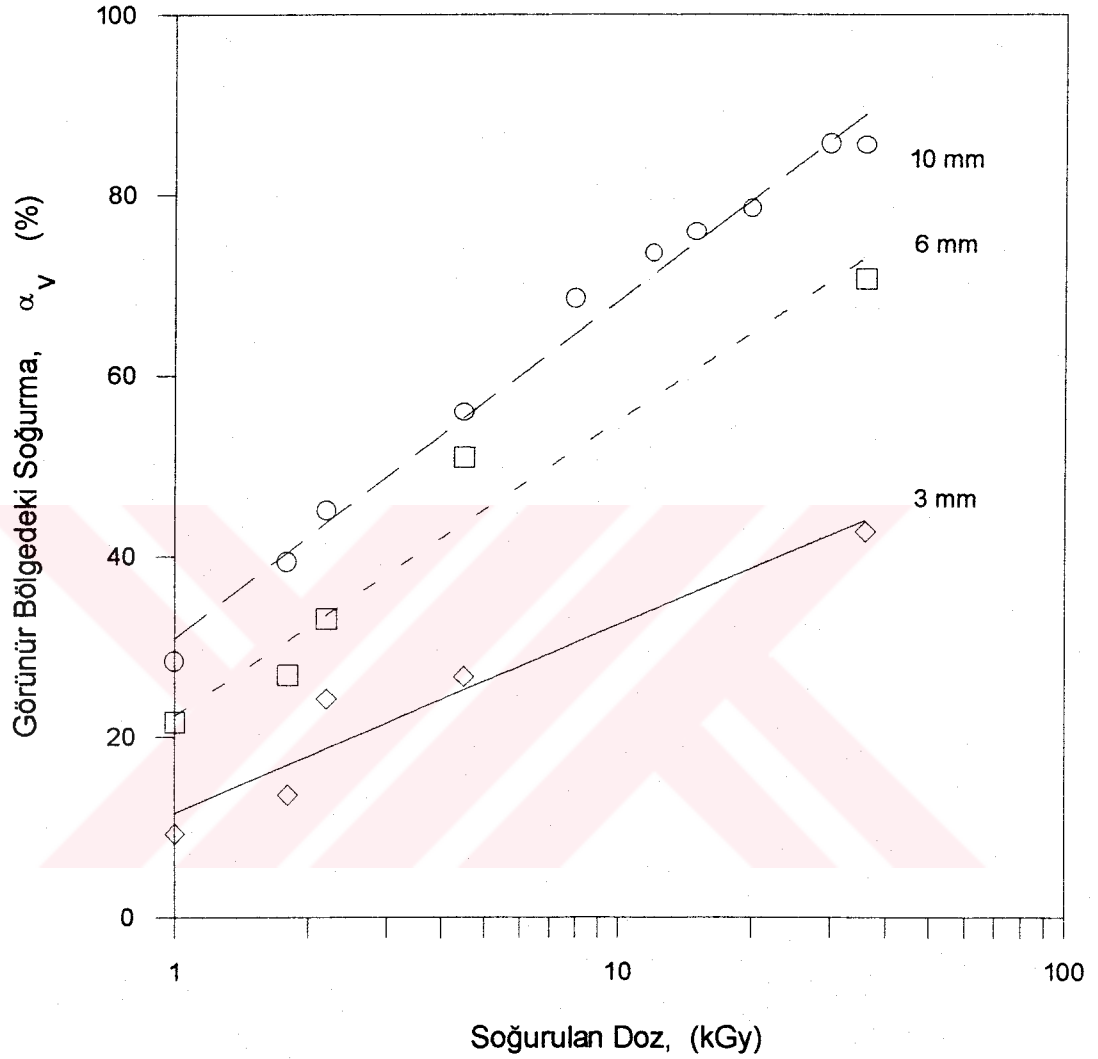


Şekil 5.47. Görünür Bölgedeki Yansıtıcılığın Soğurulan Doza Bağlı Değişimi.



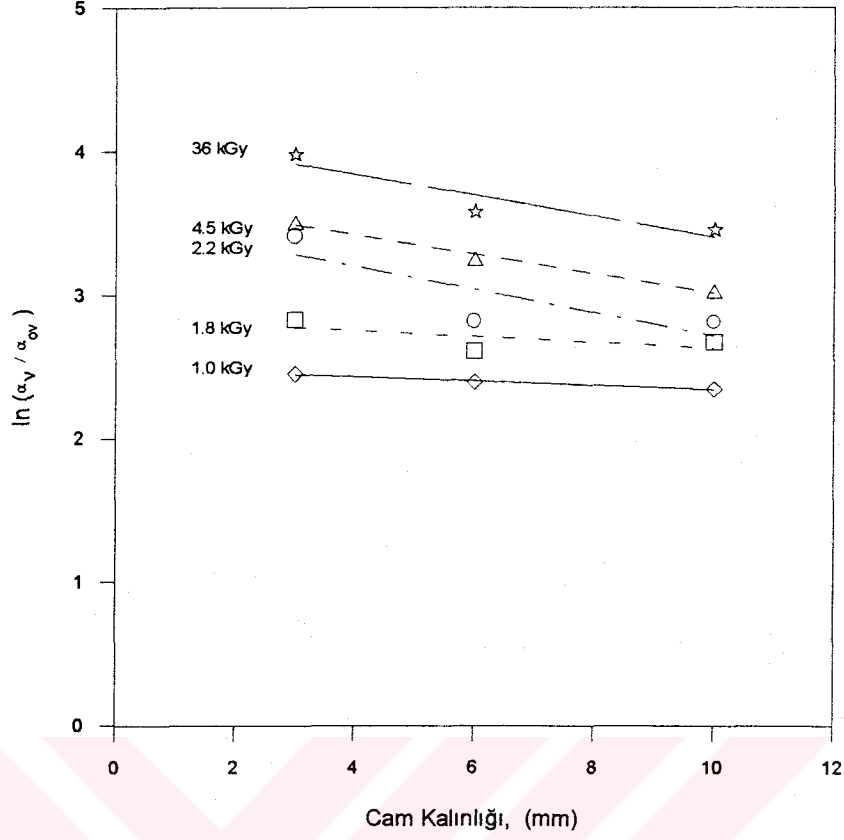
Şekil 5.48. Görünür Bölgedeki Yansıtıcılığının Cam Kalınlığına Bağlı Değişimi.

Şekil 5.49'da, görünür bölgedeki soğurmanın, soğurulan doza göre değişimi, görülmektedir. Bu değişim, yarılogaritmik eksenle, lineer olarak artmaktadır. Görünür bölgedeki soğurmada meydana gelen, en büyük artış ise, 10 mm'lik camda olmaktadır.



**Şekil 5.49.** Görünür Bölgedeki Soğurmanın Soğurulan Doza Bağlı Değişimi.

Şekil 5.50'de, görünür bölgedeki bağıl soğurmanın cam kalınlığına göre değişimi, görülmektedir. Cam kalınlığına bağlı olarak çizilen bu grafikte özellikle 36 kGy doz almış camlardaki bağıl soğurmada oldukça belirgin bir azalmanın meydana geldiği görülmüştür. Bu grafiğe göre, incelenen camlara uygulanan doz arttıkça, cam kalınlığına göre çizilen doğrunun eğimi de artmaktadır. Özellikle, 36 kGy'lik doz uygulanan camda, cam kalınlığına göre çizilen doğrunun, en yüksek eğimi oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 5.50. Görünür Bölgedeki Bağlı Soğurmanın Cam Kalınlığına Göre Değişimi.

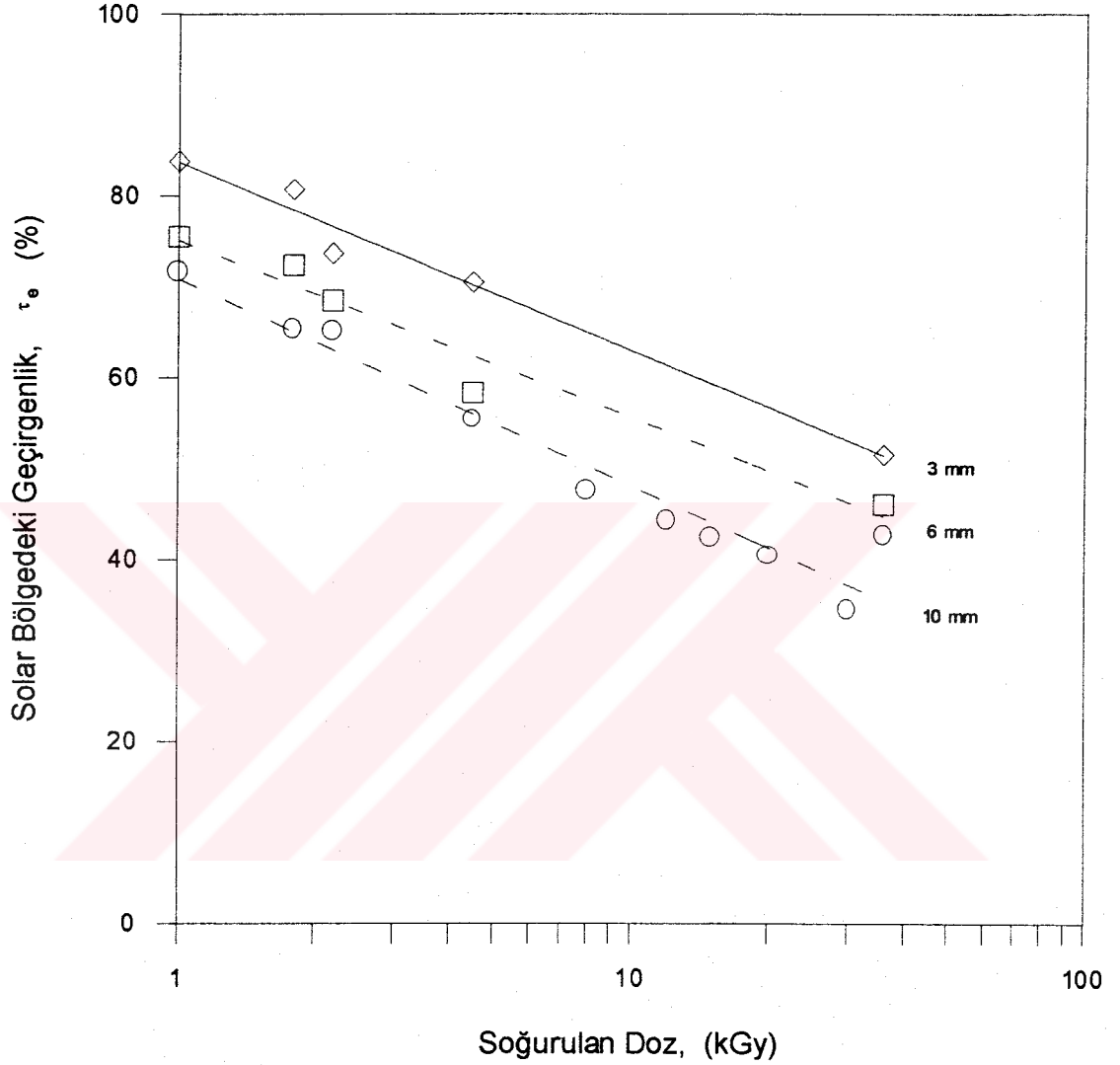
### 5.3.1.3. Kurşun-Alkali-Silika Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Solar Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları

3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki kurşun-alkali-silika camların solar bölgedeki davranışları incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, kurşun-alkali-silika camlar Co-60 radyoizotopu kullanılarak gama ışınlarına maruz bırakılmıştır. Böylece, kurşun-alkali-silika camlarda, Co-60 radyoizotopu ile çalışılmasıyla, bu camlarda oluşan etki incelenmiş olup, sonuçlar Tablo 5.14'de verilmiştir.

Tablo 5.14. Solar Bölgede Geçirgenlik  $\tau_e$  (%), Yansıtıcılık  $\rho_e$  (%) ve Soğurma  $\alpha_e$  (%)

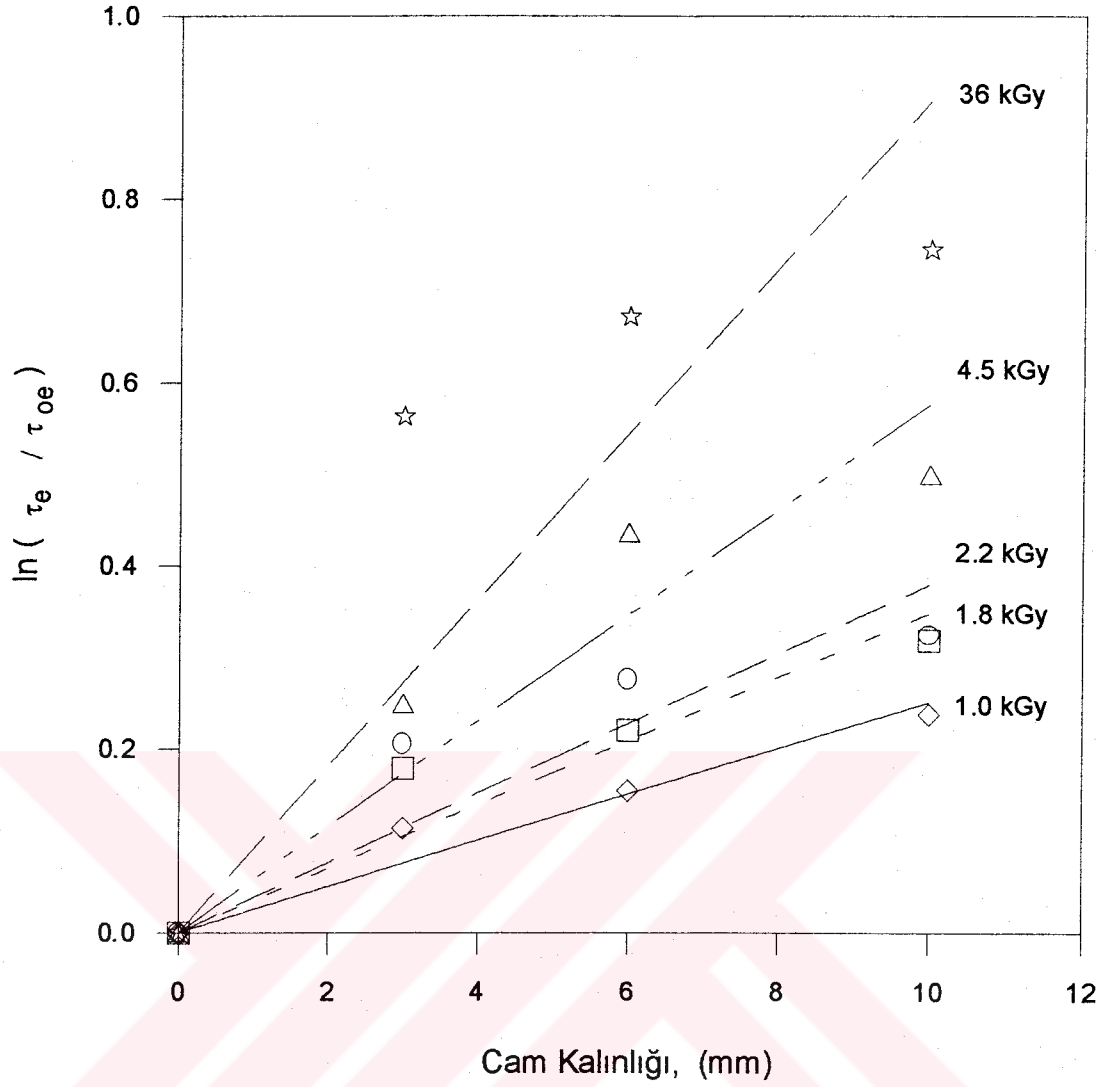
| Soğurulan Doz (kGy) | $\tau_e$ (%) |       |       | $\rho_e$ (%) |      |       | $\alpha_e$ (%) |       |       |
|---------------------|--------------|-------|-------|--------------|------|-------|----------------|-------|-------|
|                     | 3 mm         | 6 mm  | 10 mm | 3 mm         | 6 mm | 10 mm | 3 mm           | 6 mm  | 10 mm |
| 0.0                 | 90.43        | 90.18 | 89.94 | 8.33         | 8.26 | 7.76  | 1.24           | 1.57  | 2.29  |
| 1.0                 | 83.79        | 75.51 | 71.71 | 7.81         | 7.22 | 6.09  | 8.41           | 17.28 | 22.20 |
| 1.8                 | 80.70        | 72.34 | 65.38 | 7.52         | 6.81 | 6.36  | 11.79          | 20.84 | 28.27 |
| 2.2                 | 73.66        | 68.48 | 65.05 | 7.12         | 6.93 | 6.53  | 19.22          | 24.59 | 28.42 |
| 4.5                 | 70.45        | 58.30 | 55.38 | 7.02         | 6.29 | 4.87  | 22.54          | 35.41 | 39.75 |
| 36.0                | 51.52        | 46.06 | 42.70 | 6.52         | 5.65 | 5.15  | 41.96          | 48.29 | 52.15 |

Şekil 5.51’de, solar bölgedeki geçirgenliğin soğurulan doza göre değişimi görülmektedir. 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki bu değişim yarılogaritmik eksenle, lineer olarak azalmakta olup, en fazla değişim, 10 mm kalınlıktaki camda meydana gelmektedir.



**Şekil 5.51.** Kurşun-Alkali-Silika Camlarda Solar Bölgedeki Geçirgenliğin Soğurulan Doza Bağlı Değişimi.

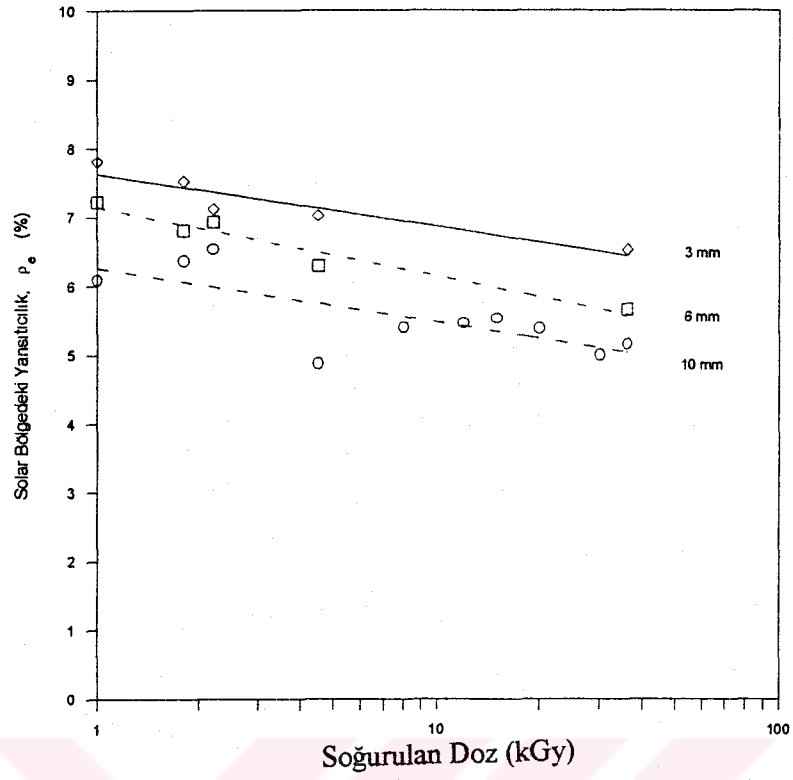
Şekil 5.52’de, solar bölgedeki bağıl geçirgenliğin, soğurulan doza göre değişimi, görülmektedir. Çeşitli seviyelerde doz almış camlarda, cam kalınlığına göre, bu değişimin, lineer bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Özellikle, 36 kGy doz almış camlarda, cam kalınlığına bağlı oluşan değişimin eğiminde meydana gelen artışın oldukça belirginleştiği görülmüştür.



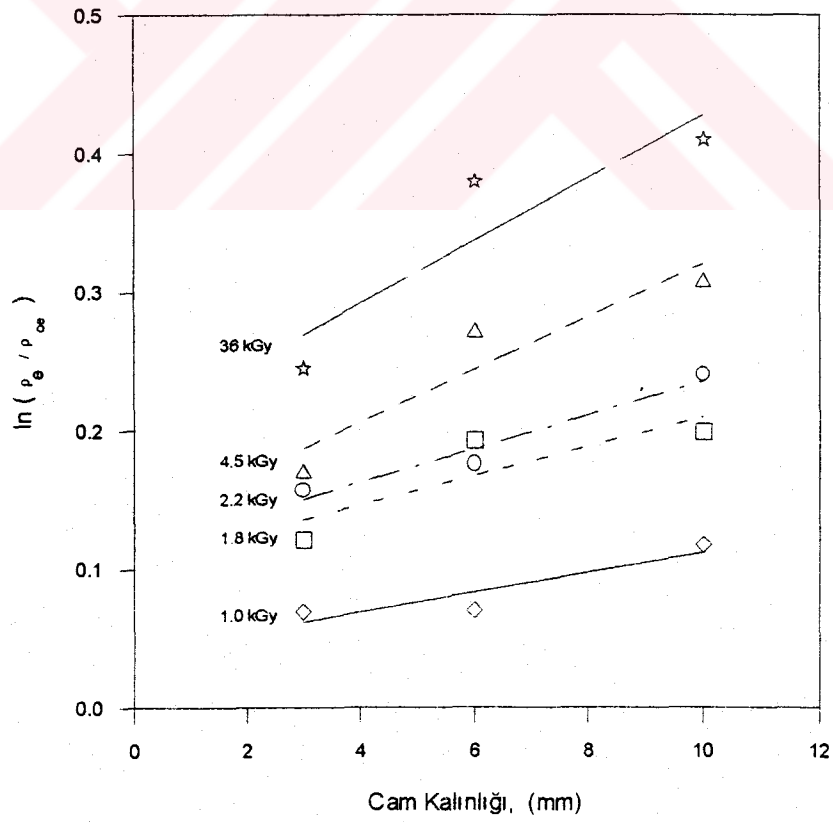
Şekil 5.52. Solar Bölgedeki Bağlı Geçirgenliğin Cam Kalınlığına Göre Değişimi.

Şekil 5.53'de, solar bölgedeki yansıtıcılığın, soğurulan doza göre, yarılogaritmik eksenlerdeki değişimi, görülmektedir. 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki bu değişim, soğurulan doza göre lineer olarak gittikçe azalmakta olup, solar bölgedeki yansıtıcılık, yavaş bir şekilde değişmektedir.

Solar bölgedeki, bağlı yansıtıcılığın cam kalınlığına göre değişimi, Şekil 5.54'de görülmektedir. Hem uygulanan doz seviyesi arttıkça ve hem de cam kalınlığı arttıkça, solar bölgedeki bağlı yansıtıcılığın arttığı görülmektedir. Bu grafikte, bağlı yansıtıcılıkta oluşan değişimin en fazla, 36 kGy doz almış kurşun-alkali-silika camda meydana geldiği görülmektedir.



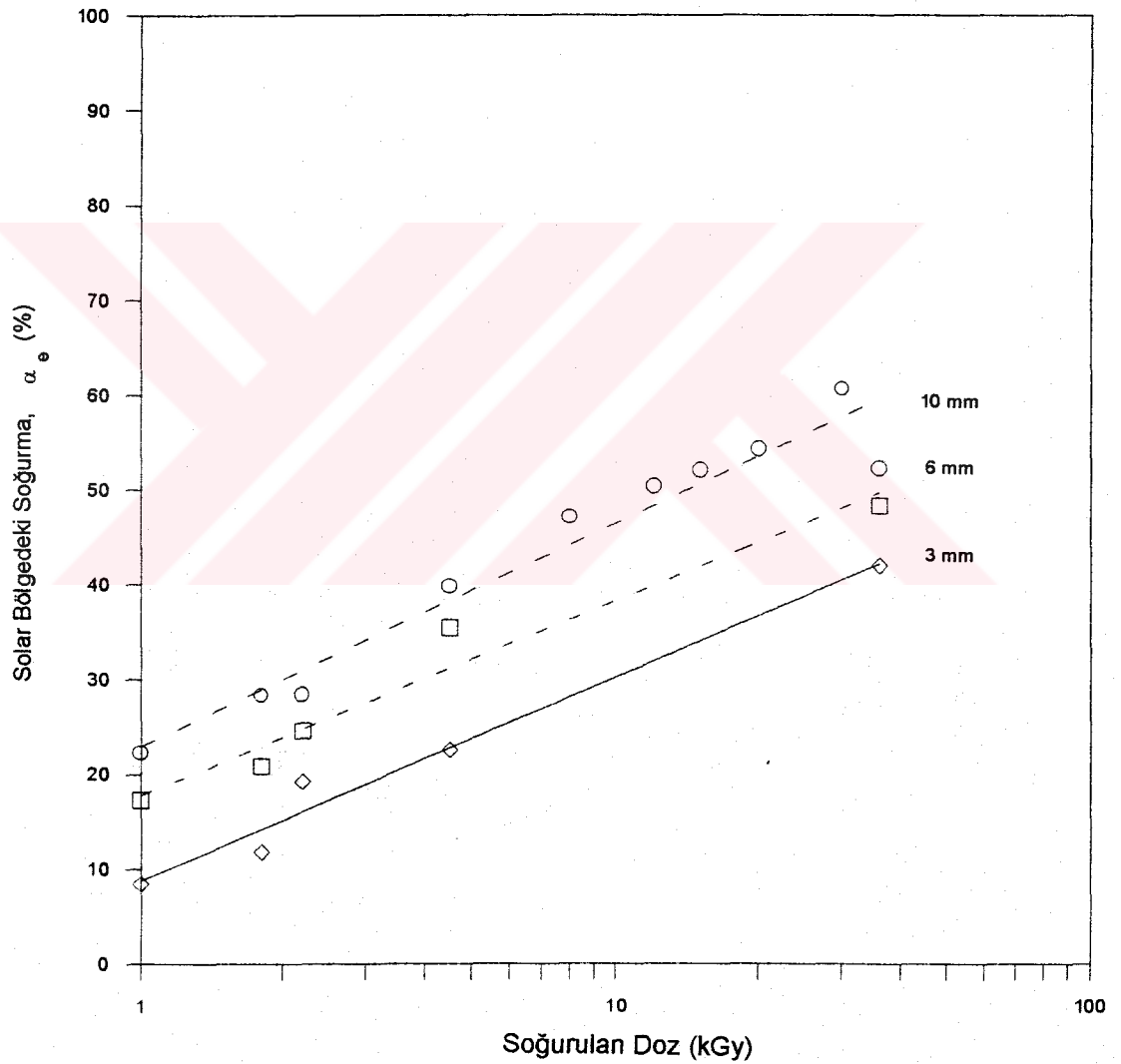
Şekil 5.53. Solar Bölgedeki Yansıtıcılığın Soğurulan Doza Bağlı Değişimi.



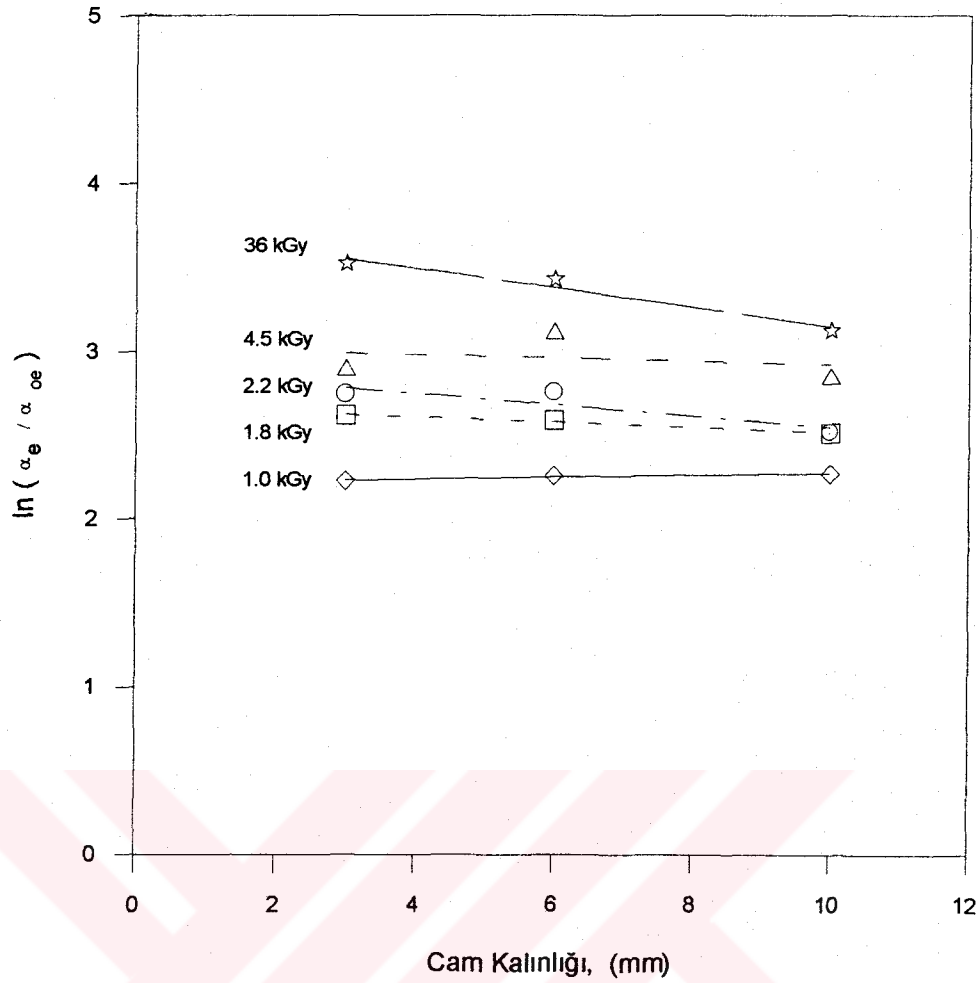
Şekil 5.54. Solar Bölgedeki Yansıtıcılığının Cam Kalınlığına Bağlı Değişimi.

Şekil 5.55’de, solar bölgedeki soğurmanın, soğurulan doza göre değişimi, görülmektedir. Solar bölgedeki soğurmada, 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki bu değişim, soğurulan doza bağlı olarak yarılogaritmik eksenle lineer karakterde artmaktadır ve en büyük artış, 10 mm kalınlıktaki camda meydana gelmiştir.

Şekil 5.56’da, solar bölgedeki bağıl soğurmanın cam kalınlığına göre değişimi, görülmektedir. Solar bölgedeki en şiddetli bağıl soğurmanın, 36 kGy doz almış camda meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 5.55. Kurşun-Alkali-Silika Camlarda, Solar Bölgedeki Soğurmanın, Soğurulan Doza Bağlı Değişimi.



Şekil 5.56. Solar Bölgedeki Bağlı Soğurmanın, Cam Kalınlığına Göre Değişimi.

### 5.3.2. Kurşun-Alkali-Silika Camlar ile İTÜ NEE TRIGA Mark II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları

Teğetsel Işınlama Tüpü kullanılarak, kurşun-alkali-silika camlarda, nötronlara yönelik, 10 mm kalınlıktaki camlar için çalışmalar yapılmıştır. Bu camlara ilişkin, deneysel sonuçlar ise, Tablo 5.15’de yer almaktadır.

Tablo 5.15. Teğetsel Işınlama Tüpü’nde, 10 mm Kalınlıktaki Camlarla Yapılan Çalışmalar.

| Işınlama Süresi (dakika) | $\tau_v$ (%) | $\tau_e$ (%) | $\tau_{uv}$ (%) | $\rho_v$ (%) | $\rho_e$ (%) | $\alpha_v$ (%) | $\alpha_e$ (%) |
|--------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| 0                        | 89.47        | 89.94        | 69.95           | 7.82         | 7.76         | 2.71           | 2.30           |
| 30                       | 84.61        | 85.44        | 44.12           | 2.65         | 2.18         | 12.74          | 12.37          |
| 60                       | 78.36        | 80.42        | 19.74           | 6.41         | 6.94         | 15.23          | 12.65          |

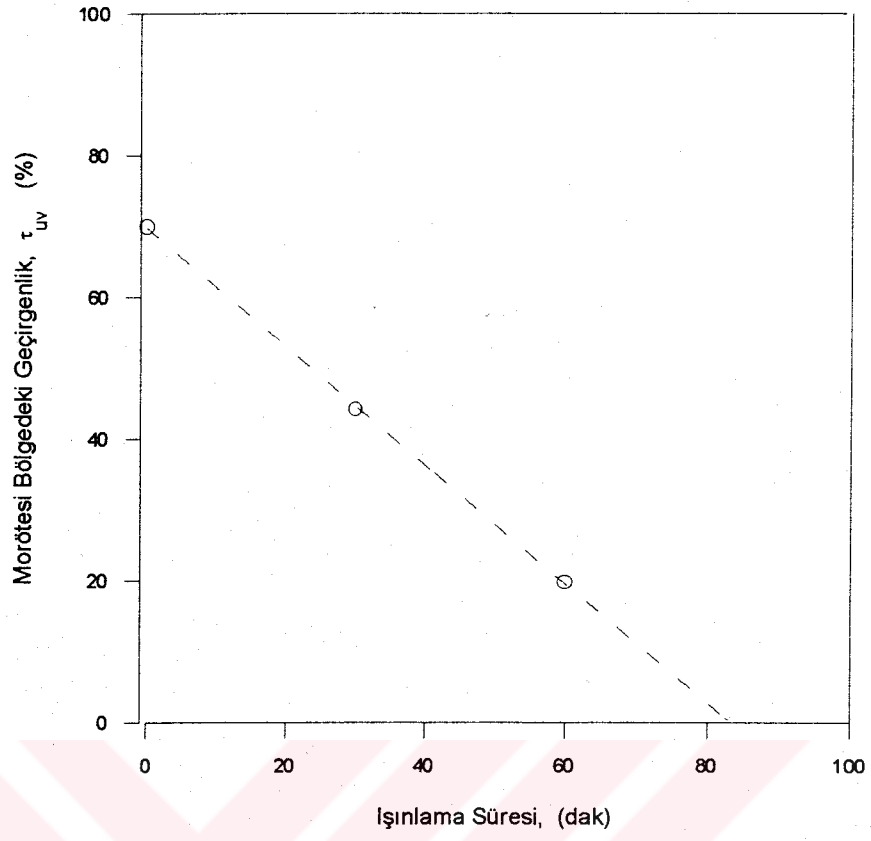
Spektrumun, morötesi, görünür ve solar bölgelerindeki, doz almış ve almamış, bütün kurşun-alkali-silika cam örneklerde, soğurmanın oldukça düşük olduğu görülmektedir. Ancak, kurşun-alkali-silika camların, incelenen diğer üç cam tipine göre, oldukça yüksek soğurma davranışı gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sebeple, birbirinden farklı iki nötron dozu ile çalışılarak, spektrumun morötesi, görünür ve solar bölgelerindeki optik değerlerde oluşan değişimlerin, uygulanan diğer doz ile karşılaştırılması yoluna gidilmiştir.

Böylece, gama dozu ile, eşdeğer doz arasında daha etkin bir karşılaştırma yapılabileceği düşünülmüştür. Radyasyon zırhlamasında kullanılabileceği düşünülen kurşun-alkali-silika camlar için ikinci bir doza ilişkin olarak da çalışılmıştır. Bu bağlamda, kurşun-alkali-silika cam için 30 dakikalık ışınlamadan ayrı olarak 60 dakikalık ikinci bir doz ile daha çalışılması yoluna gidilmiştir. Bu incelemeler, reaktörün 250 kW güçte, 30 ve 60 dakika olmak üzere, iki kez, çalıştırılmasını gerektirmiştir.

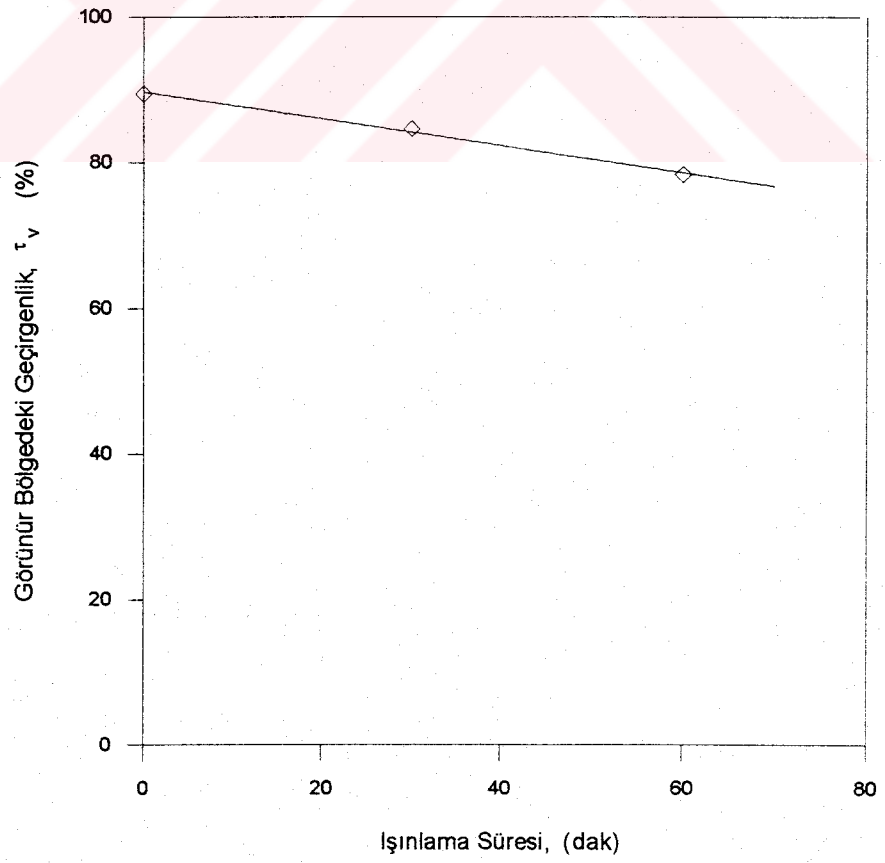
Şekil 5.57’de, Teğetsel Işınlama Tüpünde ışınlanan, kurşun-alkali-silika camlarda, morötesi bölgedeki geçirgenlikte, meydana gelen, zamana bağlı değişimler görülmektedir. Bu grafikte, nötronlara maruz kalan bu camlarda, ışınlama süresinin artmasıyla, morötesi bölgedeki geçirgenliğin lineer olarak azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.58’de, kurşun-alkali-silika camlarda, görünür bölgedeki, geçirgenlikte meydana gelen değişimler görülmektedir. Teğetsel Işınlama Tüpü’nde ışınlanan bu camlarda ışınlama süresinin artışıyla, görünür bölgedeki geçirgenliğin giderek azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.58’e göre, nötron dozuna maruz kalmış kurşun-alkali-silika camlarda, görünür bölge için oluşan bu değişimlerin kendine özgü karakteristik bir davranış sergilediği görülmektedir.



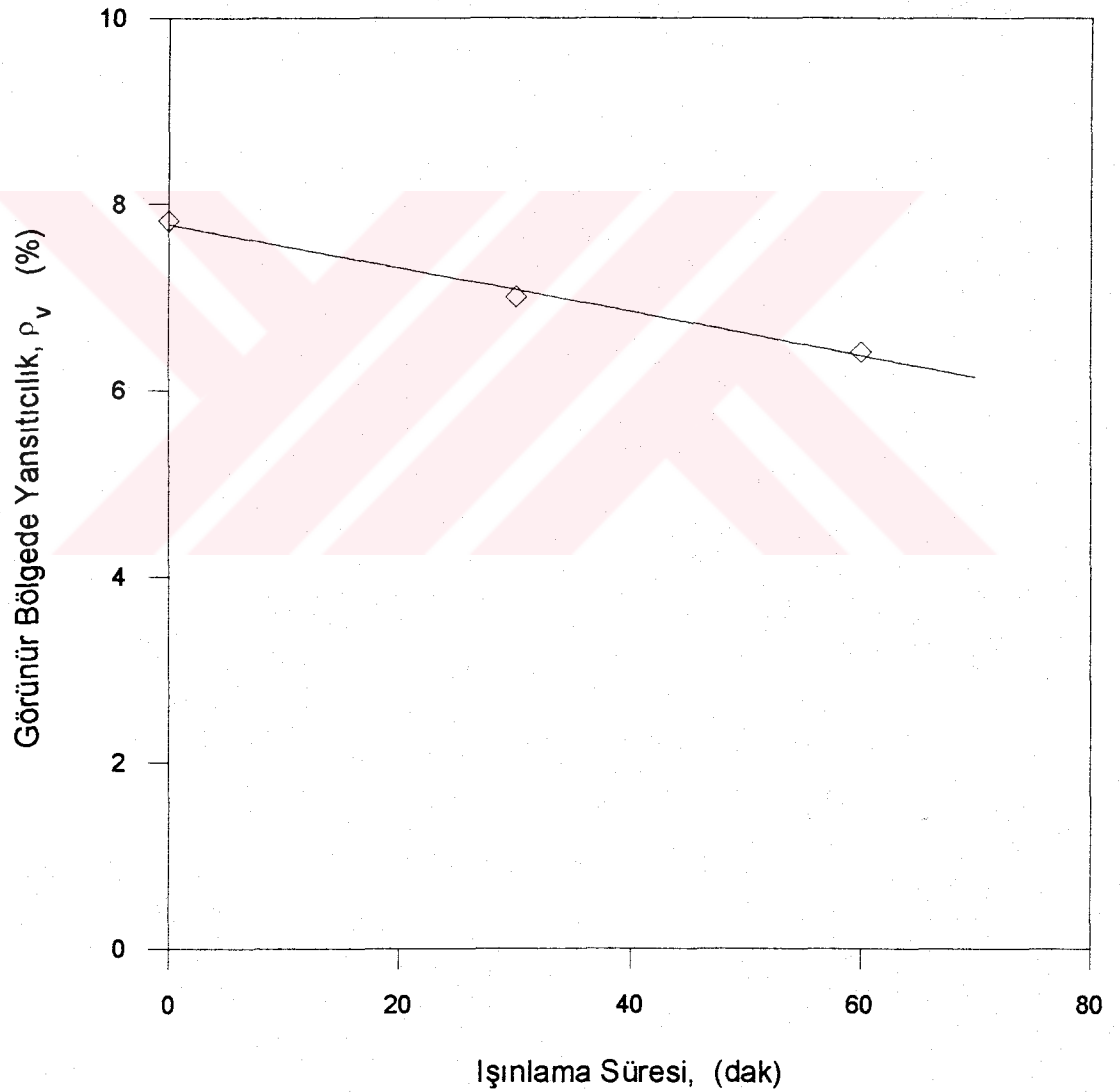
**Şekil 5.57.** Camların Morötesi Bölgedeki Geçirgenliği.



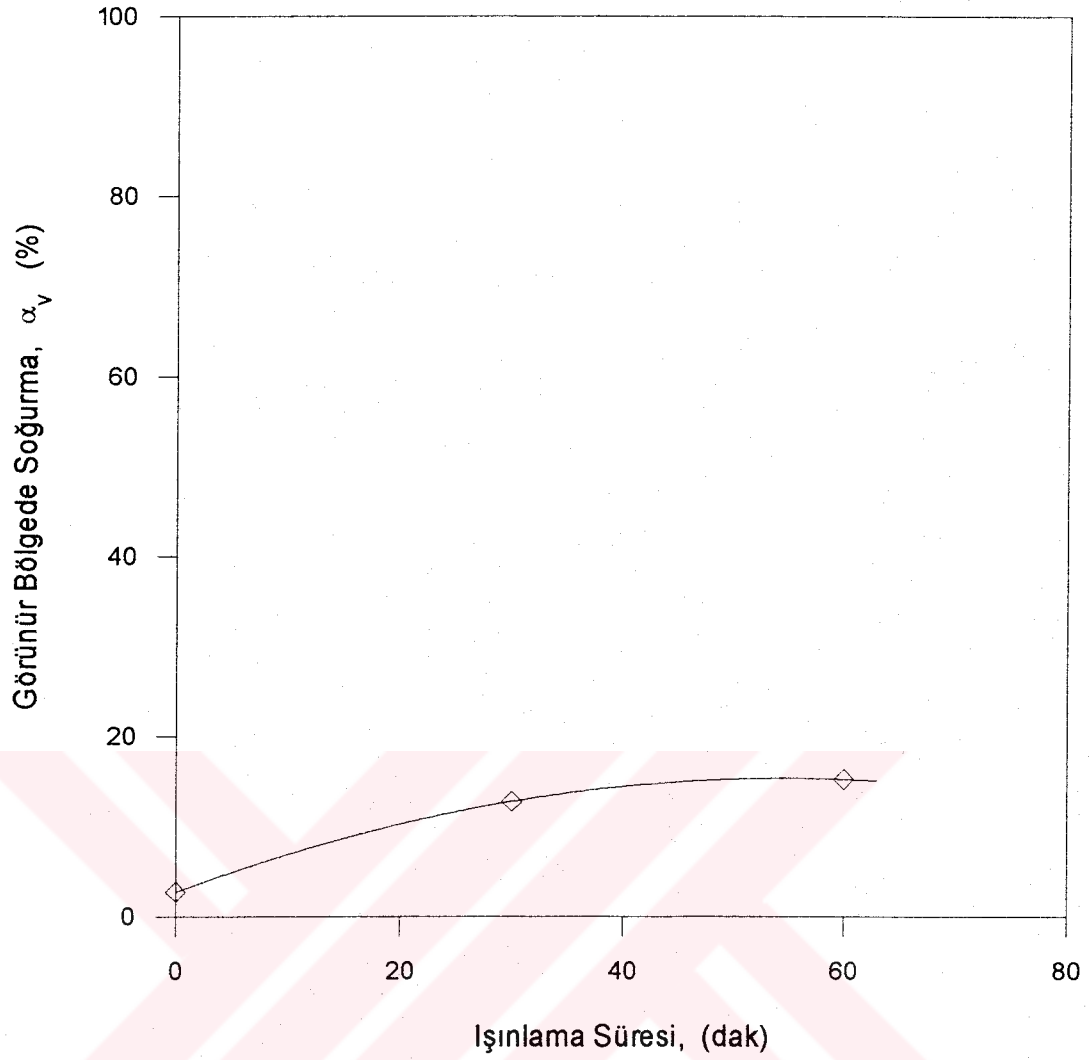
**Şekil 5.58.** Camların, Görünür Bölgedeki Geçirgenliği.

Kurşun-alkali-silika camlarda, görünür bölgedeki, yansıtıcılıkta meydana gelen değişim, Şekil 5.59'da görülmektedir. Teğetsel Işınlama Tüpü kullanılarak, yapılan ışınlamalarda elde edilen sonuçların zamana bağlı değişimi incelenmeye çalışılmıştır.

Kurşun-alkali-silika camlarda, görünür bölgedeki, soğurmada meydana gelen değişim, Şekil 5.60'de görülmektedir. Teğetsel Işınlama Tüpü kullanılarak, yapılan ışınlamalarda elde edilen sonuçların zamana bağlı değişimi incelenmeye çalışılmıştır.



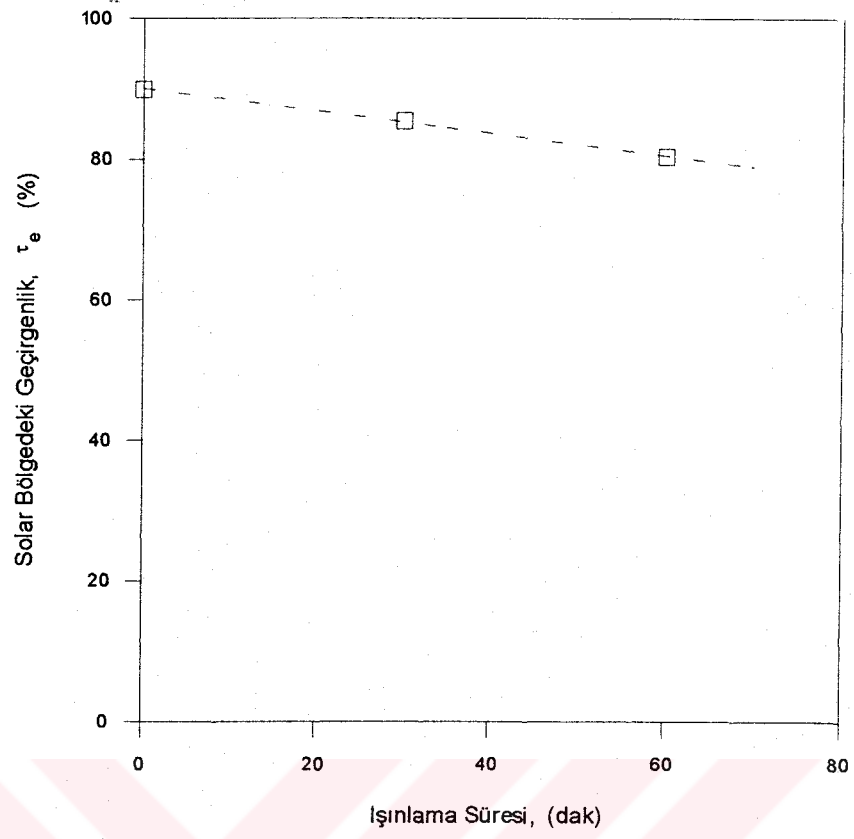
Şekil 5.59. Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Işınlama Süresine Göre, Görünür Bölgede, Yansıtıcılıktaki Değişim.



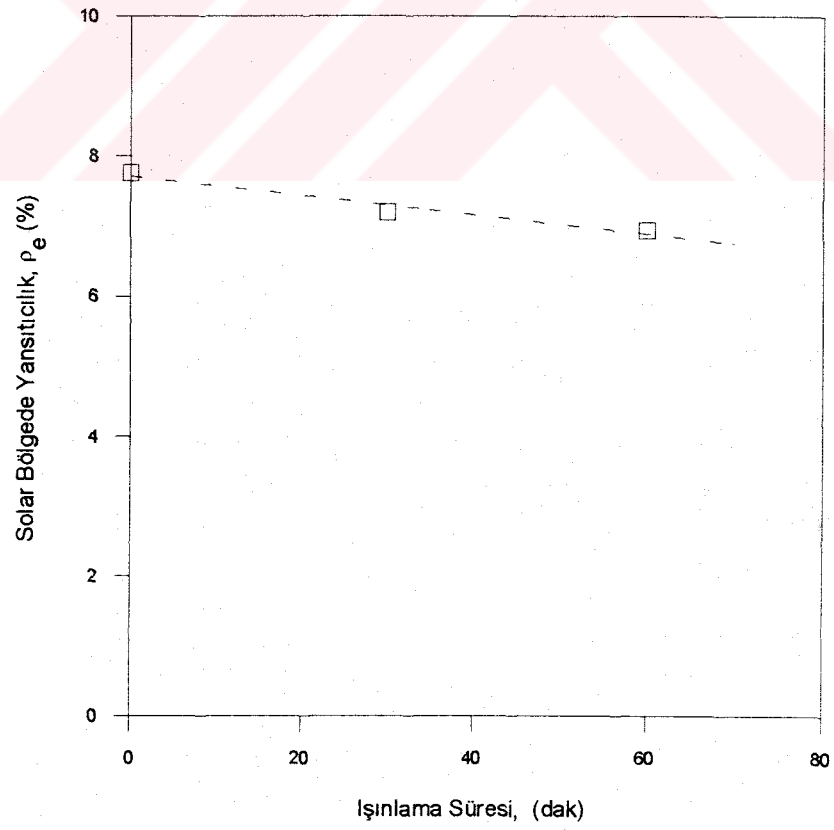
**Şekil 5.60.** Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Işınlama Süresine Göre, Görünür Bölgede, Soğurmadaki Değişim.

Şekil 5.61’de, Teğetsel Işınlama Tüpü yapılan ışınlamalarda, solar bölgedeki geçirgenlik değişimleri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucu, yapılan değerlendirmelerde, kurşun-alkali-silika camlarda ışınlama süresinin artmasıyla, solar bölgedeki, geçirgenlikte bu camalara özgü, giderek azalan bir değişimin meydana geldiği tespit edilmiştir.

Şekil 5.62’de, Teğetsel Işınlama Tüpü kullanılarak yapılan ışınlamalarda, nötronlara maruz kalan kurşun-alkali-silika camların, solar bölgedeki yansıtıcılık değişimi görülmektedir. Solar bölgedeki yansıtıcılığın, ışınlama süresinin artmasıyla, giderek azaldığı görülmektedir.

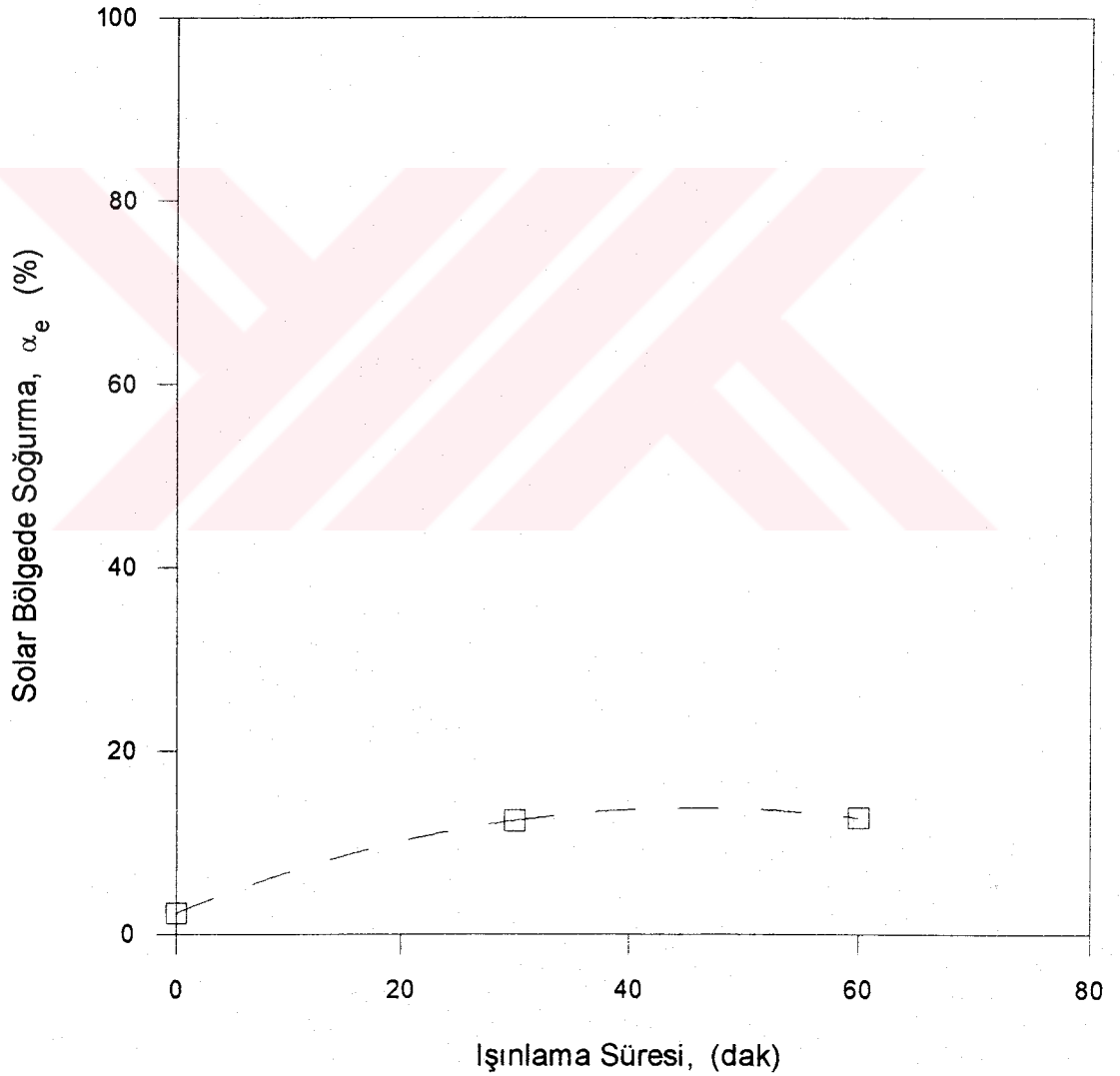


Şekil 5.61. Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan Camların, Solar Bölge Geçirgenliği.



Şekil 5.62. Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan Camların Solar Bölge Yansıtıcılığı.

Şekil 5.63'de, Teğetsel Işınlama Tüpü kullanılarak, yapılan ışınlamalarda, elde edilen sonuçların, zamana bağlı değişimi incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, solar bölgedeki, soğurmada meydana gelen değişim, görülmektedir. İlk 30 dakikalık ışınlama süresi boyunca, solar bölgede oluşan soğurmada, hızlı bir şekilde değişim gözlenmiştir. 30 dakikalık süreden sonra, ışınlama süresi arttıkça, elektromanyetik spektrumun bu bölgesindeki soğurma artışında, belirgin bir şekilde yavaşlama olduğu tespit edilmiştir. Yaklaşık 40 dakikalık ışınlamadan sonra ise, kurşun-alkali-silika camdaki soğurmada bir doygunluk oluşmaktadır. Dolayısıyla, kurşun-alkali-silika camların, yaklaşık 40 dakika süre ile ışınlanmasının ardından, karakteristik bir şekilde, solar bölgedeki soğurmada, doygunluk davranışı sergilenmektedir.



Şekil 5.63. Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Işınlama Süresine Göre Soğurmada Meydana Gelen Değişim.

### 5.3.3. Kurşun-Alkali-Silika Camlar ile İTÜ NEE TRİGA Mark-II Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları

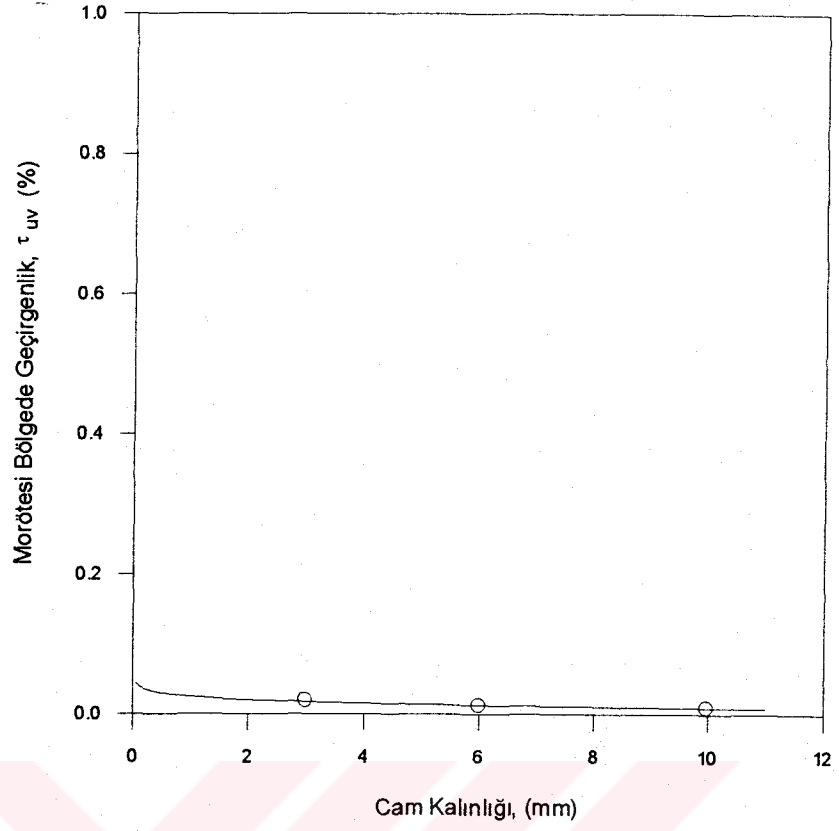
Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak kurşun-alkali-silika camlara ilişkin ulaşılan değerler, Tablo 5.16'da verilmektedir. Bu çalışma, reaktörün 250 kW güçte, 5 dakika çalıştırılması ile elde edilmiştir.

**Tablo 5.16.** Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak, Kurşun-Alkali-Silika Camlara İlişkin Yapılan Çalışmalarda Elde Edilen Sonuçlar

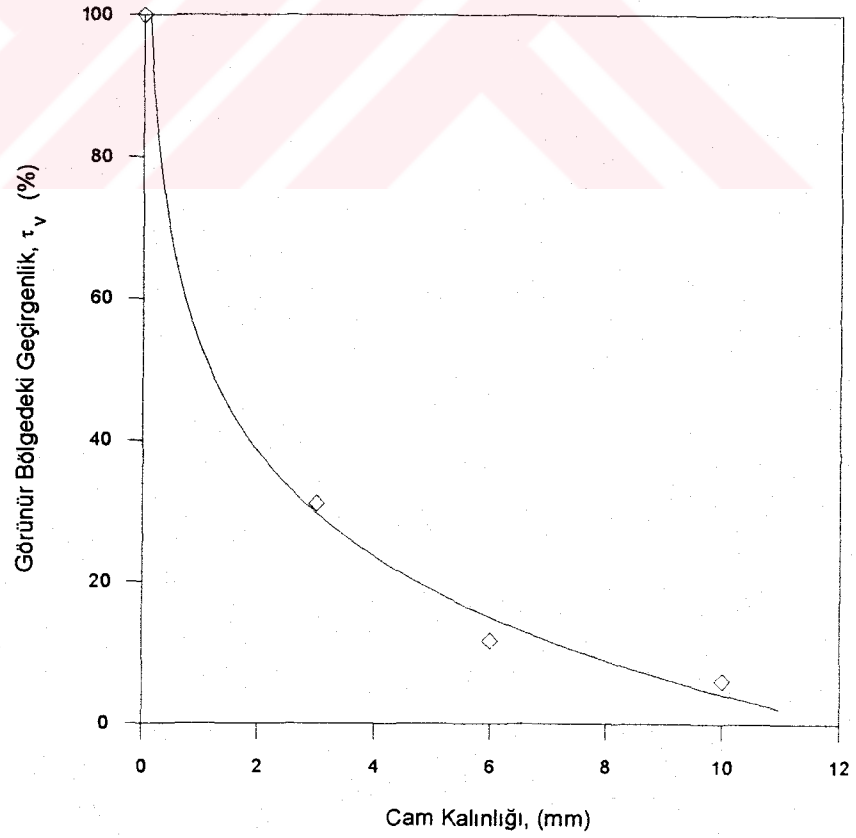
| Cam Kalınlığı (mm) | Işınlama Süresi (dakika) | $\tau_v$ (%) | $\tau_e$ (%) | $\tau_{uv}$ (%) | $\rho_v$ (%) | $\rho_e$ (%) | $\alpha_v$ (%) | $\alpha_e$ (%) |
|--------------------|--------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| 3                  | 5                        | 31.09        | 47.78        | 0.018           | 4.458        | 5.690        | 64.457         | 46.534         |
| 6                  | 5                        | 11.66        | 33.38        | 0.011           | 4.219        | 5.184        | 84.126         | 61.432         |
| 10                 | 5                        | 6.05         | 27.50        | 0.010           | 4.056        | 4.975        | 89.899         | 67.527         |

Şekil 5.64'de, 3, 6 ve 10 mm kalınlıktaki kurşun-alkali-silika camlar, Merkezi Işınlama Kanalı'nda ışınlanmıştır. İncelenen camların ışınlanmasından sonra, cam kalınlığındaki artışa bağlı olarak, camların, morötesi bölgede geçirgenlik değerlerinde, azalma olduğu görülmektedir. Morötesi bölgedeki geçirgenlikte oluşan bu belirgin azalma oldukça dikkat çekicidir. Bu grafiğe göre, yaklaşık 5 cm'lik cam kalınlığından itibaren, 5 dakikalık karışık radyasyonla ışınlama sonucu, camdaki bu bölgede oluşan geçirgenliğin sıfıra oldukça yakın bir değere ulaştığı belirlenmiştir.

Şekil 5.65'de, Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak yapılan ışınlamalarda, cam kalınlığına bağlı olarak, görünür bölgedeki geçirgenlik değişimleri incelenmiştir. Cam kalınlığı arttıkça, bu bölgedeki geçirgenliğin, üstel karakterde azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle, 10 mm kalınlıktaki camda, görünür bölgedeki sözkonusu geçirgenliğin önemli bir şekilde azaldığı belirlenmiştir. Elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde yapılan incelemelere göre, karışık radyasyon dozuna maruz kalmış, kurşun-alkali-silika camlara özgü geçirgenlikte karakteristik değişimlerin meydana geldiği tespit edilmiştir.



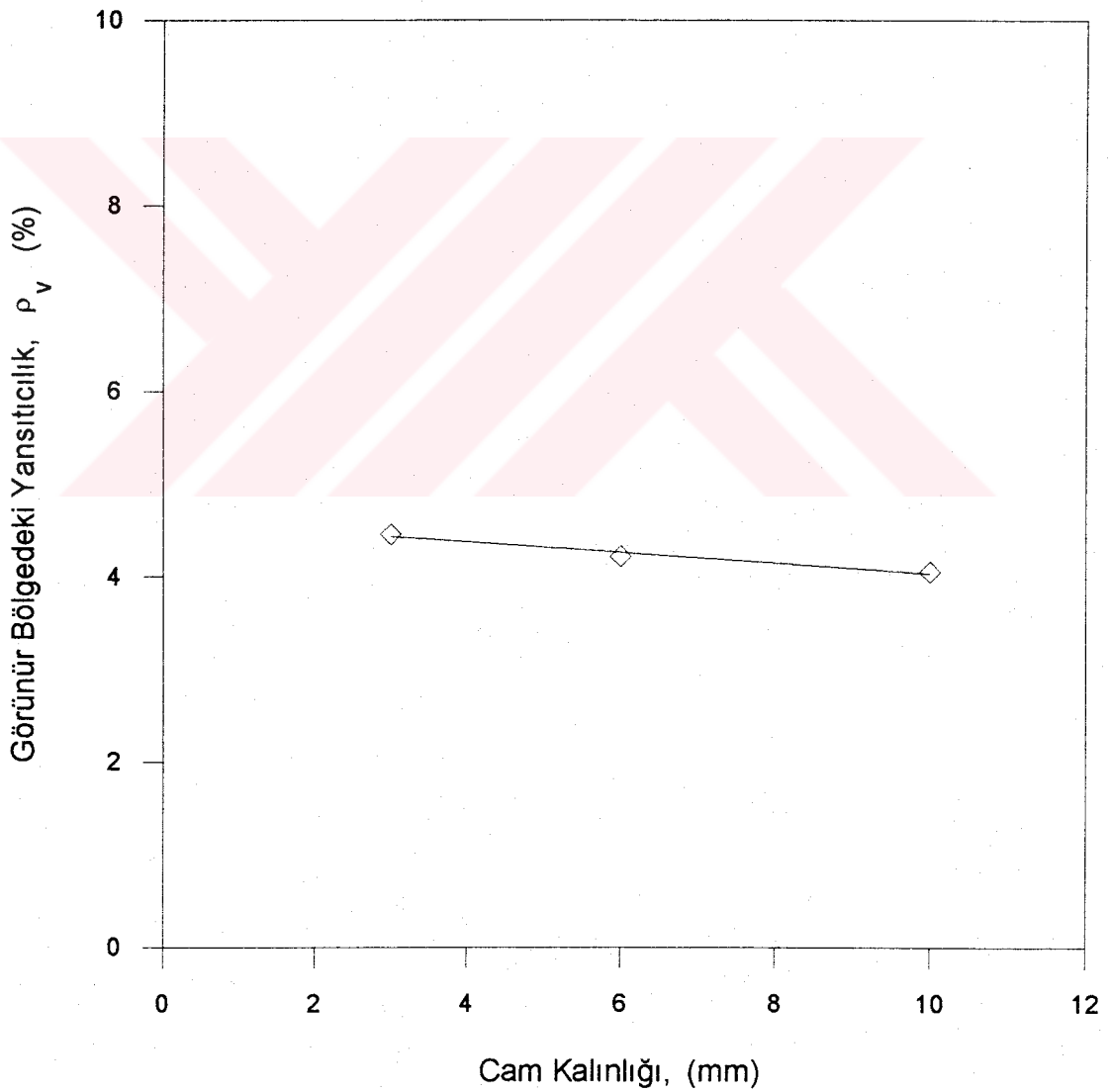
Şekil 5.64. Cam Kalınlığına Göre, Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik Değişimi.



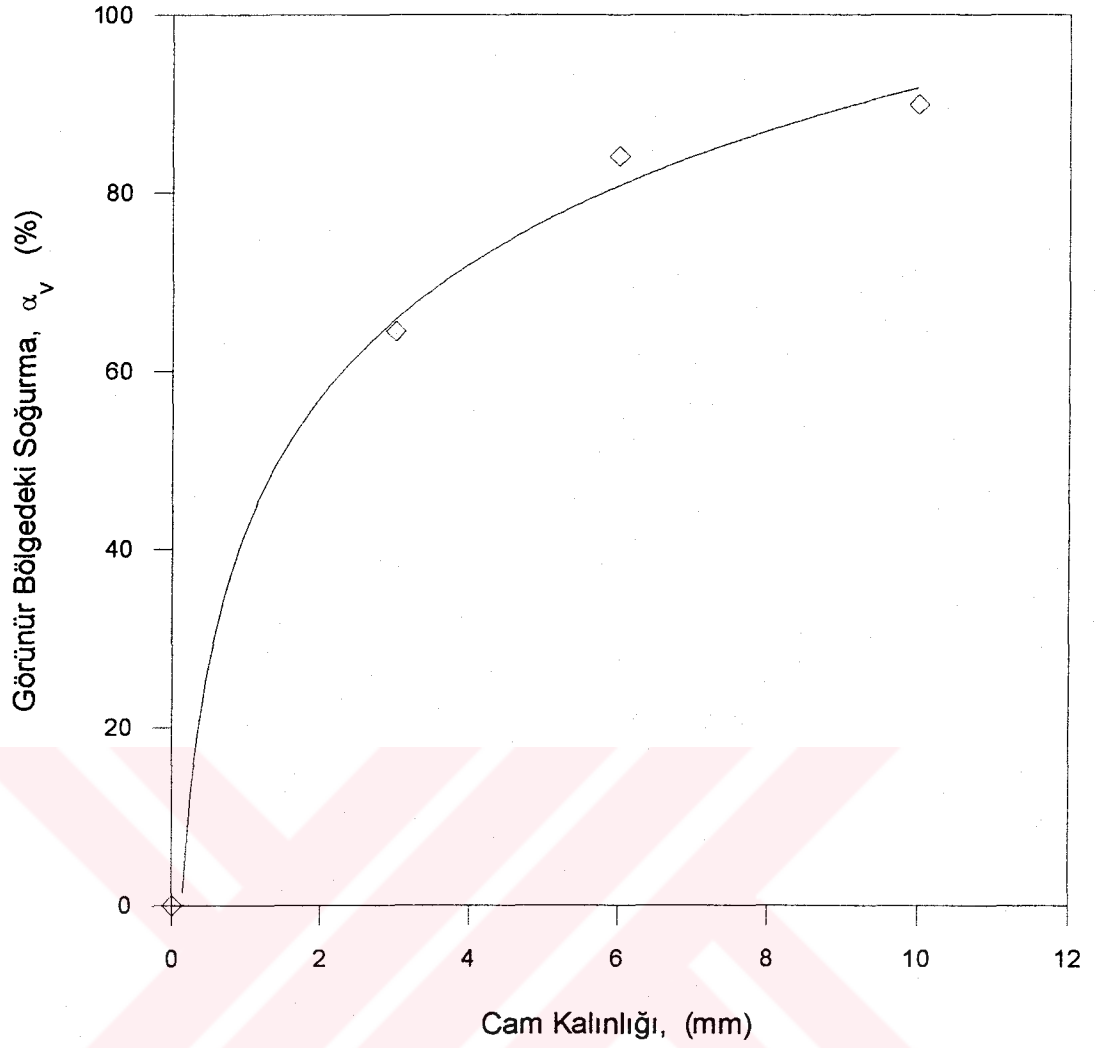
Şekil 5.65. Cam Kalınlığına Göre, Görünür Bölgedeki Geçirgenlik.

Şekil 5.66'da, Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak yapılan ışınlamalarda, cam kalınlığına bağlı olarak, görünür bölgedeki yansıtıcılık değişimleri incelenmiştir. Cam kalınlığı arttıkça, bu bölgedeki yansıtıcılığın oldukça yavaş azaldığı görülmektedir.

Şekil 5.67'de, solar bölgedeki, soğurmada meydana gelen değişim, görülmektedir. Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak, yapılan ışınlamalarda, cam kalınlığına bağlı olarak görünür bölgedeki soğurmada oluşan değişimler incelenmeye çalışılmıştır. Böylece, cam kalınlığı arttıkça, görünür bölgede meydana gelen soğurmanın da üstel bir karakterde arttığı tespit edilmiştir.



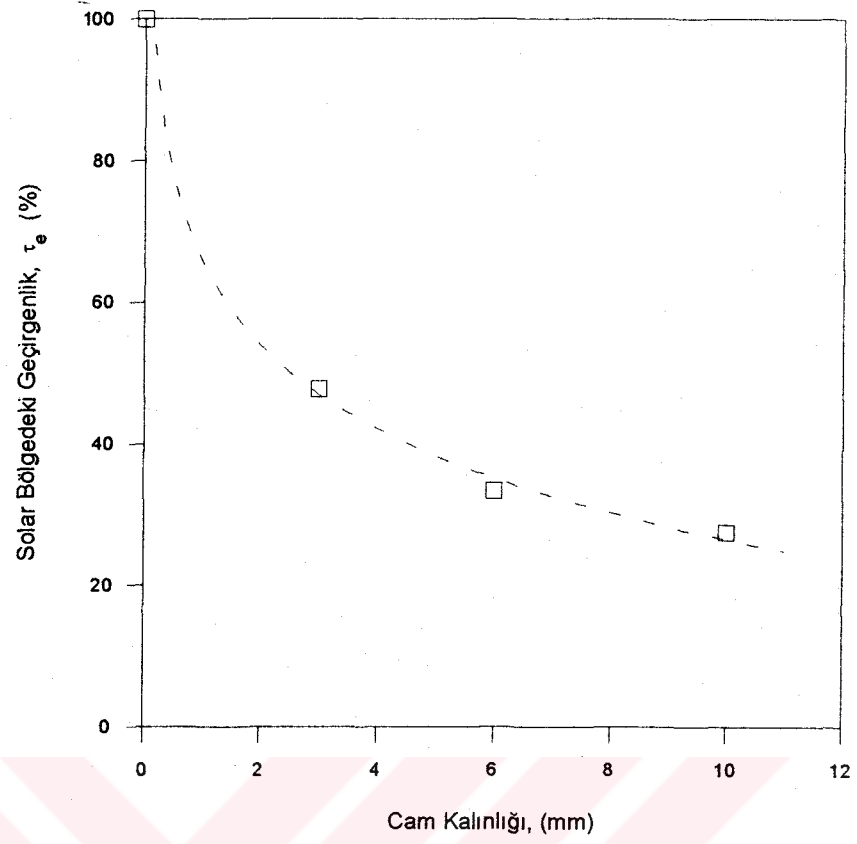
Şekil 5.66. Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalarda, Cam Kalınlığına Göre, Görünür Bölgede Yansıtıcılık.



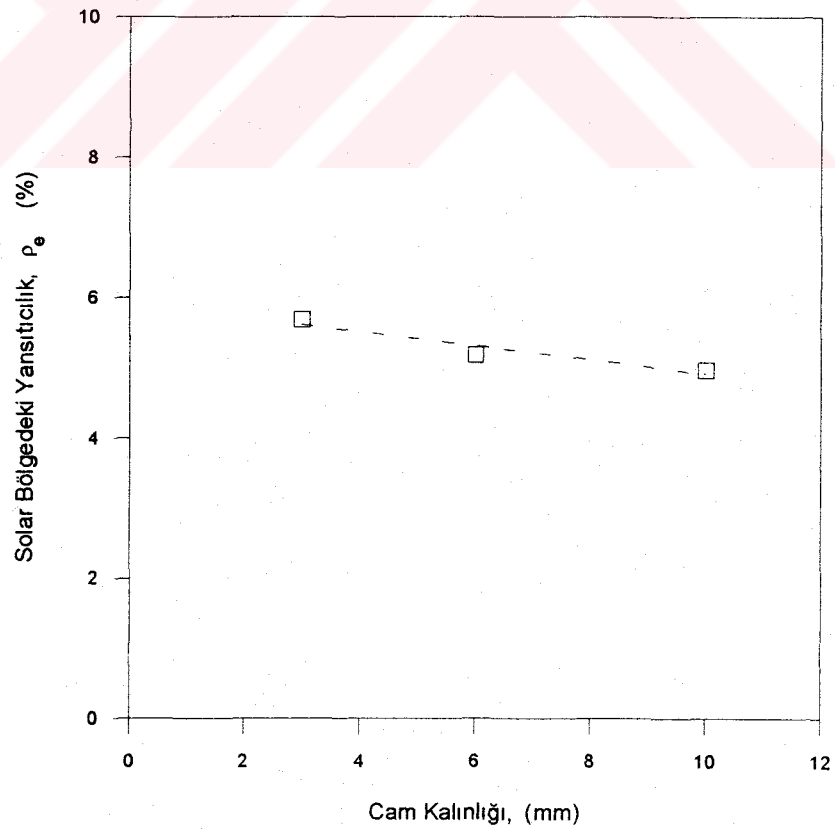
Şekil 5.67. Cam KalınlığınaGöre, Görünür Bölgedeki Soğurma.

Şekil 5.68’de, Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak yapılan ışınlamalarda, cam kalınlığına bağlı olarak, solar bölgedeki geçirgenlik değişimleri incelenmiştir. Cam kalınlığı arttıkça, bu bölgedeki geçirgenliğin, üstel bir karakterde azaldığı görülmektedir. Özellikle, 10 mm kalınlıktaki camda, solar bölgedeki geçirgenliğin önemli bir şekilde azaldığı izlenmektedir.

Şekil 5.69’da, Merkezi Işınlama Kanalı’nda yapılan ışınlamalarda, cam kalınlığına bağlı olarak, solar bölgedeki yansıtıcılık değişimleri incelenmiştir. Cam kalınlığı arttıkça, bu bölgedeki yansıtıcılığın, bu bölgedeki geçirgenliğe göre, yavaş sayılabilecek bir şekilde lineer olarak, gittikçe azalarak değiştiği tespit edilmiştir. Söz konusu bu değişim nötronların, incelediğimiz camlara olan etkisine bağlı özgünlük arz etmektedir değişmektedir.

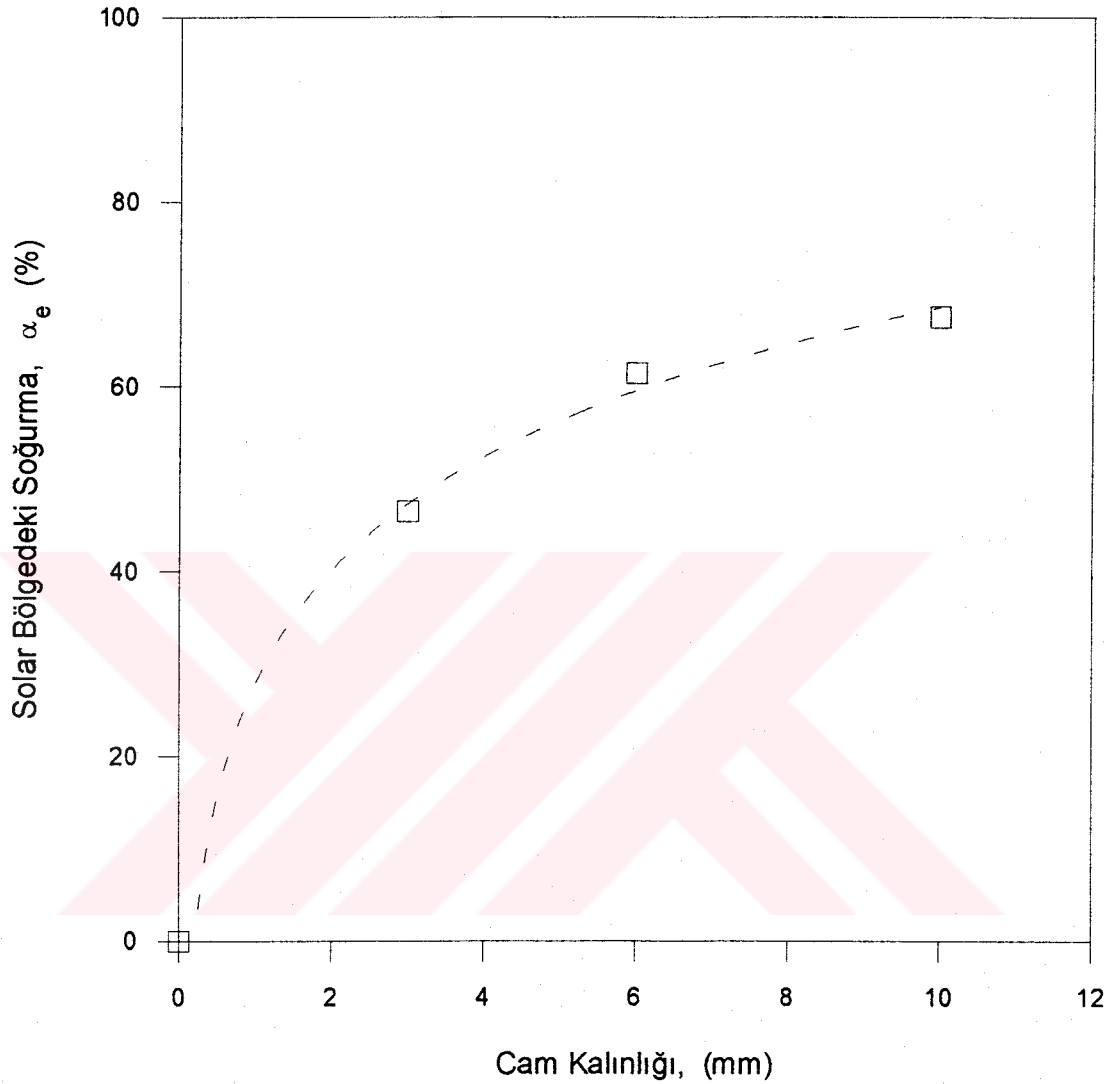


Şekil 5.68. Cam Kalınlığına Göre, Solar Bölgedeki Geçirgenlik Değişimi.



Şekil 5.69. Cam Kalınlığına Göre, Solar Bölgede Yansıtıcılık Değişimi.

Şekil 5.70’de, Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak, yapılan ışınlamalarda, cam kalınlığına bağlı olarak solar bölgedeki soğurmada oluşan değişimler incelenmeye çalışılmıştır.



**Şekil 5.70.** Merkezi Işınlama Kanalındaki Işınlamalarda, Cam Kalınlığına Göre, Solar Bölgedeki Soğurma.

Şekil 5.70’den gözlemlendiği gibi, cam kalınlığı arttıkça, solar bölgede meydana gelen soğurmanın da üstel bir karakterde arttığı görülmektedir. Bu grafiğe göre, başlangıçta solar bölgedeki soğurmanın oldukça şiddetli bir şekilde ve bu kalınlık değerinden sonra ise giderek yavaşlayan bir şekilde arttığı görülmektedir. Merkezi Işınlama Kanalında ışınlanan bu camların yapısının, karışık radyasyondan etkilenmesine bağlı olarak meydana gelen bu değişimin, incelediğimiz camlara özgü bir karakteristik arz ettiği görülmektedir.

#### **5.4. BARYUM VE BOR TAŞIYAN ÖZEL OPTİK KİREÇLİ CAMLARA İLİŞKİN DENEY SONUÇLARI**

3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, çeşitli radyasyon kaynakları karşısındaki davranışları incelenmiştir. Bu amaçla, gama kaynağı olarak Co-60 radyoizotopundan, nötron ve karışık radyasyon kaynağı olarak ise, İTÜ NEE TRİGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü'nden faydalanılmıştır.

##### **5.4.1. Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile Gama Kaynağı Kanı olarak Yapılan Deney Sonuçları**

Baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, çeşitli dozlardaki gama ışını etkisini izlemek amacıyla, üç farklı kalınlıktaki cam örnekler kullanılmıştır. Böylelikle, optik özelliklerin cam kalınlığına bağlı değişimi incelenmeye çalışılmıştır. Çeşitli seviyelerde doz almış bu camların, morötesi, görünür ve solar bölgedeki optik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, her bir spektral bölge için aşağıdaki alt bölümlerde ayrıntılarıyla verilmektedir.

##### **5.4.1.1. Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Morötesi Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları**

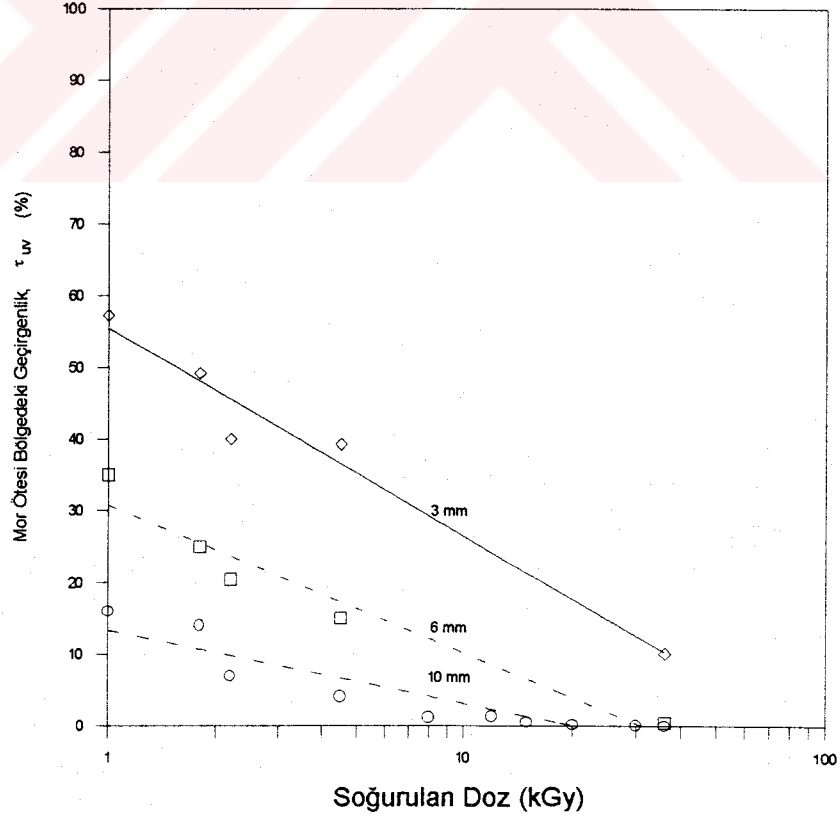
Co-60 radyoizotopu kullanılarak gama ışınlarına maruz bırakılan, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, kalınlığa ve soğurulan doza bağlı, morötesi bölge geçirgenlik değerleri Tablo 5.17'de verilmektedir. Çeşitli doz seviyelerinde ışınlanmış, 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, CEN Standartları'na göre, morötesi bölgedeki geçirgenlik hesaplamaları, Denklem 3.32 kullanılarak yapılmıştır.

İncelenen standartlarda, camlar için morötesi bölgeye ait yansıtıcılık, ihmal edilebilecek mertebede olduğundan, standartlaştırılmamış olup, sadece morötesi bölgede, toplam geçirgenlik hesaplamaları belirtilmektedir (EN-410, 1998). Bu sebeple, Tablo 5.17'de morötesi bölgedeki yansıtıcılık değerleri yer almamaktadır.

**Tablo 5.17.** Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlarda Morötesi Bölgedeki Geçirgenlik Değerleri.

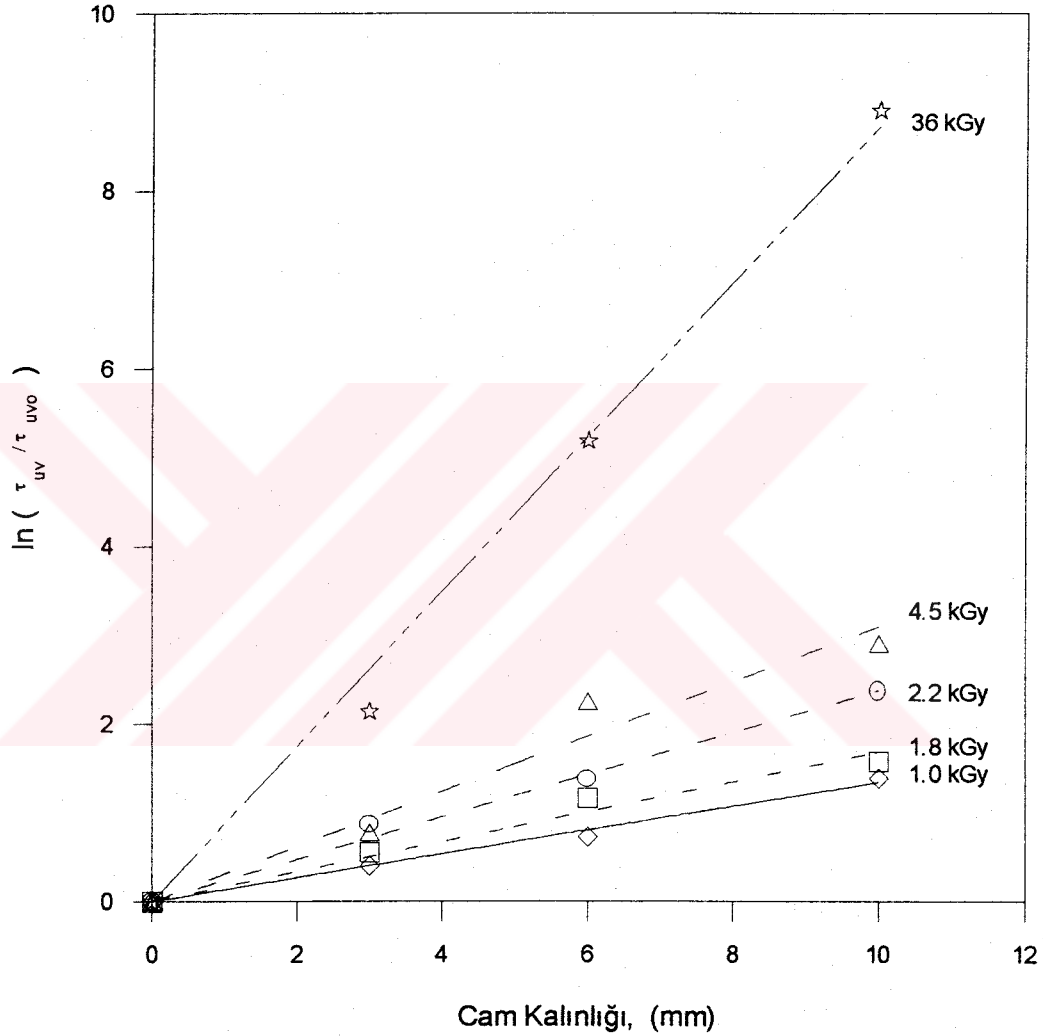
| Soğurulan Doz<br>(kGy) | $\tau_{uv}$ (%) |       |       |
|------------------------|-----------------|-------|-------|
|                        | 3 mm            | 6 mm  | 10 mm |
| 0.0                    | 85.37           | 80.30 | 74.01 |
| 1.0                    | 57.22           | 35.00 | 16.00 |
| 1.8                    | 49.13           | 25.00 | 14.00 |
| 2.2                    | 40.00           | 20.42 | 6.92  |
| 4.5                    | 39.23           | 15.00 | 4.05  |
| 36.0                   | 10.09           | 0.45  | 0.01  |

Baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, soğurulan doza bağlı morötesi bölgedeki geçirgenlik değişimi Şekil 5.71’de görülmektedir. Bu grafiğe göre, 36 kGy’lik soğurulan dozun etkisinde kalmış camlarda, morötesi bölgedeki geçirgenlikte, oldukça önemli azalma söz konusudur. Bu bölgedeki geçirgenlikte, özellikle 36 kGy doz almış, 6 ve 10 mm kalınlıktaki camlarda oldukça belirgin bir azalma görülmektedir. Yaklaşık 20 kGy’lik soğurulan doz etkisinde kalmış, 10 mm kalınlıktaki camda, morötesi bölgedeki geçirgenliğin sıfıra oldukça yakın bir değere ulaştığı görülmektedir.



**Şekil 5.71.** Soğurulan Doza Bağlı Morötesi Bölgede, Bağlı Geçirgenlik.

Baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, morötesi bölgedeki bağıl geçirgenlik değişimi, Şekil 5.72’de görülmektedir. Şekil 5.72 incelenecek olursa, 36 kGy doz almış 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki camlarda, görünür bölgedeki geçirgenlikte, cam tarafından soğurulan doza bağlı olarak değişen, oldukça önemli değişimler olduğu izlenmektedir. Bu değişim, özellikle, 36 kGy’lik soğurulan doza maruz kalmış camda, cam kalınlığındaki artışla, etkisini göstermektedir.



Şekil 5.72. Cam Kalınlığına Göre, Morötesi Bölgedeki Bağıl Geçirgenlik

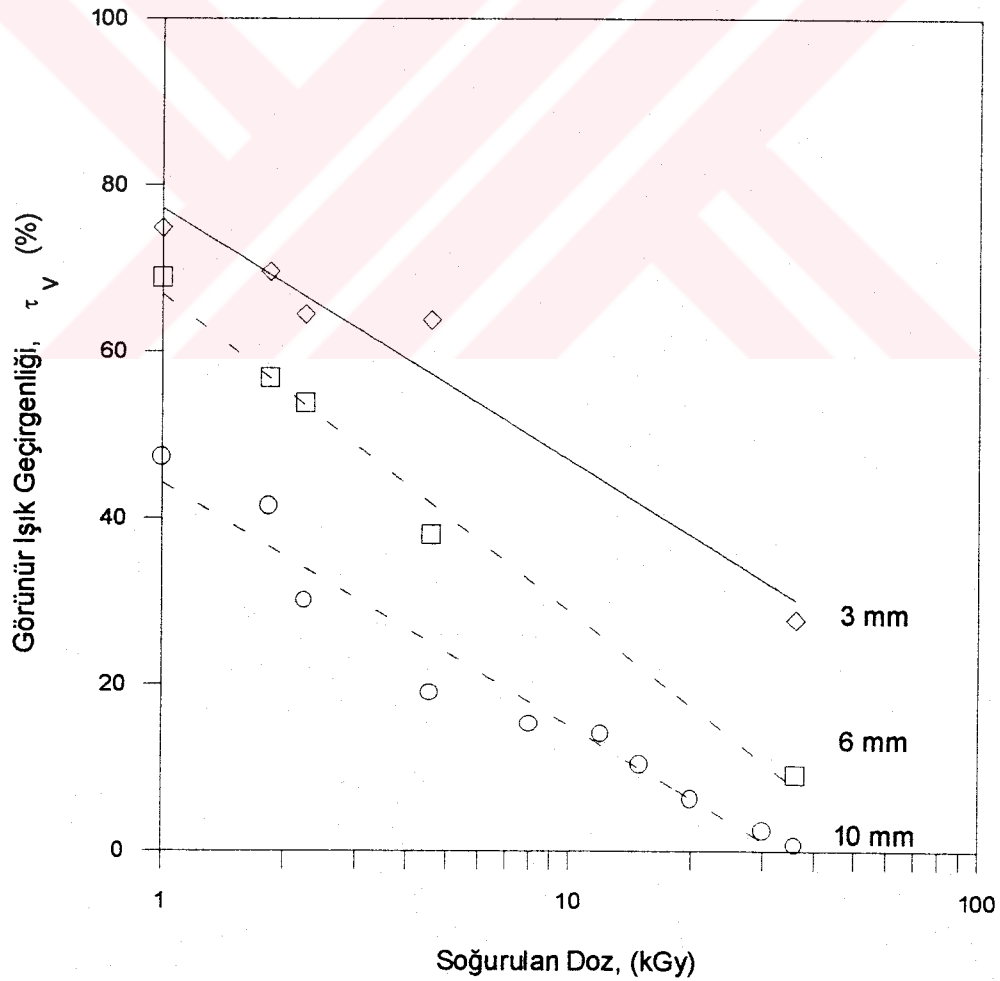
#### 5.4.1.2. Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar İle Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Görünür Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları

Soğurdukları doz seviyesine göre 3, 6 ve 10 mm kalınlıklarındaki camlarda, görünür bölgedeki optik değerlere ait, elde edilen deneysel sonuçlar, Tablo 5.18’de verilmektedir. Böylece, cam kalınlığına ve soğurulan doza bağlı olarak, cam yapıdaki optik değişimler belirlenmeye çalışılmıştır.

**Tablo 5.18.** Görünür Bölgedeki Geçirgenlik  $\tau_v(\%)$ , Yansıtıcılık  $\rho_v(\%)$  ve Soğurma  $\alpha_v(\%)$  Değerleri.

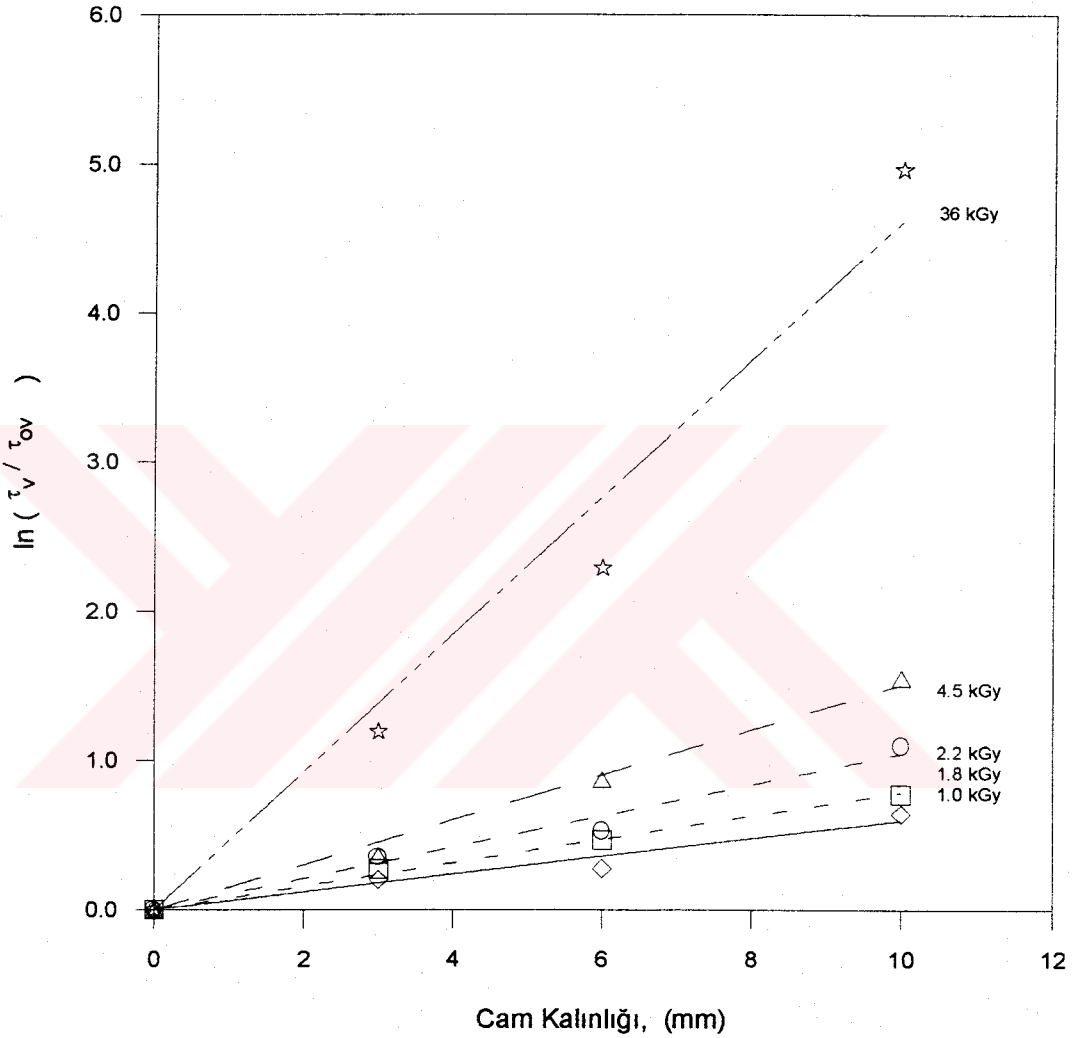
| Soğurulan Doz (kGy) | $\tau_v (\%)$ |       |       | $\rho_v (\%)$ |      |       | $\alpha_v (\%)$ |       |       |
|---------------------|---------------|-------|-------|---------------|------|-------|-----------------|-------|-------|
|                     | 3 mm          | 6 mm  | 10 mm | 3 mm          | 6 mm | 10 mm | 3 mm            | 6 mm  | 10 mm |
| 0.0                 | 91.55         | 90.89 | 89.91 | 7.62          | 6.91 | 6.31  | 0.83            | 2.20  | 3.78  |
| 1.0                 | 74.88         | 68.96 | 47.35 | 6.60          | 6.14 | 4.61  | 18.52           | 24.90 | 48.04 |
| 1.8                 | 69.62         | 56.87 | 41.47 | 6.26          | 5.45 | 4.57  | 24.13           | 37.67 | 53.96 |
| 2.2                 | 64.53         | 53.86 | 27.38 | 5.88          | 4.98 | 4.13  | 29.59           | 41.16 | 68.49 |
| 4.6                 | 63.83         | 38.03 | 19.05 | 5.62          | 4.55 | 4.09  | 30.55           | 57.41 | 76.86 |
| 36.0                | 27.79         | 9.19  | 0.63  | 4.52          | 4.13 | 4.02  | 67.70           | 86.69 | 95.35 |

Görünür bölgede, soğurulan doza bağlı olarak, geçirgenlik değişimi Şekil 5.73’de görülmektedir. Bu grafikte, geçirgenlik ile soğurulan doz arasında önemli bir ilişki bulunduğu görülmektedir. Yaklaşık 35 kGy civarında doz almış, 10 mm kalınlıktaki baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, görünür bölgedeki geçirgenliğin, sıfır değerine ulaştığı görülmektedir.



**Şekil 5.73.** Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlarda, Görünür Bölgedeki Geçirgenliğin, Soğurulan Doza Bağlı Değişimi.

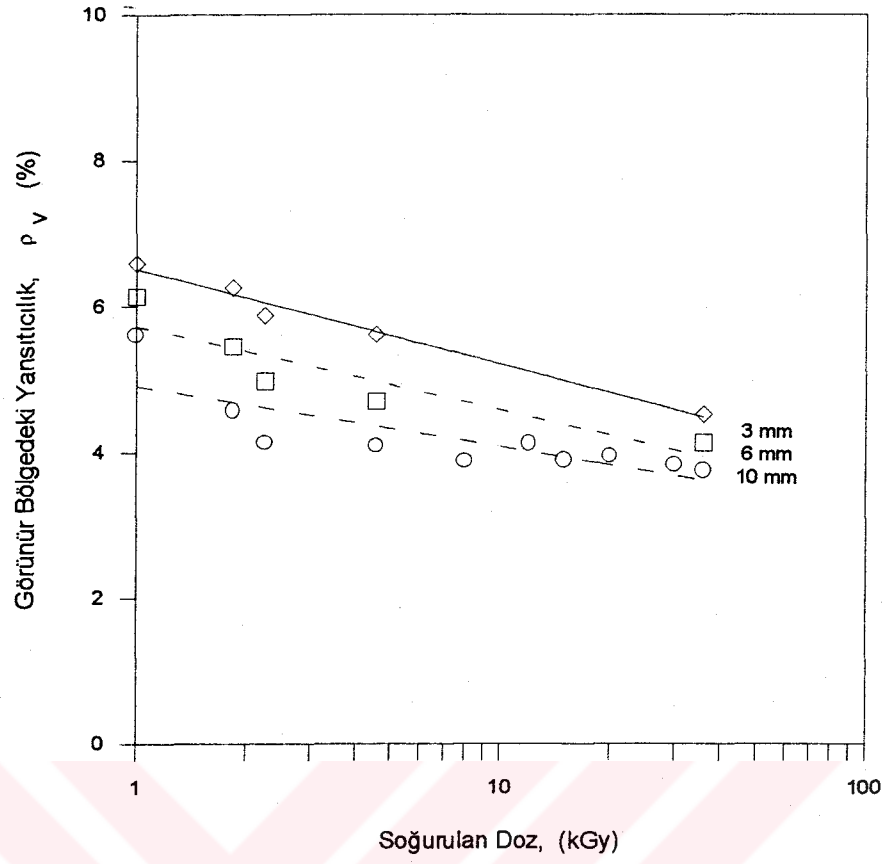
Şekil 5.74’de, elektromanyetik spektrumun görünür bölgesindeki, bağıl geçirgenlik ile cam kalınlığı arasındaki değişimi görülmektedir. Bu grafik, bağıl geçirgenlik ile cam kalınlığı arasında önemli bir ilişki olduğunu belirtmektedir. Ayrıca, yaklaşık 36 kGy doz seviyesinde, 10 mm kalınlıktaki camda, görünür bölgedeki geçirgenliğe ilişkin noktaların bir miktar doğrusal eğriden uzaklaştığı görülmektedir.



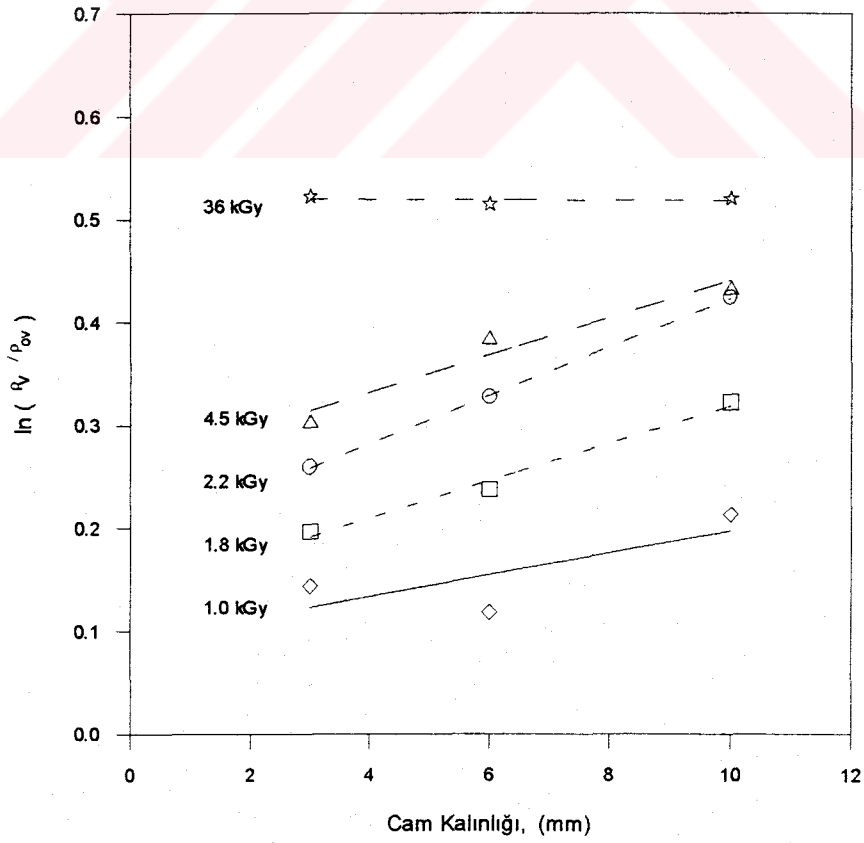
**Şekil 5.74.** Cam Kalınlığına Bağlı, Görünür Bölgedeki Bağıl Geçirgenliğin, Soğurulan Doza Göre Değişimi.

Görünür bölgedeki soğurulan doza bağlı olarak, yansıtıcılık değişimi Şekil 5.75’de görülmektedir. 3, 6 ve 10 mm kalınlıklarda oluşan bu değişim, yarı logaritmik eksenle lineer bir şekilde azalarak meydana gelmektedir.

Şekil 5.76’da, elektromanyetik spektrumun görünür bölgesindeki bağıl yansıtıcılık ile cam kalınlığı değişimi görülmektedir. Bu grafik, bağıl yansıtıcılık ile cam kalınlığı arasında önemli bir ilişki olduğuna işaret etmektedir.

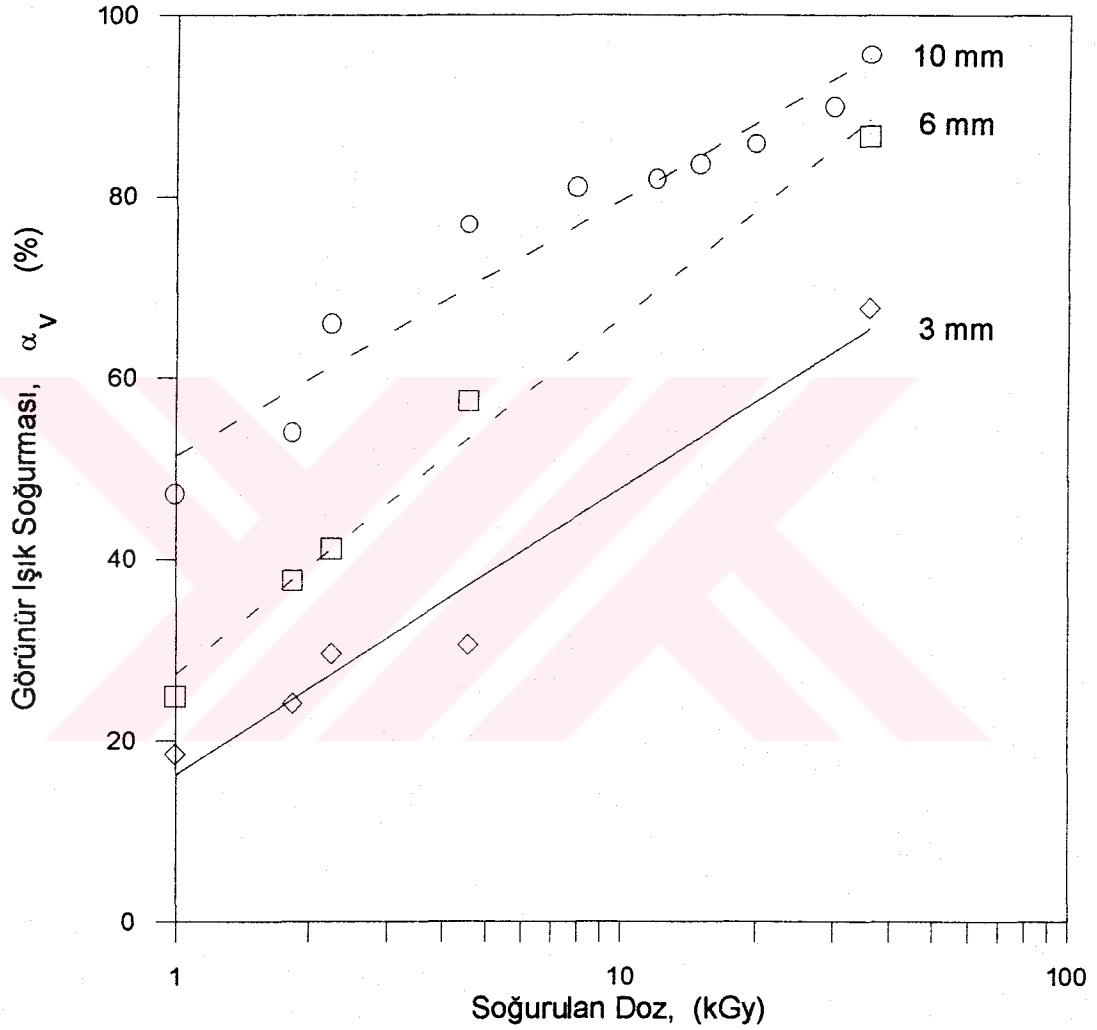


Şekil 5.75. Görünür Bölgedeki Yansıtıcılık ile Soğurulan Doz Arasındaki Değişim.



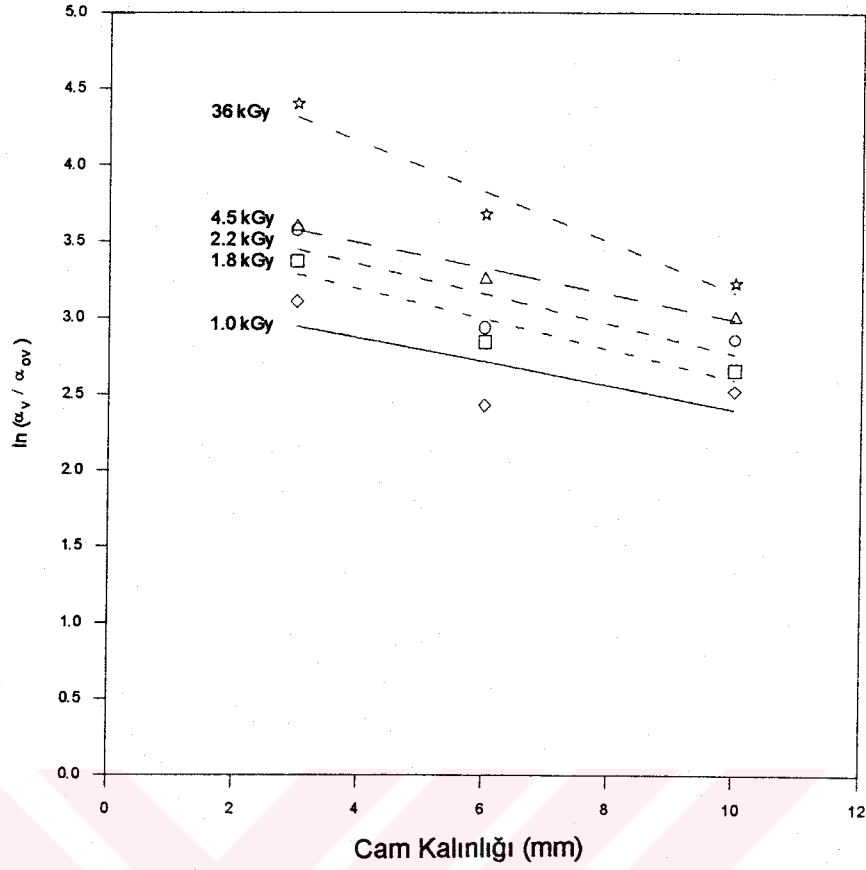
Şekil 5.76. Cam Kalınlığa Göre, Bağlı Yansıtıcılık Değişimi.

Görünür bölgede, soğurulan doza bağlı olarak, soğurmada meydana gelen değişim, Şekil 5.77’de görülmektedir. Camda, bu bölgedeki meydana gelen soğurmada oluşan en büyük değişim, 10 mm kalınlıktaki camda görülmektedir. Bu grafikte izlenen değişim, eksponansiyel bir değişim olup; incelenen doz aralığı içinde, camlara 36 kGy olarak uygulanan doz, görünür bölgedeki soğurmada en büyük değişimi sağlamıştır.



**Şekil 5.77.** Soğurulan Doza Bağlı, Görünür Bölgedeki Soğurma Değişimi.

Şekil 5.78’de, cam kalınlığı ile, elektromanyetik spektrumun görünür bölgesindeki bağıl soğurma arasındaki değişim görülmektedir. Bu grafikteki dikkat çekici olay, 36 kGy’lik soğurulan doz etkisi altında kalmış camdaki, bağıl soğurmada meydana gelen değişimdir. 36 kGy’lik soğurulan doz etkisi altında kalan cam için çizilen doğrunun eğiminde, en yüksek değişim meydana gelmektedir.



Şekil 5.78. Cam Kalınlığına Göre, Bağlı Soğurmada Oluşan Değişim.

#### 5.4.1.3. Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile Gama Kaynağı Işınlamasıyla Elde Edilen Solar Bölgeye İlişkin Deney Sonuçları

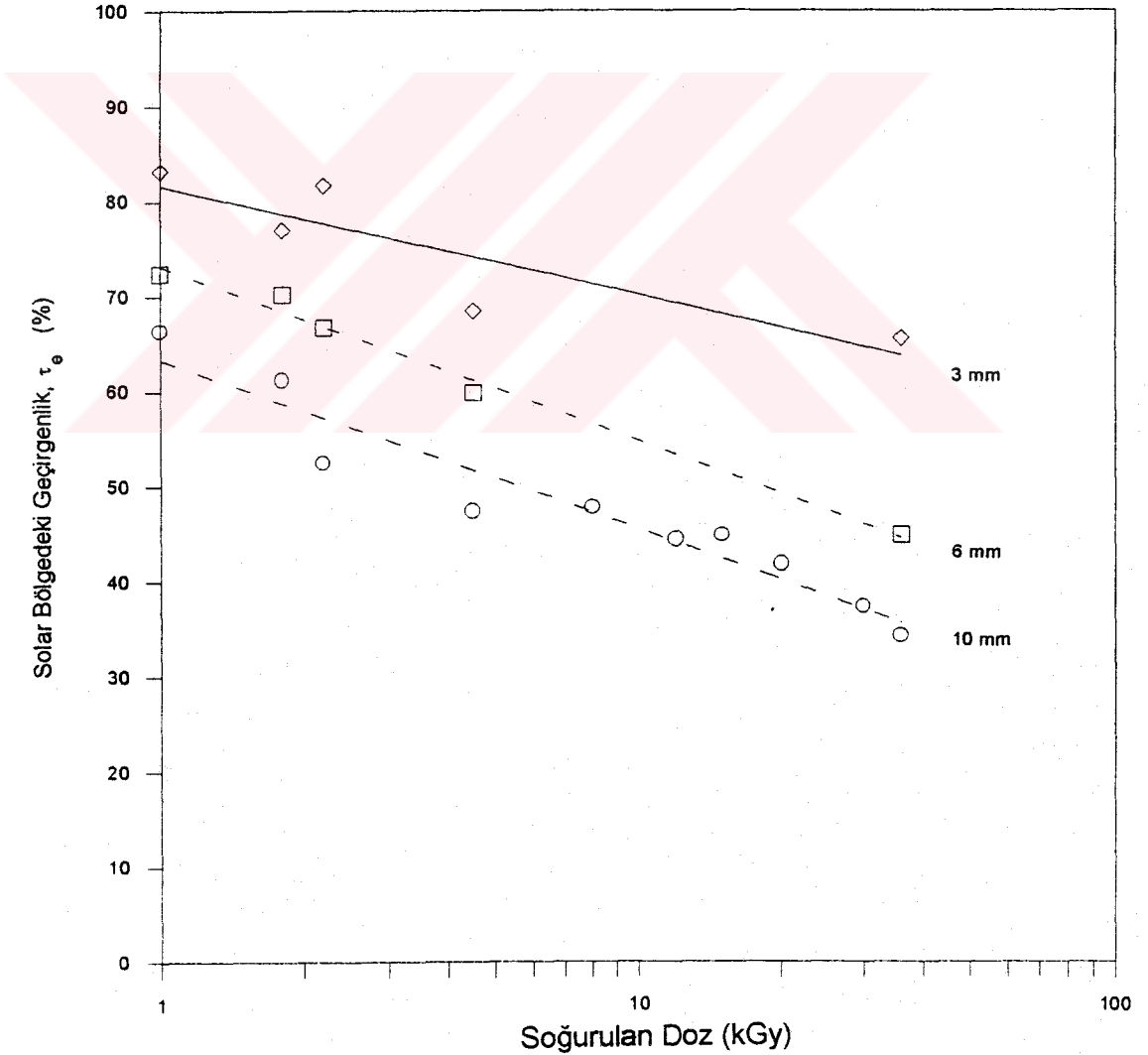
3, 6 ve 10 mm kalınlıklarda, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, solar bölgedeki, geçirgenlik, yansıtıcılık ve soğurmaya ait deneysel sonuçlar, Tablo 5.19’da verilmektedir. İncelenen camların ışınlanmasında, gama kaynağı olarak, Co-60 radyoizotopu kullanılmıştır.

Tablo 5.19. Camlarda Kalınlığa Bağlı Solar Bölgedeki Geçirgenlik  $\tau_e$  (%), Yansıtıcılık  $\rho_e$  (%) ve Soğurma  $\alpha_e$  (%) Değerleri.

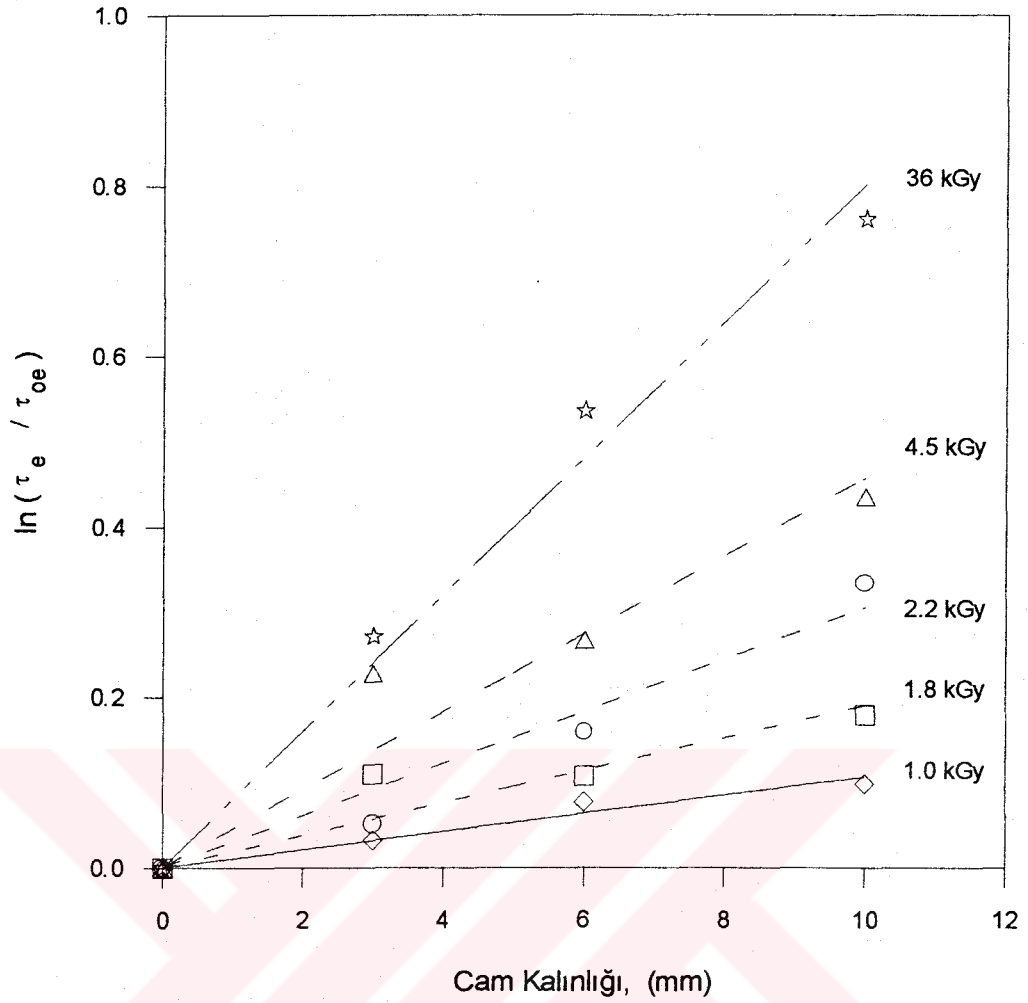
| Soğurulan<br>Doz<br>(kGy) | $\tau_e$ (%) |       |       | $\rho_e$ (%) |      |       | $\alpha_e$ (%) |       |       |
|---------------------------|--------------|-------|-------|--------------|------|-------|----------------|-------|-------|
|                           | 3 mm         | 6 mm  | 10 mm | 3 mm         | 6 mm | 10 mm | 3 mm           | 6 mm  | 10 mm |
| 0.0                       | 85.90        | 78.15 | 73.16 | 7.54         | 6.95 | 6.47  | 0.74           | 1.99  | 3.50  |
| 1.0                       | 83.18        | 72.37 | 66.33 | 7.33         | 6.70 | 5.65  | 10.88          | 15.30 | 28.60 |
| 1.8                       | 77.02        | 70.24 | 61.16 | 7.11         | 6.24 | 5.62  | 14.00          | 22.14 | 31.64 |
| 2.2                       | 81.70        | 66.74 | 52.42 | 7.00         | 6.01 | 5.30  | 17.96          | 24.01 | 39.54 |
| 4.5                       | 76.23        | 59.85 | 45.00 | 6.49         | 5.86 | 5.41  | 21.05          | 33.02 | 47.32 |
| 36.0                      | 65.52        | 45.74 | 34.20 | 5.83         | 5.40 | 4.93  | 37.99          | 49.76 | 59.98 |

Şekil 5.79'da, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, soğurulan doza bağlı, solar bölgedeki geçirgenlik değişimi, görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam kalınlığı ve gama ışınlarına maruz kalmış, bu camlarda soğurulan doz arttıkça, solar bölgedeki geçirgenlikte azalma olduğu izlenmiştir. Solar bölgedeki geçirgenlikte, 10 mm kalınlıktaki camlarda, en fazla azalmanın olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.80'de, solar bölgede, cam kalınlığına göre, bağıl geçirgenlikte meydana gelen değişim, görülmektedir. Cam kalınlığı ve soğurulan doz arttıkça, solar bölgedeki bağıl geçirgenliğin giderek arttığı izlenmektedir. Lineer karakterde meydana gelen bu değişimlerin, 36 kGy'lik radyasyon dozuna maruz kalmış bu camlarda özellikle, en yüksek değişimin meydana geldiği görülmektedir.



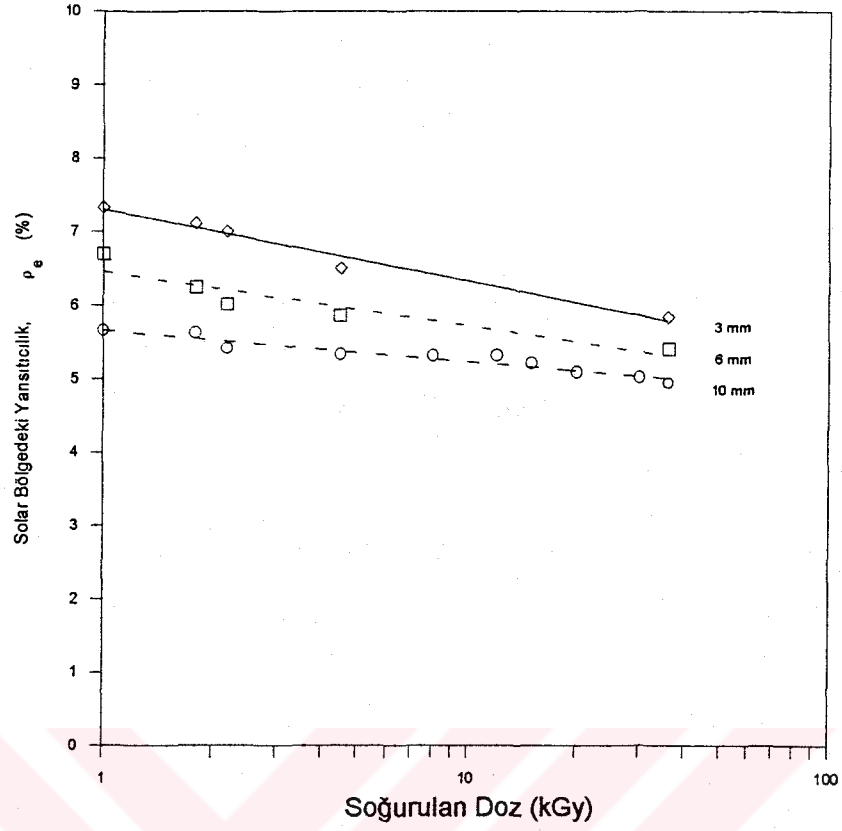
Şekil 5.79. Soğurulan Doza Bağlı Solar Bölgedeki Geçirgenlikteki Değişim.



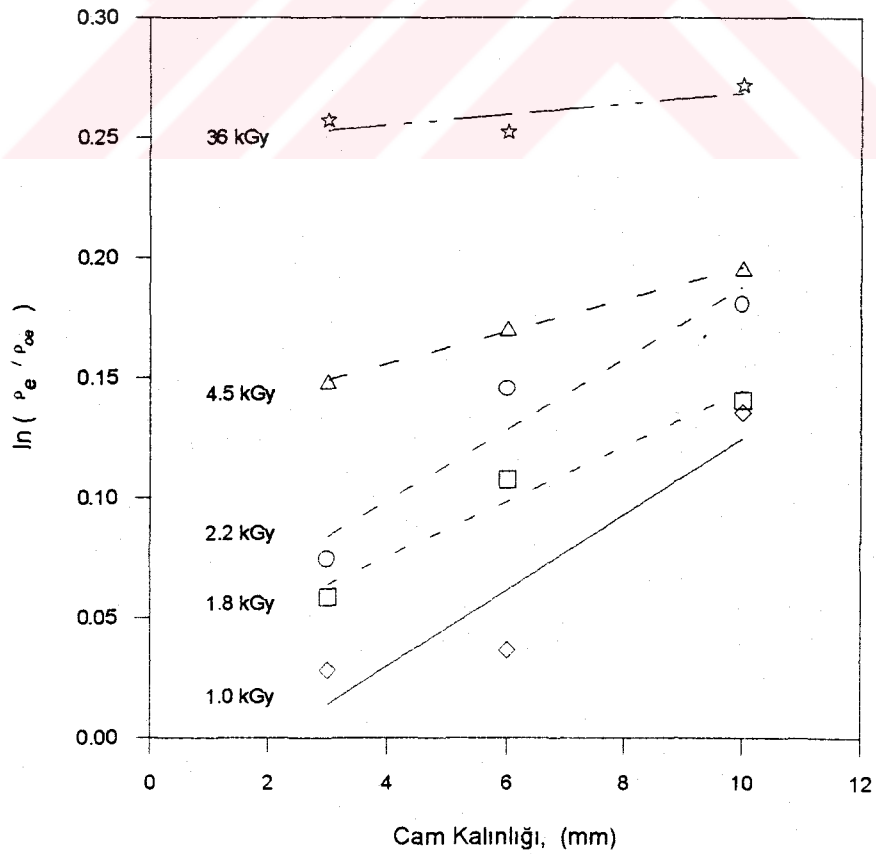
**Şekil 5.80.** Cam Kalınlığına Göre, Solar Bölgedeki Bağıl Geçirgenlik Değişimi.

Şekil 5.81’de, solar bölgede, soğurulan doza göre, yansıtıcılıkta oluşan değişim, görülmektedir. Bu grafiğe göre; elektromanyetik spektrumun bu bölgesinde, camlarda oluşan yansıtıcılık değerinin, cam tarafından soğurulan doz ve cam kalınlığı arttıkça azaldığı izlenmektedir. Diğer bir deyişle, solar bölgedeki yansıtıcılığın, cam kalınlığına göre değişimi göz önüne alınırsa; 3 mm kalınlıktaki camlarda oluşan yansıtıcılığın en yüksek yansıtıcılık değerine ve 10 mm kalınlıktaki camlarda oluşan yansıtıcılığın en düşük yansıtıcılık değerine sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 5.82’de, solar bölgede, cam kalınlığına bağlı, bağıl yansıtıcılıkta meydana gelen değişim, görülmektedir. Bu grafiğe göre, incelenen baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, soğurulan doz arttıkça, bağıl yansıtıcılık etkisinin de arttığı izlenmektedir.

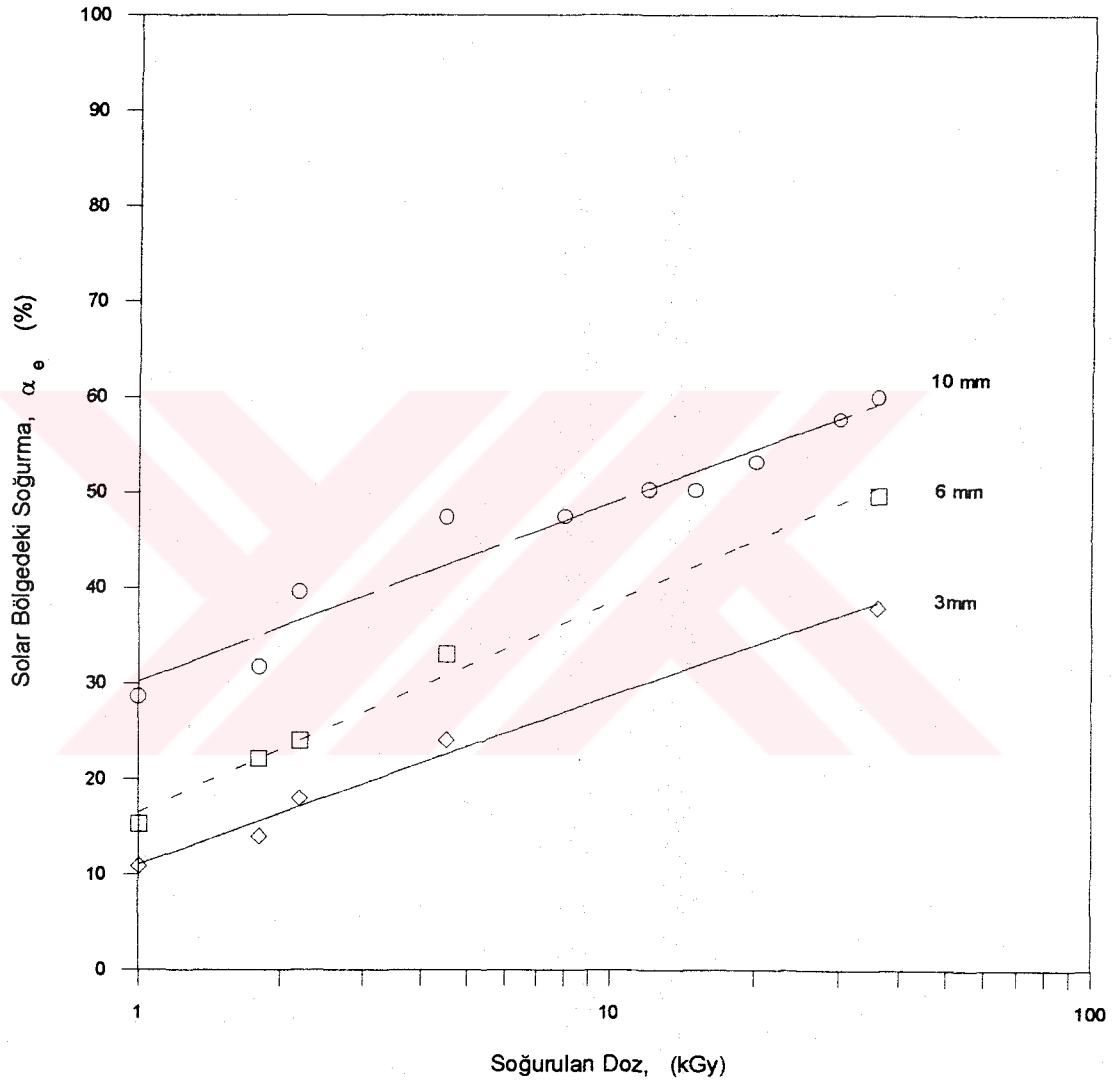


Şekil 5.81. Soğurulan Doza Bağlı, Solar Bölgedeki Yansıtıcılıkta Oluşan Değişim.



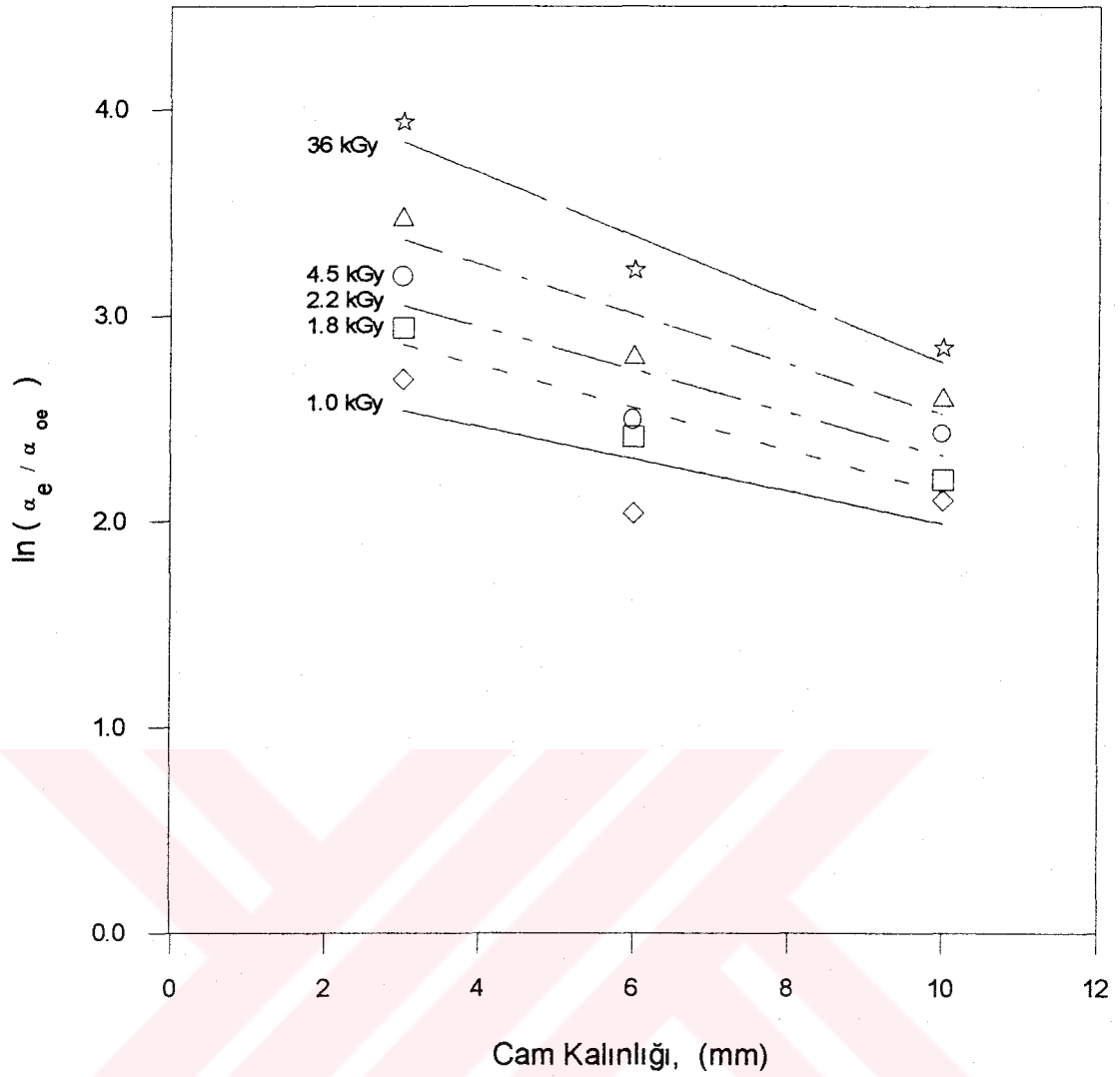
Şekil 5.82. Cam Kalınlığına Bağlı, Solar Bölgedeki Bağıl Yansıtıcılıktaki Değişim.

İncelenen camlarda, soğurulan doza bağlı olarak, solar bölgedeki soğurmada oluşan değişimler, Şekil 5.83'de görülmektedir. Camlara uygulanan doz arttıkça, cam kalınlığındaki artışlara bağlı olarak, bu bölgedeki soğurmada oluşan artışlar dikkat çekicidir. Bu grafiğe göre, camlarda oluşan en düşük soğurma 3 mm kalınlıkta ve en yüksek soğurma ise 10 mm kalınlıktaki camlarda oluşmaktadır.



**Şekil 5.83.** Soğurulan Doza Göre, Solar Bölgedeki Soğurmaya Bağlı Değişimler.

Solar bölgede, cam kalınlığına bağlı, bağıl soğurmada meydana gelen değişim Şekil 5.84'de görülmektedir. Cam kalınlığı arttıkça, incelenen camlara uygulanan dozdaki artışla birlikte, bağıl soğurmada önemli değişimler olduğu görülmektedir. Özellikle, 36 kGy'lik doza maruz kalmış camdaki değişim etkisi, bağıl soğurmadaki en şiddetli değişimi oluşturmaktadır.



Şekil 5.84. Cam Kalınlığına Göre Solar Bölgedeki Bağıl Soğurmadaki Değişimler.

#### 5.4.2. Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile İTÜ NEE TRİGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü, Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları

Teğetsel Işınlama Tüpü kullanılarak yapılan çalışma sonuçları Tablo 5.20’de verilmektedir. Nötronların baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlar üzerindeki etkisini incelemeye 10 mm kalınlıktaki camlar kullanılmıştır.

Baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, reaktörün ışınlama birimlerinden, Teğetsel Işınlama Tüpü kullanılarak yapılan ışınlamaları, reaktörün 250 kW güçte çalıştırılmasıyla sağlanmıştır.

**Tablo 5.20.** Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki, Camlara İlişkin Deney Sonuçları.

| Işınlama Süresi (dakika) | $\tau_v$ (%) | $\tau_e$ (%) | $\tau_{uv}$ (%) | $\rho_v$ (%) | $\rho_e$ (%) | $\alpha_v$ (%) | $\alpha_e$ (%) |
|--------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| 0                        | 89.92        | 90.025       | 74.010          | 6.31         | 6.474        | 3.78           | 3.501          |
| 30                       | 80.52        | 84.209       | 62.866          | 6.16         | 5.531        | 13.32          | 10.26          |

#### 5.4.3. Baryum ve Boron Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile İTÜ NEE

##### TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama

##### Kanalı Kullanılarak Yapılan Deneylerin Sonuçları

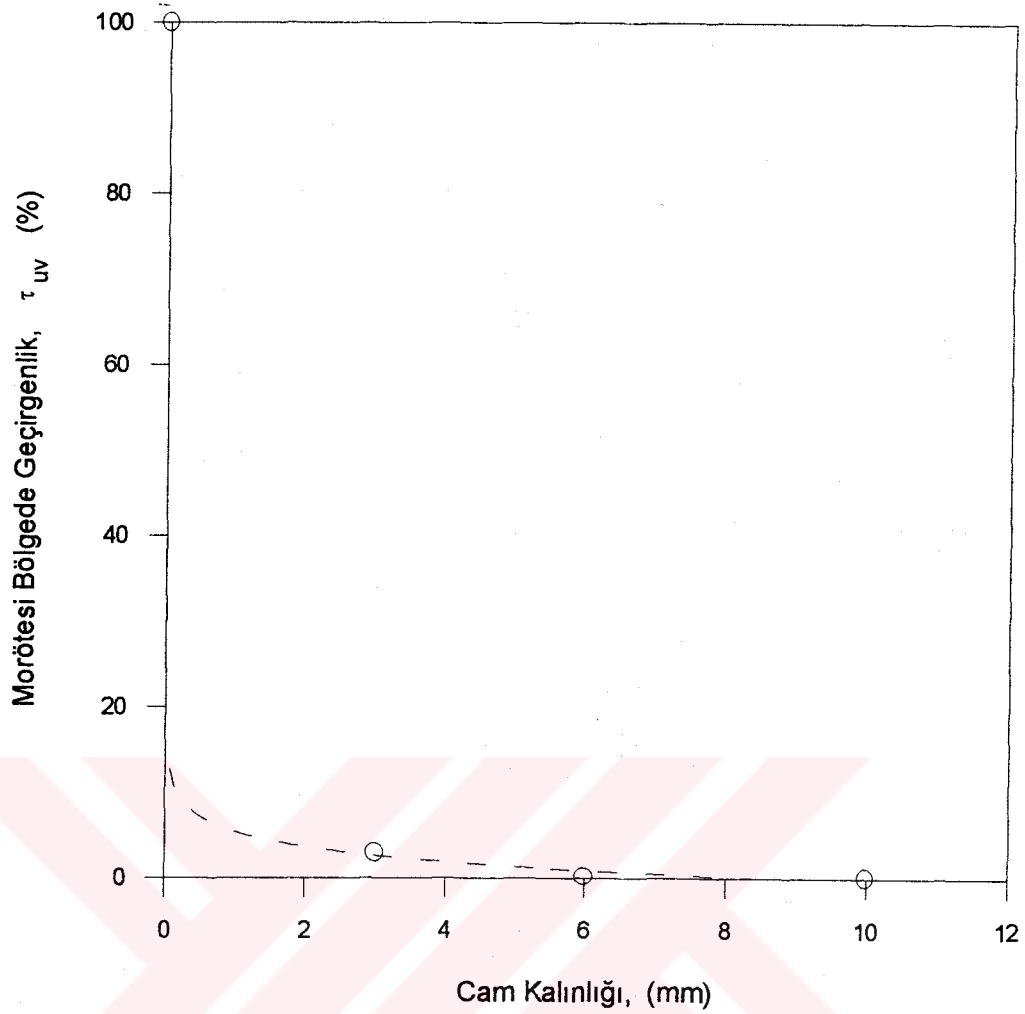
Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak, yapılan 5 dakikalık ışınlamalara göre, incelenen baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlardaki, geçirgenlik, yansıtıcılık ve soğurma değerlerinde önemli değişimler olduğu görülmektedir. Deneysel olarak elde edilen bu sonuçlar, Tablo 5.21’de verilmektedir.

**Tablo 5.21.** Merkezi Işınlama Kanalı’nda Işınlanan Camların Görünür Bölgedeki, Geçirgenlik  $\tau_v$  (%), Yansıtıcılık,  $\rho_v$  (%) ve Soğurma  $\alpha_v$  (%) Değerleri.

| Cam Kalınlığı (mm) | $\tau_v$ (%) | $\tau_e$ (%) | $\tau_{uv}$ (%) | $\rho_v$ (%) | $\rho_e$ (%) | $\alpha_v$ (%) | $\alpha_e$ (%) |
|--------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| 3                  | 22.67        | 53.63        | 2.94            | 4.14         | 5.63         | 73.18          | 40.74          |
| 6                  | 6.52         | 42.76        | 0.17            | 4.01         |              | 84.09          |                |
| 10                 | 1.12         | 36.07        | 0.01            | 3.88         | 4.90         | 95.00          | 58.38          |

3, 6 ve 10 mm kalınlıktaki, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların merkezi kanala yerleştirilmesi ile, nötron ve gama ile betalardan oluşan karışık dozun, camlarda etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar, reaktörün sürekli halde, 250 kW güçte, 5 dakika çalıştırılması ile elde edilmiştir. Böylece, reaktör tam güçte çalıştırılarak, incelediğimiz bu camlar mümkün olduğunca yüksek enerjili karışık radyasyona maruz bırakılması sağlanmıştır.

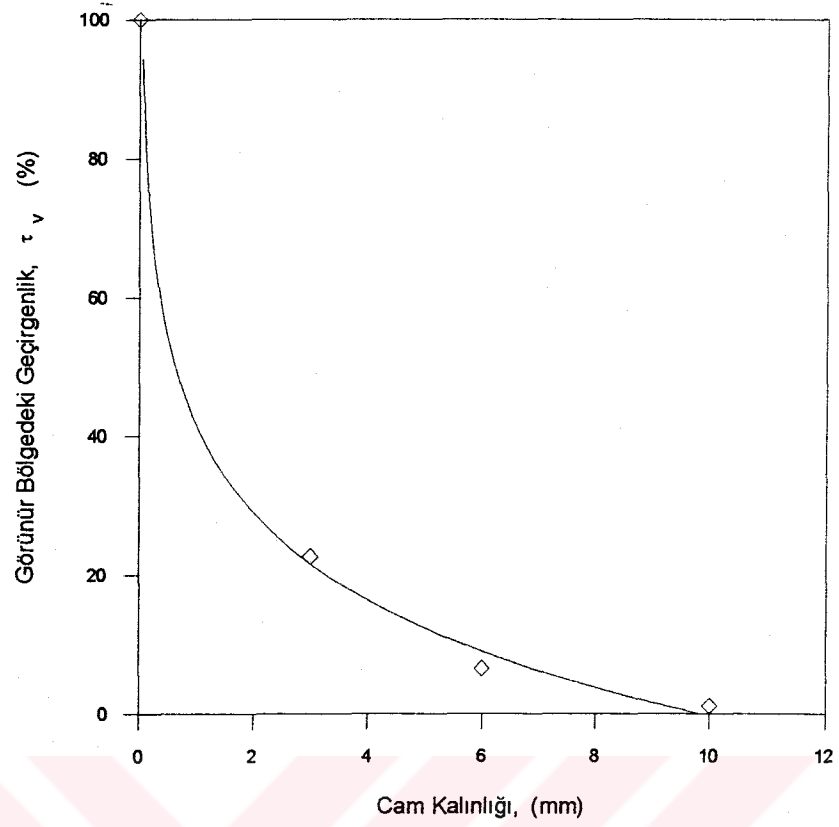
Morötesi bölgede oluşan geçirgenlik değişimi, Şekil 5.85’de görülmektedir. Cam kalınlığına bağlı olarak oluşturulan bu grafikte, morötesi bölgede önemli değişimler olduğu ve meydana gelen bu değişimlerin eksponansiyel karakterde olduğu görülmektedir. Ancak, özellikle, 6 mm’lik cam kalınlığından sonra, geçirgenliğin kayda değer bir şekilde azaldığı ve 10 mm kalınlıkta, sıfıra oldukça yakın bir değere ulaştığı görülmektedir.



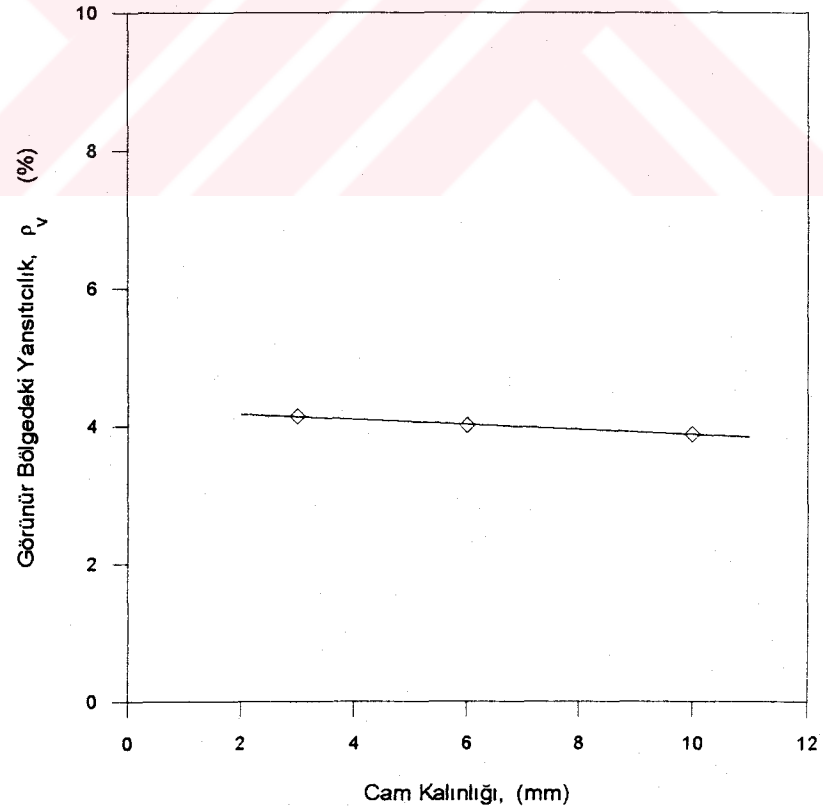
**Şekil 5.85.** Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Morötesi Bölgedeki, Geçirgenlik Değerlerindeki Değişimler.

Şekil 5.86'da, görünür bölgedeki, geçirgenlik değişimleri, görülmektedir. Cam kalınlığına bağlı olarak oluşturulan bu grafikte, görünür bölgedeki geçirgenliğin üstel karakterde giderek azaldığı belirlenmiştir. Özellikle, 10 mm kalınlıktaki camlarda, incelediğimiz bölgedeki geçirgenliğin oldukça belirgin bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 5.87'de, karışık radyasyon etkisinde kalmış camların, görünür bölgedeki, yansıtıcılık değişimleri, görülmektedir. Cam kalınlığına bağlı olarak oluşturulan bu grafikte, görünür bölgedeki yansıtıcılığın, kalınlıktaki artışa bağlı olarak, oldukça yavaş bir şekilde azaldığı ve bu azalmanın lineer karakterde oluşan bir değişim sergilediği tespit edilmiştir. Merkezi ışınlama kanalında, karışık radyasyon dozuna maruz kalan camlarda, kalınlıktaki artışa göre incelenen bu değişim, özellikle camın kimyasal kompozisyonunun da önem taşıdığı bir değişimdir.



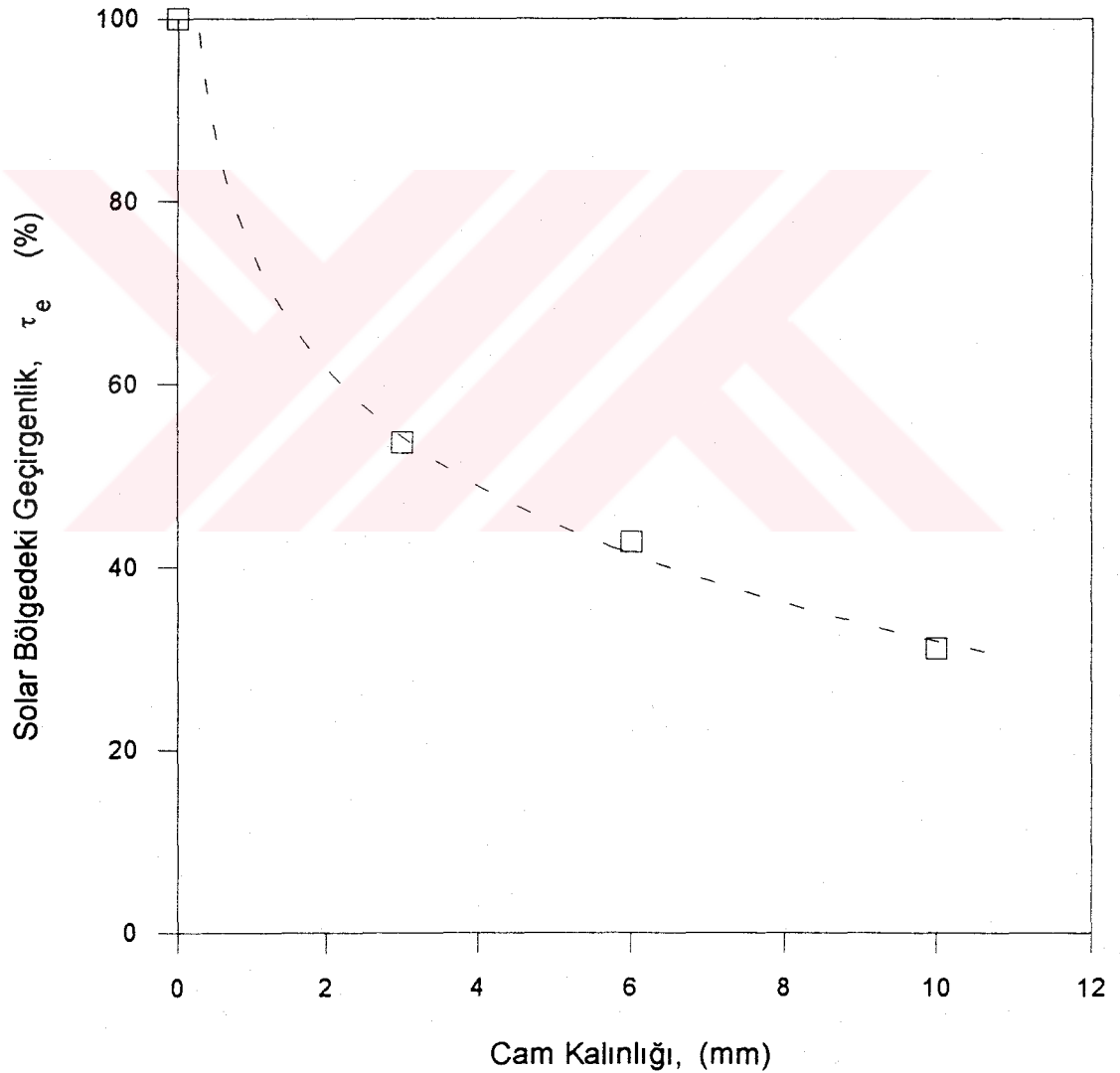
Şekil 5.86. Görünür Bölgedeki Geçirgenlik Değerleri Değişimleri.



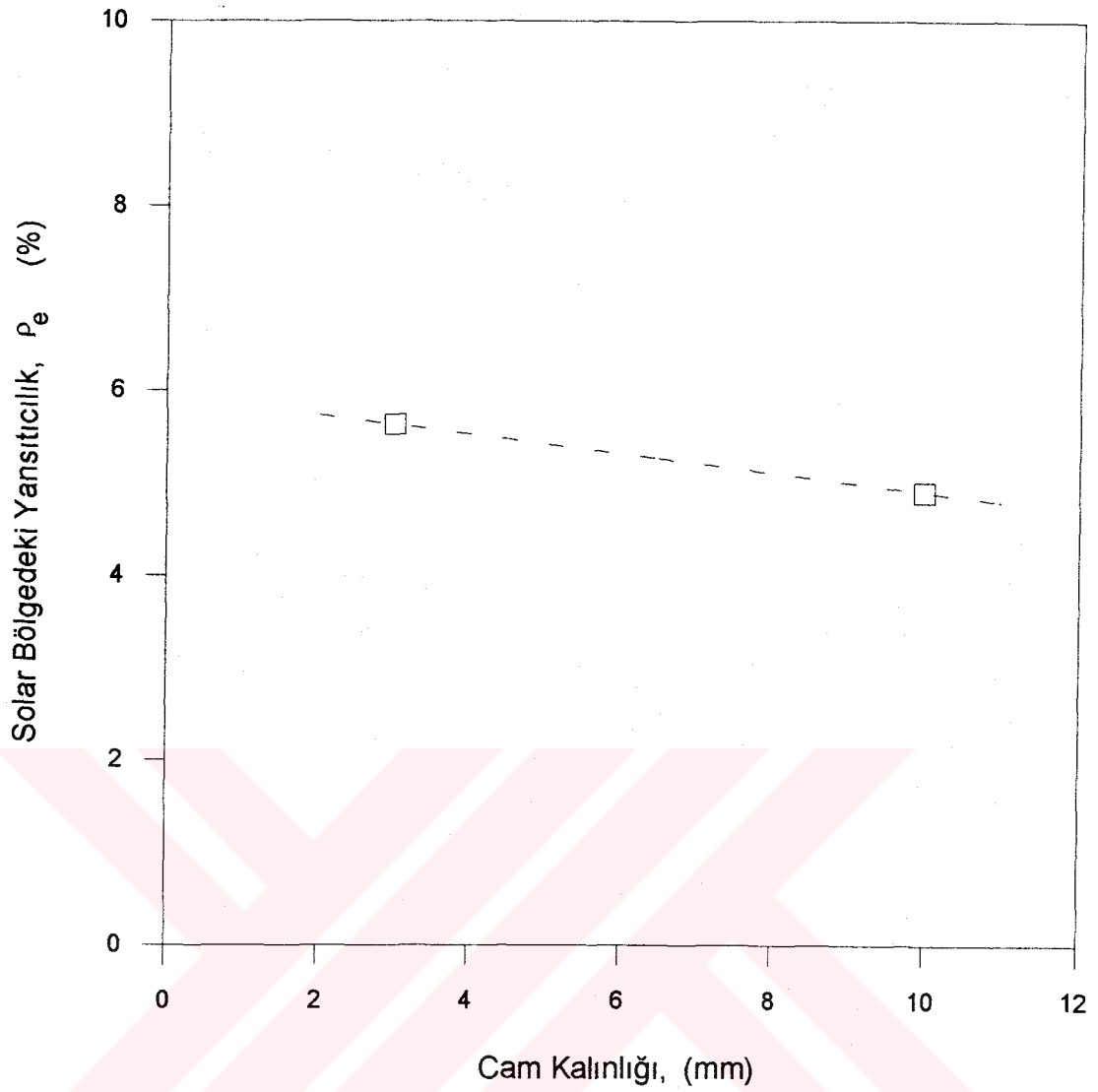
Şekil 5.87. Görünür Bölgedeki Yansıtıcılık Değerlerindeki Değişimleri.

Şekil 5.88’de, karışık radyasyon etkisinde kalmış camların, görünür bölgedeki, soğurma değişimleri, görülmektedir. Cam kalınlığına bağlı olarak oluşturulan bu grafikte, görünür bölgedeki soğurmada, eksponansiyel karakterde değişimler olduğu görülmektedir.

Şekil 5.89’da, Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak yapılan ışınlamalarda, cam kalınlığına bağlı olarak, solar bölgedeki geçirgenlik değişimleri incelenmiştir. Cam kalınlığı arttıkça, bu bölgedeki geçirgenliğin, exponansiyel karakterde azaldığı görülmektedir. Özellikle, 10 mm kalınlıktaki camda, solar bölgedeki geçirgenliğin önemli bir şekilde azaldığı izlenmektedir.



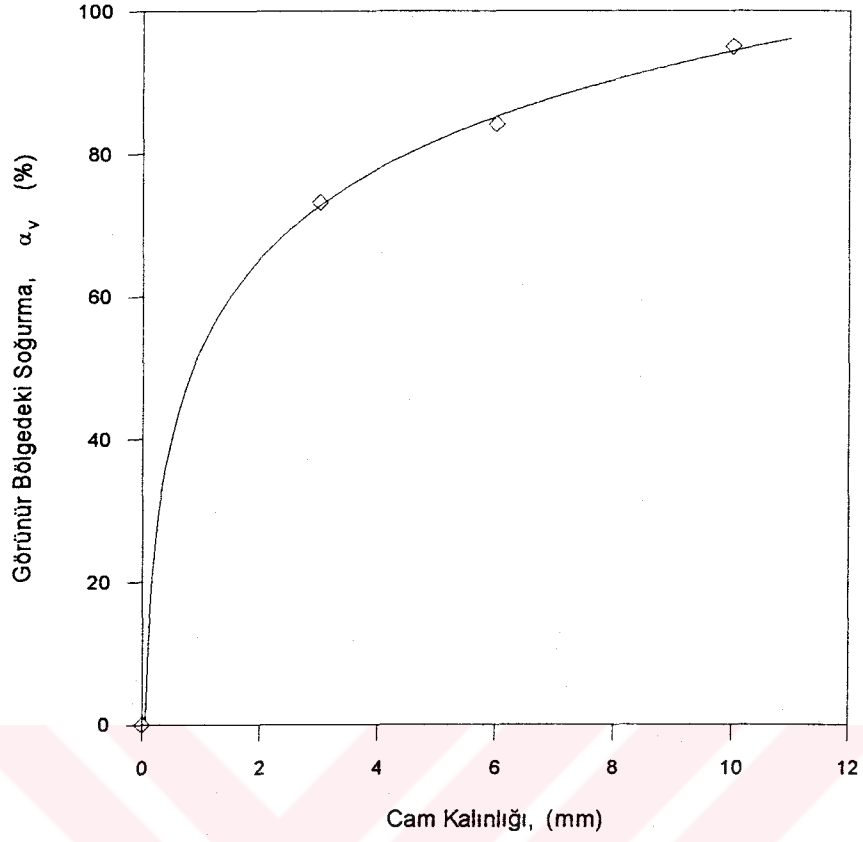
Şekil 5.88. Merkezi Işınlama Kanalı’nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Görünür Bölgedeki Soğurma Değerlerindeki Değişimler.



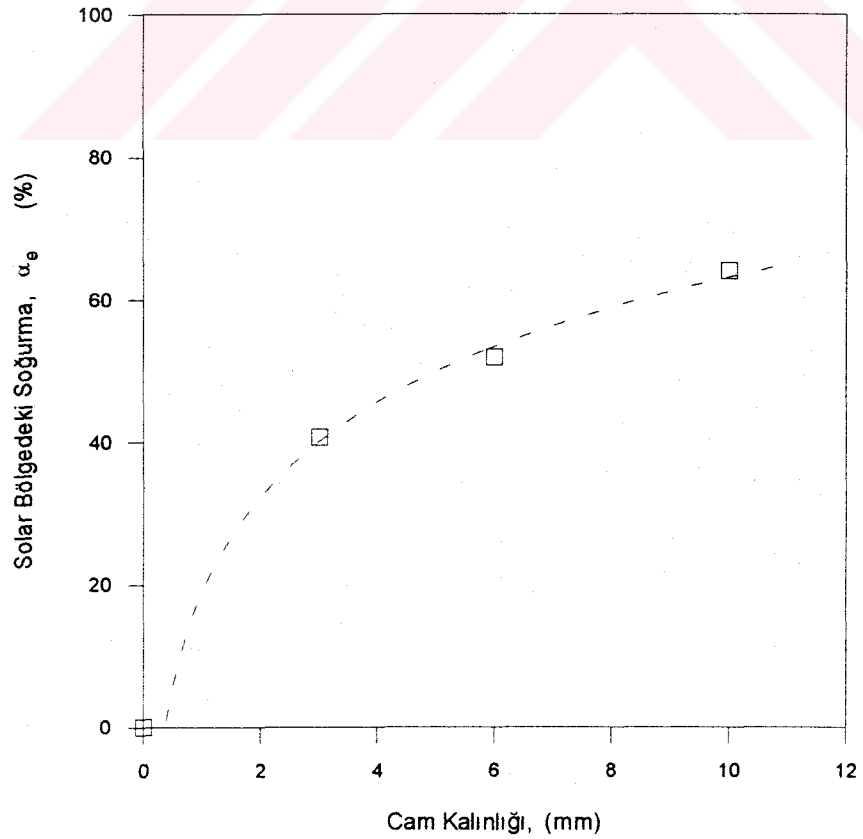
**Şekil 5.89.** Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Cam Kalınlığına Göre, Solar Bölgedeki Geçirgenlik Değişimi.

Şekil 5.90'da, Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak yapılan ışınlamalarda, cam kalınlığına bağlı olarak, solar bölgedeki yansıtıcılık değişimleri incelenmiştir. Cam kalınlığı arttıkça, bu bölgedeki yansıtıcılığın, oldukça yavaş bir şekilde azaldığı görülmektedir.

Şekil 5.91'de, Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak, yapılan ışınlamalarda, cam kalınlığına bağlı olarak solar bölgedeki soğurmada oluşan değişimler, incelenmeye çalışılmıştır. Cam kalınlığı arttıkça, solar bölgede meydana gelen soğurmanın da üstel bir karakterde arttığı görülmektedir. Söz konusu bu artışın, başlangıçta hızlı bir şekilde, daha sonra ise yavaşlayarak arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.90. Cam Kalınlığına Göre, Solar Bölgede Yansıtıcılık Değişimi.



Şekil 5.91. Cam Kalınlığına Göre, Solar Bölgede, Soğurmadaki Değişim.

## **5.5. Farklı Camlar ile Yapılan Deney Sonuçlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi**

### **5.5.1. Co-60 Rayoizotopu Kullanılarak Yapılan Çalışmalarda Dört Farklı Tipteki Camda Oluşan Değişimlerin Karşılaştırılması**

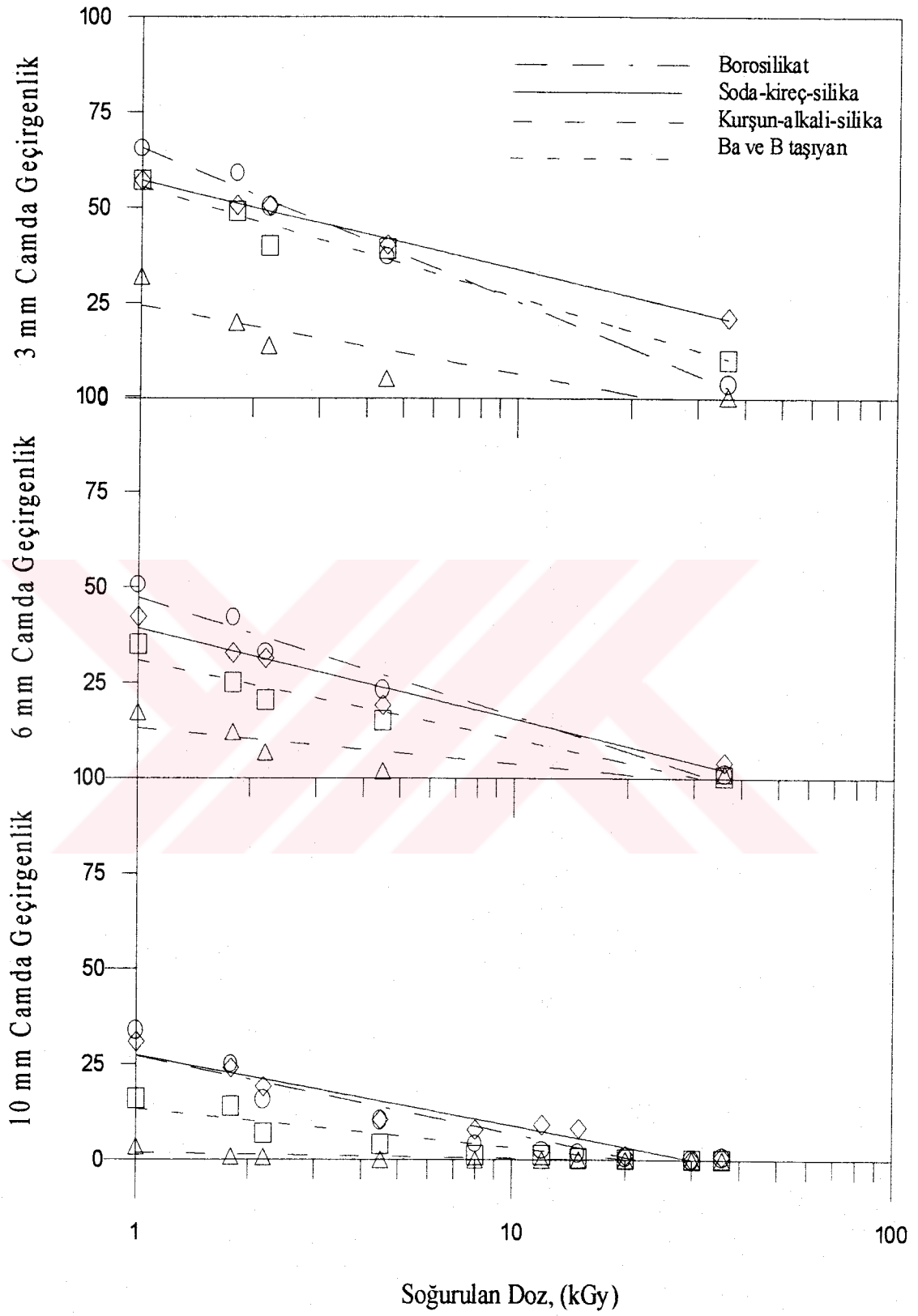
Gama kaynağı olarak Co-60 radyoizotopu kullanılmasıyla, dört farklı camda oluşan değişimler arasındaki farklılıklar incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, incelenen tüm camlarda, "Bölüm 5"de daha önce ifade edilen ilgili tablolardaki optik değerler kullanılmıştır.

#### **5.5.1.1. Morötesi Bölgede Oluşan Değişimlerin Karşılaştırılması**

Bu doktora tez çalışması kapsamında, incelenen dört farklı camın geçirgenlik, değişimleri karşılaştırılmıştır. Elektromanyetik spektrumun bu bölgesine yönelik olarak incelenen camlardaki geçirgenlik değerleri, Şekil 5.92'de görülmektedir. Morötesi bölgedeki geçirgenlik değerleri göz önüne alınırsa, en düşük geçirgenlik değerini veren cam kalınlığının, 10 mm kalınlıktaki camlar olduğu görülmektedir. Gama ışınları ile yapılan çalışmalardan çıkarılan sonuçlara göre; dört cam tipinde de, 36 kGy doz almış camların en düşük geçirgenlik gösterdiği izlenmektedir.

Morötesi bölgede, soda-kireç-silika, borosilikat, kurşun-alkali-silika camlar ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli cam olmak üzere, dört farklı camdaki geçirgenlikte meydana gelen değişimler karşılaştırılırsa, en düşük geçirgenliğin baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda meydana geldiğini görülmektedir. Böylece, geçirgenliğin baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, morötesi bölgedeki ışınlar karşı, önemli bir filtreleme gücüne sahip olduğu görülmektedir.

Ayrıca, 3 mm kalınlıktaki camlarda, yaklaşık 20 kGy'in üzerinde doz almış camlarda, morötesi bölgedeki ışınlar için geçirgenlik yaklaşık sıfır değerine ulaşırken, 10 mm kalınlıktaki camlarda ise, yaklaşık 15 kGy civarında doz almış camlarda, morötesi bölgedeki ışınlar için, geçirgenlik yaklaşık sıfır değerine ulaşmaktadır.



Şekil 5.92. Co-60 Radyoizotopu Etkisinde Kalmış, Dört Farklı Tipteki Camda, Morötesi Bölgede Geçirgenlik Değerleri.

#### 5.5.1.2. Görünür Bölgede Oluşan Değişimlerin Karşılaştırılması

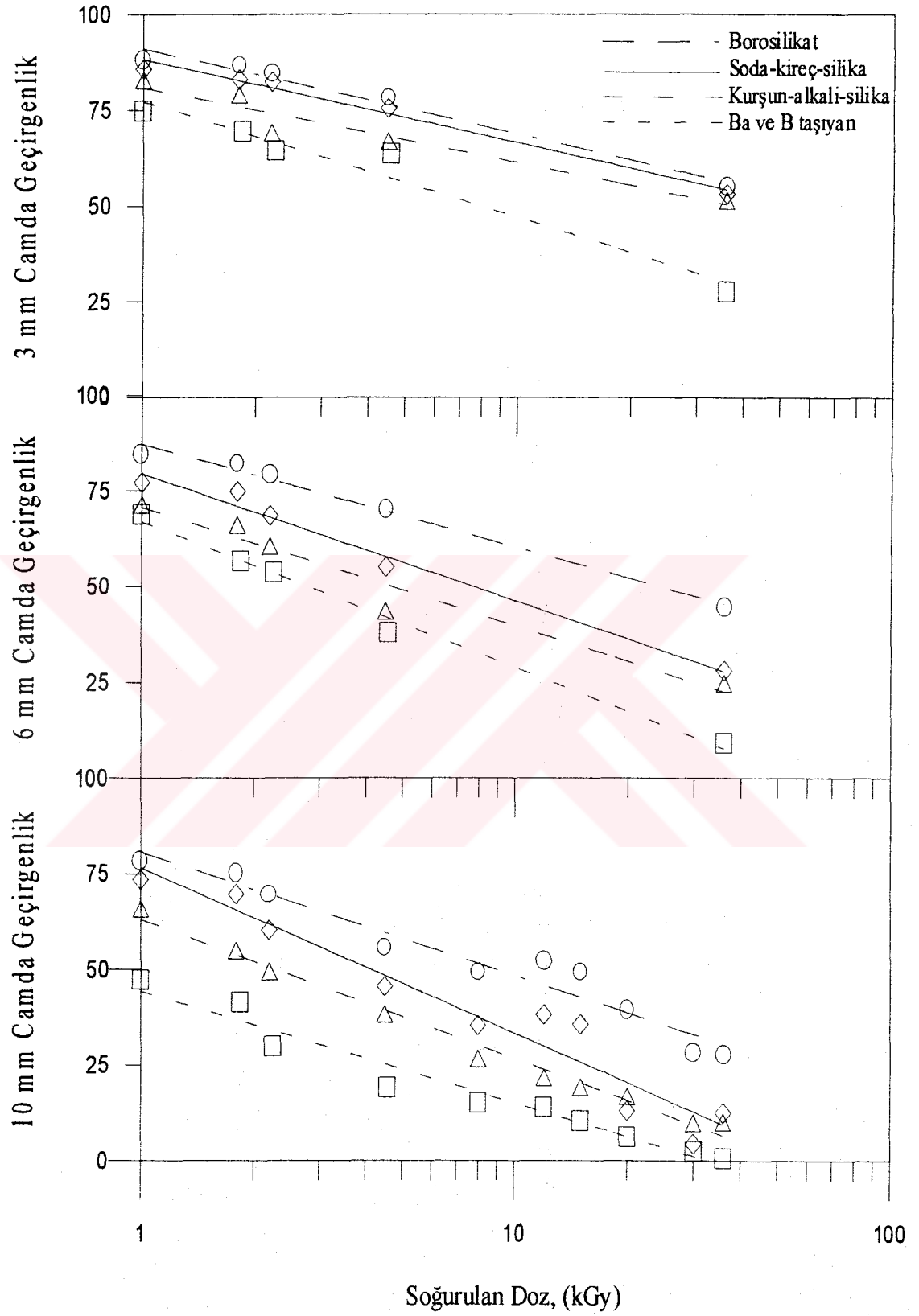
İncelenen dört farklı camın görünür bölgedeki, geçirgenlik değişimleri, Şekil 5.93'de görülmektedir. Farklı tipteki dört cam karşılaştırıldığında, görünür bölgedeki geçirgenlik ve yansıtıcılık değerlerinde en yüksek değişimi veren camın, 10 mm kalınlıktaki camlar olduğu tespit edilmiştir.

Görünür bölgedeki soğurmada oluşan değişimler incelenecek olursa, 3 mm kalınlıktaki camlarda en yüksek değişim meydana gelmektedir. Burada, görünür bölgedeki en düşük geçirgenliğin gama ışınları etkisinde kalmış, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda; en yüksek geçirgenliğin ise, borosilikat camlarda meydana geldiği izlenmektedir.

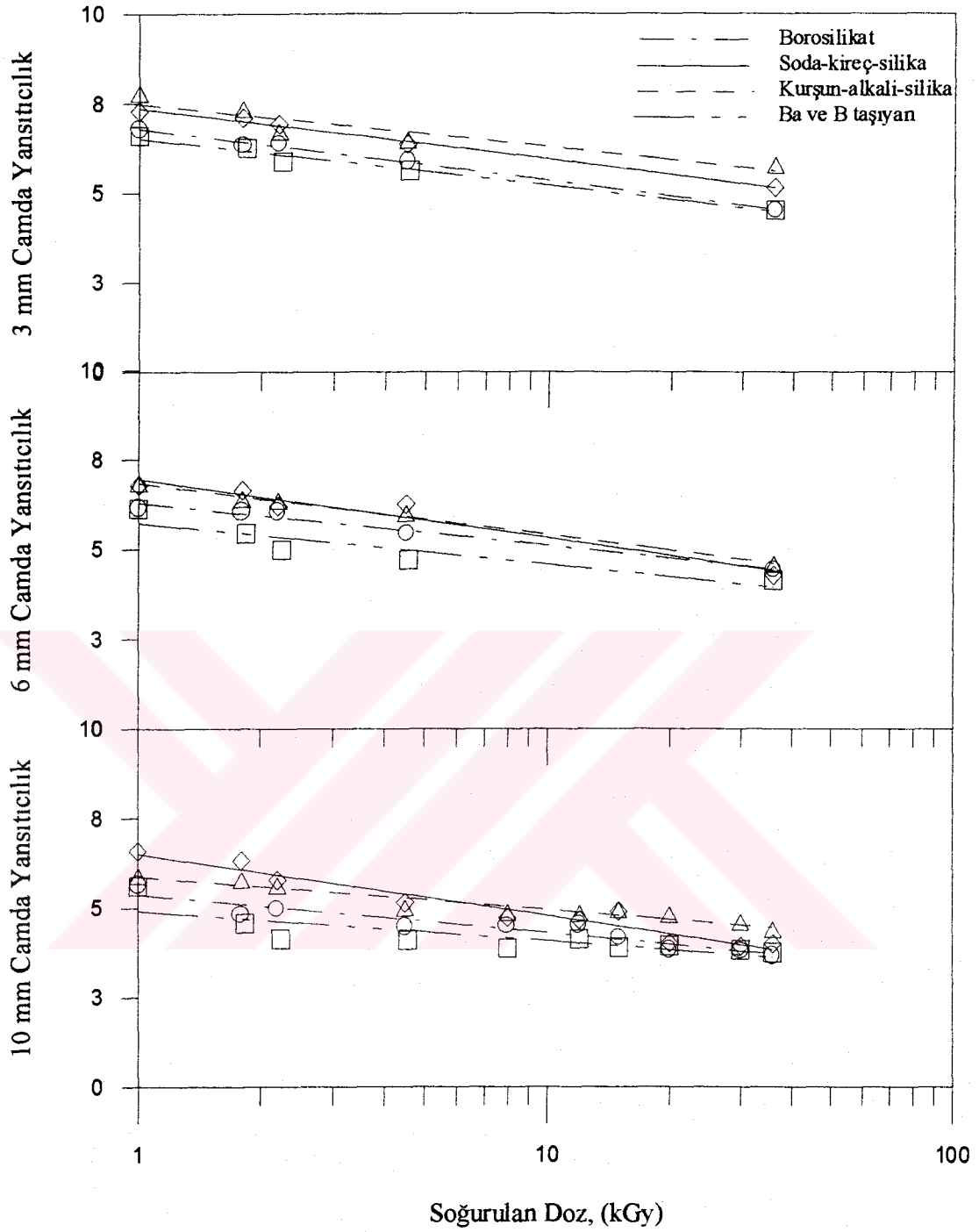
Şekil 5.93'de dikkat çekici nokta, görünür bölgedeki yansıtıcılık sıfır değerine ulaşmasına yönelik yapılan değerlendirmelerdir. Bu değerlendirmeler bağlamında, 100 kGy'in üzerinde yapılan işinlamalardan sonra, 3 mm kalınlıktaki, baryum ve bor taşıyan camlarda, görünür bölgedeki geçirgenlik sıfır değerine inerken; 6 mm kalınlıktaki camda, yaklaşık 55 kGy civarında ve 10 mm kalınlıktaki camlarda ise, yaklaşık 35 kGy civarında yapılan işinlamalardan sonra, geçirgenlik sıfır değerine ulaşmaktadır.

Görünür bölgede, soğurulan doza bağlı olarak, yansıtıcılıkta meydana gelen değişim Şekil 5.94'de görülmektedir. İncelenen dört farklı cam karşılaştırıldığında; 3, 6 ve 10 mm kalınlıktaki camlarda yansıtıcılık değerleri birbirine oldukça yakındır.

Şekil 5.94 incelendiğinde, her üç kalınlıkta da, en düşük yansıtıcılık değerlerinin, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda olduğu görülmüştür. 3 mm kalınlıktaki, kurşun-alkali-silika camların en yüksek yansıtıcılık değerine sahip olduğu görülmektedir. Söz konusu bu grafikteki, 6 ve 10 mm kalınlıklara sahip camlar incelenecek olursa, bu camların yansıtıcılık değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir.

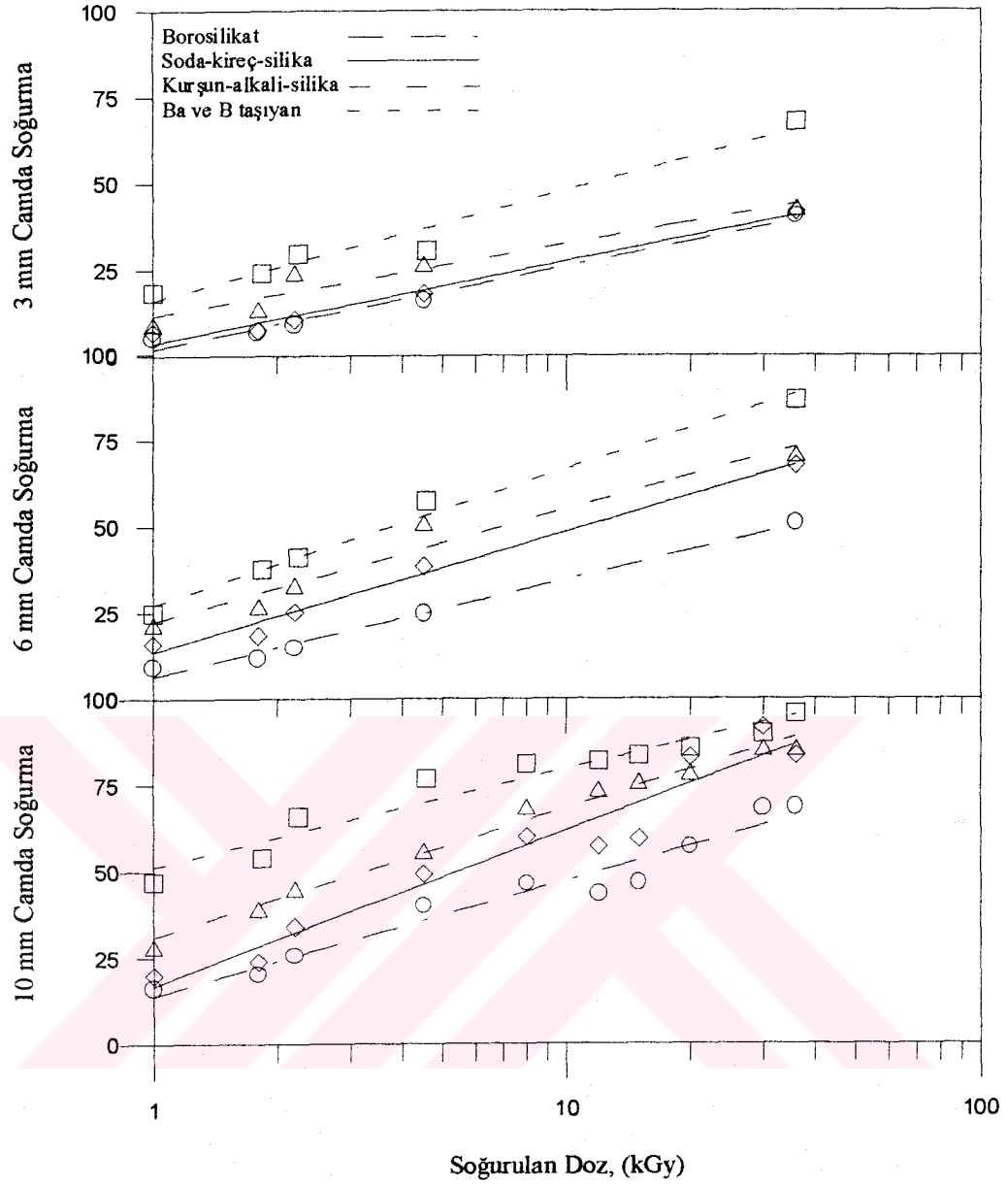


**Şekil 5.93.** Co-60 Radyoizotopu Etkisinde Kalmış, Dört Farklı Tipteki Camda, Görünür Bölgede Geçirgenlik Değerlerindeki Değişimler.



**Şekil 5.94.** Co-60 Radyoizotopu Etkisinde Kalmış, Dört Farklı Tipteki Camda, Görünür Bölgede Yansıtıcılık Değerlerindeki Değişimler.

Soğurulan doza bağlı olarak, görünür bölgedeki soğurmada meydana gelen değişim, Şekil 5.95’de görülmektedir. Görünür bölgede, incelenen dört farklı cam karşılaştırılacak olursa, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, en yüksek soğurma meydana gelmektedir. Buna karşın borosilikat camlarda ise en düşük soğurmanın meydana geldiği görülmektedir.



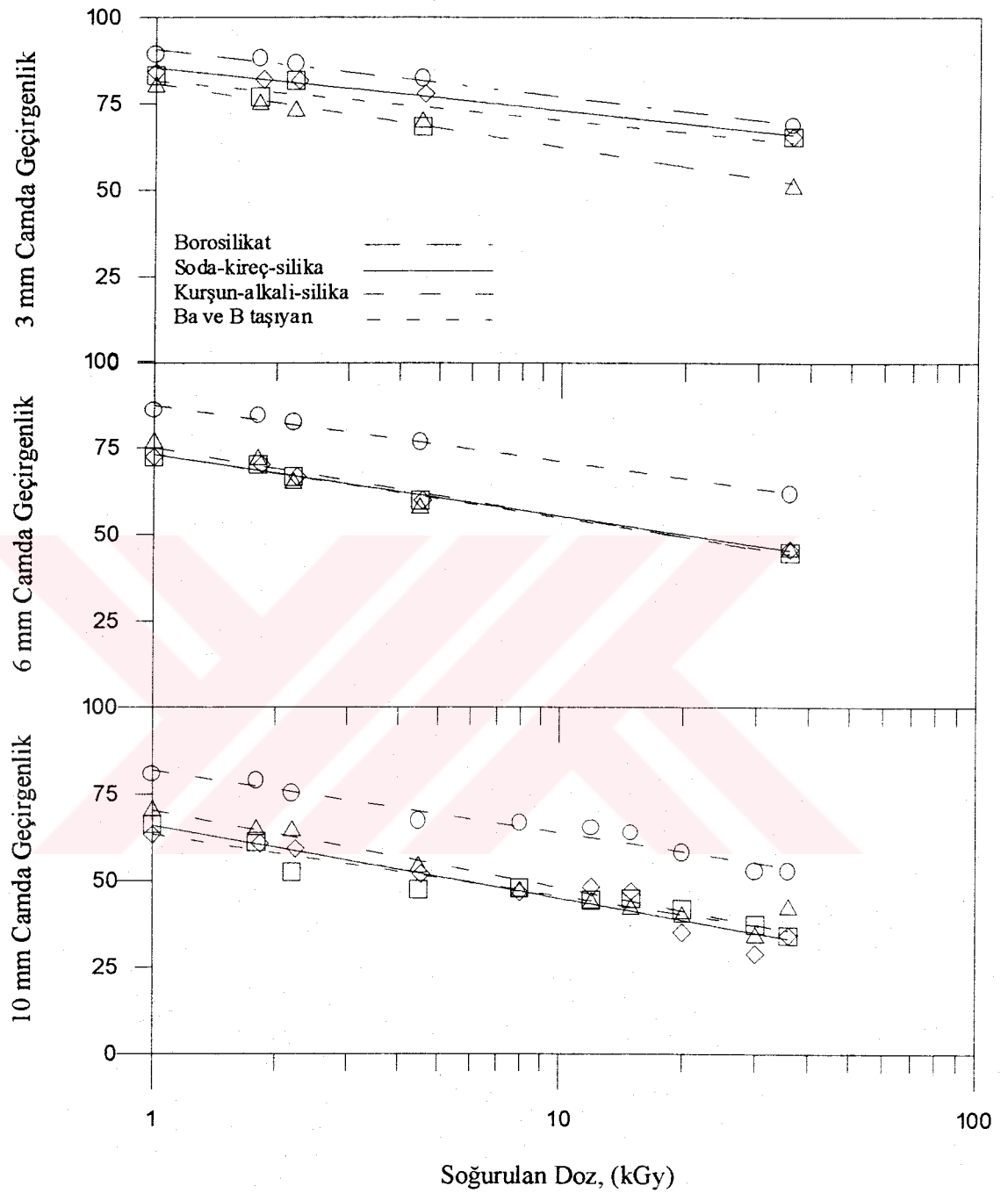
Şekil 5.95. Dört Farklı Tipteki Camda, Görünür Bölgedeki Soğurma Değerleri

### 5.5.1.3. Solar Bölgede Oluşan Değişimlerin Karşılaştırılması

Şekil 5.96'da, solar bölgedeki geçirgenlikte, soğurulan doza bağlı olarak meydana gelen değişim görülmektedir. Bu grafiğe göre, solar bölgedeki en yüksek geçirgenlik, borosilikat camlarda meydana gelmektedir.

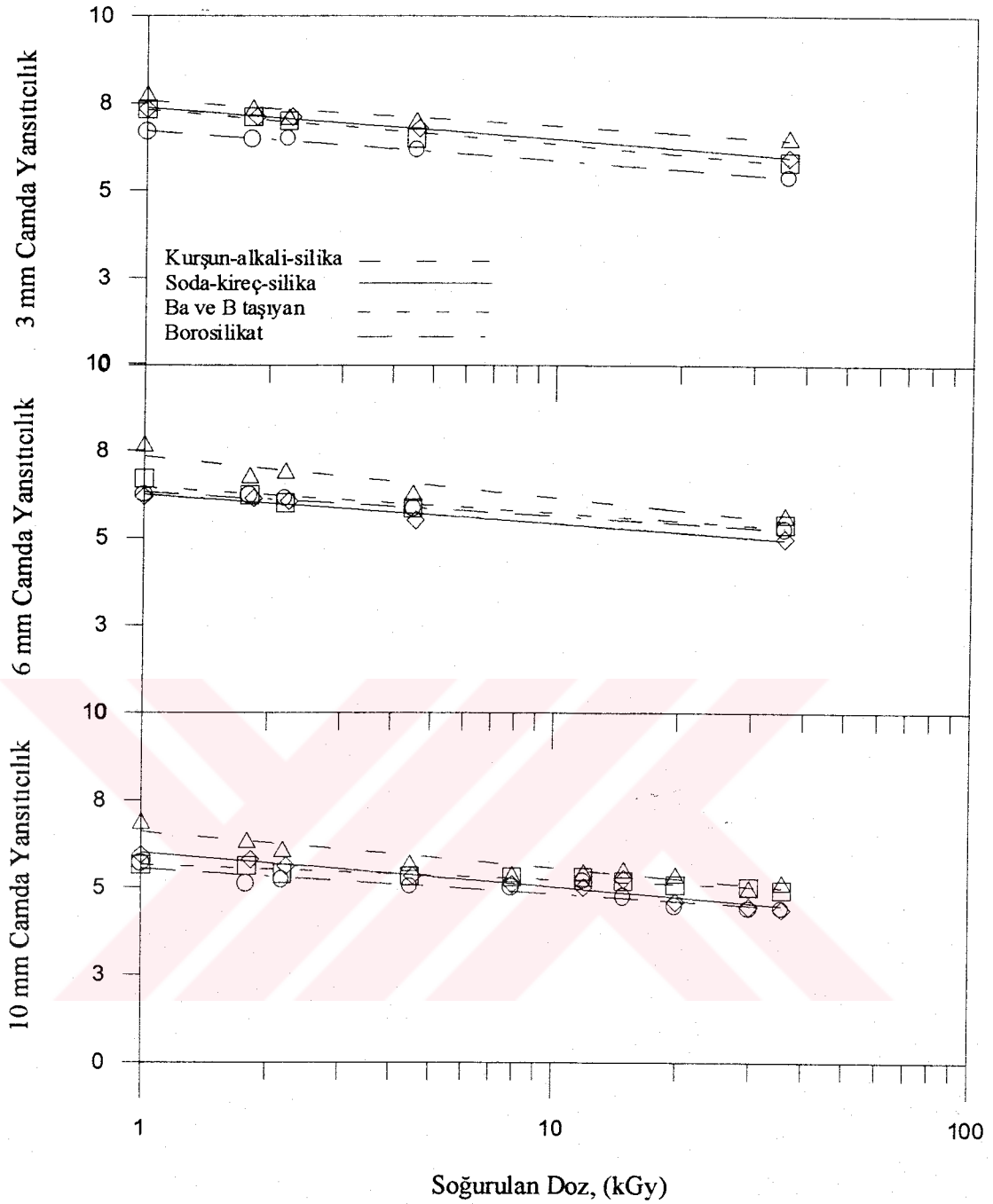
Solar bölgede, 3 mm kalınlıktaki camlar göz önüne alınırsa, en düşük geçirgenlik kurşun-alkali-silika camlarda meydana gelmektedir. 6 ve 10 mm kalınlıklarda ise; baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlar ile kurşun-alkali-silika

camlarda en düşük geçirgenlik değerleri oluşmaktadır ve bu geçirgenlik değerleri birbirine hayli yakın değerlerdedir.



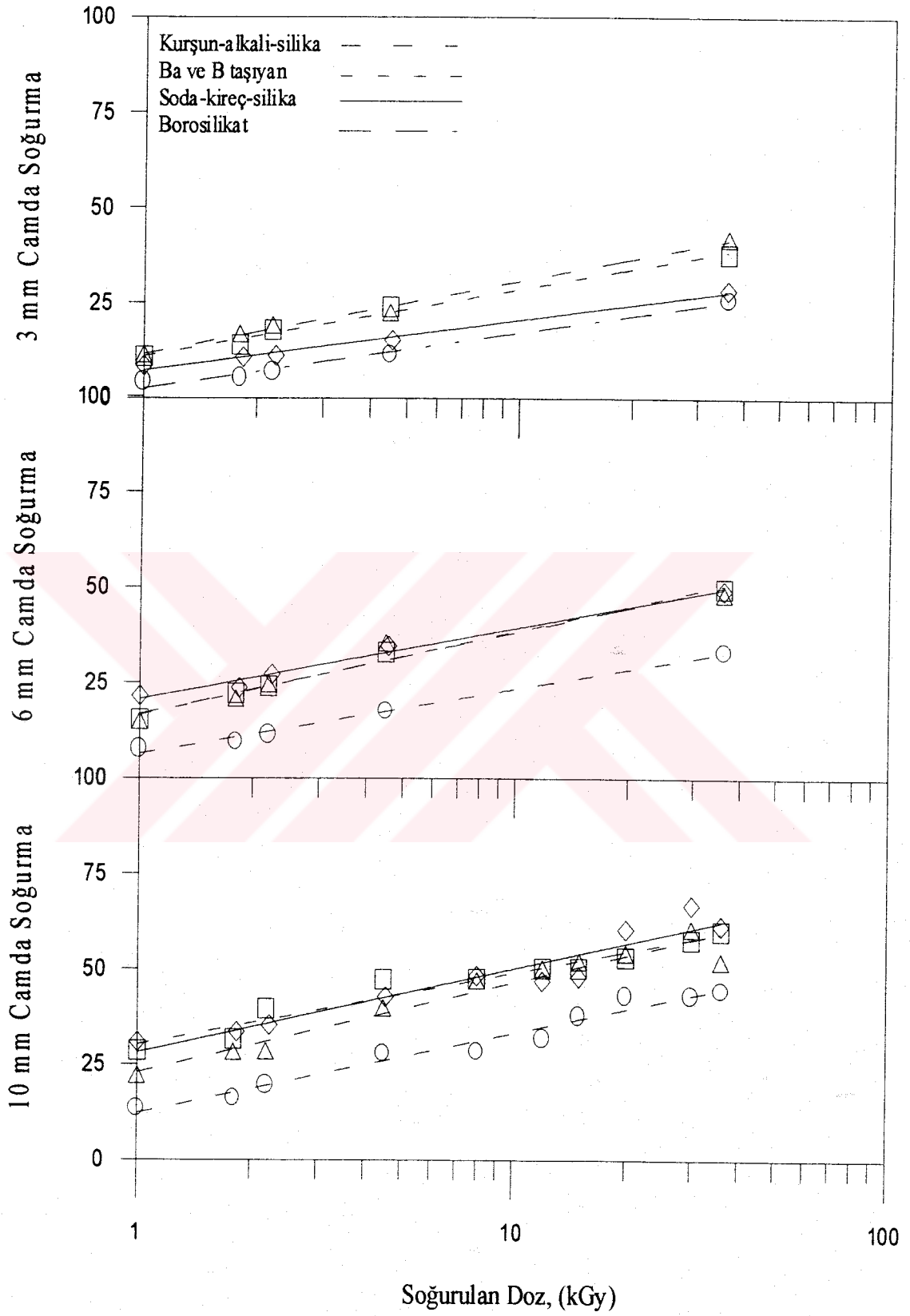
Şekil 5.96. Dört Farklı Tipteki Camda, Solar Bölgede Geçirgenlik Değerleri.

Şekil 5.97'de, incelenen dört farklı camın, solar bölgedeki yansıtıcılık değerleri görülmektedir. Bu grafiğe göre, solar bölgedeki en yüksek yansıtıcılığın, kurşun-alkali-silika camlara ait olduğu görülmektedir.



Şekil 5.97. Dört Farklı Tipteki Camda, Solar Bölgede Yansıtıcılık Değerleri.

Şekil 5.98'da, solar bölgedeki soğurmada meydana gelen değişim görülmektedir. En düşük soğurmanın borosilikat camda meydana geldiği görülmektedir. En yüksek soğurma ise; birbirine çok yakın değerlere sahip olan, baryum ve bor taşıyan özel optik cam ile soda-kireç silika camlarda görülmektedir. Bu sonuçların gama ışınlarına maruz kalan bu cam yapılarının solar bölgedeki soğurma davranışlarından kaynaklandığı düşünülmüştür.



**Şekil 5.98.** Co-60 Radyoizotopu Etkisinde Kalmış, Dört Farklı Tipteki Camda, Solar Bölgede Soğurma Değerleri.

**5.5.2. İTÜ NEE TRIGA Mark-II Reaktörü Teğetsel Işınlama Birimi (TIT)**  
**Kullanılarak Yapılan Çalışmalarda Dört Farklı Tipteki Camda Oluşan**  
**Değişimlerin Karşılaştırılması**

Camların, Teğetsel Işınlama Tüpünde, ışınlamalar için, İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü, 30 dakika süresince çalıştırılmıştır. Hiç doz almamış cam ile nötron dozu almış cam olmak üzere, iki farklı doz almış camdaki optik değerlerin karşılaştırılması Tablo 5.22’de yapılmıştır. Bu tabloda dört farklı tipteki camda, optik değerlerde meydana gelen değişimler karşılaştırılmıştır. İncelemeler 10 mm kalınlıktaki camlarda yapılmış olup bu sonuçlar, reaktörün 250 kW güçte çalıştırılmasıyla sağlanmıştır.

**Tablo 5. 22. Nötronlara Maruz Kalmış, Dört Farklı Tip Camdaki, Optik Değerlerdeki Değişimler.**

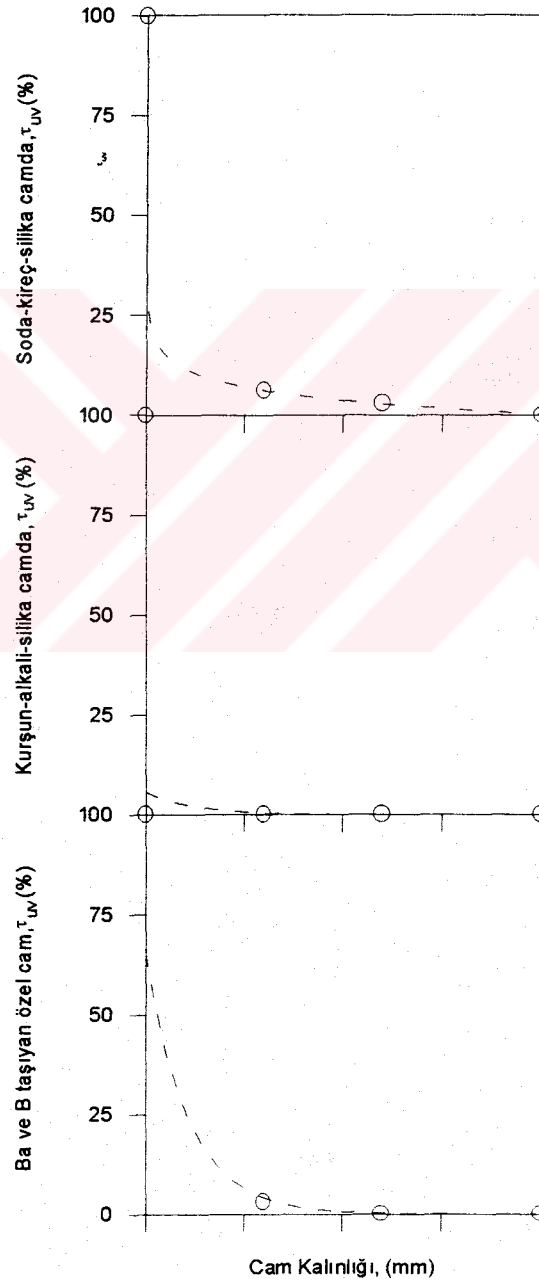
| <b>Cam Tipi</b>                        | $\Delta\tau_v$<br>(%) | $\Delta\tau_e$<br>(%) | $\Delta\tau_{uv}$<br>(%) | $\Delta\rho_v$<br>(%) | $\Delta\rho_e$<br>(%) | $\Delta\alpha_v$<br>(%) | $\Delta\alpha_e$<br>(%) |
|----------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Soda-kireç-silika Cam                  | 21.34                 | 13.09                 | 35.65                    | 19.12                 | 11.39                 | 01.13                   | 48.90                   |
| Borosilika Cam                         | 01.95                 | 01.45                 | 09.77                    | 00.52                 | 01.20                 | 52.92                   | 27.09                   |
| Kurşun-alkali-silika Cam               | 05.43                 | 05.00                 | 36.92                    | 66.11                 | 71.90                 | 78.72                   | 81.41                   |
| Ba ve B Taşıyan Özel Optik Kireçli Cam | 10.45                 | 06.46                 | 15.06                    | 02.38                 | 14.57                 | 71.62                   | 65.88                   |

**5.5.3. İTÜ NEE TRIGA Mark-II Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı**  
**Kullanılarak Yapılan Çalışmalarda Üç Farklı Tipteki Camda Oluşan**  
**Değişimlerin Karşılaştırılması**

250 kW güçte, 5 dakika süresince çalıştırılmasıyla, reaktörün Merkezi Işınlama Kanalı’nda, incelenen dört farklı tipteki camın aynı dozu alması sağlanmıştır. Işınlanan camların nötron, gama ve betalardan oluşan karışık radyasyon etkisi altında kalması sağlanmıştır.

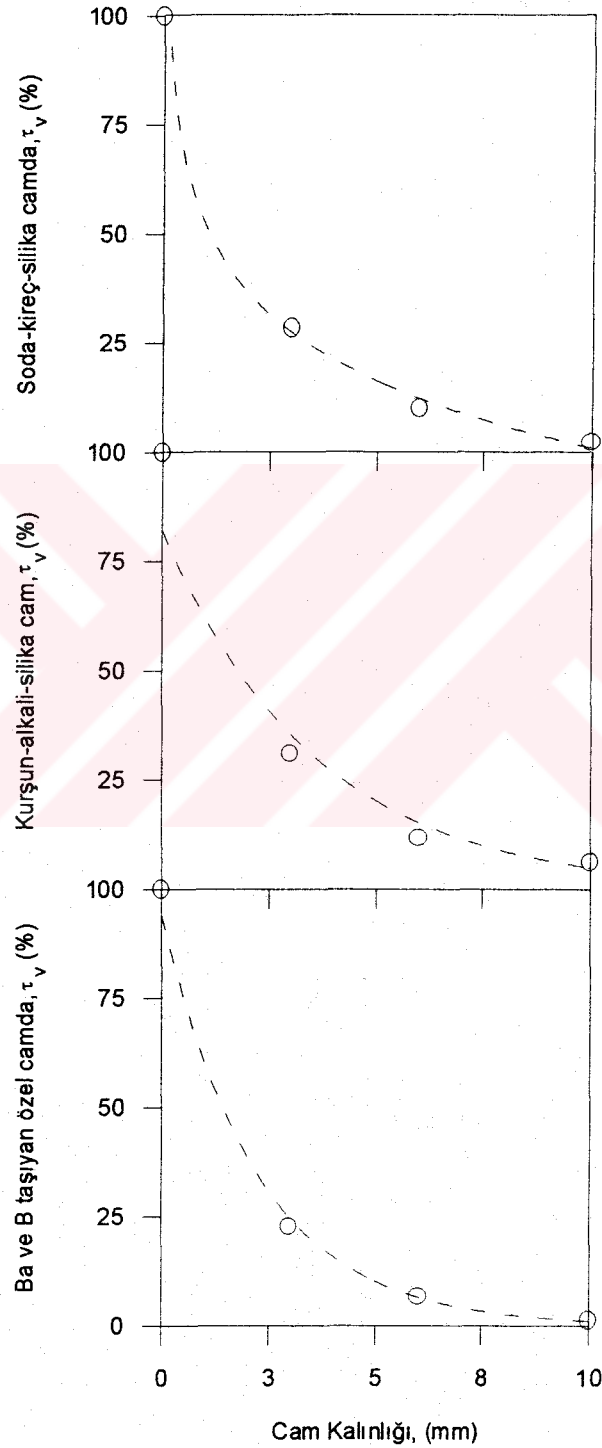
Nötronlar, (n, $\gamma$ ) reaksiyonu sonucunda, incelenen camların yapısında önemli bir etkiye sebep olmaktadır. Bu reaksiyon sonucunda, ortamda yeni gama ışınları oluşmakta ve dolayısı ile, cam yapıda, ikincil bir gama radyasyonu etkisi meydana gelmektedir. Bu sebeple, sadece gama ışınları ve karışık radyasyon ile yapılan

ışınlamalar sonucunda, camda oluşan renklenme miktarları arasında karşılaştırma yapmak mümkün olmaktadır. Eşdeğer gama doz etkisi göz önüne alındığında; Merkezi Işınlama Kanalı'ndaki karışık doz etkisi ile Co-60 radyoizotopunun camlarda oluşturduğu doz etkisi arasında karşılaştırma yapılabilmektedir. Şekil 5.99'da Merkezi Işınlama Kanalı'nda ışınlanan 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki üç farklı camın, morötesi bölgedeki geçirgenlik değişimleri görülmektedir. Bu şekilde, morötesi bölgedeki en düşük geçirgenliğin, kurşun-alkali-silika camlarda; en yüksek geçirgenliğin ise, soda-kireç-silika camlarda meydana geldiği görülmektedir.



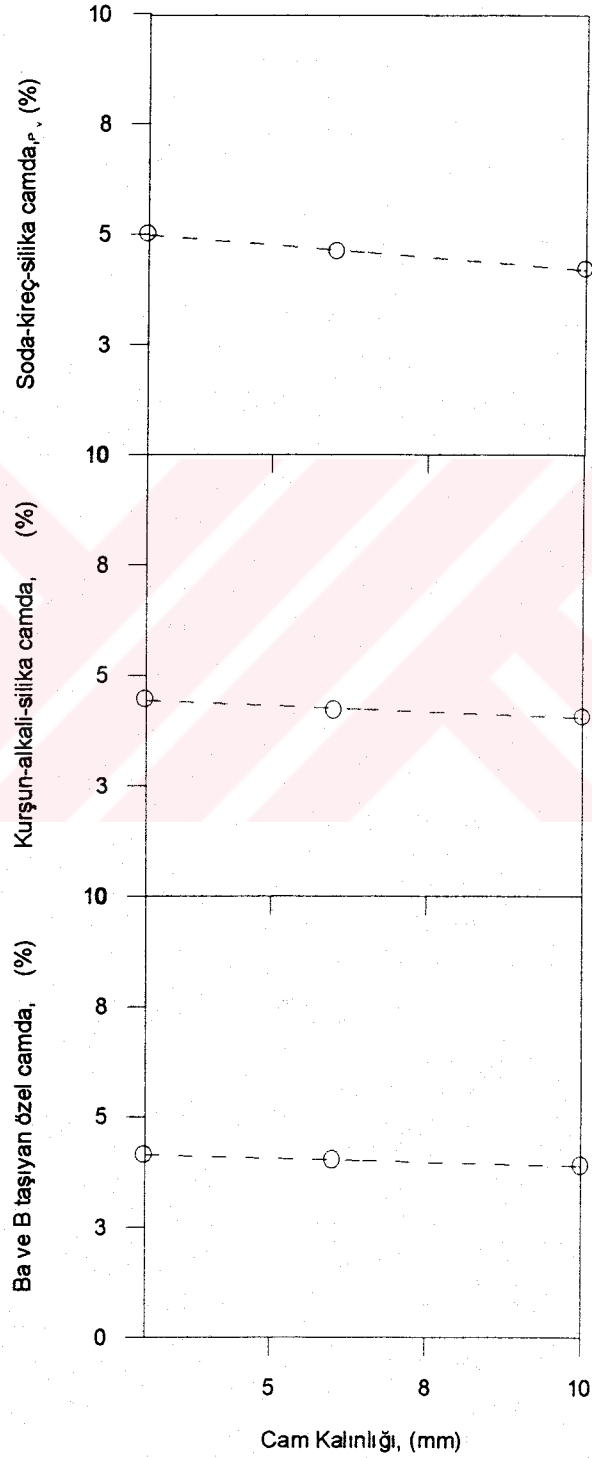
**Şekil 5.99.** Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalarla, Morötesi Bölgedeki, Geçirgenlik Değerlerindeki Değişimler.

Şekil 5.100'de Merkezi Işınlama Kanalı'nda ısıtılan 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki üç farklı camın, görünür bölgedeki geçirgenlik değişimleri görülmektedir. Bu grafikte, görünür bölgedeki en düşük geçirgenliğin baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda; en yüksek geçirgenliğin ise soda-kireç-silika camlarda meydana geldiği görülmektedir.



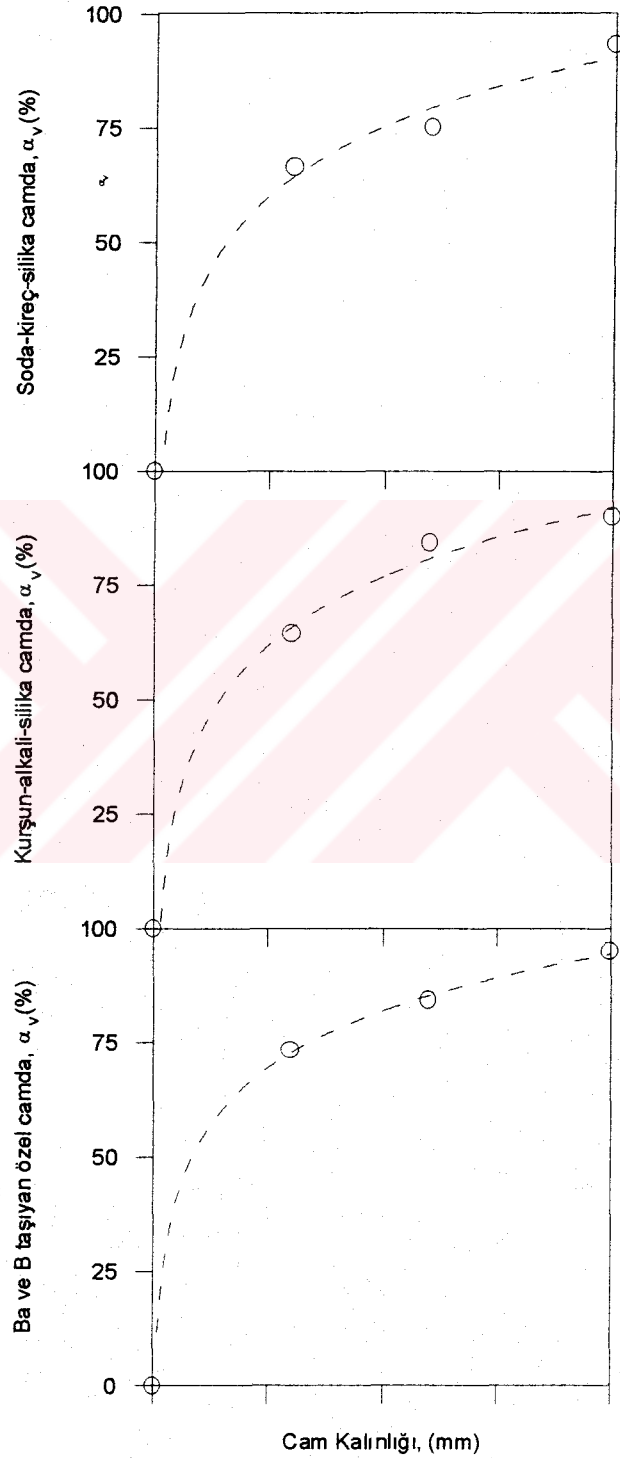
**Şekil 5.100.** Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalar Sonucu, Görünür Bölgedeki, Geçirgenlik Değerlerindeki Değişimler.

Şekil 5.101’de, Merkezi Işınlama Kanalı’nda ışınlanan 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki üç farklı camın, görünür bölgedeki yansıtıcılık değişimleri görülmektedir. Bu grafikte, görünür bölgedeki en düşük yansıtıcılığın baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda; en yüksek yansıtıcılığın ise, soda-kireç-silika camlarda meydana geldiği görülmektedir.



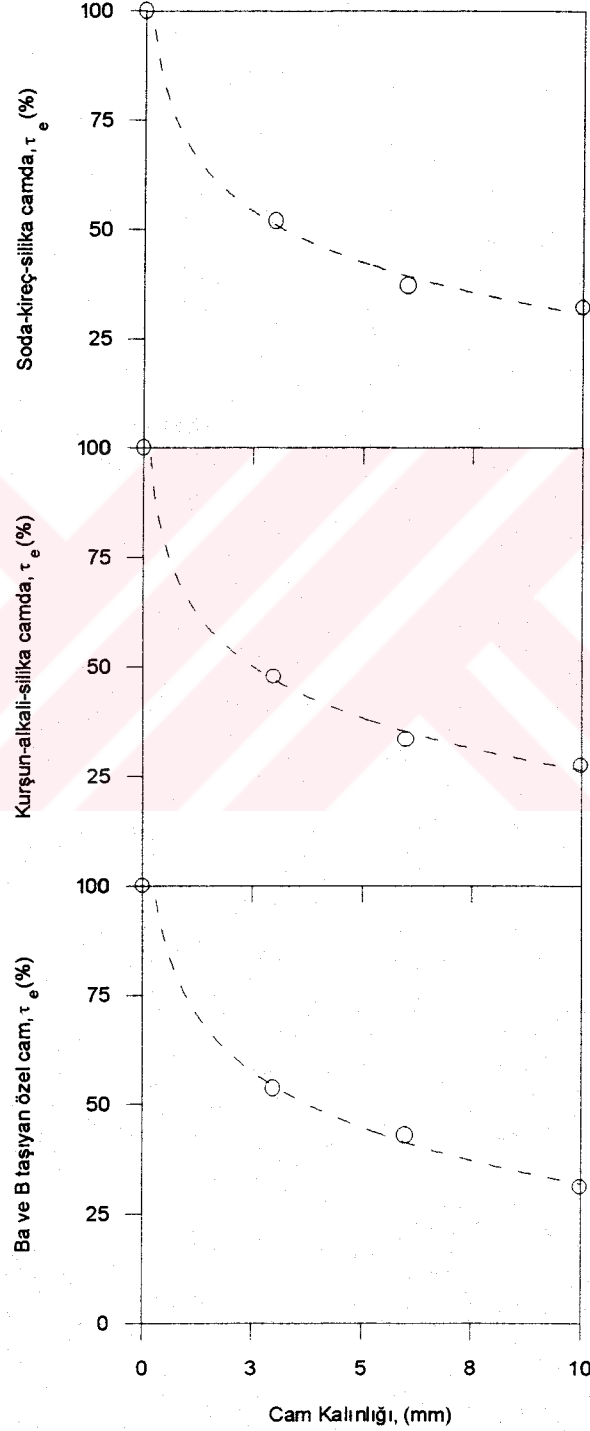
**Şekil 5.101.** Merkezi Işınlama Kanalı’nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Görünür Bölgedeki, Yansıtıcılık Değerlerindeki Değişimler.

Şekil 5.102’de, Merkezi Işınlama Kanalı’nda ışınlanan 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki üç farklı camın, görünür bölgedeki soğurma değişimleri görülmektedir. Bu grafikte, görünür bölgedeki en düşük soğurma, soda-kireç-silika camlarda; en yüksek soğurma ise, baryum bor taşıyan özel optik kireçli camlarda meydana gelmektedir.



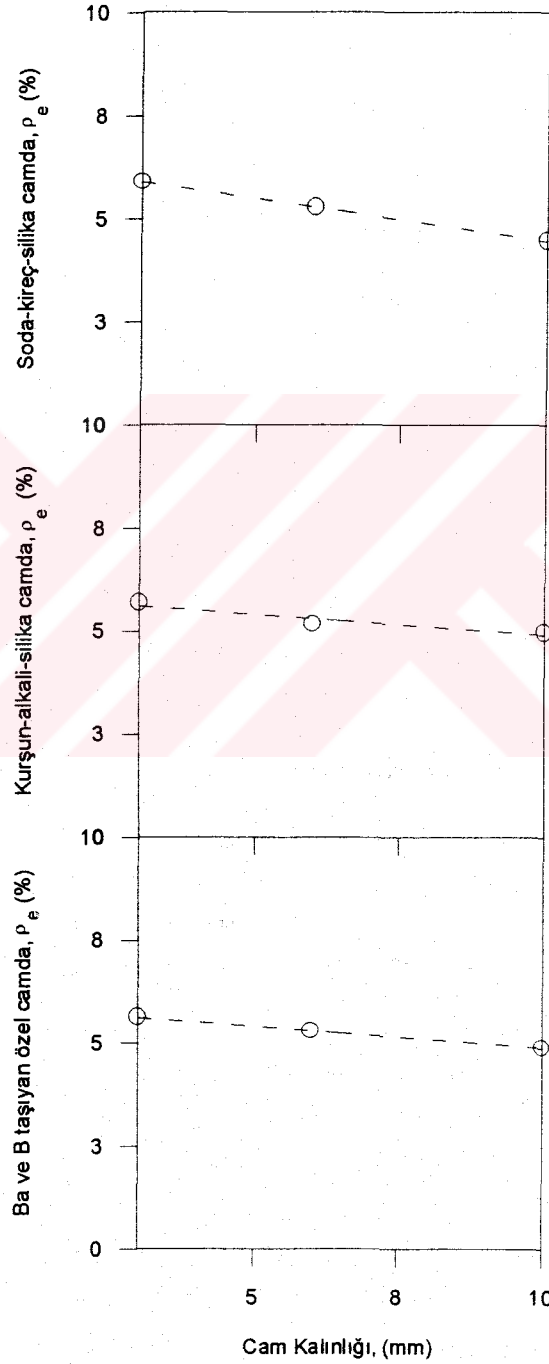
Şekil 5.102. Merkezi Işınlama Kanalı’nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Görünür Bölgedeki, Soğurma Değerlerindeki Değişimler.

Şekil 5.103'de, Merkezi Işınlama Kanalı'nda 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki üç farklı camın, solar bölgedeki geçirgenlik değişimleri görülmektedir. Bu grafikte, solar bölgedeki en düşük geçirgenliğin, kurşun-alkali-silika camlarda; en yüksek geçirgenliğin ise, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda meydana geldiği görülmektedir.



**Şekil 5.103.** Merkezi Işınlama Kanalı'nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Solar Bölgedeki, Geçirgenlik Değerlerindeki Değişimler.

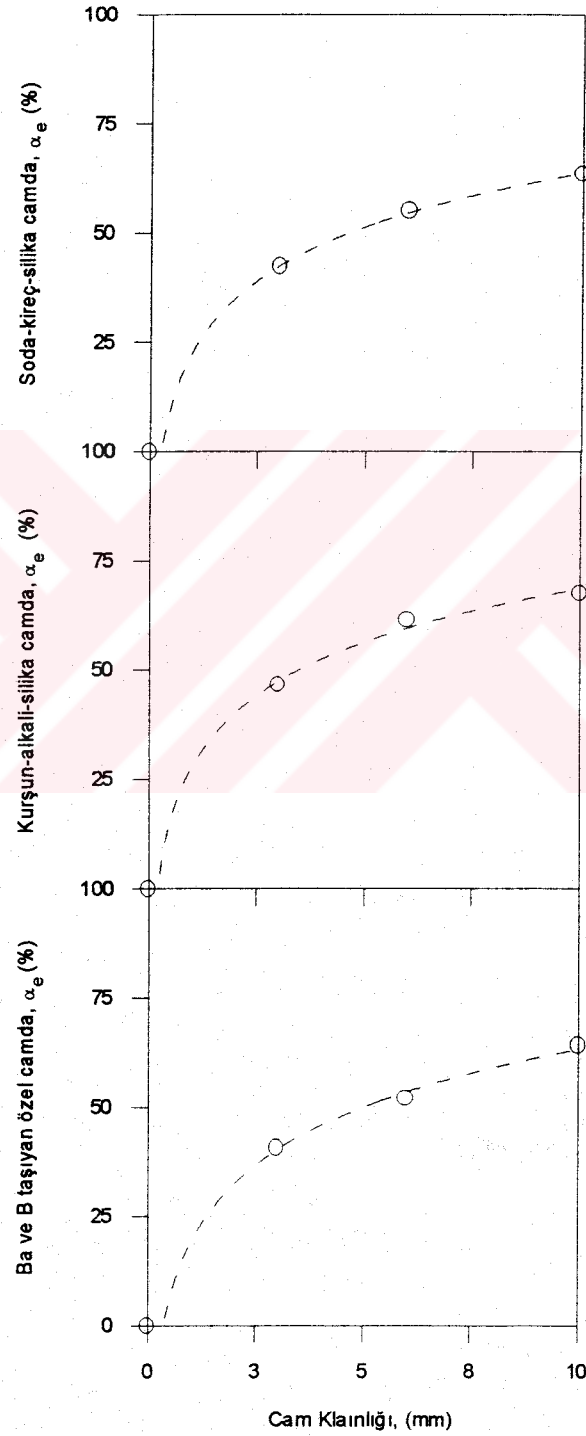
Şekil 5.104’de, Merkezi Işınlama Kanalı’nda ısıtılan 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki üç farklı camın, solar bölgedeki yansıtıcılık değişimleri görülmektedir. Bu grafikte, solar bölgedeki en düşük yansıtıcılığın, kurşun-alkali-silika ve baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda olduğu ve bu değerlerin de yaklaşık olarak birbirine yakın değerler gösterdiği izlenmektedir. En yüksek yansıtıcılığın ise, soda-kireç-silika camlarda meydana geldiği tespit edilmiştir.



YÜKSEK GÜÇLÜ KURŞUN  
BARIYUM VE BOR  
TAŞIYAN CAMLAR

Şekil 5.104. Merkezi Işınlama Kanalı’nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Solar Bölgedeki, Yansıtıcılık Değerlerindeki Değişimler.

Şekil 5.105’de, Merkezi Işınlama Kanalı’nda ısıtılan 3, 6 ve 10 mm kalınlıklardaki üç farklı camın, solar bölgedeki soğurma değişimleri görülmektedir. Bu grafiğe göre, solar bölgedeki en düşük soğurmanın, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda ve en yüksek soğurmanın ise, kurşun-alkali-silika camlarda meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.105. Merkezi Işınlama Kanalı’nda Yapılan Işınlamalar Sonucunda, Solar Bölgedeki, Soğurma Değerlerindeki Değişimler.

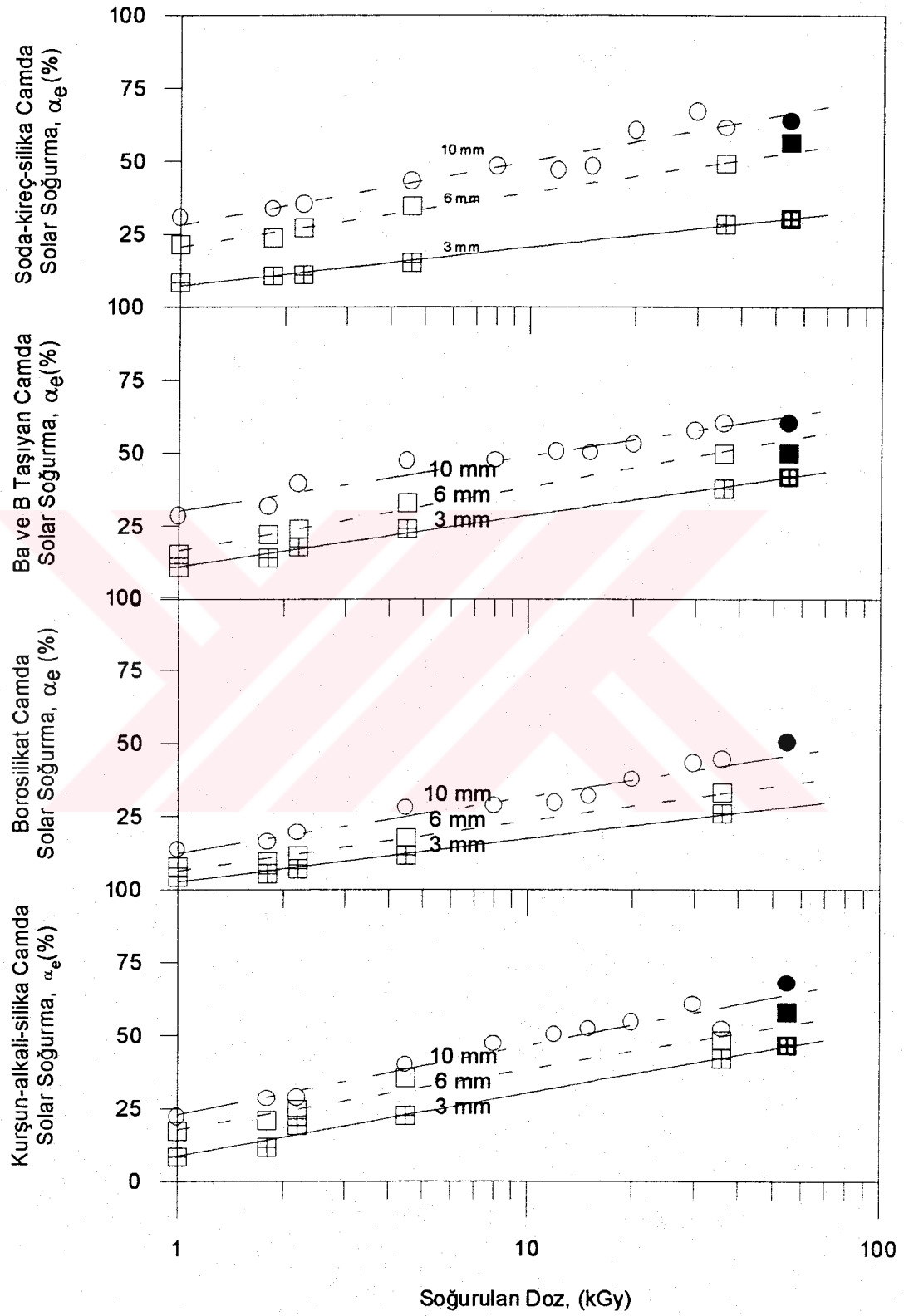
#### **5.5.4. İncelenen Camlarda Spesifik Soğurma Değerlendirmesi ve Birbirinden Farklı Kaynaklar Kullanılarak Camlarda Soğurulan Dozun Karşılaştırılması.**

İncelenen dört farklı camın soğurduğu dozun değerlendirilmesinde, camda görünür bölgede ve solar bölgedeki fotonların cama nüfuz etme özelliğinde oluşan değişim incelenmeye çalışılmış ve daha sonra da, ilgili kalınlık düzeltmeleri yapılarak, cam kalınlığı parametresinden bağımsız olarak, camın soğurduğu doza bağlı, bir kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Bu kalibrasyon eğrisinin daha hassas bir şekilde elde edilebilmesi amacıyla; elektromanyetik spektrumda yer alan solar bölge, hem morötesi, hem de görünür bölgeyi kapsayan, daha geniş bir bölge olduğundan, soğurulan dozun belirlenmesine yönelik yapılan değerlendirmelerde, solar bölgedeki optik değişimlerin, bir bütün olarak, incelenmesi tercih edilmiştir. Ayrıca, soğurulan doza yönelik hesaplamalarda, spektrofotometreden ölçülen hem geçirgenlik ve hem de yansıtıcılık değerlerini içeren, soğurma değerlerinin kullanılması tercih edilmiştir.

Merkezi Işınlama Kanalı'nda ışınlamalar yapılarak, gama, nötron ve az miktarda betalardan oluşan karışık radyasyon, incelenen dört farklı cama uygulanmıştır. Bu sebeple, gama ışınlarının cam üzerinde oluşturduğu renklenmeye eşdeğer bir etkinin göz önüne alınması mümkün olabilmektedir. Böylece, incelenen dört farklı camda, eşdeğer doz değerlendirmesi söz konusudur.

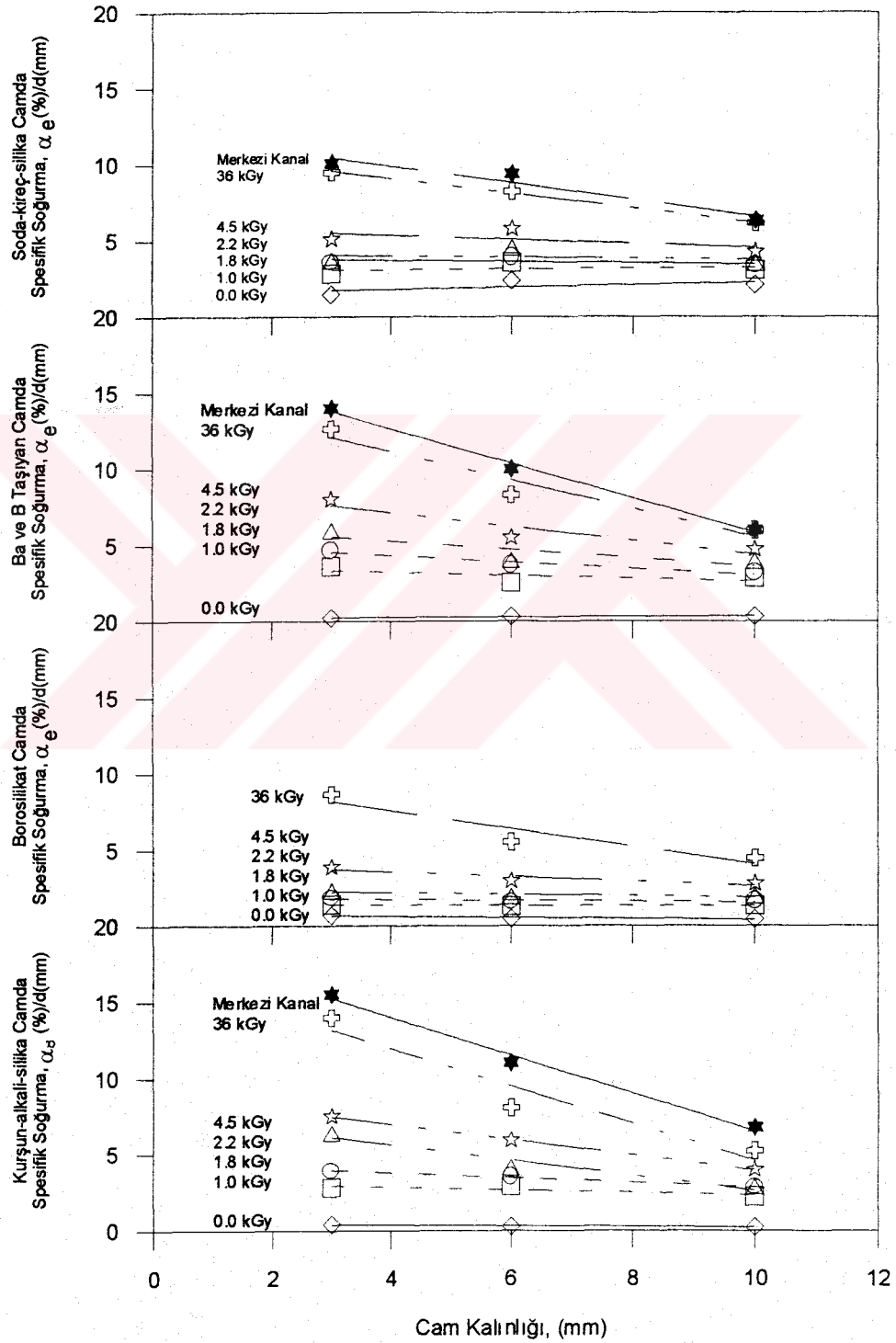
Şekil 5.106'da, Co-60 radyoizotopu kullanılarak, ışınlanan dört farklı camda, solar bölgedeki soğurmada meydana gelen değişim görülmektedir. Bu grafikte, Co-60 radyoizotopu ile ışınlanan camların solar soğurma eğrisi üzerine, reaktörün Merkezi Işınlama Kanalı'nda ışınlanan camlara ait, solar soğurma değerleri yerleştirilmiştir. Böylece, camların yaklaşık 55 kGy'lik eşdeğer soğurma dozu etkisi altında kaldığı düşünülmektedir. Merkezi Işınlama Kanalı'nda ışınlanan camların, gama ışınları ile çalışılan en yüksek doz olan, 36 kGy'den daha yüksek bir doza maruz kaldığı görülmektedir. Bu nedenle, Avrupa Standartlar Komitesince kullanımı önerilen 10 mm kalınlıktaki camlardan başka, 3 ve 6 mm'lik kalınlıklardaki camlarla da çalışılarak, incelediğimiz camların maruz kaldığı dozun hassas bir şekilde belirlenmesine çalışılmıştır. 55 kGy olarak belirlenen eşdeğer doz değeri, incelenen dört farklı cam için, üç farklı kalınlıkta test edilerek, 55 kGy olarak onaylanmıştır. Böylece, en yüksek solar soğurmanın, hem gama ışınlarına

hem de karışık radyasyona maruz kalan soda-kireç-silika cam ile baryum ve bor taşıyan özel optik camda meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 5.106. İncelenen Camlarda Soğurulan Doza Göre, Solar Soğurmada Oluşan Değişimin Karşılaştırılması.

Şekil 5.107’de cam kalınlığına bağlı, spesifik solar soğurma değerleri görülmektedir. Reaktörün Merkezi Işınlama Kanalı’nda ısınlanan camların, en yüksek spesifik solar soğurma değerine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, incelenen dört farklı cam karşılaştırıldığında, baryum ve bor taşıyan özel optik cam ile kurşun-alkali-silika camın, en yüksek spesifik solar soğurma sergilediği görülmektedir.



Şekil 5.107. Cam Kalınlığına Göre, Spesifik Solar Soğurmada Oluşan Değişimler

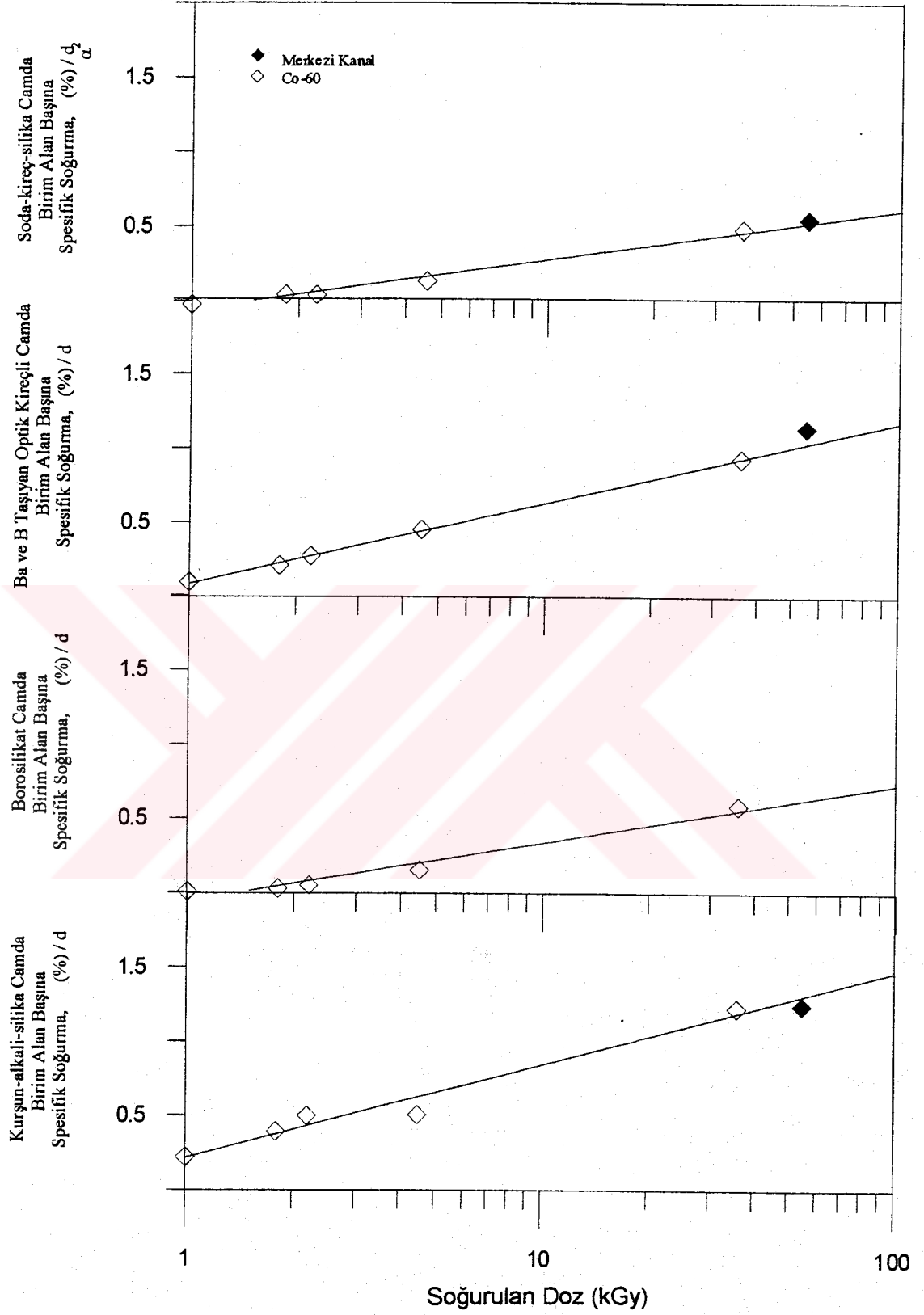
Şekil 5.108’de, cam kalınlığı ile spesifik solar soğurma eğrisi eğiminden, birim alan başına spesifik soğurma değerleri elde edilmiştir. Bu sayede, incelenen dört farklı camda, birim kalınlık başına radyasyonun cama nüfuz etme (penetrasyon) özelliği belirlenmeye çalışılmıştır.

Böylece, soğurulan dozu, mümkün olduğunca hassas şekilde değerlendirebilen, bir kalibrasyon eğrisi elde etmek mümkün olmuştur. Şekil 5.108’de cam tarafından soğurulan doza göre, birim alan başına spesifik soğurma belirlenmiştir. Birim alan başına spesifik soğurma artış yönü olarak, camdaki artan cam tabakası kalınlığı düşünülmüştür.

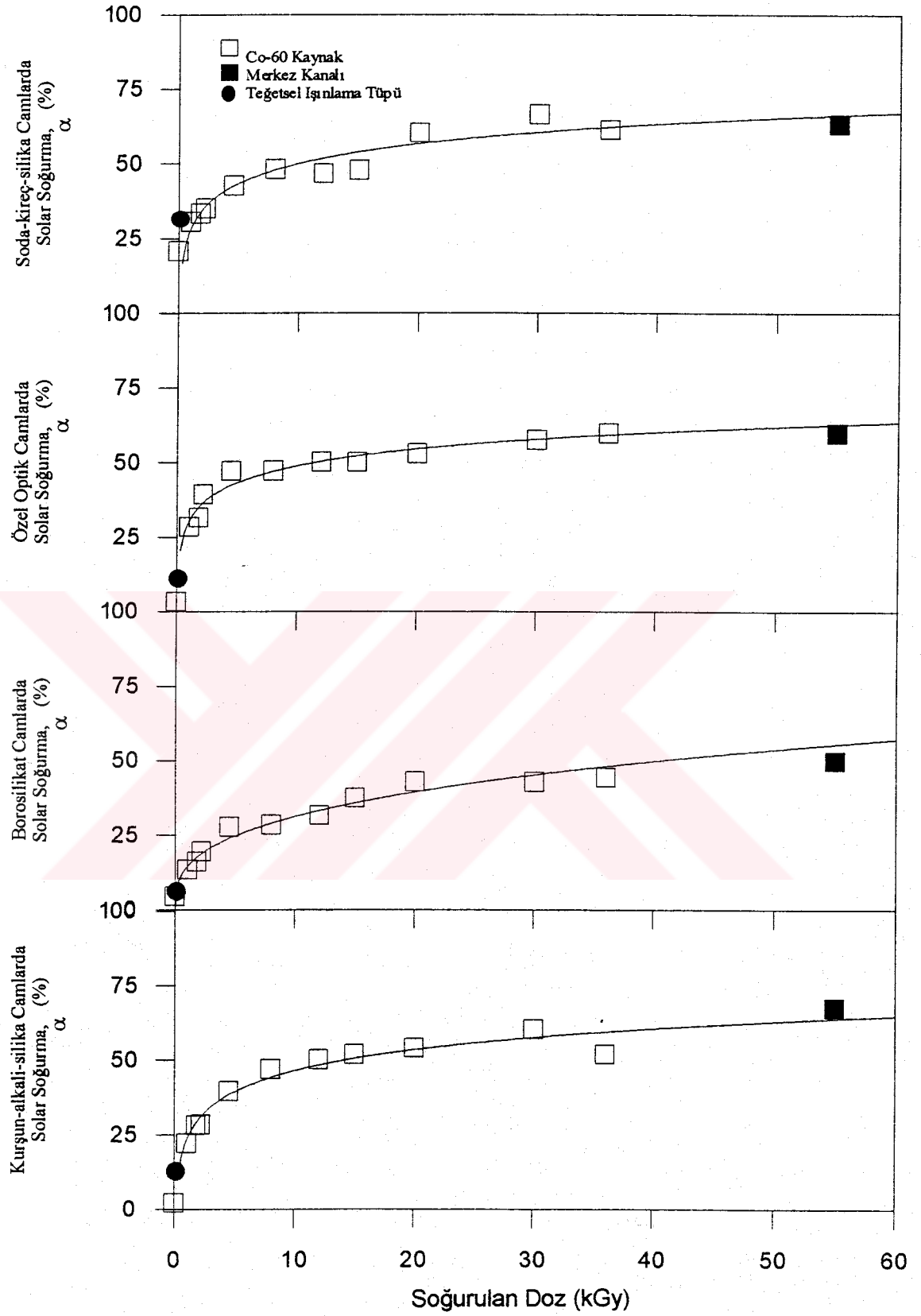
Şekil 5.108’den gözlemlendiği üzere, birim alan başına spesifik soğurmanın en yüksek olduğu camın, kurşun-alkali-silika cam olduğu görülmektedir. Ayrıca, birim alan başına spesifik soğurmanın en düşük olduğu camın ise, soda-kireç-silika cam olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.109’da, gamalara göre nötron akısının en yüksek olduğu Teğetsel Işınlama Tüpü ile Merkezi Işınlama Kanalı’nda ışınlama yapılmış olan camalar görülmektedir. Böylelikle hem nötronlar hemde eşdeğer doza maruz kalmış camların, gama ışınlarına göre, eşdeğer doz değerlendirmesi yapılmaya çalışılmıştır. Bu grafik sayesinde, gama ışınları ile ışınlanan camlara göre, Teğetsel Işınlama Tüpünde ışınlanan bu camların değerlendirilmesi mümkün olmuştur.

Şekil 5.109’da, Teğetsel Işınlama Tüpünde nötronlarla ve Merkezi Işınlama Kanalı’nda karışık radyasyonla ışınlanan camların solar soğurma değerleri gama ışınları ile ışınlanan camlardan elde edilen eğri üzerine yerleştirildiğinde, Teğetsel Işınlama Tüpünde ışınlanan camların yaklaşık 0.2 kGy eşdeğer doz aldığı görülmektedir.

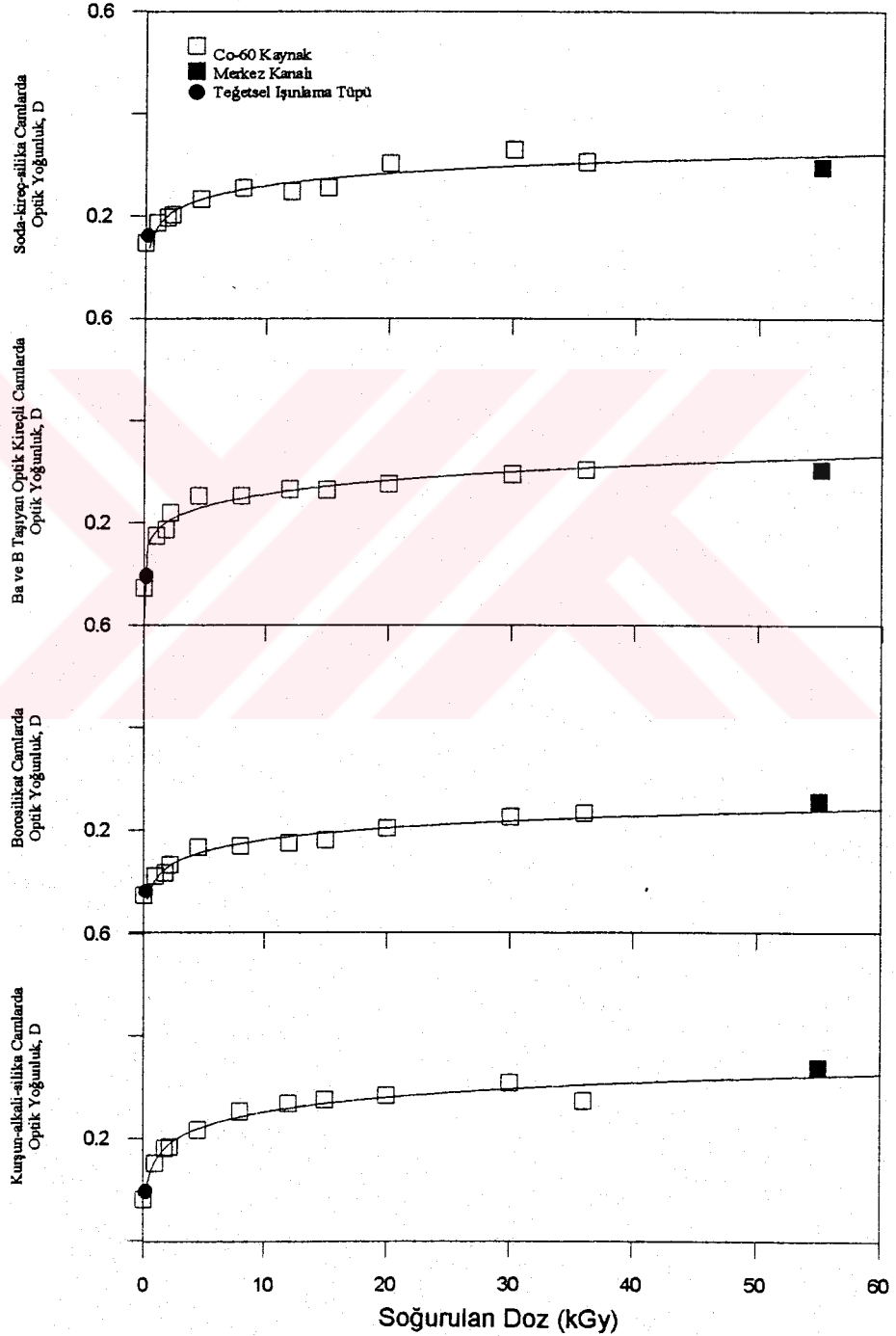


**Şekil 5.108.** İncelenen Camlarda Soğurulan Doza Göre, Birim Alan Başına Spesifik Solar Soğurmada Oluşan Değişimin Karşılaştırılması.



Şekil 5.109. Farklı Radyasyon Kaynakları İle Işınlanan Camlarda, Soğurulan Doza Göre, Solar Soğurmada Oluşan Değişimler.

Optik yoğunluk terimi içinde, aynı anda hem soğurma hem de yansıtıcılık ifadesi yer almaktadır. Bu sebeple, soğurulan dozun daha hassas bir şekilde değerlendirilebilmesi için, incelenen dört farklı camdaki, optik yoğunlukta meydana gelen değişimin incelenmesinin de gerektiği düşünülmüştür. Şekil 5.110'da, camlardaki optik yoğunluk ile soğurulan doz arasındaki değişim görülmektedir. Bu grafiğe göre, en düşük optik yoğunluğun, borosilikat camda olduğu görülmektedir.



Şekil 5.110. Farklı Radyasyon Kaynakları İle Işınlanan Camlarda, Soğurulan Doza Göre, Optik Yoğunlukta Oluşan Değişimler.

## 6. İNCELENEN CAMLARIN DOZİMETRİK AMAÇLI KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Dozimetrik değerlendirmeler, özellikle insan ve çevre sağlığı açısından, yüksek doz seviyelerinin uygulandığı alanlarda önem taşımaktadır (Lell, 1960a; Lell, 1960b). Bu amaçla, yüksek dozlardaki uygulamaların söz konusu olduğu alanlarda kullanılmak üzere, pek çok cihaz geliştirilmiştir (Nofz ve diğ., 1996; Bishay ve Maklad, 1966; Blair, 1996; Doğan ve Tuğrul, 2001a).

Cam dozimetreler, yüksek doz seviyelerinin belirlenmesi için kullanılan önemli bir dozimetre tipidir (Doğan ve Tuğrul, 2001a). Bu dozimetreler, çeşitli radyosterilizasyon işlemlerinde, örneğin; gıda endüstrisinde, yiyeceklerin çeşitli parazitlerden temizlenmesi ve tıbbi cihazların çeşitli virüs ve bakterilerden arındırılmasında, uygulanan dozun belirlenmesi için kullanılabilmektedir (Morrissey ve Phillips, 1993; Russell ve diğ., 1992; Doğan ve Tuğrul, 2001c).

Yüksek doz seviyelerinin belirlenmesinde, spektrofotometrik analizler göz önüne alınmaktadır. Böylece, özellikle yüksek dozlarda, uygulanan dozun artışıyla, camda meydana gelen renk değişimi ve optik değerlerin hassas bir şekilde belirlenebilmesi mümkündür.

Camların bu özelliği, yüksek radyasyonun söz konusu olduğu, askeri yönden stratejik alanlarda da, camların dozimetrik amaçlı kullanımını sağlamaktadır (Doğan ve Tuğrul, 2000). Dolayısıyla, diğer dozimetrelere göre, camların dozimetride tercih edilerek kullanımının başlıca nedeni, uygulanan yüksek radyasyon dozunun daha hassas bir şekilde belirlenmesi ve yüksek radyasyon alanlarında, bu dozimetrelerin kullanımının daha kolay oluşudur.

Optik yoğunluk ifadesinin kullanılması ile, camda oluşan hem soğurma ve hem de yansıtıcılık etkisinin, aynı anda ifade edebilmesi açısından, çeşitli durumlarda tercihen kullanılmaktadır (Tooley, 1960a;

Tooley, 1960b). Uygulama açısından, optik yoğunluk eğrilerinin kullanımının, bir takım kolaylıklar getirmesi mümkün olabilir. Bu nedenle, bu bölümde, soğurma yerine, optik yoğunluk ifadesinin kullanımının, camdaki rengin daha sağlıklı açıklanabilmesi açısından, uygun olacağı düşünülmüştür.

$$D_{op} = \alpha t_k \log_{10} e - \log_{10} (1-\rho)^2 \quad (6.1)$$

Burada;

$D_{op}$  : Optik yoğunluk

$t_k$  : Cam kalınlığı

$\alpha$  : Optik soğurma

$\rho$  : Optik yansıtıcılık

ifade etmektedir (Tooley, 1960a; Tooley, 1960b).

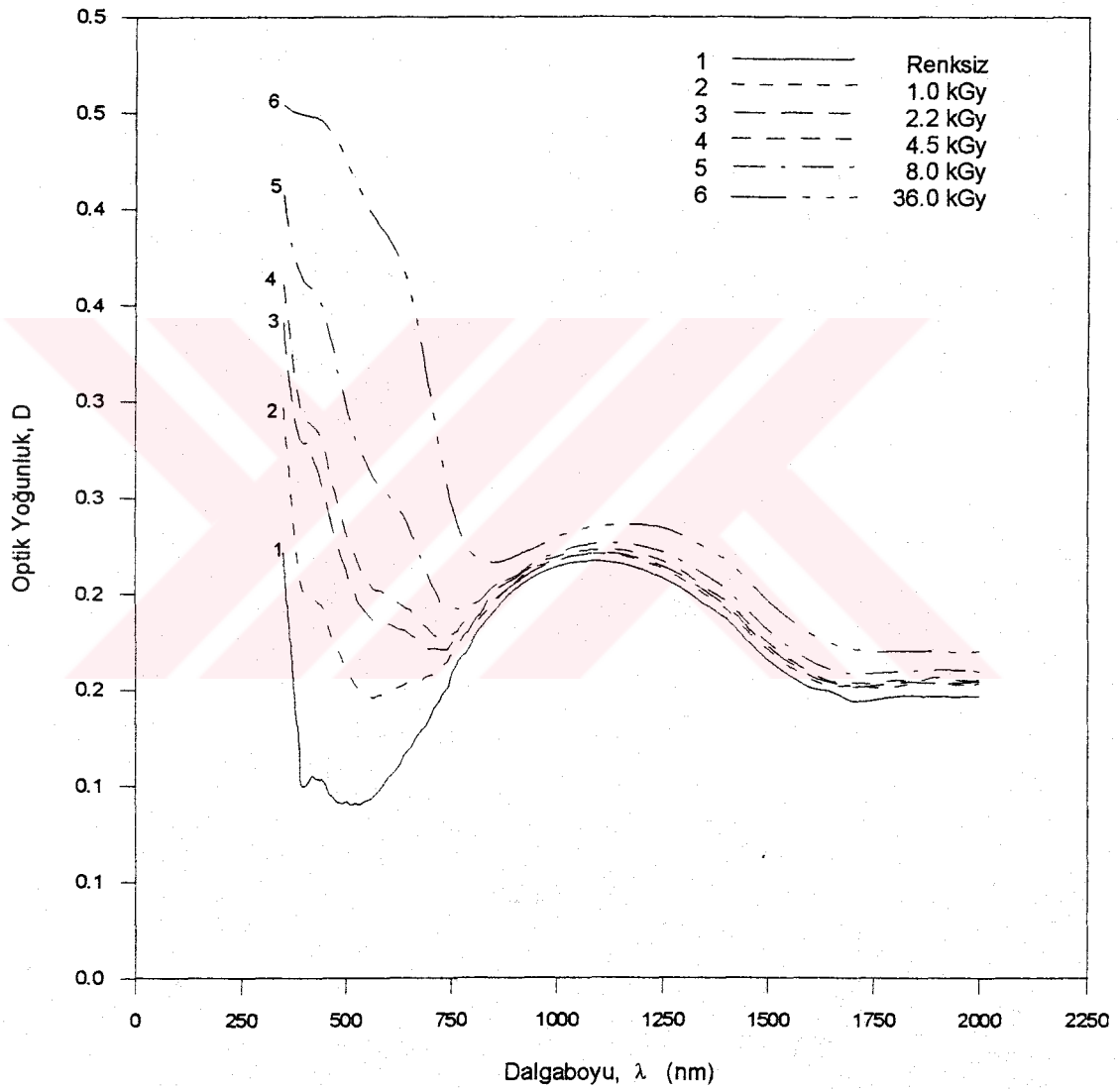
Camların renklendirilmesi, teknik ve bilimsel açıdan, pek çok önemli parametreyi içermektedir (Hardy, 1966; Vogel, 1985). Bu nedenle, rengin doğru olarak ifade edilmesi, ayrıca, önemli bir konuyu oluşturmaktadır (Fortner ve Meyer, 1997).

Dozimetrik açıdan, yüksek dozlar karşısında, optik davranışlarını incelediğimiz dört farklı cam tipinin, renk koordinatları, parlaklık, saflık ve baskın dalgaboyu gibi renk parametrelerinin belirlenmesine ayrıca önem verilmiştir.

#### **6.1. Soda-Kireç-Silika Camların Dozimetrik Amaçlı Kullanımının İncelenmesi**

Soda-kireç-silika camların, dozimetride kullanılabileceğinin keşfinden sonra, bu dozimetreler hızla uygulama alanı bulabilmişlerdir. Yüksek gama dozlarının ölçümünde kayda değer hassasiyet göstermesi, camların, dozimetrik amaçlı kullanımında, ümit verici olmuştur.

Şekil 6.1’de, soda-kireç-silika camlardaki, dalga boyuna bağlı optik yoğunluk değişimi görülmektedir. Doz almış camlardaki, optik yoğunluk pikinde bir artış olduğu ve uygulanan doz arttıkça, optik yoğunluğun da arttığı görülmektedir. Ancak, uygulanan dozun artışıyla, 460 nm ve 620 nm civarında, iki soğurma bandı meydana gelmektedir. 620 nm civarındaki, bu ikinci bandın oluşumu, 4.5 kGy ve bu değer üzerindeki dozlarda, gama ışınlarının etkisinde kalmış, soda-kireç-silika camlarda tespit edilmiştir.



Şekil 6.1. Soda-Kireç-Silika Camların, Dalgaboyuna Bağlı, Optik Yoğunluk Değişimleri.

Şekil 6.1'de incelediğimiz, spektrumun 900-1200 nm aralığında kalan bölgesinde, hiç doz almamış camlarda optik yoğunluk değeri söz konusudur. Buna karşın, uygulanan doz arttıkça, spektrumdaki 900-1200 nm aralığında oluşan bu optik yoğunluk bandının, bir miktar sağa kayarak, daha uzun dalga boylarına doğru ötelendiği tespit edilmiştir. 36 kGy doz almış camlarda ise, oluşan optik yoğunluğun, yaklaşık olarak, 1000-1300 nm aralığında meydana geldiği görülmektedir. 1000-1300 nm aralığındaki bölgede oluşan optik yoğunluktaki artış şiddeti; hiç doz almamış camlardaki, 900-1200 nm aralığında oluşan optik yoğunluk şiddetinden oldukça azdır. Optik yoğunluktaki şiddetli artışların nedeninin, spektrumda yer alan, bu dalga boylarındaki soğurmanın artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu grafikte, soda-kireç-silika cam yapıda yer alan iyonların, uygulanan yüksek dozlardaki gama radyasyonu sonucu, redoks kuralları çerçevesinde, çeşitli indirgenme ve yükseltgenmelere uğradığı söylenebilir. Böyle bir durumda, spektrumun başlangıçta incelenen bölgesindeki kısa dalga boylarında oluşan optik yoğunluk, önemli bir şekilde artmaktadır.

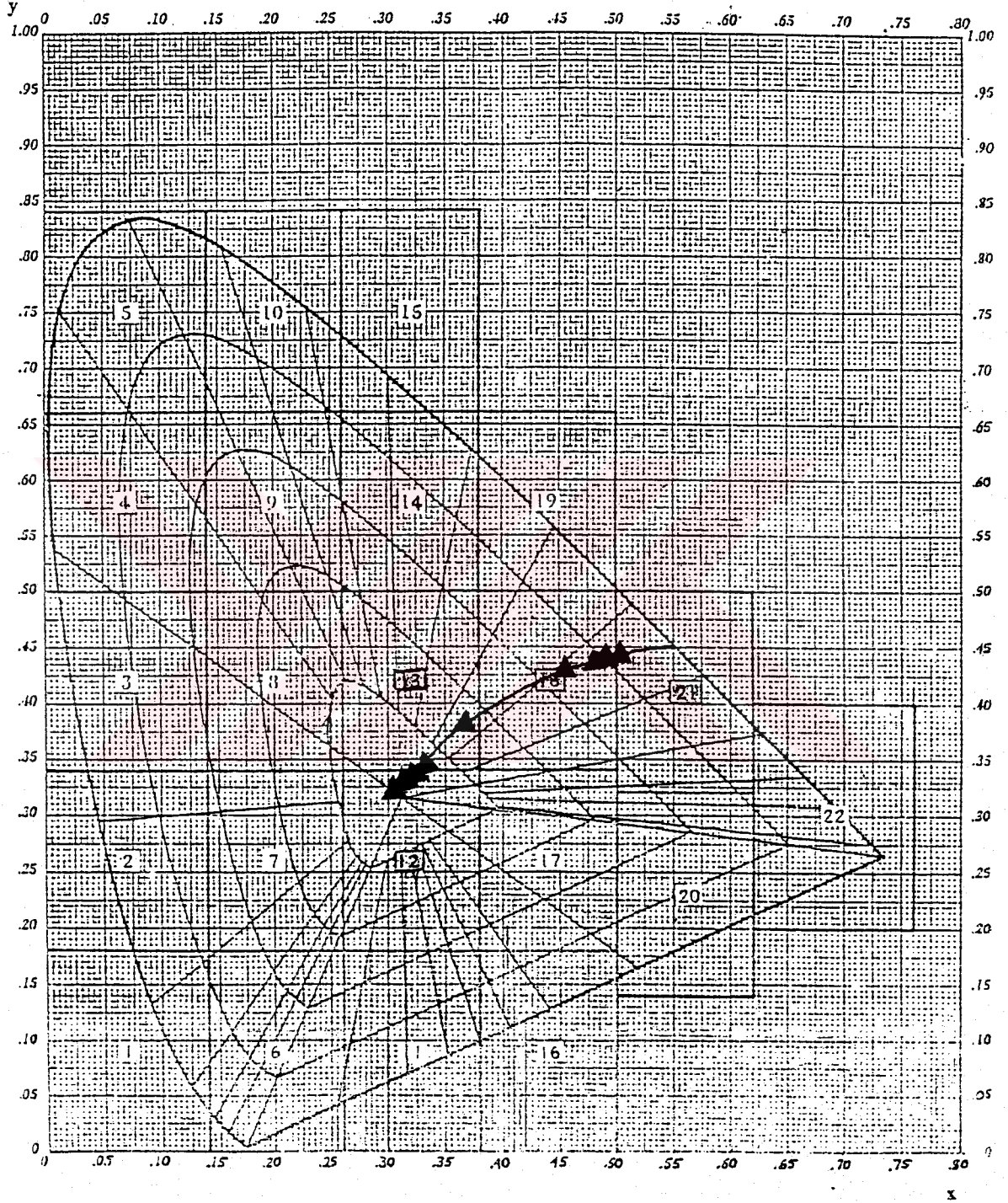
Doz almış camlara ilişkin olarak, özellikle, soda-kireç-silika camlara özgü bir karakteristik olarak, 480 ve 620 nm civarında birbirinden ayrılan, iki bandın oluştuğu görülmektedir. Uygulanan dozun artışıyla, bu bantlardaki optik yoğunluk değerleri artmakta olup, sağa kayarak, daha uzun dalga boylara doğru ötelenmektedir.

Soda-kireç-silika cam yapının gama radyasyonu ile uyartılması sonucu, 460 ve 620 nm civarında oluşan bu iki bant, malzemedeki mevcut "alüminyum merkezleri" ile bağlantılıdır (Ezz-Eldin ve diğ., 1994a). Bu durum, yapıdaki bir silisyum yerine geçen alüminyuma bağlanan, bir oksijende tuzaklanan pozitif yüklü boşluktan meydana gelmektedir (Ezz-Eldin ve diğ. 1994b). Dolayısıyla, bu piklerin, ışınlamalar süresince, bağ kurmamış oksijenlerden, elektronların kaybolmasıyla meydana gelen, pozitif yüklü boşluklarla oluşturdukları renk merkezlerinde, uyartılan soğurmadaki değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Soda-kireç-silika cam yapısında, gama radyasyonu ile uyartılma sonucu, renk merkezi kaynağı olabilecek iyonların tespit edilmesi, Şekil 6.1'de görülen, optik yoğunluk bantlarının yorumlanabilmesi açısından, büyük önem taşımaktadır. Özellikle, incelediğimiz soda-kireç-silika cam yapısında yer

alan, alüminyum, demir ve titan atomları, bu grafikte, önemli sayılabilecek, optik yoğunluk davranışları sergilemektedirler. Hem titan ve hem de demir,  $Al_2O_3$  yapısındaki, altı oksijenli oktahedronun bir miktar biçimini bozarak, buradaki, alüminyumun yerini alabilmektedir. Ayrıca, titan genellikle, sadece  $Ti^{+4}$  olarak yapı içinde yer alırken, demir, hem  $Fe^{+3}$  ve hem de  $Fe^{+2}$  olarak yapı içinde bulunabilmektedir (Nassau, 1983).  $Fe^{+2}$  ve  $Ti^{+4}$ 'in her ikisinin birden yapıda mevcut bulunması durumunda; eğer bunlar, alüminyum konumuna komşu olarak yerleşmişlerse, alüminyum ile bunlar arasında bir etkileşimin meydana gelmesi mümkün olmaktadır. Soda-kireç-silika camlardaki iyonların, gama radyasyonu ile uyartılması durumunda,  $Fe^{+2}$  bir elektron kaybederek  $Fe^{+3}$ 'e dönüşürken, bu elektronu kazanan  $Ti^{+4}$ 'ün  $Ti^{+3}$ 'e dönüşmesi olası olmaktadır. Uygulanan gama radyasyon dozuna bağlı olarak, bu iyonik dönüşümün giderek artmaktadır (Doğan ve Tuğrul, 2001 a; 2001 b). Bu grafikte, soda-kireç-silika cam yapıdaki çeşitli mevcut iyonlar, belirli dalga boylarında soğurma göstermektedir. Bu grafik, cam yapıdaki elementlerin oluşturduğu soğurmaların yorumlanabilmesi açısından, oldukça önem taşımaktadır.

Gama radyasyonundan etkilenen, alüminyum, demir ve titan iyonları, elektromanyetik spektrumda yer alan, özellikle belirli dalga boylarındaki fotonları soğurmaktadırlar. Bu durumda, gelen ışık içinden belirli dalga boyundaki fotonun eksilmesi sonucu, cam yapıdan geçen ışık, gözümüze renklenmiş olarak gelecektir.  $SiO_2$  yapı içinde yer alan  $Al_2O_3$ , uygulanan gama radyasyon dozuna bağlı olarak, fume yada duman rengi adı da verilen, koyu kahverengimsi gri renge dönüşebilmektedir.  $Ti^{+4}$  ve  $Fe^{+2}$  ise, renksiz iken,  $Ti^{+3}$  ve  $Fe^{+3}$  iyonları spektrumda, kahverengi renk tonunda renklenme sergileyebilmektedir (Nassau, 1983; Bamford, 1977). Ancak, borosilikat camlarda, soda-kireç-silika ve kurşun-alkali-silika camlara göre, titanın daha şiddetli renk verici etkisi bulunmaktadır.  $Ti^{+3}$ 'e ait, 570 nm'de, tek bir soğurma piki bulunmaktadır (Bamford, 1977). Bununla birlikte, soda-kireç-silika cam yapıda yer alan,  $Fe^{+2}$  iyonu, spektrumda 1050 nm'de soğurma piki verirken,  $Fe^{+3}$  iyonu ise, 380, 420 ve 435 nm'lerde soğurma piki göstermektedir. Böylece, soda-kireç-silika cam yapısında yer alan,  $Fe^{+3}$  iyonundan kaynaklanan, önemli sayılabilecek nitelikte soğurmanın oluşabilmesi söz konusu olmaktadır.

Radyasyon etkisiyle renklenen, soda-kireç-silika camlarda oluşan çeşitli renk tonlarının, bilimsel bir şekilde incelenmesi, ayrıca önem taşımaktadır. Bu amaçla, Şekil 6.2 grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 6.2. Soda-Kireç-Silika Camlarda Renk Haritasındaki Renk Değişimi.

Şekil, 6.2'deki bu grafiğe göre, hiç doz almamış camlarda tanımlanan renk, bu haritada, yaklaşık olarak merkezde yer alırken; uygulanan radyasyon dozu arttıkça, renk haritasında merkezden, kenarlara doğru uzanarak, açık kahverengiden daha koyu kahverengiye dönüşen bir renk değişiminin olduğu tespit edilmiştir. En dış kısımda ise, radyasyon etkisiyle oluşmuş koyu kahverengiyi temsil eden, artık doygunlaşmış bir renk görülmektedir.

Nötronlar;  $(n,\gamma)$ ,  $(n,\alpha)$ ,  $(n,p)$ ,  $(n,F)$  reaksiyonlarına bağlı olarak, malzeme yapısını etkilerler ve yapı içinde soğurulurlar (Huges ve Harvy, 1955; McLane ve diğ., 1988). Soda-kireç-silika camlardaki elementlerin, yapı içinde, meydana getirmesi olası, bütün nötron reaksiyonları, nötron soğurma tesir kesitleri toplamı, Tablo 6.1'de görülmektedir.

Ayrıca, soda-kireç-silika cam yapıdaki mevcut bütün elementlerin nötronla meydana getirebilecekleri,  $(n,\gamma)$  reaksiyonunu oluşturmaları durumunda; gama ışınlarının oluşumu söz konusudur. Bu sebeple, incelenen bu camlarda,  $(n,\gamma)$  reaksiyonundaki nötron soğurma tesir kesitleride, Tablo 6.1'de verilmektedir.

Tablo 6.1'de, gama ışınlarının, soda-kireç-silika camlardaki mevcut elementler karşısındaki davranışları, daha ayrıntılı olarak görülmektedir. Bu bağlamda, soda-kireç-silika camlardaki mevcut bütün elementlerin, (Co-60 radyoizotopunun iki gama enerji pikinin ortalaması olan) 1.25 MeV enerjili fotonlara maruz kalması durumunda, kütleli ve lineer soğurma katsayıları, bu tabloda, ayrıca yer almaktadır.

Lineer soğurma katsayısı, bir malzeme tabakasının birim mesafe başına opaklığının ölçüsü (Clason, 1958); kütleli soğurma katsayısı ise, birim yüzey başına bir malzeme tabakasının opaklığının ölçüsü olarak tanımlanmaktadır (Lide, 1995; ASNT,1985). Dolayısıyla, bu tabloda, hem kütleli soğurma katsayısı, hem de lineer soğurma katsayısının yer almasının doğru olacağı düşünülmüştür.

**Tablo 6.1. Soda-Kireç-Silika Camlardaki Mevcut Elementlerin Nötron Tesir Kesitleri ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Soğurma Katsayıları (Glasscock, 1988; ASNT, 1985)**

| Element          | Nötron Tesir Kesitleri (2200 m/s)                 |                                                    | Co-60 Radyoizotopu İçin Foton Soğurma Katsayıları          |                                           |
|------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                  | Bütün Nötron Tepkimeleri<br>$\sigma_{abs}$ (barn) | (n, $\gamma$ ) Reaksiyonu<br>$\sigma_{abs}$ (barn) | Kütlesel Soğurma Katsayısı<br>$\mu$ , (cm <sup>2</sup> /g) | Lineer Soğurma Katsayısı,<br>$\mu$ (1/cm) |
| <sup>22</sup> Ti | 5.60 ± 0.4                                        | 9.23x10 <sup>-3</sup>                              | 0.050                                                      | 0.242                                     |
| <sup>51</sup> Sb | 5.50 ± 1.0                                        | 5.416                                              | 0.050                                                      | 0.343                                     |
| <sup>28</sup> Ni | 4.60 ± 0.2                                        | 0.015                                              | 0.053                                                      | 0.493                                     |
| <sup>26</sup> Fe | 2.53 ± 0.06                                       | 5.766                                              | 0.051                                                      | 0.427                                     |
| <sup>19</sup> K  | 1.97 ± 0.06                                       | 0.098                                              | 0.044                                                      | 0.038                                     |
| <sup>16</sup> S  | 0.49 ± 0.02                                       | 0.01                                               | 0.045                                                      | 0.094                                     |
| <sup>20</sup> Ca | 0.43 ± 0.02                                       | 2.12x10 <sup>-3</sup>                              | 0.055                                                      | 0.089                                     |
| <sup>14</sup> Si | 0.13 ± 0.03                                       | 3.4x10 <sup>-3</sup>                               | 0.054                                                      | 0.135                                     |
| <sup>12</sup> Na | 0.505 ± 0.01                                      | 0.513                                              | 0.052                                                      | 0.054                                     |
| <sup>13</sup> Al | 0.23 ± 0.005                                      | 0.226                                              | 0.0524                                                     | 0.1505                                    |
| <sup>12</sup> Mg | 0.063 ± 0.004                                     | 4.095x10 <sup>-3</sup>                             | 0.057                                                      | 0.09915                                   |
| <sup>8</sup> O   | < 0.002                                           | 3.2x10 <sup>-7</sup>                               | 0.0542                                                     | 7.67x10 <sup>-5</sup>                     |
| Toplam           | 22.05                                             | 1.12x10 <sup>-4</sup>                              | 0.6176                                                     | 2.164727                                  |

Soda-kireç-silika camların kimyasal kompozisyonundaki, mevcut elementlerin miktarları için, (Tablo 6.1'de belirtilmekte olan, cam yapısındaki söz konusu elementlerin nötron tesir kesitleri göz önüne alınarak) soda-kireç-silika camların nötron etkin tesir kesitleri hesaplanmıştır. Cam yapısındaki mevcut elementlerin, nötron etkin tesir kesitlerine ilişkin, hesaplanarak elde edilen bu değerler, Tablo 6.2'de verilmektedir.

Ayrıca, camların ışınlanması sırasında, Co-60 radyoizotopu kullanıldığından, cam yapısındaki elementlerin (Co-60 radyoizotopunun iki gama enerji pikinin ortalaması olan) 1.25 MeV enerjili fotonlar için etkin foton soğurma katsayıları hesaplanmıştır. Tablo 6.2'de, hem lineer soğurma katsayısı ve hem de kütle soğurma katsayısı bağlamında değerler hesaplanarak verilmiştir.

Tablo 6.2'de görüldüğü gibi, soda-kireç-silika cam yapıda bulunan bütün elementler içinde, (n, $\gamma$ ) reaksiyonundaki en yüksek nötron tesir kesitine sahip element, sodyum elementidir (Glasscock, 1988; Huges ve Harvy, 1955; Bennett, 1947).

**Tablo 6.2. Soda-Kireç-Silika Camlarda Nötron Tesir Kesiti ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Soğurma Katsayıları**

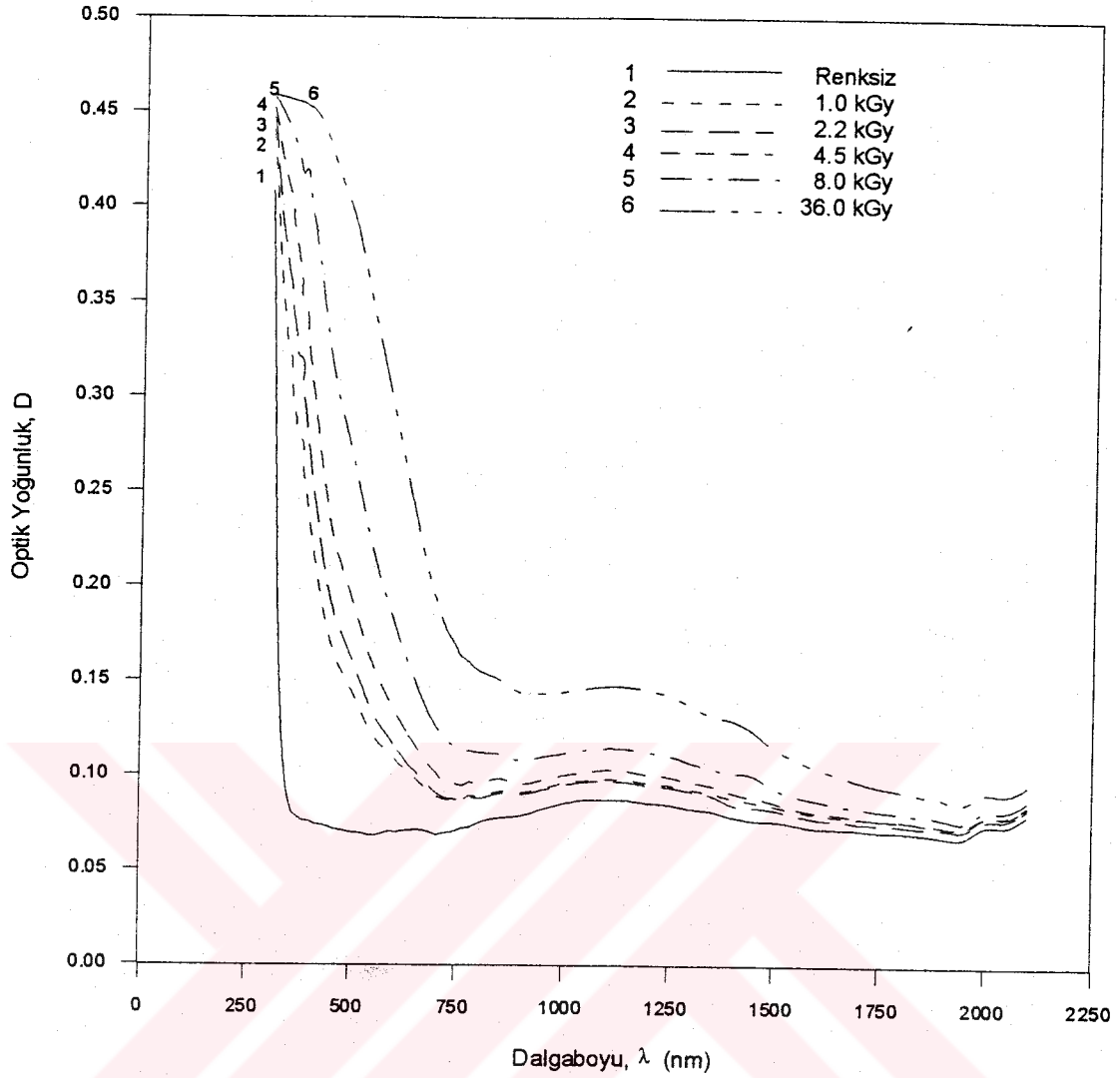
| Elementler       | Cam Yapısındaki Element Miktarı | Cam Yapısındaki Elemental Olarak Toplam, Nötron Etkin Tesir Kesiti [Cam Yapısındaki Element Miktarı x $\sigma_{abs}$ (barn)] |                            | Cam Yapısındaki Elemental Olarak Toplam, Soğurma Katsayısı [Cam Yapısındaki Element Miktarı x $\mu$ ] |                                       |
|------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|                  |                                 | Bütün Reaksiyonlar                                                                                                           | (n, $\gamma$ ) Reaksiyonu  | Kütlesel Soğurma Katsayısı $\mu$ (cm <sup>2</sup> /g)                                                 | Lineer Soğurma Katsayısı $\mu$ (1/cm) |
| <sup>22</sup> Ti | 9.5904x10 <sup>-4</sup>         | 5.371x10 <sup>-3</sup>                                                                                                       | 8.85194x10 <sup>-6</sup>   | 4.82877x10 <sup>-5</sup>                                                                              | 2.31608x10 <sup>-4</sup>              |
| <sup>51</sup> Sb | 1.59090x10 <sup>-3</sup>        | 8.75x10 <sup>-3</sup>                                                                                                        | 8.615773x10 <sup>-3</sup>  | 7.87496x10 <sup>-5</sup>                                                                              | 5.44883x10 <sup>-4</sup>              |
| <sup>28</sup> Ni | 2.04305x10 <sup>-6</sup>        | 9.4x10 <sup>-6</sup>                                                                                                         | 3.14221x10 <sup>-8</sup>   | 1.0736.02x10 <sup>-7</sup>                                                                            | 1.00722x10 <sup>-6</sup>              |
| <sup>26</sup> Fe | 6.36047x10 <sup>-4</sup>        | 1.61x10 <sup>-3</sup>                                                                                                        | 3.6070141x10 <sup>-3</sup> | 3.26191x10 <sup>-5</sup>                                                                              | 2.71773x10 <sup>-4</sup>              |
| <sup>19</sup> K  | 4.15x10 <sup>-4</sup>           | 8.18x10 <sup>-4</sup>                                                                                                        | 4.04999x10 <sup>-5</sup>   | 1.836.038x10 <sup>-5</sup>                                                                            | 1.577x10 <sup>-5</sup>                |
| <sup>16</sup> S  | 9.211x10 <sup>-4</sup>          | 4.51x10 <sup>-4</sup>                                                                                                        | 9.336.027x10 <sup>-6</sup> | 4.17166x10 <sup>-5</sup>                                                                              | 8.65834x10 <sup>-5</sup>              |
| <sup>20</sup> Ca | 0.059676                        | 0.025661                                                                                                                     | 1.26513x10 <sup>-4</sup>   | 3.255326x10 <sup>-3</sup>                                                                             | 5.311164x10 <sup>-3</sup>             |
| <sup>14</sup> Si | 0.3352875                       | 0.043587                                                                                                                     | 1.139978x10 <sup>-3</sup>  | 0.018172583                                                                                           | 0.045263813                           |
| <sup>12</sup> Na | 0.0969597                       | 0.048965                                                                                                                     | 0.049740326                | 5.032208x10 <sup>-3</sup>                                                                             | 5.192192x10 <sup>-3</sup>             |
| <sup>13</sup> Al | 7.25065x10 <sup>-3</sup>        | 1.668x10 <sup>-3</sup>                                                                                                       | 1.638647x10 <sup>-3</sup>  | 3.79572x10 <sup>-4</sup>                                                                              | 1.091223x10 <sup>-3</sup>             |
| <sup>12</sup> Mg | 0.025026                        | 1.577x10 <sup>-3</sup>                                                                                                       | 1.02481x10 <sup>-4</sup>   | 1.426482x10 <sup>-3</sup>                                                                             | 2.481328x10 <sup>-3</sup>             |
| <sup>8</sup> O   | 0.471275597                     | 9.43x10 <sup>-4</sup>                                                                                                        | 1.50808x10 <sup>-7</sup>   | 0.025519574                                                                                           | 3.601468x10 <sup>-5</sup>             |
| Toplam           | 1.00                            | 1.39x10 <sup>-1</sup>                                                                                                        | 6.50x10 <sup>-2</sup>      | 5.40x10 <sup>-2</sup>                                                                                 | 6.05x10 <sup>-2</sup>                 |

## 6.2. Borosilikat Camların Dozimetrik Amaçlı Kullanımının İncelenmesi

Borosilikat camların, dozimetride kullanılabileceğinin keşfinden sonra, bu dozimetreler hızla uygulama alanı bulabilmişlerdir. Yüksek gama dozlarının ölçümünde kayda değer hassasiyet göstermesi, bu camların, dozimetrik amaçlı kullanımında, ümit verici olmuştur.

Şekil 6.3'de, borosilikat camlardaki, dalga boyuna bağlı optik yoğunluk değişimi görülmektedir. İncelenen kısa dalga boylarındaki, doz almamış camların optik yoğunluğunda, önemli bir artış görülmemektedir.

Hiç doz almamış camlar için, yakın kızılaltı bölge incelenecek olursa, 900-1200 nm arasında kalan bölgedeki optik yoğunlukta, kaydadeğer bir artış oluşmadığı gözlenmektedir. Gama radyasyonuna maruz kalmış camlarda ise, yakın kızılaltı bölgedeki optik yoğunlukta artışlar olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 6.3.** Borosilikat Camların, Dalgaboyuna Bağlı, Optik Yoğunluk Değişimleri.

Özellikle,  $Fe^{2+}$  iyonu, elektromanyetik spektrumdaki 1050 nm civarında, karakteristik bir soğurma bandı sergileyebilmektedir. Ancak, uygulanan doz arttıkça, oluşan bu bandın, bir miktar daha arttığı tespit edilmiştir.

Uygulanan dozun artmasıyla, incelenen kısa dalga boylarındaki optik yoğunlukta, borosilikat camlara özgü, karakteristik bir artış tespit edilmiştir. Söz konusu bu artışın, 4.5 kGy ve üzerinde doz almış camlarda, henüz oluşmaya başladığı görülmektedir. Buna karşın, 36 kGy doz almış camlarda, yaklaşık 380-435 nm civarındaki optik yoğunluğun, karakteristik bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Bundan ayrı olarak, 36 kGy doz almış camlarda, yakın kızılaltı bölgede, 1000-1300 nm aralığında optik

yoğunluk bandının arttığı da gözlenmiştir. Optik yoğunluktaki bu artışların nedeninin, spektrumda yer alan, bu dalga boylarındaki soğurmanın artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

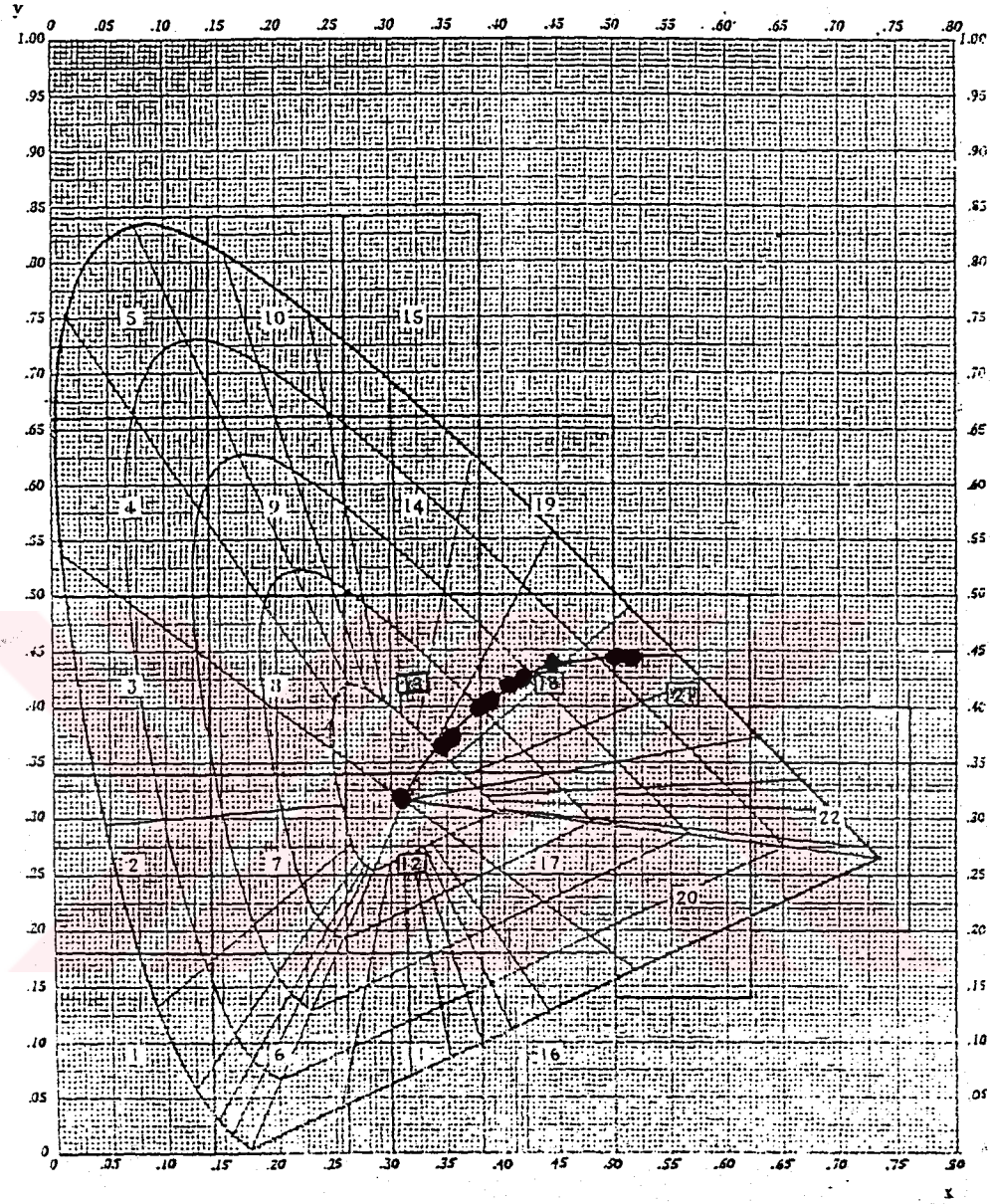
Şekil 6.3'e göre, borosilikat cam yapıda yer alan iyonların, uygulanan yüksek dozlardaki gama radyasyonu sonucu, redoks kuralları çerçevesinde, çeşitli indirgenme ve yükseltgenmelerle uğradıkları söylenebilir. Bu bağlamda, spektrumun başlangıçta incelenen bölgesindeki kısa dalga boylarında, oluşan optik yoğunluk, önemli bir şekilde artmaktadır.

Borosilikat cam yapının gama radyasyonu ile uyartılması sonucu, 380-435 nm civarında optik yoğunlukta oluşan bandın, malzemedeki mevcut " $Fe^{+3}$  iyonları" ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir (Bamford, 1977). Ayrıca, renk merkezleri oluşumunda, alüminyum, demir ve titanın birbirleri ile etkileşimleri son derece önemlidir. Ancak, borosilikat camlarda, soda-kireç-silika camlardakinden daha fazla miktarda  $Al_2O_3$  bulunmasına rağmen, optik yoğunluk değişimlerinin soda-kireç-silika camlardakinden daha az olduğu görülmektedir. Borosilikat camlardaki demir ve titan miktarları ise, soda-kireç-silika camlardakinden daha az miktarda bulunmaktadır. Bu nedenle, borosilikat cam yapıda yeterli sayıda renk merkezi yaratılamamaktadır. Dolayısıyla, optik yoğunluktaki değişim, soda-kireç-silika camlardaki kadar oluşturulamamaktadır.

Borosilikat camlar, incelenen camlar içinde en az renklenen camlar olmuştur. 36 kGy doz almış camlar içinde, borosilikat camlar; açık sarımsı renkten, kahverengiye dönen renk tonunda (çalışılan diğer camlara göre, nispeten açık tonda) bir renklenme sergilemişlerdir.

Radyasyon etkisiyle renklenen, borosilikat camlarda oluşan çeşitli renk tonlarının, incelenmesi, amacıyla, Şekil 6.4 grafiği oluşturulmuştur. Şekil 6.4'e göre, hiç doz almamış camlarda tanımlanan renk, bu haritada, yaklaşık olarak merkezde yer alırken; uygulanan radyasyon dozu arttıkça, renk haritasında merkezden, kenarlara doğru uzanarak, açık sarımsı renkten, daha koyu kahverengiye dönüşen bir

renk değişiminin oluştuğu tespit edilmiştir. En dış kısımda ise, radyasyon etkisiyle, kahverengiye temsil ederek, artık doğunlaşmış bir renk değişimi görülmektedir.



şekil 6.4. Borosilikat Camlarda Renk Haritasındaki Renk Değişimi.

Tablo 6.3'de,  $(n,\gamma)$ ,  $(n,\alpha)$ ,  $(n,p)$ ,  $(n,F)$  reaksiyonlarına bağlı olarak, nötronların borosilikat cam yapıda oluşturdukları bütün nötron tepkimeleri göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılmıştır (Huges ve Harvy, 1955; McLane ve diğ., 1988).

Böylece, borosilikat camlardaki elementlerin, yapı içinde, meydana getirmesi olası, bütün nötron reaksiyonları için, nötron soğurma tesir kesitleri toplamı, Tablo 6.3'de oluşturulmuştur. Ayrıca, borosilikat camlardaki mevcut elementlerin, oluşturdukları bütün  $(n,\gamma)$  reaksiyonları sonucunda, gama ışınlarının oluşumu göz önüne alınarak, nötron soğurma tesir kesitleri de Tablo 6.4'de yer almaktadır.

Tablo 6.3'de, borosilikat camlardaki mevcut elementlerin, gama ışınları karşısındaki davranışları, ayrıntılı olarak incelenmektedir. Bu bağlamda, borosilikat camlardaki mevcut elementlerin, (Co-60 radyoizotopunun iki gama enerji pikinin ortalaması olan) 1.25 MeV enerjili fotonlar karşısında, lineer ve kütleli soğurma katsayıları, bu tabloda, ayrıca yer almaktadır.

**Tablo 6.3. Borosilikat Camlardaki Elementlerin Nötron Tesir Kesitleri ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Soğurma Katsayıları (Glasscock, 1988; ASNT, 1985).**

| Element   | Nötron Tesir Kesitleri (2200 m/s)              |                                               | Co-60 Radyoizotopu İçin Foton Soğurma Katsayıları |                                    |
|-----------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------|
|           | Bütün Nötron Tepkimeleri $\sigma_{abs}$ (barn) | $(n,\gamma)$ Reaksiyonu $\sigma_{abs}$ (barn) | Kütleli Soğurma Katsayısı, $(cm^2/g)$             | Lineer Soğurma Katsayısı, $(1/cm)$ |
| $_5B$     | $755.00 \pm 4.0$                               | 763.56                                        | 0.0416                                            | 0.097                              |
| $_{22}Ti$ | $5.60 \pm 0.4$                                 | $9.23 \times 10^{-3}$                         | 0.05035                                           | 0.2415                             |
| $_{51}Sb$ | $5.50 \pm 1.0$                                 | 5.41566                                       | 0.04950                                           | 0.3425                             |
| $_{28}Ni$ | $4.60 \pm 0.2$                                 | 0.01538                                       | 0.05255                                           | 0.493                              |
| $_{26}Fe$ | $2.53 \pm 0.06$                                | 5.7664                                        | 0.05125                                           | 0.427                              |
| $_{19}K$  | $1.97 \pm 0.06$                                | 0.09759                                       | 0.04425                                           | 0.038                              |
| $_{14}Si$ | $0.13 \pm 0.03$                                | $3.4 \times 10^{-3}$                          | 0.0542                                            | 0.135                              |
| $_{12}Na$ | $0.505 \pm 0.01$                               | 0.513                                         | 0.0519                                            | 0.05355                            |
| $_{13}Al$ | $0.23 \pm 0.005$                               | 0.226                                         | 0.05235                                           | 0.1505                             |
| $_{12}Mg$ | $0.063 \pm 0.004$                              | $4.095 \times 10^{-3}$                        | 0.057                                             | 0.09915                            |
| $_8O$     | $< 0.002$                                      | $3.2 \times 10^{-7}$                          | 0.05415                                           | $7.67 \times 10^{-5}$              |
| Toplam    | 776.13                                         | 775.6107553                                   | 0.5591                                            | 2.0772767                          |

**Tablo 6.4.** Borosilikat Camlarda Nötron Tesir Kesiti ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Soğurma Katsayıları.

| Elementler       | Cam Yapısındaki Element Miktarı | Cam Yapısındaki Elemental Olarak Toplam, Nötron Etkin Tesir Kesiti [Cam Yapısındaki Element Miktarı $\times \sigma_{abs}$ (barn)] |                          | Cam Yapısındaki Elemental Olarak Toplam, Soğurma Katsayısı [Cam Yapısındaki Element Miktarı $\times \mu$ ] |                                       |
|------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|                  |                                 | Bütün Reaksiyonlar                                                                                                                | (n, $\gamma$ )Reaksiyonu | Kütlesel Soğurma Katsayısı $\mu$ (cm <sup>2</sup> /g)                                                      | Lineer Soğurma Katsayısı $\mu$ (1/cm) |
| <sup>5</sup> B   | 3.1x10 <sup>-3</sup>            | 67.01984                                                                                                                          | 67.779694                | 3.60927x10 <sup>-3</sup>                                                                                   | 8.6105x10 <sup>-3</sup>               |
| <sup>22</sup> Ti | 1.1x10 <sup>-4</sup>            | 6.042x10 <sup>-4</sup>                                                                                                            | 9.958x10 <sup>-7</sup>   | 5.432x10 <sup>-6</sup>                                                                                     | 2.606x10 <sup>-5</sup>                |
| <sup>51</sup> Sb | 1.59x10 <sup>-3</sup>           | 8.7502x10 <sup>-3</sup>                                                                                                           | 8.616x10 <sup>-3</sup>   | 7.875x10 <sup>-5</sup>                                                                                     | 5.449x10 <sup>-4</sup>                |
| <sup>28</sup> Ni | 2.04x10 <sup>-6</sup>           | 9.398x10 <sup>-6</sup>                                                                                                            | 3.142x10 <sup>-8</sup>   | 1.074x10 <sup>-7</sup>                                                                                     | 1.007x10 <sup>-6</sup>                |
| <sup>26</sup> Fe | 6.99x10 <sup>-5</sup>           | 3.537x10 <sup>-4</sup>                                                                                                            | 8.061x10 <sup>-4</sup>   | 7.165x10 <sup>-6</sup>                                                                                     | 5.969x10 <sup>-5</sup>                |
| <sup>19</sup> K  | 0.074713                        | 6.5414x10 <sup>-3</sup>                                                                                                           | 3.24x10 <sup>-4</sup>    | 1.469x10 <sup>-4</sup>                                                                                     | 1.262x10 <sup>-4</sup>                |
| <sup>14</sup> Si | 0.32543                         | 0.0480852                                                                                                                         | 1.2576x10 <sup>-3</sup>  | 0.0200478                                                                                                  | 0.0499346                             |
| <sup>12</sup> Na | 0.06677                         | 0.018919                                                                                                                          | 0.0192187                | 1.9444x10 <sup>-3</sup>                                                                                    | 2.0062x10 <sup>-3</sup>               |
| <sup>13</sup> Al | 5.3x10 <sup>-4</sup>            | 3.1649x10 <sup>-3</sup>                                                                                                           | 3.1099x10 <sup>-3</sup>  | 7.204x10 <sup>-4</sup>                                                                                     | 2.0709x10 <sup>-3</sup>               |
| <sup>12</sup> Mg | 0.063                           | 1.14x10 <sup>-5</sup>                                                                                                             | 7.408x10 <sup>-7</sup>   | 1.031x10 <sup>-5</sup>                                                                                     | 1.794x10 <sup>-5</sup>                |
| <sup>8</sup> O   | 0.45329                         | 9.696x10 <sup>-4</sup>                                                                                                            | 1.551x10 <sup>-7</sup>   | 0.0262508                                                                                                  | 3.718x10 <sup>-5</sup>                |
| Toplam           |                                 | 67.10725                                                                                                                          | 67.8130282               | 0.052905                                                                                                   | 0.0634352                             |

Borosilikat camların kimyasal kompozisyonu yer alan elementlerin miktarı için, (Tablo 6.3'de verilen, cam yapısındaki bu elementlerin, nötron tesir kesitleri göz önüne alınarak) borosilikat camların nötron etkin tesir kesitleri elde edilmiştir. Cam yapısındaki mevcut elementlerin, nötron etkin tesir kesitlerine ilişkin, hesaplanarak elde edilen bu değerler, Tablo 6.4'de verilmektedir.

Ayrıca, camların ışınlanması sırasında, Co-60 radyoizotopu kullanıldığından, cam yapısındaki elementlerin, (Co-60 radyoizotopunun iki gama enerji pikinin ortalaması olan) 1.25 MeV enerjili fotonlar karşısında, etkin foton soğurma katsayıları da hesaplanmıştır.

Bu bağlamda, hem lineer soğurma katsayısı ve hem de kütle soğurma katsayısı değerleri borosilikat camlar için hesaplanmış ve (Co-60 radyoizotopunun iki gama enerji pikinin ortalaması olan) 1,25 MeV için Tablo 6.4'de verilmiştir.

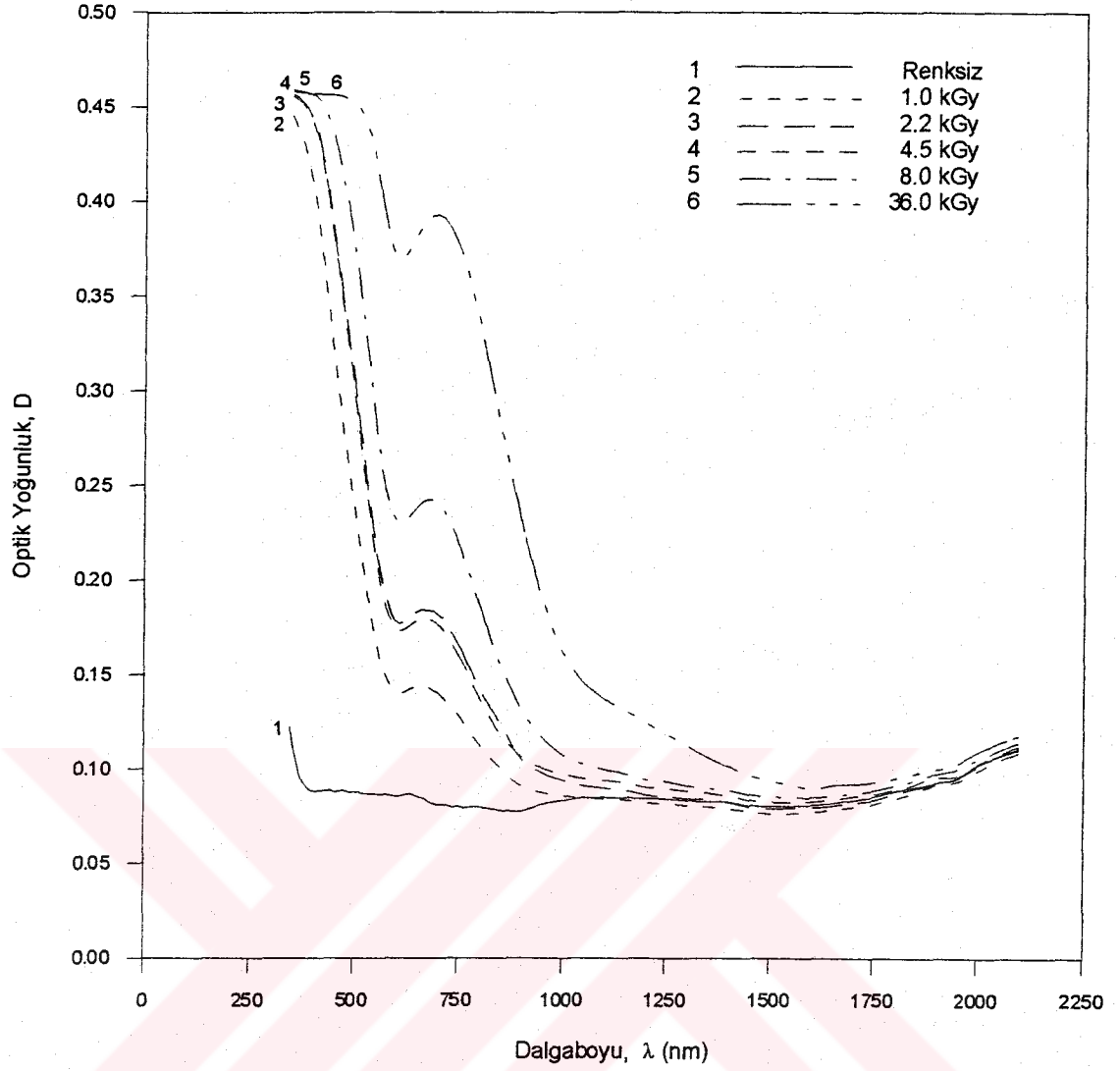
Tablo 6.4'den görüldüğü gibi, borosilikat cam yapıdaki bütün elementler göz önüne alınırsa, (n, $\gamma$ ) reaksiyonunda en yüksek nötron tesir kesitine sahip element, bor elementidir (Glascock, 1988; Huges ve Harvy, 1955; Bennett, 1947).

### 6.3. Kurşun-Alkali-Silika Camların Dozimetrik Amaçlı Kullanımının İncelenmesi

Kurşun-alkali-silika camlar, dozimetride kullanım alanı bulabilmektedir. Kurşun-alkali-silika camların, yüksek gama dozlarının ölçümünde kayda değer hassasiyet göstermesi, bu camların çeşitli alanlarda dozimetrik amaçlı kullanımını mümkün kılmaktadır (Doğan ve Tuğrul, 2001 a).

Gama ışınlarına maruz kalan, kurşun aluminoborat ve kurşun borat camlar ile kurşun alumina fosfat ve kurşun silikat camlarda, birbirine benzer 825 nm civarında bir bant oluştuğu görülerek, bu bandın,  $Pb^{+2}$  iyonunun  $Pb^{+3}$  iyonuna yükseltgenmesiyle oluştuğu tespit edilmiştir (Sharaf ve diğ., 1994).

Şekil 6.5'de, dikkat çekici nokta, 4.5 kGy dozda, gama ışınlarının etkisinde kalmış, kurşun-alkali-silika camlarda, optik yoğunluktaki artışın, izlenmeye başlanmasıdır. Uygulanan dozun artışıyla, bu dalga boyu civarındaki optik yoğunluk değerleri artmakta olup, sağa kayarak, daha uzun dalga boylarına doğru ötelenmektedir. Özellikle, 36 kGy civarındaki doz almış, kurşun-alkali-silika camda, 505-510 nm civarında, önemli ve karakteristik bir şekilde, bir optik yoğunluk bandının meydana geldiği tespit edilmiştir.



**Şekil 6.5.** Kurşun-Alkali-Silika Camların, Dalgaboyuna Bağlı, Optik Yoğunluk Değişimleri.

Şekil 6.5 incelendiğinde, 1-4.5 kGy arasında doz almış camlarda, 710 nm civarında kurşun-alkali-silika camlara özgü, karakteristik bir bandın olduğu tespit edilmiştir. Ancak, 8 kGy'in üstündeki dozlarda, oldukça belirginleşen bu bandın bir miktar kayarak, 825 nm civarında oldukça belirginleştiği görülmektedir. Diğer bir deyişle, optik yoğunlukta meydana gelen bu bandın görünür bölgeden yakın kızılaltı bölgeye kaydığı tespit edilmiştir. Optik yoğunlukta şiddetli artışların nedeninin, spektrumdaki bu dalgaboyu civarında meydana gelen solar soğurma artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 6.5'e incelendiğinde, kurşun-alkali-silika cam yapıda yer alan iyonların, uygulanan yüksek dozlardaki gama radyasyonu sonucu, redoks kuralları çerçevesinde, çeşitli indirgenme ve yükseltgenmelere uğradıkları düşünülmektedir. Bu bağlamda, spektrumun başlangıçta incelenen bölgesindeki kısa dalga boylarında, oluşan optik yoğunluk, önemli bir şekilde artmaktadır.

Aluminyum ve titan elementlerinin bulunmadığı camların, gama ışınları ile uyartılması sonucu, 505 ve 710 nm civarında iki bant görülmektedir. Camların gama ışınları ile uyartılması sonucu, 505 ve 710 nm civarında meydana gelen bu iki bant,  $Fe^{+2}$  iyonlarının  $Fe^{+3}$  iyonlarına yükseltgendiğini ifade etmektedir (Ezz El-Din ve diğ., 1988).

Camlardaki, spektrokimyasal analizlerde, % 0.008  $Al_2O_3$  miktarının bile spektroskopik ölçümleri etkilemesi söz konusu olabilmektedir. Yaklaşık % 0.02  $Al_2O_3$  mevcudiyetinde, aluminyuma ait tespit edilen pikler ise, yaklaşık 520 nm'de görülebilmektedir (Lell, 1960).

Böylece, radyasyonla uyartılarak, renk merkezlerinin oluşturulması söz konusudur (Ezz El-Din ve diğ., 1988).  $Fe^{+2}$  iyonlarının  $Fe^{+3}$  iyonlarına yükseltgenmesinin, camlar tarafından soğurulan dozun artışıyla, artmakta olduğu düşünülmektedir (Doğan ve Tuğrul, 2001 a).

Kurşun-alkali-silika cam yapısında, gama radyasyonu ile uyartılma sonucu, renk merkezi kaynağı olabilecek iyonların tespit edilmesi, Şekil 6.5'de görülen, optik yoğunluk bantlarının yorumlanabilmesi açısından, büyük önem taşımaktadır. Özellikle, incelediğimiz kurşun-alkali-silika cam yapısında yer alan,  $Fe^{+2}$  ve  $Fe^{+3}$  iyonları, bu grafikte, renk merkezi oluşumunda, etkin bir rol oynamıştır.

İncelenen kurşun-alkali-silika camlar, incelenen soda-kireç-silika, borosilikat ve baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlara göre, en az aluminyum, demir ve titan miktarını içeren camlardır. Yapılan incelemeler, az miktarlarda  $Al_2O_3$  ve  $TiO_2$ 'nin cam yapıda yer almasının, optik yoğunluktaki artışları önemli bir şekilde

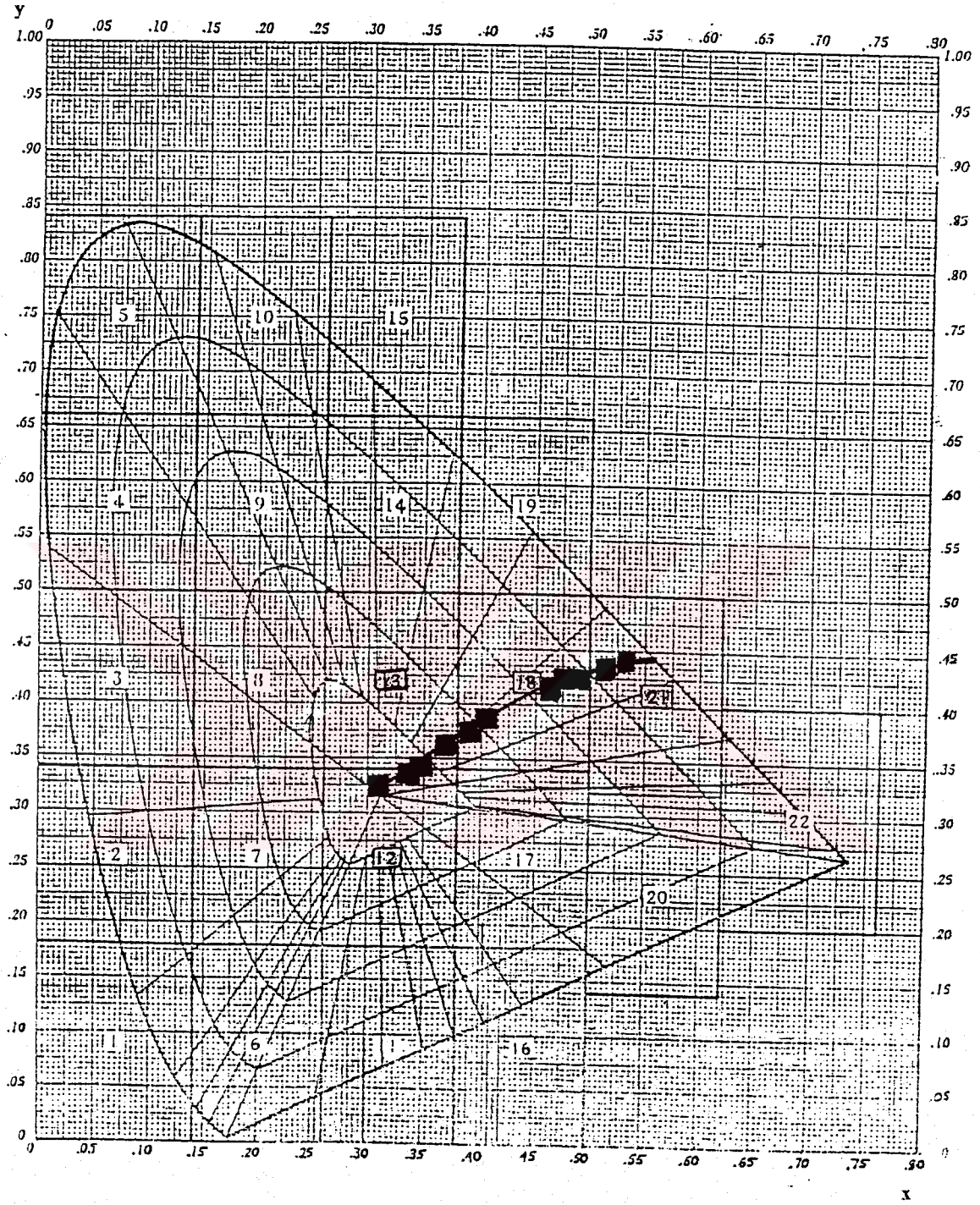
etkileyebileceği ve oluşan pik ve bantların elektromanyetik spektrumdaki yerlerinin bir miktar kaymasına neden olabileceğini göstermektedir. Ancak, demir elementinin cam yapıda, % 0.008 oranında bulunması bile, radyasyonla renk merkezlerinin oluşumuna, oldukça önemli bir katkı sağlayabildiğini de ifade etmektedir.

Radyasyon etkisiyle renklen, kurşun-alkali-silika camlarda oluşan çeşitli renk tonlarının, bilimsel bir şekilde incelenmesi, ayrıca önem taşımaktadır. Bu amaçla, Şekil 6.6 grafiği oluşturulmuştur. Bu grafiğe göre, hiç doz almamış camlarda tanımlanan renk, bu haritada, yaklaşık olarak merkezde yer alırken; uygulanan radyasyon dozu arttıkça, renk haritasında merkezden, kenarlara doğru uzanarak, borosilikat camlardaki renk tonlarında olduğu gibi bir değişim sergilemektedir. Gama radyasyonu ile ışınlanan kurşun-alkali-silika camlarda, açık sarımsı renkten, daha koyu kahverengiye dönüşen, bir renk değişiminin olduğu tespit edilmiştir. En dış kısımda ise, radyasyon etkisiyle, koyu kahverengiyi temsil ederek, artık doygunlaşmış bir renk değişimi görülmektedir.

Tablo 6.5'de,  $(n,\gamma)$ ,  $(n,\alpha)$ ,  $(n,p)$ ,  $(n,F)$  reaksiyonlarına bağlı olarak, nötronların kurşun-alkali-silika cam yapıda oluşturdukları bütün nötron tepkimeleri göz önüne alınarak, değerlendirmeler yapılmıştır (Huges ve Harvy, 1955; McLane ve diğ., 1988). Böylece, kurşun-alkali-silika camlardaki elementlerin, yapı içinde, meydana getirmesi olası, bütün nötron reaksiyonları için, nötron soğurma tesir kesitleri toplamı, Tablo 6.5'de oluşturulmuştur.

Ayrıca, kurşun-alkali-silika camlardaki mevcut elementlerin, oluşturdukları bütün  $(n,\gamma)$  reaksiyonları sonucunda, gama ışınlarının oluşumu göz önüne alınarak, nötron soğurma tesir kesitleride de Tablo 6.5'de yer almaktadır.

Tablo 6.5'de, kurşun-alkali-silika camlardaki mevcut elementlerin, gama ışınları karşısındaki davranışları, ayrıntılı olarak incelenmektedir. Bu nedenle, kurşun-alkali-silika camlardaki mevcut elementlerin, ve (Co-60 radyoizotopunun iki gama enerji pikinin ortalaması olan) 1.25 MeV enerjili fotonlar karşısında, lineer ve kütesel soğurma katsayıları, bu tabloda, ayrıca yer almaktadır.



Şekil 6.6. Kurşun-Alkali-Silika Camlarda Renk Haritasındaki Renk Değişimi.

**Tablo 6.5.** Kurşun-Alkali-Silika Camlardaki Elementlerin Nötron Tesir Kesitleri ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Soğurma Katsayıları (Glasscock, 1988; ASNT, 1985).

| Elemen<br>t      | Nötron Tesir Kesitleri (2200 m/s)              |                                                 | Co-60 Radyoizotopu İçin Foton Soğurma Katsayıları |                                  |
|------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------|
|                  | Bütün Nötron Tepkimeleri $\sigma_{abs}$ (barn) | (n, $\gamma$ ) Reaksiyonu $\sigma_{abs}$ (barn) | Kütlesel Soğurma Katsayısı, (cm <sup>2</sup> /g)  | Lineer Soğurma Katsayısı, (1/cm) |
| <sup>5</sup> B   | 755.00 ± 4.0                                   | 763.56                                          | 0.0416                                            | 0.097                            |
| <sup>22</sup> Ti | 5.60 ± 0.4                                     | 9.23x10 <sup>-3</sup>                           | 0.05035                                           | 0.2415                           |
| <sup>51</sup> Sb | 5.50 ± 1.0                                     | 5.41566                                         | 0.04950                                           | 0.3425                           |
| <sup>28</sup> Ni | 4.60 ± 0.2                                     | 0.01538                                         | 0.05255                                           | 0.493                            |
| <sup>26</sup> Fe | 2.53 ± 0.06                                    | 5.7664                                          | 0.05125                                           | 0.427                            |
| <sup>19</sup> K  | 1.97 ± 0.06                                    | 0.09759                                         | 0.04425                                           | 0.038                            |
| <sup>14</sup> Si | 0.13 ± 0.03                                    | 3.4x10 <sup>-3</sup>                            | 0.0542                                            | 0.135                            |
| <sup>12</sup> Na | 0.505 ± 0.01                                   | 0.513                                           | 0.0519                                            | 0.05355                          |
| <sup>13</sup> Al | 0.23 ± 0.005                                   | 0.226                                           | 0.05235                                           | 0.1505                           |
| <sup>82</sup> Pb | 0.17 ± 0.01                                    | 0.17                                            | 0.06125                                           | 0.6945                           |
| <sup>8</sup> O   | < 0.002                                        | 3.2x10 <sup>-7</sup>                            | 0.05415                                           | 7.67x10 <sup>-5</sup>            |
| Toplam           | 776.235                                        | 775.776660                                      | 0.56335                                           | 2.6726267                        |

Tablo 6.6'deki, kurşun-alkali-silika camlardaki kimyasal kompozisyonu belirtilen elementlerin miktarı ile Tablo 6.5'de belirtilen, cam yapısındaki bu elementlerin, nötron tesir kesitleri çarpılarak, cam yapısındaki nötron etkin tesir kesitleri elde edilmiştir. Cam yapısındaki mevcut elementlerin, nötron etkin tesir kesitlerine ilişkin, hesaplanarak elde edilen bu değerler, Tablo 6.6'de mevcut bulunmaktadır. Ayrıca, camların ışınlanması sırasında, Co-60 radyoizotopu kullanıldığından, cam yapısındaki elementlerin (Co-60 radyoizotopunun iki gama enerji pikinin ortalaması olan) 1.25 MeV enerjili fotonlar karşısında, etkin foton soğurma katsayıları, hem lineer soğurma katsayısı ve hem de kütle soğurma katsayısı, göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Bu amaçla, Tablo 6.6'deki, kurşun-alkali-silika camlarda kimyasal kompozisyonu belirtilen elementlerin miktarı ile Tablo 6.5'de belirtilen, cam yapısındaki bu elementlerin, kütlesel ve lineer soğurma katsayıları ayrı ayrı çarpılarak, cam yapısındaki (Co-60 radyoizotopunun iki gama enerji pikinin ortalaması olan) 1.25 MeV enerjili foton soğurma katsayıları hesaplanmıştır.

Tablo 6.6'da görüldüğü gibi, kurşun-alkali-silika cam yapıdaki bütün elementler göz önüne alınırsa, (n, $\gamma$ ) reaksiyonunda en yüksek nötron tesir kesitine sahip element,

özellikle, bor ve kurşundur. Lineer soğurma katsayısı en yüksek element ise, kurşun elemanı olarak tespit edilmiştir.

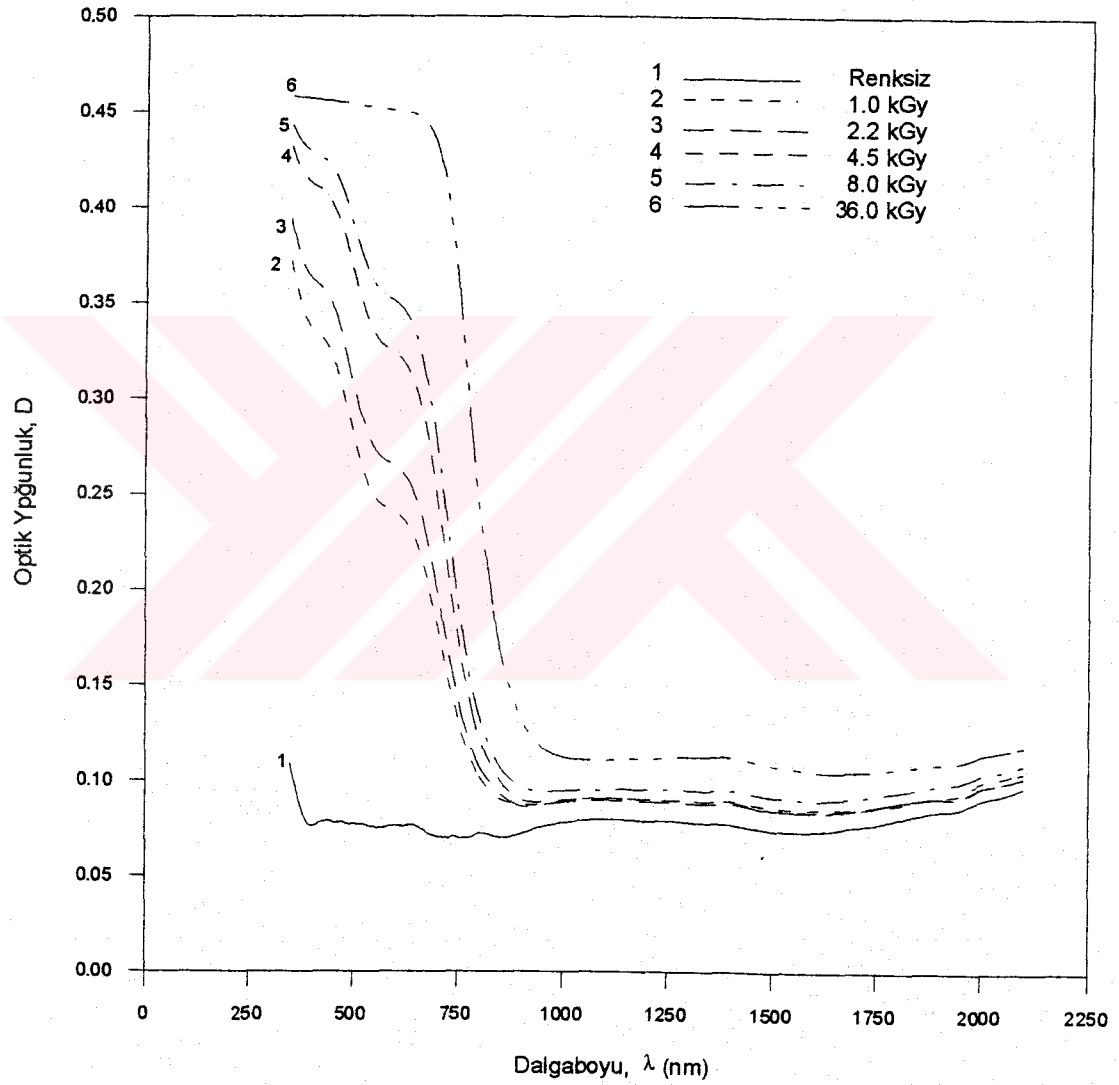
**Tablo 6.6.** Kurşun-Alkali-Silika Camlarda Nötron Tesir Kesiti ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Soğurma Katsayıları

| Elementler       | Cam Yapısındaki Element Miktarı | Cam Yapısındaki Elemental Olarak Toplam, Nötron Etkin Tesir Kesiti [Cam Yapısındaki Element Miktarı x $\sigma_{abs}$ (barn)] |                           | Cam Yapısındaki Elemental Olarak Toplam, Soğurma Katsayısı [Cam Yapısındaki Element Miktarı x $\mu$ ] |                                       |
|------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|                  |                                 | Bütün Reaksiyonlar                                                                                                           | (n. $\gamma$ ) Reaksiyonu | Kütleli Soğurma Katsayısı $\mu$ (cm <sup>2</sup> /g)                                                  | Lineer Soğurma Katsayısı $\mu$ (1/cm) |
| <sup>5</sup> B   | 3.106x10 <sup>-3</sup>          | 2.34503                                                                                                                      | 2.371617                  | 1.29x10 <sup>-4</sup>                                                                                 | 3.01x10 <sup>-4</sup>                 |
| <sup>22</sup> Ti | 4.795x10 <sup>-5</sup>          | 2.69x10 <sup>-4</sup>                                                                                                        | 4.43x10 <sup>-7</sup>     | 2.41x10 <sup>-6</sup>                                                                                 | 1.16x10 <sup>-5</sup>                 |
| <sup>51</sup> Sb | 1.5909x10 <sup>-3</sup>         | 8.75x10 <sup>-3</sup>                                                                                                        | 8.616x10 <sup>-3</sup>    | 7.88x10 <sup>-5</sup>                                                                                 | 5.45x10 <sup>-4</sup>                 |
| <sup>28</sup> Ni | 2.0430x10 <sup>-6</sup>         | 9.4x10 <sup>-6</sup>                                                                                                         | 3.14x10 <sup>-8</sup>     | 1.07x10 <sup>-7</sup>                                                                                 | 1.01x10 <sup>-6</sup>                 |
| <sup>26</sup> Fe | 5.595x10 <sup>-5</sup>          | 1.42x10 <sup>-4</sup>                                                                                                        | 3.23x10 <sup>-4</sup>     | 2.87x10 <sup>-6</sup>                                                                                 | 2.39x10 <sup>-5</sup>                 |
| <sup>19</sup> K  | 0.1079183                       | 0.212599                                                                                                                     | 0.010532                  | 4.775x10 <sup>-3</sup>                                                                                | 4.101x10 <sup>-3</sup>                |
| <sup>14</sup> Si | 0.280336.0                      | 0.0360444                                                                                                                    | 9.53x10 <sup>-4</sup>     | 0.015194                                                                                              | 0.037845                              |
| <sup>12</sup> Na | 0.014837                        | 7.493x10 <sup>-3</sup>                                                                                                       | 7.611x10 <sup>-3</sup>    | 7.7x10 <sup>-4</sup>                                                                                  | 7.95x10 <sup>-4</sup>                 |
| <sup>13</sup> Al | 5.2924x10 <sup>-5</sup>         | 1.22x10 <sup>-5</sup>                                                                                                        | 1.2x10 <sup>-5</sup>      | 2.77x10 <sup>-6</sup>                                                                                 | 7.97x10 <sup>-6</sup>                 |
| <sup>82</sup> Pb | 0.2227957                       | 0.037875                                                                                                                     | 0.037875                  | 1.36046x10 <sup>-2</sup>                                                                              | 0.154732                              |
| <sup>8</sup> O   | 0.3609257                       | 7.39x10 <sup>-4</sup>                                                                                                        | 1.18x10 <sup>-7</sup>     | 0.019995                                                                                              | 2.83x10 <sup>-5</sup>                 |
| Toplam           |                                 | 2.64936.02                                                                                                                   | 2.43754                   | 0.054597                                                                                              | 0.198391                              |

#### 6.4. Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camların Dozimetrik Amaçlı Kullanımının İncelenmesi

Bu çalışma kapsamındaki, yapılan tüm incelemeler sonucunda, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, dozimetrik amaçlı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Yüksek gama dozlarının ölçümünde, bu camların, kayda değer hassasiyet gösterdiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla, elde edilen bu sonuçların, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların dozimetrik amaçlı kullanımında, ümit verici olduğu düşünülmüştür.

Şekil 6.7’de, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlardaki, dalgaboyuna bağlı optik yoğunluk değişimi görülmektedir. Doz almamış camlarda, optik yoğunlukta herhangi önemli bir değişim olmadığı görülmektedir. Çeşitli gama radyasyonu dozlarına maruz kalmış baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların optik yoğunluklarındaki değişimler, soda-kireç-silika camlardaki değişimlere benzer davranışlar göstermektedirler.



**Şekil 6.7.** Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camların, Dalga Boyuna Bağlı, Optik Yoğunluk Değişimleri

Ancak, uygulanan dozun artışıyla, hem 460 nm ve hem de 620 nm civarında, iki karakteristik soğurma bandı meydana gelmektedir. 36 kGy doz almış camlarda ise, incelenen kısa dalga boylarındaki optik yoğunluğun tamamen doygunluğa ulaştığı ve 660-700 nm aralığındaki optik yoğunlukta, tek bir bant oluşturduğu görülmektedir. Optik yoğunluktaki şiddetli artışların nedeninin, spektrumda yer alan, bu dalga boylarındaki soğurmanın artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 6.7'e göre, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli cam yapıda yer alan iyonların, uygulanan yüksek dozlardaki gama radyasyonu sonucu, redoks kuralları çerçevesinde, çeşitli indirgenme ve yükseltgenmelere uğradıkları söylenebilir. Özellikle, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlara özgü karaktere sahip olduğu düşünülen, 460 ve 620 nm civarında birbirinden ayrılan, iki bandın oluştuğu görülmektedir. Uygulanan dozun artışıyla, bu bantlardaki optik yoğunluk değerleri artmakta olup, sağa kayarak, daha uzun dalga boylarına doğru ötelenmektedir.

Baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli cam yapının gama radyasyonu ile uyartılması sonucu, 460 ve 620 nm civarında oluşan bu iki bant, malzemedeki mevcut "alüminyum merkezleri" ile bağlantılıdır. Bu durum, yapıdaki bir silisyum yerine geçen alüminyuma bağlanan, bir oksijende tuzaklanan pozitif yüklü boşluktan meydana gelmektedir (Ezz-Eldin ve diğ., 1994a). Bu piklerin, ışınlamalar süresince, bağ kurmamış oksijenlerden, elektronların kaybolmasıyla meydana gelen, pozitif yüklü boşluklarla oluşturdukları renk merkezlerinde, uyartılan soğurmadaki değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Ezz-Eldin ve diğ., 1994b).

$K^+$ ,  $Na^+$  ve  $Ba^{++}$  iyonları, ağ yapıyı değiştiriciler olarak değerlendirilebilmektedir. Buna ek olarak, gama radyasyonuna maruz kalmış cam yapıda,  $Ba^{++}$  veya  $Na^+$  iyonlarının,  $K^+$  iyonu ile yer değiştirmesi mümkün olabilmektedir (Bishay, 1961). 460 ve 620 nm civarında görülen, iki ana soğurma bandı şiddetinin, cam yapıdaki BaO miktarından etkilenmesi söz konusudur (Ezz-Eldin ve diğ., 1994a).

Öte yandan, cam yapıda,  $K^+$  iyonunun,  $Na^+$  ve  $Ba^{++}$  iyonlarına göre daha düşük, biçim bozucu gücü vardır (Bishay, 1961). Bir iyonunun biçim bozucu gücü, iyonun yarıçapı ve elektrikçe taşıdığı yüke bağlıdır. Bu durum, sodyum ve potasyum oranlarının diğer camlara göre hayli yüksek sayılabildiği, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, ayrıca önem taşıyor olmaktadır.

Gama radyasyonuna maruz kalan bu camlarda, soğurulan radyasyon miktarına bağlı olarak, sodyum, potasyum ve baryum atomlarının yer değiştirebilmesi mümkündür. Böylece; sodyum, potasyum ve baryum iyonlarının cam yapısındaki biçim bozucu güçlerinde de sürekli değişim oluşması söz konusu olmaktadır (Bishay, 1961).

Baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli cam yapısında, gama radyasyonu ile uyartılma sonucu, renk merkezi kaynağı olabilecek iyonların tespit edilmesi, Şekil 6.7’de görülen, optik yoğunluk bantlarının yorumlanabilmesi açısından, önem taşımaktadır. Özellikle, incelediğimiz baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli cam yapısında yer alan, alüminyum, demir ve titan atomları, bu grafikte, önemli sayılabilecek, optik yoğunluk davranışları sergilemektedirler.

Hem titan ve hem de demir,  $Al_2O_3$  yapısındaki, altı oksijenli oktahedronun bir miktar biçimini bozarak, buradaki, alüminyumun yerini alabilmektedir (Nassau, 1983). Ayrıca, titan genellikle, sadece  $Ti^{4+}$  olarak yapı içinde yer alırken, demir, hem  $Fe^{+3}$  ve hem de  $Fe^{+2}$  olarak yapı içinde bulunabilmektedir (Nassau, 1983).  $Fe^{+2}$  ve  $Ti^{4+}$ ’ın her ikisinin birden yapıda mevcut bulunması durumunda; eğer bunlar, alüminyum konumuna komşu olarak yerleşmişlerse, alüminyum ile bunlar arasında bir etkileşimin meydana gelmesi mümkündür (Nassau, 1983).

Böyle bir düzende, komşu Fe ve Ti atomları 2.65 Å’lık mesafede bulunurlar ve burada, bir iyonun ötekine bir elektron geçişi, çeşitli durumlarda mümkün olabilmektedir (Nassau, 1983). Bu sebeple, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlar camlarda mevcut bulunan bu iyonların, gama radyasyonu ile uyartılması durumunda,  $Fe^{+2}$  bir elektron kaybederek  $Fe^{+3}$ ’ya dönüşürken, bu elektronu kazanan  $Ti^{4+}$ ’ın  $Ti^{+3}$ ’e dönüşmesi mümkün olmaktadır.

Burada dikkat çekici nokta, uygulanan gama radyasyon dozuna bağı olarak, bu iyonik dönüşümün giderek artmasıdır (Doğan ve Tuğrul, 2001 a).

Söz konusu bu dönüşüm,



olmaktadır.

Titan ve demir iyonlarının, spektrumdaki hangi dalga boylarında soğurma gösterdiğinin tespit edilmesi, Şekil 6.7'deki grafiğin yorumlanabilmesi açısından, oldukça önem taşımaktadır.  $\text{Ti}^{+3}$ e ait, 570 nm'de, tek bir soğurma piki bulunmaktadır (Bamford, 1977).

Bununla birlikte, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli cam yapıda yer alan,  $\text{Fe}^{+2}$  iyonu, spektrumda 1050 nm'de soğurma piki verirken,  $\text{Fe}^{+3}$  iyonu ise, 380, 420 ve 435 nm'ler civarında soğurma pikleri göstermektedir (Bamford, 1977). Böylece, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli cam yapısında yer alan,  $\text{Fe}^{+3}$  iyonundan kaynaklanan, önemli sayılabilecek nitelikte soğurmanın oluşabilmesi söz konusudur.

Gama radyasyonundan etkilenen, alüminyum, demir ve titan iyonları, elektromanyetik spektrumda yer alan, özellikle, belirli dalga boylarındaki fotonları soğurmaktadırlar. Bu durumda, gelen ışık içinden belirli dalga boyundaki fotonun eksilmesi sonucu, cam yapıdan geçen ışık, gözümüze renklenmiş olarak gelecektir. Dolayısıyla, ışınlanan baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli cam yapıda, çeşitli etkiler altında kalan alüminyum, demir ve titan iyonları, gelen ışın demetinin belirli dalga boylarındaki fotonlarını soğuracaklardır. İşte bu durum, çeşitli dozlarda gama radyasyonu etkisinde kalmış, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, göz tarafından çeşitli renklerde algılanmasına neden olmaktadır.

$\text{SiO}_2$  yapı içinde yer alan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , camı; uygulanan gama radyasyon dozuna bağı olarak, fume yada duman rengi adı da verilen, koyu kahverengimsi gri renge dönüştürebilmektedir (Nassau, 1983).

$Ti^{+4}$  ve  $Fe^{+2}$  ise, renksiz iken,  $Ti^{+3}$  ve  $Fe^{+3}$  iyonları spektrumda, yukarıda sözü edilen ilgili dalga boylarındaki fotonları soğurarak, içinde yer aldığı yapıda, kahverengi renk tonunda renklenme sergileyebilmektedir (Nassau, 1983). Diğer bir deyişle, cam yapıda yer alan titan elementi göz önüne alınacak olursa, sadece, üç değerlikli titanın cam yapıya renk vermesi beklenmektedir (Bamford, 1977).

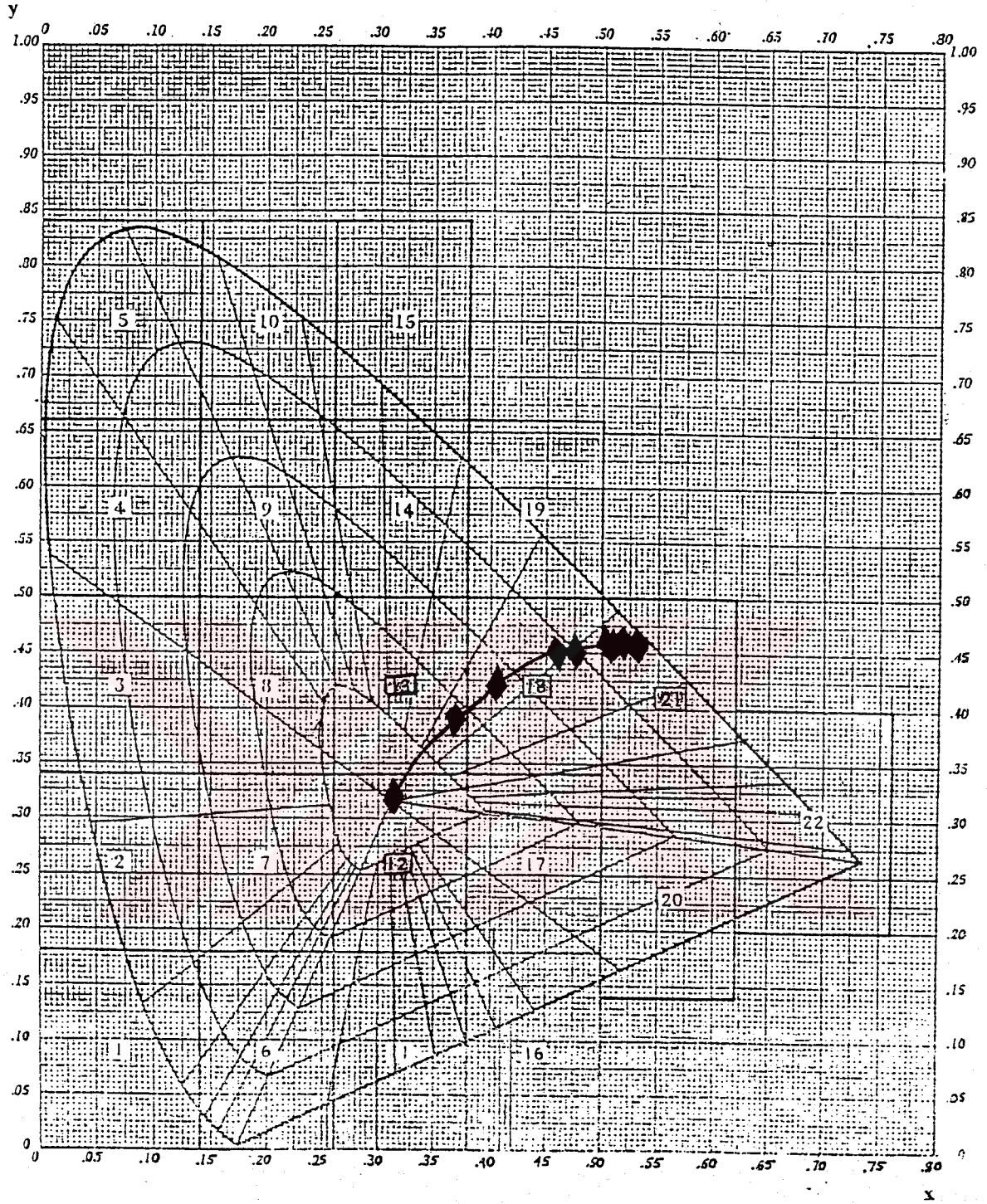
Ancak, borosilikat camlarda; baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlar ve kurşun-alkali-silika camlara göre titanın daha şiddetli renk verici etkisi bulunmaktadır (Bamford, 1977). Böylece, incelenen baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, gözümüz tarafından, uygulanan radyasyon dozunun artışına bağlı ve giderek koyulaşan kahverengi renk tonlarında algılanmasının nedeni açıklanmış olmaktadır.

Radyasyon etkisiyle renklenen, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda oluşan çeşitli renk tonlarının, bilimsel bir şekilde incelenmesi, ayrıca önem taşımaktadır. Bu amaçla, Şekil 6.8 grafiği oluşturulmuştur.

Şekil 6.8'e göre, hiç doz almamış camlarda tanımlanan renk, bu haritada, yaklaşık olarak merkezde yer alırken; uygulanan radyasyon dozu arttıkça; açık kahverengiden daha koyu kahverengiye dönüşen bir renk değişiminin oluşması nedeniyle, renk haritasında, merkezden, kenarlara doğru kayan bir değişimin olduğu, tespit edilmiştir. En dış kısımda ise, radyasyon etkisiyle, koyu kahverengiye temsil ederek, artık doygunlaşmış bir değişimi görülmektedir.

Nötronların  $(n,\gamma)$ ,  $(n,\alpha)$ ,  $(n,p)$ ,  $(n,F)$  reaksiyonlarına bağlı olarak, nötronlar malzeme yapısını etkilerler ve yapı içinde soğurulurlar (Hughes ve Harvy, 1955; McLane ve diğ., 1988).

Baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlardaki elementlerin, yapı içinde, meydana getirmesi olası, bütün nötron reaksiyonları için, nötron soğurma tesir kesitleri toplamı, Tablo 6.7'de görülmektedir. Ayrıca, sadece  $(n,\gamma)$  reaksiyonunun oluşması durumunda, gama ışınlarının oluşumu göz önüne alındığı, nötron soğurma tesir kesitleri de Tablo 6.7'de verilmektedir.



Şekil 6.8. Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlarda Renk Haritasındaki Renk Değişim.

**Tablo 6.7.** İncelediğimiz Camlardaki Elementlerin Nötron Tesir Kesitleri ve 1.25 MeV Enerjili Fotonlar İçin Soğurma Katsayıları (Glasscock, 1988; ASNT, 1985).

| Element          | Nötron Tesir Kesitleri (2200 m/s)              |                                                 | Co-60 Radyoizotopu İçin Foton Soğurma Katsayıları     |                                        |
|------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|                  | Bütün Nötron Tepkimeleri $\sigma_{abs}$ (barn) | (n, $\gamma$ ) Reaksiyonu $\sigma_{abs}$ (barn) | Kütlesel Soğurma Katsayısı $\mu$ (cm <sup>2</sup> /g) | Lineer Soğurma Katsayısı, $\mu$ (1/cm) |
| <sup>5</sup> B   | 755.00 $\pm$ 4.0                               | 755                                             | 0.0416                                                | 0.097                                  |
| <sup>22</sup> Ti | 5.60 $\pm$ 0.4                                 | 9.23x10 <sup>-3</sup>                           | 0.05035                                               | 0.2415                                 |
| <sup>51</sup> Sb | 5.50 $\pm$ 1.0                                 | 5.41566                                         | 0.04950                                               | 0.3425                                 |
| <sup>28</sup> Ni | 4.60 $\pm$ 0.2                                 | 0.0153                                          | 0.05255                                               | 0.493                                  |
| <sup>26</sup> Fe | 2.53 $\pm$ 0.06                                | 2.253                                           | 0.05125                                               | 0.427                                  |
| <sup>19</sup> K  | 1.97 $\pm$ 0.06                                | 0.09759                                         | 0.04425                                               | 0.038                                  |
| <sup>56</sup> Ba | 1.17 $\pm$ 0.10                                | 0.31664                                         | 0.05175                                               | 0.1955                                 |
| <sup>16</sup> S  | 0.49 $\pm$ 0.02                                | 0.0101360                                       | 0.04529                                               | 0.094                                  |
| <sup>20</sup> Ca | 0.43 $\pm$ 0.02                                | 2.12x10 <sup>-3</sup>                           | 0.05455                                               | 0.089                                  |
| <sup>14</sup> Si | 0.13 $\pm$ 0.03                                | 3.4x10 <sup>-3</sup>                            | 0.0542                                                | 0.135                                  |
| <sup>12</sup> Na | 0.505 $\pm$ 0.01                               | 0.513                                           | 0.0519                                                | 0.05355                                |
| <sup>13</sup> Al | 0.23 $\pm$ 0.005                               | 0.226                                           | 0.05235                                               | 0.1505                                 |
| <sup>8</sup> O   | < 0.002                                        | 3.2x10 <sup>-7</sup>                            | 0.05415                                               | 7.67x10 <sup>-5</sup>                  |

Tablo 6.7’de, gama ışınlarının baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlardaki mevcut elementler karşısındaki davranışları daha ayrıntılı olarak incelenmektedir. Bu nedenle, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlardaki mevcut elementlerin, (Co-60 radyoizotopunun iki gama enerji pikinin ortalaması olan) 1.25 MeV enerjili fotonlar için, kütleli ve lineer soğurma katsayıları, bu tabloda, ayrıca yer almaktadır.

Lineer soğurma katsayısı, bir malzeme tabakasının birim mesafe başına opaklığının ölçüsüdür (Clason, 1958). Kütleli soğurma katsayısı ise, birim yüzey başına bir malzeme tabakasının opaklığının ölçüsü olarak tanımlanmaktadır (Lide, 1995; ASNT, 1985). Dolayısıyla, incelediğimiz bu tabloda, hem kütleli soğurma katsayısı ve hem de lineer soğurma katsayısının ayrıntılı bir şekilde incelenmesinin doğru olacağı düşünülmüştür.

Baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların kimyasal kompozisyonundaki elementlerin miktarı ile cam yapısındaki elementlerin, nötron tesir kesitleri göz önüne alınarak, cam yapısının nötron etkin tesir kesitleri hesaplanmıştır. Cam yapısındaki mevcut elementlerin, nötron etkin tesir kesitlerine ilişkin, hesaplanarak elde edilen bu değerler, Tablo 6.8’de verilmektedir.

Ayrıca, camların ışınlanması sırasında, Co-60 radyoizotopu kullanıldığından, cam yapısındaki elementlerin (Co-60 radyoizotopunun iki gama enerji pikinin ortalaması olan) 1.25 MeV enerjili fotonlar için etkin foton soğurma katsayıları hem lineer soğurma katsayısı ve hem de kütle soğurma katsayısı göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

**Tablo 6.8. Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlarda 1.25 Mev Enerjili Fotonların Soğurma Katsayıları**

| Elementler       | Cam Yapısındaki Element Miktarı | Cam Yapısındaki Elemental Olarak Toplam, Nötron Etkin Tesir Kesiti [Cam Yapısındaki Element Miktarı x $\sigma_{abs}$ (barn)] |                           | Cam Yapısındaki Elemental Olarak Toplam, Soğurma Katsayısı [Cam Yapısındaki Element Miktarı x $\mu$ ] |                                       |
|------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|                  |                                 | Bütün Reaksiyonlar                                                                                                           | (n, $\gamma$ )Reaksiyonu  | Kütleli Soğurma Katsayısı $\mu$ (cm <sup>2</sup> /g)                                                  | Lineer Soğurma Katsayısı $\mu$ (1/cm) |
| <sup>5</sup> B   | 3.1x10 <sup>-3</sup>            | 2.34005                                                                                                                      | 2.3607                    | 1.28x10 <sup>-4</sup>                                                                                 | 3.007x10 <sup>-4</sup>                |
| <sup>22</sup> Ti | 1.1x10 <sup>-4</sup>            | 6.16x10 <sup>-4</sup>                                                                                                        | 1.015x10 <sup>-6</sup>    | 6x10 <sup>-6</sup>                                                                                    | 2.7x10 <sup>-5</sup>                  |
| <sup>51</sup> Sb | 1.59x10 <sup>-3</sup>           | 8.745x10 <sup>-3</sup>                                                                                                       | 8.611x10 <sup>-3</sup>    | 7.9x10 <sup>-5</sup>                                                                                  | 5.45x10 <sup>-4</sup>                 |
| <sup>28</sup> Ni | 2.04x10 <sup>-6</sup>           | 9.4x10 <sup>-6</sup>                                                                                                         | 3.14x10 <sup>-8</sup>     | 1x10 <sup>-7</sup>                                                                                    | 1x10 <sup>-6</sup>                    |
| <sup>26</sup> Fe | 6.99x10 <sup>-5</sup>           | 1.768x10 <sup>-4</sup>                                                                                                       | 4.031x10 <sup>-4</sup>    | 3.6.0x10 <sup>-6</sup>                                                                                | 2.99x10 <sup>-5</sup>                 |
| <sup>19</sup> K  | 0.074713                        | 0.147185                                                                                                                     | 7.2912x10 <sup>-3</sup>   | 3.3x10 <sup>-3</sup>                                                                                  | 2.84x10 <sup>-3</sup>                 |
| <sup>56</sup> Ba | 8.95x10 <sup>-3</sup>           | 0.010472                                                                                                                     | 2.834x10 <sup>-3</sup>    | 4.63x10 <sup>-4</sup>                                                                                 | 1.75x10 <sup>-3</sup>                 |
| <sup>16</sup> S  | 1x10 <sup>-3</sup>              | 4.9x10 <sup>-4</sup>                                                                                                         | 1.014x10 <sup>-5</sup>    | 4.5x10 <sup>-5</sup>                                                                                  | 9.4x10 <sup>-5</sup>                  |
| <sup>20</sup> Ca | 0.06432                         | 0.02766                                                                                                                      | 1.360360x10 <sup>-4</sup> | 3.51x10 <sup>-3</sup>                                                                                 | 573x10 <sup>-3</sup>                  |
| <sup>14</sup> Si | 0.32543                         | 0.042306                                                                                                                     | 1.12x10 <sup>-3</sup>     | 0.0176                                                                                                | 0.0439                                |
| <sup>12</sup> Na | 0.06677                         | 0.033718                                                                                                                     | 0.03425                   | 3.46x10 <sup>-3</sup>                                                                                 | 3.58x10 <sup>-3</sup>                 |
| <sup>13</sup> Al | 5.3x10 <sup>-4</sup>            | 1.22x10 <sup>-4</sup>                                                                                                        | 1.2x10 <sup>-4</sup>      | 2.8x10 <sup>-5</sup>                                                                                  | 7.98x10 <sup>-5</sup>                 |
| <sup>8</sup> O   | 0.45329                         | 9.06x10 <sup>-4</sup>                                                                                                        | 1.45x10 <sup>-7</sup>     | 0.02455                                                                                               | 3.48x10 <sup>-5</sup>                 |
| Toplam           | 1.0000                          | 2.612456                                                                                                                     | 2.421374                  | 0.0531727                                                                                             | 0.0589122                             |

Tablo 6.8’de görüldüğü gibi, cam yapıda bulunan bütün elementler içinde,  $(n,\gamma)$  reaksiyonundaki en yüksek nötron tesir kesitine sahip element, bor elementidir (Glascock, 1988). Ayrıca, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli cam yapıda yer alan, baryum elementi ise, toprak alkali elementler içinde, en yüksek nötron tesir kesitine sahip elementdir (Glascock, 1988; Huges ve Harvy, 1955; Bennett, 1947). Baryumun, cam yapıda ağ yapıyı değiştirici etkisi de göz önüne alınacak olursa, yapıdaki bor ve baryum elementlerinin davranışlarının incelenmesi ayrıca önem taşımaktadır.

### 6.5 Farklı Camların Dozimetrik Amaçlı Kullanımının Mukayeseli Olarak İncelenmesi

Camda, incelenen spektrum aralığında, optik yoğunluğun arttığı bölgeler, aynı zamanda, renk merkezlerinin olduğu yerleri göstermesi bakımından önem taşımaktadır. Bu sebeple, soğurulan doza bağlı olarak incelenen camlardaki, optik yoğunlukta meydana gelen değişimler, büyük önem taşımaktadır.

Optik yoğunlukta, doygunluğa ulaşılan spektrumdaki bölgeler, radyasyon etkisiyle cam yapıda oluşabilecek en fazla sayıdaki renk merkezini göstermektedir. Bunun anlamı, cam yapıda bundan böyle, radyasyon etkisiyle renk merkezi oluşturabilecek pek fazla iyonun kalmadığı, diğer bir deyişle, redoks kuralları çerçevesinde yükseltgenecek başka iyonun kalmadığıdır. Cam yapıdaki iyonların yükseltgenmesiyle oluşan bu etki, özellikle 36 kGy doz almış camlarda, oldukça belirgin olarak izlenmektedir.

Özellikle, 36 kGy doz almış, soda-kireç-silika camlarda, radyasyonun uyarttığı renk merkezleri sayesinde, 380-460 nm civarında bir bant oluşmaktadır. 380-460 nm aralığını kapsayan bu bandın, " $Fe^{+3}$  renk merkezlerinde" ve "alüminyum renk merkezlerinde" oluşan karakteristik soğurmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Borosilikat camlarda, 380-435 nm civarındaki oldukça dar sayılabilecek bir bant aralığı görülmekte olup, bu bant özellikle " $\text{Fe}^{+3}$  renk merkezlerinde" oluşan karakteristik soğurmaları ifade etmektedir. Borosilikat camlarda, oluşan bu bant aralığının böylesine dar oluşunun nedeni; alüminyum, demir ve titan elementlerinin, incelenen diğer camlardaki miktarlara göre, oldukça az miktarda yer almasıdır.

Kurşun-alkali-silika camlarda ise, 500-510 nm civarında bir bant olduğu tespit edilmiştir. Gama ışınları kullanılarak, oldukça belirgin hale getirilen bu bantta,  $\text{Fe}^{+2}$  iyonlarının,  $\text{Fe}^{+3}$  iyonlarına yükseltgenmesiyle oluşan renk merkezlerindeki, karakteristik soğurmaların tespit edildiği düşünülmüştür. Kurşun alkali silika camlarda, soğurulan doz arttıkça bu bandın kayarak, 825 nm civarında karakteristik bir pik oluşturmaya başladığı görülmektedir. Uygulanan dozun artması ile ortaya çıkan bu pikin,  $\text{Pb}^{+2}$ 'nin etrafında bulunan bir elektronu tuzaklayarak,  $\text{Pb}^{+3}$  iyonuna yükseltgenmesi sonucu, meydana geldiği düşünülmektedir.

Baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, yaklaşık 380 nm'den, 710 nm'ye kadar uzanan oldukça geniş bir bant aralığı görülmektedir. Alüminyum renk merkezleri ve  $\text{Fe}^{+3}$  iyonlarından kaynaklanan renk merkezlerinin oluşturduğu bu geniş bandın, aslında geniş bir renk merkezi aralığı sergilediği düşünülmektedir.

Baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, 380-710 nm aralığını kapsayan bant aralığı, görünür bölgenin de önemli bir bölümünü kapsamaktadır. Dolayısıyla, incelenen cam tipleri arasında, en fazla renk merkezinin olduğu cam tipinin; baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlar olduğu düşünülmektedir. Özellikle, yaklaşık 35 kGy'e kadar soğurulan dozlarda, görünür bölgedeki en yüksek değişimin; baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sebeple, incelenen cam tipleri içinde, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, özellikle, yaklaşık 1-35 kGy'e kadar olan doz menziline uygulanan gama radyasyon dozuna, hassas cevap veren, dozimetre olarak kullanılabileceği söylenebilir. Dolayısıyla, incelenen cam tipleri içinde, çeşitli dozimetrik amaçlı kullanımlarda, uygun bir cam dozimetrenin, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlar olduğu düşünülmektedir.

İncelenen dört farklı cam tipinin, nötronlarla etkileşmesi sonucu, yapı içindeki farklı elementlerden ve farklı kimyasal kompozisyonlarından dolayı, farklı etkileşimlerin meydana gelmesi söz konusudur. Tablo 6.9'da incelenen cam tiplerinin nötron tesir kesitleri ve (Co-60 radyoizotopunun iki gama enerji pikinin ortalaması olan) 1.25 MeV enerjili fotonlar göz önüne alınarak soğurma katsayıları değerlendirilmiştir.

Bu değerlendirme yapılırken, hiç doz almamış camları oluşturan elementlerin, incelenen camdaki kimyasal yüzdeleri göz önüne alınmıştır. Tablo 6.9'da, incelenen cam tipleri içinde, borosilikat camların, en yüksek nötron tesir kesitine sahip cam olduğu görülmektedir. (Co-60 radyoizotopunun iki gama enerji pikinin ortalaması olan) 1.25 MeV enerjili fotonlar göz önüne alındığında ise en yüksek soğurma katsayısına sahip camın ise, kurşun-alkali-silika cam olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 6.9.** İncelenen Cam Tiplerine Göre, Nötron Etkin Tesir Kesitleri ve 1.25 MeV Enerjili Fotonların Soğurma Katsayıları

| Cam Tipi                               | Cam Yapısındaki Toplam, Nötron Etkin Tesir Kesiti [Cam Yapısındaki Element Miktarı x $\sigma_{abs}$ (barn)] |                           | Cam Yapısındaki Toplam Soğurma Katsayısı [Cam Yapısındaki Element Miktarı x $\mu$ ] |                                       |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|                                        | Bütün Reaksiyonlar                                                                                          | (n, $\gamma$ ) Reaksiyonu | Kütleli Soğurma Katsayısı $\mu$ (cm <sup>2</sup> /g)                                | Lineer Soğurma Katsayısı $\mu$ (1/cm) |
| Ba ve B Taşıyan Özel Optik Kireçli Cam | 2.6125                                                                                                      | 2.4210                    | 0.0531                                                                              | 0.0589                                |
| Soda-Kireç-Silika Cam                  | 0.1394                                                                                                      | 0.0651                    | 0.0540                                                                              | 0.0605                                |
| Borosilikat Cam                        | 67.1073                                                                                                     | 67.8130                   | 0.0529                                                                              | 0.0634                                |
| Kurşun-Alkali-Silika Cam               | 2.6493                                                                                                      | 2.4375                    | 0.0546                                                                              | 0.1983                                |

Nötronların, cam yapıdaki elementlerle oluşturduğu etki, ayrıca önem taşımaktadır. Cam yapısındaki renk merkezlerinin artmasının bir sonucu olarak, cam yapıda bir renklenme meydana gelmektedir. Geçiş elementlerinin gama ışınlarının etkisiyle ve (n, $\gamma$ ) reaksiyonuna hassas elementlerin davranışlarının bir sonucu olarak, hem gama ışınları, hem de nötronların renk merkezlerini üretebileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda, cam yapıda (n, $\gamma$ ) reaksiyonu ile yaratılan gama ışınları, yeni elektron boşluk çiftleri meydana getirmekte olup, böylece, yeni renk merkezlerinin yaratılmasına da yardım etmektedir.

İncelenen camlar içinde, en yüksek nötron tesir kesitine sahip elementin bor elementi olduğu görülmektedir. (Co-60 radyoizotopunun iki gama enerji pikinin ortalaması olan) 1.25 MeV enerjili fotonlar karşısında, en yüksek lineer absorpsiyon katsayısına sahip elementin ise, kurşun olduğu görülmektedir.

En yüksek nötron tesir kesitine sahip olan bor atomları, nötronları kuvvetli bir şekilde soğurmaktadır. (n, $\gamma$ ) reaksiyonunun bir sonucu olarak, cam ortamında gama ışınları meydana gelmektedir. Dolayısıyla, (n, $\gamma$ ) reaksiyonu ile meydana gelen, bu ikincil gama ışınlarının da, renk merkezlerinin oluşumuna katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda, cam tarafından soğurulan doz arttığında, camdaki incelenen spektrum bölgelerinde, soğurulan ışınların da arttığı tespit edilmiştir.



## 7. IŞINLANMIŞ FARKLI CAMLARIN GÜNEŞ ENERJİSİNE YÖNELİK (SOLAR) ISIL PARAMETRELERİ

Camlar; güneş ışını (solar) geçirgenlikleri ve ayırdıkları ortamlar arasındaki ısı geçişinde oynadıkları rol bakımından önem taşımaktadırlar. Bu bağlamda da, camların optik özellikleri ve bu optik özelliklerde güneş enerjisi etkisiyle meydana gelen değişiklikler üzerinde durulması gereken önemli bir konuyu oluşturmakta olup, bu husus “optik çalışma” terimi ile ifade edilebilmektedir.

Camların güneş enerjisi etkisi altında optik çalışması, kullanıldıkları ortamlarda, ısıtma ve soğutmaya olan etkileri, titizlikle inceleme yapılması gereken bilimsel bir alan durumundadır.

İncelenen, soda-kireç-silika, borosilikat, kurşun-alkali-silika camlar ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlardaki yapının, gama ışınları etkisiyle, etkilendiği görülmektedir. Çeşitli dozlarda gama ışınlarına maruz kalmış, dört farklı cam tipinde de, morötesi ve görünür bölge ile yakın kızılaltı bölgedeki, geçirgenlik, yansıtıcılık ve soğurma gibi optik özelliklerin değişmesi, güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerinin de değiştiğini göstermektedir.

Bu tür bir incelemenin yapılması, günümüzde, oldukça stratejik sayılabilecek alanlarda kullanımı söz konusu olan, çeşitli uygulamaları, gündeme getirmektedir. Modern askeri tekniklerde, uzay araştırmaları için yapılmış özel tesislerde ve içinde insan olan uzay gemilerinde, camların kullanımı; radyasyona maruz kalan camların, güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerinin belirlenmesi açısından, hayli ilgi çekici bir konuyu oluşturmaktadır.

Güneş enerjisine yönelik (solar) ısı parametreler ifadesiyle; camın yüzeylerinden, iç ve dış ortamlara olan, ikincil ısı geçiş katsayıları (sırasıyla;  $h_i$  ve  $h_e$ ) ile, ikincil ısı geçiş faktörleri (sırasıyla;  $q_i$  ve  $q_e$ ), doğrudan güneş enerjisi soğurması

ve toplam güneş enerjisi geçirgenliği veya diğer adıyla; güneş etkisiyle oluşan faktör (solar factor) terimleri kastedilerek, ifade edilmektedir.

Camın, çeşitli etkilerle karartılarak, belirli miktarlarda gölgelendirilmesi mümkün olabilmektedir. Böylece, camdaki güneş enerjisi kontrolünü ve camın optik çalışmasını daha rasyonel bir şekilde “gölgeleme katsayısı” terimi, ifade edebilmektedir. Camın radyasyona maruz kalmasıyla, gölgeleme katsayısının değişimi, söz konusu olabilmektedir.

Bu bağlamda, radyasyona maruz kalmış camlardaki, gölgeleme katsayısı teriminin belirlenmesi, önem taşımaktadır. Soda-kireç-silika camlardaki ısı parametreleri, Avrupa Standartlar Komitesi tarafından standartlaştırılmış olmasına rağmen, bu doktora tez çalışması ile incelenmiş olan borosilikat, kurşun-alkali-silika ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlardaki, ısı parametrelerine ait, böyle bir standartlaştırma henüz bulunmamaktadır.

Camlardaki gölgeleme katsayısının yüksek veya düşük olmasının önemi, kullanım amacına bağlı olarak değişmektedir. Özellikle, soğuk dış ortamların söz konusu olduğu şartlarda, mümkün olduğunca güneş enerjisinden yararlanmak amacıyla, camlardaki en iyi optik çalışmayı sağlamak için, gölgeleme katsayısının mümkün olduğunca yüksek olması istenmektedir.

Buna karşın, hayli sıcak dış ortamların söz konusu olduğu şartlarda ise; iç ortamı sürekli belirli bir sıcaklık derecesinde tutmak amacıyla, camlarda “iyi” olarak nitelenebilecek optik çalışma, gölgeleme katsayısının mümkün olabildiğince düşük tutulmasıyla sağlanmaktadır.

Yüksek radyasyonun söz konusu olduğu ortamlarda, cam giderek kararmakta olup, gölgeleme katsayısı düşmektedir (**Doğan ve Tuğrul, 2001b**). Belirli bir seviyedeki, dış radyasyon ortamında kullanılan camın, gölgeleme katsayısının belirlenmesiyle, iç ortamın güneş enerjisinden yeterince faydalanması mümkün olabilmektedir. Böylece, yüksek seviyeli dış radyasyon ortamını iç ortamdan ayırmak amacıyla kullanılan cam,

hem zırhlama görevini yaparken, hem de güneş enerjisine yönelik ısı kontrolünün sağlanması görevini de yerine getirebilmektedir.

Yüksek seviyedeki radyasyon bölgelerinde, gama ışınlarına özgü alanlarda, sıcak hücrelerde, yüksek iyonizan radyasyon kaynağının bulunduğu alanlarda ve nükleer tıp gibi çeşitli alanlarda camların “gözetleme deliği” olarak kullanımı mümkündür. Gözetleme deliği olarak kullanılan bu camlarda, renk merkezlerinin oluşu sonucu, camların karararak gölgelenmesi önemli bir konuyu oluşturmaktadır.

Camdan yapılmış bir gözetleme deliği yardımıyla, gözlemcinin bulunduğu mekandan belli bir cam tabakasıyla ayrılan, çeşitli incelemelerin yapıldığı yüksek radyasyon ortamı olarak nitelenen, dış mekanın mümkün olabildiğince, daha net izlenmesi, güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerin belirlenmesiyle, mümkün olabilmektedir (Doğan ve Tuğrul, 2001b).

Dünyanın atmosfer tabakasını aşarak, yeryüzüne kadar ulaşan güneş ışınlarını simüle edebilen, çeşitli lambalarla donatılmış, özel aydınlatma sistemlerinin kullanımı, bazı şartlar altında, gerekli olmaktadır (Alvarez ve diğ. 1998; Coaton ve Marsden, 1997; Miller, 1945). Çeşitli özel çalışmaların yapıldığı laboratuvarlarda, güneş ışınlarını simüle edebilecek dalga boylarında ışınlar yayınlatabilen aydınlatma amaçlı, örneğin, özel floresans lambalar gibi, çeşitli lambaların kullanımı söz konusudur (Severa ve Bar, 1991).

Camdaki gölgeleme katsayısı; güneş enerjisi etkisinde kalan elektromanyetik spektrum bölgesindeki, aynı ışınım şartları altında, incelenen cam yüzeyinden, iç ortama doğru nüfuz eden ısı enerjisi miktarı ile, hiçbir işlem yapılmamış camdan, ortama doğru nüfuz eden, güneş enerjisi miktarı arasındaki orandır (EN-410, 1992; Doğan ve Tuğrul, 2001b).

Gölgeleme katsayısı ( $sc$ ), gölgelenen camın ısı faktörünün, temiz (camdaki gölgeleme katsayısını değiştirmek amacıyla sonradan üzerine herhangi bir işlem yapılmamış) camın ısı faktörüne bölünmesi ile hesaplanmaktadır. A.B.D'deki ASHRAE standartlarında, temiz soda-kireç-silika camlar için standartlaştırılan ısı faktör değeri,

0.88 olarak belirlenmiştir (Vogel, 1994). Standartlarda belirtilen bu ifade, klima ortamını oluşturma amacıyla gelişen bütün mühendislik alanlarına, gölgelendirme katsayısı terimini, uyarlayabilmeyi sağlamaktadır. Bu bağlamda, gama ışınlarına maruz kalmış camların, güneş enerjisine (solar) ait ısı parametrelerinin daha rasyonel bir şekilde değerlendirilebilmesi için güneş enerjisi geçirgenliğinin, özellikle hassas bir şekilde, belirlenmesi ayrıca önem taşımaktadır.

Bu doktora tez çalışmasında, incelenen camların, esas itibarıyla, laboratuvar ortamındaki kullanılabileceği düşünülmüştür. Bu durumda, incelenen camların ışınlandığı yerdeki, iç ortam ile dış ortam, birbirinin aynı olduğundan, iç ve dış ikincil ısı geçiş katsayıları ve de iç ve dış ikincil ısı geçiş faktörleri birbirinin aynı olmaktadır.

Camlara ilişkin, doğrudan ısı enerji geçirgenliği ( $\tau_e$ ) ile camdan iç ortama doğru olan ikincil ısı geçiş faktörü ( $q_i$ ), toplam güneş enerjisi geçirgenliği ( $g$ ) hesaplamaları 3.Bölüm'de ayrıntıları ile verilmiştir.

### **7.1. Soda-Kireç-Silika Camlarda Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi**

Farklı tipteki radyasyon kaynaklarıyla yapılan incelemelerde, soda-kireç-silika camların farklı seviyelerde soğurdukları dozlara bağlı olarak, bu camların güneş enerjisine yönelik (solar) parametrelerinde önemli değişimler olduğu görülmektedir.

#### **7.1.1 Gama Kaynağı Kullanılarak Işınlanan Soda-Kireç-Silika Camların Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi**

Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak, ışınlanan soda-kireç-silika camlarda yapılan incelemeler sonucunda, elde edilen güneş enerjisine yönelik (solar) ısı parametrelerin değişimi Tablo 7.1'de görülmektedir. Bu tabloda, soda-kireç-silika camların, ikincil ısı geçiş faktörü ( $q_i$ ), toplam güneş enerjisi geçirgenliğinin ( $g$ )

ve gölgeleme katsayısının ( $sc$ ), gama ışınları karşısında birtakım değişimler gösterdiği tespit edilmiştir. Özellikle 36 kGy doz almış camlardaki, güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerinde, en yüksek değişimlerin meydana geldiği görülmektedir.

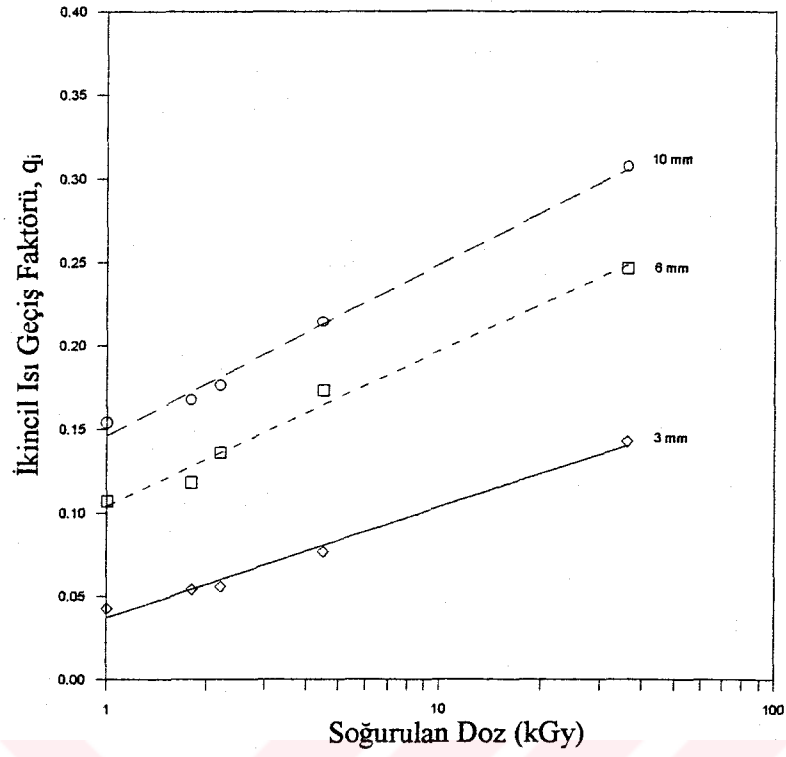
Ayrıca, 10 mm kalınlıktaki soda-kireç-silika camlardaki güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerinde, 36 kGy doz almış camların, hiç doz almamış camlara göre, oldukça belirgin birtakım değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

**Tablo 7.1. Soda-Kireç-Silika Camlarda Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Güneş Enerjisine Yönelik Isı Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi.**

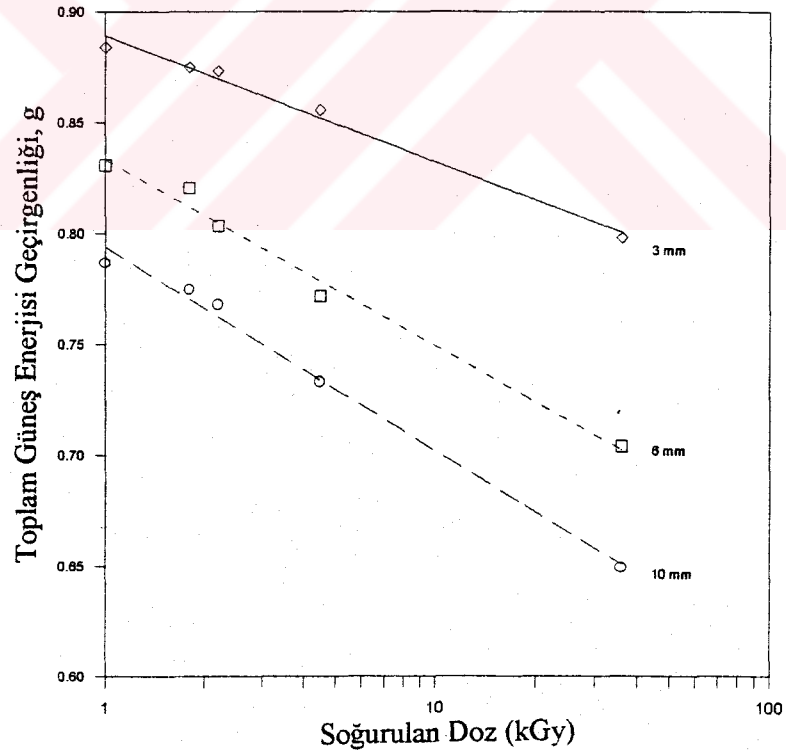
| Doz<br>(kGy) | $q_i$<br>3 mm | $q_i$<br>6 mm | $q_i$<br>10 mm | $g$<br>3 mm | $g$<br>6 mm | $g$<br>10 mm | Göl.Kat<br>3 mm | Göl.Kat<br>6 mm | Göl.Ka<br>10 mm |
|--------------|---------------|---------------|----------------|-------------|-------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0.0          | 0.0224        | 0.0724        | 0.1047         | 0.8814      | 0.8539      | 0.8363       | 1.0016          | 0.9704          | 0.9503          |
| 1.0          | 0.0426        | 0.1071        | 0.1540         | 0.8840      | 0.8308      | 0.7866       | 1.0046          | 0.9442          | 0.8939          |
| 1.8          | 0.0540        | 0.1180        | 0.1674         | 0.8749      | 0.8205      | 0.7745       | 0.9942          | 0.9324          | 0.8801          |
| 2.2          | 0.0556        | 0.1359        | 0.1762         | 0.8732      | 0.8034      | 0.7675       | 0.9924          | 0.9123          | 0.8722          |
| 4.5          | 0.0765        | 0.1731        | 0.2139         | 0.8555      | 0.7716      | 0.7327       | 0.9722          | 0.8770          | 0.8326          |
| 36.0         | 0.1426        | 0.2463        | 0.3071         | 0.7978      | 0.7037      | 0.6491       | 0.9066          | 0.7997          | 0.7376          |

Şekil 7.1’de soda-kireç-silika camların soğurduğu doz karşısında, ikincil ısı geçiş katsayılarında oluşan değişimler görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, ikincil ısı geçiş katsayısının da kayda değer bir şekilde arttığı görülmektedir. Ayrıca, cam kalınlığı arttıkça, ikincil ısı geçiş faktöründe de bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 7.2’de soda-kireç-silika camların soğurduğu dozdaki artışa bağlı olarak, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinde oluşan değişimler görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinde, önemli bir şekilde, azalma meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, cam kalınlığındaki artışa bağlı olarak, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinde de belirgin bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

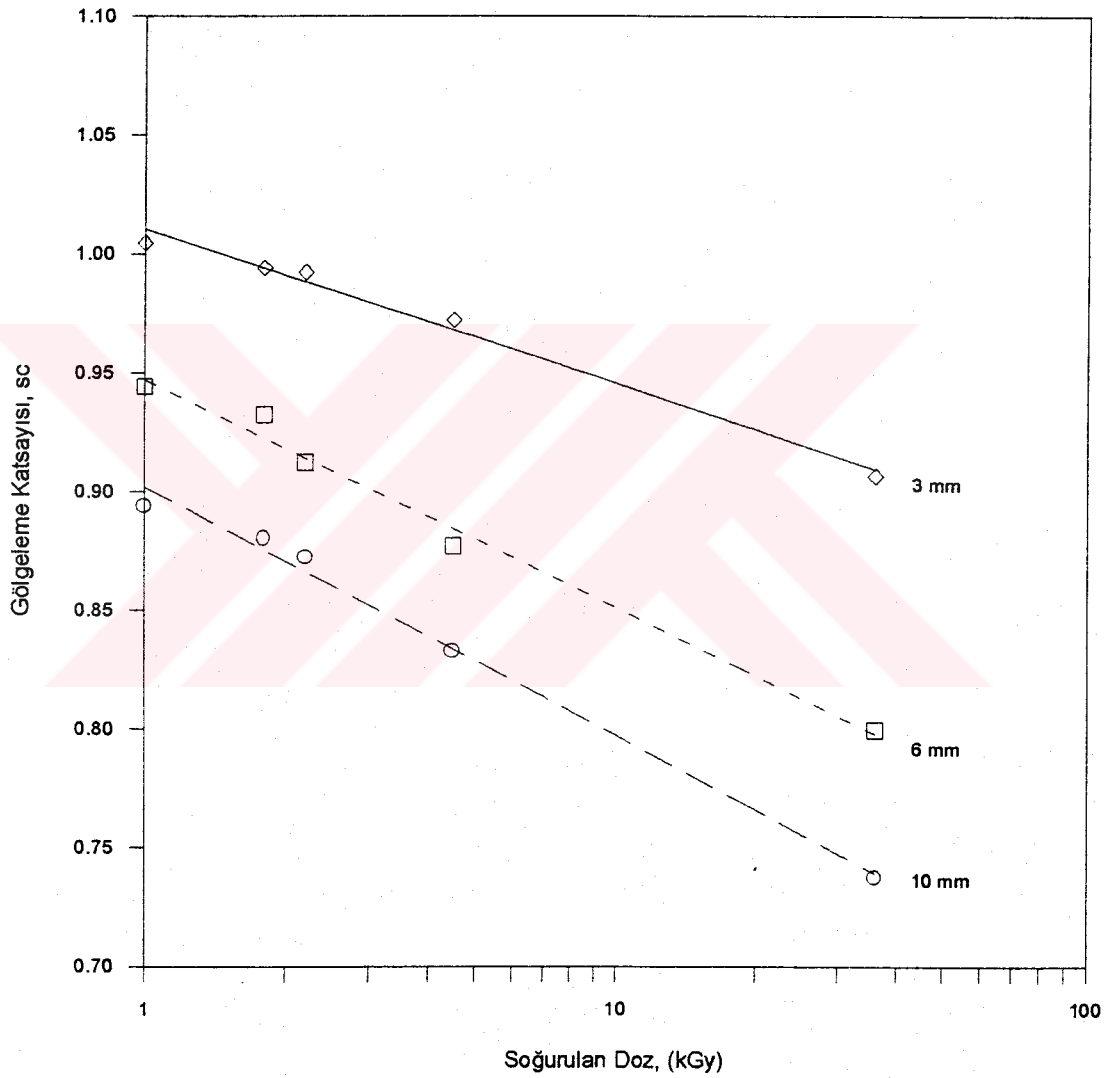


Şekil 7.1 İkincil Isı Geçiş Faktörünün Değişimi



Şekil 7.2 Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliğindeki Değişim.

Şekil 7.3’de soda-kireç-silika camların soğurduğu doz karşısında, gölgeleme katsayısında oluşan değişimler görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, gölgeleme katsayısında azalma meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, cam kalınlığı arttıkça, incelediğimiz bu camlarda gölgeleme katsayısında belirgin bir azalma olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 7.3.** Soda-kireç-silika Camlarda, Gama Işınlarına Maruz Kalmış Camlardaki Gölgeleme Katsayısında Oluşan Değişim.

### 7.1.2 Beta Kaynağı Kullanılarak Işınlanan Soda-Kireç-Silika Camların Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi

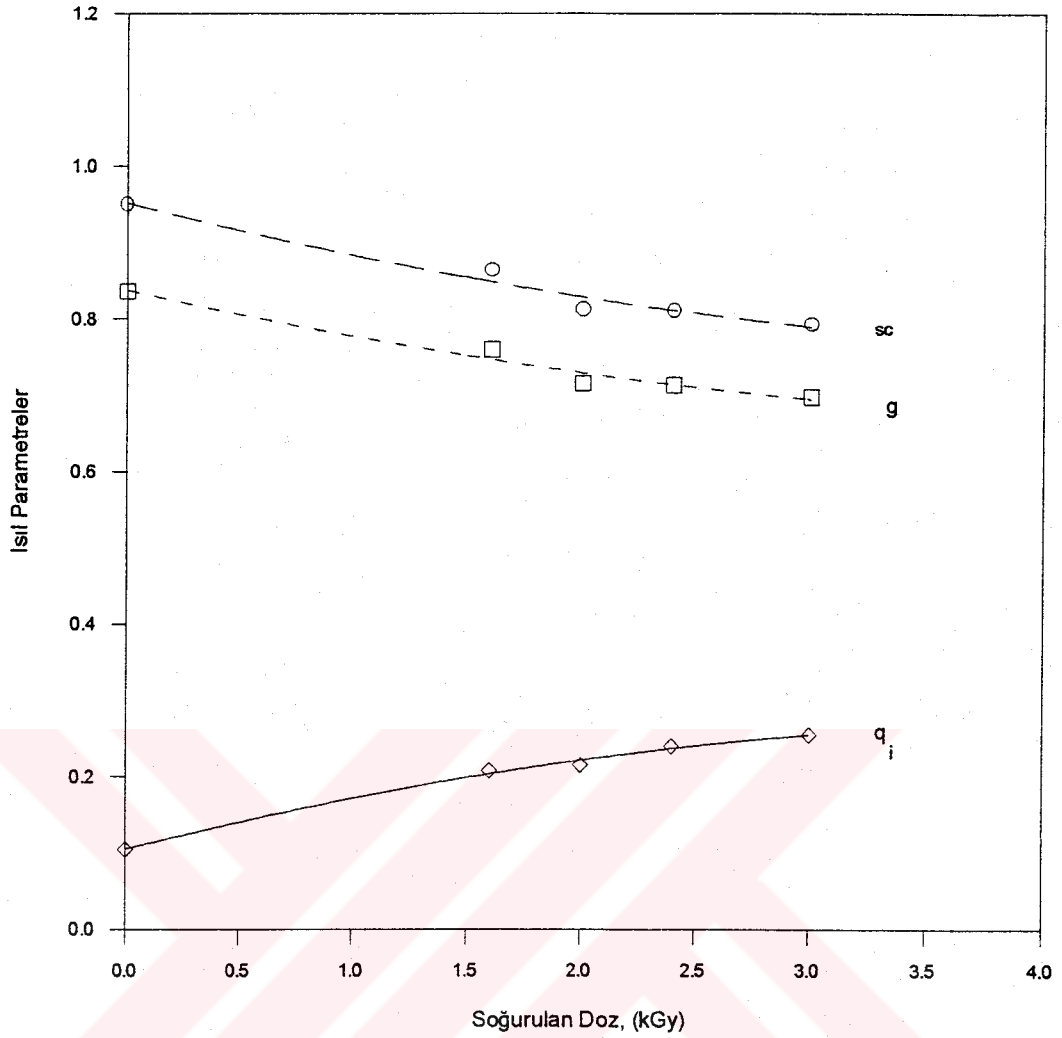
Sr-90 beta radyoizotop kaynağı kullanılarak ışınlanan soda-kireç-silika camlarda, elde edilen güneş enerjisine yönelik (solar) ısıl parametrelerin değişimi Tablo 7.2’de görülmektedir. Bu tabloda, soda-kireç-silika camların güneş enerjisine yönelik ısıl parametrelerinde, beta parçacıkları karşısında, önemli değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

**Tablo 7.2.** Soda-Kireç-Silika Camlarda Sr-90 Radyoizotopu Kullanılarak Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi

| Doz<br>(kGy) | $q_i$  | $g$    | Gölgeleme<br>Katsayısı<br>$sc$ |
|--------------|--------|--------|--------------------------------|
| 0.0          | 0.1047 | 0.8363 | 0.9503                         |
| 1.6          | 0.2076 | 0.7594 | 0.8630                         |
| 2.0          | 0.2150 | 0.7150 | 0.8125                         |
| 2.4          | 0.2398 | 0.7129 | 0.8102                         |
| 3.0          | 0.2553 | 0.6976 | 0.7927                         |

Şekil 7.4’de, Sr-90 beta radyoizotop kaynağı kullanılarak ışınlamaya maruz bırakılmış soda-kireç-silika camların, ikincil ısı geçiş faktörü ( $q_i$ ), toplam güneş enerjisi geçirgenliği ( $g$ ) ve gölgeleme katsayısında ( $sc$ ) oluşan değişimleri görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, ikincil ısı geçiş faktöründe de böylece artma oluşurken, toplam güneş enerjisi geçirgenliği ve camdaki oluşan gölgeleme katsayısı değişiminde ise azalma meydana geldiği tespit edilmiş durumdadır.

Ayrıca, cam kalınlığı arttıkça da, ikincil ısı geçiş faktöründe artış oluşurken, toplam güneş enerjisi geçirgenliği ve gölgeleme katsayısında bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.



**Şekil 7.4.** Beta Parçacıklarına Maruz Kalmış, Soda-kireç-silika Camlarda, İkincil Isı Geçiş Faktörü, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği ve Gölgeleme Katsayısında Meydana Gelen Değişim.

### 7.1.3 İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak Işınlanan Soda-Kireç-Silika Camların Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi

Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak ışınlanan soda-kireç-silika camlarda, güneş enerjisine yönelik (solar) ısı parametrelerinin değişimi, Tablo 7.3'de görülmektedir. Bu tabloda, soda-kireç-silika camların güneş enerjisine yönelik ısı parametreleri değerlendirilecek olursa,

nötron ve beta parçacıkları ile gama ışınlarından oluşan karışık radyasyon karşısında, önemli sayılabilecek değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

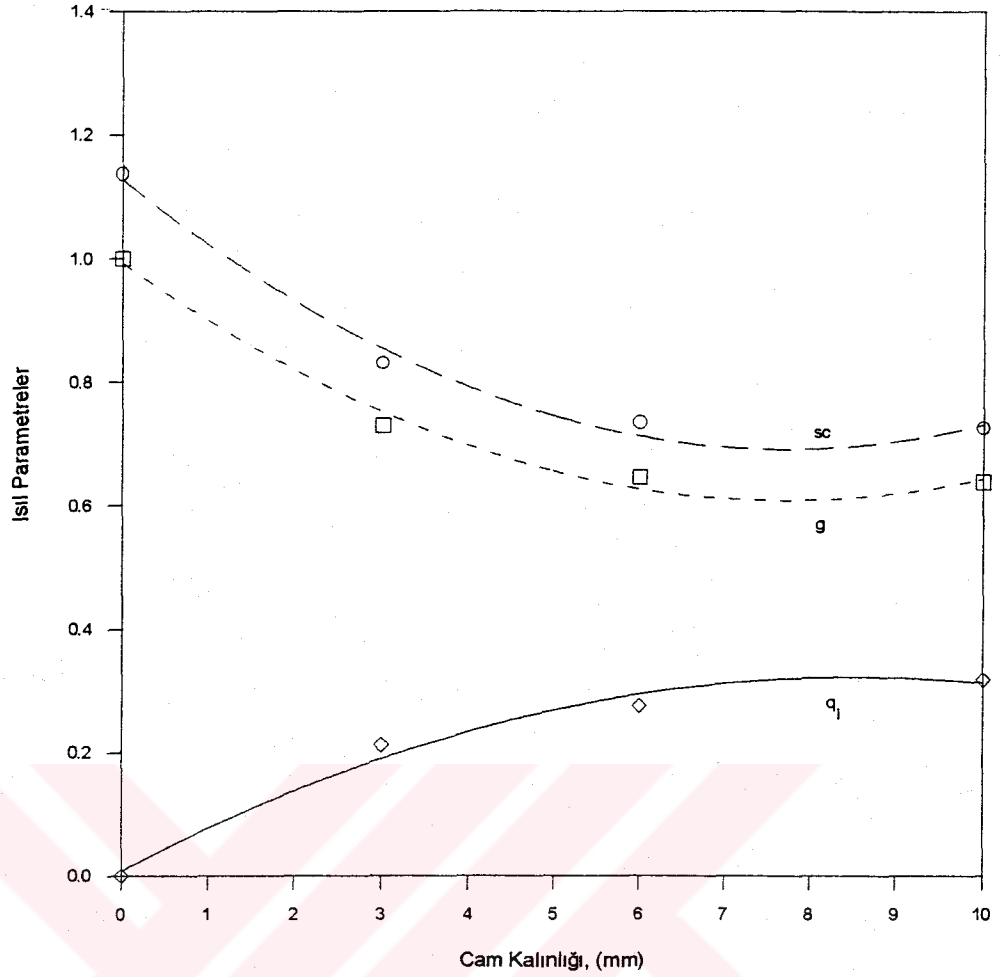
**Tablo7.3.** Soda-kireç-silika Camların, Merkezi Işınlama Kanalı'nda Işınlanmasıyla, Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi.

| Cam Kalınlığı (mm) | $q_i$  | $g$    | Gölgeleme Katsayısı $sc$ |
|--------------------|--------|--------|--------------------------|
| 0                  | 0.0000 | 1.0000 | 1.13636                  |
| 3                  | 0.2118 | 0.7292 | 0.82858                  |
| 6                  | 0.2750 | 0.6450 | 0.73296                  |
| 10                 | 0.3175 | 0.6377 | 0.72466                  |

Şekil 7.5'de, Merkezi Işınlama Kanalı'nda yapılan Işınlamalarla, karışık radyasyona maruz kalmış, soda-kireç-silika camların, ikincil ısı geçiş katsayısı, toplam güneş enerjisi geçirgenliği ve gölgeleme katsayısında oluşan değişimleri görülmektedir.

Şekil 7.5'de, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, ikincil ısı geçiş faktöründe üstel karakterde bir artma olmuştur. Toplam güneş enerjisi geçirgenliği ve gölgeleme katsayısında ise, üstel karakterde bir azalma meydana geldiği görülmüştür. Söz konusu bu azalma yaklaşık 6 mm'lik cam kalınlığından sonra bir azalma olmayıp, cam kalınlığındaki artışa rağmen, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinde herhangi bir azalma olmadığı tespit edilmiştir.

Şekil 7.5'de, cam kalınlığı arttıkça gölgeleme katsayısında, üstel karakterde bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Söz konusu bu azalma, yaklaşık 6 mm cam kalınlığından sonra bir doygunluk oluşturmakta ve herhangi bir azalma göstermemektedir.



Şekil 7.5 İkincil Isı Geçiş Faktörü, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği ve Gölgeleme Katsayısı Değişimi.

## 7.2. Borosilikat Camlarda Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi

Farklı tipteki radyasyon kaynaklarıyla yapılan incelemelerde, borosilikat camların farklı seviyelerde soğurdukları dozlara bağlı olarak, bu camların güneş enerjisine yönelik (solar) ısıl parametrelerinde değişimler olduğu görülmektedir.

Borosilikat camlarda termal genleşme katsayısı düşük olduğu için, bu camlar termal şoklara dayanıklı camlardır. Bu nedenle, borosilikat camların ısıl parametrelerinin uygulanan radyasyon dozundaki artışa bağlı olarak, değişim göstermesi, ayrıca önem taşımaktadır.

### 7.2.1 Gama Kaynağı Kullanılarak Işınlanan Borosilikat Camların Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi

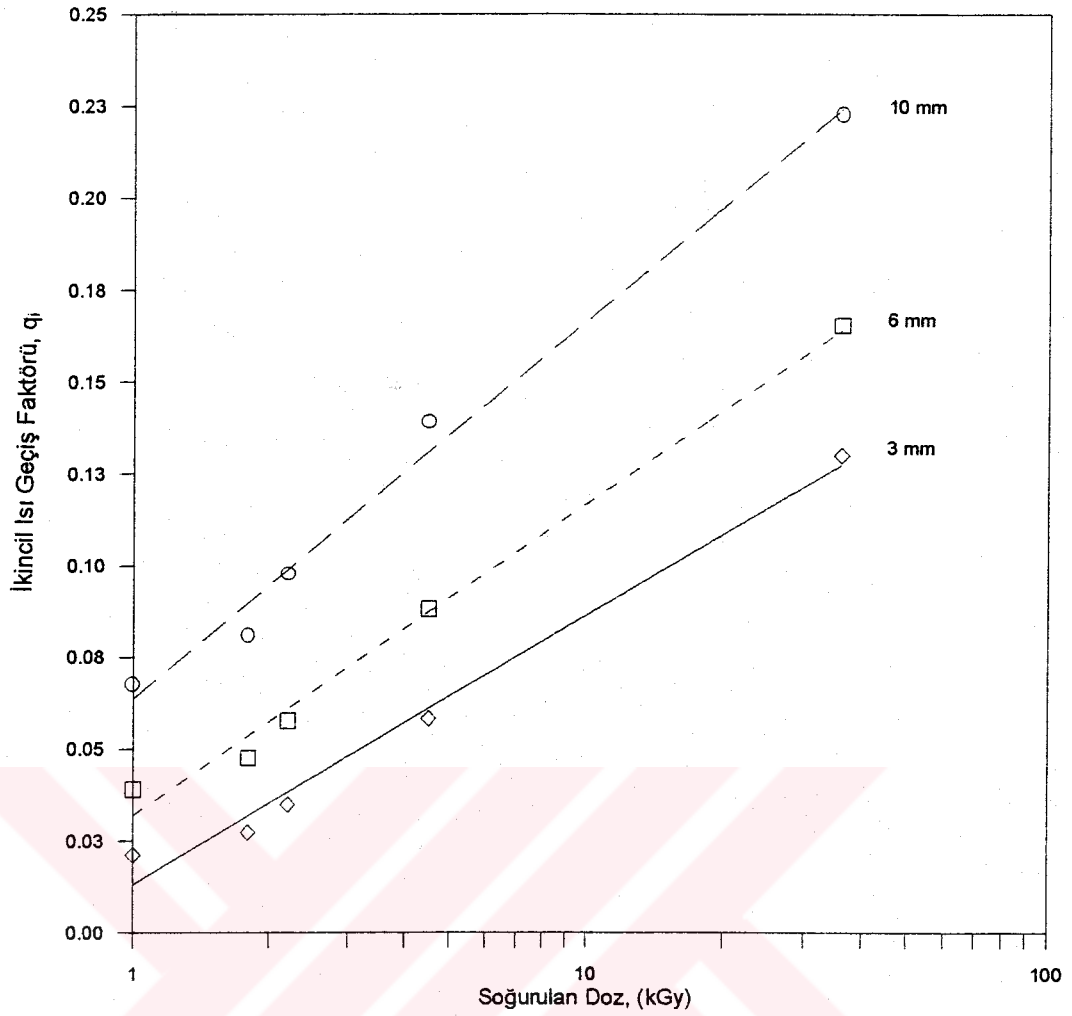
Borosilikat camlarda Co-60 radyoizotopu kullanılarak, güneş enerjisine yönelik (solar) ısı parametrelerin değişimi Tablo 7.4'de görülmektedir. Bu tabloda, borosilikat camların, ikincil ısı geçiş faktörü ( $q_i$ ), toplam güneş enerjisi geçirgenliğinin ( $g$ ) ve gölgeleme katsayısının ( $sc$ ), gama ışınları karşısında birtakım değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

Özellikle 36 kGy doz almış camlardaki, güneş enerjisine yönelik (solar) ısı parametrelerde, en yüksek değişimlerin meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, 10 mm kalınlıktaki borosilikat camlardaki güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerde, 36 kGy doz almış camların, hiç doz almamış camlara göre, oldukça belirgin değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

**Tablo 7.4.** Borosilikat Camlarda Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi.

| Doz<br>(kGy) | $q_i$<br>3 mm | $q_i$<br>6 mm | $q_i$<br>10 mm | $g$<br>3 mm | $g$<br>6 mm | $g$<br>10 mm | Göl.K.<br>3 mm | Göl.K.<br>6 mm | Göl.K.<br>10 mm |
|--------------|---------------|---------------|----------------|-------------|-------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|
| 0.0          | 0.0108        | 0.0140        | 0.0227         | 0.9215      | 0.9223      | 0.9189       | 1.0472         | 1.0480         | 1.0442          |
| 1.0          | 0.0212        | 0.0391        | 0.0676         | 0.9121      | 0.8984      | 0.8755       | 1.0364         | 1.0209         | 0.9949          |
| 1.8          | 0.0273        | 0.0476        | 0.0809         | 0.9082      | 0.8903      | 0.8681       | 1.0320         | 1.0117         | 0.9865          |
| 2.2          | 0.0349        | 0.0577        | 0.0977         | 0.9001      | 0.8812      | 0.8502       | 1.0228         | 1.0013         | 0.9661          |
| 4.5          | 0.0582        | 0.0881        | 0.1390         | 0.8804      | 0.8535      | 0.8108       | 1.0004         | 0.9699         | 0.9213          |
| 36.0         | 0.1300        | 0.1654        | 0.2226         | 0.8164      | 0.7824      | 0.7490       | 0.9277         | 0.8890         | 0.8510          |

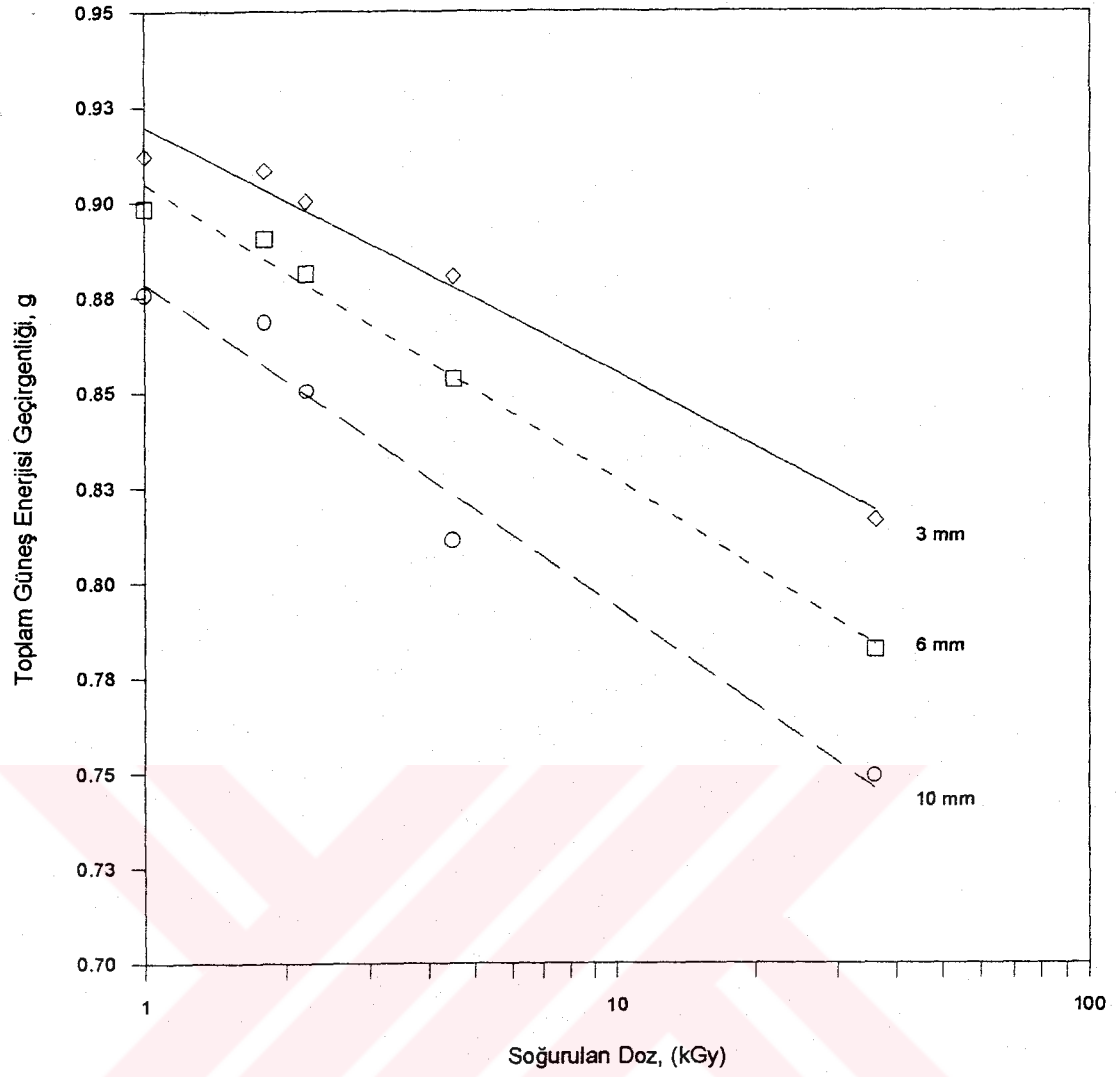
Şekil 7.6'de borosilikat camların soğurduğu doz karşısında, ikincil ısı geçiş katsayılarında oluşan değişimler görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, ikincil ısı geçiş faktörünün de arttığı görülmektedir. Ayrıca, cam kalınlığı arttıkça, ikincil ısı geçiş katsayısında da bir artış olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 7.6** Borosilikat Camlarda, Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Gama Işınlara Maruz Kalmış Camlarda İkincil Isı Geçiş Faktörü Değişimi

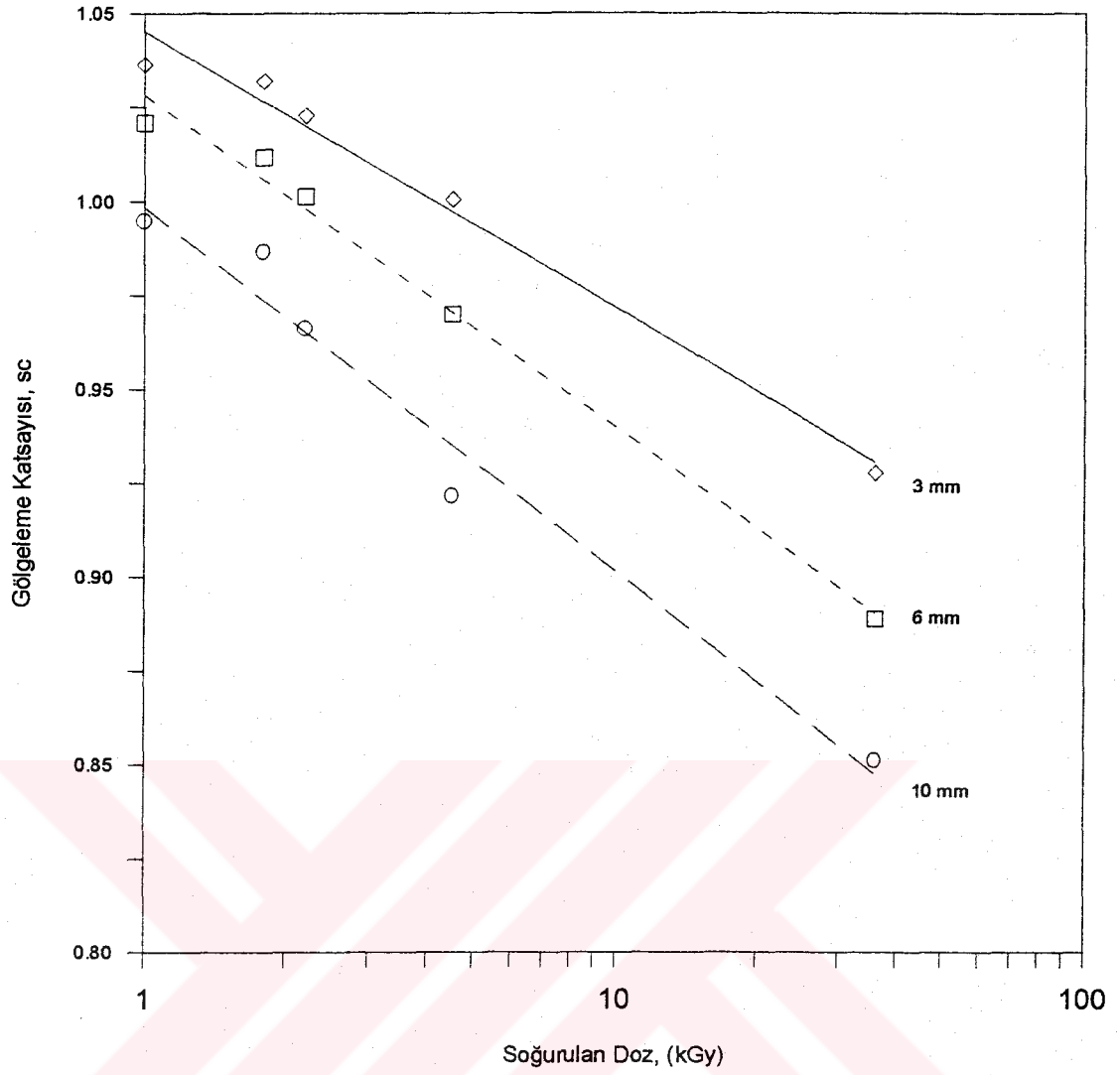
Şekil 7.7’de borosilikat camların soğurduğu doz karşısında, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinde oluşan değişimler görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinde azalma meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 7.7’de, borosilikat camlarda kalınlık arttıkça, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinde de bir azalma olduğu tespit edilmiştir. İncelediğimiz bu camlarda en düşük toplam güneş enerjisi geçirgenliğinin 10 mm kalınlıktaki camlarda meydana geldiği tespit edilmiştir.



**Şekil 7.7** Borosilikat Camlarda, Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Gama Işınlara Maruz Kalmış Camlarda Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliğinde Meydana Gelen Değişim.

Şekil 7.8’de, borosilikat camların soğurduğu doz karşısında, gölgeleme katsayısında oluşan değişimler görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, gölgeleme katsayısında azalma meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, cam kalınlığı arttıkça da, gölgeleme katsayısında bir azalma olduğu tespit edilmiştir. İncelediğimiz 10 mm kalınlıktaki borosilikat camların en düşük gölgeleme katsayısına sahip olduğu ve uygulanan dozun artışıyla gölgeleme katsayısının oldukça belirgin bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir.



**Şekil 7.8** Borosilikat Camlarda, Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Gama Işınlara Maruz Kalmış Camlardaki Gölgeleme Katsayısında Meydana Gelen Değişim.

### 7.3 Kurşun-Alkali-Silika Camlarda Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi

Farklı tipteki radyasyon kaynaklarıyla yapılan incelemelerde, kurşun-alkali-silika camların farklı seviyelerde soğurdukları dozlara bağlı olarak, bu camların güneş enerjisine yönelik (solar) ısıl parametrelerinde önemli değişimler olduğu görülmektedir.

### 7.3.1 Gama Kaynağı Kullanılarak Işınlanan Kurşun-Alkali-Silika Camların Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi

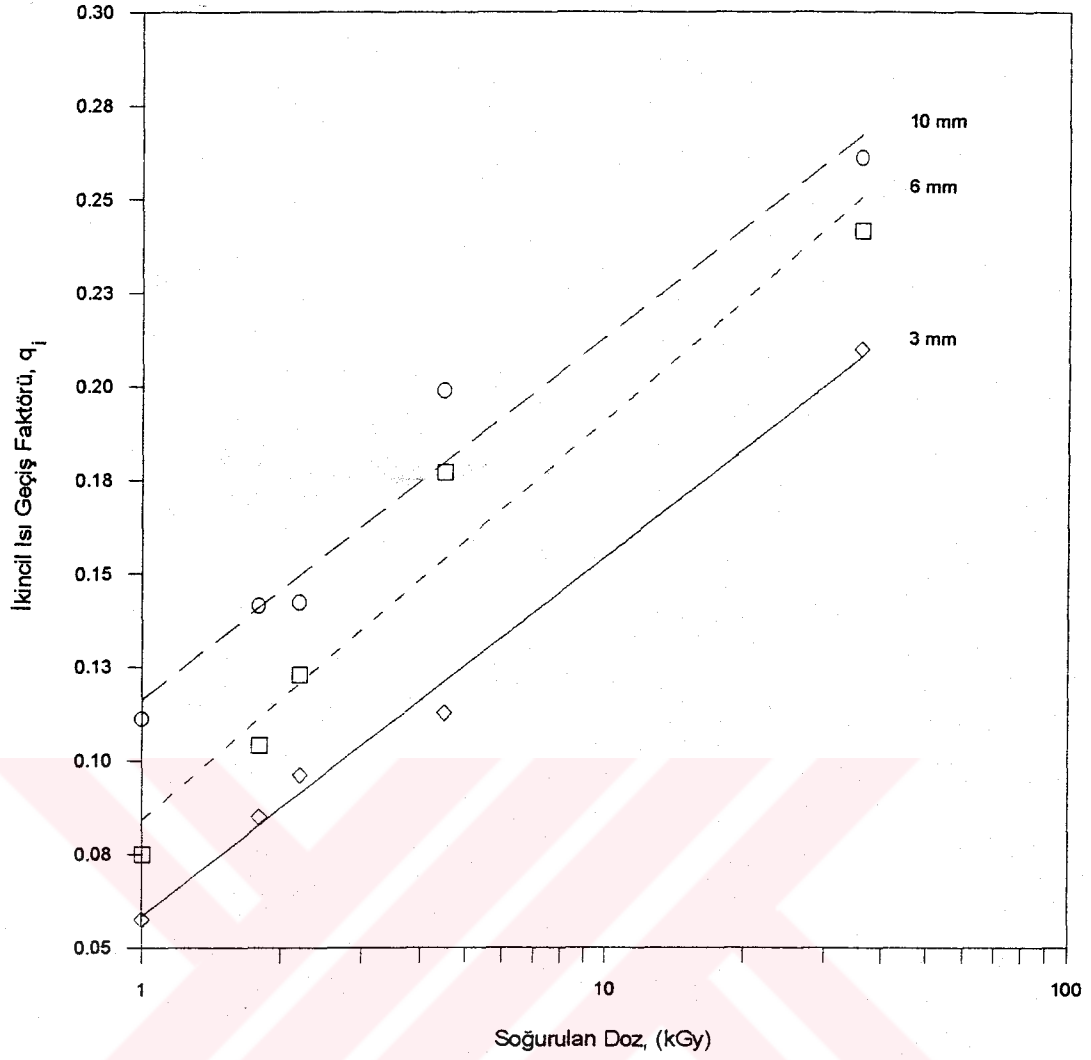
Kurşun-alkali-silika camlarda Co-60 radyoizotopu kullanılarak, güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerin değişimi Tablo 7.5’de görülmektedir. Bu tabloda, kurşun-alkali-silika camların, ikincil ısı geçiş faktörü ( $q_i$ ), toplam güneş enerjisi geçirgenliğinin ( $g$ ) ve gölgeleme katsayısının ( $sc$ ), gama ışınları karşısında birtakım değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

Özellikle 36 kGy doz almış camlardaki, güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerde, en yüksek değişimlerin meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, 10 mm kalınlıktaki kurşun-alkali-silika camlardaki güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerde, 36 kGy doz almış camların, hiç doz almamış camlara göre, oldukça belirgin bazı değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

**Tablo7.5.** Kurşun-alkali-silika Camlarda Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi.

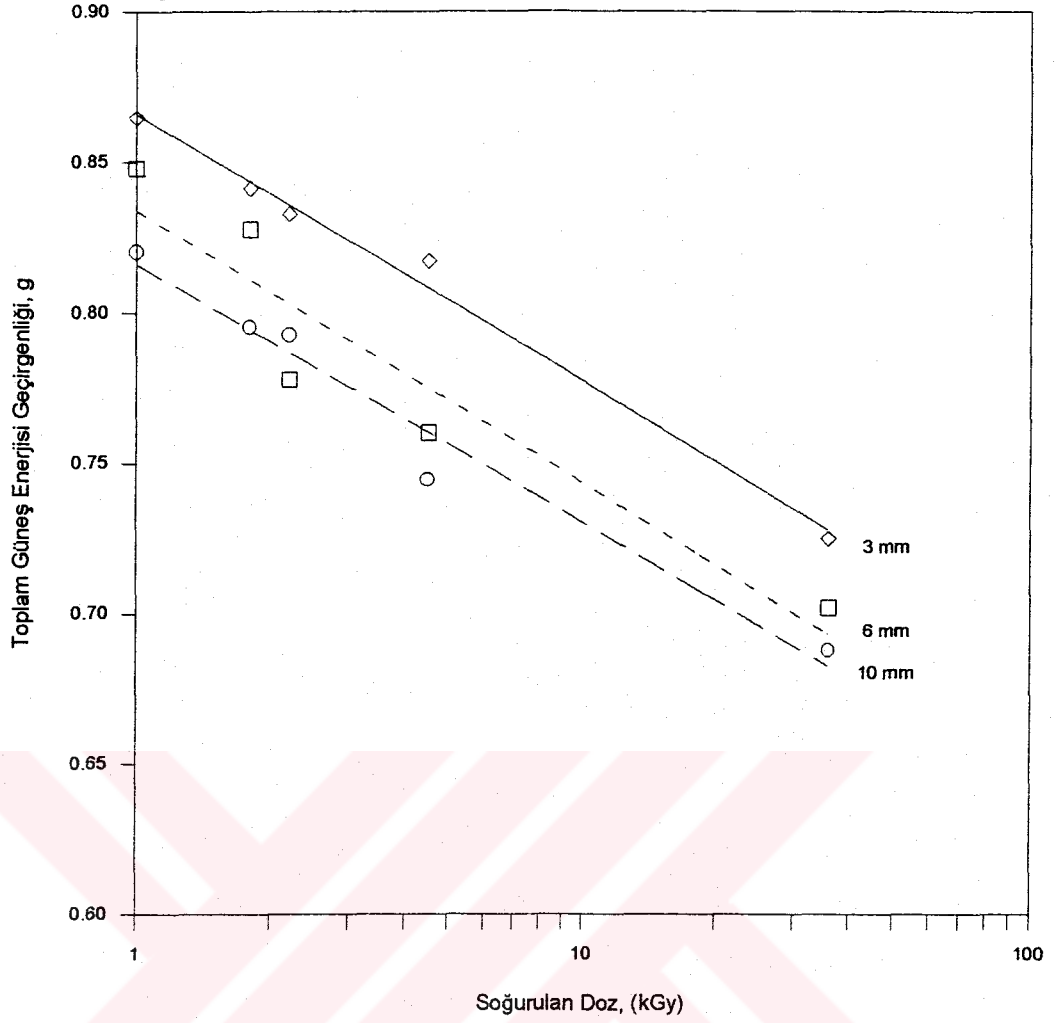
| Doz<br>(kGy) | $q_i$<br>3 mm | $q_i$<br>6 mm | $q_i$<br>10 mm | $g$<br>3 mm | $g$<br>6 mm | $g$<br>10 mm | Göl.K.<br>3 mm | Göl.K.<br>6 mm | Göl.K.<br>10 mm |
|--------------|---------------|---------------|----------------|-------------|-------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|
| 0.0          | 0.0062        | 0.0079        | 0.0115         | 0.9105      | 0.9096      | 0.9110       | 1.0347         | 1.0336         | 1.0351          |
| 1.0          | 0.0575        | 0.0750        | 0.1110         | 0.8648      | 0.8480      | 0.8200       | 0.9827         | 0.9636         | 0.9318          |
| 1.8          | 0.0850        | 0.1042        | 0.1414         | 0.8412      | 0.8277      | 0.7951       | 0.9559         | 0.9406         | 0.9035          |
| 2.2          | 0.0961        | 0.1230        | 0.1421         | 0.8327      | 0.7778      | 0.7926       | 0.9462         | 0.8838         | 0.9007          |
| 4.5          | 0.1127        | 0.1770        | 0.1988         | 0.8171      | 0.7601      | 0.7443       | 0.9285         | 0.8637         | 0.8458          |
| 36.0         | 0.2098        | 0.2414        | 0.2608         | 0.7250      | 0.7021      | 0.6878       | 0.8239         | 0.7978         | 0.7816          |

Şekil 7.9’da kurşun-alkali-silika camların soğurduğu doz karşısında, ikincil ısı geçiş katsayılarında oluşan değişimler görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, ikincil ısı geçiş katsayısının da arttığı görülmektedir. Ayrıca, cam kalınlığı arttıkça, incelenen camlardaki ikincil ısı geçiş katsayısında da bir artış olduğu tespit edilmiştir.



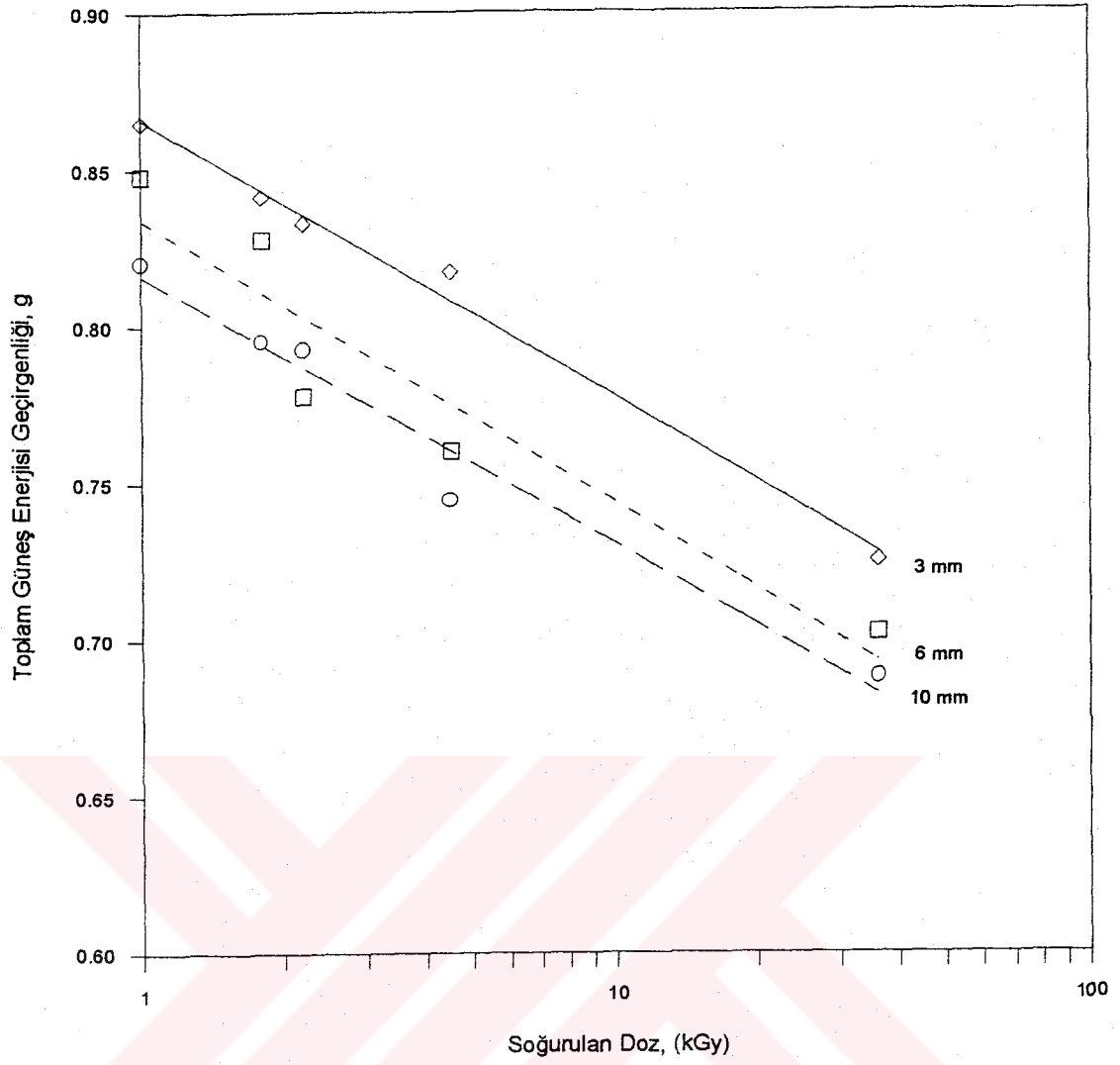
**Şekil 7.9** Kurşun-alkali-silika Camlarda, Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Gama Işınlara Maruz Kalmış Camlarda İkincil Isı Geçiş Katsayısının Değişimi

Şekil 7.10’de kurşun-alkali-silika camların soğurduğu doz karşısında, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinde oluşan değişimler görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Ancak, cam kalınlığı arttıkça, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinde de bir azalma oluştuğu tespit edilmiştir. İkincil ısı geçiş faktörünün en yüksek olduğu cam kalınlığı, 10 mm’lik kalınlık olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 7.10** Kurşun-alkali-silika Camlarda, Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Gama Işınlarna Maruz Kalmış Camlarda Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliğinde Meydana Gelen Değişim.

Şekil 7.11’de kurşun-alkali-silika camların soğurduğu doz karşısında, gölgeleme katsayısında oluşan değişimler görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, gölgeleme katsayısında azalma meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, cam kalınlığı arttıkça da, gölgeleme katsayısında bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu grafiğe göre, en düşük gölgeleme katsayısının 10 mm kalınlıktaki camlarda meydana geldiği ve uygulanan dozun artışıyla, gölgeleme katsayısının da giderek düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 7.11 Gölgeleme Katsayısında Meydana Gelen Değişim.

### 7.3.2. İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Teğetsel Işınlama Tüpü Kullanılarak Işınlanan Kurşun-Alkali-Silika Camların Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi

Tablo 7.6'da, Teğetsel Işınlama Tüpü kullanılarak yapılan ışınlamalarda, kurşun-alkali-silika camlardaki, güneş enerjisine yönelik (solar) ısı parametrelerin değişimi, görülmektedir. Bu tabloda, kurşun-alkali-silika camların güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerinde, nötronlar karşısında, önemli birtakım değişimler olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 7.6.** Kurşun-alkali-silika Camların, Teğetsel Işınlama Tüpü'nde Işınlanmasıyla, Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi.

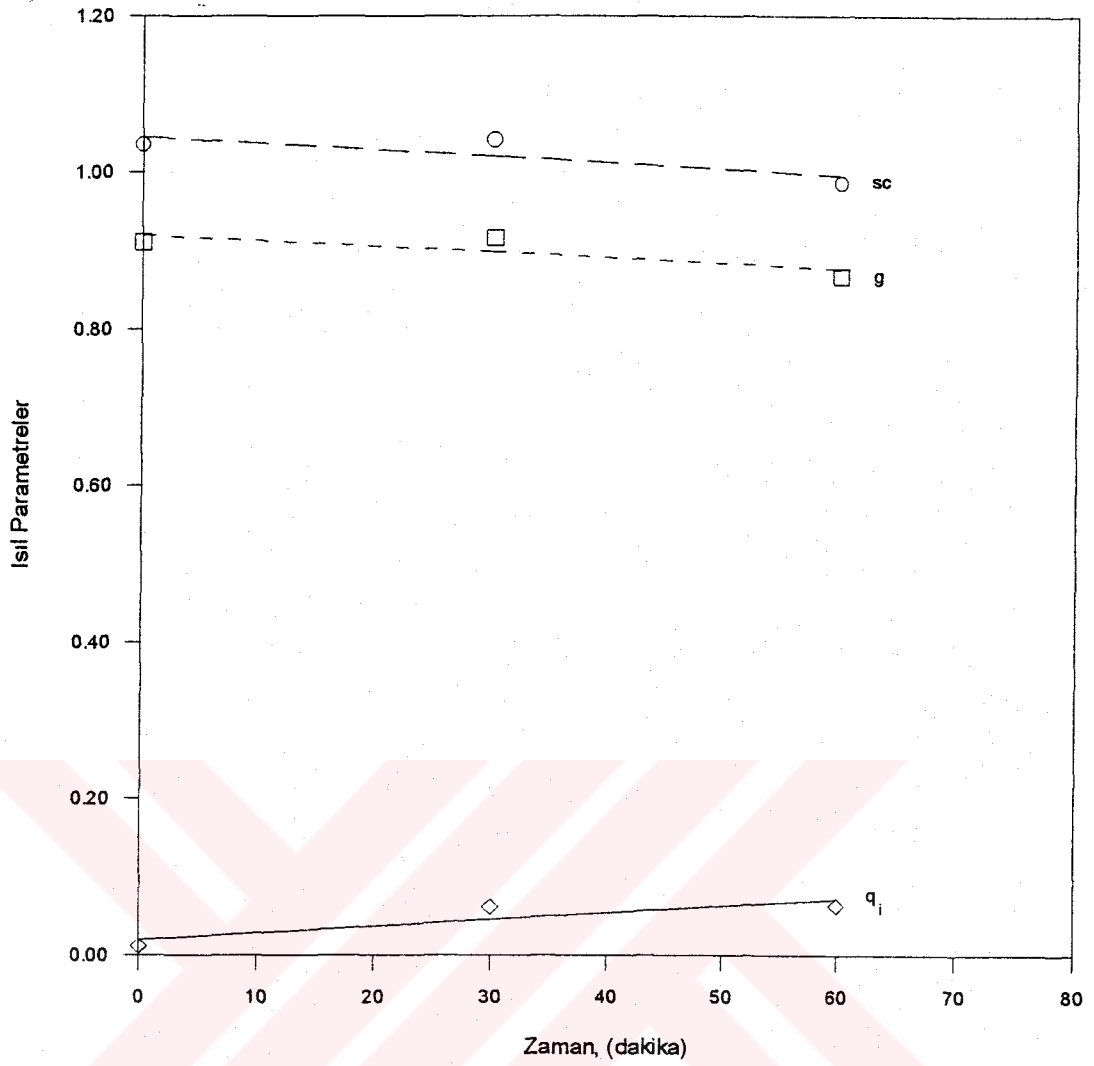
| Zaman<br>(dakika) | $q_i$  | $g$    | Gölgeleme<br>Katsayısı<br>$Sc$ |
|-------------------|--------|--------|--------------------------------|
| 0                 | 0.0115 | 0.9109 | 1.0351                         |
| 30                | 0.0619 | 0.9163 | 1.0412                         |
| 60                | 0.0633 | 0.8675 | 0.9857                         |

Şekil 7.12'de, Teğetsel Işınlama Tüpü'nde yapılan ışınlamalarla, nötronlara maruz kalmış, kurşun-alkali-silika camların, ikincil ısı geçiş faktörü, toplam güneş enerjisi geçirgenliği ve gölgeleme katsayısında oluşan değişimleri görülmektedir.

Şekil 7.12'de, Teğetsel Işınlama Tüpü içerisinde, camların ışınlama süresi arttıkça, ikincil ısı geçiş katsayısında artma oluşurken, toplam güneş enerjisi geçirgenliği ve gölgeleme katsayısında ise incelediğimiz bu camlara özgü karakteristik bir azalmanın meydana geldiği tespit edilmiş durumdadır.

Şekil 7.12'de, nötronların, kurşun-alkali-silika cam yapı ile etkileşimi sonucu ısı parametrelerde oluşan azalma, lineer karakterde meydana gelen bir değişimdir. Işınlama süresinin artması sonucu meydana gelen değişim toplam güneş enerjisi ve gölgeleme katsayısındaki değişim, lineer karakterde olup, oldukça yavaş bir değişim gösteren azalmadır.

Şekil 7.12 incelendiğinde, kurşun-alkali-silika camlarda, ikincil ısı geçiş faktöründe meydana gelen değişim, ışınlama süresinin artışı sonucu, lineer bir artış gösteren değişimdir. Söz konusu bu değişim incelediğimiz kurşun-alkali-silika camlara özgü bir değişim göstermektedir.



**Şekil 7.12** Teğetsel Işınlama Tüpü'nde Yapılan Işınlamalarla, Camlarda, İkincil Isı Geçiş Faktörü, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği ve Gölgeleme Katsayısında Meydana Gelen Değişim.

### 7.3.3. İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak Işınlanan Kurşun-Alkali-Silika Camların Güneş Enerjisine Yönelik (solar) Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi

Kurşun-alkali-silika camlarda, Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak, güneş enerjisine yönelik (solar) ısı parametrelerinin değişimi, Tablo 7.7'de görülmektedir. Bu tabloda, kurşun-alkali-silika camların güneş enerjisine yönelik (solar) ısı parametrelerinde,

nötron ve beta ışınlarından oluşan karışık radyasyon karşısında, önemli değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

**Tablo 7.7.** Kurşun-alkali-silika camların, Merkezi Işınlama Kanalı'nda Işınlanmasıyla, Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi.

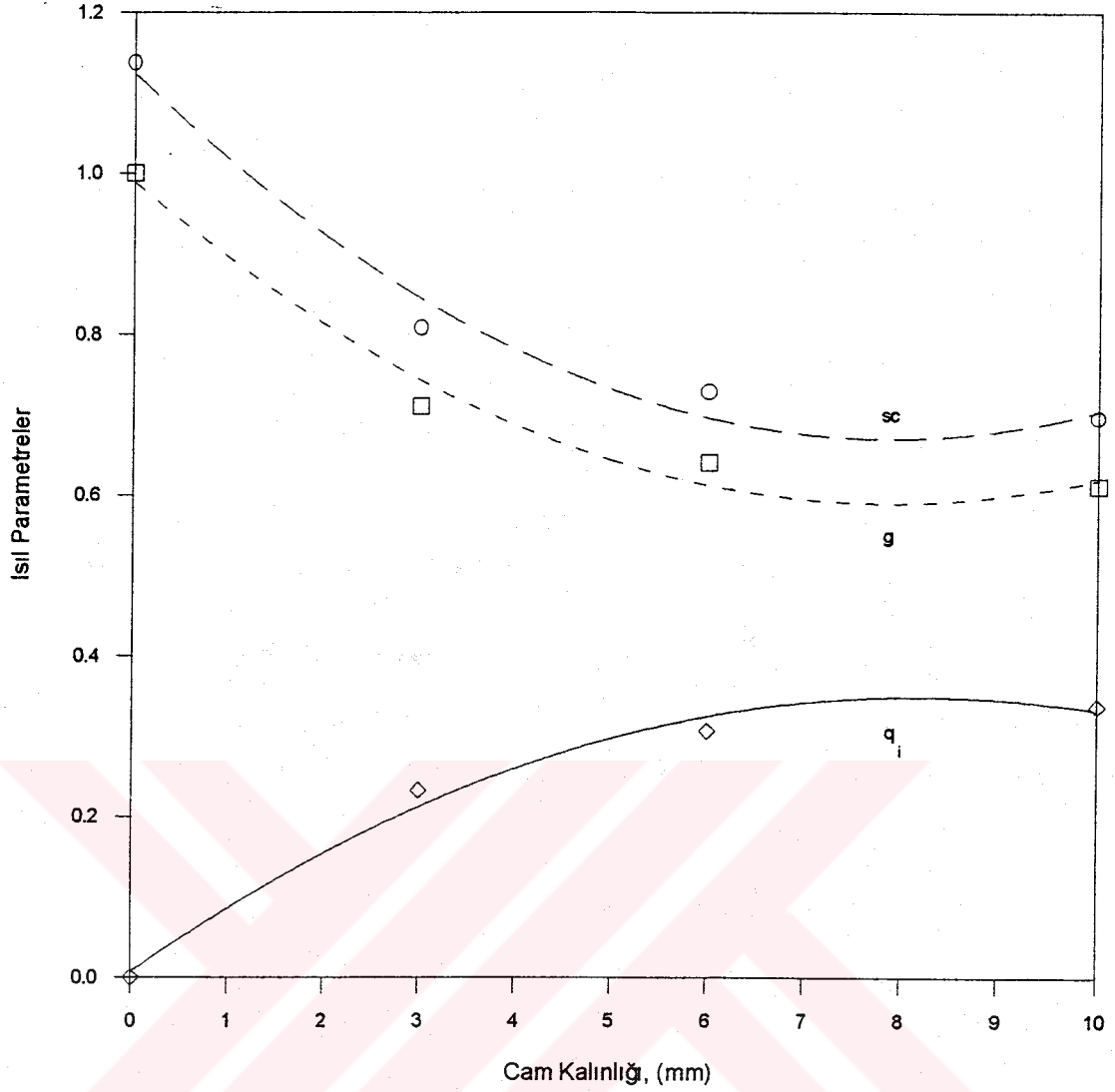
| Cam Kalınlığı (mm) | $q_i$  | $g$    | Gölgeleme Katsayısı $sc$ |
|--------------------|--------|--------|--------------------------|
| 0                  | 0.0000 | 1.0000 | 1.1364                   |
| 3                  | 0.2327 | 0.7105 | 0.8074                   |
| 6                  | 0.3072 | 0.6410 | 0.7284                   |
| 10                 | 0.3377 | 0.6126 | 0.6962                   |

Şekil 7.13'de, Merkezi Işınlama Kanalı'nda yapılan işinlamalarla, karışık radyasyona maruz kalmış, kurşun-alkali-silika camların, ikincil ısı geçiş katsayısı, toplam güneş enerjisi geçirgenliği ve gölgeleme katsayısında oluşan değişimleri görülmektedir.

Şekil 7.13'e göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, ikincil ısı geçiş faktöründe artma oluşurken, toplam güneş enerjisi geçirgenliği ve gölgeleme katsayısında ise, azalma meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 7.13'de, cam kalınlığı arttıkça da, ikincil ısı geçiş faktöründe üstel karakterde bir artış oluşurken, toplam güneş enerjisi geçirgenliği ve gölgeleme katsayısında ise üstel karakterde bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

Şekil 7.13'e göre yaklaşık 6 mm cam kalınlığından sonra, incelediğimiz camların ısı parametrelerinde doygunluğa ulaşıldığı görülmektedir. Cam kalınlığında, bu değerden sonra, Merkezi Işınlama Kanalı'nda ışınlanan, incelediğimiz bu camlar için, belirgin bir artış görülmemektedir.



**Şekil 7.13 İkincil Isı Geçiş Faktörü, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği ve Gölgeleme Katsayısında Meydana Gelen Değişim.**

#### **7.4. Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlarda Güneş EnerjisineYönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi**

Baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlar, diğer incelenen camlardan, farklı bir kimyasal kompozisyonda olup, özel olarak erimiş camın bir kalıp içine konulup, el presi yardımıyla şekillendirilmesi sayesinde üretilmiştir. Böylece, el emeği ile özel olarak elde edilen cam ürün üzerinde, çeşitli radyasyon tipleriyle yapılan incelemeler,

elde edilen bu özel camların, güneş enerjisine yönelik ısı parametre özelliklerini, ayrıca, tek, eşsiz ve değerli kılmaktadır.

#### 7.4.1. Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar İle Gama Kaynağı Kullanılarak Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi

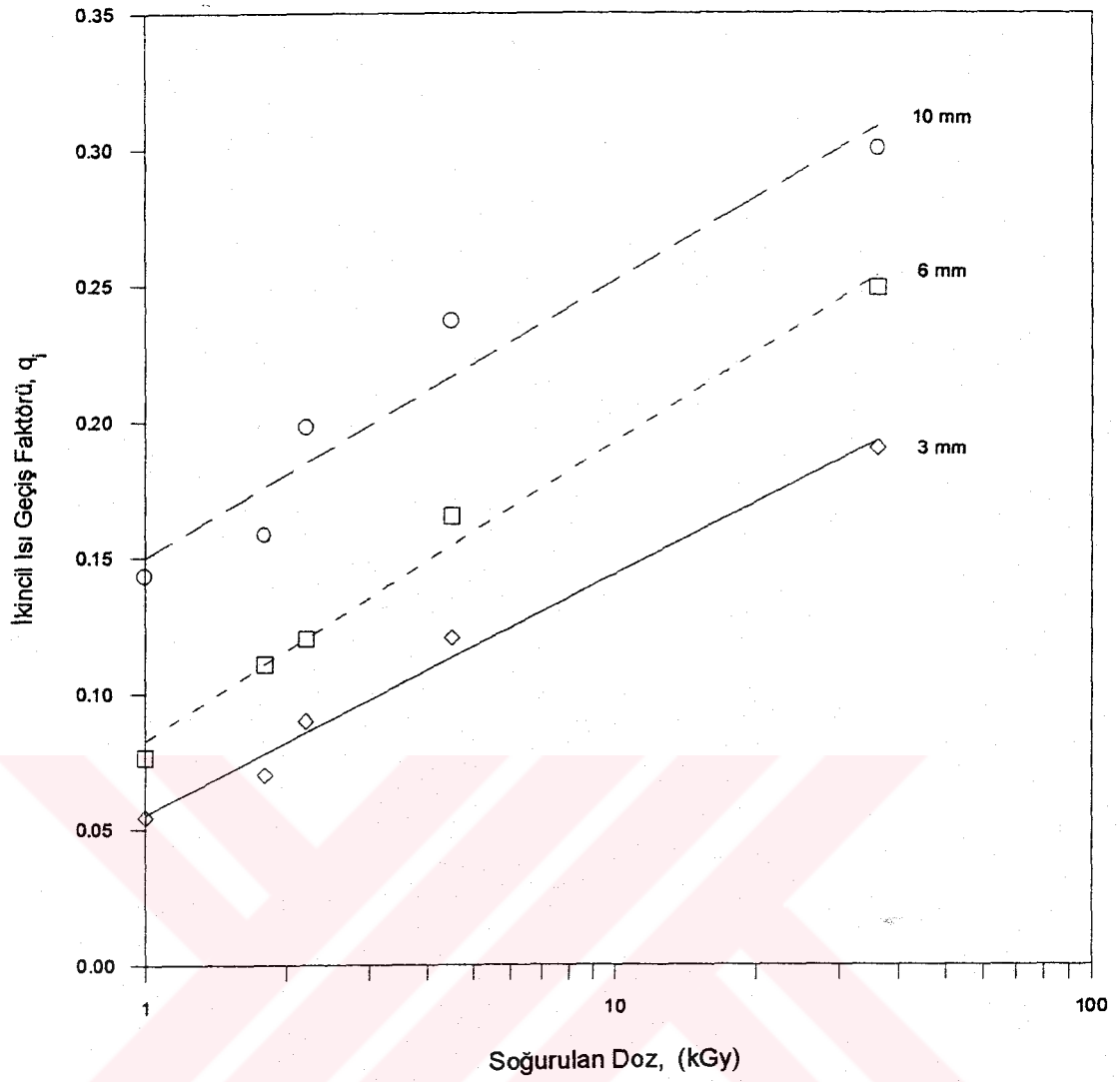
Baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda Co-60 radyoizotopu kullanılarak, güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerin değişimi Tablo 7.8’de görülmektedir. Bu tabloda, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, ikincil ısı geçiş faktörü ( $q_i$ ), toplam güneş enerjisi geçirgenliğinin ( $g$ ) ve gölgeleme katsayısının ( $sc$ ), gama ışınları karşısında birtakım değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

Özellikle 36 kGy doz almış camlardaki, güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerde, en yüksek değişimlerin meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, 10 mm kalınlıktaki baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlardaki güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerde, 36 kGy doz almış camların, hiç doz almamış camlara göre, oldukça belirgin değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

Şekil 7.14’de baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların soğurduğu doz karşısında, ikincil ısı geçiş faktöründe oluşan değişimler görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, ikincil ısı geçiş faktörünün de arttığı görülmektedir. Ayrıca, cam kalınlığı arttıkça, ikincil ısı geçiş faktöründe de bir artış olduğu tespit edilmiştir.

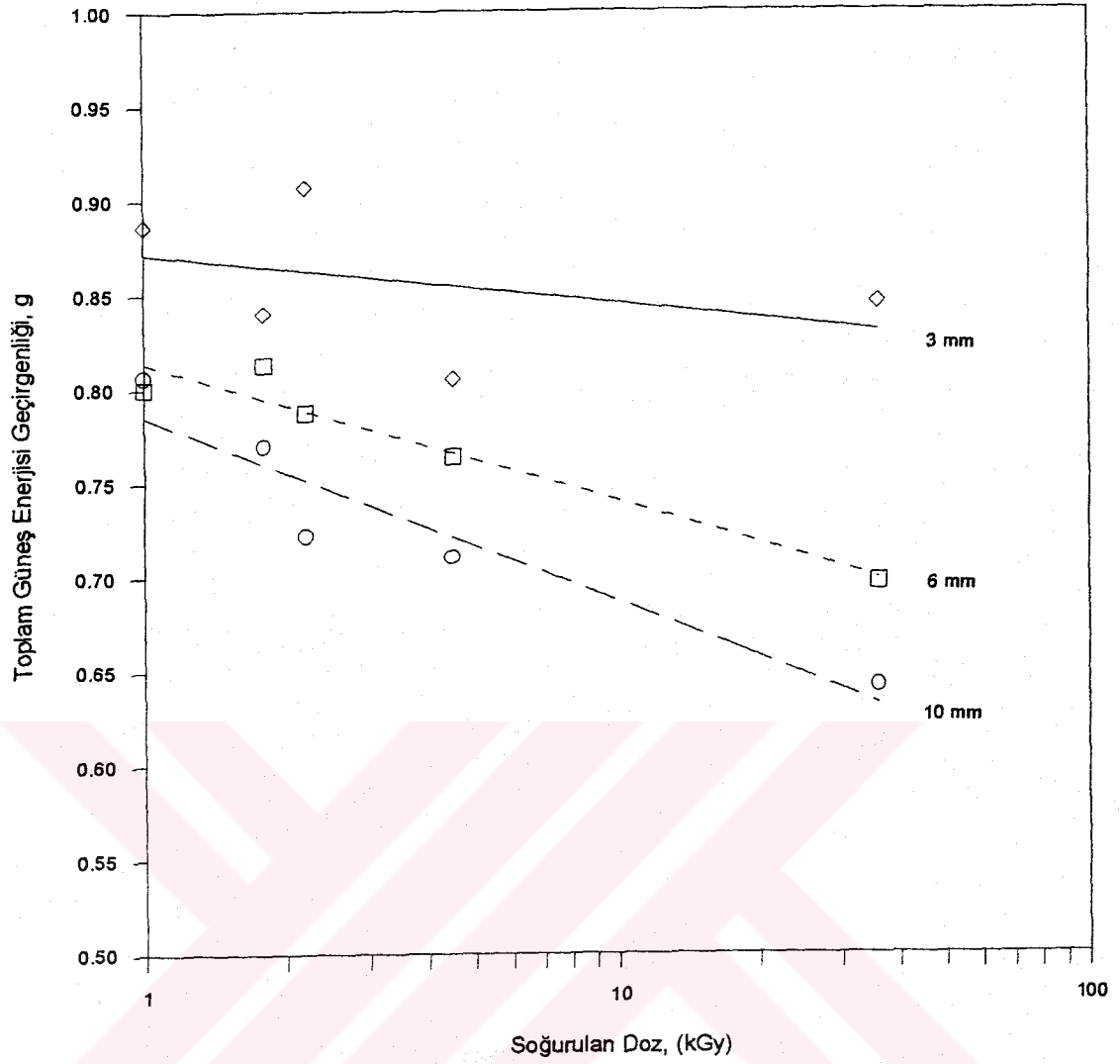
**Tablo7.8. İncelenen Camlarda, Co-60 Radyoizotopu Kullanılarak Isıl Parametrelerin Değişiminin İncelenmesi.**

| Doz<br>(kGy) | $q_i$<br>3 mm | $q_i$<br>6 mm | $q_i$<br>10 mm | $g$<br>3 mm | $g$<br>6 mm | $g$<br>10 mm | Göl.K.<br>3 mm | Göl.K.<br>6 mm | Göl.K.<br>10 mm |
|--------------|---------------|---------------|----------------|-------------|-------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|
| 0.0          | 0.0037        | 0.0100        | 0.0175         | 0.8627      | 0.7915      | 0.7491       | 0.9803         | 0.8994         | 0.8512          |
| 1.0          | 0.0544        | 0.0765        | 0.1430         | 0.8862      | 0.8002      | 0.8063       | 1.0071         | 0.9093         | 0.9163          |
| 1.8          | 0.0700        | 0.1107        | 0.1582         | 0.8402      | 0.8131      | 0.7698       | 0.9548         | 0.9240         | 0.8748          |
| 2.2          | 0.0898        | 0.1201        | 0.1977         | 0.9068      | 0.7875      | 0.7219       | 1.0305         | 0.8948         | 0.8203          |
| 4.5          | 0.1203        | 0.1651        | 0.2366         | 0.8048      | 0.7636      | 0.7102       | 0.9145         | 0.8677         | 0.8070          |
| 36.0         | 0.1900        | 0.2488        | 0.2999         | 0.8452      | 0.6972      | 0.6419       | 0.9604         | 0.7923         | 0.7294          |



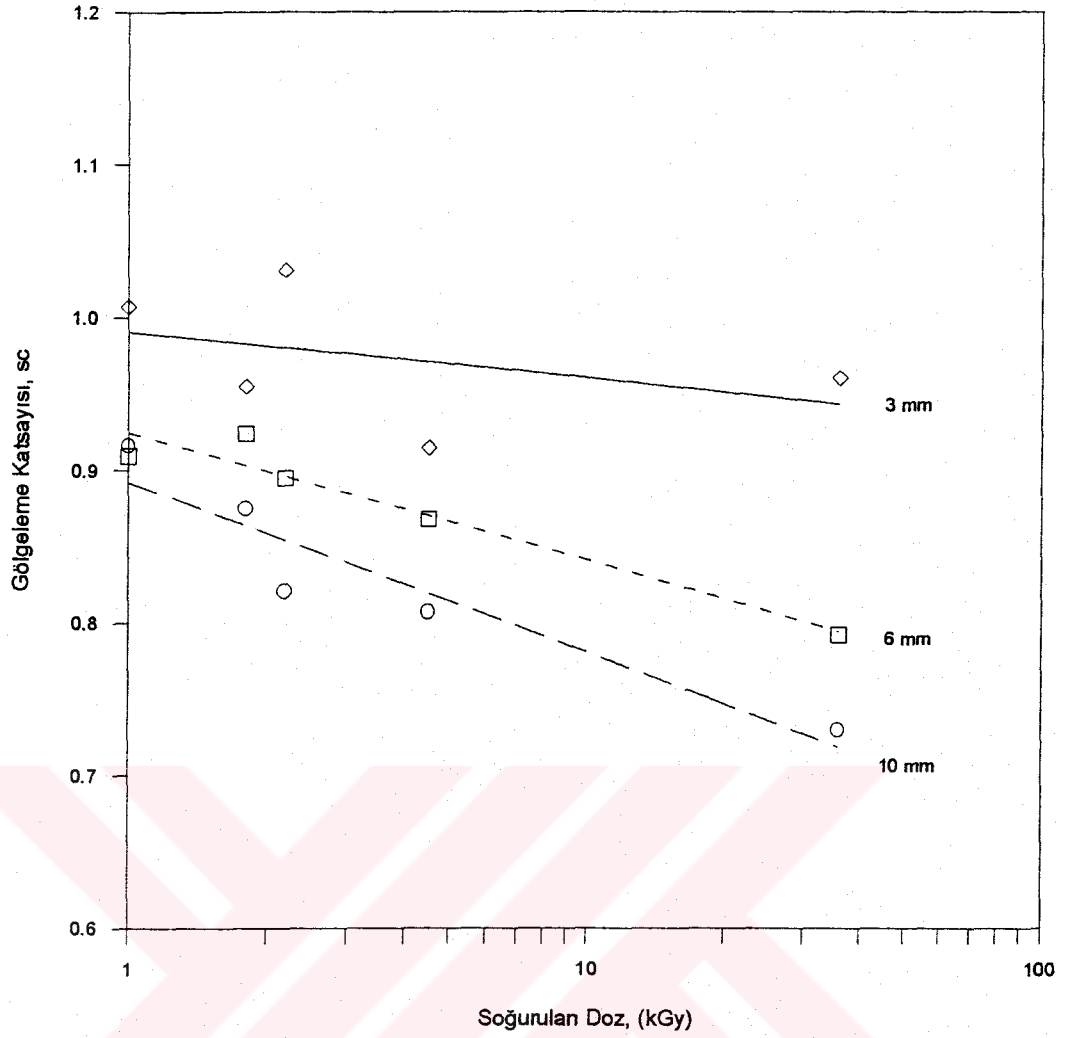
**Şekil 7.14 İkincil Isı Geçiş Faktörünün Değişimi**

Şekil 7.15’de baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların soğurduğu doz karşısında, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinde oluşan değişimler görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, cam kalınlığı arttıkça, toplam güneş enerjisi geçirgenliğinde de bir azalma olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 7.15. Co-60 Radyoizotopu Maruz Kalmış Camlarda Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliğinde Meydana Gelen Değişim.**

Şekil 7.16'de baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların soğurduğu doz karşısında, gölgeleme katsayısında oluşan değişimler görülmektedir. Bu grafiğe göre, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, gölgeleme katsayısında azalma meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, cam kalınlığı arttıkça da, gölgeleme katsayısında bir azalma olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 7.16 Co-60 Radyoizotopuna Maruz Kalmış Camlardaki Gölgeleme Katsayısında Meydana Gelen Değişim.**

#### **7.4.2. Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar ile İTÜ NEE TRIGA Mark-II Eğitim ve Araştırma Reaktörü Merkezi Işınlama Kanalı Kullanılarak, Güneş Enerjisine (Solar) Yönelik Isıl Parametrelerin Değerlendirilmesi**

Baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak, güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerinin değişimi, Tablo 7.9'da görülmektedir. Bu tabloda, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerinde, nötron ve beta ışınlarından oluşan karışık radyasyon karşısında, önemli değişimler gösterdiği, tespit edilmiştir.

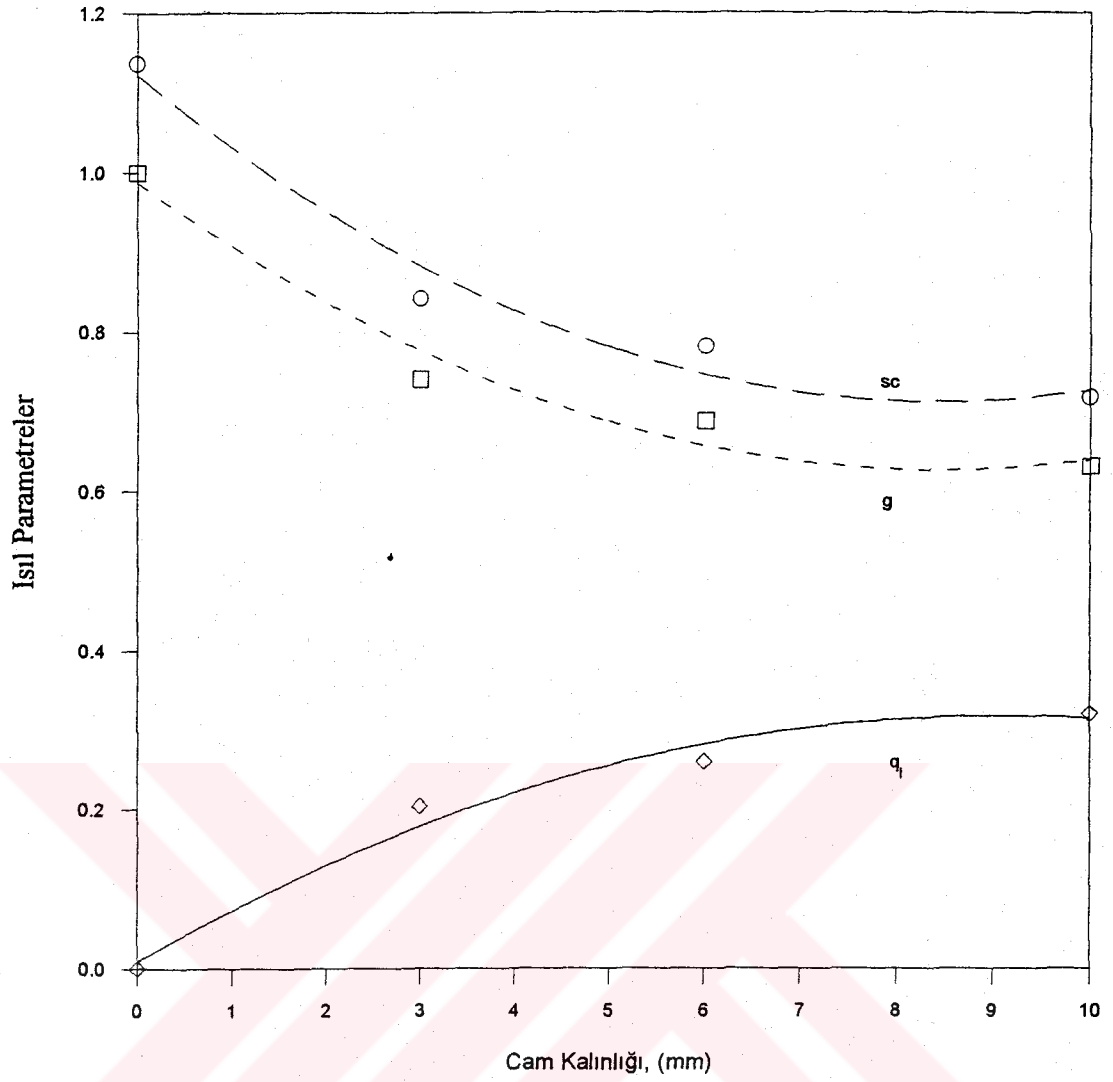
**Tablo 7.9.** Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camların, Merkezi Işınlama Kanalı'nda Işınlanmasıyla, Isıl Parametrelerin Değişimi.

| Cam Kalınlığı (mm) | $q_i$  | $g$    | Gölgeleme Katsayısı $sc$ |
|--------------------|--------|--------|--------------------------|
| 0                  | 0.0000 | 1.0000 | 1.1364                   |
| 3                  | 0.2037 | 0.7400 | 0.8409                   |
| 6                  | 0.2597 | 0.6873 | 0.7810                   |
| 10                 | 0.3200 | 0.6310 | 0.7171                   |

Şekil 7.17'de, Merkezi Işınlama Kanalı'nda yapılan ışınlamalarla, karışık radyasyona maruz kalmış, kurşun-alkali-silika camların, ikincil ısı geçiş faktörü, toplam güneş enerjisi geçirgenliği ve gölgeleme katsayısında oluşan değişimler ifade edilmektedir.

Şekil 7.17'de, yapılan değerlendirmeler, camların maruz kaldığı karışık radyasyon dozunu daha sağlıklı ifade edebilmek amacıyla, cam kalınlığındaki değişim göz önüne alınarak yapılmıştır. Böylelikle, Avrupa Standartları'nda kullanımı tavsiye edilen (ASTM-E30866), 10 mm kalınlıktaki camlardan başka, 3 ve 6 mm kalınlıktaki incelediğimiz camların da maruz kaldığı yüksek radyasyon dozu göz önüne alınarak, karşılaştırmalı bir şekilde, radyasyon güvenliği açısından daha sağlıklı değerlendirmeler yapılmaya çalışılmıştır.

Şekil 7.17'de, cam tarafından soğurulan doz arttıkça, ikincil ısı geçiş faktöründe artma oluşurken, toplam güneş enerjisi geçirgenliği ve gölgeleme katsayısında ise azalma meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca, cam kalınlığı arttıkça da, ikincil ısı geçiş katsayısında artış oluşurken, toplam güneş enerjisi geçirgenliği ve gölgeleme katsayısında bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 7.17 İkincil Isı Geçiş Faktörü, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği ve Gölgeleme Katsayısında Meydana Gelen Değişim.

#### 7.5. İncelenen Dört Farklı Cam Tipine Göre Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerin Karşılaştırılması

Çeşitli tipteki radyasyon kaynakları kullanılarak, soda-kireç-silika, borosilikat ve kurşun alkali-silika camlar ile Ba ve B taşıyan özel optik kireçli camların, ikincil ısı geçiş faktörü ( $q_i$ ), toplam güneş enerjisi geçirgenliği ( $g$ ) ve gölgeleme katsayısı ( $sc$ ), çeşitli grafiklerle değerlendirilmeye çalışılmıştır. İncelenen, 3, 6 ve 10 mm cam kalınlıklar arasında, en fazla renklenmenin, 10 mm kalınlıktaki camlarda meydana

gelmesinden dolayı; gölgelendirme katsayısı teriminin değerlendirilmesinde, 10 mm kalınlıktaki camların, özellikle, önem taşıdığı düşünülmektedir.

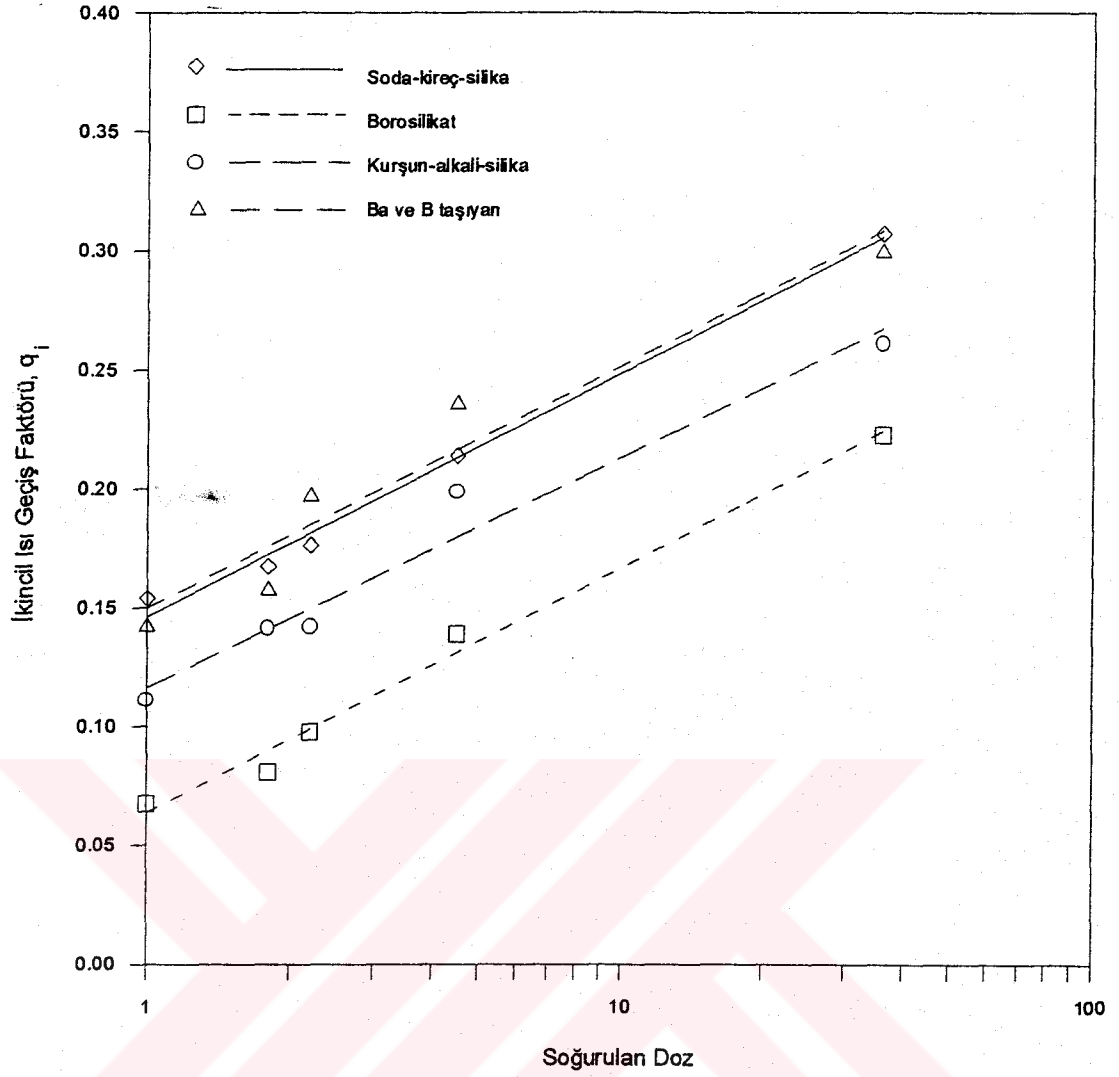
Gama radyasyonu olarak; Co-60 radyoizotopu, nötron kaynağı olarak; Teğetsel Işınlama Tüpü ve karışık radyasyon kaynağı olarak; Merkezi Işınlama Kanalı kullanılmış olup, yapılan incelemelerle, güneş enerjisine yönelik ısı geçirgenliğinin ve dolayısıyla gölgeleme katsayısının, en yüksek olduğu ısıtılmış cam, belirlenmeye çalışılmıştır.

#### **7.5.1 Gama Kaynağı Kullanılarak İncelenen Dört Farklı Cam Tipinin Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerinin Karşılaştırılması**

Soda-kireç-silika, borosilikat ve kurşun-alkali-silika camlar ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda yapılan incelemelerde, gama ışınları karşısında, en fazla kararak gölgelenmenin, 36 kGy doz almış camlarda meydana geldiği görülmüştür.

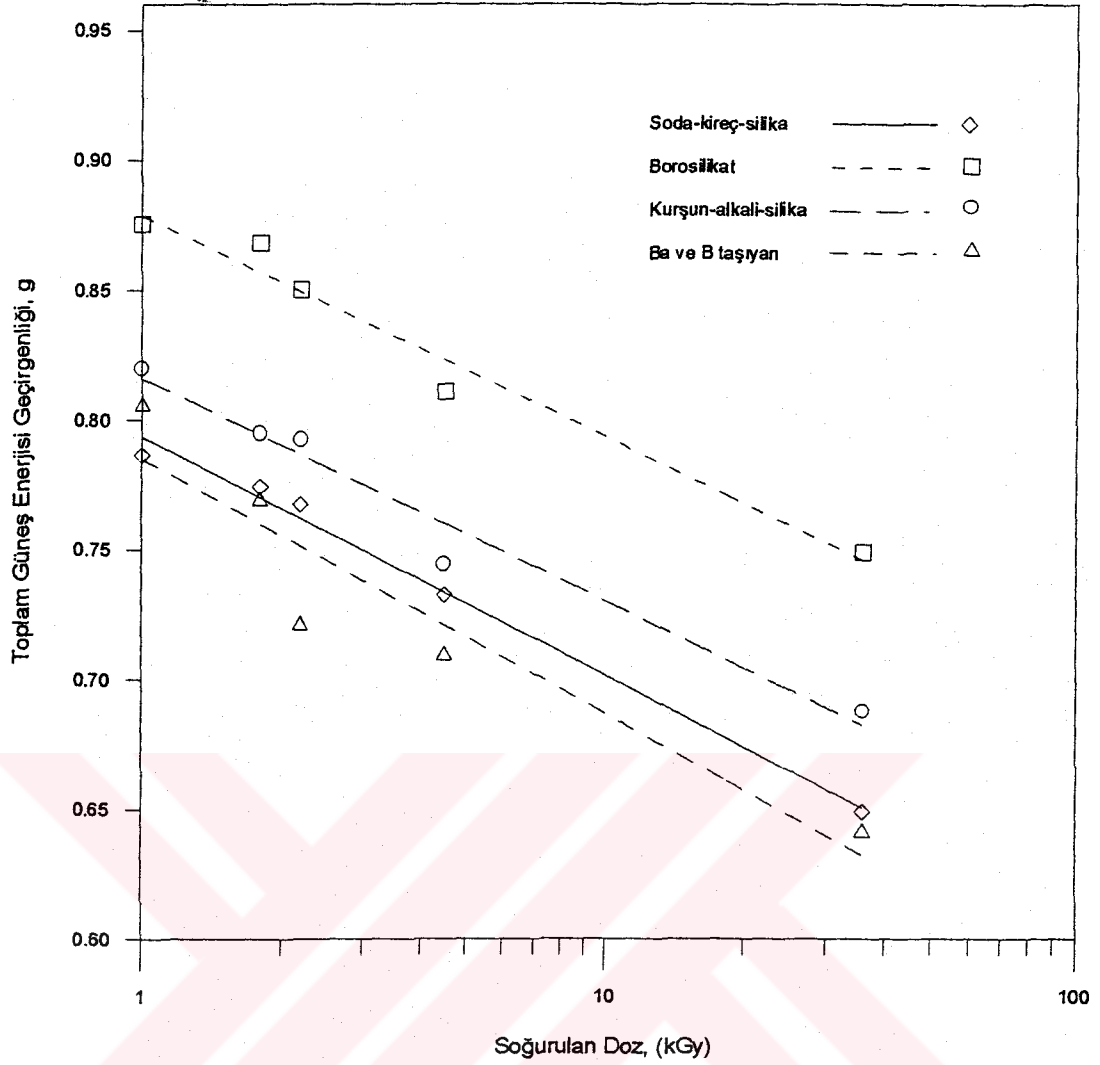
Şekil 7.18'de soda-kireç-silika, borosilikat ve kurşun-alkali-silika camlar ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, maruz kaldıkları gama radyasyonuna bağlı olan, ikincil ısı geçiş faktörü değişimi görülmektedir. Bu grafiğe göre; incelenen dört cam tipinde de, logaritmik eksenle, giderek artan lineer bir artış olduğu görülmektedir.

Co-60 radyoizotopu kullanılarak gama radyasyonuna maruz kalmış dört farklı cam tipi içinde, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların en yüksek, ikincil ısı geçiş faktörü değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu değerler, soda-kireç-silika camlardaki değerlerle karşılaştırıldığında, birbirine oldukça yakındır. Ancak, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlardaki, ikincil ısı geçiş faktörü değerlerinin, bir miktar daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu grafikte, en düşük, ikincil ısı geçiş faktörüne sahip camların ise, borosilikat camlar olduğu görülmektedir.



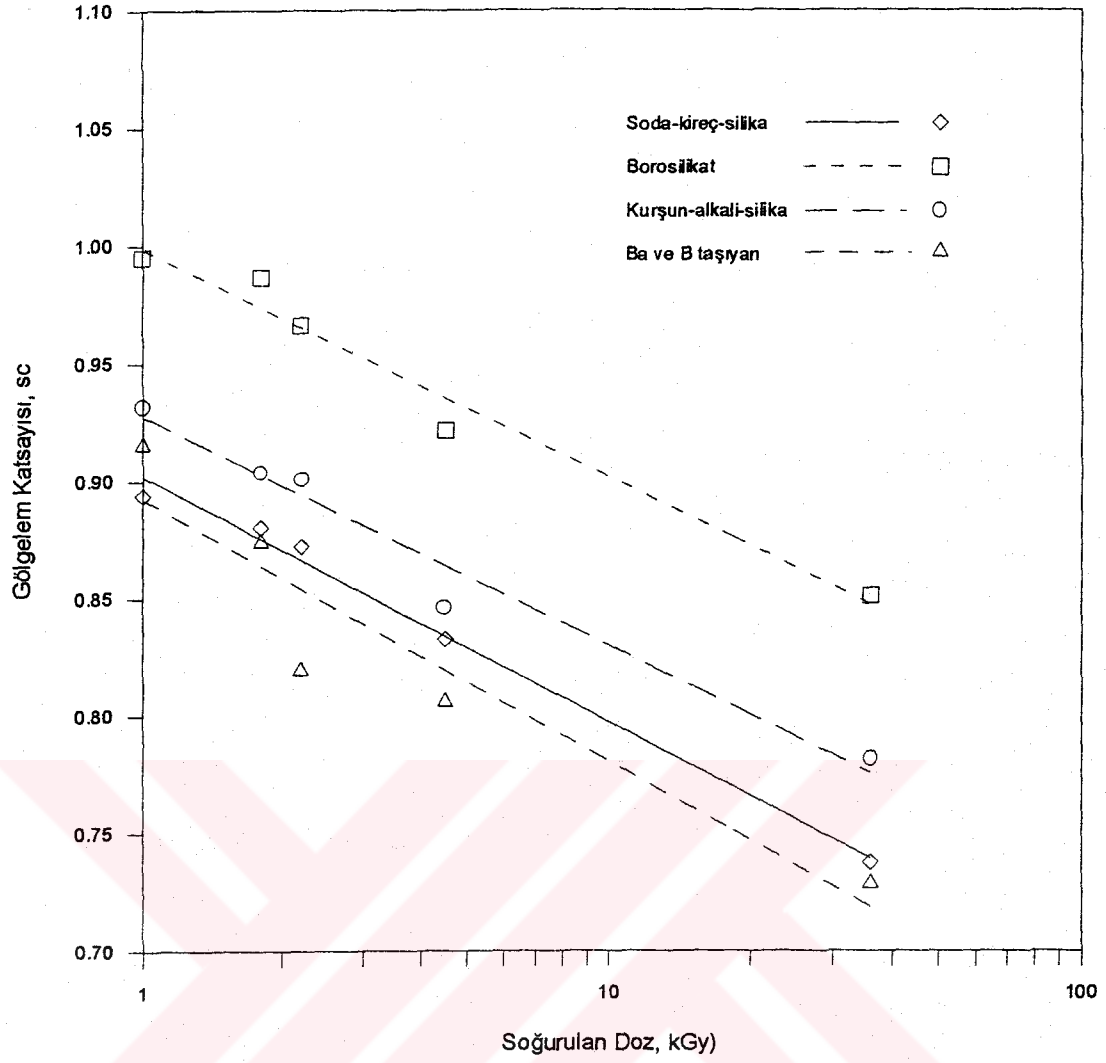
**Şekil 7.18** Soğurulan Doza Bağlı Olarak, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, İkincil Isı Geçiş Faktörleri Değişimi.

Şekil 7.19'da soda-kireç-silika, borosilikat ve kurşun-alkali-silika camlar ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, maruz kaldıkları gama ışınları karşısında toplam güneş enerjisi geçirgenliği değişimi görülmektedir. Bu grafiğe göre; incelenen dört cam tipinde de, uygulanan radyasyon dozundaki artışa bağlı olarak, logaritmik eksenle giderek azalan lineer bir değişim olduğu görülmektedir. Gama ışınlarına maruz kalmış, dört farklı cam tipi içinde, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, en düşük, toplam güneş enerjisi geçirgenliği değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu grafikte, en yüksek, toplam güneş enerjisi geçirgenliğine sahip camların ise, borosilikat camlar olduğu görülmektedir.



**Şekil 7.19** Soğurdukları Doza Bağlı Olarak, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği Değişimi.

Şekil 7.20'de soda-kireç-silika, borosilikat ve kurşun-alkali-silika camlar ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, maruz kaldıkları gama ışınları karşısında, gölgeleme katsayısı değişimi görülmektedir. Bu grafiğe göre; incelenen dört cam tipinde de, uygulanan radyasyon dozundaki artışa bağlı olarak, logaritmik eksenle giderek azalan lineer bir değişim olduğu görülmektedir. Gama ışınlarına maruz kalmış, dört farklı cam tipi içinde, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, en düşük, gölgeleme katsayısı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. En yüksek, gölgeleme katsayısına sahip camların ise, borosilikat camlar olduğu görülmektedir.



**Şekil 7.20** Soğurdukları Doza Bağlı Olarak, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, Gölgeleme Katsayısı Değişimi.

Şekil 7.20’de yapılan incelemelere göre, özellikle, camlarda karararak gölgelenme, gölgelenme katsayısı olarak tespit edilmeye çalışıldığından; uygulanan en yüksek doz seviyesi olan, 36 kGy doz almış, 10 mm kalınlıktaki camların, güneş enerjisine yönelik (solar) ısı parametrelerinin oldukça belirgin sayılabilecek birtakım değişimler gösterdiği tespit edilmiştir. İncelediğimiz camlardaki değişimlerin bu camların kimyasal kompozisyonundan kaynaklanan değişimlerde arz ettiği düşünülmektedir.

### 7.5.2 Nötronlarla Yapılan İncelemelerde Dört Farklı Cam Tipinin Güneş Enerjisine Yönelik (Solar) Isıl Parametrelerinin Karşılaştırılması

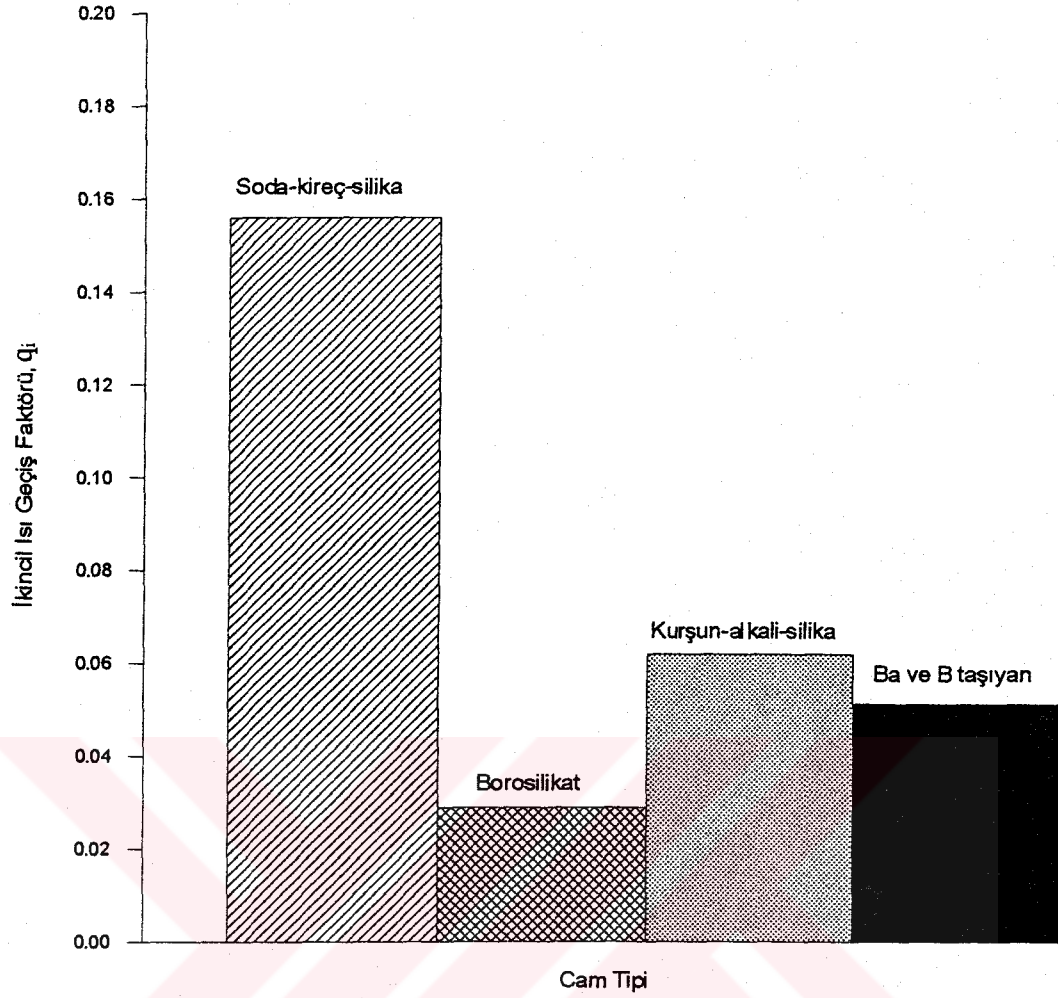
Nötronlarla çalışabilmek amacıyla, Teğetsel Işınlama Tüpü'nde ışınlamalar yapılmıştır. Teğetsel Işınlama Tüpü içerisine yerleştirilerek, 30 dakika boyunca ısıtılan, 10 mm kalınlıktaki, dört farklı tipteki camda, güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerin, önemli sayılabilecek bir şekilde değiştiği görülmüştür.

Şekil 7.21'de, nötronlarla ısıtılan, soda-kireç-silika, borosilikat, kurşun-alkali-silika camlar ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, ikincil ısı geçiş faktörü değişimi görülmektedir.

Şekil 7.21'deki grafiğe göre, incelenen dört farklı cam tipi arasında, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların en düşük değerdeki, ikincil ısı geçiş faktörüne ve soda-kireç-silika camların ise, en yüksek ikincil ısı geçiş faktörüne sahip camlar olduğu düşünülmektedir.

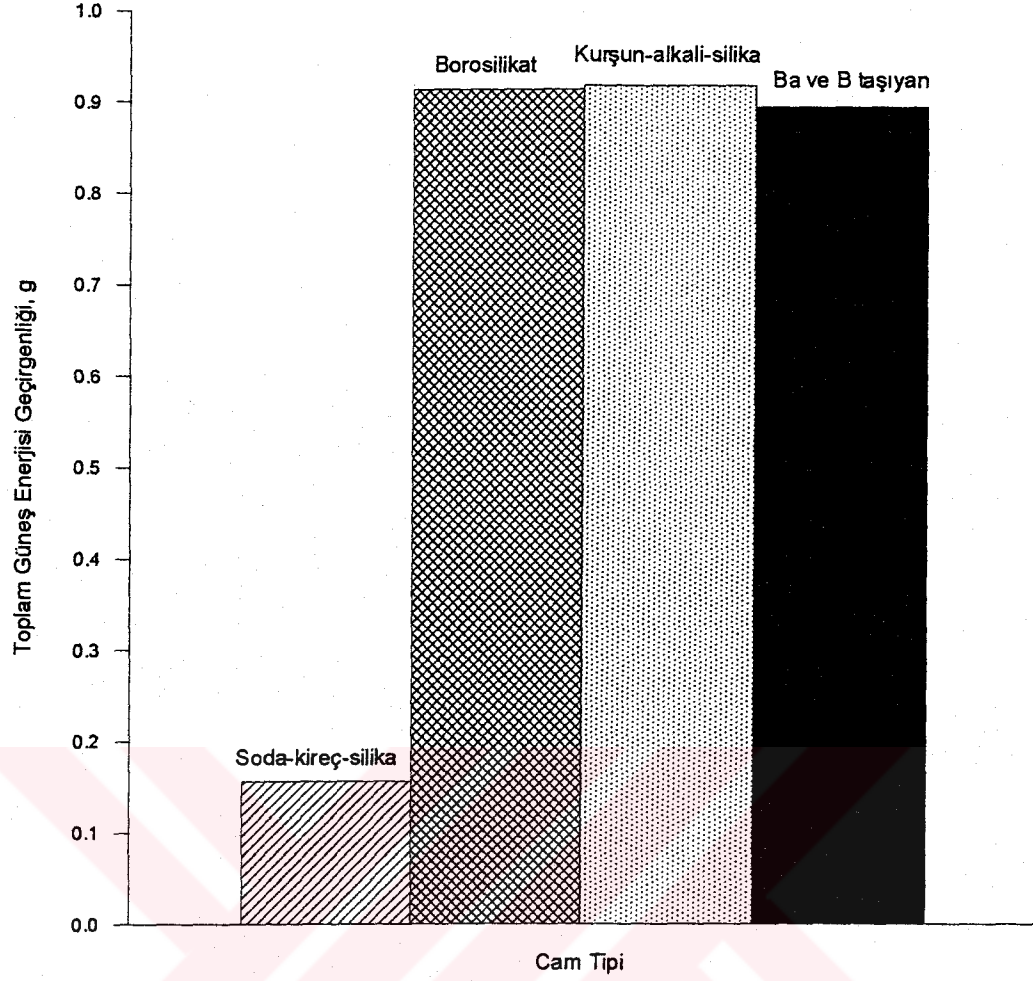
Şekil 7.22'de soda-kireç-silika ve kurşun-alkali-silika camlar ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, toplam güneş enerjisi geçirgenliği değişimi görülmektedir.

Şekil 7.22'de nötronlara maruz kalmış, dört farklı cam tipi karşılaştırıldığında, kurşun-alkali-silika, borosilikat ve baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, toplam güneş enerjisi (solar) geçirgenliği bakımından birbirine oldukça yakın değerler gösterdiği tespit edilmiştir.



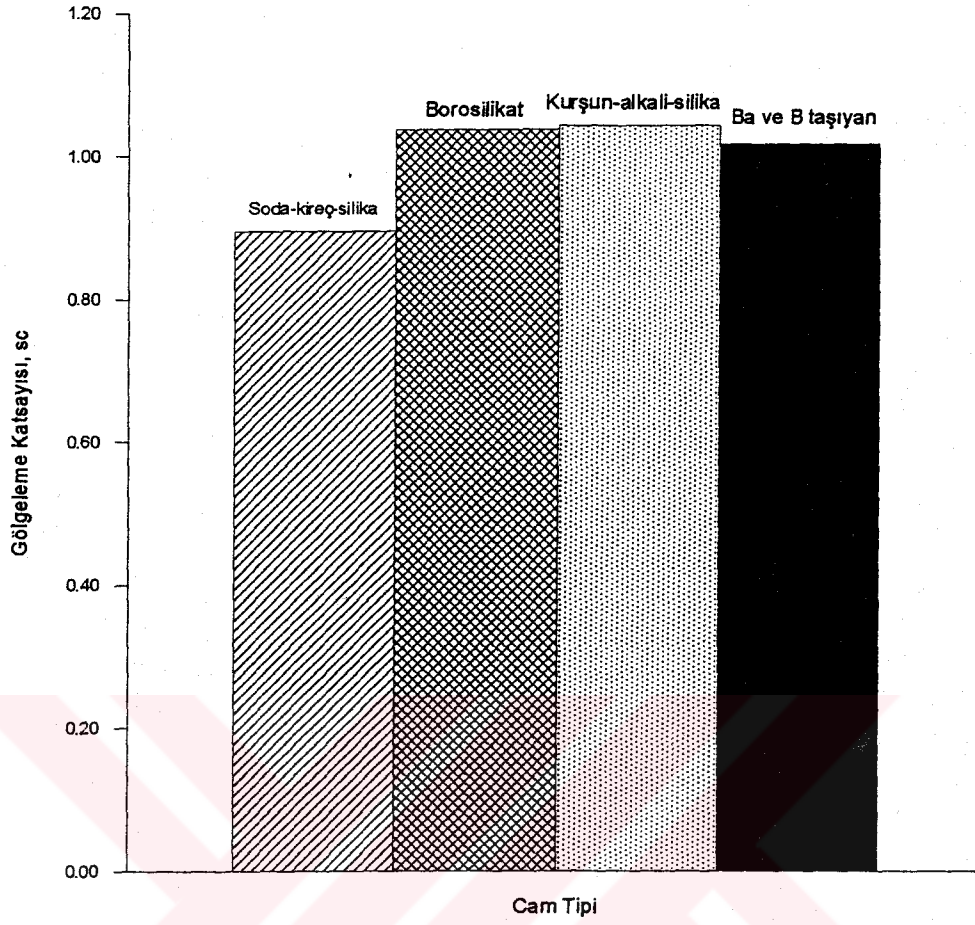
**Şekil 7.21** Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, İkincil Isı Geçiş Faktörleri Değişimi.

Şekil 7.22’de, en yüksek, toplam güneş enerjisi geçirgenliği değerlerine sahip olan camların, kurşun-alkali-silika camlar olduğu görülmektedir. Bu grafikte, en düşük, toplam güneş enerjisi geçirgenliğine sahip karşılaştırılan camların ise, soda-kireç-silika camlar olduğu görülmektedir.



**Şekil 7.22** Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği Değişimi.

Şekil 7.23'de soda-kireç-silika ve kurşun-alkali-silika camlar ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, maruz kaldıkları nötronlar karşısında, gölgeleme katsayısı değişimi görülmektedir. Nötronlara maruz kalmış, dört farklı cam tipine göre, kurşun-alkali-silika camların, en yüksek, gölgeleme katsayısı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu grafikte, en düşük, gölgeleme katsayısı değerine sahip camların ise, soda-kireç-silika camlar olduğu tespit edilmiş durumdadır.



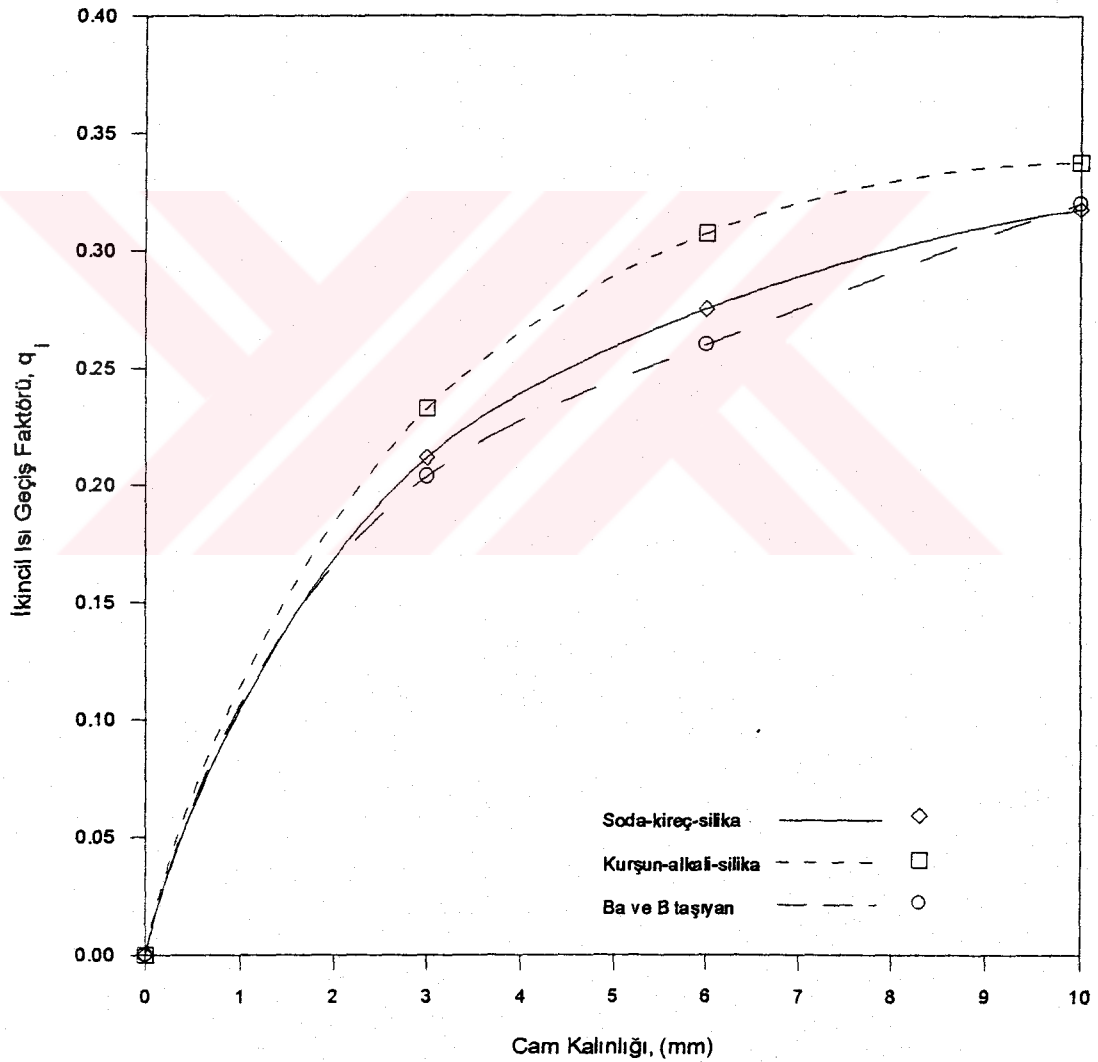
**Şekil 7.23** Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, Gölgeleme Katsayısı Değişimi.

### **7.5.3 Karışık Radyasyon Yapılan İncelemelerde Farklı Cam Tiplerinin Güneş Enerjisine Yönelik Isıl Parametrelerinin Karşılaştırılması**

Üç farklı radyasyon çeşidiyle, aynı anda çalışabilmek amacıyla, Merkezi Işınlama Kanalıında ışınlamalar yapılmıştır. Gama ışınları ile nötron ve beta ışınlarından oluşan, karışık radyasyona aynı anda maruz kalan, üç farklı tipteki camda, cam kalınlığındaki artışa bağlı olarak, güneş enerjisine yönelik ısıl parametrelerin, önemli sayılabilecek şekilde değişim gösterdiği görülmüştür.

Şekil 7.24'de soda-kireç-silika ve kurşun-alkali-silika camlar ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, maruz kaldıkları karışık radyasyon karşısında, ikincil ısı geçiş faktörü değişimi görülmektedir. Bu grafiğe göre; incelenen üç cam tipinde de, cam kalınlığındaki artışa bağlı olarak, eksponansiyel bir şekilde, giderek artan bir değişim olduğu gözlenmektedir.

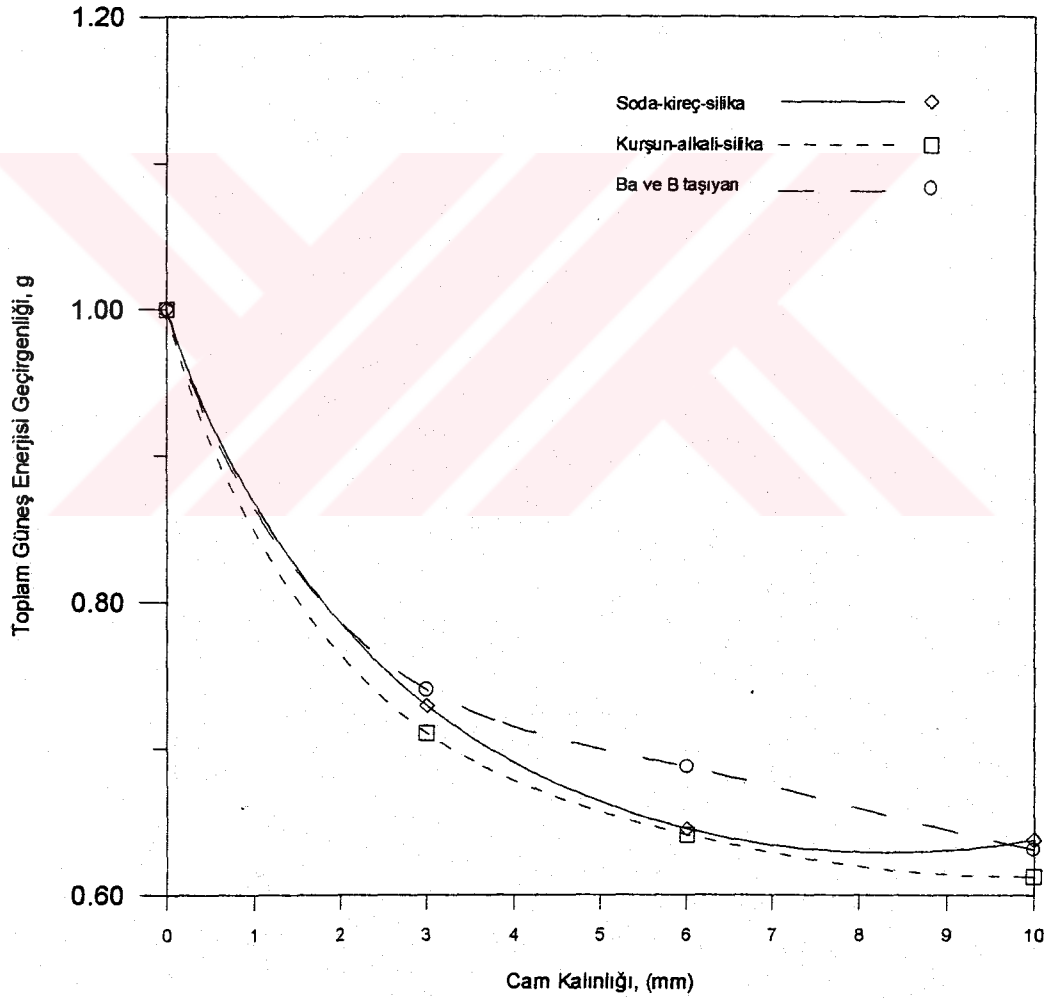
Karışık radyasyona maruz kalmış, üç farklı cam tipi içinde, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, en düşük değerdeki, ikincil ısı geçiş faktörüne sahip olduğu görülmektedir. Bu grafikte, en yüksek, ikincil ısı geçiş faktörüne sahip camların ise, kurşun-alkali-silika camlar olduğu görülmektedir



Şekil 7.24. Merkezi Işınlama Kanalımda Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, İkincil Isı Geçiş Faktörleri Değişimi.

Şekil 7.25'de soda-kireç-silika ve kurşun-alkali-silika camlar ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, cam kalınlığına bağlı olarak, toplam güneş enerjisi geçirgenliği değişimi görülmektedir. Bu grafiğe göre; incelenen üç cam tipinde de, uygulanan radyasyon dozundaki artışa bağlı olarak, eksponansiyel karakterde, giderek azalan bir değişim olduğu görülmektedir.

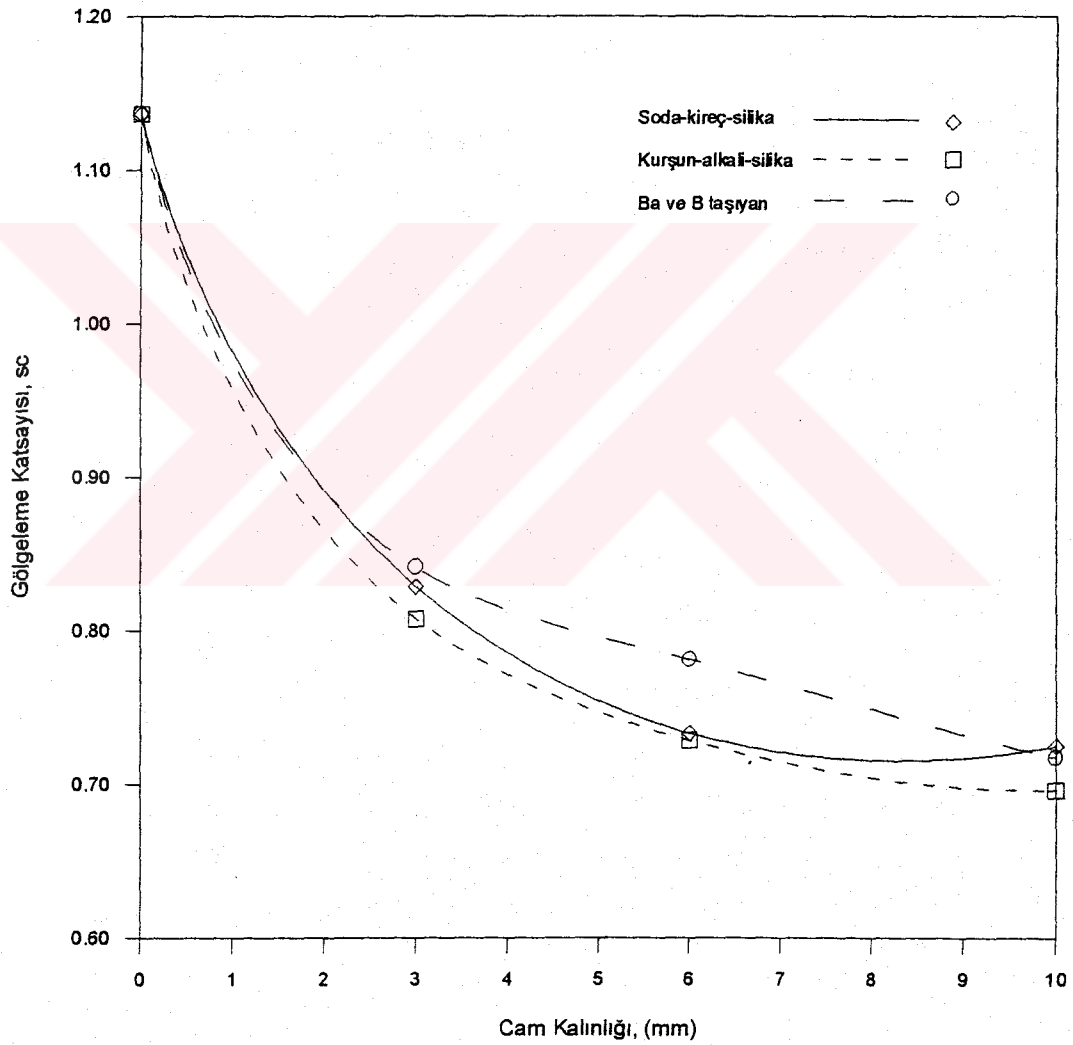
Karışık radyasyona maruz kalmış, üç farklı cam tipine göre, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, en yüksek, toplam güneş enerjisi geçirgenliği değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu grafikte, en düşük, toplam güneş enerjisi geçirgenliğine sahip camların ise, kurşun-alkali-silika camlar olduğu görülmektedir.



**Şekil 7.25** Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, Toplam Güneş Enerjisi Geçirgenliği Değişimi.

Şekil 7.26'de soda-kireç-silika ve kurşun-alkali-silika camlar ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, maruz kaldıkları karışık radyasyon karşısında, gölgeleme katsayısı değişimi görülmektedir. Bu grafiğe göre; incelenen üç cam tipinde de, cam kalınlığındaki artışa bağlı olarak, üstel bir değişim olduğu görülmektedir.

Karışık radyasyona maruz kalmış, üç farklı cam tipine göre, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, en yüksek, gölgeleme katsayısı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu grafikte, en düşük, gölgeleme katsayısına sahip camların ise, kurşun-alkali-silika camlar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.26 Teğetsel Işınlama Tüpünde Işınlanan, 10 mm Kalınlıktaki Farklı Camların, Gölgeleme Katsayısı Değişimi.

#### 7.5.4 Farklı Radyasyon Kaynaklarının Dört Farklı Cam Tipindeki Isıl Parametrelere Olan Etkisinin Karşılaştırılması

Üç farklı radyasyon kaynağı ile oluşturulan kararma miktarını, güneş enerjisine yönelik olarak, daha somut ve bilimsel bir şekilde ifade etmek zorunluluğu mevcuttur. Dolayısıyla, gölgeleme katsayısı teriminin, atmosferi aşp, yeryüzüne ulaşarak camları etkileyebilecek güneş enerjisini, en uygun ifade eden, ısıl parametre olabileceği düşünülmüştür.

Üç farklı radyasyon kaynağı ile yapılan ışınlamalar sonucunda, dört farklı cam tipinin gölgeleme katsayıları karşılaştırıldığında; incelenen dört cam tipinin, farklı radyasyon kaynakları karşısında, kendine özgü farklı davranışlar sergilediği tespit edilmiştir.

Co-60 radyoizotopu kullanılarak, gama ışınlarıyla ısınlanan dört farklı cam tipi karşılaştırıldığında; borosilikat camın en yüksek; baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camın ise, en düşük gölgeleme katsayısı değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla, toplam güneş enerjisini, en iyi geçiren camın, diğer bir deyişle solar bölgedeki ısıyı en iyi ileten camın, gama ışınlarına maruz kalan, borosilikat cam olduğu görülmektedir. Toplam güneş enerjisini en iyi soğuran camın ise, gama ışınlarına maruz kalan, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli cam olduğu belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, solar bölgedeki ısı iletimine en fazla duyarsızlık gösteren camın, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli cam olduğu tespit edilmiştir.

Teğetsel Işınlama Tüpü kullanılarak ısınlanan, dört farklı cam karşılaştırıldığında, kurşun-alkali-silika camın en yüksek; soda-kireç-silika camın ise, en düşük gölgeleme katsayısı değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla, incelenen camlarda nötronların oluşturduğu etki göz önüne alındığında, toplam güneş enerjisini en iyi geçiren, diğer bir deyişle, en iyi ileten camın, nötronlara maruz kalan, kurşun-alkali-silika cam; toplam güneş enerjisini en iyi soğuran, diğer bir deyişle en az ileten camın ise, nötronlara maruz kalan soda-kireç-silika cam olduğu görülmektedir.

Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak, nötron, beta ve gama ışınlarından oluşan, karışık radyasyon etkisine bırakılan, camların gölgeleme katsayısı terimleri karşılaştırıldığında, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camın en yüksek; kurşun-alkali-silika camın ise, en düşük gölgeleme katsayısı değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla, incelenen camlarda, nötronların oluşturduğu etki göz önüne alınırsa, toplam güneş enerjisini en iyi geçiren camın, karışık radyasyona maruz kalan, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli cam; toplam güneş enerjisini en iyi soğuran camın ise, kurşun-alkali-silika cam olduğu düşünülmüştür.

İncelenen camların maruz kaldığı, radyasyon tipleri, bu camların güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerini önemli ölçüde etkilemiştir. Gama ve nötronlarla yapılan ışınlamaların, incelenen cam yapılarında oluşturduğu etkiler karşılaştırıldığında, bu iki radyasyon tipinin yaklaşık olarak, benzer etkiler meydana getirdiği görülmüştür. Ancak, karışık radyasyonla yapılan ışınlamalar sonucu, oluşan renk merkezlerinin oluşum tarzının, gama ve nötronlar etkisiyle oluşan renk merkezlerinden daha farklı olabileceği düşünülmüştür. İncelenen camlarda, karışık radyasyon yapısındaki, betaların, bu mekanizmanın farklılaşmasına neden olduğu düşünülmüştür.

Merkezi Işınlama Kanalı'ndaki ışınlamalar sonucu, betalara maruz kalan camların, özellikle, yüzeyinde önemli sayılabilecek ölçüde, beta radyasyonu ile uyartılan renk merkezleri olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple, gama ışınları ve nötronlarla ışınlanan camlara yönelik yapılan çalışmalarda, kurşun-alkali-silika cam diğer camlara göre, atmosfer tabakasını aşarak yeryüzüne kadar ulaşan solar enerjiyi en iyi ileten cam tipi olmasına rağmen, karışık radyasyonla yapılan ışınlamalarda, solar enerji iletimine en az tepki gösteren camlardan biri olduğu tespit edilmiştir.

Özellikle, beta parçacıklarının, cam yüzeyindeki mevcut atomlarla saçılmalar yaparak, enerjisinin büyük kısmını kaybetmesi mümkün olup, bu parçacıkların, çekirdekler tarafından önemli derecede saptırılabilmesi söz konusudur. Ayrıca, betalara maruz kalan yüzeydeki mevcut atomlarda, uyarma enerji seviyesinden bir elektron serbest kalarak, iyonizasyon meydana gelebilir.

Böylece, oluşan elektron, cam yapıda, yeni bir renk merkezi oluşumunu mümkün kılmaktadır. Boş kalan elektronun yeri, daha üst yörüngeden bir elektron ile doldurulmasıyla, karakteristik bir X-ışını yayınlanabilir. Bunu takiben, dış yörüngeden Auger elektronu adı verilen bir elektron daha yayınlanmaktadır.

Ayrıca, yüksek enerjili sayılabilecek betalar, çekirdek yakınından geçerken onların Coulomb alanından etkilenecek, frenleme radyasyonu denilen, sürekli X-ışınlarını da oluştururlarken, bu sırada, enerjilerinin bir kısmını da kaybedebilirler. Betaların, cam yüzeyindeki atomlarla etkileşimi sonucu, burada, oldukça çeşitli enerjilere sahip, pek çok elektronun oluşması söz konusudur. Bütün bu olayların tümünün, cam yapının özellikle yüzeyinde, renk merkezlerinin oluşumunu artırıcı, bir etkiyi meydana getirdiği düşünülmektedir.

Betalara doğrudan maruz kalan cam yüzeyinde, bir elektronun, bir negatif yüklü iyon boşluğu tarafından tuzaklanması ile F merkezi meydana gelmektedir. Ancak; F merkezinin hemen yanında bir elektronun daha tuzaklanmasıyla, yeni bir renk merkezi daha oluşmaktadır. Bu yeni renk merkezi, iki F merkezinden oluşmakta olup, M merkezi adını almaktadır. M merkezinin hemen yanında, başka bir elektron daha tuzaklandığında; R merkezi adı verilen, yeni bir renk merkezi oluşmaktadır. Meydana gelen bu yeni renk merkezi, yapısında, üç tane F merkezi bulundurmakta olup, tuzaklanan üç elektronun yanyana gelmesiyle oluşmaktadır (Kittel, 1986).

F, M ve R merkezlerinin oluşum mekanizması göz önüne alınacak olursa; karışık radyasyon yapısında yer alan, beta ışınlarının, özellikle, cam yüzeyindeki, F merkezlerinden başka, özellikle, M ve R merkezlerinde, tuzaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Her bir soğurulmanın yapıda, optiksel olarak, yeni bir renk merkezi meydana getirebileceğinden, beta ışınlarının soğurulmasında etkin rol oynayan elementler, ayrıca, önem taşımaktadır. Özellikle, elektromanyetik spektrumda, betaları soğuran elementleri karakterize eden, solar bölgeye ait çeşitli dalga boyları mevcuttur. Cam yapıda, beta ışınlarının soğurulmasına neden olabilecek başlıca atomlar, alüminyum,

kurşun ve demir olup, bu elementlerin solar bölgede içinde tespit edilmesi mümkün olabilmektedir.

Bölüm 6'da, alüminyum merkezlerinden kaynaklanabilecek, karakteristik soğurmaların, özellikle, 500-520 nm dalga boyu aralığında olduğu ifade edilmektedir. Betaların, cam yapıdaki  $Pb^{3+}$  iyonları tarafından soğurularak, oluşturduğu renk merkezi ise, yaklaşık 800 nm civarındadır.  $Fe^{3+}$  iyonları cam yapıda özellikle, 380, 420 ve 435 nm'deki soğurmalar sonucu, renk merkezleri oluşumuna neden olabilir.  $Fe^{2+}$  iyonlarının ise, 1050 nm'de betaları soğurarak, renk merkezi oluşumuna katkıda bulunduğu düşünülmüştür.

Borlu camlarla , Merkezi Işınlama Kanalında çalışılmamıştır. Zira, borlu camlardaki yüksek bor miktarı nedeniyle, reaktör akısında önemli akı çökmesi olabileceği ve bu durumun reaktör işletimi açısından önem arz edebileceği düşünülmüştür. Nitekim, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların merkezi kanalda ışınlaması sırasında da, borlu camlara oranla daha az bor ihtive ediyor olmasına karşın, reaktör işletimi açısından ışınlamanın, bu şartlardan öteye uygun olmayacağı kanaati oluşmuştur.

## 8. IŞINLANMIŞ FARKLI CAMLARIN, GÜNEŞ ENERJİSİ (SOLAR) SOĞURMASINA YÖNELİK YENİ BİR KORELASYON

Bu Doktora Tez konusu olarak ele alınarak incelenen, soda-kireç-silika, borosilikat, kurşun-alkali-silika ve baryum ile bor taşıyan özel optik kireçli camların güneş enerjisi (solar) soğurması; ( $\alpha_e$ ), Avrupa Standartlar Komitesi tarafından, en son güncellenerek oluşturulmuş denklemler (Denklem 3.24 –Denklem 3.31) kullanılarak, önceki bölümler içinde verildiği üzere hesaplanmıştır. İncelenen söz konusu camların, gama radyasyon dozu ile ışınlamadan sonra, güneş enerjisi (solar) soğurma değişiminin; camlara uygulanmış olan ışınlama dozu ile yakın bir ilişkisi olduğu tespit edilmiştir (Doğan ve Tuğrul, 2001b).

Soda-kireç-silika, borosilikat, kurşun-alkali-silika ve baryum ile bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, Uluslararası Aydınlatma Komitesi tarafından, kullanımı tavsiye edilen, renk koordinat denklemleri, x, y, z, (Denklem 3.18 – 3.20) kullanılarak, ifade edilen renklenme ile ilgili ayrıntılar, Bölüm: 3'de sunulmuştur. İncelenen camların soğurduğu, gama radyasyon dozu ile, ışınlamadan, sonra camda oluşan renklenme arasında da yakın bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (Doğan ve Tuğrul, 2001a). Renk koordinatlarına göre hesaplamaların yapıldığı, renk haritasından; görünür bölgedeki, incelenen camın, rengini belirten, baskın dalgaboyunun ( $\lambda_d$ ) tespit edilmesi, mümkün olabilmektedir. Böylece, camlardaki renk; Uluslararası Aydınlatma Komitesi'nin belirttiği tanımlar doğrultusunda, güvenilir bir şekilde ifade edilebilmiştir.

### 8.1. Işınlanmış Camlardaki Güneş Enerjisi (Solar) Soğurmasına İlişkin Önerilen Yeni Bir Korelasyonun Oluşturulması

İncelenen ışınlanmış camların soğurduğu radyasyon dozu ile, camların güneş enerjisi (solar) soğurması arasında yakın ilişkiler olduğunun belirlenmesiyle, bu camlar için, soğurduğu dozu karakterize eden matematiksel yeni bir ifade yazılabileceği

düşünülmüştür. Buradan hareketle de yeni bir korelasyon önerilmesi düşünülmüştür.

Bu korelasyonla, doza bağlı değişimin incelenmesi amaçlandığından, yazılması düşünülen korelasyonda gama ışınlarına maruz kalmış camlar için, soğurulan dozun (D) önemli bir terimi oluşturacağı açıktır. Bir başka deyişle, soğurulan doz terimi söz konusu korelasyonda yer alması gereken bir parametredir.

Soğurulan doz olarak “Gray ( $m^2/s^2$ )” kullanımı söz konusudur (Mills ve diğ., 1998). Bu durumda, korelasyonda bir diğer parametrenin yer alması gerekmektedir. Bu parametre ise, ışınlama süresi olan (t) olmaktadır.

İşinlamanın karakteri önemlidir ve etkisi, doza bağlı olarak, camlardaki renklenme olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda, yazılması düşünülen yeni korelasyonda; görünür bölgedeki parametrelerden faydalanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu parametrelerden birinin, belirlenen baskın dalgaboyu olması gerektiği düşünülmüştür.

Baskın dalga boyu ile, ışınlama sonucu ortaya çıkan renklenmenin ifade edilebilmesi söz konusu olmaktadır. Nitekim, baskın dalga boyunun, her ışınlama dozu ve cam tipine bağlı olarak değişim gösterdiği, bu doktora tezi ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmiş bulunmaktadır (Bölüm 6)

İncelenen farklı camların, solar bölgedeki soğurma denklemi (Denklem 3.26) kullanılarak baskın dalgaboyunu ( $\lambda_d$ ) tayin etmek mümkündür. Ancak, bunun için, ışınlamayla doz soğurmuş bulunan camların renklenmelerine ilişkin olarak, bu doktora tez çalışması ile, söz konusu her cam tipi için renk haritası üzerine çizilmiş olan eğrilerden hareketle, renk koordinatlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Aynı dozda farklı camların renklenmelerinin farklı olduğu, bu doktora tez çalışması ile yapılan deneysel çalışmalarla net olarak belirlenmiş bulunmaktadır. Bu bağlamda, malzemeyi karakterize eden terimlerin de önerilecek korelasyonda bulunması şartı ortaya çıkmaktadır.

Malzememiz olan camların, ışınlama karşısındaki davranışını karakterize eden bir parametre camların soğurma katsayısı ( $\mu$ ) olmaktadır. Bu parametrenin kullanılması ile, güneş enerjisi (solar) soğurmasına ilişkin çıkarılması düşünülen korelasyonda, güneş enerjisi (solar) soğurma karakteri ortaya konmuş olabilmektedir.

Ayrıca, bu denklemde özdirenç katsayısı olarak isimlendirilen bir parametrenin yer almasının da gerekli olabileceği düşünülmüştür. Zira, yazılması düşünülen korelasyonda, salt malzemeyi ve malzemenin ışınlama dozundan etkilenişini betimleyen bir terimin var olması da gerekmektedir. Böyle bir terim, tanımlanacak bir özdirenç katsayısı olması ile mümkündür.

Camdaki özdirenci etkileyen yapılar, esas itibariyle, camın kimyasal kompozisyonunda yer almakta olan ve camdaki özdirenci artırıcı veya azaltıcı etki yapan oksitler olmaktadır (Pye ve diğ., 1972). Bu bağlamda, söz konusu korelasyonda, camdaki özdirenci artırıcı veya azaltıcı etki yapan oksitlerin etkinliğini yansıtacak şekilde ifade edilecek bir “özdirenç” teriminin belirlenmesi gerekliliği de ortaya çıkmaktadır.

Bu görüş doğrultusunda, söz konusu korelasyonda kullanılması düşünülen cam özdirenci teriminin; camların kimyasal kompozisyonunu karakterize edebilmesinin, camların moleküler yapılarını yansıtacak ağırlık yüzdeleriyle ifade edilmesiyle mümkün olabileceği düşünülmüştür.

Bu doktora tezi ile yapılan çalışmalarla elde edilen deneysel sonuçlar ve bunların uzantısında gerçekleştirilen güneş enerjisi (solar) soğurmaya ilişkin değerlendirmeler bağlamında; ışınlama dozu, ışınlama süresi, baskın dalga boyu, incelenen camın absorpsiyon katsayısı ve özdirencinin fonksiyonu olan bir korelasyon yazılabileceği önerilmektedir. Böylelikle, daha önce oluşturulmamış, bu doktora tezinin özgünlüğü çerçevesinde, güneş enerjisi (solar) soğurmasına ( $\alpha_e$ ) ilişkin bir korelasyonun oluşturulması söz konusu olabilecektir.

Önerilen Korelasyonun parametreleri;

- Cam tarafından soğurulan doz,  $D$  ( $m^2/s^2$ ),
- Işınlama süresi,  $t$  (s),
- Uluslararası Aydınlatma Komitesinin tavsiyeleri doğrultusunda belirlenen baskın dalgaboyu,  $\lambda_d$  (m),
- Camın soğurma katsayısı,  $\mu$  (1/m),
- Camın özdirenç katsayısı,  $K$ .

olmaktadır.

Bu bağlamda, Avrupa Standartlar Komitesi tarafından kullanımı tavsiye edilen, güneş enerjisi (solar) soğurmasına ilişkin; bu doktora tezi çerçevesinde, güneş enerjisi (solar) soğurması ( $\alpha_e$ ) için yeni bir ifade türetilmesi hedeflenmiş olmaktadır.

### Önerilen Korelasyon;

$$\alpha_e = \alpha_{oe} + 2\pi K \mu^2 t \lambda_d \sqrt{D} \quad (8.1)$$

şeklindedir. Burada;

$\alpha_e$  : Işınlanmış camın güneş enerjisi (solar) soğurma katsayısı

$\alpha_{oe}$  : Işınlanmamış camın güneş enerjisi (solar) soğurma katsayısı

$D$  : Cam tarafından soğurulan doz, ( $m^2/s^2$ ),

$t$  : Işınlama süresi, (s),

$\lambda_d$  : Uluslararası Aydınlatma Komitesinin tavsiyeleri doğrultusunda belirlenen baskın

dalgaboyu, (m),

$\mu$  : Camın lineer soğurma katsayısı, (1/m),

$K$  : Camın özdirenç katsayısını

ifade etmektedir

### 8.2. Camların Özdirenci

Camda iletkenliği artırıcı başka madde katkıları yoksa, camdaki iletkenlik, özellikle alkali iyonların ve bunlar içinde özellikle, sodyum gibi oldukça küçük yarı çaplı ve hareketli iyonların hareketi ile artmaktadır (Pye ve diğ., 1972).

İletkenliğin artmasında, iyon hareketini engelleyen, sıkı  $SiO_2$  bağlarının, alkalilerce parçalanmasının, önemli etkisi bulunmaktadır. Alkali iyonların hareketliliğini azaltan bütün elemanlar, iletkenliği düşürmektedir. Si ve B gibi, camdaki ağ yapıcılar, genellikle, bu özelliğe sahiptirler (Şişecam, 1992).

Bilindiği üzere, iletkenliğin tersi, öz dirençtir. Bu durumda, camın iletkenliğinin düşük olduğu koşullarda, öz direnç yüksek olmaktadır. Burada, direnç, maddenin elektriksel harekete karşı, bir tür karşı koyması olarak düşünülebilir. Öz direnç, genelde, camlarda iyonik karakterdedir (Pye ve diğ., 1972).

Camda serbest kalan iyonların fazlalığı, öz direnci düşürmektedir. Dolayısıyla, camdaki öz direncin düşmesi alkali iyonların cam yapıdaki varlığına bağlı olmakla birlikte, camın örgü yapısına ve ısı geçmişi daha az bağlı olmaktadır. CaO gibi, cam yapısına kararlılık kazandıran oksitler, iletkenliği düşürmekte ve öz direnci yükseltmektedir (Şişecam, 1992).

Bu durumda, karışık alkali etkisinin belirgin bir şekilde görülebildiği söylenebilir. CaO'in yer almadığı cam yapısında, Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O oranının 1/4 olmasıyla iletkenlik en düşük değerini almaktadır (Şişecam, 1992). Dolayısıyla,  $[K_2O/(4xNa_2O)] \sim 1$  ifadesinin sağlanmasıyla, camdaki iletkenliğin, kimyasal kompozisyon bakımından, en düşük değeri sağlanması mümkün olabilmektedir.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün, camdaki iletkenliği biraz artırmasına karşılık; CaO ve SiO<sub>2</sub> ile yer değiştirmesi durumunda, iletkenlik bir miktar azalmaktadır. Ancak; MgO, PbO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BaO ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün, CaO yerine kullanılması sonucunda, iletkenlikte meydana gelen azalma, çok daha önemsizdir (Şişecam, 1992). Diğer bir deyişle; MgO, PbO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BaO ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'in, CaO yerine kullanımı, cam yapıdaki iletkenlikte, CaO'den çok daha az miktarda, bir değişim meydana getirmektedir (Pye ve diğ., 1972).

Kovalent bağ yapan iki atomun en dış elektron dağılımları arasında oluşan etkileşim nedeniyle, bu iki atomun çekirdekleri arasındaki bölgede, elektron yoğunluğu değişmektedir (Taylor ve Zafaritos, 1991). Malzemedeki elektronların son yörüngesindeki mevcut dizilimi, yapıdaki iletkenliği belirleyen bir etkidir (Kittel, 1986).

Öte yandan, daha önce de belirtildiği gibi, camdaki öz direnç, iletkenlikle yakından bağlantılıdır. Cam yapıdaki mevcut elementlere ait elektronların dizildiği son yörüngenin türü ile camın öz direnci arasında yakın bir ilişki olduğu düşünülmektedir.

Bu doktora tezi ile, güneş enerjisi (solar) soğurmasına ( $\alpha_s$ ) için tarafımızdan önerilen korelasyonda, camın özdirenç katsayısı olarak isimlendirilen, K teriminin, yapıdaki elementlere ait, elektronların dizildiği son yörüngenin türüne bağlı olarak, camdaki özdirencin, önemli davranışlar gösterebileceği, düşünülmektedir.

Elementlerin sınıflandırılmasında, göz önüne alınan, en önemli parametre, elektronların dizildiği son yörüngenin türü ve bu bölgedeki elektron sayısı olmaktadır (Kittel, 1986). Dolayısıyla, elementler cam yapısındaki yerleri bakımından, dört gruba ayrılabilir (Şişecam, 1992).

Bunlar (Şişecam, 1992);

- 1) Son yörüngesi s olan elementler: Ağ yapı geliştiriciler (Na, K, Ca, Mg, Ba)
- 2) Son yörüngesi p olan elementler:
  - a) Ağ yapı oluşturucular; (Si, B)
  - b) Kendi başına ağ yapı oluşturmeyen, ancak, oluşmuş bir yapıda yer alıp, ağ yapı oluşturucular gibi davranan elementler; (Al, Sb, Pb, S).
- 3) Son yörüngesi d olan elementler: Camda miktarca az olan geçiş elementleri; (Fe, Ti, Ni).
- 4) Son yörüngesi f olan elementler: Camlarda çok az rastlanan nadir toprak elementleri; (lantanitler ve aktinitler).

Son yörüngesi p olan elementlerden, Si ve B gibi, camda ağ yapı oluşturucular camın özdirencini artıran başlıca elementlerdir (Pye ve diğ., 1972). Dolayısıyla, ağ yapı oluşturucu oksitlerin kimyasal bileşimi toplamı; oluşturulan güneş enerjisi (solar) soğurması ( $\alpha_s$ ) için tarafımızdan önerilen korelasyonda, özdirenç katsayısı, K'nın, önemli kısmını oluşturmaktadır. Cam yapısının, son yörüngesi s olan, ağ yapı geliştirici elementlerin, cam yapısındaki özdirencin artışına önemli bir katkısı olduğu düşünülmektedir. Ağ yapı geliştirici olarak da ifade edilebilen, Na, K, Ca, Mg, Ba, elementler cam yapısında iletkenliğin bir miktar iletkenliğin azalmasına sebep olduğundan özdirenç bir miktar artmaktadır (Amstock, 1997; Pye ve diğ., 1972). Dolayısıyla, ağ yapı geliştirici elementlerin cam yapıdaki kimyasal bileşimleri toplamı, ağ yapı oluşturucuların kimyasal bileşimi toplamına eklenmiştir.

Son yörüngesi d olan elementler olan, Fe, Ti ve Ni gibi elementlerin, camdaki özdirencin artışına bir miktar katkıda bulunabileceği düşünülmüştür (Pye ve diğ., 1972). Dolayısıyla, cam yapıdaki özdirenci artıcı oksitler toplamı göz önüne alındığından; camda miktarca az olan, geçiş elementlerinin oluşturduğu oksitlerin, camın kimyasal kompozisyondaki bileşenleri toplamı, ağ yapı oluşturuvcu oksitler ve ağ yapı geliştirici oksitler toplamına eklenmiştir. Böylece, yazılan yeni denklemde tanımlanmaya çalışılan, camın özdirenc katsayısı K'nın daha sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi sağlanabilmiştir.

Son yörüngesi p olan elementlerden, Al, Pb, S ve Sb gibi, camda ağ yapı oluşturuvcular gibi davranan elementler, iki sebepten dolayı, cam yapıdaki özdirencin düşmesine neden olabileceği düşünülmektedir.

Son yörüngesi p olan elementlerden, Al, Pb, S ve Sb gibi, ağ yapı oluşturuvcular gibi davranmalarına rağmen, cam yapısı içinde, ağ yapı oluşmasına engel olmaktadır (Doremus, 1994). Diğer bir deyişle, iyon hareketini engelleyen, camdaki sıkı ağ yapı bağlarının oluşumunu engellemekte olup, özdirencin düşmesine sebep olabileceği düşünülmüştür.

Al, Pb, S ve Sb gibi elementler, silikat camın kimyasal kompozisyonunda ne kadar fazla bulunursa, ağ yapıcı görevde bulunan  $\text{SiO}_2$ 'nin, yapıya, daha az girmesine neden olmaktadır (Pye ve diğ., 1972). Bu durum, camdaki özdirencin düşük olmasının ikinci sebebini oluşturmaktadır. Dolayısıyla, son yörüngesi p olan elementlerden, ağ yapı oluşturuvcuların kimyasal bileşimlerinin iki katı alınarak, elde edilen bu değer, ağ yapıcıların kimyasal kompozisyonlarındaki yüzdelerinden çıkarılması düşünülmüştür.

Cam yapıdaki özdirenc katsayısını arttırıcı ve azaltıcı oksitler, incelenen tüm cam türleri için önem arz etmektedir. Ağ yapıcılara, ağ yapıyı geliştiricilere ve geçiş elementlerine ait oksitler ve ağ yapıcı gibi davranan oksitler, bu doktora tezinde incelenen dört farklı cam türü için Tablo 8.1'de görülmektedir.

**Tablo 8.1.** İncelenen Dört Farklı Camdaki Öz direnç Katsayısını Etkileyen Oksitler.

| Cam Türü                 | Camdaki Öz Direnç Katsayısını Artırıcı Oksitler Toplamı<br>$\chi_{ar}$ |                                               |                                                         | Camdaki Öz Direnç Katsayısını Azaltıcı Oksitler Toplamı, $\chi_{az}$              |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|                          | Ağ Yapıcı Oksitler                                                     | Ağ Yapıcı Geliştirici Oksitler                | Geçiş Elementlerine Ait Oksitler                        | Ağ Yapıcı Gibi Davranan Oksitler                                                  |
| Soda-Kireç-Silika Cam    | SiO <sub>2</sub>                                                       | CaO, Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, MgO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , NiO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SO <sub>3</sub> |
| Borosilikat Cam          | SiO <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                       | Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O           | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , NiO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   |
| Kurşun-Alkali-Silika Cam | SiO <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                       | Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O           | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , NiO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , PbO             |
| Özel Optik Kireçli Cam   | SiO <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                       | CaO, Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, BaO | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , NiO | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SO <sub>3</sub> |

### 8.3. Farklı Camlar İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Önerilen Yeni Korelasyon ile İncelenmesi

Deney sonuçlarının, önerilen yeni korelasyonla uyum sağlaması bakımından; cam yapıdaki mevcut elementlere ait elektronların dizildiği son yörüngenin türünün önemli olduğu Bölüm 8.2’de açıklanmıştır. Güneş enerjisi (solar) soğurmasına ( $\alpha_e$ ) için tarafımızdan önerilen korelasyonda, camdaki öz direnç katsayısı olarak isimlendirilen, K teriminin, yapıdaki elementlere ait, elektronların dizildiği son yörüngenin türüne bağlı olabileceği ve bundan dolayı, camdaki öz direncin, önemli davranışlar gösterebileceği, düşünülmektedir. Son yörüngesi p olan elementlerden ağ yapı oluşturucular, örneğin; Si ve B gibi elementler, camın öz direncini artıran başlıca elementlerdir. Dolayısıyla, ağ yapı oluşturucu oksitlerin kimyasal bileşimi toplamı, oluşturulması düşünülen yeni denklemde, öz direnç katsayısı, K’nın artışına neden olan, en önemli kısmı oluşturması söz konusudur.

Son yörüngesi s olan, ağ yapı geliştirici elementlerin, cam yapısındaki öz direncin artışına önemli bir katkısı olduğu düşünülmektedir. Ağ yapı geliştirici olarak ifade edilebilen, Na, K, Ca, Mg, Ba, elementler cam yapısında iletkenliğin bir miktar iletkenliğin azalmasına sebep olduğundan öz direncin bir miktar artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, ağ yapı geliştirici elementlerin cam yapıdaki kimyasal bileşimleri toplamı, ağ yapı oluşturucuların kimyasal bileşimi toplamına eklenmiştir.

Cam yapıdaki öz direnç katsayısını etkileyen oksitler; ağ yapıcı oksitler, ağ yapıyı geliştirici oksitler, geçiş elementlerine ait oksitler, ağ yapıyı geliştirici oksitler, toplamı olarak düşünülmüş olup, sonuçlar, Tablo 8.2'de görülmektedir. CaO'in yer almadığı, kurşun-alkali-silika ve borosilikat cam yapısında,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  oranının 1/4 olmasıyla, iletkenliğin en düşük değerini alması mümkündür. Böylece,  $[\text{K}_2\text{O}/(4\text{xNa}_2\text{O})] \sim 1$  ifadesinin sağlanmasıyla, camdaki iletkenliğin, kimyasal kompozisyon bakımından, en düşük değeri sağlanması söz konusudur. Ayrıca, camda ağ yapıcı gibi davranan oksitlerin öz direnç üzerindeki olumsuz etkisinden dolayı, ağ yapıcı gibi davranan oksitlerin toplamının iki katı alınıp, cam yapıdaki öz direnci artırıcı oksitler toplamından çıkarılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 8.2'de görülmektedir.

**Tablo 8.2. Camdaki Öz Direnç Katsayısını Etkileyen Oksitler.**

| Cam Türü                 | Camdaki Öz Direnç Katsayısını Artırıcı Oksitler Toplamı<br>$\chi_{ar}$ |                                               |                                                  | Camdaki Öz Direnç Katsayısını Azaltıcı Oksitler Toplamı<br>$\chi_{az}$ | Camda Hesaplanan Öz Direnç Katsayısı |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|                          | Ağ Yapıcı Oksitler<br>(% Ağırlık)                                      | Ağ Yapıyı Geliştirici Oksitler<br>(% Ağırlık) | Geçiş Elementlerin e Ait Oksitler<br>(% Ağırlık) | 2x(Ağ Yapıcı Gibi Davranan Oksitler)<br>2x(% Ağırlık)                  |                                      |
| Soda-Kireç-Silika Cam    | 72.348                                                                 | 25.620                                        | 0.251                                            | 3.560                                                                  | 94.650<br>≈ 95                       |
| Borosilikat Cam          | 91.750                                                                 | 2.030                                         | 0.038                                            | 5.560                                                                  | 86.228<br>≈ 86                       |
| Kurşun-Alkali-Silika Cam | 60.793                                                                 | 0.250                                         | 0.016                                            | 48.380                                                                 | 12.679<br>≈ 13                       |
| Özel Optik Kireçli Cam   | 71.440                                                                 | 28.000                                        | 0.028                                            | 1.060                                                                  | 98.408<br>≈ 99                       |

İncelenen farklı camlar için elde edilen deney sonuçlarının, önerilen yeni korelasyona göre yorumlanabilmesi için öncelikle, camdaki öz direnç katsayısı K'nın, tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır. İncelenen dört farklı cam türüne göre, camların hesaplanan öz direnç katsayıları (K), Tablo 8.3'de verilmektedir.

**Tablo 8.3.** Cam Kompozisyonuna Göre, Belirlenen Öz Direnç Katsayısı (K)

| Cam Tipi                 | Öz Direnç Katsayısı |
|--------------------------|---------------------|
| Soda-Kireç-Silika Cam    | 0.95                |
| Borosilikat Cam          | 0.86                |
| Kurşun-Alkali-Silika Cam | 0.13                |
| Özel Optik Kireçli Cam   | 0.99                |

Burada, cam yapıdaki öz direnç katsayısını artırıcı ve azaltıcı oksitler ayrı bir önem taşımaktadır. Bu bağlamda, cam yapıdaki öz direnç katsayısının etkinliğini belirlenmesi amacıyla bir katsayı tanımlamak gerekliliği ortaya çıkmıştır. “Etkin öz direnç katsayısı ( $\eta$ )” olarak nitelenen ve cam yapıdaki öz direnç katsayısını artırıcı oksitler toplamının öz direnç katsayısını azaltıcı oksitlere oranı olarak belirlenen bu katsayı;

$$\eta = \chi_{ar} / \chi_{az} \quad (8.2)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada;

$\eta$  : Camın etkin öz direnç katsayısı

$\chi_{ar}$  : Camda öz direnç katsayısını artırıcı oksitler toplamı

$\chi_{az}$  : Camda öz direnç katsayısını azaltıcı oksitler toplamı

Bu doktora tez çalışmasında çalışılan camlara ilişkin hesaplanan etkin öz direnç katsayıları Tablo 8.4’te verilmektedir.

**Tablo 8.4.** Çalışılan Camların Etkin Öz direnç Katsayıları ( $\eta$ )

| Cam Tipi                   | Camdaki Öz direnç Katsayısını Artırıcı Oksitler Toplamı<br>$\chi_{ar}$ | Camdaki Öz direnç Katsayısını Azaltıcı Oksitler Toplamı<br>$\chi_{az}$ | Etkin Öz direnç Katsayısı<br>$\eta$ |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Soda-Kireç-Silika          | 98.219                                                                 | 3.560                                                                  | 27.5896                             |
| Borosilikat                | 93.818                                                                 | 5.560                                                                  | 16.8737                             |
| Kurşun-Alkali-Silika       | 61.056                                                                 | 48.380                                                                 | 1.2620                              |
| Ba ve B Taşıyan Özel Optik | 99.468                                                                 | 1.060                                                                  | 93.8377                             |

Çalışılan camlardan etkin özdirenç katsayısı en yüksek olanı Tablo 8.4'ten görüldüğü üzere, baryum ve bor taşıyan özel optik camlar olmaktadır. Etkin özdirenç katsayısına göre sıralamada; baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camdan sonra, soda-kireç-silika, borosilikat ve kurşun-alkali silika camlar yer almaktadır. Nitekim, deneylerimiz sonucunda, aynı dozdaki ışınlamalar sonucunda camlardaki renklenme baskınlığı aynı sıralama ile olmuştur. Bu bakımdan, etkin özdirenç katsayısı ile ulaşılan bu sonuç son derece ilginç ve özgün bir sonuçtur.

Şekil 8.1'de çalışılan dört farklı 10 mm.lik camın 30 kGy ışınlamadan sonraki renklenmeleri fotoğraf olarak görülmektedir. Elde edilen bu sonucun, Bölüm 6'da açıklanmaya çalışılan sonuçlarla, uyum içinde olduğu görülmektedir. Böylece, etkin özdirenç katsayısının cam dozimetre seçiminde kullanılabilecek, bir parametre olabileceği tespit edilmiştir. Etkin özdirenç katsayısının kullanımı ile uygulanan radyasyon dozuna en çabuk cevap veren cam tipinin belirlenmesi deneysel çalışmalar yapılmadan bu hesaplamanın kullanımı ile kolayca belirlenmeside mümkün olabilecektir.

Etkin özdirenç katsayısının camların dozimetrik amaçlı kullanımları açısından önem taşıdığı düşünülmektedir. dozimetre seçiminde,  $\eta$  değerinin önemli bir parametre olduğu düşünülmektedir.

Bu doktora tezi ile incelenen dört farklı cama ilişkin soğurulan doza göre, deney sonuçları ile güneş enerjisi (solar) soğurmasına ( $\alpha_e$ ) için tarafımızdan önerilen korelasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar, 3, 6 ve 10 mm kalınlıklarına göre, aşağıdaki alt bölümler içinde ayrı ayrı verilmektedir.

### **8.3.1. Soda-Kireç-Silika Camlar İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının**

#### **Önerilen Korelasyona Göre İncelenmesi**

10 mm kalınlıktaki soda-kireç-silika camlarda, önerilen korelasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hatalar; ortalama hata olarak Tablo 8.5'de verilmektedir. 10 mm kalınlıktaki soda-kireç-silika camlarda, önerilen yeni korelasyonun, deney sonuçları ile hayli iyi sayılabilecek bir uyum sağladığı düşünülmektedir.

**Tablo 8.5.** 10 mm Kalınlıktaki, Soda-Kireç-Silika Camlardaki, Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum

| Soğurulan Doz (kGy) | Deney Sonucu | Önerilen Korelasyon Sonucu | Baskın Dalgaboyu (nm) | Hata (%) |
|---------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|----------|
| 0.0                 | 20.94        | 20.94                      | 497                   | 0.00     |
| 1.0                 | 30.80        | 30.84                      | 560                   | 0.11     |
| 1.8                 | 33.49        | 34.67                      | 573                   | 3.40     |
| 2.2                 | 35.25        | 36.17                      | 575                   | 2.54     |
| 4.5                 | 42.78        | 42.70                      | 576                   | -0.20    |
| 8.0                 | 48.29        | 49.79                      | 577                   | 3.01     |
| 12.0                | 46.87        | 56.21                      | 576                   | 16.61    |
| 15.0                | 47.9         | 60.44                      | 577                   | 20.75    |
| 20.0                | 60.36        | 66.79                      | 580                   | 9.62     |
| 30.0                | 66.69        | 77.09                      | 580                   | 13.49    |
| 36.0                | 61.43        | 82.40                      | 580                   | 25.45    |
| Ortalama            |              |                            |                       | 9.49     |

6 mm kalınlıktaki soda-kireç-silika camlarda, önerilen korelasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hatalar; ortalama hata olarak Tablo 8.6’de verilmektedir. Bu tabloya göre, 6 mm kalınlıktaki soda-kireç-silika camlarda, önerilen yeni korelasyonun, deney sonuçları ile iyi sayılabilecek bir uyum sağladığı düşünülmektedir.

**Tablo 8.6.** 6 mm Kalınlıktaki Soda-Kireç-Silika Camlardaki, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum

| Soğurulan Doz (kGy) | Deney Sonucu | Önerilen Korelasyon Sonucu | Baskın Dalgaboyu (nm) | Hata (%) |
|---------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|----------|
| 0                   | 14.49        | 14.49                      | 500                   | 0        |
| 1.0                 | 21.44        | 24.57                      | 570                   | 12.73    |
| 1.8                 | 23.62        | 28.15                      | 570                   | 16.10    |
| 2.2                 | 27.20        | 29.64                      | 572                   | 8.26     |
| 4.5                 | 34.64        | 36.25                      | 576                   | 4.45     |
| 36.0                | 49.27        | 75.74                      | 578                   | 34.94    |
| Ortalama            |              |                            |                       | 15.30    |

3 mm kalınlıktaki soda-kireç-silika camlarda, önerilen korelasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hatalar; ortalama hata olarak Tablo 8.7’de verilmektedir. Bu tabloya göre, 3 mm kalınlıktaki soda-kireç-silika camlarda, önerilen yeni korelasyonun, deney sonuçları ile genel bir uyum sağladığı düşünülmektedir. Dolayısıyla, 3 mm kalınlıktaki soda-kireç-silika camlar yerine, en az 6 mm kalınlıktaki soda-kireç-silika camlarla çalışmanın, daha hassas sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

**Tablo 8.7. 3 mm Kalınlıktaki Soda-Kireç-Silika Camlarda, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum**

| <b>Soğurulan<br/>Doz<br/>(kGy)</b> | <b>Deney<br/>Sonucu</b> | <b>Önerilen<br/>Korelasyon<br/>Sonucu</b> | <b>Baskın<br/>Dalga boyu<br/>(nm)</b> | <b>Hata<br/>(%)</b> |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| 0                                  | 4.48                    | 4.48                                      | 494                                   | 0.00                |
| 1.0                                | 8.524                   | 14.59                                     | 572                                   | 41.58               |
| 1.8                                | 10.80                   | 18.23                                     | 574                                   | 40.76               |
| 2.2                                | 11.14                   | 19.71                                     | 575                                   | 43.50               |
| 4.5                                | 15.32                   | 26.28                                     | 577                                   | 41.71               |
| 36.0                               | 28.53                   | 65.83                                     | 579                                   | 56.67               |
| <b>Ortalama</b>                    |                         |                                           |                                       | <b>44.85</b>        |

### **8.3.2. Borosilikat Camlar İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Önerilen Yeni Korelasyona Göre İncelenmesi**

10 mm kalınlıktaki borasilikat camlarda, önerilen korelasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hatalar; ortalama hata olarak Tablo 8.8’de verilmektedir. Bu tabloya göre, Avrupa Standartlarında kullanımı önerilen 10 mm kalınlıktaki borasilikat camlarda, önerilen yeni korelasyonun, deney sonuçları ile hatanın iyi sayılabilecek bir uyum sağladığı düşünülmektedir.

**Tablo 8.8.** 10 mm Kalınlıktaki Borosilikat Camdaki, Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum

| Soğurulan Doz (kGy) | Deney Sonucu | Önerilen Korelasyon Sonucu | Baskın Dalgaboyu (nm) | Hata (%) |
|---------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|----------|
| 0.0                 | 4.54         | 4.54                       | 500                   | 0        |
| 1.0                 | 13.52        | 13.54                      | 576                   | 0.18     |
| 1.8                 | 16.18        | 16.62                      | 576                   | 2.66     |
| 2.2                 | 19.54        | 17.94                      | 578                   | -8.89    |
| 4.5                 | 27.79        | 23.71                      | 578                   | -17.21   |
| 8.0                 | 28.5         | 30.14                      | 579                   | 5.45     |
| 12.0                | 31.71        | 35.89                      | 579                   | 11.67    |
| 15.0                | 37.63        | 39.60                      | 579                   | 4.97     |
| 20.0                | 43           | 45.09                      | 580                   | 4.64     |
| 30.0                | 43           | 54.20                      | 580                   | 20.67    |
| 36.0                | 44.51        | 58.94                      | 580                   | 24.49    |
| Ortalama            |              |                            |                       | 4.86     |

6 mm kalınlıktaki borasilikat camlarda, önerilen korelasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hatalar; ortalama hata olarak Tablo 8.9'de verilmektedir. Bu tabloya göre, 6 mm kalınlıktaki borasilikat camlarda, önerilen yeni korelasyonun, deney sonuçları ile iyi sayılabilecek bir uyum sağladığı düşünülmektedir.

3 mm kalınlıktaki borasilikat camlarda, önerilen korelasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hatalar; ortalama hata olarak Tablo 8.10'da verilmektedir. Bu tabloya göre, 3 mm kalınlıktaki borasilikat camlarda, önerilen yeni korelasyonun, deney sonuçları ile genel bir uyum sağladığı düşünülmektedir.

**Tablo 8.9.** 6 mm Kalınlıktaki Borosilikat Camda, Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum

| Soğurulan Doz (kGy) | Deney Sonucu | Önerilen Korelasyon Sonucu | Baskın Dalgaboyu (nm) | Hata (%) |
|---------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|----------|
| 0.0                 | 2.79         | 2.79                       | 500                   | 0.00     |
| 1.0                 | 7.82         | 11.79                      | 576                   | 33.70    |
| 1.8                 | 9.52         | 14.87                      | 576                   | 35.98    |
| 2.2                 | 11.53        | 16.19                      | 578                   | 28.79    |
| 4.5                 | 17.62        | 21.95                      | 578                   | 19.76    |
| 36.0                | 33.07        | 57.19                      | 580                   | 42.18    |
| Ortalama            |              |                            |                       | 32.08    |

**Tablo 8.10. 3 mm Kalınlıktaki Borosilikat Camda Solar Soğurmada Önerilen Korelasyon İle Deney Arasındaki Uyum**

| Soğurulan Doz (kGy) | Deney Sonucu | Önerilen Korelasyon Sonucu | Baskın Dalgaboyu (nm) | Hata (%) |
|---------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|----------|
| 0.0                 | 2.16         | 2.16                       | 500                   | 0.00     |
| 1.0                 | 4.23         | 11.16                      | 576                   | 62.11    |
| 1.8                 | 5.46         | 14.24                      | 576                   | 61.66    |
| 2.2                 | 6.98         | 15.54                      | 577                   | 55.08    |
| 4.5                 | 11.63        | 21.29                      | 577                   | 45.38    |
| 36.0                | 26.00        | 56.47                      | 579                   | 53.96    |
| Ortalama            |              |                            |                       | 55,64    |

### 8.3.3. Kurşunalkali-Silika Camlar İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Önerilen Yeni Korelasyona Göre İncelenmesi

10 mm kalınlıktaki kurşunalkali-silika camlarda, önerilen korelasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hatalar; ortalama hata olarak Tablo 8.11'de verilmektedir. Bu tabloya göre, 10 mm kalınlıktaki kurşunalkali-silika camlarda, önerilen yeni korelasyonun, deney sonuçları ile iyi sayılabilecek bir uyum sağladığı düşünülmektedir.

**Tablo 8.11. 10 mm Kalınlıktaki Kurşun-Alkali-Silika Camda, Solar Soğurmada İle Önerilen Korelasyon İle Deney Arasındaki Uyum**

| Soğurulan Doz (kGy) | Deney Sonucu | Önerilen Korelasyon Sonucu | Baskın Dalgaboyu (nm) | Hata (%) |
|---------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|----------|
| 0.0                 | 2.29         | 2.29                       | 500                   | 0.00     |
| 1.0                 | 22.2         | 17.07                      | 575                   | -23.09   |
| 1.8                 | 28.27        | 22.16                      | 576                   | -21.61   |
| 2.2                 | 28.42        | 24.29                      | 577                   | -14.51   |
| 4.5                 | 39.75        | 33.87                      | 579                   | -14.79   |
| 8.0                 | 47.05        | 44.61                      | 582                   | -5.17    |
| 12.0                | 50.30        | 54.21                      | 583                   | 7.78     |
| 15.0                | 52.03        | 60.44                      | 584                   | 16.16    |
| 20.0                | 54.24        | 69.43                      | 584                   | 28.02    |
| 30.0                | 60.57        | 84.67                      | 585                   | 39.78    |
| 36.0                | 52.15        | 92.53                      | 585                   | 77.43    |
| Ortalama            |              |                            |                       | 5.01     |

6 mm kalınlıktaki kurşunalkali-silika camlarda, önerilen korelasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hatalar; ortalama hata olarak Tablo 8.12’de verilmektedir. Bu tabloya göre, 6 mm kalınlıktaki kurşunalkali-silika camlarda, önerilen yeni korelasyonun, deney sonuçları ile iyi sayılabilecek bir uyum sağladığı düşünülmektedir.

**Tablo 8.12.** 6 mm Kalınlıktaki, Kurşun-Alkali-Silika Camdaki, Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum

| Soğurulan Doz (kGy) | Deney Sonucu | Önerilen Korelasyon Sonucu | Baskın Dalgaboyu (nm) | Hata (%) |
|---------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|----------|
| 0,0                 | 1,57         | 1,57                       | 500                   | 0,00     |
| 1,0                 | 17,28        | 16,35                      | 575                   | -5,67    |
| 1,8                 | 20,84        | 21,40                      | 575                   | 2,64     |
| 2,2                 | 24,59        | 23,54                      | 576                   | -4,48    |
| 4,5                 | 35,41        | 33,09                      | 578                   | -6,99    |
| 36,0                | 48,29        | 91,35                      | 582                   | 47,14    |
| Ortalama            |              |                            |                       | 6,52     |

3 mm kalınlıktaki kurşunalkali-silika camlarda, önerilen korelasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hatalar; ortalama hata olarak Tablo 8.13’de verilmektedir. Bu tabloya göre, 3 mm kalınlıktaki kurşunalkali-silika camlarda, önerilen yeni korelasyonun, deney sonuçları ile genel bir uyum sağladığı düşünülmektedir.

**Tablo 8.13.** 3 mm Kalınlıktaki, Kurşun-Alkali-Silika Camda, Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum

| Soğurulan Doz (kGy) | Deney Sonucu | Önerilen Korelasyon Sonucu | Baskın Dalgaboyu (nm) | Hata (%) |
|---------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|----------|
| 0.0                 | 1.24         | 1.24                       | 500                   | 0.00     |
| 1.0                 | 8.41         | 15.97                      | 573                   | 47.35    |
| 1.8                 | 11.79        | 21.04                      | 574                   | 43.96    |
| 2.2                 | 19.22        | 23.13                      | 574                   | 16.90    |
| 4.5                 | 22.54        | 32.60                      | 575                   | 30.86    |
| 36.0                | 41.96        | 90.25                      | 577                   | 53.50    |
| Toplam              |              |                            |                       | 192.58   |
| Ortalama            |              |                            |                       | 38.51    |

### 8.3.4. Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camlar İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Önerilen Yeni Korelasyona Göre İncelenmesi

10 mm kalınlıktaki baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, önerilen korelasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hatalar; ortalama hata olarak Tablo 8.14'de verilmektedir. Bu tabloya göre, 10 mm kalınlıktaki baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, önerilen yeni korelasyonun, deney sonuçları ile iyi sayılabilecek bir uyum sağladığı düşünülmektedir.

**Tablo 8.14.** 10 mm Kalınlıktaki Camlardaki Solar Soğurmada Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum

| Soğurulan Doz (kGy) | Deney Sonucu | Önerilen Korelasyon Sonucu | Baskın Dalgaboyu (nm) | Hata (%) |
|---------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|----------|
| 0.0                 | 3.50         | 3.50                       | 500                   | 0.00     |
| 1.0                 | 28.60        | 13.74                      | 575                   | -51.98   |
| 1.8                 | 31.64        | 17.23                      | 575                   | -45.54   |
| 2.2                 | 39.54        | 18.71                      | 576                   | -52.69   |
| 4.5                 | 47.32        | 25.25                      | 576                   | -46.64   |
| 8.0                 | 47.43        | 32.55                      | 577                   | -31.37   |
| 12.0                | 50.31        | 39.08                      | 577                   | -22.33   |
| 15.0                | 50.23        | 43.28                      | 577                   | -13.84   |
| 20.0                | 53.16        | 49.51                      | 578                   | -6.86    |
| 30.0                | 57.68        | 60.05                      | 580                   | 4.10     |
| 36.0                | 59.98        | 65.65                      | 582                   | 9.46     |
| Ortalama            |              |                            |                       | -25.76   |

6 mm kalınlıktaki baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, önerilen korelasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hatalar; ortalama hata olarak Tablo 8.15'de verilmektedir.

Tablo 8.15'de göre, 6 mm kalınlıktaki baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, önerilen yeni korelasyonun, deney sonuçları ile genel bir uyum sağladığı düşünülmektedir.

**Tablo 8.15.** 6 mm Kalınlıktaki Camlardaki Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum

| Soğurulan Doz (kGy) | Deney Sonucu | Önerilen Korelasyon Sonucu | Baskın Dalgaboyu (nm) | Hata (%) |
|---------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|----------|
| 0                   | 1.99         | 1.99                       | 500                   | 0        |
| 1.0                 | 15.3         | 12.20                      | 574                   | -25.34   |
| 1.8                 | 22.14        | 15.70                      | 574                   | -41.04   |
| 2.2                 | 24.01        | 17.15                      | 574                   | -40.05   |
| 4.5                 | 33.02        | 23.70                      | 575                   | -39.31   |
| 36.0                | 49.76        | 63.61                      | 577                   | 21.77    |
| Ortalama            |              |                            |                       | -24.79   |

Tablo 8.16’da, 3 mm kalınlıktaki baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, önerilen korelasyon sonuçları ile deney sonuçları arasındaki hatalar; ortalama hata olarak verilmektedir. Bu tabloya göre, 3 mm kalınlıktaki baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, önerilen yeni korelasyonun, deney sonuçları ile genel bir uyum sağladığı düşünülmektedir.

**Tablo 8.16.** 3 mm Kalınlıktaki Baryum ve Bor Taşıyan Özel Optik Kireçli Camdaki Solar Soğurmada, Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum

| Soğurulan Doz (kGy) | Deney Sonucu | Önerilen Korelasyon Sonucu | Baskın Dalgaboyu (nm) | Hata (%) |
|---------------------|--------------|----------------------------|-----------------------|----------|
| 0                   | 0.74         | 0.74                       | 500                   | 0.00     |
| 1.0                 | 10.88        | 10.95                      | 574                   | 0.70     |
| 1.8                 | 14.00        | 14.44                      | 574                   | 3.09     |
| 2.2                 | 17.96        | 15.89                      | 574                   | -12.99   |
| 4.5                 | 24.05        | 22.41                      | 574                   | -7.299   |
| 36.0                | 37.99        | 62.26                      | 576                   | 38.97    |
| Ortalama            |              |                            |                       | -3.29    |

#### 8.4. Farklı Camlar İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Önerilen Yeni Denkleme Göre Uyumlarının Yorumlanması

Bölüm 8.3 içinde bu çalışmada çalışılan dört farklı cam türü için yapılan deney sonuçlarından hareketle matematiksel özgünlüğü çerçevesinde güneş enerjisi (solar) soğurmasına ilişkin önerilen korelasyon, gama ışınları ile yapılan tüm deney sonuçlarımız için sınanmış bulunmaktadır. Yapılan söz konusu bu sınama bağlamında, önerilen korelasyonun, genel olarak hayli iyi sonuçlar verdiği gözlenmektedir.

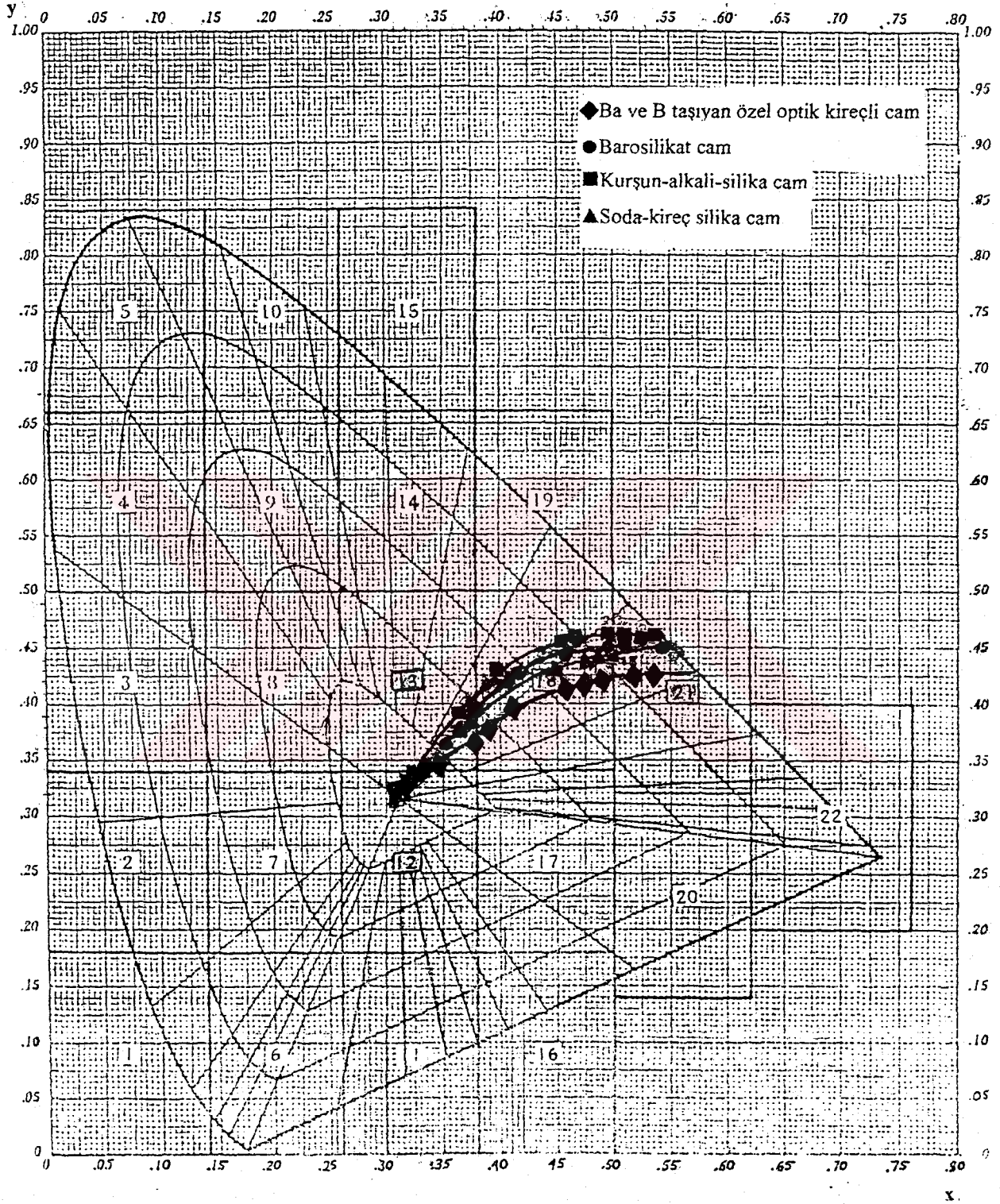
Burada. üzerinde durulması gereken hususlar olduğu söylenebilir. Bu bağlamda yapılan bu çalışması ile elde edilen sonuçların yorumlanması gerekmektedir.

Öncelikle. bu çalışma ile incelenen camların farklılığı önem arz etmektedir. Bilindiği üzere. burada incelenen dört farklı camdan (Tablo 2.1 ve Tablo 4.2'de verilen cam sınıflamalarında da belirtildiği gibi) soda-kireç-silika camlar kireçli camlara. borosilikat ve kurşun-alkali-silika camlar optik camlara ile baryum ve bor taşıyan camlar ise özel camlara girmektedir. Bu bakımdan. bu Doktora Tezinde incelenen camların böylesi bir ayırım içinde yorumlanması lojik olarak bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

Çalışılan camlar için. esas itibariyle. güneş enerjisi (solar) soğurmasına ilişkin önerilen korelasyon. 30 kGy ve altı dozlar için özellikle önerilmektedir. Bu dozun üzerindeki hataların artmasını. radyasyon dozu ile cam yapısında değişime uğrayabilecek cam elemanları artık hayli azaldığından. ilave radyasyon dozuna ilişkin ilave cevap fonksiyonunun da azalmasıyla açıklamak mümkündür.

Çalışılan dört farklı cam için mukayeseli incelemenin daha iyi yapılabilmesi için. ilgili eğrilerin beraberce çizildiği renk haritası Şekil 8.1'de verilmektedir. Buradaki eğrilerin sıralamasının. Tablo 8.4'de verilen etkin öz direnç katsayısı sıralaması ile uyum içinde olduğu gözlenmektedir. Bu durum. önerilen korelasyon için güvenilirlik kriteri oluşturduğu söylenebilir.

Çalışılan camların. dozimetrik amaçlı kullanımının, Denklem 8.1 ile önerilen korelasyon bağlamında mümkün olabileceği önerilmektedir. Ancak. burada. cam kalınlığının önemli olduğundan bahsetmek gerekir. Denklem 8.1 ile güneş enerjisi (solar) soğurmasına ilişkin önerilen korelasyon çerçevesinde, 30 kGy ve altındaki dozlara ilişkin olarak dozimetrik uygulamada. çalışılan dört farklı camdan soda-kireç-silika, borosilikat camlar ve kurşun-alkali-silika camlar dozimetrik amaçlı kullanımda seçilecek uygun kalınlıklar için önerilen korelasyonun ortalama hatalarının % 10'un altında kaldığı görülmektedir. Çalışılan dört, farklı camdan soda-kireç-silika, borosilikat camlar ve kurşun-alkali-silika camlar için 10 mm, baryum ve bor içeren camlar için ise 3 mm kalınlığın kullanılması (Tablo 8.5 – Tablo 8.16) önerilmektedir.



**Şekil 8.1** Çalışılan Dört Farklı Camın. Soğurulan Doza Bağlı Renk Haritasındaki Renk Değişimleri

Bu çalışma çerçevesinde, incelenen camların (soda-kireç-silika, borosilikat, kurşun-alkali-silika ile baryum ve bor içeren özel camlar) deney sonuçlarının (saturasyon bölgesi dışında) 0-30 kGray için önerilen dozimetrik kullanım kalınlığında güneş enerjisi (solar) soğurmasına ilişkin önerilen korelasyona göre hataları, Tablo 8.17’de görülmektedir. Tablo 8.17’de, söz konusu dört cam için de, önerilen korelasyonun ortalama hatalarının % 10’un altında kaldığı görülmektedir. Bu durum ise, güneş enerjisi (solar) soğurmasına ilişkin önerilen korelasyon sonuçlarının; 30 kGray’e kadar çalışma aralığında güvenilirliğini göstermektedir.

**Tablo 8.17. Çalışılan Camlara İlişkin Olarak (30 kGy Dozun Altında) Belirlenen Cam Kalınlıkları İçin Önerilen Korelasyon ile Deney Arasındaki Uyum**

| <b>Cam Türü</b>                  | <b>Cam İçin Ortalama Hata (%)</b> |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Soda-Kireç-Silika                | 9.49                              |
| Borosilikat                      | 4.86                              |
| Kurşun-Alkali-Silika             | 9.00                              |
| Baryum ve Bor İçeren özel Camlar | 4.49                              |
| <b>Genel Ortalama Hata</b>       | <b>6.96</b>                       |

Tablo 8.17 değerlendirildiğinde, Denklem 8.1 ile tarafımızdan güneş enerjisi (solar) soğurmasına ilişkin önerilen korelasyon çerçevesinde, 30 kGy ve altındaki dozlara ilişkin dozimetrik uygulamada, çalışılan dört farklı camdan, soda-kireç-silika, borosilikat ve kurşun-alkali-silika camlar dozimetrik amaçlı kullanımda, seçilecek uygun kalınlıklar için önerilen korelasyonun genel ortalama hatalarının % 10’un altında kaldığı görülmektedir. Bu hata mertebesi Kabul edilebilir nitelikte görülmektedir. Bu çalışmanın özgünlüğü çerçevesinde, güneş enerjisi (solar) soğurmasına ilişkin önerilen korelasyonun (belirlenen şartlarda) güvenilir olarak kullanılabileceği gösterilmektedir. Cam sınıflaması içinde farklı gruplara mensup camlar için, önerilen korelasyonla, uygun ve uyumlu sonuçlara ulaşılması da, Denklem 8.1 ile önerilen korelasyonun güvenilirliğinin bir diğer kanıtı olmaktadır. Bu durumda Denklem 8.1 ile tarafımızdan güneş enerjisi (solar) soğurmasına ilişkin önerilen korelasyonun kullanılması ile, dozimetrik olarak kullanılabileceği bu Doktora tezi ile yapılan deneyler sonucunda soda-kireç-silika, borosilikat, kurşun-alkali-silika ile baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, dozimetrik kullanımları sırasında, kullanıldığı alana ilişkin doz tayini; ışınlamadan sonra sadece güneş enerjisi

(solar) soğurması tayin edilerek yapılabilir. Söz konusu camlar için Denklem 8.1'de yer alan cama ilişkin parametreler bilinmektedir. Camın dozimetre olarak kullanıldığı mekandaki ışınlama süresi yerine konarak o mekan için doz tayini yapmak mümkün olabilecektir.

Güneş enerjisi (solar) soğurmasına ilişkin önerilen korelasyonun bu Doktora tezinin matematiksel bağlamda özgünlüğünü oluşturmakla beraber, nükleer uygulamalardaki farklı alanlarda yapılacak ışınlamalar için akut ve kümülatif doz bağlamında da anlamlılık ve kullanılabilirlik ifade etmektedir.



## 9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu doktora tez çalışmasında, dört farklı (soda-kireç-silika, borosilikat, kurşun-alkali-silika ile bor taşıyan özel optik kireçli) camın, farklı radyasyon tipleri ile ışınlanmaları yapılarak değerlendirilmeleri yapılmaya çalışılmıştır. Bölüm:1 içinde ayrı ayrı belirtilen ve Bölüm: 2'de ayrıntısı ile açıklanan, literatür taramasında, bu doktora tez çalışması kapsamında, incelenen dört farklı cam türünün dozimetrik ölçümler amacıyla, renk parametrelerinin kullanılmasını içeren herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca, radyasyona maruz kalmış herhangi bir camın, güneş (solar) enerjisine yönelik ısı parametrelerinin incelenmesi amaçlı, herhangi bir çalışma da, incelenen literatürde mevcut değildir. Bu bakımdan, yapılan bu doktora tez çalışması, çeşitli orijinallikler içermektedir.

Çalışılan dört farklı (soda-kireç-silika, borosilikat, kurşun-alkali-silika ile özel cam grubundan baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli) cam, cam sınıflaması içinde (Tablo 2.2) farklı sınıflardan seçilmiştir. Şöyle ki; üzerinde çalışılan soda-kireç-silika camlar kireçli cam grubuna, borosilikat camlar ile kurşun-alkali-silika camlar optik cam grubuna, baryum ve bor taşıyan özel camlar ise özel optik kireçli camlar grubuna girmektedir. Böylelikle, genel cam sınıflaması içinde her cam grubundan camlarla bu doktora tezi kapsamında çalışılmış olmaktadır.

Işınlamalarda radyasyon olarak, öncelikle Co-60 radyoizotopu kullanılarak, gama ışınları kullanılmıştır. Işınlama dozu olarak da, endüstriyel ve tıbbi ışınlama doz aralığını kapsayacak şekilde 36 kGy'e kadar çıkılmıştır. Gama ışınlarından ayrı olarak, nötron, beta ve karışık radyasyon dozu ile de çalışılmıştır. Ancak, gama ışınları ile çalışma bu doktora çalışması için temel ışınlamaları oluşturmuştur.

Tek beta radyasyonu çalışmasına ilişkin olarak, Sr-90 radyoizotop kaynağı kullanılmıştır. Tek nötron ışınlaması için, (diğer radyasyonların elimine edildiği kabul edilebilen), Teğetsel Işınlama Kanalı'ndan yararlanılmıştır. Bunlardan ayrı

olarak, Merkezi Işınlama Kanalı'nda ışınlamalar yapılarak, gama, nötron ve betalardan oluşan karışık radyasyon, incelenen dört farklı cama uygulanmıştır.

Fazla olarak, gama ışını dışındaki radyasyon ile yapılan ışınlamalar, gama ışınları referans olarak alınarak, değerlendirilmesi düşünülmüştür. Bu bakımdan, bu doktora tez çalışması için farklı radyasyon tipleri ile çalışılmış olmakla beraber, gama radyasyon dozu ile çalışma, temel çalışmayı oluşturmuştur. Gama ışınlarının cam üzerinde oluşturduğu renklenmeye eşdeğer bir etkinin göz önüne alınması mümkün olmuştur. Böylelikle, incelenen dört farklı camda farklı radyasyon ışınlamaları için, eşdeğer doz değerlendirmesi yapılabilmektedir. Merkezi Işınlama Kanalı'nda ışınlanan camların, yaklaşık 55 kGy'lik eşdeğer soğurma dozu etkisi altında kaldığı belirlenmiştir.

Bu doktora tez çalışmasında, dört farklı (soda-kireç-silika, borosilikat, kurşun-alkali-silika ile bor taşıyan özel optik kireçli) cam türlerinin, farklı radyasyon tipleri ile ışınlamalarını takiben, bu camların radyasyon karşısındaki davranışları spektrofotometrik değerlendirme çerçevesinde, farklı camlar ve farklı radyasyon ışınlamaları için morötesi, görünüş ve solar bölgede geçirgenlik, yansıtıcılık ve soğurma incelemeleri yapılmıştır (Şekil 5.1-Şekil 5.91). Ayrıca, karşılaştırmalı değerlendirmeler de gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.92-Şekil 5.105).

Çalışılan camlar için, cam kullanımında önemi olan solar bölge incelemesine yönelik cam kalınlığı parametresinden bağımsız olarak çalışılması yoluna gidilmiştir. Bu amaçla, spesifik soğurma değerleri tayini ile doz belirlenmesi de mümkün olmuştur (Şekil 5.106- Şekil 5.107). Buradan hareketle, söz konusu dört farklı camın soğurduğu dozun değerlendirilmesine ilişkin olarak, camda solar bölgedeki fotonların cama nüfuz etme özelliğinde oluşan değişim incelenmeye çalışılmıştır (Şekil 5.108, Şekil 5.109).

Şekil 5.107'de cam kalınlığına bağlı, spesifik güneş enerjisi (solar) soğurma değerleri görülmektedir. Merkezi Işınlama Kanalı'nda ışınlanan camlar, en yüksek spesifik güneş enerjisi (solar) soğurma değerine sahip olmuştur. Ayrıca, incelenen dört farklı cam karşılaştırıldığında, baryum ve bor taşıyan özel optik cam ile kurşun-alkali-silika camın, en yüksek spesifik solar soğurma sergilediği görülmektedir.

Şekil 5.108'den gözlendiği üzere, ışınlanmış çalışılan camların birim alan başına spesifik güneş enerjisi (solar) soğurmalarının en yüksek olduğu cam türünün, (incelenen camlar içinde) kurşun-alkali- silika cam olduğu görülmektedir. Buna karşın, birim alan başına spesifik güneş enerjisi (solar) soğurmasının en düşük olduğu (incelenen ışınlanmış) camın ise, soda-kireç-silika cam olduğu görülmektedir.

Şekil 5.109'da, gamalara göre nötron akısının en yüksek olduğu, Teğetsel Işınlama Tüpü ile Merkezi Işınlama Kanalı'nda ışınlama yapılmış olan camların, aynı grafik üzerinde, gama ışınları ile ışınlanan camlara göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Böylelikle, eşdeğer doz bağlamında değerlendirme verilmiş olmaktadır.

Ayrıca, dozimetrik değerlendirmeler için tercih edilen optik yoğunluk değerlendirmesi de yapılmıştır (Şekil 5.110). Şekil 5.110'da, ışınlanmış camlardaki optik yoğunluk ile soğurulan doz arasındaki değişim görülmektedir. Bu grafiğe göre, en düşük optik yoğunluğun, borosilikat camda olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmalarla varılan sonuçlar çerçevesinde, çalışılan camların dozimetrik amaçlı kullanımlarının (camlarda oluşan farklı renklenmeler ve optik yoğunlukta meydana gelen değişimler nedeniyle) olabilirliği tespit edilmiştir. Bu amaçla yapılan değerlendirmeler bağlamında, farklı camların dozimetrik kullanımının mukayeseli olarak incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu eğriler, bu doktora tezi ile incelenen camlar için kalibrasyon eğrisi olarak nitelenebilecek eğrilerdir.

İncelenen spektrum aralığında, optik yoğunluğun arttığı bölgeler, aynı zamanda, renk merkezlerinin oluştuğu yerleri göstermektedir. Bu sebeple, soğurulan doza bağlı olarak incelenen camlardaki, optik yoğunlukta meydana gelen değişimler, önem taşımaktadır.

Optik yoğunlukta, doygunluğa ulaşılan spektrumdaki bölgeler, radyasyon etkisiyle cam yapıda oluşabilecek en fazla sayıdaki renk merkezini göstermektedir. Bunun anlamı, cam yapıda bundan böyle, radyasyon etkisiyle renk merkezi oluşturabilecek pek fazla iyonun kalmamasıdır. Cam yapıdaki iyonların yükseltgenmesiyle oluşan bu etki, özellikle 30 kGy dozdan itibaren belirginlik kazanmaktadır.

Doz almış soda-kireç-silika camlarda, radyasyonun uyarttığı renk merkezleri sayesinde, 380-460 nm civarında bir bant oluşmaktadır (Şekil 6.1). 380-460 nm aralığını kapsayan bu bantın, " $\text{Fe}^{+3}$  renk merkezlerinde" ve "alüminyum renk merkezlerinde" oluşan karakteristik soğurmalarla kaynaklandığı düşünülmektedir.

Doz almış borosilikat camlarda, 380-435 nm civarındaki oldukça dar sayılabilecek bir bant aralığı görülmekte olup, bu bant özellikle " $\text{Fe}^{+3}$  renk merkezlerinde" oluşan karakteristik soğurmaları ifade etmektedir (Şekil 6.3). Borosilikat camlarda, oluşan bu bant aralığının böylesine dar oluşunun nedeni; alüminyum, demir ve titan elementlerinin, incelenen diğer camlardaki miktarlara göre, oldukça az miktarda yer almasıdır.

Doz almış kurşun-alkali-silika camlarda ise, 500-510 nm civarında bir bant oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 6.5). Gama ışınları kullanılarak, oldukça belirgin hale getirilen bu bantda,  $\text{Fe}^{+2}$  iyonlarının,  $\text{Fe}^{+3}$  iyonlarına yükseltgenmesiyle oluşan renk merkezlerindeki, karakteristik soğurmalar belirlenmiştir.

Doz almış baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, yaklaşık 380 nm'den, 710 nm'ye kadar uzanan oldukça geniş bir bant aralığı görülmektedir (Şekil 6.7). Alüminyum renk merkezleri ve  $\text{Fe}^{+3}$  iyonlarından kaynaklanan renk merkezlerinin oluşturduğu bu geniş band, aslında geniş bir renk merkezi aralığını sergilemektedir.

Doz almış baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda, 380-710 nm aralığını kapsayan bant aralığı, görünür bölgenin de önemli bir bölümünü kapsamaktadır. Dolayısıyla, incelenen cam tipleri arasında, en fazla renk merkezinin olduğu cam tipi; baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlardır. Bu tür ışınlanmış camlar için, görünür bölgedeki en yüksek değişimin; baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camlarda meydana geldiği tespit edilmiştir.

Bu bağlamda, incelenen cam tipleri içinde, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli camların, uygulanan gama radyasyon dozuna cevap fonksiyonu oluşturması bakımından uygunluğu belirlenmiştir. Dolayısıyla, incelenen cam tipleri içinde, çeşitli dozimetrik amaçlı kullanımlarda, uygun bir cam dozimetrenin, baryum ve bor taşıyan, özel optik kireçli camlar olduğu düşünülmektedir.

İncelenen dört farklı cam tipinin, nötronlarla etkileşmesi sonucu, yapı içindeki farklı elementler ve farklı kimyasal kompozisyonlarından dolayı, farklı etkileşimleri meydana gelmektedir. Tablo 6.9'da, incelenen cam tipleri içinde, borosilikat camların, en yüksek nötron tesir kesitine sahip cam olduğu görülmektedir. Bu husus, borun nötron zırhlamasında önemli yeri olan bir malzeme olduğu göz önüne alındığında beklenti doğrultusunda bir sonuçtur. Öte yandan, 1.25 MeV enerjili fotonlar göz önüne alındığında, en yüksek absorpsiyon katsayısına sahip camın ise, kurşun-alkali-silika cam olduğu tespit edilmiştir ki, bu hususun da kurşunun gama zırh malzemesi olduğu düşünüldüğünde, ulaşılması gereken bir sonuç olduğu gözlenmektedir.

Nötronların, cam yapıdaki elementlerle oluşturduğu etki, ayrıca önem taşımaktadır. Cam yapısındaki renk merkezlerinin artmasının bir sonucu olarak, cam yapıda bir renklenme meydana gelmektedir. Geçiş elementlerinin gama ışınlarının etkisiyle ve  $(n,\gamma)$  reaksiyonuna hassas elementlerin davranışlarının bir sonucu olarak, hem gama ışınları ve hem de nötronların renk merkezleri üretebilmesi söz konusudur. Cam yapıda  $(n,\gamma)$  reaksiyonu ile yaratılan gama ışınları, yeni elektron boşluk çiftleri meydana getirmekte olup, böylece, yeni renk merkezlerinin yaratılmasına da yardım etmektedir. Burada, camların ikincil etkilenmeleri söz konusu olmaktadır.

Bu doktora tez çalışmasında, farklı radyasyon kaynaklarının, dört farklı cam tipindeki ısı parametrelerine olan etkisi ayrı ayrı ve birbirleriyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir (Şekil 7.1-Şekil 7.26). Farklı radyasyon kaynakları ile oluşturulan kararım miktarını, güneş enerjisine yönelik olarak, daha somut ve bilimsel bir şekilde ifade etmek gerekmektedir. Dolayısıyla, gölgeleme katsayısı teriminin, atmosferi aşıp, yeryüzüne ulaşarak camları etkileyebilecek güneş enerjisini, en uygun ifade eden, ısı parametre olabileceği düşünülmüştür. Üç farklı radyasyon kaynağı ile yapılan ışınlamalar sonucunda, dört farklı cam tipinin gölgeleme katsayıları karşılaştırıldığında; incelenen dört cam tipinin, farklı radyasyon kaynakları karşısında, kendine özgü farklı davranışlar sergilediği tespit edilmiştir.

Co-60 radyoizotopu kullanılarak, gama ışınlarıyla ısınlanan dört farklı cam tipi gölgeleme katsayısı açısından karşılaştırıldığında; borosilikat camın en yüksek; Ba ve B taşıyan özel optik kireçli camın ise, en düşük gölgeleme katsayısı değerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 7.20).

Solar bölgedeki ısıyı en iyi ileten camın, gama ışınlarına maruz kalan, borosilikat cam olduğu görülmektedir (Şekil 7.19). Bu husus, beklenti doğrultusunda bir sonuçtur. Zira, bilindiği üzere, borlu camlar “ısıya dayanıklı camlar” olarak nitelenmektedir. Toplam güneş enerjisini en iyi soğuran camın ise, gama ışınlarına maruz kalan, Ba ve B taşıyan özel optik kireçli cam olduğu tespit edilmiştir ki; bu da beklenti doğrultusunda bir sonuçtur. Zira, bu özel camlar, kullanım amacı itibariyle güneş enerjisini soğurması beklenmektedir.

Teğetsel Işınlama Tüpü kullanılarak ısınlanan, dört farklı cam karşılaştırıldığında, soda-kireç-silika camın diğerlerinden ayrıldığı tespit edilmiştir (Şekil 7.21-Şekil 7.23).

Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak, nötron, beta ve gama ışınlarından oluşan, karışık radyasyon etkisine bırakılan camlar, ısı parametreleri açısından karşılaştırıldığında; çalışılan camların söz konusu yüksek doz bölgelerinde cevap fonksiyonu oluşturabildiği tespit edilmiştir (Şekil 7.24-Şekil 7.26).

İncelenen camların maruz kaldığı, radyasyon tipleri, bu camların güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerini önemli ölçüde etkilemiştir. Gama ve nötronlarla yapılan ışınlamaların, incelenen cam yapılarında oluşturduğu etkiler karşılaştırıldığında, bu iki radyasyon tipinin yaklaşık olarak, benzer etkiler meydana getirdiği görülmüştür. Ancak, karışık radyasyonla yapılan ışınlamalar sonucu, oluşan renk merkezlerinin oluşum tarzının, gama ve nötronlar etkisiyle oluşan renk merkezlerinden daha farklı olabilmektedir. İncelenen camlarda, karışık radyasyon yapısında yer alan betalar, bu mekanizmanın farklılaşmasına neden olabildiği düşünülmektedir.

Bütün bu bulgulara ek olarak, bu doktora tez çalışması ile, incelenen camların güneş enerjisi (solar) soğurmasının matematiksel olarak belirlenebilmesi amacıyla, bir korelasyon oluşturulmuştur. Bu bağlamda, ısınlanan camların güneş enerjisi (solar) soğurması tayin edildiğinde, camın maruz kaldığı doz belirlenebilecektir. Bu çalışma, camların dozimetrik kullanımı açısından önem arz etmekte olup, bu doktora tezinin matematiksel özgünlüğünü de oluşturmaktadır.

Nükleer uygulamalarda, insan sağlığı açısından, radyasyonun yüksek olduğu bölgelerdeki, dozimetrik ölçüm ve kontrollerde; bu doktora tez çalışması kapsamında incelenen camların, cam dozimetre olarak kullanılabileceği gösterilmiştir. Bu husus da bu doktora tezinin orijinallieği içinde yer almaktadır.

Önerilen yeni korelasyonda (Denklem 8.1), radyasyona maruz kalmış bir camın, kimyasal kompozisyonu (% Ağırlık), soğurma katsayısı ( $\mu$ ), güneş enerjisi bağlamında camda oluşan solar soğurmanın ( $\alpha_e$ ) ve ışınlama süresinin ( $t$ ) bilinmesi ile, camın soğurduğu radyasyon dozunun ( $D$ ) belirlenebileceği görölmektedir. Söz konusu dört parametrenin bilinmesi ile, Denklem 8.1'den, yapılacak hesaplama sonucunda; maruz kalınan radyasyon dozunun (kabul edilebilir ortalama hata değerleriyle) tayin edilebileceği görölmüştür.

Böylece, çeşitli termal uzaktan algılama cihazları ile, nükleer kirliliğin olduğu, açık alanda, mevcut radyasyon dozunun belirlenmesi mümkün olmaktadır. Dolayısıyla, bu hesaplama sonucunda; nükleer silahlarla savunma amaçları doğrultusundaki, radyasyon güvenliği ve radyasyondan korunmada, nükleer yönden, stratejik önem taşıyan bölgelerde, camların dozimetrik amaçlı kullanımları mümkündür.

Uzay alışmaları açısından, dünya atmosferi dışında konuşlandırılacak uydu v.b. gibi elemanların güneş enerjisi (solar) soğurmasının tayini amaçlı kullanımı da söz konusu olabilecektir. Bu hususun, geleceğe yönelik çalışmalar açısından önemli olabileceği söylenebilir.

Endüstriyel nükleer uygulamalar açısından önemli olan sterilizasyon ışınlamalarında, çalışılan camların dozimetrik amaçlı olarak kullanımları söz konusu olabilir. Bu husus, endüstriyel nükleer uygulamalar açısından önemli olduğu kadar medikal fizik açısından da önem arz etmektedir.

Ayrıca, terapik amaçlı tıbbi ışınlamalar için de, bu doktora tezi ile çalışılan camlar dozimetrik amaçlı kullanılabilir. Örneğin; terapik amaçlı olarak, her hastanın alacağı kümülatif dozun belirlenmesine yönelik kullanım söz konusu olabilir.

Solar bölgedeki ısıyı en iyi ileten camın, gama ışınlarına maruz kalan, borosilikat cam olduğu görülmektedir (Şekil 7.19). Bu husus beklenti doğrultusunda bir sonuçtur. Zira bilindiği üzere borosilikat cam “ısıya dayanıklı camlar olarak nitelendirilmektedir. Toplam güneş enerjisini en iyi soğuran camın ise, gama ışınlarına maruz kalan, baryum ve bor taşıyan özel optik kireçli cam olduğu tespit edilmiştir ki bu beklenti doğrultusunda bir sonuçtur. Zira bu özel camlar, kullanım amacı itibarıyla, güneş enerjisini soğurması beklenmektedir.

Teğetsel Işınlama Tüpü kullanarak ışınlanan dört farklı cam karşılaştırıldığında, soda-kireç-silika camın diğerlerinden ayrıldığı tespit edilmiştir (Şekil 7.21 - Şekil 7.23)

Merkezi Işınlama Kanalı kullanılarak, nötron, beta ve gama ışınlarından oluşan karışık radyasyon etkisine bırakılan, camlar ısı parametreleri açısından karşılaştırıldığında; çalışılan camların söz konusu yüksek doz bölgelerinde cevap fonksiyonu oluşturabildiği tespit edilmiştir (Şekil 7.24 – Şekil 7.26).

İncelenen camların maruz kaldığı, radyasyon tipleri, bu camların güneş enerjisine yönelik ısı parametrelerini önemli ölçüde etkilemiştir. Gama ve nötronlarla yapılan ışınlamaların, incelenen cam yapılarında oluşturduğu etkiler karşılaştırıldığında, bu iki radyasyon tipinin yaklaşık olarak benzer etkiler meydana getirdiği görülmüştür. Ancak, karışık radyasyonla yapılan ışınlamalar sonucu, oluşan renk merkezlerinin oluşum tarzının, gama ve nötronlar etkisiyle oluşan renk merkezlerinden daha farklı olabilmektedir. İncelenen camlarda, karışık radyasyon yapısında yer alan betaların, bu mekanizmanın farklılaşmasına neden olabileceği düşünülmektedir.

Bütün bu bulgulara ek olarak, incelenen camların güneş enerjisi (solar) soğurmasının matematiksel olarak belirlenebilmesi amacıyla, bir korelasyon oluşturulmuştur. Bu bağlamda, ışınlanan camların güneş enerjisi (solar) soğurması tayin edildiğinde, camın maruz kaldığı doz belirlenebilecektir. Bu çalışma camların dozimetrik amaçlı kullanımı açısından önem arz etmekte olup, bu doktora tezinin matematiksel özgünlüğünü de oluşturmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Ahmed, A.A., Abbas, A.F. and Ezz El-Din, 1984. Formation and decay of colour centres induced by gamma irradiation in CaO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glass, *Physics and Chemistry of Glass*, **25**, 1, 22-26.
- Alvarez, G., Flores, J.J. and Estrada, C.A., 1998. The Thermal Response of Laminated Glass with Solar Control Coating, *Journal of Physics D-Applied Physics*, **31**, 3057-3065.
- American Geological Institute, 1997. Dictionary of Mining, Mineral, and Related Terms, 2<sup>nd</sup>. Ed., The American Geological Institute in cooperation with the Society for Mining, Metallurgy, and Exportation, Inc.
- Amstock, J., S., 1997. Handbook of Glass In Constructions, Mc Graw-Hill, Printed and bound by Quebecor/Fairfield.
- ASME, 1963. Glossary of Terms in Nuclear Science and Technology, American Society of Mechanical Engineers, New York.
- ASNT, 1985. Radiography and Radiation Testing, in *Nondestructive Testing Handbook*, 2<sup>nd</sup>. Ed., Vol. 3, American Society for Nondestructive Testing, USA.
- ASTM-E 30866, 1931, Standart Recommended Practice for Spectrophotometry and Description of Color in CIE.
- Atkins, P.W., 1990. Physical Chemistry, Oxford University Press, Oxford.
- Bamford, C., 1977. Colour Generation and Control in Glass, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Benneth, H., 1947. Concise Chemical and Technical Dictionary, W&G Foyle, Ltd., London.
- Bishay, A.M., 1961. A Bismuth Lead Borate Glass Dosimeter for High-Level Gamma Measurements, *Physics and Chemistry of Glasses*, **2**, 2, 33-38.
- Bishay, A.M. and Maklad, M., 1966 a. Radiation induced optical absorption in leadborate glasses in relation to structure changes, *Physics and Chemistry of Glasses*, **7**, 5, 149-156.
- Blair, G.E., 1996. Application of Radiation Effects in Glasses in Low-and High-Level Dosimetry, *Journal of The American Ceramic Society*, **43**, 8, 426-429.

- Braun, R., Senyk, J. and Krannich, L.K., 1987.** General chemistry study, Houghton Mifflin, Boston.
- CEN-TC129, Comite Europeen De Normalisation-European Committee for Standardization, 1992.** CEN/TC129/WG9/N.4E Rew.7, Glass in Building-Determination of Light Transmittance-Solar Direct Transmittance-Total Solar Energy Transmittance And Ultraviolet Transmittance, and Realated Glazing Characteristics.
- Clason, W.E., 1958.** Elsevier's Dictionary of Nuclear Science and Technology, Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- Commission of the European Communities, 1983.** EUR 8069, EUR, European Group of Flat Glass Producers, Industrial Process Building and Civil Engineering, Flat Glass for Building, Brussels, Belgium.
- Doğan, N., 1996,** Soda Camların Elektromagnetik Radyasyon Karşısındaki Davranışlarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Doğan, N. ve Tuğrul, A.B., 1996.** Investigation o Soda Glasses that are Exposed by Co-60, Proceedings International Symp. on Glass Problems, **2**, 185-191, İstanbul, Turkey.
- Doğan, N. ve Tuğrul, A.B., 1996.** Soda Camlarının Elektromagnetik Radyasyon Karşısındaki davranışlarının İncelenmesi, *7. Nükleer Bilimler ve Teknoloji Kongresi*, **1**, 271-278, İstanbul, Turkey.
- Doğan, N. ve Tuğrul, A.B., 1998.** Comperative Evaluation of Soda Glasses That are Exposed by the Different Radiation Sources, *15<sup>th</sup> European TRIGA Conference*, 81-102, Espoo, Finland.
- Doğan, N. ve Tuğrul, A.B., 1999.** An Investigation of the Radiation Effect on Lead Glass by Different Radiation, *Jahrestatung Kerntechnik'99-Annual Meeting on Nuclear Technology'99, Tatungsbericht Proceedings*, 681-686, Karlsruhe, Germany.
- Doğan, N. ve Tuğrul, A.B., 2000.** Radyasyon Dozu Tayini İçin Camların Stratejik Amaçlı Kullanımı, *NBC Savunma Sempozyumu – III*, T.C. Kara Kuvvetleri Komutanlığı NBC Okulu ve Eğitim Merkezi Komutanlığı, 61-66, Küçükaly, İstanbul.
- Doğan, N. ve Tuğrul, A.B., 2001 a.** Dosimetric Evaluation of Gamma Doses by Using Irradiated Lead-Alkali-Silicate Glass, *Radiation Measurements*, **33**, **2**, 211-216.
- Doğan, N. ve Tuğrul, A.B., 2001 b.** Optical and Solar Parameters of Irradiated Lead-Alkali-Silicate Glass, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **69**, **3**, 241-250.

- Doğan, N. ve Tuğrul, A.B.**, 2001c. Medikal Ürünlerin Radyosterilizasyonunda Kurşun-Alkali-Silika Camların Dozimetrik Amaçlı Kullanımı, *Medikal Fizik Konferansı*, İstanbul.
- Doremus, R.H.**, 1994. Glass Science, Addison Willey Instruction Publication, USA.
- Ehrt, D. ve Vogel W.**, 1996. Radiation effects in glass, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B65*, **92**, 1-8.
- El-Batal, H.A., Farouk, H. and Ezz-Eldin F.M.**, 1996. Electric and dielectric properties of some gamma-irradiated cabal glasses, *Radiation Physics and Chemistry*, **47**, 6, 811-814.
- EN-410**, 1998. Glass in building-Determination of luminous and solar characteristics of glazing, *European Standart*, Brusells.
- Ezz-Eldin, F.M., Kashif, I. and El-Batal, H.A.**, 1994 a. Some physical properties of gamma-irradiated alkali-silicate glasses, *Radiation Physics and Chemistry*, **44**, 1/2, 39-43.
- Ezz-Eldin, F.M., Abdel-Azim, F., Abdel-Azim, A.A. and Ahmed, A.A.**, 1994 b. Soda-lime-silica glass for radiation dosimetry, *Medical Physics*, **21**, 7, 1085-1089.
- Ezz-Eldin, F.M., Abdel-Rahim, F., Shafi, N.A. and El-Batal, H.A.**, 1988. Formation and decay of colour centres induced by gamma rays in alkali-borate glasses containing iron, *Physics and Chemistry of Glasses*, **29**, 6, 235-239.
- Ezz-Eldin, F.M., Elalaily, N.A., El-Batal and Ghoneim, N.A.**, 1996. Formation and bleaching of induced colour centres in gamma-irradiated vanadium-containing alkali-borate glasses, *Radiation Physics and Chemistry*, **48**, 5, 659-664.
- Ezz-Eldin, F.M., Abdel-Rahim, F., Abdel-Azim, A.A. and Ahmed, A.A.**, 1994. Soda-Lime-Silica glass for radiation dosimetry, *Medical Physics*, **21**, 7, 1085-1089.
- Fortner, B. and Meyer, T.**, 1997. Number by Colors, Springer&Telos, The Electronic Library of Science.
- Földiák, G.**, 1986. Industrial Applications of Radioisotopes, Elsevier Ltd., Amsterdam.
- Fuxi, G.**, 1992. Optical and spectroscopic Properties of Glass, Springer Verlag, Berlin.
- Geottibianchini, F., Deriu, L., Sglavo, V.M. and Maschio, D.**, 1998 Influence of alumina-content and modifiers on phase-seperation in soda-lime-silica glass, *Glasstechnische Berichte-Glass Science and Technology*, **71**, 2, 42-47.

- Ghoneim, N., Moustaffa, F., Zahran, A. and Ezz El Din, F., 1983 a.** Gamma-Ray Interaction with Lead Borate and Lead Silicate Glasses Containing Manganese, *Journal of the American Ceramic Society*, 66, 6, 447-450.
- Ghoneim, N., El Batal, Zahran, A. and Ezz El Din, 1983 b.** Interaction of Gamma Rays with Some Cabal Glasses Containing Chromium, *Physics and Chemistry of Glasses*, 24, 4, 83-87.
- Ghoneim, N., Moustaffa, F., and Ezz El-Din, F., 1985.** Interaction of Gamma Rays in Some Calcium Aluminoborate Glasses Containing Manganese, *Physics and Chemistry of Glasses*, 26, 3, 55-59.
- Ghoneim, N.A., El Batal H.A., Zahran, A.H. and Ez-Eldin, F.M., 1983.** Interaction of gamma-rays with some cabal glasses containing chromium, *Physics and Chemistry of Glasses*, 24, 4, 83-87.
- Glascok, M.D., 1988.** Table for Neutron Activation Analysis, Research Reactor Facility, The University of Missouri Press, Columbia, USA.
- Hardy, A., 1966.** Handbook of Calorimetry, The M.I.T. Press, USA
- Hedden, W.A., Kircher, J.F. ve B.W. King, 1960.** Investigation of Some Glasses for High-Level Gamma-Radiation Dosimeter, *Journal of The American Ceramic Society*, 43, 8, 413-416.
- Huges, D.J. ve Harvy, J.A., 1955.** Neutron Cross Sections, The Mc Graw-Hill, US Atomic Energy Comission.
- Ishitsuka T. and Wakaki, J., 1994.** Effect on Neutron Irradiation on Lead Glass, 8<sup>th</sup> *International Conference on Radiation Shielding*, Texas, The American Nuclear Society, Inc., USA.
- Kittel, 1986.** Introduction to Solid State Physics, John Willey&Sons, Inc., New York.
- Kreidl, N.J. and Hensler, J.R., 1957.** Gamma Radiation Insensitive Optical Glass. *J. Opt. Sot. Am.*, 47, 1, 73-75.
- Lamarsh, J.R., 1983.** Introduction to Nuclear Engineering, 2<sup>nd</sup> Ed., Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts.
- Lell, E., 1960 a.** Radiation effect in doped fused silica, *Physics and Chemistry of Glasses*, 3, 3, 84-94.
- Lell, E., 1960 b.** Synthesized impurity centres in fused silica, *Journal of American Ceramic Society*, 43, 8, 422-426.
- Levy, P.W., 1960.** The Kinetics of Gamma-Ray Induced Colouring of Glass, *Journal of the American Ceramic Society*, 43, 8, 389-395.
- Lewis, 1993.** Glass and Glass Ceramics, the University Press, Cambridge, Great Britain.

- Lide, D.R.**, 1995. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 76<sup>th</sup> Ed., CRC Press, New York.
- McLane, V., Charles, L., Dunford, P., Rose, F.**, 1988. Neutron Cross Section Curves, Academic Press., London.
- McLaughlin, W.L.**, 1989. Dosimetry for Radiation Processing, Taylor & Francis Inc., London.
- McCluney, R.**, 1994. Introduction to Radiometry and Photometry, Artech House, Inc., USA.
- Miller, H.A.**, 1945. Luminous tube lighting, London:, George Newnes Press.
- Morey, G.W.**, 1938. The Properties of Glass, American Chemical Society Monograph Series, Book Department, Reinhold Publishing Corporation, New York, USA.
- Morrissey, R.F. and Phillips, G.B.**, 1993. Sterilization Technology, A Practical Guide for Manufacturers and Users of Health Care Products, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Nofz, M., Stosser, R., Reich, C. and Janata, E.**, 1996. On The Multifarious Results of Interaction Between Amorphous Materials and Irradiation of Different Energies – A Spectroscopic Study, *International Symposium on Glass Problems*, 1, 94-98.
- Nassau, K.**, 1983. The Physics and Chemistry of Colour, The Fifteen Causes of Colour, A Willey-Interscience Publication, JohnWilley and Sons, New York.
- Öztürk, A., ve Yavuz, H.**, 1995. Uygulamalarla Isı Geçişi: Taşınım ve Işınım, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Pascoal, H.B., Pontuschka, W.M. and Rechenberg, H.**, 1999. Luminescence quenching by iron in calcium aluminoborate glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 258, 92-97.
- Paul, A.**, 1990. Chemistry of Glasses, Second Edition, Chapman and Hall Press, London.
- Paymal, J., Bonnaud, M. and Le Clerc, P.**, 1960. Radiation Dosimeter Glasses, *Journal of The American Ceramic Society*, 43, 8, 430-436.
- Plumat, E.**, 1986. The Development of Colours in Glass, Foster I. Harding Brockway Glass Company, Inc., Derleme Şişecam A.Ş.
- Pye L.D., Stevens, H.J. and LaCourse, W.C.**, 1972. Introduction to Glass Science, Plenum Press, New York.

- Russel, A.D., Hugo, W.B. ve Ayliffe, G.A.J.**, 1992. Principle and Practise of Disinfection, Preservation and Sterilization, 2<sup>nd</sup> Ed., Blackwell Science, Great Britain.
- SAR**, 1978. Safety Analysis Report for the TRIGA Mark-II Reactor, Istanbul, Turkey.
- Schlenz, H., Kirfel, A., Schulmeister, K., Wartner, N., Mader, W., Raberg, W., Wandelt, K., Oligschleger, Bender, S., Franke, R., Hormes, J., Hoffbauer, W., Lansmann, V., Jansen, M., Zotov, N., Marian, C., Putz, H. ve Neuefeind, I.**, 2002. Structure analyses of Ba-silicate glasses, *Journal of Non-Crystalline Solids*, **297**, 1, 6-12.
- Severa, J. ve Bar, J.**, 1991. Handbook of radioactive contamination and Decontamination, Amsterdam, Elsevier Ltd.
- Sharaf, N.A., Ezz-Eldin, F.M. ve Ahmed, A.A.**, 1994. Effect of gamma-rays on the formation of colour centres in copper-containing lead borate glasses, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **183**, 2, 205-216.
- Speit, B., Radlein, E., Frischat, G.H., Marker, A.J. ve Hayden, J.S.**, 1992. Radiation resistant optical glasses. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B65*, **92**, 384-386.
- Szycher**, 1986. Sterilization Methods for Medical Devices, Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster. PA.
- Şişecam**, 1980. Cam Teknolojisi Teknik Sözlüğü, Derleyen, Kabartay, R., İstanbul.
- Şişecam Araştırma Müdürlüğü**, 1992. Temel Cam Bilimi, Şişecam A.Ş., İstanbul.
- Şişecam Araştırma Müdürlüğü Teknik Yayınları**, 1986. Cam Teknolojisinin Temel İlkeleri, Renkli Camlar, Derleyen, Karan, C., İstanbul.
- Taylor R., M.A., Lewis ve Teall, E. N.**, 1959. Webster's new American dictionary / Noah Webster.
- Taylor, J. ve Zafaritos, C.**, 1991. Modern Physics for Scientists and Engineers, Prentis-Hall, Inc., (Türkçe'ye çeviri: Bekir Karaoğlu, 1996, Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik, Arte BilgeTek Yayınları)
- Tooley, F.V.**, 1960a. Handbook of Glass Manufacture, Volume I, Ogden Publishing Company, New York 36, N.Y., USA.
- Tooley, F.V.**, 1960b. Handbook of Glass Manufacture, Volume II, Ogden Publishing Company, New York 36, N.Y., USA.
- TS-11172**, 1993. Türk Standartları, Camların ışık geçirgenliği, direkt güneş ışını geçirgenliği, toplam güneş enerjisi geçirgenliği, ultraviyole ışını geçirgenliği ve bunlarla ilişkili cam faktörlerinin tayini.

- Tsoufanidis, N.**, 1983. Measurement and detection of radiation, Washington, Hemisphere Pub. Corp., 1983.
- Tuğrul, A.B.**, 1998. İleri Nükleer Teknikler Dersi, Ders Notları.
- Tuğrul, A.B.**, 2000. Archæometric Studies by Using Neutrography in İ.T.Ü. TRIGA Markk-II Reactor, *16<sup>th</sup> European TRIGA Conference*, Pitesti, Romania.
- Tünay, O. ve Kabdaşlı, I.**, 1996. Fiziksel Kimya, İTÜ Yayınları.
- Uhlmann, D. and Kreidl, N.J.**, 1991. Optical Properties of Glass, Published by The American Ceramic Society, Inc. Westerville, OH.
- Vogel, W.**, 1994. Glass Chemistry, Springer-Verlag, 2<sup>nd</sup> Press, Germany.
- Vogel, W.**, 1985. Chemistry of Glass, The American Ceramic Society, Inc., Columbus, Ohio.
- Wang, C.H. and Willis, D.L.**, 1975. Radiotracer methodology in biological science, Prentice-Hall, New Jersey.
- Yavuz, H.**, 2000. Over Twenty Years of Experience in İ.T.Ü. Mark-II Reactor, *16<sup>th</sup> European TRIGA Conference*, Pitesti, Romania.

## ÖZGEÇMİŞ

1969'da İstanbul'da doğdu. Lise eğitimini İstanbul Şehremini Lisesi'nde tamamladıktan sonra, 1992'de İ.Ü. Fen Fakültesi, Fizik Bölümü'nü bitirdi ve aynı yıl İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı. 1996 tarihinde İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı'ndan Yüksek Lisans ünvanı alarak mezun oldu. Aynı yıl Doktora eğitimine başladı. Halen İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak görevini sürdürmektedir.

Science Citation Index tarafından taranan bilimsel dergilerde, 2 makalesi bulunmaktadır. Ayrıca uluslararası bilimsel dergilerden birinde, 1 makalesi basım aşamasındadır. Bunlarla birlikte 9 Uluslararası, 6 Ulusal Bildirisi, 1 Yüksek Lisans Tezi ve 1 Araştırma Raporu olmak üzere toplam 20 yayını bulunmaktadır. 6 Uluslararası, 5 Ulusal Bilimsel Toplantıya ve 1 Uluslararası Workshop' a katılmıştır. İki kez TÜBİTAK ve dört kez de, İ.T.Ü. Uluslararası Bilimsel ve Sanatsal Yayınları Teşvik Programı Yayın Teşvik Ödülü almıştır. Biri tamamlanmış olmak üzere, 2 Araştırma Projesinde yer almıştır.

İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, Nükleer Uygulamalar Anabilim Dalı tarafından düzenlenen, Tahribatsız Muayene Konusunda 9 farklı kursta ve 10 sınavda öğretim kadrosunda yer almıştır. İngilizce bilmektedir ve evlidir.

20.05.2013  
20.05.2013  
20.05.2013