

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**İTÜ GÖLETİ ÇEVRESİNDE
⁷Be RADYONÜKLİDİ ÖLÇÜMLERİYLE
TOPRAK TAŞINMASININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bahadır BULUT**

Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Şubat 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**İTÜ GÖLETİ ÇEVRESİNDE
⁷Be RADYONÜKLİDİ ÖLÇÜMLERİYLE
TOPRAK TAŞINMASININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bahadır BULUT
(301071006)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31 Aralık 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı : Y. Doç Dr. Sevilay HACİYAKUPOĞLU (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Nesrin ALTINSOY (İTÜ)
Doç. Dr. Ferhat GÖKBULAK (İÜ)**

Şubat 2010

Anneme,

ÖNSÖZ

İTÜ Göleti Çevresinde ⁷Be Radyonüklidi Ölçümleriyle Toprak Taşınmasının İncelenmesi başlıklı bu Yüksek Lisans Tez çalışması için, Yüksek Lisans projesi ile destek veren İ.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeler Birimi'ne teşekkür ederim.

Berilyum'un yarı ömrünün kısa olması sebebi ile örnekleri yüzeyden bozmadan ve doğru incelikte almak büyük bir zorluk teşkil etmekteydi. Bu zorluğun aşılmasını sağlayan Viyana Üniversitesi'nde üretilmiş olan Düzgün Toprak Örnek Toplayıcı cihazı konusunu bizimle paylaşan Dr. Lionel Mabit'e ve cihazın tasarımının gerçekleştirilmesini sağlayan İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Elektrik Mekanik Daire başkanı Selami Taşer'e ve Elektrik Mekanik Atelyösi çalışanlarına teşekkür ederim. Çalışmalarında her aşamada bana desteğini esirgemeyen Duygu Filis'e, sevgili dostum M. Emre Hakyemez'e, Sahip Kızıltaş'a, Sayın Adnan Topçu'ya ve çalışma boyunca bana gösterdiği sabır, özveri ve esirgemediği bilgileri için sevgili hocam Y. Doç. Dr. Sevilay Hacıyakupoğlu'na saygı ve minnet ile teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2009

Bahadır BULUT
(Fizikçi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1 Erozyon ve Sedimentasyon	3
2.1.1 Toprak oluşumu ve erozyona etkileri.....	4
2.1.2 Erozyon çeşitleri	6
2.1.2.1 Su erozyonu.....	6
2.1.2.2 Rüzgar erozyonu.....	9
2.1.3 Erozyona etki eden faktörler	10
2.1.4 Dünyada ve Türkiye’de erozyon.....	14
2.2 Serpinti Radyonüklidleri Yöntemi	15
2.2.1 Yöntemde kullanılan radyonüklidler	16
2.2.2 Bölge seçimi.....	21
2.2.3 Örneklerin toplanması.....	23
2.2.4 Örneklerin ölçüme hazırlanması	24
2.2.5 Örneklerin ölçülmesi.....	26
2.2.5.1 Gama ışınları	26
2.2.5.2 Gama radyasyonunun ölçülmesi	30
2.2.5.3 Düşük seviyeli radyoaktivite ölçümleri	32
2.2.6 Serpinti radyonüklidleri yönteminde kullanılan dönüşüm modelleri	35
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	39
3.1 Saha Çalışmaları.....	39
3.1.1 Saha Seçimi.....	40
3.1.2 Referans alan.....	41
3.1.3 Eğimli alan	43
3.2 Laboratuvar Çalışmaları	44
3.2.1 Gama spektrometresi donanımları	45
3.2.2 Gama spektrum analizi.....	46
3.2.3 Örneklerin ölçümlere hazırlanması	47
3.2.4 Örneklerde nem ve hacim ağırlığı işlemleri.....	47
3.2.5 Gama spektroskopik ölçümler	48
4. DENEY SONUÇLARI.....	51
4.1 Toprak Örneklerinde Nem ve Hacim Ağırlığı	51
4.2 Detektör Enerji ve Verim Kalibrasyonu.....	51

4.3 Geometri Etkisinin Belirlenmesi	53
4.4 Referans Alan İçin Hesaplamalar	54
4.4.1 Bekleme zamanı düzeltmeleri	54
4.4.2 Aktivite hesaplamaları.....	55
4.4.2.1 Aktivite konsantrasyonu ve alansal aktivite yoğunluğu	57
4.4.3 Kütle derinliği	58
4.4.4 Gevşeme kütle derinliği ve başlangıç aktivitesinin belirlenmesi	59
4.4.4.1 Ekim ayı örnekleri	59
4.4.4.2 Kasım ayı örnekleri	62
4.5 İşlenmemiş Alan İçin Toprak Taşınma Miktarı	65
5. TARTIŞMA VE YORUM	67
KAYNAKLAR.....	71
EKLER.....	77

KISALTMALAR

ANSTO	: Australian Nuclear Science and Technology Organization
BMCMS	: Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi
ÇMTUEP	: Çölleşme İle Mücadele Türkiye Ulusal Eylem Programı
DTOT	: Düzgün Toprak Örnek Toplayıcısı
FRN	: Fallout Radionuclide
FSIC	: Fine Soil Increment Collector
IAEA	: International Atomic Energy Agency
INAA	: Instrumental Neutron Activation Analysis
ITU	: İstanbul Teknik Üniversitesi
NAT	: Nuclear Analytical Techniques
PGNAA	: Prompt Gamma Neutron Activation Analysis
PIXE	: Proton Induced X-ray Emission Spectroscopy
RNAA	: Radiochemical Neutron Activation Analysis
UÇEP	: Ulusal Çevre Eylem Planı
USLE	: Universal Soil loss Equation,
XRF	: X-ray Fluorescence

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Erozyonun ve taşkın sonrası akarsu kenarlarında oluşan sedimantasyonun belirlenmesinde kullanılan ^{137}Cs , ^{210}Pb ve ^7Be radyonüklidlerinin nükleer özellikleri (Walling, 2002).	16
Çizelge 3.1 : Detektörün boyutları ve soğurucu yüzeyleri.	45
Çizelge 3.2 : Detektörün boyutları ve soğurucu yüzeyleri.	46
Çizelge 3.3 : IAEA Soil-6 standardı ile ilgili özellikler.	49
Çizelge 3.4 : IPL standardı içindeki radyonüklidler ve bazı özellikleri.	50
Çizelge 4.1 : İ.T.Ü. Meteoroloji eski istasyonundan alınan örnekler için kütle ve nem kaybı değerleri.	51
Çizelge 4.2 : İ.T.Ü. Meteoroloji eski istasyonundan alınan örnekler için hacim yoğunluğu verileri.	51
Çizelge 4.3 : ^7Be radyoizotopu için verim hesabında kullanılan veriler.	52
Çizelge 4.4 : Hesaplanan a_1 , a_2 , a_3 sabitleri.	53
Çizelge 4.5 : Detektör verimi ve yayınlanma olasılığı.	53
Çizelge 4.6 : Geometri faktörü için Soil 6 örneğinin silindir ve marinelli hacminde ve aynı yükseklikteki tartımları.	54
Çizelge 4.7 : Geometri faktörü için Soil-6 ölçümleri.	54
Çizelge 4.8 : Ekim ayında toplanan referans kesit örnekler için zaman düzeltmeleri.	54
Çizelge 4.9 : Kasım ayında toplanan referans kesit örnekler için zaman düzeltmeleri.	55
Çizelge 4.10 : Ekim'de toplanan referans bütün örnekler için zaman düzeltmeleri.	55
Çizelge 4.11 : Kasım'da toplanan referans bütün örnekler için zaman düzeltmeleri.	55
Çizelge 4.12 : Ekim'de alınan referans kesiti örnekler için ölçüm sonuçları.	56
Çizelge 4.13 : Kasım'da alınan referans kesit örnekler için ölçüm sonuçları.	56
Çizelge 4.14 : Ekim'de alınan referans bütün örnekler için aktivite ve ilgili veriler.	56
Çizelge 4.15 : Kasım'da alınan referans bütün örnekler için aktivite ve ilgili veriler.	56
Çizelge 4.16 : Ekim'de alınan referans kesiti örnekler için aktivite konsantrasyonları ve alansal aktivite yoğunluğu değerleri.	57
Çizelge 4.17 : Kasım'da alınan referans kesiti örnekler için aktivite konsantrasyonları ve alansal aktivite yoğunluğu değerleri.	57
Çizelge 4.18 : Ekim'de toplanan referans bütün örnekler için aktivite konsantrasyonları ve alansal aktivite yoğunluğu değerleri.	58
Çizelge 4.19 : Kasım'da toplanan referans bütün örnekler için aktivite konsantrasyonları ve alansal aktivite yoğunluğu değerleri.	58
Çizelge 4.20 : Ekim'de toplanan referans kesit örnekler için kütle derinliği ve ilgili veriler.	58
Çizelge 4.21 : Kasım'da toplanan referans kesit örnekler için kütle derinliği ve ilgili veriler.	59

Çizelge 4.22 : Ekim ayı örneklerinde derinlik ve kütle derinliği için normalize edilmiş kesit alansal aktivite yoğunluğu değerleri.	59
Çizelge 4.23 : Ekim ayında alınan örnekler için lineer regresyon hesabında kullanılan parametreler.	60
Çizelge 4.24 : Ekim ayında alınan örneklerin alansal kütle yoğunluğu ve alansal aktivite yoğunluğu.	61
Çizelge 4.25 : Kasım ayı örneklerinde derinlik ve kütle derinliği için normalize edilmiş kesit alansal aktivite yoğunluğu değerleri.	62
Çizelge 4.26 : Kasım ayında alınan örnekler için lineer regresyon hesabında kullanılan parametreler.	63
Çizelge 4.27 : Kasım ayında alınan örneklerin alansal kütle yoğunluğu ve alansal aktivite yoğunluğu.	64
Çizelge 4.28 : Eğimli alan örnekleri için zaman farkı düzeltmeleri.	65
Çizelge 4.29 : Eğimli alandan alınan örnekler için ölçüm sonuçları	65
Çizelge 4.30 : Eğimli alan örnekleri için aktivite konsantrasyonları ve alansal aktivite yoğunluğu değerleri.	66
Çizelge 4.31 : Eğimli alan için toprak taşınma miktarları.	66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Erozyona uğramış bir yamaç ve buğday tarlası (Url-2).	4
Şekil 2.2 : At nalı şeklinde oluşmuş su erozyonu (Url-3).	6
Şekil 2.3 : Su damlasının toprağı sıçratması (Yılmaz, 2006).	7
Şekil 2.4 : Oyuntu erozyonuna bir örnek Göreme - Kapadokya (Url-5).	8
Şekil 2.5 : Ağır taneciklerin yüzeyde sürüklenmesi (Kayalık, 2007).	10
Şekil 2.6 : Rüzgâr hızı profili (Url-4).	10
Şekil 2.7 : Eğimli bölgede erozyon oluşumu Wallbrink ve diğ. (2007).	11
Şekil 2.8 : ²¹⁰ Pb oluşumu (Manav, 2008).	18
Şekil 2.9 : ⁷ Be için oluşum mekanizması (Walling, 2003).	19
Şekil 2.10 : ⁷ Be ölçümlerine göre toprak taşınma miktarı Walling ve He (2000).	20
Şekil 2.11 : Gruplanmış ızgara örneklemesine örnek (● = omuz, ▲ = sırt, ■ = topuk) (Zapata, 2002).	23
Şekil 2.12 : DTOT'nin teknik şeması (IAEA, 2008).	24
Şekil 2.13 : DTOT'nin Mistelbach ve Seibersdorf'da arazi şartlarında test edilmesi (IAEA, 2008).	24
Şekil 2.14 : Örnek kurutma fırını.	25
Şekil 2.15 : Örnek hazırlama sürecindeki temel basamaklar (Zapata, 2002).	25
Şekil 2.16 : Elektromanyetik Spektrum Gilmore ve Hemingway (1995).	27
Şekil 2.17 : ²³⁸ ₉₂ U'dan ²³⁴ ₉₀ Th'a ve ²³⁴ ₉₁ Pa bozunumuna ait enerji seviyeleri Delaney ve Finch (1992).	28
Şekil 2.18 : Çift oluşumu Delaney ve Finch (1992).	29
Şekil 2.19 : (a) Ge(Li) detektör; (b) p-tipi yüksek saflıktaki Ge detektör Debertin ve Helmer (1988).	31
Şekil 2.20 : Çeşitli Ge ve Ge(Li) detektörleri: (a) açık uçlu koaksiyel Ge(Li); (b) kapalı uçlu koaksiyel p-tipi; (c) kapalı uçlu koaksiyel n-tipi; (d) kuyu tipi detektör (Parry, 1991).	32
Şekil 3.1 : İTÜ göleti (Url-7).	39
Şekil 3.2 : İTÜ Ayazağa yerleşkesi (Coşkun, 2009).	40
Şekil 3.3 : Gölet çevresindeki eğimli alanlardan görüntüler.	41
Şekil 3.4 : DTOT ile alınmış 0,5cm için kesit toprak örneği.	42
Şekil 3.5 : Enerji Enstitüsünden alınan kesit örnekler.	42
Şekil 3.6 : Referans kesit örnekleri ve kesit ve bütün örneklerin alınmasında kullanılan ekipmanlar.	43
Şekil 3.7 : Çalışılan eğimli bölgeler ve örnekleme metotları.	44
Şekil 3.8 : İTÜ Enerji Enstitüsü Düşük Seviyeli Radyasyon Ölçümleri Laboratuvarı.	44
Şekil 3.9 : Kurşun zırh, detektör ve detektörün yerleşim düzeneği.	45
Şekil 3.10 : GammaVision programı ile analizi yapılmış ⁷ Be ye ait pik.	47
Şekil 3.11 : ⁷ Be'nin ⁷ Li'ye bozunum enerji seviyeleri diyagramı Delaney ve Finch (1992).	48

Şekil 4.1 : Gama spektrometresinde enerji kalibrasyonu için veriler ve kalibrasyon eğrisi.	52
Şekil 4.2 : İncelenen enerji aralığı için elde edilen verim kalibrasyonu eğrisi.	53
Şekil 4.3 : Ekim ayında alınan örnekler için derinliğe göre ⁷ Be değişimi.....	60
Şekil 4.4 : Ekim ayında alınan örnekler için kütle derinliğine bağlı olarak alansal aktivite değişimi.	60
Şekil 4.5 : Ekim ayında alınan örneklerin lineer regresyon doğrusu ve denklemi. ..	61
Şekil 4.6 : Ekim ayı örneklerindeki ⁷ Be profili için uyum eğrisi.	62
Şekil 4.7 : Kasım ayında alınan örnekler için derinliğe göre ⁷ Be değişimi.....	63
Şekil 4.8 : Kasım ayında alınan örnekler için kütle derinliğine bağlı olarak alansal aktivite değişimi.	63
Şekil 4.9 : Kasım ayında alınan örneklerin lineer regresyon doğrusu ve denklemi.	64
Şekil 4.10 : Kasım ayı örneklerindeki ⁷ Be profili için uyum eğrisi.....	65

İTÜ GÖLETİ ÇEVRESİNDE ⁷Be RADYONÜKLİDİ ÖLÇÜMLERİYLE TOPRAK TAŞINMASININ İNCELENMESİ

ÖZET

Her geçen gün dünya için daha da önemli bir sorun haline gelmeye başlayan erozyon gün geçtikçe daha da hayati bir olgu olmaya başlamaktadır. Tüm Türkiye genelinde olduğu gibi İstanbul'da da muhtelif su kaynakları kıyıları ve eğimli bölgeler erozyon ve sedimentasyonun etkisi altındadır. Sahalardaki toprak kayıplarına tektonik, iklim, eğim, bitki örtüsünün tahribi sebep gösterilebilir. Bu problemleri sayısal değerlerle tam olarak belirleyebilmek, ölçülebilmek ve etkin toprak koruma stratejileri geliştirebilmek için güvenilir deneysel bilgilere gereksinim duyulmaktadır. Dünyada son zamanlarda erozyon konusunda geliştirilen serpinti radyonüklidlerinin (¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ⁷Be) ölçülmesine dayalı yöntemlerle, toprak taşınma hızı ve şekli tespit edilmektedir. Bu yöntemlerden en güncel olanı ise ⁷Be ölçümüne dayalı olanıdır.

Bu çalışmada İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Yerleşkesinde yer alan yapay gölet çevresindeki eğimli yüzeylerden ve referans alanı temsil etmek üzere eğimsiz ve tahrip olmamış yüzeylerden kesit ve bütün toprak örnekleri alınmıştır. Ayrıca, yine aynı alanlara yakın eğimli yüzeylerden bütün toprak örnekleri alınmıştır. Bu toprak örnekleri, standart radyoaktif kaynaklarla kalibre edilmiş yüksek çözünürlüklü gama spektroskopisi sisteminde ölçülüp, Gamma Vision 32 yazılımı ile analiz edilmiştir.

Spektrum analiz sonuçlarında zaman, kütle ve geometri düzeltmeleri yapılarak ⁷Be aktivite konsantrasyonları hesaplanmıştır. ⁷Be kütle derinliği profili oluşturularak ve serpinti radyonüklidleri yöntemi ⁷Be için uygulanarak, yöredeki ortalama ⁷Be aktivite konsantrasyonu $18,4 \pm 6,9$ Bq kg⁻¹ ve taşınan toprak miktarı ise $1,014$ kg m⁻² hesaplanmıştır.

INVESTIGATION OF THE SOIL MOVEMENT IN THE ENVIRONCE OF ITU SMALL DAM USING ^7Be RADIONUCLIDE MEASUREMENTS

SUMMARY

Soil Erosion is becoming more important and vital fact by the time. In İstanbul, sloped areas and shores of various water sources are threatened by erosion and sedimentation as it occurs all around Turkey. Soil loses in the relevant areas are related to tectonic, climate, slope, and degradation of vegetation. There is a need for reliable experimental information to assess these problems with numerical datas and develop effective soil conservation strategies. By using latterly improved methods around the world which are based on measurements of fallout radionuclides (^{137}Cs , ^{210}Pb , ^7Be), it is possible to determine path of soil, soil movement and distribution rate. Most contemporary technic in concerned methods is the one based on ^7Be measurements.

In this work, sectioned and bulk soil samples were collected from flat and undisturbed sites, representing reference and sloping areas respectively in the environs of a small dam in Istanbul Technical University Ayazaga Campus. In addition, bulk samples were collected from sloping areas, next to same areas. These soil samples were measured with high-resolution gamma spectroscopy system calibrated using standard radioactive sources and analyses made by using Gamma Vision 32 software.

By applying mass, time and geometry corrections for spectrum analyses results ^7Be activity concentrations were calculated. Building ^7Be mass depth profile and applying ^7Be fallout radionuclides methodology, average ^7Be activity concentrations for the region was determined as $18,4\pm 6,9 \text{ Bq kg}^{-1}$, and soil movement as $1,014 \text{ kg m}^{-2}$.

1. GİRİŞ

Arzın içyapısını ve kabuğunu oluşturan kayaların üstünü örten ve dünyanın çapına göre çok ince bir tabaka teşkil eden toprak, insan yaşamı için vazgeçilmez bir doğal kaynaktır. Canlı yaşamı için de, toprağa ihtiyaç olduğu açıktır. 10-15 cm kalınlığındaki toprak tabakasının oluşmasının yaklaşık olarak 8-10 bin yıl sürdüğü, herhangi bir nedenden dolayı yok olmasının ise çok kısa zaman aldığı düşünüldüğünde toprağın değeri daha iyi anlaşılmaktadır (Balcı, 1996).

Toprağın aşınması ile topraktaki canlı yaşamının zarar görmesinin yanı sıra, topraktaki besin elementleri de azalmaktadır. Toprakta besin elementlerinin azalmasının en önemli nedenlerinin başında, besin elementlerinin erozyon yoluyla topraklardan taşınması gelmektedir. Toprak erozyonu, vejetasyon örtüsünün insan etkisiyle tahrip edilip ortadan kalmasıyla toprakların su ve rüzgar gibi aşındırıcı etmenler tarafından aşınma ve taşınma hızının toprak oluşum hızından fazla olmasıyla ortaya çıkan bir toprak kaybı olaydır. Toprak bozulması (degradasyonu) dünyada, tarımsal sürdürülebilirliği ve toprak verimliliğinin şu anda ya da gelecekteki üretim kapasitesini düşüren önemli bir çevresel sorun haline gelmiştir. Toprak erozyonu, çevresel sorunlar yaratması ile birlikte günümüzde hem ürün hem de ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, gelecekteki uzun dönemli ürün verimini de tehlikeye sürükleyen acil sorunların başında geldiği kabul edilmektedir Lal (1988). Toprak erozyonu sadece toprağın rüzgar ve su gibi etmenlerle taşınması sonucu ortaya çıkan toprak kaybı değil, aynı zamanda insanların diğer faaliyetleri sonucunda arazinin kullanılmasının ortadan kalkmasıdır. Toprak erozyonu kullanılmayan atık alanlarda da meydana gelebilir, bu nedenle atık alanlarda olan erozyon da bir arazi kaybı olarak nitelenebilir. Bu durum hem günümüz, hem de gelecek için önemli bir sorundur Lal ve Stewart (1990).

Toprağın korunması için, erozyon şiddetinin tespiti gereklidir. Erozyona dair tespitlerin yapılması ve bu problemin çözümüne yönelik toprak korunma stratejilerinin geliştirilmesi amacı ile günümüzde dünyada çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bütün yöntemler çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahip olmakla

birlikte, seçim bilim adamlarının önceliklerine ve ihtiyaçlarına bağlıdır. Serpinti radyonüklidleri yöntemi (Fallout Radionuclides Methodology, FRN) ve Universal Toprak Kaybı Denklemi (Universal Soil Loss Equation, USLE) bu amaç için en çok kullanılan iki yöntemdir. Serpinti radyonüklidleri yöntemi, doğal veya doğal olmayan sebeplerden dolayı oluşan radyonüklid serpintisi sonucunda radyonüklidlerin toprağa tutunması, toprakla beraber hareket etmesi ve aşınıp taşınmanın miktarının, radyonüklidlerden faydalanarak belirlenmesine dayanır Zapata (2002), Zapata ve Nguyen (2009).

Nükleer denemeler ve nükleer kazalar sonucu oluşan radyonüklidlerden ^{137}Cs ; ^{238}U bozunum ürünlerinden ^{210}Pb ve kozmik ışınlar sonucu oluşan radyonüklidlerden ^7Be ise bu yöntemde en sık kullanılan radyonüklidler arasındadır. Bu radyonüklidler yağmur, kar ve diğer atmosferik olaylar sonucu serpinti olarak yeryüzüne inerler, topraktaki tanecikler tarafından adsorbe edilerek tutulurlar. ^7Be ve ^{210}Pb toprağın yüzeyinde kalırken, ^{137}Cs difüzyon sonucu daha derinlere inmektedir. Bu yöntemde seçilen alanlardan örnekler alınarak radyonüklidlerin aktivitesi (Kütle aktivite yoğunluğu, Bq kg^{-2}) ve alansal aktivite yoğunluğu (Bq m^{-2}) hesaplanmaktadır. İlgili dönüşüm modelleri kullanılarak toprağın taşınma ve birikme miktarları ($\text{t ha}^{-1} \text{y}^{-1}$) elde edilmektedir Walling ve diğ. (2009).

Serpinti radyonüklidleri yöntemi; su, rüzgâr ve diğer atmosferik olayların veya binlerce yıllık jeolojik değişimin sonucu oluşan erozyonu, dere, havza, göl, baraj diplerinde biriken sediment miktarını belirlemede kullanılabilir. Yöntem, yığın halindeki toprak hareketi sonucu oluşan, heyelanları ölçmede yetersiz kalmaktadır; fakat diğer toprak taşınması ölçüm yöntemleri ile karşılaştırıldığında avantajları olan bir yöntemdir Sparovek ve diğ (2001), Hacıyakupoğlu ve diğ (2010).

Bu çalışmada, İTÜ Ayazağa Yerleşkesinde yer alan yapay gölet çevresine yakın seçilen alanlarda serpinti radyonüklidi ^7Be radyoaktivite konsantrasyonunun ve kısa zaman dilimi için toprak taşınmasının incelenmesi araştırmaları yürütülmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, incelenen alanlar için toprak örneklerindeki ^7Be radyonüklidinin gama spektroskopik analiz sonuçları elde edilerek, serpinti radyonüklidleri dönüşüm modeli uygulanmasıyla, toprak taşınma miktarlarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Erozyon ve Sedimentasyon

Latince kökenli bir sözcük olan “*erozyon*” dilimizde “kemirme” anlamına gelmektedir. Yerel olarak erozyon için süprüntü, uçkun, dalaz gibi ifadeler de kullanılmaktadır. Erozyon, toprağın ve ana kayanın çeşitli dış güçlerle aşındırılmasıyla taşınmaya hazır duruma getirilmesi, aşındırılan veya daha önce ayrılmış malzemenin (fiziksel veya kimyasal ayrışma) taşınması, bu esnada taşınan malzemeyle tekrar aşındırılması ve nihayetinde de biriktirilmesi şeklinde tanımlanabilir. Birikim noktası bazen topografik bir eğim kırıklığı olabileceği gibi bir dere, akarsu veya rezervuar alan da olabilir (Url-1).

Doğada iki tür erozyon söz konusudur. Bunlardan birincisi jeolojik veya doğal erozyondur. Bu erozyon sürecinde toprakların oluşum ve aşınma-taşınma hızı arasında bir denge söz konusudur. Doğal bir denge halinde meydana geldiğinden dolayı bu erozyon farkedilmeyecek kadar az olmaktadır. Bu erozyon çeşidinin meydana gelmesi doğada verimli alanlarında oluşması için canlıların yararına ve gerekli olan bir erozyon türüdür. Buna karşılık hızlanmış erozyon asıl zararlı olan erozyon tipidir ki burada toprakların aşınma ve taşınma hızı toprakların oluşum hızından fazla olduğunda daima bir toprak kaybı söz konusudur. Doğada asıl arzu edilmeyen erozyon türü daha yaygın ve ağırlıklı olarak rüzgar ve su etkisiyle meydana gelen bu erozyon çeşididir (Sarı, 2000).

Jeolojik erozyon, oluşan toprakların doğal kuvvetlerle bir denge içerisinde aşındırılıp taşınması ve başka yerlerde biriktirilmesidir. Buna “*doğal erozyon*” ya da “*normal erozyon*” da denilmekte ve bazen de toprak oluşumunu ifade etmektedir. Jeolojik erozyona yararlı olduğu gözüyle de bakılmaktadır. Bu erozyon, kesintisiz cereyan eden bir süreçtir. İnsan müdahalesi olmayan yerlerde, erozyonla üstten aşınıp taşınan toprak miktarıyla alttan oluşan toprak miktarı arasında doğal bir denge söz konusudur. Yani doğal erozyonda, erozyon hızı ile toprak oluşum hızı neredeyse birbirine eşittir. Hatta toprak kazanımı daha fazladır (Url-1).

Hızlandırılmış erozyon (extralated erosion) ise, insanların yanlış arazi kullanımı ve hatalı tarımsal faaliyetleri sonucunda vejetasyonun tahribi ile oluşan erozyondur. İnsanlar, özellikle tarımsal amaçlar için toprağı işlemeye başladıklarından itibaren, toprak kaybı sürecini de başlatmış ve giderek hızlandırmışlardır (Url-1). Erozyonun oluşumu dış güçlerin etkinliğine ve bunların şiddetine bağlıdır. Dolayısıyla erozyon da, aşınmaya neden olan dış güce göre sınıflandırılabilir. Bu açıdan bakıldığında erozyon; su, rüzgâr ve diğer erozyon türleri, gibi türlere ayrılabilir.

Akarsular ile taşınan katı materyale sediment adı verilir Balcı (1996). Sıvı bir ortamda parçacıkların düşme veya çökme hızı parçacıkların büyüklüğü, yoğunluğu ve şekline bağlıdır Ergene (1987). Bir akarsuyun taşıdığı sediment miktarı, baraj göllerinin tabanında yapılan ölçmelerle ve akarsudan alınan su örnekleri ile tahmin edilebilmektedir Balcı (1996). Şekil 2.1 de solda Macaristan'da erozyona uğramış bir yamaç ve sağ tarafta Washington Üniversitesi yakınlarında erozyonun meydana geldiği buğday tarlası görülmektedir (Url-2).



Şekil 2.1 : Erozyona uğramış bir yamaç ve buğday tarlası (Url-2).

2.1.1 Toprak oluşumu ve erozyona etkileri

Erozyonun gerçekleşmesinde toprak özelliklerinin de önemli bir etkisi vardır. Toprak oluşumuna etki eden faktörler, toprak özelliklerini de etkileyerek, erozyon gerçekleşme olasılığını artırır. Toprak oluşumunun erozyona etkileri 5 farklı şekilde olur.

Toprak oluşumunda etkili olan faktörlerden bir tanesi zamandır. Bazı topraklar daha uzun zamanda oluşurken bazıları için daha kısa zaman yeterli olur. Örneğin yumuşak ana materyalden daha kısa sürede toprak oluşur. Erozyona uğrayan topraklarda toprak derinliği azaldıkça oluşum hızı artar. Böyle topraklarda toprağın derinliğinin artması, aşınım hızı ve oluşum hızı arasındaki dengeye bağlıdır.

Toprak oluşumunda etkili olan ikinci önemli faktör ise iklim faktörüdür. İklim olayları toprağın oluşma hızını etkilediği gibi aşınımı ve oluşacak toprak çeşidini de etkileyebilmektedir. Örneğin yağışın etkisi ile toprak oluşumunda toprağa düşen suyun bir kısmı, toprağın içine sızar, bir kısmı da yüzeysel akışa geçer. Toprak içine sızan su, profil boyunca yıkanmalara neden olarak toprak oluşumu ve erozyona etkide bulunur. Sıcak ve az yağışlı bölgelerde su erozyonu az olur. Sıcak ve kurak ya da soğuk ve kurak yerlerde rüzgâr erozyonu ortaya çıkar.

İklim etkisi dışında topoğrafya ve drenajın da önemli etkisi bulunmaktadır. Topraktaki eğim, yükselti v.b. tüm faktörler, gerek yağışların, gerekse yer çekiminin etkisiyle o bölgenin topraklarının taşınımı üzerinde etkili faktörlerdir. Bu taşınım, toprağın alt katmanlarının aşınması ve toprak oluşumunu etkileyeceği gibi, toprağın derinliğini ve erozyona uğramasını da doğrudan etkileyecektir. Tüm bu etmenler, topoğrafya ve drenajın erozyona etkisini göstermektedir (Balcı, 1996).

Doğada toprağın oluşumu, aşınımı ve erozyona etkisi olan önemli faktörlerden bir tanesi de canlılardır. Mikro ve makro organizmalar toprak oluşumunda, salgıları veya hareketleri ile toprak oluşumunu hızlandırırlar. Toprak oluşumunun hızlanması ile toprak derinliği artar. Toprak oluşumu ve erozyona dolaylı olarak etkisi bulunan canlıların varlıkları, erozyon ile mücadelede önemli bir yer tutar. Örnek olarak tarımda anızların yakılarak yok edilmesi, toprakta yaşayan mikro organizmaların ölmesine neden olarak toprak oluşumuna engel olur. Aynı zamanda bu canlıların sayılarının azalması ile topraktaki bitki besin elementlerinin bitkilerce kullanılabilir forma dönüştürülmesinde imkânı kalmaz. Sonuç olarak bitkiler besin maddelerinden yararlanamayarak ölürlür. Toprakların çoraklaşmasıyla erozyonun önü açılır.

Toprağın oluştuğu bölgedeki ana materyal, toprağın çeşidini ve erozyona dayanımını etkileyen bir diğer önemli faktördür. Diğer bir deyişle ana materyal, oluşacak olan toprağın özelliklerini oldukça önemli bir şekilde etkiler (Güney, 2004).

2.1.2 Erozyon çeşitleri

Doğal Erozyon aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Balcı, 1996):

- Su Erozyonu
- Rüzgâr Erozyonu
- Diğer Erozyon türleri

2.1.2.1 Su erozyonu

Eğimli bir yamaçta insan etkisiyle çıplak kalan toprağın yağmur damlalarıyla dövülmesi veya donmaçözünme olaylarıyla parçalanması sonucu bu toprağın yüzeysel akışlarla eğim aşağı taşınması olayına hidrolik erozyon ya da su erozyonu adı verilir. Su erozyonunun tesirliliği, arazi eğim derecesi ve uzunluğuna, bitki örtüsüne, toprak fiziksel özelliklerine ve yağmurun miktarına, şiddetine ve tipine bağlıdır. Şekil 2.2’de Arizona’da Page kasabası yakınlarındaki Colorado nehrinin döndüğü noktalardan birinde at nalı şeklinde oluşmuş su erozyonu örneği görülmektedir (Url-3).



Şekil 2.2 : At nalı şeklinde oluşmuş su erozyonu (Url-3).

a) Damla erozyonu

Eğimli yerlerdeki çıplak toprak üzerine yağmur damlalarının çarpması sonucu meydana gelir. Damla erozyonunda mikro düzeyde önemli olan, yağmurun düşüş hızı ve büyüklüğüdür; makro düzeyde ise yağmurun yağış hızı ve yüzeye etkileşmesidir. Yağış başladığında, yağmur damlaları toprak agregatları ve keseklerin üzerine düştüğü zaman, daha küçük parçacıklara ayrılmasına ve toprağın infiltrasyon kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır. Yağmur damlalarının toprağa aktardıkları momentuma bağlı olarak iki etki söz konusudur. Birincisi; toprakta

sıkışmaya neden olan pekiştirme (konsolidasyon) kuvveti ve ikincisi ise bazı toprak parçacıklarının parçaların birbirinden ayrılması (dispersiyonu) ve havaya doğru sıçratılmasıdır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Su damlasının toprağı sıçratması (Yılmaz, 2006).

Havaya sıçrayan taneler, tekrar düşmeleri ile eğim aşağı momentumlarını diğer parçacıklara transfer ederler ve böylece sıçrama olayı tekrarlanır. Eğimli arazilerde bu şekilde sıçrayan tanelerden yarısından fazlası yere düştüklerinde, eğim aşağı hareket etmiş olurlar (Çanga, 1985).

b) Tabaka erozyonu

Eğimli bir yamaç üzerinde, yüzeysel akışlarının yüzeydeki ince toprak materyalini eşit kalınlıkta yıkayarak taşıması olayına denir. Tabaka erozyonu çok yavaş seyreden bir erozyon şeklidir. Koyu renkli verimli üst toprak taşınıp, açık renkli alt toprak ortaya çıktığında farkedilebilir. Toz veya toz balçığı gibi ince yapılı ve özellikle organik madde bakımından fakir topraklar tabaka erozyonu için daha uygundur (Ergene, 1997).

c) Oluk erozyonu

Genellikle yeterli vejetasyon örtüsünden yoksun eğimli topraklar üzerinde, yamaç eğimi boyunca oluşan yüzeysel akışın belli çizgiler doğrultusunda yoğunlaşması ve toprak yüzeyinin ince oluklar şeklinde oyulmasının bir sonucudur (Balcı 1996).

d) Oyuntu erozyonu

Bazı arazilerde oluşan oluklar, önlem alınmadığı takdirde, zamanla derinleşip, genişleyerek oyuntu şeklini alırlar. Oluşan bu sel yarıntılarında civardan gelen sel suları katılır. Bu sular oyuntunun yan yarıntılarla dallanmasına ve zarar gören alanın

genişlemesine neden olur. Oyuntuların derinlik ve genişlikleri jeolojik yapıya, toprağın kalınlığına, sert kaya katmanının derinliğine, toprak altı materyalin yumuşaklığına, arazinin eğim derecesine ve oyuntuda akan sel sularının taşıdığı materyalin miktar ve cinsine bağlı olarak değişir Akalan (1987). Şekil 2.4'de Kapadokya'da bir oyuntu erozyonu örneği görülmektedir (Url-5).



Şekil 2.4 : Oyuntu erozyonuna bir örnek Göreme - Kapadokya (Url-5).

e) Kanal erozyonu

Akarsu yatağında sürekli ya da periyodik olarak akan su, hem akarsu yatağını hem de yatağın kenarlarını aşındırır. Akarsuların aşındırma gücü akarsuyun kinetik enerjisi, akarsu ile taşınan yükün kinetik enerjisi ve zeminin yapısına bağlıdır Balcı (1996), Erinç ve diğ (2000).

f) Tünel erozyonu

Üst kısımda sıkışmış bir toprak tabakası varken yoğun bitki kökleri tarafından sarılmış üst toprak tabakasının altında eğer su ile doymuş bir tabaka bulunursa toprağın altında bir aşınma gerçekleşir (Uysal, 2000).

g) Sivri tepe erozyonu

Daha çok volkanik tepelerdeki aşınmalar sonucu oluşan sivri tepelerdir (Uysal, 2000).

h) Korunmuş sütun erozyonu

Volkanik arazilerdeki çok şiddetli aşınımlardır. Sel suları yamaçlardan inerken buradaki kayaları aşındırır. Üst kesimde yer alan bazı sert kayalar aşınmayarak altlarında sütun boyunca aşınmamış bölgelerin oluşmasını sağlarlar. Üzerinde sert kaya bulunmayan kısımlar ise aşınarak taşınmaya başlar. Bu şekilde oluşan

erozyonda sütünların üzerlerindeki sert kayalar rahatlıkla gözlemlenebilir. Peri bacaları bu erozyona en iyi örnektir (Uysal, 2000).

ı) Kütle hareketleri

Yer çekiminin etkisiyle ortaya çıkan suyunda katılımıyla oluşan hareketlerdir. Dağlardan veya eğimli bölgelerden bazı toprak parçalarının yer çekimi doğrultusunda harekete geçerek taşınması olayıdır (Uysal, 2000)

2.1.2.2 Rüzgar erozyonu

Kurak ve yarı kurak iklime sahip bölgelerde yaygın olan rüzgar erozyonu, yeterli bitki örtüsü bulunmayan oldukça düz ve geniş arazilerde, gevşek yapıdaki kuru ve ince bünyeli toprağın, şiddetli rüzgarların etkisi ile parçacıklar halinde yerinden oynatılarak, toz bulutları şeklinde yer değiştirmesi olayıdır.

Rüzgar erozyonu sonucu verimli toprakların kaybı, buharlaşmanın hızlanmasıyla toprak nemliliğinin azalması, bitki büyümesinin yavaşlaması ve verimin düşmesi gibi olumsuzluklarını ortaya çıkarmaktadır. Taşınan kum ve verimsiz toprak, verimli tarım topraklarını kaplayarak, tarım yapılamaz hale getirmektedir. Rüzgar erozyonu ile toprakta yer yer çukurlar oluşup, bu çukurlardan çıkan toprak başka yerlerde toplanarak kum tepeleri meydana getirmektedir. Rüzgar erozyonu; yolları, binaları ve su yollarını etkileyebilmekte, ayrıca tarımsal alanlarda hasara sebep olabilmektedir. Özellikle kurak iklim bölgelerinde (İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu gibi) meydana gelen bu erozyon türü, genellikle tarım arazileri üzerinde etkili olmaktadır. Toprak materyallerinin rüzgar tarafından gerek taşındığı ve gerekse taşınan bu materyallerin yığıldığı alanlardaki arazilerin özellikleri hızla bozulmakta ve üretim kapasiteleri düşmektedir. Bunun bir sonucu olarak da, rüzgar erozyonu ile çok ciddi arazi ve ürün kayıpları meydana gelmektedir. (Url-4).

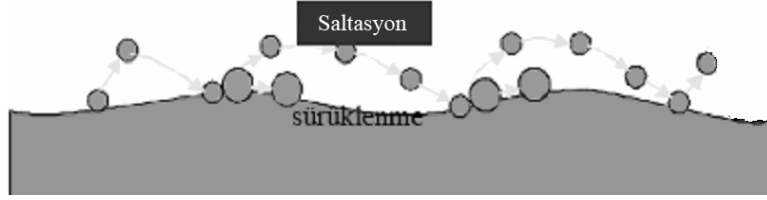
Rüzgâr erozyonu ile toprağın taşınmasında üç tip hareket söz konusudur; toprak taneciklerinin büyüklüğüne bağlı olarak üç ayrımlı hareket çeşidi oluşmaktadır.

Bunlar:

- **Havada asılı hareket (Süspansiyon) :** Süspansiyon çok ince toprak tanecikleri ve tozların havaya kaldırılması ile oluşur. Tozlar ya diğer taneciklerin toprak yüzeyine çarpması ile ya da rüzgarın kendisi tarafından harekete geçirilirler. Zerrelerin 1

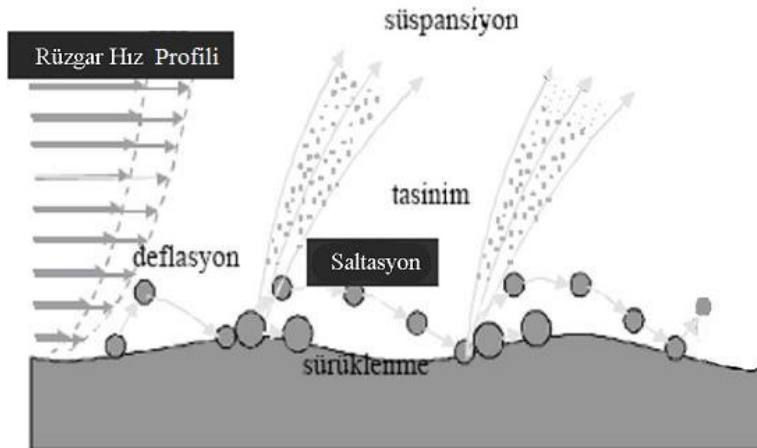
metrelik kısımdan daha yukarıda ki hareketlerini ihtiva eder. Zerreler 0.05-0,1 mm çapındadır.

- **Yüzeyde sürüklenme:** Rüzgarla hareket eden parçacıkların ve rüzgarın etkisiyle hareket ettirilen daha iri parçacıkların, yüzeyde yuvarlanarak hareket etmesine yüzey sürüklenmesi adı verilmektedir. 0.5-2 mm çapındaki zerrelerin yüzeyde sürüklenerek yaptığı harekettir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Ağır taneciklerin yüzeyde sürüklenmesi (Kayalık, 2007).

- **Sıçrama (Saltiesyon):** Toprağın bazı parçaları, hava akımıyla uçan parçalar kadar küçük değilse, yüzeyde sürüklenirken yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak çarpıp sıçrarlar ve rüzgarın etkisini yitirmesi ile yere doğru düşerler. Bu şekilde sürekli sıçramalar ile toprak taşınımı olması durumuna sıçrama ile taşıma denir (Şekil 2.6). Zerrelerin ilk 1 metrelik kısımda meydana getirdiği ve yüzeye 6-12° lik açı ile düştüğü hareket tipidir. Zerreler 0,1-0,5 mm çapındadır. (Url-4).



Şekil 2.6 : Rüzgâr hızı profili (Url-4).

2.1.3 Erozyona etki eden faktörler

Erozyona etki eden faktörler 5 grup altında toplanabilir. Bunlar, iklim, topoğrafya, toprak özellikleri, bitki örtüsü ve insan faktörüdür. İnsan faktörü dışındaki diğer dört faktör doğal erozyon faktörleri olarak tanımlanır (Balcı, 1996).

İklim

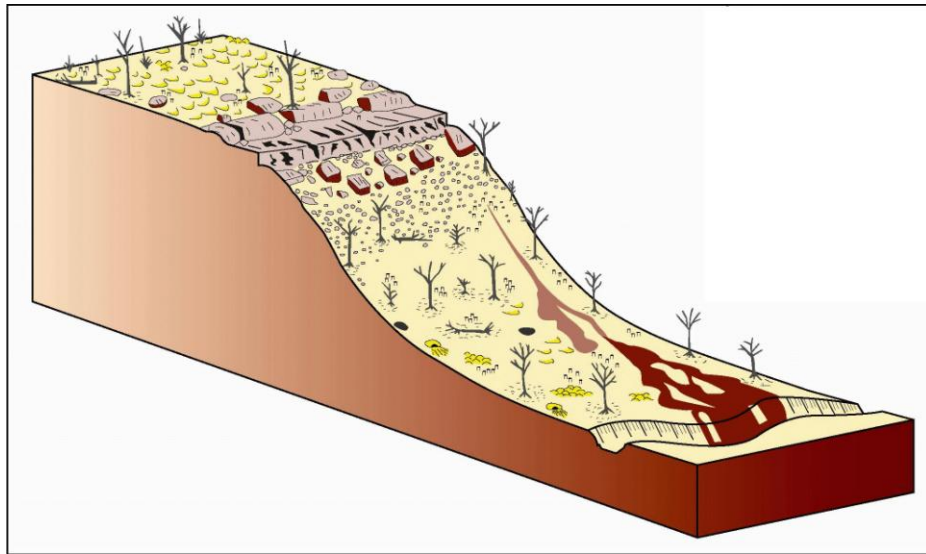
Yağış, rüzgâr ve sıcaklık olarak etki eder. Yağışın kinetik enerjisi aşındırmada en önemli etkidir. Yağışın şekli yağmur, kar ve dolu olarak farklı etkiler yapar. Bunlar içinde en önemli etkisi olan yağmurdur. İklimin erozyona etkisi 4 şekilde incelenebilir. Bunlar;

1. Yağış şiddeti,
2. Yağışın süresi ve dağılımı,
3. Rüzgârın etkisi,
4. Sıcaklık.

Aynı miktar yağış, nemin düşük olduğu bölgelerde daha sıkı bir bitki örtüsü oluşturmasına rağmen, sıcaklığın fazla olduğu başka bir bölgede daha seyrek bir bitki örtüsü oluşturur. Yağışların şiddeti, miktarı, tipi ve dağılımı su erozyonunu etkileyen en önemli iklimsel faktörlerdir. Tarımsal alanlarda meydana gelen erozyonun baş etkeni yağmur damlalarıdır. Çünkü yağışlar, taşınmaya elverişli toprak zerrelerinin oluşmasında önemli bir rol oynarlar (Çanga, 1987).

Topoğrafya

Yamacın eğim derecesi ve uzunluğu yüzeysel akış ve toprak erozyonunda önemli olan topoğrafik öğelerdir Balcı (1996). Eğimli bir bölgede erozyon oluşumuna örnek resim Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.7 : Eğimli bölgede erozyon oluşumu Wallbrink ve diğ. (2007).

Topoğrafya su erozyonunu 6 şekilde etki eder. Bunlar;

1. Eğim dikliği: yüzey akış sularının hızının artmasına sebep olarak aşınımı artırır.
2. Eğim uzunluğu: genel olarak eğim uzunluğu arttıkça aşınma ve taşınan toprak miktarı da artar.
3. Mikro-relief: toprak yüzeyinin pürüzlü olması, su depolamasına neden olarak erozyon etkisini azaltır.
4. Eğim şekli.
5. Havza büyüklüğü ve şekli: benzer iki özellikli iki havzadan büyük olanında taşınan toplam toprak miktarı daha fazladır.
6. Bakı: arazinin bakısı dolaylı olarak sıcaklığı etkiler. Kuzey yarım kürede kuzeye bakan yamaçlarda bitki örtüsü daha yoğun, organik madde birikimi daha fazladır. Toprağın nem düzeyi yüksektir. Güney yamaçlarda ise Güneş ışınları daha dik geldiği için bunun tersi bir durum ortaya çıkar (Balcı, 1996).

Toprak özellikleri

Yağış sularının toprağa sızma oranı yükseldikçe yüzeysel akışa geçen su miktarında önemli bir azalma olacaktır. Dolayısıyla taşınan materyal miktarı da azalacaktır. Toprağın fizikokimyasal özellikleriyle yakından ilgili olan bu durum, önce suyun toprağa sızmasının, sonra da toprak içerisindeki hareketinin incelenmesini zorunlu kılmaktadır.

Suyun toprak içerisindeki hareket hızının bir ölçüsü olan ve mm saat^{-1} ya da cm saat^{-1} olarak belirtilen permeabilite, toprakların bünye ve yapıların bağlı ve yerçekiminin etkisi altında oluşan bir olaydır. İnfiltrasyon ise, suların toprak yüzeyinden toprak içine geçmesi olayıdır Toy ve diğ (2002). Toprakların fiziksel özellikleri nedeniyle bünyelerinde tutabildikleri azami su miktarına su tutma kapasitesi denir. Su tutma kapasitesi büyük ölçüde toprak bünyesine bağlıdır. Toprakların farklı bünyeye sahip olması, erozyon olayında yağış şiddetine göre farklı reaksiyonlar göstermesine neden olur. Kohezyon (moleküller arasındaki çekim kuvveti), toprak strüktürlerinin agregatlar teşkil etmesine ve dolayısıyla taşınmalarını azaltmaya yardım eder (Çepel, 1997).

Toprağın tane yoğunluğu

Toprakların tane yoğunlukları, taşınmalarında etkili bir faktör olarak kabul edilebilir. Toprak taneciklerinin orijinlerine göre tane yoğunlukları, 1,37 (g cm⁻³) (Humus)'dan Limonit'te olduğu gibi 3,40 - 4,00 (g cm⁻³)'e kadar değişmektedir. Buna karşılık diğer mineral orijinlerinden kaynaklanan taneciklerin yoğunlukları 2,50-2,80 (g cm⁻³) arasında değişmektedir. Taneciklerin yoğunlukları arttıkça, onları harekete geçirecek kuvvetin miktarı da artmaktadır (Balcı, 1996).

Diğer taraftan hacim ağırlığı veya toprağın tane yoğunluğu tekstür ve strüktür ile ilgilidir. Tane yoğunluğu: birim tane hacminin kuru kütle ağırlığıdır. İnce tekstürlü toprakların toplam gözenek hacmi, kaba tekstürlü topraklara göre daha fazla ve dolayısı ile de hacim ağırlıkları daha düşüktür. O halde içeriği aynı olan topraklardan hacim ağırlığı daha düşük olanlar, daha ince ve taşınabilir taneciklerden oluşacağı için, harekete geçebilme olasılıkları daha fazladır denebilir (Balcı, 1996).

Bitki örtüsü

Toprak üzerindeki bitki örtüsü, her şeyden evvel, yağmur damlalarının toprak taneciklerine çarpmasını, dolayısıyla yüzeysel tabakanın tahribini önler. Bitki örtüsünün bu koruyucu görevi, yağmur damlalarını tutarak, hızlarını azaltmaktadır Doğan ve Güçer (1976). Yüzeydeki bitki örtüsünün çeşidi de toprak aşınımı üzerine etki eder. Toprakları en fazla koruyan bitki örtüsü en az koruyana doğru aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Devamlı bitki örtüsü (Korunmuş ormanlar, devamlı meralar ve çayır örtüsü)
2. Baklagiller
3. Küçük tohumlu baklagiller
4. Tahıllar (buğday, arpa, yulaf v.b.)
5. Çapa bitkileri (tütün, patates, mısır, soya v.b.)

İnsan faktörü

Erozyonun oluşmasında insanın rolü tartışılmayacak kadar açıktır. Binlerce yıldan beri kendi uğraşları ile doğal kaynakları kullanan, sömüren ve doğal dengeyi bozan insan, hızlanmış erozyonun oluşmasında en önemli etmendir. İklim, topoğrafya,

organizmalar, anakaya ve zaman gibi etmenlerin birlikte oluşturdıkları karmaşık etkiler ve etkileşimler sonucu oluşan toprak, çeşitli aşamalardan sonra iklim ve vejetasyonla bir denge oluşturur ve bu denge çevre koşullarına bağlı olarak bir vejetasyon örtüsü altında devam eder. Ancak insan, sosyal, ekonomik ve tarımsal gereksinimleri için bu bitki örtüsünü kaldırarak diğer kullanma şekillerine dönüştürmektedir. Bu dönüşüm de genellikle doğal dengeyi bozan ve toprağı korumayan daha yoğun bir kullanma şekline ayrılmakta ve bu durum da hızlanmış erozyonun etkin hale geçmesine neden olmaktadır (Balcı, 1996).

2.1.4 Dünyada ve Türkiye’de erozyon

Birleşmiş Milletler kaynaklarına göre, çölleşme ve kuraklık yerküredeki 4 milyar hektardan fazla alanı ve 110 ülkede yaşayan 1,2 milyar nüfusun yaşamını doğrudan tehdit etmektedir (ÇMUTEP, 2005).

Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi (BMÇMS), 1992 yılında düzenlenen Rio Dünya Zirvesi’nde benimsenen ve 1994 yılında yürürlüğe giren en önemli uluslararası sözleşmelerden birisidir. Sözleşmenin amacı, özellikle Afrika’da olmak üzere ciddi kuraklık ve/veya çölleşmeden etkilenen ülkelerde sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunmak için, uygulanan aktif eylemler vasıtasıyla çölleşme ile mücadele etmek ve kuraklığın etkilerini azaltmaktır. Bu bağlamda sözleşme amacına ulaşılması için, çölleşmeden etkilenen alanlarda arazi rehabilitasyonu ve verimliliğini artırarak sürdürülebilir yönetimin sağlanmasının, özellikle toplumun hayat şartlarının iyileştirilmesinin gerekli olduğu önemle vurgulanmaktadır. BMÇMS’ne 1998 tarihi itibarıyla resmen taraf olan Türkiye, Kuzey Akdeniz Bölgesel Uygulama Eki’nde çölleşmeden etkilenen ülke olarak yer almakta ve bölgedeki diğer ülkelerle (Yunanistan, İtalya, Portekiz ve İspanya) işbirliği içerisinde başlatılan bölgesel çalışmalara katılmaktadır (ÇMUTEP, 2005).

Erozyon şiddeti yörelere göre değişmekle birlikte, Türkiye’nin toplam yüzeyinin %81’ini etkileyen en önemli kırsal çevre sorunudur. Ekilen alanların %73’ü ve tarıma uygun alanların (I-IV sınıf tarım alanları) %68’i erozyona maruzdur. Akarsu erozyonu 57,1 milyon hektar alanı etkilerken, rüzgâr erozyonu 466.000 hektar alana zarar vermektedir. Sonuçta her yıl yaklaşık bir milyar ton toprak taşınmış olmaktadır (UÇEP, 1999).

İklim koşulları ve tarımsal uygulamalar toprak erozyonunu etkileyen en önemli etkenlerdendir. Türkiye orta, doğu ve güneydoğu bölgelerinde sert iklim özelliklerine (kuru ya da soğuk) sahiptir. Yıllık ortalama sıcaklık ülkenin orta kesimlerinde 4-18°C, güney kıyılarında ise 18-20°C arasında değişmektedir. Türkiye’de, hem her mevsim yağış alan ılıman, hem de yazların kurak geçtiği subtropikal iklim özellikleri görülür. Yıllık ortalama 770 mm olan yağış miktarı, Rize’de ortalama 2.300 mm ye çıkarken, Kırşehir’de 326 mm ye düşmektedir UÇEP (1999). Türkiye topraklarının %14’ünde hafif düzeyde, % 20’sinde orta derecede ve %63’ünde ise şiddetli ve çok şiddetli derecede erozyon olayları etkinliğini sürdürmektedir. Erozyona uğrayan toprakların % 99’u su erozyonundan, geriye kalan %1’i de rüzgar erozyonundan etkilenmektedir. Avrupa Birliği ülkelerinin tümünde toplam 25 milyon hektar alan erozyona maruzken Türkiye’de 57,6 milyon hektar alanda erozyon çok önemli boyuttadır. Türkiye’de bir kilometre karelik alandan oluşan ortalama yıllık toprak kaybı Avrupa’da oluşan kaybın 9,5 katı, Avusturalya’da oluşan kaybın 2,9 katı, Amerika’da oluşanın ise 1,6 katıdır. Çeşitli nedenlerle bozulmuş arazi miktarının tüm arazi alanına oranı Türkiye’de %80’lere ulaşmaktadır (UÇEP, 1999).

2.2 Serpinti Radyonüklidleri Yöntemi

Toprak erozyonunun tarımsal ve ormanlık alanlardaki dış etkileri, su kalitesi ve doğal yaşamdaki sediment oluşumuyla azalma ile ilgili problemler hakkında artan tartışmalar, havzalarda sediment yönetim stratejilerine olan ihtiyacın kabulü, toprak erozyonu ve sedimentasyon miktarlarını belgeleme konusunda “parsel deneyleri” gibi geleneksel yöntemlere alternatif yöntemler üretilmesini teşvik etmektedir. Parsel deneyleri gibi yöntemler farklı toprak tipleri ya da mahsüller ve farklı işlenmiş toprak sistemleri ile ilgili yerinde erozyon miktarları hakkında değerli bilgiler verebilir; fakat ayrı ayrı sahalardaki ya da küçük havzaların yamaçlarındaki aşınma ve birikmenin aşamaları hakkında bilgi veremez. Böylesi bir bilgi net toprak kaybını, eğim-kanal bağlantısı ve sedimentin akarsuya taşınma verimini tespit etmek için gereklidir. Walling ve arkadaşları tarafından (2009) yapılan bir çalışma erozyon miktarını belirlemede kullanılan geleneksel yöntemlerin geliştirilme potansiyelinin “doğal” izleyiciler kullanılarak olabileceğini vurgulamıştır. Doğal izleyicilerin kullanılması toprak taşınması ve birikmesi aşamalarını ve farklı zaman aralıklarında net toprak kaybını belirlemeye imkân sağlamaktadır.

Serpinti radyonüklidleri yönteminin (örneğin ^{137}Cs , ^{210}Pb ve ^7Be) toprak ve sediment hareketini belirlemede çok ciddi oranda tutarlı sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır. Topraktaki miktarı ve yeryüzüne dağılımı nedeniyle ^{137}Cs (^{137}Cs , $t_{1/2} = 30,17$ yıl) çok yaygın ve başarılı bir şekilde dünyada farklı çevrelerde kullanılmıştır Zapata (2002). Hem ^{137}Cs hem de ^{210}Pb orta ve uzun ölçekli erozyon miktarlarını tespit etmekte (yaklaşık 50 ile 100 yıl) kullanılmaktadır. Çok daha kısa süreli erozyon miktarlarını tespit etmekte ise ^7Be 'nin potansiyeli dikkati çekmektedir Walling ve Quine (1993), Walling ve diğ (2009). Kullanılan radyonüklidlerin özellikleri Çizelge 2.1'de görülmektedir.

Çizelge 2.1 : ^{137}Cs , ^{210}Pb ve ^7Be radyonüklidlerinin nükleer özellikleri (Zapata, 2002).

Radyonüklid	Enerji (keV)	Bolluk %	Yarı Ömür
^7Be	477,59	10,35	53,29 gün
^{137}Cs	661,65	85	30,174 yıl
^{210}Pb	46,52	4,05	22,26 yıl

Bir alan için serpinti radyonüklidleri profillerinin oluşturulması, aşınım ve birikimin önemsiz değerde olduğu, stabil bir alandaki serpinti radyonüklid alan aktivite yoğunluğunun hesaplanmasını gerektirir. Bu kavram da “referans alan aktivite yoğunluğu” olarak isimlendirilir. Böylelikle söz konusu olan her bir noktanın, aşınım (azalan aktivite yoğunluğu) ve birikim (artan aktivite yoğunluğu) değerlerinin bu referans alan aktivite yoğunluğu ile karşılaştırılması olanağı sağlanmış olur Walling ve diğ (2009).

2.2.1 Yöntemde kullanılan radyonüklidler

^{137}Cs : ^{137}Cs , 1950-1960 yılları arasında yaygın olarak yapılan nükleer bomba denemeleri sırasında yapay olarak ortaya çıkmış bir radyoelementtir. Avrupada Çernobil kazası Sezyum miktarını arttıran olaylardan biri olmuştur. ^{137}Cs , mineral ve organik toprağın üst katmanında güçlü bir şekilde tutulur dikey olarak toprağın alt tabakalarına nüfuzu sınırlıdır. İstisnai olarak şiddetli fiziksel etkiler oluşması dışında, radyosezyumun taşınması kısıtlıdır. İzotop erozyona uğrayan toprakla birlikte taşınır. Bu sebeplerden, birçok araştırmacı tarafından 40 yıl gibi süreler için toprak hareketi izleyicisi olarak, çok yaygın olarak kullanılmaktadır Richie ve Richie (2007). Radyoizotop üretimi ve toprak azalması ya da birikmesi arasındaki ilişki

onaylanmış ve dünyada birçok bölgede uygulanıştır Zapata (2002). Toprak örneklerindeki ^{137}Cs radyoaktivitesi verileri ile toprak hareketlerinin (Bq m^{-2}) belirlenmesi yıllardır uygulanmaktadır Walling ve He (2002), Mabit ve diğ. (2008), Mabit ve diğ. (2007), Kızıлтаş ve diğ. (2009). Fakat metodolojideki, özellikle toprağın derinlemesine analiziyle ilgili olan yaklaşımı gibi bazı bakış açıları geliştirilmesine gerek duyulmaktadır Richie ve Richie (2007).

^{137}Cs ile toprak erozyonu veya birikme miktarının tayininde, genellikle erozyona ya da birikmeye uğramış alanlar ile erozyondan korunmuş (referans) alanlardaki radyonüklidler karşılaştırılır. Referans noktası olarak adlandırılan korunmuş alandaki ^{137}Cs envanteri, erozyona uğramış yerdeki ^{137}Cs envanterinden daha fazla olurken birikme bölgesinden ise daha azdır. Bu konuda yapılan çalışmalar ^{137}Cs kaybı ile toprak kaybı arasında lineer ilişki olduğunu göstermiştir. Belli bir noktadaki ^{137}Cs envanterini ölçüp, azalan ya da artan ^{137}Cs envanterini aşınım ya da birikim miktarlarına bağlayan kalibrasyon modellerinden ya da yöntemlerinden yararlanarak, ilk serpinti tarihinden (yaklaşık 40 yıl öncesinden) günümüze kadar olan toprak aşınım ya da birikim miktarları saptanabilir. ^{137}Cs radyonüklidinin sahip olduğu avantajlar şöyle sıralanabilir:

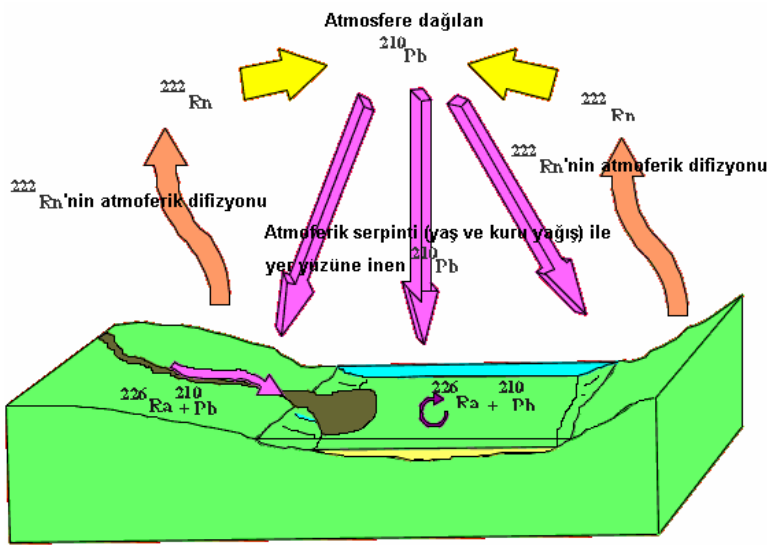
- ^{137}Cs tekniği toprağın orta vadedeki hareketi hakkında bilgi verir,
- Bu yöntem çalışma alanında yapılan tek bir çalışma ile sonlandırılır ve çalışmanın sonucu kısa sürede elde edilir,
- Ölçüm işlemi sonunda erozyon miktarı yanında, toprağın taşınma miktarı elde edilir,
- Ölçümler sonucunda ortalama birikme miktarı ve alandaki net toprak aktarımı bulunur Walling ve Quine (1993).

^{137}Cs 'nin uygulanmasında genel olarak iki önemli sınırlama vardır. Bunlar ^{137}Cs serpintisinin küresel dağılımı ve 1986 yılında Chernobyl kazasından sonraki ^{137}Cs 'nin dağılımıdır. Bomba türevli ^{137}Cs serpintisi güney yarımkürede kuzey yarımküreye göre çok belirgin bir azlık gösterir. Güney yarımküredeki ^{137}Cs envanterinin azlığı kabul edilebilir duyarlılıkta sonuç elde edebilmek için uzun ölçüm süresi gerektirmesi nedeniyle bazı ölçüm zorluklarına yol açar. Chernobyl türevli ^{137}Cs serpintisinin olduğu yerlerde erozyon ve birikim hızlarının belirlenmesi mevcut ^{137}Cs serpintisinden Chernobyl türevlisi olanı ayırt edebilmek yüzünden karmaşıktır.

Bu sınırlamalar nedeniyle dünyanın bazı bölgelerinde ^{137}Cs 'den farklı radyonüklidlerin kullanılmasına gereksinim duyulmuştur. Bunun yanı sıra ^{137}Cs 'nin doğal olmayışı ve nükleer denemeler sonucu atmosfere salınması, ^{137}Cs çalışmalarında bazı problemlere sebep olmaktadır. Bu problemler arasında 1986 yılında meydana gelen Çernobil kazası büyük rol oynamaktadır. Çünkü Çernobil sonrası meydana gelen birikimin dağılımı nükleer silah denemeleri ile ortaya çıkan birikimin dağılımından çok daha çeşitlidir Walling ve He (1999). Bir diğer önemli dezavantaj ise ^{137}Cs radyonüklidinin atmosferik akısının bölgeden bölgeye farklılık göstermesidir (Agudo, 1998).

Tüm bu avantajları ve dezavantajları göz önüne alındığında ^{137}Cs erozyon miktarı tayininde önemli rol oynamaktadır. Fakat nükleer denemelerin sonlandırılması ile atmosfere salınan ^{137}Cs oranındaki değişim ve yarı ömrü ele alındığında envanterdeki düşüş ^{137}Cs deneylerinde sayım süresinin uzun tutulmasına yol açmaktadır. Bu nedenle ^{137}Cs ile toprak erozyon hızı çalışmalarına alternatif olarak ^{210}Pb ve ^7Be ile yapılan çalışmalar geliştirilmiştir Walling ve diğ. (2009), Mabit ve diğ. (2009), Shakhashiro ve Mabit (2009).

^{210}Pb : ^{137}Cs 'nin doğal bir radyoaktif element olmayışı ve nükleer denemeler sonucu doğada serbest kalması, ^{137}Cs 'nin erozyon ölçümlerinde kullanılmasını bazı durumlarda zorlaştırmaktadır. ^{210}Pb ise doğal radyoaktif bir elementtir, doğaya salınım oranı veya miktarı sabittir (Şekil 2.8).

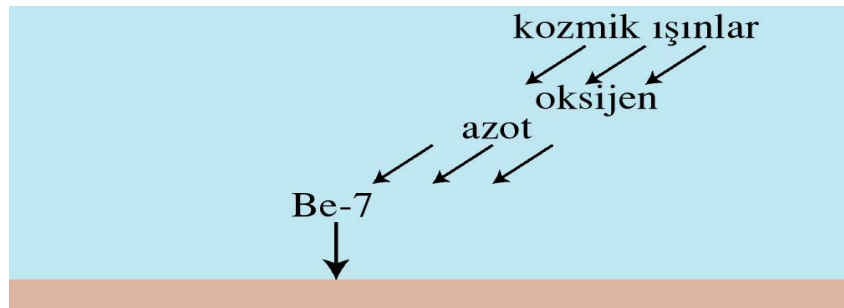


Şekil 2.8 : ^{210}Pb oluşumu (Manav, 2008).

Yapılan çalışmalarda ^{210}Pb kullanılabilirliği, ^{137}Cs ile yapılan çalışmalarla karşılaştırılarak kabul edilmiştir Mabit ve diğ. (2008). Doğal olarak oluşan fazlalık ^{210}Pb , toprak parçacıklarına tutunur (adsorption) ve topraktaki yeniden dağılımı ^{137}Cs 'ye benzer. Fakat toprak taşınma miktarının belirlenmesi araştırmalarındaki kullanımı sınırlıdır. ^{137}Cs 'nin aksine ^{210}Pb 'un atmosferden serpintisi arasındaki fark $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (fazlalık) olarak isimlendirilir ve ölçümlerde kullanılır.

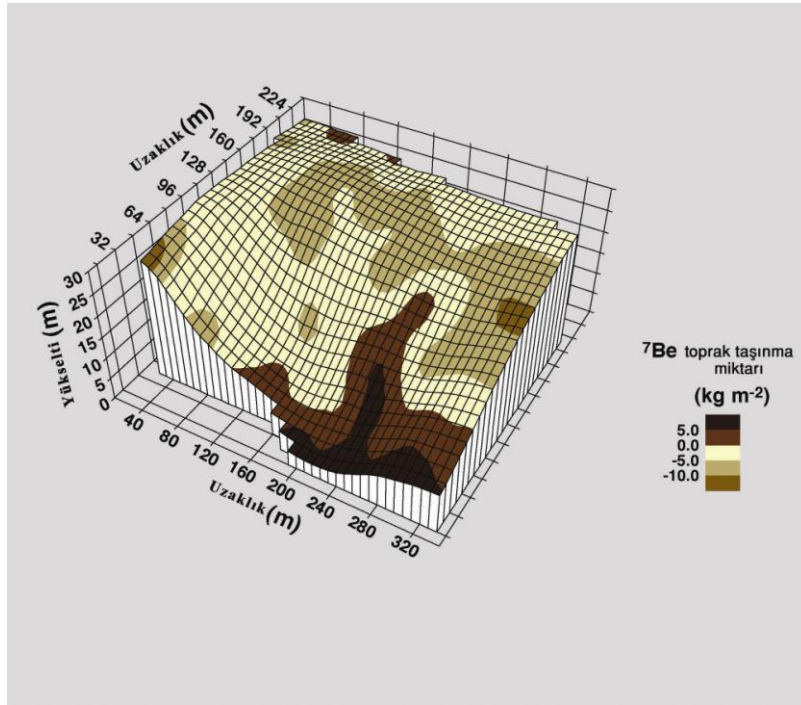
^{137}Cs gibi ^{210}Pb da sediment parçacıklarına çok duyarlıdır. Atmosferden arazi yüzeyine düştükten sonra, fazlalık $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, kil mineralleri ve topraktaki organik malzemeler tarafından çabukça tutulur. Arazi kullanımı farklılıkları, erozyon ve sediment taşıma süreçlerine bağlı olarak, ^{137}Cs radyonüklidinde olduğu gibi ^{210}Pb için de toprakta ya da toprak yüzeyinde yeniden dağılımı değişiklik gösterir. Yüzey toprağındaki aktiviteler arazi kullanımına göre çok farklılıklar gösterir ki, bu da toprak özelliklerini ve toprak profilindeki $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 'un taşınmasını da etkiler. $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ölçümleri ekili bir arazideki toprak taşınma miktarını belirlemek amacıyla kullanılacaksa, bir kütle dengesi yaklaşımı oluşturulmalıdır. Toprak yüzeyine olan sürekli serpinti nedeniyle ekili olmayan topraklar için sürekli bir fazlalık $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ serpintisini içeren difüzyon ve göç modeli geliştirilerek kullanılabilir. Fazlalık $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ölçümleri yönteminin ekili olmayan arazilerde kullanımına yönelik çalışmalar gelişmesini sürdürmektedir (Walling, 2002).

^7Be : ^7Be stratosferde ve üst troposferde kozmik ışınlarla azot ve oksijen çekirdeklerinin ışınlanması sonucunda oluşan doğal bir serpinti radyonüklididir. Belirli bir zamanda küçük bir alanda ^7Be atmosferik konsantrasyonu düzenli varsayılabilir. ^7Be , Şekil 2.9'da görüldüğü gibi aerosol parçacıklarına tutunarak kuru ya da yağ serpinti ile atmosferden yeryüzüne ulaşır (Walling, 2003).



Şekil 2.9 : ^7Be için oluşum mekanizması (Walling, 2003).

Toprak yüzeyindeki toplam ^7Be birikme akısının çoğunu, genelde yaş serpinti oluşturur. ^7Be toprakla temasa geçtiğinde çabuk ve kuvvetli bir şekilde yüzeyde tutunur ve ağırlıkla toprak profilinin üst tarafında bulunur. Günümüze kadar yapılmış laboratuvar çalışmaları göstermiştir ki, anlık dikey ^7Be kütle aktivite yoğunluğu miktarı (Bq kg^{-1}) derinlik artışına bağlı, eksponansiyel olarak hızla azalmaktadır, radyonüklidin büyük miktarı yüzey toprağının üst birkaç milimetresinde bulunmaktadır. ^7Be 'nin kısa yarı ömrü sebebiyle, toprağın 2 cm den daha derin bölgelerinde pek rastlanılmaz. Şekil 2.10'da incelenen bir alan için ^7Be ölçüleriyle elde edilen toprak aşınması ve birikmesi görülmektedir Walling ve He (2000).



Şekil 2.10 : ^7Be ölçümlerine göre toprak taşınma miktarı Walling ve He (2000).

^7Be , kısa yarı ömrü (^7Be , $t_{1/2} = 53$ gün) olması sebebi ile çok daha kısa süreli zaman aralıklarındaki erozyon miktarının tespiti için olarak sağlamaktadır Sepulveda ve diğ. (2008), Walling ve diğ. (2009). Varolan birçok ^7Be uygulamasında ^{137}Cs ile kullanılan yaklaşım uygulanmıştır; bölgesel aktivite yoğunluğu değerlerinin hem bozulmamış, hem düz, erozyon ya da birikme olmamış bir alandan yani referans bölgeden hem de çalışma alanından ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Basit nümerik bir model ^7Be ölçümlerini dönüştürmede kullanılarak birikme ve erozyon hesaplanmıştır Sepulveda ve diğ. (2008), Walling (2009).

2.2.2 Bölge seçimi

Serpinti radyonüklid yöntemi ile erozyon ve sedimentasyon araştırmalarında, örnek alınacak yerlerin belirlenmesi yöntemin başarı ile uygulanması için kritik bir önem taşır. Bu yöntemle araştırma yapanlara yol göstermek amacıyla, alan örnekleme programları (field sampling program) dizayn edilmiştir.

Serpinti radyonüklidleri yöntemi ile toprak taşınma miktarının belirlenmesi araştırmalarında yer seçimiyle ilgili çalışmalar üç basamaklıdır: Birinci basamak olarak; araştırmacıların örnek toplama programını belirlemek ve diğer araştırmalara benzer araştırmalar yapabilmek için, literatürden ve devlet raporlarından elde edilebilir nitelikte olan temel çevresel ve sosyoekonomik bilgilerin elde edilmesi gerekir.

İkinci basamak, çevre koşullarına ve geleneksel yaşayışa göre erozyon ve sedimentasyon süreçleri hakkında bilgi toplamaktır ve sonunda üçüncü basamak olarak, seçilen araziye gidilerek örnek toplanması ve uygun referans bölgelerin yerlerinin araştırılmasıdır. Uygun bir örnek toplama programının belirlenmesi çok önemlidir. Ön bilgilerin elde edilmesi dışında, ilgili arazinin görülmesi araziye özel koşulları yerinde göstereceğinden, örnek toplama programına ancak yer görüldükten sonra karar verilmelidir. Arazi ziyaretinin temel amaçları; uygun referans bölgelerinin olup olmadığının belirlenmesi, toprak taşınma miktarının türü ve büyüklüğünün tahmin edilmesi, yer şekilleri, toprak ve kültürel uygulamaların yerinde incelenip belirlenmesini içerir.

Sonuç olarak tüm bu bilgiler ışığında, araştırma yapılması planlanan arazi için referans olabilecek bölgeler belirlenir ya da referans bölge olup olmadığına karar verilir. Böylece ilgili serpinti radyonüklid için envanter ve dağılımı için bir ön bilgi elde edilmiş olur (Zapata, 2002), Walling ve Quine (1993).

Çalışmaların yapılacağı alanlarda örnek alınacak noktalar belirlenirken, arazinin yapısı ve aşınım, birikim noktaları dikkate alınmalıdır. Örnek alınırken birikmenin olduğu kısım önemlidir. Serpinti radyonüklidleri dönüşüm modeli ile referans alan ve eğimli alandan elde edilen veriler kullanılarak toprak taşınma miktarları belirlenir (Zapata, 2002).

Yer seçiminde önemli aşamalardan birisi de referans bölge seçimidir. Referans bölge seçimi aşağıdaki prensiplere uygun olarak yapılmalıdır:

- İdeal bölgede ne toprak kaybı, ne de toprak birikimi olmuş olmalıdır.
- Bölge envanteri yalnızca atmosferden gelen radyonüklid miktarı dolayısıyladır ve radyonüklidin zamana bağlı bozunumunu yansıtır.
- Yukarıdan akışın olmadığı düz yerler tercih edilen yerlerdir.
- Referans bölge mümkün olduğunca örneklerin toplanacağı, toprak taşınması olmuş araziye yakın olmalıdır.

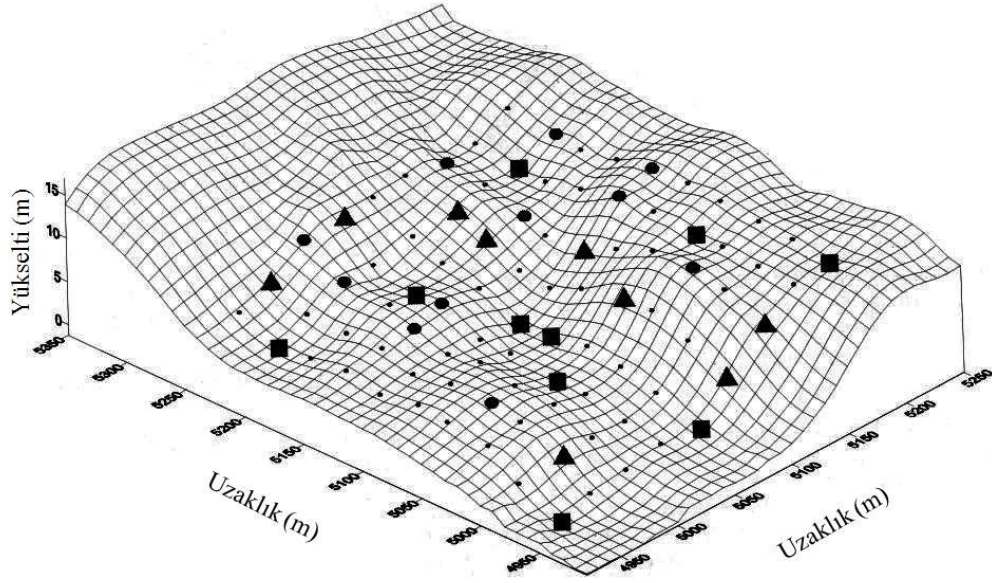
Referans bölgenin seçimi sonrasında çalışma sahasında hangi bölgelerde, hangi noktalardan ölçüm alınacağı belirlenmesi gerekmektedir.

Arazide radyonüklid ölçülmesine dayalı çalışmalarda tüm arazide ölçüm yapmak mümkün değildir. Bu sebepten arazide küçük bir bölümde çalışılır, daha sonra istatistiksel olarak bu sonuçların tüm dağılımı nasıl kapsayacağı belirlenir. Örneklem arazide hangi özel noktadan örnek alınacağına ve bu noktanın diğer noktalara olan ilişkisine dayanır.

Radyonüklid araştırmalarında en çok uygulanan örnekleme yöntemi, transekt ya da ızgaralar kullanılarak yapılan sistematik ve gruplanmamış örneklemedir. Transekt ya da ızgara örnek toplama yapılıp yapılmayacağına arazi morfolojisi ve kompleksliliğine bakılarak karar verilir. İdeal düz referans bölgede transekt ve ızgaralar kullanılabilir.

Eğimli bir alan için transekt örnek toplamanın uygunluğu, bu sahadaki eğimin açısına bağlıdır. Eğer eğim açısında belirgin bir fark yoksa bir transekt olarak radyonüklid envanterleri belirlenebilir (Zapata, 2002).

Analitik amaçlı çalışmalar için örnekleme, farklı özelliklere sahip noktaların gruplanması ve aynı özellikte olan gruplardan tesadüfi noktaların seçilmesiyle gerçekleştirilir. Izgaradaki noktalar daha sonra her üç grupta on noktaya ulaşıncaya kadar tesadüfi olarak belirlenir. Şekil 2.11’de gruplanmış ızgara örneklemesine örnek görülmektedir.



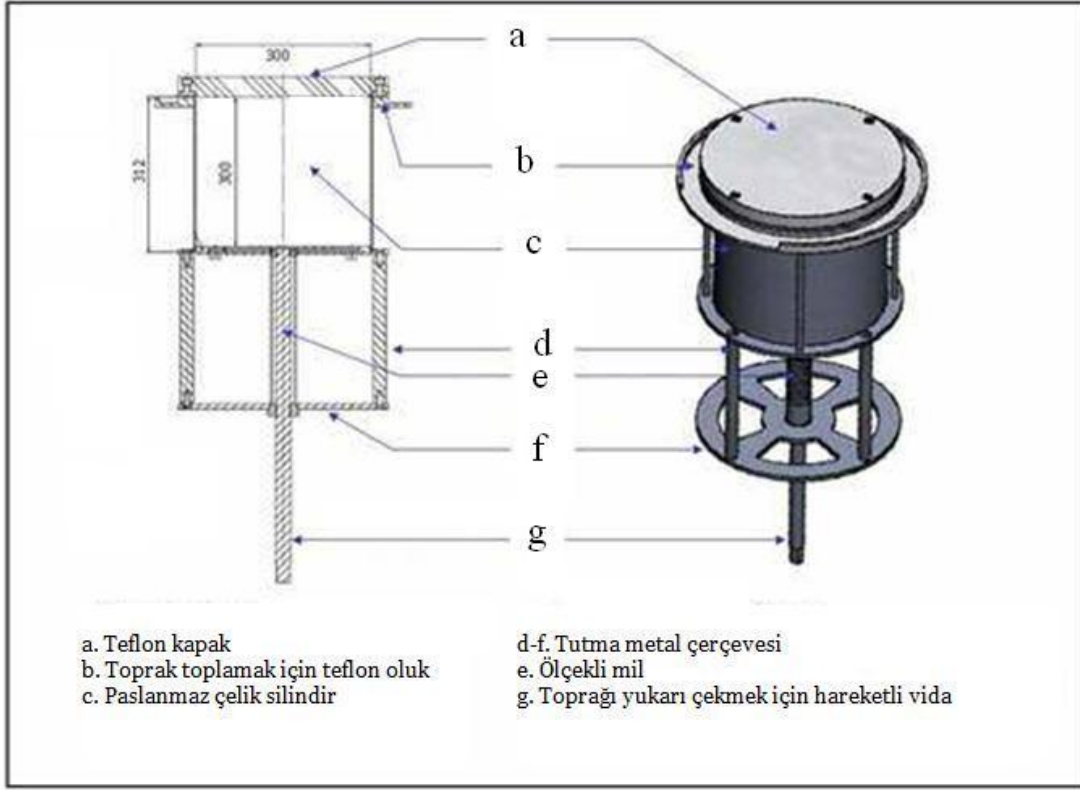
Şekil 2.11 : Gruplanmış ızgara örneklemesine örnek (● = omuz, ▲ = sırt, ■ = topuk) (Zapata, 2002).

2.2.3 Örneklerin toplanması

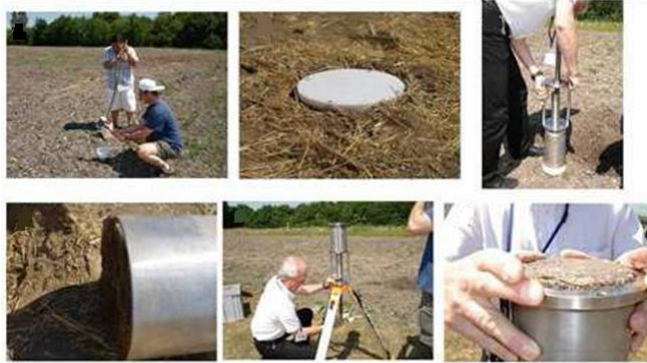
Örnek toplama işlemindeki aşamalar, arazinin yapısına ve toplanan örneğin kullanım amacına göre değişmektedir. Örneğin; ^{137}Cs için ortalama 40 cm derinlikten delici motor kullanılarak örnek alınırken, ^7Be için 2 cm derinlikten demir silindirler yardımıyla örnek alınmaktadır. Örnekler toplanırken en önemli konu alınan örneğin bozulmadan mümkünse olduğu gibi alınmasıdır.

Toprak yapısı bozulmamış bütün örnek alınırken delici motor kullanılır, kesit toprak örneği alımı sırasında ise delici motor ya da kazıyıcı levha (scraper plate) kullanılabilir. Kazıyıcı levha ilk defa Bryan Campell (Australian Nuclear Science and Technology Organization, ANSTO) tarafından kullanılmıştır; İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü'nde de benzeri yapılmıştır ve kullanılmaktadır. Çalışmaların yapılacağı alanlarda örnek alınacak noktalar belirlenirken, arazinin yapısı ve aşınım, birikim noktaları dikkate alınmalıdır.

^7Be ölçümü için örnek toplamada ana sınırlama toprağın en üst yüzeyinden yani yaklaşık 2 mm ila 5 mm'sinden örnek toplamanın zorluğudur. Bu amaçla Lionel Mabit, Arsenio Tolazo ve Anton Nirschl tarafından FSIC (Fine Soil Increment Collector) – Düzgün Toprak Örnek Toplayıcı (DTOT) geliştirilmiş (Şekil 2.12) ve bu ekipman Siebersdorf ve Mistelbach, Austurya'da arazide başarı ile test edilmiştir (Şekil 2.13) (IAEA, 2008).



Şekil 2.12 : DTOT'nin teknik şeması (IAEA, 2008).



Şekil 2.13 : DTOT'nin Mistelbach ve Seibersdorf'da arazi şartlarında test edilmesi (IAEA, 2008).

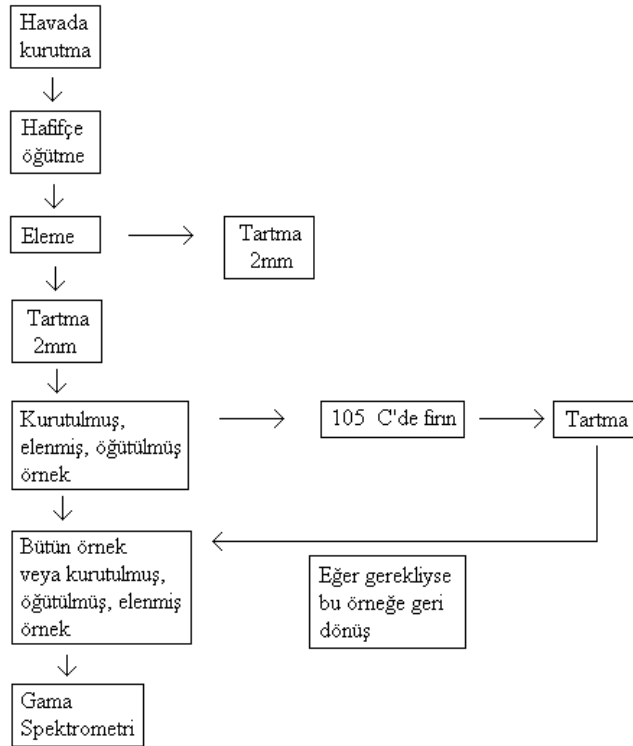
2.2.4 Örneklerin ölçüme hazırlanması

Çalışılan araziye, ölçülen radyonüklide ve ölçüm sistemine göre örneklerin hazırlanması farklı farklıdır. Toprak ve sediment araştırmaları prosedürlerinde örneklerin işlenmesindeki ilk basamaklar genellikle ortaktır. Bu basamakta havada ardından fırında kurutma işlemi gerçekleştirilir (Şekil.2.14). Buradaki amaç alınan örneğin içindeki suyun ve nemin uzaklaştırılmasıdır.



Şekil 2.14 : Örnek kurutma fırını.

Büyük hacimli örneklerde fırında kurutma uzun süreceğinden, havada kurutma daha pratiktir. Bundan sonraki aşamada örneklerdeki taşlar ayrılarak el ile ya da mekanik olarak öğütülür ve 2 mm çaplı çelik elekten geçirilir. Bu sürecin akış diyagramı Şekil 2.15’de görülmektedir. Elenmiş örnekler daha sonra radyoaktivite ölçümleri için ölçüm kaplarına aktarılıp, kapatılırlar.



Şekil 2.15 : Örnek hazırlama sürecindeki temel basamaklar (Zapata, 2002).

2.2.5 Örneklerin ölçülmesi

Berilyum radyoiztopunun verdiği gama radyasyonunu ölçmek için yüksek çözünürlüklü gama spektrometrisi sistemi kullanılır.

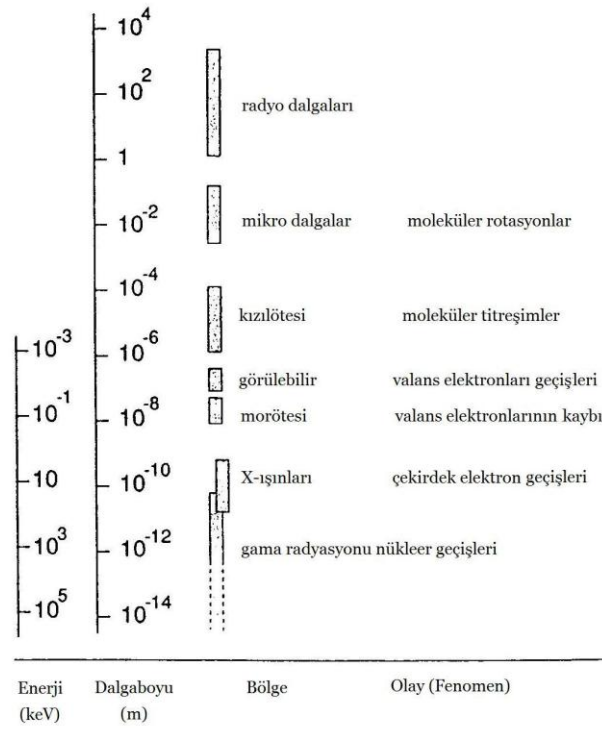
2.2.5.1 Gama ışınları

Maddeleri oluşturan atomların çoğu kararlıdır. Çekirdeklerindeki proton ve nötron sayıları eşit olan veya kararsızlığa neden olmayacak oranda birinin fazla sayıda olması dışında olan atomlar ise, kendiliklerinden farklı ışınımlar yayarak başka atomlara dönüşme eğilimi gösterirler. Bu atomlara radyoaktif atom, yayınladıkları ışınımlara ise radyasyon adı verilir. Radyoaktif atomların yaydığı ışınımlar üç çeşittir. Bunlar; aslında helyum çekirdekleri olan alfa ışını, hızlı elektronlar oldukları sonradan anlaşılan beta ışınları ve X-ışınlarına benzeyen ama daha yüksek enerjiye sahip elektromanyetik ışınımlar olan gama ışınlarıdır. Gama bozunumunda alfa, beta ya da doğal fisyonadaki bozunumlardan farklı olarak, nükleonların numarasında ya da türünde bir değişiklik olmaz. Süreç sadece uyarılmış atomun enerjisinin kaybı şeklinde gerçekleşir Gilmore ve Hemingway (1995).

Gama ışınları, Villard tarafından 1900'de radyum kaynaklı radyasyondaki nüfuz edici bir bileşen olarak keşfedilmiştir. Gama ışınları, uyarılmış bir çekirdeğin uyarılmış halde bulunduğu enerji seviyesinden, daha az enerjideki (alt enerji seviyesi) hale (temel enerji seviyesine olabilir ya da olmayabilir) geçişi sırasında yayılabilen yüksek enerjili fotonlardır. Aşağıdaki denklemde, A kütle numarası ve Z atom numarasına sahip uyarılmış bir atomun gama ışınması gösterilmiştir:



Gama-radyasyonu temel olarak radyo dalgaları, mikrodalgalar ve görülebilir ışık gibi elektromanyetik radyasyondur. Elektromanyetik spektrumdaki geniş enerji aralığı içinde gamalar, yüksek enerjili, kısa dalga boylu aralıkta yer alırlar. Şekil 2.16'da elektromanyetik spektrum görülmektedir Gilmore ve Hemingway (1995).



Şekil 2.16 : Elektromanyetik Spektrum Gilmore ve Hemingway (1995).

Radyasyonu karakterize eden dalga boyu, frekans ve enerji değeri arasındaki bağıntılar tüm elektromanyetik radyasyon için aşağıdaki gibi yazılır:

$$E = h \cdot \nu \quad (2.8)$$

ve

$$\lambda \cdot \nu = c \quad (2.9)$$

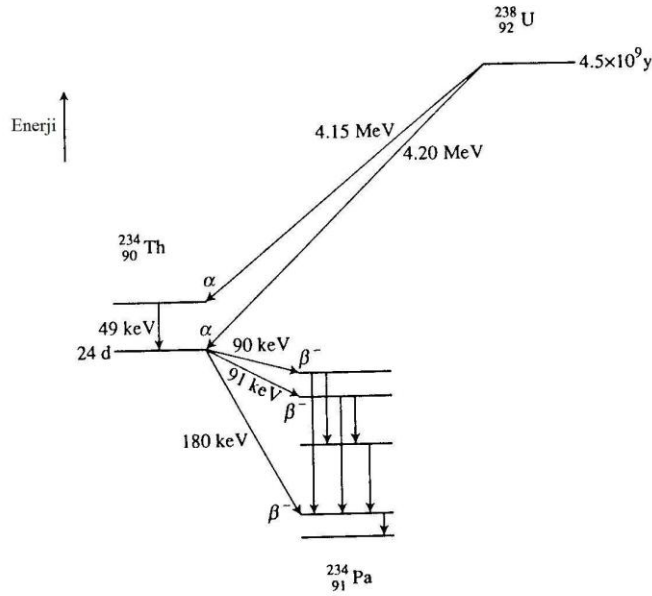
Bu denklemlerde Planck sabiti $h = 4,135669 \cdot 10^{-15} \text{ eV Hz}^{-1}$, ve ışık hızı ya da vakum içindeki herhangi bir elektromanyetik radyasyonun hızı $c = 2,997926 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ dir. Böylece radyoaktivitenin birimi olan eV için, $1000 \text{ keV} = 1,2398 \cdot 10^{-12} \text{ m}$, ya da $2,4180 \cdot 10^{20} \text{ Hz}$ yazılabilir Gilmore ve Hemingway (1995).

Gama ışınlarının enerjileri, genellikle atomlardan kaynaklı olan fotonlardan çok daha yüksektir. Tipik olarak enerji seviyeleri 10 keV ve 3 ya da 4 MeV arasındadır. Belirli bir bozunum için enerji değeri iki enerji seviyesi arasındaki fark bulunarak tayin edilir Delaney ve Finch (1992).

Gama bozunumunun süresi, yani uyarılmış çekirdeğin bozunması için geçen süre, genellikle çok kısadır, femtosaniye (10^{-15} saniye) ile mikrosaniye derecesindedir. Bazı istisnai durumlarda ise bu süre, çok daha uzun olabilir (100 yıldan daha uzun

süreler gibi) ve bu “yarı kararlı” haller ya da “izomer”ler çeşitli uygulamalarda önemli olabilir Delaney ve Finch (1992).

Çekirdekten gama yayını için gereken uyarılmış halin oluşması, sıklıkla önceki alfa ve beta bozunumları ile meydana gelmektedir. Şekil 2.17’deki bozunum şemasında $^{238}_{92}\text{U}$, %77 ihtimalle alfa yayını ile $^{234}_{90}\text{Th}$ ’un temel enerji seviyesine bozunur, fakat %23 ihtimalle bozunumun oluşumu, $^{234}_{90}\text{Th}$ ’un 49 keV deki uyarılmış seviyesine olur ve ardından 49 keV lik gama ışını yayarak, çabuk bir şekilde temel seviyeye geçer. Seviyelerin dikey yükseklikleri, göreceli enerji seviyelerini, yatay pozisyonlar ise atom numaralarını belirtmektedir Delaney ve Finch (1992).



Şekil 2.17 : $^{238}_{92}\text{U}$ ’dan $^{234}_{90}\text{Th}$ ’a ve $^{234}_{91}\text{Pa}$ bozunumuna ait enerji seviyeleri Delaney ve Finch (1992).

Gama ışınlarının madde ile etkileşmesi üç şekilde olmaktadır:

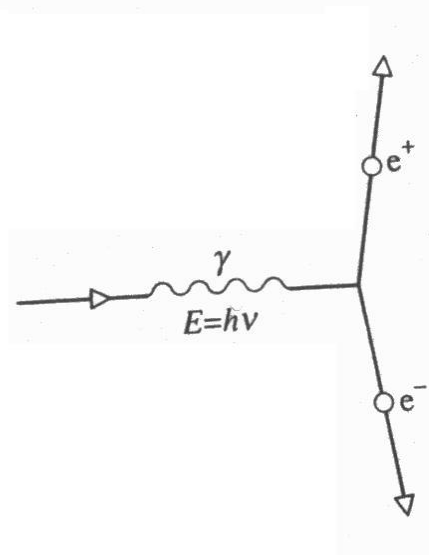
1. Fotoelektrik olay
2. Compton saçılması
3. Çift oluşumu

1. Fotoelektrik olay: Fotoelektrik olay sürecinde, foton bir bağlı elektron ile etkileşir ve fotonun tüm enerjisi bu elektron tarafından absorblanır. Elektron atomdan ayrılır, elektronun bağlanma enerjisi ile gama ışınlarının enerjisi farkı kadar bir enerji açığa çıkar. Elektron ayrılırken atomun kabuğunda bir boşluk bırakır. Bu uyarılmış atom bir veya daha fazla X-ışını ya da Auger elektronu yayını ile uyarılmış halden

temel hale geçişini gerçekleştirir. Etkileşim etkin kesiti, atom numarasına ve gama enerjine bağlıdır. Yüksek atom numarasına sahip atomlar için absorpsiyon daha yüksek olmaktadır ve fotonların enerjisinin düşük olduğu durumlarda etkileşim baskın bir modda oluşmaktadır Debertin ve Helmer (1988).

2. Compton saçılması: Compton saçılması gama ışınının elektron ile doğrudan olarak etkileşimidir. Elektronla gama ışınının etkileşmesi ile elektrona bir momentum aktarılır ve gama ışınımı gerçekleştirir. Elektrona aktarılan enerji, gelen gama ışınının enerjisi ile yayılan gama ışınının enerjisinin farkı kadardır. Bu olayda gelen gama ışınının doğrultusu ile bir açı yapacak şekilde elektron ve gama ışını saçılması gerçekleşir. Fotonun saçılması 0° ile 180° arasında olabilir. Eğer fotonun saçılma açısı $\theta = 0^\circ$ ise maksimum enerji iletilmektedir. Diğer uç durumda ise $\theta = 180^\circ$ de, gama enerjisinin bir kesiri yani minimum enerji miktarı saçılan elektrona aktarılmaktadır. Elektrona aktarılan enerji bu iki uç durum arasında gerçekleşir Gilmore ve Hemingway (1995).

3. Çift oluşumu: Bu etkileşme sırasında, gelen yüksek enerjili gama ışını bir elektron ve pozitron çiftinin oluşumuna sebep olmaktadır. Bu olayın gerçekleşmesi için, gelen gama ışınının enerjisinin minimum $1,022\text{MeV}$ olması gerekmektedir Delaney ve Finch (1992). Eğer gelen gama ışınının enerjisi $1,022\text{MeV}$ 'den büyükse geriye kalan enerji, elektronun ve pozitronun kinetik enerjisi olmaktadır. Pozitron, enerjisini kaybetmesine yakın, bir elektronla çarpışarak iki tane $0,511\text{MeV}$ 'lik gama ışını oluşturur. Bu olayda ise pozitron ve elektron yok olmaktadır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 : Çift oluşumu Delaney ve Finch (1992).

Çift oluşumu sonrasında ortaya çıkan gama ışınları, Compton saçılması ile ortamdan kaçabilir veya fotoelektrik olay ile enerjilerini detektöre depolayabilirler.

Fotoelektrik olayda olduğu gibi çift oluşumunun gerçekleşmesi için, yani momentum korunumunun sağlanması için, olayın bir atom içerisinde gerçekleşmesi gerekmektedir Gilmore ve Hemingway (1995).

2.2.5.2 Gama radyasyonunun ölçülmesi

Bir gama fotonu katı bir detektör materyaline girdiğinde bir dizi olay gerçekleşebilmektedir. Foton defalarca Compton saçılması yapabilir, her bir saçılmadan sonra enerjisinin bir kısmını kaybedip bir serbest elektron üretebilir. Foton şu iki olaydan birini gerçekleştirebilir; Compton saçılmasına devam eder, sonunda enerjisi o denli fazla azalır ki fotoelektrik olay olur ya da kristalin kenarına çok yaklaşır ve kristalin dışına çıkar. Detektör tarafından soğurulan enerji, detektöre giren fotonun enerjisine eşittir (Krane, 2001).

Gama ışını ölçüm sistemleri yarı iletken detektör ve üretilen darbeleri şekillendiren ve toplayan elektronik sistemlerden oluşur. Spektrumlardaki pikleri belirlemek, sayım hızlarını hesaplamak, ölü zaman düzeltmesi yapmak ve elektronik dolayısıyla olan kayıpları belirlemek için bilgisayar programları kullanılır. Detektör olarak, NaI(Tl) sintilasyon detektörleri, Ge(Li), yüksek saflıkta Ge, ve Si(Li) yarıiletken detektörler kullanılabilir. Bu detektörlerin birçoğu aynı zamanda elektronlar ve ağır yüklü parçacıklar saymak için kullanılır Debertin ve Helmer (1988). Bu detektörlerin çalışma süreçlerinin içeriği:

-Fotonik soğurulma (absorbition) ile foton enerjisinin elektronların (ve pozitronların) kinetik enerjisine dönüşümü, Compton saçılması ya da çift oluşumu;

-Elektron-iyon, elektron-boşluk çiftlerinin ya da bu elektronlar vasıtası ile uyarılmış moleküler seviyenin oluşması,

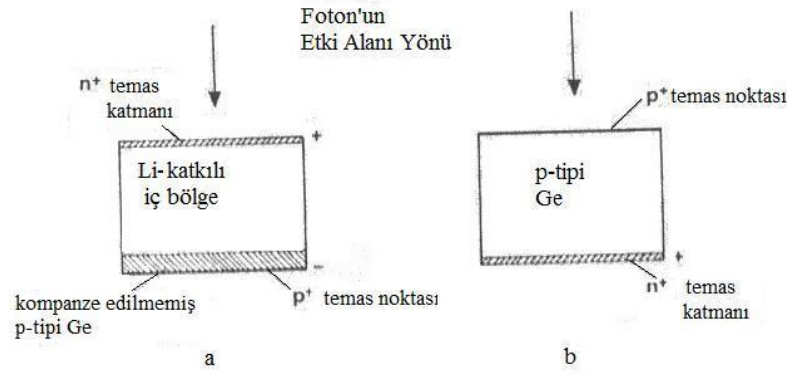
-Yük taşıyıcıların birikmesi ve ölçülmesi ya da moleküler seviyelerin uyarılmış halden uyarılmamış hale geçmeleri esnasında yayımlanan ışığın ölçülmesi

şeklinde olmaktadır. Bir kaynak tarafından yayımlanan foton spektrumu, genellikle bir grup foton tarafından meydana getirilir, her bir grup monoenerjiktir Debertin ve Helmer (1988).

Gama ışın spektrometresinde kullanılacak detektörlerin etkileşim bölgelerinin çok daha geniş olması istenir. Germanyum detektörleri bu amaç için tasarlanmış detektörlerdir. Etkileşim bölgesinin genişliğinin artması belirli bir voltaj için ancak

net safsızlık konsantrasyonu'nun azaltılması ile gerçekleştirilir. Bu amaçla uygulanan yöntemlerden biri, daha ileri düzeyde saflaştırma tekniklerinin kullanılarak safsızlık konsantrasyonu'nu 10^{10} atom cm^{-3} mertebesine indirmektir. Böyle bir kristalde etkileşim bölgesinin kalınlığı 1000 V altındaki besleme voltajı için 10mm civarında olacaktır. Ultra saf germanyumdan üretilen detektörlere yüksek saflıkta germanyum (High Purity Germanium-HPGe) detektörleri denir. Net safsızlık konsantrasyonunun azaltılmasında kullanılan ikinci yaklaşım, bu safsızlıkların eşit konsantrasyonda zıt yüklü verici atomların ilavesi ile dengelenmesidir. Alıcı ya da verici atomlar arasındaki en ufak bir farkta kristal n ya da p tipi olarak davranacaktır. (Bor, 1988).

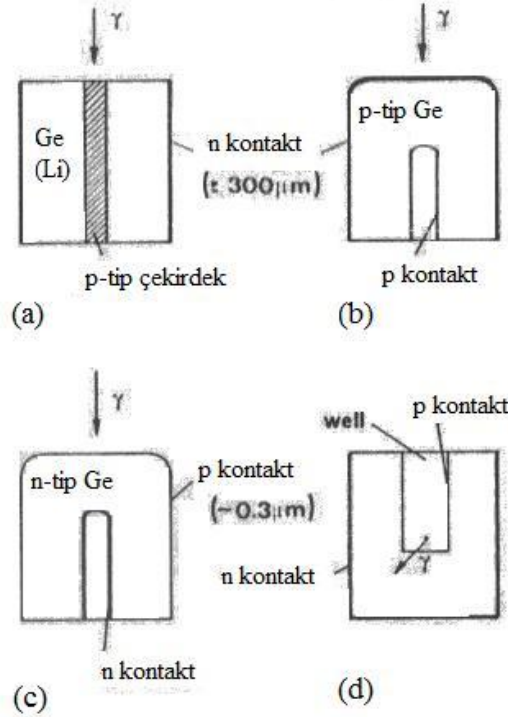
Bir gama detektörü elde etmek için p-tipi germanyum kristalinin bir yüzeyine lityum nüfuz edilerek ince bir n-tabakası oluşturulur. Nüfuz eden lityum aracılığı ve kristale ters akım uygulanarak yapay, saf bir bölge oluşturulur. Bu bölgeye duyarlı bölge denir, dışarıdan gelen iyonlayıcı radyasyon bu bölgede elektron boşluk çifti oluşturur. Yükler elektrik alan yardımı ile elektrotlarda toplanır. Bu tip detektörler lityum katkılı germanyum, Ge (Li), detektörler olarak isimlendirilirler (Şekil 2.19).



Şekil 2.19 : (a) Ge(Li) detektör; (b) p-tipi yüksek saflıktaki Ge detektör Debertin ve Helmer (1988).

Lityum iyonlarının hareketi oda sıcaklığında artacağı için detektör bozulabilir; bunu engellemek amacı ile taşınma sırasında bile sıvı azot sıcaklığında saklanmalıdırlar. Yüksek saflıkta germanyum kristalini (High Purity Germanium Detector) doğrudan detektör olarak kullanılması mümkündür. Saf germanyum detektör penceresi enerjisi düşük γ ve X-ışınlarının girebilmesi için, çok ince olmalıdır. Al pencereleli detektörlerle ancak 40 keV'e kadar inen enerjilerde γ -spektroskopisi yapılabilir. Be pencereleli detektörlerle, Be'un alçak enerji seviyelerindeki düşük yutma katsayısından

dolayı 5 keV'e kadar olan düşük enerjilerde γ -tayf ölçümü yapılabilir. HPGe detektörler planar, koaksiyel ya da u tipi (Şekil 2.20) olarak tasarılabilir (Parry, 1991).



Şekil 2.20 : Çeşitli Ge ve Ge(Li) detektörleri: (a) açık uçlu koaksiyel Ge(Li); (b) kapalı uçlu koaksiyel p-tipi; (c) kapalı uçlu koaksiyel n-tipi; (d) kuyu tipi detektör (Parry, 1991).

2.2.5.3 Düşük seviyeli radyoaktivite ölçümleri

Radyoaktivite ölçümlerinde genelde her bir radyonüklidin tanımlanabilmesi tercih edilir; malzemelerdeki radyoaktiviteden kaynaklanan herhangi bir ışıma olasılığına karşın, her bir radyonüklid'in spesifik ölçümleri gerekli olur ISO (2005). Toprak örneklerinde mevcut gama yayıcı radyonüklidler, enerji analizine ve gama radyasyonlarının tam enerjili piklerinin, pik alanlarını baz alan gama spektrometri yöntemi ile belirlenir. Bu yöntem radyonüklidlerin tespit edilmesi ve miktarlarının belirlenmesini sağlar. Detektörlerin doğası ve geometrisi, örneklerde de olduğu gibi uygun enerji ve verim kalibrasyonu gerektirir.

Düşük seviyeli radyoaktivite ölçümüne uygun bir gama spektrometri donanımları genellikle aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Soğutma sistemli yarı iletken detektör (sıvı azot, kriyojenik düzen),

- Çevredeki radyasyona karşı kurşun ve/veya diğer malzemeleri içeren bir zırh,
- Uygun elektronik ekipmanlar (yüksek voltaj güç kaynağı, sinyal yükseltici sistem, analog-dijital dönüştürücü),
- Çok kanallı analizör,
- Ölçüm tayfını gösteren ve veriyi işleyen kişisel bilgisayar.

Çoğunlukla, kullanılan yarı iletken detektörler yüksek saflıkta germanyum kristallerinden yapılır. Yüksek enerjili fotonları ölçmek için geniş hacimli p-tipi koaksiyel detektörler ya da hem yüksek, hem de düşük enerjili radyasyonu algılamak için n-tipi koaksiyel detektör kullanmak daha doğrudur (ISO, 2007a).

Doğal radyoaktivite seviyesindeki ölçümlerde, ultra düşük seviyede ölçüm ekipmanları kullanmak avantajlıdır. Örneğin, detektör ve zırh materyali ortam aktivitesini en düşük seviyede algılamayı sağlayacak şekilde seçilmelidir. Çok düşük gürültülü elektronik sistemler preamplifikatör ve amplifikatörden oluşur. Zırh, odanın tüm duvarlarından yeterince uzakta olmasına müsade edecek kalınlıkta, detektör ise zırhın merkezine yerleştirilmiş olmalıdır. Detektör zırhı, binanın yapı materyallerinden kaynaklanan aktiviteyi ve odada havadaki radon konsantrasyonunu en düşük seviyede tutmaya imkan sağlayacaktır. Ölçüm gereçlerini duvarlarla arasında olabildiğince boşluk kalacak şekilde odanın ortasında yükseğe yerleştirilmelidir.

Ölçüm odasındaki güçlü bir vantilatör ortam aktivitesi seviyesini dengelemeye yardımcı olabilir. Diğer taraftan, vantilatör toprağın ısınmasının bir sonucu olarak, aşırı radon taşıyan hava içeri girdiğinde sorun yaratabilir. Zırhın iç tarafını azot ile doldurmak her zaman yararlıdır (ISO, 2007a).

Detektör performansının belirlenmesini sağlayan temel karakteristikler şunlardır:

- a. İki komşu piki ayırmayı mümkün kılan enerji çözünürlüğü (enerji pikinin yarı yüksekliğindeki tam genişlik (FWHM));
- b. Yayınlanan fotonların miktarına bağlı olarak, tam enerjili pikte bulunan fotonların miktarını veren mutlak verim;
- c. Peak-Compton oranı (ISO, 2007b).

^{60}Co izotopunun 1332,51 keV enerjili piki için yarı yüksekliğindeki tam genişliği 2,2 keV ve ^{137}Cs radyoizotopunun 662 keV enerjili piki için pik/Compton oranı 50 ile 80 arasında olan detektörler yüksek performanslı dedektörlerdir (ISO, 2007b).

Topraktaki gama radyoaktivitesinin ölçümü için gama spektrometrisine uygun örnek taşıyıcı kaplar kullanılmalıdır. Bu kaplar:

- Düşük gama soğurucu özellikteki maddelerden yapılmış olmalıdırlar;
- Maksimum verim için detektörün şekline uygun hacimde olmalıdırlar;
- Su geçirmez olmalı ve örnek bileşenleri ile reaksiyona girmemelidirler;
- Doldurma işlemini kolaylaştırmak için uzun ve hava geçirmez olmalıdırlar;
- Kırılmaz olmalıdırlar.

Enerji kalibrasyonu, farklı enerjilerdeki radyonüklid kaynakları ya da birçok radyonüklid karışımını kapsayan kaynakların kullanılması ile yapılır. Enerji kalibrasyonu, analizörün kanal numaraları ile fotonların enerjisi arasındaki ilişkinin kurulmasını sağlar. Bu kapsamda genellikle çok kanallı analizörün kanal skalasını otomatik olarak enerji skalasına dönüştüren ve gelecek analizler için yararlı olabilecek bilgileri kaydeden yazılım kullanılır. Ayrıca enerji kalibrasyon spektrumunu kullanarak enerji pikinin yarı yüksekliğindeki tam genişliği, gama enerjisinin bir fonksiyonu olarak belirlenebilir (ISO, 2007b).

Detektörün enerji kalibrasyonu, detektöre giden partikül enerjisinin hangi kanalda depolandığını belirleyen

$$E = a_1 + a_2C + a_3C^2 \quad (2.10)$$

denklemini elde ederek yapılır. Bu denklemdeki a_1 , a_2 , a_3 sabitleri enerjisi bilinen radyoaktif kaynakların spektrumlarının ölçülmesi ile belirlenir. Birçok kaynaktan gelen sayımlar kaydedilir, böylece geniş bir enerji aralığında gelen radyasyonunun enerjisi ayırt edilebilir. Gelen pikin enerjisi ve o pikin algılandığı kanal numaraları kullanılarak, en küçük kareler yöntemi ile spektrumun enerji kalibrasyon denklemi elde edilir.

Verim kalibrasyonu, Monte Carlo tekniklerini ve transport teorisi hesaplamaları ile yapılabilir. Alternatif olarak farklı yayılım hatları veya çoklu radyonüklid kaynaklarına sahip olan radyonüklid kaynağı kullanılarak da yapılabilir. Bu

kalibrasyon, detektörün algılama veriminin, radyasyonun enerjisinin bir fonksiyonu olarak oluşturulmasını sağlar.

Örnek ölçüm koşulları, gama spektrometri sistemini kalibre etmekte kullanılan ölçüm koşulları ile aynı olmalıdır. Bu nedenle de kalibrasyon kaynağı, örnek ile aynı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmalıdır. Bu şartlarla E enerjisindeki verim aşağıdaki denklem (2.11) ile hesaplanabilir:

$$\varepsilon_E = \frac{n_{N_s,E} / t_S}{A \cdot P_E} \quad (2.11)$$

$n_{N_s,E}$: E enerjili, pikin net alanındaki bozunum sayısı,

t_S : Kalibrasyon spektrumu ölçüm süresi (s),

A : Kalibrasyon zamanında, kalibrasyon kaynağındaki radyonüklidin aktivitesi,

P_E : Radyonüklidin, E enerjisinde gama radyasyonu yayılım olasılığı (%).

Örneğin fiziksel ve kimyasal doğası (kimyasal bileşim, hacim yoğunluğu) verim kalibrasyonu koşullarından farklı olduğu zaman, gama radyasyonunun öz soğurulması (self absorption) için bir doğrulama yapılabilir (ISO, 2007b).

2.2.6 Serpinti radyonüklidleri yönteminde kullanılan dönüşüm modelleri

Ekili ve ekili olmayan topraklardaki toprak taşınma miktarını serpinti radyonüklidleri yöntemi ölçümleri ile belirleyebilmek için altı teorik model geliştirilmiştir. Basit orantılı modelden, daha karmaşık olan kütle dengesi modeline kadar değişen ve topraktaki serpinti radyonüklidleri profillerindeki dağılımı tanımlayan anahtar süreçleri içeren bu modeller :

1. Orantılı model (proportional model)
2. Basit kütle dengesi modeli ya da kütle dengesi modeli 1 (mass balance model1) (simplified)
3. Kütle dengesi modeli 2 (mass balance model 2)
4. Kütle dengesi modeli 3 (mass balance model 3)
5. Kesite göre dağılım modeli (profile distribution model)
6. Difüzyon ve göç modeli (diffusion and migration model)

olarak isimlendirilmektedir. İlk dört model ekili topraklar için, diğer iki model de ekili olmayan topraklar için uygulanabilir Walling ve He (1999), Walling ve He (1996).

⁷Be radyonüklidi ile toprak taşınma miktarının belirlenmesinde bu radyonüklidin kısa yarı ömrü, toprağın derinlerine nüfuz etmesine imkan vermediğinden, bu yöntem ancak işlenmemiş topraklarda kullanılabilir. Bu tür topraklardaki serpinti radyonüklidinin derinlemesine dağılımı, radyonüklidin toprak işleme derinliği içinde karıştığı, işlenmiş (ekili) topraklardan çok belirgin farklıdır. Birçok durum için radyonüklidin işlenmemiş kararlı topraklarda derinlemesine dağılımı, üstel bir değişim gösterir. Topraktaki ⁷Be'nin ekspanansiyel derinlik dağılımı, kütle derinliği x (kg m^{-2}) ve x kütle derinliğindeki berilyumun kütle aktivite yoğunluğu C_x (Bq kg^{-1}) olmak üzere aşağıdaki denklemle temsil edilebilir:

$$C_x = C_0 e^{-\frac{x}{h_0}} \quad (2.12)$$

Bu denklemde, C_0 yüzeydeki toprağın ($x=0$ 'daki) başlangıç kütle aktivite yoğunluğu ve h_0 , C_x değerini C_0 değerinin $1/e$ değerine düşüren gevşeme kütle derinliğidir (kg m^{-2}) (Sepulveda vd, 2008; Walling vd, 2009).

Referans alansal aktivite yoğunluğu A_{ref} (Bq m^{-2}), çalışma alanındaki erozyona uğramamış kararlı bir bölgedeki başlangıç toplam alansal aktiviteyi temsil eder; aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir:

$$A_{ref} = A_0 = \int_0^{\infty} C_x dx = h_0 C_0 \quad (2.13)$$

Bu nedenle, başlangıç dağılımı göz önüne alınırsa, x kütle derinliğinin aşağısındaki alansal aktivite yoğunluğu A_x (Bq m^{-2})

$$A_x = \int_x^{\infty} C_x dx = A_{ref} e^{-\frac{x}{h_0}} \quad (2.14)$$

denklemlerle ifade edilebilir:Gevşeme kütle derinliği h_0 , toprağın içindeki berilyumun alansal aktivite yoğunluğu (2.14) ve kütle aktivite yoğunluğunun (2.12) başlangıçtaki derinlik dağılımının şeklini açıklar. (2.14) numaralı denkleme göre gevşeme kütle derinliği değerinin aşağısında bölgesel aktivite yoğunluğu:

$$A(h_0) = 0,368A_{ref} \quad (2.15)$$

gibi yazılabilir. Bu nedenle, berilyum'un toplam alansal aktivite yoğunluğunun %63,2'si toprak tabakasının sıfır ile h_0 kısmı arasında mevcuttur. Bu nedenle h_0 değeri ne kadar yüksek olursa, radyonüklidin toprağa nüfuz etmesi o kadar fazla olur. Referans bölgedeki her bir örnek alma yeri için $A(x)$ değeri hesaplanabilir. Eşitlik (2.3)'ün logaritması alınarak, x ve $\ln[A(x)]$ 'in lineer regresyonu ile referans alanın alansal aktivite yoğunluğu A_{ref} ve h_0 belirlenir Sepulveda ve diğ. (2008).

Bir örnekleme noktasındaki toprak kaybının tahmin edilmesi için, erozyonun örnekleme noktasından R kütleli derinlikte (kg m^{-2}) ince bir tabaka ayırdığı ve bu değer erozyona uğramış bölgede geriye kalan alansal aktivite yoğunluğu A (Bq m^{-2}) değerinin, A_{ref} değerinden daha düşük olmasından yararlanır. Birim alanda erozyona uğrayan toprak kütlesi R , ayrılan kütleli derinliğine eşittir. Eşitlik (2.14)'de $x=R$ yazıldığında, örnekleme noktasında geriye kalan alansal aktivite yoğunluğu aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$A = A_R = A_{ref} e^{-\frac{R}{h_0}} \quad (2.16)$$

Örnekleme noktasındaki erozyona uğramış birim alandaki toprak kütlesi R ,

$$R = h_0 \ln\left(\frac{A_{ref}}{A}\right) \quad (2.17)$$

denklemleriyle hesaplanır (Walling, 2009).

Toprak taşınması miktarının belirlenmesi için gereken h_0 gevşeme kütle derinliği ve A_0 toprak yüzeyindeki alansal aktivite yoğunluğu, ^7Be 'nin derinlemesine dağılımını veren ölçüm sonuçlarının

$$A(x) = (A_0) e^{(-x/h_0)} \quad (2.18)$$

üstel denkleme uygunlaştırılmasıyla elde edilir. Bu denklemdeki $A(x)$ farklı derinliklerdeki alansal aktivite yoğunluğu ve x kütle derinliğidir. Denklem doğal logaritması alınarak elde edilen

$$\ln(A(x)) = \ln(A_0) + e^{(-x/h_0)} \quad (2.19)$$

denklemini, ölçüm sonuçları için oluşturularak, lineer regresyon yapılır. Elde edilen doğru denkleminin katsayıları, h_0 gevşeme kütle derinliği ve A_0 toprak yüzeyindeki alansal aktivite yoğunluğu değerlerini temsil eder.

^7Be yaklaşımının büyük bir sınırlaması, onun tek tek sonuçlarındaki sınırlandırmalar veya kısa süreli yoğun yağmurlardır. Bu sınırlandırmanın önemi, yağış süresinin ilerleyerek artışı içerir, basitleştirilmiş bir varsayımsal örnek ile gösterilebilir. ^7Be içeren radyoaktif yağış girdisi ile ilişkili ve belirli bir erozyon miktarında oluşan, ^7Be seviyesi, radyoaktif bozunma sonucu daha önce bilinen değer altına düşer, uzun bir kuraklık süresini takip eden yağışlı bir mevsimde, her hafta düzenli olarak gerçekleşen yağış olduğunda, her haftanın sonunda toprakta var olan ^7Be miktarı, 2.12 ve 2.17 numaralı eşitlikleri ile hesaplanabilir. Her haftanın sonunda toprakta oluşan ^7Be miktarı, standart veya sonradan var olan yaklaşımı kullanarak, yağışlı mevsimin başlangıcından son değeri temsil eden zamana kadar geçen süre ile ilişkili olan toplam erozyonun tahmin edilmesi için kullanılabilir. Bu değerleri bütün yağış olayları için belirtilmiş erozyonun toplam değeri ile karşılaştırmak, var olan ^7Be yaklaşımını daha uzun bir periyoda uygulama sırasında karşılaşılan hataları göstermeyi sağlar Walling ve diğ. (2009).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında ^7Be radyonüklidi ile serpinti radyonüklidleri yöntemi kullanılarak İTÜ Göleti yakın çevresinde toprak taşınması incelenmiştir. İTÜ Göleti ve yakın çevresinde bu amaca yönelik olarak çeşitli referans ve bütün örnekler alınmış, ideal yöntemlerle ölçüme hazırlanmış ve düşük seviyeli radyasyon ölçüm sisteminde radyoaktiviteleri ölçülmüştür. Çalışılan bölge, deneysel çalışmalarda kullanılan yöntemler ile ilgili bilgiler aşağıdadır.

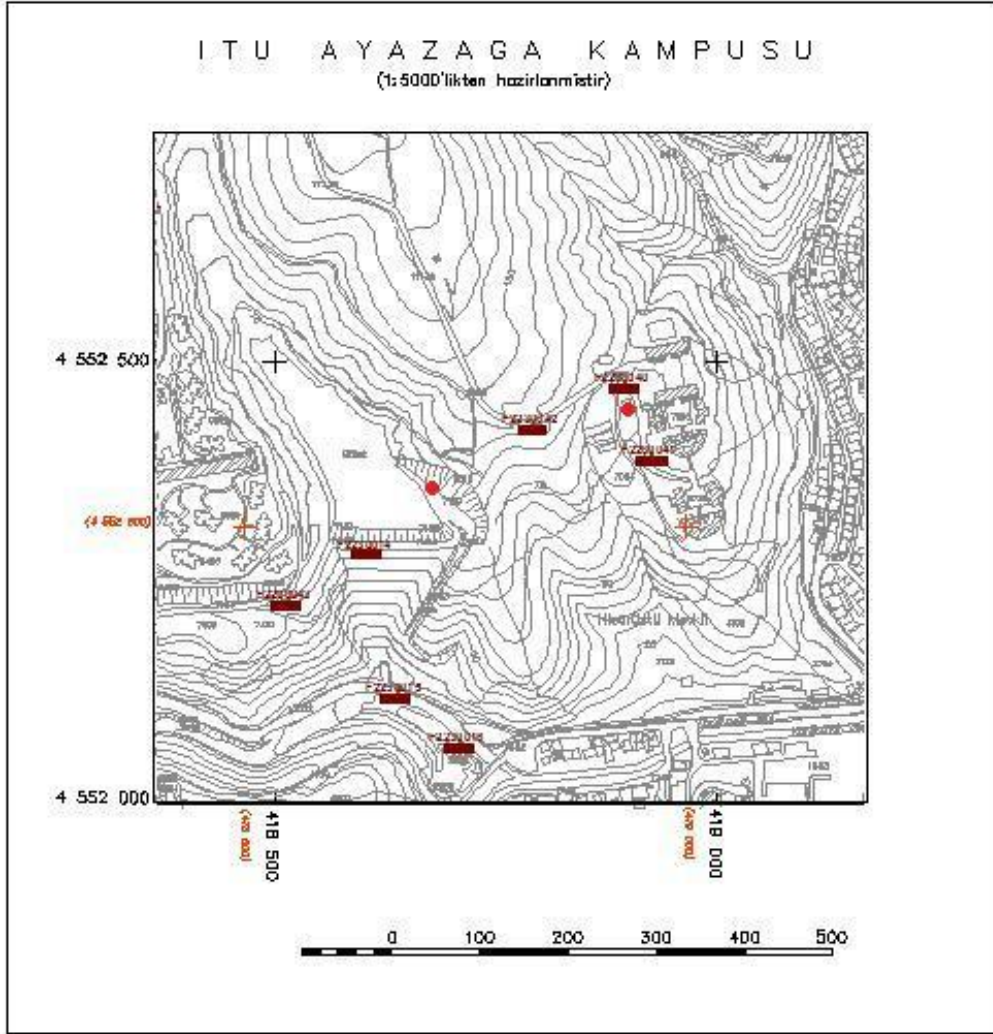
3.1 Saha Çalışmaları

1970'lerden başlayarak Ayazağa'da gelişmeye başlayan geniş kampüs içinde Rektörlük yönetim binaları ile birlikte fakülteler ve enstitüler bulunmaktadır. İTÜ Ayazağa Kampüsünde büyük bir gelişme süreci yaşanmaktadır (Url-6). Şekil 3.1'de görülen İTÜ Göleti sulama amacı ile yapılmış yapay bir gölettir ve kampüs hayatı içerisinde önemli bir yeri vardır Balcı ve diğ. (2009). Gölet çevresindeki toprak taşınması miktarının belirlenmesi göletin ömrü açısından ve buna bağlı olarak ekolojik hayat için önemlidir.



Şekil 3.1 : İTÜ göleti (Url-7).

Şekil 3.2’de İ.T.Ü. göleti ve çevresinin topoğrafik haritası görülmektedir. Saha çalışmaları bölgede toprak taşınması miktarını belirlemek amacı ile çalışılan alanda eğimli alan ve onu temsil eden referans alanlardan örnekler alınması ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2 : İTÜ Ayazağa yerleşkesi (Coşkun, 2009).

3.1.1 Saha Seçimi

Gölet İTÜ ayazağa kampüsünün güneydoğu kesiminde yer almaktadır. İstanbul için yıllık ortalama sıcaklık değeri 12,8°C dir. Yağış verileri bilinen ve çalışma alanına en yakın istasyon Kireçburnu için toplam yağış değeri 822,3mm’dir (Url-8). Gölet bölgesinin büyük bir kısmı ormanlık alanla kaplıdır. Bölgenin doğu ve güneydoğu bölgesi oldukça eğimlidir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Gölet çevresindeki eğimli alanlardan görüntüler.

Toprak taşınması miktarının belirlenmesi amacı ile serpinti radyonüklidleri tekniği kullanılırken, toprak profili belirlenmesi ve referans radyoaktivite envanteri oluşturmak öncelikle gereklidir. Böylelikle bu bilgiler ışığında arazinin özelliklerine, yapısına göre dönüşüm modelleri aracılığı ile toprağın taşınma miktarı belirlenebilir. İTÜ Göleti çevresini temsil etmek üzere gölete 300 m mesafede yer alan İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü bahçesinden, bu amaca yönelik olarak seçilen iki farklı çalışma sahası için serpinti radyonüklidleri dönüşüm modellerinde referans alan kesit, referans alan bütün ve eğimli alan verilerini oluşturabilecek alanlar belirlenmiştir.

3.1.2 Referans alan

Serpinti radyonüklidleri metodu ışığında belirlenen işlenmemiş referans alanı, göletin eğimli bölgesi üstündeki Ayazağa yerleşkesi ormanlık alanını gölete bağlayan düzlük alan ile göletin tepe kısmında yer alan Enerji Enstitüsü arka bahçesinde seçilen düzlük alan oluşturmaktadır. Şekil 3.5'te görüldüğü üzere İSKİ çalışanları tarafından revize edilerek imal edilmiş olan DTOT kullanılarak, doğal yapısı bozulmamış bölgeye ait referans kesit ve bütün örnekleri toplanmıştır. Oluşturulan DTOT literatürde kullanılan farklı olarak 30 cm çap yerine ancak 8,5 cm çapında yapılabilmektedir; bu da alınan örnek kütlelerinin miktarını azaltmaktadır IAEA (2008). Bu nedenle aynı kesiti temsilen, daha çok sayıda kesit alınarak birbirine eklenmiştir. Ayrıca kesit örneklerin literatürdeki uygulamalara benzer şekilde 2 mm kalınlıkta alınması, örneklerin dağılması nedeniyle tercih edilmemiştir. Referans kesit örnekler Enerji Enstitüsü bahçesinden 2 cm derinlikten 0,5 cm kalınlıkta, 8,5 cm çapındaki DTOT ile alınmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : DTOT ile alınmış 0,5cm için kesit toprak örneği.

İncelenecek örnek kütlesi miktarını arttırmak amacıyla, Enerji Enstitüsünden 9.10.2009 tarihinde bir merkez çevresinde seçilen 4'ü bir dörtgen oluşturacak 3'ü üçgen oluşturacak şekilde noktalardan toplamda 7 adet örnek alınmıştır. 10.11.2009 tarihinde ise 6 adet noktadan altıgen oluşturacak şekilde ve 4 adet noktadan dörtgen oluşturacak şekilde, toplamda 10 adet alınmıştır (Şekil 3.5). Her alınan 2 cm derinlikteki örnek için aynı derinlikteki 0,5 cm'lik örnekler birbirine katılmıştır.



Şekil 3.5 : Enerji Enstitüsünden alınan kesit örnekler.

Referans bütün örnekler ise, 2 cm derinlikten 7,5 cm çapında metal halkalar yardımı ile alınmıştır. Referans kesit örnekleri ve kesit ve bütün toprak örneği alınmasında kullanılan ekipmanlar Şekil 3.6’da görülmektedir.

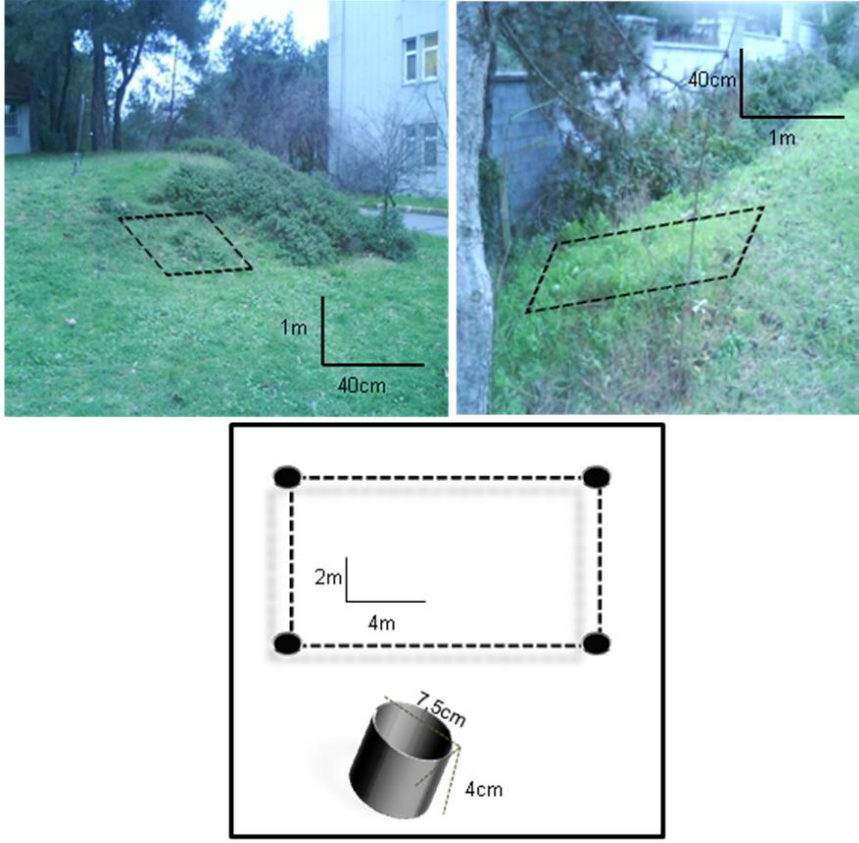


Şekil 3.6 : Referans kesit örnekleri ve kesit ve bütün örneklerin alınmasında kullanılan ekipmanlar.

Hacim ağırlığının belirlenmesi için 10 cm derinlikten 7 cm çapında 4 örnek alınmıştır.

3.1.3 Eğimli alan

Toprak taşınma miktarını serpinti radyonüklidleri yöntemiyle belirlemek için Enerji Enstitüsü bahçesinden iki ayrı eğimli alandan 2 cm derinlikten 8 adet örnek toplanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Çalışılan eğimli bölgeler ve örnekleme metotları.

3.2 Laboratuvar Çalışmaları

Serpinti radyonüklidleri yöntemiyle çalışmalar için toprak örnekleri Nükleer Kimya Örnek Hazırlama Laboratuvarında ölçüm için hazırlanmış ve radyoaktivite ölçümleri Düşük Seviyeli Radyasyon Ölçümleri Laboratuvarındaki gama spektroskopik ölçüm sisteminde yapılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : İTÜ Enerji Enstitüsü Düşük Seviyeli Radyasyon Ölçümleri Laboratuvarı.

3.2.1 Gama spektrometresi donanımları

Gama spektroskopik ölçüm sistemi ORTEC firmasına ait n-tipi, dikey kriyostatlı, koaksiyel gama detektörü (GAMMA-X HPGe), dijital sinyal üreten entegre gama spektrometresi (DSPEC jr. 2.0), içi ince bakır tabakasıyla kaplı 10 cm kalınlığında kurşun zırh ve detektörün yerleşim düzeneği, GAMMA VISION-32 spektrum analiz yazılımı ve bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 : Kurşun zırh, detektör ve detektörün yerleşim düzeneği.

Detektörün boyutları ve soğurucu yüzeyleri ile ilgili veriler Çizelge 3.1’de, detektörün performans özellikleri ise Çizelge 3.2’de görülmektedir. Elektrik kesintilerinden etkilenmemesi için sisteme kesintisiz güç kaynağı bağlıdır. Laboratuvar ortam sıcaklığı klima sistemi ile sabit tutulmaktadır.

Çizelge 3.1 : Detektörün boyutları ve soğurucu yüzeyleri.

Detektör çapı (mm)	Boyutları		Soğurucu Yüzeyler	
	Detektör uzunluğu (mm)	Detektör-çeper uzaklığı (mm)	Karbon fiber (mm)	İnaktif germanyum (μ m)
61,5	71,1	4	0,76	0,3

Çizelge 3.2 : Detektörün boyutları ve soğurucu yüzeyleri.

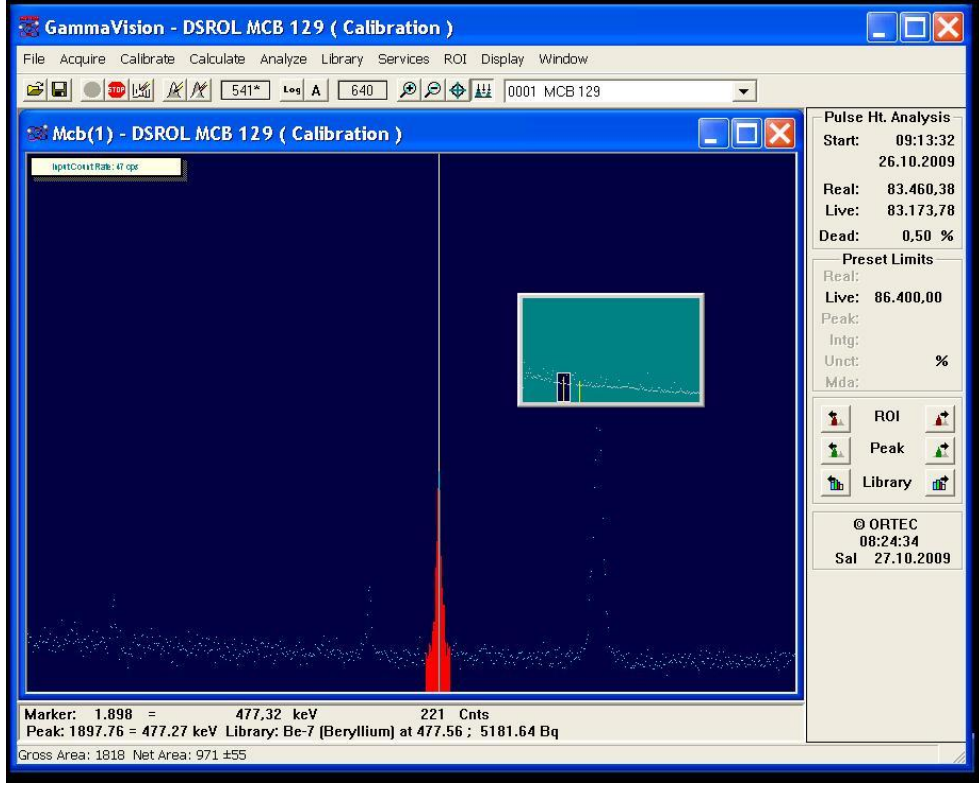
	Ölçülen	Darbe şekillendirme süresi (μ s)
Çözünürlük (FWHM) 1,33 MeV ^{60}Co	1,84 keV	6
Pik-Compton Oranı	66:1	6
Göreceli Verim 1,33 MeV ^{60}Co	%45,7	6
Pik Şekli (FWTM/FWHM) ^{60}Co	1,90	6
Pik Şekli (FWFM/FWHM) ^{60}Co	2,58	6

Ölçüm süresi sistemden optimum sonuç almak amacı ile uzun tutulmuştur; alınan örneklerin miktarının çok olmaması ve gama spektroskopik sistemin algılama verimi dikkate alınarak ölçüm için hazırlanmış örnekler 15 ve 24 saat süre ile sayılmışlardır.

3.2.2 Gama spektrum analizi

Gamma Vision programı ile spektrum analizi, FWHM, sayım belirsizlikleri, net pik alanı ve ilgili spektrumdaki tüm pikler için net sayım değerleri bir liste olarak raporlama işlemi ile gerçekleştirilmiştir. Her gama ışını enerjisi için bir radyonüklid aktivitesi ve her enerji piki için minimum ölçülebilir aktivite program kütüphanesinde mevcutsa, örnekteki radyonüklidlerin ortalama aktivitesi de rapora eklenebilir. Uygun olmayan pikler bu nedenle aktivite hesaplamalarında kullanılmamaktadır.

Programın spektrum dosyası analiz parametrelerini, kullanıcı girişlerini, pik listesini ve spektrumda bulunan radyonüklidleri raporlamaktadır. Programın spektrumu analizlemesi sonucu RPT uzantılı rapor dosyası ve UFO uzantılı binary çıktı üretilmektedir (Ek A.1). radyoaktivitesi ölçülen bir yüzey toprağı için RPT uzantılı rapor dosyası görülmektedir. Yüksek çözünürlükteki gama spektroskopik ölçüm sisteminde Gamma Vision 32 yazılımının analiziyle elde edilen spektrum örneğı Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10 : GammaVision programı ile analizi yapılmış ^7Be ye ait pik.

3.2.3 Örneklerin ölçümlere hazırlanması

Örnek alınması uygun görülmüş olan bölgelerden alınan örnekler cam kristalizuar ve beherlere aktarılarak 105°C 'da etüvde (Heraus) yaklaşık 12 saat süre ile kurutulmuştur. Kurutulan toprak örnekleri porselen havanlarda öğütülerek, 2 mm delik çapında çelik (Retch) elek ile elenmiş ve ölçüme hazır hale getirilip, etil alkol ile temizlenmiş olan silindirik silindirik kaplara doldurularak kapatılmış ve tartılmışlardır (Sartorius).

3.2.4 Örneklerde nem ve hacim ağırlığı işlemleri

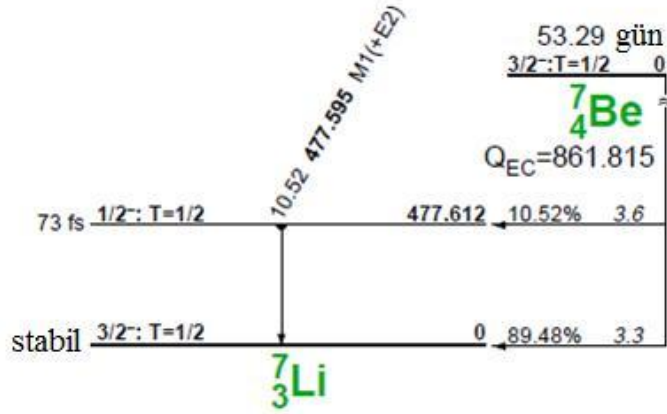
Toprağın neminin tayini için örneklerin aktarıldığı kaplar tartılmış ve bu değerler ile toplam ölçülen kütle değeri arasındaki fark alınarak, kurutmadan önceki (ıslak hacim) kütle ve etüvde 105°C de kurutulduktan sonraki kütleler ölçülmüştür.

Doğal strüktürü muhafaza eden örneklerin içerdiği toprağın 105°C 'deki kütlesi tespit edilmiştir. Silindir hacmi belli olduğundan, 400 cm^3 örneğin fırın kurusu kütle, hacme bölünerek hacim ağırlığı g cm^{-3} olarak tayin edilmiştir (Özyuvacı, 1976).

3.2.5 Gama spektroskopik ölçümler

Gama spektroskopik ölçüm sisteminde kanal aralığı 8K ve istatistiksel güvenli seviye 2σ olmak üzere ayarlanmıştır. Örnek radyoaktiviteleri düşük olduğu için ölçümler sırasında ölü zaman %2'yi geçmemiştir.

Toprak taşınması miktarının ${}^7\text{Be}$ serpinti radyonüklidi ile belirlenmesi için, gama spektroskopik ölçüm sisteminde toprak örneklerindeki ${}^7\text{Be}$ radyonüklidinin 53,29 gün yarı ömürlü, 477,612 keV enerjili fotopikinden yararlanılmıştır. ${}^7\text{Be}$ 'nin nükleer özelliklerini içeren bozunum enerji seviyeleri diyagramı Şekil 3.11'de görülmektedir Lederer ve Shirley (1978).



Şekil 3.11 : ${}^7\text{Be}$ 'nin ${}^7\text{Li}$ 'ye bozunum enerji seviyeleri diyagramı Delaney ve Finch (1992).

Örneklerin ölçüldüğü kabın geometrisi sayımı etkilemektedir. Her durumda en uygun kapları kullanmak mümkün olmadığından, örneklerin el verdiği en uygun geometride sayım yapılmaktadır. Fakat sonuçların doğruluğunu sağlamak ve geometrinin etkisini belirlemek için geometri faktörünü hesaplamak gereklidir.

Bu çalışmada geometri etkisini hesaplamak amacı ile Uluslararası Atom Enerji Ajansı'ndan temin edilmiş olan toz haldeki topraktaki radyonüklidler standardı (International Atomic Energy Agency, Soil-6) standart kullanılmıştır. Standart Marinelli kabına aktarılıp, tartılıp, hem Marinelli geometrisinde hem de örneklerin ölçüldüğü silindirik kaba aktarılıp, tartılıp ölçülmüştür. Standart için bozunum doğrulaması referans tarihi 30 Ocak 1983'dür. Standartla ilgili özellikler Çizelge 3.3'de görülmektedir.

Çizelge 3.3 : IAEA Soil-6 standardı ile ilgili özellikler.

Radyonüklid	Önerilen değer (Bq kg ⁻¹)	%95 Güvenilir aralık (Bq kg ⁻¹)	N*
⁹⁰ Sr	30,34	24,20 – 31,67	20
¹³⁷ Cs	53,65	51,43 – 57,91	21
²²⁶ Ra	79,9	69,6 – 93,4	23
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	1,04	0,96 – 1,11	6

* Değerleri onaylayan laboratuvarların sayısı.

Yukarıda Çizelge 3.3’de görülen veriler 1983-1984 yılları arasında uluslararası karşılıklı ölçüm karşılaştırmaları çalışması kapsamında katılımcı laboratuvarlar tarafından yapılan çalışmalar temel alınmış, istatistiki olarak doğru sonuçlardır. Bu standart, toprak örneklerindeki radyonüklidlerin ölçülmesi amacı ile, referans materyal olarak kullanım için üretilmiştir. Aynı zamanda bir laboratuvarın analitik çalışmasının kalite kontrolü için de kullanılabilir. IAEA Soil-6 toprak örneği Avustralya’nın üst kesimlerindeki deniz seviyesinden 1100m yüksekteki Ebensee yakınlarından 10 cm derinlikten toplanmış bir örnektir (IAEA-Soil-6, 1984).

Yüksek çözünürlükteki gama spektroskopik ölçüm sisteminin enerji ve verim kalibrasyonu için ise, Isotope Production Laboratories (IPL) tarafından üretilmiş, yoğunluğu 1,0 g cm⁻³ olan, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Am, ¹⁰⁹Cd, ⁵⁷Co, ¹³⁹Ce, ²⁰³Hg, ¹¹³Sn, ⁸⁵Sr, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ⁸⁸Y radyoizotoplarını içeren, 1µCi aktivite şiddetindeki EG-ML tipi çoklu gama ışını yayıcı, geniş hacimli kaynak standardı kullanılmıştır. Çizelge 3.4’de standardın özellikleri verilmektedir. Standart 500 mL’lik plastik Marinelli kabında yer almaktadır. Ana nüklit grupları, verim eğrisi kullanılarak her bir nüklidin konsantrasyonunun tespit edilmesi ile kalibrasyonu yapılan standart, sertifikasyon edilmiştir. Standart için verim eğrisi, uluslararası ölçüm laboratuvarı tarafından izlenebilir standartlar kullanılarak üretilmiştir (DKD-K-36901, 2006).

Spektrumlarda ⁷Be radyoaktivitesini belirleyebilmek için gereken verim değerinin bulunması için yararlanılan radyonüklidlerin nükleer özellikleri Çizelge 3.4’de verilmektedir.

Çizelge 3.4 : IPL standardı içindeki radyonüklidler ve özellikleri (DKD-K-36901, 2006).

Gama-ışını enerjisi (keV)	Nüklidin adı	Yarı-ömrü	Gama ışını şiddeti (%)	Aktivitesi (kBq)
47	²¹⁰ Pb	22,3 yıl	4,18	11,4
60	²⁴¹ Am	432,17 yıl	36,0	1,06
88	¹⁰⁹ Cd	462,6 gün	3,63	16,7
122	⁵⁷ Co	271,79 gün	85,6	0,602
166	¹³⁹ Ce	137,640 gün	79,9	0,773
279	²⁰³ Hg	46,595 gün	81,5	2,18
392	¹¹³ Sn	115,09 gün	64,9	3,23
514	⁸⁵ Sr	64,849 gün	98,4	3,79
662	¹³⁷ Cs	30,17 yıl	85,1	2,65
898	⁸⁸ Y	106,630 gün	94,0	6,16
1173	⁶⁰ Co	5,272 yıl	99,86	3,10
1333	⁶⁰ Co	5,272 yıl	99,98	3,10
1836	⁸⁸ Y	106,630 gün	99,4	6,16

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Toprak Örneklerinde Nem ve Hacim Ağırlığı

Toprak örneklerindeki nemi belirlemek amacı ile alınan örneklere ait veriler Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1 : Toprak örnekleri için kütle ve nem kaybı değerleri.

Örnek no	Boş kristalizuvar (g)	Islak hacmin kütlesi (g)	Kuru hacmin kütlesi (g)	Nem kaybı (%)
1	305,61	297,05	258,41	13,01
2	213,71	470,85	397,95	15,48
3	228,67	372,99	325,69	12,68
4	218,75	274,77	232,77	15,29

Nem kaybı ortalaması %14,11 ve standart sapması 1,47 olarak hesaplanmıştır. Bu örnekler için belirlenen hacim yoğunluğu değerleri Çizelge 4.2’de görülmektedir.

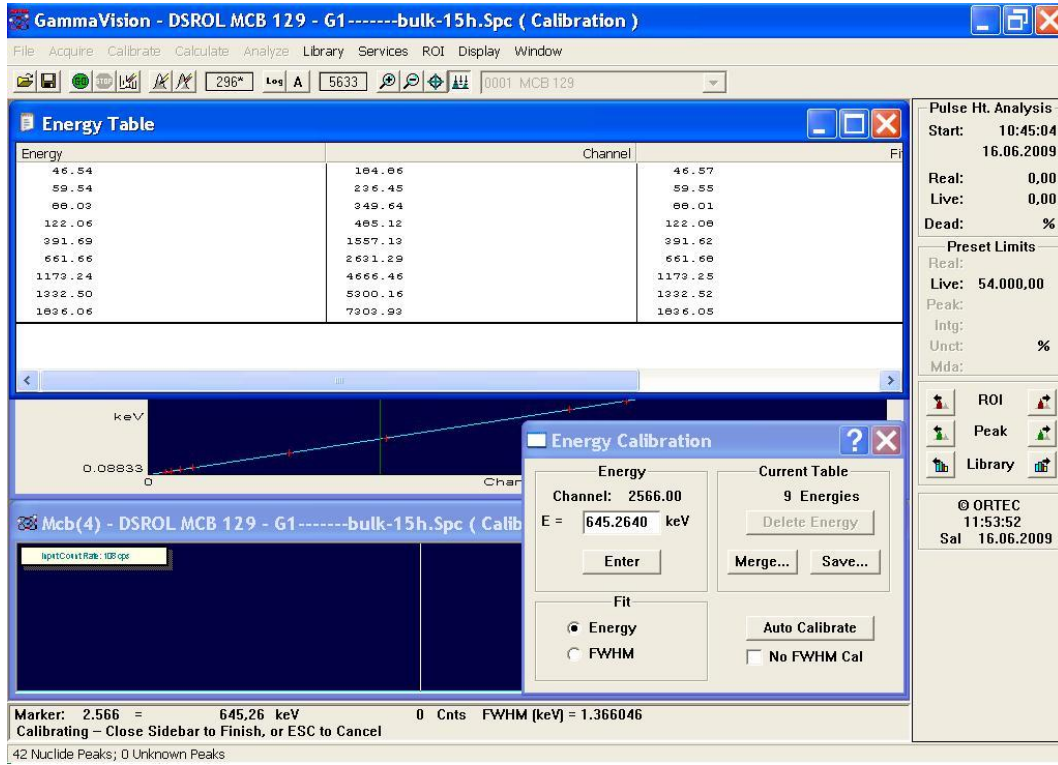
Çizelge 4.2 : Toprak örnekleri için hacim yoğunluğu verileri.

Örnek no	1	2	3	4
Hacim yoğunluğu (g cm ⁻³)	0,70	1,08	0,88	0,63

Bu veriler ışığında, hacim yoğunluğu ortalaması 0,82 g cm⁻³, hacim yoğunluğu standart sapması 0,20, hacim yoğunluğu için hata oranı %24,39 olmuştur.

4.2 Detektör Enerji ve Verim Kalibrasyonu

Gama spektrometri sisteminin enerji kalibrasyonu için kullanılan IPL EG-ML toprak standardının spektrumunda gözlenen piklerinin kanal değerlerinden ve pik enerjilerinden (2.10) denklemine göre yapılan işlemlerle enerji kalibrasyonu denklemi elde edilmiştir. Şekil 4.1’de Gamma Vision 32 yazılımıyla gama spektrometreseinde işlenen veriler ve elde edilen kalibrasyon denkleminin eğrisi verilmektedir.



Şekil 4.1 : Gama spektrometresinde enerji kalibrasyonu için veriler ve kalibrasyon eğrisi.

Verim kalibrasyonu için, ^7Be radyonüklidinin 477,612 keV gama enerjisine yakın değerlerde gama radyasyonu yayınlayan IPL EG-ML toprak standardındaki ^{113}Sn , ^{57}Co ve ^{137}Cs radyonüklidlerinin Çizelge 3.4'deki özelliklerinden yararlanılmıştır. (2.11) denklemi kullanılarak enerjilere karşılık gelen detektör verimleri hesaplanmıştır. Çizelge 4.3'de radyonüklid enerjilerine göre elde edilen verim değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.3 : Radyonüklid enerjilerine göre elde edilen verim değerleri.

Radyonüklid	Enerji (keV)	Verim (ϵ)
^{57}Co	122	0,06985
^{113}Sn	392	0,04738
^{137}Cs	662	0,02653

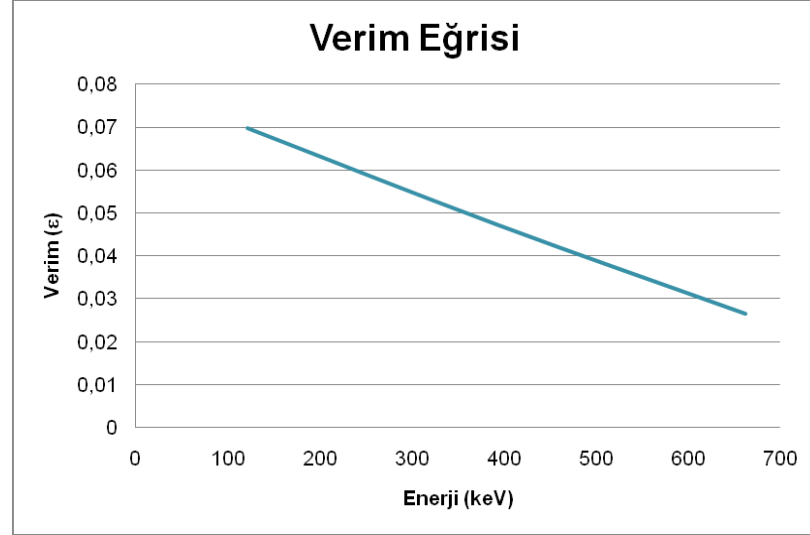
Bu kapsamda detektör için önerilen

$$\ln \epsilon = a_1 + a_2 (\ln E) + a_3 (\ln E)^2 \quad (4.1)$$

kuadratik logaritmik fonksiyonuna göre belirlenen sabitler Çizelge 4.4’de verilmektedir. İncelenen enerji aralığı için elde edilen verim kalibrasyonu eğrisi Şekil 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.4 : Verim kalibrasyonu denklemi sabitleri.

a_1	a_2	a_3
-14,4720	4,6990	-0,4670



Şekil 4.2 : İncelenen enerji aralığı için elde edilen verim kalibrasyonu eğrisi.

Çizelge 4.4.’de hesaplanmış olan sabitler 4.1 denklemi için kullanılarak, ⁷Be radyoizotopunun 477,612 keV enerjili gama piki için detektör verimi Çizelge 4.5’teki gibi hesaplanmıştır .

Çizelge 4.5 : 477,612 keV enerjili gama piki için yayınlanma olasılığı ve detektör verimi.

Yayınlanma olasılığı	Detektör verimi
0,1052	0,03859

4.3 Geometri Etkisinin Belirlenmesi

IAEA Soil-6 standardı, örneklerin ölçüldüğü silindirik kaptaki örneklerle aynı yükseklikte olacak şekilde tartılmıştır; daha sonra yine aynı miktarda standart Marinelli kabına eklenip tartılmıştır. Çizelge 4.6’da tartım sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4.6 : IAEA Soil 6 örneğinin silindirik kap ve Marinelli Beaker için tartımları.

IAEA Soil 6	Kütle (kg)
Silindirik Kap	0,26044
Marinelli Beaker	0,26083

Silindirik kap ve Marinelli kaplarındaki örnekler gama spektroskopi sisteminde ölçülmüş ve ^{137}Cs izotopu için pik alanları belirlenmiştir. Çizelge 4.7’de gama spektroskopi sisteminde elde edilen ölçüm sonuçları yer almaktadır.

Çizelge 4.7 : Geometri faktörü için gama spektroskopik ölçümler.

IAEA Soil-6	Pik alanı (bozunum 86400s^{-1})	Belirsizlik (%)	Pik alanı (bozunum s^{-1})
Marinelli Beaker	15853	0,86	0,07696
Silindirik kap	6649	1,50	0,18348

Ölçüm zamanı ve örnek kütlesine göre ölçüm sonuçlarında birim kütle ve birim zaman için aktiviteler hesaplanmıştır; aktivitelerin oranlanmasıyla, geometri faktörü 2,38 olarak hesaplanmıştır.

4.4 Referans Alan İçin Hesaplamalar

4.4.1 Bekleme zamanı düzeltmeleri

Ekim ve Kasım ayında toplanan referans kesit, referans bütün ve eğimli alan bütün örnekler için FRN yöntemi hesaplamalarında gereken, zaman farkı hesaplamaları yapılmış ve böylece örneklerin ölçüldüğü tarih ile toplandığı tarih arasındaki fark saniye cinsinden sırasıyla Çizelge 4.8-4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 : Ekim ayında toplanan referans kesit örnekler için zaman düzeltmeleri.

Örnek ismi	Örneklerin ölçüm tarihi	Örneklerin toplandığı tarih	Zaman farkı (s)
ITU4_Yüzey	26.10.2009	16.10.2009	864000
ITU3_1cm	27.10.2009	16.10.2009	950400
ITU2_1,5cm	28.10.2009	16.10.2009	1036800
ITU1_2cm	02.11.2009	16.10.2009	1468800

Çizelge 4.9 : Kasım ayında toplanan referans kesit örnekler için zaman düzeltmeleri.

Örnek ismi	Örneklerin ölçüm tarihi	Örneklerin toplandığı tarih	Zaman farkı (s)
REF Yüzey	24.11.2009	10.11.2009	1209600
REF 1cm	25.11.2009	10.11.2009	1296000
REF 1,5cm	26.11.2009	10.11.2009	1382400
REF 2cm	28.11.2009	10.11.2009	1555200

Çizelge 4.10 : Ekim’de toplanan referans bütün örnekler için zaman düzeltmeleri.

Örnek ismi	Ölçülen kütle (g)	Topraktan alınan kütle (kg)	Örneklerin ölçüm tarihi	Örneklerin toplandığı tarih	Zaman farkı (s)
İTÜ R1	328,41	0,32841	04.11.2009	16.10.2009	1641600
İTÜ R2	308	0,308	11.11.2009	16.10.2009	2246400
İTÜ R3	309,35	0,30935	13.11.2009	16.10.2009	2419200

Çizelge 4.11 : Kasım’da toplanan referans bütün örnekler için zaman düzeltmeleri.

Örnek ismi	Ölçülen kütle (g)	Topraktan alınan kütle (kg)	Örneklerin ölçüm tarihi	Örneklerin toplandığı tarih	Zaman farkı (s)
B1	154,5	0,1545	04.12.2009	10.11.2009	2073600
B2	203	0,203	05.12.2009	10.11.2009	2160000
B3	187	0,187	06.12.2009	10.11.2009	2246400
B4	178,5	0,1785	07.12.2009	10.11.2009	2332800

4.4.2 Aktivite hesaplamaları

Ölçülen örneklerin aktiviteleri ölçüm tarihi için belirlenmiş olduğundan, FRN yöntemi hesaplamalarında gereken, topraktan ilk alındıkları zamandaki aktivite miktarları hesaplanmıştır. Çizelge 4.12-4.15’de hesaplamalarda kullanılan veriler ve aktivite değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.12 : Ekim’de alınan referans kesiti örnekler için ölçüm sonuçları.

Örnek ismi	Pik alanı (bozunum $86400s^{-1}$)	Pik alanı (bozunum s^{-1})	Belirsizlik (%)	Zaman düzeltilmiş pik alanı (bozunum s^{-1})	Aktivite (Bq)
ITU4_Yüzey	1106	0,0128	6,48	0,0146	3,5901
ITU3_1cm	365	0,0042	22,48	0,0049	1,2003
ITU2_1,5cm	*	*	*	*	*
ITU1_2cm	*	*	*	*	*

*Gözlenmedi.

Çizelge 4.13 : Kasım’da alınan referans kesit örnekler için ölçüm sonuçları.

Örnek ismi	Pik alanı (bozunum $86400s^{-1}$)	Pik alanı (bozunum s^{-1})	Belirsizlik (%)	Zaman düzeltilmiş pik alanı (bozunum s^{-1})	Aktivite (Bq)
REFYüzey	2110	0,0244	5,21	0,0293	7,2140
REF 1cm	489	0,0057	12,79	0,00688	1,6937
REF1,5cm	214	0,00248	12,91	0,00305	0,7509
REF 2cm	*	*	*	*	*

*Gözlenmedi.

Çizelge 4.14 : Ekim’de alınan referans bütün örnekler için aktivite ve ilgili veriler.

Örnek ismi	Pik alanı (bozunum $86400s^{-1}$)	Pik alanı (bozunum s^{-1})	Belirsizlik (%)	Zaman düzeltilmiş pik alanı (bozunum s^{-1})	Aktivite (Bq)
İTÜ R1	367	0,00425	16,26	0,00544	1,339
İTÜ R2	428	0,00495	12,61	0,00694	1,710
İTÜ R3	565	0,00654	14,38	0,00940	2,316

Çizelge 4.15 : Kasım’da alınan referans bütün örnekler için aktivite ve ilgili veriler.

Örnek ismi	Pik alanı (bozunum $86400s^{-1}$)	Pik alanı (bozunum s^{-1})	Belirsizlik (%)	Zaman düzeltilmiş pik alanı (bozunum s^{-1})	Aktivite (Bq)
B1	431	0,00499	16,3	0,00681	1,6778
B2	404	0,00468	13,34	0,00647	1,5933
B3	426	0,00493	11,3	0,00691	1,7020
B4	500	0,00579	11,49	0,00822	2,0237

4.4.2.1 Aktivite konsantrasyonu ve alansal aktivite yoğunluğu

Belirli bir kesit kalınlığını temsil eden örneklerin radyoaktivite değerinin geometri faktörü kullanılarak sonuç düzeltilmesi yapıldıktan sonra, aktivitenin ölçülen örnek kütlesine bölünmesiyle aktivite konsantrasyonu elde edilmiştir.

Benzeri şekilde, belirli bir kesit kalınlığını temsil eden örneklerin radyoaktivite değerinin, topraktan başlangıçta toplanan kütle ve geometri faktörü için düzeltilmesi yapıldıktan sonra, elde edilen aktivitenin örnek toplanan DTOT'un yüzey alanına bölünmesiyle, alansal aktivite yoğunluğu hesaplanmıştır. DTOT ile alınan örneklerin yüzey alanı için, 8,5 cm çap için hesaplanan $0,005675 \text{ m}^{-2}$ kullanılmıştır. Çizelge 4.16-4.19'da ekim ve kasım aylarında toplanan referans kesit ve bütün örnekler için elde edilen aktivite konsantrasyonları ve alansal aktivite yoğunluğu değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.16 : Ekim'de alınan referans kesiti örnekler için aktivite konsantrasyonları ve alansal aktivite yoğunluğu değerleri.

Örnek ismi	Aktivite konsantrasyonu (Bq kg^{-1})	Alansal aktivite yoğunluğu (Bq m^{-2})
ITU4_Yüzey	61,0501	1727,5152
ITU3_1 cm	20,4109	822,4390
ITU2_1,5 cm	*	*
ITU1_2 cm	*	*

Çizelge 4.17 : Kasım'da alınan referans kesiti örnekler için aktivite konsantrasyonları ve alansal aktivite yoğunluğu değerleri.

Örnek ismi	Aktivite konsantrasyonu (Bq kg^{-1})	Alansal aktivite yoğunluğu (Bq m^{-2})
REF Yüzey	50,5140	3820,4308
REF 1cm	11,8597	724,4782
REF 1,5cm	5,2580	318,8498
REF 2cm	*	*

Çizelge 4.18 : Ekim’de toplanan referans bütün örnekler için aktivite konsantrasyonları ve alansal aktivite yoğunluğu değerleri.

Örnek ismi	Aktivite konsantrasyonu (Bq kg ⁻¹)	Alansal aktivite yoğunluğu (Bq m ⁻²)
İTÜ R1	9,7061	235,950
İTÜ R2	13,2175	301,341
İTÜ R3	17,8291	408,261

Çizelge 4.19 : Kasım’da toplanan referans bütün örnekler için aktivite konsantrasyonları ve alansal aktivite yoğunluğu değerleri.

Örnek ismi	Aktivite konsantrasyonu (Bq kg ⁻¹)	Alansal aktivite yoğunluğu (Bq m ⁻²)
B1	25,8541	295,6767
B2	18,6854	280,7750
B3	21,6682	299,9328
B4	26,9913	356,6331

4.4.3 Kütle derinliği

Kütle derinliği, alınan kesit örneklerin kütlelerinin DTOT’un yüzey alanına bölünmesiyle elde edilmiştir. Çizelge 4.20 ve 4.21’de Ekim ve Kasım ayı referans kesit örnekleri için hesaplamalarda kullanılan veriler ve hesaplanan kütle derinliği değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.20 : Ekim’de toplanan referans kesit örnekler için kütle derinliği ve ilgili veriler.

Örnek ismi	Ölçülen kütle (g)	Topraktan alınan kütle (g)	Kütle derinliği (kg m ⁻²)
ITU4_Yüzey	140	160,57	28,2967
ITU3_1cm	140	142,26	53,3667
ITU2_1,5cm	140	228,65	93,6609
ITU1_2cm	140	160,57	121,9576

Çizelge 4.21 : Kasım’da toplanan referans kesit örnekler için kütle derinliği ve ilgili veriler.

Örnek ismi	Ölçülen kütle (g)	Topraktan alınan kütle (g)	Kütle derinliği (kg m ⁻²)
REF Yüzey	340	429,17	75,6311
REF 1cm	340	346,64	136,7183
REF 1,5cm	340	344,11	197,3596
REF 2cm	340	470,56	280,2847

4.4.4 Gevşeme kütle derinliği ve başlangıç aktivitesinin belirlenmesi

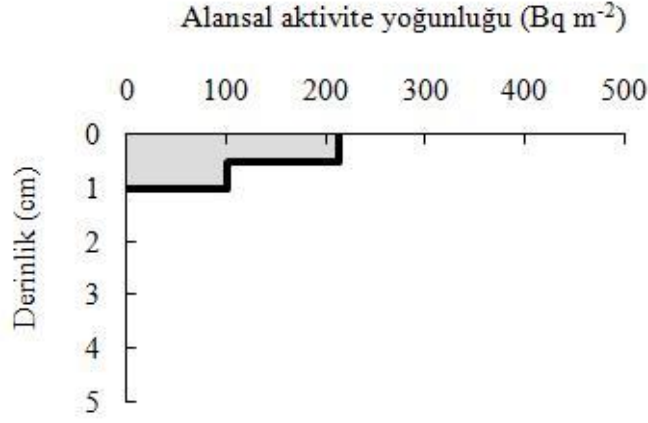
4.4.4.1 Ekim ayı örnekleri

Örneklerdeki referans kesit alansal aktivite yoğunluğu referans bütün alansal aktivite yoğunluğu için normalize edilerek, aktivite değerleri için normalize edilmiş değerler elde edilmiştir. Çizelge 4.22’de normalize edilmiş alansal aktivite yoğunluğu değerleri ilgili derinlik ve kütle derinliği için verilmektedir. Kütle derinliği hesaplanmasında, kütle derinlikleri birbirine eklenerek toplam kütle derinliği dikkate alınmaktadır.

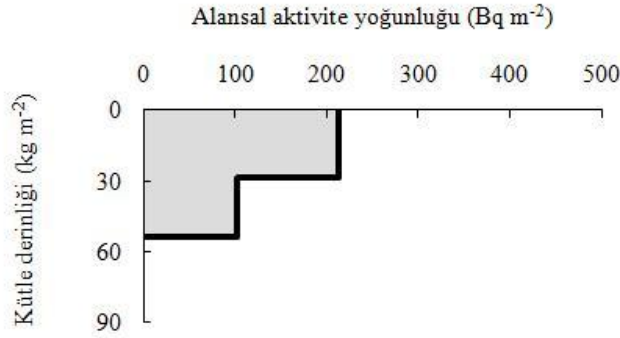
Çizelge 4.22 : Ekim ayı örneklerinde derinlik ve kütle derinliği için normalize edilmiş kesit alansal aktivite yoğunluğu değerleri.

Örnek ismi	Derinlik (cm)	Kütle derinliği (kg m ⁻²)	Normalize edilmiş alansal aktivite yoğunluğu (Bq m ⁻²)
ITU4_Yüzey	0,5	28,2967	213,5293
ITU3_1cm	1	53,3667	101,6565
ITU2_1,5cm	1,5	*	*
ITU1_2cm	2	*	*

Derinliğe ve kütle derinliğe göre alansal aktivite yoğunluğunun değişimi ekim ayı için Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.3 : Ekim ayında alınan örnekler için derinliğe göre ⁷Be değişimi.



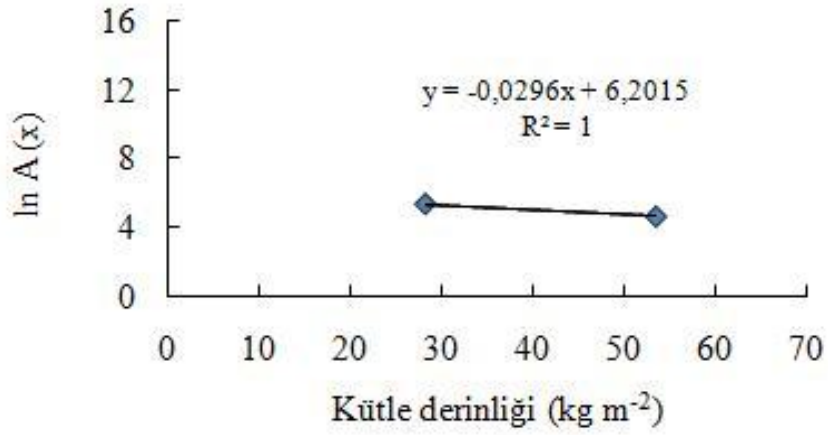
Şekil 4.4 : Ekim ayında alınan örnekler için kütle derinliğine bağlı olarak alansal aktivite değişimi.

Denklem 2.19'a göre lineer regresyon hesabında kullanılan farklı derinliklerdeki kütle derinliği, alansal aktivite yoğunluğu ve alansal aktivite yoğunluğu doğal logaritması değerleri Çizelge 4.23'de verilmektedir.

Çizelge 4.23 : Ekim ayında alınan örnekler için lineer regresyon hesabında kullanılan parametreler.

Kütle derinliği (kg m ⁻²)	Alansal aktivite yoğunluğu (Bq m ⁻²)	ln(Ax)
28,2967	213,5273	5,3638
53,3667	101,6565	4,6216

Çizelge 4.23'e göre lineer regresyon ile elde edilen doğru ve doğru denklemi Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4.5 : Ekim ayında alınan örneklerin lineer regresyon doğrusu ve denklemi.

Lineer regresyon ile elde edilen doğru denkleminin katsayılarından yararlanılarak, denklem 2.18'e göre h_0 ve A_{ref} değerleri 33,784 ve 493,4887 olarak hesaplanmıştır; 2.16 numaralı alansal aktivite yoğunluğu değişimi denklemi

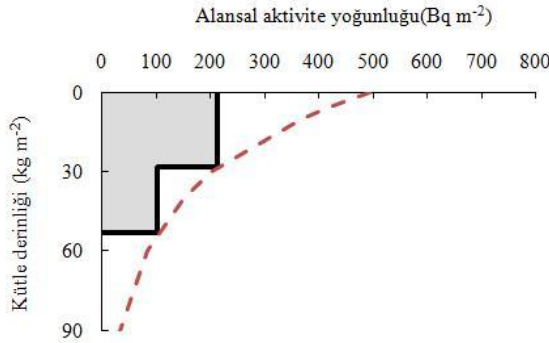
$$A(x) = 493,4887 e^{(-x/33,784)} \quad (4.4)$$

olarak elde edilmiştir. Şekil 4.4'de verilen ^7Be profilinin uyum eğrisini oluşturmak için, denklem 4.4'e göre oluşturulan Çizelge 4.24'deki değerler hesaplanmıştır.

Çizelge 4.24 : Ekim ayında alınan örneklerin alansal kütle yoğunluğu ve alansal aktivite yoğunluğu.

Alansal kütle yoğunluğu (kg m^{-2})	Alansal aktivite yoğunluğu (Bq m^{-2})
0,01	493,343
0,10	492,030
0,5	486,239
1	479,096
2	465,122
5	425,600
7	401,136
10	367,051
30	203,060
40	151,033
60	83,555
90	34,381

Çizelge 4.24'deki değerlerden yararlanarak ^7Be profili için uyum eğrisi Şekil 4.6'daki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 4.6 : Ekim ayı örneklerindeki ^7Be profili için uyum eğrisi.

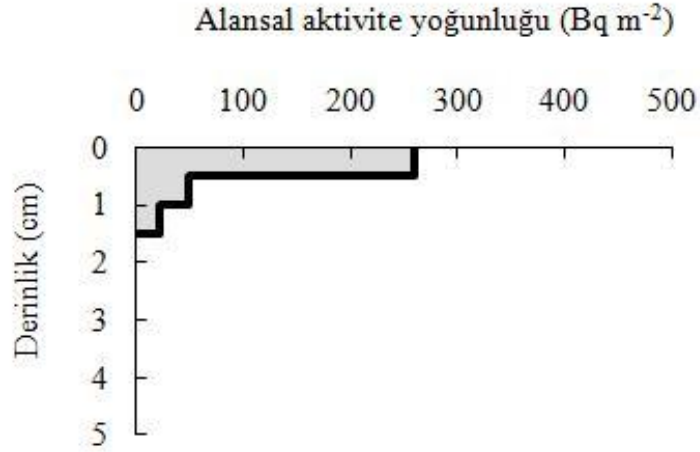
4.4.4.2 Kasım ayı örnekleri

Gama spektroskopi sisteminde Gamma Vision analiz programı ile elde edilen ^7Be pik analiz sonuçları, kesit örnek alınan tüm toprak derinliklerinden yalnızca ilk ikisi için sonuç vermiştir; bu nedenle ^7Be ile toprak taşınması miktarını hesaplamakta gerekli olan profili elde etmek için, spektrumda üç kesit toprak örneği için ölçülebilen Kasım ayı örneklerinin integral pik alanları hesaplanmıştır. Örneklerdeki referans kesit alansal aktivite yoğunluğu, referans bütün alansal aktivite yoğunluğu için normalize edilerek, aktivite değerleri için normalize edilmiş sonuçlar Çizelge 4.25'de verilmektedir.

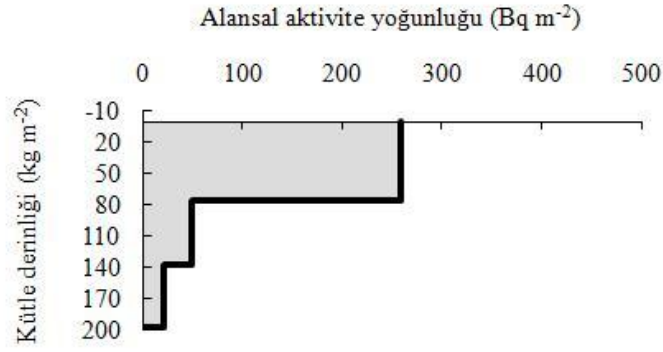
Çizelge 4.25 : Kasım ayı örneklerinde derinlik ve kütle derinliği için normalize edilmiş kesit alansal aktivite yoğunluğu değerleri.

Örnek ismi	Derinlik (cm)	Kütle derinliği (kg m ⁻²)	Normalize edilmiş alansal aktivite yoğunluğu (Bq m ⁻²)
REF Yüzey	0,5	75,6311	259,1173
REF 1cm	1	136,7183	49,1371
REF 1,5cm	1,5	197,3596	21,6257
REF 2cm	2	*	*

Derinliğe ve kütle derinliğe göre alansal aktivite yoğunluğunun değişimi Kasım ayı için Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.7 : Kasım ayında alınan örnekler için derinliğe göre ⁷Be değişimi.



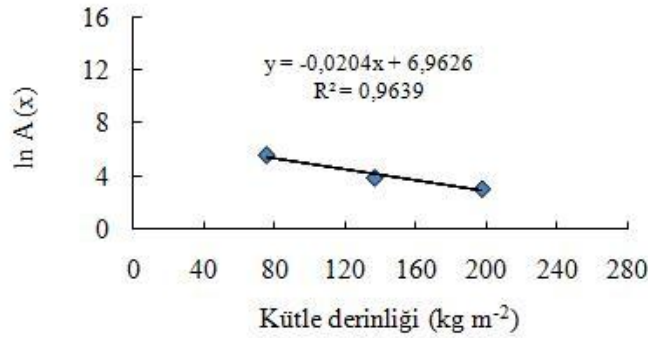
Şekil 4.8 : Kasım ayında alınan örnekler için kütle derinliğine bağlı olarak alansal aktivite yoğunluğu.

Denklem 2.19'a göre lineer regresyon hesabında kullanılan farklı derinliklerdeki kütle derinliği, alansal aktivite yoğunluğu ve alansal aktivite yoğunluğu doğal logaritması değerleri Çizelge 4.26'da verilmektedir.

Çizelge 4.26 : Kasım ayında alınan örnekler için lineer regresyon hesabında kullanılan parametreler.

Kütle derinliği (kg/m ²)	Alansal aktivite yoğunluğu (Bq m ⁻²)	ln(Ax)
75,6311	259,1173	5,5573
136,7183	49,1371	3,8946
197,3596	21,6257	3,0739

Çizelge 4.26'ya göre lineer regresyon ile elde edilen doğru ve doğru denklemi Şekil 4.9'da görülmektedir.



Şekil 4.9 : Kasım ayında alınan örneklerin lineer regresyon doğrusu ve denklemi.

Lineer regresyon ile elde edilen doğru denkleminin katsayılarından yararlanılarak, denklem 2.18'e göre h_0 ve A_{ref} değerleri 49,020 ve 1056,3766 olarak hesaplanmıştır; 2.16 numaralı alansal aktivite yoğunluğu değişimi denklemi

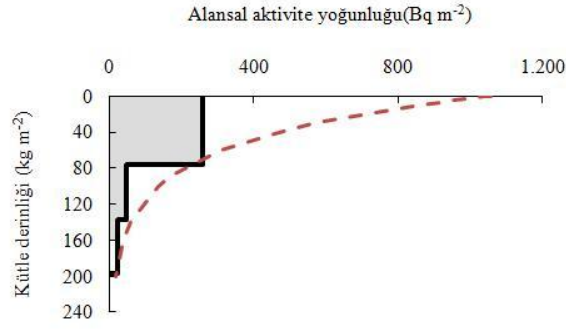
$$A(x) = 49,02 e^{(-x/1056,3766)} \quad (4.5)$$

olarak elde edilmiştir. Şekil 4.8'de verilen ⁷Be profilinin uyum eğrisini oluşturmak için, denklem 4.5'e göre oluşturulan Çizelge 4.27'deki değerler hesaplanmıştır.

Çizelge 4.27 : Kasım ayında alınan örneklerin alansal kütle yoğunluğu ve alansal aktivite yoğunluğu.

Alansal kütle yoğunluğu (kg m ⁻²)	Alansal aktivite yoğunluğu (Bq m ⁻²)
0,01	1056,161
0,10	1054,224
0,5	1045,556
1	1035,045
2	1014,144
5	953,939
7	915,802
10	861,435
30	552,836
40	467,126
60	310,629
90	168,443
100	137,359
140	60,740
160	40,391
200	17,861

Çizelge 4.27'deki değerlerden yararlanarak ⁷Be profili için uyum eğrisi Şekil 4.10'daki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 4.10 : Kasım ayı örneklerindeki ⁷Be profili için uyum eğrisi.

4.5 İşlenmemiş Alan İçin Toprak Taşınma Miktarı

İşlenmemiş eğimli alandan ekim ayında alınan örnekler için zaman farkı hesaplamaları yapılmış ve böylece örneklerin ölçüldüğü tarih ile toplandığı tarih arasındaki fark saniye cinsinden Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.28 : Eğimli alan örnekleri için zaman farkı düzeltmeleri.

Örnek ismi	Ölçülen kütle (g)	Topraktan alınan kütle (kg)	Örneklerin ölçüm tarihi	Örneklerin toplandığı tarih	Zaman farkı (s)
İTÜ E1	218,7	0,21865	05.11.2009	16.09.2009	4320000
İTÜ E2	259,4	0,25935	12.11.2009	16.09.2009	4924800
İTÜ E4	321,4	0,3214	23.11.2009	16.09.2009	5875200

Ölçülen örneklerin aktiviteleri ölçüm tarihi için belirlenmiş olduğundan, FRN yöntemi hesaplamalarında gereken, topraktan ilk alındıkları zamandaki aktivite miktarları hesaplanmıştır. Çizelge 4.29’da hesaplamalarda kullanılan veriler ve aktivite değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.29 : Eğimli alandan alınan örnekler için ölçüm sonuçları.

Örnek ismi	Pik alanı (bozunum 86400s ⁻¹)	Pik alanı (bozunum s ⁻¹)	Belirsizlik (%)	Zaman düzeltilmiş pik alanı	Aktivite (Bq)
İTÜ E1	385	0,004456	12,48	0,0085273	2,1004
İTÜ E2	343	0,00397	18,77	0,0083196	2,0492
İTÜ E4	326	0,003773	15,32	0,0091209	2,2466

Örneklerin radyoaktivite değerinin geometri faktörü kullanılarak sonuç düzeltilmesi yapıldıktan sonra, aktivitenin ölçülen örnek kütesine bölünmesiyle aktivite konsantrasyonu ve örneklerin radyoaktivite değerinin, topraktan başlangıçta toplanan kütle ve geometri faktörü için düzeltilmesi yapıldıktan sonra, elde edilen aktivitenin örnek toplanan DTOT'un yüzey alanına bölünmesiyle, alansal aktivite yoğunluğu hesaplanmıştır. DTOT ile alınan örneklerin yüzey alanı için, 8,5cm çap için hesaplanan $0,005675\text{m}^{-2}$ kullanılmıştır. Eğimli alan örnekleri için elde edilen aktivite konsantrasyonları ve alansal aktivite yoğunluğu değerleri Çizelge 4.30.'de verilmektedir.

Çizelge 4.30 : Eğimli alan örnekleri için aktivite konsantrasyonları ve alansal aktivite yoğunluğu değerleri.

Örnek ismi	Aktivite konsantrasyonu (Bq kg^{-1})	Alansal aktivite yoğunluğu (Bq m^{-2})
İTÜ E1	9,6061	475,4281
İTÜ E2	7,9014	463,8516
İTÜ E4	6,9900	508,5252

İnceleme için seçilen eğimli alandaki ekim ayında alınan referans kesit toprak örnekleri için elde edilen veriler, istatistiki olarak daha doğru sonuç verdiği için, toprak taşınma miktarının belirlenmesinde, tercih edilmiştir. Alansal aktivite yoğunluğu dikkate alınarak ve işlenmemiş alan için toprak taşınma miktarı denklemi (2.6) kullanılarak hesaplanan, taşınma miktarları çizelge 4.31 'de verilmektedir.

Çizelge 4.31 : Eğimli alan için toprak taşınma miktarları.

Örnek ismi	Toprak kaybı (kg m^{-2})
İTÜ E1	1,260
İTÜ E2	2,092
İTÜ E4	-1,014

Toprak taşınma miktarının pozitif olduğu değerler birikme olan yerleri, negatif değerler ise aşınmanın olduğu yerleri, birim alan için kütle olarak göstermektedir.

5. TARTIŞMA VE YORUM

Toprak canlıların yaşamı için vazgeçilmez doğal bir kaynaktır. Toprak bozulmasının, çevresel sorunlar ve ekonomik kayıplara neden olmasının yanı sıra, gelecekte ürün verimini de tehlikeye sürükleyen acil sorunların başında geldiği kabul edilmektedir. Toprak bozulmasının nedenleri arasında sayılan toprak erozyonu, küresel çevre ve insan refahı üzerinde etkili olan ve insan sağlığını tehdit eden en önemli sorunlardan biridir.

Toprak erozyonunun doğru olarak bilinmesi, etkin toprak koruma önlemlerini almak için ilk adımdır. Bu kapsamda uygulanan bir çok belirleme yönteminden, serpinti radyonüklidi ^7Be ile yapılan belirlemeler, en güncel ve doğru sonuç veren yöntemlerdendir. Bu yöntemin kullanılmasındaki temel farklılık, ^7Be radyoizotopunun yarı ömrünün 53 gün gibi kısa olması nedeniyle, belirlenen toprak taşınmasının 53 gün gibi kısa zaman dilimini temsil ediyor olmasıdır.

Serpinti radyonüklidi ^7Be ile toprak taşınmasının belirlenmesi yönteminin uygulanması için, İTÜ Ayazağa Kampüsünde sulama amacı ile yapılmış yapay gölet çevresine 300m uzaklıkta bir alan seçilmiştir. Yapılan yayın taramasında seçilen saha için bu kapsamda ve bu yöntemle gerçekleştirilmiş bir çalışmanın olmadığı görülmüştür, tez çalışmasının özgünlüğü buradan kaynaklanmaktadır.

Ölçümlerde, yüksek çözünürlüklü gama spektrometri sisteminin enerji ve verim kalibrasyonunun Marinelli geometrisindeki sertifikalı gama radyasyon kaynağı IPL EG-ML ile yapılması nedeniyle, ölçüm sonuçlarının örnek geometrisi için IAEA Soil 6 toprak standandardı ile geometri düzeltilmesi yapılmıştır, ölçüm geometrisinin ölçüm sonuçlarını önemli ölçüde (2,38 kat) etkilediği belirlenmiştir.

Çalışmaların başladığı 2009 mayıs-ekim ayları aralığında, çalışma alanında az miktarlarda yağış gözlemlenmiştir, bu nedenle düz ve eğimli alanlardan alınan kesit, ve bütün örneklerin gama spektroskopik ölçümlerinde ^7Be radyoaktivitesi değerlendirilebilecek değerlerde olmamıştır. Ekim ve Kasım 2009'da alınan örneklerin bir kısmının radyoaktivite seviyeleri, değerlendirmek için uygun olmuştur.

Serpinti radyonüklidleri yöntemi ile çalışılırken seçilen, üzerinde tarım yapılmamış ve erozyonun çok düşük değerde olduğu düşünülen referans alan için ortalama ${}^7\text{Be}$ aktivite konsantrasyonu $18,4\pm 6,9 \text{ Bq kg}^{-1}$ ve ortalama alansal aktivite yoğunluğu $311,7\pm 4,9 \text{ Bq m}^{-2}$ olarak bulunmuştur.

${}^7\text{Be}$ referans envanterinin zaman-değişken doğası, küresel ve bölgesel değişkenliği sebebi ile farklı bölgeler için rapor edilen değerler arasında direkt olarak bir karşılaştırma yapmak mümkün değildir. Avustralya'da rapor edilen ${}^7\text{Be}$ alansal aktivite yoğunlukları, işlenmemiş topraklar için 176 ile 778 Bq m^{-2} , temiz-kır alanlar için ise 90 ile 990 Bq m^{-2} arasında değişmektedir Wallbrink ve Murrey (1996). Şili'nin nehir kesimindeki temiz-kır orman toprakları için 573 Bq m^{-2} olarak rapor edilmiştir Schüller ve diğ. (2006).

Şekil 4.3, 4.4, 4.7, 4.8'de görülen radyonüklid dağılım profillerinin değişimi, bu alanların toprak taşınması hesaplanmasında referans bölge olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Örnek miktarının azlığı ve derine inildikçe Be^7 aktivite konsantrasyonunun azalması, deney sonuçlarındaki hataların artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle doğal yapısı bozulmamış-kesit örneklerin aktivitelerinin belirlenmesiyle elde edilen sonuçlar, bütün olarak alınan örnek aktivitesi ile normalize edilmiştir.

Ekim ve Kasım ayı için toprağın gevşeme kütle derinliği $33,78$ ve $49,02 \text{ (kg m}^{-2}\text{)}$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan gevşeme kütle derinliği göstermektedir ki, toplam alansal aktivite yoğunluğunun %63'ü Ekim ayı için $33,78$ ve Kasım ayı için $49,02 \text{ kg m}^{-2}$ 'nin ya da $6,33 \text{ mm}$ ve $3,58 \text{ mm}$ ve üzerindeki kütle derinliğinde toplanmıştır. Ekim ayında 1 mm toprağın aşınması ile topraktaki toplam aktivitenin %53, Kasım ayında %45 kadarı indirgenecektir. Ufak miktarlarda birikme ya da aşınma alansal aktivite yoğunluğunda büyük değişikliklere yol açması, yöntemin hassas aşınma ölçümleri için başarılı sonuçlar verdiğinin bir diğer göstergesidir.

Toprak örneklerinde hacim ağırlığı $0,82\pm 0,20 \text{ g cm}^{-3}$ olarak belirlenmiştir, hata oranının %10'dan büyük çıkmasının, alınan örneklerin taşlı olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

İ.T.Ü. göleti çevresine 300 m uzaklıkta seçilen alanda gerçekleştirilen bu çalışma ile elde edilen veriler, yöredeki yağışa bağlı ${}^7\text{Be}$ radyoaktif serpintisi ile ilgili bilgi içermektedir. Aynı zamanda bu çalışmayla inceleme alanı için toprak taşınma miktarı

1,014 kg m⁻² olarak elde edilmiştir. Yağışla düşen ⁷Be serpinisi miktarı değişeceğinden, görel olarak küçük aşınma ve birikme miktarlarında yüksek oranda fark olacaktır. Bu nedenle, farklı tarihlerde yapılacak çalışmalar için bu çalışmada elde edilen sonuçlar geçerli olmayacaktır, yöntemin uygulanabilmesi için her defasında referans kesit, bütün ve eğimli alan örnekleri aynı tarihte alınması gereklidir.

Yöntemdeki ince kesitli ve daha yüksek miktarda toprak kütesinin toplanamaması yöntemin uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Fakat, genel olarak ⁷Be ölçümleri, kısa vadede toprak taşınması hakkında bilgi edinilmesi istendiğinde, herbir yoğun yağış periyoduna bağlı olarak, kısa vadeli toprak taşınmasını belgeleyerek, toprak erozyonu araştırmalarında kullanılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Agudo, E.G.**, 1998. *Global distribution of ¹³⁷Cs inputs for soil erosion and sedimentation studies*. In: IAEA-TECDOC-1028 *Use of ¹³⁷Cs in the Study of Soil Erosion and Sedimentation*. pp. 117-121 Vienna, Austria.
- Akalan, İ.**, 1987, *Toprak Bilgisi*, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yay. No:1058, Ders Kitabı:309, Ankara
- Balcı, A.N.**, 1996. *Toprak Koruması*. İstanbul Üniversitesi Orman Fak. Yayın No: 439. İstanbul.
- Balcı N.Ç., Karagüler N.G, Yelboğa E., Vardar N.**, 2009. Metallerin Çözünmesini ve Taşınmasını Etkileyen Biyojeokimyasal Prosesler. Örnek bir Çalışma: İTÜ Maslak Göletininin Biyojeokimyasal Özellikleri, *1.Tıbbi Jeoloji Çalıştay*, 30 Ekim–1 Kasım 2009, Ürgüp Bld., Kültür Merkezi, Ürgüp, Nevşehir.
- Bor, D.**, 1988. *Radyasyon Deteksiyon ve Ölçüm Yöntemleri*, Ankara üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği, Ankara.
- Debertin, K. and Helmer, R.**, 1988. *Gama and X-Ray Spectrometry With Semiconductor Detectors*, Elsevier Science Publishing Company, U.S.A.
- Delaney C.F.G., Finch E.C.**, 1992. *Radiation Detectors*, Oxford University Press, USA.
- Coşkun H. G.**, 2009. *İ.T.Ü. Geomatik Müh. Bölümü, Çalışma notları*.
- Çanga, M.R.**, 1985. *Toprak ve Su Koruma*. A.Ü. Ziraat Fak. Yayınları No:1386, Ders Kitabı No:400, Ankara.
- Çepel, N.**, 1997. *Toprak Kirliliği Erozyon Ve Çevreye Verdiği Zararlar*, Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma VakfıYayınları 14, İstanbul.
- ÇMTUEP**, 2005. *Çölleşme İle Mücadele Türkiye Ulusal Eylem Programı*, Ankara.
- DKD-K-36901**, 2006. *Calibration Certificate*. Isotope Products Laboratory, Valencia, CA.
- Doğan, O. ve Güçer, C.**, 1976. Su Erozyonu Nedenleri-Oluşumu Ve Üniversal Denklem İle Toprak Kayıplarının Saptanması, *T.C. Köy İşleri Bakanlığı Topraksu Genel Müdürlüğü Merkez Topraksu Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları Genel Yayın No:41, Teknik Yayın No:21, Ankara*.
- Ergene, A.**, 1987. *Toprak Biliminin Esasları*, Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum.

- Erinç, S., Ertek A., Güneysu C.,** 2000. *Jeomorfoloji I*, Der Yayınları, İstanbul.
- Gilmore G., Hemingway J.D.,** 1995. *Practical Gamma-Ray Spectrometry*, Wiley Publitions, West Sussex, England.
- Güney, E.,** 2004. *Jeomorfoloji, Geomorphology – Physical Geology*, Tekağaç Eylül Yayıncılık, Ankara.
- Hacıyakupoglu, S., Hizal A., Gokbulak F., Kiziltas M.S.,** 2010. A Comparison of Soil Losses Estimated Using Fallout Radionuclides and the USLE For the Omerli Watershed, Turkey. *Advances in GeoEcology* 41, *Global Change – Challenges for Soil Management*, M.Zlatic (Editor), Catena Verlag (in press),
- IAEA-Soil-6,** 1984. *International Atomic Energy Agency Analytical Quality Control Services Report on the Intercomparison Run Catalogue*, Vienna, Austria.
- IAEA,** 2008. *Soils Newsletter Vol. 31*, No. 1, Retrieved December 7, 2009, from <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Newsletters/SNL-31-1.pdf>.
- ISO 18589-1,** 2005. *International Standard, Measurement of radioactivity in the environment Soil, Part 1: General Guidelines and definitions*, ISO 18589-1:2005(E), ISO Copyright Office, Switzerland.
- ISO 18589-2,** 2007a. *International Standard, Measurement of radioactivity in the environment Soil, Part 2: Guidance for the selection of the sampling strategy, sampling and pre-treatment of samples*, ISO 18589-2:2007(E). ISO Copyright Office, Switzerland.
- ISO 18589-3,** 2007b. *International Standard, Measurement of radioactivity in the environment Soil, Part 3: Measurement of gamma-emitting radionuclides*, ISO 18589-3:2007(E). ISO Copyright Office, Switzerland.
- İçhedef M.,** 2006. İzmir Körfezi'nde sedimentasyon hızının radyometrik yöntemlerle tayini, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Kayalık P.,** 2007. Türkiye'de Rüzgar Erozyonu Olgusu, Karapınar (Konya) Örneğindeki Çalışmaların İrdelenmesi ve Öneriler, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Kiziltas M.S., Hacıyakupoglu, S., Gokbulak F., Hizal A.,** 2009. Determination of Soil Loss with Caesium-137 Fallout Radionuclide in Ömerli Watershed of Istanbul, *Turk. J. Agric. For.*, 33, 359-371, İstanbul.
- Krane, K.S.,** 2001. *Nükleer Fizik*. Palme Yayıncılık, 825 s., Ankara.
- Lal, R.,** 1988. *Soil Erosion Research Methods*, Soil and Water Conservation Society, Netherland.
- Lal, R., and Stewart, B.A.,** 1990. *Soil Degradation. Need for Action: Research and Development Priorities*. *Adv. Soil Sci.* 11, 331-336.
- Lederer ve Shirley,** 1978. *Table of Isotopes (Sevent Edition)*, New York, USA.
- Lieser K.H.,** 1980. *Einführung in die Kernchemie*, Verlag Chemie, Weinheim, Germany.

- Mabit L., Benmansour M., Walling D.E.**, 2008. Comparative advantages and limitations of the fallout radionuclides ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ and ^7Be for assessing soil erosion and sedimentation, *Journal of Environmental Radioactivity*, ISSN 0265-931X.
- Mabit L., Bernard C., Makhlouf M., Laverdière M.R.**, 2008. *Spatial variability of erosion and soil organic matter content estimated from ^{137}Cs measurements and geostatistic*, Geoderma, ISSN 0016-7061.
- Mabit L., Bernard C., Laverdière M.R.**, 2007. *Assessment of erosion in the Boyer River watershed (Canada) using a GIS oriented sampling strategy and ^{137}Cs measurements*, Catena, ISSN 0341-8162.
- Mabit L., Klik A., Benmansour M., Toloza A., Geisler A., Gerstmann U.C.**, 2009. *Assessment of erosion and deposition rates within an Austrian agricultural watershed by combining ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ and conventional measurements*, Geoderma doi: 10.1016 / j. Geoderma. 2009.01.024.
- Manav R.**, 2008. Orta Gediz havzasında (Salihli-Kargın) toprak erozyonu hızının ^{210}Pb tekniği ile belirlenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi için genel bir yazılımın geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Parry, S.J.**, 1991. *Activation Spectrometry in Chemical Analysis*, Wiley-Interscience Publication, U.S.A.
- Peddicord K.L., Lazarev N., Jardine L.J.**, 1998. *Nuclear Materials Safety Management*, Springer.
- Saç M. M.**, 2003. Yatağan havzasında toprak erozyonu hızının radyoaktif sezyum tekniği kullanılarak ölçülmesi, *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Sarı, M.**, 2000. Toprak Erozyonuna Farklı Bir Yaklaşım. Konu 3, *Tema (Türkiye Erozyonla Mücadele Ağaçlandırma Ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı) Eğitim Programı Ders Notu*, Yay.No: 26, ISBN: 975- 7169-20-X, S:53-68, İstanbul.
- Schüller P., Iroume A., Walling D.E., Mancilla H.B., Castillo A. And Trumper R.E.**, 2006. Use of ^7Be to document soil redistribution following forest harvest operations, *Journal of Environmental Quality*, 1756-1763.
- Özyuvacı, N.** 1976. *Arnavutköy deresi yağış havzasında hidrolik durumu etkileyen bazı bitki-toprak-su ilişkileri*. İstanbul Üniversitesi Orman Fak. Yayın No: 221. İstanbul.
- Ritchie J.C, and Ritchie C.A.**, 2007. *Bibliography of Publications of $^{137}\text{Cesium}$ Studies Related to Erosion and Sediment Deposition*. Hydrology and Remote Sensing Laboratory, Beltsville, USA. Retrieved August 15, 2009 from <http://hydrolab.arsusda.gov/cesium137bib.htm>.
- Sepulveda A., Schuller P., Walling D.E., Castillo A.**, 2008. Use of ^7Be to document soil erosion associated with a short period of extreme rainfall, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99 (2008) 35-49
- Shakhashiro A., Mabit L.**, 2009. Results of an IAEA inter-comparison exercise to assess ^{137}Cs and total ^{210}Pb analytical performance in soil, *Applied Radiation and Isotopes*, 67; 139-146.

- Sparovek G., Bacchi, O.O.S., Ranieri, S.B.L., Flanagan, D.C.** 2001. Performance of ^{137}Cs fallout redistribution analysis, USLE and WEPP as erosion prediction technology in a complex landscape watershed under sugarcane cultivation, *Soil Erosion Research for the 21st Century*, J.C.Ascough and D.C.Flanagan, St.Joseph, Michigan, pp. 367-370.
- Toy, T.J., Foster, G.R., Renard, K.G.**, 2002. Soil Erosion: Processes, Prediction, Measurement, and Control, Jonh Wiley & Sons, Inc., New York.
- UÇEP**, 1999. *Ulusal Çevre Eylem Planı*, Ankara.
- Url-1** <tema.org.tr/trcevre_kutuphanesi/erozyon/pdf/ToprakErozyonu_Olusu_mu_Nedenleri.pdf> alındığı tarih 08.07.2009.
- Url-2** <<http://www.civertan.hu/>> alındığı tarih 12.08.2009.
- Url-3** <<http://www.galuzzi.it>> alındığı tarih 11.08.2009.
- Url-4** <http://www.agri.ankara.edu.tr/soil_sciences/1235_Bolum_10_Ruzg_ar_Erozyonu_ve_Kontrolu.pdf> alındığı tarih 12.06.2009.
- Url-5** <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Landschaft_bei_G%C3%B6reme_2> alındığı tarih 08.07.2009.
- Url-6** <<http://www.itu.edu.tr/?itu-hakkinda/tarihce>>, alındığı tarih 5.10.2009.
- Url-7** <Google Maps>, alındığı tarih 10.09.2009.
- Url-8** <<http://www.meteor.gov.tr/2006/zirai/zirai-zirai.aspx>>, alındığı tarih 8.10.2009.
- Uysal H.**, 2000, E.Ü. Ziraat Fakültesi, Toprak Su Korunumu, Ders Notları, Erzurum.
- Wallbrink, P., Wilkinson S., Blake W., Doerr S., Humphreys G., Thompkins K. And Shakesby R.**, 2007. Assessment of the impact of a large fire on erosion, sedimentation and downstream water quality in Lake Burragorang, NSW, Australia, *Assess the effectiveness of soil conservation techniques for sustainable watershed management using fallout radionuclides, Final Research Coordination Meeting*, Vienna, Austria.
- Walling, D.E.**, 2003. Seminar for the use of environmental radionuclides in catchment sediment budget investigations, *I.T.Ü. Enerji Enstitüsü-TEMA Vakfı Bilimsel Etkinlikleri Seminerleri II*, Süleyman Demirel Kültür Merkezi, I.T.Ü., İstanbul, 27 Mart, İstanbul, Türkiye.
- Walling, D.E. and He, Q.**, 1999. Improved models for estimating soil erosion rates from ^{137}Cs measurements, *J. Environmental Quality*, 28, 611-622.
- Walling, D.E. and He, Q.**, 2000. 'Calibration of a field-portable gama detector to obtain in situ measurements of the ^{137}Cs inventories of cultivated soils and floodplain sediments', *Applied Radiation and Isotopes*, 52, 865-72.
- Walling, D.E. and He, Q.**, 2002. Models for Converting ^{137}Cs Measurements to Estimates of Soil Redistribution Rates on Cultivated and Uncultivated Soils, and Estimating Bomb-derived ^{137}Cs Reference Inventories (Including Software for Model Implementation), *Applied Radiation and Isotopes*.

- Walling, D.E. and Quine, T.A.**, 1993. *Use of ^{137}Cs As A Tracer Of Erosion And Sedimentation*, Handbook For The Application Of The ^{137}Cs Technique, University of Exeter, Exeter, United Kingdom.
- Walling D.E., Schuller P., Zhang Y., and Iroumé A.**, 2009. *Extending the timescale for using berillium 7 measurements to document soil redistribution by erosion*, Water Resources Research, Vol. 45, W02418, doi:10.1029/2008WR007143.
- Yılmaz E.**, 2006. *Çamlıdere Barajı Havzasında Erozyon Problemi ve Risk Analizi, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Zapata, F.**, 2002. *Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Zapata, F., Nguyen, M. L.**, 2009. Soil Erosion and Sedimentation Studies Using Environmental Radionuclides. In: *Environmental Radionuclides-Tracers and Timers of Terrestrial Processes*. Editor: Klaus Froehlich. Elsevier, Chapter 7, 16, 295-322.

EKLER

A.1

ORTEC g v - i (1087) npp32 G53W3.05 25-NOV-2009 13:58:30 Page 1
ITU Spectrum name: Ref yüzey.Spc

Sample description
Calibration

Spectrum Filename: C:\Documents and Settings\Dsrol-EE\Desktop\Bahadır
Bulut\Kasım09\Ref yüzey.Spc

Acquisition information

Start time: 24-Nov-2009 10:41:23
Live time: 86400
Real time: 86752
Dead time: 0.41 %
Detector ID: 1

Detector system

DSROL MCB 129

Calibration

Filename: Ref yüzey.Spc
mb ON TOP

Energy Calibration

Created: 28-Nov-2008 18:50:34
Zero offset: 0.088 keV
Gain: 0.251 keV/channel
Quadratic: -1.398E-08 keV/channel²

Efficiency Calibration

Created: 16-Jun-2009 12:32:39
Knee Energy: 120.00 keV
Above the Knee: Quadratic Uncertainty = 2.42 %
Log(Eff): $-8.720170E+00 + (6.947064E-03 * \text{Log}(E)) +$
 $(-5.394690E-02 * \text{Log}(E)^2)$
Below the Knee: Quadratic Uncertainty = 0.00 %
Log(Eff): $-4.733099E+01 + (1.695479E+01 * \text{Log}(E)) +$
 $(-1.909388E+00 * \text{Log}(E)^2)$

Library Files

Main analysis library: EG-ML.Lib
Library Match Width: 0.500
Peak stripping: Library based

Analysis parameters

Analysis engine: npp32 G53W3.05
Start channel: 50 (12.66keV)
Stop channel: 8000 (2010.94keV)
Peak rejection level: 100.000%
Peak search sensitivity: 3

Sample Size: 1.0000E+00
 Activity scaling factor: 1.0000E+00/(1.0000E+00* 1.0000E+00) =

ORTEC g v - i (1087) npp32 G53W3.05 25-NOV-2009 13:58:30 Page 2
 ITU Spectrum name: Ref yüzey.Spc

1.0000E+00
 Detection limit method: Traditional ORTEC method
 Random error: 1.0000000E+00
 Systematic error: 1.0000000E+00
 Fraction Limit: 0.000%
 Background width: best method (based on spectrum).
 Half lives decay limit: 12.000
 Activity range factor: 2.000
 Min. step backg. energy 0.000

Corrections	Status	Comments
Decay correct to date:	YES	01-Nov-2006 12:00:00
Decay during acquisition:	NO	
Decay during collection:	NO	
True coincidence correction:	NO	
Peaked background correction:	NO	
Absorption (Internal):	NO	
Geometry correction:	NO	
Random summing:	NO	

Energy Calibration
 Normalized diff: 0.2856

***** SUMMARY OF PEAKS IN RANGE *****

Peak Energy	Area	Uncert	FWHM Factor	Corrctn Energy	Nuclide Ratio	Brnch. Bq/Kg	Act. Nuc
13.52	28274.	0.74	1.43	9.924E-08			
24.23	316.	31.38	0.77	3.090E-06	24.00 27.600	3.795E+06 SN113	
					24.21 52.000	1.933E+06 SN113	
27.34	97.	67.09	0.87	5.323E-06	27.30 17.300	1.031E+06 SN113	
32.37	308.	27.78	0.78	1.052E-05	32.19 3.600	1.030E+04 CS137	
36.41	76.	87.39	0.88	1.578E-05	36.40 1.320	4.508E+03 CS137	
37.81	101.	70.48	0.88	1.777E-05	37.80 15.700	1.170E+05 CE139	
46.55	2564.	4.82	1.09	3.110E-05	46.54 4.250	2.471E+04 PB210	
50.21	250.	30.90	0.89	3.616E-05			
53.39	185.	39.48	0.90	4.067E-05			
58.73	87.	80.46	0.38	4.865E-05	59.54 35.900	5.816E+01 AM241	
63.36	881.	14.10	0.98	5.252E-05			
70.82	197.	43.63	0.91	5.805E-05	70.83 3.750	HL>Cutoff HG203	
72.86	481.	19.11	0.91	5.910E-05	72.87 6.360	HL>Cutoff HG203	
74.73	3521.	3.15	0.91	5.990E-05			
77.09	5738.	2.06	0.92	6.069E-05			
84.17	797.	10.80	0.92	6.173E-05			
87.11	1950.	4.74	0.92	6.165E-05			
89.88	1217.	7.05	0.93	6.134E-05			
92.96	1562.	5.78	0.93	6.074E-05			
99.58	298.	30.53	0.85	5.875E-05			
114.97	195.	42.32	0.73	5.170E-05			
123.32	175.	50.16	0.43	4.834E-05			
128.96	504.	20.43	0.82	4.724E-05			
150.87	96.	80.18	0.95	4.345E-05	151.18 0.001	HL>Cutoff SR85	
165.71	117.	84.96	0.26	4.133E-05	165.85 79.886	1.149E+04 CE139	
180.59	97.	76.57	0.30	3.944E-05			
185.88	1294.	7.29	1.26	3.882E-05			
209.09	848.	11.17	1.05	3.633E-05			
238.39	7943.	1.39	1.05	3.368E-05			
241.48	1504.	5.17	1.05	3.343E-05			
269.94	748.	12.96	1.26	3.130E-05			

277.24	477.	16.89	1.48	3.080E-05					
278.96	47.	99.13	1.08	3.067E-05	279.20	81.460	HL>Cutoff	HG203	
294.89	2669.	3.43	1.25	2.968E-05					
299.77	517.	13.62	1.18	2.938E-05					
325.43	59.	71.37	1.12	2.794E-05					
327.66	492.	10.85	1.12	2.782E-05					
337.98	1526.	10.64	1.17	2.729E-05					
349.16	104.	52.17	1.14	2.674E-05					
351.59	4254.	1.94	1.14	2.663E-05					
361.67	85.	92.27	0.00	2.611E-05	362.80	0.000	HL>Cutoff	SR85	
392.73	68.	75.87	0.27	2.487E-05	391.69	64.000	4.176E+04	SN113	
400.26	69.	61.28	0.89	2.453E-05					
441.72	44.	72.08	0.38	2.302E-05					
462.87	612.	10.15	1.38	2.233E-05					
477.41	2388.	5.21	1.24	2.188E-05					
510.59	2710.	3.39	1.92	2.093E-05	511.00	0.420	5.141E+08	Y88	
513.62	80.	47.18	1.26	2.084E-05	514.01	96.000	HL>Cutoff	SR85	
582.89	2796.	2.75	1.45	1.914E-05					
608.97	3373.	2.07	1.34	1.858E-05					
613.54	64.	45.18	1.34	1.848E-05					
640.63	81.	51.69	0.29	1.799E-05	638.03	0.001	4.613E+09	SN113	
653.05	24.	86.02	0.39	1.771E-05					
661.31	2910.	3.07	1.41	1.755E-05	661.66	85.100	2.421E+03	CS137	
677.86	44.	51.16	0.39	1.725E-05					
717.68	40.	54.23	0.34	1.658E-05					
726.56	598.	11.46	1.46	1.644E-05					
767.57	334.	15.48	1.27	1.581E-05					
794.64	328.	13.78	1.47	1.543E-05					
866.68	83.	47.20	0.36	1.448E-05	868.06	0.012	HL>Cutoff	SR85	
897.53	51.	45.65	0.75	1.412E-05	898.04	93.700	6.464E+04	Y88	
910.65	2159.	3.58	1.71	1.398E-05					
968.33	1138.	4.76	1.56	1.337E-05					
1120.07	906.	6.40	1.67	1.200E-05					
1173.36	59.	58.58	0.22	1.159E-05	1173.24	99.974	8.806E+01	CO60	
1237.50	292.	24.13	1.67	1.113E-05					
1333.49	96.	37.33	0.32	1.051E-05	1332.50	99.986	1.579E+02	CO60	
1383.43	83.	31.19	0.70	1.022E-05	1382.20	0.021	6.470E+08	Y88	
1459.88	8762.	1.15	1.99	9.797E-06					
1763.39	787.	5.05	1.85	8.440E-06					
1835.73	49.	37.02	0.72	8.171E-06	1836.06	99.200	1.007E+05	Y88	

Analyzed by: _____
DSROL

Reviewed by: _____
Supervisor

Laboratory: ITU

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Bahadır BULUT

Doğum Yeri ve Tarihi: Trabzon – Of, 10.08.1985

Adres: İTÜ Enerji Enstitüsü Ayazağa Kampüsü, 34469 Maslak İSTANBUL

Lisans Üniversite: Marmara Üniversitesi - Fizik Bölümü

Yayın Listesi:

- **Bahadır BULUT.**, 2007: Küresel Isınma Bölüm-1, İstanbul, Turkey. <http://www.bilgiustam.com/kuresel-isinma-bolum-1/>
- **Bahadır BULUT.**, 2007: Küresel Isınmanın Nedenleri? Sebepleri?, İstanbul Turkey. <http://www.bilgiustam.com/kuresel-isinmanin-sebepleri/>
- **Bahadır BULUT.**, 2007: Değişen İklim Değil, Enerji Olsun!, İstanbul Turkey. <http://www.bilgiustam.com/degisen-iklim-degilenerji-olsun/>

