

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ÖMERLİ HAVZASINDA SERPİNTİ RADYONÜKLİDLERİ YÖNTEMİYLE
EROZYONUN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
M. Sahip KIZILTAŞ**

Programı : ENERJİ BİLİM VE TEKNOLOJİ

OCAK 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**ÖMERLİ HAVZASINDA SERPİNTİ RADYONÜKLİDLERİ YÖNTEMİYLE
EROZYONUN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
M. Sahip KIZILTAŞ
(301031044)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2007**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr. Sevilay HACİYAKUPOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ahmet HIZAL (İ.Ü.)
Prof.Dr. Filiz BAYTAŞ (İ.T.Ü.)**

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Yapılan Yüksek Lisans tez çalışması ile Ömerli Baraj Havzasında seçilen iki sahada işlenmemiş topraklar için serpinti radyonüklidleri yöntemi kullanılarak erozyon miktarı tespit edildi. Bu kapsamda Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) desteğiyle TUR-12330 kontrat numaralı uluslararası koordine bir proje de yürütülmektedir.

Tez çalışması esnasında bana verdiği destek, gösterdiği sabır ve esirgemediği bilgileri için hocam Y.Doç.Dr. Sevilay HACİYAKUPOĞLU'na saygı ve minnet duygularıyla teşekkür ederim.

Örneklerin toplanması esnasında yardımlarını esirgemeyen ISKI Genel Müdürlüğü yönetimine, ISKI Kağıthane Tesisleri'nden Sayın Akif Kabadayı ve Salih Kırca'ya ve İSKİ personeline teşekkür ederim.

Ayrıca deneylerin gerçekleştirilmesi aşamasında desteğini gördüğüm Sayın Doç.Dr. Doğanay Tolunay'a, Sayın Dr.Lionel Mabit'e teşekkür ederim.

Son olarak bana her zaman inanan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve resimleri renklendiren kardeşim Kasım Kızıldaş'a teşekkür ederim

Aralık 2006

M. Sahip KIZILTAŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KONU İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	3
2.1. Toprak Erozyonu Ve Sedimentasyon	3
2.1.1. Toprak Erozyonunu Etkileyen Fiziksel Faktörler	4
2.1.2. Su Erozyonu	6
2.1.3. Rüzgar Erozyonu	8
2.1.4. Diğer Erozyon Türleri	9
2.1.5. Dünya’da ve Türkiye’de Erozyon	9
2.1.5.1. Tarihsel Süreç	9
2.1.5.2. Dünya’da Erozyon	11
2.1.5.3. Türkiye’de Erozyon	11
2.2. Serpinti Radyonüklidleri İle Toprak Taşınmasının Belirlenmesi	15
2.2.1. Yöntemde Kullanılan Radyonüklidler	15
2.2.2. Toprak Örneklerinin Yönteme Göre Alınması	19
2.2.3. Gama Radyoaktivitesi ve Ölçümleri	21
2.2.4. Serpinti Radyonüklidleri Dönüşüm Modelleri	23
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
3.1. Ömerli Baraj Havzasının Tanıtımı	26
3.2. Arazi Çalışmaları	27
3.2.1. Referans Alan	28
3.2.2. Eğimli Alanlar	29

3.2.2.1. Paşaköy Alanı	29
3.2.2.2. Esenceli Alanı	31
3.3. Laboratuar Çalışmaları	32
3.3.1. Örnek Hazırlanması	32
3.3.2. Toprak Özelliklerinin Belirlenmesi	32
3.3.3. Toprak Kayıplarının Belirlenmesi	33
3.3.3.1. Gama Spektroskopik Ölçümleri	33
3.3.3.2. Kesite Göre Yayılım Modelinin Kullanılması	34
3.3.4. Dönüşüm Modeli Programının Kullanılması	37
3.3.4.1. Addin Yazılımı	38
4. DENEY SONUÇLARI	39
4.1. Toprak Örneklerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	39
4.2. Aktivite konsantrasyonu zaman düzeltmesi	40
4.3. Aktivite envanteri hesaplanması	46
4.4. Referans Alan için ¹³⁷ Cs Profili	50
4.5. İşlenmemiş Topraklarda Dönüşüm Modeli ile Toprak Taşınma Miktarı	52
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	58
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	65

KISALTMALAR

ANSTO	: Avustralya Nükleer Bilim ve Teknoloji Organizasyonu (Australian Nuclear Science and Technology Organization)
BMÇMS	: Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi
COP	: Conference of the Parties
CRIC	: Committee for the Review of the Implementation of the Convention
ÇMTUEP	: Çölleşme İle Mücadele Türkiye Ulusal Eylem Programı
F.A.O.	: Birleşmiş Milletler Dünya Tarım ve Gıda Örgütü
FRN's	: Fallout Radionuclides Methodology (Serpinti Radyonüklidleri Yöntemi)
FWFM	: Radyonüklidin igilenilen enerjideki pikinin beşte bir yüksekliğindeki genişliği (Full width at fifth maximum)
FWHM	: Radyonüklidin igilenilen enerjideki pikinin yarı yüksekliğindeki genişliği (Full width at half maximum)
FWTM	: İlgili radyonüklidin igilenilen enerjideki pikinin onda bir yüksekliğindeki genişliği (Full width at half maximum)
GEF	: Global Environment Facility
HpGe	: Saf germanyum detektör
IAEA	: International Atomic Energy Agency
INCD	: International Convention to Combat Desertification
İ.S.K.İ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
İ.T.Ü.	: İstanbul Teknik Üniversitesi
ORTEC	: Oak Ridge Technical Enterprise Corporation
UNCED	: United Nations Conference on Environment and Development
UNSO	: United Nations Sudano-Sahelian Office
UNU	: United Nations University
UÇEP	: Ulusal Çevre Eylem Planı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1: Eğim derecesinin toprak kaybına olan etkisi	4
Tablo 2.2: Eğim uzunluğu toprak kaybı ilişkisi	5
Tablo 2.3: Tarımsal kullanım için bölgesel toprak kapasitesi (%)	13
Tablo 2.4: Türkiyede su ve rüzgar erozyonu	14
Tablo 2.5: Dünya ve Türkiye'de t km ⁻² yıl ⁻¹ olarak taşınan toprak miktarı	15
Tablo 2.6: Topraktaki ²¹⁰ Pb ile ²²⁶ Ra arasındaki yüzdesel dengenin zamana göre değişimi	17
Tablo 3.1: Ölçüm sisteminde kullanılan detektörün özellikleri	34
Tablo 4.1: Paşaköy referans alandan, 0-26 cm derinlikten alınan toprak örnekleri	39
Tablo 4.2: Paşaköy referans alandan, 0-40 cm derinlikten alınan toprak örnekleri	39
Tablo 4.3: Paşaköy eğimli araziden 1. çukur için, 0-19.5 cm derinlikten alınan toprak örnekleri	40
Tablo 4.4: Paşaköy eğimli araziden 2. çukur için, 0-39 cm derinlikten alınan toprak örnekleri	40
Tablo 4.5: Paşaköy referans alanında kesit toprak örnekleri için ölçülen ve zamana göre düzeltilmiş aktivite konsantrasyonu değerleri	42
Tablo 4.6: Paşaköy referans alanında yapısı bozulmamış toprak örnekleri için ölçülen ve zamana göre düzeltilmiş aktivite konsantrasyonu değerleri	43
Tablo 4.7: Paşaköy eğimli alanda yapısı bozulmamış toprak örnekleri için ölçülen ve zamana göre düzeltilmiş aktivite konsantrasyonu değerleri	44
Tablo 4.8: Esenceli eğimli alanda yapısı bozulmamış toprak örnekleri için ölçülen ve zamana göre düzeltilmiş aktivite konsantrasyonu değerleri	45
Tablo 4.9: Paşaköy referans alanında kesit toprak örnekleri için düzeltilmiş aktivite envanteri değerleri	47
Tablo 4.10: Paşaköy referans alanında yapısı bozulmamış toprak örnekleri için düzeltilmiş aktivite envanteri değerleri	48
Tablo 4.11: Referans alan aktiviteleri için örnek sayısı ve örnekleme hatası	48

Tablo 4.12: Paşaköy eğimli alanda yapısı bozulmamış toprak örnekleri için düzeltilmiş aktivite envanteri değerleri	49
Tablo 4.13: Esenceli eğimli alanda yapısı bozulmamış toprak örnekleri için düzeltilmiş aktivite envanteri değerleri	50
Tablo 4.14: Paşaköy referans alanı için elde edilen özellikler	51
Tablo 4.15: Referans alan için kümülatif kütle derinliği ile aktivite envanterinin logaritması değerleri	53
Tablo 4.16: Kesite göre yayılım modeliyle Paşaköy eğimli alan için elde edilen toprak taşınma miktarları	56
Tablo 4.17: Kesite göre yayılım modeliyle Esenceli eğimli alan için elde edilen toprak taşınma miktarları	57
Tablo 4.18: Paşaköy ve Esenceli çalışma alanında elde edilen toprak aşınım ve birikim değerleri	57

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1: Atatürk barajındaki sediment akımı ve Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamında yürütülen erozyon kontrolü çalışmaları	3
Şekil 2.2: Rüzgar erozyonu ile toprağın sıçrama, sürüklenme, süspansiyon ile taşınması	8
Şekil 2.3: Radyonüklidlerin serpintisi ve taşınması	16
Şekil 2.4: ²³⁸ U bozunum serisi	18
Şekil 2.5: Toprak örneği alınması ve kullanılan donanım	19
Şekil 2.6: Eğimli alanda tekli transekt yöntemi ile örnek alımı	21
Şekil 2.7: Eğimli alanda dört paralel transektten oluşan ızgara yöntemi ile örnek alımı	21
Şekil 2.8: Gama ışınının madde ile etkileşmesi	23
Şekil 2.9: Serpinti radyonüklidleri yönteminin ¹³⁷ Cs radyonüklidi için çalışma prensibi	23
Şekil 3.1: Ömerli Barajı mevkii haritası	26
Şekil 3.2: İstanbul için kullanılabilir su miktarlarının kaynaklara göre dağılımı	27
Şekil 3.3: Paşaköy referans alanı olarak seçilen saha ve toprak örneklerinin alınması	28
Şekil 3.4: Paşaköy eğimli çalışma alanının görüntüleri	29
Şekil 3.5: Paşaköy çalışma alanı için uydu görüntüsü	29
Şekil 3.6: Paşaköy eğimli çalışma alanı için örnek toplama şeması	30
Şekil 3.7: Esenceli eğimli çalışma alanının görüntüleri	31
Şekil 3.8: Esenceli çalışma alanının uydu görüntüsü	31
Şekil 3.9: Esenceli eğimli çalışma alanı için örnek toplama şeması	32
Şekil 3.10: Gama spektroskopik ölçüm sistemi, Seibersdorf Laboratuvarları	33
Şekil 3.11: ¹³⁷ Cs'nin bozunum şeması	34
Şekil 3.12: ¹³⁷ Cs'nin toprakta derinliğe bağlı olarak yayılımı	36
Şekil 3.13: Kullanılacak dönüşüm modelinin tercihi için seçenekler	37
Şekil 3.14: Kullanılan dönüşüm programının işleyişi	38
Şekil 4.1: Referans alan ortalama aktivite değeri ve aktivite dağılımları	48

Şekil 4.2: ^{137}Cs konsantrasyonunun toprak derinliğine ve ^{137}Cs envanterinin kütle derinliğine göre yayılımı	52
Şekil 4.3: Referans alan hesaplamaları için elde edilen doğru, doğru denklemi ve uyum fonksiyonu	54
Şekil 4.4: ^{137}Cs konsantrasyonunun kütle derinliğine göre yayılımı uyum eğrisi	55

SEMBOL LİSTESİ

α	: Alfa
β	: Beta
β^-	: Elektron yayını
β^+	: Pozitron yayını
γ	: Gama yayını
λ	: Dönüşüm sabiti
σ	: Standart sapma
(e^-, e^+)	: Çift oluşumu
μg	: Mikrogram
A	: Birim alandan taşınabilir üst toprak kaybı miktarı
A	: Aktivite
A	: Bozunum hızı aktivite
A	: Çalışılan alanın toplam ^{137}Cs envanteri
A(t)	: Birim alandaki kümülatif (toplam) ^{137}Cs aktivitesi
A/A₀	: Relatif aktivite
A₀	: $t = 0$ anındaki aktivite
Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
A_{ref}	: Yerel referans envanteri
A_u	: Örnek toplanan noktadaki ^{137}Cs envanteri
Ba	: Baryum
Be	: Berilyum
Bi	: Bizmut
Bq	: Becquerel
C	: Karbon
Ci	: Curie
Cl	: Klor
cm	: Santimetre
Co	: Kobalt
Cs	: Sezyum

d	: Toprak işleme derinliği
eV	: Elektron volt
Ge	: Germanyum
H	: Hidrojen
h₀	: Kesite göre dağılım modeli şekil faktörü
ha	: hektar
In	: İndiyum
K	: Derece Kelvin
K	: Potasyum
keV	: Kilo elektron volt
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
Li	: Lityum
m	: metre
MeV	: Milyon elektron volt
mg	: miligram
mm	: milimetre
Mn	: Manganez
N	: Azot
Na	: Sodyum
Nal	: Sodyum iyodür
nm	: Nanometre
Np	: Neptünyum
O	: Oksijen
P	: Tanecik boyutu düzeltme faktörü
P	: Fosfor
Pa	: Protaktinyum
Pb	: Kurşun
Po	: Polonyum
Ra	: Radyum
Rn	: Radon
Si	: Silisyum
T	: ¹³⁷ Cs ölçümleri için örnek toplandığı yıl
T	: ¹³⁷ Cs birikiminin başlangıcından itibaren geçen zaman
t	: ton
t	: Zaman
Th	: Toryum

TI	: Talyum
U	: Uranyum
x	: Kütle derinliği
X	:Yerel ¹³⁷ Cs referans envanteri göz önüne alınarak belirlenen, toplam ¹³⁷ Cs envanterindeki kayıp yuzdesi
y	: yıl
Y	:Yıllık toprak kaybı

ÖMERLİ HAVZASINDA SERPİNTİ RADYONÜKLİDLERİ YÖNTEMİYLE EROZYONUN BELİRLENMESİ

ÖZET

Toprak erozyonu zamanımızın en önemli çevre problemlerinden biridir. Erozyon ve sedimentasyon yalnızca olduğu ortamda değil, ortamın dışında da önemli etkiler yaratır. Yapılan çalışmalarda uygun toprak kullanım teknikleriyle toprak erozyonunun azaltılabileceği görülmüştür. Toprak araştırmalarında Cs-137 kullanımı 1950-1960 yıllarında yapılan termonükleer silah denemelerinde ortaya çıkan radyoaktif elementlerin belirlenmesiyle başlamış ve bu araştırmalarda Cs-137'nin toprağa sıkıca tutunduğu gözlemlenmiştir. Cs-137'nin toprak içindeki hareketi aynı zamanda sıkıca tutunduğu toprağın hareketini de yansıttığından, erozyon araştırmalarında radyonüklidlerin toprak içindeki dağılımlarından yararlanılarak, serpinti radyonüklidleri yöntemi (FRN's) geliştirilmiştir.

Ömerli baraj gölü, İstanbul'un içme ve günlük kullanım suyunu sağlayan, en önemli su kaynağıdır. Havza bazında planlama ve uygulamalar yapılabilmesi ve doğal kaynaklardan en iyi biçimde yararlanmanın düzenlenmesinde sorunlar ortaya çıkmaktadır. Günümüzde önem kazanan su kaynakları ile ilgili bu sorunların giderilmesi ve uygun toprak ve havza yönetim stratejilerinin belirlenebilmesi için, havzadaki toprak taşınma miktarları ve şeklinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında Ömerli baraj gölü havzasındaki farklı iki sahada araştırmalar yürütüldü (Paşaköy ve Esenceli). İncelenen toprak örneklerindeki Cs-137 radyonüklidinin gama spektroskopik analiz sonuçları ile serpinti radyonüklidleri dönüşüm modellerinden yararlanılarak toprak taşınma miktarları ve şekli belirlendi.

SOIL EROSION IN THE OMERLI WATERSHED BASIN USING FALLOUT RADIONUCLIDES METHODOLOGY

SUMMARY

Soil erosion represents is one of the most serious environmental problems of modern time. Soil erosion and deposition cause not only on-site degradation of a natural resource base but also off-site problems such as downstream sediment deposition in fields, floodplains and water bodies. However, it is reported that effective soil conservation programs can reduce substantially soil erosion losses. The use of ^{137}Cs measurements in soil erosion investigations exploits the fact that the world-wide fallout of ^{137}Cs produced by the atmospheric testing of thermonuclear weapons during the 1950's and 1960's was in most environments rapidly and strongly adsorbed by the surface soil. Subsequent redistribution of the ^{137}Cs fallout input will have occurred in association with the movement of soil and sediment particles within the landscape and is thus a direct reflection of erosion and deposition mechanisms. In this frame the fallout radionuclides methodology (FRN's) was developed.

Omerli Dam Lake in Riva Creek Basin, constitute the main drinking and daily use water resource of Istanbul mega city. There are problems to determine and evaluate problems for selection of effective soil conservation and watershed management strategies in the basin. To determine the appropriate soil and watershed management strategies soil redistribution rates in the catchment should be determined. In this M.Sc. thesis research was done in two different sites (Pasaköy and Esenceli) in Omerli Watershed Basin. Soil redistribution rates was estimated using gamma spectroscopic analysis results of ^{137}Cs radioactivity in investigated soil samples with fallout radionuclides conversion model.

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

Canlıların ilk varlığından bugüne kadar onlara ev sahipliği yapmış yerkürenin üzerindeki toprak örtüsü, tam bir tanımı olmamasına karşın; dünyadaki karasal ortamların yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplayan, çeşitli kayaç ve minerallerin çevresel faktörlerin etkisiyle ayrışması sonucu oluşan, içerisinde inorganik ve organik materyaller ile birlikte belirli oranlarda hava ve su bulunduran, bitkilere tutunma yeri ve besin kaynağı olan üç boyutlu ve canlı bir doğal varlık olarak tanımlanabilir (**Çevre ve İnsan, 1998**). Bir diğer tanıma göre toprak, başlı başına bir ekosistem olup, katı arz kabuğunun ayrışan en üst tabakasıdır (**Balcı, 1996**). Son derece karmaşık bir yapıya sahip olan toprak, canlı organizmayla bir bütünlük kazanmaktadır. Dünyadaki canlıların beslenmesinde hava, su ve güneş ile birlikte temel kaynak olan toprak, tüm bitkisel ve hayvansal besinlerin doğrudan veya dolaylı olarak üretimine büyük katkıda bulunmaktadır. Bu durum toprağı, hayatımızın vazgeçilmez unsuru kılmaktadır (**WOCAT Çalıştayı, 2005**).

Canlı varlığının sürdürülmesi toprağın korunmasına bağlıdır. 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**). Bu hususta erozyon ve yanlış arazi kullanımı ile toprak kaybı olmak üzere birçok faktör etkilidir. Bunların yanında, mutlak anlamda çölleşmeye neden olmasa bile, toprak kirlenmesi de verimli tarım ve orman arazilerinin yok olmasında önemli bir rol oynamaktadır (**Çepel, 1997**).

Dünyada yapılan toprak koruma çalışmaları içinde en önemlisi erozyonun önlenmesidir. Toprak erozyonu ile çok fazla miktarda kil, toz, kum ve çakıl gibi maddeler tarlalardan, akarsularla taşınarak daha alçak yerlerdeki düzlüklerde biriktirilir. Erozyonla taşınan materyal düz ovalardaki tarım toprakları üzerine yığılarak verimli üst toprakların derinlerde kalması ile toprağın veriminin düşmesine, drenaj problemlerinin ortaya çıkmasına veya ekili, dikili topraklardaki ürünün yok olmasına sebep olur. Erozyon ile sulama ve drenaj kanalları, barajlar kısa sürede dolmakta ve bunun sonucunda içme, sulama ve elektrik üretiminde kullanılan su

miktarları azalmaktadır. Erozyon artıkları akarsuları kirletmek suretiyle halk sağlığını tehdit etmektedir (**Ergene, 1987**). Erozyonun önlenmesi, toprağın yanı sıra, biyolojik çeşitliliği de korur; su rejimini düzenler, kuraklığı ve taşkınları denetim altına alır, hayvancılığı geliştirir; peyzaj değerleri yükseltir, havzanın aşığı bölümlerinde yer alan baraj, bent, göletler, arıtma tesisleri, sulama ve drenaj ağları vb. yapıların maliyetini ve amortisman giderlerini düşürür (**II. Tarım Şurası Çalışma Belgesi, 2004**). Erozyon, yerel olarak oluşmasına rağmen tüm dünyanın çok önemli bir sorunudur (**FAO/IAEA Projesi, 2006; UNU Projesi, 2006**).

Erozyonu tespit edebilmek için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Her yöntemin kendine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Serpinti radyonüklidleri yöntemi de bu amaçla kullanılan yöntemlerden biridir. 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.

Nükleer denemeler ve nükleer kazalar sonucu oluşan radyonüklidlerden ^{137}Cs ; ^{238}U bozunum ürünlerinden ^{210}Pb ve kozmik ışınlar sonucu oluşan radyonüklidlerden ^7Be ise en sık kullanılan radyonüklidler arasındadır. Bu radyonüklidler yağmur, kar ve diğer atmosferik olaylar sonucu serpinti olarak yeryüzüne inerler, topraktaki tanecikler tarafından tutularak absorbe edilirler. ^7Be ve ^{210}Pb toprağın yüzeyinde kalırken, ^{137}Cs difüzyon sonucu daha derinlere inmektedir. Bu yöntemde seçilen alanlardan örnekler alınarak radyonüklidlerin aktivitesi (Bq/kg) ve aktivite envanterleri (Bq/m²) hesaplanır. İlgili dönüşüm modelleri kullanılarak toprağın taşınma ve birikme miktarları (t h⁻¹ y⁻¹) elde edilir. Serpinti radyonüklidleri yöntemi; su, rüzgar ve diğer atmosferik olayların veya binlerce yıllık jeolojik değişimin sonucu oluşan erozyonu, dere, havza, göl, baraj diplerinde biriken sediment miktarını belirlemede kullanılabilir. Fakat, yağın halindeki toprak hareketi sonucu oluşan, heyelanları ölçmede yetersiz kalmaktadır (**Hacıyakupoglu ve diğer., 2005a**).

Bu çalışmada Ömerli baraj gölü havzasındaki farklı iki sahada araştırmalar yürütülmesi (Paşaköy ve Esenceli) ve incelenen toprak örneklerindeki ^{137}Cs radyonüklidinin gama spektroskopik analiz sonuçları ile serpinti radyonüklidleri dönüşüm modellerinden yararlanılarak toprak taşınma miktarlarının ve şeklinin belirlenmesi amaçlandı.

BÖLÜM 2

2. KONU İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

2.1. Toprak Erozyonu Ve Sedimentasyon

Toprağın doğal veya doğal olmayan nedenlerden dolayı taşınması olayına toprak erozyonu denir. Doğal olmayan nedenlerden en önemlisi yanlış arazi kullanımı ve uygulanan tarım teknikleridir. Ayrıca toprağın kirletilerek doğal erozyona uğraması en vahim durumlardan biridir, dolaylı olarak doğal olmayan erozyon sınıfına girmektedir.

Doğal erozyon aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (**Balcı, 1996**):

- Su erozyonu
- Rüzgar erozyonu
- Diğer erozyon türleri

Akarsular ile taşınan katı materyale sediment adı verilir (**Balcı, 1996; Toy ve diğ., 2002**). 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 Atatürk barajındaki sediment akımı ve Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamında yürütülen erozyon kontrolü çalışmaları görülmektedir.



Şekil 2.1: Atatürk barajındaki sediment akımı ve Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamında yürütülen erozyon kontrolü çalışmaları (**Hızal, 2004**).

2.1.1. Toprak Erozyonunu Etkileyen Fiziksel Faktörler

Toprak erozyonunu etkileyen fiziksel faktörler incelenirse aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür:

- İklim
- Jeoloji
- Arazinin yapısı
- Bitki örtüsü
- Toprağın özellikleri
- İnsan

a) İklim

Yıl içinde değişen sıcaklık, yağış miktarı ile şiddeti ve dağılışı (rejimi), rüzgarın hızı, yönü toprak erozyonu üzerinde etkili olmaktadır. Yıllık yağış miktarı su erozyonunu etkileyen önemli bir faktördür. Zamana göre değişen rüzgar hızı ve yönü ise rüzgar erozyonunu etkilemektedir. Ayrıca değişen sıcaklık toprağın boyutlarında etkili olurken, aynı zamanda üzerinde yetişen bitki örtüsünde de etkili olmaktadır. Farklı sıcaklık bölgelerinde farklı bitki örtüsü bulunmaktadır.

b) Jeoloji

Yerkabuğu ve onu oluşturan maddeler zamanın akışı sırasında sürekli bir değişme durumunda bulunurlar. Örneğin, yerin iç bölümlerinden yeryüzüne doğru yükselerek orada katılaştıran bir volkanik kaya zamanla çakıl, kum, kil gibi maddelere dönüşür. Bu süreçte dış etkenler (çözülme, kütle hareketleri, sular, buzullar, rüzgarlar, dalgalar ve akıntılar, organik maddeler) önemlidir. Kayaların sıcaklık değişimleri ve donma çözülme ile ufalanması, kimyasal bileşimlerin değişikliğe uğraması sonucunda öğelerin arasındaki bağın gevşemesi ya da çözülmesi, toprakların oluşumu bu tür süreçlerdir. Meydana gelen toprağın özellikleri çevre koşullarına ve anakayaya bağlı olarak farklılıklar gösterir (Güney, 2004; Balcı, 1996).

c) Arazinin Yapısı

Arazinin sahip olduğu eğim erozyon için en önemli etkidir. Tablo 2.1 yüzdesel olarak eğim derecesinin toprak kaybı ile olan ilişkisini göstermektedir.

Tablo 2.1: Eğim derecesinin toprak kaybına olan etkisi (Doğan ve Güçer, 1976).

Yağış Miktarı (mm)	Yağış Süresi (saat)	Toprak kaybı miktarı (ton/hektar)				
		Eğim derecesi				
		%0	%5	%10	%15	%20
50,0	164	0,4	13,3	40,1	67,1	91,3
33,5	155	0,3	14,5	36,9	46,1	59,1

Eğimle beraber eğimin uzunluğu, girinti ve çıkıntıya sahip olan yapısı da önemli etkenlerdir, ayrıca sediment miktarını ve hızını belirleyen faktörlerden biridir. Tablo 2.2'de eğim uzunluğu ile toprak kaybı arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Tablo 2.2: Eğim uzunluğu ile toprak kaybı ilişkisi (Doğan ve Güçer, 1976).

Eğim Uzunluğu (m)	Birim Sahadan Oluşan Toprak Kaybı (ton)
0 – 23	0,91
23 – 46	1,65
46 – 69	2,13
69 – 92	2,52
0 – 92 (ortalama)	1,80

d) Vejetasyon

Bitki örtüsü yağmur damlalarının toprakla temasını önlediği için meydana gelecek toprak erozyonu miktarında azalma meydana gelecektir. Bu nedenle arazi üzerindeki bitki örtüsünün sıklığı önemlidir. Arazi üzerinde bitki örtüsünün olmaması erozyona çok uygun bir yapıda olduğunu gösterir. Yağmur damlaları direkt olarak toprakla temas halinde olur. Bu durum erozyonun artmasına sebep olacaktır. Arazi üzerinde yetişen bitki örtüsünün türü de toprak erozyonu için önemlidir.

e) Toprağın Özellikleri

- **Toprak tekstürü:** Tekstür toprağı oluşturan temel parçacıkların (kum, toz,kil) dağılımı (Toy ve diğ., 2002), ya da parçacıkların karışım oranı olarak açıklanabilir (Çepel, 1997). Toprak parçacıkları tane boyutunun çapına göre hesaplanmaktadır; kum (sand, 2,0-0,05 mm), toz (silt, 0,05-0,002 mm), kil (clay, 0,002 mm) (Toy ve diğ., 2002). Toprakta ki kum ve toz oranı ile doğru, buna karşılık kil miktarı ile erozyon ters orantılıdır (Balci, 1996).
- **Toprağın yapısı:** Toprak kum, kil ve toz taneciklerinden oluşmaktadır. Bu parçacıklar arasındaki boşluklar toprağın su ve havayı iletme kabiliyetini etkilemektedir. Kil miktarı fazla olan yapılar erozyona karşı daha dayanıklıdır (Toy ve diğ., 2002; Çepel, 1997).
- **Topraktaki organik maddeler:** Toprakta az miktarda bulunan organik madde toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde önemli ölçüde etkilidir. Toprağın kırıntılı bir bünye kazanması, su tutma kapasitesinin yüksek olması, havalanması, yüksek oranda katyon değişim kapasitesine sahip olması büyük ölçüde içindeki organik maddelerden ileri gelmektedir (Ergene, 1987).

- **Toprağın kimyası:**Toprağın kimyasal özellikleri, üzerinde yetişen vejetasyon örtüsü tarafından etkilenmektedir. Vejetasyon aynı zamanda erozyona karşı toprağın göstereceği direnci de belirleyen etmenlerden birisidir. Toprağın pH sı, elektrik iletkenliği (tuzluluğu), demir ve alüminyum oksid miktarları ve kil oranları üzerinde yetişen vejetasyon örtüsünü etkilemesinden dolayı toprağın erozyona karşı davranışını da etkilemektedir. Örneğin, sodyumca zengin topraklar ısladığında çabuk dağılacığından erozyona karşı duyarlı, ama demir ve alüminyumoksidce zengin topraklar erozyona karşı dayanıklıdır **(Toy ve diğ., 2002)**.
- **Toprağın erodobilitesi:** Erodobilité olarak adlandırılan terim, toprağın kendi bünyesinden kaynaklanan nedenlerden dolayı erozyona karşı gösterdiği dirençtir. Bu nedenle aynı koşullar altında (yağmur, bitki örtüsü) farklı yapıdaki topraklar erozyona karşı farklı direnç göstermektedir. Örneğin; kum ve toz oranlarının fazla olduğu topraklarda erozyona karşı olan direnci azalırken, kil oranının fazla olduğu topraklarda erozyona olan direnci artmaktadır.

f) İnsan

Erozyonu etkileyen en önemli etmenlerden biri insandır. İklim, topoğrafya, organizmalar, anakaya ve zaman gibi etmenlerin birlikte oluşturdukları karmaşık etkiler ve etkileşimler sonucu oluşan toprak, çeşitli aşamalardan sonra iklim ve vejetasyonla bir denge oluşturmaktadır. İnsan; sosyal, ekonomik ve tarımsal gereksinimleri için oluşan bu dengeyi bozarak, doğal bitki örtüsünü kaldırarak diğer kullanma şekillerine dönüştürmektedir. Bu dönüşümde genellikle arazi bu doğal dengeyi bozan ve toprağı korumayan daha yoğun bir kullanma şekline ayrılmakta ve bu durum da erozyonun etkin hale geçmesine neden olmaktadır **(Balci, 1996)**.

2.1.2. Su Erozyonu

Hareket halinde bulunan sıvı fazdaki suyun kinetik enerjisinin etkisi ile toprağın aşınması ve taşınması su ile oluşan erozyondur, kısaca su erozyonu olarak isimlendirilir. **(Balci, 1996)**. Suyun kinetik enerjisi hızına ve kütlesine bağlıdır, dolayısıyla hızın veya kütlenin artması toprakta meydana gelen su erozyonu miktarını da artıracaktır. Su erozyonunu aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür **(Ergene, 1987)**

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 yüzeyle

etkileşmesidir. Yüksek kinetik enerji ile toprağa çarpan damlalar, topraktan parça koparılırlar, bu sırada kendileride küçük damlacıklara ayrılırlar ve küçük toprak parçalarınında kendileri ile birlikte etrafa taşılırlar. Bu durumun binlerce, yüzbinlerce yağmur damlası tarafından yapıldığı düşünülürdüğünde ortaya bütün olarak aşırı miktarda toprak erozyonu çıkacaktır. Başka bir etkisi ise; taşıdığı çamurla yüzeydeki gözenekleri tıkayarak hava ve suyun toprağın içine girmesini engellemektir. Bu da yüzey akışının fazlalaşmasına sebep olur ki tabaka erozyonuna uygun ortam hazırlanmış olur (**Ergene, 1987; Balcı, 1996**).

b) Tabaka erozyonu

Eğimli bir yamaç üzerinde, yüzeysel akışlarının yüzeydeki ince toprak materyalini eşit kalınlıkta yıkayarak taşınması 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, 1987; Balcı, 1996; Çepel, 1997**).

c) Oluk erozyonu

Eğimi fazla ve yeterli bitki örtüsünden yoksun arazilerde akış suları yamaç eğimi boyunca oluşan arazinin yüzeyindeki ince olukları izleyerek akmaktadır. Bu oluklar 2-3 cm'den 10-12 cm'ye kadar derinlikte olurlar. Oluk erozyonu yüzey erozyonunun ilerlemiş bir safhasıdır. Yamaçların üst kısımlarından taşınan toprak materyali daha aşağı kısımlarda birikir. Genellikle tarım alanlarındaki ürün sıraları arasında ve toprak işleme izleri boyunca meydana gelir (**Ergene, 1987; Balcı, 1996; Çepel, 1997**).

d) Oyuntu erozyonu

Eğimi fazla ve devamlı olan arazilerde yağışlardan sonra yüzey akışları arazinin yukarı kısımlarında daha önce meydana gelmiş oluklar ve kanalcıklar içinden aşağıya doğru akmaya başlar. Aşağılara doğru suyun miktarı ve taşıma gücü artar. Kanalcıklar içinde akan su, yatağını derinlemesine ve yanlamasına oyarak aşındırır. Bunun sonucunda daha derin ve büyük kanallar meydana gelir. Bu kanallara oyuntu denir. Bu şekilde olan erozyona ise oyuntu erozyonu denir. Bu oyuntuların 45-50 cm eninde ve en az 25-30 cm derinliğinde olması gerekir (**Ergene, 1987; Balcı, 1996; Çepel, 1997**).

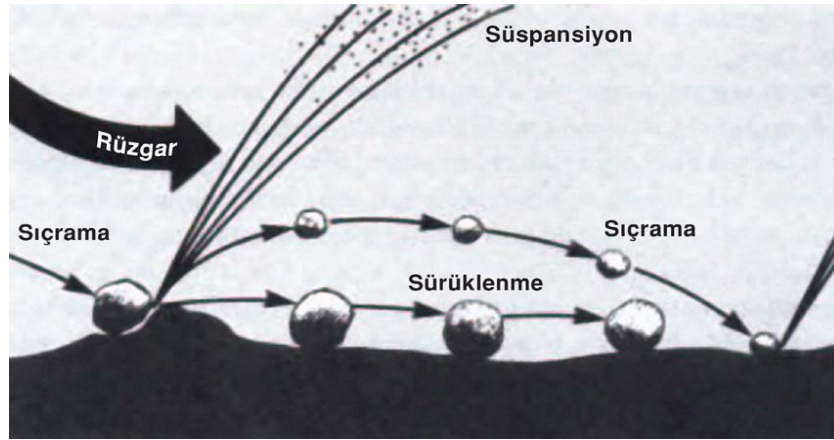
e) Kanal (mecra) erozyonu

Akarsuların hem yatağında hem de kenarlarında meydana gelen erozyon çeşididir. Bu erozyon tabanda meydana geliyorsa "mecra erozyonu" veya "yatak erozyonu"

denir; eğer kıyıda meydana geliyorsa “kıyı erozyonu” veya “kenar erozyonu” denir. Akarsu erozyonu sayesinde taşınan materyal barajları, bentleri ve su kanallarını doldurmaktadır (Ergene, 1987; Balcı, 1996; Çepel, 1997).

2.1.3. Rüzgar Erozyonu

Toprakların rüzgar kuvveti ile aşındırılması sonucu oluşan erozyon çeşididir. Sudan farklı olarak rüzgar, ıslak toprağı aşındıramaz. Bu nedenle yağışın az, bitki örtüsünün az veya olmadığı yerlerde daha etkilidir. Kurak, gevşek, kırıntısız, dağınık, humus içeriğı az, bitki örtüsünden yoksun, yüzeyi düz, orta tanecikli yapıya sahip topraklar özellikle şiddetli ve sürekli rüzgar esen bölgelerde şiddetli erozyona uğrarlar. Rüzgar erozyonu üç farklı şekilde olmaktadır, Şekil 2.2’de rüzgardan kaynaklanan erozyon tipleri görülmektedir.



Şekil 2.2: Rüzgar erozyonu ile toprağın sıçrama, sürüklenme, süspansiyon ile taşınması (Toy ve diğ., 2002)

a) Süspansiyon

Çapları 0,1 mm’den küçük toprak parçacıkları süspansiyon hareketi (havada askıda) ile taşınırlar ve bu hareket genelde yerden 1 metrenin üzerindeki yükseltilerde gerçekleşir. Bu boyuttaki taneciklere ilk hareket rüzgar tarafından değil, sıçrama hareketi yapan daha iri taneciklerin çarpma etkisi ile verilir. Böylece, bir kez yerden koparılıp havalandırılan bu tanecikler, türbülansla yukarı yükseltilip hava akımları ile uzaklara taşınırlar.

b) Sıçrama

Sıçrama (saltasyon) rüzgarın etkisi ile çapları 0,1-0,5 mm arasında değişen toprak parçacıklarının taşınması olayıdır. Yaklaşık olarak taşınan materyalin % 55 ile % 72’si sıçrama ile taşınmaktadır. Sıçrama hareketi olmadan diğer iki taşınma şekilleri olan süspansiyon ve sürüklenme gerçekleşmez. Toprak tanecikleri rüzgarla

yuvarlanmaya başladıktan sonra tanenin büyüklük ve kütesine bağılı olarak 30 cm veya daha fazla bir yükseklik kazanır. Daha sonra yerçekiminin etkisi ile rüzgarın estiğı doğrultuda ileriye doğru düşer ve yerden diğere toprak taneciklerini kaldırmak suretiyle sıçrama hareketinin devamını sağlarlar.

c) Yüzeyde sürüklenme

Sıçrama hareketi yapan daha küçük taneciklerin alçalarak toprağı dövmesi ile oluşan enerjinin etkisi ile daha büyük toprak taneciklerinin yüzeyde yuvarlanmasıdır. Çapları 0,5-2,0 mm arasında değışir (**Ergene, 1987; Balcı, 1996; Çepel, 1997; Toy ve diğ., 2002**).

2.1.4. Diğere Erozyon Türleri

Su ve rüzgar gibi toprak erozyonu dışında aşağıdaki etmenlerden dolayı oluşan erozyon çeşitleri de bulunmaktadır.

- Yerçekimi erozyonu
 - Yamaç akması
 - Moloz hareketi
 - Tabaka halinde kaymalar
 - Toprak ve çamur akmaları
 - Arazi kaymaları (Heyelan)
- Çiğ
- Buzul
- Deniz
- Göl dalgaları (**Balcı, 1996**)

2.1.5. Dünya'da ve Türkiye'de Erozyon

2.1.5.1. Tarihsel Süreç

Çevre sorunlarının Birleşmiş Milletler düzeyindeki ilk konferansı 5 Haziran 1972 tarihinde Stockholm'da yapılmıştır. Bu konferans çevre olgusunu Dünya Çevre Günü olarak tüm dünyadaki ülkelere taşımıştır. 1973 yılında Birleşmiş Milletler, Çevre Mültecisi kavramından yola çıkarak Sahel Ofisi (UNSO)'ni kurmuştur. 1976 yılında Kanada'nın Vancouver şehrinde Habitat - I Zirvesi toplanmıştır. 1977 yılında Birleşmiş Milletlerce, Çölleşme ve Eylem Planı Konferansı düzenlenmiştir (Nairobi, Kenya). Bu Konferansta çölleşme ilk kez evrensel bir problem olarak vurgulanmış ve çölleşmeyle mücadele eylem planı benimsenmiştir.

1983 yılında Birleşmiş Milletler, Dünya Çevre ve Kalkınma Araştırma Komisyonu'nu oluşturmuştur. 1987 yılında Bruntland Komisyonu, Çevre ve Kalkınma üzerine Dünya

Komisyonu Raporunu açıklamıştır. 1992 yılında Rio de Janeiro'da Birleşmiş Milletler, 179 ülkenin katılımıyla, Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansında (UNCED), içinde Gündem 21'de olan 5 adet Rio Belgesi açıklanmıştır. Bu Dünya Zirvesinde, Birleşmiş Milletler Genel Kurulu, çölleşme ve kuraklıkla yüz yüze olan ülkelerin bu sorunlarını yasal bir enstrüman halinde ele almak üzere Çölleşme ile Mücadele Hükümetlerarası Müzakere Komitesini (INCD) kurmuştur. Beş defa toplanan Komite, Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesinin taslağını hazırlamıştır. 17 Haziran 1994 tarihinde Paris'te, Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi kabul edilmiştir. 14-15 Ekimde imzaya açılan sözleşme 26 Aralık 1994 de yürürlüğe girmiştir. Böylece 17 Haziran, Dünya Çölleşmeyle Mücadele Günü olarak ilan edilmiştir. 13-14 Haziran 1996 tarihinde Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Konferansı Habitat II Kent Zirvesi İstanbul'da yapılmıştır. Sözleşmenin en yüksek organı olan Taraflar Konferansı (COP), ilk toplantısını 1997 yılında Roma'da yapmıştır. Bu ilk toplantıda, COP'un yönetim kuralları ve bağlı organlarının kurulması, Küresel Mekanizmanın fonksiyonlarının oluşturulması ve Daimi Sekreter'in atanması ile ilgili kararlar alınmıştır. Sonra sırasıyla, Dakar - Senegal (1998), Recife - Brezilya (1999), Bonn - Almanya (2000), Cenevre - İsviçre (2001) ve Havana - Küba (2003) olmak üzere 6 Taraflar Toplantısı gerçekleştirilmiştir. 2003 yılına kadar yapılan Taraflar Konferanslarında:

- Almanya, Bonn'da Sözleşme Daimi Sekreteriyasının kurulması.
- Küresel Mekanizmanın politikalarının, operasyon şekillerinin ve faaliyetlerinin gözden geçirilmesi,
- Merkezi ve Doğu Avrupa için Uygulama Eki'nin benimsenmesi,
- Sözleşmenin uygulanması konusundaki raporların gözden geçirilmesi için Özel bir Çalışma Grubunun çalışmalarına başlaması,
- Sözleşmenin Uygulanmasının Gözden Geçirilmesi Komitesinin (CRIC) Taraflar Komitesinin bir organı olarak kurulması,
- Bilim ve Teknoloji Komitesi (Taraflar Komitesinin Bilimsel Organı) reformunun benimsenmesi ve bir Uzmanlar Grubu oluşturulması, gibi önemli kararlar alınmıştır.

Türkiye 11 Şubat 1998 tarih ve 23258 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan 4340 sayılı Yasa ile Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi'ne 1998 yılında taraf olmuştur. Bu tarihten itibaren Türkiye "Kuzey Akdeniz Bölgesel Uygulama Eki" çalışmalarında aktif olarak yer almaya başlamıştır. Ağustos - Eylül 2002 de, Birleşmiş Milletler Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi, Johannesburg (Güney Afrika)'da yapılmıştır. Bu Zirvede Küresel Çevre Fonu (GEF)'nin BMÇMS'nin finans mekanizması olması talep edilmiştir. Kasım 2002 İtalya, Roma'da 1. CRIC toplantısı

yapılmış ve Çölleşme ile Mücadelede yenilikçi çözümlerin belirlenmesi ve paylaşılması ile 6. Taraflar Konferansına sunulmak üzere bir raporun hazırlanması benimsenmiştir (**ÇMTUEP, 2005**).

2.1.5.2. Dünya’da 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 (**ÇMTUEP, 2005**). İnsan tarafından yapılan erozyon bütün dünyada 1.966 milyon hektar alanı etkilemiştir. Bu miktar bütün karanın % 15 ‘i demektir, ekilebilir alanlar için bu oran ise % 38’e denk gelmektedir. Yaklaşık olarak 12×10^6 hektar tarıma elverişli alan her yıl yanlış arazi kullanımı yüzünden tahrip edilip terk edilmektedir (**Hellin, 2006**). 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 (**ÇMTUEP, 2005**).

2.1.5.3. Türkiye’de Erozyon

İklim koşullarını ve tarım uygulamaları toprak taşınmasını 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. Ülkede, 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**).

Akdeniz İklimi; Ege bölümü ve Akdeniz Bölgesinin kıyı kuşağında etkindir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Kıyı kuşağı boyunca kar ve don olayları çok nadir olarak görülür. En fazla yağış kış mevsiminde düşer. Ortalama yıllık yağış miktarı yaklaşık 1000 mm dir. Yağışlar genelde yine kış aylarında meydana gelir.

Karadeniz İklimi; Karadeniz kıyıları boyunca denizin etkisi kuvvetle hissedilir ve her mevsimi yağışlı bir iklim egemendir. Ortalama yıllık yağış 1000 mm nin üzerindedir. Yıllık yağışın büyük bir kısmı sonbahar ve kış aylarında düşer. Ortalama yıllık sıcaklık yaklaşık 8 - 12 °C civarındadır.

Trakya'nın iç kesimleri ve Karadeniz kıyıları hariç bütün Marmara bölgesinde egemen olan Marmara ikliminde, yaz aylarının sıcaklığı Akdeniz iklim bölgesi kadar yüksek değildir, kış aylarında ise sıcaklık düşüktür. Yıllık yağış miktarı 500 - 700 mm dir.

İç Anadolu iklimi İç Anadolu Batı bölümü ve Göller Yöresi dahil, bütün İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesinin batı kesimleri ile Güneydoğu Anadolu bölgesini içine alan çok geniş bir yayılma alanına sahiptir. Karasallığın etkisiyle mevsimler arasında sıcaklık farkları fazladır. Yarıkurak İç Anadolu İkliminde Kışlar soğuk geçer ve soğukların şiddeti karasallığın etkisiyle doğuya doğru artar. Yağış maksimumu ilkbahara, minimumu ise yazı rastlar. Yaz mevsimine ait yağışın payı %10 civarındadır.

Yarıkurak Güneydoğu Anadolu İkliminde Yaz ayları çok sıcaktır. Sıcaklık rejimi üzerinde karasallığın ve güneydeki tropikal çöllerin etkisi vardır. Yıllık yağış miktarı 500 mm nin altındadır. Türkiye'de buharlaşmanın en fazla olduğu bölge burasıdır.

Karasal Doğu Anadolu İkliminde Kuzey Doğu Anadolu platoları ile Bingöl-Bitlis yörelerini içine alan bu Bölgede şiddetli karasal koşullar baskındır. Kış mevsimi soğuk ve uzundur. Yağışlar İç Anadolu Bölgesinden fazladır. Kışın azalan yağışlar genellikle kar şeklindedir. Yıllık yağış miktarı 1000 mm civarındadır. (**ÇMTUEP, 2005**).

Ülke topraklarının yalnızca %24'ü (19 milyon hektar) tarımsal kullanıma elverişlidir (I., II. ve III. sınıf tarım arazisi). Bu durumun nedeni, kısmen, toprak yüzeyinin yeterince derin olmamasıdır. Türkiye arazisinin %68'inde toprak derinliği 50 cm den azdır ve toprakların %40'ı aşırı sığ olarak nitelendirilmektedir. Ülke arazisinin %9'luk bir bölümünde ise tarım, ancak çeşitli önlemler alındıktan sonra yapılabilecek durumdadır (IV. ve V. Sınıf arazi). Arazilerin %64'ünde ise herhangi bir biçimde ekim yapılamaz (VI., VII. ve VIII. tarıma uygun olmayan arazi sınıfları).

Ekilebilir toprakların %30'u, nüfus yoğunluğunun fazla ve tarım dışı etkinliklerin daha yaygın olduğu Marmara ve Orta-Kuzey bölgelerinde görülmektedir. Bu bölgelerde ekilebilir alanların toplam alanlara oranı, sırasıyla %43 ve %29'dur. Tablo 2.3.'de toprak sınıflarının tarımsal bölgelere göre dağılımı görülmektedir (**UÇEP, 1999**).

Tablo 2.3: Tarımsal kullanım için bölgesel toprak kapasitesi (%) (UÇEP, 1999)

Tarımsal Bölgeler	Tarımsal Bölgelere Göre Arazi Sınıfları (%)							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1) Orta-Kuzey	6,62	10,10	12,12	10,94	0,14	15,01	42,37	2,62
2) Ege	6,28	8,38	7,36	5,81	0,12	14,74	53,50	3,82
3) Marmara	6,52	22,25	17,38	11,27	0,25	14,37	25,99	1,97
4) Akdeniz	7,75	6,78	5,69	5,03	0,42	8,72	57,53	8,07
5) Doğu-Kuzey	3,81	7,12	9,02	14,02	0,07	17,29	43,00	5,67
6) Doğu-Güney	8,35	9,13	9,23	8,38	0,19	11,97	48,50	4,24
7) Karadeniz	2,96	3,13	5,95	9,55	0,02	13,06	61,50	3,84
8) Orta-Doğu	4,90	6,31	10,12	8,90	0,08	12,40	54,09	3,20
9) Orta-Güney	9,61	10,21	13,71	11,20	0,61	12,86	37,17	6,64

Topraklar özelliklerine göre 8 sınıfta toplanır, bu sınıflandırmaların içeriği aşağıda verilmektedir (Çepel, 1997):

I. Sınıf Araziler: Drenaj, erozyon tehlikesi, arazi eğimi ve diğer toprak karakteristikleri bakımından sorunu olmayan topraklardır. Çok intensif kültür yapma için çok az sınırlayıcı faktörlere sahiptir veya hiçbir sınırlayıcı etken yoktur.

II.Sınıf Araziler: Kültürü yapılacak bitki türleri bakımından seçim gerektiren topraklardır. Bunlarda, az da olsa toprak koruma önlemleri alınması gerekebilir.

III. Sınıf Araziler: Bunlarda ya bitki türü seçimi zorunluğu vardır. Veya intensif toprak koruma önlemleri alınması gerekir. Bazen de her iki önlem birden gerekebilir.

IV.Sınıf Araziler: Bunların çeşitli sınırlayıcı özellikleri bulunmaktadır.

V-VII.Sınıf Araziler: Toprak işlemesine, tarla tarımına elverişli olmayan topraklardır. Bunlarda erozyon tehlikesi büyük olduğundan sürekli olarak doğal bitki örtüsü altında (mera ve orman) bulunması gereken topraklardır.

VIII.Sınıf Araziler: Toprakta yoksun olup, sadece doğal hayatı barındırmaya yarayan topraklardır.

Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi'ne (BMÇMS) 1998 tarihi itibarıyla resmen taraf olan ülkemiz, 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 (ÇMTUEP, 2005).

Jeolojik yapının, topoğrafyanın, iklimin, yabani yaşamın ve bitki örtüsünün çeşitlilik gösterdiği Türkiye dört kıyı bölgesiyle (Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz) dört dağlık bölgeye bölünebilir. Arazinin hemen hemen % 63'ü, kıyı bölgelerinde bile

ortalama % 15'in üzerinde eğime sahiptir. Ortalama yükselti 1,132 metre olup, denizden yüksekliği 250 metrenin altında olan yerler ülkenin toplam genişliği içinde % 10 gibi küçük bir paya sahiptir. Yüksek dağlar, Orta ve Doğu Anadolu'da yoğunlaşmaktadır (UÇEP, 1999).

Erozyon; şiddeti yörelere göre değişmekle birlikte, ülkenin 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, rüzgar erozyonu 466.000 hektar alana zarar vermektedir (Tablo 2.4).

Tablo 2.4: Türkiyede su ve rüzgar erozyonu (Balcı ve Uzunsoy, 1980).

Erozyon Sınıfları	Arazi Yetenek Sınıfları				Toplam	
	II, III, IV		V, VI, VII			
	ha	%	ha	%	ha	%
SU EROZYONU						
Hafif erozyon	-	-	-	-	-	-
Orta erozyon	13 780 260	17,70	1 812 490	2,33	15 592 750	20,04
Şiddetli erozyon	2 077 265	2,68	26 257 668	33,75	28 334 933	36,42
Çok şiddetli erozyon	1 930	0,00	13 219 273	16,99	13 221 203	16,99
T o p l a m	15 859 455	20,38	41 289 431	53,07	57 148 886	73,45
RÜZGÂR EROZYONU						
Hafif erozyon	159 259	0,20	6 405	0,01	165 664	0,21
Orta erozyon	168 460	0,22	62 581	0,08	231 041	0,30
Şiddetli erozyon	2 439	0,00	61946	0,08	64 385	0,08
Çok şiddetli erozyon	-	-	4 823	0,01	4 823	0,01
T o p l a m	330 158	0,42	135 755	0,18	465 913	0,60
TANIMLAR						
Hafif erozyon	Üst toprağın % 25'i aşınmış					
Orta erozyon	Üst toprağın % 25 - 75'i aşınmış					
Şiddetli erozyon	Üst toprağın % 75'i ve alt toprağın % 25'i aşınmış					
Çok şiddetli erozyon	Alt toprağın % 25 - 75'i aşınmış					

Sonuçta her yıl yaklaşık bir milyar ton toprak taşınmış olmaktadır. Tahminlere göre bu kayıp, toprağın ortalama değerler olarak % 0,1 N, 0,15 P₂O₅ ve % 0,15 K₂O içerdiği varsayımından hareketle, tahminen 87,5 milyon ton bitkisel besin maddesi kaybı anlamına gelmektedir. Erozyona maruz alanların toplam içindeki payı, toplam orman alanı payının da göreceli olarak yüksek olduğu illerde "kritik" düzeydedir. Bu, söz konusu illerdeki tarımsal alanların, genellikle ormandan açılarak elde edilen dik yamaçlı ve toprak tutunumu güç yerlerden oluştuğunu göstermektedir. Şiddetli

erozyonun payı, ayrıca, tarımsal etkinliklerin herhangi bir toprak koruma önlemi alınmaksızın yürütüldüğü yörelerde de göreceli olarak daha yüksektir (**UÇEP, 1999**).

Çok fazla miktarda toprak, felaketler sonucunda göllere, nehirlere, havzalara, dolmaktadır. Türkiye’de ve kıtalarda bu yolla taşınan askıda sediment miktarı Tablo 2.5’de verilmektedir.

Tablo 2.5: Dünya ve Türkiye’de t km⁻²yıl⁻¹ olarak taşınan toprak miktarı (**Hızal, 2004**).

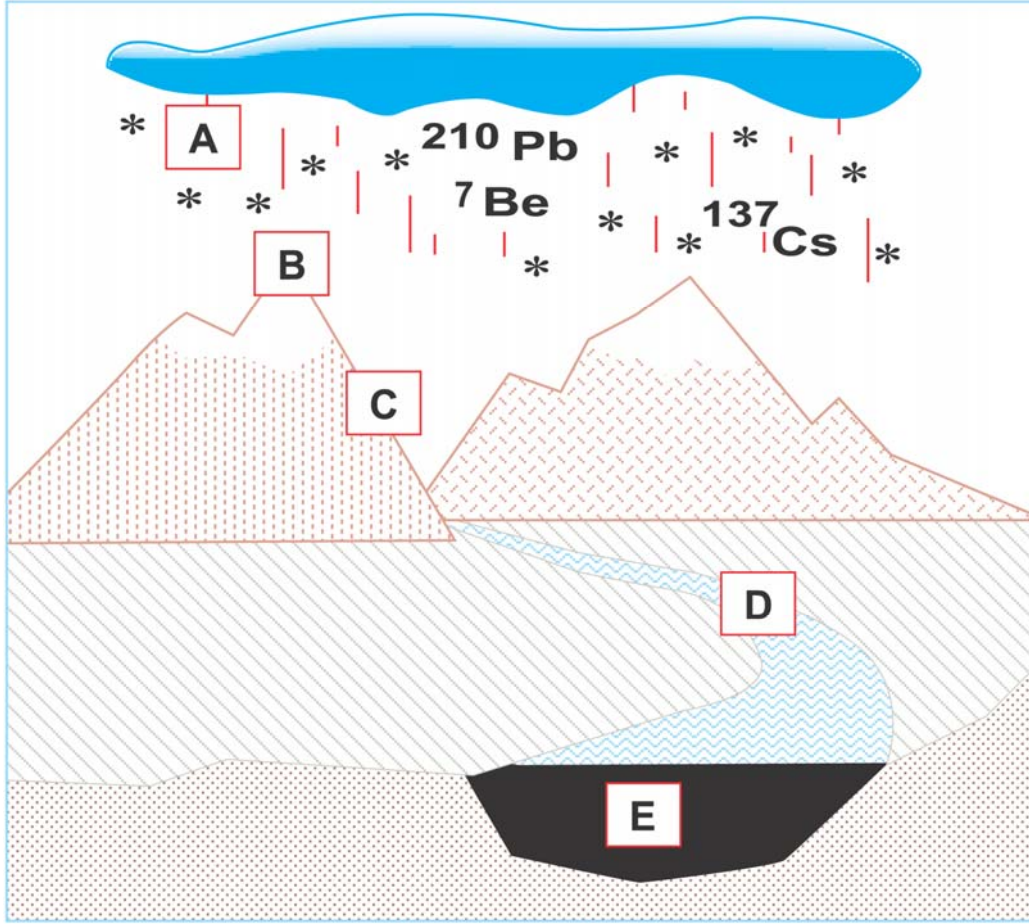
Afrika	Avrupa	Avustralya	Güney Amerika	Kuzey Amerika	Asya	Türkiye
25	32	40	56	86	536	600

2.2.Serpinti Radyonüklidleri İle Toprak Taşınmasının Belirlenmesi

Radyonüklidlerin toprak içindeki hareketi aynı zamanda sıkıca tutunduğu toprağın hareketini de yansıttığından, erozyon mekanizmasını anlamak için radyonüklidlerin toprak içindeki yayılımını elde etmek gerekmektedir. Erozyon araştırmalarının en önemli kısmını, araştırma yapılacak sahaya yakın, erozyon ve sedimentasyon olmayan bir referans bölgeden alınacak radyonüklid yayılım profilinin elde edilmesi oluşturur. Daha sonra referans bölgeye yakın sahalardaki erozyon hızları ve sedimentasyon hızları, radyonüklid yayılımları ve uygun dönüşüm modeli yardımıyla, karşılaştırılarak belirlenebilir (**Walling ve He, 2001; Hacıyakupoglu ve diğ., 2004; Hacıyakupoglu ve diğ., 2006b**). Bir alan için serpinti radyonüklidleri profillerinin oluşturulması, aşınım (erozyon) ve birikimin önemsiz değerde olduğu stabil bir alandaki serpinti radyonüklid radyoaktivite envanterinin oluşturulmasını gerektirir. Bu da “referans envanteri” olarak isimlendirilir. Böylelikle söz konusu olan her bir noktanın, aşınım (azalan envanter) ve birikim (artan envanter) değerlerinin bu referans envanterle karşılaştırılması olanağı sağlanmış olur (**Walling ve Quine, 1993**).

2.2.1. Yöntemde Kullanılan Radyonüklidler

Serpinti radyonüklidleri ile toprak taşınmasının belirlenmesi yöntemi temel olarak ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb ve ⁷Be serpinti radyonüklidleri içeren toprakların, aşınarak taşınıp, başka bir yerde birikmesi gibi fiziksel süreçlerle toprak kaybının ve birikiminin ölçülmesi temeline dayanır. Şekil 2.3’de serpinti radyonüklidlerin aşınması ve taşınması sonucunda sediment birikimi gösterilmektedir (**Bonniwell, 2001**).



Şekil 2.3: Radyonüklid serpintisi ve taşınması. **A)** Radyonüklidlerin atmosferden yağışlarla yeryüzüne serpilmesi. **B)** Radyonüklidlerin tepelerdeki karlarda birikmesi ve eriyerek yüzeye yayılması. **C)** Yayılan radyonüklidlerin toprağa tutunması (tutunan toprağın bir kısmı oyulan kısımlar üzerinden uzağa taşınmaktadır). **D)** Oyulan kısmın yatağında ve su kenarındaki biriken sediment. **E)** Önceden birikmiş sediment üzerine akıntıyla biriken yeni sediment (**Bonniwell, 2001**).

a) ^{137}Cs Radyoaktivitesi Ölçümlerinin Kullanılması

İlk nükleer silah denemesi 16 Temmuz 1945 'te Greenwich Saatiyle 12:30'da yapılmaya başlanmış ve fisyon ürünü olarak diğer radyonüklidlerle beraber ^{137}Cs atmosfere salınmıştır (**Ritchie and Ritchie, 2005**). Fakat yapılan bu deneme yerel olduğu için, salınan miktar çevreyi etkileyecek ve bütün dünyada etkisi hissedilecek kadar büyük olmamıştır. Kasım 1952 yılından itibaren, her yıl atmosferin stratosfer tabakasında yapılan nükleer silah denemeleri sonucunda ^{137}Cs izotopu bütün dünyaya yayılmış ve yağışlarla beraber yeryüzüne inmiştir. Küresel serpinti ilk olarak 1954 yılında başlamış, 1963-1964 yıllarında en üst seviyeye çıkmış, daha sonra azalan bir seyir izlemiştir. Nisan 1986 yılında gerçekleşen Çernobil Nükleer Güç Santrali kazası bölgesel olarak etkili olmasına rağmen, küresel radyonüklid bütçesinin de artmasına sebep olmuştur (**Zapata, 2002**).

Yapılan nükleer denemeler, meydana gelen nükleer kazalar sonucunda ortama gaz halinde yayılan fisyon ürünlerinden ^{137}Cs radyonüklidi, yağın yağmur ve kar ile serpinti radyonüklidi olarak toprağa iner ve kildeki mineraller tarafından çabuk ve güçlü bir şekilde absorblanarak toprağa tutunur. ^{137}Cs radyonüklidinin yarı ömrü 30,174 yıldır (**Lederer ve Shirley, 1978**). Toprak yüzeyine ulaşan ^{137}Cs radyonüklidinin yeryüzündeki hareketi daha sonra toprak ve sediment partiküllerinin hareketiyle gerçekleşir (**Haciyakupoglu ve diğ., 2005b**).

b) ^{210}Pb Radyoaktivitesi Ölçümlerinin Kullanılması

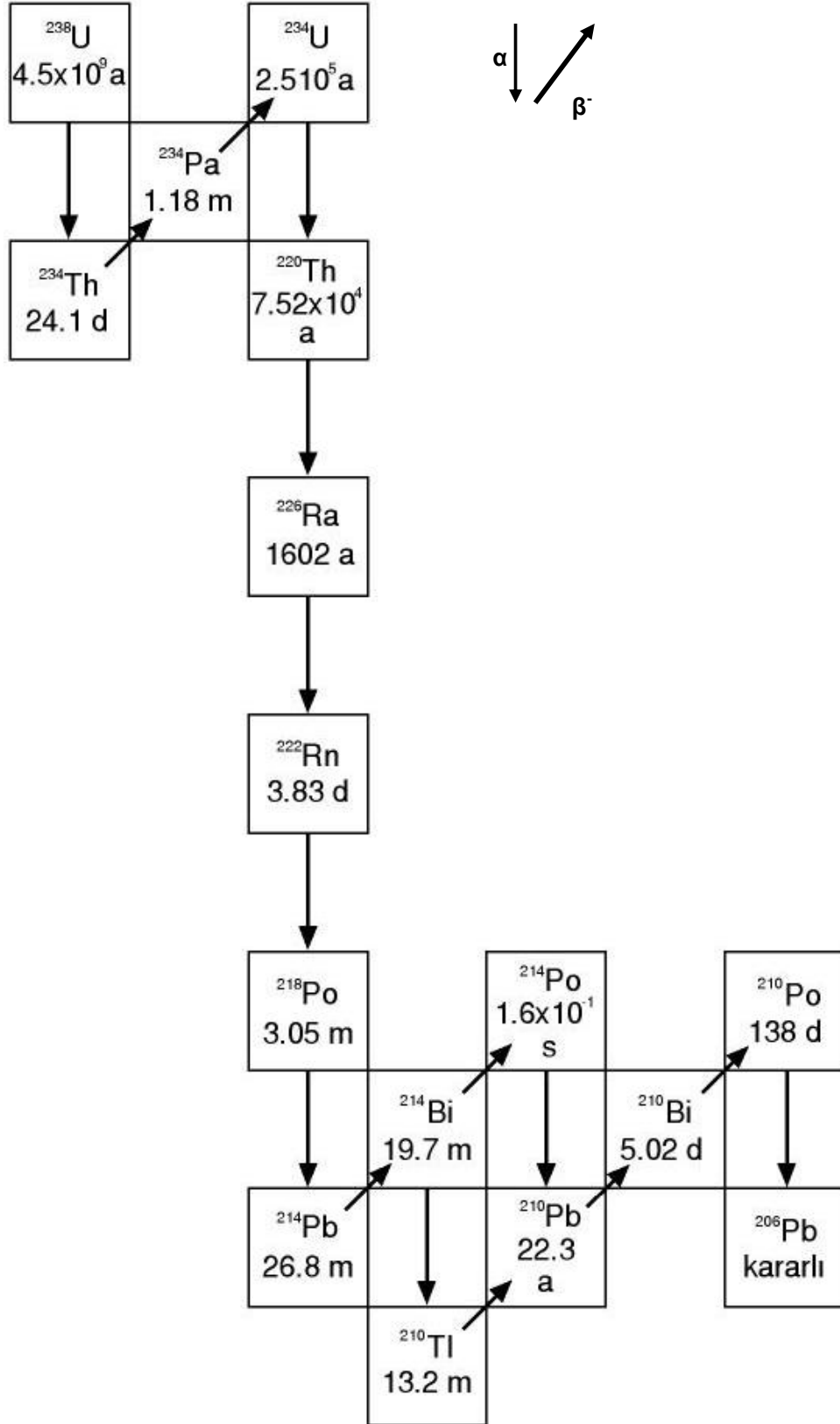
Serpinti ile atmosferden arazi yüzeyine düşen ^{210}Pb radyonüklidi, kil mineralleri ve topraktaki organik malzemeler tarafından çabukça tutulur (adsorption); ^{210}Pb radyonüklidinin topraktaki yayılımı arazi kullanımındaki farklılıklar, erozyon ve sediment taşıma süreçlerine bağlı olarak farklılık gösterir. Serpinti radyonüklidleri yöntemi hesaplamalarında kullanılan ^{210}Pb , fazlalık (excess) $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ olarak isimlendirilen atmosferden gelen ^{210}Pb ile topraktaki ^{210}Pb aktivitelerinin farkına eşit olan radyonükliddir.

Doğal bir radyonüklid olan ^{210}Pb ; ^{238}U bozunum serisinin ürünü olarak doğada bulunur (Şekil 2.4). Uzun yarı ömürlü ^{238}U izotopunun bozunumu sonucunda oluşan ^{226}Ra (yarı ömrü 1602 yıl) sürekli olarak doğada bulunur. ^{226}Ra 'un bozunum ürünü olan ^{222}Rn , gazının (yarı ömrü 3,83 gün) bir kısmı toprak ve kayalıklarda bulunur, bir kısmı ise gaz olarak atmosfere salınır. ^{222}Rn gazının bozunması sonucu olarak ^{210}Pb (yarı ömrü 22,3 yıl) açığa çıkar. Atmosfere salınan ^{222}Rn gazının bozunum ürünü olan ^{210}Pb yağmur, kar gibi atmosferik olaylarla yeryüzüne serpinti radyonüklid olarak iner. Serpinti olarak inen bu ^{210}Pb miktarı fazlalık olarak adlandırılır.

Fazlalık ^{210}Pb topraktaki ^{226}Ra ile dengede olmaz. Denge oluşması için toplanan örnekler ölçüm kaplarında ağızları sıkıca kapatılmış olarak ortalama 30 gün bekletilirler. Tablo 2.6'de birikme zamanına göre denge konsantrasyonundaki değişimler yer almaktadır; 30 gün sonra dengenin % 99,6'sının sağlandığı görülmektedir (**Kaya, 2005**).

Tablo 2.6: Topraktaki ^{210}Pb ile ^{226}Ra arasındaki yüzdesel dengenin zamana göre değişimi (**IAEA, 2003**).

Birikme Zamanı (gün)	10	14	18	22	30	38
Denge Konsantrasyonu(%)	83,7	92,1	96,2	98,1	99,6	99,9



Şekil 2.4: ^{238}U bozunum serisi (Altınsoy, 2004).

c) ⁷Be Radyoaktivitesi Ölçümlerinin Kullanılması

Yüksek enerjili birincil kozmik radyasyonda partikül enerjileri, 10^{20} eV a kadar çıkabilir, bu enerjideki radyasyonlar iyonize radyasyon olup atmosferin dışında bulunur. Birincil kozmik radyasyon çoğunlukla % 87 oranında proton, % 11 oranında gama ışınları, elektron ve nötrinolardan oluşur. Birincil kozmik radyasyon atmosferin dış yörüngesiyle etkileşerek ikincil kozmik radyasyonu oluşturur. İkincil kozmik radyasyon mezonlardan, nötronlardan, elektronlardan, protonlardan, gamalardan ve müyonlardan oluşur. İkincil kozmik radyasyondaki bu partiküller atmosferin alt tabakalarındaki N₂, O₂, Ar benzeri elementlerle etkileşerek kozmik radyonüklidleri (Al-26, Ar-39, Be-7, Be-10, C-14, Cl-36, Cl-38, Cl-39, H-3, Mn-53, Na-22, Na-24, Ni-59, P-32, P-33, S-35, S-38, Si-32) oluşturur (Choppin ve diğ., 2002). Kozmik radyasyonun yoğunluğu deniz seviyesinden yukarı çıkıldıkça artar (Hallenbeck, 1994).

Serpinti radyonüklidleri yöntemi kozmik radyonüklidlerden biri olan ⁷Be için de geliştirilmiştir. ⁷Be radyonüklidinin yarı ömrü 53,28 gündür (Lederer ve Shirley, 1978). ⁷Be yağmurla ve karla birlikte toprağa iner ve tutunur. ⁷Be radyonüklidi serpintisinin toprak yüzeyindeki kalınlığı 2 cm den azdır.

2.2.2. Toprak Örneklerinin Yönteme Göre Alınması



Şekil 2.5: Toprak örneği alınması ve kullanılan donanım.

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. Toprak yapısı bozulmamış bütün örnek alınırken delici motor kullanılır, kesit toprak örneği alımı sırasında ise delici motor ya da kazıyıcı levha (scaper 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. Şekil 2.5'de toprak örneği alınması ve kullanılan donanım görülmektedir.

Çalışmaların yapılacağı alanlarda örnek alınacak noktalar belirlenirken, arazinin yapısı ve aşınım, birikim noktaları dikkate alınmalıdır. Örnek alınırken birikimin olduğu kısım önemlidir. Serpinti Radyonüklidleri Dönüşüm Modeli ile referans alan ve eğimli alandan elde edilen veriler kullanılarak toprak taşınma miktarları belirlenir **(Hacıyakupoglu ve diğ., 2006b)**.

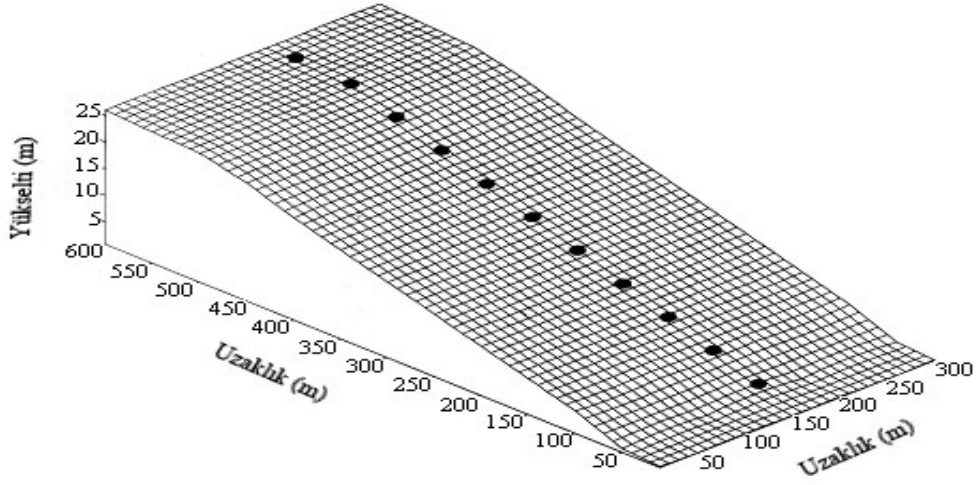
a) Referans Alan

Serpinti radyonüklidleri yöntemi ile toprak taşınması çalışmalarında belirlenen referans bir alan için radyoaktivite envanteri değerinin bilinmesi gerekir. Referans bölgeden örnek alınırken transekt (transect) veya ızgara (grid) örnekleme kullanılabilir. İdeal referans alan için gerekli özellikler aşağıdaki gibi sıralanır **(Zapata, 2002)**:

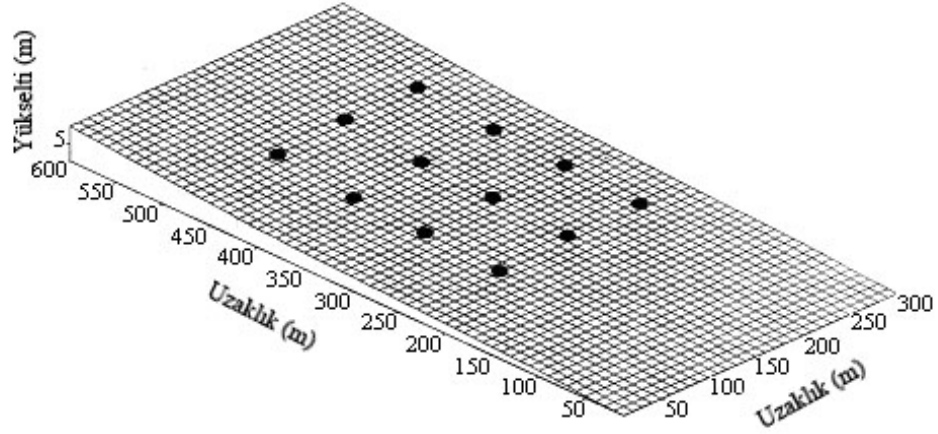
- a) Referans alanı temsil etmek üzere seçilen alanda toprak kaybı ya da sediment birikmesi olmamalıdır.
- b) Ölçülen radyoaktivite yalnızca atmosferden gelen radyonüklid miktarı dolayısıyla olmalıdır.
- c) Akarak birikimin, sedimentasyonun, olmadığı düz yerler olmalıdır.
- ç) ^{137}Cs birikiminin başladığı 1950'lilerden beri sürekli bitki örtüsü altında olan alan olmalıdır.
- d) Referans alan mümkün olduğunca örneklerin toplanacağı hasar görmüş araziye yakın olmalıdır.
- e) Bölgesel düzeydeki çalışmalar için, birden çok referans bölge seçilmelidir.

b) Eğimli Alan

Serpinti radyonüklidleri yönteminde, eğimli arazide genelde transekt (transect) ve/veya ızgaralar (grid) kullanılarak örnekleme yapılmaktadır. Şekil 2.6 ve 2.7'de eğimli alan için transekt ve ızgara yöntemlerinin örnek alımı sırasında kullanımı gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Eğimli alanda tekli transekt yöntemi ile örnek alımı (Zapata, 2002).



Şekil 2.7: Eğimli alanda dört paralel transektten oluşan ızgara yöntemi ile örnek alımı (Zapata, 2002).

2.2.3. Gama Radyoaktivitesi Ölçümleri

Kararlı yapısı bozulan her izotop karakteristik gama ışınımı yapar. Gama spektrometresi karakteristik gama ışınımının enerjilerini ölçerek izotopları belirler. Doğal radyonüklitler yıllarca süren bozunum serileri ile gama ışınımı yaparlar. Uranyum, toryum, potasyum radyonüklitleri ve bozunum ürünleri kararlı yapıya ulaşana kadar gama ışınımı yapacaklardır. Atmosferde yapılan nükleer denemeler, ve meydana gelen nükleer kazalar sonucunda dünyaya yayılan fisyon ürünleri de güçlü gama ışınımı yapan radyonüklitlerdir. ^{137}Cs başlıca fisyon ürünü radyonüklitlerden biridir. 30,174 yıllık yarı ömrü vardır ve sadece 0,66165 MeV'de

enerjisi vardır. Ayrıca ikincil kozmik radyasyon sonucu oluşan radyonüklidler de gama ışınımı yapmaktadırlar (IAEA, 2003).

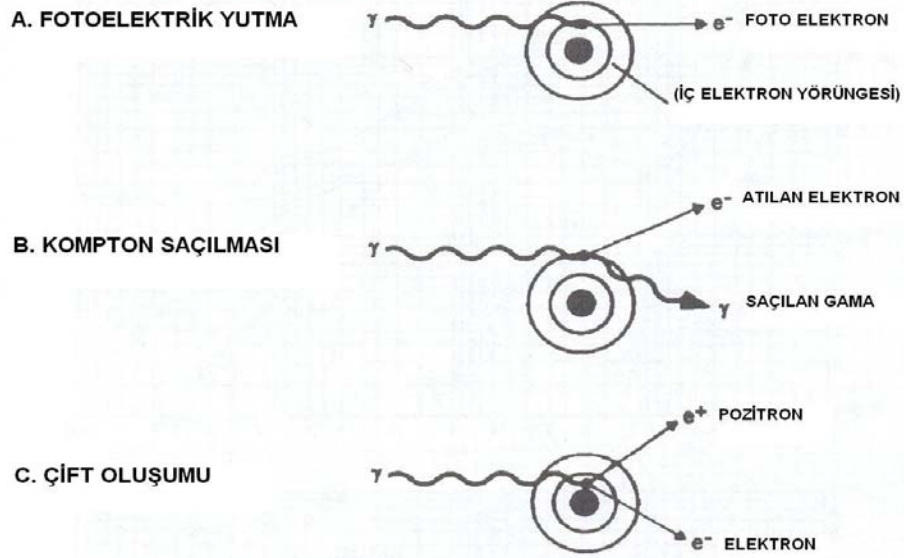
Gama radyasyonu elektromanyetik spektrum içinde yer alır. Gama ışınları ışık hızında hareket ederler, karakteristik enerjilere sahiptirler. Gama ışınlarının enerjisi $E > 40$ keV dir (IAEA, 2003) ve ortamlarla etkileşimleri üç şekilde olmaktadır (Şekil 2.8):

- Fotoelektrik yutma (Photoelectric effect)
- Kompton saçılması (Compton effect)
- Çift oluşumu (Pair production)

a) Fotoelektrik yutma: Gama ışını yörüngedeki elektron ile etkileşir, bütün enerjisini kaybeder ve yutulur. Yörüngedeki elektron ise fırlatılır. Bu olaya fotoelektrik etki ya da fotoelektrik yutma denir. Fırlatılan fotoelektronun kinetik enerjisi, gama ışınımının etkileşmeden önceki enerjisi ile elektronun bağ enerjisi arasındaki farka eşittir. Eğer fotoelektron iç yörüngeden kaynaklanırsa, üst yörüngeden bir elektron boşluğu doldurmak için hareket eder. Üst yörüngeyle boşluğu dolan alt yörünge arasındaki bağ enerjilerinin farkı karakteristik X-ışınmasına yol açar. Fotoelektrik yutma oluşması ihtimali, gama ışını enerjisinin yükselmesiyle ters orantılı olarak düşer.

b) Kompton saçılması: Yüksek enerjili gama ışını zayıf yörüngedeki bir elektron ile etkileşir ve enerjisinin bir kısmını kaybeder. Saçılan gama ışınının enerjisi; gama ışınının etkileşmeden önceki enerjisi ile çıkan elektronun enerjisinin farkına eşittir. Elektron ve foton farklı yönlerde doğru saçılırlar. Bu olaya kompton saçılması denir. Fotonlar 180° lik bir geri saçılma yapabilirler, elektronların saçılma açısı ise 90° ye eşit veya daha düşüktür. Kompton saçılması oluşması ihtimali, çekirdeğin atom numarasıyla ters orantılı ve gama ışınının enerjisiyle doğru orantılı olarak değişir.

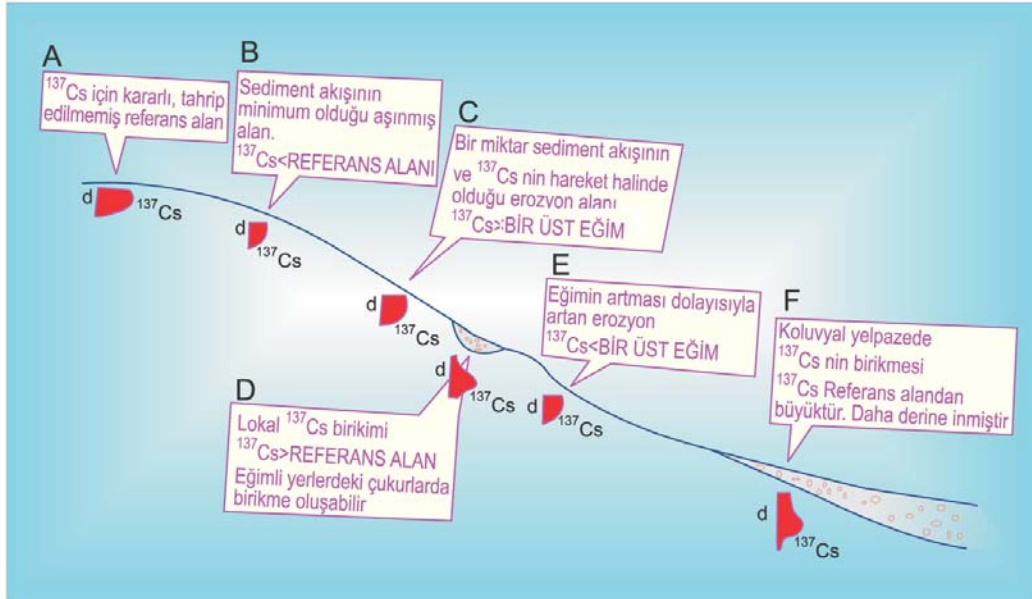
c) Çift oluşumu: Yüksek enerjili gamalar ışınları ($E > 1,02$ MeV) çekirdeğe yakın geçerken, çekirdek ile etkileşme sonucu bütün enerjisini kaybeder ve kaybolur. Pozitif (pozitron) ve negatif yüklü iki elektron fırlatılır. Bu olaya çift oluşumu denir. Gama ışınının enerjisi, elektron pozitronun enerjilerinin $1,02$ MeV ile toplamına eşittir. Gama ışını enerjisinin $1,02$ MeV den fazla yükselen her değeri, çift oluşumu ihtimalini artırmaktadır (Hallenbeck, 1994; Choppin ve diğ., 2002).



Şekil 2.8: Gama ışınının madde ile etkileşmesi (Choppin ve diğ., 2002)

2.2.4. Serpinti Radyonüklidleri Dönüşüm Modelleri

Serpinti radyonüklidleri yöntemiyle meydana gelen toprak ve sediment taşınımını ve birikmeyi ölçmek için yöntemler geliştirilmiştir. Şekil 2.9 serpinti radyonüklidleri yönteminin çalışma prensibini referans ve eğimli arazide ^{137}Cs radyonüklidi için göstermektedir.



Şekil 2.9: Serpinti radyonüklidleri yönteminin ^{137}Cs radyonüklidi için çalışma prensibi (Loughran, 1989).

Ekili alanlar ve ekili olmayan alanlar (işlenmemiş) için geliştirilen bu yöntemler aşağıda verilmektedir (**Walling ve He, 2001**);

a) Orantılı model: Orantılı model (proportional model), ekim yapılmış topraklarda erozyon hızını belirlemek için kullanılır. Temel olarak modelde, ^{137}Cs serpitisinin toprağın kazılmış bölümüne ya da ekili olan yüzeyine tamamen karışmış olması kabul edilmektedir. Yöntemde toprağın işleme derinliği (plough depth) ile ilgili bilgileri, örnek alınan noktalardaki ve yerel referans envanteri bilgilerini gerektirir. Kullanımı kolaydır, fakat içerilen birçok süreç de ihmal edilmiş olur. ^{137}Cs serpitisinden kaynaklanan birikim yıllardır olmaktadır. Oluşan serpitinin bir kısmı ekimle toprağa karışmadan toprak yüzeyinde kalmaktadır. Eğer yüzeyde biriken ^{137}Cs erozyon, toprağa karışmadan uzaklaşırsa toprak kaybı tahminleri gerçek toprak kaybı değerinden daha yüksek olacaktır. Aynı şekilde ^{137}Cs 'nin topraktaki işleme derinliğinde toprağa karışmasıyla olabilen ^{137}Cs 'nin çözünmesini dikkate almaması nedeniyle, elde edilen sonuçlar toprak kaybınının gerçek değerinden küçük olacaktır.

b) Basit kütle dengesi modeli ya da kütle dengesi modeli: Basit kütle dengesi modeli ya da kütle dengesi modeli 1 (mass balance model1, simplified), ^{137}Cs serpitisinin 1963'te olduğunu varsayar. Bu model, toprak işleme derinliğinin altından toprağa karışan, toprak işleme derinliği içindeki giderek azalan ^{137}Cs konsantrasyonunu dikkate alır. Bu modelin kullanımı kolaydır ve sadece toprak işleme derinliği bilgisini gerektirir. Yöntemin zayıf tarafı, yağmur sırasındaki yüzeysel akışla oluşan erozyonla birlikte yeni biriken ^{137}Cs 'nin uzaklaşmasının dikkate alınmamasıdır.

c) Kütle dengesi modeli 2: Kütle dengesi modeli 2 (mass balance model 2), ^{137}Cs serpitisinin zamana bağlı değişimini ve yüzey toprağında olan başlangıçtaki dağılımı dikkate alır. Basitleştirilmiş kütle modeline göre daha doğru sonuçlar elde edilir. Fakat bu toprak işleme derinliği ve tanecik boyutu düzeltme faktörünün hesaplanması için yöntemin iki parametreye daha gereksinimi vardır.

d) Kütle dengesi modeli 3 (mass balance model 3): Kütle dengesi modeli 3 (mass balance model 3), yalnızca akış yönüne paralel eğimli transeklere uygulanır. Yalnızca her eğim grubu için bir transekt hattı kullanılır. Tarım yapılan alanlardaki taşınan toprak taneciklerinin dağılımını dikkate alır. Bu modelde elde edilen taşınma değerleri gerçeğe daha yakın sonuçlar verir.

e) Kesite göre dağılım modeli (profile distribution model): Kesite göre dağılım modeli (profile distribution model), işlenmemiş topraklar için, ^{137}Cs 'nin toprak

profilindeki derinlik dağılımını dikkate almaktadır. Kesite göre dağılım modeli basit ve kullanımı kolaydır, birçok önemli basitleştirme kabulleri içerir. ^{137}Cs 'nin zamana bağlı davranışından elde edilen değerleri ve atmosferden kaynaklı ^{137}Cs 'nin toprak profilindeki dağılımından sonraki son birikmenin tekrar dağılımını dikkate almaz. Bu durum, olduğundan daha fazla toprak kaybı verileri elde edilmesini sağlar.

f) Difüzyon ve göç modeli (diffusion and migration model): Difüzyon ve göç modeli (diffusion and migration model), ^{137}Cs serpintisinin toprak profilindeki hem derinlikle zamana bağlı dağılımını, hem de yerdeğiştirmesini dikkate alır. Bu model profil dağılım modelinin geliştirilmiş halidir. Bu modeli kullanabilmek için işlenmemiş topraklardaki ^{137}Cs 'nin davranışı ile ilgili daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulur.

BÖLÜM 3

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

¹³⁷Cs Serpinti Radyonüklidi ile erozyonun belirlenmesine İstanbul'un en önemli içme suyu kaynağı olan Ömerli Baraj havzasında (Şekil 3.1) seçilen alanlarda yapılmıştır. Ömerli baraj havzası ve deneysel çalışmalarda kullanılan yöntemlere ilişkin genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1. Ömerli Baraj Havzasının Tanıtımı

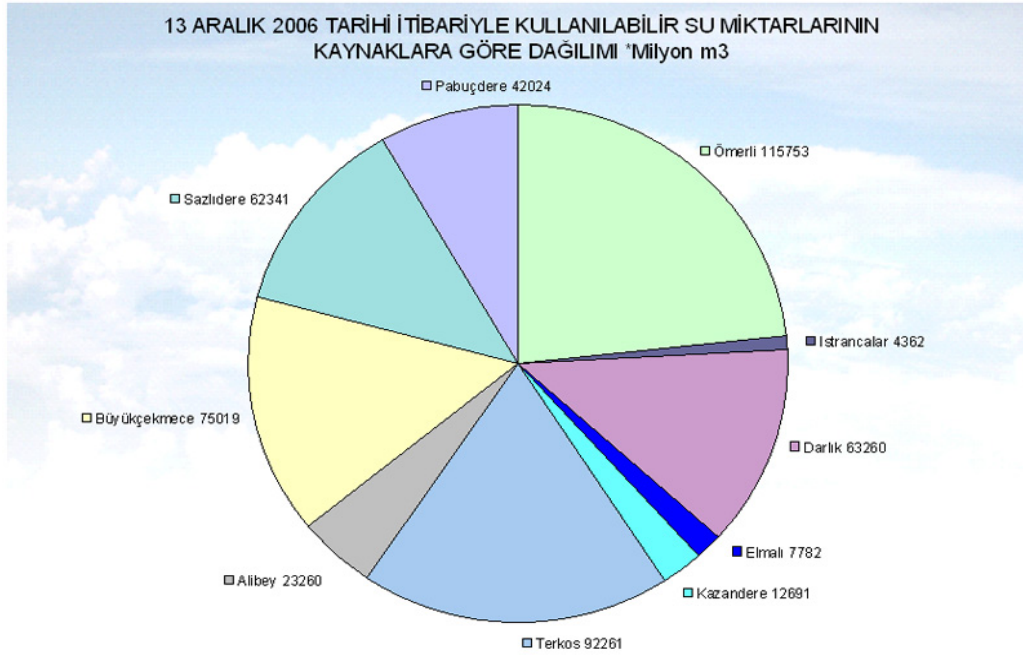


Şekil 3.1: Ömerli Barajı mevki haritası (İBB, 2006a).

Ömerli barajı havzası $40^{\circ} 51' - 41^{\circ} 07'$ Kuzey enlem ve $29^{\circ} 11' - 29^{\circ} 40'$ Doğu boylamları arasındadır. Havzanın kapladığı alan 57.820 hektardır. Yıllık ortalama sıcaklık değeri $12,8^{\circ} C$ ve yıllık ortalama yağış miktarı ise 705 mm dir. Havza oldukça dik eğimli bir yapıdadır (havzanın % 55,2'lik kısmının eğimi % 15'in üzerindedir). Anakaya malzemesi olarak devoniyen şist, eosen kireçtaşı, trias kayalar, kumtaşı, çakıl, kireçtaşı, siluryen arkozdan oluşmaktadır. Toprak tane

boyutu genellikle kumludan, verimli toprağa doğru değişmektedir. Toprak derinliğine bağlı olarak taşıktan kireçliye doğru bir değişim vardır (**Hızal, 2004; Ertek, 2006**).

1967 yılında yapımına başlanan Ömerli Barajı, İstanbul'un 28 km kuzeydoğusunda Riva deresi üzerinde Ömerli köyüne 5 km mesafededir. Drenaj alanı 600 km² maksimum su kotunda göl sahası 6.106 km²'dir. Asgari işletme kotu 46.00 m, azami su kotu 62.00 metredir. Ömerli Barajı'nın yıllık su verimi 220 milyon m³ olup inşaatı 1972 yılında tamamlanmıştır. Ömerli Barajı, İstanbul'un su ihtiyacını karşılayan en büyük barajdır (Şekil 3.2.). Bu nedenle İstanbul için çok önemlidir.



Şekil 3.2: İstanbul için kullanılabilir su miktarlarının kaynaklara göre dağılımı (**İSKİ, 2006**).

Ömerli Baraj Gölü, Ömerli, Emirli, Ballica Esenceli ve Kurtdoğmuş köylerinin arazisinin büyük bir kısmını kapsamaktadır. Yıllık 220 milyon m³ lük su verimiyle İstanbul'un en büyük su kaynağı olan Ömerli Barajı "Mutlak Koruma Alanlarında Sıfır Yapılaşma" projesi kapsamında korunmaktadır. Havza alanı içerisindeki ilk etapta 300 m nin yapısızlaştırılma çalışmaları sürmektedir. Yıkılan yapılar yerine ağaçlandırma çalışmaları yapılmaktadır (**Kabadayı, 2006**).

3.2. Arazi Çalışmaları

Bu çalışmalar; erozyonun belirlenmesi amacıyla araştırma sahasının referans ve eğimli alanlarından toprak örneklerinin alınması için gerçekleştirilmiştir. Bunlara ilişkin ayrıntılı bilgiler aşağıda sunulmuştur.

3.2.1. Referans Alan

Serpinti radyonüklidleri yönteminin gerektirdiği doğrultuda belirlenen referans alan Paşaköy köyü yakınlarında yer almaktadır. Kısa bir süre öncesine kadar askeri bölge içinde kalan bu alanda tarım yapılmamış, yapılaşmaya izin verilmemiştir. Daha sonra satılan bölge, alıcı tarafından etrafı çevrilerek güvenlik görevlileriyle korumaya alınmıştır. Bu süreçte de tarım, yapılaşma olmamış ve alan yıllarca bozulmadan kalmıştır.

Kare oluşturulacak şekilde 10 m aralıkla dört köşeden, 40 cm derinlikten, delici motor yardımıyla üçer adet doğal yapısı bozulmamış-bütün toprak örnekleri alınmıştır. Delici motorda, monte edilebilen 6,9 cm çapında demir borular kullanılmıştır. Kesit örneği oluşturmak amacıyla bir köşeden delici motor ile alınan örnek, 2 cm lik kesitlere ayrılmıştır. Şekil 3.3'de Paşaköy referans alanı olarak seçilen alan ve örnek toplanması görüntüleri yer almaktadır. Kesit örnek alınmasında örnek miktarının fazla olmasından yararlanmak amacıyla kazıyıcı levha ile örnekler de alınmıştır. Kazıyıcı levha ile örnek alırken alınan arazinin yapısından, toprağın giderek sertleşmesinden ve taş miktarının ve boyutlarının artmasından, dolayı ancak 10 cm derinliğe kadar inilebilmiştir. Bu nedenle kazıyıcı levha ile alınan örnekler toprak taşınma miktarının hesaplanmasında kullanılmamıştır.



Şekil 3.3: Paşaköy referans alanı olarak seçilen saha ve toprak örneklerinin alınması.

3.2.2. Eğimli Alanlar

3.2.2.1. Paşaköy Alanı



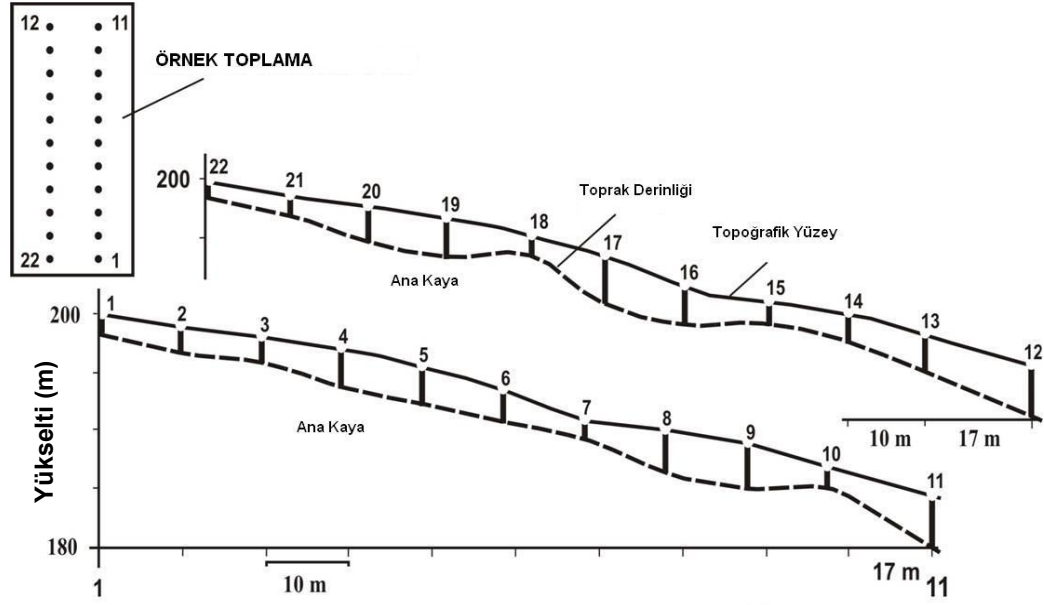
Şekil 3.4: Paşaköy eğimli çalışma alanının görüntüleri.



Şekil 3.5: Paşaköy çalışma alanının uydu görüntüsü (İBB, 2006b).

Ömerli baraj havzası sınırları içinde bulunan Paşaköy çalışma alanı bitki örtüsü olarak çalılık orman (woodland – brush), anakaya olarak devoniyen killişist (devonian clayschist) yapıdadır. Paşaköy çalışma alanı ve ilgili uydu görüntüleri Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de görülmektedir (İBB, 2006b). Seçilen eğimli alanda serpinti radyonükleriyle toprak taşınma miktarının belirlenmesi kapsamında toprak örnekleri birbirine paralel iki hat (transekt) boyunca 40 cm derinlikten delici motor yardımıyla

alınmıştır. Delici motorda, monte edilebilen 6,9 cm çapında demir borular kullanılmıştır. Örnek alınan noktalar arasındaki uzaklık 10 m olmak üzere toplam 22 toprak örneği alınmıştır. Şekil 3.6'da Paşaköy eğimli çalışma alanı için örnek toplama şeması görülmektedir.



Şekil 3.6: Paşaköy eğimli çalışma alanı için örnek toplama şeması.

Toprak özellikleri ile radyonüklidlerin dikey doğrultudaki hareketinin ilişkisi doğrultusunda, çalışma alanındaki toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin (toprak tekstürü, pH, elektriki iletkenlik (electrical conductivity, EC), CaCO_3 , hidrolik iletkenlik (hydraulic conductivity), doyumluk kapasitesi (saturation capacity), hacim ağırlığı (bulk density), ve organik madde (organic matter)) belirlenmesi amacıyla doğal yapısı bozulmamış toprak örnekleri alındı. Bu amaçla eğimli alanda iki, referans alanda bir toprak örneği alma yeri belirlenmiştir ve her 6,5 cm de bir olmak üzere, 8 cm çapındaki çelik silindirler ile, ikişer örnek alınmıştır.

3.2.2.2 Esenceli Alanı



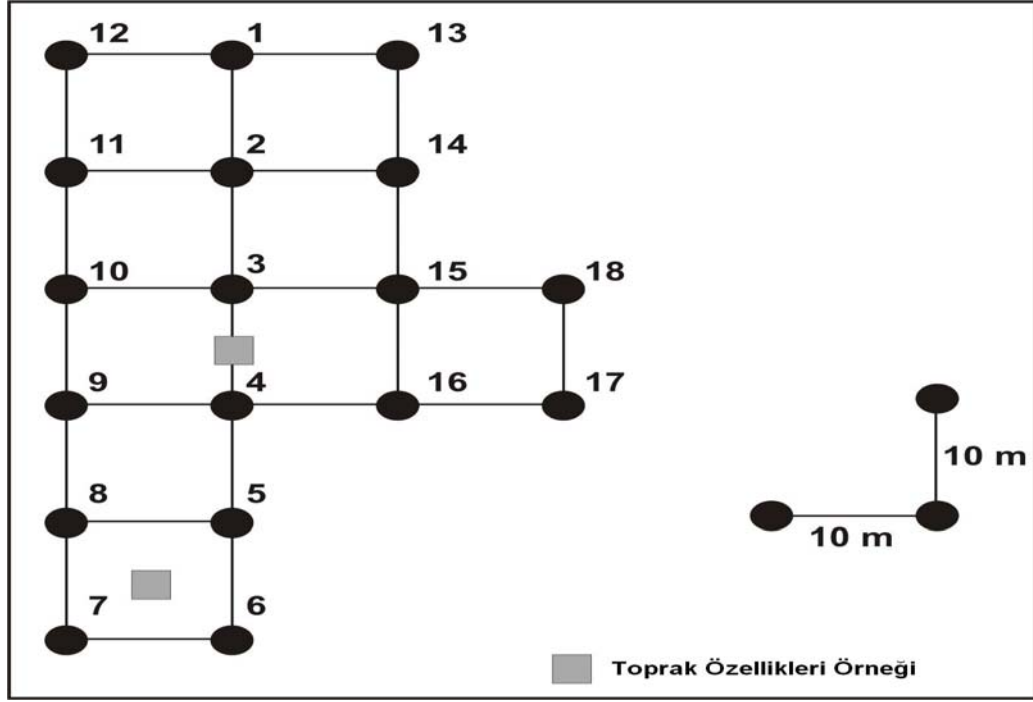
Şekil 3.7: Esenceli eğimli çalışma alanının görüntüleri.



Şekil 3.8: Esenceli çalışma alanının uydu görüntüsü (İBB, 2006b).

Ömerli baraj havzası sınırları içinde bulunan Esenceli çalışma alanı baraja çok yakındır, bitki örtüsü olarak otlak ve meralık (rangeland), anakaya olarak devoniyen arkosik kumtaşından (devonian arkosic sandstone) oluşmuştur. Çalışma alanı ve ilgili görüntüler Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de verilmiştir (İBB, 2006b). Seçilen eğimli alanda serpinti radyonükleriyle toprak taşınma miktarının belirlenmesi kapsamında toprak örnekleri birbirine paralel dört hat (transekt) boyunca 40 cm derinlikten delici motor yardımıyla alınmıştır. Delici motorda, monte edilebilen 6,9 cm çapında demir boru kullanılmıştır. Örnek alınan noktalar arasındaki uzaklık 10 m olmak üzere

toplam 18 örnek alınmıştır. Şekil 3.9'da Esenceli eğimli çalışma alanı için örnek toplama şeması görülmektedir.



Şekil 3.9: Esenceli eğimli çalışma alanı için örnek toplama şeması.

3.3. Laboratuvar Çalışmaları

3.3.1. Örnek Hazırlanması

Arazi çalışmalarında polietilen torbalar ile toplanan toprak örnekleri, çelik tepsilere boşaltılmış ve bunlar 110°C sıcaklığındaki fırınlarda yaklaşık olarak 24 saat kurutulmuştur. Kurutulan toprak örnekleri porselen havanlarda öğütülerek 2 mm lik elekten elenmiştir ve gama spektroskopik ölçümleri yapılmak üzere Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu Viyana Seibersdorf Laboratuvarları'na (International Atomic Energy Agency, IAEA) gönderilmiştir.

3.3.2. Toprak Özelliklerinin Belirlenmesi

Toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Toprak ve Ekoloji Anabilim Dalı Laboratuvarlarında gerçekleştirildi (**Hacıyakupoglu ve diğ., 2005b**). Deneylerde organik karbon belirlenmesi için Walkley-Black ıslak yakma yöntemi, kalsiyum karbonat belirlenmesi için Scheibler kalsimetresi, pH belirlenmesi için Hanna mikroprosesörlü pHmetresi kullanılmıştır.

3.3.3 Toprak Kayıplarının Belirlenmesi

3.3.3.1. Gama spektroskopik ölçümleri



Şekil 3.10: Gama spektroskopik ölçüm sistemi, Seibersdorf Laboratuvarları (**Mabbit, 2006**).

Serpinti radyonüklidleri yöntemiyle yapılacak toprak taşınma miktarı belirlenmesi çalışmaları kapsamında gereken ^{137}Cs radyonüklidenin radyoaktivite ölçümleri Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu Seibersdorf Laboratuvarları (International Atomic Energy Agency, IAEA), Toprak Bilimleri Birimi'nin gama spektroskopik ölçüm sisteminde yapılmıştır (Şekil 3.10). ORTEC tarafından üretilen "GEM 100-PLUS" gama detektörü ve örnek değiştiricisi (GV Automation Pack, 2004-2005) yüksek saflıkta Germanyum (HPGe) koaksiyel p-tipi detektöre sahiptir.

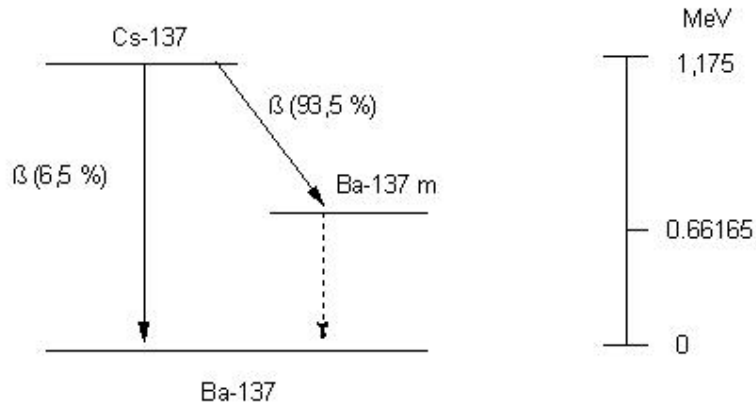
Detektör ^{60}Co için 1,3 MeV de % 100 verimle, ^{57}Co için 122 keV de 1,20 keV çözünürlükle (Full width at Half maximum, FWHM) çalışmaktadır. Detektör 81,7 mm çap, 104,2 mm uzunluk, 4 mm kalınlık boyutlarına sahiptir. Detektör çevresindeki kurşun zırh silindirik yapıdadır ve iç ölçüleri 250 mm çapında ve 460 mm yüksekliğinde olan 10 cm lik kurşundan oluşmaktadır. Ölçüm sisteminde kullanılan Gamma Vision-32 (Gamma-Ray Spectrum Analysis and MCA Emulator for Microsoft Windows 98, 2000, NT and XP - Software Version 6) programıyla gama spektrumu elde edilmektedir. Detektör Amersham'dan alınan (FG 607 kodlu, ISO belgeli C.11111, aktif hacmi 1.300 ml ve yoğunluğu yaklaşık 1.0 g/cm^3 olan) kapalı kaynak ile kalibre edilmiştir. Tablo 3.1'de ölçüm sisteminde kullanılan detektörün bazı performans özellikleri yer almaktadır (**Mabbit, 2006**).

Toprak örnekleri örneklerin miktarı ve gama spektroskopik sistemin algılama limitleri doğrultusunda 30.000 ile 60.000 saniye süre ile ölçüldü. Gama spektroskopik ölçüm sistemi örneklerdeki düşük radyoaktivite nedeniyle istatistiksel güvenli seviye 1σ ve 2σ olmak üzere ayarlandı.

Tablo 3.1: Ölçüm sisteminde kullanılan detektörün özellikleri (Mabbit, 2006).

	Ölçülmesi Gereken	Ölçülen
Çözünürlük (FWHM), 1,33 MeV, ^{60}Co için	2,1 keV	1,89 keV
Pik/Kompton Oranı, ^{60}Co	83,1 keV	95,1 keV
Relatif Verim 1,33 MeV, ^{60}Co	100 %	115,6 %
Pik Şekli (FWTM/FWHM), ^{60}Co	2,0 keV	1,93 keV
Pik Şekli (FWFM/FWHM), ^{60}Co	2,81 keV	2,81 keV
Çözünürlük (FWHM) at 122 keV, ^{57}Co	1,20 keV	0,82 keV

Gama spektroskopik ölçüm sisteminde ^{137}Cs radyonüklidinin 30,174 yıl yarı ömürlü, 661,65 keV enerjili fotopikinden yararlanılmıştır. ^{137}Cs 'nin nükleer özellikleri ve bozunum şeması şekil 3.11'de görülmektedir (Lederer ve Shirley, 1978).



Şekil 3.11: ^{137}Cs 'nin bozunum şeması (Lederer ve Shirley, 1978)

^{137}Cs % 6,5 olasılıkla doğrudan kararlı ^{137}Ba 'ye ya da önce % 93,5 olasılıkla yarı kararlı (metastabil) $^{137\text{m}}\text{Ba}$ 'e, daha sonra kararlı ^{137}Ba 'ye dönüşür. ^{137}Cs 'nin doğrudan ^{137}Ba 'ye bozunumu sırasında 1,175 MeV lik enerjili radyasyon yayınlanır. ^{137}Cs 'nin yarı kararlı $^{137\text{m}}\text{Ba}$ 'e (yarı ömrü 2,55 dakika) bozunumu sırasında 0,51335 MeV lik enerji açığa çıkar. Yarı kararlı $^{137\text{m}}\text{Ba}$ 'in, kararlı ^{137}Ba 'ye bozunumu sırasında 0,66165 MeV lik enerji açığa çıkar. 0,66165 MeV lik enerjide yayınlanma olasılığı %85'tir.

3.3.3.2. Kesite Göre Yayılım Modelinin Kullanılması

İşlenmemiş topraklar için, ^{137}Cs 'nin toprak profilindeki derinliğe göre yayılımı tarım aletleriyle işlenip karıştırılmış olan toprak profilindeki ^{137}Cs dağılımından çok

farklıdır. Bazı durumlarda, işlenmemiş kararlı topraklarda ^{137}Cs 'nin derinlik dağılımı, derinliğe bağlı olarak üstel düşüş gösterir. İşlenmemiş topraklar için Kesite Göre Yayılım Modeli (Profile Distribution Model) geliştirilmiştir (**Walling ve He, 2001**). Bu model için gereken parametrelerin hesaplanmasında aşağıdaki denklemden yararlanılmaktadır:

$$A'(x) = A_{\text{ref}}(1 - e^{-x/h_0}) \quad (3.1)$$

burada;

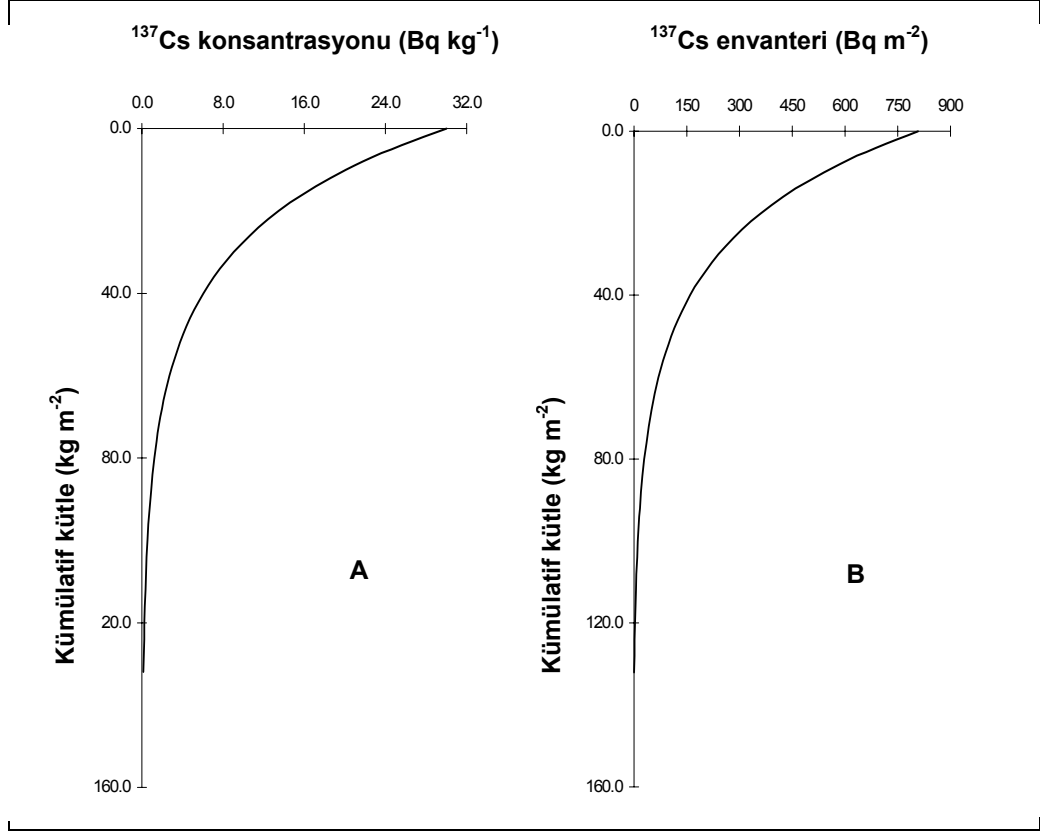
$A'(x)$: x derinliğindeki ^{137}Cs miktarı (envanteri)(Bq m^{-2})

A_{ref} : ^{137}Cs referans miktarı (envanteri) (Bq m^{-2})

x : Örnek alınan derinlik (kütle derinliği)(kg m^{-2})

h_0 : Profil şekil faktörü (kg m^{-2})

Profil şekil faktörü h_0 için bulunan büyüklük, ^{137}Cs 'nin ne kadar derine nüfuz ettiğini gösterir. Kesite Göre Yayılım modelinde kullanılan h_0 parametresi, işlenmemiş topraktaki ^{137}Cs nüfuz derinliğine bağlı olarak üstel fonksiyonunun doğrusal olarak hesaplanmasıyla elde edilir. Burada en küçük kareler uyum eğrisi (least-squares curve fitting) yöntemi kullanılır. İşlenmemiş topraktaki ^{137}Cs 'nin derinliğe bağlı konsantrasyonundaki üstel dağılımına tipik bir örnek Şekil 3.12.A da görülmektedir. Bazı durumlarda, ^{137}Cs 'nin derinliğe bağlı konsantrasyonundaki dağılımı üstel olmaz, böyle durumlarda gittikçe artan envanterin derinliğe bağlı dağılımı Şekil 3.12.B deki gibi üstel eğriye yaklaştırılır. h_0 katsayısını elde etmek için $f(z) = f(0)e^{-z/h_0}$ formundaki fonksiyonu ile ^{137}Cs 'nin derinlik dağılımına bağlı olarak en küçük kareler uyum eğrisi yöntemi kullanılarak $f(0)$ ve h_0 değerleri bulunur.



Şekil 3.12: ¹³⁷Cs'nin toprakta derinliğe bağlı olarak yayılımı (Walling ve He, 2001).

Eğer tüm ¹³⁷Cs'nin serpinthesinin 1963 yılında olduğu ve toprak profilindeki derinliğe bağlı dağılımının zamandan bağımsız olduğu kabul edilirse, erozyon hızı Y ($t \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$) aşağıdaki deklemlerle bulunabilir;

$$Y = \frac{10}{(t - 1963)P} \ln\left(1 - \frac{X}{100}\right) h_0 \quad (3.2)$$

burada;

Y : Yıllık toprak kaybı ($t \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$)

t : örnek toplanan yıl (y)

X : Yerel referans değeri dikkate alınarak, toplam envanterdeki ¹³⁷Cs kayıp yüzdesi $[(A_{\text{ref}} - A_u) / A_{\text{ref}} \times 100]$

A_u : Örnek alınan noktadaki ölçülen toplam ¹³⁷Cs envanteri (Bq m^{-2})

h_0 : Profil şekil katsayısı (kg m^{-2})

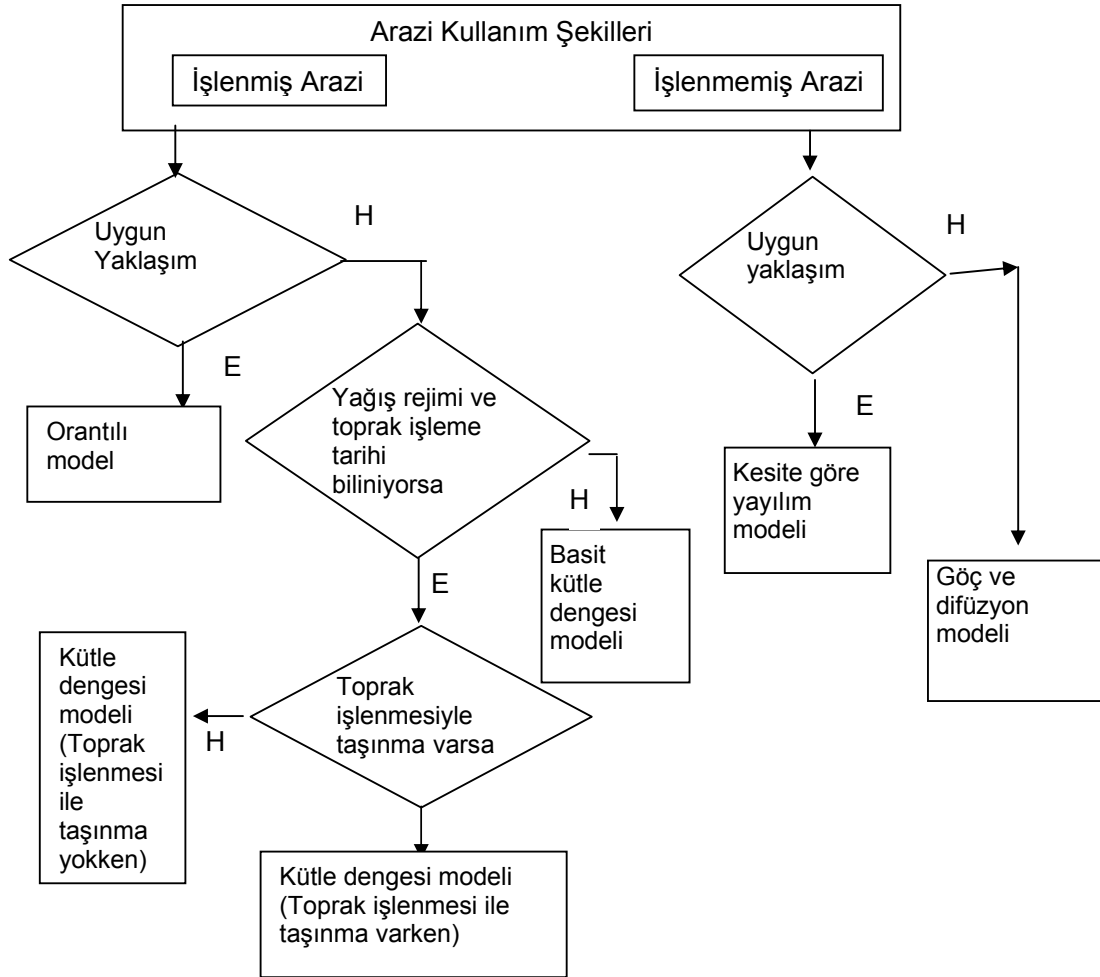
P : Partikül boyutu

Kesite göre dağılım modeli basit ve kullanımı kolaydır, birçok önemli basitleştirme kabulleri içerir. ¹³⁷Cs'nin zamana bağlı davranışından elde edilen değerleri ve atmosferden kaynaklı ¹³⁷Cs'nin toprak profilindeki dağılımından sonraki son

birikmenin tekrar dağılımını dikkate almaz. Bu durum, olduğundan daha fazla toprak kaybı verileri elde edilmesini sağlar (Walling ve He, 2001; Walling ve Quine, 1993).

3.3.4 Dönüşüm Modeli Programının Kullanılması

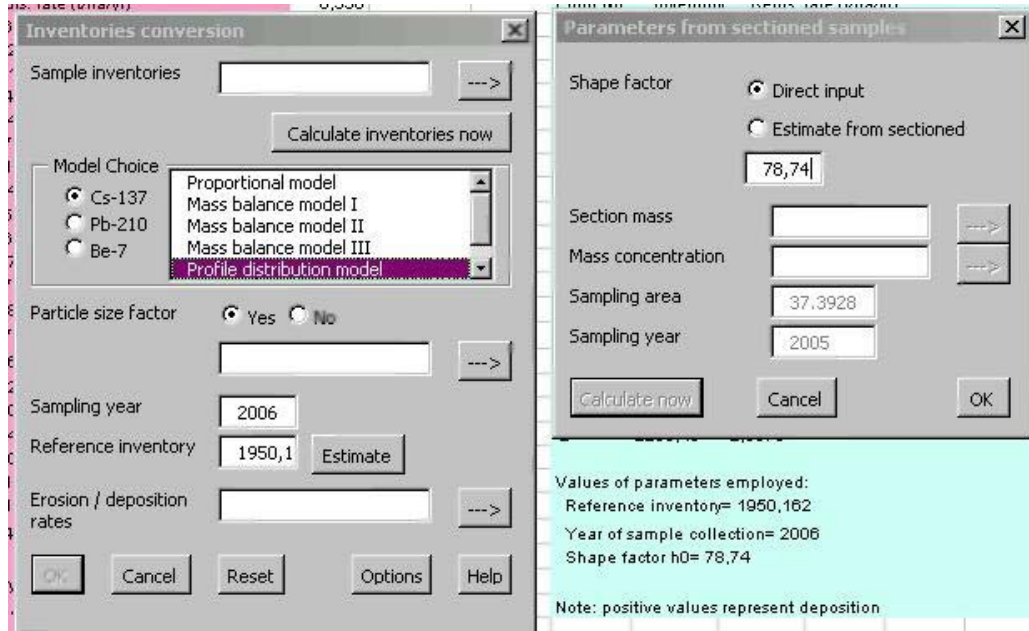
¹³⁷Cs ölçümlerinin sonuçlarını toprak taşıma miktarını belirlemek amacıyla kullanmak için yapılan çalışmalar, ampirik bağıntılar, teorik modeller ve ölçüm süreçlerinden oluşur. Kullanılan yöntem ve süreçleri standartlaştırmak için Walling ve He tarafından birçok modele uygulanabilen ve anlamlı sonuçlar üreten bir bilgisayar programı geliştirilmiştir (Walling ve He, 2001). Program dünyada geniş ölçüde kullanılmakla beraber, modellerin gerektirdiği parametrelerin belirlenmesindeki zorluklar nedeniyle kullanımı sınırlı olmaktadır. Şekil 3.13'de kullanılacak dönüşüm modelinin tercihi için seçenekler görülmektedir.



Şekil 3.13: Kullanılacak dönüşüm modelinin tercihi için seçenekler (Walling ve diğerleri, 2006).

3.3.4.1. Addin yazılımı

Yazılım Microsoft Exel programı altında çalışmaktadır ve bir Addin dosyası (radiocalc.xla), bir derlenmiş html uzantılı yardım dosyası (radiocalc.chm) ve yerel referans envanter bulunmadığı durumlarda kullanılabilen bir yağış bilgisi dosyası (rain.dat) içerir (Şekil 3.14). Programın çalıştırılması için gereken minimum sistem; Windows 98, Internet Explorer 5.0 ve Excel 2000'dir. Program, her üç dosya da aynı klasör içinde olmak üzere, kurmak için Excel Addin menüsü altında kurulur. Programda kullanılacak ölçüm sonuçlarını içeren veriler eğim aşağı olacak şekilde Excel çalışma sayfasında sütunlar olarak yazılır (Walling ve diğerleri, 2006).



Şekil 3.14: Kullanılan dönüşüm programının işleyişi.

BÖLÜM 4

4. DENEY SONUÇLARI

Çalışılan alanlardaki toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri erozyonu etkileyen faktörlerden olması dolayısıyla önemlidir. Deneyle elde edilen sonuçları serpinti radyonüklidleri dönüşüm modelinde kullanabilmek için sonuçları aktivite, zaman düzeltmesi yapılmış aktivite, zaman düzeltmesi yapılmış aktivite envanteri değerlerine dönüştürmek gereklidir.

4.1. Toprak Örneklerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Paşaköy referans alandan toplanan toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 4.1'den 4.4'e kadar verilmektedir.

Tablo 4.1: Paşaköy referans alandan, 0-26 cm derinlikten alınan toprak örnekleri *.

Örnek alma derinliği (cm)	Doygunluk kapasitesi (%)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Geçirgenlik (cm/saat)
0-6,5	22,23	1,4	2,06
6,5-13	18,14	1,58	7,9
13-19,5	17,24	1,52	5,84
19,5-26	16,48	1,35	20,95

* İki örneğin ortalaması

Tablo 4.2: Paşaköy referans alandan, 0-40 cm derinlikten alınan toprak örnekleri *.

Örnek alma derinliği (cm)	pH (1/2,5 H ₂ O)	CaCO ₃ ** (%)	Organik Karbon (%)
0-10	5,66	-	2,24
10-20	5,33	-	1,25
20-30	5,62	-	0,58
30-40	5,64	-	0,22

* İki örneğin ortalaması

** CaCO₃ değerleri % 1'den azdır.

Tablo 4.3: Paşaköy eğimli araziden 1. çukur için, 0-19,5 cm derinlikten alınan toprak örnekleri *.

Örnek alma derinliği (cm)	pH (1/2,5H ₂ O)	Organik		Doygunluk Kapasitesi (%)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Geçirgenlik (cm/saat)
		Karbon %	CaCO ₃ ** %			
0-6,5	5,58	2,28	-	23,16	1,24	18,21
6,5-13	5,22	1,94	-	20,22	1,49	7,06
13-19,5	5,20	0,96	-	19,45	1,36	12,57

* İki örneğin ortalaması

** CaCO₃ değerleri % 1'den azdır.

Tablo 4.4: Paşaköy eğimli araziden 2. çukur için, 0-39 cm derinlikten alınan toprak örnekleri *.

Örnek alma derinliği (cm)	pH (1/2,5H ₂ O)	Organik		Doygunluk Kapasitesi (%)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Geçirgenlik (cm/saat)
		Karbon %	CaCO ₃ ** %			
0-6,5	5,37	3,33	-	31,07	1,14	7,37
6,5-13	5,46	3,07	-	30,37	1,03	55,54
13-19,5	5,57	2,96	-	28,78	1,12	13,43
19,5-26	5,52	3,38	-	29,09	1,10	16,02
26-32,5	5,67	3,68	-	26,60	1,21	22,31
32,5-39	5,50	2,68	-	29,86	1,19	62,46

* İki örneğin ortalaması

** CaCO₃ değerleri % 1'den azdır.

4.2. Aktivite konsantrasyonu zaman düzeltmesi

Toprak örneklerindeki ¹³⁷Cs radyonüklidinin A_t ile tanımlanan ölçüm yapıldığı tarihteki aktivitesi konsantrasyonu, denklem 5.1 ile belirlenmiştir. Bu denklemde ε yarı iletken detektörün ¹³⁷Cs radyonüklidinin 661,65 keV enerjisi için verimi; P ¹³⁷Cs radyonüklidinin spektrumdaki pikinin alanı, I ¹³⁷Cs radyonüklidinin 661,65 keV enerjisi için yayınım olasılığı ve t_m ölçüm süresidir:

$$A_t = \frac{P}{\epsilon \cdot I \cdot t_m} \quad (4.1)$$

Aktivite konsantrasyonu 1 kg örnek başına belirlenen aktivitedir. Örnek toplandığı tarihteki aktivite konsantrasyonunu (A₀) belirlemek için gereken zaman düzeltmesi

hesaplanması için, A_0 başlangıç anındaki aktivite, λ bozunum sabiti, t geçen zaman, A_t anındaki aktivite olmak üzere;

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (4.2)$$

denklemini kullanılmıştır. Hesaplamalarda ^{137}Cs radyonüklidinin yarı ömrü 30,174 yıl; 1 yıl 365,2422 gün; 1 ay 30,43685 gün olarak alınmıştır (**Lederer ve Shirley, 1978; FUB, 2006**). Tablo 4.5'den 4.8'e kadar Paşaköy'de ve Esenceli'de seçilen referans ve eğimli alanlardan toplanan, yapısı bozulmamış ve kesit toprak örnekleri için ölçüm sisteminden elde edilen aktiviteler ve bu aktivitelerin serpinti radyonüklidleri dönüşüm modelinde kullanılmak için gereken örnek toplama anındaki aktivitelerle dönüştürülmüş, düzeltilmiş aktiviteleri verilmektedir:

Tablo 4.5: Paşaköy referans alanında kesit toprak örnekleri için ölçülen ve zamana göre düzeltilmiş aktivite konsantrasyonu değerleri.

Kesit örnek derinliği (cm)	Ölçüm sistemindeki aktivite konsantrasyonu (A_t) (Bq / kg)	Örnek toplandığı tarihteki aktivite konsantrasyonu (A_0) (Bq / kg)
0-2	14,110	14,343
2-4	18,439	18,991
4-6	17,073	17,584
6-8	13,910	14,326
8-10	13,488	13,891
10-12	11,530	11,875
12-14	9,827	10,121
14-16	6,257	6,444
16-18	4,760	4,902
18-20	3,876	3,992
20-22	3,899	4,015
22-24	2,581	2,659
24-26	2,051	2,112
26-28	1,035	1,065
28-30	2,917	3,005
30-32	1,708	1,759
32-34	1,909	1,966
34-36	1,026	1,056
36-38	2,685	2,765
38-40	1,329	1,369

Tablo 4.5'de görüldüğü gibi derine inildikçe ^{137}Cs aktivite konsantrasyonunda belirgin bir azalma söz konusudur. Bazı durumlarda aktivite konsantrasyonu toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre daha da derinlerde gözlenebilmektedir.

Tablo 4.6: Paşaköy referans alanında yapısı bozulmamış toprak örnekleri için ölçülen ve zamana göre düzeltilmiş aktivite konsantrasyonu değerleri.

Örnek Numarası	Ölçüm sistemindeki aktivite konsantrasyonu (A_t) (Bq / kg)	Örnek toplandığı tarihteki aktivite konsantrasyonu (A_0) (Bq / kg)
1	6,768	6,880
2	8,099	8,233
3	9,415	9,571
4	8,193	8,328
5	8,500	8,641
6	6,881	6,995
7	3,010	3,060
8	1,688	1,716
9	0,510	0,518
10	6,777	6,889
11	7,160	7,278
12	6,647	6,757

Tablo 4.6'da yer alan aktivite konsantrasyonları geniş bir aralığa yayılmıştır. Bu sonuçlardan istatistiki olarak yararlanabilmek için bazı sonuçların çıkarılmasının gerekli olduğu görülmektedir.

Tablo 4.7: Paşaköy eğimli alanda yapısı bozulmamış toprak örnekleri için ölçülen ve zamana göre düzeltilmiş aktivite konsantrasyonu değerleri.

Örnek Numarası	Ölçüm sistemindeki	Örnek toplandığı tarihteki
	aktivite konsantrasyonu (A_t) (Bq / kg)	aktivite konsantrasyonu (A_0) (Bq / kg)
1	5,816	5,891
2	5,120	5,186
3	6,472	6,556
4	10,065	10,196
5	7,742	7,842
6	15,268	15,466
7	33,493	33,927
8	3,911	3,962
9	18,788	19,032
10	5,238	5,306
11	18,106	18,341
12	16,173	16,383
13	7,480	7,577
14	8,662	8,774
15	11,049	11,192
16	12,875	13,042
17	8,424	8,533
18	9,071	9,189
19	18,672	18,914
20	17,256	17,480
21	4,994	5,059
22	6,532	6,617

Tablo 4.8: Esenceli eğimli alanda yapısı bozulmamış toprak örnekleri için ölçülen ve zamana göre düzeltilmiş aktivite konsantrasyonu değerleri.

Örnek Numarası	Ölçüm sistemindeki aktivite konsantrasyonu (A_t) (Bq / kg)	Örnek toplandığı tarihteki aktivite konsantrasyonu (A_0) (Bq / kg)
1	6,703	6,757
2	7,928	7,992
3	3,863	3,894
4	6,506	6,558
5	6,695	6,748
6	7,002	7,058
7	3,935	3,967
8	8,430	8,498
9	6,237	6,287
10	6,773	6,828
11	2,053	2,069
12	3,884	3,915
13	4,931	4,970
14	3,400	3,427
15	6,628	6,681
16	5,506	5,550
17	7,152	7,209
18	6,212	6,261

4.3. Aktivite envanteri hesaplanması

Serpinti radyonüklidleri yöntemi hesaplamalarında aktivite envanteri (activity inventory, areal activity, A_a) birim yüzeye düşen aktivite olarak tanımlanır. Eğimli araziden alınan doğal yapısı bozulmamış örnekler için aktivite envanteri A_a , yapısı bozulmamış örneğin aktivitesi A (Bq/kg), örneğin toplam (total, t) kütlesi m_t (kg) ve örnek alma düzeneğinin yüzey alanı S (m^2) olmak üzere aşağıdaki denklem ile belirlendi:

$$A_a = \frac{A \cdot m_t}{S} \quad (4.3)$$

Referans alandan ve gerektiğinde eğimli araziden alınan doğal yapısı bozulmamış kesit örnekler için aktivite envanteri A_a , yapısı bozulmamış i . kesitin toplam kütlesi m_{ti} (kg), i . kesitteki örneğin aktivitesi A_i (Bq/kg) ve örnek alma düzeneğinin yüzey alanı S (m^2) olmak üzere aşağıdaki denkleme göre belirlendi:

$$A_a = \frac{1}{S} \sum_i m_{ti} \cdot A_i \quad (4.4)$$

Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'de serpinti radyonüklidleri dönüşüm modelinde kullanılmak üzere Paşaköy'de ve Esenceli'de seçilen referans ve eğimli alanlardan toplanan yapısı bozulmamış ve kesit toprak örnekleri için düzeltilmiş aktivitelere elde edilen aktivite envanteri değerleri verilmektedir:

Tablo 4.9: Paşaköy referans alanında kesit toprak örnekleri için düzeltilmiş aktivite envanteri değerleri.

Kesit örnek derinliği (cm)	Örnek kütlesi (kg)	Örnek toplandığı tarihteki aktivite konsantrasyonu (Bq / kg)	Aktivite envanteri (Bq / m²)
0-2	0,040	14,343	155,800 ± 9,447
2-4	0,041	18,991	208,639 ± 13,454
4-6	0,041	17,584	196,414 ± 12,473
6-8	0,043	14,326	167,654 ± 9,934
8-10	0,043	13,891	160,165 ± 12,047
10-12	0,043	11,875	137,524 ± 11,560
12-14	0,047	10,121	127,500 ± 11,491
14-16	0,045	6,444	77,938 ± 9,614
16-18	0,045	4,902	59,555 ± 9,753
18-20	0,043	3,992	46,744 ± 6,880
20-22	0,045	4,015	48,649 ± 11,758
22-24	0,045	2,659	32,463 ± 12,456
24-26	0,043	2,112	24,550 ± 7,150
26-28	0,044	1,065	12,742 ± 6,637
28-30	0,045	3,005	36,664 ± 10,924
30-32	0,044	1,759	21,127 ± 9,685
32-34	0,046	1,966	24,294 ± 8,339
34-36	0,045	1,056	12,734 ± 7,606
36-38	0,037	2,765	27,417 ± 13,593
38-40	0,045	1,369	16,778 ± 9,573

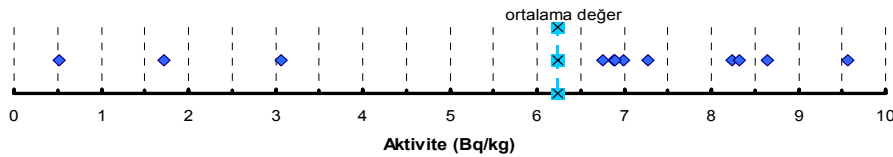
Tablo 4.10: Paşaköy referans alanında yapısı bozulmamış toprak örnekleri için düzeltilmiş aktivite envanteri değerleri.

Örnek No	Örnek kütlesi (kg)	Örnek toplandığı tarihteki aktivite konsantrasyonu (Bq / kg)	Aktivite envanteri (Bq / m ²)
1	0,964	6,880	1792,499 ± 47,967
2	0,962	8,233	2140,563 ± 41,998
3	0,966	9,571	2498,728 ± 51,299
4	0,96	8,328	2160,905 ± 38,594
5	0,962	8,641	2246,547 ± 39,315
6	0,962	6,995	1818,644 ± 35,354
7	0,969	3,060	801,331 ± 25,474
8	0,96	1,716	445,210 ± 16,531
9	0,963	0,518	134,933 ± 10,143
10	0,965	6,889	1796,744 ± 43,140
11	0,961	7,278	1890,418 ± 48,338
12	0,961	6,757	1754,973 ± 46,314

Referans alan için ortalama aktivite ve aktivite envanterinin belirlenmesinde örneklerin toplanmasından dolayı olan hataları belirlemek ve kabul edilebilir bir ortalama değer elde amacıyla istatistiksel hesaplamalar yapılmıştır (**Weiss, 2002**). Bu amaçla Tablo 4.10'da görülen değerler ile ortalama değere göre standart sapması 1'den büyük olan sonuçlar ve bu sonuçlar için olasılıkları içeren Tablo 4.11 ve Şekil 4.1 oluşturuldu.

Tablo 4.11: Referans alan aktiviteleri için örnek sayısı ve örnekleme hatası

Ölçülen örnek sayısı	Ortalama değerden 1σ farklı olan örnek sayısı	Ortalama değerden 1σ farklı olma olasılığı
12	4	% 33,33



Şekil 4.1: Referans alan ortalama aktivite değeri ve aktivite dağılımları.

Şekil 4.1 ve Tablo 4.11'de görülen sonuçlara göre Tablo 4.10'da verilen dört sonuç ortalama hesaplamalarının yapılmasında dikkate alınmamıştır. Bu sonuca göre Paşaköy referans alanı için ortalama aktivite $7,500 \text{ Bq/kg} \pm 0,769$ ve ortalama aktivite envanteri $1950,162 \text{ Bq/m}^2 \pm 198,519$ olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.12: Paşaköy eğimli alanda yapısı bozulmamış toprak örnekleri için düzeltilmiş aktivite envanteri değerleri.

Örnek No	Örnek kütlesi (kg)	Örnek toplandığı tarihteki aktivite konsantrasyonu (Bq / kg)	Aktivite envanteri (Bq / m²)
1	1,193	5,891	1899,590
2	0,951	5,186	1333,047
3	0,319	6,556	565,229
4	0,869	10,196	2394,576
5	0,674	7,842	1428,592
6	0,744	15,466	3109,927
7	0,572	33,927	5244,996
8	1,049	3,962	1123,203
9	0,913	19,032	4696,198
10	0,559	5,306	801,627
11	1,197	18,341	5933,511
12	0,998	16,383	4418,921
13	1,264	7,577	2588,474
14	1,217	8,774	2886,050
15	0,888	11,192	2686,155
16	0,571	13,042	2012,697
17	1,118	8,533	2578,429
18	0,965	9,189	2396,501
19	0,561	18,914	2867,799
20	0,456	17,480	2154,270
21	0,708	5,059	968,003
22	0,874	6,617	1562,977

Tablo 4.13: Esenceli eğimli alanda yapısı bozulmamış toprak örnekleri için düzeltilmiş aktivite envanteri değerleri.

Örnek No	Örnek kütlesi (kg)	Örnek toplandığı tarihteki aktivite konsantrasyonu (Bq / kg)	Aktivite envanteri (Bq / m ²)
1	1,108	6,757	2023,432
2	1,0442	7,992	2255,430
3	1,0605	3,894	1115,994
4	1,0966	6,558	1943,759
5	1,0312	6,748	1880,763
6	1,1084	7,058	2114,268
7	1,1063	3,967	1186,071
8	1,0515	8,498	2415,002
9	1,1135	6,287	1892,052
10	1,1174	6,828	2061,907
11	1,2858	2,069	719,015
12	1,2651	3,915	1338,676
13	1,0184	4,970	1368,059
14	1,1277	3,427	1044,527
15	1,1083	6,681	2001,274
16	1,2785	5,550	1917,703
17	1,1745	7,209	2288,286
18	1,1408	6,261	1930,484

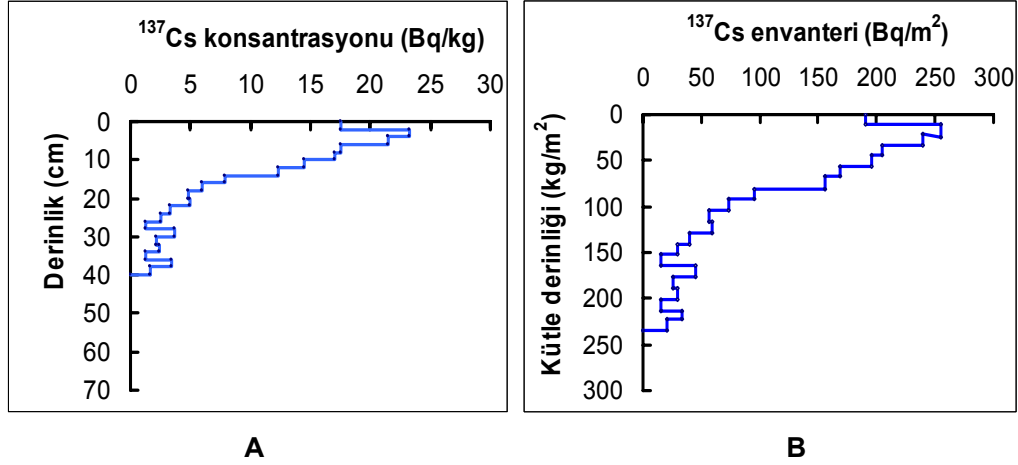
4.4. Referans Alan İçin ¹³⁷Cs Profili

Ekili olmayan alanlardaki ¹³⁷Cs profili toprak yüzeyine yakın yerlerde geniş bir pik yaparak daha sonra yüzeyden aşağı doğru bir uzantı sergiler. Referans olarak alınan ekili olmayan sahada ¹³⁷Cs konsantrasyonu derinlikle yaklaşık üstlü çokluk olarak azalır. Başlangıçtaki ¹³⁷Cs dağılımı kümülatif gevşeme kütle derinliği (relaxation mass depth) olarak tanımlanabilir. ¹³⁷Cs'nin bu dağılımı, ¹³⁷Cs radyonüklidi ve toprak partikülleri arasındaki etkileşime, yağış rejimine ve toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişir ve toprak sistemindeki bir seri fiziksel, fizikokimyasal ve biyolojik süreçler sonucu şekillenir. Referans olarak seçilen alandaki kesit toprak örnekleri için elde edilen özellikler Tablo 4.14'de

verilmektedir. Bu toprak örnekleri için ^{137}Cs serpinti radyonüklidinin toprak derinliği ve kütle derinliğine göre yayılımı Şekil 4.2'de görülmektedir.

Tablo 4.14: Paşaköy referans alanı için elde edilen özellikler.

Kesit örnek derinliği (cm)	Kümülatif kütle derinliği (kg / m²)	Örnek toplandığı tarihteki aktivite konsantrasyonu (Bq / kg)	1 Standart sapma için hata ±
0-2	10,862	17,528	1,063
2-4	21,849	23,206	1,496
4-6	33,019	21,487	1,365
6-8	44,722	17,506	1,037
8-10	56,251	16,975	1,277
10-12	67,832	14,511	1,220
12-14	80,430	12,368	1,115
14-16	92,524	7,875	0,971
16-18	104,673	5,990	0,981
18-20	116,384	4,878	0,718
20-22	128,500	4,907	1,186
22-24	140,711	3,249	1,247
24-26	152,332	2,581	0,752
26-28	164,292	1,302	0,678
28-30	176,495	3,672	1,094
30-32	188,505	2,149	0,985
32-34	200,865	2,402	0,824
34-36	212,919	1,291	0,771
36-38	222,835	3,379	1,675
38-40	235,092	1,673	0,954



Şekil 4.2: ¹³⁷Cs konsantrasyonunun toprak derinliğine ve ¹³⁷Cs envanterinin kütle derinliğine göre yayılımı.

Şekil 4.2'de görülen ¹³⁷Cs profilleri referans bölge özelliklerine uygundur. Şekil 4.2.B den ¹³⁷Cs'nin eriştiği maksimum derinlik 4 cm ve maksimum kümülatif kütle derinliği 17,431 kg/m² olarak belirlenmiştir.

4.5. İşlenmemiş Topraklarda Dönüşüm Modeli ile Toprak Taşınma Miktarı

Ömerli Barajı havzasında yer alan Paşaköy ve Esenceli inceleme alanlarında toprak taşınma miktarı hesaplamalarında Paşaköy'de referans olarak alınan alandan işlenmemiş toprak örneği için elde edilen sonuçlar ve profile göre yayılım modeli kullanılacaktır (Denklem 3.2). Şekil 3.8'de yer alan grafiğe göre referans alan için ¹³⁷Cs aktivite envanterinin kütle derinliğine göre yayılımı üstel fonksiyona yakındır. Bu yayılıma uyumlu olan $f(z) = f(0)e^{-z/h_0}$ h_0 ve A_0 değerleri bulunması için, denklem aktivite envanterine ve kütle derinliğine göre yazılarak logaritması alınmıştır (Walling ve He, 2001).

$$\ln A(x) = \ln(A_0(e^{-x/h_0})) \quad (4.5)$$

Denklemde aktivite konsantrasyonu A, kütle derinliği x ile gösterilmektedir. Denklem açık olarak yazıldığında

$$\ln A(x) = \ln A_0 - \frac{x}{h_0} \quad (4.6)$$

şeklini alır. Bu denklem de bir doğru denklemi olarak ifade edilebilir:

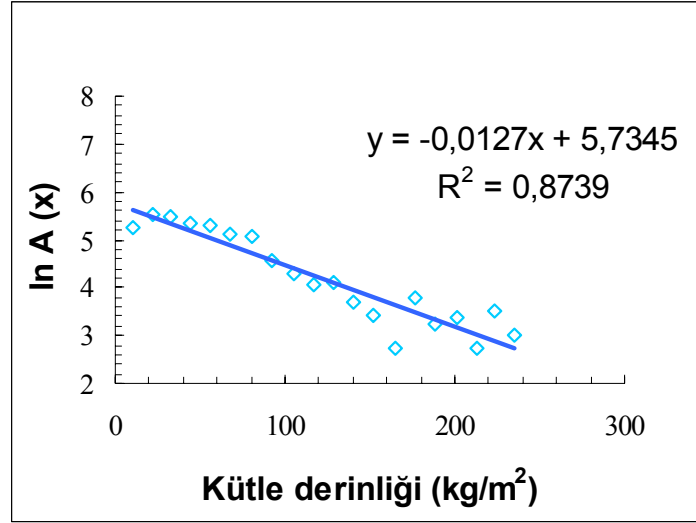
$$y = ax + b \quad (4.7)$$

Bu şekilde referans alan ölçüm sonuçlarına göre elde edilen değerler Tablo 4.15'de görülmektedir.

Tablo 4.15: Referans alan için kümülatif kütle derinliği ile aktivite envanterinin logaritması değerleri.

Kümülatif kütle derinliği (kg / m²)	ln(Ax)
10,862	5,249
21,849	5,541
33,019	5,481
44,722	5,322
56,251	5,277
67,832	5,124
80,430	5,049
92,524	4,556
104,673	4,287
116,384	4,045
128,500	4,085
140,711	3,681
152,332	3,401
164,292	2,745
176,495	3,802
188,505	3,251
200,865	3,391
212,919	2,745
222,835	3,512
235,092	3,021

Tablo 4.15'de verilen değerlerle elde edilen doğru, doğru denklemleri ve uyum fonksiyonu Şekil 4.3'de görülmektedir.



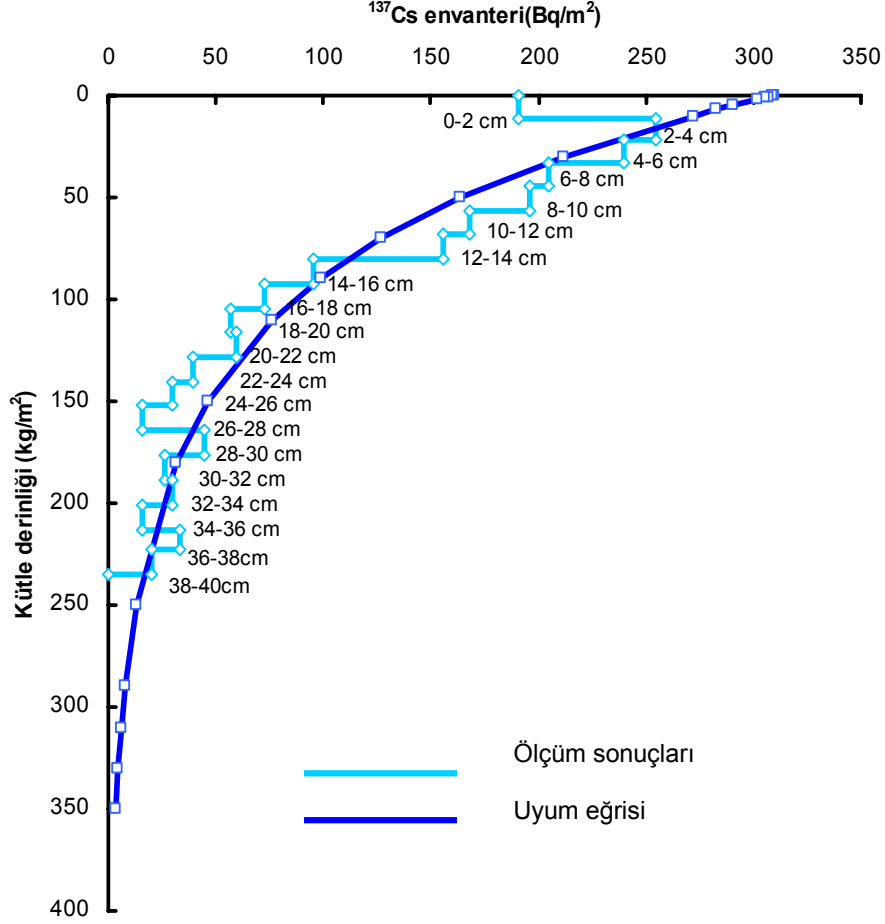
Şekil 4.3: Referans alan hesaplamaları için elde edilen doğru, doğru denklemi ve uyum fonksiyonu.

4.7 denklemi için a ve b değerleri Şekil 4.3'den elde edilir. Bu değerlere göre 4.6 denklemi için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:

$$h_0 = -\frac{1}{a} \quad (4.8)$$

$$A_0 = e^b \quad (4.9)$$

Şekil 4.3'de verilen doğru denklemi ve 4.8 ve 4.9 denklemlerinden yararlanarak referans alan için $A_0 = 309,358$ ve $h_0 = 78,74$ olarak bulunmuştur. Tablo 4.14'de verilen ve 4.8 ve 4.9 denklemlerinden yararlanarak oluşturulan referans alan için ^{137}Cs serpinti radyonüklidinin konsantrasyonunun kütle derinliğine göre yayılımı uyum eğrisi Şekil 4.4'de görülmektedir. Örnek alınan her nokta için ^{137}Cs envanterine karşılık gelen toprak derinlikleri de Şekil 4.4 üzerinde yer almaktadır.



Şekil 4.4: ^{137}Cs konsantrasyonunun kütle derinliğine göre yayılımı uyum eğrisi.

a) Paşaköy çalışma alanı için

Yapısı bozulmamış toprak örneklerindeki ölçümler doğrultusunda referans alan ve eğimli alan için belirlenen ^{137}Cs aktivite envanterleri (Tablo 4.9 - 4.10 - 4.12) ve hata değerleri de kullanılarak serpinti radyonüklidleri dönüşüm modeli Addin ile Paşaköy çalışma alanı için elde edilen toprak taşınma miktarları Tablo 4.16'da verilmektedir.

Tablo 4.16: Kesite göre yayılım modeliyle Paşaköy eğimli alan için elde edilen toprak taşınma miktarları.

Örnek numarası	¹³⁷ Cs aktivite envanteri (Bq/m ²)	Toprak taşınma miktarı (t/ha/yıl)
1	1899,590 ± 38,087	-0,4926 ± 0,010
2	1333,047 ± 38,845	-7,1324 ± 0,208
3	565,229 ± 33,337	-23,2177 ± 1,370
4	2394,576 ± 43,007	4,3244 ± 0,077
5	1428,592 ± 40,201	-5,8347 ± 0,164
6	3109,927 ± 52,713	11,27 ± 0,189
7	5244,996 ± 70,388	32,0174 ± 0,426
8	1123,203 ± 46,658	-10,3436 ± 0,430
9	4696,198 ± 69,363	26,6598 ± 0,390
10	801,627 ± 24,826	-16,6671 ± 0,516
11	5933,511 ± 71,914	38,6795 ± 0,465
12	4418,921 ± 59,258	23,9724 ± 0,319
13	2588,474 ± 53,866	6,1982 ± 0,128
14	2886,050 ± 46,032	9,0877 ± 0,144
15	2686,155 ± 44,134	7,1467 ± 0,116
16	2012,697 ± 43,454	0,6072 ± 0,013
17	2578,429 ± 52,600	6,1007 ± 0,123
18	2396,501 ± 41,268	4,3341 ± 0,074
19	2867,799 ± 44,394	8,9105 ± 0,137
20	2154,270 ± 44,529	1,9819 ± 0,041
21	968,003 ± 27,424	-13,1314 ± 0,372
22	1562,977 ± 32,916	-4,1492 ± 0,087

b) Esenceli çalışma alanı için

Yapısı bozulmamış toprak örneklerindeki ölçümler doğrultusunda referans alan ve eğimli alan için belirlenen ¹³⁷Cs aktivite envanterleri (Tablo 4.9 – 4.10 - 4.13) ve hata değerleri kullanılarak serpinti radyonüklidleri dönüşüm modeli Addin ile Esenceli çalışma alanı için elde edilen toprak taşınma miktarları Tablo 4.17'de verilmektedir.

Tablo 4.17: Kesite göre yayılım modeliyle Esenceli eğimli alan için elde edilen toprak taşınma miktarları.

Örnek numarası	¹³⁷ Cs aktivite envanteri (Bq/m ²)	Toprak taşınma miktarı (t/ha/yıl)
1	2023,432 ± 71,427	0,693 ± 0,544
2	2255,430 ± 89,992	2,886 ± 0,002
3	1115,994 ± 59,371	-10,221 ± 0,024
4	1943,759 ± 69,781	-0,061 ± 0,053
5	1880,763 ± 68,648	-0,664 ± 0,473
6	2114,268 ± 72,308	1,55 ± 0,136
7	1186,071 ± 61,557	-9,106 ± 0,020
8	2415,002 ± 75,107	4,391 ± 0,036
9	1892,052 ± 69,817	-0,554 ± 1,431
10	2061,907 ± 71,136	1,055 ± 0,335
11	719,015 ± 56,299	-18,271 ± 0,300
12	1338,676 ± 65,060	-6,889 ± 0,665
13	1368,059 ± 63,204	-6,492 ± 0,024
14	1044,527 ± 60,791	-11,433 ± 0,012
15	2001,274 ± 100,464	0,484 ± 0,105
16	1917,703 ± 71,147	-0,307 ± 0,007
17	2288,286 ± 75,742	3,198 ± 0,024
18	1930,484 ± 70,849	-0,186 ± 0,115

Tablo 4.18'de Paşaköy ve Esenceli çalışma alanında Addin programının kullanılmasıyla elde edilen büyük aşınım oranı ve net olarak taşınan toprak miktarı değerleri görülmektedir.

Tablo 4.18: Paşaköy ve Esenceli çalışma alanında elde edilen toprak aşınım ve birikim değerleri.

Ölçüm yeri ve ölçülen büyüklükler	¹³⁷ Cs için Profile göre yayılım modeli ile elde edilen sonuçlar
Paşaköy işlenmemiş çalışma alanı	
Toplam aşınım miktarı	-3,7 ton/ha/yıl
Net olarak yer değiştiren toprak miktarı	+4,5 ton/ha/yıl
Esenceli işlenmemiş çalışma alanı	
Toplam aşınım miktarı	-3,6 ton/ha/yıl
Net olarak yer değiştiren toprak miktarı	-2,8 ton/ha/yıl

BÖLÜM 5

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Birleşmiş Milletler Su Raporuna göre Dünya nüfusunun 2050 yılında 9,3 milyara ulaşacağı, iklim değişiklikleri yüzünden 60 ülkede toplam 7 milyar kişinin su kıtlığı yaşayacağı tahmin edilmektedir. Bu veriler su kaynaklarının önemini vurgulamaktadır, oysa kontrolsüzlük, plansızlık yüzünden su kaynakları giderek yok olmaktadır. Su havzalarının planlı yönetimi suyun kontrollü kullanımını sağlayacaktır, bu kapsamda su kaynakları ile ilgili bu sorunların giderilmesi ve uygun toprak ve havza yönetim stratejilerinin belirlenebilmesi için, havzalardaki toprak taşınma miktarları ve şeklinin belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda uygun toprak kullanım teknikleriyle toprak erozyonunun azaltılabileceği görülmüştür. Toprak erozyonu zamanımızın en önemli çevre felaketlerinden biridir. Erozyon ve sedimentasyon yalnızca olduğu ortamda değil, ortamın dışında da önemli etkiler yaratmaktadır (ÇMTUEP, 2005; Hızal, 2004).

Ömerli baraj gölü, İstanbul'un içme ve günlük kullanım suyunu sağlayan, en önemli su kaynağıdır. Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında Ömerli baraj gölü havzasındaki Paşaköy ve Esenceli köyü yakınlarında seçilen işlenmemiş toprakların yer aldığı sahalarda serpinti radyonüklidleri yöntemi (FRN's) ile toprak taşınma miktarlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan yayın taramasında seçilen sahalarda için bu yöntemle gerçekleştirilmiş bir çalışmanın olmadığı görülmüştür, tez çalışmasının özgünlüğü buradan kaynaklanmaktadır.

Paşaköy sahasının incelenen örneklerinde Tablo 4.1-4.4'de görüldüğü gibi asidik toprak reaksiyonları (düşük pH) ve düşük organik karbon içeriği katyonların sızan suyla beraber toprağa derinlemesine nüfuz etmesine yol açabilir. Diğer taraftan, CaCO₃ olmayışı, fakat pH'nın düşük seviyede olması, kilin ayrılmasına ve taşınmasına yol açabilir. Bu da yüksek miktarda toprak kaybına yol açan etkenlerdendir. Toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerdeki düşük doygunluk kapasitesi ve geçirgenlik, erozyonu arttıran nedenlerdendir; bu özellikler Paşaköy alanı için erozyonu artıracak değerlerde değildir.

Serpinti radyonüklidleri yöntemi ile çalışılırken araştırma bölgesine yakın üzerinde uzun yıllar tarım yapılmamış ve erozyonun çok düşük değerde olduğu düşünülen bir alanın, referans alan, seçilmesi gerekir, Paşaköy alanına yakın seçilen referans alan için, radyonüklid dağılım profilleri Şekil 4.2'de görülmektedir, bu dağılımlar bu sahanın referans bölge olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

Paşaköy'de referans olarak seçilen alandan alınan örnekler için Tablo 4.9 'da görüldüğü gibi örnek miktarının azlığı ve derine inildikçe ¹³⁷Cs aktivite konsantrasyonunun azalması, deney sonuçlarındaki hataların artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle doğal yapısı bozulmamış-kesit örneklerin aktivitelerinin belirlenmesiyle elde edilen sonuçlar, kesit alınan noktanın en yakınındaki bütün olarak alınan örnek aktivitesi ile normalize edilmiştir.

Paşaköy referans alanınının Şekil 4.2 'de görülen ¹³⁷Cs toprak profilinde, ¹³⁷Cs'nin eriştiği maksimum derinlik 4 cm ve maksimum kümülatif kütle derinliği 17,431 kg/m²'dir. Deney sonuçlarına göre Paşaköy referans alanı için ortalama aktivite 7,500 Bq/kg ± 0,769 ve ortalama aktivite envanteri 1950,162 Bq/m² ± 198,519 olarak belirlenmiştir.

Paşaköy ve Esenceli köyü yakınlarında seçilen işlenmemiş toprakların yer aldığı sahalarda serpinti radyonüklidleri yöntemi doğrultusunda gerçekleştirilen ¹³⁷Cs radyonüklidi aktivitesi ölçümleriyle ve işlenmemiş topraklar için kullanılan dönüşüm modeliyle belirlenen toprak taşınma miktarları Tablo 4.16 ve Tablo 4.17'de görülmektedir. Deney sonuçlarına göre toprak aşınım hızı sonuçları (negatif değerler) Paşaköy işlenmemiş çalışma alanı için 0,493 ile 23,218 t/ha/yıl arasında ve Esenceli işlenmemiş çalışma alanı için 0,061 ile 18,271 arasında değişmektedir; toprak birikim hızı sonuçları (pozitif değerler) ise Paşaköy işlenmemiş çalışma alanı için 0,607 ile 38,680 t/ha/yıl arasında ve Esenceli işlenmemiş çalışma alanı için 0,693 ile 2,886 t/ha/yıl arasında değişmektedir. Tablo 4.18'de görüldüğü gibi Paşaköy işlenmemiş çalışma alanında elde edilen toprak aşınım ve birikim değerlerine göre büyük aşınım oranı -3,7 ton/ha/yıl ve net olarak taşınan toprak miktarı +4,5 ton/ha/yıl; Esenceli işlenmemiş çalışma alanı için toprak aşınım ve birikim değerlerine göre büyük aşınım oranı -3,6 ton/ha/yıl ve net olarak taşınan toprak miktarı -2.8 ton/ha/yıl dir. Serpinti radyonüklidleri yöntemiyle İstanbul'un batı yakasında Büyükçekmece gölü havzasında gerçekleştirilen bir başka çalışmada işlenmemiş çalışma alanında elde edilen toprak aşınım ve birikim değerlerine göre taşınan toprak miktarları -16.11 ile 4.59 ton/ha/yıl arasında değişmektedir (Hacıyakupoglu ve diğ. , 2005c).

İncelenen alanlar esmer, derin orman topraklarına sahiptir, toprak derinliğine göre değişen toprak kaybı tolerans değerleri dikkate alındığında bu araziler için toprak kaybı tolerans değeri 10 t/ha/yıl'dır (**Doğan ve Güçer, 1976**). Bu tolerans değerinden düşük olan sonuçlar toprak taşınmasının mücade edilebilir sınırlar içinde olduğunu gösterir. Bu tolerans değerinden yüksek olan sonuçlar da o noktalarda erozyon sorunu olduğunu ve önlem alınması gerektiğini gösterir. Bu çalışma ile elde edilen net olarak taşınan toprak miktarının -2.8 ile +4,5 ton/ha/yıl arasında olması erozyonun önlem alınmayı gerektirecek boyutta olmadığını göstermektedir.

Ömerli barajı havzasında seçilen iki farklı alanda gerçekleştirilen bu çalışma ile elde edilen veriler işlenmemiş alanlardaki toprak taşınma miktarlarını (erozyon ve sedimentasyon) içermektedir ve havzada serpinti radyonüklidleri yöntemiyle yapılacak erozyon ve sedimentasyon araştırmaları için gerekecek veri tabanını oluşturmaktadır. Bu yöndeki çalışmaların devamı ile havzanın yönetimi için daha çok bilgi edinilecektir ve havzada toprak koruma ve kontrolü çalışmalarına katkı yapılabilecektir.

KAYNAKLAR

- II. Tarım Şurası Çalışma Belgesi**, 2004. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, 29 Kasım-01 Aralık, Ankara.
- Altınsoy, N.**, 2004. Nuclear Technics in Environmental Analysis, *Ders Notları*, İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Balcı, N.**, 1996. Toprak Koruması, İ.Ü. Basımevi ve Film Merkezi, İstanbul.
- Balcı, A.N., Uzunsoy, O.**, 1980. Türkiye’de Başlıca Havza Amenajmanı Sorunları Ve Bunlarla İlgili Çalışmalar, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Bonniwell, E.C.**, 2001. Evaluating Soil Erosion and Sediment Transport with Radionuclides, *The Degree of Doctor Philosophy*, Department of Geological Sciences, Case Western Reserve University.
- Choppin, G., Liljenzin, J., Rydberg, J.**, 2002. Radiochemistry And Nuclear Chemistry, Butterworth-Heinemann, USA.
- Çepel, N.**, 1997. Toprak Kirliliği Erozyon Ve Çevreye Verdiği Zararlar, Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı Yayınları 14, İstanbul.
- Çevre ve İnsan**, 1998. T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları No: 1017, Açıköğretim Fakültesi Yayınları No: 560, Anadolu Üniversitesi.
- ÇMTUEP (Çölleşme İle Mücadele Türkiye Ulusal Eylem Programı)**, 2005. Ankara.
- Doğan, O.**, 1987. Türkiye Yağışlarının Erosiv Potansiyelleri, T.C. Orman ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara
- 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.
- Ertek, T.A.**, 2006. Sözlü Görüşme, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul

- FAO/IAEA Projesi**, 2006. The Use of Cs-137 and Pb-210 Measurements for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation in the Riva Basin (Istanbul, NW Turkey), IAEA RESEARCH CONTRACT for 2006 IAEA Research Contract No 12330/R1 1.12.2005 - 30.11.2006
- FUB, Freie Universitatet Berlin**, 2006. Institute of Chemistry, Department of Biology, Chemistry, Pharmacy of Freie Universitatet Berlin, Germany, (http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/general/units_en.html)
- Güney, E.**, 2004. Jeomorfoloji, Geomorphology – Physical Geology, Tekağaç Eylül Yayıncılık, Ankara
- Haciyakupoglu, S., Ertek, T.A., Walling, D.E., Erginal, A.E., Karahan, G., Gokbulak, F., Tolunay, D., Saygin, H., Hizal, A., Kaya, M., Kiziltas, M.S.**, 2005a. The Use Of Fallout Radionuclides Measurements For Sustainable Watershed Management In Eastern And Western Sites Of Istanbul, *Proceedings of International Conference Forest Impact on Hydrological Processes and Soil Erosion*, University of Forestry, P.130-136, ISBN 954-332-011-X, October 5-8, 2005, Yundola, Bulgaria.
- Haciyakupoglu, S., Ertek, T.A., Walling, D.E., Saygin, H., Erginal, A.E., Karahan, G., Gokbulak, F., Tolunay, D., Hizal, A., Kiziltas, M.S., Oguz, I.**, 2006a. The Use of Cs-137 and Pb-210 Measurements for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation in the Riva Basin (Istanbul, NW Turkey), *Third Research Co-ordination Meeting of the Co-ordinated Research Project “Assess the Effectiveness of Soil Conservation Techniques for Sustainable Watershed Management Using Fallout Radionuclides”*, Meeting CD: IAEA-311-D1-RC-888, Vienna, 27-30 March 2006 (<http://www-naweb.iaea.org/nafa/swmn/crp/D15008-3RCM-Report.pdf>).
- Haciyakupoglu, S., Ertek, T. A., Walling, D.E., Karahan, G., Erginal, A.E., Gokbulak, F., Tolunay, D., Saygin, H., Kiziltas M.S., Celebi, N., Gureli, L., Hizal A., Ataksor, B., Akbal, S.**, 2004. Progress Report for “The Use of Cs-137, Pb-210 and Be-7 Measurements for Assessing Soil Erosion and Sedimentation in the Riva Basin (Istanbul, NW Turkey)” of *Co-ordinated Research Project “Assessing The Effectiveness Of Soil Conservation Techniques For Sustainable Watershed Management Using Fallout Radionuclides”*, November 2004, Istanbul, Turkey.
- Haciyakupoglu, S., Ertek, T. A., Walling, D.E., Kiziltas, M.S., Karahan, G., Erginal, A.E., Gokbulak, F., Tolunay, D., Oguz, I., Saygin, H., Hizal A.**, 2006b. Progress Report for “The Use of Cs-137, Pb-210 and Be-7 Measurements for Assessing Soil Erosion and Sedimentation in the Riva Basin (Istanbul, NW Turkey)” of *Co-ordinated Research Project “Assessing The Effectiveness Of Soil Conservation Techniques For Sustainable Watershed Management Using Fallout Radionuclides”*, September 2006, Istanbul, Turkey.

- Haciyakupoglu, S., Ertek, T. A., Walling, D.E., Saygin, H., Erginal, A.E., Celebi, N., Gureli, L., Karahan, G., Ataksor, B., Akbal, S., Gokbulak, F., Tolunay, D., Kiziltas M.S., Hizal; A., Oguz I.**, 2005b. Progress Report for "The Use of Cs-137, Pb-210 and Be-7 Measurements for Assessing Soil Erosion and Sedimentation in the Riva Basin (Istanbul, NW Turkey)" of *Co-ordinated Research Project "Assessing The Effectiveness Of Soil Conservation Techniques For Sustainable Watershed Management Using Fallout Radionuclides"*, September 2005, Istanbul, Turkey.
- Haciyakupoglu S., Ertek T.A., Walling D.E., Ozturk F., Karahan G., Erginal A.E., Celebi N.**, 2005c. Interpretation Of The Erosion Effect With Caesium-137 Profiles Measurements In Western Side Of Istanbul (NW Turkey), *CATENA*, 64/2-3 222-231 2005.
- Hallenbeck, W.H.**, 1994. Radiation Protection, Lewis Publishers, USA.
- Hellin, J.**, 2006. Better Land Husbandry From Soil Conservation to Holistic Land Management, Science Publishers, New Hampshire, USA
- Hizal A.**, 2004. Erosion Problems And Rehabilitation Works In Turkey. Proceedings International/National Workshop; Community Based Rehabilitation Of Degraded Lands Of Central Balkan Mountains And Northern Turkey; P.87-95, Editors M.Zlatic, S.Kostadinov, N.Dragovic, *Faculty of Forestry*, ISBN 86-7299-111-7, -10 July 2004, Belgrade, Serbia and Montenegro.
- Hizal A., Ozer, C.**, 1998. The vegetation changes of Omerli watershed and their effects on the water yield, International Symposium on Water Supply and Treatment, *Istanbul Water and Sewerage Administration*, Istanbul Technical University, Water Trusty, Istanbul, Turkey, 25-26 May 1998.
- IAEA**, 2003. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data, IAEA-TECDOC-1363.
- İBB**, 2006a. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2006, İstanbul.
- İBB**, 2006b. İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Riva Çayı Havzası Uydu Görüntüsü, 2006, İstanbul.
- İSKİ**, 2006. www.iski.gov.tr
- Kabadayı, A.**, 2006. Sözlü Görüşme, İSKİ Avrupa Terfi Merkezleri, Kağıthane, İstanbul.
- Kaya, M.**, 2005. Erozyon ve sedimantasyon araştırmalarında radyonüklidlerin kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Lederer, C. M., Shirley, V.S.**, 1978. Table of Isotopes / ed. New York : John Wiley and Sons, U.S.A.

- Loughran R.J., Campbell, B.L., Elliot G.L., Cummings D., Shelly D.J.**, 1989. A caesium-137 hillslope model with tests from south-eastern Australia. *Z.Geomorphologie N.F.*, 33, 2, 235-250, Berlin, Stuttgart.
- Mabbit, L.**, 2006. Özel görüşme, IAEA Seibersdorf laboratuvarları Viyana, Avusturya.
- Ritchie, J.C., Ritchie, C.A.**, 2005. Bibliography Of Publications Of ¹³⁷Cesium Studies Related To Erosion And Sediment Deposition, Beltsville, USA .
- Toy, T.J., Foster, G.R., Renard, K.G.**, 2002. Soil Erosion: Processes, Prediction, Measurement, and Control, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Turner, J.E.**, 1995. Atoms, Radiation, and Radiation Protection, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- UÇEP, Ulusal Çevre Eylem Planı**, 1999. Ankara
- UNU Projesi**, 2006. Community-Based Rehabilitation of Degraded Land in Balkan Countries (Serbia and Montenegro, Macedonia, Bulgaria, Turkey), United Nations University (UNU) Environment and Sustainable Development, IMIS:GFL2328-2770-5903, PMS:GF75023-02-82, January - June 2006.
- Walling, D.E., He, Q.**, 2001. Models for Converting ¹³⁷Cs Measurements to Estimates of Soil Redistribution Rates on Cultivated and Uncultivated Soils, and Estimating Bomb-derived ¹³⁷Cs Reference Inventories (Including Software for Model Implementation),
- Walling, D.E., Quine, T.A.**, 1993. Use of Caesium-137 as a Tracer of Erosion and Sedimentation: Handbook for the Application of the Caesium-137 Technique, UK Overseas Development Administration Research Scheme R4579, Department of Geography University of Exeter, Exeter, U.K.
- Walling, D.E., Zhang, Y., He, Q.**, 2006. Models for Converting Radionuclide (¹³⁷Cs, Excess ²¹⁰Pb , and ⁷Be) Measurements to Estimates of Soil Erosion and Deposition Rates (Including Software for Model Implementation), Department of Geography, University of Exeter, Exeter, EX4 4RJ U.K.
- Weiss, N.A.**, 2002. Elementary Statistics, Pearson Education, Inc., U.S.A.
- WOCAT çalıştayı**, Swilch. G., 2005. *WOCAT Training Workshop*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, 23-25 Kasım 2005, <http://www.energy.itu.edu.tr/wocat/>, The WOCATEER WOCAT Newsletter, No: 11–Autumn/Winter 2005 (<http://www.wocat.org/news11.asp>).
- Zapata, F.**, 2002. Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides, Kluwer Academic Publishers, Boston.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Hınıs-Erzurum'da doğdu. Lise öğrenimini İstanbul Kurtuluş Lisesi'nde tamamladı. 2003 yılında Gaziantep Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü'nünden mezun oldu. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü'nde 2003 yılından beri TRIGA MARK II Reaktörü Radyasyondan Korunma görevlisi olarak çalışmaktadır.

Serpinti radyonüklidleri ile araştırmaları içeren IAEA ve UNEP/ GEF/UNU tarafından desteklenen uluslararası araştırma projelerinde araştırıcı olarak yer almaktadır. Bu projeler kapsamında düzenlenen uluslararası toplantı ve çalıştaylara katılmış ve görev almıştır.