

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * NÜKLEER ENERJİ ENSTİTÜSÜ

126658

**GAMA RADYASYONU ZIRHLAMASI AMACIYLA
FARKLI BETONLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fiz.Lis. Sibel ONUR

22. YÜKSEK LİSANS TEZİ
NÜKLEER ENERJİ ENSTİTÜSÜ

Anabilim Dalı : NÜKLEER ARAŞTIRMALAR

Programı : NÜKLEER ENERJİ

126658

MAYIS 2002

**GAMA RADYASYONU ZIRHLAMASI AMACIYLA
FARKLI BETONLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fiz.Lis. Sibel ONUR
(304971063)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mayıs 2002**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. A. Beril TUĞRUL

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hasbi YAVUZ (İTÜ)

Yrd.Doç.Dr. Hasan YILDIRIM (İTÜ)

05.06.2002

05.06.2002

05.06.2002

MAYIS 2002

ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında farklı beton tiplerinin, üç farklı gama kaynağı kullanılarak radyasyon zırhlamasına ilişkin bir değerlendirme hedeflenmiştir. Bu çalışmanın, konu ilgililerine faydalı olacağı umulur.

Yüksek Lisans Eğitimim sırasında ders ve tez aşamasında her zaman yardımda bulunup, teşvik eden ve destekleyen değerli Hocam Sayın Prof. Dr. A. Beril TUĞRUL'a en içten duygularıyla teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Fotoğraflama ve bilgisayar ortamına aktarımında yardımcı olan İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü Araş. Gör. Nilgün DOĞAN'a teşekkür ederim.

Deneylerde kullanılan numunelerin hazırlanmasında yardımcı olan İ.T.Ü. İnşaat Fak. Öğretim Görevlisi Sayın Yrd. Doç. Dr. Hasan YILDIRIM'a ve Araş. Gör. Anıl DOĞAN'a teşekkür ederim.

Bütün öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen aileme ve çalışmam sırasında büyük bir özveriyle bana yardımcı olan eşim Miktağ ÜRKÜT'e teşekkür ederim.

MAYIS 2002

Sibel ONUR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. ELEKTROMANYETİK RADYASYON	4
2.1. Elektromanyetik Radyasyon Ailesi	4
2.2. Girici Manyetik Radyasyonlar	7
2.2.1 X-Işınları	7
2.2.1.1.Karakteristik X-Işınları	7
2.2.1.2.Frenleme Radyasyonu Tipindeki X-Işınları	9
2.2.2.Girici Elektromanyetik Radyasyonun Madde İle Etkileşimi	9
2.2.2.1.Fotoelektrik Olay	10
2.2.2.2.Compton Olayı	12
2.2.2.3.Çift Oluşum	14
3. ZIRHLAMA	15
3.1.Radyasyonun Biyolojik Etkileri	16
3.1.1.Somatik Etkiler	16
3.1.1.1. Akut Işınlama	16
3.1.1.2. Kronik Işınlama	17
3.1.2. Genetik Etkiler	17
3.2. Radyasyondan Korunma	17
3.2.1.Radyasyon Kaynağına Uzaklık	18
3.2.2.Işınlama Süresi	19
3.2.3.Radyasyon Kaynağının Zırhlanması	19
3.3.Zırhlama Hesaplaması	21
3.4.Zırhlamada Kullanılan Malzemeler	22
3.5.Yarı Tabaka Kalınlığı	25
4. BETON	28
4.1. Betonun Tanıtımı	28
4.1.1.İşlenebilirlik	29
4.1.2.Mukavemet	29
4.1.3.Dış Etkilere Dayanıklılık	29
4.2. Beton Bileşimi	29
4.3. Bağlayıcı Maddeler	30
4.3.1.Çimento-Yapay Portland Çimentosu	30
4.3.1.1. İncelik	31
4.3.1.2. Priz	31
4.3.1.3. Hidratasyon Isısı	31
4.3.1.4. Çimentonun Mekanik Dayanımı	32

4.3.2. Alçı	32
4.3.3. Kireç	32
4.3.4. Beton Karma Suyu	32
4.3.5. Beton Agregaları	32
4.4. Beton Üretimi	33
4.5. Beton Dayanıklılığı	33
4.5.1. Betonun Termik Genleşme Dayanıklılığı	33
4.5.2. Yüksek Sıcaklıklara Dayanıklılığı	34
4.5.3. Betonun Kimyasal Dayanıklılığı	34
4.5.3.1. İç Etkiler	35
4.5.3.2. Dış Etkiler	35
4.6. Betona Ek Nitelikler Kazandıran Katkı Maddeleri	36
4.6.1. Betonların Fiziksel ve Mekanik Niteliklerini Artıran Katkı Maddeleri	36
4.6.2. Betonun Kimyasal Etkilere Dayanıklılığını Etkileyen Katkı Maddeleri	37
4.7. Özel Amaçlı Betonlar	37
4.7.1. Hafif Betonlar	37
4.7.2. Ağır Betonlar	37
	38
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	39
5.1. Deneylerde Kullanılan Numunelerin Tanıtımı	39
5.1.1. Düşük Yoğunluklu Normal Beton	41
5.1.2. Yüksek Yoğunluklu Normal Beton	42
5.1.3. Barit Beton	43
5.1.4. Demir Cevheri Tozlu Beton	44
5.1.5. İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton	45
5.1.6. Deneylerde Kullanılan Betonların Yoğunlukları	46
5.2. Deneyde Kullanılan Radyasyon Kaynakları	47
5.2.1. Co-60 Radyoizotop Kaynağı	48
5.2.2. Cs-137 Radyoizotop Kaynağı	48
5.2.3. Ir-192 Radyoizotop Kaynağı	48
5.3. Deneyde Kullanılan Elemanlar	48
5.3.1. Sintilasyon Dedektörü	49
5.3.2. Çok Kanallı Analizör	49
5.3.3. Kolimatör	50
5.3.4. Zırh Elemanları	51
5.4. Sayım Geometrisi	52
5.5. Deney Düzenegi	53
5.6. Deneğin Yapılışı	54
6. DENEY SONUÇLARI	56
6.1. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Beton Tipleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	56
6.1.1. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	56
6.1.2. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	
6.1.3. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Baritli Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	61

6.1.4.Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	63
6.1.5. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	65
6.2.Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Beton Tipleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	67
6.2.1.Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	67
6.2.2. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	69
6.2.3. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Baritli Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	71
6.2.4. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	73
6.2.5. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	75
6.3.Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Beton Tipleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	77
6.3.1.Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	77
6.3.2. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	79
6.3.3. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak Baritli Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	81
6.3.4. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	83
6.3.5. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	85
6.4. DeneySEL Sonuçları Mukayeseli Değerlendirilmesi	87
6.4.1. Farklı Gama Kaynakları İle Ulaşılan Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	87
6.4.1.1. Co-60 Gama Kaynağı İle Ulaşılan Deneylerin Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	87
6.4.1.2.Cs-137 Gama Kaynağı İle Ulaşılan Deneylerin Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	90
6.4.1.3.Ir-192 Gama Kaynağı İle Ulaşılan Deneylerin Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	92
6.4.2.Farklı Beton İle Ulaşılan Deneylerin Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	93
6.4.2.1.Düşük Yoğunluklu Normal Beton İle Ulaşılan Deneylerin Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	93
6.4.2.2.Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İle Ulaşılan Deneylerin Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	94
6.4.2.3.Baritli Beton İle Ulaşılan Deneylerin Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	95
6.4.2.4.Demir Cevheri Tozlu Beton İle Ulaşılan Deneylerin Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	96
6.4.2.5.İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İle Ulaşılan Deneylerin Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi	97

	<u>Sayfa No</u>
7. SONUÇ VE TARTIŞMA	101
KAYNAKLAR	105
ÖZGEÇMİŞ	107



KISALTMALAR

İ.T.Ü	: İstanbul Teknik Üniversitesi
ALARA	: As Low As Reasonably Achievable
NaI(Tl)	: Talyumla aktive edilmiş Sodyum İyodür
MMED	: Maksimum müsaade edilebilir doz
OTK	: Onda bir tabaka kalınlığı
YTK	: Yarı tabaka kalınlığı
NRC	: Nuclear Regulatory Commission
ICRP	: International Commission on Radiological Protection
HVL	: Half Value Layer



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 5.1	Çalışılan Düşük Yoğunluklu Beton Numunelerin Özellikleri	41
Tablo 5.2	Çalışılan Yüksek Yoğunluklu Beton Numunelerin Özellikleri	42
Tablo 5.3	Çalışılan Baritli Beton Numunelerin Özellikleri.....	43
Tablo 5.4	Çalışılan Demir Cevheri Tozlu Beton Numunelerin Özellikleri.....	44
Tablo 5.5	Çalışılan İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton Numunelerin Özellikleri	45
Tablo 5.6	Çalışılan Beton Numunelerin Yoğunlukları	46
Tablo 5.7	Deneylerde Kullanılan Radyoizotop Kaynakların Özellikleri	47
Tablo 6.1	Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle Düşük Yoğunluklu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları	58
Tablo 6.2	Co-60 Radyoizotop Kaynağı ile Yüksek Yoğunluklu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları	60
Tablo 6.3	Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle Baritli Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları	62
Tablo 6.4	Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	64
Tablo 6.5	Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	66
Tablo 6.6	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Düşük Yoğunluklu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları	68
Tablo 6.7	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Yüksek Yoğunluklu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	70
Tablo 6.8	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Baritli Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	72
Tablo 6.9	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	74
Tablo 6.10	Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	76
Tablo 6.11	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle Düşük Yoğunluklu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları	78
Tablo 6.12	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle Yüksek Yoğunluklu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları	80
Tablo 6.13	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle Baritli Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	82
Tablo 6.14	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları.....	84
Tablo 6.15	Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Deneylerin Sonuçları.....	86
Tablo 6.16	Üç Farklı Gama Kaynağı Kullanılarak Ulaşılan Bağlı Sayım Deney Sonuçları.....	88
Tablo 6.17	Beş Farklı Beton Tipi Kullanılarak Ulaşılan Bağlı Sayım Deney Sonuçları.....	92
Tablo 6.18	Çalışılan Beş Tip Beton ve Üç Farklı Gama Kaynağı İçin Deneysel Olarak Belirlenen Yarı Tabaka Kalınlıkları.....	98

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	Elektromanyetik Radyasyon Ailesi	6
Şekil 2.2	Karakteristik X ışınlarının Oluşum Mekanizması.....	8
Şekil 2.3	Karakteristik X-ışınlarına Ait Çizgisel Spektrum (Halmshaw,1971).....	8
Şekil 2.4	Frenleme Radyasyonu Tipindeki X ışınlarına Ait Geniş Spektrum (Halmshaw,1971)	9
Şekil 2.5	Fotoelektrik Olay (Powsner,1998).....	10
Şekil 2.6	Fotoelektronun Kinetik Enerjisi.....	11
Şekil 2.7	Compton Saçılması	12
Şekil 2.8	Compton Elektronu ve Foton.....	13
Şekil 2.9	Çift Oluşumu	14
Şekil 3.1	α , β , γ Işınlarının Zırhlanması	20
Şekil 3.2	α , β , γ Işınlarının Durdurulması.....	20
Şekil 3.3	Zırhlamada Yaygın Kullanılan Bazı Malzemeler İçin Enerjiye Bağlı Yarı Tabaka Kalınlıkları (Shapiro,1990).....	26
Şekil 5.1	Numune Geometrisinin Şematik Gösterimi.....	41
Şekil 5.2	Adi Beton Numunesi.....	42
Şekil 5.3	Normal Beton Numunesi.....	43
Şekil 5.4	Baritli Beton Numunesi.....	44
Şekil 5.5	Demir Cevheri Tozlu Beton Numunesi.....	45
Şekil 5.6	İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton Numunesi	46
Şekil 5.7	Kullanılan Sintilasyon Dedektörü.....	49
Şekil 5.8	Kullanılan Çok Kanallı Analizör.....	50
Şekil 5.9	Kullanılan Kolimatörün Arkadan Görünümü.....	50
Şekil 5.10	Kullanılan Kolimatörün Önden Görünümü.....	51
Şekil 5.11	Kullanılan Zırh Elemanı.....	51
Şekil 5.12	Sayım Geometrisinin Şematik Görünümü.....	52
Şekil 5.13	Sayım Geometrisi.....	53
Şekil 5.14	Deney Düzeneği.....	53
Şekil 6.1	Co-60 Gama Kaynağı İle Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	57
Şekil 6.2	Co-60 Gama Kaynağı İle Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	59
Şekil 6.3	Co-60 Gama Kaynağı İle Baritli Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	61
Şekil 6.4	Co-60 Gama Kaynağı İle Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	63
Şekil 6.5	Co-60 Gama Kaynağı İle İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	65
Şekil 6.6	Cs-137 Gama Kaynağı İle Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	67
Şekil 6.7	Cs-137 Gama Kaynağı İle Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	69
Şekil 6.8	Cs-137 Gama Kaynağı İle Baritli Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	71
Şekil 6.9	Cs-137 Gama Kaynağı İle Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	73

	Sayfa No
Şekil 6.10 Cs-137 Gama Kaynağı İle İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	75
Şekil 6.11 Ir-192 Gama Kaynağı İle Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları	77
Şekil 6.12 Ir-192 Gama Kaynağı İle Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	79
Şekil 6.13 Ir-192 Gama Kaynağı İle Baritli Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	81
Şekil 6.14 Ir-192 Gama Kaynağı İle Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	83
Şekil 6.15 Ir-192 Gama Kaynağı İle İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları.....	85
Şekil 6.16 Co-60 Gama Kaynağı İle Çalışılan Beton Tipleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi.....	89
Şekil 6.17 Cs-137 Gama Kaynağı İle Çalışılan Beton Tipleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi.....	90
Şekil 6.18 Ir-192 Gama Kaynağı İle Çalışılan Beton Tipleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi.....	91
Şekil 6.19 Düşük Yoğunluklu Normal Beton İle Çalışılan Gama Kaynakları İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi.....	93
Şekil 6.20 Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İle Çalışılan Gama Kaynakları İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi	94
Şekil 6.21 Baritli Beton İle Çalışılan Gama Kaynakları İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi	95
Şekil 6.22 Demir Cevheri Tozlu Beton İle Çalışılan Gama Kaynakları İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi.....	96
Şekil 6.23 İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İle Çalışılan Gama Kaynakları İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi	97
Şekil 6.24 Co-60 Gama Kaynağı İçin Yarı Tabaka Kalınlığının Beton Yoğunluğuna Bağlı Değişimi.....	99
Şekil 6.25 Cs-137 Gama Kaynağı İçin Yarı Tabaka Kalınlığının Beton Yoğunluğuna Bağlı Değişimi.....	99
Şekil 6.26 Ir-192 Gama Kaynağı İçin Yarı Tabaka Kalınlığının Beton Yoğunluğuna Bağlı Değişimi.....	100

SEMBOL LİSTESİ

c	: Işık Hızı
d_m	: Ölçülen Doz
d_{mmd}	: Maksimum Müsaade Edilebilecek Doz
$D(r)$	: Mesafenin Fonksiyonu Olarak Radyasyon Dozu
$\Delta\lambda$	: Dalga Boyu Farkı
E_e	: Elektronun Enerjisi
E_f	: Foton Enerjisi
E_i	: Çok Enerjili Kaynağın Enerjileri
E_γ	: Gama Fotonunun Enerjisi
f	: Frekans
f'	: Saçılan Fotonun Frekans
f_j	: Kaynağın j'inci Enerji Piki Faktörü
h	: Planck Sabiti
I	: Ölçülen Sayım Değeri
I_o	: Başlangıç Sayım Değeri
λ	: Dalga Boyu
λ'	: Sekonder Fotonun Dalga Boyu
M	: Radyasyon Kaynağının Enerji Sayısı
m_e	: Elektronun Kütlesi
m_{bet}	: Beton Kütlesi
$m_{çim}$	: 1 m ³ Betondaki Çimento Kütlesi
m_{su}	: 1 m ³ Betondaki Su Kütlesi
n	: Malzeme Sayısı
η	: Absorbsiyon Olasılığı
μ_i	: i'inci Malzemenin Absorblanma Katsayısı
μ	: Absorblanma Katsayısı
OTK	: Onda Bir Tabaka Kalınlığı
r	: Kaynak İle Nokta Arası Uzaklık
R	: Dedektörün Ölçüm Faktörü
ρ	: Malzeme Yoğunluğu
$\rho_{çim}$	: Çimento Yoğunluğu
ρ_{su}	: Su Yoğunluğu
S_p	: Radyasyon Kaynağının Aktivitesi
t	: Zırh Kalınlığı
t_ϕ	: Çalışma Süresi
t_i	: i'inci Zırhın Kalınlığı
θ	: Saçılma Açısı
V_A	: 1 m ³ Betondaki Agrega Hacmi
V_H	: 1 m ³ Betondaki Hava Boşluğu Hacmi
YTK	: Yarı Tabaka Kalınlığı
Z	: Maddenin Atom Numarası

GAMA RADYASYONU

ZIRHLAMASI AMACIYLA

FARKLI BETONLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Radyasyonun canlılar üzerinde istenmeyen etkilerinin önlenmesi açısından önemli bir konu“Zırhlama”dır. Radyasyonla çalışmalarda, çalışma şartları, radyasyon kaynağına belli bir mesafeyle ve belli sürelerde çalışmayı gerektirir. Radyasyon korunmasının ana ilkesi, vücudun maruz kalacağı radyasyon seviyesini mümkün olan en düşük düzeye indirmektir. Bunun için günümüzde radyasyonun cinsine göre birçok zırhlama tekniği geliştirilmiştir.

Zırhlamada, sıkça kullanılan bir malzeme betondur. Bu çalışmada beş tip beton numuneleri farklı kalınlıklarda ve toplam kalınlığı 14 cm olacak şekilde hazırlanmıştır.

Endüstriyel alanda en çok kullanılan üç gama radyoizotop kaynağı olan Co-60, Cs-137 ve Ir-192 radyoizotopları ile çalışılmıştır. Beş farklı beton numunesinin, her üç radyoizotop kaynak kullanılarak, farklı kalınlıklara ilişkin deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarla, beş farklı beton tipi için, üç farklı gama radyoizotop kaynağına ilişkin yarı-kalınlık tayini yapılmıştır.

Buna göre, üç farklı gama radyoizotop kaynağı kullanılarak, beş farklı beton tipi için yapılan deneylerden elde edilen yarı-kalınlıklar çerçevesinde beton tiplerine ilişkin zırhlama değerlendirilmesi yapılmış ve karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.

THE EVALUATION OF DIFFERENT CONCRETES AIMING TO SHIELDING OF GAMMA RADIATION

SUMMARY

Shielding is a significant subject to prevent the undesired effects of radiation on living things. While working with radiation, the conditions need us to work in specific periods and be close to the source of radiation with a particular distance. The main principle of protecting ourselves from radiation is to keep the radiation level at minimum and nowadays there are lots of techniques to achieve this according to different types of radiation.

In these studies, five different samples of concretes are provided in different thicknesses the total of which will not be more than 14 cm.

For this experiment, three gamma radioisotopes that are commonly used in industrial field were used and they are the sources of Co-60, Cs-137 and Ir-192 radioisotopes. An experiment containing the five concrete samples applied to three radioisotopes in various thicknesses was applied. According to the results, for the five different concrete samples related to the three radioisotopes, half thickness is determined. At the end, under the lights of data, the evaluation of shielding as made and the results were interpreted comparatively.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde radyasyon kullanımı, gelişen nükleer teknoloji ile birlikte hayli yaygınlaşmıştır. İnsanoğlunun yakın bir geçmişte keşfettiği radyasyon, bugün pek çok alanda insanlar tarafından başarı ile kullanılmaktadır. Radyasyonun keşfedilişinin yeniliğine karşın, radyasyon kullanan tekniklerin gelişimi hızlı olmuştur.

1932 yılında nötronun keşfi, radyoaktif elementlerin yapay olarak oluşturulması bağlamında önemli bir aşamayı oluşturmuştur. Nötronun keşfini takiben, çekirdek fisyonunun keşfi, nükleer reaktörlerin gelişimine yol açmıştır. Böylelikle, dünyada kullanılan radyoaktif maddelerin ve dolayısı ile de radyasyon kaynaklarının sayısı artmıştır (Etherington, 1958).

Radyoaktif madde ve radyasyon yayınlı aletlerin varlığı, nükleer reaktörlerdeki fisyon ve nötron bombardımanı ile oluşturulan radyoizotopların, tehlikeli ve zararlı etkileri nükleer güvenlik açısından zırhlama teknolojisini ortaya çıkarmıştır. Radyasyon, ileri seviyede malzemeye nüfuz edebilme kabiliyetine sahip olabilmektedir. Bu nedenle, yüksek enerji ve yüksek aktiviteli enerji kaynaklarının nükleer güvenlik açısından zırhlanması gerekmektedir.

Barışçıl amaçlı geliştirilen teknoloji ile nükleer reaktörler yaygınlaşmış ve bu sayede bugün, pek çok elementin radyoizotopları elde edilebilmiştir. Bunun sonucu olarak ta, radyoizotopların amaca uygun olarak kullanılması mümkün olmuştur. Gelişen yeni teknikler ve uygulamalar, her alanda etkili, ekonomik ve duyarlı bir çözüm haline gelmiştir (Oberhofer, 1991).

Radyasyon ve radyoizotopların kullanımı ile çeşitli nükleer teknikler gelişmiştir. Nükleer tekniklerin kullanım yerleri hayli farklılık arz edebilmektedir (Gardner ve Ely, 1967, Földiák, 1986). Bu bağlamda, bir ileri teknoloji uygulaması olan nükleer tekniklerin kullanımları çeşitlilik göstermektedir (Pant ve diğ., 2001).

Nükleer teknikleri, uygulama alanları ve amaçlarına bağlı olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu bağlamda; radyasyon ve radyoizotopların kullanımı da incelenmiş olmaktadır. Bu alanlar arasında; endüstriyel uygulama alanları, tıp uygulamaları, tarım ve hayvancılık uygulamaları ile arkeometriye yönelik uygulamalardan bahsedilebilir.

Nükleer tekniklerin önemli bir kullanım alanı olan endüstriyel kullanım, esas itibarıyla kalite temini ve kalite kontrolü amacıyla gerçekleşmektedir (**Halmshaw, 1991, Siyakuş, 2000**). Bu bağlamda farklı tekniklerin yaygın şekilde kullanımı söz konusu olmaktadır.

Radyoizotoplar en yaygın ve bilinen kullanım alanlarından biri tıp alanıdır. Bu alandaki nükleer uygulamalar, iki farklı amaca yönelik olmaktadır. Bunlar; teşhis ve tedavi amaçlı uygulamalardır. Teşhis amaçlı uygulamaların önemli olanları arasında; sintigrafi, lenfanjiyografi tomografi gibi teknikler sayılabilir. Tedavi amaçlı uygulamalar genellikle dış ışınlama şeklinde olmaktadır. Bununla beraber, iç ışınlama şeklinde geliştirilmiş teknikler de bulunmaktadır. Nükleer tekniklerin tıp alanındaki uygulamaları ile özellikle teşhis alanında yeni ufuklar açılmıştır (**Bernier ve diğ., 1997, Sandler ve diğ., 1996**).

Radyoizotoplar tarım ve tarım ürünlerine uygulanması, öncelikle gıda maddelerine yönelik olmaktadır. Radyasyondan, gıdaların bozulmasının ve besin değeri kayıplarının önlenmesine yönelik çalışmalarda yararlanılmaktadır. Hayvancılık uygulamalarında ise, hayvan hastalıklarının teşhisi için tıbbi uygulamalara paralel olarak uygulamalar yapılabilmektedir (**Garashina ve Chistyakov, 2000**).

Arkeometri, disiplinlerarası bir bilim dalı olarak nispeten “yeni” sayılabilecek bir bilim alanıdır. Eski eserlerin fen bilimleri teknikleri ile incelenmesini kapsamaktadır. Bu bağlamda, nükleer tekniklerin kullanımıyla, antik eserlerin tahribatsız olarak incelenmesi sağlanabilmekte ve çoğu kez alternatifsiz uygulamalarla eski eserler hakkında ileri bilgiler alınabilmektedir (**Tuğrul, 1985, Garaham ve Eddie, 1985**).

Görüldüğü üzere, nükleer teknikler ve bu bağlamda, radyasyon ve radyoaktif malzemelerle günümüzde pek çok alanda radyasyonla çalışma söz konusu olmaktadır. Ancak, radyasyonun; yeteri uzun süre maruz kalınması halinde canlılara negatif etkileri söz konusudur (**Hall, 2000**).

Bu durumda, radyasyonla ve radyoizotoplarla çalışma esnasında özel nükleer güvenlik tedbirlerinin alınması gereklidir.(Khoroshkov ve diğ. 1994, Dinter ve diğ.1996)Radyasyonun insanlar üzerinde istenmeyen etkilerinin önlenmesi açısından zırhlama önemli bir konudur. (Ferrari ve diğ.2001) Zırhlama malzemeleri içinde en önde gelen malzeme ise betondur. (Szepessy, 1982) Radyasyon tipleri arasında ise gama ışınları, zırhlama açısından önem arz eden bir radyasyon türüdür.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında, çeşitli beton tiplerinin farklı gama radyasyon kaynakları için zırhlama özeliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, farklı beton tipleri ile farklı gama kaynaklarına ilişkin belirli bir düzenek ile deneysel araştırmaların yapılması ve elde edilen verilerin değerlendirilerek yorumlanması bu çalışmayla amaçlanmış bulunmaktadır.

BÖLÜM 2

ELEKTROMANYETİK RADYASYON

Radyasyon öz bir tanımla, partikül akımı ile veya dalga tabiatı göstererek, bir ortama veya maddeye enerji transfer edilişi olarak tanımlanabilmektedir. Bu bağlamda; radyasyon;

- Elektromanyetik Radyasyon
- Partiküler Radyasyon

olarak sınıflandırılabilir. Burada; önemli bir grubu elektromanyetik radyasyon oluşturmaktadır. Giricilik ve radyasyondan korunma açısından elektromanyetik radyasyon öncelikle üzerinde durulması gereken grubu oluşturmaktadır. Bu bağlamda, bu Yüksek Lisans tezi kapsamında (ilgilenilen konu içinde yer alması nedeniyle), sadece elektromanyetik radyasyon üzerinde durulacaktır.

2.1. Elektromanyetik Radyasyon Ailesi

Elektromanyetik radyasyonlar, kütleli ve elektriksel özellikleri olmayan fotonun dalga hareketi olarak ifade edilebilir. Bu bağlamda, elektromanyetik radyasyonun ortak özelliklerinden bahsedilebilir.

Bunlar;

- Foton adı verilen enerji paketçisi ile yayınırlar.

Bu çerçevede;

$$E_f = h \cdot f \quad (2.1)$$

denklemleri geçerlidir. Burada, E_f foton enerjisini, h Planck sabitini ve f ise frekansı ifade etmektedir.

- Işık hızında yayınırlar
- Dalga tabiatındadırlar

Bu çerçevede;

$$c = \lambda \cdot f \quad (2.2)$$

yazılabilir. Burada; c ışık hızını, λ dalga boyunu ve f de frekansı temsil etmektedir.

- Enerjitikdirler.

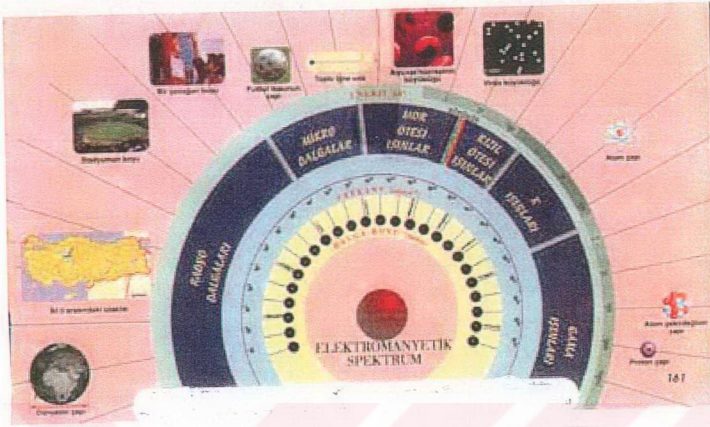
Bu bağlamda, Denklem 2.1 ve Denklem 2.2'den hareketle (sabit değerler yerine konduğunda);

$$E_f = 12,4 / \lambda \quad (2.3)$$

yazılabilir. Denklem 2.3 göstermektedir ki; elektromanyetik radyasyonun enerjisi ile dalga boyu ters orantılı değişim göstermektedir.

- Doğrusal yayınırlar
- Ters kare kanunu geçerlidir.

Elektromanyetik Radyasyon enerji ve/veya dalga boyuna göre kendi içinde ayırtılabilir (McMaster, 1963). Bu bağlamda, elektromanyetik radyasyonun bir aile oluşturduğu düşünülmekte ve çoğu kez "Elektromanyetik Radyasyon Ailesi" nitelemesiyle anılmaktadırlar. Şekil 2.8'de enerjilerine (veya dalga boylarına) göre elektromanyetik radyasyon ailesi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.1 Elektromanyetik Radyasyon Ailesi

Şekil 2.1'den de görüleceği gibi Elektromanyetik Radyasyon Ailesine mensup radyasyon tipleri olarak;

- Kozmik ışınlar
- Gama Işınlr
- X Işınları
- Ultraviole (morötesi) ışınlr
- Görünür ışıık
- Infrared (Kızıl Ötesi) Işınlr
- Radyo Dalgaları

sayılabilir.

Elektromanyetik radyasyonun madde ile değişimi dalga boyuna ve dolayısıyla enerjilerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bu bakımdan da farklı amaçlarla kullanımları söz konusudur.

2.2. Girici Elektromanyetik Radyasyonlar

Elektromanyetik radyasyon ailesi içinde, nükleer uygulamalar açısından özellikle önemli olanları girici elektromanyetik radyasyonlardır. Girici elektromanyetik radyasyon ile, katı maddeye nüfuz edebilen X ve gama ışınları kastedilmektedir.

X ve gama ışınları, orjinleri bakımından farklı olup, her ikisinde elektromanyetik radyasyon ailesine mensup kısa dalga boyulu ışınlardır. Gama ışınları atom çekirdeğinden yayınlanır. X ışınları ise çekirdeği çevreleyen elektron bulutundan meydana gelir.

2.2.1. X-Işınları

Atom uzayındaki elektron bulutunda X-ışınlarının meydana geliş biçimi iki farklı şekilde olmaktadır. Bu bağlamda, X-ışınlarını sınıflamak mümkündür.

X-ışınları meydana geliş şekline göre;

- Karakteristik X-ışınları
- Frenleme Radyasyonu tipindeki X-ışınları

olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

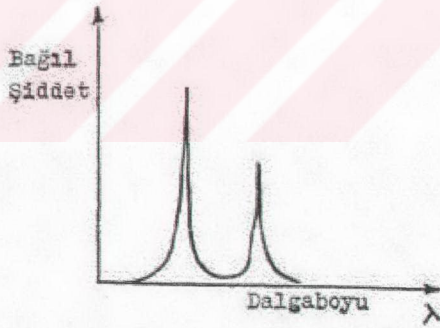
2.2.1.1. Karakteristik X-Işınları

Karakteristik X-ışınları, atomun elektron uzayındaki, elektron enerji seviyeleri arasındaki fark nedeniyle oluşur. Şekil 2.2'de X-ışınlarının oluşumu şematik olarak gösterilmektedir.

Karakteristik X-ışınlarının enerjileri, doğaları gereği belirli enerjilerdedir. Bir başka deyişle, karakteristik X ışınlarının enerji spektrumları çizgiseldir. Şekil 2.3'de karakteristik X-ışınlarına ilişkin çizgisel spektrumunu görülmektedir (**Halmshaw, 1971**).



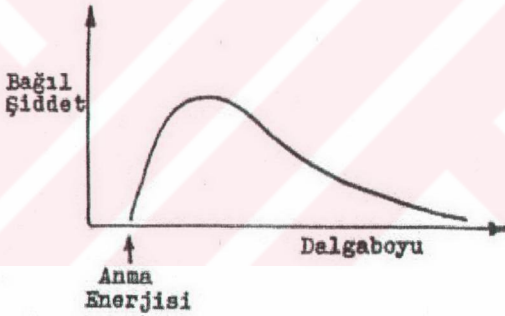
Şekil 2.2 Karakteristik X-Işınlarının Oluşum Mekanizması



Şekil 2.3 Karakteristik X-Işınlarına Ait Çizgisel Spektrum

2.2.1.2. Frenleme Radyasyonu Tipindeki X-Işımları

Bu tip X-ışınları; hızlandırılmış elektronların, atom uzayında ani olarak durdurulmaları sonucunda meydana gelirler. Hızlandırılmış elektronlar hedef atomun elektron atmosferinde frenleme tesiriyle karşılaşır ve elektron, enerjisini kaybederek X ışını yayınlanır. Frenleme Radyasyonu veya yabancı literatürde rastlandığı şekliyle “Bremstrahlung” olarak adlandırılan X-ışınları için geniş spektrum söz konusudur. Şekil 2.4’te frenleme tipi X-ışınlarının geniş spektrumu görülmektedir (Halmshaw, 1971).



Şekil 2.4 Frenleme Radyasyonu Tipindeki x-ışınlarına Ait Geniş Spektrum

2.2.2. Girici Elektromanyetik Radyasyonun Madde İle Etkileşimi

X ve gama ışınları elektrik yüklü olmamalarına karşın, atomlarla etkileşimlerinde iyonizasyon meydana getirebilirler. (Shapiro, 1991). Bu bakımdan, dolaylı iyonizan radyasyon olarak nitelenirler.

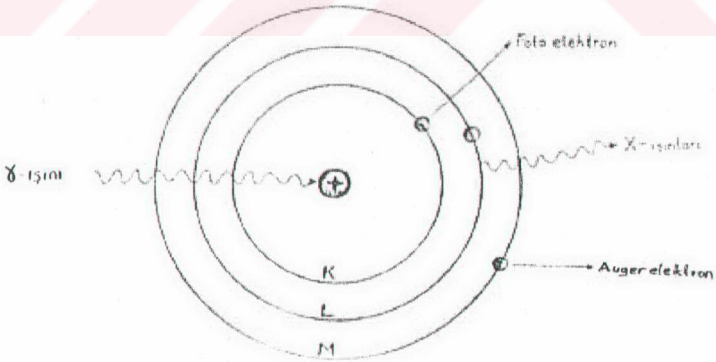
X ve gama ışınları madde ile etkileşimlerinde başlıca üç mekanizma ile enerji kaybederek absorblanırlar.

Bu üç olay;

- Foto-elektrik olay,
- Compton olayı,
- Çif oluşum olayı

2.2.2.1 Fotoelektrik Olay

Enerjileri 10 KeV ile 500 KeV arasında olan düşük enerjili fotonlar için en önemli enerji kaybı mekanizmasıdır. Bu olayda, bir gama ışın fotonu saçurucu atomla etkileşerek tamamen kaybolur. Onun yerine saçurucu atomun elektron yörüngesinin (genellikle atomun K kabuğundan) birinden enerjitik fotoelektron atılır. Gelen gama ışınının enerjisi, elektronu orijinal kabuğundan koparıp uzaklaştırmaya ve kinetik enerji vermeye harcanır. (Şekil 2.5)



Şekil 2.5 Fotoelektrik Olay

Fotoelektrik olay için h planck sabiti ve f frekans olmak üzere, foton enerjisini hf , bağlanma enerjisini hf_0 ve fotoelektronların maksimum kinetik enerjisini $E_{\max}$ olarak yazılırsa;

$$hf = hf_0 + E_{\max} \quad (2.1)$$

olarak ifade edilir (Powsner, 1998).

Fotoelektrik olay olma olasılığı, düşük enerjili gama ve x-ışınları ve yüksek atom numaralı soğurucu maddeler için büyüktür. Buna göre fotoelektrik absorpsiyon olasılığı (η);

$$\eta = Z^5 / E_\gamma^{7/2} \quad (2.2)$$

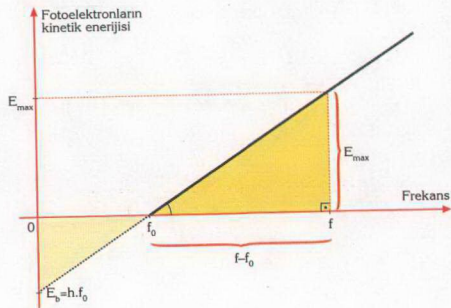
şeklindedir. Burada;

Z : Maddenin atom numarası.

E_γ : gama fotonunun enerjisini

temsil etmektedir.

Şekil 2.6'da fotoelektrik olayda; malzemeden kopan fotoelektronların maksimum kinetik enerjilerinin, malzemeye düşen fotonun frekansına bağlı grafiği görülmektedir.

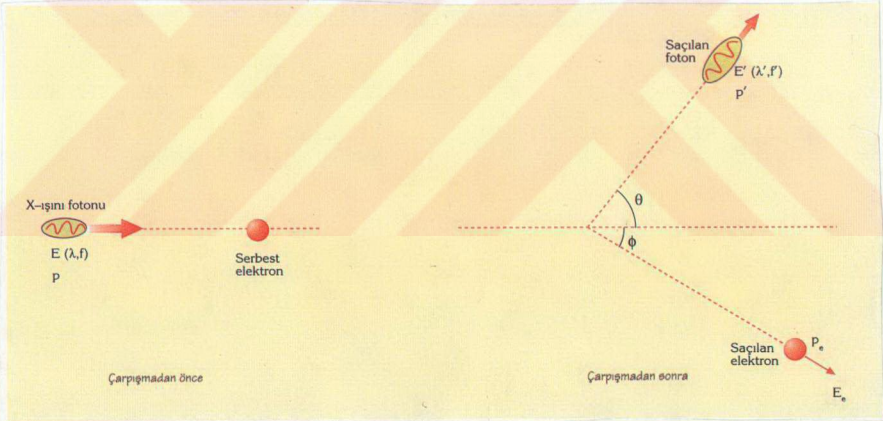


Şekil 2.6 Fotoelektronun Kinetik Enerjisi

2.2.2.2 COMPTON OLAYI

Energileri 0,6 –2,5 MeV arasında olan fotonlar ve yüksek atom numaralı soğurucu maddeler için oluşma olasılığı yüksektir. (Powsner, 1998) Compton olayında foton etkileşme sonucunda fotoelektrik olayda olduğu gibi enerjisinin tümünü kaybedip soğurulmak yerine enerjisinin sadece bir bölümünü kaybeder.

Compton saçılma olayında, gelen gama fotonu soğurucu madde atomunun dış elektronuyla esnek çarpışma yaparak enerjisinin bir bölümünü elektrona transfer eder. Bu olay sonucunda, geliş doğrultusundan Q açısı ile sapan bir gama ışın fotonu ve saçılan bir elektrona Compton elektronu denir. Bu elektron tıpkı fotoelektron gibi sekonder iyonizasyon meydana getirir ve sonunda absorplanır.



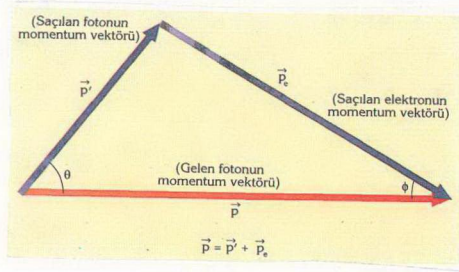
Şekil 2.7 Compton Saçılması

Compton absorpsiyonu;

Gelen fotonun enerjisi (hf); saçılan fotonun enerjisi (hf') ile saçılan elektronun enerjisinin (E_e) toplamı olarak;

$$hf = hf' + E_e \quad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. (Powsner, 1998)



Şekil 2.8 Compton Elektronu ve Foton

Compton deneyinde, gelen fotonun momentumu, saçılan fotonun momentumu ile saçılan elektronun momentumunun vektörel toplamına eşittir (Şekil 2.8).

Primer ve seconder fotonun dalga boyları arasındaki fark;

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = (h/m_e c) (1 - \cos\theta) = 0,024 (1 - \cos\theta) \quad (2.4)$$

olarak belirtilmektedir. dalga boyu farkı (son olarak) A° cinsinden hesaplanmış olmaktadır.

Burada;

$\Delta\lambda$: Primer ve sekonder foton arasındaki dalga boyu farkı

h : Planck sabiti

m_e : Elektronun kütlesi

θ : Saılma açısı

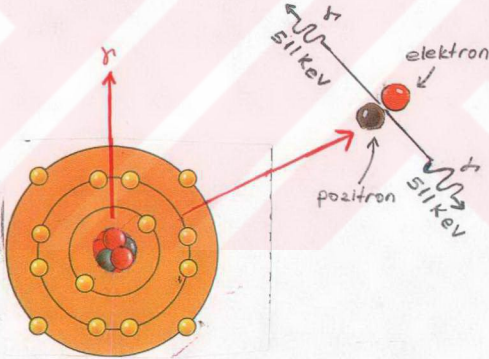
temsil etmektedir.

Formüllerden elde edilen sonuca göre saçılan fotonun dalga boyu değişmesi sadece saçılma açısı θ 'ya bağlı olmaktadır.

2.2.2.3 Çift Oluşum

Gama foton enerjisi, elektronun durgun kütle enerjisinin iki katından (1,02 MeV) daha fazla ise çift oluşum olayı gerçekleşir. Bu olayda, gama fotonu atom çekirdeğinin kuvvetli elektrik alanında kaybolur. Onun yerine elektron pozitron çifti oluşur (Şekil 2.9) (Powsner 1998).

Çift oluşum olma olasılığı, gama foton enerjisinin artmasıyla artar. Ayrıca gama foton şiddetinin çift oluşum olayı ile azalması, soğurucu maddenin atom numarasının karesi (Z^2) ile orantılıdır.



Şekil 2.9 Çift Oluşumu

BÖLÜM 3

ZIRHLAMA

Radyasyon, canlılar üzerine, yeterince uzun süre etkin olursa, canlıda negatif etkiler görülebilir. Radyasyon etkisi altında, hücrelerin radyasyon tarafından tahribi söz konusudur (**Williams, 1987**). Özellikle, iyonizan radyasyonlar, sebep oldukları iyonlaşma olayları sonucunda, canlı dokular üzerinde hayli tahribata neden olabilirler.

İyonizasyonun hücre üzerindeki etkisini açıklayan teoriler geliştirilmiştir. Bunlardan biri hedef teorisi (target theory). Bu teori; hücre içinde küçük bir duyarlı hacmin bulunduğunu ve hücrenin önemli bir hasara uğraması için radyasyonun bu duyarlı hacme çarpmasının gerekli olduğunu varsaymaktadır (**Durmaz, 2002**). Bu hacim “hedef” olarak adlandırılmaktadır. Hedefin dışında iyonizasyonun etkisiz olduğu kabul edilmektedir (**Bevelacqua, 1999**).

Bir başka teori de ise, iyonizasyonun hücre içinde meydana getirdiği kimyasal değişikliklerin telafı edilmeyecek bir hasarın meydana gelmesinden önce, hücre içinde belirli bir minimum miktar kimyasal değişikliği yapacak kadar iyonizasyon meydana gelmesi zorunluluğunu kabul etmektir (**Williams, 1987**).

Sonuçta, iki teori de, canlıda biyolojik önemli bir etkinin meydana gelebilmesi için hücrenin belli bir radyasyon seviyesinin üzerinde radyasyona maruz kalmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Öz olarak ifade etmek gerekirse; canlının radyasyondan negatif etkilenebilmesinin belli bir doz sınır değerinin üzerinde radyasyon alınması halinde mümkün olabileceği söylenebilir.

3.1. Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Canlıda meydana gelen biyolojik etkiler, başlıca iki çeşit olup, bunlar somatik ve genetik etkilerdir. Her ikisi de canlı için olumsuz etkileri ifade etmektedir.

3.1.1. Somatik Etkiler

Radyasyona maruz kalan kişinin, yaşam süresi içinde kendisinde ortaya çıkan biyolojik etkilerdir. Somatik etkilerin ortaya çıkmasında etken olan faktörler; maruz kalınan toplam radyasyon dozu, dozun alındığı zaman süresi, radyasyonlara maruz kalan vücut bölgesi ve alanı olarak sayılabilir (Powsner, 1998).

Belirli bir radyasyon dozuna maruz kalan vücut bölgesi, vücudun tümü ise meydana gelecek etki en büyük olmaktadır. Buna karşın, aynı doza maruz kalan bölge, sadece cildin ve kasların küçük bir hacmi ise etki en küçük olmaktadır (Williams, 1987).

Ayrıca, radyasyon hasarı için tamir olayı meydana geldiğinden, radyasyon etkisi belirli bir dozun verilmiş süresine bağlıdır. Genellikle, radyasyon dozu uzun bir zaman süresine yayılmış olarak verildiği takdirde, aynı dozun kısa süreli bir tek doz olarak verilmesinden, daha az etkin olmaktadır.

İnsanların radyasyon dozlarına maruz kalma süreleri de önem arz eden bir başka husustur. Buna göre; ışınlamaları akut ışınlama ve kronik ışınlama olarak ikiye ayırmak mümkündür.

3.1.1.1. Akut Işınlama

Kısa bir zaman süresi içinde ışınlamaya "akut ışınlama" adı verilmektedir (Powsner, 1998). Burada ani ışınlama söz konusudur. Genellikle, canlılar için akut ışınlamalar daha büyük sorun oluşturmalar.

3.1.1.2. Kronik Işınlama

Uzun bir zaman süresi içinde ışınlama "kronik ışınlama" olarak nitelenmektedir. Bu tür ışınlamada, radyasyon dozu yaygın bir süreçte alınmaktadır. Rutin mesleki ışınlamalar genellikle bu sınıfa girmektedir (**Powsner, 1998**). Çalışma doz birimleri, çoğu kez kronik ışınlama şartları için geçerlidir.

3.1.2. Genetik Etkiler

Işınlanan kişinin, üreme yolu ile sonraki kuşaklara geçebilen radyasyon hasarı etkileri "genetik etkiler"i oluşturmaktadır. Her bireyin kişisel tabiatını belirleyen genler ve bunu belirleyen kromozomların düzenlenişleri, ana ve babadan gelen gen özellikleri ile yakından ilişkilidir.

Üreme hücreleri dışında kalan insan hücrelerinin her biri 46 kromozom içermektedir (**Powsner, 1998**). Üreme hücrelerinde ise, 23 kromozom bulunmaktadır. Döllenme ile, yumurta hücresi, yarısı babadan ve yarısı da anadan gelmek üzere yine 46 kromozom taşımaktadır (**Bevelacqua, 1999**).

Radyasyon etkisiyle, üreme hücresinde yapı değişikliği olabilir ve "gen mutasyonu" meydana gelebilir (**Profio, 1979**). Hücre yaşadığı sürece meydana gelmiş olan herhangi bir mutasyon veya kromozomun yeniden düzenlenmesi, bölünme yoluyla yavru hücrelere geçer. Böylelikle bütün yeni kuşaklar değişikliğe uğramış hücrenin benzer bir kopyasını taşır. Burada, mutasyonun meydana geliş olasılığını belirleyen ana faktör, hücrenin aldığı toplam radyasyon dozu olmaktadır (**Powsner, 1998**).

3.2. Radyasyondan Korunma

Radyasyon korunmasının ana ilkesi, vücudun maruz kalacağı radyasyon düzeyini mümkün olan en düşük düzeye indirmektir. "Olabilen en düşük radyasyon miktarı" (ALARA) ile çalışmak radyasyonla çalışmada esastır (**NRC, 1991**).

Alınabilecek radyasyon dozuna ilişkin olarak doz limitleri belirlenmiştir. Bu limitler, edinilen tecrübeler ve hayvanlar üzerinde yapılan deneylerle belirlenmiş doz limitleridir.

Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP, 1977), tarafından "maksimum müsaade edilen doz" (MMED); "bir insanda ömrü boyunca hiçbir zaman önemli bir vücut arızaşı (somatik hasar) ve aşırı bir genetik hasar meydana getirmesi beklenmeyen iyonlaştırıcı radyasyon dozu" olarak tanımlanmaktadır.

Hemen anlaşılabacağı üzere, radyasyonla çalışırken veya radyasyon bulunan bölge civarı için radyasyon kaynağının çevresine verdiği doz ve buradaki canlıların bu doza maruz kalmaları önem taşımaktadır. Burada, amaç bu dozu, maksimum müsaade edilen doz seviyelerinin altına indirmektir.

Bu bağlamda, radyasyondan korunmada maruz kalınabilecek dozu indirmekte üç faktör önem arz etmektedir. Bunlar;

- Radyasyon kaynağına uzaklık
- Işınlama süresi
- Zırlama

olarak sayılabilir.

3.2.1. Radyasyon Kaynağına Uzaklık

Radyasyon kaynağından uzaklık ilk önemli faktörü oluşturur. Burada, ters kare" kanunu geçerlidir. Ters kare kanunu; Radyasyon şiddetinin, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalmasını ifade eder (Shapiro, 1990).

Bu durumda, kaynaktan 10 cm uzaklıktaki radyasyon şiddeti, 1 cm' deki radyasyon şiddetinden 100 kere daha az olacaktır. Bu durumda, radyasyonla çalışmada ilke; radyasyon kaynağından mümkün olduğu kadar uzak durmak ve uzakta çalışmaktır.

3.2.2. Işınlama Süresi

Işınlama süresi, radyasyonla çalışmada, alınan doza etken olan ikinci önemli faktördür. Bu bağlamda, radyasyonla çalışılırken, gereksiz radyasyon dozu alınmaması için çalışma süresi olabildiğince kısa tutulmalıdır.

Müsaade edilebilecek çalışma zamanı (saat / gün); günlük doz eşdeğeri sınırının, ölçülen radyasyon doz şiddetine oranı olacak şekilde hesaplanabilir (Shapiro, 1990).

Buna göre;

$$t_c = d_{mmd} / d_m \quad (3.1)$$

olarak yazılabilir.

Burada;

t_c : Çalışma süresi

d_{mmd} : Maksimum müsaade edilebilecek doz

d_m : Ölçülen doz

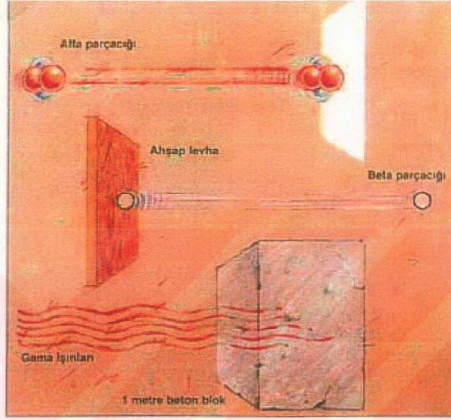
olmaktadır.

3.2.3. Radyasyon Kaynağının Zırhlanması

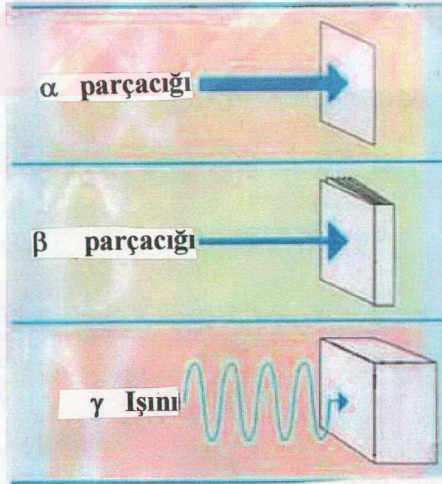
Radyasyondan korunmada üçüncü faktör, zırhlanmadır. Çoğu kez, kaynağa olan uzaklığın ve kaynak yakınında çalışma süresinin sınırlandırılması radyasyon dozunu yeterince azaltmak için yeterli olmamaktadır. Bu durumda, radyasyon kaynağının zırhlanması zorunluluk olarak ortaya çıkar.

Zırhlamanın temeli; radyasyon kaynağı ile çalışılacak yer arasında radyasyonu tamamen yutacak veya şiddetini müsaade edilebilecek doz seviyelerine kadar azaltacak nitelikte bir engel konulmasıdır (Powsner, 1998). Genellikle, zırhlama; radyasyon tehlikesinin önlenmesinin en etkin yoludur.

Şekil 3.1 ve 3.2 de farklı ışınların zırhlanması ve durdurulmasına ilişkin şematik görüntüler verilmektedir.



Şekil 3.1 α , β , γ ışınlarının zırhlanması



Şekil 3.2 α , β , γ ışınlarının durdurulması

3.3. Zırhlama Hesaplaması

Zırhlama hesaplamaları, için kaynak boyutu ve durumu önemlidir. Radyasyon kaynakları, genellikle “büyük” boyutlu olmamaktadırlar. Bu durum, özellikle, laboratuvar radyasyon kaynakları için söz konusudur. Bu şartlarda, radyasyon kaynağı “nokta kaynak” olarak düşünülebilir.

Radyasyon kaynağı nokta kaynak ve ortam boşluk ise zırhlama hesabı için;

$$D(r) = (S_p \cdot R) / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \quad (3.2.)$$

yazılabilir.

Burada;

S_p : Radyasyon kaynağının aktivitesi

R : Dedektörün ölçüm faktörü

r : Radyasyon kaynağı ile nokta arası uzaklık

ifade etmektedir.

Radyasyon kaynağı nokta kaynak ve bu kaynak bir zırh ile zırhlanmış ise ve de zırh ortamı homojen yavaşlatıcı ise zırhlama hesabı;

$$D(r) = (S_p \cdot R \cdot e^{-\mu \cdot t}) / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \quad (3.3)$$

şeklindedir (Shultis ve Faw, 1996).

Burada (yukarıdaki notasyonlara ilaveten);

t : Zırh kalınlığı

μ : Absorblanma katsayısını

temsil etmektedir.

Radyasyon kaynağı nokta kaynak olmakla beraber zırh malzemesi birden fazla homojen malzemeden oluşmuş zırh ise zırhlama hesabı;

$$D(r) = (S_p \cdot R \cdot \exp[-\sum_{i=1}^n \mu_i \cdot t_i]) / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \quad (3.4)$$

şeklindedir (Shultis ve Faw, 1996). Burada tanımlanmış notasyonlara ilaveten;

μ_i : i'inci malzemenin absorblanma katsayısını

t_i : i'inci zırhın kalınlığını

n : Malzeme sayısını

ifade etmektedir.

Zırhlanacak radyasyon kaynağı tek enerjili değil, çok enerjili ise ve ortam homojen ise zırhlama hesabı;

$$D(r) = \sum_{j=1}^M (S_p \cdot f_j \cdot R(E_j) \cdot e^{-\sum \mu(E_j) \cdot t}) / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \quad (3.5)$$

olmaktadır (Shultis ve Faw, 1996).

Burada yukarıda tanımlanmış notasyonlara ilaveten;

f_j : Kaynağın j.inci enerji piki faktörü

E_i : Çok enerjili kaynağın enerjileri

M : Radyasyon kaynağının enerji sayısı

ifade etmektedir.

3.4. Zırhlamada Kullanılan Malzemeler

Nükleer uygulamaların yapıldığı her ortamda yutuculuk özelliği yüksek zırh malzemesi seçilmesi gerekir. Zırhlamada, radyasyon kaynağının türü ve enerjisine göre en uygun malzeme ve kalınlık seçilmesi gerekmektedir.

Zırh malzemesi seçimi için, zırh malzemelerinin sağlaması gereken bazı özellikler söz konusudur.

Bunlar;

- Radyasyonu zayıflatma
- İyi ısı iletkenliği
- Radyasyon mukavemeti
- Ekonomiklik

olarak sayılabilir.

Öncelikle, çevrenin radyasyondan korunmasının sağlanabilmesi için zırh olarak kullanılacak malzemelerin radyasyon zayıflatma etkisinin yüksek olması gerekir.

(Mc Donald ve diğ.1998) Ayrıca, zırh malzemelerinde, radyasyon ile malzemenin dışarı atılması gerekir. Bu durumda, zırh malzemesinin ve bağlı mekanizmaların bozulmaması için zırh malzemenin ısı iletkenliğinin yüksek olması gerekir.

(Etherington, 1958) Zırh malzemesinin uzun süre radyasyon zırhlanmasına maruz kalması malzemenin üzerine negatif etki yapar. Malzemenin mukavemeti zamanın fonksiyonu olarak azaldığına göre kullanılacak malzemenin yorulma mukavemetinin uygun değerlerde olması gerekir.

Bu radyasyon kaynağının enerjisine ve aktivitesine bağlı olarak zırhlanmasında kalınlık önemli boyutlarda ise, bu durumda kullanılacak malzemenin ekonomisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu özellikler zırh malzemesi için önde gelen özelliklerdir. Bunlardan ayrı olan kullanılan zırhın her kesiminde malzeme homojen dağılımlı olmalı ve yoğunluk sabit kalmalıdır. Zırh malzeme yanıcı olmamalı, zehirsiz ve kokusuz olmalıdır.

Farklı radyasyon türleri için farklı zırh malzemelerinin tercihi söz konusudur. Bu bağlamda, zırhlama amacıyla farklı malzemeler kullanılabilmektedir. Aşağıda önde gelen bazı zırh malzemeleri tanıtılmaktadır.

- Su** : Su doğal bir zırh malzemesidir. Yeterince boyutlarda su kullanılarak gerekli zırhlama sağlanabilir. Su ile gama ve nötron zırhlanabilir.
- Toprak** : Doğal bir eleman olan toprak iyi bir zırhlama özelliğine sahiptir. İyi Bir gama zırhlayıcısı olan toprakta 92 doğal element bulunmaktadır. Günümüzde toprağın çok kullanılmamasının sebebi harfiyatının oldukça pahalı olmasıdır.
- Uranyum** : Uranyum ağır ve yoğun bir zırh elemanı olduğu için zırhlama kabiliyeti oldukça iyidir. Uranyum iyi bir zırh malzemesi olmakla birlikte alfa aktif olduğu için ve dışa karşı mukavemetini arttırmak için etrafına zırhlayıcı olarak paslanmaz çelik kullanılır.
- Kurşun** : Kurşun zırh elemanı olarak en çok kullanılan elementlerden biridir. Kurşun yerine zırhlama için uranyum kullanılmasının sebebi hacimden kazanmak içindir. Ayrıca ergime noktasının düşüklüğü ve çalışılan yerlerde toksik riski oluşturması kullanım açısından dezavantaj oluşturur.
- Bizmut** : Bizmut gamayı zırhlayabilen ama nötronu geçiren bir malzemedir. Bu nedenle iyi bir nötron çalışması için nötron kolimatörlerinde bizmut kullanılır.
- Tungsten** : Ağır ve pahalı bir malzemedir. Zırhlama elemanı olarak bu nedenle pek tercih edilmez.
- Çelik** : Girici elektromanyetik radyasyona karşı zırhlamada tercih edilen Bir malzemedir. Zırhlamada yaygın olarak kullanılır.
- Beton** : Zırhlamada kaliteli beton kullanımı yaygındır. Ana taşıyıcı zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır

Bu Yüksek Lisans Tez konusu, esas itibariyle betonlarla ilgili olduğundan bu konu ayrı bir bölüm halinde de ele alınacaktır.

3.5. Yarı Tabaka Kalınlığı

Heterojen malzemeler için Bölüm 3.3 içinde verilen şekilde analitik çözümlemelerle zırlama hesaplaması yapmak ancak genel kabuller yapmakla mümkün olabilir. Bu da hata oranlarının yüksek olabileceği sonucunu doğurur. Bu nedenle, yarı tabaka kalınlığı kavramı ile çalışmak, uygulamada çoğu kez tercih edilmektedir (Powsner, 1998).

Beton, zırlama amacıyla kullanılan heterojen malzemelerden biridir. Zırlı malzemesi olarak, özellikle ışınlama odaları için sıkça kullanılan beton, farklı malzemelerden oluşmaktadır. Bu farklı malzemeler karışım halinde olup, heterojen bir ortam oluşturmaktadırlar.

Yarı tabaka kalınlığı kavramı ile çalışılması, beton için hayli uygun bir yoldur. Yarı tabaka kalınlığı (Half Value Layer-HVL); tanım olarak; radyasyon şiddetini yarıya indiren malzeme kalınlığıdır.

Yarı tabaka kalınlığı;

$$YTK = 0,693 / \mu \quad (3.6)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Burada;

YTK : Yarı tabaka kalınlığı

μ : Absorblanma katsayısı

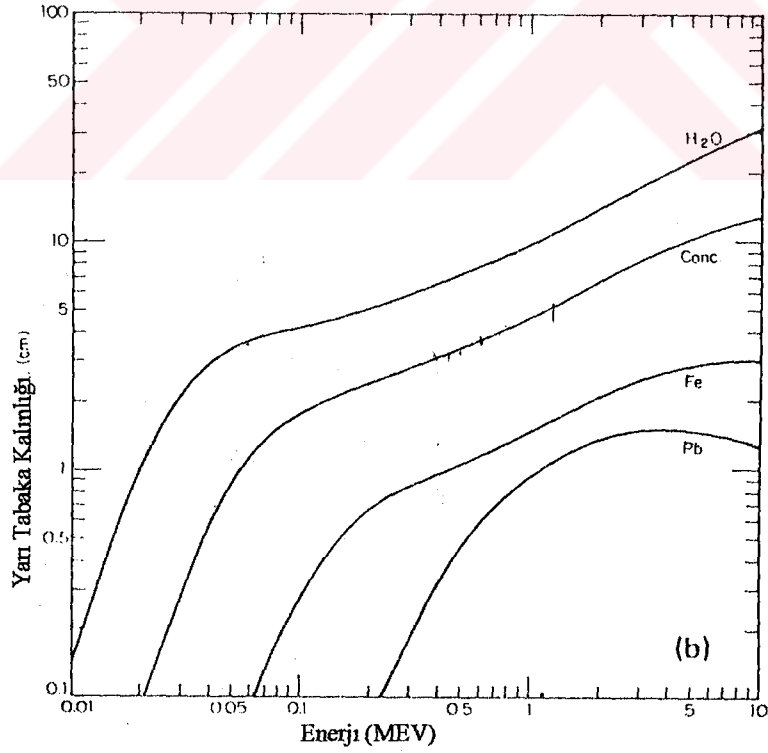
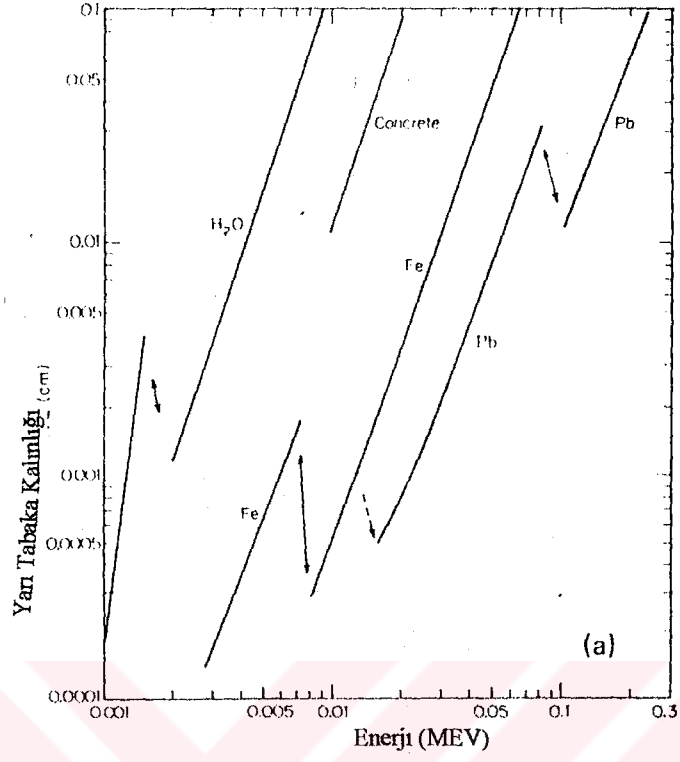
temsıl etmektedir

Yarı tabaka kalınlığından ayrı olarak, onda bir tabaka kalınlığı da zırlamada kullanılan bir diğer kavram olup, radyasyon şiddetini onda bire indiren malzeme kalınlığını ifade etmektedir.

Onda bir tabaka kalınlığı (OTK);

$$OTK = 2,303 / \mu \quad (3.7)$$

olarak hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.3 Zırhlamada Yaygın Kullanılan Bazı Malzemeler İçin Enerjiye Bağlı Yarı Tabaka Kalınlıkları (İyi geometri şartları için) (Malzeme Yoğunlukları: $\rho_{su} = 1 \text{ g/cm}^3$; $\rho_{Fe} = 7,85 \text{ g/cm}^3$; $\rho_{Pb} = 11,3 \text{ g/cm}^3$; $\rho_{Beton} = 2,36 \text{ g/cm}^3$) (Shapiro, 1990)

Absorblanma katsayısı enerjiye ve malzemeye bağlı olarak değişmektedir. Buna göre, yarı tabaka kalınlığı ve onda bir tabaka kalınlığı da enerjiye ve malzemeye bağlı olarak değişecektir (**Shapiro, 1990**). şekil 3.3’de zırhlamada yaygın kullanılan bazı malzemeler için enerjiye bağlı yarı tabaka kalınlığı grafikleri verilmektedir.



BÖLÜM 4

BETON

Önemli bir zırh malzemesi olan beton hayli çeşitli ve farklı olabilmektedir. Zırh malzemelerin sıkça tercih edilen beton aşağıdaki bölümlerde tanıtılmaktadır.

4.1. BETONUN TANITIMI

Beton, inşaat mühendisliği alanında yüzyılımızın en önemli yapı malzemesidir. Betonu, öz olarak, önceden şekil verebildiğimiz bir yapay taş olarak tanımlayabiliriz. Beton, agregada adını verdiğimiz kum, çakıl, mıcır gibi taneli mineral malzemenin, onları yapıştıran çimento ve su ile karıştırılması sonucu meydana gelir.

Çimento sanayii bugünkü düzeyine varmasaydı, beton da günümüzdeki önemli yerine gelemezdi. Betonun bileşenleri içinde çimento; gerek ekonomik, gerek teknolojik özellikleri açısından farklı bir yere sahiptir. Ayrıca, betonu oluşturan iri taneli agregaların, betonun taşıyıcı malzeme sayılmasında önemi büyüktür. İri taneler yükleri birbirlerine aktararak taşıyıcı bir iskelet oluştururlar. (Akman, 1975)

Çimento, agregada ve su ile ilk karıştırıldığında kolayca şekil verilebilen bir malzemedir. Bu durumdaki betona “taze beton” denmektedir. Birkaç saat içinde beton, katı hale geçer ve günlerce süren bir süreç sonunda sertliği artar ve mukavemet kazanır. Yeterince mukavemet kazanmış betona “sertleşmiş beton” adı verilmektedir.

Beton hangi amaç için üretilirse üretilsin muhakkak surette üç ana niteliğe sahip olmalıdır. Bu üç ana nitelik özellikle beton bileşimini yönlendiren niteliklerdir.

Bunlar;

- İşlenebilirlik
- Mukavemet
- Dış etkilere dayanıklılık

olarak sayılabilir.

4.1.1. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, taze beton özelliğidir. Taze beton kolay karıştırılmalı, kolay yerleştirilmeli, karışırken, taşınırken ve yerleştirilirken ayrışmamalı, homojenliğini yitirmemelidir.

4.1.2. Mukavemet

Mukavemet, sertleşmiş beton özelliğidir. Beton taşıyıcı bir malzeme olduğundan projede öngörülen mukavemeti güvenle sağlamalıdır.

4.1.3. Dış Etkilere Dayanıklılık

Dış etkilere dayanıklılık da, sertleşmiş beton özelliğidir. Hava, su veya kimyasal çevrenin etkisiyle olan çözülme, ıslanma, kuruma gibi fiziksel etkiler ve hatta beton iç yapısında agrega ve çimento arasında oluşabilecek reaksiyonlar sonucu beton niteliğini kaybedebilir. Örneğin; mukavemeti azalır, geçirimli olur, parçalanabilir. Betonun bu tür bozulmalara direnç göstermesi zorunludur.

4.2. Beton Bileşimi

Beton bileşimi denilince 1m^3 yerine yerleşmiş taze betonun içine konulan agrega, su, çimento miktarları anlaşılır. Bu durumda, beton için bileşenler;

- Agrega
- Beton karma suyu
- Çimento

olmaktadır.

Betonlara yeni özellikler kazandırmak, bazı özelliklerini belirgin olarak iyileştirmek durumları ile de karşılaşılır. Bunlar arasında; suyu geçirimsiz kılmak, deniz suyuna dayanıklılığını arttırmak, yüksek sıcaklıklara, donma ve çözölmeye dayanmasını sağlamak, aşınmasını azaltmak gibi hususlar sayılabilir. Bazı durumlarda karışımlara çok az miktarda bir dördüncü bileşen daha katılır. Bu dördüncü bileşenlere “katkı maddeleri” denilir. (Taylor, 1965)

4.3. Bağlayıcı Maddeler

Bağlayıcı maddeler agrega adını verdiğimiz mineral taneli malzemeyi birbirine bağlayarak yapay taş oluşumuna imkan veren malzemelerdir. Bağlayıcı maddelerin sıvı halden katı hale geçmesine “priz” adı verilmektedir. Bu hal değişimi, salt bir fiziksel olay değildir. Fiziksel ve kimyasal bir olaydır.

Priz olayı, suyla karıştırma başladığında meydana gelir. Ancak belirgin değildir. Priz olayını sadece havada yapabilen bağlayıcılara “hava bağlayıcıları”, hem havada hem su içinde katılaşabilen bağlayıcılara “hidrolik bağlayıcılar” denmektedir. Kireç bir hava bağlayıcısı, çimento ise hidrolik bağlayıcıdır. (Bayazıt, 1975)

4.3.1. Çimento-Yapay Portland Çimentosu

Kalker, kil karışımının 1400° C’ye kadar ısıtılması, içine ergimeyi kolaylaştırmak için demir filizi içeren toprak katılmasıyla meydana gelen ceviz büyüklüğündeki granüle malzemeye “klinker” adı verilmektedir. Klinkere % 3 oranında alçı taşı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ilave edildikten sonra çok ince olarak öğütülmesiyle “çimento” elde edilir. Bu üretimde en önemli husus, ilkel karışımının fırın içinde ayrışması, yarı ergimiş hale geldikten sonra tekrar ve fakat farklı kimyasal formüle sahip aktif elemanlar halinde birleşmesidir. (Postacıoğlu, 1986)

İnşaat malzemesi olarak önemli bir önemli çimento tipi Portland çimentosudur. Portland Çimentolarının 4 ana bileşenini;

2CaO SiO_2 (Bikalsiyum silikat, çimentocular C_2S şeklinde yazarlar)

3CaO SiO_2 (Trikalsiyum silikat, C_3S)ü

$4\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ (Trikalsiyum alüminat, C_3A)

$4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$ (Tetrakalsiyum alümino-ferrit, C_4AF)

şeklinde sıralanabilir.

Çimento için kimyasal bileşim yanında çimentolarda araştırılan fiziksel – mekanik özellikler de mevcuttur. Bu özellikler, betonun kalitesi ile yakından ilgilidir.

4.3.1.1 İncelik

Çimento tanelerinin aktif olmaları, hidratasyon sonunda daha yüksek mukavemetler verebilmeleri, ince öğütölmelerine bağlıdır. İnceliğin, mukavemet dışında da etkileri vardır.

İnceliğin artmasıyla;

- Çimentoyu ıslatmak için gereken su artar,
- Çimentonun beton içindeki dağılımı kolaylaşır
- Fiziko-kimyasal bir olay olan ilk ıslanma, (taneler inceldikçe) daha büyük bir ısı çıkarak oluşur.

4.3.1.2. Priz

Priz süreleri beton dökmenin pratik uygulaması açısından önem taşır ve standartlarda tesbit edilmiştir. Örneğin; priz süresi olarak 1 saatten önce başlamamak, 10 saatten uzun sürmemek gibi limitler söz konusudur. Ancak çimento türüne göre bu süreler farklı olmaktadır. Doğal çimento denilen ve alçıtaşı konulmadan üretilen çimentolarda, priz 8 inci dakikada başlar, 15 inci dakikada biter.

4.3.1.3. Hidratasyon Isısı

Katılaşmanın ve sertleşmenin kimyasal nedeni olan hidratasyon, çimentolarda ekzotermik bir reaksiyon şeklinde gelişir. Çimentonun suyla karıştırıldığında, ilk ıslanma sonucu meydana gelen ısı yayılması da hidratasyon ısısının bir bölümü gibi düşünülebilir.

Hidratasyonun ekzotermik davranışı büyük kütle betonlarında iç sıcaklığı yükseltir. Hava ile temasta olan dış kısım soğur ve büzülür, beton çatlak ve su geçirimli bir malzeme üretilmiş olur. Hidratasyon ısısını arttıran faktörler arasında çimento inceliği dışında çimentonun karma oksit bileşimi önemlidir. Hidratasyon ısısına karşı alınacak önlemler ise aşağıda belirtilmiştir.

- Uygun çimento seçimi
- Yavaş beton dökümü
- Betondaki çimento dozajını azaltma
- Betondaki agrega ve suyu soğutma

4.3.1.4. Çimentonun Mekanik Dayanımı

Çimentoların mekanik dayanım testleri (eğilme ve basınç dayanım testleri), standartlara uygun üretilen harçlar üzerinde yapılır. Üretimi izleyen 7 inci ve 28 inci günde yapılan deneyler, çimento kalitesini belirlemede en önemli gösterge olarak varsayılır. Çimento torbaları üzerine kaliteyi simgelemek üzere dayanımlar yazılır. (Kocataşkın, 1965)

4.3.2. Alçı

En eski bağlayıcı malzemelerden olan alçı, artık günümüzde bağlayıcı madde olarak pek kullanılmamaktadır. Alçı günümüzde içine, çekme yönünden dayanım sağlamak üzere lifli malzemeler konularak kullanılmaktadır.

4.3.3. Kireç

Kireç de alçı gibi eski bir bağlayıcıdır. İnsanoğlu uzun yıllar kireci bağlayıcı olarak kullanmak zorunda kalmıştır. Bu durum inşaat teknolojisinin uzun yıllar emekliyerek gelişmesine neden olmuştur. Zira kireç sadece havada dayanım kazanır, suya dayanıksızdır, düşük mukavemetlidir.

4.3.4. Beton Karma Suyu

Betonu oluşturan maddelerden bir diğeri de beton karma işinde kullanılan sudur. Beton karma suyu asitik olmamalıdır. Bir başka deyişle, yani PH derecesi 7 veya 7'nin üzerinde olmalıdır. Su içinde bulunan bazı anyonlar ve katyonlardan da kaçınılmalı gerekir.

4.3.5. Beton Agregaları

Betonun yaklaşık % 75 i agregadır. Agregası, mineral kökenli, taneli malzemelerdir. Agregası, çimento ile genellikle kimyasal etkileşime girmez. Çimento hamuru ile agregası arasındaki bağlantı, fiziksel ve mekanik karakterdedir. Beton agregaları, bazen 70 mm'ye kadar iri taneler de içerebilmektedir. Beton agregaları köşesiz, yuvarlak olabilir. Derelerden ocaklardan elde edilen agregalar böyledir. Yuvarlak iri agregalara "çakıl", ince yuvarlak agregalara "kum" denir. Büyük taşlar, konkasörlerde kırılarak köşeli agregalar elde edilir. Bunlara "mıcır" veya "kıрма taş" adı verilmektedir.

4.4. Beton Üretimi

Beton üretimi şantiyelerde veya özel prefabrikasyon fabrikalarında yapılmaktadır. Beton üretiminde hazırlık ve esas üretim aşamaları söz konusudur. Hazırlık aşamasında, şantiyeye yakın ocaklar incelenir, uygun kum, çakıl, mıcır sağlanır. Çimento torbalar halinde veya silo içinde dökme olarak temin edilir. Çimentonun saklanması için gerekli ambarlar inşa edilir. Su ve elektiriğin sağlanması gerekir. Suyun depolanması için uygun depolama tankları temin edilir.

Hazırlık aşamasındaki tüm hususlar belirlenip, ilgili gereksinimler sağlandıktan sonra, beton karışım hesapları yapılır ve beton üretim aşamasına gelinir. (Postacıoğlu, 1986)

Betonun esas üretim aşamaları;

- Ölçme
- Karıştırma
- İletme
- Yerleştirme
- Saklama

olarak sayılabilir.

4.5. Beton Dayanıklılığı

Beton dayanıklılığının birkaç yönden incelenmesi gerekmektedir. Bunlar;

- Termik genleşme dayanıklılığı
- Yüksek sıcaklık Dayanıklılığı
- Kimyasal dayanıklılık

olarak ifade edilmektedir.

4.5.1. Betonun Termik Genleşme Dayanıklılığı

Isınan her cisim gibi, beton da ısıtıldığında genleşir. Genleşme miktarını temsil eden ise, termik genleşme katsayısıdır. Basit hesaplarda, betonun ve çeliğin termik genleşme katsayıları eşit kabul edilir ve bu değer 10×10^{-6} 1/°C olarak alınır. Gerçekte sabit değildir. Islak betonlarda, bu değer, 8×10^{-6} 1/°C değerine kadar düşebilir.

Öte yandan agrega türlerinin termik genleşme katsayıları da mineralojik yapılarına bağlı olarak $0,6 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ ile $18 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ arasında değerler alabilmektedir. Termik genleşme katsayısı sıcaklığın fonksiyonu olarak değişmektedir. Bu durumda, termik genleşmenin betonun iç yapısında farklı gerilmeler doğurması kaçınılmazdır. (Bayazit, 1975)

4.5.2. Yüksek Sıcaklıklara Dayanıklılığı

Normal portland çimentosu ile yapılmış bir beton 150°C 'dan, hatta 100°C 'dan itibaren değişime uğramaya başlar. Çatlakların belirlenmesi ile çekim dayanımı düşer, 300°C 'dan itibaren basınç dayanımı da azalmaya başlamaktadır. Zira, alüminli ve demir oksitli birleşenlerde dezidratasyon (kristal suyunu kaybetme olayı) başlamaktadır.

$600^{\circ} \text{C} - 700^{\circ} \text{C}$ aşıldığında ise tüm agregalar harap olmaktadır. Burada, agregaların silisli veya kalkerli oluşları da etkindir. Kalkerlerin kirece dönüşümü (daha yüksek sıcaklıklarda) $800-900^{\circ} \text{C}$ civarındadır.

Yüksek sıcaklığa dayanması istenen betonlarda özel agregalar kullanılması gerekir. Özel agrega malzemesi olarak; bazalt, yüksek fırın cürufu, ateş tuğlası kırıkları, manyezit tuğla kırıkları gibi elemanlar sayılabilir. Çimentonun dayanıklılığını arttırmak için özel pişmiş kilden öğütülerek elde edilen şamot toprağı kullanılabilir. Burada en iyi çözüm alüminli çimento kullanmaktır.

4.5.3. Betonun Kimyasal Dayanıklılığı

Betonların kimyasal etkileri dayanıklılığı, beton mukavemeti için ayrı bir önem taşımaktadır. Kimyasal etkilere dayanıklılık etkime biçimi genellikle iki grupta incelenmektedir. Bunlar;

- İç etkiler
 - Dış etkiler
- olmaktadır.

4.5.3.1. İç Etkiler

Betonun içindeki bileşenlerin, (agrega-çimento-su gibi), karşılıklı etkileşmesi sonucu ortaya çıkan zararlı etkiler iç etkilerdir. Genellikle bu etki, betonda kimyasal hasar oluşturmaktadır.

Betonda kimyasal hasar oluşturan iç etkiler

- Çimento hamurunun hacim sabitliğini bozan kimyasal ögeler. Bunlar, çimento içinde mevcut olan serbest kireç, serbest manyezit ve serbest SO_3 ' dür.
- Beton karma suyunun oluşturduğu ve ileri yaşlarda oluşturacağı etkiler.
- Alkali-agrega reaktivitesi

olarak sayılabilir. (Taylor, 1965)

4.5.3.2. Dış Etkiler

Dış etkilere maruz beton elemanları genellikle çelik donatı içerirler. Bu donatılar, paslanmaya, bir başka deyişle korozyona uğrarlar. Korozyon bir elektrokimyasal olaydır, dolayısı ile ortamın elektrolitliği artarsa korozyon da artar.

Betonların kimyasal etkilerden zarar görmesinde, etkilerin şiddetini arttıran sektörler;

- Su yüzeyinin geniş olması; buharlaşma sonucu zararlı madde konsantrasyonunun artması,
- Suyun hareketli olması,
- Su seviyesinin değişmesi, (su seviyesi düştüğünde tuzların kristalleşmesi patlatma etkisi oluşturur)
- Betonda kılcallığın büyük olması ve kristalleşme etkisinin görülmesi

olarak sayılabilir.

Betonların kimyasal etkilere dayanıklılığı bağlamında dikkat edilmesi gereken hususlar;

- Beton geçirimsiz olmalıdır.
- Beton yüzeyi üstten sürülecek maddelerle tecrit edilmelidir.
- Uygun çimento seçilmelidir.
- Donatım korunması için pas paylarına dikkat edilmelidir.
- Beton yapı elemanlarında detaylara önem verilmelidir; köşelerden, ek yerlerinden kaçınılmalıdır. (Waddell, 1974)

4.6. Betona Ek Nitelikler Kazandıran Katkı Maddeleri

Betona katkı maddesi olarak katılabilecek elemanlar hayli çeşitlidir. Bununla beraber, beton için önemli katkı maddeleri iki grupta ele alınabilir.

Bunlar;

- Betonun fiziksel ve mekanik niteliklerini arttıran katkı maddeleri
 - Betonun kimyasal etkilere dayanıklılığını etkileyen katkı maddeleri
- olmaktadır.

4.6.1 Betonların Fiziksel ve Mekanik Niteliklerini Artıran Katkı maddeleri

Beton dayanıklılığına etkiyen fiziksel etmenler donma, çözülme, ıslanma, kuruma, aşınmadır. Bu etkilere karşı kullanılan katkı maddeleri ise;

- Gaz oluşturan katkılar
 - Köpük oluşturan katkılar
 - Akrilik reçinalar
 - Doğal kauçuk lateksi
 - Stiren bitümlü reçinaları
 - Bentonit, yağlı kireç, asetat türü plastik madde emülsiyonları, yağ asidi sabunları
- olarak sayılabilir.

4.6.2. Betonun Kimyasal Etkilere Dayanıklılığını Etkileyen Katkı Maddeleri

Bu gruba giren katkılar betonun korozyonunu değil, beton içindeki donatanın korozyonunu önleyen katkılar olarak nitelendirilmektedirler. Bunlar; Potasyum kromat, sodyum nitrit, sodyum benzoat, sodyum ve potasyum molibdat ve fosfatlardır ve betonun kimyasal etkilere karşı dayanıklılığını etkileyen katkı maddelerinin esasını oluştururlar.(Neville, 1975)

4.7. ÖZEL AMAÇLI BETONLAR

Bu bölüm içinde buraya kadar verilen bilgiler, beton için genel hususları içermektedir. Ancak, betonun kullanım amacına bağlı olarak, farklı özellikleri içermesi beklenebilmektedir. Nitekim, radyasyon zırhlaması amaçlı kullanım da betonun bir özel amaçlı kullanımı olup, genel beton üretiminden ileri bazı özellikleri taşıması istenmektedir.

Özel amaçlı betonlar; aşağıdaki gibi sınıflanabilir.

Bunlar;

- Hafif Betonlar
 - Ağır Betonlar
 - Ateşe Dayanıklı Betonlar
- olmaktadır

4.7.1. Hafif Betonlar

Genel kullanım betonlarını oluştururlar. Hafif betonlarda hafif malzeme, yapının yoğunluğunu düşürür. Bu tür beton uzun süre dayanımlı değildir. Genellikle, yorulma ömrü kısadır.

4.7.2. Ağır Betonlar

Ağır betonların, içerdikleri yüksek yoğunluklu katkı maddeleri nedeniyle yoğunlukları yüksektir. Özellikle, radyasyonlara karşı zırhlama maksadıyla tercih edilirler. Yoğunluğun artması, girici elektromanyetik radyasyonun tutulmasında etken rol oynar. .

Nükleer santraller için de, betonun ağır olması diğer radyasyonlara karşı da yarar sağlayacağından, ağır beton tercih edilen bir zırh malzemesi durumundadır.

Ağır betonların agregaları ağırdır. Bu agregalar Barit (baryum sülfat) ve limonit, magnetit vb. demirli mineraller içermektedir. Bu agregaların yoğunlukları 3.2 gr/cm^3 'ün üzerindedir. Bunlarla üretilen betonların yoğunlukları da 2.8 gr/cm^3 'den yüksek olmaktadır.

Nükleer çalışma gereği betonların içine bor tuzları katılabilmektedir. Borun, özellikle nötronlara karşı zırhlama etkisi yüksektir. Ağır agregalar mukavemet yönünden normal agregalara eşdeğerdir. Ancak aşınma süreleri biraz fazladır. (Akman, 1975)

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu Yüksek Lisans Tezinde betonların farklı gama radyasyon kaynaklarına ilişkin olarak zırhlama özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla bir seri deneysel çalışma yapılmıştır.

5.1. Deneylerde Kullanılan Numunelerin Tanıtımı

Deneylerde farklı beton tipleri kullanılmıştır. Kullanılan betonlar, içindeki katkı maddesine göre isimlendirilmektedir. Bu betonlar, zırhlama açısından önemi olabileceği düşünülen beton çeşitleri ile genel kullanım betonlarını içermektedir.

Çalışılan betonlar:

- Düşük Yoğunluklu Normal Beton
- Yüksek Yoğunluklu Normal Beton
- Baritli Beton
- Demir Cevheri Tozlu Beton
- İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton

olarak hazırlanmışlardır.

Çalışılan betonlardan ilk ikisi (adi ve normal beton), Bölüm 4.7'deki sınıflama içinde hafif beton sınıfına, son üçü (baritli beton, demir cevheri tozlu beton ve iri taneli demir cevheri tozlu beton) ağır beton sınıfına girmektedir. Buradaki ağır betonlar, özellikle zırhlama için önemlidir. Hafif betonlar, ağır betonlarla durumlarının gözlenmesi için ve ağır beton yerine kullanılmaları halinde durumun incelenebilmesi için bu çalışmada göz önüne alınmışlardır.

Deneyde kullanmak üzere oluşturulan beş farklı beton için agrega türlerinin hacimlerinin oranına göre beton birleşimi hesaplaması yoluna gidildi. Bu hesaplamada, birim hacim bileşenleri bağlamında hesaplama yapıldı (Akman,1975). Burada, 1m³ betonun hacminin, içine giren çimento, su, agrega ve hava boşluğu hacimlerinin toplamına eşit olduğu kabul edilmiştir. Söz konusu bu hacimler mutlak hacimleri ifade etmektedir.

Buna göre;

$$\frac{m_{bet}}{\rho_{bet}} = (m_{çim} / \rho_{çim}) + (m_{su} / \rho_{su}) + V_A + V_H \quad (5.1)$$

olarak yazılabilir. Burada;

$m_{çim}$: 1m³ betondaki çimento kütlesi

$\rho_{çim}$: Çimento yoğunluğu

m_{su} : 1m³ betondaki su kütlesi

ρ_{su} : Su yoğunluğu

V_A : 1 m³ betondaki agrega hacmi

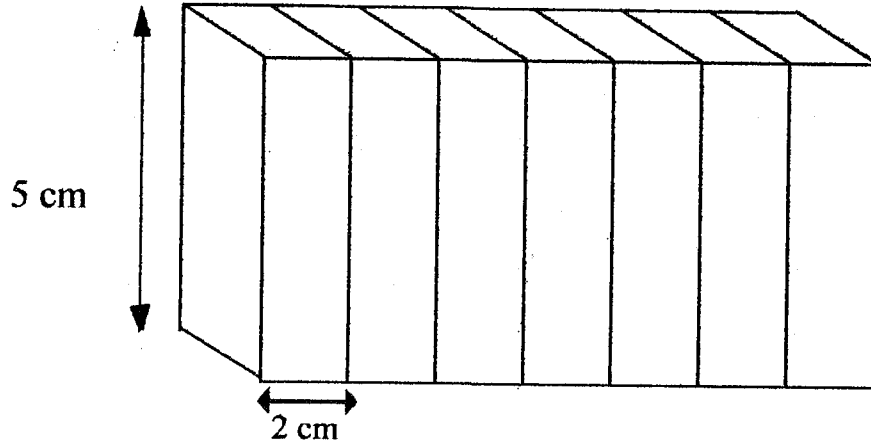
V_H : 1 m³ betondaki hava boşluğu hacmi

ρ_{bet} : Beton yoğunluğu
temsil etmektedir.

Çalışılan betonlar, İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Laboratuvarı imkanlarından yararlanılarak, beton döküm kurallarına uygun olarak özenle dökülmüştür. Numuneler kare kesitli olup, karenin bir boyutu 5 cm'dir. Kare boyutu, detektör çapı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Çalışılan beton numunelerin kalınlıkları ise maksimum 20 mm olacak şekilde ve her bir numuneden 7'şer adet olacak şekilde hazırlanmıştır.

Böylelikle, ara kalınlıklarla beraber toplam 14 cm kalınlık için deneyler yapılabilecektir. Toplam kalınlık ise, çalışılan beton numunelerin zırlama açısından önemi olan "yarı kalınlık" ve yaklaşık "onda bir kalınlık" değerlerini kapsayacağı düşünülen kalınlık olarak seçilmiştir.

Hazırlanan her bir beton tipinden birbirinin aynı 7 numune farklı sayıda üst üste yerleşimlerle 2 cm 'den 14 cm 'ye kadar, 2 cm farkla (2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm ve 14 cm olarak) 7 farklı kalınlık için deney yapmak mümkün olmuştur. 7 farklı numune geometrisi şematik olarak Şekil 5.1'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1 Numune Geometrisinin Şematik Gösterimi

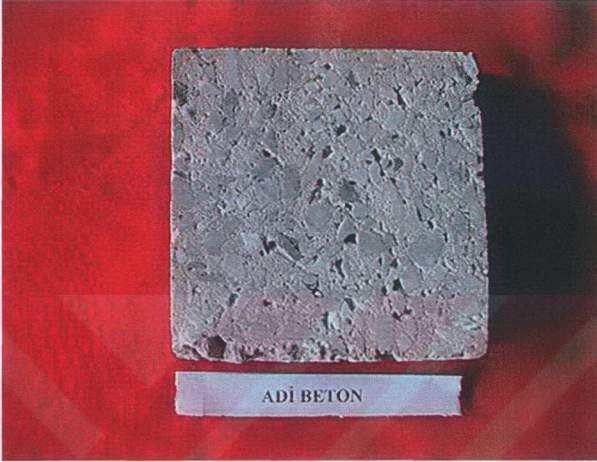
5.1.1. Düşük Yoğunluklu Normal Beton

Adi beton oluşturulurken agrega olarak kırma taş 1 ve kum kullanılmıştır. Ayrıca, adi beton oluşturulurken çimento ve su oranı da düşük tutulmuştur. Tablo 5.1’de çalışılan adi betona ait özellikler verilmektedir.

Tablo 5.1.
Çalışılan Düşük Yoğunluklu Normal Beton Numunelerin Özellikleri

Malzemeler	Hacimsel Yüzde Miktarı (%)	Yoğunluk (g /cm ³)
Çimento	6	3,00
Su	12	1,00
Kırma taş 1	50	2,70
Kum	32	2,64

Çalışılan adi beton numunesinin fotoğrafı Şekil 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.2. Düşük Yoğunluklu Normal Beton Numunesi

5.1.2. Yüksek Yoğunluklu Normal Beton

Normal beton oluşturulurken agrega içinde yine kırmataş 1 ve kum kullanılmıştır. Tablo 5.2’de çalışılan normal betona ilişkin özellikler verilmektedir. Şekil 5.3’te, çalışılan normal beton numunesinin fotoğrafı görülmektedir.

Tablo 5.2.
Çalışılan Yüksek Yoğunluklu Normal Beton Numunelerin Özellikleri

Malzemeler	Hacimsel Yüzde Miktarı (%)	Yoğunluk (g./cm ³)
Çimento	12	3,00
Su	20	1,00
Kırma taş 1	41	2,70
Kum	27	2,64



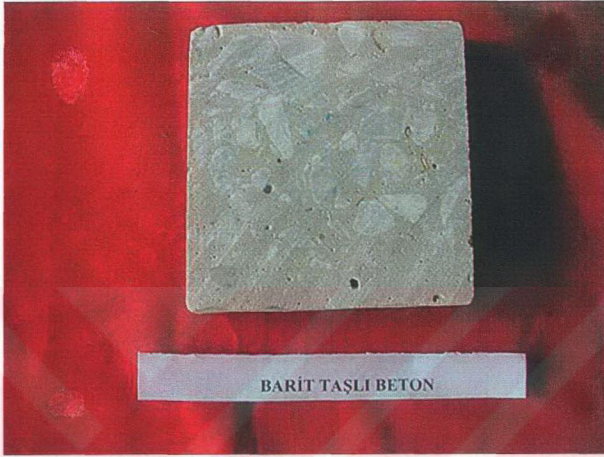
Şekil 5.3. Yüksek Yoğunluklu Normal Beton Numunesi

5.1.3 Baritli Beton

Baritli beton oluşturulurken agrega olarak kırmataş 2 grubuna giren barit taşı ve kum kullanılmıştır. Tablo 5.3’de çalışılan baritli betona ilişkin özellikler verilmektedir. Şekil 5.4’te, çalışılan baritli beton numunesinin fotoğrafı görülmektedir.

Tablo 5.3.
Çalışılan Baritli Beton Numunelerin Özellikleri

Malzemeler	Hacimsel Yüzde Miktarı (%)	Yoğunluk (g /cm ³)
Çimento	12	3
Su	20	1
Barit taşı	41	4,82
Kum	27	2,64



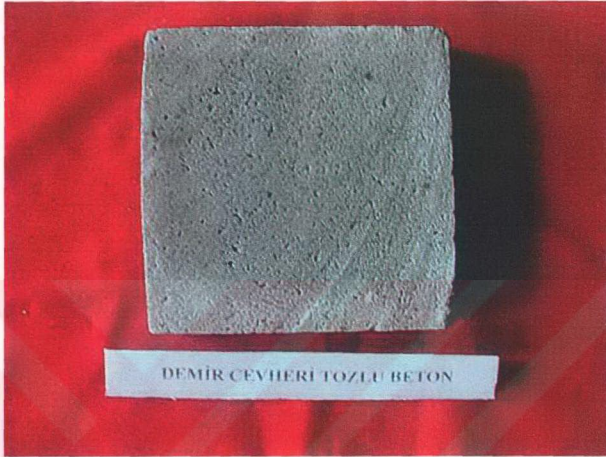
Şekil 5.4 Baritli Beton Numunesi

5.1.4. Demir Cevheri Tozlu Beton

Demir cevheri tozlu beton oluşturulurken agrega olarak demir cevheri tozu ve kum kullanılmıştır. Tablo 5.4'te çalışılan demir cevheri tozlu betona ilişkin özellikler verilmektedir. Şekil 5.4'te, çalışılan demir cevheri tozlu beton numunesinin fotoğrafı görülmektedir.

Tablo 5.4.
Çalışılan Demir Cevheri Tozlu Beton Numunelerin Özellikleri

Malzemeler	Hacimsel Yüzde Miktarı (%)	Yoğunluk (g /cm³)
Çimento	12	3
Su	20	1
Demir cevheri tozu	41	3,6
Kum	27	2,64



Şekil 5.5 Demir Cevheri Tozlu Beton Numunesi

5.1.5. İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton

İri taneli demir cevheri tozlu beton oluşturulurken agrega olarak iri taneli demir cevheri tozu ve kum kullanılmıştır. Tablo 5.5'te çalışılan iri taneli demir cevheri tozlu betona ilişkin özellikler verilmektedir. Şekil 5.5'te, çalışılan iri taneli demir cevheri tozlu beton numunesinin fotoğrafı görülmektedir.

Tablo 5.5.
Çalışılan İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton Numunelerin Özellikleri

Malzemeler	Hacimsel Yüzde Miktarı (%)	Yoğunluk (g/cm ³)
Çimento	12	3
Su	20	1
İri taneli demir cevheri tozu	41	3,54
Kum	27	2,64



Şekil 5.6 İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton Numunesi

5.1.6. Deneylerde Kullanılan Betonların Yoğunlukları

Zırlama amaçlı kullanılan betonlar için önemli bir parametre beton yoğunluğudur. Bu nedenle, beton numuneler için yoğunluk tayini yapılmıştır. Tablo 5.6'da çalışılan beton numunelerinin yoğunlukları verilmektedir.

Tablo 5.6
Çalışılan Beton Numunelerinin Yoğunlukları

Beton tipi	Yoğunluk (g/cm ³)
Düşük Yoğunluklu Normal Beton	2,28
Yüksek Yoğunluklu Normal Beton	2,45
Baritli Beton	3,17
Demir Cevheri Tozlu Beton	2,60
İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton	2,60

5.2. Deneyde Kullanılan Radyasyon Kaynakları

Bu çalışmada, üç farklı gama radyoizotop kaynağı ile deneyler yapılmıştır. Kullanılan radyoizotop kaynaklar, yaygın kullanım alanı olan gama radyoizotop kaynakları durumundadırlar.

Bunlar;

- Co – 60
- Cs-137
- Ir – 192

radyoizotoplarıdır

Kullanılan gama kaynaklarına ilişkin özellikler Tablo 5.6'da bir araya toplanmıştır (Halmshaw 1991).

Tablo 5.7
Deneylerde Kullanılan Radyoizotop Kaynakların Özellikleri

Gama radyoizotop kaynağı	Yarı ömrü	Enerjisi (MeV) ve bolluk yüzdesi	Doz sabiti (aAm ² /kg Bq)	Çalışılan Aktivite
Co – 60	5,26 yıl	Y1 1,17 (100) Y2 1,33 (100)	2,52	0,040 mCi
Cs - 137	30 yıl	Y1 0,667 (85)	0,46	11,100 µCi
Ir – 192	74,2 gün	Y1 0,200 (0,5) Y2 0,210 (4,1) Y3 0,280 (0,4) Y4 0,296 (35,8) Y5 0,308 (37,1) Y6 0,316 (100) Y7 0,374 (0,8) Y8 0,416 (0,7) Y9 0,468 (56,8) Y10 0,484 (3,5) Y11 0,489 (0,4) Y12 0,589 (5,3) Y13 0,604 (9,9) Y14 0,612 (6,4) Y15 0,884 (0,4) Y16 1,062 (0,07)	0,97	0,001 µCi

5.2.1. Co – 60 Radyoizotop Kaynağı

Co-60 radyoizotop kaynağının enerji pikleri iki tane olup, 1.17 MeV ile 1.33 MeV'dedir. Enerji pikleri yüksek olması nedeniyle yapay radyasyon kaynaklarından yaygın kullanılan bir gama kaynağıdır. Yarı ömrü 5.26 yıldır. Çift enerjili Radyoizotop kaynak olarak kullanılmaktadır.

5.2.2. Cs-137 Radyoizotop Kaynağı

Cs-137 Radyoizotop kaynağı da gama kaynağı olarak yaygın bir şekilde kullanılan bir kaynaktır. Bu kaynak, 667 keV enerjili gama fotonları ile tek enerjili olması nedeniyle, çoğu kez radyasyon kaynağı olarak tercih edilmektedir. Cs-137 kullanımı ile deneylerde tek enerjili bir kaynak ile çalışılmış olmaktadır.

5.2.3. Ir-192 Radyoizotop Kaynağı

Bu kaynağın deneylerimizde kullanım amacı çok enerjili gama radyoizotop kaynakla çalışmış olmaktır. Bu kaynak (n, γ) reaksiyonuyla elde edilmekte olup, spesifik aktivitesi yüksek ve nokta kaynak olarak kullanabilme özelliğine sahiptir. Radyografik amaçlı kullanımı yaygındır.

5.3. Deneyde Kullanılan Elemanlar

Deneylerde, bir sayım sisteminden yararlanılmıştır. Söz konusu bu sayım sisteminde kullanılan elemanlar;

- Sintilasyon Detektörü
- Çok Kanallı Analizör
- Kurşun Kolimatör
- Zırh Eleman

olarak sayılabilir.

5.3.1. Sintilasyon Dedektörü

Deneylerde, Nucleus marka talyumla aktive edilmiş NaI (TI) kristalli bir sintilasyon detektörü kullanılmıştır. Şekil 5.7’de kullanılan sintilasyon detektörünün fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 5.7 Kullanılan Sintilasyon Detektörü

5.3.2. Çok Kanallı Analizör

Deneylerde Nucleus marka 256 kanallı, 800A model bir çok kanallı analizör kullanılmıştır. Bu çok kanallı analizör, ön yükseltici, yükseltici, güç kaynağı ve sayıcı gibi ünitelerini tek bir ünite halinde içinde bulundurmakta ve ilaveten üzerinde monitörü yer almaktadır. Kullanılan çok kanallı analizörün fotoğrafı Şekil 5.8’de görülmektedir.



Şekil 5.8 Kullanılan Çok Kanallı Analizör

5.3.3. Kolimatör

Gama Radyoizotop kaynaklar deneylerde birkolimatör ile beraber kullanılmıştır. Kolimatör gama kaynaklarının yerleştirilmesine uygundur ve kurşundan imal edilmiştir. Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da kullanılan kolimatörün arkadan ve önden fotoğrafları görülmektedir.



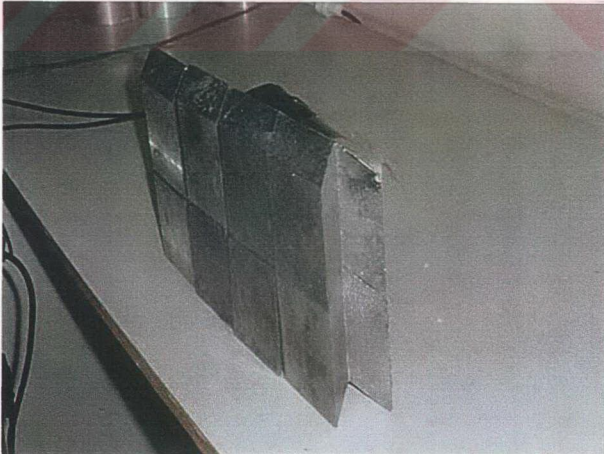
Şekil 5.9 Kullanılan Kolimatörün Arkadan Görünümü



Şekil 5.10 Kullanılan Kolimatörün Önden Görünümü

5.3.4. Zırh Elemanlar

Zırh eleman, nükleer güvenlik şartları ile deneyin yapılması amacıyla oluşturularak kullanılmıştır. Özel imal edilmiş birbirine geçmeli olarak yerleştirilebilen kurşun tuğlalardan ibarettir. Deneylerde kullanılan ve zırh eleman olarak adlandırılan kurşun tuğlalardan oluşmuş bariyerin fotoğrafı Şekil 5.11’de görülmektedir.

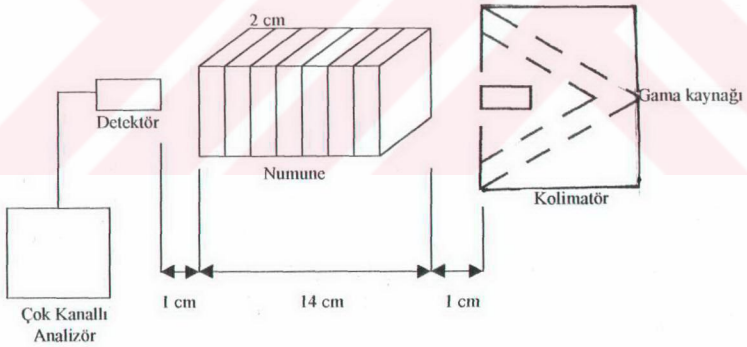


Şekil 5.11 Kullanılan Zırh Eleman

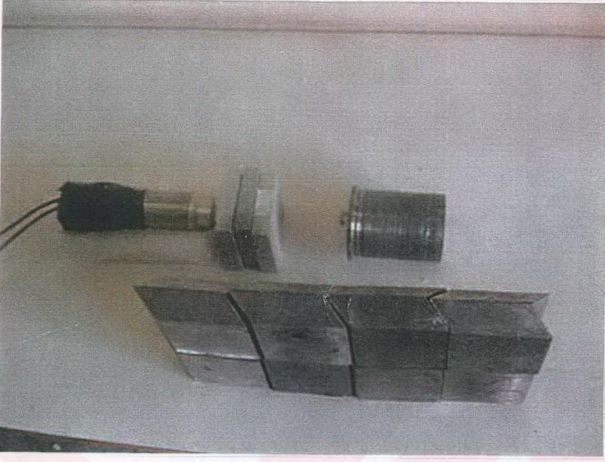
5.4. Sayım Geometrisi

Deneyisel çalışmalar için sayım geometrisi önem arz etmektedir. Hatta, bu konuda ileri çalışmalar yapmak gerekebilmektedir (Tuğrul, 1995). Bu nedenle, sayım geometrisi özenle oluşturulmuş ve deneyler boyunca sabit kalmasına dikkat edilmiştir. Deneyler arasında uyumun sağlanabilmesi için kaynak, numune, detektör mesafesi daima sabit tutulmuştur. Sayım geometrisi çalışılacak en kalın numuneye göre düzenlenmiştir.

Dedektör ile en kalın numune arası ve kolimatör dış cephesi ile numune arası 1 cm olup, numune kalınlığı inceltildikçe eksilen kalınlık bölgesi doğal hava ortamı olarak bırakılmıştır. Şekil 5.11'de çalışılan sayım geometrisi şematik olarak, Şekil 5.12'de ise fotoğrafik olarak görülmektedir.



Şekil 5.12 Sayım Geometrisinin Şematik Görünümü



Şekil 5.13 Sayım Geometrisi

5.5. Deney Düzeneği

Deneysel çalışmalar sırasında, deney düzeneği farklı elemanların, sayım geometrisine dikkat edilerek bir araya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Şekil 5.13’de deney düzeneği fotoğrafik olarak görülmektedir.



Şekil 5.14 Deney Düzeneği

5.6. Deneyin Yapılışı

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında amaçlanan farklı betonlar için farklı gama kaynakları kullanılarak radyasyon zırhlama özelliklerinin deneysel incelenmesi; yukarıdaki bölümler içinde detayları verilen numuneler için, tanıtılan deney elemanları belli bir geometride bir araya getirilerek oluşturulan deney düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Deney süresince tüm işlemler dikkatle yapılmıştır.

Deneylere (her defasında) başlamadan önce, çok kanallı analizörün kalibrasyonu yapılmıştır. Deneylerde kullanılacak gama radyoizotop kaynağına ilişkin pik bölgeleri belirlenip, bu bölgelere ait sayımların alınması için çok kanallı analizörde ilgili kanal işaretlemeleri ile sabitleme yapılmıştır.

Öncelikle, kaynak konmadan kaynaksız hal için doğal sayımlar alınmıştır. Her deneyden önce doğal sayımlar en az üç kez alınmış ve ortalama doğal sayım (background) belirlenmesi yapılmıştır.

Daha sonra gama radyasyon kaynağı yerine yerleştirilmiş ve her gama radyasyon kaynağı ile betonlar araya konmadan sayımlar alınmıştır. Böylelikle, başlangıç değeri I_0 olarak ifade edilen sayımlar en az üç kez olmak üzere alınmış ve ortalama başlangıç değeri belirlenmiştir.

Bundan sonra, her bir beton tipine ilişkin en düşük kalınlıktan (2 cm) en yüksek kalınlığa (14 cm) kadar deneyler yapılmıştır. Her hale ilişkin olarak sayımlar, en az üç kez alınmıştır.

Bir beton tipine ilişkin bir gama radyoizotop kaynakla yapılan deneyler bitince, diğer beton tipi için aynı geometri ile benzer deneyler yapılmıştır. Böylelikle, bir gama radyoizotop kaynağına ilişkin deneyler tamamlanmıştır.

Aynı deneysel işlemler, diğer iki gama radyoizotop kaynağı için de benzer şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde 3 farklı gama radyoizotop kaynak için 5 farklı beton tipi için deneyler yapılmıştır.

Deneylerde sayım süreleri, gama kaynaklarının aktivite seviyelerine bağlı olarak farklı sürelerde alınmıştır. Co-60 gama kaynağının nispeten yüksek olmasından ötürü birer dakikalık sayım yapılmıştır. Cs- 137 gama kaynağı için 20 dakika ve Ir-192 gama kaynağı için ise 15 dakikalık sürelerle sayım alınmıştır.

Sayımlar 5 farklı beton için, belirtildiği üzere, 2 cm, 4 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm ve 14 cm kalınlıklar için en az üç kez yapılmış ve ortalama sayım değerleri hesaplanmıştır.

Ayrıca, standart sapma hesabı da yapılmıştır.

Her deney için başlangıç değeri (I_0) 'a göre oranlama yapılmıştır. Böylelikle, bağlı sayım değerlerine ulaşılmıştır.



BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARI

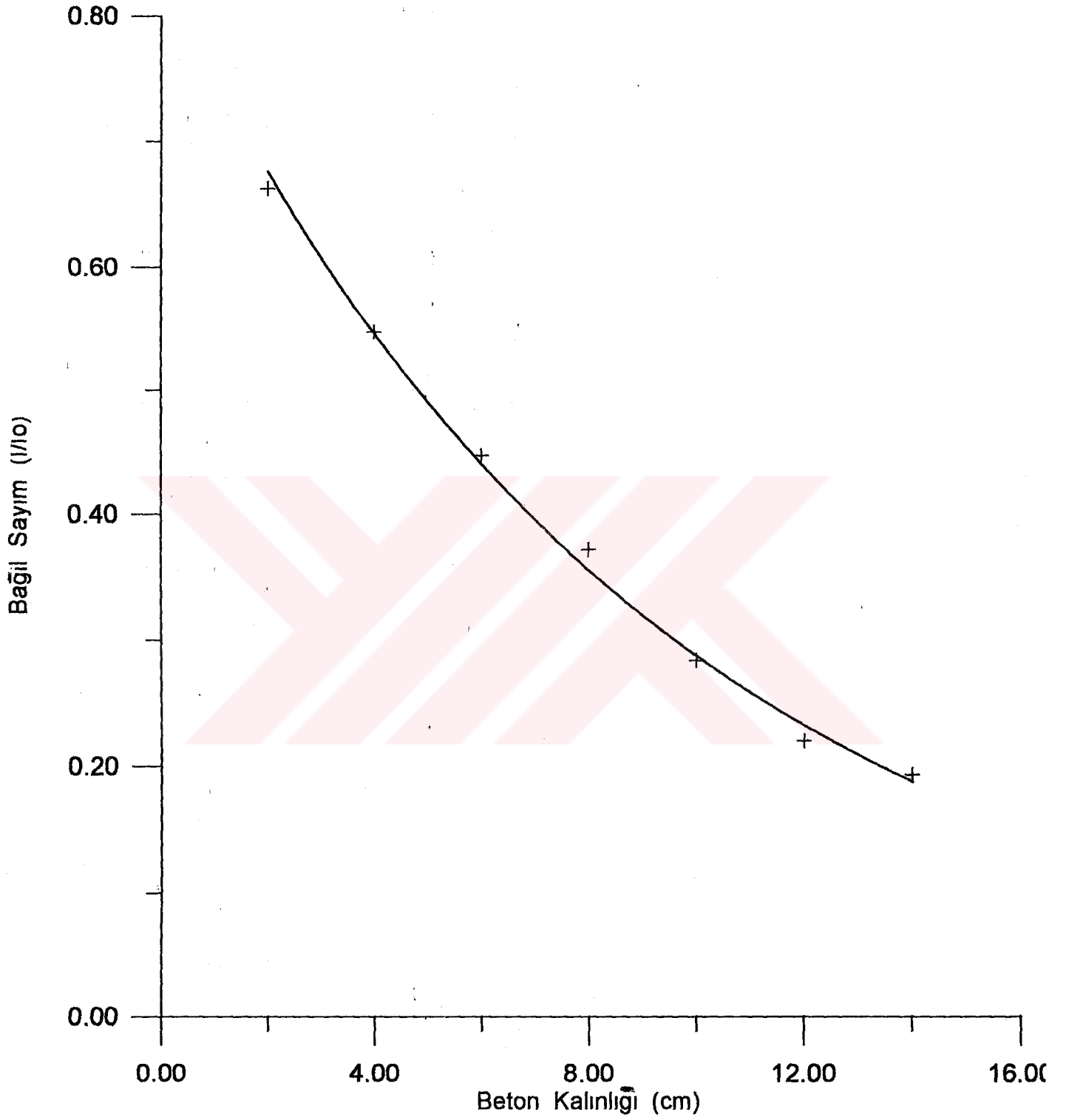
Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında amaçlanan, farklı beton tiplerinin farklı gama kaynakları için zırhlama özellikleri incelenesine ilişkin olarak yapılan deneysel çalışmalara ilişkin alınan sonuçlar aşağıda bir sistematik içinde verilmektedir.

6.1. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Beton Tipleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Co-60 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, her beton tipi için ayrı ayrı aşağıdaki alt bölümler içinde verilmektedir.

6.1.1. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Co-60 Radyoizotop kaynağı kullanılarak düşük yoğunluklu normal beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.1’de verilmektedir. Tablo 6.1’den faydalanılarak düşük yoğunluklu normal betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.1’de görülmektedir.



Şekil 6.1 Co-60 Gama Kaynağı İle Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.1
Co-60 Radyoizotop Kaynağı ile Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Yapılan Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0): 53252± 66

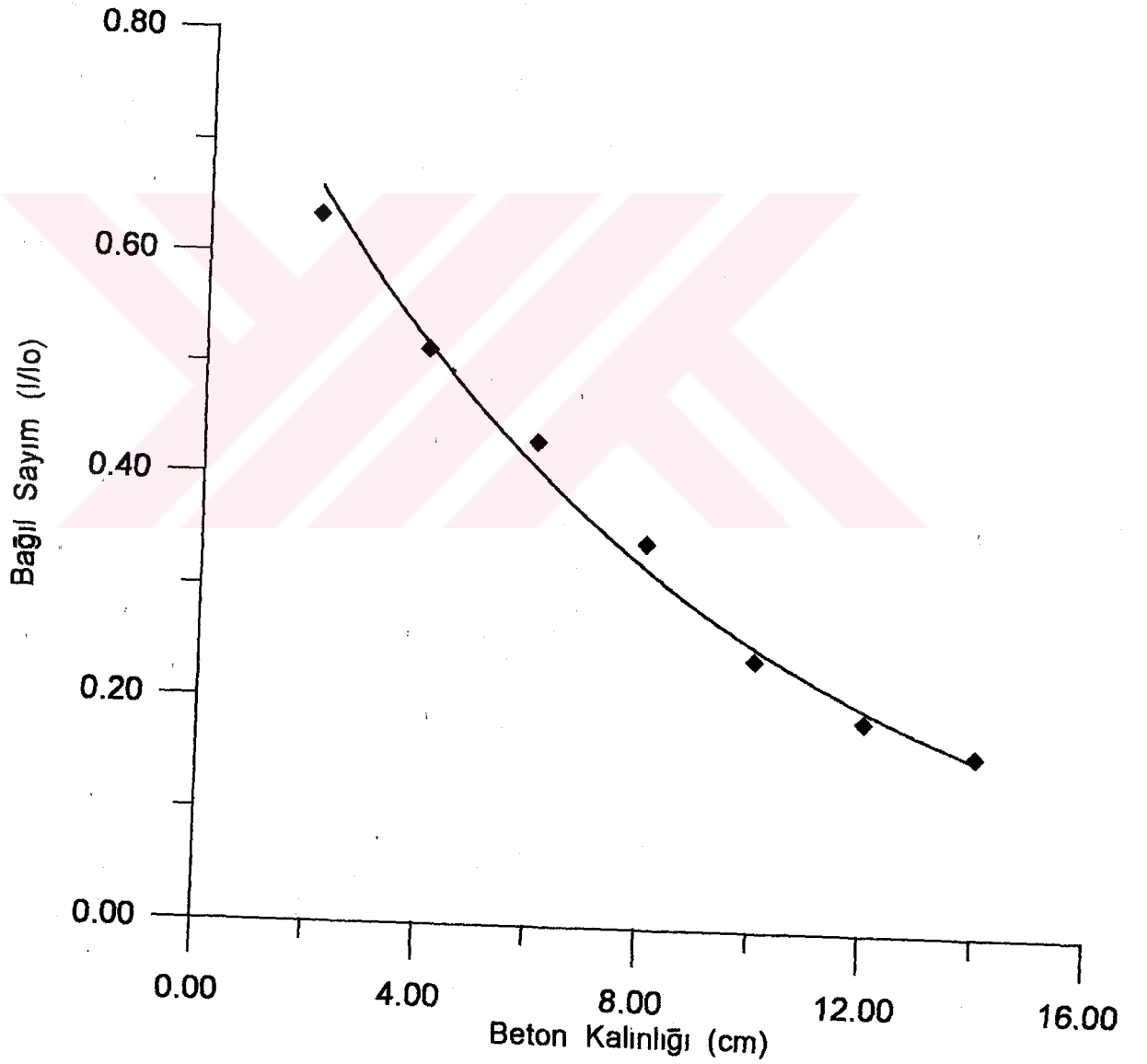
Doğal Sayım: 797± 13,2

Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I_0)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	36004	35207	36307	35510	36112	35315	35344	125	0,663
4 cm	30024	29227	29815	29018	30082	29285	29176	114	0,547
6 cm	24538	23741	24744	23947	24677	23880	23856	85	0,447
8 cm	20741	19944	20548	19751	20617	19820	19838	79	0,372
10 cm	15976	15179	15812	15015	15865	15068	15087	68	0,283
12 cm	12576	11779	12490	11693	12458	11661	11711	49	0,219
14 cm	10990	10193	11022	10225	11091	10294	10237	42	0,192

6.1.2. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Yüksek Yoğunluklu Normal Beton

İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Co-60 Radyoizotop kaynağı kullanılarak yüksek yoğunluklu normal beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.2’de verilmektedir. Tablo 6.2’den faydalanılarak yüksek yoğunluklu normal betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.2 Co-60 Gama Kaynağı ile Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.2
Co-60 Radyoizotop Kaynağı ile Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İçin Yapılan Deney Sonuçları

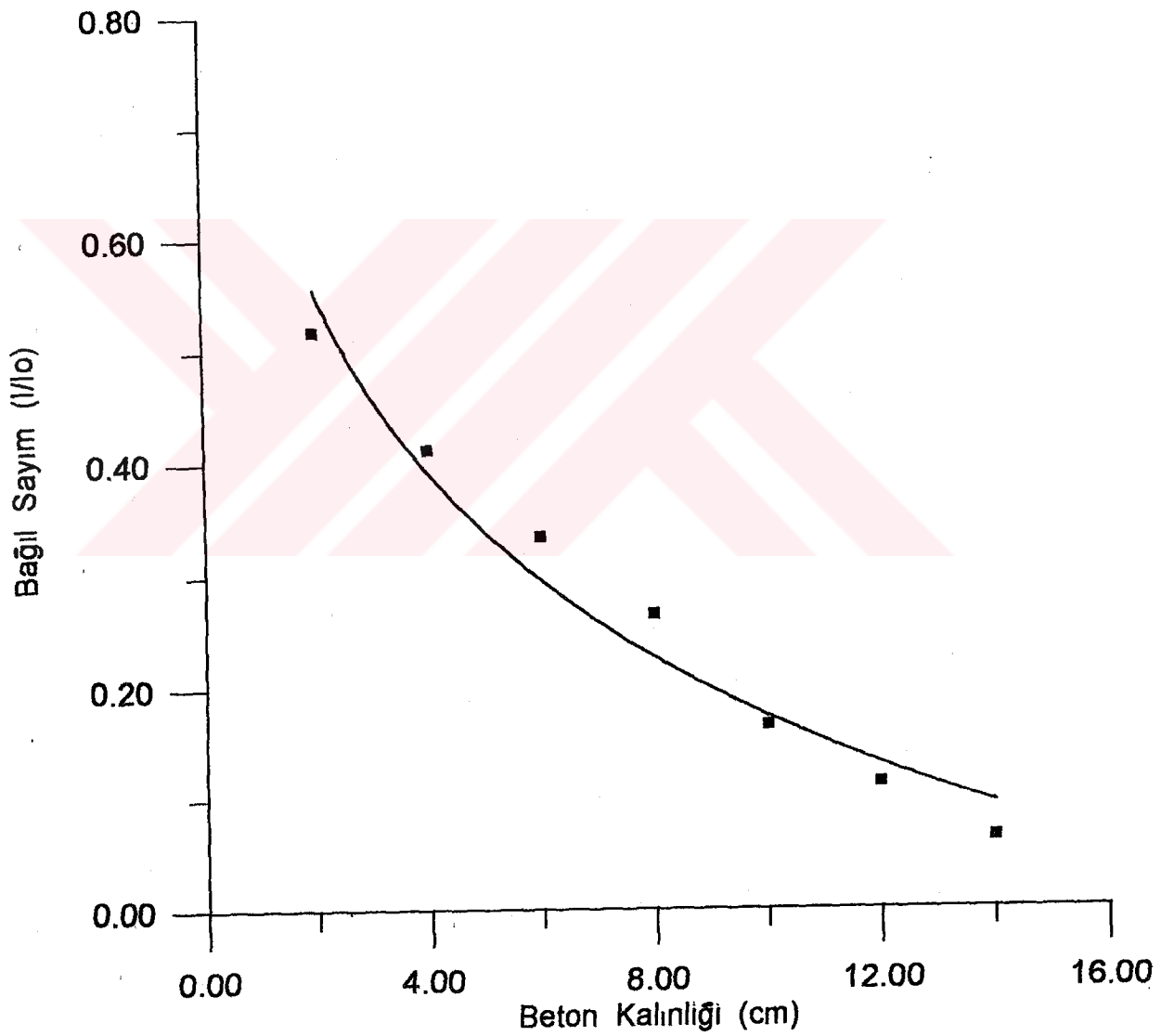
Numunesiz Net Sayım (I_0): 52005 $\pm$ 14

Doğal Sayım: 524 $\pm$ 7,5

Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I_0)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	33621	33097	33398	32874	33678	33154	33041	120	0,635
4 cm	27418	26894	27187	26663	27524	26900	26819	110	0,515
6 cm	23129	22605	23947	22423	23117	22593	22540	83	0,433
8 cm	18432	17908	18568	18044	18389	17865	17939	76	0,344
10 cm	13190	12666	13180	12656	13044	12520	12614	66	0,242
12 cm	10402	9878	10292	9768	10378	9854	9833	47	0,189
14 cm	8878	8354	8813	8289	8909	8385	8342	40	0,161

6.1.3. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Baritli Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Co-60 Radyoizotop kaynağı kullanılarak baritli beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.3'de verilmektedir. Tablo 6.3'den faydalanılarak adi betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.3'de görülmektedir.



Şekil 6.3 Co-60 Gama Kaynağı ile Baritli Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.3
Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle Barıtlı Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0): 51362± 67

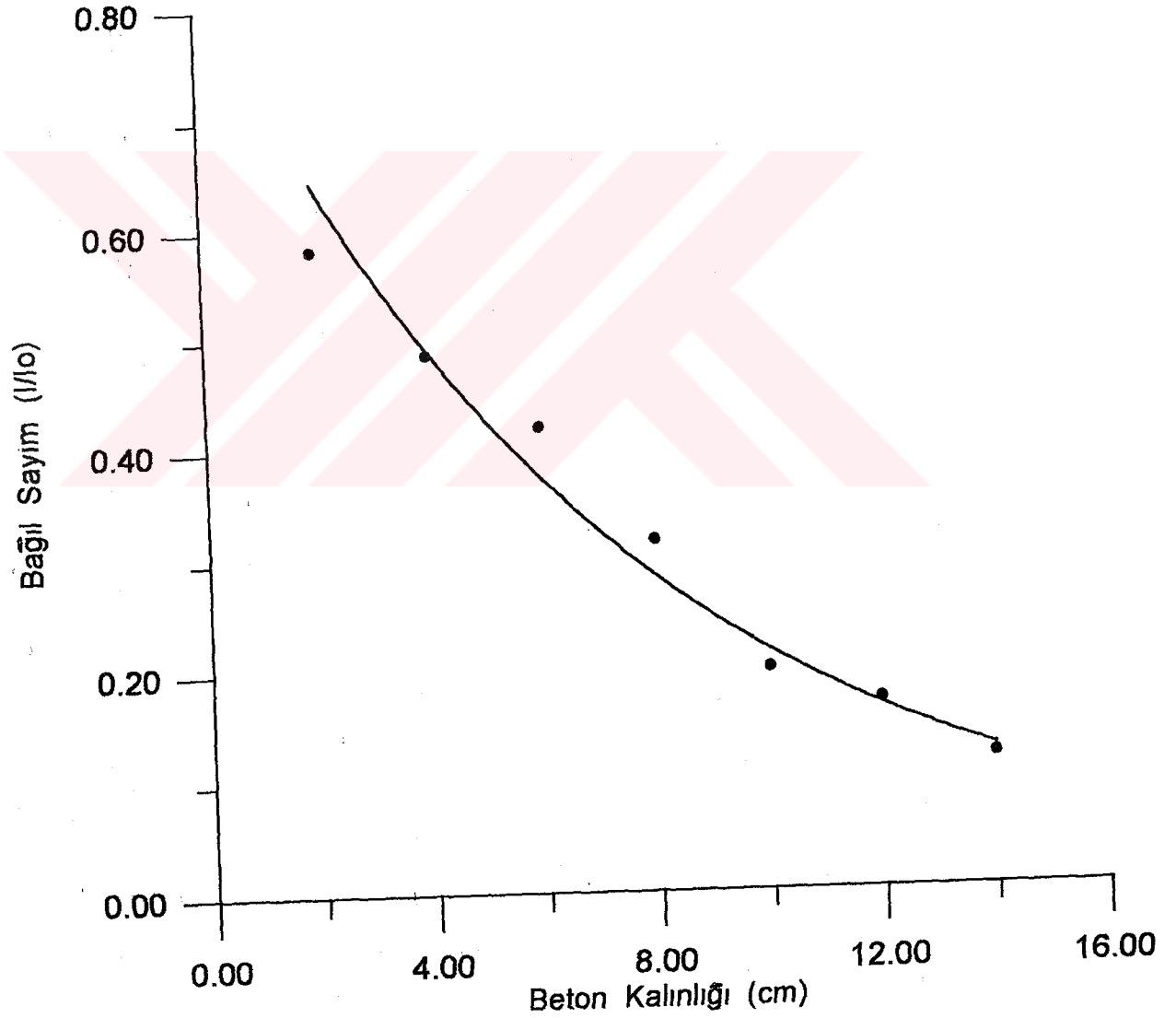
Doğal Sayım: 62 ± 1,2

Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I_0)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	26603	26541	26586	26524	26815	26753	26606	104	0,518
4 cm	21203	21141	21184	21122	21372	21310	21191	84	0,412
6 cm	17275	17213	17264	17202	17114	17052	17155	73	0,334
8 cm	13763	13701	13718	13656	13618	13556	13637	60	0,265
10 cm	8661	8599	8619	8557	8535	8473	8543	52	0,166
12 cm	5962	5900	5921	5859	5868	5806	5855	38	0,113
14 cm	3285	3223	3359	3297	3344	3282	3267	31	0,063

6.1.4. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak Demir Cevheri Tozlu Beton İçin

Elde Edilen Deney Sonuçları

Co-60 Radyoizotop kaynağı kullanılarak demir cevheri tozlu beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.4’de verilmektedir. Tablo 6.4’den faydalanılarak adi betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.4’de görülmektedir.



Şekil 6.4 Co-60 Gama Kaynağı İle Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.4
Co-60 Radyoizotop Kaynağı İle Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları

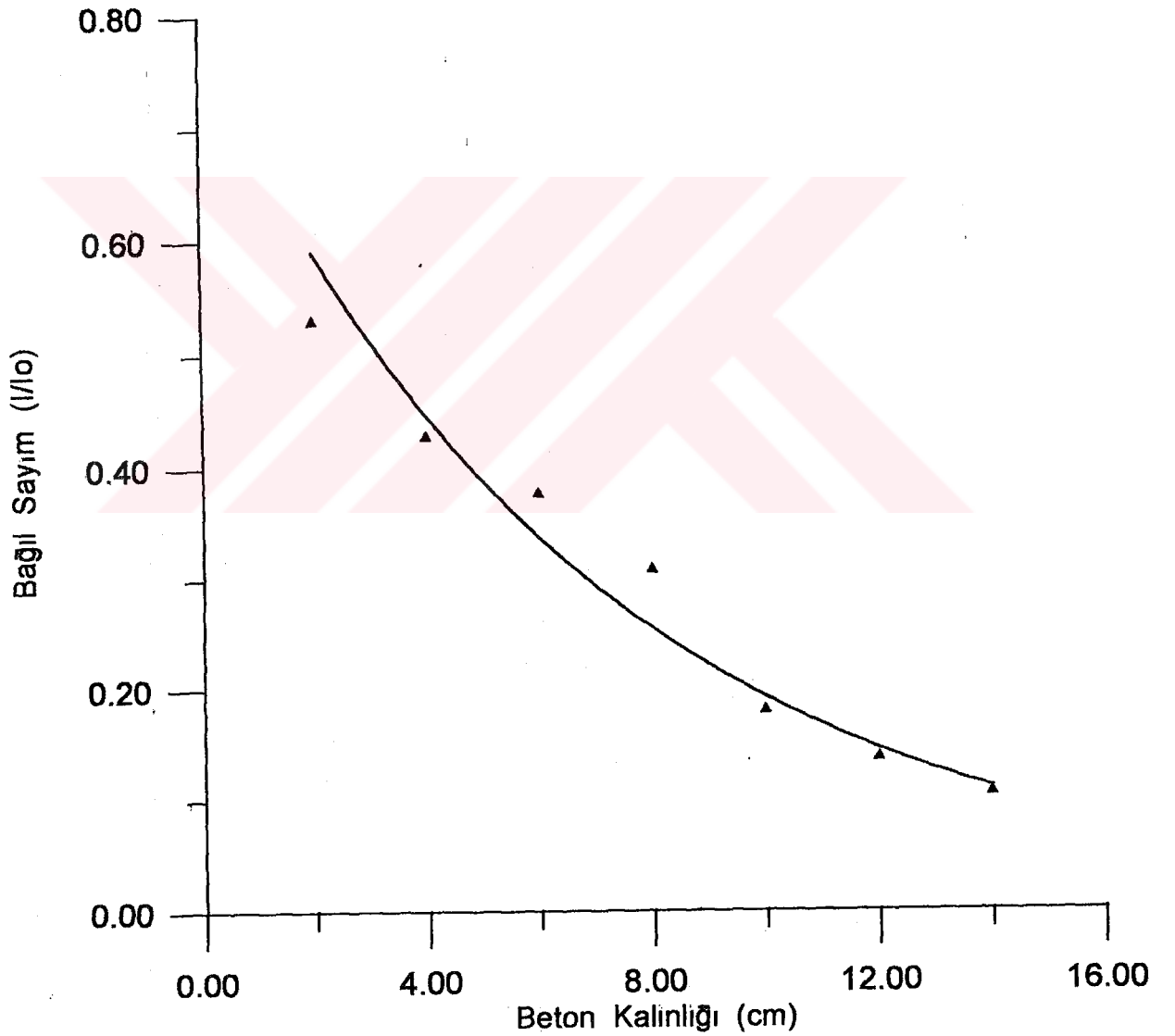
Numunesiz Net Sayım (I_0): 50993 $\pm$ 68

Doğal Sayım: 62 $\pm$ 0,2

Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	29933	29860	29862	29789	29669	29596	29748	111	0,583
4 cm	24887	24814	24936	24863	24718	24645	24774	93	0,485
6 cm	21454	21381	21543	21470	21316	21273	21374	80	0,419
8 cm	16207	16134	16163	16090	16336	16263	16162	73	0,316
10 cm	10184	10111	10260	10187	10324	10261	10186	61	0,199
12 cm	8765	8692	8679	8606	8665	8592	8630	44	0,169
14 cm	6112	6039	6111	6038	6036	5963	6013	35	0,117

6.1.5. Co-60 Gama Kaynağı Kullanılarak İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Co-60 Radyoizotop kaynağı kullanılarak iri taneli demir cevheri tozlu beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.6'de verilmektedir. Tablo 6.6'den faydalanılarak adi betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.6'de görülmektedir.



Şekil 6.6 Co-60 Gama Kaynağı İle İri taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.5

Co-60 Radyoizotop Kaynağı ile İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0): 51763± 41

Doğal Sayım: 54 ± 1,7

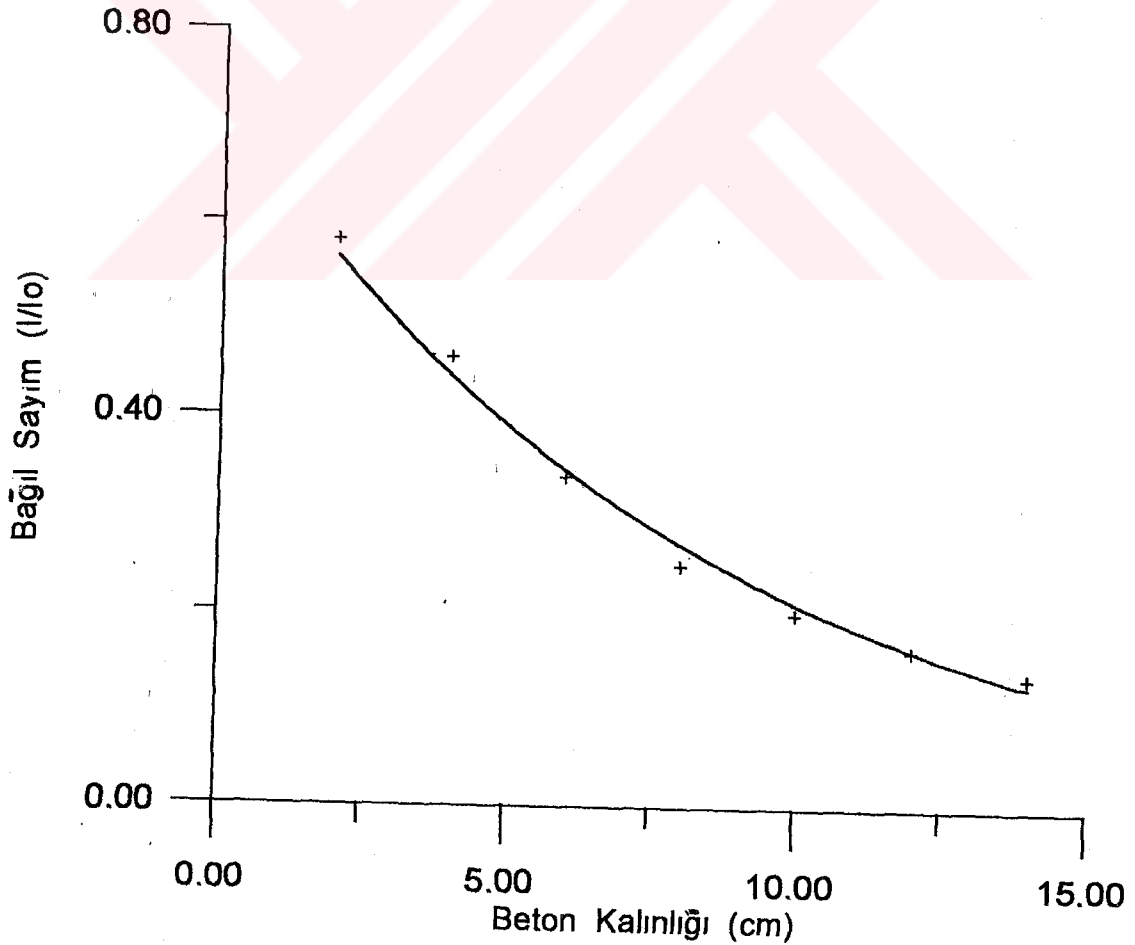
Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I_0)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	27650	27596	27623	27569	27404	27350	27505	110	0,531
4 cm	22422	22368	22259	22205	22221	22167	22246	87	0,429
6 cm	19582	19528	19601	19547	19752	19698	19591	76	0,378
8 cm	16020	15966	16073	16019	16184	16130	16038	68	0,309
10 cm	9319	9265	9403	9349	9458	9404	9339	57	0,181
12 cm	7193	7139	7247	7193	7298	7244	7192	42	0,136
14 cm	5566	5512	5614	5560	5536	5482	5518	32	0,106

6.2. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Beton Tipleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak gerçekleştirilen deney sonuçları, her beton tipi için ayrı ayrı aşağıdaki alt bölümler içinde verilmektedir.

6.2.1. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 Radyoizotop kaynağı kullanılarak düşük yoğunluklu normal beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.6'de verilmektedir. Tablo 6.6'den faydalanılarak yüksek yoğunluklu normal betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.6'de görülmektedir.



Şekil 6.6 Cs-137 Gama Kaynağı ile Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.6

Cs-137 Radyoizotop Kaynağı ile Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Yapılan Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0): 153156± 78

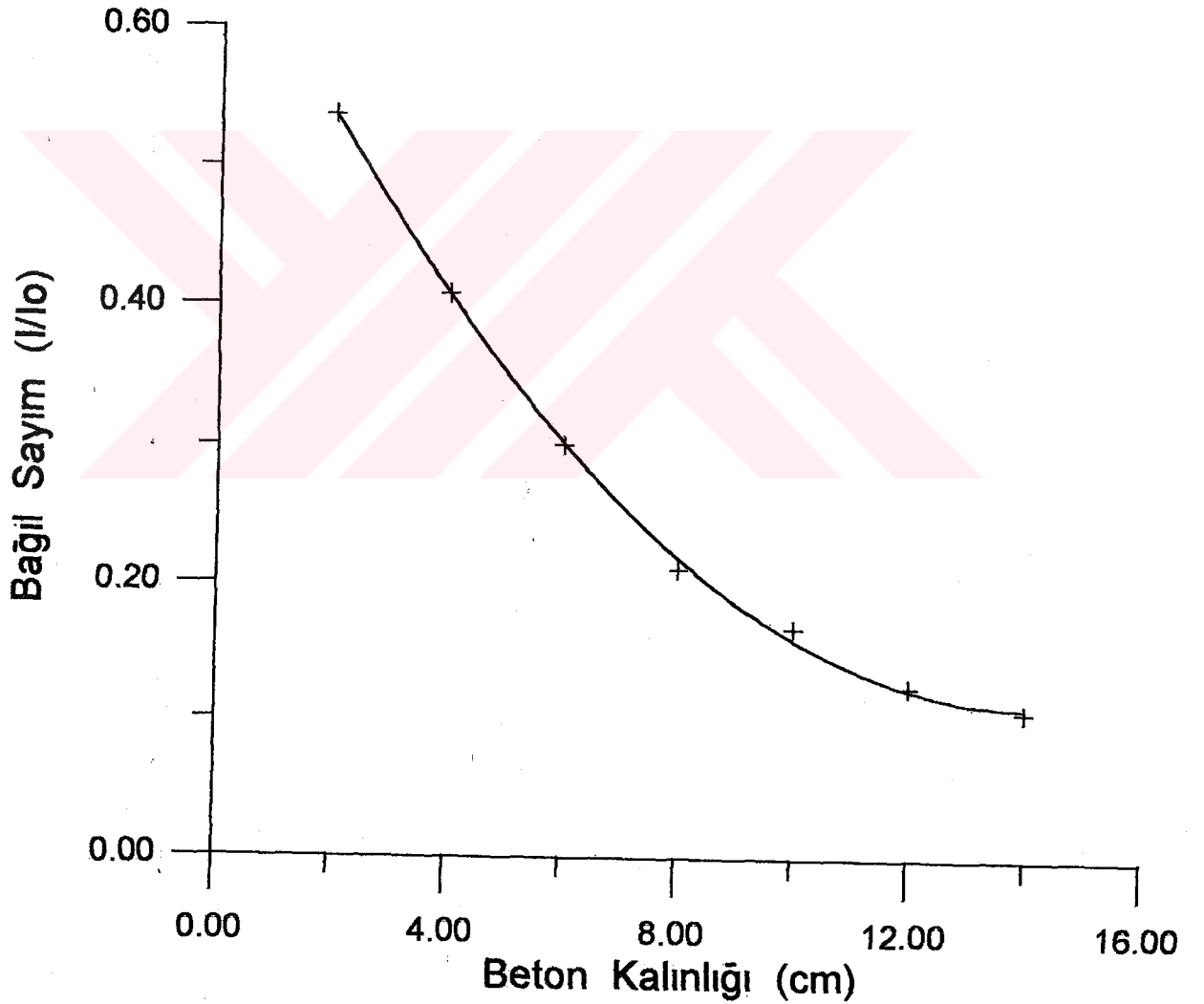
Doğal Sayım: 2143± 12

Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I/I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	91225	89082	91035	88892	91285	89142	89038	106	0,581
4 cm	72674	70531	72498	70355	72715	70572	70486	94	0,461
6 cm	54190	52047	54002	51859	54137	51994	51966	79	0,339
8 cm	40386	38243	40459	38316	40298	38155	38238	65	0,249
10 cm	32715	30572	32807	30664	32844	30711	30649	57	0,201
12 cm	27481	25338	27464	25321	27398	25255	25304	35	0,165
14 cm	23487	21344	23517	21374	23552	21409	21375	26	0,139

6.2.2. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Yüksek Yoğunluklu Normal Beton

İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 Radyoizotop kaynağı kullanılarak yüksek yoğunluklu normal beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.7’de verilmektedir. Tablo 6.7’den faydalanılarak yüksek yoğunluklu normal betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.7’de görülmektedir.



Şekil 6.7 Cs-137 Gama Kaynağı İle Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.7
Cs-137 Radyoizotop Kaynağı ile Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İçin Yapılan Deney Sonuçları

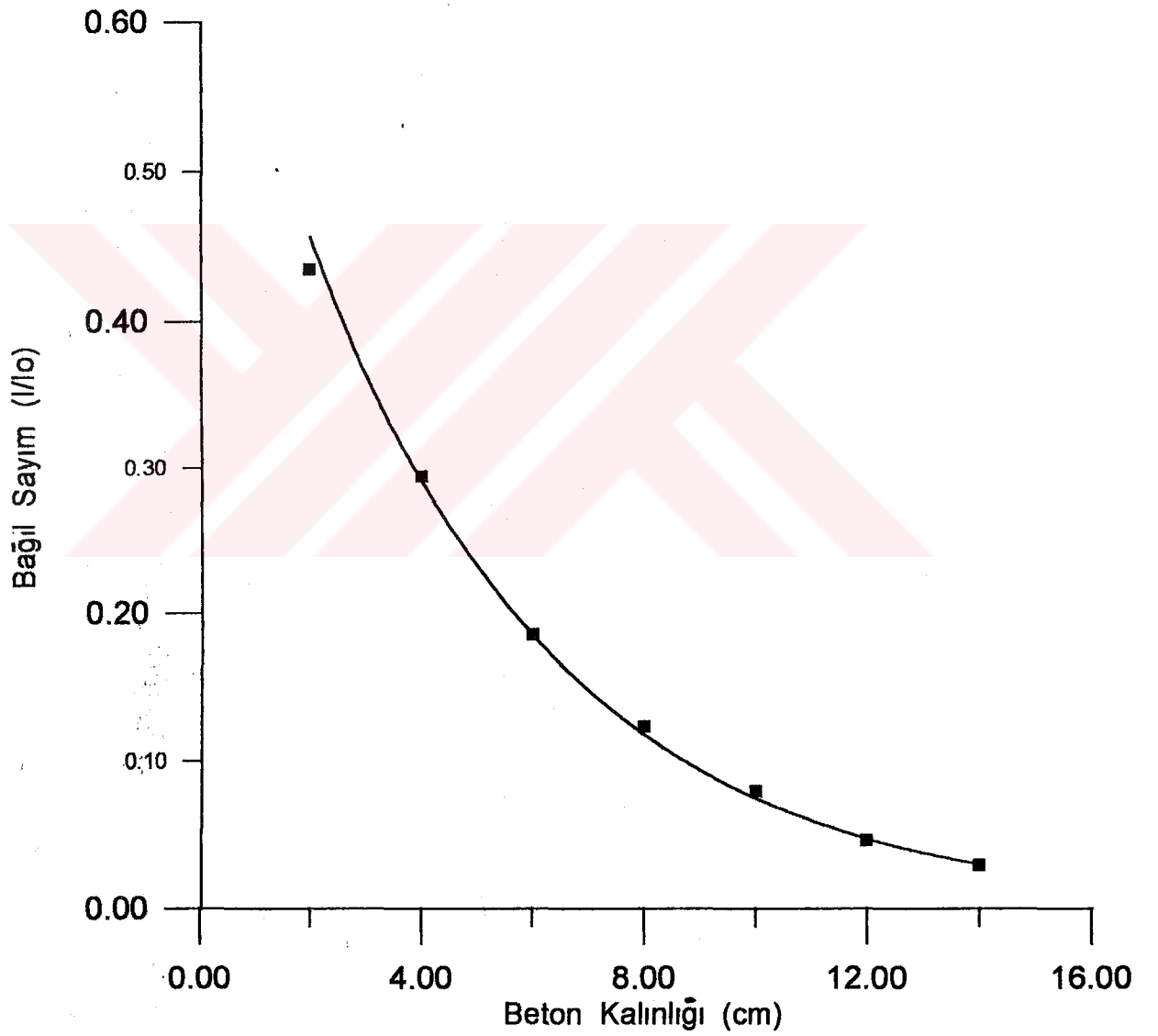
Numunesiz Net Sayım (I_0): 152791 ± 78

Doğal Sayım: 1976 ± 5,7

Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I/I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	84329	82353	84207	82231	84465	82489	82357	105	0,537
4 cm	64576	62600	64416	62440	64617	62641	62560	86	0,408
6 cm	48290	46324	48114	46138	48239	46263	46241	78	0,301
8 cm	34295	32319	34345	32369	34207	32231	32306	57	0,211
10 cm	27808	25832	27917	25941	27810	25834	25869	50	0,168
12 cm	21280	19304	21224	19248	21208	19232	19261	30	0,125
14 cm	18385	16409	18425	16449	18442	16466	16441	23	0,107

6.2.3. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Baritli Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 Radyoizotop kaynağı kullanılarak baritli beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.8’de verilmektedir. Tablo 6.8’den faydalanılarak adi betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.8’de görülmektedir.



Şekil 6.8 Cs-137 Gama Kaynağı İle Baritli Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.8

Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Barıtlı Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0): 152101± 98

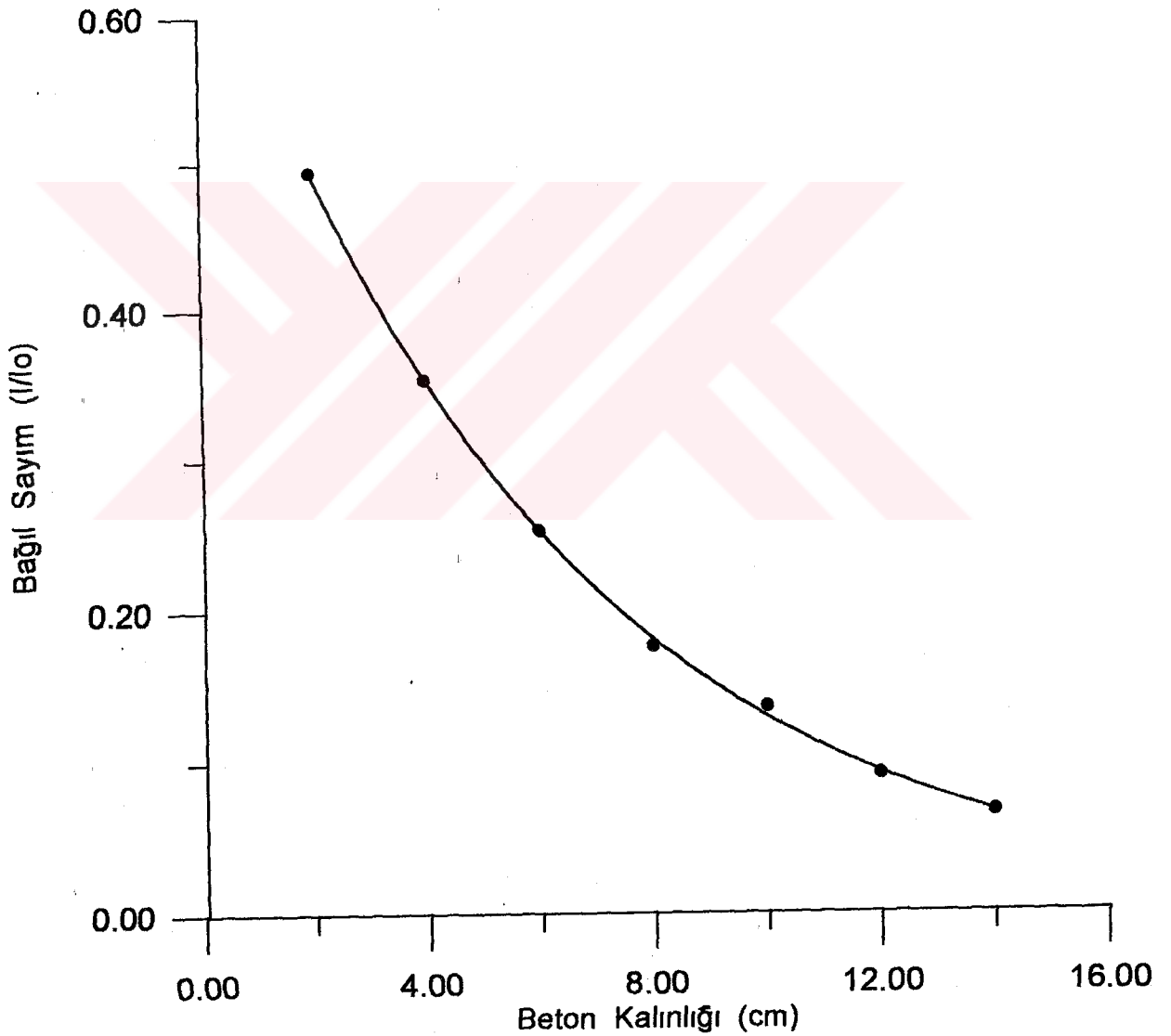
Doğal Sayım: 1159 ± 27

Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I_0)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	67288	66329	67364	66205	67572	66413	66315	85	0,435
4 cm	45924	44765	45984	44825	46100	44941	44843	73	0,294
6 cm	29412	28253	29286	28127	29440	28281	28220	66	0,185
8 cm	19933	18774	19984	18825	19875	18716	18771	44	0,123
10 cm	13174	12015	13191	12032	13264	12105	12050	39	0,079
12 cm	8161	7002	8205	7046	8194	7035	7027	18	0,046
14 cm	5688	4529	5683	4524	5662	4503	4518	11	0,029

6.2.4. Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak Demir Cevheri Tozlu Beton İçin

Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 Radyoizotop kaynağı kullanılarak demir cevheri tozlu beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.9'da verilmektedir. Tablo 6.9'dan faydalanılarak adi betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.9'da görülmektedir.



Şekil 6.9 Cs-137 Gama Kaynağı İle Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.9

Cs-137 Radyoizotop Kaynağı İle Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları

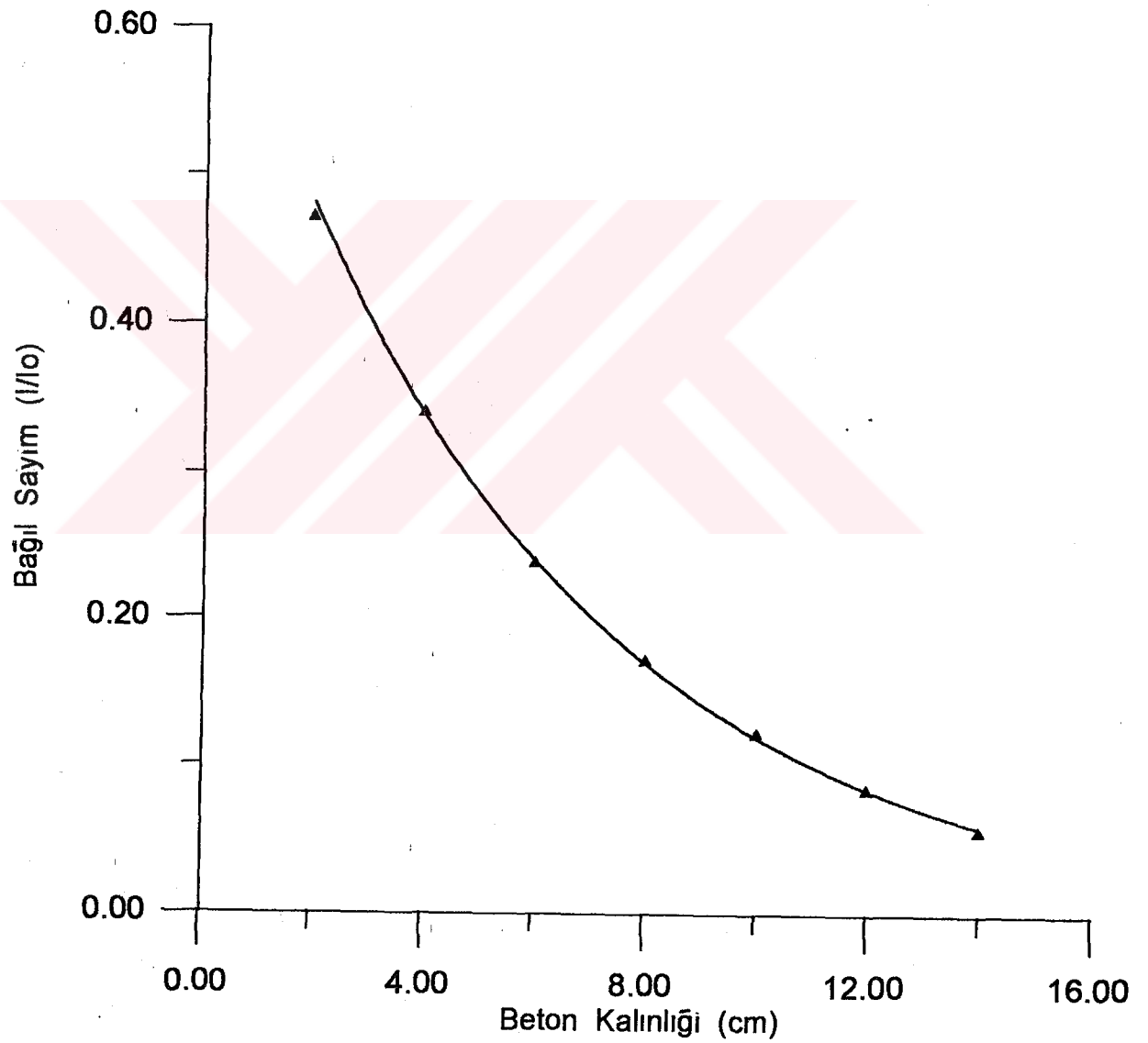
Numunesiz Net Sayım (I_0): 154238± 84

Doğal Sayım: 1983 ± 15

Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım.	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	78219	76236	78107	77124	78335	76362	76240	97	0,494
4 cm	56472	54489	56316	54333	56505	545222	54448	82	0,353
6 cm	41197	39214	41012	39029	41119	39136	39125	77	0,253
8 cm	29193	27210	29235	27252	29105	27122	27194	54	0,176
10 cm	22908	20925	23037	21044	22961	20978	20982	48	0,136
12 cm	16180	14197	16126	14143	16128	14145	14161	25	0,091
14 cm	12185	10202	12227	10244	12193	10210	10218	18	0,066

6.2.5 Cs-137 Gama Kaynağı Kullanılarak İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Cs-137 Radyoizotop kaynağı kullanılarak iri taneli demir cevheri tozlu beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.10'da verilmektedir. Tablo 6.10'dan faydalanılarak adi betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.10'da görülmektedir.



Şekil 6.10 Cs-137 Gama Kaynağı İle İri taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.10

Cs-137 Radyoizotop Kaynağı ile İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0): 148504± 81

Doğal Sayım: 1459 ± 32

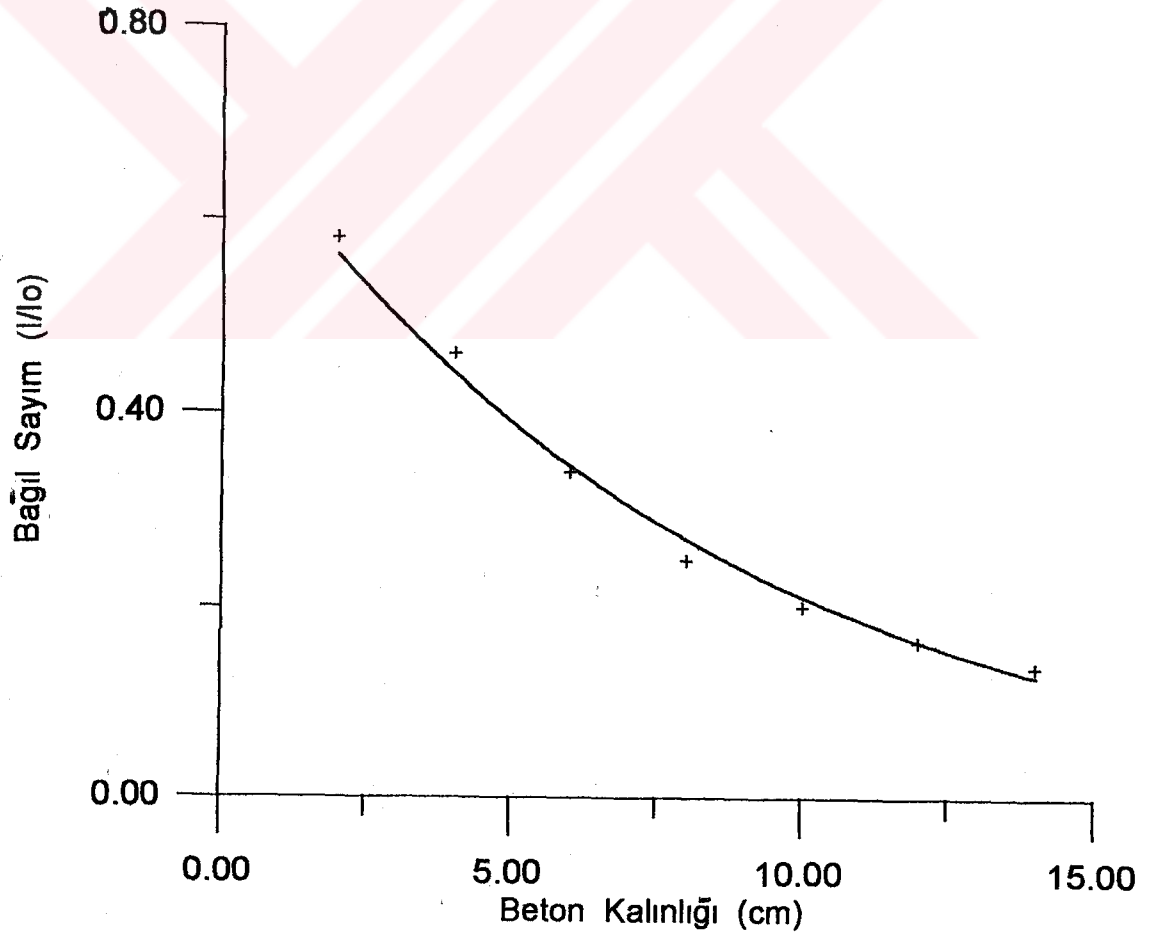
Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I_0)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	71728	70269	71507	70048	71625	70166	70161	90	0,472
4 cm	52159	50700	52281	50822	52348	50889	50803	78	0,342
6 cm	36925	35466	37013	35554	37096	35637	35552	69	0,239
8 cm	27042	25583	27086	25627	27007	25548	25586	52	0,172
10 cm	19832	18373	19729	18270	19735	18276	18306	47	0,123
12 cm	14128	12669	14138	12679	12185	12726	12691	24	0,085
14 cm	10116	8657	10125	8666	10090	8631	8651	14	0,058

6.3. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak Farklı Beton Tipleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Ir-192 gama radyoizotop kaynağı kullanılarak gerçekleştirilen deney sonuçları, her beton tipi için ayrı ayrı aşağıdaki alt bölümler içinde verilmektedir.

6.3.1 Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Ir-197 Radyoizotop kaynağı kullanılarak düşük yoğunluklu normal beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.11’de verilmektedir. Tablo 6.11’den faydalanılarak düşük yoğunluklu normal betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.11’de görülmektedir.



Şekil 6.11. Ir-192 Gama Kaynağı İle Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.11

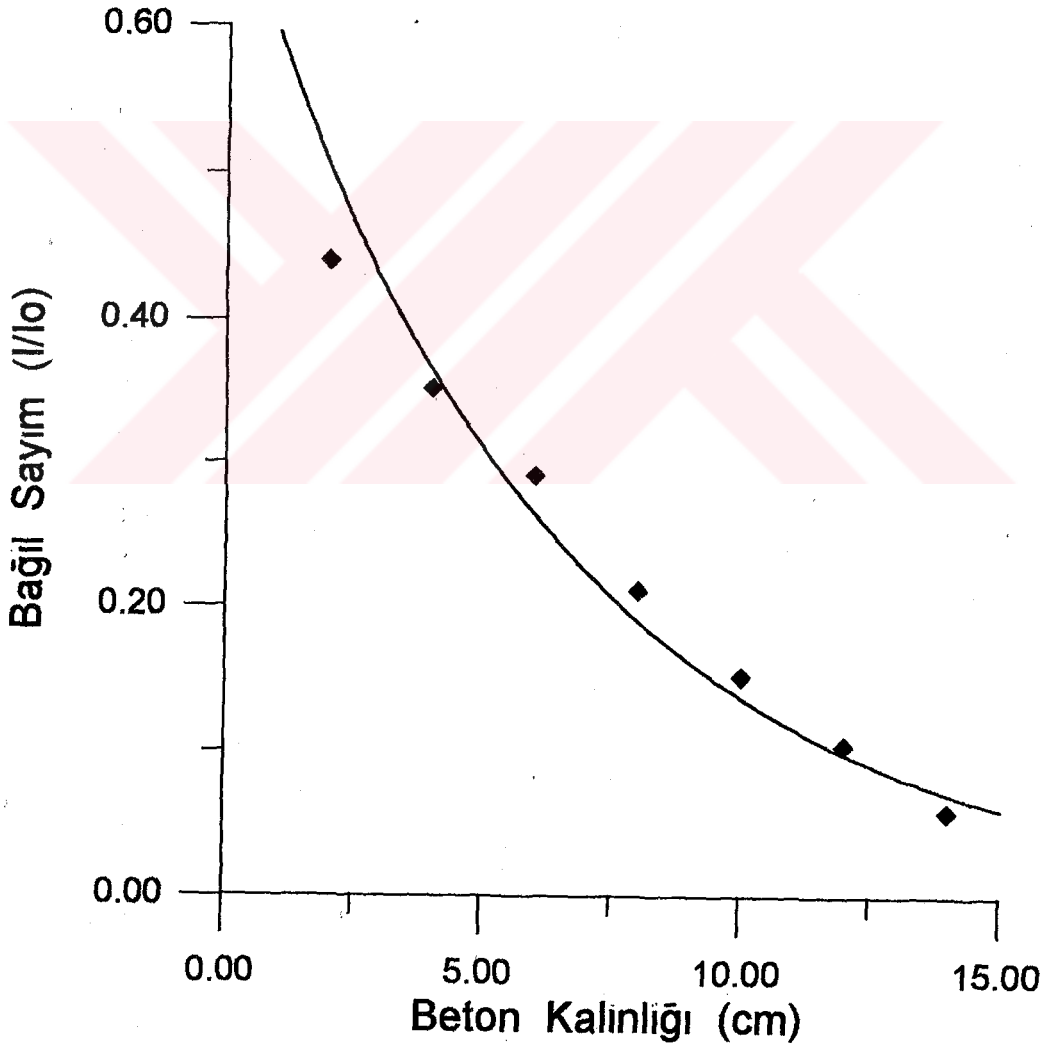
Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle Düşük Yoğunluklu Normal Beton İçin Yapılan Deney Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0): 32016 $\pm$ 67Doğal Sayım: 4536 $\pm$ 9,9

Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	20379	15843	20245	15709	20502	15966	15839	104	0,494
4 cm	17990	13454	17785	13249	17947	13411	13371	88	0,417
6 cm	16223	11687	16298	11762	16109	11573	11674	77	0,364
8 cm	14905	10369	15077	10541	14941	10405	10438	74	0,326
10 cm	12177	7641	12059	7523	12072	7536	7566	52	0,236
12 cm	10181	5645	10137	5601	10226	5690	5645	36	0,176
14 cm	8774	4238	8737	4201	8797	4261	4233	24	0,132

6.3.2 Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Ir-197 Radyoizotop kaynağı kullanılarak yüksek yoğunluklu normal beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.12’de verilmektedir. Tablo 6.12’den faydalanılarak düşük yoğunluklu normal betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.12’de görülmektedir.



Şekil 6.12. Ir-192 Gama Kaynağı İle Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.12

Ir-192 Radyoizotop Kaynağı ile Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İçin Yapılan Dency Sonuçları

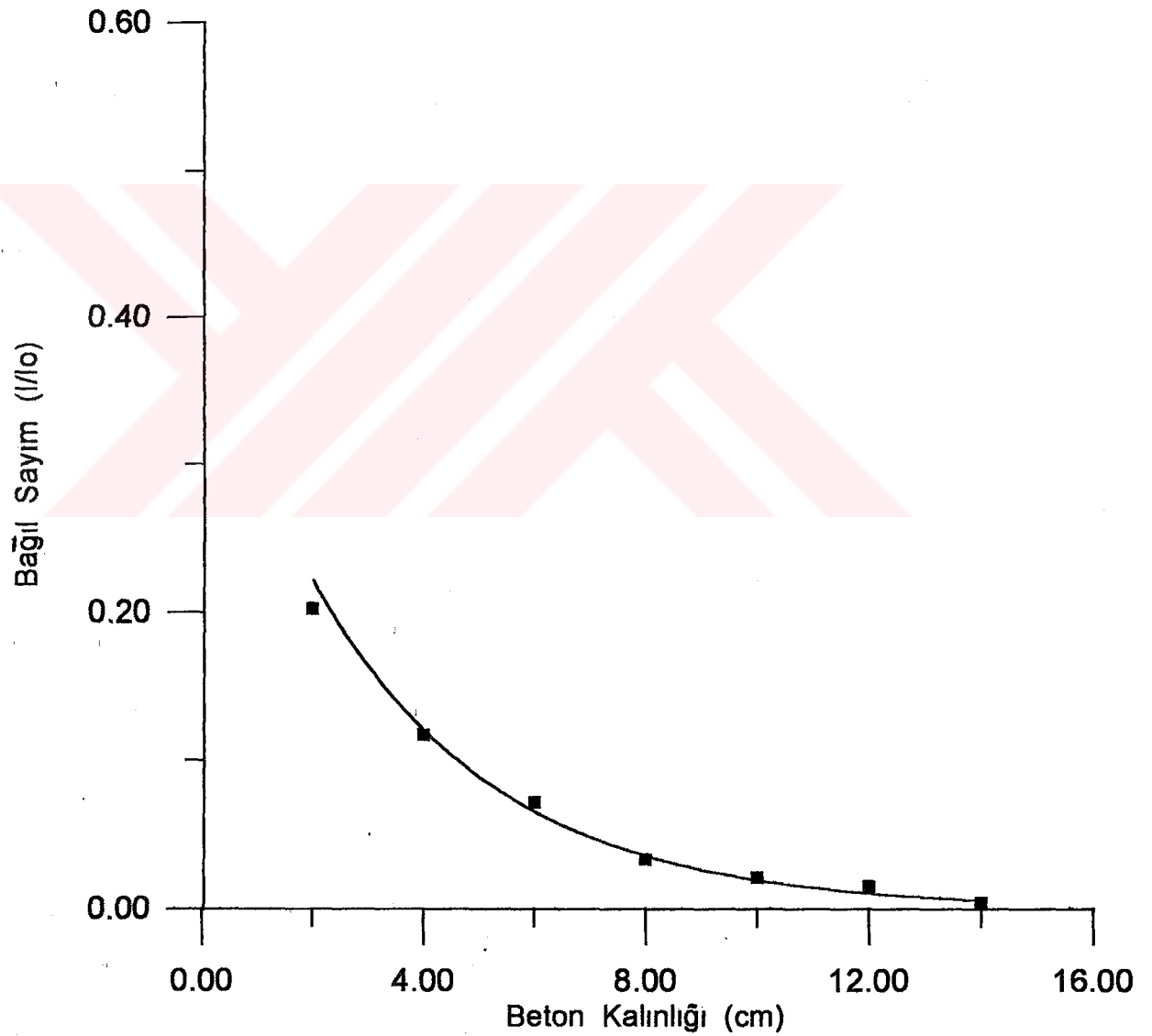
Numunesiz Net Sayım (I_0): 32625 ± 22

Doğal Sayım: $4381 \pm 2,4$

Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I_0)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	18731	14350	18876	14495	18631	14250	14365	100	0,441
4 cm	15843	11462	15987	11606	15795	11414	11494	81	0,352
6 cm	13917	9536	13812	9431	13988	9607	9524	72	0,291
8 cm	11268	6887	11378	6998	11217	6836	6907	67	0,211
10 cm	9283	4902	9358	4977	9397	4016	4965	47	0,152
12 cm	7804	3423	7814	3433	7881	3500	3452	34	0,105
14 cm	6315	1934	6366	1985	6324	1943	1954	22	0,059

6.3.3. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak Baritli Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Ir-192 Radyoizotop kaynağı kullanılarak baritli beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.13’de verilmektedir. Tablo 6.13’den faydalanılarak adi betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.13’de görülmektedir.



Şekil 6.13 Ir-192 Gama Kaynağı İle Baritli Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.13

Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle Baritli Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları

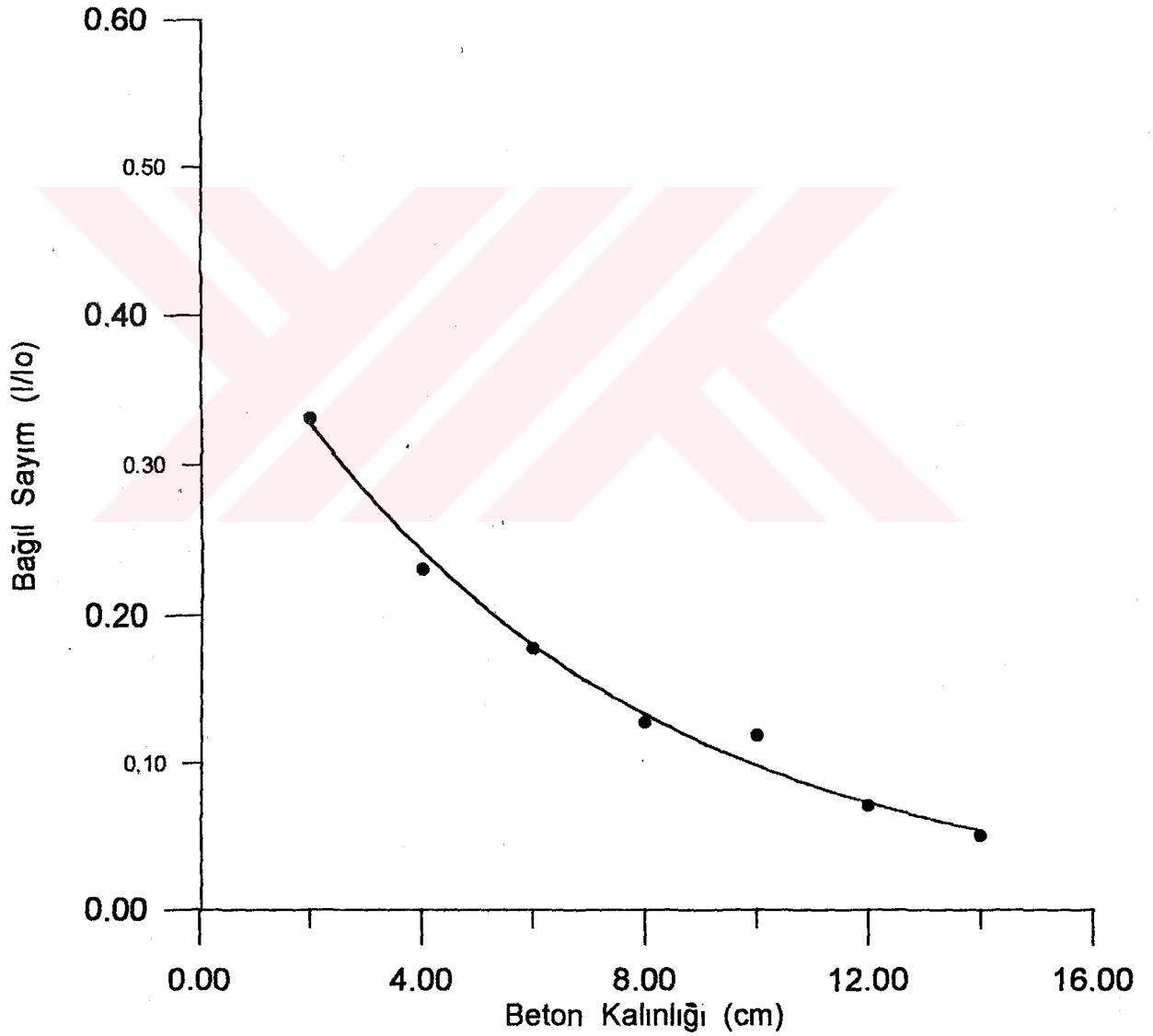
Numunesiz Net Sayım (I_0): 30991± 32

Doğal Sayım: 4822 ± 25,2

Beton Kalınlığı	Sayım							Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağlı Sayım (I/I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım					
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım				
2 cm	11225	6403	11067	6245	11019	6197	6281	88	0,202	
4 cm	8419	3597	8666	3744	8414	3592	3644	70	0,117	
6 cm	6991	2169	7106	2294	6975	2153	2205	63	0,071	
8 cm	5873	1051	5784	962	5900	1078	1030	49	0,033	
10 cm	5524	702	5456	634	5442	620	652	35	0,021	
12 cm	5318	496	5280	458	5264	442	465	22	0,015	
14 cm	4914	92	4934	112	4951	129	111	15	3,58.10 ⁻³	

6.3.4. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Ir-192 Radyoizotop kaynağı kullanılarak demir cevheri tozlu beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.14'de verilmektedir. Tablo 6.14'den faydalanılarak adi betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.14'de görülmektedir.



Şekil 6.14 Ir-192 Gama Kaynağı ile Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.14

Ir-192 Radyoizotop Kaynağı İle Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları

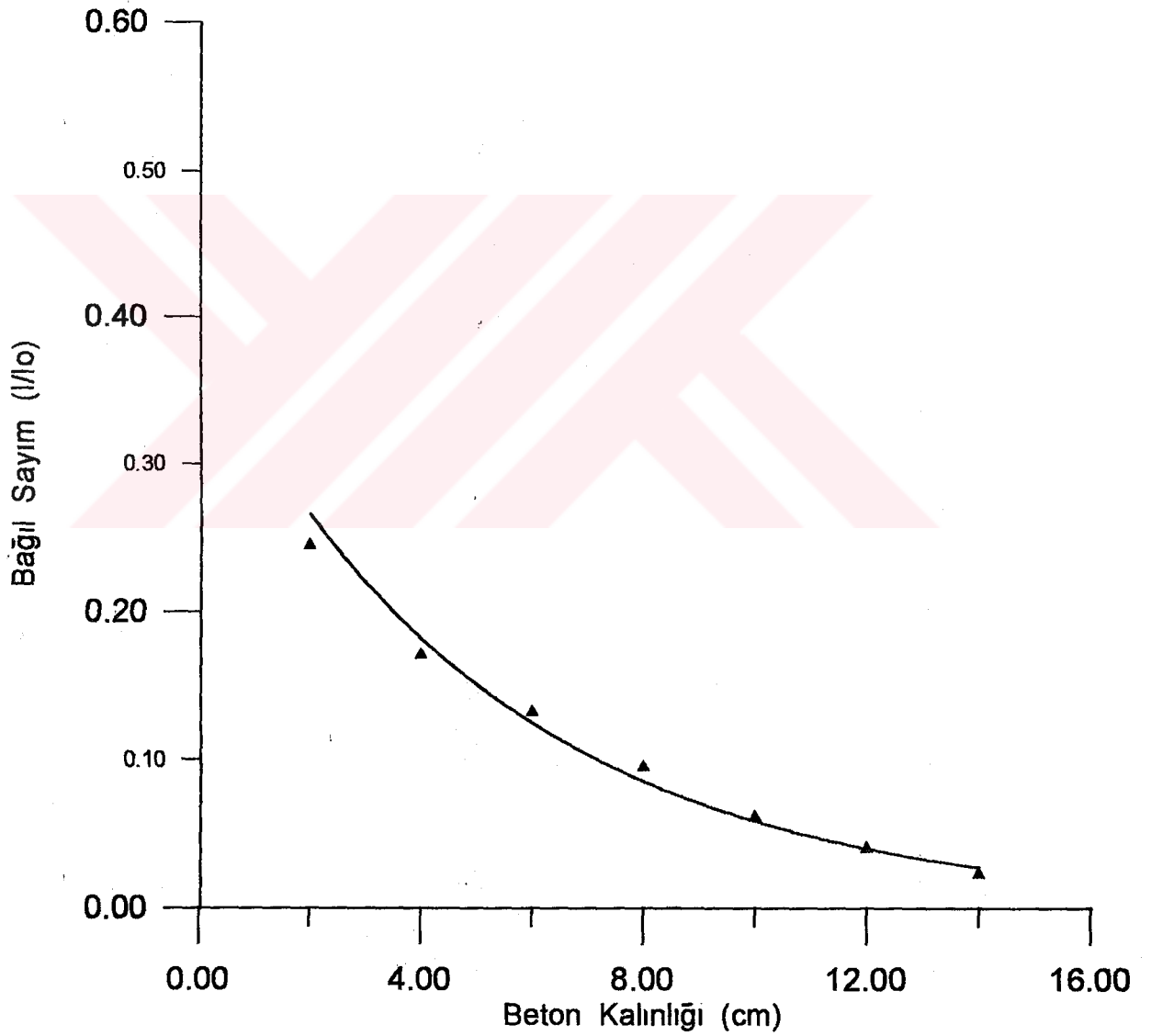
Numunesiz Net Sayım (I_0): 31654 $\pm$ 42Doğal Sayım: 4316 $\pm$ 14,1

Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I ₀)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	14906	10590	14663	10377	14771	104553	10464	99	0,331
4 cm	11735	7419	11681	7365	11543	7227	7337	80	0,231
6 cm	10066	5750	10894	5578	10962	5646	5658	70	0,178
8 cm	9301	4985	9350	4034	9457	4141	4053	65	0,128
10 cm	8047	3731	8090	3774	8154	3838	3781	43	0,119
12 cm	6547	2231	6591	2275	6516	2200	2235	30	0,071
14 cm	5933	1617	5980	1664	5934	1618	1633	21	0,051

6.3. 5. Ir-192 Gama Kaynağı Kullanılarak İri Taneli Demir Cevheri Tozlu

Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Ir-192 Radyoizotop kaynağı kullanılarak iri taneli demir cevheri tozlu beton ile elde edilen deney sonuçları, Tablo 6.16'de verilmektedir. Tablo 6.16'den faydalanılarak adi betona ait çizilen grafik ise Şekil 6.16'de görülmektedir.



Şekil 6.16 Ir-192 Gama Kaynağı İle İri taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Elde Edilen Deney Sonuçları

Tablo 6.15

Ir-192 Radyoizotop Kaynağı ile İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İçin Yapılan Deneylerin Sonuçları

Numunesiz Net Sayım (I_0): 31307± 84

Doğal Sayım: 5170 ± 12

Beton Kalınlığı	Sayım						Net Ortalama Sayım	Standart Sapma	Bağıl Sayım (I/I_0)
	1. Sayım		2. Sayım		3. Sayım				
	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım	Ölçülen Sayım	Net Sayım			
2 cm	12285	7615	13004	7844	12898	7728	7729	93	0,246
4 cm	10627	5457	10463	5293	10613	5443	5397	74	0,172
6 cm	9448	4268	9274	4104	9348	4178	4183	67	0,133
8 cm	8105	2935	8246	3676	8197	3027	3012	58	0,096
10 cm	7098	1928	7186	2016	7123	1953	1965	37	0,062
12 cm	6472	1302	6487	1317	6422	1252	1290	27	0,041
14 cm	5942	772	5977	807	5930	760	779	19	0,024

6.4. Deneysel Sonuçların Mukayeseli Değerlendirilmesi

Yapılan deneylerle elde edilen sonuçlar iki farklı şekilde mukayeseli olarak incelenebilir. Bunlardan ilki, farklı gama kaynakları göz önüne alınarak yapılabilecek mukayeseler, diğeri ise, farklı beton tiplerine göre yapılabilecek mukayeseler olmaktadır. Aşağıdaki alt bölümler içinde her iki mukayeseli değerlendirme de verilmektedir.

6.4.1. Farklı Gama Kaynakları İle Ulaşılan Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirmesi

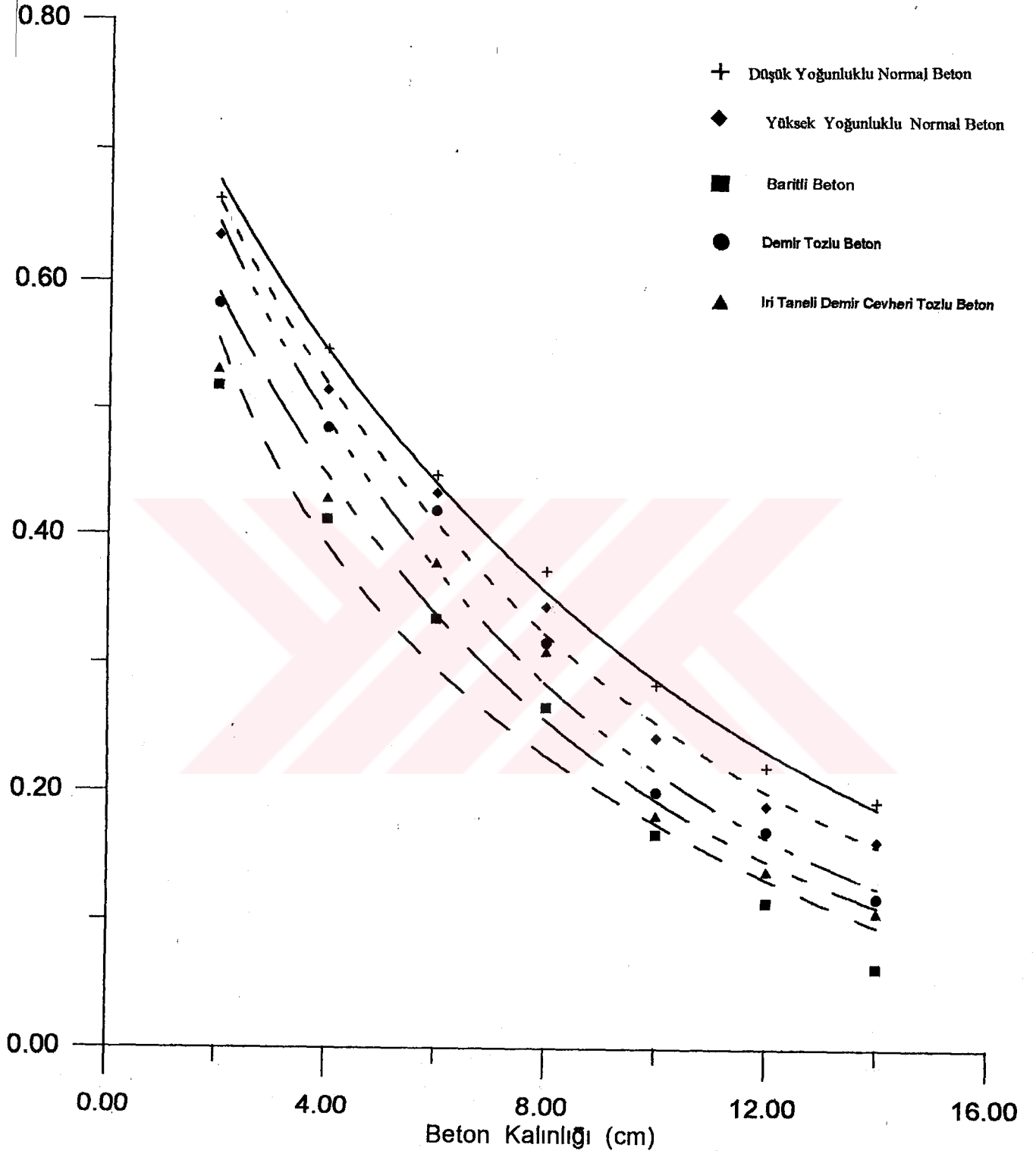
Farklı gama kaynakları göz önüne alınarak, deneysel sonuçların değerlendirilmesi; çalışılan her bir gama kaynağı için farklı beton tipleri bir arada olarak, bu bölüm içinde verilmektedir. Üç farklı gama kaynağı kullanılarak ulaşılan bağıl sayım deney sonuçları toplu halde Tablo 6.16'da verilmektedir.

6.4.1.1. Co-60 Gama Kaynağı İle Ulaşılan Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirmesi

Co-60 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan bağıl sayım deney sonuçları, toplu halde Tablo 6.16'da verilmişti. Bu tablodan yararlanarak, Co-60 gama kaynağı için çalışılan beton tiplerine ilişkin çizilen grafik Şekil 6.16'da görülmektedir.

Tablo 6.16
Üç Farklı Gama Kaynağı Kullanılarak Ulaşılan Bağlı Sayım Deneş Sonuçları

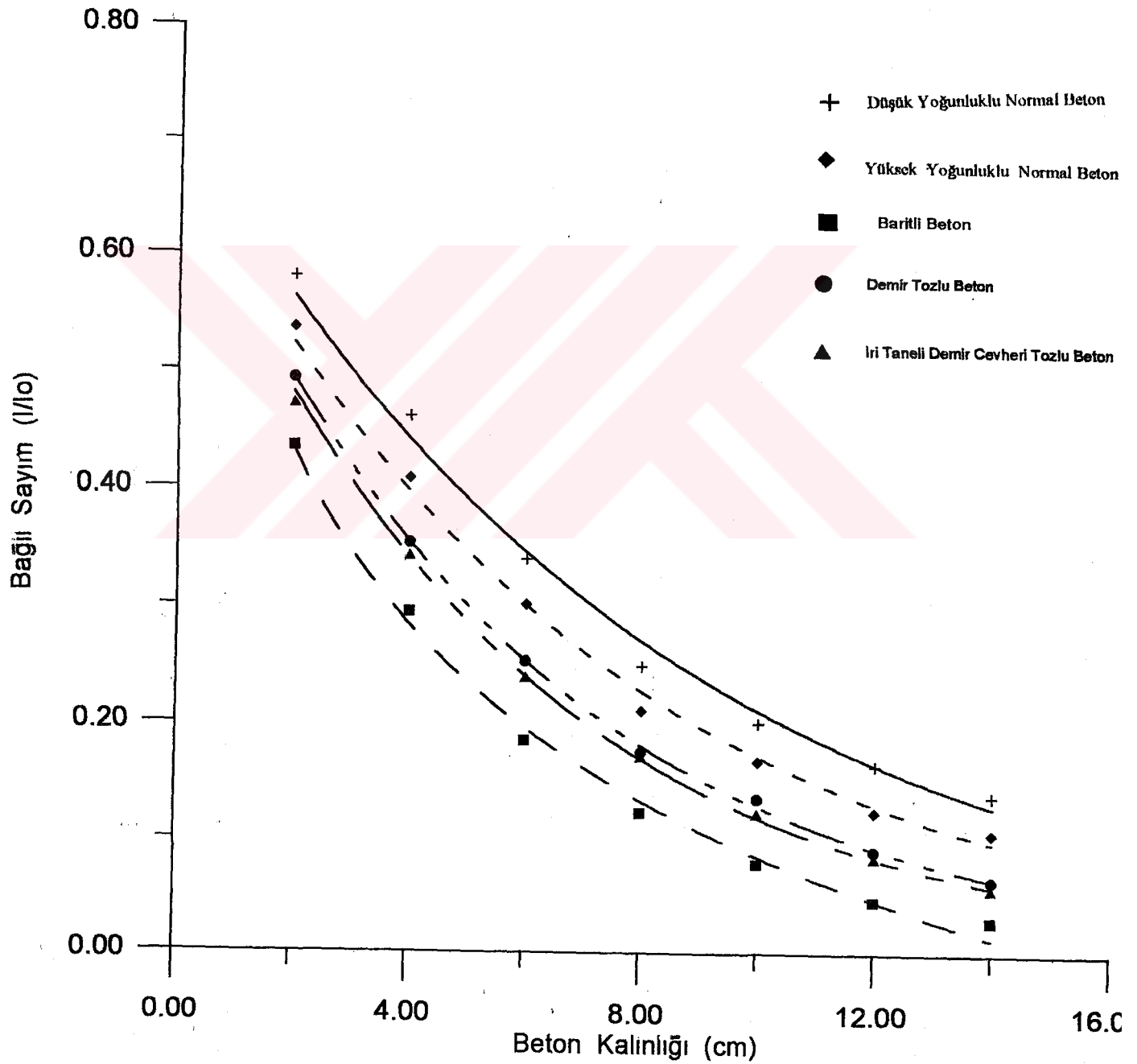
Bağıl Sayım Değerleri (I/I_0)															
Beton Kalınlığı (cm)	Co-60					Cs-137					Ir-192				
	Düşük Yoğ. Normal Beton	Yüksek Yoğ. Normal Beton	Barıtlı Beton	Demir Cevheri Tozlu Beton	İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton	Düşük Yoğ. Normal Beton	Yüksek Yoğ. Normal Beton	Barıtlı Beton	Demir Cevheri Tozlu Beton	İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton	Düşük Yoğ. Normal Beton	Yüksek Yoğ. Normal Beton	Barıtlı Beton	Demir Cevheri Tozlu Beton	İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton
2	0,663	0,635	0,518	0,583	0,531	0,581	0,537	0,435	0,494	0,472	0,494	0,441	0,202	0,331	0,246
4	0,547	0,515	0,412	0,485	0,429	0,461	0,408	0,294	0,353	0,342	0,417	0,352	0,117	0,231	0,172
6	0,447	0,433	0,334	0,419	0,378	0,339	0,301	0,185	0,253	0,239	0,364	0,291	0,071	0,178	0,133
8	0,372	0,344	0,265	0,316	0,309	0,249	0,211	0,123	0,176	0,172	0,326	0,211	0,033	0,128	0,096
10	0,283	0,242	0,166	0,199	0,181	0,201	0,168	0,079	0,136	0,123	0,236	0,152	0,021	0,119	0,062
12	0,219	0,189	0,113	0,169	0,138	0,165	0,125	0,046	0,091	0,085	0,176	0,105	0,015	0,071	0,041
14	0,192	0,161	0,063	0,117	0,106	0,139	0,107	0,029	0,066	0,058	0,132	0,059	0,004	0,051	0,024



Şekil 6.16 Co-60 Gama Kaynağı İle Çalışılan Beton Tipleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi

6.4.1.2. Cs-137 Gama Kaynağı İle Ulaşılan Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirmesi

Cs-137 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan bağıl sayım deney sonuçları toplu halde Tablo 6.16'da verilmişti. Bu tablodan yararlanarak, Cs-137 gama kaynağı için çalışılan beton tiplerine ilişkin çizilen grafik Şekil 6.17'de görülmektedir.

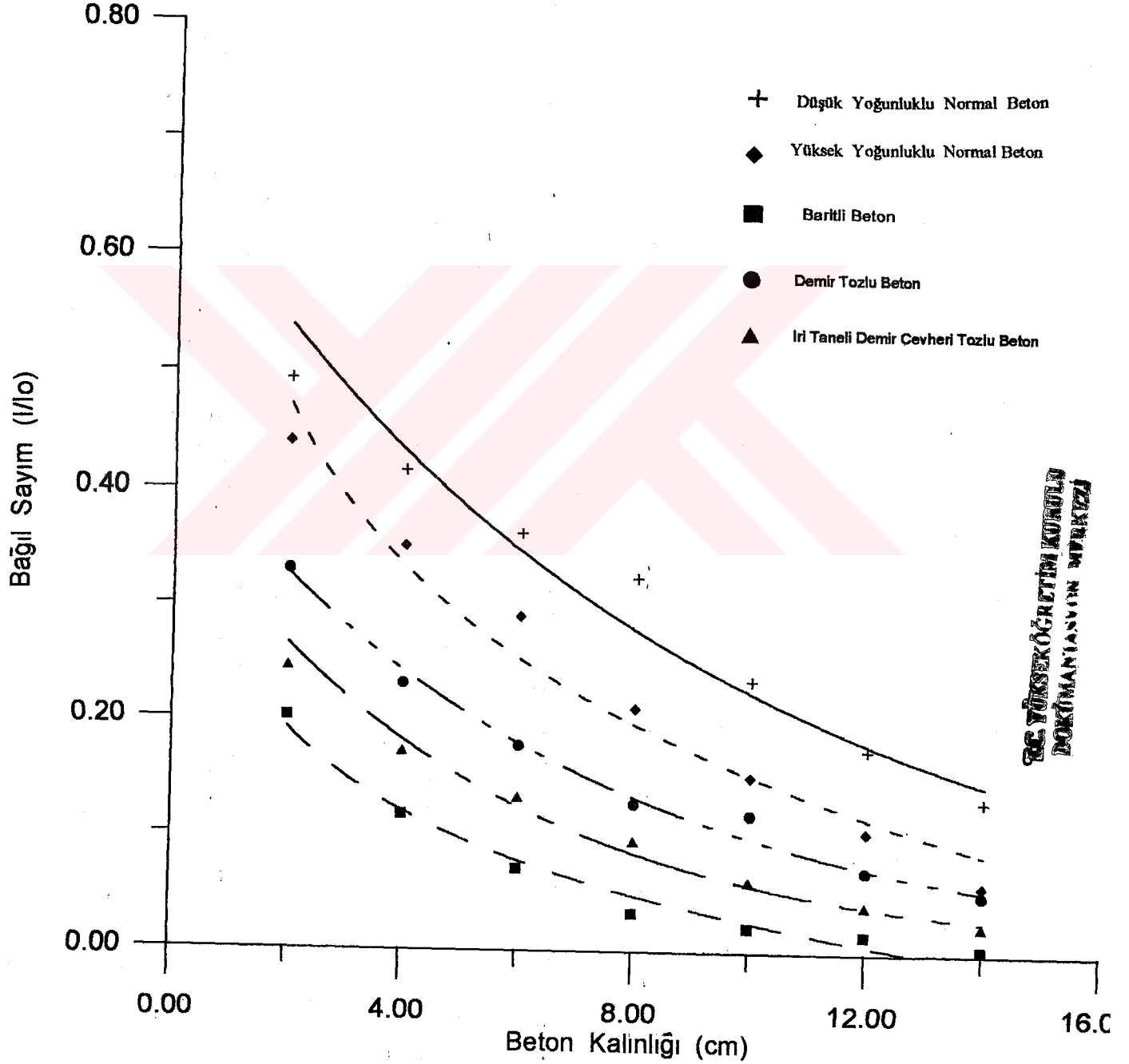


Şekil 6.17 Cs-137 Gama Kaynağı İle Çalışılan Beton Tipleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi

6.4.1.3. Ir-192 Gama Kaynağı İle Ulaşılan Deney Sonuçlarının

Mukayeseli Değerlendirmesi

Ir-192 gama kaynağı kullanılarak ulaşılan bağıl sayım deney sonuçları toplu halde Tablo 6.16'da verilmişti. Bu tablodan yararlanarak, Ir-192 gama kaynağı için çalışılan beton tiplerine ilişkin çizilen grafik Şekil 6.18'de görülmektedir.



Şekil 6.18 Ir-192 Gama Kaynağı İle Çalışılan Beton Tipleri İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi

Tablo 6.17
Beş Farklı Beton Tipi Kullanılarak Ulaşılan Bağlı Sayım Deney Sonuçları

Bağlı Sayım Değerleri (I/I_0)																
Beton Kalınlığı (cm)	Düşük Yoğunluklu Normal Beton			Yüksek Yoğunluklu Normal Beton			Barıtlı Beton			Demir Cevheri Tozlu Beton			İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton			
	Co-60	Cs-137	Ir-192	Co-60	Cs-137	Ir-192	Co-60	Cs-137	Ir-192	Co-60	Cs-137	Ir-192	Co-60	Cs-137	Ir-192	
2	0,663	0,581	0,494	0,635	0,537	0,441	0,518	0,435	0,202	0,583	0,494	0,331	0,531	0,472	0,246	
4	0,547	0,461	0,417	0,515	0,408	0,352	0,412	0,294	0,117	0,485	0,353	0,231	0,429	0,342	0,172	
6	0,447	0,339	0,364	0,433	0,301	0,291	0,334	0,185	0,071	0,419	0,253	0,178	0,378	0,239	0,133	
8	0,372	0,249	0,326	0,344	0,211	0,211	0,265	0,123	0,033	0,316	0,176	0,128	0,309	0,172	0,096	
10	0,283	0,201	0,236	0,242	0,168	0,152	0,166	0,079	0,021	0,199	0,136	0,119	0,181	0,123	0,062	
12	0,219	0,165	0,176	0,189	0,125	0,105	0,113	0,046	0,015	0,169	0,091	0,071	0,138	0,085	0,041	
14	0,192	0,139	0,132	0,161	0,107	0,059	0,063	0,029	0,004	0,117	0,066	0,051	0,106	0,058	0,024	

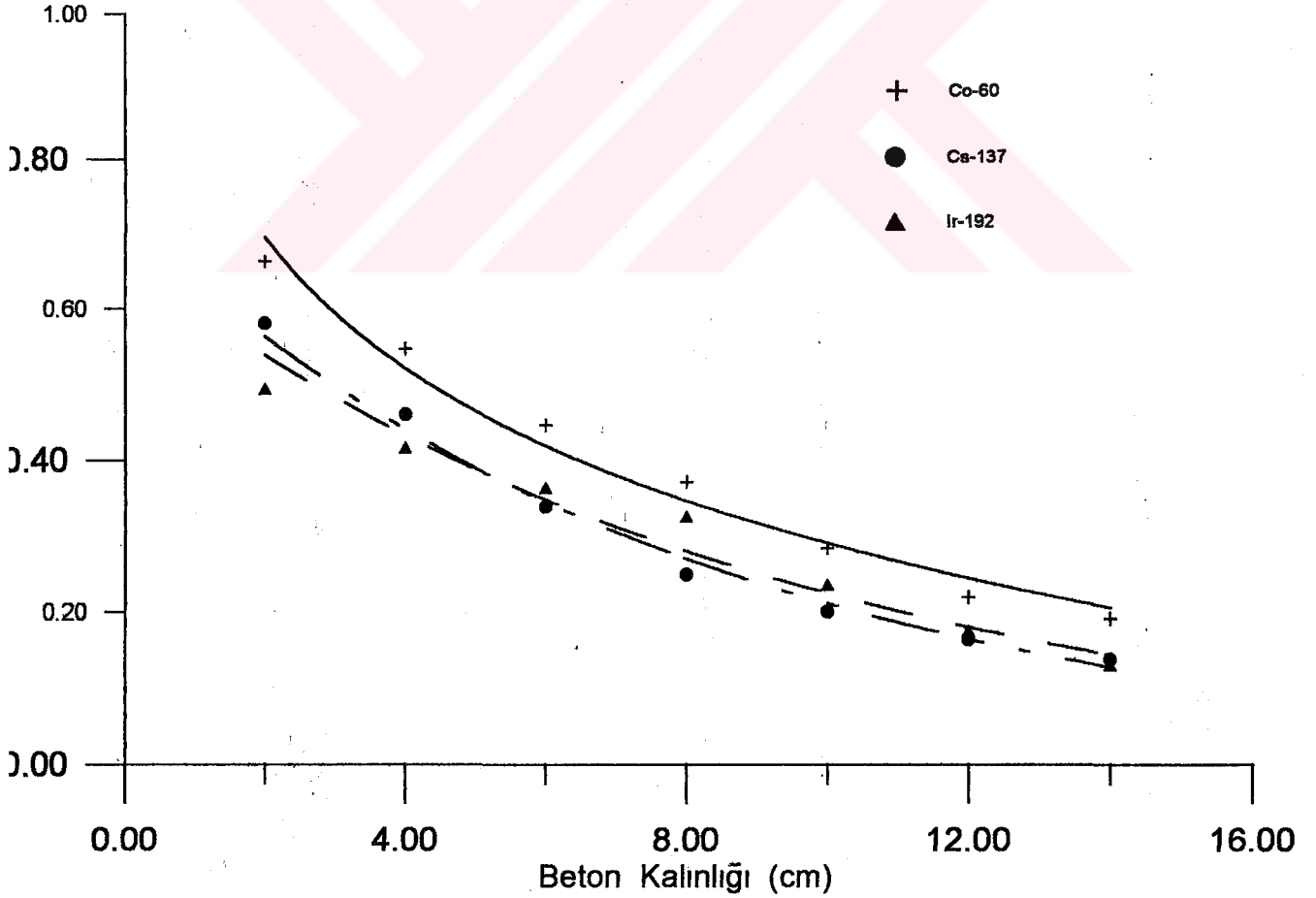
6.4.2. Farklı Beton Tipleri İle Ulaşılan Deney Sonuçlarının

Mukayeseli Değerlendirmesi

Farklı beton tipleri göz önüne alınarak, deneysel sonuçların değerlendirilmesi; çalışılan her bir beton tipi için çalışılan gama kaynakları bir arada olarak, bu bölüm içinde verilmektedir. Üç farklı gama kaynağı kullanılarak ulaşılan bağıl sayım deney sonuçları toplu halde Tablo 6.17’de verilmektedir.

6.4.2.1 Düşük Yoğunluklu Normal Beton İle Ulaşılan Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi

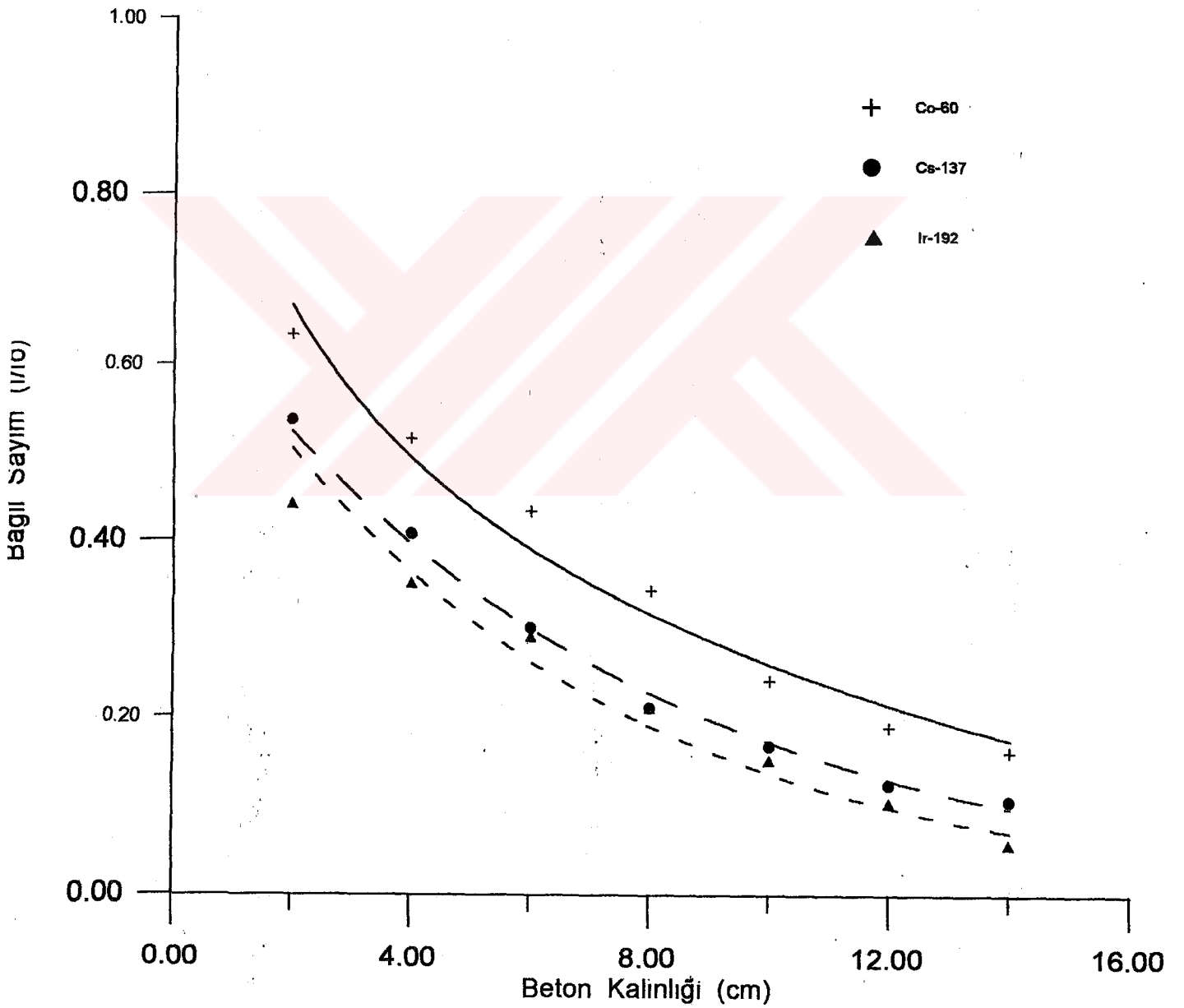
Düşük yoğunluklu normal betonla ulaşılan bağıl sayım deney sonuçları toplu halde Tablo 6.1.17’de verilmişti. Bu tablodan yararlanarak, düşük yoğunluklu normal beton için çalışılan gama kaynaklarına ilişkin çizilen grafik şekil 6.19’da görülmektedir.



Şekil 6.19 Düşük Yoğunluklu Normal Beton İle, Çalışılan Gama Kaynakları İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi

6.4.2.2 Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İle Ulaşılan Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirilmesi

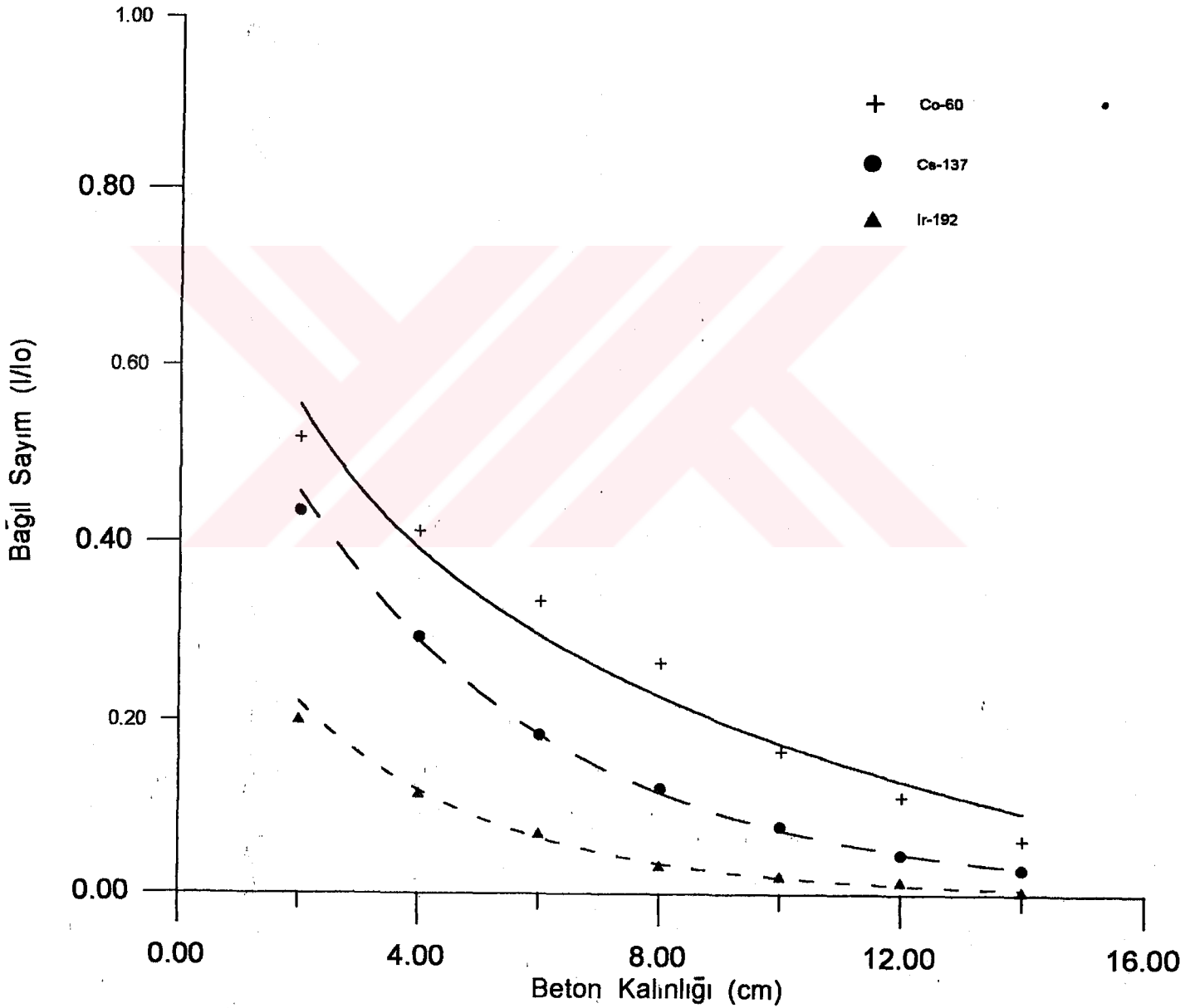
Yüksek yoğunluklu normal betonla ulaşılan bağıl sayım deney sonuçları toplu halde Tablo 6.1.17’de verilmişti. Bu tablodan yararlanarak, yüksek yoğunluklu normal beton için çalışılan gama kaynaklarına ilişkin çizilen grafik şekil 6.20’de görülmektedir.



Şekil 6.20 Yüksek Yoğunluklu Normal Beton İle, Çalışılan Gama Kaynakları İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi

6.4.2.3. Baritli Beton İle Ulaşılan Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirmesi

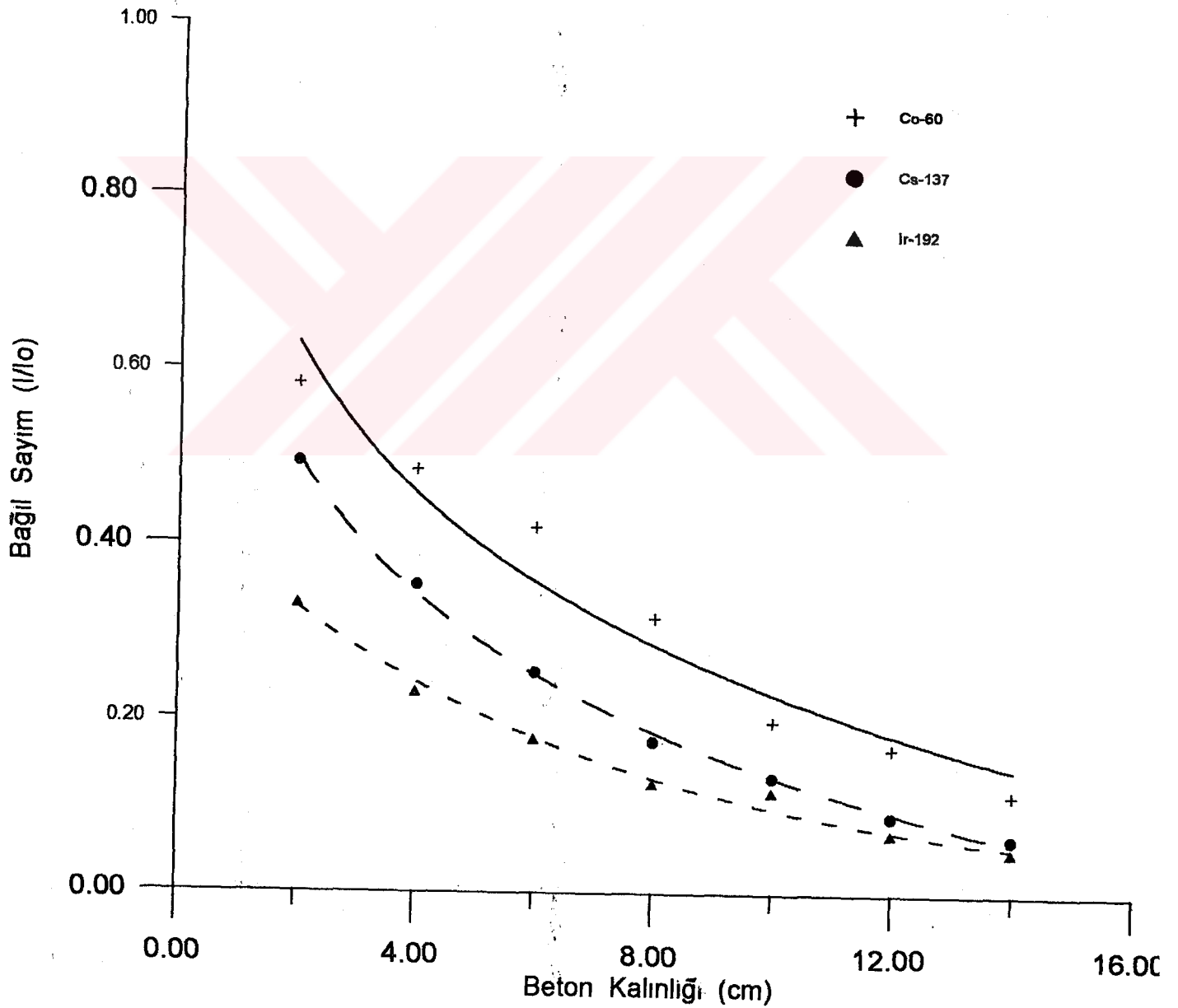
Baritli betonla ulaşılan bağıl sayım deney sonuçları toplu halde Tablo 6.17’de verilmişti. Bu tablodan yararlanarak, baritli beton için çalışılan gama kaynaklarına ilişkin çizilen grafik Şekil 6.21’de görülmektedir.



Şekil 6.21 Baritli Beton İle, Çalışılan Gama Kaynakları İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi

6.4.2.4. Demir Cevheri Tozlu Beton İle Ulaşılan Deney Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirmesi

Demir cevheri tozlu betonla ulaşılan bağıl sayım deney sonuçları toplu halde Tablo 6.17’de verilmişti. Bu tablodan yararlanarak, demir cevheri tozlu beton için çalışılan gama kaynaklarına ilişkin çizilen grafik Şekil 6.22’de görülmektedir.

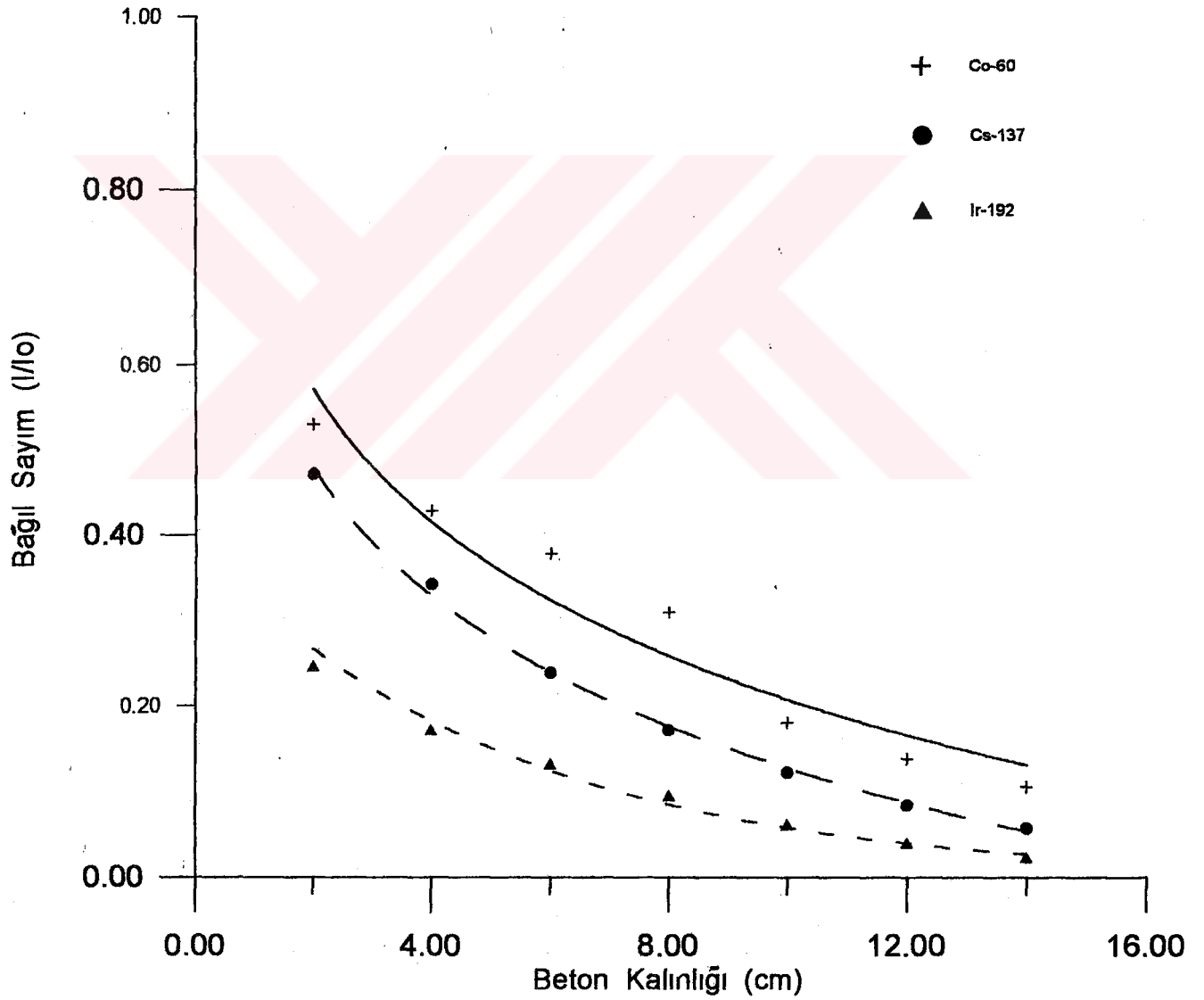


Şekil 6.22 Demir Cevheri Tozlu Beton İle, Çalışılan Gama Kaynakları İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi

6.4.2.5. İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İle Ulaşılan Deney

Sonuçlarının Mukayeseli Değerlendirmesi

İri taneli demir cevheri tozlu betonla ulaşılan bağıl sayım deney sonuçları toplu halde Tablo 6.17’de verilmişti. Bu tablodan yararlanarak, iri taneli demir cevheri tozlu beton için çalışılan gama kaynaklarına ilişkin çizilen grafik Şekil 6.23’de görülmektedir.



Şekil 6.23 İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton İle, Çalışılan Gama Kaynakları İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Mukayesesi

6.5. Yarı Tabaka Kalınlığı Tayini

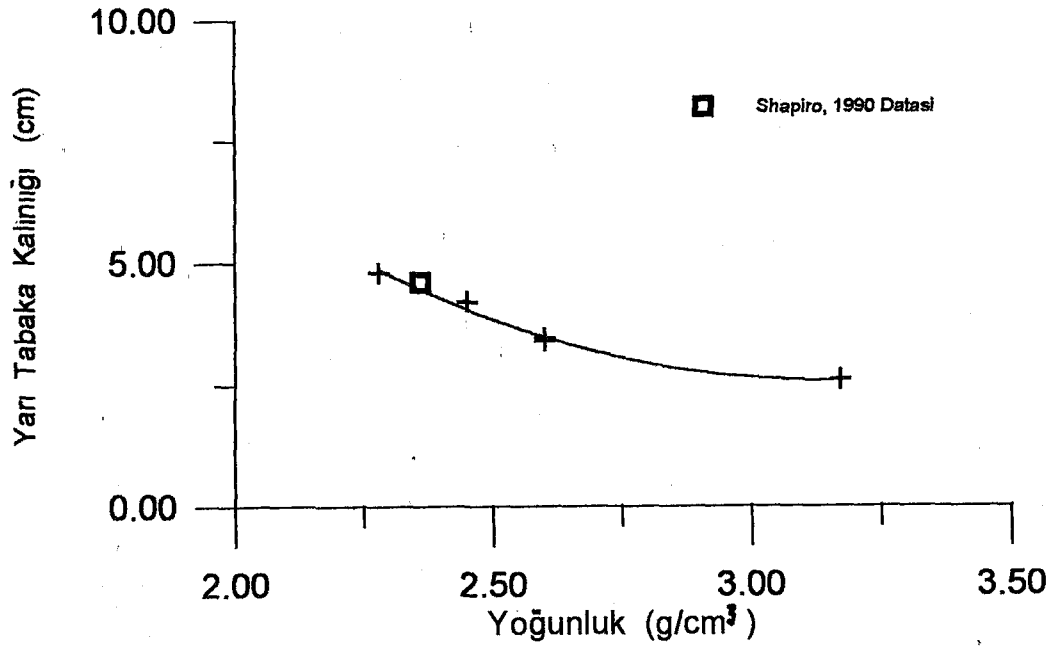
Bu Yüksek Lisans Tezinde yapılan deneylerden hareketle yarı tabaka kalınlığı tayini yapılması yoluna gidilmiştir. Yarı tabaka kalınlıkları, Bölüm 6.1 içinde gama kaynakları için çizilen eğrilerden deneysel olarak belirlenmiştir. Çalışılan 5 tip beton ve 3 farklı gama kaynağı için deneysel olarak belirlenen yarı tabaka kalınlıkları Tablo 6.18’de verilmektedir.

Tablo 6.18

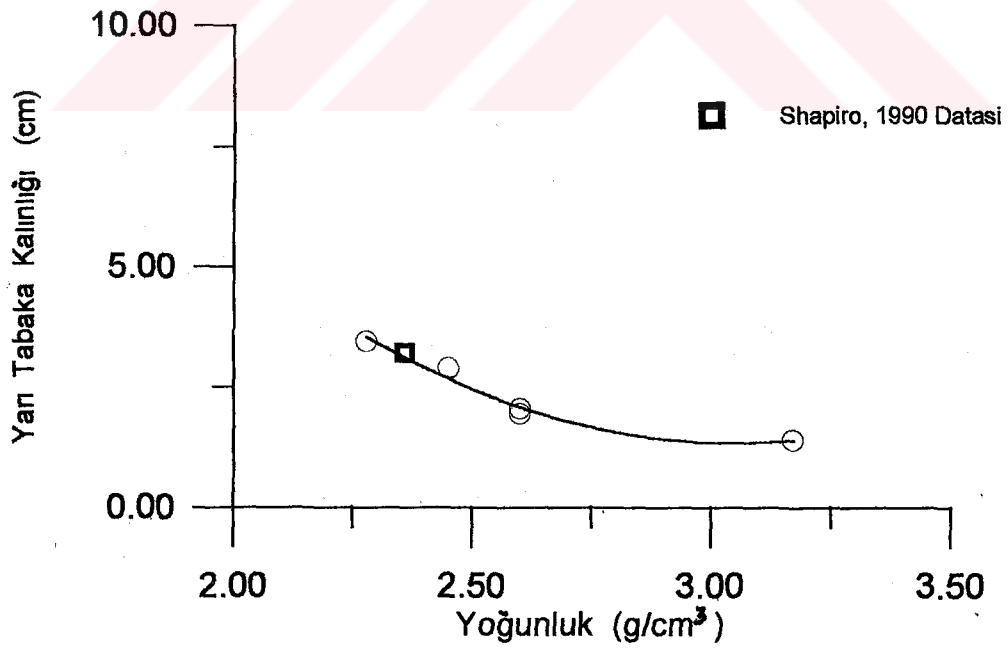
Çalışılan Beş tip Beton ve Üç Farklı Gama Kaynağı İçin Deneysel Olarak Belirlenen Yarı Tabaka Kalınlıkları

Beton Tipi	Beton Yoğunluğu	Yarı Tabaka Kalınlığı (cm)		
		Co-60	Cs-137	Ir-192
Düşük Yoğunluklu Normal Beton	2,28	4,80	3,45	3,20
Yüksek Yoğunluklu Normal Beton	2,45	4,20	2,90	2,45
Baritli Beton	3,17	2,60	1,40	0,50
Demir Cevheri Tozlu Beton	2,60	3,45	2,05	1,05
İri Taneli Demir Cevheri Tozlu Beton	2,60	3,40	1,95	0,95

Tablo 6.18’den hareketle Co-60 ve Cs-137 gama kaynakları için çizilen beton yoğunluğuna bağlı yarı tabaka kalınlığı grafikleri, sırasıyla Şekil 6.24 ve Şekil 6.25’te görülmektedir. Bu grafiklerde, Bölüm 3 içinde Şekil 3.3 olarak verilen ve Shapiro, 1990’da $2,36 \text{ g/cm}^3$ beton yoğunluğu dataları da grafik üzerinde işaretlenmiştir. Shapiro, 1990’dan (Co-60 için data, iki enerji pikinin ağırlıklı ortalamasına ilişkin olarak alınmıştır.)

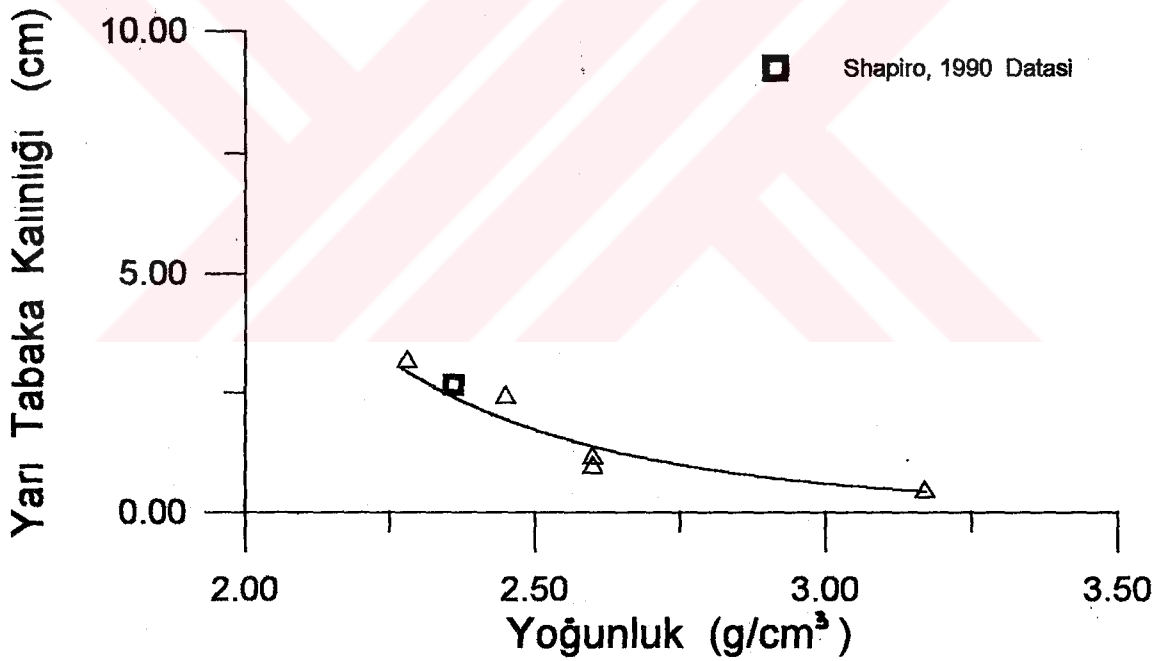


Şekil 6.24 Co-60 Gama Kaynağı İçin Yarı Tabaka Kalınlığının Beton Yoğunluğuna Bağlı Değişimi



Şekil 6.25 Cs-137 Gama Kaynağı İçin Yarı Tabaka Kalınlığının Beton Yoğunluğuna Bağlı Değişimi

Yine Tablo 6.18'den hareketle Ir-192 gama kaynağı için çizilen beton yoğunluğuna bağlı yarı tabaka kalınlığı grafiği, Şekil 6.26'da görülmektedir. Bu grafikde de Bölüm 3 içinde Şekil 3.3 olarak verilen ve **Shapiro, 1990**'da mevcut $2,36 \text{ g/cm}^3$ beton yoğunluğu datası grafik üzerinde işaretlenmiştir. Ir-192 gama kaynağının çok sayıda piki olduğu için data, enerji piklerinin ortalamasına ilişkin olarak alınmıştır.



Şekil 6.26 Ir-192 Gama Kaynağı İçin Yarı Tabaka Kalınlığının Beton Yoğunluğuna Bağlı Değişimi

BÖLÜM 7

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu Yüksek Lisans Tez çalışması ile, radyasyondan korunmada önde gelen zırhlama malzemelerinden biri olan betonun farklı tiplerinin zırhlama özellikleri, deneysel olarak incelenmeye çalışılmıştır. Betonun farklı radyasyon tipleri için zırhlama amaçlı kullanımları söz konusudur. Ancak, burada, sağlık fiziği açısından üzerinde önemle durulan bir radyasyon tipi olan gama radyasyonu ile çalışılmıştır. Uygulamada, gama zırhlaması, önde gelen bir zırhlama sorunudur. Nitekim, farklı radyasyon tiplerinin bir arada bulunduğu şartlarda (örneğin; reaktörler için) gama ışınlarına ilişkin zırhlama daima göz önüne alınan bir konu olmaktadır. Bu açıdan, burada, hayata geçirilebilir bir araştırma yapılması planlanmıştır.

Betonlar hayli farklı olabilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada beş farklı beton tipi ile deneylerin yapılması yoluna gidilmiştir. Beton tipleri; özellikle, ülkemiz şartlarında kolaylıkla dökülebilecek beton tipleri olarak seçilmiştir. Seçilen bu beton tipleri; inşaat kalitesi için bile düşük olarak nitelenebilecek beton tipinden (düşük yoğunluklu normal beton) başlanarak, yapılar için tercih edilerek kullanılan beton (yüksek yoğunluklu normal beton), ve zırhlama amaçlı kullanılabilecek üç tip beton (baritli beton, demir cevheri tozlu beton, iri taneli demir cevheri tozlu beton) olarak belirlenmiştir. Böylelikle, zırhlama amaçlı betonların, düşük ve yüksek yoğunluklu normal betonlara göre durumlarının belirlenmesi de mümkün olabilmektedir.

Ayrıca, betonu oluşturan elemanların tane büyüklüğü, beton açısından önem arz etmektedir. Bu hususun, zırhlama açısından durumunu incelemek üzere, zırh betonu olabileceği düşünülen demir cevheri tozu katkı maddeli beton, iki farklı şekilde dökülmüştür. Bir başka deyişle, demir cevheri tozu; bir keresinde nispeten ince taneli olarak, bir keresinde de iri taneli olarak, betonda kullanılmıştır.

Beton dökümü, ayrı bir önemli hususu oluşturmaktadır. Beton dökümündeki hataların zırlama özelliklerini etkilemesi söz konusudur. Bu bakımdan, İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Laboratuvarı imkanlarından yararlanılmış ve böylelikle, uygun döküm şartlarıyla beton dökümü sağlanmıştır.

Gama radyasyon kaynakları hayli çeşitlidir. Burada, endüstride yaygın kullanımı olan radyoizotop kaynaklarla çalışılması benimsenmiştir. Deneylerde gama radyasyon kaynağı olarak kullanılan kaynaklar; Co-60, Cs-137 ve Ir-192 gama kaynaklarıdır.

Yapılan araştırma açısından da seçilen bu kaynaklar anlamlıdır. Burada iki husus öne çıkmaktadır. Birincisi, Co-60 gama kaynağının enerji piklerinin ikisi de 1 MeV'in üzerindedir. Böylelikle, MeV mertebesinde enerjiye sahip bir radyoizotop ile çalışılmış olmaktadır. İkincisi ise, Cs-137 tek enerjili, Co-60 çift enerjili ve Ir-192 çok enerjili gama kaynağıdır. Her üçü ile de ayrı ayrı çalışılmış olmaktadır.

Bu şekilde üç gama kaynağı ve beş beton tipi ile versiyonel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, 15 versiyonel deneysel çalışma yapılabilmektedir.

Betonlar 2'şer cm kalınlıkta dökülmüş olup, farklı kalınlıklarda betonlarla deneylerin gerçekleştirilmesi için her bir beton tipi için 7 adet parça temin edilmiştir. Böylelikle, çalışılan her beton tipi için de yarı tabaka kalınlığını kapsayacak kalınlığın elde edilmesi mümkün olmuştur.

Deneylerden elde edilen sonuçların (Şekil 6.1 – Şekil 6.15) genel karakteristiği, beklenti doğrultusundadır. Fazla olarak, farklı betonlar için (değerler değişse de) değişim karakteristikleri birbirine uyumludur. Bu durum, özellikle, deneylerin güvenilirliğini kanıtlayan bir husustur.

Zırlama açısından çalışılan beton tipleri incelendiğinde, çalışılan beton tipleri içinde zırlama özelliğinin en yüksek baritli betonda olduğu, daha sonra, sırasıyla, iri taneli demir cevheri tozlu beton, demir cevheri tozlu beton, yüksek yoğunluklu normal beton ve düşük yoğunluklu yoğunluklu normal betonun geldiği görülmektedir (Şekil 6.16 – Şekil 6.18). Bu durum, beklenti doğrultusundadır. Zira, söz konusu sıralama, çalışılan beton tiplerinin yoğunluk sıralamasıyla uyum içindedir (Tablo 5.6).

Demir cevheri tozlu beton ile iri taneli demir cevheri tozlu beton değerleri birbirine yakındır. Ancak, (nispeten) iri taneli demir cevheri tozlu beton, ince taneli demir cevheri tozlu betona göre daha yüksek bir zırhlama özelliği göstermiştir (Tablo 5.6).

Bu durum, betonda elemanların iri taneli olmasının önemini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, zırhlama betonu olarak kullanılacak betonlarda tanelerin iri olmasının sağlanması gerektiği söylenebilir.

Beton tipleri göz önüne alınarak yapılan mukayeselerde (şekil 6.19 – şekil 6.23), hangi tip beton olursa olsun, sıralamanın hep aynı olduğu görülmektedir. Bu sıralama; Co-60, Cs-137 ve Ir-192 şeklindeyir. Bu bağlamda, betonlar; çalışılan gama kaynakları içinde en iyi Ir-192 radyoizotop kaynağını zırhlatabilmektedir. Bundan sonra, Cs-137 ve daha sonra Co-60 gelmektedir. Bu durum, çalışılan gama kaynaklarının enerji seviyeleri ile ilgilidir ve beklenti doğrultusundadır.

Yapılan bu çalışmalardan sonra, çalışılan beton tipleri için üç farklı gama kaynağına ilişkin olarak yarı tabaka kalınlığı tayini yoluna gidilmiştir. Tayin edilen yarı tabaka kalınlığı değerleri çalışılan beton tipleri için önem arz etmektedir (Tablo 6.18) Ayrıca, beton yoğunluğuna bağlı olarak yarı tabaka kalınlığı eğrileri çizilmiştir (şekil 6.24 – şekil 6.26).

Bu eğriler üzerine, bu çalışmada çalışılmamış olan bir beton yoğunluğu ($2,36 \text{ g/cm}^3$) için literatürden elde edilen bir yarı tabaka kalınlığı da işaretlenmiştir. Literatürden alınan değerlerin, (şekil 6.24 – şekil 6.26'da) zilen grafiklere ileri derecede uyum sağladığı görülmektedir. Bu husus, yapılan deneysel çalışmaların ve bu deneysel çalışmalar sonucunda zilen eğrilerin güvenilirliğini gösteren bir kanıt mahiyetindedir.

Mukayese eğrileri (şekil 6.19 – şekil 6.23) ve yarı tabaka kalınlığı tablosu (Tablo 6.18) göstermektedir ki; zırhlama amaçlı kullanılacak beton kalınlıkları hayli farklılıklar göstermektedir. Baritli beton ile düşük yoğunluklu normal beton karşılaştırıldığında, arada misliyle farklılıkların olabildiği görülmektedir. Burada, kaynak enerjisi etkin bir parametre durumundadır.

Yoğunluğa bağı yarı tabaka kalınlığı eğrilerinin çizilmesi ile yapılan bu araştırma, sadece çalışılan beton tipleri ile sınırlı kalmamış olmaktadır. Artık, çalışılan $2,28 \text{ g/cm}^3 - 3,17 \text{ g/cm}^3$ beton yoğunluğu aralığı için geçerli sonuca ulaşılmış olmaktadır. Bu husus, bu Yüksek Lisans Tezi açısından ayrıca önem arz etmektedir.

Öz olarak, belirtmek gerekirse; bu Yüksek Lisans tez çalışması ile, farklı beton tiplerinin, uygulamada sıkça kullanılan üç farklı gama kaynağı için zırhlama özellikleri deneysel olarak incelenerek değerlendirilmiştir. Varılan sonuçlardan yararlanılarak, yarı tabaka kalınlığı tayini beton yoğunluğuna göre grafik olarak çizilebilmiş ve bu eğrilerin güvenilirliği gösterilebilmiştir. Böylelikle, yarı tabaka kalınlığı eğrileri ve bu eğrilerin kullanımına varabilmek için yapılmış olan deneysel çalışmalarla çizilmiş (önceki) eğriler “kalibrasyon eğrisi” olarak kullanılabilir nitelik taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Bevelacqua J.J.**, (1999), Basic Health Physics Problems and Solutions
A Wiley Interscience Publication
- Etherington, H.**, (1958) Nuclear Engineering Handbook, McGraw-Hill Book Company
- Földiák, G.**, (1986), Industrial Application of Radioisotopes, Elsevier, Amsterdam
- Gardner, R.P.**, Ely, R.L., (1967) Radioisotopes Measurement Applications In Engineering, Reinhold Publishing Company, New York
- International Commission On Radiological Protection (ICRP)**, (1977), Radiation Protection, New York
- McMaster, R.C.**, (1963) Nondestructive Testing Handbook, The Ronald Press Company, New York
- Nuclear Regulatory Commission (NRC)**, (1991), 56 Federal Register, 58, Washington
- Oberhofer, M.**, (1991) Advances In Radiation Protection, Kluwer Academic Publisher
- Powsner, R.A.**, Powsner E.R., (1998), Essentials Of Nuclear Medicine Physics, Maple-Vail Book Manufacturing Group, Hong Kong
- Profio ,A.E.**, (1979) Radiation Shielding and Dosimetry, A Wiley Interscience Publication
- Shapiro,J.**, (1989) Radiation Protection , Harvard University Press , Cambridge. Massachusetts.
- Tuğrul ,A.B. ,** (1995) A new Approach for Calculating the Geometry Factor For Flow Measurements With Radioactive Tracers *Kerntechnik*, Vol.68, No.260, 638-640
- Williams., L.E.**, (1987) , Nuclear Medical Physics CRC Press, Boca Raton Florida
- Akman, M.S.**, (1975) Yapı Malzemeleri, İstanbul
- Neville, A.M.**, (1975) Properties of Concrete Pitman Publ. Ltd. London.
- Taylor , W.H.**, (1965) Concrete Technology and Practice. American Elsevier Publ.Co. New York.

Waddell, J.J., (1974) Concrete Construction Hand Book. MC Graw- Hill Co. New York.

Postacıoğlu , B., (1986) Beton- Cilt , Bağlayıcı Maddeler Teknik Kitaplar Yayınevi , İstanbul.

Bayazıt, Ö.L., (1975) Beton ve Deneyleri. Devlet Su İşleri Matbaası , Ankara.

Kocataşkın , F., (1965) Çimento ve Özellikleri Hakkında Ne Biliyorsunuz. İ.T.Ü. Matbaası , İstanbul.

Khoroshkov vs. Onosovsky KK.Klenov Glet.al (1994) Moscow Hospital-Based Proton Therapy Facility Design, *Am J Clin Oncol-Canc* 17 (2):109-114

Dinter H. Tesch K. Dworak D,(1996) Studies on the neutron field behind shielding of Proton accelerators. Concrete shielding. *Nucl Instrum Meth A* 368 (2): 265-272 Jan

Ferrari A. Mitaroff A. Silari M (2001) A reference radiation facility for dosimetry at flight Altitude and in space, *Phys Medica* 17:115-118 Suppl.

Szepessy B (1982) Gamma Reflection Densitometer For The Qualification Of Concrete Shielding *Period Polytech Elec* 26 (1-2) :145-152

Mc Donald R.J.Smith AR. Hurley DL. et al. (1998) Rapid detailed characterization of concrete shielding blocks utilizing internal natural radionuclides for calibration *J Radioanal Nucl Ch* 233(1-2):191-194 Jul

ÖZGEÇMİŞ

1976 Yılında İstanbul'da doğdu. Fatih Kız Lisesinden mezun oldu. 1993 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümüne başladı ve 1997 yılında mezun oldu. Aynı sene Nükleer Enerji Enstitüsü'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve halen Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir. İngilizce bilmekte olup evlidir.



**T.C. YÖKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**