

768469

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE EROZYON

İnş. Müh. Vedat HANEDAR

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Yeşim ÇELİKOĞLU

Prof. Dr. Sedat KARBASLI

Prof. Dr. Yalçın ÇELİKSEL

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
1 GİRİŞ.....	1
2 EROZYON	4
2.1 Erozyonun Tanımı	4
2.1.1 Katı Madde Erozyonu ve İnsan müdahalesi	4
2.1.2 Toprak Erozyonu Çalışmaları	8
2.1.3 Su-Erozyon Prosesleri	9
2.2 Yüzey Erozyonu	11
2.2.1 Şevden Toprak Kaybı	11
2.2.1.1 Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği	12
2.2.1.2 Yağış Faktörü	12
2.2.1.3 Aşınabilirlik Faktörü	14
2.2.1.4 Topografi Faktörü.....	15
2.2.1.5 Ürün Oluşum ve Yönetim Faktörü	17
2.2.1.6 Pratik Koruma Sistemleri	19
2.2.1.7 Evrensel Toprak Kaybı Eşitliğinin Kullanımı.....	20
2.2.1.8 Evrensel Toprak Kaybı Eşitliğine Kritik Açıdan Bakış	21
2.2.2 Havzadan Katı Madde Oluşum	21
2.2.2.1 Dağılım Oranı Formülasyonları	24
2.2.2.2 Akışa Bağlı Katı Madde Oluşumu	25
2.3 Kütle Taşınımı	27
2.3.1 Bir Şevin Denge Koşulları	27
2.3.2 2.3.2 Stabilite Koşullarının Değişimi	31
2.3.3 Şev Stabilite Faktörleri ve Stabilite Haritaları	33
2.4 Taban Erozyonu	37
2.4.1 Taşınım Formülü	37
2.4.2 Normal Şartlarda Verilen Bir Hidrograf İle Katı Madde Taşınımı	40
2.4.3 Normal Şartlarda Yıllık Katı Madde Taşınım	41
2.4.4 Dengelenmiş Akımların Morfolojik Faktörleri	43
2.4.5 Dengelenmiş Akımlarda Erozyon Ve Yığılma Değişimi	44

2.4.6	Dengede Şartlarını Değişmesi Durumunda Uzun Dönemde Gelişim	45
2.4.7	Ekstrem Şartlarda Katı Madde Taşınım	48
2.4.8	Dere Erozyonu.....	49
2.4.8.1	Bir Derenin Oluşumu ve Gelişimi.....	49
2.4.8.2	Bir Derenin Denge Profili	51
3	KIYI EROZYONU.....	54
3.1	Amerika'dan Kıyı Çizgisi Erozyonuna Birkaç Örnek	55
3.1.1	Meksika Körfezi'ne Genel Bakış.....	55
3.1.2	Meksika Körfezi'nde Kıyı ve Kıyı Çizgisi Erozyonunun Sebepleri	56
3.1.3	Meksika Körfezi'nde Kıyı ve Kıyı Çizgisi Erozyonuna Karşı Alınan Önlemler ..	57
3.1.4	Bölgelere Genel Bakış.....	60
3.1.4.1	Alabama.....	60
3.1.4.2	Florida	62
3.1.4.3	Louisiana	69
3.1.4.4	Missisipi	71
3.1.4.5	Tekساس	74
3.1.5	Değerlendirme.....	76
3.2	Avrupa'dan Kıyı Çizgisi Erozyonuna Birkaç Örnek	77
3.2.1	Avrupa'da Kıyı Erozyonu.....	77
3.2.1.1	Doğal Faktörler.....	78
3.2.1.1.1	Dalgalar	79
3.2.1.1.2	Gel-Gitler.....	79
3.2.1.1.3	Yakın Kıyı Akıntıları	79
3.2.1.1.4	Fırtınalar	79
3.2.1.1.5	Deniz Seviyesi Yükselmesi	80
3.2.1.1.6	Yamaç Erozyonu	80
3.2.1.1.7	Düşey Kara Hareketleri	80
3.2.1.2	İnsan Kaynaklı Faktörler	80
3.2.1.2.1	Sert Kıyı Koruma Yapılarını İçeren Yapay Kıyılar	81
3.2.1.2.2	Arazi İyileştirilmesi.....	82
3.2.1.2.3	Akarsu Düzenleme Çalışmaları.....	82
3.2.1.2.4	Tarama.....	83
3.2.1.2.5	Bitki Örtüsünün Yok edilmesi.....	83
3.2.1.2.6	Yer Altı Suyu Drenajı ve Su Çekilmesi	83
3.2.1.7	Gemilerin Oluşturduğu Dalgalar	83
3.2.2	Avrupa'da Çevresel Etki Değerlendirmesi Kapsamında Erozyon.....	84
3.2.3	Avrupa'da Kıyı Erozyonu Çizgisi ile İlgili Kullanılan Modeller	85
3.2.4	Avrupa Kıyı Çizgisinde Erozyonla İlgili Günümüze Kadar Alınmış Önlemler ...	93
3.2.5	Avrupa'da Kıyı Erozyonu ile Mücadelede Katı Madde Hücresi Kavramı	94
3.2.6	Avrupa'da Kıyı Erozyonu Yönetim Teknikleri	95
4	TÜRKİYE'DE EROZYON	101
4.1	Türkiye'de Toprak Erozyonu.....	101
4.2	Türkiye'de Kıyı Erozyonu	105
4.2.1	Altınova Bölgesi.....	106
4.2.2	Karaburun Balıkçı Barınağı.....	106
4.2.3	Bafra Ovası Deltası	107
4.2.4	Doğu Karadeniz Sahil Yolu	108

4.2.5 Gömeç'te Hızlı Delta Oluşumu 108

5 SONUÇLAR 110

KAYNAKLAR..... 115

ÖZGEÇMİŞ 120



SİMGE LİSTESİ

<i>A</i>	Birim alan için katı madde kaybı
<i>a</i>	Katı madde çapı ve direnç katsayısına bağlı bir katsayı
<i>A_d</i>	Katı madde oluşumu erozyona uğramış alan
<i>b</i>	Akım genişliği, şev uzunluğu
<i>c</i>	Malzemenin kohezyonu
<i>C</i>	Ürün oluşum ve yönetim faktörü
<i>d</i>	Tabandaki nominal tane boyutu
<i>dm</i>	i yağmur şiddetiyle dt zamanında katı maddeyi hareket ettiren birim su kütlesi
<i>DR</i>	Dağılım oranı
<i>e</i>	Birim hacimde yağışın enerjisi
<i>E</i>	Fırtınanın toplam kinetik enerjisi
<i>F*</i>	Sedimentolojik Froude sayısı
<i>G</i>	Her bir elemanter dilimin toplam ağırlığı
<i>g</i>	Yerçekimi kuvveti
<i>G_s</i>	Bir fırtına ile oluşan katı madde miktarı
<i>H</i>	Havzadaki maksimum yükseklik farkı
<i>H</i>	Konsantrasyon süresine eşit olan süredeki yılın en büyük yağış yüksekliği
<i>h</i>	Sabit bir şiddette, herhangi bir yağış için düşüm miktarı
<i>h</i>	Su derinliği
<i>H_s</i>	Şev yüksekliği
<i>I</i>	Katı maddenin aşınabilirliği,
<i>I₃₀</i>	Fırtına sırasında gözlenen maksimum 30 dakikalık şiddeti
<i>i</i>	Enerji çizgisi eğimi
<i>i</i>	Yağmur düşüm şiddeti
<i>K</i>	Aşınabilirlik faktörü
<i>k</i>	Direnç katsayısı
<i>L</i>	Şev uzunluğu ve
<i>L_s</i>	Havzadaki maksimum yatay mesafe
<i>LS</i>	Topografi faktörü
<i>N</i>	$\Delta l / \cos \alpha$ elemanter yüzeyine etki eden normal kuvvet,
<i>n</i>	Katı maddenin porozitesi
<i>P</i>	Korunum faktörü
<i>P₃₀</i>	İlgili fırtınanın maksimum 30 dakikalık şiddeti
<i>q</i>	Birim genişlikten geçen akım debisi
<i>Q</i>	t süresi için en küçük akım debisi
<i>Q₀</i>	Yıllık pik akış
<i>Q_H</i>	Taşkın pik debisi
<i>q_p</i>	Hidrograf pik akış
<i>Q_s</i>	b genişlikli kesit için katı madde debisi
<i>q_s</i>	Birim akım genişliği için akımın taşıma kapasitesi, şev boyunca katı madde debisi
<i>q_w</i>	Birim genişlik için akım debisi
<i>R</i>	Düşüm faktörü
<i>R</i>	Profil yarıçapı
<i>S_s</i>	Şev dikliği
<i>T*</i>	Boyutsuz taşınım parametresi
<i>T₀</i>	Kesit boyunca taşınan katı madde hacmi (yıllık taşınım)
<i>tgφ</i>	Sürtünme katsayısı
<i>T_H</i>	Katı madde taşınımı
<i>T_H*</i>	Gerçek katı madde taşınımı

T_o	Yıllık taşınım
u^*	Kayma hızı
V	Hidrograf hacmi
v	Yağmur damlalarının düşüm hızı
V_0	Kesite bir yıl boyunca akan su hacmi
V_H	Taşkın pik hacmi
X	Chezy direnç katsayısı
y	Su derinliği
α	Kayma yüzeyinin yerel şev açısı
τ	Taban kayma gerilmesidir.
Δ	Tanelerin su içindeki rölatif özgül kütlesi
ρ_s	Katı madde özgül kütlesi
α_{sl}	Şevin düşey eğimi
α_{st}	Tabakanın düşey eğimi
α_{sv}	Vadi eğimi ve tabaka arasındaki uygun yatay açı
ρ_w	Suyun özgül kütlesi



KISALTMA LİSTESİ

ARS	United States of America Agricultural Research Services
BW	Boussinesq-Wave
EMS	Elliptic Mild Slope
GENESIS	Generalized Model for Simulating Shoreline Change)
HD	Hydrodynamic
NSW	Near-shore Wave
OCS	Dış Kıta Sahranlığı
PMS	Parabolic Mild Slope
SBEACH	Storm-induced BEACH Change Model
SCS	United States of America Solid Conservation Services
ST	Sediment Transportation
STWAVE	Steady State Spectral Wave
SWAN	Simulating Wave Nearshore
TEMA	Türkiye Erozyonla Mücadele Vakfı
USACE	United States of America Army Corps of Engineers
USDOC	United States of America Department of Commerce
USEPA	United States of America Environmental Protection Agency
USGS	United States of America Geological Services
USLE	Universal Solid Loss Equation

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Doğal çevre koşullarının her birinde iklim, toprak ve bitki arasında ulaşılan denge koşulu (morfoklimatik denge) (Di Silvio, 1984)	6
Şekil 2.2 Topografi faktörünün belirlenmesi için eğim uzunluğu ve dikliğinin tanımlanması (Di Silvio, 1984)	18
Şekil 2.3a Bir şev boyunca erozyon miktarı (Di Silvio, 1984)	22
Şekil 2.3b Şevin yeterince konkav olduğu noktada yığılma miktarı (Di Silvio, 1984)	22
Şekil 2.4 Şevin potansiyel kayma yüzeyleri (Di Silvio, 1984)	27
Şekil 2.5 Kayma şevinin her bir elemanter dilimine etkiyen dış kuvvetler (Di Silvio, 1984) ..	28
Şekil 2.6 Kayma tabakasının dengesi	29
Şekil 2.7 Şiddetli bir fırtına sonrasında su tablasının yükselmesi (Di Silvio, 1984)	32
Şekil 2.8 Akım içinde su seviyesinin hızla düşmesiyle stabilite kuvvetlerinin azalması	32
(Di Silvio, 1984)	32
Şekil 2.9 Taban erozyonu sonucunda akım tarafından şev topuğunun kesilmesi (Di Silvio, 1984)	33
Şekil 2.10 Şev stabilitesi ve tabaka azalması (Di Silvio, 1984)	35
Şekil 2.11 Normal bir taşkın sırasında akım ve katı madde debisi (Di Silvio, 1984)	40
Şekil 2.12 Düzensiz akım tipleri için süre eğrileri (Di Silvio, 1984)	41
Şekil 2.13 Torrent Mae hidrtografik ağının ve kollarının şematik gösterimi. (İtalya) (Di Silvio, 1984)	46
Şekil 2.14 Torrent Mae hidrtografik ağının ve kollarının şematik gösterimi. Kasım 1996 (Di Silvio, 1984)	50
Şekil 2.15 A Yerleşiminde bulunan insan ve ya hayvan geçişinin oluşturduğu taban bozulması ve birleşme olayı vadi eğimi boyunca oluşan dere erozyonu (Di Silvio, 1984)	51
Şekil 2.16 Denge profiline ulaşana kadar oluşan dere erozyonu (Di Silvio, 1984)	52
Şekil 3.1 Meksika Körfezi'nin genel haritası	56
Şekil 3.2 Meksika Körfezi Alabama kıyıları	61
Şekil 3.3 Florida kıyıları	63
Şekil 3.4 Louisiana kıyıları	70
Şekil 3.5 Mississippi kıyıları	72
Şekil 3.6 Teksas kıyıları	74
Şekil 3.7 Zamana ve mesafeye bağlı olarak kıyı erozyonuna etkili doğal faktörler	78
Şekil 3.8 Zamana ve mesafeye bağlı olarak kıyı erozyonuna neden olan insan kaynaklı faktörler	81

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Dünyanın çeşitli akarsularında bulanıklık ölçüsü ile değerlendirilen katı madde oluşumu	5
Çizelge 2.2 Mısır'a ait C faktörü değerleri.....	19
Çizelge 2.3 Havza Karakteristikleri ile ilgili dağılım oranları	25
Çizelge 2.4 Şev dikliğine uygun ölçekler.....	36
Çizelge 2.5 Kaya tiplerine uygun ölçekler	36
Çizelge 2.6 Katmanlaşmaya göre uygun ölçekler.....	36
Çizelge 3.1 ÇED prosedüründe kıyı erozyonu	85
Çizelge 3.2 Avrupa'da kullanılan kıyı modellerine bakış	87
Çizelge 3.3 Kıyı erozyonu önleme teknikleri.....	97
Çizelge 4.1 Türkiye topraklarının erozyon durumu	102
Çizelge 4.2 Türkiye'de arazi yetenek sınıfları ile su ve rüzgar erozyonu sınıfları	103
Çizelge 4.3 Türkiye topraklarının arazi yetenek sınıfları dağılımı (Köy Hizm. Gen. Müd., 1987).....	103
Çizelge 4.4 Başlıca akarsularımızla deniz ve göllere taşınan toprak miktarları	105

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve tez çalışmam süresince bilgilerini ve deneyimini benimle paylaşan, değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Yeşim Çelikoğlu'na tüm yardımları ve sabrı için çok teşekkür ederim.

Tüm yüksek lisans öğrenimim boyunca desteğini, bilgilerini ve tecrübesini benden esirgemeyen hocam, Sayın Prof. Dr. Yalçın Yüksel'e tüm samimiyetimle teşekkür ederim.

Gerek lisans gerekse yüksek lisans öğrenimim süresince benden yardımını esirgemeyen varlığını her zaman yanımda hissettiğim değerli dostum Arş. Gör. Asude Özkan'a teşekkür ederim.

Bu uzun çalışmam süresince gerek maddi gerekse manevi desteklerini hiç esirgemeyen hep yanımda olan çok sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Dünya yüzeyini kaplayan toprak tabakası son derece yavaş meydana gelmesine karşılık süratle ortadan kalkabilmektedir. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de toprak kaybının en önemli nedeni erozyondur. Arazi eğimi, iklim, bitki örtüsü ve toprak özelliklerinin etkileşimi sonucu oluşan doğal erozyonun yanı sıra, insanın çeşitli nedenlerle doğaya müdahalesi erozyonu bir afet niteliğine dönüştürebilmektedir. Baraj yapımı, akarsuların farklı şekillerde düzenlenmeleri denize ve kumsala taşınan katı madde üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir.

Erozyonun büyük bir kısmı ise kıyılarda meydana gelmektedir. 8333 km’lik kıyı şeridinde sahip ülkemizde kıyı erozyonu belli başlı sorunlardan biridir. Kıyılardaki faaliyetler arttıkça sahil-deniz dengesi bozulmakta ve dalgaların yıkıcı etkileri çoğalmaktadır. Değişen denge nedeniyle kıyı erozyonu oluşması, kıyı çizgisinin değişmesi şeklinde problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin büyüklüğü bölgenin iklimine, coğrafi ve jeolojik yapısına bağlıdır. Son yıllarda kıyıların korunması ve geliştirilmesi çalışmalarına verilen önem artmıştır.

Erozyon probleminin oldukça önemli olmasından dolayı yapılan bu çalışmanın 1. Bölümünde toprak erozyonu ve kıyı çizgisi erozyonu kısaca tanımlanarak konuya giriş yapılmıştır. 2. Bölümde toprak erozyonu geliştirilerek, tiplerinden bahsedilmiş ve erozyon prosesinin oluşumunun fiziği ve dinamiğine değinilmiştir. 3. Bölümde kıyı erozyonu tanımlanarak oluşumuna sebep olan etkenlerden bahsedilmiştir. Meksika Körfezi’ne kıyısı bulunan Amerikan eyaletlerinde ve Avrupa kıtasında meydana gelen kıyı erozyonu problemleri örnekler verilerek gelişmiş ülkelerde kıyı erozyonunun boyutları, nedenleri ve kontrolüne yönelik yaklaşımlar ele alınmış, kıyı ve kıyı çizgisi erozyonu için önerilen sert ve yumuşak teknikler ile son zamanlarda oldukça gelişen analitik ve sayısal modellere yer verilmiştir. 4. Bölümde Türkiye’deki toprak kaybı ve örneklerle kıyı erozyonu anlatılmıştır. 5. Bölümde ise yapılan literatür taramasından elde edilen sonuçlar, Amerika, Avrupa ve Türkiye ölçeğinde özetlenerek tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Toprak erozyonu, kıyı erozyonu, kıyı çizgisi erozyonu, kıyı koruma, katı madde taşınımı

ABSTRACT

Soil layer, which covers the world, has formed slowly but it could be disappear fastly. Major reason of soil loss is erosion in Turkey, like in over the world. As well as the natural erosion which is caused by the interact of slope of land, climate, vegetation and characteristic of soil, humans interference to nature, could turn erosion to disaster. Construction of dam and different regulations of river have certain effect on transportation of sediment to sea and beach.

Most of erosion is formed in shores. In Turkey, which has 8333 km shoreline, coastal erosion is one of the most important problems. By increasing of human activation in shores, shore-sea equilibrium breaks down and destructive effects of the waves increases. Because of these changing in equilibrium, some important problems, such as the forming of shore erosion, has constituted. Capacities of these problems depend on the climate, geography and geological feature of area. In recent years, the importance of shore protection and developing studies has been increased.

In this study because of the importance of erosion problem, it is described soil and shore erosion shortly in chapter 1. In chapter 2, it is mentioned that type and identify of soil erosion and physics and dynamic of erosion process. In chapter 3, shoreline erosion is identified and the cause of formation is mentioned. In this chapter, it is given that examples from European and American states which has shore in Gulf of Mexico and it is given that the approach about capacity, causes and control of shoreline erosion. Additionally, soft and hard techniques of measures for erosion and analytical and numerical models for shore and shoreline erosion are discussed in detailed. In chapter 4, soil loss in Turkey and examples for coastal erosion are explained. In chapter 5, conslucions, which are determinated from literature studies, are discussed in countries of America and Europe Continents and Turkey.

Key words: Soil erosion, coastal erosion, shoreline erosion, shore protection, sediment transport

1. GİRİŞ

Erozyon genel olarak katı maddenin yerçekimi, sel, rüzgar gibi çeşitli doğal nedenlerden dolayı orijinal yerinden koparak ve taşınarak genellikle daha düşük seviyedeki başka bir yerde birikmesi şeklinde tanımlanabilir.

Erozyon insan kaynaklı ve doğal kaynaklı olmak üzere iki şekilde oluşabilir. Jeolojik erozyon insan müdahalesi dışında oluşan erozyondur. Diğer bir deyişle kıtaların denizlerden ayrılmasından dolayı oluşan normal bir olaydır. Bu işlem dağların ve tepelerin aşınması sonucunda oluşur ve yeryüzünün şeklini belirler. Mevcut yeryüzü şeklinin oluşması jeolojik erozyonun bir sonucudur.

Erozyon oluşumunun diğer ve aslında en önemli nedeni olan antropojenik erozyon veya hızlandırılmış erozyon ise insan müdahalesi sonucunda hızı artan erozyondur ve sonucunda oluşan değişikliklerin etkilerine karşı önlem alınmadıkça yeryüzünün verimliliğini tamamen yok eder. Diğer taraftan insan müdahalesi doğada her zaman negatif sonuçlar doğurmaz. Uygun koruma önlemlerinin aslında erozyon kayıplarını kabul edilebilir değerlere çekebildiği ve bazı durumlarda orijinal doğal şartlarda oluşumundan daha düşük değerlere bile düşürebildiği bilinmektedir.

Üzerinde yaşadığımız gezegenimizin yüzeyini kaplayan toprak tabakası son derece yavaş meydana gelmesine karşılık son derece süratle ortadan kalkabilir. Son yirmi yılda, aslında toprak erozyonunun en ciddi kısmı artan nüfusun bir sonucu olarak gıda üretimine talebin hızla arttığı tropikal, nemli ve kurak ülkelerde gözlenmekte olduğu bilinmektedir.

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de toprak kaybı sürecinin en önemli etkeni erozyondur. Arazi eğimi, iklim, bitki örtüsü ve toprak özelliklerinin etkileşimi sonucu oluşan doğal erozyonun yanı sıra, insanın doğaya müdahalesi temeline dayanan bir dizi yapay etken erozyonu bir afet niteliğine dönüştürmektedir.

Erozyon, arazinin doğal etkiler sonucu aşınmasıdır. Kıyı çizgisi erozyonu ise kıyı malzemelerinin dalga hareketleri, gelgit olayları, kıyı boyu akıntıları ile taşınması olayıdır. Kumsallar dinamik bir sisteme sahiptirler. Kıyısal değişime neden olan en önemli faktörler arasında deniz seviyesi, katı madde temini, dalga ve gelgit olayları bulunmaktadır. Bu faktörlerden herhangi birinde meydana gelen bir değişiklik, kumsalın fiziksel ortamı ile yeni bir denge kurma ihtiyacından dolayı gözle görülebilir bir değişime neden olmaktadır.

Dünyanın pek çok yerinde kıyı çizgisinin çekilmesinden dolayı meydana gelen zararlarla ilgili oldukça fazla örnek bulunmaktadır. Ülkeler kıyı çizgilerinin değişmesini önlemek amacıyla çeşitli önlemler almak zorunda kalmışlardır. Dünyada kıyı çizgilerinin % 80'den fazlası yılda santimetrelerden metrelere kadar değişen mertebelerde erozyona uğramaktadır. Gelişmemiş bölgelerde, kıyı çizgisinin çekilmesi bir probleme neden olmamaktadır. Erozyon sadece insanların yapmış yapıları tehdit ettiği zaman bir sorun oluşturmaktadır.

Erozyon binlerce yıldır kıyı çizgilerinin şeklini oluşturan ve değiştiren doğal bir olaydır. Havza erozyonunun yanında kıyı erozyonu, kumsalları, kumulları çamurlu alanları ve bataklıkları içeren kıyı sistemine katı madde temin eden temel prosestir. Buna karşın kıyı sistemleri dalga enerjisinin sönmülmesi, bitki örtüsünün stabil kalması, temiz suyun korunması, gibi geniş çaplı fonksiyonlara da destek vermektedir. Ancak insan nüfusunun sahillere göçü ile birlikte oluşan kentleşme ve kıyı bölgesine yapılan müdahaleler sonucunda kıyı erozyonu doğal bir olay olmaktan çıkıp her geçen gün artan bir problem haline gelmiştir. Örneğin; Amerika Birleşik Devletleri'nde kıyı erozyonu yapıları, altyapı sistemlerini ve çevresel ortamları tehdit eden bir tehlike haline gelmiştir ve fırtınaların yarattığı harap edici etkilere karşı tampon görevi gören doğal bariyerlerin yavaş yavaş yok olmasına neden olmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan kıyılarda deniz seviyesi bir yüzyılda yaklaşık 0.3 m kadar yükselme göstermektedir. Körfez kıyı çizgisinin düz bir eğime sahip olmasından dolayı deniz seviyesindeki düşük oranlı yükselmeler bile önemli bir kıyı çizgisi erozyonuna neden olmaktadır.

Doğal dalga hareketleri ve su seviyesinde meydana gelen değişimler kıyı çizgisi erozyonuna önemli bir katkıda bulunmaktadır. Fırtınalar kıyı çizgisinin çekilmesine neden olurken, bu erozyon fırtına sonrasında aynı doğal kuvvetlerle kıyıya geri taşınan kum ile onarılabilir. Farklı kıyılar farklı dalga hareketleri ve fırtına iklimleri ile uyum sağlamış durumdadırlar. Örnek olarak, İngiltere sahilleri sık sık meydana gelen kuzeydoğu fırtınaları ile karşı karşıya kalırken, Meksika'nın Florida Körfezi sahilleri kasırgalara maruz kalmaktadır. Meydana gelen fırtınaların sıklığı ve şiddetindeki değişimler kıyı çizgisinin miktarında önemli bir etkiye sahiptirler.

Kıyı çizgisi erozyonunun sonuçları çok çeşitlidir. Bunlar arasında; habitatın yok olması, balıkçılık kaynaklarının azalması, tuzlu su girişi ve de rekreasyonel kullanımın azalması ve yok olması sayılabilir. Erozyonun sebepleri doğal çevrenin yok olmasını hızlandırırken, etkileri de bölgenin finansal kaynaklarını azaltmaktadır. Sahiller büyük bir nüfus tarafından kullanılmakta ve değerlendirilmektedir. Aynı zamanda deniz canlıları ve kuşlar gibi birçok türe ev sahipliği yaparak onlara önemli bir ortam teşkil edebilmektedirler. Bu yüzden erozyon günümüzde dünyanın çeşitli bölgelerinde kesinlikle mücadele edilmesi ve çözüme ulaştırılması gereken bir sorun olarak kabul edilmektedir.

Kıyı erozyonu ile mücadelede asıl problemi, diğer çevresel sorunlarda olduğu gibi insan faktörü oluşturmaktadır. Bu anlamda öncelik çatışmaları doğmaktadır. Mesela, kıyı şeridinde bulunan yapıların, arazilerin ve alt yapı sistemlerinin korunması bir öncelik olabilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde kıyı bölgesindeki gelişme oldukça önemlidir. Bu önem kıyı erozyonu kontrolü için yapılan giderleri haklı çıkarmaktadır. Bununla birlikte özel bir sitede en etkili erozyon kontrol ölçümleri önceliği, rekreasyonel sahillerin ve doğal kıyı ortamının korunmasını içeren ikinci bir öncelikle çatışabilmektedir. Diğer erozyon kontrol ölçümleri problem için daha az etkili olabilir bu nedenle kamunun yatırım yaptığı projelerde idari zorunluluk olan üçüncü önceliği bozabilir. Devlet politikası veya yerel politikalar erozyon problemi ile ilgili elde edilebilir seçenekleri sınırlandırabilir.

2. EROZYON

2.1 Erozyonun Tanımı

Toprak erozyonu ile ilgili olarak çok fazla sayıda tanım yapılmıştır. Genellikle, erozyon katı madde taşınımı ile birlikte anılmaktadır. Çünkü oluşan zarar, oyulma hareketi ile ilgilidir (verim kaybı, bitki örtüsünün bozulması vb.). “Erodere” Latince’de aşınmak anlamına gelmektedir. Ancak şu da belirtilmelidir ki; taşınan katı madde sonuçta, başka bir yerde yeniden birikmekte ve bu da zararın katı madde taşınımından değil, başka bir yere yığılmasından kaynaklandığı sonucunu ortaya çıkarmaktadır (akarsu siltasyonu, toprak kayması vb.).

Erozyonun genel bir tanımı şu şekilde verilebilir. Katı maddenin yerçekimi, sel, rüzgar gibi çeşitli doğal nedenlerden dolayı orijinal yerinden koparak ve taşınarak genellikle daha düşük seviyedeki başka bir yerde birikmesidir. Kopan katı madde orijinal yerine göre kısa bir mesafede de birikebilir (kayarak) ya da rüzgar veya sel ile birkaç kilometre uzağa taşınarak birikebilir (kum fırtınası veya taşkın).

Katı madde hareketi çok sayıda karmaşık denklemlerle tanımlanabilen, süreksizlik gösteren, zamana ve mesafeye bağlı bir olaydır. Genellikle mekaniğin temel kanunlarına bağlı olmasına rağmen bu denklemler aslında erozyonun oluşumuna göre çok farklı yapılarda meydana gelebilirler (bir vadide toprak kayması, bir akarsuda katı madde taşınımı veya çölde kum fırtınası). Pratikte erozyonun her tipi, uygun farklı bir yaklaşımla incelenmelidir. Bundan başka, çalışmak istediğimiz probleme bağlı olarak fiziksel olaya en uygun şekilde basitleştirmeler yapılmalıdır.

Olayın fiziğine girmeden önce, aşağıdaki iki önemli problem dikkate alınmalıdır:

- 1) Katı madde erozyonu ve insan yaşamı arasındaki ilişki,
- 2) Katı madde erozyonunun bilimin farklı disiplinleri ile ilişkisi

2.1.1 Katı Madde Erozyonu ve İnsan Müdahalesi;

Bu konuyu incelemekten önce, jeolojik erozyonun ne olduğunu bilmemiz gerekir. Jeolojik erozyon insan müdahalesi dışında oluşan erozyondur. Diğer bir deyişle kıtaların denizlerden ayrılmasından dolayı oluşan normal bir olaydır. Bu işlem dağların ve tepelerin aşınması

sonucunda oluşur ve yeryüzünün şeklini belirler. Mevcut yeryüzü şeklinin oluşması jeolojik erozyonun bir sonucudur.

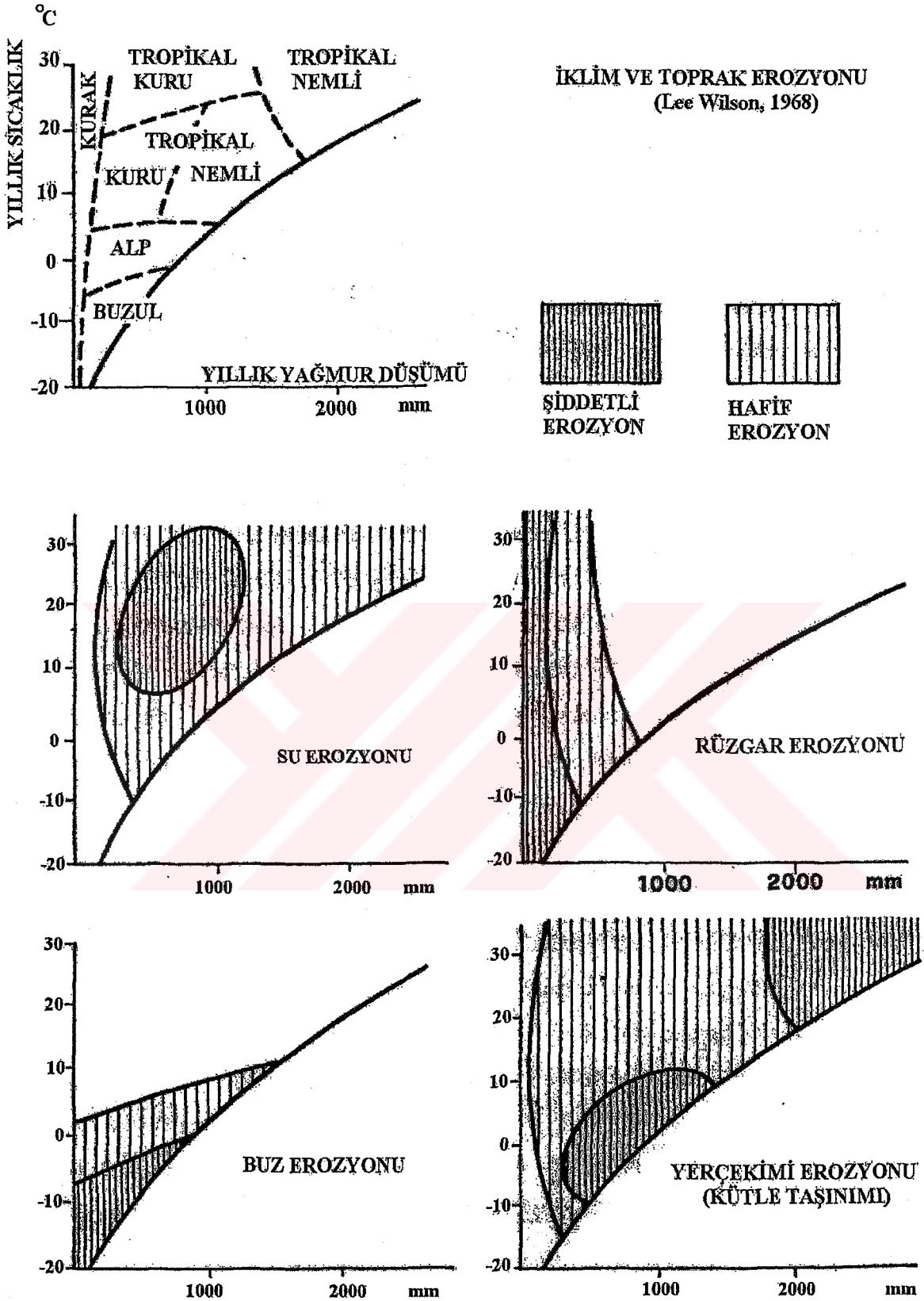
Jeolojik erozyon, üzerinde hala çalışılan bir konudur. Bu tip erozyon, oldukça fazla miktarda katı maddeyi yeryüzünden kaldırır ve bu katı maddenin büyük kısmının akarsular tarafından okyanuslara taşınmasına neden olur (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Dünyanın çeşitli akarsularında bulanıklık ölçüsü ile değerlendirilen katı madde oluşumu (Di Silvio, 1984)

Hidrografik Havza Alanı (km ²)	İnceleme İstasyonu (no.)	Yıllık Katı Madde Oluşumu		
		Minimum (t/km ²)	Ortalama (t/km ²)	Maksimum (t/km ²)
10-100	11	8 (Yeni Zelanda)	50 (Yeni Zelanda)	727 (İtalya)
100-1000	37	15 (Kanada)	300 (Venezuela)	4500 (İtalya)
1000-10000	50	4 (Kanada)	392 (Almanya)	7000 (Yeni Zelanda)
10000-100000	22	24 (Belçika)	273 (Japonya)	1200 (Türkiye)
>100000	18	1 (Polonya)	13 (Belçika)	106 (Türkiye)

Doğal oluşum aşırı katı madde taşınımına karşı yeterli bir koruma sağladığı için jeolojik erozyonun, doğal şartlar altında çok yavaş oluştuğu ifade edilmiştir. Dünyanın her bölgesinde katı madde ile iklim arasında dinamik bir denge kurulmuştur. Erozyon miktarları ve erozyon etkisi yerel şartlara göre farklıdır (Şekil 2.1). Diğer bir deyişle, belirli bir bölgede nadiren meydana gelenler dışında, geçici olarak oluşan şiddetli bir erozyon ne yeryüzü şekline ne de bitki örtüsüne zarar verebilir (morfoklimatik denge).

İklimsel ve jeolojik şartların yerel kombinasyonuna bağlı olarak, dünyanın hemen hemen her coğrafik alanında oluşan morfoklimatik denge, insanoğlunun geniş yerleşimlerinin de etkisiyle oldukça değişmiş olabilir. Yeşil alanın yok olması tarım ve yapılaşma için ormanların ortadan kaldırılması, çimen yüzeylerinin bozulması genellikle erozyona uğrayacak olan yüzeyi artırır. Bu değişiklikler ne zaman ve nerede olursa olsun erozyon miktarı oldukça hızlanır.



Şekil 2.1 Doğal çevre koşullarının her birinde iklim, toprak ve bitki arasında ulaşılan denge koşulu (morfoklimatik denge) (Di Silvio, 1984)

Antropik erozyon veya hızlandırılmış erozyon (insan müdahalesi sonucunda hızı artan erozyon), oluşan değişikliklerin etkilerine karşı önlem alınmadıkça yeryüzünün verimliliğini tamamen yok eder. Diğer taraftan insan müdahalesi doğada her zaman negatif sonuçlar doğurmaz. Uygun koruma önlemleri altında erozyon kayıplarını kabul edilebilir değerlere çekebilir ve bazı durumlarda orijinal doğal şartlarda oluşumundan daha düşük değerlere bile düşürebilir.

Dünyada hızlı nüfus artışının ilk etkisi birkaç yüzyıl önce hissedilmiştir. Akdeniz ülkelerinin (İtalya, Yunanistan, İspanya, Kuzey Afrika, Türkiye vb.) ormanlarının tamamen yokolması Roma çağlarından beri süregelen bir durumdur. Bu ülkelerin çoğunda tarımsal gelişme çok şiddetli iklim şartlarında bile toprak erozyonunu elimine eden özel anti-erozyon çalışmaları ile binlerce yıl boyunca sürdürülmüştür.

Toprak korunumu ile ilgili, etkili geleneksel uygulamalar, Ortadoğu, Çin ve Güney Asya'nın birçok tarımsal bölgesinde de yaygındır. Ancak toprak erozyonunu kontrol etmek için alınan geleneksel önlemler, özellikle makineleşmeden kaynaklanan modern tarımsal tekniklerin oluşturduğu ihtiyaçları karşılamamaktadır. Örneğin; Güney Avrupa'nın birçok tepe ve dağlık bölgelerinde son zamanlarda geleneksel toprak erozyonu önlemlerinin ihmal edilmesine bağlı olarak toprak erozyonunun kötü gidişatı, ya çok sayıda çiftçinin endüstriyel işlere geçişinden ve kendi topraklarını terketmelerinden ya da toprağı işleme olayının daha pratik ve faydalı olanlarla yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır.

Yakın zamanda (son yüzyıl), antropik erozyonun bakir ormanların ve yeşil alanların çorak alanlara dönüşmesine neden olan büyük ve şiddetli etkisi Amerika Birleşik Devletleri'nin birçok bölgesinde özellikle orta batı ve güney batı eyaletlerinde ve Rusya'da gözlenmekte ve araştırılmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bölümü'ne bağlı Toprak Koruma (SCS) ve Tarım Araştırma Servisi (ARS) tarafından yapılan erozyon önleme ve koruma çalışmalarından elde edilen bilgiler günümüzde konuyla ilgili teknik literatürde mevcut olan en büyük ve en önemli bilgi birikimini oluşturmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nin iklimsel ve jeolojik koşullarında ülke çapında gözlenen değişkenlikler, bu bilgi birikiminin benzer koşullara sahip farklı ülkelerin de kullanabileceği çok sayıda anahtar çalışma haline gelmesini sağlamıştır.

2.1.2 Toprak Erozyonu Çalışmaları

Amerikan prosedürü dünya çapında çok geniş popülariteye sahiptir. Diğer bir deyişle, bu prosedürler, herhangi bir kritik yapmadan tamamen farklı çevre koşullarında da uygulandığı için bir tehlike gösterebilir.

Son yirmi yılda, aslında toprak erozyonunun en ciddi kısmı artan nüfusun bir sonucu olarak gıda üretimine talebin hızla arttığı tropikal, nemli ve kurak ülkelerde gözlenmektedir.

Amerika'daki gibi bu ülkelerin çoğunda hızlandırılmış erozyon, ormanların ve yeşil alanların yok edilmesinden kaynaklanmaktadır. Erozyonu kontrol eden fiziksel kanunlar dünyanın her yerinde aynı olmasına rağmen bu olayın bütünüyle anlaşılması için her bir çevresel özelliğin dikkate alınması gerekir.

Aslında hızlandırılmış erozyona neden olan insan müdahalesi tamamen insan yaşamı ile bağlantılıdır. Aynı zamanda toprak stabilitesini yeniden sağlamak için alınan önlemler insanların ihtiyaçlarına ve kaynaklarına göre seçilmelidir.

Toprak erozyonu üzerine yapılan etkili bir çalışma sadece rasyonel tarımsal uygulamaları veya toprak korunması üzerine bir kitapta toplanan bir çok koruma çalışmasının dizaynını içeren bir mühendislik çalışması olamaz. Bunun yerine araştırma bütünüyle farklı konuların uzmanları tarafından yapılan uygun bir çalışma olmalıdır. Çok büyük koruma çalışmaları erozyonu durdurmadığı gibi (çünkü erozyonun sebebi bir el kitabı ile belirlenemez), yalnızca ziraatçiler tarafından uygulanan pahalı tarım teknikleri de erozyon kontrolü için yeterli değildir.

Probleme yaklaşırken farklı uzmanlar tarafından elde edilen tüm bilgileri niceliksel bir analize dönüştürmede mühendise zor bir rol düşmektedir. Bu durumda mühendisin şu noktalara dikkat etmesi gerekmektedir.

- i) Dikkate alınan bölgede oluşmuş veya gelecekte oluşması muhtemel erozyonun fiziksel mekanizmasını seçmek,
- ii) Erozyonun mevcut gelişme miktarını değerlendirmek,
- iii) Erozyonun daha fazla gelişimini engellemek için bir takım önlemler almak
- iv) Erozyona uğramış bölgelerin ıslah edilmesini sağlamak.

Yukarıda ifade edilen çalışmanın bütün safhalarını gerçekleştirmek için çok sayıda matematiksel model (problemin karmaşıklığına göre az veya çok karmaşık) kurularak bölgenin davranışını benzeştirmek için araziden toplanan verilerin mümkün olduğunca kalibre edilmesi gerekmektedir.

Modellerin kurulması ve kullanılması uzmanlar arasında sürekli bir bilgi değişimine ihtiyaç duymaktadır. Gerçek yaşamla çelişen nümerik bir yaklaşım yeniden düşünülmeli ve sonunda daha basit ve gerçekçi bir yaklaşıma ulaşılmalıdır.

Modeli kuran kişi deneyimler ve ortak görüşler altında seçimini yapmalı ve bunu yaparken bazı geçmiş olayları sonuçları ile benzerliklerini karşılaştırarak güvenilir olmayan yaklaşımlardan kaçınmalıdır.

2.1.3 Su-Erozyon Prosesleri

Suyun toprak üzerindeki hareketi ile oluşan erozyonun ilk sınıflandırılması yüzey erozyonu (tabaka erozyonu) ile lineer erozyon (taban erozyonu) arasındaki ayrımdır. Bu ayrım, tamamen hidrologlar tarafından iyi bilinen yüzeysel akış ve kanal akışı arasındaki ayrıma bağlıdır.

Yüzeysel akışta su, eğimli bir yüzey boyunca hidrografik bir mikro şebeke boyunca az veya çok dağılarak akmaktadır. Bu akış, özellikle bitki örtüsü ile kontrol edilmekte ve ekstrem olarak kısa süreli bir akıştır. Kanal akışı ise, suyun gerçek bir hidrografik şebekeye ulaşması ile oluşur. Akım şebekesi topografik özelliklerle kontrol edilir. Yüzeysel akışın tersine kanal akışı, iyi tanımlanmış ve zamana göre sabit bir akıştır.

Yüzeysel akış bütün yüzey boyunca yüzey erozyonuna neden olurken kanal akışı taban boyunca taban erozyonuna neden olmaktadır. Yüzey erozyonu ve taban erozyonunun ikisi de sonuç olarak yağmura bağlı olsa da ikisi arasında bazı farklılıklar vardır.

Yüzey erozyonu yüzeysel akış tarafından yokuş aşağıya taşınan katı maddelerin, hidrografik şebekeye ulaşana kadar veya bir yerde birikene kadar yağmurla gevşemesi ve yerinden sökülmesi ile oluşmaktadır. Kopan katı madde miktarı başlıca yağmur şiddetine, bitki örtüsüne ve katı madde karakteristiklerine bağlıdır. Yokuş aşağıya taşınan katı madde miktarı ise akışa (yani yağmur şiddetine), bitki örtüsüne, tepe eğiminin geometrisine bağlıdır.

Taban erozyonu suyun taşıma gücüne bağlıdır. Taşıma gücü ise, akımın debisine, taban eğimine ve katı madde çapına bağlıdır. Akımın taşıma gücü akımla gelen katı madde miktarını aştığında taban erozyonu oluşur.

Dere ve çay erozyonu ara formlardır. Hidrolojik açıdan bakıldığında dere erozyonu, suyun getirdiği katı maddeye göre daha fazla taşınım kabiliyeti ile karakterize edilen yeni gelişmiş, gevşek tabanlı bir kanal boyunca oluşan şiddetli bir taban erozyonu olarak tanımlanabilir.

Çay erozyonu ise genellikle şiddetli bir yüzey erozyonu olarak tanımlanmaktadır. Çaylar ilk oluşmaya başladıklarında, geliştikleri yerde kısa uzunluktaki bir şeve ve yumuşak bir dikliğe sahip derelerin henüz gelişmemiş olan bir formudur. Taban erozyonu ve yüzey erozyonu için aşağıdaki ifadeler söylenebilir:

Bir yandan bütün şartlar değişmeden kaldığında havzadan akımın getirdiği katı madde (yüzey erozyonu), taban erozyonu (lineer erozyon) ile sınırlanmaktadır. Diğer yandan dere erozyonu güçlü bir şekilde taban direncini azaltarak drenaj sistemini kaplayan bitki örtüsünü yok eden bir tabaka erozyonu ile harekete geçmektedir.

Erozyonun diğer bir önemli şekli fiziksel olarak suya bağımlı olan kütle hareketidir. Kütle hareketi ağırlık kuvveti ve direnç kuvvetleri (sürtünme ve kohezyon) arasındaki denge şartlarının değişmesiyle belli bir hacimdeki katı maddenin aniden taşınmasıdır.

Kütle hareketi ile kopan katı madde yüzeysel akışla yokuş aşağıya taşınmakta ve sonuçta akım ağına ulaşmaktadır. Gerçekte kütle hareketi genellikle tabandaki taban erozyonu tarafından şevin kesilmesi ile oluşmaktadır.

Kısaca katı madde dengesi, yüzey erozyonu, taban erozyonu ve kütle hareketi arasındaki etkileşime bağlı olmaktadır. Ancak mühendislikte toprak erozyonunun her bir formu, farklı yeterlilik alanlarında incelenmektedir.

Yüzey erozyonu ürünlerin korunması için ziraat mühendisleri tarafından incelenirken, özellikle akarsu ıslahında önemli olan taban erozyonu hidrolik mühendislerinin ilgi alanına girmektedir. Kütle hareketi ile oluşan toprak erozyonuna bağlı olarak şev stabilitesi ise geoteknik mühendisleri tarafından incelenmektedir.

2.2 Yüzey Erozyonu

Toprak erozyonu ile yeryüzünden katı madde taşınımı miktarı genellikle, iki yolla belirlenmektedir:

- i) “Deneysel olarak” bir şevin sonunda toplanan katı madde miktarını ölçerek,
- ii) Akarsular tarafından askıda veya sürüntü malzemesi olarak taşınan katı madde miktarını ölçerek

İlk metod, homojen fiziksel karakteristiğe sahip bir kara parçasının, belirli bir kısmından taşınan toprak miktarını ‘yerel’ olarak verir ki bu büyüklük, şevin “toprak kaybı” olarak adlandırılır. İkinci metod, homojen olmayan bir karakteristiğe sahip çok geniş bir alandan taşınan toprak miktarının bütünüdür ki bu büyüklük ise havzanın katı madde miktarı olarak bilinir. Şu noktaya dikkat edilmelidir ki, şevin toprak kaybı, kesinlikle yalnızca yüzey erozyonu ile oluşurken, havzanın katı madde miktarı, kütle hareketi oluşumunu ya da havzanın kendisinin hidrografik ağ boyunca, herhangi bir yerde oluşan taban erozyonunu içerebilir. Diğer taraftan, katı madde miktarı, vadi şevinden koparılan tüm katı maddeyi içermez. Bunun nedeni, katı maddenin en büyük kısmının muhtemelen havzanın yakınına ulaşmasından önce zaten depolanmış olmasıdır.

2.2.1 Şevden Toprak Kaybı

USA’nın farklı deneysel çalışmalarından ve 40000’in üzerindeki fırtınadan alınan sonuçları kullanarak, Musgrave (1947), toprak kaybı ile ilgili aşağıdaki ifadeyi vermiştir:

$$E = I R S^{2.35} L^{0.35} P_{30}^{2.75} \quad (2.1)$$

burada E fırtına ile oluşan toprak kaybı (inç-acre (1028 m-m²)), I katı maddenin aşınabilirliği, R dönüşüm faktörü, S şev dikliği, L şev uzunluğu ve P₃₀ ilgili fırtınanın maksimum 30 dakikalık şiddetidir.

Musgrave’in formülü, Wischemeier vd., (1958) tarafından yapılan çalışmalarla, değiştirilerek Evrensel Katı Madde Kaybı Denklemi (USLE) olarak kabul edilmiştir. Şimdilerde USLE, muhtemelen bir şevden toprak kaybının miktarını veren en fazla test edilmiş denklemdir.

2.2.1.1 Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği:

USLE'ye göre belli bir fırtınanın sonucu olarak, belli bir şevden kopan toprak miktarı A (ton/acre (ton/m²)), altı faktöre bağlı olmaktadır.

$$A = R K L S C P \quad (2.2)$$

burada R yağış faktörü (ya da aşındırıcılık), K aşınabilirlik, L şev uzunluk faktörü, S şev diklik faktörü, C ürün oluşum ve yönetim faktörü ve P korunum faktörüdür. Genellikle L ve S, bir arada kombine edilerek (LS) topografi faktörü olarak anılmaktadır.

Bu faktörleri hesaplama metodu aşağıda verilecektir. Formülün temel fikri, belirli referans deney şartları altında (yani R, L, S, C ve P=1) ölçülen toprak kaybı A, katı maddenin aşınma miktarına (erodibilite) eşittir. Aynı şekilde eğer, aynı referans koşulları altında, katı maddenin farklı tiplerine test uygulanırsa K faktörü elde edilecektir. K faktörünün değeri, en yaygın olarak USA'daki birçok katı madde için ve diğer ülkelerdeki bazı katı maddeler için bilinmektedir.

Referans deney şartları, standart ölçekte standart düşümlerle (R=1) sunulmuştur. Standart ölçekteki bir şev, 72.6 ft (22,13 m) uzunluğa (L=1) ve %9 dikliğe (S=1) sahip; standart ölçekteki bir katı madde ise boşluklu (C=1) ve yukarı aşağı yönlerde değişmeyen (P=1) şeklinde karakterize edilmektedir. Standart ölçeğin boyutları yalnızca daha önceki deneyimlerden elde edilmiştir ve fiziksel bir anlam taşımamaktadır.

2.2.1.2 Yağış Faktörü

(2.2) denkleminde göre, aynı katı madde, aynı deney koşullarına farklı şekillerde maruz bırakıldığında, katı madde miktarının kaybı yağış faktörü ile orantılı olarak değişecektir. USA'nın 35 deney istasyonunda (birkaç bin ölçek-yıllık operasyonlarda) dikkatli bir katı madde kaybı deneyi ile Wischmeier vd., (1958) yalnızca yağış miktarının, katı madde kaybı miktarı ile karşılaştırıldığında zayıf korelasyonlar verdiğini gözlemlemiştir. Bunun yerine, R için en iyi yaklaşımı, fırtınanın toplam kinetik enerjisi ile (E, ton-feet/acre (7,62 N-m/m²)) fırtına sırasında gözlenen maksimum 30 dakikalık şiddetinin (I₃₀, inç/saat (2,54 cm/saat)) çarpımı ile gözlenmiştir.

E'nin miktarı (bu, her birim alana düşen yağışın kinetik enerjisidir) aşağıdaki ifadeyle verilmektedir:

$$E = \frac{\int_{fırtına} \frac{1}{2} v^2 dm}{\text{alan}} \quad (2.3)$$

burada v yağmur damlalarının düşüm hızı ve $dm = \rho \cdot \text{alan} \cdot i \cdot dt$ yani, i yağmur şiddetiyle dt zamanında katı maddeyi hareket ettiren birim su kütlesidir.

$e = \frac{1}{2} \rho v^2$ büyüklüğü yağmurun spesifik enerjisidir (birim hacimde yağışın enerjisi) ve yalnızca yağış şiddetine bağlıdır. Gerçekte yağış hızı v yağış şiddetinin bir fonksiyonu olan damla çapına bağlıdır. Wischmeier vd, (1958)'e göre spesifik enerji e (ton-feet/acre-inç (300 N-m/m³) aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$e = 916 + 331 \log_{10} i \quad (2.4)$$

Burada i (inç/saat (2,54 cm/saat)) olarak ifade edilir. Verilen bir fırtınada kinetik enerji (ton-feet/acre (0,753 N-m/m²)) aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$E = \int_{fırtına} e \cdot i \cdot dt \cong \sum_{fırtına} e h \quad (2.5)$$

burada h (inç (2,54 cm)) sabit bir şiddette, herhangi bir yağış için düşüm miktarı olmaktadır.

Formüllerde kolaylık sağlamak için düşüm faktörü R, EI₃₀'un 100'e bölünmesiyle elde edilebilir.

$$R = \frac{EI_{30}}{100} \quad (2.6)$$

Referans yağış şartları (R=1), bu noktadan sonra EI₃₀ değerinin 100 ton-feet-inç/acre-saat (1,9 N/saat)'e eşit olduğu koşullar olarak gösterilecektir.

Yağış faktörü R, toprak parçalarının hem "kopması" hem de aşağıya doğru "taşınmaları" için hesaplanabilir. Gerçekte, yağmur damlasının kinetik enerjisinin (E) belirli bir kısmı, toprak

kütlesinden büyük parçaları koparmakta harcanır. Diğer taraftan maksimum yağış şiddeti (I_{30}) eğim boyunca, yüzeysel akışın taşınım kapasitesi ile ilgili olan maksimum akım debisi ile orantılıdır.

Hudson (1965)'e göre, en azından Afrika'daki bazı toprak tipleri için, EI_{30} değerinin katı madde kaybı ile çok iyi korelasyonlar vermediği belirlenmiştir.

Tropikal ülkelerde, Hudson (1965) yalnızca yağış şiddetinin 1 inç/saat (2,54 cm/saat)'ten daha büyük olduğu durumlarda R için, ya da diğer bir deyişle fırtınanın kinetik enerjisi E için EI_{30} değeri yerine başka bir formülasyon önermiştir. Bu başlangıç değeri, yağmurun başladığı andaki katı madde partiküllerini aşağıya doğru taşıyan şiddeti gösterir ki bu değer aslında pratikte yüzeysel akışın olmadığı düşük bir şiddettir. Hudson (1965) tarafından önerilen R formülasyonu $KE > 1$ yağış faktörü olarak bilinir.

Pratik uygulamalarda, uzun periyotlardaki ortalama toprak kaybı genellikle tek başına bir fırtınanın oluşturduğu toprak kaybından daha önemlidir. Bu nedenle yıllar boyunca oluşan tüm fırtınalara karşılık gelen R değerlerini toplayarak ve bunu yıl sayısına bölerek verilen bir bölgede ortalama yıllık R değeri hesaplanabilir. R'nin tipik yıllık değeri, bölge iklimine göre 200 ile 800 arasında değişir.

US Tarım Departmanı, bu prosedürü kullanarak US için, R'nin ortalama değerinin uzamsal dağılımını gösteren izoerodent harita çizmiştir.

Bu çalışmada, verilerin istatistiksel analizi tekil fırtınalar için R değerlerinin log-normal dağılıma uyduğunu göstermiştir. Dağılım parametreleri bilindiğinde beklenen durumlar için toprak kaybı tahmini de yapmak mümkündür.

R'nin mevsimsel dağılımı oldukça önemlidir. Çünkü, bir fırtınanın toprak üzerindeki etkileri bitki örtüsüne göre farklıdır. Verilen bir bölgede yılın farklı ayları için R yüzdeleri de bilinmelidir.

2.2.1.3 Aşınabilirlik Faktörü

Aşınabilirlik faktörü, bitki örtüsü ve yönetim etkileri hesaba katılmadan toprak karakteristiklerini belirlemede kullanılır. Daha önce değinildiği gibi (denklem 2.1), toprağın

belirli bir tipi için aşınabilirlik faktörü K, referans yağış şartları için (R=1) standart ölçekte (L=1, S=1, C=1, P=1) ölçülen toprak kaybını vermektedir. Referans yağış koşulları (R=1) gerçekte her zaman oluşmadığı için K değeri pratikte birçok fırtınada ölçülen $K=A/R$ oranlarının ortalaması ile bulunmaktadır.

Amerika'daki birçok toprak tipi için elde edilmiş K değerleri tablosu mevcuttur. Dahası diğer ülkelerdeki çalışmalarda da ilerleme kaydedilmiştir.

Deneyisel ölçeklerden elde edilen datalar olmadan K değerinin tahmini oldukça zordur. Daha önce test edilmemiş bir katı madde için o toprağın fiziksel özellikleri dikkate alınarak, aşınabilirlik faktörünün kaba bir tahminini yapmak mümkündür. Wischmeier vd., (1971) tarafından yalnızca beş parametrenin kullanıldığı pratik bir metot önerilmiştir:

- a) silt+ince kum yüzdesi
- b) kaba kum yüzdesi
- c) en üstteki toprak derinliği
- d) organik madde içeriği
- e) permeabilite (geçirgenlik)

(a) ve (b) parametreleri, toprağın “kopabilirlik ve taşınabilirlik” özelliklerini kontrol eden doğal karakteristiklerini göstermektedir. (c), (d), (e) parametreleri insanlar tarafından değiştirebilen parametrelerdir. Toprak derinliği (yapı), toprak direncini pozitif yönde etkiler. Bu, maddenin agregasyonunu kontrol eden organik madde içeriği için de geçerlidir (agregalar su geçirmez ve ıslak olduğunda kırılmaz, bu yüzden toprak direncini artırır). Permeabilite filtrasyon kapasitesini kontrol eder. Filtrasyon kapasitesi arttıkça, partikül taşınımı ve yüzeysel akış daha az olur. Sürülebilir topraklar için K'nın değeri 0,2-1 arasında değişir.

2.2.1.4 Topografi Faktörü

Topografi faktörü (LS) aşağıda verildiği gibi hem şev uzunluğunun (b) hem de dikliğinin (S_s) etkisi için hesaplanır:

$$(LS) = \frac{\sqrt{b}}{100} (0.76 + 0.53S_s + 0.075S_s^2) \quad (2.7)$$

burada b (feet (m)), S_s ise (%) olarak ifade edilmektedir. Şu noktaya dikkat etmek gerekir ki $b=72.6$ ve $S_s=9$ olduğunda (standart ölçek) LS 'in sayısal değeri 1 olmaktadır. Topografi faktörü yüzeysel akışın taşıma kapasitesi ile yakından ilişkilidir. Burada katı madde taşınım formülü hatırlanacak olursa bu formül yaklaşık olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$q_s = a v^n \quad (2.8)$$

burada q_s akımın taşıma kapasitesi (birim akım genişliği için) a katı madde çapı ve direnç katsayısına bağlı bir katsayı, n formüle bağlı olarak 5 ile 6 arasında değişen bir üstel ve v akım hızıdır. Diğer taraftan, yüzeysel akış hızı, akım debisi (birim genişlik için) q_w ve su derinliği y arasındaki oranla da hesaplanabilir. Chezy formülüne göre $(v = X\sqrt{S_s y})$ aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$v = \frac{q_w}{y} = q_w^{1/3} X^{2/3} S_s^{2/3}$$

burada, X Chezy direnç katsayısı ve S_s şev dikliğidir. Bu durumda eşitlik (2.8) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$q_s = a q_w^{n/3} X^{2n/3} S_s^{n/3}$$

böylece şevin topuğundaki yüzeysel akış aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$q_w = C i b \quad (2.9)$$

(b şev uzunluğu, i yağmur düşüm şiddeti ve c akış katsayısı) bu durumda katı madde taşınımı;

$$q_s = a X^{2n/3} (C i b)^{n/3} S_s^{n/3} \quad (2.10)$$

ve katı madde kaybı (birim alan için);

$$A = \frac{\int_{fırtın} s dt}{b} = a (X^2 C)^{n/3} S_s^{n/3} b^{n/3-1} \int_{fırtın}^{n/3} i dt \quad (2.11)$$

olarak elde edilir. Sonuç olarak eğer $n=5$ olarak kabul edilirse, toprak kaybı eşitlik (2.7) ile oldukça benzerlik gösteren $b^{0.67} S_s^{2.67}$ ile orantılı olur.

Eşitlik (2.11)'e göre toprak kaybı ayrıca $\int_{fırına} i^{1.67} dt$ ile de orantılıdır. Bu son değer, toprak taşınımı için dikkate alınan yağış faktörünün bir kısmını göstermektedir.

Eşitlik (2.11)'deki diğer katsayılar (a , X ve permeabilite (C)), katı madde çapına bağlı olan boşluklu toprağın K aşınabilirlik faktörünün etkisini göstermektedir. Topografik faktörün tanımı deneysel ölçekte ya da doğrusal bir eğim durumunda oldukça kolay olurken doğal işlenmemiş alanlarda ve ekin alanlarında oldukça karmaşıktır (Şekil 2.2).

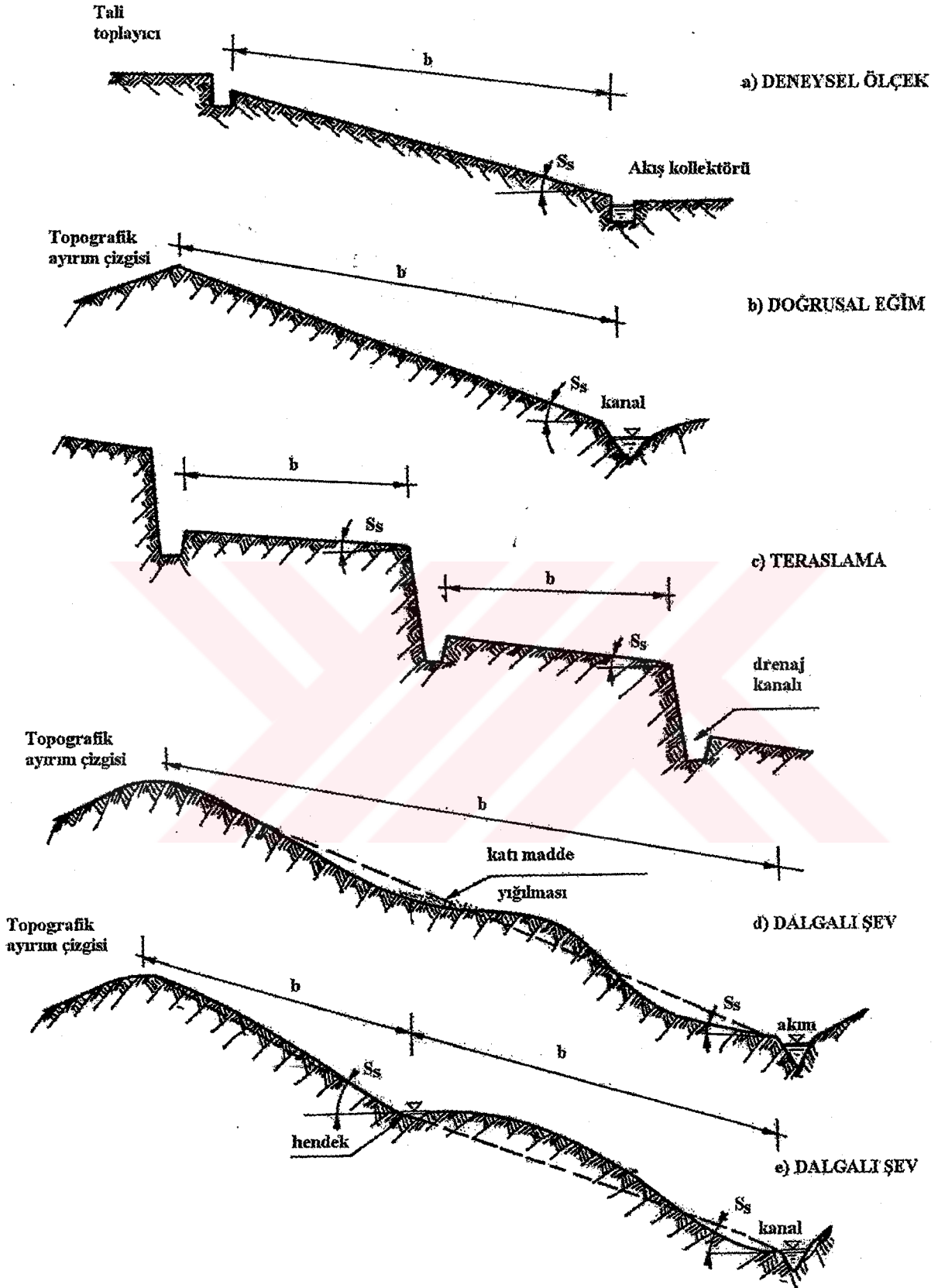
Şev uzunluğu b , yüzeysel akışın başladığı nokta ile akışın doğal ya da yapay belli bir kanala giriş noktası arasındaki uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Herhangi yapay bir kesintiye uğramayan doğal şevler için bu uzunluk, yerel "su bendi" ile hidrografik ağın en yakın dalı arasındaki uzunluk olarak ölçülmelidir. Bu durumda şev dikliği S_s bu şevin ortalama dikliği olarak alınır.

Dalgali şevlerde partiküllerin tümü yağmur damlaları ile koparak hidrografik ağa ulaşana kadar yüzeysel akış ile taşınmaz, bu partiküllerin çoğu eğimin kendi çukurlarında birikmektedir.

2.2.1.5 Ürün Oluşum ve Yönetim Faktörü

C faktörü bitki örtüsünden dolayı yüzey erozyonunda bir azalma etkisi göstermektedir. Bu, özel koşullar altındaki toprak kaybının devamlı nadas ve yukarı-aşağı sürümdeki toprak kaybına oranı olarak tanımlanmaktadır.

C faktörü hem ekime hem de bitki yapısına bağlıdır. Örneğin; mısıra ait C faktörü değerleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Topografi faktörünün belirlenmesi için eğim uzunluğu ve dikliğinin tanımlanması
(Di Silvio, 1984)

Çizelge 2.2 Mısıra ait C faktörü değerleri (Di Silvio, 1984)

Ekim ve bitki yapısı	C değeri
Nadas	1,00
Tohumlu taban	0,8
Oluşum	0,4
Yetişen ürün	0,2
Artıklar	0,35 (yakıldığında 0.65'e çıkar)

Toprak kaybının yıllık değerinin hesaplanmasında C faktörü mutlaka bitki örtüsü yapısına karşılık gelen R'nin yüzdesi ile dengelenmelidir. Dönüşümlü ya da nöbetleşe tarım teknikleri uygulandığı durumlarda, hesaplama tüm periyot için yapılmalıdır. Ekilmemiş alanlar için C faktörünün tahmini oldukça ilginçtir. Wischmeier (1975)'e göre, orman alanları (%100 örtülü) için C faktörü yönetime ve yangın riskine bağlı olarak 0.001 ile 0.004 arasında değerler alırken çayır alanları için (%100 örtülü) bu katsayı 0.003 ile 0.01 arasında değişmektedir.

Şu özellikle belirtilmelidir ki yüzey erozyonu bitki örtüsünün herhangi bir tipi için önemli ölçüde azalmaktadır ve pratikte, yukarıda ifade edilen değerlerde görüldüğü gibi doğal bir bitki örtüsü bulunduğu durumlarda ihmal edilebilir.

2.2.1.6 Pratik Koruma Sistemleri

Korunum faktörü P, toprak kaybı azalmasını göstermektedir ve yukarı-aşağı tarama yapılarak daha uygun tarım teknikleri elde edilebileceğini ifade eder. Çok sayıda koruma sistemi test edilmiş ve koruma faktörü P farklı toprak kaybı miktarları karşılaştırılarak hesaplanmıştır.

- a) Konturlama : Katı madde kaybındaki azalma, şev dikliğine bağlı olarak kontur çizgiler boyunca tarama yapılarak elde edilebilir.

S (%)	1-2	2-7	7-12	12-18	18-24
P	0.60	0.50	0.60	0.80	0.90

- b) Konturlama ve Ekim Alanı :Eğer tarlaya çimen çizgileri uygulanabilirse, yine şev dikliğine bağlı olarak aşağıda gösterildiği gibi daha fazla bir azalma gözlenebilir.

P	0.30	0.25	0.30	0.40	0.45
---	------	------	------	------	------

- c) Toprağın Bayır Aşağı İşlenmesi: Bu teknik uygulandığında konturlamadaki ile aynı değerler kullanılabilir. Eğer nöbetleşe tarım uygulanıyorsa ekim periyodlarında daha büyük bir P dikkate alınmalıdır.
- d) Teraslama: Teraslamanın toprak kaybına faydalı etkileri topografi faktöründeki azalma (LS) ile ifade edilmektedir.

2.2.1.7 Evrensel Toprak Kaybı Eşitliğinin Kullanımı

Evrensel toprak eşitliği (USLE), temel olarak tarımsal amaçlar için geliştirilmiştir. Bu eşitlik genellikle verilen belli koşullarda toprak kaybı toleransı sonuçları ile karşılaştırma yapmak için ekim alanından ayrılan toprak miktarını belirlemede kullanılır. Toprak kaybı toleransı bir tarladan, üretimde herhangi bir azalmaya neden olmadan ayrılabilen maksimum toprak miktarını vermektedir.

Toprak kaybı toleransı topraktan toprağa değişmektedir. Kabul edilebilir bir kritere göre toprak kaybı toleransı, derin, geçirgen, kuru topraklar için 5 ton/acre/yıl (12,5 ton/hm²/yıl)'dan kaya tabanda sık topraklar için 2 ton/acre/yıl (5 ton/hm²/yıl)'a azalmaktadır. Toprağın o güne kadar uğradığı erozyon miktarı hesaba katılmalıdır. Bu durumda kayıp toleransı ince taneleri kaybolmuş toprak için daha küçük olacaktır. Görülüyor ki çay erozyonu, gerçek toprak kaybı rölatif olarak küçük olsa bile kaba katı maddeye sahip bazı toprak tipleri için oluşabilir. Diğer taraftan ince taneler açısından zengin topraklar herhangi bir zarara uğramadan nispeten daha çok miktarda taşınabilirler.

USLE aynı zamanda toprak kaybını tolerans limitlerine indirmek için korunma yönteminin seçilmesi amacıyla da kullanılır. Örneğin P (konturlama) ve LS (teraslama) dışında K faktörü de organik madde içeriğinin artırılmasıyla azaltılabilir (gübreleme).

Aynı eşitlik ayrıca, belli büyüklükte bir alanda kayıp tolerans aşılmadan güvenli olarak nasıl ekim yapılabileceğini belirlemek için de kullanılır (bu, diğer faktörler sabit kaldığında C'nin maksimum kabul edilebilir değerini belirlemek için de kullanılır).

Sonuç olarak bu eşitlik, bir alandan katı madde oluşumunun tahmini amacıyla kullanılır. Bu tahmin, hidrografik ağ (akarsuların erozyonu ya da taşınımı), rezervuar siltleşmesi ve su yolu yönetiminde katı madde bütçesinin incelenmesi açısından çok ilginçtir.

2.2.1.8 Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği'ne Kritik Açıdan Bakış

USLE'nin geçerliliği ve limitleri üzerine çok sayıda gözlem yapılmıştır. İlk olarak, bu formül, tüm değişkenleri içermemektedir. Bu nedenle USLE, tüm ihmal edilen değişkenlerin kısa vadedeki etkilerinin rasgele temelde ortalamasının alındığı uzun dönem değerlendirmeleri için daha uygundur.

Ayrıca formül, değişkenler arasındaki etkileşimleri de hesaba katmamaktadır (örneğin; R ve K arasındaki). Yine bu etkileşimler, genellikle uzun periyodlu zaman dilimleri düşünüldüğünde genellikle ihmal edilebilir. Bu nedenle uzun dönem tahminleri için doğruluğu artar.

USLE'nin zayıf noktalarından biri de K faktörüdür. Aslında K faktörü yalnız toprak aşınabilirliğinin bir göstergesi değil gerçekte toprak kaybı tahminindeki tüm hataların gizlendiği önemsiz bir katsayıdır. Maalesef bu formül hala birçok katı madde tipi için farklı meteorolojik ve iklimsel koşullarda test edilmemiştir. Bu yüzden yeni bir ortama uygulandığında K değerinin deneysel verilerinin eksikliği dikkat edilmesi gereken bir noktadır.

USLE'nin kullanımı hala ürün alanı korunumu ve su yolu yönetimi ile ilgili birçok problem için en uygun kullanımdır. Katı madde kaybının niceliksel tahmini her zaman güvenilir olmasa da, kesinlikle homojen alanlarda rölatif değerlendirmeler için başarılı sonuçlar vermektedir.

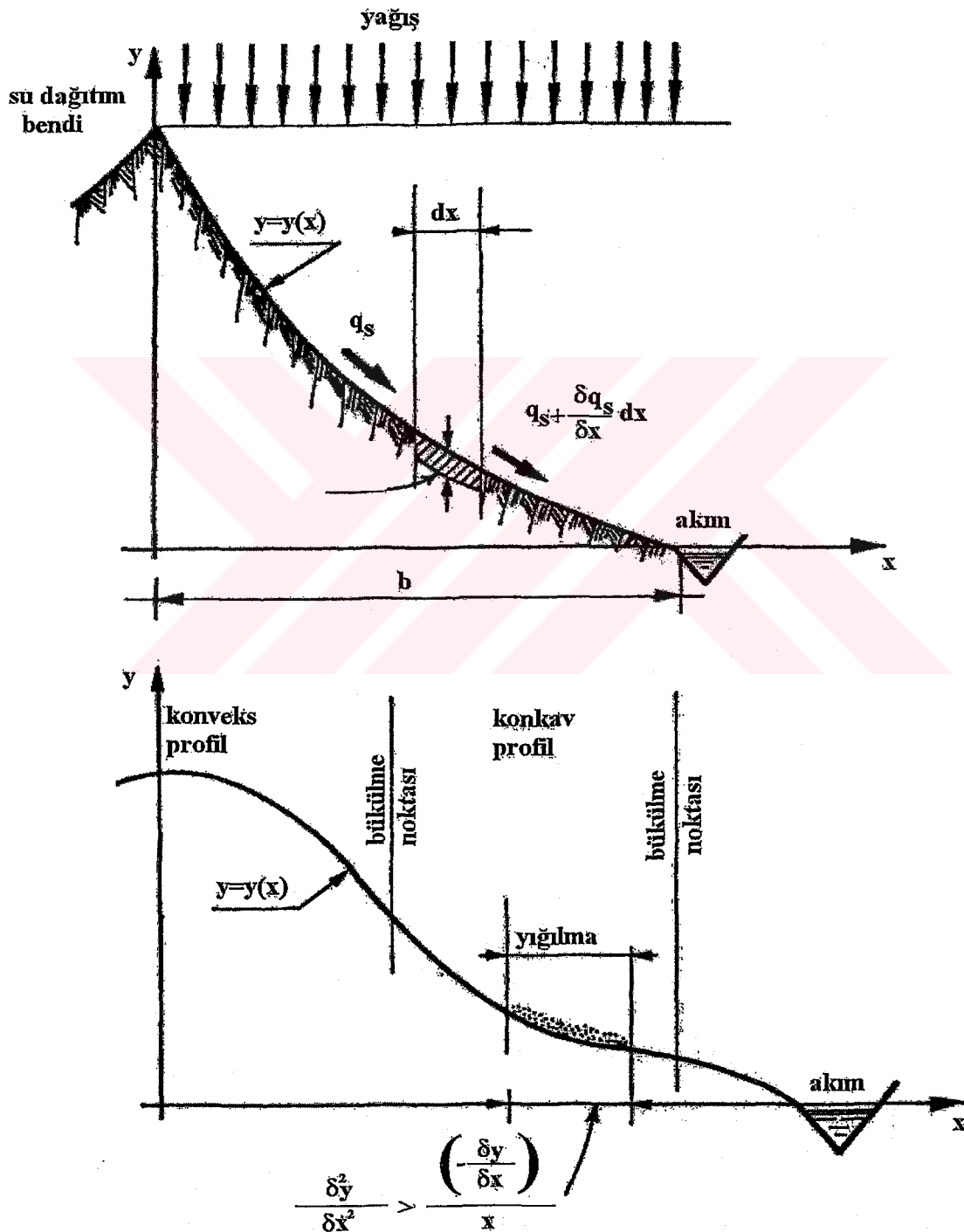
2.2.2 Havzadan Katı Madde Oluşumu

Daha önce belirtildiği gibi USLE, bir havza boyunca taşınan toplam katı madde miktarını belirlemek için kullanılmaktadır.

Ancak bir akarsu kesitinde yıllık ölçülen katı madde oluşumu ile havza yüzeyi boyunca oluşan yıllık toprak kaybı karşılaştırıldığında, bu iki değerin birbiriyle bağıntılı olmasına rağmen eşit olmadığı bulunmuştur. Bu iki değer arasındaki oran dağılım oranı olarak adlandırılır ve havza alanı arttıkça daha küçük değerler alır.

Gerçekte havza eğimi boyunca hareket eden toprağın tümü akarsuyun ölçüm istasyonuna doğru taşınmaz. Büyük bir kısmı yol boyunca hidrografik ağa ulaşmadan yığılır.

Katı madde taşınımı ile oluşan erozyon-yığılma prosesi ile ilgili fikir sahibi olmak için, belli bir $y=y(x)$ boyuna profiline sahip boşluklu bir toprağın eğimi dikkate alınmalıdır. Basitleştirmek amacıyla eğim boyunca akışın üniform bir yağış ile oluşan doğrusal akış olduğu (Şekil 2.3) ve bu toprak taşınımının yalnızca akış ile kontrol edildiği kabul edilir. Diğer bir deyişle, eğim boyunca katı madde debisinin, yüzeysel akışın yerel taşınım kapasitesi ile oluştuğu kabul edilir (yağmur çarpması ile kopma ihmal edilir).



Bu durumda şev boyunca katı madde debisi (q_s), x mesafesi ve $-\partial y/\partial x$ dikliği ile orantılıdır ve her ikisi de $5/3$ 'e kadar çıkabilir. Diğer taraftan dx mesafesi boyunca katı madde dengesi, yerel erozyon miktarını verir.

$$-\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial q_s}{\partial x} = \frac{5}{3} \left(-\frac{\partial y}{\partial x} \right)^{5/3} x^{2/3} + \frac{5}{3} x^{5/3} \left(-\frac{\partial y}{\partial x} \right)^{2/3} \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) \quad (2.12)$$

Yukarıdaki denklemler bize bazı faydalar sağlar. Erozyon miktarı $-\partial y/\partial t$ şev boyunca üniform değildir. Ancak şev tepesinden olan mesafeye (x), yerel eğime ($-\partial y/\partial x$) ve profilin yerel eğrilğine ($-\partial^2 y/\partial x^2$) bağlıdır. “Standart ölçekteki” gibi doğrusal bir eğim için bile ($-\partial y/\partial x = \text{sabit}$, $-\partial^2 y/\partial x^2 = 0$), erozyon miktarı üniform değildir ancak mesafe ile artar (bu $x^{2/3}$ ile orantılıdır). Dahası, erozyon miktarı eğrilik negatif (konveks profil) ya da sıfır (doğrusal profil) ise daima pozitifdir ancak eğrilik pozitif (konkav profil) olduğunda negatif (katı madde yığılması) olabilir. Gerçekte yerel konkavlığın, yerel eğim ile mesafe arasındaki orandan büyük olduğu her durumda yığılma oluşur. Erozyon-yığılma prosesi sabit değildir, katı madde erozyona uğrar uğramaz ya da yığılma oluşur oluşmaz, yerel taşınım değişimine göre profil şekli değişir. Yığılan katı madde miktarı, uzun mesafede azalan taban eğiminde toplanırken eğim doğrusal ve pürüzsüz hale gelir.

Yukarıda bahsedilen model, oldukça basitleştirilmiş olmasına rağmen, şevin dalgalanmalarından kaynaklanan bir tuzak etkisi olduğu gerçeğini açıklar. Olay gerçekte çok daha karmaşıktır: yüzeysel akış özellikle bitki örtüsü bulunduğu durumlarda aslında düz bir doğrultu izlemez ve katı madde taşınımı askıdaki katı maddenin de dahil edildiği yağmur çarpmasından etkilenir; yağış şiddeti üniform değildir ve zamanla sürekli olarak değişir. Dahası katı madde akıma ulaştıktan sonra da erozyon-yığılma olayı hidrografik ağ boyunca katı madde miktarının ölçüldüğü ölçme istasyonuna kadar devam eder.

Daha sonra da görüleceği gibi, zaman ve konuma göre yağış ve akış değişimleri çıkış oranı kadar önemli bir konudur. Ancak şu tahmin edilebilir ki, rölatif olarak şiddetli ve kısa süreli yağış, genellikle havzanın üst kısmında erozyona ve ana akımda yığılmaya neden olurken, hafif uzun süreli yağış ya da yağış yokken bunun tam tersi olmaktadır.

2.2.2.1 Dağılım Oranı Formülasyonları

Zamana ve konuma bağlı erozyon-yığılma modeli, prensipte vadi eğimi üzerindeki kendi orijinal kaynaklarından denizdeki son yığılmalarına kadar partiküllerin hareketi izlenerek elde edilebilir.

Şematik modeller yalnızca teorik bir bakış açısı ile oldukça basitleştirilmiş olarak belirlenir. Diğer taraftan, sistemin her bileşeni (eğimler, ana akım, yan kollar) detaylı bir model pratikte imkansızdır.

Bu durumda problemin tümü için bir formülasyon gerekli olmaktadır. Aslında dağılım oranı, genellikle hidrografik havzanın bazı temel karakteristikleri dikkate alınarak ampirik bir formülle ifade edilmektedir (Çizelge2.3).

Dağılım oranını etkileyen en önemli parametre 'havza alanıdır. Colombia ve Mississippi (Flaxman ve Hobba 1955) havzalarından alınan deneysel veriler, dağılım oranı DR'nin havza yüzeyine bağlı olarak şu şekilde değiştiğini göstermiştir.

$$DR \sim A^{-0,20}$$

Teksas Blackland' den daha yakın zamanlarda alınan verilere göre ise değişim şöyledir.

$$DR \sim A^{-0,14}$$

Dağılım oranı ile havzanın yükseklik/uzunluk oranı (havzadaki maksimum yükseklik farkı H, maksimum yatay mesafe Ls) arasındaki ilişki için başka formülasyonlar da önerilmiştir. Williams ve Berndt (1972) Teksas Blackland için aşağıdaki ifadeyi vermiştir:

$$DR \sim (H/L_s)^{0,40}$$

Drenaj yoğunluğu (havzanın birim alanında oluşan akım kanallarının toplam uzunluğu) da dağılım oranı ile bağıntılıdır.

Diğer formüllerde alan, havza yüksekliği ve diğer parametreler (çatallaşma oranı gibi) de bir arada dikkate alınmıştır.

Çizelge 2.3 Havza Karakteristikleri ile ilgili dağılım oranları (Piedmont'ta bulunan su yolları rezervuarlarının dağılım oranları ve ilgili değişkenleri) (Di Silvio, 1984)

Rezervuar Adı	Drenaj Alanı (A) (mil ²) (x 2,9 km ²)	Akım Uzunluğu (mil) (x 1,6 km)	Yükseklik/ uzunluk (H/L _s)	Çatallanma Oranının Ağırlıklı Ortalaması	Yüzdesel Katı Madde Dağılımı
Apex	2.2	2.99	0.00572	4.61	17.2
High Point	62.3	12.27	0.00417	4.13	12.9
Universite (N.C.)	30.3	4.18	0.01451	4.05	20.5
Roxboro	7.52	3.90	0.01116	4.51	12.7
Burlington	105.0	13.18	0.00302	4.76	3.7
Chester	15.92	5.83	0.00926	4.11	12.9
Lancaster	9.34	5.66	0.00669	4.46	10.2
Cannon	17.7	2.54	0.01568	4.60	17.9
Concord	4.54	2.39	0.02446	4.45	28.6
Lexington (N.C.)	6.66	7.09	0.00601	4.92	12.6
Issaqueena	13.86	6.335	0.01238	4.72	14.9
Michie	166.7	22.15	0.00440	4.00	9.2
Caroll Gölü	6.9	2.42	0.01838	3.28	59.4
Temple Reservuarı	0.61	2.01	0.03580	4.92	55.0
Brandt Gölü	73.4	12.72	0.00396	3.98	8.5

2.2.2.2 Akışa Bağlı Katı Madde Oluşumu

Katı madde miktarını belirsiz bir dağılım oranı yaklaşımı ile değerlendirmek yerine, sadece havza karakteristiklerini değil aynı zamanda katı madde taşınımının etkisi ile oluşan akışı da dikkate alarak direkt bir değerlendirme yapmak daha uygundur.

Williams (1975) tarafından önerilen bir formülasyon, yağış faktörü yerine yağış hacmi ve pik akış kullanılması dışında USLE formülasyonu ile aynıdır. Bu formül Teksas ve Nebraska'da 18 su yolunda oluşan 778 fırtınanın gözlenmesi ile elde edilmiştir.

$$G_s = 95 (V \cdot q_p)^{0.56} K.L.S.C.P \quad (2.13)$$

Burada G_s (ton) bir fırtına ile oluşan katı madde miktarı, V (feet³ (28,3 dm³)) hidrograf hacmi ve q_p (feet³/saniye (28,3 dm³/saniye)) hidrograf pik akıştır. K , L , S , C ve P eşitlik (2.2)'deki ile aynı faktörler olup tüm havza yüzeyi için ortalamalar alınmıştır.

Burada (ve tüm temeli USLE'ye dayanan değerlendirmelerde) dikkat edilmesi gereken bu formülün yüzey erozyonunun aşırı olduğu ya da katı madde miktarının temel kaynağı olduğu durumlar için geçerli olduğudur. Bu durum bozulmuş (ormansızlaştırılmış ya da bir şekilde çölleştirilmiş) havzaların yanında ekili olanlar için de geçerli olabilir fakat ağaçlık ya da bitki örtüsü ile kaplı havzaların sağlıklı doğal koşulları için geçerli değildir. Bu tür havzalarda katı madde miktarı büyük bile olsa yüzey erozyonu ile katı madde kaybı ihmal edilebilir ($c=0,001:0,010$)

Gerçekte ağaçlık ve bitki örtüsü ile kaplı alanlarda (özellikle çok kuru olmayan iklim koşullarında) en önemli erozyon mekanizması kütle hareketidir. Morfoklimatik- denge koşullarında, alpin ve tropik nemli bölge akımları ile taşınan katı madde miktarı, kıyıların sık sık çökmesi ve vadi eğimlerinin toprak kaymaları ile oluşur ve bu durumda tabaka erozyonu küçük bir rol oynar. Bu aynı zamanda bir noktaya kadar kurak ve yarı-kurak iklimlerde tabaka erozyonunun baskın olduğu durumlarda ve doğal koşullarda ılıman iklimlere de uygulanabilir.

Kütle hareketini de dikkate alan diğer formülasyonların bir çoğu, katı madde miktarını, havzanın hidrolojik, jeolojik ve bitki örtüsü karakteristiği temellerine dayandırarak belirlemektedir.

Benzer tipte uygulamalar özellikle Doğu Avrupa'daki farklı ülkelerde de yapılmıştır. Değişkenler arasında ampirik bağıntılara dayanan tüm formüller sadece en iyi şekilde bölgesel geçerliliğe sahiptir. Dahası verilerin istatistiksel kullanımı genelde şüphelidir ve değişkenler birbirinden bağımsız değildir.

Bu formüllerin çoğunun ilginç bir diğer yapısı da yıllık katı madde miktarının hem maksimum pik debiye hem de akışa bağlı olmasıdır.

Aslında havzadan katı madde miktarının daha iyi bir tahmini, test edilmemiş bir su yoluna ampirik formülleri uygulamak yerine akımın yakın bölümlerinde toplam taşıma kapasitesi belirlenerek yapılabilir.

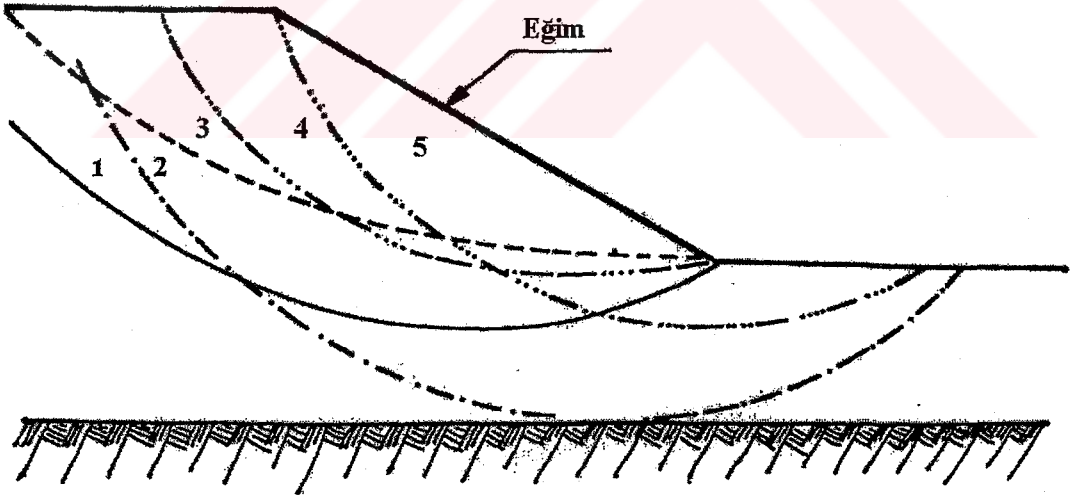
2.3 Kütle Taşınımı

Kütle taşınımı, bir toprak ya da kaya parçasının, şevin denge koşullarının değişimi nedeniyle orijinal pozisyonundan ayrılması olarak tanımlanmaktadır.

Kütle taşınımı, özellikle tropik nemli, alpler ve ılımlı iklimlerde akım tarafından taşınan katı maddenin ana kaynağıdır. Bu durum, böyle bir olayın faktörlerini belirlemede ve toprak kayması mekanizması hakkında fikir verme açısından önemlidir.

2.3.1 Bir Şevin Denge Koşulları

Şekil 2.4'te görülen bir şevde, toprak kayması oluştuğunu ve eğimli yüzeyin katı maddelerin daha homojen ve izotrop olmasını sağlayacak şekilde yaklaşık dairesel bir profile sahip olduğunu düşünelim.



Şekil 2.4. Şevin Potansiyel Kayma Yüzeyleri (Di Silvio, 1984)

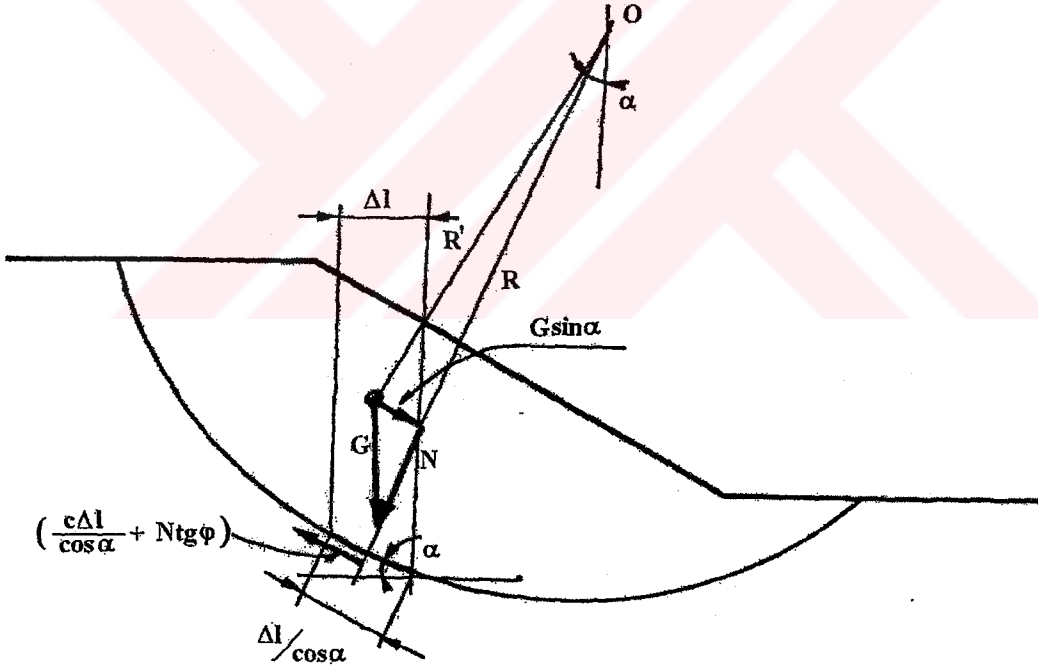
Şekildekine benzer yüzey “potansiyel kayma yüzeyi” olarak adlandırılmaktadır. Bu tip yüzeylerde eğim sabittir ve katı madde kütlelerinin hareket etmesini sağlayan ağırlık kuvvetinden daha büyüktür.

“Kritik kayma yüzeyi” direnç kuvvetleri ve ağırlık kuvveti arasındaki oranın (stabilite oranı) minimum olduğu özel kayma yüzeyi olarak bilinir. Kritik olan yüzeyi bulabilmek için her bir kayma yüzeyinde stabilite analizi uygulanmalıdır.

Dairesel bir kayma profili kabul edildiğinde stabilite analizi, potansiyel kayma kütesinin çok sayıda dilime bölünmesi ve bütün kütle için dönmeme şartı yazılmasıyla yapılır (Şekil 2.5). Şevin stabil olması aşağıdaki ifadeyle belirlenir:

$$R \sum N \tan \phi + R \sum \frac{c \Delta l}{\cos \alpha} > R \sum G \sin \alpha \quad (2.14)$$

burada R profil yarıçapı, N $\Delta l / \cos \alpha$ elemanter yüzeyine etki eden normal kuvvet, $\tan \phi$ sürtünme katsayısı, c malzemenin kohezyonu, α kayma yüzeyinin yerel şev açısı ve G her bir elemanter dilimin toplam ağırlığıdır. Düşey kenarlardaki gerilmeler dengededir.



Şekil 2.5 Kayma şevinin her bir elemanter dilimine etkiyen dış kuvvetler (eşitlik 2.14)
(Di Silvio, 1984)

Eşitlik (2.14)'ün basitleştirilmiş hali Şekil 2.6'da görüldüğü gibi sabit derinlik H 'ın belirsiz eğimi ($R \rightarrow \infty$) için düşünüldüğünde elde edilir. Bu durumda eğim kararlı hale gelmektedir:

$$N \tan \alpha + \frac{c \Delta l}{\cos \alpha} > G \sin \alpha \quad (2.15)$$

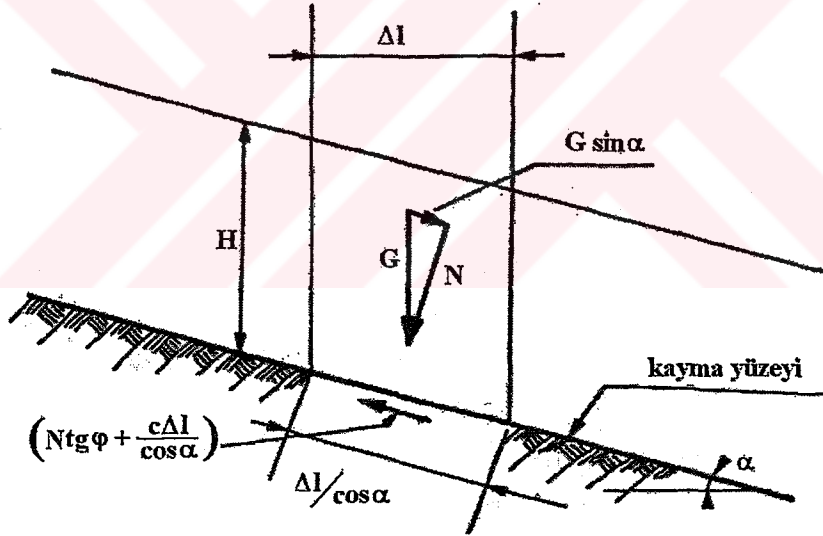
yukarıda yazılan eşitlikler şev stabilite problemlerine faydalı bir bakış açısı getirmektedir.

N ve G değerlerinin hesaplanması şu şekildedir: $N=P\cos\alpha$ yatay kuvvet P'nin normal bileşenidir. Bu bileşen aynı hacimdeki toplam ağırlık G iken HAl hacimli dilimdeki katı maddeler ile kayma yüzeyine iletilen kuvvettir. Toprak kuru ise P ve G tanelerin ağırlığına eşittir fakat toprak suya doygun ise P ve G farklıdır ve bu durumda aslında katı madde taneleri ile ortaya çıkan gerilme (etkili basınç) yüzdürme ile azalırken hacmin toplam ağırlığı su ile artmaktadır. Böyle bir durumda genellikle şu yazılabilir

$$P=\gamma_1 H\Delta l \quad (2.16)$$

$$G=\gamma_2 H\Delta l \quad (2.17)$$

burada (γ_1) ve (γ_2) sırasıyla sürtünme kuvvetleri ve yerçekimi kuvvetinin dahil edildiği HAl'nin özgül ağırlığını göstermektedir.



Şekil 2.6 Kayma tabakasının dengesi (eşitlik 2.14) (Di Silvio, 1984)

Kuru şartlarda:

$$\gamma_1=\gamma_2= g\rho_s(1-n) \quad (2.18)$$

burada g yerçekimi kuvveti, ρ_s katı madde özgül kütlesi (yaklaşık 1.6 t/m^3) ve n katı maddenin porozitesidir ve boşluk hacmi yüzdesi olarak ifade edilir (kum için yaklaşık 0.3'tür). Bu durumda kuru şartlar için aşağıdaki ifade elde edilmektedir:

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 16000 \text{ N/m}^3$$

Suya doygun koşullarda taneler su içindedir ve sürtünme kuvvetleri için (batan kısım çıkarılarak) ifade řu şekilde olur:

$$\gamma_1 = g[\rho_s(1-n) - \rho_w(1-n)] \quad (2.19)$$

burada ρ_w suyun özgül kütesidir. “Ağırlık kuvvetleri” için boşlukların da dahil edildiği su ağırlığı da hesaba katılarak aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\gamma_2 = g[\rho_s(1-n) + n\rho_w] \quad (2.19a)$$

Doygun koşullar için ise aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\gamma_1 = 10000 \text{ N/m}^3 \text{ ve } \gamma_2 = 20000 \text{ N/m}^3$$

Eşitlik (2.16) ve (2.17) , eşitlik (2.15)’te yerine konduğuunda aşağıdaki stabilite şartı elde edilmektedir;

$$\gamma_1 H \Delta \cos \alpha \tan \phi + \frac{c \Delta l}{\cos \alpha} > \gamma_2 H \Delta \sin \alpha$$

Bu ifade $(\gamma_1 H \Delta)$ ile bölündüğünde;

$$\tan \phi < \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \tan \phi + \frac{c}{\gamma_2 \cos^2 \alpha H} \quad (2.20)$$

elde edilir. (γ_1) ve (γ_2) ’nin uygun değerlerine göre yukarıda yazılan eşitlik, kuru koşullar için farklı bir formda yazılabilir $(\gamma_1 = \gamma_2 = 1,6g\rho_w)$:

$$\tan \alpha < \tan \phi + \frac{c}{1,6g\rho_w \cos^2 \alpha H} \quad (2.21)$$

Doygun şartlar için ($\gamma_1 \approx g\rho_w$ ve $\gamma_2 = 2g\rho_w$);

$$\operatorname{tg} \alpha < \frac{\operatorname{tg} \phi}{2} + \frac{c}{2g\rho_w \cos^2 \alpha H} \quad (2.22)$$

Eşitlik (2.21) ve (2.22)'in incelenmesi ile bir şevin kuru şartlarda doymuş şartlardakinden daha dik eğimi ($\operatorname{tg} \alpha$) karşılayabildiği görülmektedir.

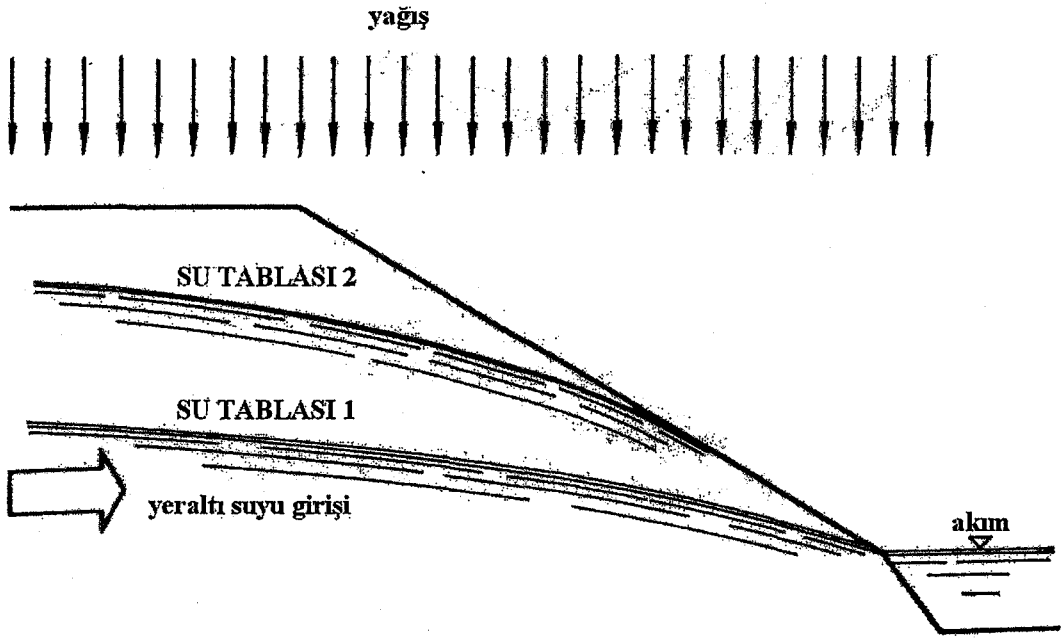
Özellikle kohezyonsuz katı maddeler ($c=0$ kum ve çakıl gibi) için kuru şartlarda şev dikliği malzemenin içsel sürtünme açısından ($\operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \phi \approx 0,6-0,8$) daha küçükse kararlı olabilir. Bu durumda, doymuş şartlarda dikliğin kararlı olabilmesi için eğimi, dikliğinin yarısından fazla olmamalıdır.

Su doymuşluğundan kaynaklanan stabilite azalması γ_1 ve γ_2 değişiminin etkisinin yanısıra c katsayısının kendisi de katı madde doymuşken azalma eğiliminde olan koheziv katı maddeler için ($c \neq 0$) beklenebilir. Örneğin, kil su ile doymuş olduğunda c katsayısı azalma eğilimindedir.

2.3.2 Stabilite Koşullarının Değişimi

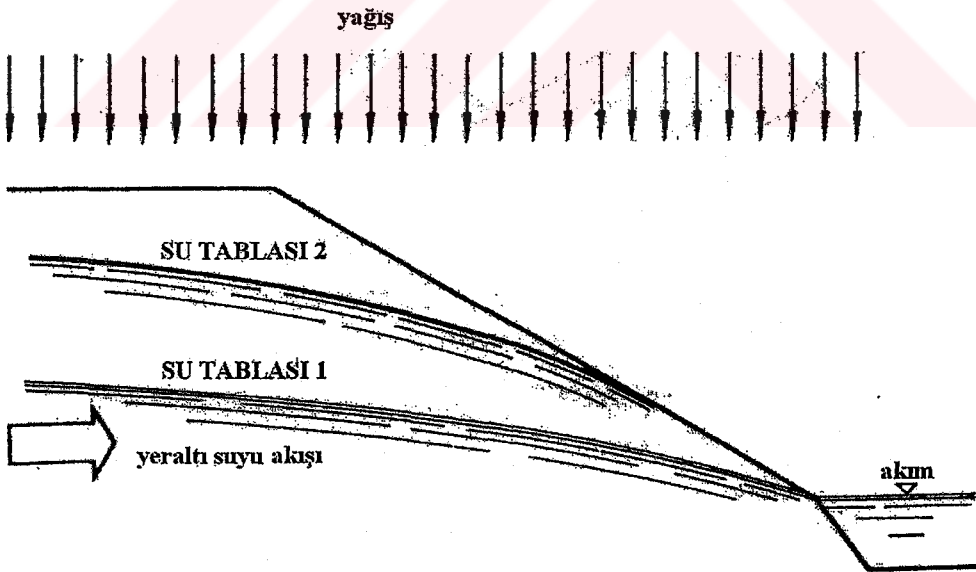
Daima kararlı dengede olmayı tercih eden doğal bir şevin neden bir gün aniden çöktüğü merak konusudur. Bu durumda stabilite eşitliğindeki (2.14) terimlerin bazıları eşitsizlik durumunda başka bir şekle dönüşebilir.

Bu değişimin ilk nedeni yeraltı su seviyesinin yükselmesi olabilir (Şekil 2.7). Örnek olarak filtre edilmemiş suyun yeterli bir drenaja sahip olması için çökelme periyodunun uzun olması gerektiği söylenebilir. Doymuş bir şev kuru olandan daha az stabildir. Bunun nedeni suyun varlığı durumunda sürtünme ve kohezyon kuvvetleri azalırken yerçekimi kuvvetlerinin artmasıdır.



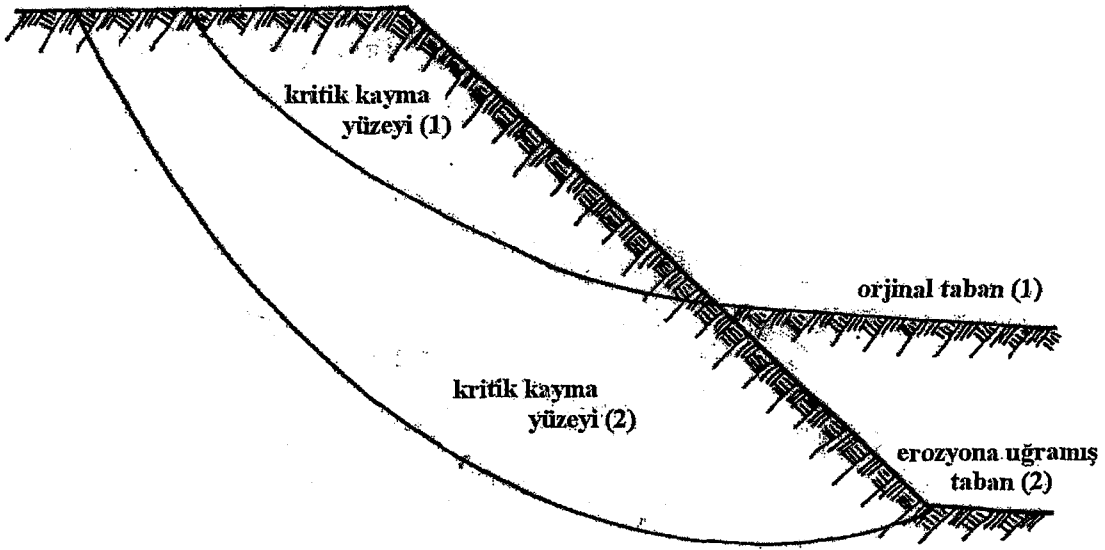
Şekil 2.7 Şiddetli bir fırtına sonrasında su tablasının yükselmesi (Di Silvio, 1984)

Şev stabilitesi, şevin sonunda akımdaki su seviyesi değişimleri ile de oluşabilir. Beklenen yüksek bir taşkından sonra su seviyesinin ani düşüşü tehlikeli olabilir. Bunun nedeni boşluklarda henüz drene olmayan hala etkisini sürdüren su varken denge eşitliğindeki stabilite kuvvetinin çıkartılmasıdır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Akım içinde su seviyesinin hızla düşmesiyle stabilize kuvvetlerin azalması
(Di Silvio, 1984)

Başlangıç denge koşullarının bir başka şekli de, şev topuğunun kesilmesi ile oluşur (Şekil 2.9). Bu, akımdaki taban erozyonunun bir sonucudur. Akımdaki büyük taban erozyonları, uzun süreli taşkınlar sırasında da beklenmektedir.



Şekil 2.9 Taban erozyonu sonucunda akım tarafından şev topuğunun kesilmesi
(Di Silvio, 1984)

Şu nokta ilginçtir ki, şev stabilitesinin yukarıda belirtilen nedenlerinin tümü direkt olarak su ile ilgilidir. Bunun gibi toprak kaymaları da hidrografik ağ boyunca şiddetli taşkınlar ve havzadaki şiddetli ve uzun süreli sağanaklar sırasında oluşur.

2.3.3 Şev Stabilite Faktörleri ve Stabilite Haritaları

Bölüm 2.3.1’de stabilite analizi yeraltı su seviyesinin altında sabit bir derinlikteki potansiyel kayma yüzeyi ile izotropik ve homojen malzemenin doğrusal belirsiz eğimi gibi çok basit bir durum için yapılmıştır.

Stabilite analizleri katı maddenin şev geometrisi, potansiyel kayma yüzeyleri, sürtünme katsayısı ve kohezyon katsayısı dağılımı, su tablası pozisyonu vb. yerel koşullarının bilindiği daha karmaşık durumlar için de uygulanabilir.

Gerçek bir potansiyel toprak kayması için şev stabilite analizi, özellikle homojen ve izotropik olmayan katı maddeler için bir çok zorluk içermektedir. Bu durumda potansiyel kayma yüzeyleri dairesel olmaktan çok uzaktır. Fakat kesinlikle katmanlaşma olayı söz konusudur. Örneğin; kum ve kil tabakalarının çeşitliliği, sürtünme ve kohezyon katsayılarının belirlenmesi zordur, çoklu akiferler iç basınçların karmaşık dağılımlarına neden olur vb.

Sonuç olarak, özellikle önemli problemler (yüksek riskli büyük potansiyel kaymalar, hasarlı bölgeler) için stabilite analizi dikkat isteyen arazi ve laboratuvar çalışmalarından sonra

(kuyuların araştırılması, jeo-elektriksel ve jeo-sismik çalışmalar, numune analizleri vb.) katı madde mekaniği uzmanları tarafından yapılmalıdır.

Ancak her bir potansiyel toprak kayması için ayrı ayrı detaylı çalışma daima gerekli değildir. Katı madde erozyonu ve katı madde koruma çalışmaları için büyük havzalar gerekmektedir ve havzanın farklı bölgelerinde olası toprak kaymalarının yaklaşık bir değerlendirmesi genellikle yeterlidir.

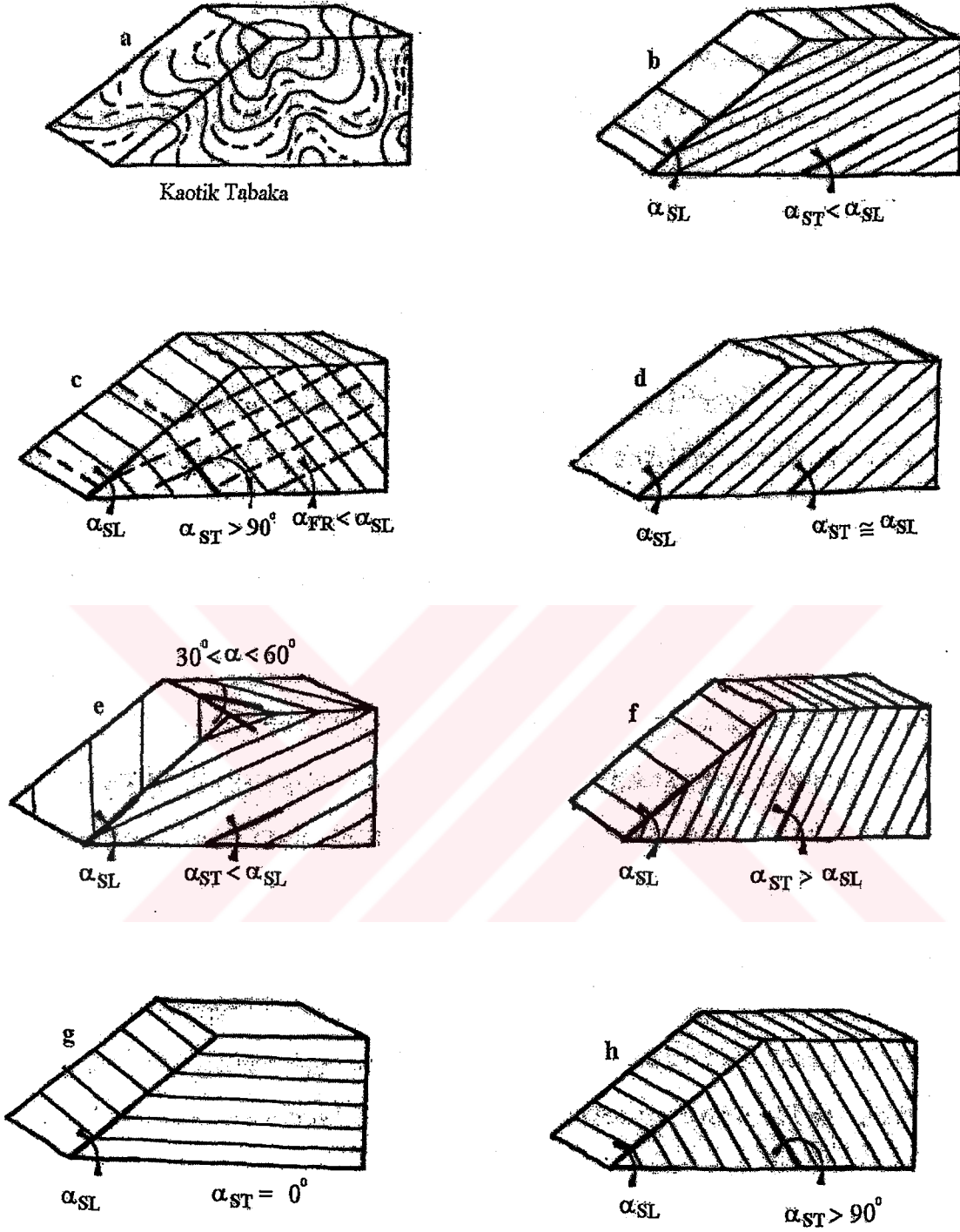
Şev stabilite faktörlerinin bu açılardan tanımlanması yararlı olmaktadır. Stabilite faktörleri, şevin kendisinin belirli karakteristikleri açısından çökmeye direncini belirlemek için şevin yaklaşık bir ölçümünü verir. Global direnç hakkında bir fikir veren stabilite indeksinin tümünde farklı faktörler kombine edilebilir.

Geometri, litoloji ve tabakalaşma genellikle dikkate alınan şev stabilite faktörleridir.

a)Geometri: Şev dikliği ya da şev dikliği ve şev yüksekliğinin kombinasyonu genellikle şev stabilitesini etkileyen geometrik faktörler olarak ele alınır.

b)Litoloji: Kayaların farklı tiplerinin sınıflandırılması, kayaların kayma gerilmesi direncine bağlıdır (sürtünme ve/veya kohezyon). Kayaların farklı tipleri “kaotik kayalar”dan “koheziv ve katı kayalar”a kadar değişen ve mukavemetlerinin ampirik yaklaşımlarına göre belirlenen bir çok sınıflandırma şeklinde gruplandırılır.

c)Katmanlaşma: Tabakalaşma, şev ve tabakanın karşılıklı eğimlerine bağlı olarak homojen ve izotropik olmayan kayaların stabilitesini önemli derecede etkiler. Şekil 2.10’da farklı olası kombinasyonlar α_{s1} (şevin düşey eğimi) ve α_{st} (tabakanın düşey eğimi) ile gösterilmiştir. Şekil 2.10c’de ana tabakalaşma üzerine süperpoze olan çatlakların ikincil durumları gösterilmiştir. Şekil 2.10e’de ise vadi eğimi ve tabaka arasındaki uygun yatay açı α_{sv} ile oluşan şev stabilitesi gösterilmiştir (sırasız tabakalaşma). Şekil 2.10’daki farklı durumlar artan stabiliteye göre (a)’dan (h)’a doğru sıralanmıştır.



Şekil 2.10 Şev stabilitesi ve tabaka azalması. Stabilite (a)'dan (h)'a doğru artar (Di Silvio, 1984).

Stabilite faktörünün nümerik değerlendirmesi daima uygun bir ölçekle yapılır. Örneğin İtalya Apennies dağlarında bir havzada yapılan çalışmada stabilite faktörleri için uygulanan ölçekler aşağıdaki gibidir (Amadesi vd., 1977);

a)Geometri:

Çizelge 2.4 Şev dikliğine uygun ölçekler (Di Silvio, 1984)

<i>Diklik Sınıflandırması</i>	<i>Uygun Ölçek</i>
>%50	-2
%50-35	-1
%35-20	0
%20-10	1
<%10	2

b)Litoloji

Çizelge 2.5 Kaya tiplerine uygun ölçekler (Di Silvio, 1984)

<i>Kayaların Sınıflandırması</i>	<i>Uygun Ölçek</i>
Kaotik kayalar	1
Koheziv kaya tabakalarını içeren Psödo-koheziv kayalar	2
Yarı koheziv kayalar üzerindeki koheziv kayalar	3
Psödo-koheziv kayalar (silt ve kil)	4
Koheziv olmayan kayalar (kum, çakıl)	5
Yarı koheziv kayalar	6
Koheziv tabaka ve psödo-koheziv kaya alternatifleri (gevşek konsolide edilmiş kum taşları)	7
İnce tabakalı yarı koheziv kayalar	8
Tabakalı koheziv kayalar (kireçtaşı, kum taşı)	9
Katı kayalar (kireç taşı, granit, dolomit)	10

c)Tabakalaşma

Çizelge 2.6 Katmanlaşmaya göre uygun ölçekler (Di Silvio, 1984)

<i>Durum Sınıflandırması (Şekil 2.10)</i>	<i>Uygun Ölçek</i>
Şekil 2.10a	1-2
Şekil 2.10b	3-4
Şekil 2.10c	5
Şekil 2.10d	6
Şekil 2.10e	7
Şekil 2.10f	8-9
Şekil 2.10g	10
Şekil 2.10h	11

Stabilite faktörlerinin uzamsal dağılımı, elemanter su yolunda havza yüzeyinin bölünmesiyle ya da karesel-ağlar yöntemi ile haritalanır. Gereken ağ boyutuna karar verildikten sonra (örn: 1ha, 10 ha, 100 ha, inceleme altındaki probleme göre değişir) verilen her bir ağ için her bir faktörün yerel değeri belirlenir. Bu yöntemde diklik haritası, litolojik harita ve tabakalaşma haritaları elde edilir. Sonuç olarak stabilite indeksinde aynı bölgeye karşılık gelen değerler işaretlenerek tüm stabilite haritası çıkarılır.

Stabilite indeksi üç faktörün cebirsel toplamı ile belirlenir; eğim stabilite aralığının giriş ölçeği minimum (0) değerinden çok dik eğimlerde (-2), kaotik kayalarda (+1), sırasız tabakalarda (+1), çok yumuşak eğimlerde (+2) katı kayalarda (+10), $\alpha_{st} > 90$ olan tabakalarda (+11) vb. maksimum 23 değerine kadar değişir.

Stabilite indeksinin sonuçları bazı deneysel sonuçlarla kalibre edilebilirse güvenilirliği artmaktadır (Örneğin, büyük bir fırtına sırasında oluşan toprak kayması miktarı ile stabilite indeksi arasında önemli bir korelasyon varsa). Çökelen katı madde miktarının belirlenmesi olaydan önce ve sonra aynı alanın hava fotoğraflarının karşılaştırılması ve her bir birim alanda oluşan toprak kayması yüzeyinin değerlendirilmesi ile yapılabilir. Çökelen katı madde miktarını belirlemenin toprak kayma yüzeylerinin değerlendirilmesinden daha güvenilir bir yolu da kayan toprak hacmine aşağıdaki G değerinin yaklaşık olarak oranlanmasıdır.

$$G = A_d S_s H \quad (2.23)$$

(2.23) denkleminde A_d toprak kayma yüzeyi, S_s şev dikliği ve H şev yüksekliğidir. Küçük bir havzanın ortalama şev dikliğini ve şev yüksekliğini belirlemek için morfoklimatik harita kullanılabilir.

2.4 Taban Erozyonu

2.4.1 Taşınım Formülü

Bir su yolundaki hidrografik ağda erozyon-yığılma prosesini incelemekten önce katı madde taşınımında temel bazı kavramların hatırlanması gerekmektedir.

Burada, toplam “taban malzemesi” taşınımı yani yıkanan malzeme dışında akım tarafından taşınan toplam katı madde miktarı (sürüntü ve askı malzemesi olarak) düşünülmelidir. Diğer bir deyişle sadece tabanda mevcut olmayan çok ince malzemenin tabanla temas etmeden akımla taşındığı düşünülmektedir.

Akım karakteristiklerinin ve katı madde boyutunun bir fonksiyonu olarak toplam “taban malzemesi” taşınımının hesaplanması için birçok formül önerilmiştir (Meyer-Peter Müller, Einstein, Kalinske, Brown, Hansen ve Engelund).

Boyutsuz taşınım parametresi T^* ve sedimentolojik Froude sayısı F^* arasındaki bağıntıdan bu formüllerin çoğu için genel bir ifade çıkarılabilir;

$$T^* = f(F^*) \quad (2.24)$$

$$T^* = \frac{q_s}{d\sqrt{(g\Delta d)}} \quad (2.25)$$

$$F^* = \frac{u^2}{g\Delta d} \quad (2.26)$$

burada q_s birim genişlikten geçen katı madde debisi, d tabandaki nominal tane boyutu (örneğin; ortalama çap, medyan çap d_{50} , tanenin %90'ının geçtiği elek çapı d_{90} vb.), $\Delta = (\rho_s - \rho)/\rho$ tanelerin su içindeki rölatif özgül kütlesi, g yerçekimi kuvveti, $u^* = \sqrt{\tau/\rho}$ kayma hızı ve τ taban kayma gerilmesidir.

Belirli bir katı madde boyutu ve akım hızı için eşitlik 2.24'e şu şekilde yaklaşılabilir:

$$T^* = \alpha' F^{*\beta} \quad (2.27)$$

burada α' ve β özel formüllere bağlıdır (β genellikle 2,5 ile 3 arasında değişir).

Eşitlik (2.27) ile birlikte düşünülerek su için uniform akış formülasyonu elde edilebilir.

Örneğin Gauckler-Strickler-Manning formülü şu şekildedir

$$v = k h^{2/3} i^{1/2} \quad (2.28)$$

burada v ortalama akım hızı, $k \sim d^{-1/6}$ direnç katsayısı (düzlem taban), h su derinliği ve i enerji çizgisi eğimidir.

Birçok katı madde için $\Delta \approx 2.6$ ve $\tau = \gamma h i$ olduğu düşünülerek eşitlik (2.27) yeniden yazılabilir:

$$q_s = \alpha_s q^{\frac{3\beta}{5}} d^{\left(\frac{3}{2} - \frac{9\beta}{10}\right)} i^{\frac{7\beta}{10}} \quad (2.29)$$

Burada $q = vh$ birim genişlikten geçen akım debisidir. $Q = q \cdot b$ akım debisinin bir fonksiyonu olarak katı madde debisi $Q = q \cdot b$ (b genişlikli kesit için) miktar hesaplanabilir.

$$Q_s = q_s b = \alpha_s \frac{Q^{\frac{3\beta}{5}} i^{\frac{7\beta}{10}}}{b^{\left(\frac{3\beta}{5} - 1\right)} d^{\left(\frac{9\beta}{10} - \frac{3}{2}\right)}} \quad (2.30)$$

Eşitlik 2.30 belirli bir debiye sahip akım tarafından taşınan katı madde miktarını vermektedir (bu akım genişlik, eğim ve taban malzemesi boyutu ile karakterize edilir).

α ve β sabitleri özel bir taşınım formülasyonu referans alınarak hesaplanabilir. Burada hatırlanması gereken çeşitli taşınım formülasyonlarının her birinin laboratuvar verilerine dayandığı, farklı deneysel koşullardan elde edildiği ve sedimentolojik ve hidrodinamik parametrelerin (tane boyutu, su derinliği, akım hızı vb.) belirli aralıklarla sınırlı olduğudur.

güvenilir bilgiler elde yoksa üstel β katsayısı doğrusal akarsular için 2.5 ve dik akışlar için 3 alınabilir. Bu durumda eşitlik (2.30) aşağıdaki ifadeye dönüşür:

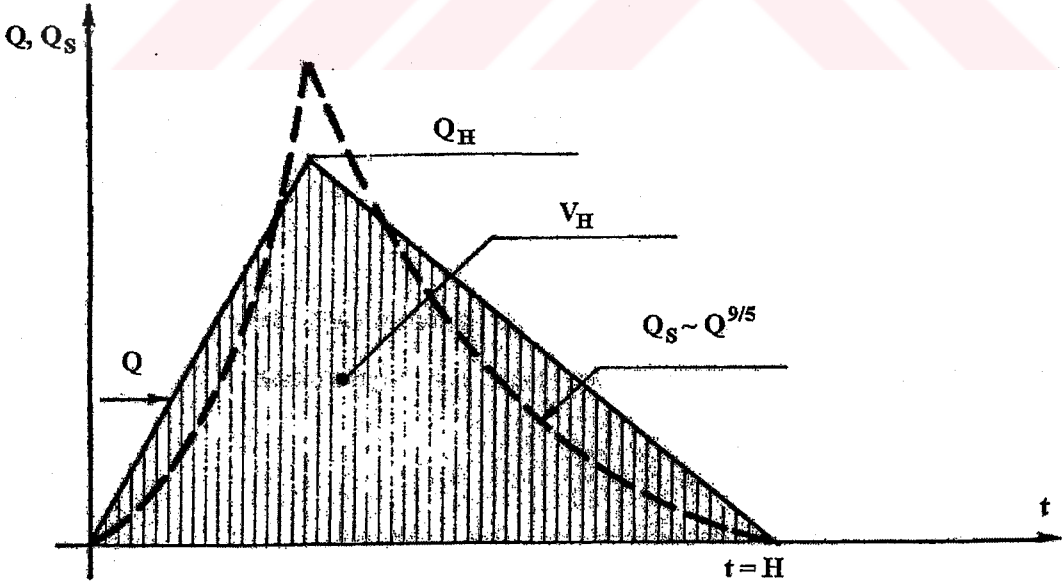
$$Q_s = \alpha \frac{Q^{\frac{9}{5}} i^{\frac{21}{10}}}{b^{\frac{4}{5}} d^{\frac{12}{10}}} \quad (2.31)$$

2.4.2 Normal Şartlarda Verilen Bir Hidrograf ile Katı Madde Taşınımı

Normal bir taşkın dalgasının geçişi sırasında (Şekil 2.11) genişlik (b), malzeme boyutu (d) ve enerji eğimi (i) değerleri büyük değişimlere uğramaz. b, d ve i'nin sabit olduğu kabul edilirse, hidrograf süresi boyunca eşitlik (2.31) integre edilebilir ve katı madde taşınımı T_H elde edilebilir. Eğer hidrograf üçgen ise taşınım aşağıdaki gibidir:

$$T_H = \int_H Q_s dt = \frac{\alpha i^{\frac{21}{10}}}{b^{\frac{4}{5}} d^{\frac{12}{10}}} \int_H Q^{\frac{9}{5}} dt = \frac{5}{7} \frac{\alpha i^{\frac{21}{10}}}{b^{\frac{4}{5}} d^{\frac{12}{10}}} \left(Q_H^{\frac{4}{5}} V_H \right) \quad (2.32)$$

burada Q_H hidrograf pik akışı ve V_H akış hacmidir.



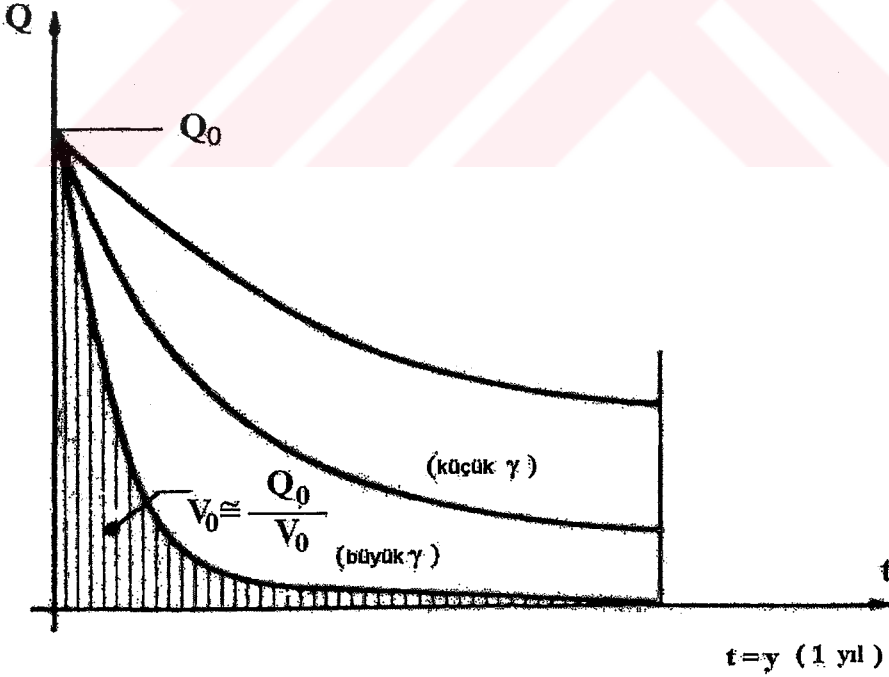
Şekil 2.11 Normal bir taşkın sırasında akım ve katı madde debisi (eşitlik 2.31). Taşkın sırasında taşınan katı madde miktarı eşitlik (2.32) ile verilmiştir (Di Silvio, 1984).

T_H katı madde miktarı eşitlik (2.32)'deki yıkanan malzeme dikkate alınmadığı durum hariç havza katı maddesine eşit alınabilir. Bölüm 2.3.2.2'de belirtildiği gibi katı madde miktarı hem pik akışa hem de akış miktarına bağlıdır.

Ancak eşitlik (2.32), sadece taşkın sırasında b , d ve i sabit olarak kabul edildiğinde geçerlidir. Bu durumda istisnai durumlarda yerel eğimler, erozyon-yığılma prosesinin bir sonucu olarak çok büyük değişimler için denenebilir. Bu yüzden gerçek taşınım çok büyük taşkınlar sırasında eşitlik 2.32 ile elde edilenden daha büyük olabilir.

2.4.3 Normal Şartlarda Yıllık Katı Madde Taşınımı

Bir akımın normal yıllık taşınımını belirlemek için eşitlik (2.31) birkaç yıllık periyod boyunca integre edilmelidir (ortalaması alınmalıdır). İntegrasyon periyodu sırasında b , d ve i 'nin sabit kaldığı kabul edilmelidir. Bu hipotez yalnızca söz konusu periyod sırasında erozyon-yığılma işlemi akım eğiminden hassas olarak etkilenmiyorsa geçerlidir. Bu koşullar altında yıllık taşınım Şekil 2.12'de görüldüğü gibi akım süresi boyunca eşitlik 2.31'in integre edilmesi ile elde edilmektedir.



Şekil 2.12 Düzensiz akım tipleri için süre eğrileri (eşitlik 2.33). Akım tarafından taşınan yıllık katı madde miktarı eşitlik (2.36) ile verilmiştir (Di Silvio, 1984).

Küçük bir akım için akış-süre eğrisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Q = Q_0 \cdot e^{\frac{-\gamma t}{y}} \quad (2.33)$$

burada Q t süresi için en küçük akım debisi, Q_0 yıllık pik akış, y bir yılın tam süresidir. γ katsayısı havzanın iklimsel ve morfolojik karakteristiklerine bağlıdır; γ sayısı arttıkça yıl boyunca akım dağılımı daha fazla düzensizleşir. Küçük akımlar için γ sayısı genellikle 1'den daha büyüktür.

Kesite bir yıl boyunca akan su hacmi V_0 (yıllık akış), süre eğrisinin integrasyonu ile elde edilir.

$$V_0 = \int_y Q \cdot dt = \frac{Q_0}{\gamma} (1 - e^{-\gamma}) \cong \frac{Q_0}{\gamma} \quad (2.34)$$

Aynı kesit boyunca taşınan katı madde hacmi T_0 (yıllık taşınım) eşitlik (2.31) integre edilerek bulunur.

$$\begin{aligned} T_0 &= \int_y Q_s \cdot dt = \frac{\alpha \cdot i^{\frac{21}{10}}}{b^{\frac{4}{5}} \cdot d^{\frac{12}{10}}} \int Q^{\frac{9}{5}} \cdot dt \\ &= \frac{5}{9} \cdot \frac{\alpha}{\gamma} \cdot \frac{i^{\frac{21}{10}} \cdot Q_0^{\frac{9}{5}}}{b^{\frac{4}{5}} \cdot d^{\frac{12}{10}}} \left(1 - e^{-\frac{9}{5}\gamma} \right) \\ &\cong \frac{5}{9} \cdot \frac{\alpha}{\gamma} \cdot \frac{i^{\frac{21}{10}} \cdot Q_0^{\frac{9}{5}}}{b^{\frac{4}{5}} \cdot d^{\frac{12}{10}}} \end{aligned} \quad (2.35)$$

Eşitlik (2.34) ve (2.35)'in karşılaştırılması ile aşağıdaki ifade elde edilir:

$$T_0 = \frac{5}{9} \alpha \frac{i^{\frac{21}{10}}}{b^{\frac{4}{5}} \cdot d^{\frac{12}{10}}} \left(Q_0^{\frac{4}{5}} \cdot V_0 \right) \quad (2.36)$$

Eşitlik (2.36) yıllık taşınımın morfolojik faktör ile ifade edildiğini göstermektedir.

$$a = \frac{5}{9} \alpha \frac{i^{\frac{21}{10}}}{b^{\frac{4}{5}} \cdot d^{\frac{12}{10}}} \quad (2.37)$$

Bu eşitlik akım tabanının bölgesel karakteristiklerine ve hidrolojik faktörlere bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir

$$\left(Q_0^{\frac{4}{5}} \cdot V_0 \right) \quad (2.38)$$

Eşitlik (2.38) bu kesitteki yıllık pik akış ve yıllık akış hacmine bağlıdır.

2.4.4 Dengelenmiş Akımların Morfolojik Faktörleri

Bu noktada morfoklimatik dengede bir su yolu için, hidrografik ağın herhangi bir kesitindeki morfolojik faktörlerin herhangi bir erozyon ya da yığılma olayının oluşmadığı uzun bir zaman periyodunda olduğu kabul edilir. Bu durumda herhangi bir kesit boyunca ortalama taşınım, uygun su yolunun ortalama katı madde miktarına eşittir.

Diğer taraftan, erozyon ve yığılma hidrolojik döngünün bir sonucu olarak akım boyunca oluşabilir. Ancak bu değişimler, kısa periyodlar içinde dengelenmektedir (aynı yıl içinde ya da birkaç yıllık sürede).

Burada iki akımın birleştiği noktada hangi olayların meydana geleceği düşünülmelidir: Su yolu eğer morfoklimatik dengede ise “mansap” (indeks d) kesitindeki taşınım “menba” (indeks u) kesitindeki taşınım ile bir “akarsu kolu”ndan (indeks t) gelen normal taşınımın toplamına eşit olmalıdır:

$$T_{ou} + T_{ot} = T_{od} \quad (2.39)$$

Burada üç bölgenin morfolojik faktörü (eşitlik 2.37) ve hidrolojik faktörü (eşitlik 2.38) birbirleri ile aşağıdaki gibi bağıntılıdır

$$a_u \cdot Q_{ou}^{\frac{4}{5}} \cdot V_{ou} + a_t \cdot Q_{ot}^{\frac{4}{5}} \cdot V_{ot} = a_d \cdot Q_{od}^{\frac{4}{5}} \cdot V_{od} \quad (2.40)$$

Homojen havzalar için, Q_0 'ın yaklaşık olarak "kök A" ile orantılı olduğu kabul edilebilir. Burada A su yolu yüzeyidir. Eşitlik (2.40)'dan V_0 'ın A'ya orantılı olduğu hatırlanarak şu bağıntı elde edilir

$$\frac{a_u}{a_d} \left(\frac{A_u}{A_d} \right)^{\frac{7}{5}} + \frac{a_t}{a_d} \left(\frac{A_t}{A_d} \right)^{\frac{7}{5}} = 1 \quad (2.41)$$

Yıllık pik akış rasyonel bir formül ile verilmektedir: $Q_0 = CHA/t_c$, burada C akış katsayısı ve H konsantrasyon süresine eşit olan süredeki yılın en büyük yağış yüksekliğidir. T büyüklüğü $\sqrt{A}$ ile az ya da çok orantılıdır. Bu yüzden $Q_0 \approx \sqrt{A}$ olarak yazılabilir.

Akımın herhangi büyük bir kolunda morfolojik faktör pratik olarak sabit kalır ($A_t = A_d - A_u = 0$). Diğer bir deyişle taban eğimi artarsa (azalırsa) ya da taban genişliği azalırsa (artarsa) taban malzemesinin tane boyutu artmaktadır (azalmaktadır). Buna karşılık önemli kavşakların mansaplarında, akımın morfolojik faktörü eşitlik (2.41)'e göre değişecektir. Bu durum akarsu kolundaki su yolunun karakteristiklerine bağlıdır.

Şekil 2.13'te morfoklimatik dengedeki bir dağ su yolunun hidrografik ağı boyunca akım karakteristiklerine bir örnek verilmiştir (Torrent Mae, İtalya). Her bir alt havzanın ortalama katı madde miktarı, karşılık gelen yakın bölgeler boyunca akım taşınımına eşittir.

2.4.5 Dengelenmiş Akımlarda Erozyon ve Yığılma Değişimi

Uzun dönem denge şartlarının tercih edilmesine rağmen; akım yağış miktarının zamana ve konuma göre dağılımına bağlı olarak yıl boyunca farklı fazlarda erozyon ve yığılmaya uğrayacaktır. Bu değişim Q_H pik debisine ve V_H hacmine sahip bir taşkın geçişi sırasında bir kavşakta gözlenerek kolayca belirlenebilir. Bu durumda kavşaktaki katı madde dengesi aşağıdaki gibidir

$$\Delta T_H = T_d - (T_u + T_t) \quad (2.42)$$

burada ΔT_H , çıkış (T_d) ve giriş ($T_u + T_t$) arasındaki eksik hacmi göstermektedir:

$$\Delta T_H = a_d \left(Q_H^{\frac{4}{5}} \cdot V_H \right)_d - \left[a_u \left(Q_H^{\frac{4}{5}} \cdot V_H \right)_u + a_t \left(Q_H^{\frac{4}{5}} \cdot V_H \right)_t \right] \quad (2.43)$$

Burada ilk olarak havza boyunca havzanın konsantrasyon süresinden kesinlikle daha büyük bir sürede yağışın, üniform olarak dağılmış olduğu düşünülmelidir, bu durumda (uzun ve doğrusal hidrograflar) hem Q_H akım debisinin hem de V_H akış hacminin havzanın yüzeyi ile orantılı olduğu kabul edilebilir. Bu durumda eşitlik 2.43 aşağıdaki gibi yazılabilir

$$\frac{\Delta T_H}{T_d} = 1 - \left[\frac{a_u}{a_d} \left(\frac{A_u}{A_d} \right)^{\frac{9}{5}} + \frac{a_t}{a_d} \left(\frac{A_t}{A_d} \right)^{\frac{9}{5}} \right] \quad (2.44)$$

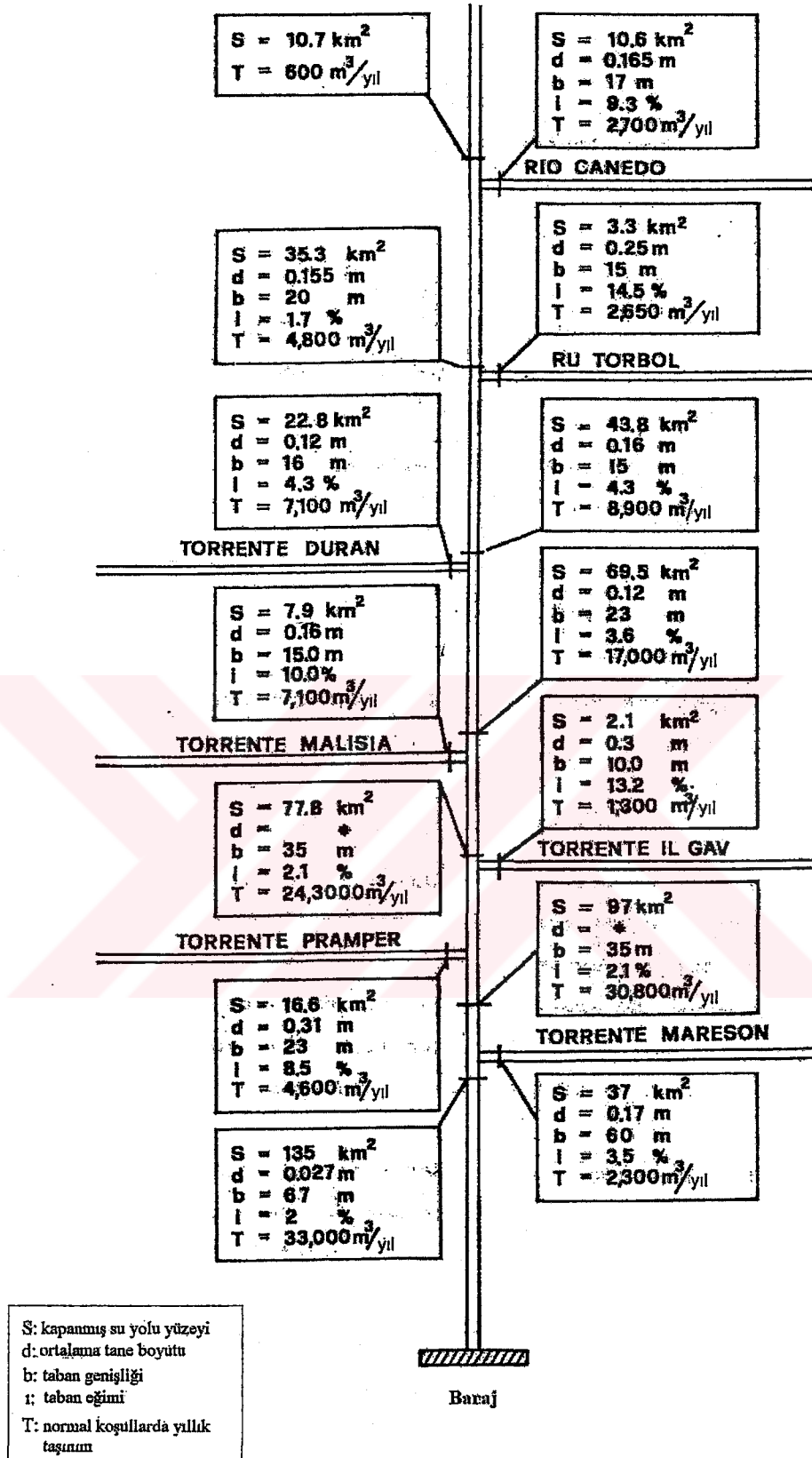
ve eşitlik 2.41 ile karşılaştırıldığında aşağıdaki eşitlik elde edilir

$$\frac{\Delta T_H}{T_d} = \frac{a_u}{a_d} \left[\left(\frac{A_u}{A_d} \right)^{\frac{7}{5}} - \left(\frac{A_u}{A_d} \right)^{\frac{9}{5}} \right] + \frac{a_t}{a_d} \left[\left(\frac{A_t}{A_d} \right)^{\frac{7}{5}} - \left(\frac{A_t}{A_d} \right)^{\frac{9}{5}} \right] \quad (2.45)$$

Eşitlik 2.45'den görüldüğü gibi, uzun ve doğrusal bir hidrografta erozyon oluşur (ΔT_H daima pozitifdir). Buna karşılık yağışın kısa süreli olduğu ve havzanın üst kısımlarında yoğunlaştığı durumlarda kavşaktaki toplam katı madde girişi, katı madde çıkışından daha büyük olur ve yığılma meydana gelir. Burada şuna dikkat edilmelidir ki normal şartlarda oluşan erozyon ve yığılma miktarları çok sınırlıdır ve bu yüzden genellikle istenmeyen etkiler beklenebilir.

2.4.6 Denge Şartlarının Değişmesi Durumunda Uzun Dönemde Gelişim

Eğer herhangi bir nedenle denge koşullarının değiştiğini kabul edersek, su yolunun menbasından gelen katı madde miktarının sürekli olarak arttığını (havza yüzeyinin büyük kısmı ormansızlaştırıldığında) ya da azaldığını (havza yüzeyinin büyük kısmı yeniden ormanlaştırıldığında veya yeni bir rezervuar katı madde taşınımını engellediğinde ya da baraj gölleri ile katı madde taşınımını engellendiğinde vb.) söyleyebiliriz. İlk durumda akım depolanmaya karşı fark edilir bir eğilim gösterecek, ikinci durumda ise bu eğilim erozyona doğru olacaktır. Böylece sürekli olarak akım eğimi artacak (yığılma durumunda) veya azalacaktır (erozyon durumunda) ve eğim değişimi tedrici olarak mansap yönünde



Şekil 2.13 Torrent Mae hidrografik ağının ve kollarının şematik gösterimi (İtalya). Normal şartlar için morfolojik veriler ve katı madde taşınımı (Di Silvio, 1984).

görülebilecektir. Bunun sonucu olarak uzun süreli taşınımında menbanın yeni sınır koşulları belirlenerek yeni bir denge profili oluşacaktır.

Katı madde kaynağına bağlı olarak akımın son konfigürasyonu orijinalinden farklı olabilir ve bunun için gereken zaman yıllar, on yıllar hatta yüzyıllar mertebesinde olabilir.

Akım profilinin gelişimi mansap sınır koşullarının u ile de başlayabilir (örneğin; taşınımın yeni bir rezervuar veya yığılma ile kesilmesi). Bu durumda pertürbasyon rezervuardan menba doğrultusunda yayılacaktır.

Zamana ve konuma bağlı olan olayın yeni bir denge konfigürasyonuna uyarlanması, akım boyunca elemanter dx mesafesi için yazılan katı madde dengesi eşitliği ile tanımlanmıştır:

$$\frac{\partial(yb)}{\partial t} = \frac{\partial T_o}{\partial x} + g \quad (2.46)$$

burada $y(x, t)$ referans seviyesi üzerindeki taban yükselmesi, b akım genişliği, $T_o(x, t)$ yıllık taşınım ve $g(x)$ yanal katı madde giriştir. Yıllık taşınım T_o eşitlik 36 ile elde edilmektedir. Bu eşitlikte b ve d zamanla sabit kalırken taban eğimi $\partial y/\partial t$ ile ifade edilmektedir. Yukarıdaki eşitlik yeni sınır koşullarına maruz kalan su yolunun bütün hidrografik ağı boyunca integre edilmelidir (katı madde giriş ve çıkışı değişmiştir). Eşitlik (2.46)'nın nümerik metotlarla integrasyonu taban profilinin y ve yıllık katı madde taşınımının (T_o) ana akım ve yan kollar boyunca yıldan yıla değişimini vermektedir.

Aslında, erozyon sırasında katı madde boyutu arttığı için (taban zırhlanması) taban malzemesi sınıflanmaktadır.

Ancak birçok durumda, akımın son konfigürasyonunun belirlenmesi ve yeni denge koşullarına ulaşmak için gereken zamanın kaba bir tahmini yeterlidir. Birçok durumda akımın sonuç konfigürasyonu, herhangi bir derinlikte ekstrem sonuçlarla taban değişimi (erozyon ya da yığılma) kolayca belirlendiği için kabul edilemez. Bu gibi durumlarda akım yönetimi ihtiyaçları ile hesaplanabilecek farklı denge koşullarını sağlamak için ölçümler alınmalıdır. Kabul edilebilir denge koşulları, hem su yolundaki katı madde miktarı hem de akım boyunca katı madde taşınımından belirlenebilir.

2.4.7 Ekstrem Şartlarda Katı Madde Taşınımı

Bir kesitte taşkın sırasında taşınan katı madde miktarı hidrograf süresi boyunca integre edilen eşitlik (2.31) ile verilmektedir.

Bölüm 2.4.2’de ifade edildiği gibi taban eğimi, akım genişliği ve taban malzemesi boyutu pratik olarak bir taşkın sırasında değişmemektedir. Bu durum büyük miktarda katı madde taşınımının meydana gelmediği normal şartlarda geçerli olsa da, akım boyunca büyük erozyon ve yığılma oluştuğunda geçerli olmaz. Bu durumda eğim değişimleri de hesaba katılmalı ve gerçek taşınımın T_H^* , eşitlik (2.32) ile belirlenen miktardan çok farklı olabileceği göz önünde tutulmalıdır.

Gerçekte, uzun süren ve şiddetli fırtınalarda taban erozyonları, özellikle konsantrasyon sürelerinin daha kısa olduğu, su yolunun en küçük havzalarında hidrografik ağ boyunca armektadır. Sonuç olarak, daha önce erozyona uğramış bölgelerle karşılaştırıldığında su yoluna aşırı büyük hacimlerde katı madde taşıyan büyük toprak kaymaları ile birlikte vadi eğimi azalır. Taban eğimi çökelen malzeme nedeniyle önemli ölçüde artarken yerel taşınım da artar. Bu durumda pertürbasyon, mansaba doğru yayılacaktır. Toprak kayması direk olarak ulaşmasa da bütün ağ boyunca gerçek katı madde taşınımı T_H^* , T_H' ’dan çok daha büyük olur. Beklenmedik bir fırtınanın birkaç saati boyunca akıma giren katı madde miktarı, bazı durumlarda normal şartlarda oluşan yıllık katı madde miktarından 10 kat daha büyük olabilir. Sonuç olarak tüm hidrografik ağ boyunca genelleşen bir yığılma oluşur ve bu yığılma birkaç metre derinliğe kadar ulaşabilir. Bu ani yığılma özellikle vadi tabanı yoğun olarak yerleşime açılmışsa ekstrem bir etkiye (köylerin yokolması, yolların bozulması vb.) neden olabilir. Beklenmeyen bir fırtınayı takiben akım boyunca büyük yığılmalar oluşmasına bir örnek Şekil 2.14’te verilmiştir. Burada, Şekil 2.13’te görülen su yolu için Kasım 1996’daki taşkın sırasındaki katı madde dengesi görülmektedir.

Gerçek ekstrem olaylar ve sonucunda oluşan yığılma büyük miktarda malzeme taşınmasını önleyemediği için, genellikle çok sık karşılaşılan bir durum değildir. Dağ akımlarının yerel olarak toplanmaları, sınırlı miktar ve yayılıma rağmen değişken vadi eğiminin herhangi bir yerinde oluşan çökelmeler yüzünden normal bir taşkın sırasında daha sık karşılaşılan bir durumdur. Bu durumda, akım boyunca en hassas ve değerli bölgeler bazı menba akımlarında aşırı taşınım kesilerek korunmalıdır.

2.4.8 Dere Erozyonu

Dere erozyonu, taban erozyonunun karakteristik bir formudur. Bir dere genellikle şiddetli bir fırtınanın sonucunda bir vadi eğimi boyunca gelişen ve aniden oluşan uzun bir kanal çeşididir. Dere, oluşum noktasından menba yönüne doğru, her bir fırtınada ilerler. Bu ilerleme miktarı yılda birkaç yüz metreye varabilir.

Dere erozyonu sıcak-nemliden, yarı-tropikal iklimlere kadar farklı çevrelerde farklı tiplerde olabilir. Dere erozyonunun oluşumu temel olarak toprak karakteristiği ile ilgilidir.

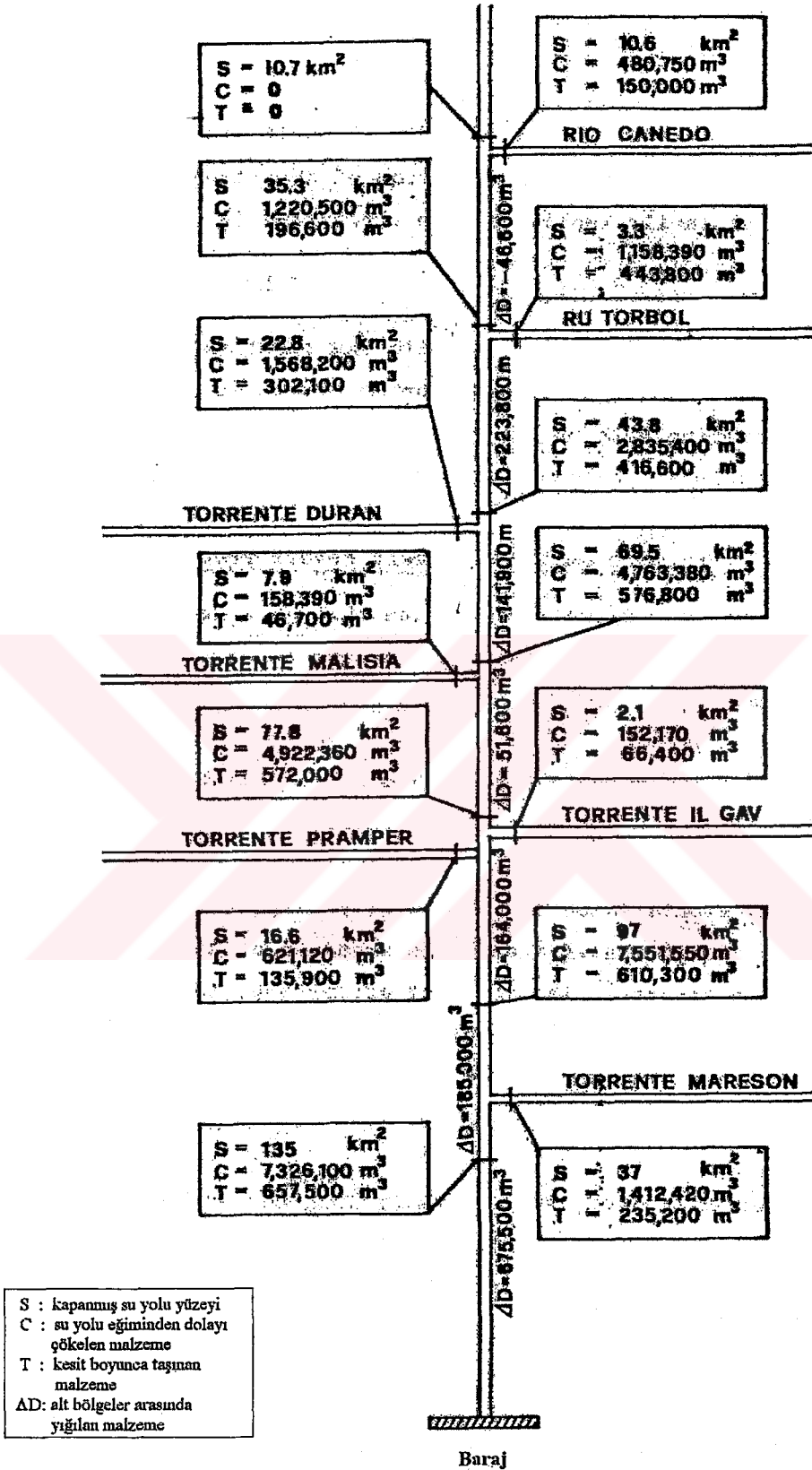
2.4.8.1 Bir Derenin Oluşumu ve Gelişimi

Az ya da çok bitki örtüsü ile kaplı bir vadi sevi düşünelim, yağmur ile kopan ve yüzeysel akış ile taşınan katı madde taneleri vadinin tüm eğimi boyunca yüzey erozyonuna neden olmaktadır. Yüzey eğiminin düzgün olmamasından dolayı akış tam olarak bir “tabaka” gibi olmayacak, bitki örtüsü dağılımı ve küçük topografik baskılarla tanımlanan ayrı bir çay modelini takip edecektir.

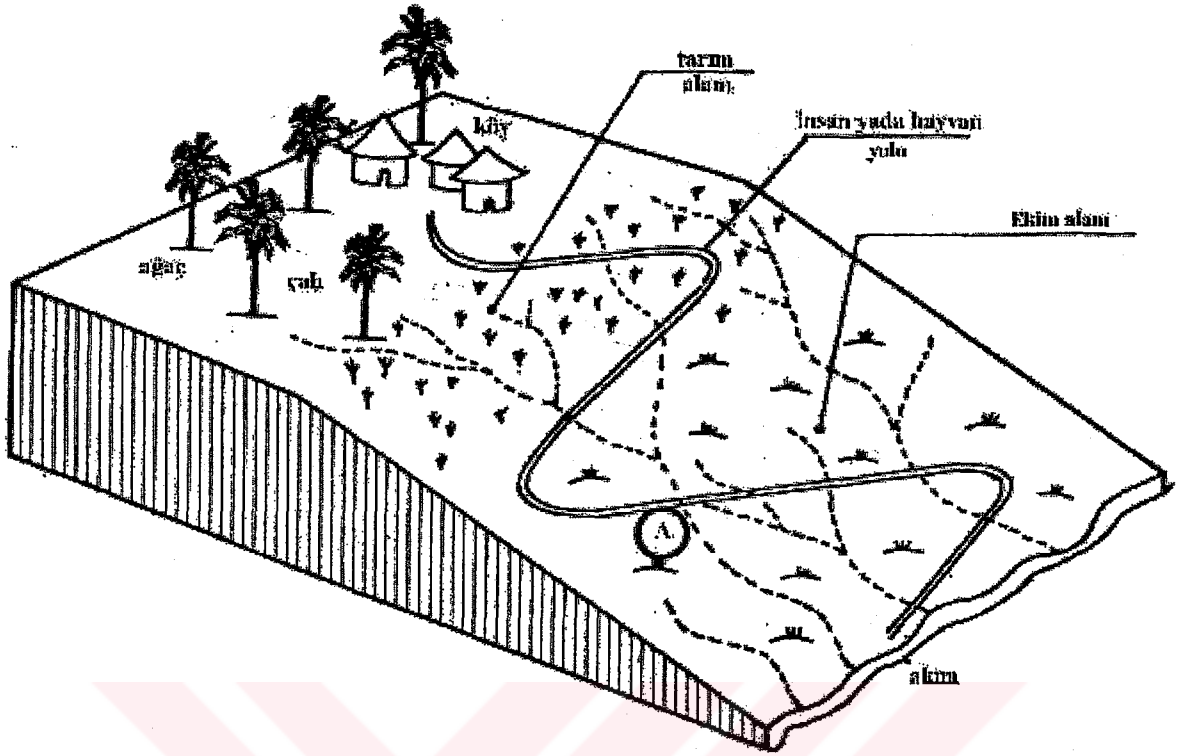
Bu çaylar boyunca akış çok hızlı olabilmesine rağmen, normal koşullarda taban bitki örtüsü, katı madde yığılması, zırhlama vb. nedenlerle korunduğundan, herhangi bir şekilde kanal erozyonu oluşmaz.

Diğer taraftan koruyucu örtünün olmadığı yerlerde yüzey erozyonu ile çaya yapılan katı madde beslemesi ile karşılaştırıldığında akım taşıma kapasitesi çok fazla olduğu için (dikliğin, akım debisinin ve taban malzemesi boyutlarının yerel bir kombinasyonu verildiğinde) taban erozyonu oldukça fazla olacak ve bu noktada dere oluşacak ve menba yönüne doğru gelişmeye başlayacaktır.

Çay tabanının koruyucu örtüsünün yok olması genellikle akım konsantrasyonunun ve/veya bitki örtüsünün yerel olarak bozulması ile oluşur. Akım debisinin konsantrasyonu genellikle birkaç küçük çayın tesadüfi karşılaşmaları ile ortaya çıkan “birleşme” ile bağıntılıdır. Bitki örtüsü bir çayın hayvan geçidi ya da yaya yolu ile geçilmesi durumunda yerel olarak bozulabilir. Şekil 2.15’te tropikal bir iklimde bir eğim boyunca “birleşme” ve dere erozyonunun tabanı bozulması gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Torrente Mae hidrografik ağının ve kollarının şematik gösterimi (İtalya). Kasım 1996'da taşkın sırasındaki katı madde dengesi (Di Silvio, 1984).



Şekil 2.15 A yerleşiminde bulunan insan veya hayvan geçişinin oluşturduğu taban bozulması ve birleşme olayı. Vadi eğimi boyunca oluşan dere erozyonu (Di Silvio, 1984)

Dere bir eğim boyunca bu koşulların olduğu herhangi bir noktada başlayabilir. Daha sonra menba yönüne doğru, bir mikro-ağ modeli izleyerek, akımın taşıma kapasitesi ve derenin küçük su yolunun oluşturduğu katı madde miktarı arasında stabil bir dengeye ulaşana kadar gelişir.

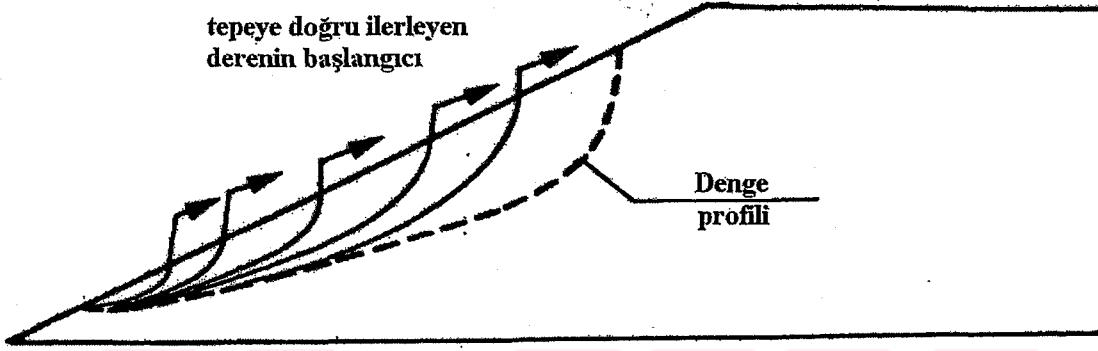
Dere ilk oluştuğunda erozyon hızlı bir şekilde meydana gelmektedir ve bitki örtüsü ne tabanda (aşamalı olarak bozulmuş) ne de şevlerde gelişme şansı yakalayamaz. Sadece denge profiline ulaştığında taban erozyonu sona erer ve kenarlar da göçme oluşmaz. Bitki örtüsü yeniden dere yüzeyini kaplayarak orijinal bir koruma meydana getirir. Stabil denge koşullarına ulaşmış bir dere “ölü dere” ya da “stabil dere” olarak adlandırılır.

2.4.8.2 Bir Derenin Denge Profili

Derenin oluşumundan hemen sonra erozyon çok hızlı meydana gelmektedir. Çünkü akımın taşıma kapasitesi küçük su yatakları ile dereye gelen katı madde miktarı oranından çok daha büyüktür. Dere, tepeye doğru geliştikçe, derinleşmekte bununla birlikte erozyon hızı yavaşlamaktadır. Derenin gelişimi sırasında aslında sadece katı madde oluşumu artmaz (dere

geliştikçe bozulmuş yüzey genişler) aynı zamanda, taban profili dikliği azaldıkça akımın taşıma kapasitesi de azalır.

Sonuç olarak taşıma kapasitesi ve katı madde oluşumu yağmurlu sezonun en kötü fırtınasında bile birbirine eşit olur ve dere tabanı Şekil 2.16'da gösterildiği gibi stabil hale gelir.



Şekil 2.16 Denge profiline ulaşana kadar oluşan dere erozyonu (Di Silvio, 1984)

Taban denge profili, fırtına sırasında kesitteki katı madde taşınımı (eşitlik 2.32) ve su yolu yüzeyinde temin edilen katı madde arasındaki eşitlik (derenin her kesitinde) ile tanımlanmaktadır.

Bu son büyüklük üniversal toprak kaybı eşitliği (eşitlik 2.2) ile verilmektedir ve "tabaka erozyonu"nun katı maddenin tek kaynağı olduğu durumlarda kullanılır. Eşitlik (2.32) için dere boyunca katı madde boyutu (d) az ya da çok sabit olabilir (homojen katı madde). Dahası su yolu alanı çok küçük olduğundan kritik fırtınalar konsantrasyon süresinden daha büyük bir süreye sahip olur ve sonuç olarak eşitlik (2.32)'deki Q_H ve V_H su yolu yüzeyine (A) orantılı olur. Akım genişliği (b), su yolu yüzeyi miktarının belli bir kuvveti (yaklaşık 1/3) ile orantılı olarak dikkate alınır. Bu durumda verilen bir kesitte katı madde taşınım kapasitesi aşağıdaki ifade ile orantılıdır.

$$i^{\frac{21}{10}} A^{\frac{22}{15}}$$

(2.47)

Diğer taraftan, yüzey erozyonu ile katı madde temini derenin dik ve çıplak şevleri ile oluşturulur ve su yolu yüzeyinin dikliği ile aşırı olarak üretildiği ve su tabanı yüzeyinin (düz ya da bitki örtüsü ile kaplı) kalan kısmından elde edilen katı madde ihmal edilebilir. Eşitlik

(2.2)'ye göre katı madde oluşumu erozyona uğramış alan (A_d) ile orantılı olur ve bu durumda denge koşulları aşağıdaki gibi elde edilir

$$i^{\frac{21}{10}} \cdot A^{\frac{22}{15}} \approx A_d \quad (2.48)$$

Üstellerin yuvarlatılmasıyla;

$$i = K_g \frac{A_d^{\frac{1}{2}}}{A^{\frac{3}{4}}} \quad (2.49)$$

Eşitlik (2.49)'daki K_g sabiti su yolunun katı madde karakteristiklerine bağlıdır ve yağmur alan bölgelerde daha düşük bir değerdedir. Belli bir bölgenin verilen katı madde tipi için K_g sabiti aynı alanın stabilize olmuş dereleri belirlenerek eşitlik (2.49)'daki iki terim arasındaki lineer regresyonla bulunabilir.

3. KIYI EROZYONU

Dünyanın pek çok yerinde kıyı çizgisinin çekilmesinden dolayı meydana gelen zararlarla ilgili oldukça fazla örnek bulunmaktadır. Ülkeler kıyı çizgilerinin değişmesini önlemek amacıyla çeşitli önlemler almak zorunda kalmışlardır. Dünyada kıyı çizgilerinin % 80'den fazlası yılda santimetrelerden metrelere kadar değişen mertebelerde erozyona uğramaktadır. Gelişmemiş bölgelerde, kıyı çizgisinin çekilmesi bir probleme neden olmamaktadır. Erozyon sadece insanların yapmış olduğu yapıları tehdit ettiği zaman bir problem haline gelmektedir.

Kıyılar, dört faktöre bağlı olarak dinamik denge durumuna ulaşmaktadır.

- 1- Kumsala kum temini
- 2- Dalga yüksekliğine bağlı olarak dalga enerjisi
- 3- Deniz seviyesi değişimi
- 4- Kıyı çizgisinin konumu

Kum, sahiller için bir besin niteliğindedir. Akarsular, erozyona uğramış yamaçlar, kıta sahanlıkları zengin kum kaynaklarıdır. Bu kaynaklardan elde edilen kum değişen miktarlarda olabilir. (National Research Council, 1990)

İnsan müdahalesi kum teminini etkileyebilir. Yakın kıyıda kumun çekilmesi kum temininin zayıf olduğu koylarda erozyon ve yığılma dengesini bozabilir. Akarsularda yapılmış olan barajlar su alınan akarsularda akım şartlarını değiştirir. Açık denizde yapılan liman inşaatları da kıyı boyunca katı madde taşınımını değiştirebilir.

Gelgit ve rüzgarın birlikte olması durumunda dalgalar kıyı değişimine neden olan kritik bileşenlerden biridir. Dalga yüksekliği arttıkça ve dalganın kıyı ile yaptığı açı büyüdükçe daha büyük bir katı madde taşınımına neden olurlar.

Deniz seviyesi yükselmesi dünyada kıyı erozyonuna oldukça fazla neden olan bir problemdir. Yeni Zelanda'da deniz seviyesi her bir yüzyılda yaklaşık 15 cm yükselmektedir. Yükselen deniz seviyesi her bir fırtınanın bir öncekine göre daha fazla içerilere doğru ilerlemesine neden olmaktadır. Deniz seviyesi yükselmesi deniz suyunun termal yayılımından ve buzullar ve buz kütlelerinin erimesinden dolayı oluşmaktadır (Yeni Zelanda buzulları günümüzde ilerleme kaydedilen hemen hemen tek buzuldur). Yeni Zelanda'nın volkanik ve deprem

aktivitelerinden çok fazla etkilenen bölgelerden biri olması nedeniyle deniz seviyesi yükselmesi bütün kıyılarla aynı olmadığı kesindir.

Kıyı çizgisinin konumu da problemin belirgin bir kısmıdır. Kıyı çizgileri fırtına ve sakin hava arasındaki periyotta ileri ve geri hareket etmektedirler. Kıyı çizgisi hareketi insanların yapmış oldukları yapıları etkilediğinde kıyı erozyonu bir problem haline gelmektedir.

Bu bölümde Amerika ve Avrupa'da kıyı ve kıyı çizgisi erozyonunun nasıl meydana geldiği örneklerle anlatılmıştır.

3.1 Amerika'dan Kıyı Çizgisi Erozyonuna Birkaç Örnek

Amerika kıtasında gözlenen kıyı çizgisi ile ilgili bazı örnekler, Meksika Körfezi örneğinde aşağıdaki şekilde değerlendirilmiştir (USEPA, 1991).

3.1.1 Meksika Körfezi'ne Genel Bakış

Meksika körfezi dünyadaki su kütleleri arasında büyüklük bakımından 9. sırada yer almaktadır. Körfez kuzeybatıda Florida'dan Alabama, Mississippi ve Louisiana ile güneybatıda Teksas ve Meksika kıyılarına kadar uzanır. Körfezin ABD kıyı çizgisindeki uzunluğu 2609 km (1631 mil)'dir ve Kaliforniya, Oregon ve Washington'ın Pasifik kıyı çizgilerinden daha uzundur. Körfez 1,6 milyon km²'den daha geniş bir alanı kaplar ve en geniş bariyer-ada sistemlerinden biridir. 33 büyük akarsu sistemi ve 207 halici bünyesinde barındırır (Buff ve Turner, 1987). Bunlara ek olarak dünyadaki en büyük akarsu sistemlerinden biri olan Mississippi akarsuyu da Meksika Körfezi'ne akar. Körfezin genel bir haritası Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Meksika Körfezi'nin genel haritası

3.1.2 Meksika Körfezinde Kıyı ve Kıyı Çizgisi Erozyonunun Sebepleri

Kumsallar dinamik bir sisteme sahiptirler. Kıyısal değişime neden olan en önemli faktörler arasında deniz seviyesi yükselmesi, katı madde temini, dalga ve gelgit olayları bulunmaktadır. Bu faktörlerden herhangi birinde meydana gelen bir değişiklik, kumsalın fiziksel ortamı ile yeni bir denge kurma ihtiyacından dolayı gözle görülebilir bir değişime neden olmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nin Meksika kıyılarında deniz seviyesi bir yüzyılda yaklaşık 0.3 m kadar ve diğer kıyılarda farklı oranlarda yükselme göstermektedir. Körfez kıyı çizgisinin doğrusal olmasından dolayı deniz seviyesindeki düşük oranlı yükselmeler bile önemli bir kıyı çizgisi erozyonuna neden olmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde görülen en yüksek rölatif deniz seviyesi yükselmesi bir yüzyılda yaklaşık 1.2 m civarında olup kumun giderek azaldığı Mississippi Akarsuyu deltasında görülmektedir (Titus, 1988).

Deniz seviyesi yükselmesi tüm bölgede geçmişle karşılaştırılabilir bir oranda, yavaş yavaş meydana gelen bir erozyona neden olmaktadır. Diğer taraftan, katı madde azalması yoğun lokal etkiler göstererek hızlı bir erozyon oluşturabilmektedir. Bu değişimler çoğunlukla dalgalar tarafından oluşan kıyı boyu taşınımında doğal olarak veya insanların etkisinde meydana gelen değişimlerdir. Barajların yapılması ve akarsu düzenlemeleri kıyı bölgesine

gelen katı madde miktarının azalmasına neden olarak erozyonu hızlandırabilmektedir. Herbir kıyı çizgisi; akarsular, kayalıklar ve kıta sahanlığı gibi bir katı madde kaynağına bağımlı olduğundan, bu kaynaklardaki herhangi bir azalma erozyona yol açabilmektedir. Kıyı duvarları kayalıklardan aşınan katı maddenin önünü kesmektedir. İyi bir şekilde tasarlanmamış olan dalgakıran, mendirek gibi yapılar o çevrede hareket halinde olan katı maddenin yönünün değişmesine, yavaşlamasına veya bir yerde hapsedilmesine neden olabilmektedir. Navigasyon kanallarında katı madde taranması ve bunun kıyidan uzaklaştırılması da kıyı katı madde temini açısından net bir kayıp teşkil etmektedir.

Doğal dalga hareketleri ve su seviyesinde meydana gelen değişimler kıyı çizgisi erozyonuna önemli bir katkıda bulunmaktadır. Fırtınalar kıyı çizgisinin çekilmesine neden olurken, bu erozyon fırtına sonrasında aynı doğal kuvvetlerle kıyıya geri taşınan kum ile onarılabilmektedir. Farklı kıyılar farklı dalga hareketleri ve fırtına iklimleri ile uyum sağlamış durumdadırlar. Örnek olarak, İngiltere sahilleri sık sık meydana gelen kuzeydoğu fırtınaları ile karşı karşıya kalırken, Meksika'nın Florida Körfezi sahilleri kasırgalara maruz kalmaktadır. Meydana gelen fırtınaların sıklığı ve şiddetindeki değişimler kıyı çizgisinin miktarında önemli bir etkiye sahiptirler.

3.1.3 Meksika Körfezi'nde Kıyı ve Kıyı Çizgisi Erozyonuna Karşı Alınan Önlemler

Kıyı ve kıyı çizgisi erozyonunun etkilerini azaltmak için stabilizasyon ve yönetim olmak üzere iki ana yaklaşım bulunmaktadır. Stabilizasyon, yapılar oluşturularak, katı madde beslemesi yapılarak ya da yapı ve katı madde kombinasyonu sağlanarak erozyon miktarının yavaşlatılması veya durdurulmasını içermektedir. Bunun yanı sıra açık kıyılarda aynı amaç doğrultusunda bitki örtüsü de kullanılabilir. Yönetim ise arazi kullanımını düzenlemeyi, kıyısız yapılanma standartlarını oluşturmayı ve uygulamayı içermektedir.

Stabilizasyon

Dalgakıranlar, mahmuzlar, kaplamalar ve kıyı duvarları açık kıyılarda kıyı çizgisi stabilizasyonu için oldukça yaygın kullanılan yapılardır. Dalgakıranlar, kıyı çizgisini etkileyen dalga enerjisini azaltmak suretiyle katı maddenin dalgalar aracılığı ile hareket edip yer değiştirmesini önlemektedir. Mahmuzlar kıyı boyu katı madde taşınımını önlemektedir. Kaplamalar da katı maddeyi doğrudan dalga etkisinden ve erozyondan koruyan bir zırh görevi görmektedir. Kıyı duvarları da aynı şekilde zırh görevi görmekle birlikte ana amaç, yapıların ve arazilerin fırtına dalgalarının sebep olduğu hasardan korunmasıdır.

Her bir yapı tipi kendi içinde çeşitlidir. Uzunluk, mesafe, yükseklik, porozite, konum gibi tasarım parametreleri değiştirilerek kıyı katı madde hareketini daha az veya daha çok etkileyecek şekilde yapılabilirler. Bununla birlikte en yaygın olarak kullanılan yapı taşlardan oluşan ve “taş dolgu” adı verilen yapılardır ve bu yapıları oluşturmak için farklı malzemeler ve tasarım yöntemleri kullanılmaktadır.

Kıyı çizgisinin çekilmesini önlemek amacıyla erozyona uğramış olan sahile genellikle ilave katı madde beslemesi yapılması tercih edilmektedir. Bu yaklaşım doğrultusunda en yaygın olarak kullanılan metod kıyı doldurma projesinin uygulanmasıdır. Bu yöntemin uygulanması, açık denizden ve iç kısımlardan temin edilen büyük miktarlardaki kumun erozyona uğramış olan kıyı bölgesine çeşitli araçlar yardımıyla veya tarama yapılarak yerleştirilmesidir. Bunun sonucu olarak birkaç ay içerisinde fırtına etkilerine karşı iç kısımları korumak üzere tabanda eşikler ve basamaklar oluşturularak kıyı bölgesi yeniden düzenlenmektedir.

Katı madde beslemesi ile erozyona uğramış olan kıyının stabilizasyonu, aynı zamanda sahilin iç kısımlarını ve doğal ortamı açık deniz dalga etkisinden ve fırtınanın yarattığı büyük dalgalardan koruyan etkili bir yol olabilir. Daha az yaygın olan bir katı madde beslemesi yolu da gelgit oluşan koylardan kumun by-pass edilmesidir. Bu teknik katı maddenin bir koydan diğerine taranarak taşınması ya da doğal transferi sağlayan özel bitkilerin kullanılması ile olmaktadır. Bu tekniğin kıyı doldurulmasından farkı erozyona uğramış kıyı çizgisinin tam olarak yeniden düzenlenememesi ancak stabilizasyonuna yardımcı olmasıdır.

Yapılan yapılar ve kıyı doldurma çalışmaları karakteristiklerinin birbirlerini tamamlayıcı olmasından dolayı bir arada düşünülmektedir. Sadece dalgakıran veya mahmuz gibi yapılar kullanıldığında birbirine çok yakın bölgelerin aşağı kıyısında hareket eden katı maddeler tutulabilir. Yapı kısmına ilave katı madde beslemesi azalabilir veya etkileri ihmal edilebilir. Tersine dalgakıran veya mahmuzları bir araya getiren kıyı doldurma projesi daha az besleme gerektirecek ve iç kısımların doldurulması daha iyi sağlanacaktır. Kaplamanın veya kıyı duvarının önündeki dolgu daha ekstrem olaylara karşı yapının bozulmadan kalmasını sağlamaktadır. Restorasyon ya da eşik oluşumunu içeren herhangi bir körfez stabilizasyon projesinde bitki örtüsü kritik bir özellik olarak düşünülmelidir. Oluşan eşiklere ilaveten kullanılabilecek olan bitki örtüsü ile, rüzgar etkisi ile sürüklenebilecek olan kumun tutulması da sağlanabilir. İyi bir biçimde kontrol edilebilen bir bitki örtüsü programı ile körfez ve

haliçler doğrudan doğruya stabilize edilebilirler. Bu çerçevede genellikle yeni bitkileri dalga etkisinden korumak amacı ile tasarlanmış düşük maliyetli yapılar oluşturulur. Bitkilerin gelişiminin ve yerleşmesinin ardından büyüyen bitkilerin devamlı olabilmesi için düzenli bir bakım programına ihtiyaç duyulmaktadır.

İyi bir şekilde tasarlanmamış olan bir kıyı stabilizasyonu olduğundan daha fazla problem yaratabilir. Bununla birlikte, doğru bir şekilde tasarlanmış olan stabilizasyon da uygulanacak bölgeye özel kabul edilebilir ve uygun bir alternatif olmayabilir. Yapısal stabilizasyon metodları ilk yatırım maliyetleri yüksek olmakla birlikte, estetik ve çevresel olarak hoş olmayan görünümlere yol açabilmektedir. Kıyı doldurma ise periyodik bakım gerektirmektedir. Geniş ve kaliteli kum kaynağına gerek duyulan bu metotta kaynak halihazırda olmayabilir. Ayrıca sahil dolgu projesi, yakın kıyıdaki suyun bulanıklığını, mercan kayalıklarındaki ve diğer biyolojik kaynaklardaki tortulaşmayı arttırmakta ve deniz kaplumbağalarının yuvalarını etkilemektedir.

Yönetim

İyi bir yönetimle kıyı ve kıyı çizgisi erozyonunun yarattığı etkiler minimize edilebilir. Örnek olarak, seddeler birçok kıyı bölgesi yönetim planında yaygın olarak kullanılmaktadır. Sedde hatlarının izin verilen çeşitli yapı tipleri için ve üzerine herhangi bir yapı yapılmasına izin verilmeyen özel bölgeler için denize doğru sınırlamaların oluşturulması gerekmektedir. Sedde hatlarının yeniden gözden geçirilmesi ve yapılandırılması erozyon riskini azaltmaktadır.

Toplam risk yönetimi programında özellikle ailelerin ikametgahları için yapı standartları önemli bir noktadır. Bu tür yapılar inşasında doğru belirlemeler kullanıldığında uzun dönemli erozyona dayanıklı olmasa bile kısa dönemli erozyonu ve kıyıdaki fırtınaların yarattığı etkileri önemli ölçüde azaltmaktadır.

Sedde hatları ve yapı standartları yeni kıyısız kalkınmada yaşanacak riski iyi bir şekilde sınırlamakla birlikte mevcut yapılar ve altyapı sistemleri üzerinde çok etkili olmamaktadırlar.

Mal sahiplerine yatırımlarını kaybetmektense başka seçenekler sunarak, kıyı erozyonunun hasara yol açtığı binaların yerinin değiştirilmesi veya yıkılması için finansal destek sağlamak risk yönetim programının etkili bir şekilde uygulanmasına yardımcı olur. Örneğin 1988 Upton-Jones düzenlenmesi ile ulusal taşkın sigorta yasası kıyı çizgisi erozyonundan dolayı çökme tehlikesindeki binalar için taşkın sigorta ödemesi yapmıştır. Devlet bu bölgede

bulunan ev sahiplerine; evlerini başka bir bölgeye taşımaları için değerinin %40'ı kadarını ve evlerini yıktırmak için ise değerinin %110'u kadarını tahsil etmektedir (National Research Council, 1990).

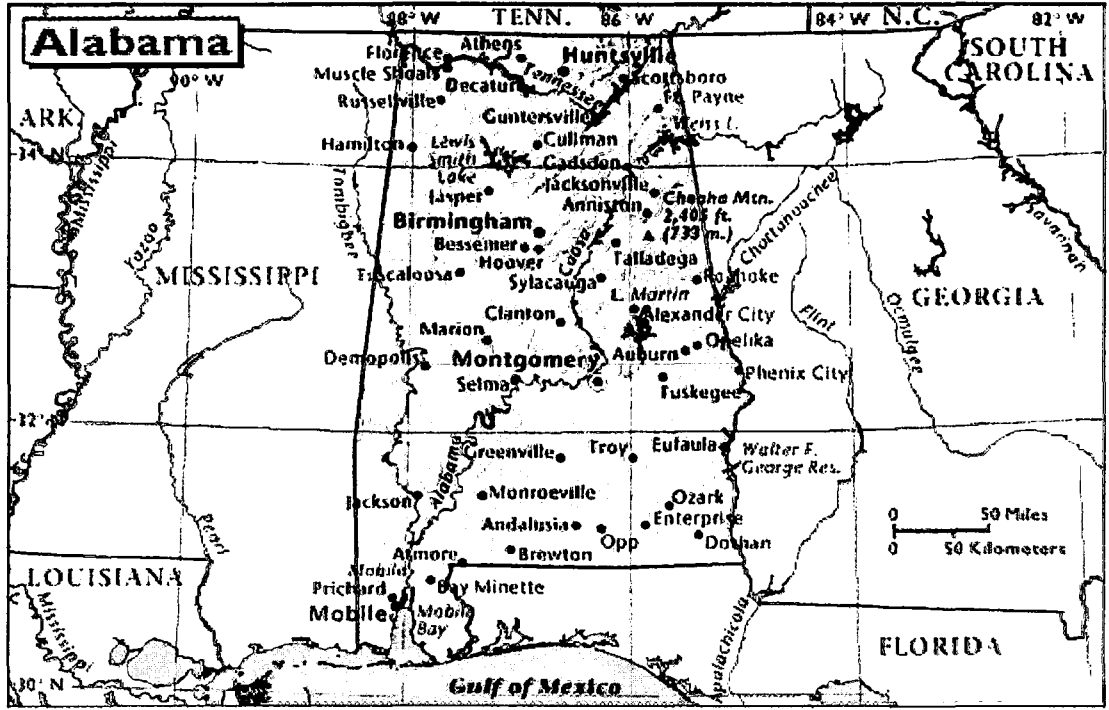
3.1.4 Bölgelere Genel Bakış

Tüm körfez bölgeleri ciddi bir erozyon problemi ile karşı karşıyadır. Erozyon miktarı yerel kıyı çizgisi karakteristiklerine ve fırtına şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Körfezin bölgelerinde erozyon miktarı 4.5 m/yıl iken Louisiana bölümü her yıl 19.8 m kadar geri çekilmektedir (Meksika Körfezi Programı, 1991). 30 yıl içerisinde süratle erozyona uğrayan bariyer adalarının tamamen ortadan kalkacağı düşünülmektedir. Bu tür adalar genellikle sulak alanlar, haliçler ve körfezler için oluşan olumsuz etkilere karşı savunma görevi görmektedirler (USEPA, 1991, Rabalais 1991).

Aşağıda her bir körfez bölgesi için verilen kısa erozyon tanımlamaları Meksika Körfezi sahilleri boyunca meydana gelen erozyonun önemini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

3.1.4.1 Alabama

Alabama kıyıları doğu Dauphin adalarından Perdido Kayalıklar'ın batı kesimlerine kadar uzanmakta ve Mobile Körfezi ve diğer birçok körfez ve boğazı içine almaktadır. Meksika Körfezi'nin Alabama kıyılarına ait haritası Şekil 3.2'de verilmiştir. Burada Meksika körfezini doğrudan cephelayan yaklaşık 75 km uzunluğunda kıyı çizgisi mevcuttur. Meksika körfezi sahillerinin hepsi kumludur. Alabama kıyısının en ilginç karakteristiklerinden biri sahil kumunun renginin çok değişken olmasıdır. Baldwin County bölgesinde Mobile Körfezi'nin doğusunda sahil kumları Florida'ya benzer şekilde parlak beyazdır. Dauphin adası üzerinde Mobile Körfezinin batısında ise sahil kumu Mississippi'nin bariyer adalarına benzer olarak daha koyu renklidir.



Şekil 3.2 Meksika Körfezi Alabama kıyıları

Alabama'da, toplam uzunluğu 725 km'nin üzerinde olan kıyı çizgisi mevcuttur. Mobile körfezi, Mississippi boğazının doğu kesimi ve Perdido körfezinin batı kısmının yarısı Alabama'nın en geniş haliçlerini oluşturmaktadır. Yapılan bir çalışmadan elde edilen verilere göre Alabama'nın toplam kıyı çizgisinin yaklaşık yarısı 1917 ve 1973 yılları arasında erozyona uğramıştır (Sapp, vd., 1975). Alabama Körfezi kıyısı aralarında dünyanın en küçük koyu ve dünyanın en büyük koyunun bulunduğu 3 koyu çevrelemektedir.

Meksika Körfezi'nde Yer Alan Sahilleri

Alabama Körfezi sahilleri Mobile ve Baldwin olmak üzere iki kıyı bölgesini içermektedir. Mobile Körfezi geçidi bu iki bölgeyi ayırmaktadır. Dauphin Adası, Mobile Körfezi geçidinin batısında Meksika körfezinde yer alan 25 km uzunluğundaki bariyer adasından ibarettir. Doğu kısmında bulunan 6 km uzunluğundaki sahiller birkaç kilometre genişliğinde olup yüksekliği deniz seviyesinden 14 m yüksekte olan kumullara ve deniz ormanlarına sahiptir. Adanın 19 km'lik batı kısmı ise sadece birkaç yüz metre genişliğindedir ve deniz seviyesinden yüksekliği 3 m'den daha azdır ayrıca deniz ormanı yoktur.

Baldwin Bölgesi'ne ait, coğrafik olarak ana karaya bağlı olan sahiller birçok göl ve lagünlere sahip olan bariyer adalarının karakteristiklerini göstermektedirler. Bu sahillerde konum ve zamana bağlı olarak değişiklik gösteren yığılma, denge durumu ve çekilme söz konusu olmaktadır. 1800'lü yılların ortalarından 1900'lü yılların ortalarına kadar bu sahillerin birçoğu

yığılma veya denge durumu göstermiştir (Stone, 1991). Bunun yanında Fort Morgan Yarımadasında bulunan Little Point güneyi ve Little Lagün Boğazı'nın aşağı kıyısı hariç erozyon görülmektedir. Fırtınalardan dolayı kıyı çizgisi değişimi zamanla çok fazla değişmektedir. 12 km uzunluğunda ve 1 km genişliğindeki gelgit lagünü olan Little Lagün Boğazı ile körfezi birbirine bağlamaktadır. 1981 yılındaki stabilizasyon çalışmalarından önce Boğaz geçici olup farklı yerlerde açılmıştır. Stabilizasyonun ardından 12 m genişliğindeki dünyanın en küçük gelgit koylarından biri olan bu boğaz burada varlığını korumuştur. 180 m uzunluğunda kıyıya dik inşa edilen jettiler batı sahillerinde geri çekilmeye doğu sahillerinde ise yığılmaya neden olmuş ve 1991 yılında sahile uzaklığı 1.2 km olan evler hasar görmüştür.

Körfez ve Boğazlar

Alabama'nın körfez ve boğaz sahilleri boyunca kıyı çizgisi erozyonu görülmektedir. Mississippi Boğazı'nın kuzey sahillerinde, Mobile Körfezi'nin batı sahillerinde ve Bon Secour Körfezi sahillerinde yılda yaklaşık 2 'm kadar çekilmenin meydana geldiği belirlenmiştir. Mobile körfezinin doğu ve kuzey sahilleri ve Mississippi Boğazı'nın güney sahilleri boyunca görülen erozyon oranı genellikle yılda 1 m'den daha azdır. Bu az fakat önemli olan erozyon oranı bu bölgede bulunan haliç ve koy sahillerinde de yaygındır.

Erozyona Karşı Alınan Önlemler

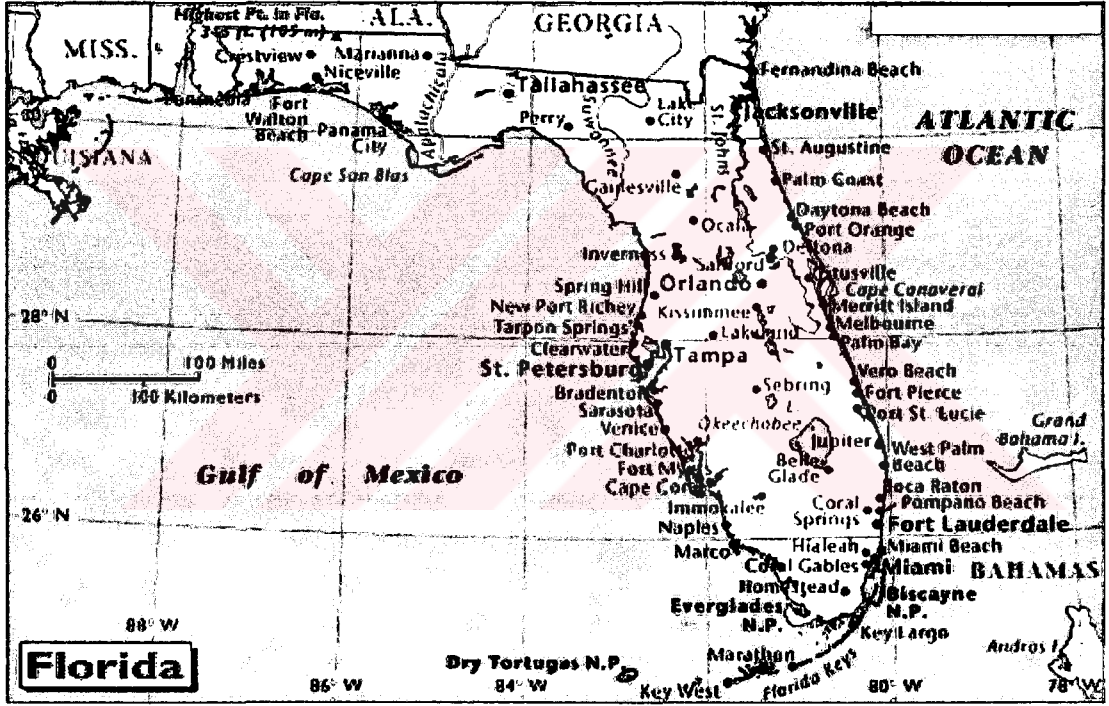
Alabama'da erozyona karşı önlemin alındığı yerler çoğunlukla koy ve körfezlerdir. Buralarda yaşayan ev sahipleri tarafından düşey kıyı duvarları inşa edilmiştir. Mobile Körfezi doğusunda bulunan Mobile şehri, Dauphin Adası'nın kuzey kesimleri ve Perdido Boğazı çevresi gibi nüfusun yoğun olduğu bölgelerdeki sahiller boyunca kıyı duvarları sıralanmıştır. Meksika Körfezi sahillerinde bu tür yapılar erozyon problemini engellemek için sahilin daha iç kısımlarında oluşturulmuştur. Kıyı duvarına sahip olan birkaç özel motel ve apartman dışında, Little Lagün Boğazı'nın batısı ve Dauphin Adası'nın doğu kısmı jettilerin yarattığı erozyona maruz kalmıştır. Lagün Boğazı'nda erozyona uğrayan bölgeye ardarda iki dolgu yapılmıştır ve yine Fort Gains'i korumak amacıyla Dauphin Adası'nın doğu bölümünde taş dolgu kıyı duvarları inşa edilmiştir. Taş dolgu dışında diğer malzemeleri kullanarak yapılmak istenen stabilizasyon işlemi yapısal anlamda yetersiz olup kıyasal proseslerde oldukça önemsiz kalmıştır.

3.1.4.2 Florida

Florida eyaleti, yaklaşık 671 km'lik bir kısmını kumlu sahillerin oluşturduğu, Meksika Körfezini cephelleyen 1202 km'den daha fazla uzunlukta kıyı çizgisine sahiptir. Kumlu

sahillerin 163 km'lik bir bölümü tehlikeli durumda olan; 146 km'lik bir bölümü de tehlikeli durumda olmayan şeklinde nitelendirilen toplam 309 km'lik bir bölümü halen erozyona maruz kalmaktadır (Clark, 1991a). Buna ek olarak, en az 5028 km uzunluğunda koy ve haliç kıyı çizgisi bulunmaktadır. Meksika Körfezi Florida kıyılarına ait harita Şekil 3.3'de verilmiştir.

Florida Körfezi sahilleri jeoloji, fizyografi ve geçmişte yaşanan erozyonlara bağlı olarak oldukça değişkendir. Etkili bir inceleme için Florida Körfez kıyıları; Panhandle, Big Bend, Lower Gulf Coast, Ten Thousand Islands, Lower Everglades ve Florida Keys olmak üzere 6 genel bölgeye ayrılmıştır. Birçok bölge de kendi arasında alt bölgelere ayrılmıştır.



Şekil 3.3 Florida kıyıları

Panhandle Körfez Kıyıları

Batıda Alabama- Florida eyaleti sınırlarından doğuda Ochlockonee akarsuyu ağzına kadar uzanan Panhandle, 351 km uzunluğunda kumlu sahilleri ve 13 tane bariyer koyuna sahiptir. Buna ek olarak 1358 km uzunluğunda iç körfez ve haliç kıyılarına sahiptir. Genel kıyı çizgisi şekli esas olarak alınırsa, Panhandle batı ve doğu bölümü olarak ayrılmaktadır. Batıya doğru kıyı çizgisi kesintisizdir ancak doğuya doğru yarımadalar ve bariyer adalarıyla çevrilerek yönü değişmektedir. Her bir bölüm de fizyografik faktörler esas alınarak kendi arasında iki alt bölgeye ayrılır.

Batı Bariyerleri

Panhandle'ın 98 km'lik batı kısmı 2 bariyer adası ve platolardan oluşmaktadır. Perdido Kayalıkları, 20.3 km'si Florida'da bulunan yaklaşık 24 km uzunluğundaki en batıdaki adadır. Doğuda ise, Florida Körfezi sahilleri boyunca en uzun kesintisiz bariyer adası olarak bilinen 76.8 km uzunluğundaki Santa Rosa adası yer almaktadır. Bu bariyerlerin genişliği 150 m'den 1000 m'ye kadar uzanır ve yükseklikleri ortalama deniz seviyesinden yaklaşık +5 m yukarıda olan kumullara sahiptir. Kumulların maksimum tepe yükseklikleri ortalama deniz seviyesinden +12 m' ye kadar çıkabilmektedir. Bu bariyerler boyunca net katı madde taşınımı batıya doğru olmasına rağmen, Perdido Kayalıklarının doğu kısmı boyunca taşınım batıdan doğuya doğru oluşmaktadır. Perdido Kayalıklarının doğusu ve Santa Rosa adalarının özellikle batı kıyıları boyunca meydana gelen erozyon artan dalga enerjisi ve kasırganın da etkisiyle yılda 1-1.5 m civarında seyretmektedir (Stone ve Salman, 1988), (Balsillie vd., 1986).

Orta Kısım

Santa Rosa adalarının doğusu ile East Boğazı, Florida kıyılarında ender görülen bir fizyografi sergileyerek 81.4 km'lik bir kıyıya sahiptir. Anakara kıyıları boyunca kumul yüksekliği 4.6 m-14.7 m arasında değişirken kumsal genişliği ortalama 60 m'dir. Kıyı bölgesi körfezde bulunan irili ufaklı göllere akan çok sayıda akarsu ile kurumaktadır. Bu mevsimsel çıkışlar batıya doğru hakim olan kıyı boyu katı madde taşınımından dolayı periyodik olarak kapatılmaktadır (Stone, 1991). Navarre sahilleri yakınlarında meydana gelen küçük ve tehlikesiz erozyon haricinde, 57 km uzunluğundaki kıyılarıyla batıya ve 52 km uzunluğundaki kıyılarıyla da doğuya uzanan East Boğazı Florida körfezi kıyıları arasında toplam 109 km ile en uzun ve durağan bölümüdür. Bununla birlikte büyük birtakım olayların etkileri sonucu önemli kumul erozyonları yaşanmış ve sahillerde bir çekilme görülmüştür (Chiu, 1977; Balsillie ve Clark, 1979; Balsillie, 1985c; Balsillie vd. 1986a, 1986b).

Powell gölünün doğusu Panama şehri sahil kesimi anakara sahillerinin özelliklerini taşımaktadır. Panama sahilleri güneydoğudan St. Andrews körfezinin girişine kadar uzanan bariyer dil şeklindedir. Bu bariyer dil, St. Andrews körfezine açılan yapay kanal inşaatı ile iki eşit parçaya ayrılmıştır ve bunun sonucu olarak 10 km kadar doğuya uzanan Shell adası meydana gelmiştir. St. Andrews koyunun batısında bariyer dil genişliği 396-457 m arasında değişirken, doğuda shell adalarında bu oran 182-1220 m arasındadır. St Andrews koyundan batıya doğru oluşan kıyı boyu taşınımı ve açık denizden temin edilen malzemeye periyodik

olarak yapılan kanal bakımı, bu koyun 11 km batısı için tehlikeli bir erozyona neden olmuştur. Geçmişte erozyon miktarı, koyun 1.8 km batısında yılda maksimum 2.4 m ulaşmıştır (Balsillie vd., 1986a, 1986b). Stapor (1973a), St. Andrews koyunun doğusunda Shell adası boyunca oluşan doğuya doğru bir akıntı belirlemiştir. Ada boyunca ölçülen erozyon miktarları yılda 0.5-2 m arasındadır (Balsillie vd., 1986a, 1986b).

San Blas Shell Adası

San Blas Shell adasının doğusu iki kıyı boyu taşınımın birarada olduğu bölgedir. Bölgenin güneyinde bulunan St. Joseph yarımadası 27 km uzunluğunda olup yakın jeolojik çağdan kalan bariyer dilden oluşmaktadır. Bu dil, anakaradan 5 km kadar batıya doğru uzanıp San Blas burnunu meydana getirerek kuzey - güney doğrultusunda ilerlemektedir. St. Joseph yarımadasının genişliği 182 -1402 m arasında değişmektedir. Sahil genişliği 21-152 m arasında değişen bölümlerde kumul yüksekliği 1.5-1.1 m arasındadır. Yarımadanın 4.5km'lik kuzey bölümü hariç, San Blas burnunun kuzeyindeki yarımadanın güney bölümü boyunca Stump Hole'de çok büyük çaplı bir erozyon meydana gelmektedir. San Blas burnunda yer alan fener altı defa orijinal yerinden doğuya doğru kaydırılmıştır (Taner, 1975). Fırtına ve dalga şartları ile kıyı çizgisi değişimi hassas olan bu sahillerde 1985 yılında meydana gelen kasırga ile 762 m uzunluğundaki güney burnu ortadan kalkmıştır.

Apalachicola-Ochlockonee Bariyerleri

San Blas burnunun doğusunda bulunan ve bu bölgeden doğuya doğru taşınan katı madde yılda 19 m kadar yığılmaya neden olmaktadır. Anakara Indian yarımadasının güneyine 4.7 km uzaklıkta bulunmaktadır ve doğuya doğru 4.8 km uzanan dilden oluşmaktadır. Indian yarımadasının doğusu St. Vincent adalarına uzanmakta olup, genellikle güneydoğudan doğu-güneydoğuya doğru uzanan ve nadir görülen birçok sahilin oluşturduğu üçgen şeklinde bariyerlerden meydana gelmiştir. Doğuda St. Vincent adaları; yaklaşık 47 km uzunluğunda ve genişliği 335-1609 m arasında değişen St. George adaları ve Little St. George adalarının oluşturduğu bir bariyer adasıdır. Little St. George önceden ayrı bir ada olmasına karşın şimdi St. George adasının bir parçasıdır. St. George adasının yaklaşık 10.5km'lik batı kısmında erozyon yılda 2 m'nin üzerinde oluşmaktadır. Erozyona uğrayan bu bölüm yapay olarak oluşturulan küçük jetti koylarıyla iki eşit parçaya ayrılmıştır. St. George adasının doğusu ile 4.2 km genişliğindeki East boğazı ile ayrılmış olan Dog adası Meksika Körfezinin kuzeyinde bariyer adası oluşturmuştur. Geniş doğu sahilleri ve dar batı sahilleri ile 11 km uzunluğunda olan Dog adası düzensiz bir şekle sahiptir. Adanın batı kısmında bulunan iki alçak ve dar

bölge 150 m'den daha az genişliğe sahiptir ve bu batı sahilleri orta şiddetli fırtınaların etkisinden kaynaklanan sel baskınlarına maruz kalırken, doğu sahillerinin genişliği 1311 m'ye ulaşmaktadır. Net kıyı boyu taşınımı ada boyunca iki doğrultudur. Batıya doğru dar bir şerit şeklinde hakim taşınım oluşurken doğuya doğru daha geniş bir taşınım meydana gelmektedir. Uzun dönem gözlemler sonucu maksimum erozyon miktarının yılda 2 m'yi aştığı, bununla birlikte elde edilen son datalarla bu miktarın 6 m'ye ulaştığı görülmüştür (Clark, 1986). Panhandle bölgesinin doğu kısmı St. James adı verilen bir yarımada olup Körfez ve Ochlockonee körfezi arasında bulunmaktadır. Bu yarımada'nın doğu ucu 5.5 km'lik bir mesafe ile Bald burnundan güneyde Lighthouse noktasına kadar uzanır. Lighthouse noktasından batıda Southeast burnuna doğru yaklaşık 8 km kadar uzanan bariyer dil Alligator noktasında sona ermektedir. Yeni kıyı boyu taşınımı bariyer dil boyunca batıya doğrudur. Southwest burnu ve Lighthouse burnu arasında kalan bölüm en tehlikeli erozyon bölgesini oluşturmaktadır. Son 30 yıl içerisinde meydana gelen fırtınalar sonucu şiddetli erozyonlar görülmüş ve birçok yapı ile kıyı arazisi hasara uğramıştır (Clark, 1986).

Big Bend Körfez Sahilleri

Big Bend neredeyse sıfır dalga enerjisi (Taner, 1960) ile Ochlockonee körfezinden Tampa'nın hemen kuzeyinde bulunan Anclote Kayalıklarına kadar uzanan 386 km uzunluğunda bir bölgedir. Bataklıkların hakim olduğu, açık deniz özelliği gösteren, çok geniş sığ kayalarıyla, binlerce dere ağzıyla ve sahillerinin kumdan yoksun olmasıyla ender rastlanan bir bölgedir. 390 km'lik sahilin sadece 11.9 km'lik bir bölümü kuvars kum sahillerine sahiptir. Clark'ın (1986) araştırma ve raporlarına göre sahilin 11.9 km'lik bir bölümünün 6.8'lik kısmı erozyona uğramakta olup bunun 4.8 km'si tehlike arzederken, 1.9 km'si tehlikeli boyutlara ulaşmamıştır (Hine ve Beknap, 1986; Hine vd., 1988).

Aşağı Körfez Sahilleri

Aşağı körfez sahilleri 295 km'lik bir mesafeyle Anclote Kayalıklarından Romano burnuna kadar uzanan sürekli bir zincir şeklinde bariyer adalarından meydana gelmiştir. Anclote Kayalıklarının kuzeyinde kum yetersizliği ve düşük dalga enerjisinden dolayı bariyerler oluşmamıştır. 7.7 km uzunluğunda bir boğaz, 5.6 km'lik bir kara uzantısı, 17.9 km'lik kıyı ve bu bölgede bulunan bariyer adalarının sayısını gösteren 41 tane koy bulunmaktadır. Aşağı körfez sahillerinin büyük bir bölümünde orta şiddetli dalga enerjisi görülmesine rağmen güney ve kuzey bölgelerde bu değer düşmektedir.

Kuzey Bariyerleri (Anclote Kayalıkları - Tampa Körfezi)

Anclote Kayalıklarında Tampa körfezine kadar uzanan bölgede 14 bariyer adası ve 11 koy yer almaktadır. Hiçbir şekilde katı madde beslemesi yapılmamış olan bu kıyı bariyerleri kireçtaşı üzerinde bulunan nispeten ince kumlardan meydana gelmiştir (Davis vd., 1982; Evans vd., 1985). Bu bariyerlerden Three Rooker Bar ve kuzey ve güney Bunces Kayalıkları aralarında en yenileri olup son 20 yıl içerisinde gelişmişlerdir. 1980'den beri doğal olarak en az 5 koy açılırken 3 tanesi de kapanmıştır. 68.7 km uzunluğundaki sahillerin en az 45 km'si erozyon problemi ile karşı karşıyadır. Net kıyı boyu taşınım miktarı azdır ve genel olarak güneye doğrudur.

Orta Adalar (Tampa körfezi-Charlotte Limanı)

Tampa körfezi girişinden güneyde Charlotte limanına kadar olan 98 km uzunluğundaki bariyer adalarının birçok bölümü uzun ve dar bir yapı göstermekte olup orta şiddetli dalga enerjisi görülmektedir. Bölgenin kuzeyine yakın bulunan Lido Kayalıkları sahil beslemesi ile oluşturulmuş bir adadır. Lido Kayalıklarının güneyinde yer alan Siesta Kayalıkları adası 550 m'lik kaya tabakasından oluşmuştur. Kıyı bariyerleri ve sahiller ince kuvars topraktan meydana gelmiştir. Clark'ın (1986) yaptığı araştırmalara göre toplam sahil uzunluğunun %52'sine tekabül eden 52 km'lik bir bölümünde, erozyon problem yaratmaktadır.

Charlotte Liman Kompleksi (Charlotten Limanı- San Carlos Körfezi Girişi)

Charlotte limanı, Pine adası boğazı ve San Carlos körfezi tarafından ana karadan ayrılan ve Charlotte limanının kuzeyinden uzaklığı 59.5 km olan 5 bariyer adasından oluşan bir adalar silsilesi yer almaktadır. Bu adaların uzunlukları 6.6 - 21 km, genişlikleri ise 60 - 4000 m arasında değişmekte olup, kıyı yükseklikleri 1-3 m arasındadır (Fischer vd., 1984). Dalga enerjisi orta şiddettedir (Taner, 1960). Yine Clark'ın (1986) yaptığı çalışmaların sonucu, bu bariyerlerin 27.4 km'lik bir bölümünün önemli bir erozyona sahne olduğunu göstermektedir. Sanibel adasının kuzey noktası ve kuzeyde bulunan adalar erozyona en çok uğrayan yerler olurken, Sanibel adalarının 17.7 km'lik güney kısmı durağanlığını korumakta ve gelişmesini sürdürmektedir.

San Carlos- Estero Reentrant (San Carlos körfezi girişi – Gordon boğazı)

San Carlos körfezinden Wiggins boğazına kadar olan 46.7 km uzunluğundaki kıyı, kuzeyden güneye doğru fizyografik değişiklikler gösteren özelliği ile ender rastlanan sahillerdendir. 20

km uzunluğa sahip kuzey sahilleri, küçük ve hareket halinde olan 2 ada dışında bir grup dar adalardan oluşmaktadır. Dalga enerjisi orta ve düşük şiddette seyretmekte ve Clark'a (1986) göre sahilin 26 km'lik bir bölümü yüksek oranlarda kıyı değişiminden kaynaklanan erozyon ile karşı karşıya kalmaktadır (USACE, 1991).

Güney Bariyerleri

Gordon boğazının güneyinde bulunan kıyılar en az 8 gel-git koyundan ve 6 bariyer adasından oluşmaktadır. Dalga enerjisi düşük olup, restore edilmiş olan Marco adaları sahilleri dışındaki sahiller dardır ve toplam sahil uzunluğunun %65'i erozyona uğramaktadır (Taner, 1960). Güneye uzanan bu bariyer adalarında önemli miktarda kum birikmiş durumdadır.

Ten Thousand Adaları

Florida körfezi sahillerinde Romano burnundan güneyde Pavillion Kayalıklarına kadar uzanan 39 km uzunluğunda ve 6.4 km genişliğindeki bu bölgede haritada belirtilmemiş olan birçok ada yer almaktadır. Bu adalar grubu direk körfeze bakmaktadır ve son 3000-5000 yılda oluşmuştur. Kıyı şeklindeki değişiklikler üzerinde henüz bir çalışma yapılmamış olmasıyla birlikte jeolojik kanıtlara dayanarak Shier (1969) ; fırtına ve kasırganın erozyona yol açtığını ifade etmiştir.

Aşağı Everglades Körfez Sahilleri

Bu ender rastlanan bir kıyı bölgesi olup, 80 km uzunluğu ile Ten Thousand adalarının güneyinde bulunan Pavillion Kayalıklarından güneydoğuda East burnuna doğru uzanmaktadır. Güneye doğru artış gösteren düşük dalga enerjisine sahiptir. Kıyı katı maddesi derinliği 3-4.5 m arasında değişen çamurlu ve kabuklu bir yapıya sahiptir (Roberts vd., 1977).

Sloughs Debouchure

Son 3000 yılda meydana gelen erozyon sonucu sahillerde bir geri çekilme meydana gelmiştir (Gleason vd., 1974). White'ın (1970) "debouchure of the Everglades Sloughs" olarak adlandırdığı kuzey bölümü birçok mangrov adası ve gel-git derelerden oluşmuş olup 195 m genişliğinde mangrov ormanları ve birkaç dar ve kabuk katı maddesinden oluşan sahil içerir. Bu bölge erozyona meyilli olmakla birlikte üzerinde inceleme yapılmamıştır ve nicel erozyon oranı mevcut değildir.

Sable Burnu

Florida kıyılarının güneyinde bulunan ve en iyi gelişmeyi sergileyen bu bölge 1200-1500 yıl öncesine nazaran 8 km'lik bir genişleme göstermiştir (Enos ve Perkins, 1979). Sable burnu sahillerinde hareket oranını nicel olarak belirleme çalışmaları yapılmamıştır ve tahmin için gerekli mevcut hiçbir bilgi bulunmamaktadır (Roberts vd., 1977).

Florida Kayalıkları

Florida Kayalıkları 354 km boyunca uzanan ve Florida körfezi ile anakaradan ayrılan yay biçiminde bir takımadadır. Deniz seviyesindeki düşüşün sonucu olarak meydana gelmiştir. Bu sahiller kuzeyde Lower Kayalıkları ve batıda 3 kum adası dahil olmak üzere Meksika körfezine bakmaktadır.

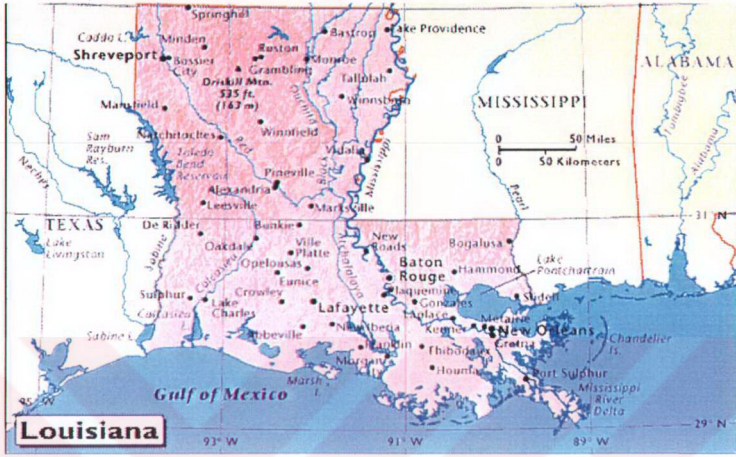
Kıyıda Erozyona Karşı Alınan Önlemler

Florida Körfezi sahillerinde uzun dönem erozyon miktarının yılda 0.5 m'den az olduğu bilinmektedir. St Joseph Yarımadası'nın güney sahilleri boyunca birçok problemlili bölgede yılda 1.5 m'den 7 m'ye kadar değişebilen erozyon miktarı görülebilmektedir. Özellikle tehlike arzeden erozyon bölgeleri başta olmak üzere Florida'nın birçok sahili stabilizasyon, inşa ve bariyer koylarının geliştirilmesi gibi çeşitli yöntemlerle iyileştirilmeye çalışılmıştır. Körfez boyunca uzanan 55 bariyer sahilinden 36'sına insanlar tarafından hiçbir müdahale edilmemiştir (Jetty, Tarama vb). 19'u navigasyon kanallarını korumak için taranmış, 17'sine jetty veya mahmuz yapılmış 11'ine ise köprü geçişi yapılmıştır. Kıyı erozyonunu azaltmak için 21 koyda kum beslemesi uygulanmıştır.

3.1.4.3 Lousiana

Mississippi akarsuyu, Kuzey Amerika'nın iç bölümlerinden erozyona uğramış olan çok büyük miktarlardaki katı maddeyi sürüklemesi ile akarsuyun Meksika Körfezine boşaldığı deltada bu materyallerin toplanması sonucu Lousiana kıyısı sulak alanını oluşturmuştur. Yaklaşık her bin yılda yıllık sel olaylarından dolayı akarsu her zamanki doğrultusunun dışında yeni ve daha verimli bir yönde akmaktadır. Bu daha az katı madde taşınması anlamına gelmektedir. Böylece akarsu tarafından terkedilen deltanın çökmesi, körfezde yaşanan gel-git olayları, dalga ve akıntının sonucu olarak eski delta kaybolmaya başlarken; yeni doğrultunun oluşturmuş olduğu delta büyüme gösterir. Binlerce yıldır bu doğal prosesler bir denge içerisinde devam ederek sulak alanlardan oluşan sahiller, farklı ve verimli ekosistemler

meydana getirmiştir (Dunbar, 1992). Meksika Körfezi'nde Louisiana kıyılarına ait harita Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 Louisiana Kıyıları

Bu doğal prosesler insanların bu bölgeye yerleşme ve Louisiana sahilleri kaynaklarını geliştirme istekleri doğrultusunda tehlikeye girmiştir. 18. yüzyılda Avrupalıların Aşağı Mississippi vadisinde yerleşmeye başlamaları sonucu rıhtım yapımları da başlamıştır. 19. yüzyılda Mississippi akarsuyu üzerinden yapılan deniz ticaret potansiyelinde önemli bir artış olması sonucu, akarsu temizlenerek yalnızca denizcilik amacıyla kullanımı için bir hareket başlatılmıştır. 20. yüzyılda petrol ve gaz araştırma çalışmaları, arazi ıslah çalışmaları ve Louisiana kıyıları boyunca yapılan liman ve kanallar Louisiana kıyılarının ekonomik potansiyelini artırmıştır. Eyalet bu büyük gelişmelerden önemli yararlar sağlamış fakat bu Louisiana kıyı sulak alanlarına pahalıya mal olmuştur.

Günümüzde yapılan taşkın kontrol projeleri, katı maddenin doğal olarak taşınımını ve sulak alanları beslemesini engellemektedir. Bunun sonucu olarak doğal toprak çökmelerinin yarattığı etkiler telafi edilememektedir. Bu durumlar denizcilik işlemleri için yapılan kazı çalışmalarının söz konusu olduğu bölgelerde artmaktadır. Şehirleşme ve karayolu çalışmaları da doğal akımı bozmaktadır. Belirtilen bu hidrolojik değişiklikler ve tuzlulukta meydana gelen değişikliklerin sebep olduğu binlerce dönüm arazi kaybı yaşanmıştır.

Bu kıyı bölgesinde insan faaliyetlerinden kaynaklanan arazi kayıpları günümüzde azalmıştır. Eyalet yönetimi, özel arazi sahipleri ve endüstriler tarafından alınan kararlarla 1980'li yıllarda büyüme ve gelişme çalışmaları sonucu yok olan sulak alanlar yılda 1214 hektarken bu rakam 1990'larda yılda 81 hektara düşmüştür. Günümüzdeki arazi kayıplarının büyük bir bölümünü onlarca yıl önce insanlar tarafından yapılan işlemlerin uzun vadeli etkileri oluşturmaktadır. Bugün Louisiana kıyılarında net arazi kaybı yılda 64.8 km^2 'dir ve kıyı sulak alanlarının %80'i kaybolmaya yüz tutmuştur.

Erozyona Karşı Alınabilecek Önlemler

Ekosistemden optimum yarar elde etmek için birçok doğal proses kullanılabilir.

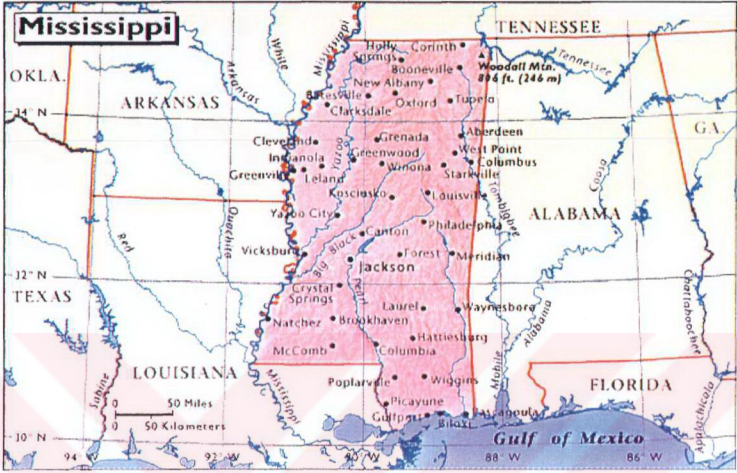
- **Oluşturma;** Büyük ölçekte; Mississippi ve Atchafalaya akarsularında bulunan katı madde kaynakları maksimum derecede kullanılarak ve küçük ölçekte; kazı sonucu ortaya çıkan materyaller ve sahil katı maddesinden yararlanılarak yeni sulak alanlar oluşturulabilir.
- **Restorasyon;** Kanal ve diğer yapılar inşa edilmeden önce var olan hidrolojik koşulları yeniden oluşturabilmek için, tatlı su ilavesi yapıp, tuzlu su girişi engellenebilir.
- **Koruma;** Korunmasız bataklıklar, doğal bariyer adalarının ve sahillerin doğal çatısını oluşturan arazilerin onarılıp güçlendirilmesi suretiyle korunabilirler.
- **Geliştirme;** Sulak alan doğal prosesleri artırılabilir

3.1.4.4 Mississippi

Mississippi'de yer alan bariyer adalarının bir çoğu önemli erozyonlara maruz kalmıştır. Son 50 yıl içerisinde Mississippi körfezi sahilleri birçok defa ortadan kalkmış ve yeniden inşa edilmiştir (Campbell, 1990).

Bariyer adaları, gel-git koyları, sahiller ve körfezlerden oluşan Mississippi körfez sahilleri çevresel ve fiziksel değişikliklere uğramaktadır. Küçük gel-gitlerin ve fırtınaların egemen olduğu bir sahil olarak sınıflandırılan bu körfez sahillerinde kısa süreli fırtınalar bile sahilin şeklinin değişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Son 18 000 yıl içerisinde devam eden deniz seviyesi yükselmesi Mississippi sahillerinin şeklinin ve bulunduğu yerin sürekli olarak

değişmesine neden olmuştur. Meksika Körfezi'nde Mississippi kıyılarına ait harita Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5 Mississippi Kıyıları

Hancock Bölgesi

Hancock bölgesi toplam 32 km uzunluğundaki kıyı şeridiyle iki tip sahil yapısına sahiptir. Son 70 yılda bu kıyıların 19.2 km'lik bir kısmı yılda ortalama 4.9 m oranında geri çekilme göstermiştir. Bayou Caddy'den doğuda St. Louis körfezinine kadar olan kıyı, 1915-1928 yılları arasında yapılan deniz duvarları ile çevrilmiştir.

Harrison Bölgesi

Harrison bölgesi kıyı çizgisi, 41.6 km uzunluğunda olup yapay kum sahillerini çeviren deniz duvarlarından oluşmuştur. Bu sahil deniz duvarlarının korumak amacıyla 1952'de yapılmış ve o zamandan bu yana kıyıda uzak bölgelerden kaynaklanan beslenmeyi sürdürmüştür. Dalga erozyonu, sürüklenme ve alüvyon kaybından dolayı yaklaşık 650.165 m³ kum kaybedilmektedir. Tuzlu suya dayanıklı bitkiler ile sahilin stabilizasyon çalışmaları pilot projelerle sürdürülmektedir. En büyük limanlardan Gulf Limanı bu sahilin merkezinde yer almaktadır.

Jackson Bölgesi

Jackson bölgesinde 3 temel kıyı rejimi hüküm sürmektedir. Batı kıyıları doğal sahillere sahip olup, yerleşim alanlarına sahiptir ve birçok ev erozyon tehdidi altındadır. Orta bölümü Pascagoula akarsu deltasını ve Pascagoula limanının büyük bir bölümünü içermekte olup ağır sanayi bölgesi olma özelliği göstermektedir. Bu bölgede gerçekleştirilen kanal çalışmaları erozyona neden olmakta ve kumun batı istikametinde sürüklenmesine neden olmaktadır. Jackson bölgesinin doğu kısmında ise kıyı, sürekli erozyondan dolayı geri çekilme gösteren doğal tuz bataklığından oluşmuştur.

Bariyer Adaları

Nispeten sığ olan Mississippi boğazı ile ana karadan ayrılan ve karadan yaklaşık 10-12 mil uzaklıkta 4 bariyer adası bulunmaktadır. Bu adalar anakara için tampon görevi yapmakta ve şiddetli rüzgarlara ve Mississippi kıyılarının yarattığı dalga enerjilerine maruz kalmaktadırlar. Bu ise kıyı şekli ve hareketi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Ship, Horn ve Petit Bois adaları doğudan batıya doğru uzanarak Gulf adaları sahillerinin bir kısmını oluşturmaktadır. Bu adada gelişme yeşil alan oluşturma çalışmalarıyla sınırlıdır. Batı akımlarının egemen olması ve kumun dalgalarla Gulf adası sahilleri boyunca taşınması bariyer adalarının gitgide batıya doğru genişlemesine neden olmuştur.

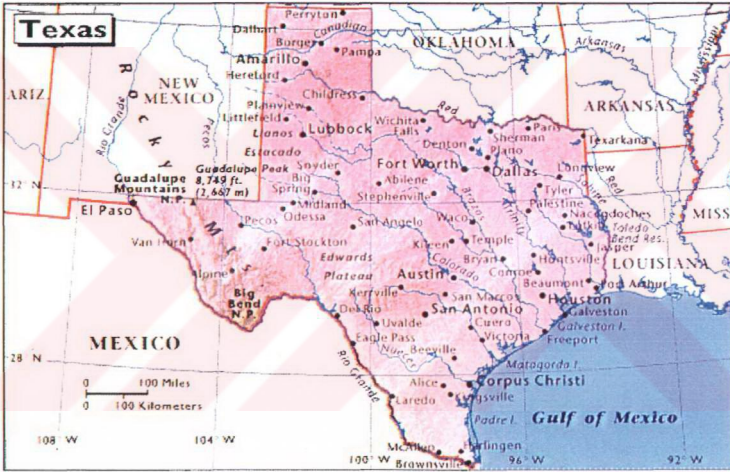
Erozyona Karşı Alınan Önlemler

Anakara sahilleri güçlü yapılar kullanılarak ve sahil beslemesi yapılarak yapay yollarla korunmaktadır. Bu sahillerin doğu ve batı kısmı doğal bataklıklardan oluşmaktadır. Ve orta ve ağır şiddetli erozyona maruz kalmaktadır. Bariyer adaları körfezin dalga enerjisinden anakara sahillerini korumaktadır. Bu adalar kumun sahil boyunca sürüklenmesi sonucu erozyona uğramakta ve batıya doğru kaymaktadır (Oivanki, 1992). 1951'de daha önce yıkıma uğrayan dar bir sahil yerine 41.6 km uzunluğunda ve oldukça geniş bir sahil oluşturulmuştur. Buraya kum, kara katı madde kaynaklarından temin edilmiştir. 1969 yılında meydana gelen Camille kasırgasının sebep olduğu şiddetli erozyon ve kum taşınımının yarattığı etkiler ve rüzgar erozyonuna rağmen oldukça dar bir sahil varlığını sürdürmektedir. 1972-73 ve yine 1987-88 yıllarında küçük ölçekli sahil beslemeleri yeniden yapılmıştır. Bu sahili doğal tuza dayanıklı çimlerle stabil hale getirme çalışmaları pilot projelerle devam etmektedir. Sahili etkileyen en önemli insan faktörü turist popülasyonudur. Çünkü burası Mississippi kıyılarında başlıca turist çeken yerdir. Bölgenin çöp ve kalıntılardan arındırılması için mekanik koruma gerekmektedir.

St. Louis körfezinin batısında yer alan Hancock bölgesi 1960'larda yapılan kıyı duvarlarını korumak amacıyla oluşturulan 9.6 km'lik sahile destek olmaktadır. Bu sahildeki geri besleme planları 1992 sonlarında uygulanmıştır. Hancock bölgesinin güneybatı sahilleri, tuzlu bataklıklardan ibaret olup, doğal dalga ve fırtına enerjileriyle artan şiddette erozyonlara maruz kalmaktadır.

3.1.4.5 Teksas

Meksika Körfezi'nde Teksas kıyılarına ait harita Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 Teksas kıyıları

Teksas sahilleri meteorolojik olaylar sonucu sık sık değişen oranlarda gel-git olaylarının yaşandığı ve fırtınanın hakim olduğu bir bölgedir. Rüzgar ve bunun sonucu olarak meydana gelen değişim süreçleri, katı madde taşınımını ve değişimini (Teksas sahillerinde) kontrol eden en önemli jeolojik etkenlerdir.

Rüzgar yönü ve yoğunluğu mevsime bağlı olarak değişim göstermektedir. Yılın büyük bir bölümünde 16-24 km/sa'lık güneydoğu rüzgarları hüküm sürmektedir. Yüksek hızda devam

eden rüzgar beraberinde kasırga getirerek büyük hacimlerde kumu batı ve güneybatı sahillerine sürüklemektedir.

Teksas körfezi kıyılarının 591 km'lik bir kısmının yaklaşık %60'ı yılda 0.3-15 m oranında erozyona maruz kalmaktadır. %33ü durağan ve % 7si ise büyüme göstermektedir. Erozyon Teksas sahilleri ile sınırlı kalmamakta, tarımsal, endüstriyel ve yerleşim alanlarında toprak kaybına neden olarak koy sistemlerini etkilemekte, spor ve ticari balıkçılık yapılan verimli sulak alanları tehdit etmektedir. Toplam olarak Teksas körfezi sahillerinin 2/3'ü erozyona uğramaktadır. Her yıl Körfez boyunca Teksas kıyı çizgisinde yaklaşık 607 hektarlık bir alan erozyona uğramakta ve toprak çökmektedir. Bu kaybın %75'ini sulak alanlar oluşturmaktadır.

Morton (1977) ve Paine ve Morton (1989) tarafından bir araya getirilen geçmişe ait toprak kaybı verileri baz alınarak toplam kayıp oranı hesaplanmıştır. Sonuçlar 1800'lü yılların ortaları ve 1982 yılları arasında kaybolan toprak miktarının 10.927 hektardan daha fazla olduğunu göstermiştir (yaklaşık olarak yılda 91 hektar). Bununla birlikte bazı körfez sahillerinde erozyon oranı hızlı olmasına karşın 1950lerden beri toplam toprak kaybı üniform olarak seyretmiştir.

Teksas sahillerindeki hareketin yüksek olması tamamen insan müdahalesi sonucu meydana gelmiştir. Erozyonun uzun dönemde yoğun olarak görüldüğü bölge, Brazos ve Colorado akarsuları arasında yerleşmiş olan Sargent sahili olup sahil yılda ortalama 9.2 m geri çekilme göstermektedir. Bu sahilde erozyon hızının artma sebebi normalde akım ile birlikte Sargent sahillerine taşınan katı maddenin, yönü değiştirilmiş olan Brazos akarsuyu tarafından tutulmasıdır.

Sürekli erozyona maruz kalan alanlarda daha önce durağan olan sahillerdeki erozyonun kaynağı; deniz seviyesi yükselmesi, yüzey kumunun azalması ve akarsu tarafından batı körfezine taşınan kumdur.

Meksika körfezi Batı sahillerinde akarsular bariyer ve kumsal oluşturan en önemli kaynaklardır. Katı madde temininde, iklimsel değişiklikler gibi doğal faktörlerden dolayı azalma meydana gelmiştir. Taşkın kontrolü için oluşturulan yapılar birçok akarsuyun katı madde taşıma kapasitesini yitirmelerine neden olmuştur. Buna ek olarak, koyları ve iskeleleri

korumak amacıyla inşa edilmiş olan yapılar, bir kıyıdan diğerine katı madde aktarımını engellemektedir.

Koy sistemleri

Toprak kaybı en çok Teksas'ın Copano, Galveston ve Matagorda koylarında görülmektedir. 1930-1982 yılları arasında Galveston, Matagorda, San Antonio, Copano ve Corpus Christi koy sistemlerinin her birinde toprak kaybı yılda yaklaşık 116 hektar olarak hesaplanmıştır. Burada bulunan sahiller dar ve içerdiği kum miktarı sınırlıdır. Sahiller ve onları çevreleyen sulak alanlar sık sık dalga ve fırtına etkisiyle sel baskınlarına maruz kalmaktadırlar

Erozyona karşı alınan önlemler

Teksas körfezi kıyısının sadece küçük bir bölümü sert yapılar kullanarak stabilize edilmiştir. Galveston, Kuzey Padre ve güney Padre adalarında uzun kıyı duvarları (1200 m'den daha uzun) inşa edilmiştir. Diğer kıyılarda ise sahilin gerisinde yapılan perde duvar kullanılmaktadır. Bu yapılar kumun bol miktarda olduğu bu sahillerde çok az etkili olmaktadır. Fakat diğer sahillerde bu yapılar kumsal genişliğini azaltıp, rüzgar tarafından sürüklenen kumun yığılmasını engelleyebilir.

Teksas'ta kıyısız arazi kayıplarını minimize etmek için gerçekleştirilen yerel girişimler kısmen başarılı olmuştur. Galveston kıyı duvarları gibi büyük ve pahalı projeler toprak kaybını engellemiştir. Daha düşük maliyetli kıyı stabilize projeleri geçici bir koruma sağlamakta fakat sonunda yetersiz kalarak toprak kaybı devam etmektedir.

3.1.5 Değerlendirme

Kıyı ve sahil erozyonu Körfez çevresini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir ve bu gerçeğe rağmen değerli kaynakların kaybı devam etmektedir.

Bu bölgedeki kıyı erozyonunun ana sebeplerinden bir veya birkaçını oluşturan faktörler arasında deniz seviyesi yükselmesi, toprak çökmesi, sahil fırtınası, dalga hareketleri, azaltılmış ya da yönü değiştirilmiş akarsu katı madde yüklemesi, deniz kanalları ve bazı kıyı koruma projeleri yer almaktadır. Bu faktörlerin önemleri ve de fiziksel etkileri bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir.

Körfez boyunca erozyon oranı değişmekle birlikte yalnızca birkaç bölge kararlılığını koruyabilmektedir. Habitatın yok olması, balıkçılık kaynaklarının azalması, tuzlu su girişi ve de rekreasyonel kullanımın azalması ve yok olması erozyonun etkileri arasındadır. Erozyonun sebepleri doğal çevrenin yok olmasını hızlandırırken, etkileri de bölgenin finansal kaynaklarını azaltmaktadır.

Kıyısız çevre konusu ile ilgilenen tüm federal, eyalet, yerel ve özel yatırımcılar bu soruna bir çözüm bulmak için büyük çabalar harcamaktadırlar. Bu çalışmalar bir taraftan devam ederken, diğer taraftan kıyısız kaynaklar azalmakta ve restorasyon için doğal malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun yanında bu doğal kaynaklar için rekabet hızla artmaktadır. Kıyı erozyonunun ilerlemesine engel olmak, herkese uygun ve sınırlı kaynaklarla temin edilebilir çözümler geliştirmektir. Daha kalıcı ve uzun süreli ayrıntılı çözümlerin bulunması oldukça zor olup daha geniş bir araştırma ve değerlendirme gerektirmektedir.

3.2 Avrupa'dan Kıyı Çizgisi Erozyonuna Birkaç Örnek

3.2.1 Avrupa'da Kıyı Erozyonu

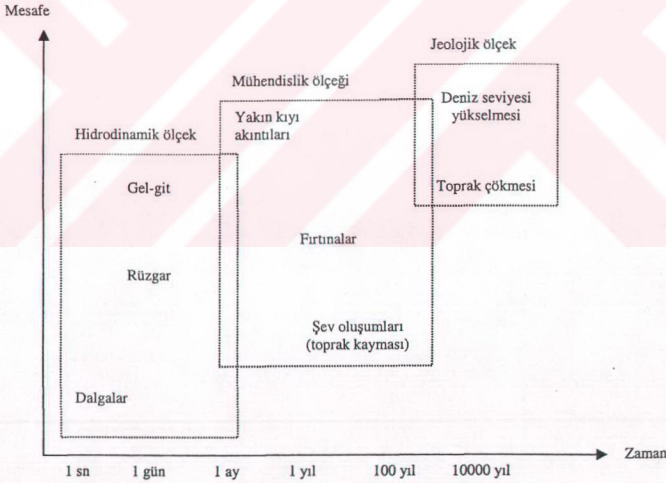
Kıyı erozyonu sürekli olarak var olan ve Avrupa kıyılarının şeklini belirleyen doğal bir olaydır. Havza erozyonunun yanında kıyı erozyonu kumsalları, kumulları, çamurlu alanları ve bataklıkları içeren kıyı sistemine katı madde temin eden temel prosestir. Buna karşın kıyı sistemleri dalga enerjisinin sönümlenmesi, bitki örtüsünün stabil kalması, temiz suyun korunması, gibi geniş çaplı fonksiyonlara da destek vermektedir. Avrupa'da kıyı erozyonunun neden olduğu en sık rastlanan problemler şunlardır;

- Tekil fırtınaların sonucunda içeri bölgelere kadar suyun girmesiyle kumul sisteminin bozulması. Bu duruma en iyi örnek olarak Hollanda kıyıları, Batı Scheldt, Wadden Denizi, Rosslare, Hel Yarımadası, Sylt, Camargue, Vagueira ve Castellon, bölgeleri verilebilir.
- Yamaç ve kumulların üst tabakalarının çökmesi; Güney Down, Luccombe, Normandiya, Hylingeberg-Liseleje, Castellon, Vale do Lobo ve Estella.
- Kıyı tabakasının azalması sonucunda oluşan deniz taşmasını önlemek amacıyla kazı yapılması (Knokke-Zoute, Humber Estuary, Ystad, Chatellallion, Sabled'Olonne, Donegal) ya da Elbe ve Essex'te görüldüğü gibi kıyı bataklığı sıkışması.

- Ekonomik değerlerinin azalması nedeniyle arazi kaybı; De Haan, Sylt, Mamaia, Vecchia Pineta, Giardini Naxos, Sable d'Olnnes ve Ghajn Tuffieha plajları, Essex'in tarımsal alanları ya da Elbe körfezi boyunca uzanan Scharhoern adası gibi ekolojik değerin azaldığı araziler

Daha düşük derecede, tuzlu suyun karışması sonucunu doğuran eşik çekilmeleriyle ile tatlı su bölgelerinde görülen azalma daha nadir görülmektedir. Ancak bu özel problemin Avrupa'ya özgü olduğu kabul edilmiştir.

Farklı kıyı tipleri, erozyona karşı farklı dirençler göstermektedir. Çok sert kayalar güç erozyona uğrarken yumuşak kayalar ve katı maddeye sahip kıyılar daha çabuk erozyona uğramaktadır. Sonuç olarak farklı zamansal ve uzamsal ölçeklere sahip çeşitli doğal faktörler kıyı morfolojisinin jeolojik oluşumunu yeniden şekillendirmektedir. Dahası bir çok durumda insan faktörü de kıyı alanlarının morfolojik gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 3.7 Zamana ve mesafeye bağlı olarak kıyı erozyonuna etkili doğal faktörler (Şekilde "mesafe" faktörün etkileme uzunluğunu, "zaman" ise faktörün oluştuğu ve erozyona neden olduğu süreyi yansıtır) (Eurosion, 2004).

3.2.1.1 Doğal Faktörler

Avrupa'da kıyı çizgisi erozyonuna neden olan doğal faktörler şu şekilde özetlenebilir (Şekil 3.7).

3.2.1.1.1 Dalgalar

Dalgalar deniz yüzeyi boyunca esen ve enerjilerini su yüzeyine aktaran açık deniz ve yakın kıyı rüzgarları tarafından oluşurlar. Dalgalar kıyıya doğru hareket ederlerken kırılırlar ve deniz tabanında biriken katı maddeyi hareket ettiren ve karıştıran türbülans enerjisi ortaya çıkar. Dalga enerjisi dalga yüksekliğinin ve periyodunun bir fonksiyonudur. Bir çok durumda dalgaların kırılması kıyı erozyonunun mekanik bir sebebidir ve özellikle Sussex, Ventnor, Aquitaine, Chatelaillon, Holland, Vagueira, Copa do Vapor, Estella, Valle do Lobo, Petite Camargue, Marina di Massa, Giardini Naxos, Ystad ya da Rostock gibi açık doğrusal kıyılarda görülmektedir.

3.2.1.1.2 Gel-gitler

Gel-gitler su kütlelerinin ay ve güneş tarafından çekilmesiyle su seviyesindeki yükselme şeklinde görülen hareketlerdir. Yüksek gel-gitlerde, kırılan dalgaların enerjisi daha çok kıyı önünde ya da yamaç tabanında daha fazla açığa çıkmaktadır. Tüm Atlantik boyunca (örn; Portekiz'de Vale do Lobo) bulunan büyük gel-git oluşan kıyılarda (kıyı boyunca gel-git aralığı 4 m'yi aşanlar), daha küçük gel-git oluşan kıyılara (gel-git aralığı 1 m'den düşük) göre su seviyesi daha fazla etkilenmektedir.

3.2.1.1.3 Yakın Kıyı Akıntıları

Deniz tabanından kalkan katı maddeler akıntılar tarafından orjinal yerlerinden daha uzağa taşınırlar. Akıntılar gel-git hareketleriyle (gel-git akıntıları) kıyıya belli bir açı yaparak kırılan dalgalarla (kıyı boyu akıntılar) ve kıyı önünde dalgaların geri dönmesiyle (rip akıntısı) oluşmaktadır. Tüm bu akıntılar Avrupa'da kıyı erozyonunun oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Örneğin; kıyı boyu katı madde taşınımı Vale do Lobo, Estela plajı, Aquitaine, De Haan, Zeebrugge ya da Jutland gibi bölgelerde büyük hacimlerde kumun taşınmasına neden olmaktadır. Kıyıya dik katı madde taşınımı ile oluşan erozyona en iyi örnek Sable d'Olonne ya da Donegal verilebilir. Gel-git akıntılarının katı madde taşınımına etkisi Wadden Denizi, Arcachon Havzası, Batı Scheldt ve Essex halicinde gözlendiği gibi haliç içlerinde ya da gel-git havzasının iç bölgesinde maksimum seviyede görülmektedir.

3.2.1.1.4 Fırtınalar

Fırtınalar yükselen su seviyeleri (fırtına kabarması) ile aşırı rüzgarlarla oluşan yüksek enerjili dalgaları meydana getirmektedir. Büyük gel-gitlerle birleştiğinde fırtınalar 1953'te Kuzey Denizi'nde görüldüğü gibi katastrofik zararlara neden olabilmektedir. Kıyı yapılarına

zararlarının yanı sıra fırtınalar sahilleri ve kumsalları birkaç saat içinde onlarca metre uzağa sürüklemek ya da yamaç stabilitesini önemli ölçüde hasara uğratmak gibi sonuçlara da neden olmaktadır. Geçtiğimiz 30 yılda kıyılara aşırı derecede zararlar veren ekstrem fırtına olayları raporlanmıştır. Bunlara örnek olarak şu olaylar verilebilir; De Haan ve Holland (1976 fırtınası), Chatelaillon (1962, 1972, 1999) Cova do Vapo ve Estela (2000), Normandiya (1978, 1984, 1988, 1990) ve Donegal (1999).

3.2.1.1.5 Deniz Seviyesi Yükselmesi

Katı maddeye sahip kıyıların profili, katı madde boyutunun, deniz seviyesinin, gel-git aralığının dalga yüksekliği ve periyodunun, parabolik fonksiyonu olarak modellenenebilir. Deniz seviyesi yükseldiğinde bu parabolün tamamı onunla birlikte yükselecek bu da profili oluşturmak için gerekli olan ekstra kumu getirecektir. Bu kum kıyidan alınmaktadır (Bruun kuralı). Korunaklı, çamurlu alanlarda daha şiddetli olmakla birlikte (örn; Essex halici), bu olay tüm bölgesel denizlerde kıyı erozyonunun oluşumunda önemli bir faktör olarak belirtilmiştir; Atlantik Denizi (örn; Donegal, Rosslare), Akdeniz (Petite Camargue, Messologi, Lakkopetra), Kuzey Denizi (örn; Holland Sahili), Baltık Denizi (Riga Körfezi) ve Kara Deniz.

3.2.1.1.6 Yamaç Erozyonu

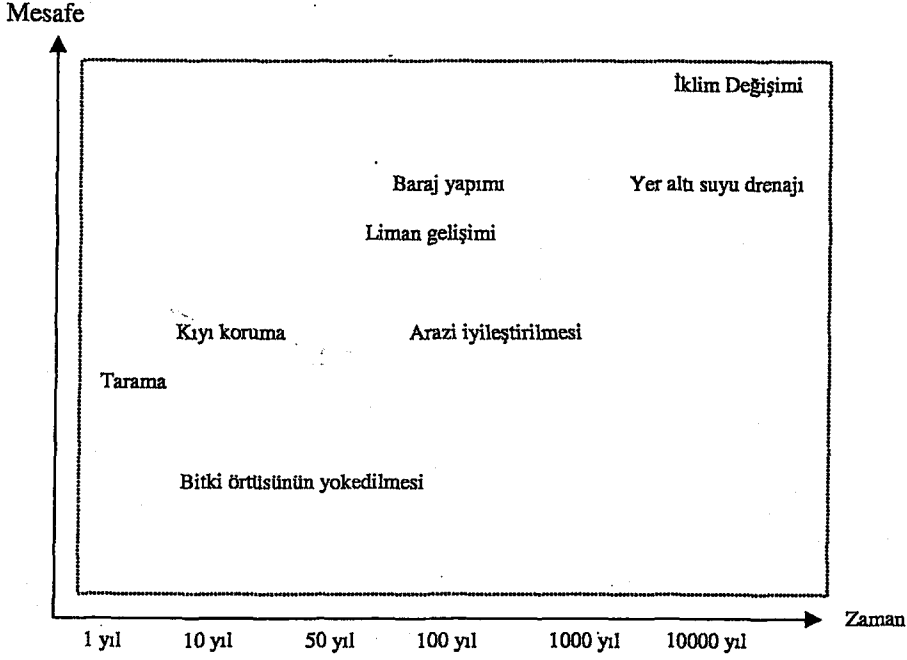
Yamaç erozyonu kıyı yamaç bloklarının düşmesi, kayması, çökmesi sonucunda kıyı-deniz etkileşiminden dolayı meydana gelmektedir. Bu prosesler bir taraftan yağmur düşümü, su sızması ve toprak iklimi (donma/erime periyodlarının değişimini içerir) gibi karasal prosesleri, diğer taraftan dalgalarla yamaç temelinin aşınmasını içermektedir (Luccombe, Birling boşluğu, Criel-sur-Mer (Normandiya), Sylt, Cova do Vapor, Vale do Lobo).

3.2.1.1.7 Düşey Kara Hareketleri

İzostatik geri sıçrama, tektonik hareketler veya katı madde çökmesini içeren düşey kara hareketleri kıyı çizgisi değişimi üzerine hem pozitif hem negatif etkiler yaratmaktadır.

3.2.1.2 İnsan Kaynaklı Faktörler

Avrupa'da kıyı çizgisi erozyonuna neden olan insan kaynaklı faktörler şu şekilde özetlenebilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Zaman ve mesafeye bağlı olarak kıyı erozyonuna neden olan insan kaynaklı faktörler (Eurosion, 2004)

3.2.1.2.1 Sert Kıyı Koruma Yapılarını İçeren Yapay Kıyılar

Yapay kıyılar, kıyı duvarları, setler, dalgakıranlar, jetty'ler ya da taş kaplı yapılar (bunlar karadaki yapıları denizden korumayı amaçlar) ile deniz kıyısında yapılan mühendislik çalışmalarıdır. Bu tip yapılar kıyı katı madde taşınım olayını 3 temel prosesle etkiler;

- (i) Kıyı boyunca taşınan katı maddenin tutulması ve "doğal" kıyı çizgilerinin aksine sert yapılar kıyı boyu taşınımından dolayı katı madde temin etmediği için gelen katı maddenin aşağı kıyıya doğru sürüklenmesi. Özellikle Brighton-Sussex (UK), Aveiro-Vagueira ve Vilamora-Vale do Lobo (Portekiz), Rosslare (İrlanda, Ijmuiden- Hollan (Hollanda), Zeebrugge (Belçika, Skanor-Falsterbo (İsviçre), Messina (İtalya)'da olduğu gibi liman ve marina koruma yapıları, ya da Ystad (İsviçre), Jutland (Danimarka), Quarteira-Vale do Lobo, Vagueria, Estela (Portekiz), Marina di Massa (İtalya) ve Hel Adası (Polonya)'da olduğu mahmuzlar örnek olarak verilebilir.
- (ii) Sert yapılar tarafından gelen dalga yansıması enerji dağılımını engeller ve türbülansı arttırarak kıyıya dik erozyonu çoğaltır. Bu olay, kıyı duvarlarının kıyı erozyonunun tam olarak önlemesi amacıyla yapıldığı yerlerde kıyı gerilmelerini arttırmaktadır. Bu duruma en iyi örnek; Chatelaillon ve Sable d'Olonne (Fransa)'da görülmektedir.

- (iii) Jetty veya dalgakıran gibi denize doğru uzanan yapıların çevresinde oluşan ve dalga tepesinin doğrultusunu değiştiren dalga dönmesi. Bu değişim dalga enerjisinin bazı bölgelerde sönmelenmesine (kıyı çizgisine daha az etkili) neden olurken bazı bölgelerde ise artmasına (kıyı çizgisine ve sonradan oluşan erozyona daha etkili) yol açmaktadır. Playa Gross (İspanya)'da, dairesel bir dalgakıran etkisiyle oluşan dalga dönmesi kıyı erozyon yönetiminde bir çözüm olarak kullanılmıştır.

3.2.1.2.2 Arazi İyileştirilmesi

19.yy ve 20. yy'ın ilk yarısında yapılan arazi iyileştirme projelerinin kıyı erozyonuna etkisi son 10-20 yıldır gözlemlenmektedir. Gel-git havzaları ve körfezleri içinde (iyileştirme projelerinin en kolay uygulandığı yerler), arazi iyileştirmesi gel-git hacminde azalmaya neden olmuş ve bundan dolayı gel-git akıntılarıyla taşınan katı madde miktarında değişim görülmüştür. Sonuç olarak nispeten daha stabil olan kıyı şeridi erozyona uğramaya başlamıştır. Rosslare (İrlanda) (1845, 1855'de) ya da Batı Scheldt (Hollanda)'da yapılan arazi iyileştirme projeleri bu olaya oldukça iyi bir örnektir. Hollanda kıyısı boyunca yapılan Maasvlakte projesi gibi açık kıyılar boyunca yapılan arazi iyileştirme projeleri için kıyı proseslerindeki değişimler gel-git hacminin azalması sonucuyla değil kıyı çizgisi geometrisinde kırılma açısındanki değişimler sonucunda oluşmuştur.

3.2.1.2.3 Akarsu Düzenleme Çalışmaları

Arazi iyileştirmesi gibi kıyı proseslerinde akım düzenleme çalışmalarının zararları da son 10-20 yılda önemli hale gelmiştir. Baraj yapımı ile her yıl milyonlarca m³ katı madde tutan akarsu havzaları kontrol altına alınmaktadır. Bazı Güney Avrupa akarsuları (örn; Ebro, Douro, Urumea, Rhone) için yıllık katı madde hacmi 1950'deki seviyesinin %10'undan daha düşüktür (Ebro için %5'ten düşük) ve bu durum akarsu ağzında önemli bir katı madde kaybı yaratmış ve sonuçta katı madde hücrelerinde erozyon oluşumu gözlenmiştir. Bu olaya örnekler şunlardır; Ebro deltası, Playa Gross (İspanya), Petite Camargue-Rhone Deltası (Fransa) ve Vagueria (Portekiz). Akarsuya baraj yapılmasının yanı sıra su akışını azaltma ya da akarsu taşmasını önleme için yapılan müdahaleler de kıyıya ulaşan katı madde miktarında azalma yaratmaktadır. Bu olaya en iyi örnek etkisi hala hissedilen Cova do Vapor (Portekiz) örneğidir.

3.2.1.2.4 Tarama

Tarama aktiviteleri navigasyon amaçlı (gemilerin uygun bir su derinliğinde seyredebilmesi), yapısal amaçlı (deniz tabanının temizlenerek yapı yapılması), son 20 yılda ve 1990'lardan beri ise sahil ve su altı beslemesi amaçlı olmak üzere artmıştır. Tarama çalışmalarının kıyı proseslerine çeşitli yollarla etkileri bulunmaktadır;

- (i) Kıyıyı erozyona karşı koruyan katı maddelerin (taşlar, çakıllar) kıyı önünden taşınımı. Örneğin; çakıl taşlarının toplam hacminin (3 milyon m³) %50'sinin 1900'lerin başından beri Normandiya (Fransa)'nın kireç kayalıklarından ayrıştığı tahmin edilmektedir.
- (ii) Kıyı katı madde hücrelerine katkı. yapısal amaçlar Sussex Kıyısı (UK), Humber Halici, navigasyon amacıyla (Batı Scheldt (Hollanda)'te olduğu gibi) ya da Cova do Vapor (Portekiz)'de olduğu gibi sahile katı madde temini amacıyla kumun taranması ya da Marinell di Sarzana ve Marina di Ravenna-Lido Adriano (İtalya)'da olduğu gibi akarsu tabanının taranması örnek olarak verilebilir.
- (iii) Dalga dönmesi ve kıyı boyu akıntısının değişimi sonucunda su derinliğinin değişmesi. Bunun örneği Hollanda'da Wadden Denizi'dir.

3.2.1.2.5 Bitki Örtüsünün Yokedilmesi

Bitkilerin erozyona karşı direncin artmasında pozitif etkisi olduğuna dair çok sayıda örnek vardır. Örn; Aquatine (Fransa) ve Baltık Denizi; Riga Körfezi (Latvia), Klaipeda (Litvanya), Tallinn (Estonya).

3.2.1.2.6 Yer Altı Suyu Drenajı ve Su Çekilmesi

Kara çökmelerinde yer altı suyu drenajı ve su çekilmesinin etkisine dair birkaç örnek bulunmaktadır. Bu örnek Avrupa'da sınırlı coğrafik ölçüye sahipmiş gibi gözükse de etkileri geri döndürülemez ve çok önemli boyutlara ulaşabilir. Marina di Ravenna-Lido Adriano'da (İtalya) kara çökmeleri neredeyse geçtiğimiz 50 yılda 1 m'ye ulaşmış ve bu da büyük katı madde kaybı ve kıyı çizgisinin güçlü bir şekilde geri çekilmesi sonucunu doğurmuştur.

3.2.1.2.7 Gemilerin Oluşturduğu Dalgalar

Bu durum Riga Körfezi (Latvia)'inde görülmüştür.

3.2.2 Avrupa'da Çevresel Etki Değerlendirmesi Kapsamında Erozyon

İnsan müdahalesi sonucunda oluşan kıyı erozyonu Avrupa kıyı erozyonunda doğal faktörlere üstün gelmektedir. Kıyı erozyonunun insan faktörü ile oluşumu temel olarak, akarsuda baraj yapımı gibi küçük ve orta ölçekli projelerin direk ya da toplu etkisi ile sürmektedir. Ancak, proje yürütücüleri, Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) uygulayıcıları ve uzman otoriteler tarafından bu etkilere gereken önem verilmemektedir.

Liman otoritelerinin beklentilerine göre, kıyı boyunca jeo-morfolojik değişimlere dikkat edilmemektedir ve bunlar kıyı proseslerini etkileyen projelerin teşvik edicileri tarafından gereken değeri almalıdır. ÇED raporlarının çok azında kıyı katı madde prosesleri ciddi olarak çevresel etki kapsamına alınmaktadır. Ancak şu belirtilmelidir ki ÇED raporları idari otoritelerin onayı alınsa dahi halen gözlenmesi zor konuları içermektedir. ÇED raporları şu çalışmalarda düzenleme işlevi görmüştür; Maasvlakte'in genişletilmesi (Holland Kıyısı-Hollanda), Batı Scheldt Halicinde (Hollanda) yıllık tarama programları, Aveiro liman genişletilmesi (Aveiro-Portekiz), Penly Enerji üretim tesisi (Normandiya-Fransa), Wadden Denizinin doğusundaki German açık deniz rüzgar tarlası ve Marina di Massa ve Marina di Pisa'da deniz önü düzenlemesi.

ÇED prosedüründe kıyı katı madde taşınımının ve morfolojik değişimlerin katkısı limanların genişletilmesi gibi büyük projeler dışında dikkate alınmamış ve kıyı erozyonu tek bir kıyı geliştirme projesinde direkt olarak belirtilmemiştir. Küçük ve orta ölçekli projelerin etkisi, kıyı erozyonu için her bir bireysel projenin sorumluluğunu azaltacak diğer gelişimlerin etkisi ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu durum kıyı boyunca yapılan az sayıda ve eleme safhasında (Hollanda kıyısı boyunca yapılan toplam projelerin %10'undan daha az) uzman otoriteler tarafından yönetimi gereken küçük ve orta ölçekli projelerle doğrulanmıştır. ÇED raporunun gerekli olduğu bu projelerde bile, ÇED tarafından öne sürülen çevresel ilgilerin kapsamını belirleyen "bölgeleme" safhasında kıyı katı madde proseslerine etkisi tam olarak belirlenememiştir. Çizelge 3.1'de farklı geliştirme tipleri tarafından kıyı erozyonunun nasıl kapsama alındığına dair özet bilgiler bulunmaktadır.

ÇED prosedürlerinde kıyı katı madde taşınımının eksikliğinin kapsama alınmasının düşük olmasında ÇED uygulayıcıları ve proje geliştiricilerinin gösterdiği hassasiyetin düşüklüğünün etkisi ihmal edilemez. kıyı erozyon problemlerinin şiddetli olduğu kıyı bölgesine insan

müdahalesinin etkilerinin ihmali ya da hesaplamaların dışında tutulması yaklaşımların etki derecesini azaltmaktadır.

Çizelge 3.1 ÇED prosedüründe kıyı erozyonu (Eurosion, 2004)

Proje tipi	Kıyı erozyonuna etkisi	ÇED kapsamı ?
Liman alt yapı sistemi birimleri (navigasyon taraması dahil)	Yüksek	Var
Akarsu düzenleme çalışmaları (özellikle barajlar)	Yüksek	Yok
Kıyı önü yapıları	Orta	Yok
Yakın kıyı ya da açık deniz arazi iyileştirmesi (örn; rüzgar tarlası)	Orta	Kısmen
Yapı ya da besleme amaçlı tarama	Orta	Var
Yer altı suyu drenajı (kara çökmesi ile oluşan deniz seviyesi yükselmesi)	Düşükten ortaya	Yok
Denizcilikle ilgili navigasyon çalışmaları (gemi etkisinde oluşan dalgalar)	Düşük	Yok

3.2.3 Avrupa'da Kıyı Erozyonu Çizgisi İle İlgili Kullanılan Modeller

1950'lerden beri kıyı sistemlerinin davranışı ve dalga, rüzgar, gel-git, kıyı önü profili katı madde taşınımı ve sonuç olarak kıyı çizgisi oluşumu arasındaki etkileşimlerin anlaşılması için büyük çabalar sarf edilmiştir. Bu çabalar, günümüzde kıyı mühendisliğinde sık kullanılan modellerin gelişimi sonucunu doğurmuştur.

Çizelge 3.2'de bu modeller ve uygulama alanları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Modelleme konusunda var olan bu parçalanmanın bir sonucu olarak 50'lerden beri farklı kavramlar, kabuller ve yaklaşımlarda farklı teoriler oluşturulmuştur. Modellerin sayısındaki bu fazlalık çoğu henüz açıklanamayan kıyı morfoloji değişimleri ve aralarındaki etkileşimlerin oluşturduğu olayın karmaşıklığından ileri gelmektedir. Bu faktörlerin kıyı erozyon yönetimi ile olan ilgilerinden dolayı model simülasyonlarının araştırmaları sırasında aşağıdaki konulara özellikle dikkat etmek gerekmektedir;

- rüzgar gerilmesinin katkısı sonucunda su seviyesindeki artış
- sığlaşma, sapma, yansıma, dönme gibi özellikleri içeren yakın kıyı dalga transformasyonu
- eşik profilinin fırtınalara tepkisi
- dalga kırılması tırmanması ve aşmasını içeren dalga-kıyı önü etkileşimleri
- kum, çamur ve kum/çamur karışımının kıyı boyunca ve kıyıya dik olarak taşınması

Kıyı çizgisi geometrisi, dalga yüksekliği ve periyodu, rüzgar hızı ve doğrultusu, büyük gelgitler, akıntı hızları, su derinliği, deniz taban pürüzlülüğü, batimetri, kıyı profili ve katı madde boyutu gibi olayı etkileyen faktörler modellerin çoğunda ortaktır. Fakat bu faktörlerin belirlenme yolları bir modelden diğerine değişiklik gösterir. Pratikte ampirik ya da yarı ampirik modellerin (örn; Bruun kuralı, CERC eşitliği) önemli bir kısmı belli durumlar için kabul edilebilir sonuçlarla geliştirilmiştir (örn; açık doğrusal kıyılar, yumuşak eğimli kıyı çizgisi, haliçler, olaya göre ihmal edilebilir dönme ya da yansıma vb.). Diğer taraftan Bijker taşınım teorisi (1971) gibi sağlam teoriler de mevcuttur ve çok geniş aralıklı koşullar için uygundur. Ancak önemli ölçüde miktarda arazi ölçümleri ve hesaplama gerektirmektedir.

Modellerin bu oldukça geniş uygulamalarının sonucu olarak kıyı mühendisleri hangi modelin kendi özel koşullarına en iyi uyacağını asla bilemez. Genellikle daha önceki yapılmış spesifik örnek çalışmalarındaki koşullarla gerçekten uyması için var olan modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin ESTMORF modeli spesifik olarak Batı Scheldt Halicinde (Hollanda) morfolojik değişimlerin simülasyonu için geliştirilmiştir.

Çizelge 3.2 Avrupa'da kullanılan kıyı modellerine bakış (Eurosion, 2004)

Adı	Tanımı	Uygulama Limitleri
Analitik Modeller		
CERC eşitliği (1950)	Dalga yüksekliği (kırılma bölgesinde), periyodu ve açısının fonksiyonu olarak kıyı boyu katı madde taşınımını belirler. CERC eşitliğinin geliştirilmiş versiyonları (Davies ve Kamphuis, 1985; Sayao, Nairn ve Kamphuis, 1985) katı madde boyutu ve kıyı eğimini de içermektedir.	Sadece dalgalar açıyla yaklaşıtlarında oluşan katı madde taşınımı durumunda ve kıyı boyunca özelliklerin aynı kaldığı durumda uygulanır. Diğer sürütme kuvvetleri (gelgit akıntıları) hakim olduğunda uygulanamaz.
Bijker Taşınım Formülü (Bijker, 1971)	Bijker formülü sürütme ve askı malzemesi taşınımını modelleyerek katı madde taşınımını belirler. Bu taşınımın derin su dalga yüksekliğinin, periyodunun ve yaklaşım açısının, akıntı hızının, tane boyutu ve yoğunluğunun, tane çekme hızının ve taban pürüzlülüğünün bir fonksiyonudur.	Bijker formülü CERC formülünden daha geniş bir uygulamaya alanına sahiptir. Özellikle akıntıların hakim olduğu haliçlerde uygundur. Bununla birlikte daha fazla arazi ölçümü gerektirmektedir.
DUROS (Veilinga, 1986)	DUROS modeli (eşik erozyonu) şiddetli fırtınadan sonra oluşan eşik profilini belirler. Fırtına profili derin su dalga yüksekliği, maksimum kabarma seviyesi, tane boyutu ve başlangıç profilinin bir fonksiyonudur.	DUROS modeli mevcut eşiklerin emniyetli olup olmadığını hızlı bir şekilde belirlemek için uygundur. Yarı kapalı koylara ve ya karmaşık kıyı çizgisi geometrisine sahip karmaşık kıyı bölgeleri için uygundur.
Bruun Kuralı (1962)	Bruun kuralı deniz seviyesi yükselmesi ile oluşan kıyı çizgisi profilini belirler. Bu model kıyı profilinin tamamen ortalama su seviyesi ve kum tane boyutundan elde edilen parametrelerin parabolik bir fonksiyonu olduğunu ifade etmektedir. Bakker (1968) ve Swart (1976) kıyıya dik katı madde taşınımını belirlemek için Bruun kuralını adapte etmişlerdir.	Küçük ölçekli yerel bölgeler için uygundur. Uzun kıyı şeritleri boyunca Bruun kuralı karmaşık hale gelir.
Rüzgar gerilmesi formülü (Wu, 1980)	Wu (1980) tarafından geliştirilen model okyanus üzerinde rüzgar esmesiyle su yüzeyine aktarılan enerji transferini belirlemektedir.	Rüzgar ve deniz yüzeyi arasındaki etkileşim tam olarak anlaşılamamıştır ve formül en iyi yaklaşım olarak bilinmemektedir. Bununla birlikte formül spesifik durumlar için adapte edilmemiş ampirik katsayılarla (direnç katsayısı) bağlıdır.

Dalga aşması modeli (Owen, 1980)	Dalga aşması birim zamanda eğimli yapının kretni aşan su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Dalga aşması hakim dalga yüksekliğinin ve ortalama dalga peryodunun, sakin su yüzeyinin üzerinden kret yüksekliğinin, kıyı yapısı eğiminin ve derin su dalga yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Model öncelikle 1/1-1/5 eğimli geçirimsiz yapılar için geliştirilmiştir. Bununla birlikte model, yapı malzemelerinin relatif ırmanma performansını esas alan pürüzlülük katsayısını da içermektedir.	Model şevle bağıntılı olan katsayının ampirik olarak belirlenmesini gerektirir. Formül Goda (1980) tarafından geliştirilen diğer formüllerin kullanılabilirdiği düşey duvarlarda uygulanmaz.
Sayısal Modeller		
MIKE 21 NSW	MIKE 21 NSW, yakın kıyı bölgelerinde kısa periyotlu dalgaların (0,21 s-21 s) yayılması, gelişmesi ve sönümlenmesini tanımlayan spektral rüzgar-dalga modelidir. Model değişen derinlikten dolayı sapma ve sığlaşma etkilerini, rüzgardan dolayı kaybını üretimini ve taban sürtünmesi ile dalga kırılmasından dolayı enerji kaybını içermektedir. Akıntı etkileri de dikkate alınmaktadır. Model Holthuijsen ve diğ. (1989) tarafından önerilen yaklaşımınla ortaya konulmuştur. MIKE 21 NSW'de gereken esas girdi verileri, batimetrik veriler, sabit rüzgar alanı (isteğe bağlı), sabit akıntı alanı (isteğe bağlı), taban sürtünme katsayısı (isteğe bağlı), dalga kırılma parametreleri (isteğe bağlı), açık deniz dalga sınırlarıdır.	Dönme ve yansımanın ihmal edildiği kıyı bölgeleri için ve kısa periyotlu dalgaların simülasyonu için uygulanır.
MIKE 21 BW	MIKE 21 Boussinesq-dalga (BW modülü) başlıca küçük kıyı bölgelerinde ve limanlarda dalga dinamiklerini (hakim dalga yüksekliği, dalga dağılım katsayısı, su yüzeyi yükselmesi, derinliğe göre ortalananmış partikül hızı) incelemek için kullanılmaktadır. Model, karmaşık batimetrikler üzerinde yayılan kısa ve uzun tepeli sonlu genlikli düzenli dalgaların sığlaşmasını, sapmasını, dönmesini kısmen yansımaları içeren kıyı ve liman mühendisliğinde ilgili dalga olaylarının çoğunun kombine etkilerini de belirleyebilmektedir.	Model öncelikle limanlar için tasarlanmıştır. Ancak aynı zamanda küçük ve karmaşık koy biçiminde ki kıyılarda uygulanabilir. Açık kıyılarda uygulanamaz.

MIKE 21 EMS	Elıptık Mild Slope (EMS) dalga modülü, keyfi su derinliğine sahip yumuşak eğimli batimetri üzerindeki harmonik dalgaların lineer olarak yayılmasını benzerştir. MIKE 21 EMS Berkhoff (1972) tarafından formüle edilen eliptik yumuşak eğim denkleminin sayısal çözümünü esas almaktadır. Sığlaşma, sapma, dönme ve geri dönüş etkilerini de dikkate alır. Dalga kırılması ve taban sürtünmesinden dolayı enerji kaybını ve iskele ve dalgakıranlar için yansımayı da içerir.	Yumuşak eğimli batimetriye sahip kıyılarda uygulanır.
MIKE 21 PMS	MIKE 21 PMS yumuşak eğimli batimetri üzerinde yayılan lineer dalgaların sapma, sığlaşma, dönme ve yansımaları dikkate alan EMS denkleminin parabolik olarak yaklaşmaktadır. Parabolik yaklaşım hakim dalga doğrultusunu (x doğrultusu) kabul ederek ve geri dönüş ile bu doğrultu boyunca dönme ihmal ederek elde edilmiştir. Ek olarak hakim doğrultuda büyük açılarda yayılan dalgalar için parabolik yaklaşımın kullanılmasına izin veren Kirby (1986) denklemini geliştirmiştir. Aynı zamanda kıyı katı madde taşımının belirlenmesinde çok önemli olan dalga etkisindeki akıntılar için gereken dalga radyasyon gerilmelerini de elde etmektedir.	Yansıma ve dönmenin hakim dalga doğrultusu boyunca ihmal edilebildiği yumuşak eğimli batimetriye sahip kıyılarda uygulanır
MIKE 21 ST	MIKE 21 Sediment Transport (ST) akıntı veya dalga-akıntıdan dolayı kohezyonsuz katı maddenin (kum) taban seviyesi değişimlerinin başlangıç miktarları ile bağıntısı ve katı madde taşınım miktarlarının belirlenmesi için tasarlanmıştır. Model aynı zamanda Engelund-Hansen, Zyserman-Fredsie, Meyer Peter-Müller, Ackers-White ve Bijker tarafından verilen farklı taşınım teorilerinin sonuçları ile de karşılaştırmalar yapar.	İyi sonuçlar vermesi için kohezyonsuz katı maddeye uygulanır.
MIKE 21 MT	MIKE 21 Mud Transport (MT) akıntı ve dalga hareketi altında çamur ve kum/çamur karışımlarının erozyon, taşınım ve yığılmasını belirler.	MIKE 21 MT mühendislik uygulamalarının incelenmesi için; çevresel görüntünün önde geldiği ve su kalitesinde düşmenin başladığı haliçlerde ve kıyı bölgelerinde ince kohezyonlu malzemeler veya kum/çamur karışımları için katı madde taşınım çalışmalarında, limanlarda, navigasyon kanallarında, akarsularda ve rezervuarlarda siltasyon problemlerinde ve tarama çalışmalarında kullanılabilir

MIKE 21 HD	MIKE 21 Hydrodynamic (HD) göllerde, haliçlerde, koy ve kıyı bölgelerindeki zorlayıcı fonksiyonların çeşitliliğine karşılık su seviyesi değişimleri ve akımı benzeştirir. Su seviyeleri ve akım ilgili bölgeyi kapsayan dikkörtgen bir grid üzerinde çözülür. MIKE 21 HD aşağıdaki faktörlerin etkisi için formüller içerir: - Konvektif ve momentum - Taban kayma gerilmesi - Yüzeydeki rüzgar kayma gerilmesi - Barometrik basınç gradyanı - Coriolis kuvvetleri - Momentum dispersiyonu - Dalganın etkisindeki akıntılar - Kaynak ve kuyular - Buharlaşma - Taşkın ve kuraklık	MIKE 21 HD hidrolik ve hidrolik bağlantılı olaylarda geniş bir uygulama alanına sahiptir. Gel-git hidroliklerin, rüzgar ve dalganın oluşturduğu akıntıların, fırtına kabarmalarının ve taşkın dalgalarının modellenmesi içermektedir. Bununla birlikte oldukça fazla girdiye ve kaynağa ihtiyaç duymaktadır.
Simulating Wave Nearshore (SWAN)	SWAN modeli Holanda Delft Teknik Üniversitesi'nde geliştirilmiş spektral bir dalga modelidir. SWAN okyanus yüzeyi boyunca kıyıya doğru hareket eden dalgaların enerjisini modellemektedir. Modelde rüzgardan dolayı dalgaların yüksekliklerinin değişimi, biçimi, doğrultusu, köptüklenmesi, dalga kırılması, dalgalar arasında enerji transferi, okyanus tabanındaki ve akıntılarındaki değişimler belirlenir. Başlangıç dalga şartları, gelen dalga yüksekliği, dalga doğrultusu ve dalga periyodu modele girilir ve dalgalar kıyıya doğru hareket ederken model girilen parametrelerin değişimlerini hesaplar. Model sonuçları araştırma bölgesi için 500 m'lik grid ile hesaplanır. Model çıktısı (dalga yüksekliği, dalga doğrultusu, dalga hızı) model gridindeki her bir hücre için oluşturulur ve çalışma bölgesi boyunca dalgalarındaki değişimler gösterilir.	SWAN yakın kıyı bölgesinde dalga transformasyonu için en iyi modeller arasındadır. Ancak morfolojik değişimler ve katı madde taşımının belirlenmesi için diğer modellerle kombine edilmelidir.
STWAVE	STWAVE (Steady state spectral wave) modeli yakın kıyıda gelişen ve yayılan rüzgar dalgaları için US Ordu mühendisleri tarafından geliştirilmiştir. STWAVE derinlik etkisinde dalga sapması ve sığlaşmayı, akıntı etkisinde sapma ve sığlaşmayı, derinlik ve eğim etkisinde dalga kırılmasını, dönmesini rüzgardan dolayı dalga gelişimini benzeştirir.	STWAVE için yapılan kabuller şunlardır. Taban eğimi yumuşak olmalı, dalga yansıması ihmal edilebilmeli, Açık deniz dalga şartları uzamsal olarak homojen olmalı, Dalga, akıntı ve rüzgar kararlı olmalı, Sapma ve sığlaşma lineer olmalı, Akıntı derinliğe göre uniform olmalı, Taban siltlenmesi ihmal edilmelidir.

SBEACH	SBEACH (Storm-induced BEACH Change Model) fırtına dalgaları ve su seviyeleri ile oluşan eşik erozyonu, basamak, kıyıya dik kumsal benzeştirmek için US Ordu mühendisleri tarafından geliştirilmiştir. En son versiyonu sağlam tabanda ki eşik erozyonunun benzeşmesine izin vermektedir.	
UNIBEST-DE	Malzeme kaybı oluşan bir kıyıda fırtına sırasında gelişen kıyıya dik profili hesaplamak için bir modeldir. Büyük dalgalardan başka bu şartlar ortalama su seviyesinin dikkate değer bir şekilde yükselmesi ile karakterize edilir. Kırılan dalgaların şiddetiyle oluşan yüksek türbülans büyük miktarda katı maddeyi askıya geçirir. Askı malzemesinin taşınımı bu şartlar altında hakim taşınım mekanizmasıdır. Model fiziksel modeller ve arazi datalarıyla doğrulanmıştır. Model değişken ağ boyutuna sahip bir boyutlu grid üzerinde kıyıya dik taşınımı göstermektedir. Aynı zamanda dalga ve su seviyelerinin zaman serilerinin tanımlanmasını gerektirmektedir. Model sonuçları taban profili boyunca dağılımları grafiksel olarak vermektedir.	Model aşağıdaki uygulamalarda kullanılabilir. - Ekstrem şartlar altında eşik erozyonu ve kıyı profili değişimi - Kumsal beslemesinin tasarımı - Eşik kaplamalarının tasarımı
UNIBEST-TC	UNIBEST-TC Kıyıya dik katı madde taşınımı modülüdür. Dalga hareketi, kıyı boyu gel-git akıntısı ve rüzgar kombinasyonu altında herhangi bir kıyı profili boyunca sonuç profil değişimlerini ve kıyıya dik katı madde taşınımını hesaplamak için tasarlanmıştır. Model aşağıdaki prosesleri belirlemektedir. -Taban sirtünmesi ve dalga kırılmasından dolayı dalga yayılması ve söntülmesi -Asimetrik salınlı akım -Uzun dalgaların ve dalga gruplarını etkisi -Dalga etkisinde ger dönüş akımı -Van Rijn ve diğ.(1995) göre katı madde taşınımı -Rüzgarın oluşturduğu akıntılar -Yüzey dalgalarının momentum dengesine katkısı	Model çok miktarda girdi ve nümerik kaynaklara gereksinim duymaktadır.

UNIBEST CL+	Bu bir katı madde dengesi modelidir. Tipik uygulama kıyı üzerinde planlanan kıyı yapılarının (liman) etkisini belirlemek için veya kıyı erozyonunun etkilerini belirlemek için kıyı sistemlerinin büyük ölçekli morfolojisinin analizidir. Ancak model aynı zamanda daha küçük ölçekli uygulamalarda da (mahmuzlar, kaplamalar, akarsu ağı düzenlemesi, ardısk dalgakıranlar gibi) kullanılabilir. Katı madde kaynak ve kuyuları, kara çökmesi veya deniz seviyesi yükselmesinin, açık deniz katı madde kaybının, yapay kum geçişinin ve kıyı taramasının etkisini benzeştirmek için herhangi bir yerde tanımlanabilir. Modelin teknik özellikleri şunlardır. -Eğrisel grid -Dalga yayılmasının ve dalga etkisinde kıyı boyu akıntısını hesaplanması -Kıyı boyu taşınımı ve kıyı profili boyunca dağılımı	
GENESIS	GENESIS (Generalized model for simulating shoreline change) US Ordu mühendisleri tarafından geliştirilmiş bir modeldir. Dalga hareketinin neden olduğu kıyı çizgisi değişiminin hesaplanması için bir modeller sistemidir. Sistem izlen verilen kıyı değişiminin sabit kaldığı kıyı profili kabullütün yapıldığı one-line teoriiyi esas almaktadır. Model mahmuzların, jettylerin, ardısk dalgakıranların, kıyı duvarlarının ve plaj dolgularının kombinasyonlarını, yerleşimlerini içeren farklı durumlar için uygulanabilmektedir.	
DELFT-3D	Delft 3D hidrodinamik dalga, su kalitesi, morfoloji, katı madde taşınımı ve ekoloji proseslerinin zamansal ve uzamsal değişimlerinin simülasyonunu yapmaktadır. Kıyı, akarsu ve haliçlerin modellenmesi için çok uygundur.	
LITPACK	Dalga ve akıntı etkisinde kıyı çizgisi boyunca katı madde taşınımı, kıyı çizgisi değişimini, kıyıya dik profil gelişimini, bir noktada katı madde konsantrasyonunun düşey profilini, limanlarda kumlanma problemini modellemektedir.	Koheziv olmayan katı maddeye uygulanır.

3.2.4 Avrupa Kıyı Çizgisinde Erozyonla İlgili Günümüze Kadar Alınmış Önlemler

Kıyı erozyonu yönetiminde yapılmış ölçümler genellikle yerel bir bakış açısı ile tasarlanmaktadır. Bunlar yerel olmayan faktörlerin etkisini ve daha büyük kıyı sistemlerinde katı madde taşınımını ihmal etmektedir. Sonuç olarak bunlar yerel olarak kıyı erozyon problemini daha kötüleştirmekte ve diğer bölgelerde yeni erozyon problemlerini tetiklemektedir.

Uzun yıllardan beri bir çok sert yapı risk oluşumundan korumak için yerel erozyonu durdurmak amacıyla kullanılmıştır. Bunlar kısa vadede etkili çözüm olmasına rağmen uzun dönemde verimleri oldukça düşüktür. Birçok kıyı duvarı, kaplama vb. yapıların ön kısımlarında, kumsal dalga yansımalarının bir sonucu olarak erozyona uğramaktadır. Bu da yapının stabilitesini bozmaktadır. Bu yapıların bakımları oldukça pahalıya mal olmakta ve yapıların bir çoğu doğal olayların gücüne dayanamayıp yıkılmaktadır. Bu durumda yeniden yapılandırma ya da yeni ilave yapılar ekleme ekonomik olmayan bir çözümdür. Diğer durumlarda mahmuz ve dalgakıranların inşası erozyonun komşu alanlara kaymasına neden olmakta ve risk altındaki alan artacağından daha sıkı koruma önlemleri gerektirmektedir. Bu durum sert yapıların domino etkisi olarak bilinmektedir. Hel Yarımadası'nda (Polonya) bütün bir mahmuz tarlasının yaklaşık 12 km mesafeye yayıldığı gözlenmiştir. Bir çok uygulamada mahmuzlar uzun yağışlar sırasında erozyonu tam olarak önleyememektedir. Günümüzde kıyı koruma yapılarının bazıları geçmiş yönetim stratejilerinden kalmış ve hala aktif durumda kullanılmaktadır. Playa Gross (İspanya, 1990), Chatelaillon (Fransa, 1925), De Haan (Belçika, 1930)'da bulunan kıyı duvarları ya da Batı Jutland (Danimarka)'da bulunan ve 1900'lerde stabilize edilen bitkilendirilmiş kumullar örnek olarak verilebilir. Bu yapılar halen katı madde taşınımı ile pozitif ya da negatif olarak etkileşim halindedir. Kıyı erozyon yönetimine geleneksel yerel bir bakış kıyı katı madde taşınımını ciddi bir çevresel problem olarak ele alan az sayıdaki ÇED raporunda da belirtilmiştir.

Bunun yanında, Marinella di Sarzana'da (İtalya) daha olumlu bir örnek bulunmaktadır. Bu bölgede akarsuların ve kıyı bölgesi yönetimlerinin birleştirilmesi ile komşu bölgelerde başarılı bir ortak çalışma yapılmış ve sonuçta ÇED prosedürlerinde de değerlendirilen entegre edilmiş bir proje yaklaşımı getirilmiştir.

3.2.5 Avrupa’da Kıyı Erozyonu İle Mücadelede Katı Madde Hücresi Kavramı

Kıyı erozyonunun yerel olmayan sebeplerine yerel olarak daha iyi cevap verebilmek ve erozyon yönetim ölçümlerinin etkilerini tahmin edebilmek için özellikle Kuzey Avrupa’da çok sayıda örnek çalışmalar yapılmış ve bunların sonucu olarak geliştirilen “katı madde hücresi” kavramı ile bir katı madde hücresi içinde oluşan katı madde taşınımının daha iyi anlaşılması sağlanarak her bir bölge kendi yönetim stratejisini geliştirmiştir. Bu tür uygulamalar aynı katı madde hücrelerini paylaşan bölgeler arasında güçlü ortaklaşa çalışma gerektirmektedir.

Kıyı erozyonunun derecesinin ve nedenlerinin anlaşılması için “kıyı katı madde hücresi” yaklaşımı başlangıçta bir çok zorluklar içermektedir. Bu yaklaşımda erozyon nedenlerinin ve erozyon azaltıcı önlemlerin etkisinin belirlenmesi için coğrafik sınırlar koymak faydalı olmaktadır (örn; Normandiya, Vagueira, Essex, Wight Adası, Holland sahili, Wadden denizi). Bir kıyı katı madde hücresi katı maddenin hareket ettiği yakın kıyı bölgelerinin kıyı çizgisi uzunluğu olarak tanımlanabilir. Pratikte bir katı madde hücresi içinde alınan önlemler aynı katı madde hücrelerinin diğer bölümlerini etkileyebilir ancak komşu hücreleri etkilemeyebilir.

“Kıyı katı madde hücresi” ne farklı bakış açısı ile yaklaşıldığında katı madde kaybı o katı maddenin kıyı sisteminde yeniden dağılımından daha az tercih edilir bir durumdur. Sistem içindeki az miktarda katı madde kıyı çizgisinin değişen durumlara uyum sağlamasını engeller. Dahası, liman mendirekleri ya da dalga kıranlar gibi sert yapılar doğal katı madde taşınımını engeller. Katı maddenin bir kısmı yapılarla hapsedilir ve doğal proseslerde serbest olarak bulunamaz. Yamaç erozyonundan doğal katı madde girişini önleyen yamaç stabilizasyonunda da (örn, Sussex) aynı etkiler görülür.

Bu nedenlerden dolayı kıyı katı madde hücresi kavramının geliştirilmesi amacıyla, kıyı çizgisi erozyonu için aşağıdaki üç önemli kural dikkate alınmalıdır. Bu Normandiya, Sussex, Wight Adası, Essex, Holand sahili ve Wadden Denizi çalışmalarında kanıtlanmıştır:

- 1) Kıyı sistemindeki toplam katı madde miktarını muhafaza etmek,
- 2) Önlemler alınırken doğanın dengesini bozmadan çözüme gitmek yani doğa ile birlikte çalışmak
- 3) Eğer başka bir seçenek yoksa katı maddeyi kıyı sisteminde tutmak için sert yapıları kullanmak.

Ancak katı madde hücresi kavramı, zamana bağımlılığından dolayı büyük sınırlamalara sahiptir. Bir katı madde hücresindeki katı madde prosesleri toplam olarak “bağımsız” olamaz ve komşu hücreler arasındaki katı madde transferi, sonuçta uzun bir periyottan sonra ihmal edilemez hale gelir. Dahası katı madde hücresi kavramı kıyı çizgisi boyunca oluşan proseslere sıkı sıkıya bağlıdır ve akarsu katı maddelerinin azalması ya da Riga Körfezi’nde görüldüğü gibi haliç su seviyesi ve akarsu akışı değişimi gibi kıyı erozyonunun nedenlerini içermez.

3.2.6 Avrupa’da Kıyı Erozyonu Yönetim Teknikleri

Günümüzde karşılaşılan deneyimler, kıyı erozyonunun ters etkilerine karşılık cevap verecek sağlıklı bir çözüm bulunamadığını göstermektedir. En iyi sonuçlar sert ve yumuşak çözümleri içeren, kıyı korumanın farklı tiplerinin bir arada kullanılmasıyla elde edilmiştir. Çizelge 3.3’te Avrupa’da kıyı erozyonu ile mücadelede kullanılan teknikler özet halinde verilmiştir.

Birçok doğal ve insan kaynaklı faktörün kombinasyonu ile meydana gelen kıyı erozyonundan elde edilen gözlemler sonucu ters etkilere karşılık mucize çözümler bulunamaması sürpriz değildir. Buna rağmen “doğa ile birlikte çalışmak” prensibi fiyat etkili yöntemlerin araştırılmasında bir başlangıç noktası olmuştur.

Ancak bu elde edilen bulgu aynı zamanda yumuşak mühendislik çözümlerinin sert olanlara tercih edilmesi gerektiği gerçeğini değiştirmemektedir. Bu durum deneyimlerden elde edilen aşağıdaki bulgularla da ispatlanmıştır;

- Son 10 yılda büyük bir yaygınlıkla kullanılan kıyı beslemesi gibi iyi denenmiş yumuşak çözümlerde bile ciddi olumsuzluklar gözlenmiştir. Bu tür aksilikler katı madde prosesinin tam olarak anlaşılamaması (teknik olumsuzluklar), yüksek olan fiyatlara neden olan kum rezervlerine güç ulaşım (finansal olumsuzluklar) ya da doğal sistemlere beklenmeyen ters etkilerin (çevresel olumsuzluklar) de katkısı ile uygun olmayan besleme planlarının tasarlanmasına neden olmaktadır. Bunlar sırasıyla şu olaylarda gözlenmiştir; yalnızca birkaç hafta içinde kıyı boyu akıntısı ile 700.000 m³ lük taşınımın olduğu ve 3,2 milyon Euro yatırımın yapıldığı Vale do Lobo (Portekiz), diğer bir bölgeden getirilen katı maddelerle katı madde hacminin

yeniden sağlandığı Ebro kıyısı ve deniz bitki topluluklarına geri döndürölemeyecek zararlar veren kum taramasının yapıldığı bölge olan Sitges (İspanya).

Yumuşak çözümler doğa ile çalışılması başariabildiğinden daha çok orta ya da uzun vade etkili çözümler sunmaktadır. Örn; kıyı erozyonunun kısa vadede (5–10 yıl) bir risk içermeydiği durumlar. Bunların etkileri kıyı çizgisinin çekilmesini yavaşlatmakta fakat durduramamaktadır. Bu durumda yumuşak çözümlerin uzun dönemde pozitif etkisi sınırlı sürede (genellikle 10 yıldan fazla değil) fakat etkili olarak kıyı erozyon problemine çözüm bulabilecek sert yapılar ile optimize edilebilir. Bu duruma örnek olarak en iyi şekilde sert yapıların bulunduğu ayrıca kumul restorasyonu, rüzgar bölmesi gibi yumuşak korumanın yeterli olduğu Petite Camargue (Fransa) bölgesi verilebilir. De Haan (Belçika)'da kıyı duvarı kumsal beslemesi ile birlikte sosyal ve ekonomik faydaların güvenliğini sağlamaktadır. Batı Jutland (Danimarka)'da ardışık dalgakıranların kullanımı kumsal beslemesi ile bağıntılı faktörlerin maliyet etkisini azaltmıştır. Buna ek olarak UK'deki çalışmaların çoğunda kıyı çizgisi yönetim planlarından (SMP) elde edilen faydalar farklı tip tekniklerle birleştirilmiştir.

Teknik Özellikleri		Uygulama Limitleri
Sert Teknikler		
Dalgakıran	Dalgakıranlar kıydan açığa yerleştirilen koruma yapılarıdır. Dalgalar kıyıya ulaşmadan önce dalga enerjisinin sönmülmesi amacıyla genellikle taş ve ya beton gibi sert malzemelerden yapılmaktadır.	Dalga kıranlar dalga enerjisini yansıtır ya da döndürürler. Erozyon problemleri ve oyulma etkileri kıyı ve kıyı çizgisi kaybına ve korunacak yapıların temellerinin bozulmasına yol açar.
Gabion	Gabion boyutları 1 m'ye 1 m olan kare şeklinde ve içi taşla doldurulmuş metal bir kafestir.	Güçlü fırtına dalgaları ile kolayca hasara uğradıkları ve çok çabuk paslandıkları için kısa dönemde bölgeyi korumakta kullanılırlar. Kullanım kolaylığı ve ekonomik olma avantajlarına sahiptirler ancak ömürleri kısadır.
Jeotekstiller	Jeotekstiller su içinden akarken malzemeleri arkada tutan geçirgen yapılardır. Jeosenetik tüpler sulu çamurla dolu örtülmüş jeotekstil malzeme içeren büyük tüplerdir. Bu karışım genellikle yakın bölgelerden alınmış malzemedir (kum) ancak bazen beton ve harç karışımı da kullanılabilir.	Jeotekstil son zamanlarda ortaya çıkan bir malzemedir. Ancak kumasalların çekilmesini önlemeye iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca esneklikleri ve iyi sonuç alınmadığında konfigürasyonu yeniden düzenlenebilirler.
Mahmuz tarlaları	Mahmuzlar kıyıya dik olarak uzanan yapılardır. Grup olarak yapılandırıldıklarında mahmuz tarlası olarak adlandırılırlar. Amacı kum tutmak ve aralarında kumsal bölümlerini beslemektir. Mahmuzlar ahşap ve taş malzemelerden yapılırlar. Kıyı boyu taşınımını durdururlar. Mahmuz tarlaları iyi tasarlandığında kum kapasitesi dolar kıyı boyu taşınımını mahmuzlar yapılmadan önceki gibi devam eder ve stabil bir kıyı oluşur.	Mahmuzlar arasında biriken kum katı maddenin aşağı kıyıya doğru sürüklenmesine neden olur. Kıyı erozyonu problemleri diğer bölgelere kayarak yer değiştirir. Etkinliğin sağlanması için mahmuzla kıyı boyu taşınımının bir doğrultuda taşındığı ve aşağı kıyıda kabul edilmeyecek kadar erozyon oluşmadığı bölgelerde yapılmalıdır.
Kaplamalar	Kaplamalar dalga enerjisini kıran ya da sönmülendiren, suyun ve ya katı maddenin geçmesine izin veren yapılardır. Eski kaplamalar ahşap tahtalar arasında kumsala sabitlenmiş kazıkları içerirken modern kaplamalar beton ve ya taş bloklardan oluşmaktadır. En üstte birkaç ton ağırlığında taş ve ya riprattan oluşan zırh tabakası bulunur. Riprap iyi bir geçirgenliğe sahiptir ve daha doğal görünür.	Kaplamalar yumuşak bir eğimle kıyı önüne uygulanabilir. Kıyı duvarları ile aynı olumsuz etkilere sahiptirler. Aynı zamanda kıyı öntü ekosisteminde daha fazla değişime yol açabilecek olan deniz doğasını da değiştirebilir.

Kıyı duvarı	Perde duvarlar ve kıyı duvarları karaya denizden tamamen ayrılarak kıyıları korurlar. Perde duvarlar kıyı duvarlarının yıkılmasını önlemek amacıyla duvarları tutucu görev görürler. Kıyı duvarları öncelikle dalga hareketine karşı kullanılırlar. Bu tip yapıların dizayn şartları benzerdir. Ancak bu yapılar kıyı önüne konmazlar.	Perde duvarlar ve kıyı duvarları dalga hareketinin önemli olduğu bölgelerde yapıldıklarında kıyı erozyonunu hızlandırabilirler. Çünkü yapı üzerinde kırılan dalganın enerjisi direk olarak topuğa aktarılır. Bu yapılar çoğunlukla balıkçılığın yaygın olduğu güneşlenme ve yüzme aktivitelerinin yapılmadığı yumuşak eğimli kıyılarda uygulanır. Aynı zamanda bu yapılar kıyı erozyonunun riskli olduğu yerlerde kritiktir.
Yumuşak Teknikler		
Yapay kayalık oluşturma	Yapay kayalık oluşturulduğunda dalga enerjisi söntülendir. Deniz canlıları için doğal ortam sağlanır ve rekreasyonel etkinlikler için fırsatlar oluşturulur.	Yapay kayalık oluşturulması için Avrupa'da sadece birkaç örnek mevcuttur (UK, Sea Palling) ancak iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.
Kumsal drenajı	Kumsal drenajı geri dönüş akımı sırasında suyun kıyıya taşımına izin vererek su yüzeyi hacminin azalmasına neden olur. Böylece açığa doğru katı madde taşınımı da azalır. Kumsal drenajı aynı zamanda daha kuru ve altın renkli kumsalların oluşmasını sağlar ve rekreasyonel aktiviteler için daha uygundur.	Bu teknik nispeten yenidir ve performansı tam olarak değerlendirilememiştir. Ancak kıyıya dik erozyon oluştuğunda (kıyı boyu akıntısı önemsiz) kumsal drenajının uygun olduğu belirtilmiştir.
Kum temini veya besleme	Dişardan kum teminiyle kıyı önündeki kum hacminin yapay olarak artırılmasıdır. Kum kıyıya ya damla yükleme olarak adlandırılan tek bir noktada yerleştirilir veya pompalanarak yerleştirilir. Aynı zamanda kıyı önünün erozyona uğradığı kısımda (kıyı beslemesi) veya su yüzeyinin altında (su altı beslemesi) genellikle daha ekonomik olur.	Kıyı ve su altı beslemesi özellikle Kuzeyde oldukça yaygındır çünkü kıyı katı maddesi ile benzer özelliklere sahip katı madde kolaylıkla elde edilmektedir. Katı madde bulunmadığında veya diğer bir bölgeden taşınmak zorunda kalındığında kıyı beslemesi en iyi çözüm olmayabilir. Besleme planları doğal hayatı tehdit edebileceklerinden dolayı hem kıyı hem taranan bölgede dikkatli tasarlanmalıdır.
Kumsal taraması	Katı madde kayıpları oldukça büyük miktarlarda olduğunda yapay olarak kumsal profilinin yeniden düzenlenmesidir. Yeniden profilendirme mevcut kıyı katı maddesinin kullanılmasıyla olur.	Kumsal taraması kum taşınmasını gerektirmediği için en ucuz teknikler arasındadır. Ancak bu işlem doğru profil bulunana kadar birkaç kez tekrarlanabilir. Aynı zamanda kıyıya dik erozyonun hakim olduğu ve fırtınaların şiddetli olmadığı kıyılarda uygundur.
Yamaç drenajı	Yamaçtan su pompalanarak boşluk suyu basıncı azaltılır böylece suyun kaya sınırları dahilinde birikmesi önlenir.	Bütün yamaç tipleri için uygulanamaz.

Yamaç	Yamaç stabilitesini arttırmak için yamacın şev açısı değiştirilir. Yamacın sabit olduğu aç taş tipinin, jeolojik yapının ve su içeriğinin bir fonksiyonudur.	Bütün yamaç tipleri için uygulanamaz. Bu teknik yamacın jeolojik yapısı ve sulama prosesi hakkında iyi bir bilgi birikimi gerektirir.
Yamaç topoğrafyasının korunması	Potansiyel göçmeler oluşan yüzeyin topoğrafyasına bloklar yerleştirilerek yamacın korunması sağlanır.	Bu tekniğin uygulanması kolaydır fakat erozyonu tam olarak durdurmaz. Bu nedenle kara kaybı hala kabul edilebilir limitlerdeyse uygulanabilir.
Stabil koylar oluşturma	Birim kıyı uzunluğuna gelen dalga enerjisini azaltmak amacıyla kıyı çizgisi uzunluğunun artırılmasıdır. Kıyı çizgisinin bir bölümü korunurken koy formasyonuna yol açan bu sert noktalar arasında erozyon devam eder.	Bu teknik Avrupa'da hemen hemen hiç kullanılmamaktadır ve deneysel aşamadır. Ancak özellikle Hollanda Kıyısında bir çok yerde denenmiştir.
Kumul	Büyük gel-git bölgesinde kumun rüzgar tarafından sürüklenerek yığılmasıdır. Rüzgar hızı kum yığılmasını arttıran bitkiler, ahşap ve jeotekstil malzemelerden yapılan gözenekli perdeler ile azaltılır.	Rüzgarın hakim olduğu durumlarda uygulanır.
Bataklık oluşturma	<i>Spartina</i> gibi bataklık türleri ile çamur tabakalarının bitkilendirilmesidir. Bitki köklerinin bağlayıcı etkileri, kayma mukavemetinin artması ve aşınmanın azalmasından dolayı bataklık bitkilendirilmesi katı madde stabilitesini artırır. Bataklıklar aynı zamanda dalga enerjisinin sönümlenmesi ile oluşan taşkınlara karşı maliyet yönünden etkili bir çözüm sağlar.	Bataklık oluşturma İngiltere'de yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu teknik deniz seviyesi yükselmesini hızlandırarak tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Bu durumda bataklık oluşturmak için gereken ince katı maddelerin toplanması doğru bir biçimde gerçekleştirilmelidir ve bataklık çökme tehlikesi ile karşı karşıya kalmaktadır.
Yeniden çamur tabakası oluşturma	Kohezyonlu katı maddeye sahip çamur tabakası temin edilir. Bu teknik damla yükleme (kıyı besleme) ve ya yağmur yükleme ile yapılır.	Bu teknikte deniz seviyesinin yükselmesini hızlandırarak tehlikeli sonuçlar doğurur.
Taş çakılması	Kohezyonu ve stabiliteyi arttırmak için taşların denize doğru yamaçlara çakılarak kaymayı önlemesi için yapılır. Yamaçları dalga etkisinden korumaz ancak kütle hareketi tehditini azaltır ve böylece erozyon miktarı da azalır.	Tüm yamaç tipleri için uygulanamaz.
Kum geçişi	Kıyıya dik yapılarından dolayı yukarı kıydan yığılan katı maddelerin pompalanarak aşağı kıyıya yönlendirilmeleri ile katı madde taşınımı yeniden harekete geçirilir. Kum geçişi katı madde taşınımını canlandırmak için navigasyon amacıyla taranan malzemenin kullanılması olur.	Liman dalgakıranları ve ya baraj seddeleri tarafından tutulan kum genellikle uygun olduğundan bu teknik Avrupa'da çok sayıda liman ve ya baraj otoritelerince uygulanmaktadır. Katı madde bir seri mahmuz ve ya ardışık barajlar ile tutulduğunda teknik ekonomik olmaz. Baraj durumunda yığılan katı madde kirlenme olabilir.

Bitki örtüsü ve / oluşturma veya stabilizasyon	Kökleri katı maddeye bağlı bitkilerle kıyı zemininin kolonileşmesi katı maddenin rüzgar erozyonuna karşı direnç göstermesini sağlar. Bitki örtüsü aynı zamanda rüzgarı keser böylece kumul oluşumu artar. Yamaçlarda ise aşağıya doğru kaymayı engellemek için yamaç şevinin yüzeyinde kohezyonu arttırmak amacıyla bitki örtüsü oluşturulur.	Kumullar üzerinde oluşturulan bitki örtüsü (Marram çimeni) genellikle çok hassastır ve özel koruma ve kumul sistemlerine günlük bakım gerektirir.
--	---	---

4. TÜRKİYE'DE EROZYON

4.1 Türkiye'de Toprak Erozyonu

Çeşitli kaynaklara göre Türkiye'de arazi kullanımı ile ilgili kültürün 8-9 bin yıl öncesine kadar uzandığı kabul edilmektedir. Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de toprak kaybı sürecinin en önemli etkeni erozyondur. Arazi eğimi, iklim, bitki örtüsü ve toprak özelliklerinin etkileşimi sonucu oluşan doğal erozyonun yanı sıra, insanın doğaya müdahalesi temeline dayanan bir dizi yapay etken erozyonu bir afet niteliğine dönüştürmektedir. Türkiye dünyada en çok erozyon meydana gelen ülkelerden birisidir. Türkiye'de 1950 yılından beri erozyon nedeniyle her saat 7.5 dönüm arazi yokolmaktadır.

Ülkemizde bitkilerin beslenmesi için binlerce yıldır oluşan topraklar erozyon nedeniyle denizlere taşınmaktadır. Toprak, bitki ve su arasındaki tabi denge bozulmakta bitki örtüsü zayıflamakta, kuraklık ve çölleşme başlamakta, can ve mal kayıplarına yol açan sel ve taşkınların sayısı her yıl artmakta ve her yıl Kıbrıs Adası büyüklüğünde toprağımız yok olmaktadır.

İklim, erozyonu etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Özellikle, bir bölgedeki yağışın şekli, şiddeti, süresi erozyona farklı etkiler yapmaktadır. Bunun yanında sıcaklık, yağışların çeşidini, toprağın donmasını ve nem muhtevasını etkileyerek erozyonun şiddeti üzerinde önemli etkiler yapmaktadır. Türkiye'nin coğrafi konumu dolayısıyla özellikle İç Anadolu, Doğu ve Güney Doğu Anadolu Bölgeleri'nde yaz kuraklığı ve yağış azlığı diğer bölgelere nazaran daha yüksek miktardadır. Kurak ve yarı kurak sahalarda mevcut ekosistemlerin bozulması daha kolay olduğundan dolayı, bitki örtüsü zayıf olan bu bölgeler Türkiye'nin erozyondan en çok etkilenen bölgeleri olmaktadır (DSİ, 2004).

Ülkemizin topografik yapısı da erozyonu tetikleyen nedenlerden biridir. Ülkemizin arazisinin eğimli ve engebeli olması orman ve bitki örtüsünün tahrip edildiği alanlarda doğal dengenin daha hızlı olarak bozulması sonucunu doğurur. Doğal dengenin bozulması sonucu toprak aşınma süreci başlar ve altta bulunan jeolojik yapı yer yer taşlı ve kayalık araziler halinde ortaya çıkar. Ülkemizin jeolojik ve toprak yapısının genellikle pekişme durumu zayıf ayrışmaya ve değişmeye karşı fazla direnç göstermeyen taneli, tortul ve volkanik olması erozyonun bir diğer sebebidir. Kurak ve sıcak iklim şartları altında Anadolu'nun kapalı

havzalarında çökelmiş olan tuzlu alkali maddeler bakımından zengin, killi, marnlı ve jipsli depolarda kimyasal erozyon ön plana geçmektedir.

Ülkemizin jeolojik, topografik ve iklim faktörlerinin erozyona çok uygun olması ile birlikte; yanlış arazi kullanımı, meraların aşırı otlatma altında bulunması, orman yangınları ve dik eğimli alanların tarıma açılması gibi yanlış ve bilinçsiz uygulamalar sonucu, günümüzde ulusal bir sorun haline gelmiştir. Çizelge 4.1’de Türkiye topraklarının erozyon durumu (Çelik, 1994) ve Çizelge 4.2’de Türkiye’de arazi yetenek sınıfları ile su ve rüzgar erozyonu sınıfları verilmiştir (Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 1987).

Çizelge 4.1 Türkiye topraklarının erozyon durumu (Çelik, 1994)

Erozyon Durumu	Alan (ha)	Türkiye Yüzölçümüne Oranı (%)
Erozyon yok	5.166.627	6.64
Hafif erozyon	5.611.892	7.22
Orta erozyon	15.592.750	20.04
Şiddetli erozyon	28.334.933	36.42
Çok şiddetli erozyon	17.366.463	22.32
Çıplak kayalık	2.930.933	3.77
Rüzgar erozyonu	506.309	0.65

Çizelge 4.1’de görülen verilere göre Türkiye yüzölçümünün %74,05’inde su ve rüzgar erozyonu etkili iken Çizelge 4.2’deki verilere göre bu değer %86,65’e (çıplak kayalık alanlar hariç) yükselmiştir. Bu verilerin hangisi esas alınırsa alınsın, Türkiye’de gün geçtikçe erozyon şiddetinin artarak devam ettiği görülmektedir.

Kullanımda toprak zarar ve kısıtlamaları sınıf I’den sınıf 8’e doğru giderek fazlalaşmaktadır (Çizelge 4.3). İlk dört sınıfta topraklar iyi bir yönetim altında iklime adapte olmuş kültür bitkileri, orman ağaçları, çayır ve mera bitkilerini üretme kapasitesine sahiptir. V., VI. ve VII. sınıflar adapte olmuş yerli bitkilere elverişlidir. V. ve VII sınıflarda uygun toprak ve su koruma uygulamaları yardımıyla bazı özel bitkiler de yetiştirilebilir. VIII. sınıfta iyi bir ıslah çalışması yapılmadan bir kazanç elde edilemez.

Çizelge 4.2 Türkiye’de arazi yetenek sınıfları ile su ve rüzgar erozyonu sınıfları (Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 1987)

Erozyon durumu	SU EROZYONU						
	ARAZİ YETENEK SINIFLARI						TOPLAM
	II (ha)	III	IV (%)	V (ha)	VI	VII (%)	
Hafif erozyon	-		-	--			5.611.892 7,22
Orta erozyon	13.780.260		17,70	1.812.490		2,33	15.592.750 20,04
Şiddetli erzoyon	2.077.265		2,68	26.257.668		33,75	28.334.933 36,42
Çok şiddetli erzoyon	1.930		0,00	13.219.273		16,99	13.221.203 16,99
TOPLAM	15.859.455		20,38	41.289.431		53,07	57.148.886 73,45
RÜZGAR EROZYONU							
Hafif erozyon	159259		0,20	6405		0,01	165664 0,21
Orta erozyon	168460		0,22	62581		0,08	231041 0,30
Şiddetli erzoyon	2439		0,00	61946		0,08	64385 0,08
Çok şiddetli erzoyon	-		-	4823		0,01	4823 0,01
TOPLAM	330158		0,42	135775		0,18	465913 0,60

Çizelge 4.3 Türkiye topraklarının arazi yetenek sınıfları dağılımı (Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 1987)

Yetenek sınıfı	Alan (ha)	(%)	Yetenek sınıfı	Alan (ha)	(%)
I. sınıf	5170114,4	6,5	V. sınıf	131594,2	0,2
II. sınıf	6880643,4	8,7	VI. sınıf	11526903,1	14,5
III. sınıf	7077111,4	8,9	VII. sınıf	35671808,9	44,9
IV. sınıf	7587611,5	9,5	VIII. sınıf	3168571	4
			Diğer	224802,1	2,8

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi ülkemizde toplam 26,6 milyon hektarlık tarımsal alanın (I-IV. Sınıf araziler) yaklaşık olarak 15,9 milyon hektarında, diğer bir anlatımla %60’ında; işlemeli tarıma uygun olmayan (V.-VI. Sınıf araziler) alanların ise 41,3 milyon hektarında, çeşitli derecelerde su erozyonu görülmektedir. İşlenebilir alanların 13,78 milyon hektarında orta, 2,08 milyon hektarında şiddetli ve 1930 hektarında da çok şiddetli derecede su erozyonu

görülmektedir. Aynı çizelgeden görüldüğü gibi Köy Hizmetleri (1987)'nin verilerine göre çok şiddetli erozyon alanları 4.145.260 hektar aratarak 17.366.463 hektara ulaşmıştır. Aynı şekilde toplam alanın %7,22'sinde de (5.611.892 hektar) hafif erozyonun olduğu görülmektedir. Türkiye erozyonla Mücadele Vakfı (TEMA, 1998)'ndan alınan bilgilere göre işlenen tarım alanlarının %75'inde (yaklaşık 20 milyon ha) yoğun erozyon görülmektedir. Diğer bir anlatımla Türkiye tarım alanlarının ancak 5 milyon hektarlık bölümünde erozyon yoktur. Su ve rüzgar erozyonu tüm ülke topraklarının %86,5'inde cereyan etmekte, rüzgar erozyonu 506 bin hektarlık bir yayılımla daha çok kurak iklime sahip olan Konya ve dolaylarında görülmektedir.

Ülkemizde bulunan Fırat Nehri, yılda 108 milyon ton, Yeşilırmak 55 milyon ton toprak taşımaktadır. Her yıl Keban Barajı'na 32 milyon, Karakaya Barajı'na 31 milyon ton toprak birikmektedir. Başlıca akarsularımızla deniz ve göllere taşınan toprak miktarları Çizelge 4.3'de verilmiştir. Erozyonla yılda 90 milyon ton bitki besin maddesi toprakla birlikte yitirilmektedir. Her yıl tarım alanlarından 500 milyon ton, tüm ülke yüzeyinden 1,4 milyar ton verimli üst toprak, erozyonla kaybedilmektedir. Kaybedilen bu topraklar, 25 cm kalınlığında, yaklaşık 400 bin hektar genişliğinde bir araziye eşdeğerdir.

Ülkemizde 1 km² alandan yılda ortalama olarak aşınarak akarsulara karışan ince malzeme miktarının 600 ton dolaylarında olduğu görülmektedir. Çizelge 4.4'ten de görüldüğü gibi, Kelkit havzasında bu değer 1977 ton /km²/yıl, Tortum çayı havzasında ise 2500 ton/km²/yıl dolaylarındadır. Bu durum ülkemizde çok şiddetli olarak meydana gelen erozyonun varlığını kanıtlamaktadır. Nitekim ülkemizde birim genişlikte taşınan katı madde miktarı Kuzey Amerika'dan 6, Avrupa'dan 17, Afrika'dan ise 22 kat daha fazladır. Aynı şekilde dünyada akarsularla her yıl deniz ve göllere sürüklenen toprak miktarı 209,2 milyar tondur. Ülkemizden taşınan toprak miktarı ise yaklaşık 500 milyon tondur. Bu değer Türkiye'den kat kat daha büyük olan Avrupa'da 320 milyon ton/yıl kadardır.

Ülkemizde uygulanan yanlış toprak kullanımı, yanlış tarım uygulamaları, kent, sanayi, ulaşım ve benzeri yatırımların yanlış konumlanması süreci erozyonun hızını arttırdı. Afet nitelikli erozyon yetmezmiş gibi, tarım arazileri, özellikle de verimli tarım arazileri, tarım dışı kullanımlarla açık bir saldırı ve talanla karşı karşıya 1978-1996 yıllarında amaç dışı tarım toprağı %33 artmış ve betonlaşarak elden çıkan verimli tarım toprağı 600 bin hektara, yani verimli alanların yaklaşık onda birine yaklaşmıştır.

Ülkemizde bugüne kadar yapılan erozyon kontrolü ve mera ıslahı çalışmaları alan bakımından yeterli değildir. Yurdumuzda gün geçtikçe şiddetini arttıran erozyon felaketine karşı mücadele den farklı kuruluşlar mevcuttur. Bu kuruluşlardan Çevre ve Orman Bakanlığı'na bağlı Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Genel Müdürlüğü değişik isimler altında 6831 sayılı Orman Kanunu'nun 58. maddesine göre, (Orman Kanunu, 1956) Bakanlığın hüküm ve tasarrufundaki arazilerde 1955 yılından bu yana faaliyetini sürdürmektedir.

Çizelge 4.4 Başlıca akarsularımızla deniz ve göllere taşınan toprak miktarları (EİE, 1993)

Akarsu Havzaları	Yıllık Ortalama Taşınan Toprak Miktarı (ton/km ²)	Yıllık Ortalama Toplam Taşınan Toprak Miktarı (milyon ton)
Karasu, Keban	525	33,5
Tortum	2500	2,5
Fırat, Dutluca	1167	108,2
Dicle, Diyarbakır	1085	6,8
Kızılırmak, inözü	923	44,9
Yeşilirmak, Çarşamba	1521	54,9
Kelkit, Faklı	1977	10,8
Ceyhan, yeniköprü	922	19,6
Seyhan, Uçtepe	563	7,8
Göksu, Karahacık	648	6,8
B. Menderes, Söke	519	12,4
Gediz, Manisa köprüsü	582	5,8
Sakarya, Botbaşı	651	8,5
Filyos, Devecikıran	610	8,2
Dalaman, Suçatı	266	0,9
İyidere, Şimşirli	219	0,5
TÜRKİYE ORTALAMASI	600	500

4.2 Türkiye'de Kıyı Erozyonu

Türkiye birbirinden farklı özelliklerde dört denize kıyısı bulunan ve bundan dolayı uzun bir kıyı şeridine sahip olan bir ülkedir. Kıyı çizgileri özellikle fırtınalı hava şartlarında oldukça fazla erozyona uğramaktadır. Aynı zamanda insanlar tarafından bilinçsizce yapılan kıyı yapıları da kıyı erozyonunu arttırmaktadır. Aşağıda Türkiye kıyılarında meydana gelen kıyı

erozyonunun neden meydana geldiği ve nasıl önlenebileceği örnekler verilerek açıklanmaya çalışılmıştır.

4.2.1 Altınova Bölgesi

Altınova Ayvalık'a 20 km uzaklıkta uzun bir kıyı çizgisine ve birçok kumsala sahip bir yerleşim birimidir. Kumsalların başka katı madde kaynağını Altınova ve Dikili arasında yer alan Madra çayı oluşturmaktadır. Ancak son yıllarda doğal olmayan (insan müdahalesi) nedenlerle kıyıya gelen katı madde miktarında görülen azalmayla birlikte kıyı çizgisi boyunca şiddetli bir erozyon meydana gelmektedir. Bu doğal olmayan nedenler; Madra çayı üzerinde yapımı süren baraj, Kozak yaylasında yürütülen erozyon kontrol çalışması ve çay yatağından kontrolsüz biçimde kum alınmasıdır (Gürhan ve Adalıoğlu, 1998).

Madra çayına gelen katı maddenin kesilmesi, denizin kıyıya ve Madra çayına olumsuz etkilerini artırmış ve kaybedilen kumun yeri doldurulamaz olmuştur. Gelen sudaki kayıp ise hem çay tarafından taşınan katı madde miktarını azaltılmış hem de denizin Madra çayının içlerine doğru ilerlemesini hızlandırmıştır. Dalga etkilerine bağlı olarak kıyı boyunca güneyden kuzeye doğru taşınan kum, kuzeydeki İskele Yarımadası mevkiinde yığılmış ve Kadirga burnunun zamanla uzamasına neden olmuştur.

Madra çayı ağzının hızla aşındığı ve bu mevki de bulunan konutların tehdit altında bulunduğu anlaşılmıştır. Madra çayı ağzında meydana gelen bu aşınmanın önlenmesi için; Madra çayı ağzının güney kıyısında ağızdan yaklaşık 350 m uzaklıktan başlayarak, kuzey kıyısında 550 m devam eden koruyucu bir kıyı duvarının inşa edilmesi gerekli görülmüştür. Bu duvar yapıldıktan sonra duvara çayın kuzey kesimlerinde yaratacağı olumsuz etkiler gözlenerek ve kıyı çizgisinde görülen değişimlerin hızına bağlı olarak; mahmuzların yapımı, kritik kesimler için kum beslemesi gibi ilave önlemlerin de uygulanmasının gerekebileceği belirlenmiştir.

4.2.2 Karaburun Balıkçı Barınağı

Karaburun Balıkçı Barınağı İstanbul Boğazı'nın Karadeniz'e açıldığı kesimin batısında yaklaşık 40 km mesafede yer almaktadır. Karaburun Balıkçı Barınağı'nda 412 m uzunluğunda ana dalgakıran ve 110 m uzunluğunda ikincil dalgakıran bulunmaktadır. Karadeniz kıyısında yer alan barınak, yapılan kıyı ve açık deniz balıkçılığı ile İstanbul bölgesine hizmet etmesi açısından oldukça önemli bir ekonomik yatırımdır. Ancak barınaktaki projelendirme hatası ve yanlış kıyı uygulamaları sonucunda kumlanma problemi oluşmuştur. Aynı zamanda

Karaburun kıyısında meydana gelen erozyon ve yığılma ise kıyı çizgisinin değişmesine neden olmuştur. Bu nedenle Arı vd. (2004) yapmış oldukları çalışmada sayısal model yardımıyla Karaburun Balıkçı Barınağı'nın kumlanma probleminin ve kıyı çizgisi değişiminin önlemesi için bir mahmuz sisteminin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu yapılanmanın gerçekleşmesinden sonra yapay plaj oluşumu kesinlikle izlenmelidir ve doğal yapının bozulmaması için kıyıdan kumun uzaklaştırılmasına müsaade edilmemesi gerekmektedir. Aşağı kıyıda kumun bypass ederek barınak ağzında yeniden kumlanmaya neden olabileceği ve bu nedenle uzun dönemde burada yığılan kumun alınarak yukarı kıyıya besleme yapılması gerekmektedir.

4.2.3 Bafra Ovası Deltası

Bafra Ovası 1356 km uzunluğundaki Kızılırmak Nehri'nin Karadeniz'e döküldüğü yerde yüzlerce yıl boyunca nehrin taşıdığı katı maddenin, birleşim noktasında çökmesiyle oluşmuş alüvyon bir ovadır. Bu ova topografik olarak denize doğru konik bir şekilde uzanmıştır (Özoral, Asan ve Erden, 2002).

Bafra Burnu Sinop'un doğusunda Samsun'un batısında yer almaktadır. Bafra Burnu'nu ve Kızılırmak Nehri'nin ağzını doğrudan etkileyen dalga yönleri; Doğu (E), Doğu-Kuzeydoğu (ENE), Kuzeydoğu (NE), Kuzey-Kuzeydoğu (NNE), Kuzey (N), Kuzey-Kuzeybatı (NNW), Kuzeybatı (NW), Batı-Kuzeybatı (WNW), ve Batı (W) yönleridir. ESE ve WSW yönünden gelen dalgalar ise Kızılırmak ağzını ikincil olarak etkilemektedir. Kızılırmak Nehri'nin denize ulaştığı bu bölge her yıl 4 m'yi aşan özellikle NW ve NE yönlü derin deniz dalgalarının etkisindedir.

Bafra Ovası'nın büyük bir bölümü Kızılırmak Nehri'nin taşıdığı katı madde ile oluşmuştur. Kızılırmak üzerindeki Altınkaya ve Derbent Barajları'nın yapılmasıyla birlikte katı madde taşınımı sona ermiştir. 1990 yılından beri yapılan gözlemlerde ovanın denize doğru uzanan konik bölümünün sürekli erozyona uğradığı görülmüştür.

Bafra Ovası'nın 2 m kotu altında bulunan kısmının drenajını sağlamak için denize paralel olarak bir kanal yapılmıştır. Kanalin batı ucu Kızılırmak-Karadeniz birleşimindeki erozyondan tahrip olmuş ve deniz suyu kanala girmiştir. Bunları önlemek amacıyla bir dizi I ve Y tipi mahmuzdan oluşan bir koruma yapısı sistemi yapılmıştır. Mahmuzların yapıldığı bölgede erozyon hareketi durdurulmuştur.

4.2.4 Doğu Karadeniz Sahil Yolu

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde dalga parametreleri ve kıyı boyu katı madde taşınım parametreleri oldukça değişken ve kompleks bir yapıya sahiptir. Buna bölgenin jeolojik, hidrolik ve hidrolojik özellikleri de (arazinin heyelan ve toprak kaymalarına müsait olması, çok fazla dik eğimli akarsu olması, yağışların fazla olması) eklendiğinde bu durum daha da karmaşık olmaktadır. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde hava ve deniz ulaşımının yetersiz kalması ve demiryolunun hiç olmaması bölgedeki karayolu ulaşımını oldukça önemli kılmıştır. Bu neden Karadeniz Sahil Otoyolu'nun yapımına başlamış ve büyük kısmı tamamlanmıştır. Ancak yolun bir bölümü denize dolgu yapılarak kıyıya paralel bir şekilde geçirildiğinden hem yol hem de kıyı dalga etkilerine maruz kalmaktadır. Dalgaların kıyıya ulaşmasıyla kıyı şeridinde oldukça fazla miktarda erozyon meydana gelmektedir. Yolu ve kıyıyı dalgaların olumsuz etkilerinden korumak amacıyla yol güzergahı ve kıyı boyunca mahmuz, kıyı duvarı gibi koruma yapıları inşa edilmektedir (Yüksel ve Önsoy, 2002).

Ancak bölgede oluşan fırtınalar sonucunda kıyıya gelen fırtına dalgaları inşa edilen kıyı koruma yapılarını ve dolayısıyla Doğu Karadeniz Sahil Karayolu'nu hasara uğratmaktadır. Fırtınaların koruma yapılarını tamamen veya kısmen çökerterek kullanışsız hale getirmesi karayolunu ve araç trafiğini etkilemektedir. Bu nedenle Ergin vd. (2004) Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Kıyı ve Liman Laboratuvarı'nda kıyı koruma yapılarının stabilite ve ekonomileri üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yapılan model çalışmaları sonucunda fırtına dalgaların dayanıklı kıyı koruma yapısı enkesiti bulunmuş ve bu kesit hala inşa edilmekte olan kesitle ekonomik açıdan karşılaştırılmıştır.

4.2.5 Gömeç'te Hızlı Delta Oluşumu

İrtem ve diğ. (2002) tarafından yapılan bir çalışmada; Ege sahillerinde turistik bir belde olan Gömeç'te hızlı delta oluşumunun nedenleri ve etkileri araştırılmıştır. Kuzulu ve Gömeç nehirleri, Ege Denizi'nin kuzeyindeki Edremit Körfezi'nin doğu kısmında bulunan Gömeç Havzası boyunca akar. Bu nehirler kışın yağmurlu sezonlarda taşma eğilimi gösterirler. Gömeç havzası alüvyumla dolu bir havzadır. Bölgede yaz aylarında nüfus 10000 ile 20000 arasında değerlere ulaşır.

Gömeç Nehri'nin denizle birleştiği yere katı madde taşınımı oluşmakta ve taşınan bu katı maddeler kıyıda toplanmaktadır. Bu sayede denizde 2 km uzunluğunda ve 100 m genişliğinde sık bir bölge oluşmuştur. Gömeç'te önceki taşkınlardan taşınan katı maddelerle deltalar,

bataklıklar ve lagünler oluşmuştur. 1950'li ve 60'lı yıllarda çalılıklarla çevrili olan Gömeç ve Kuzulu nehirlerinin yukarı havzaları, daha sonra zirai amaçla kullanıma açılmış ve bu yüzden havzadaki erozyon potansiyeli artmıştır. Yukarı havzada topraklama barajları ve yeterli nehir düzenleme çalışmaları yapılmadığından geçtiğimiz 40 yıl boyunca yoğun yağışlarda gübreli topraklar denize taşınmıştır. 1998 yılında gözlenen taşkınlar Gömeç'te yerleşime ve gıda üretimine zarar vermiş ve bunun sonucu olarak delta oluşumu da artmıştır.

Delta bölgesinin oşinografik özelliklerini belirlemek için yaz ve sonbahar aylarında, 10 noktada akış hızı, yönü, bulanıklık, sıcaklık, iletkenlik ve tuzluluk ölçülmüştür. Ayrıca farklı noktalardan alınan sedimentolojik örnekler de analiz edilmiştir. Alınan bu bilgilerle delta oluşumunu ortaya koyacak bir modelleme çalışması yapılmıştır.

Model senaryolarının ilkinde taşkınlarla katı maddenin taşınarak kıyı yakınında bir bölgeye biriktiği ortaya çıkarılmıştır. Diğer senaryoda nehirden akışın olmadığı zamanda lagün bölgesine dalga ile katı madde taşındığı ve kıyı yakınına biriktiği gözlenmiştir.

Eğer yukarı havzada katı madde taşınımı katı maddeyi tutmak için yapılan barajlar ya da diğer düzenlemelerle azaltılmazsa delta oluşumunun devam edeceği tespit edilmiştir (İrtem ve diğ., 2002).

5. SONUÇLAR

Kıyılardaki faaliyetler çoğaldıkça sahil-deniz dengesi bozulmakta ve dalgaların yıkıcı etkileri artmaktadır. Bu dengenin bozulmasıyla kıyıda çeşitli problemler meydana gelmektedir. Bu problemler kıyı erozyonu, kıyı çizgisinin değişmesi, kumlanma problemi olarak kendini göstermektedir.

Kıyıda oluşan bu problemlere çözüm olması amacıyla kullanılan çeşitli teknikler bulunmaktadır. Çalışmada, bu tekniklerin özellikleri, hangi amaçla kullanıldığı ve uygulama limitleri ayrıca son yıllarda kıyı mühendisliği problemlerinde çok fazla kullanılan modeller verilmiştir. Bu çözüm teknikleri veya sayısal modeller kendi sınır şartları dikkate alınarak problemleri bölgede uygulandığı takdirde o bölgede mevcut olan sorun oldukça aza indirgenecek veya ortadan kaldırılacaktır.

Dünyanın çeşitli bölgelerinde, kıyı şeritlerinde erozyon oldukça sık rastlanan bir sorundur. Her ülke ve bölge kendi imkanları, bilimsel gelişme süreçleri ve sözkonusu kıyının kullanım amaçları doğrultusunda, aslında doğal bir süreç olan fakat insan faktörü ile birleştiğinde büyük bir problem haline gelen erozyonla mücadele etmeye çalışmaktadır. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında incelenen, Amerika Meksika körfezi, ve Avrupa'dan verilen örneklerden yola çıkılarak, genelde bu bölgelerde yapılan erozyon önleme çalışmaları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- ABD'de Meksika kıyılarında deniz seviyesi bir yüzyılda yaklaşık 0.3 m kadar yükselme göstermektedir. Körfez kıyı çizgisinin doğrusal olmasından dolayı deniz seviyesindeki düşük oranlı yükselmeler bile önemli bir kıyı çizgisi erozyonuna neden olmaktadır. ABD'de görülen en yüksek rölatif deniz seviyesi yükselmesi bir yüzyılda yaklaşık 1.2 m civarında olup kumun giderek azaldığı Mississippi Akarsuyu deltasında görülmektedir. Bölgede kıyı ve kıyı çizgisi erozyonunun etkilerini azaltmak için esas olarak stabilizasyon ve yönetim olmak üzere iki anabaşlık atkında yapılan faaliyetler mevcuttur.
- Alabama'nın körfez ve boğaz sahilleri boyunca kıyı çizgisi erozyonu görülmektedir. Erozyon bölgede bulunan haliç ve koy sahillerinde de yaygındır. Erozyona karşı önlemin alındığı yerler çoğunlukla koy ve körfezlerdir. Bu amaçla Alabama

kıyılarında yaşayan ev sahipleri tarafından düşey kıyı duvarları inşa edilmiştir. Lagün Boğazında erozyona uğrayan bölgeye ardı ardına iki dolgu yapılmıştır.

- Florida Körfezi sahillerinde uzun dönem erozyon miktarı yılda 0.5 m'den az iken bazı problemlili bölgede yılda 1.5 m'den 7 m'ye kadar değişebilen erozyon miktarları görülebilmektedir. Özellikle tehlike arzeden erozyon bölgeleri başta olmak üzere Florida'nın birçok sahili stabilizasyon, inşa ve bariyer koılarının geliştirilmesi gibi çeşitli yöntemlerle iyileştirilmeye çalışılmıştır. Florida'nın birçok kıyısında jetty, mahmuz, tarama, kum beslemesi vb. çeşitli şekillerde iyileştirme teknikleri kullanılmıştır.
- Mississippi akarsuyu, Kuzey Amerika'nın iç bölümlerinden erozyona uğramış olan çok büyük miktarlardaki katı maddeyi sürüklemesi ile akarsuyun Meksika Körfezine boşaldığı deltada bu materyallerin toplanması sonucu Louisiana kıyısı sulak alanını oluşturmuştur. Bölgede optimum yarar elde etmek için birçok doğal proses kullanılabilir. Bunlar: Oluşturma, Restorasyon, Koruma, Geliştirme.
- Bölgede anakara sahilleri güçlü yapılar kullanılarak ve sahil beslemesi yapılarak yapay yollarla korunmaktadır. Bu sahillerin doğu ve batı kısmı doğal bataklıklardan oluşmaktadır ve orta ve ağır şiddetli erozyona maruz kalmaktadır. Bariyer adaları körfezin dalga enerjisinden anakara sahillerini korumaktadır. Bölgenin çöp ve kalıntılardan arındırılması için mekanik koruma gerekmektedir. Bölgede koruma amaçlı deniz duvarları gibi destek çalışmaları uygulanmaktadır.
- Teksas körfezi kıyıının 591 km'lik bir kısmının yaklaşık %60'ı yılda 0.3-15 m oranında erozyona maruz kalmaktadır. %33ü durağan ve % 7'si ise büyüme göstermektedir. Teksas kıyısının küçük bir kısmı sert yapılarla stabilize edilmiştir. Kıyıların büyük bir bölümünde uzun kıyı duvarları inşa edilirken diğer kıyılarda ise sahilin gerisinde yapılan perde duvar kullanılmıştır.
- Kıyı erozyonu sürekli olarak var olan ve Avrupa kıyıının şeklini belirleyen doğal bir olaydır. Avrupa'da yaşanan kıyı erozyonunu nedeniyle kumul sistemler bozulmakta; yamaç ve kumulların üst tabakalarının çökmekte; kıyı tabakasının azalması sonucunda oluşan deniz taşmasını önlemek amacıyla kazılar yapılmakta ve bu sayede arazi kayıpları görülmektedir.
- Avrupa'da uzun yıllar boyunca yerel erozyonu durdurmak amacıyla sert yapılar kullanılmıştır. Ancak bunlar erozyon için sadece geçici çözüm olmuştur. Kıyı duvarı, kaplama gibi yapıların ön kısımlarında kumsal erozyona uğramaktadır. Böylece yapının stabilitesi bozulmakta ve yıkılmaktadır. Bu durumda yeniden yapılandırma

veya ilave yapılar gerekmektedir. Bu da ekonomik olmayan bir çözüm yoludur. Mahmuz ve dalgakıranların yapımı erozyonun komşu kıyılara ötelenmesine neden olmuştur. Yumuşak çözümler doğa ile daha uyumlu olduğundan daha uzun vadeli çözümlerdir. Yumuşak çözümler sert tekniklerle bir arada kullanılarak daha iyi bir çözüme gidilebilir.

Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde de kıyı bölgelerimiz elbetteki kıyı erozyonu problemi ile karşı karşıyadır. Ancak bu yönde alınan önlemler elbetteki gelişmiş ülkelerle karşılaştırıldığında oldukça sınırlı kalmaktadır.

- Kıyı erozyonu ile mücadelede bir örnek olarak Ege kıyılarında bulunan, Balıkesir Altınova bölgesi Madra çayı kıyısı verilebilir. Bu kıyıda erozyonun önlenmesi amacıyla kıyı duvarı inşa edilmesi ve bunun yanında duvar nedeniyle kıyı çizgisindeki değişimlere bağlı olarak mahmuz yapımı ve kum beslemesi öngörülmüştür.
- Ülkemizin kıyı erozyonu ile karşı karşıya kalan bir başka bölgesi de Karadeniz Karaburun Balıkçı Barınağı'nın bulunduğu bölgedir. Bu bölgede iki adet dalgakıran bulunmaktadır. Barınakta projelendirme hatası nedeniyle kumlanma problemi bulunmaktadır ve yapılan çalışmalarda bu problemin giderilmesi için bir mahmuz sistemi ve yukarı kıyıya kum beslemesi gibi tekniklerin uygulanması gerektiği tespit edilmiştir.
- Kızılırmak Nehri'nin üzerinde bulunan Bafra Ovası Deltası'nda drenaj sağlamak için yapılan kanal erozyondan tahrip olmuş ve bunu önlemek amacıyla yapılan I ve Y tipi mahmuzlarla erozyon hareketi durdurulmuştur.
- Doğu Karadeniz Sahil Yolu'nda da dalgaların kıyıya ulaşmasıyla kıyı şeridinde yüksek miktarda erozyon meydana gelmektedir. Bunu önlemek amacıyla yol boyunca mahmuz, kıyı duvarı gibi yapılar inşa edilmekte ancak fırtınalar yüzünden bu yapılar da hasara uğramaktadır.
- Ege sahillerinde turistik bir belde olan Gömeç'te hızlı delta oluşumu gözlenmektedir. Bölgede bulunan Kuzulu ve Gömeç nehirleri, kışın yağmurlu sezonlarda taşma eğilimi gösterirler. Gömeç Nehri'nin denizle birleştiği yere katı madde taşınımı oluşmakta ve taşınan bu katı maddeler kıyıda toplanmaktadır. Nehrin yukarı havzasında topraklama barajları ve yeterli nehir düzenleme çalışmaları yapılmadığından geçtiğimiz 40 yıl boyunca yoğun yağışlarda gübreli topraklar denize taşınmıştır. Yapılan model çalışmaları sonucunda eğer yukarı havzada katı madde taşınımı, katı madde tutulması

için yapılan barajlar ya da diğer düzenlemelerle azaltılmazsa delta oluşumunun devam edeceği tespit edilmiştir.

Türkiye’de toprak erozyonu da en büyük problemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu konuda yapılan çalışmalar kıyı erozyonu çalışmaları ile karşılaştırıldığında oldukça fazladır. Türkiye’de toprak erozyonuna karşı alınabilecek tedbirler esas olarak 3 sınıfta toplanabilir: Yamaç arazi ıslahı; Oyuntu; dere ıslahı.

Yamaç arazi ıslahı, yamaç arazisinin kullanım şekline göre (orman, tarım, mera) değişmektedir. Orman alanlarında erozyonu önlemek için ormanların korunması, bakımı, gerekli bölümlerin teraslandırılıp ağaçlandırılması gerekmektedir. Mera arazilerinde aşırı hayvan otlatılmasından kaçınılmalı, dönüşümlü ve meraların kapasitelerine göre otlatma yapılmalı, bitki örtüsü zayıflamış meralar ot ekimiyle ıslah edilmeli ve nerelerin alt yapısı iyileştirilmelidir. Tarım alanlarının erozyona maruz bölümlerinden erozyonun önlenmesi için tesviye eğrilerine paralel olarak toprak işleme, şerit biçiminde ekim, ürün rotasyonu gibi toprağı ve suyu koruyucu tarım yöntemleri ve çeşitli teraslar yapılmalıdır. Ayrıca fazla eğimli arazilerde tarımdan kaçınılmalıdır.

Dere ıslahı da erozyon için etkili tedbirler arasında yer almaktadır. Yüzeyden gelerek derelerde toplanan sular, derelerde kıyı oyulmalarına ve yamaçlarda kaymalara sebep olmaktadır. Derelerde toplanan su miktarı ve hızı ne kadar fazla ise o miktarda fazla erozyona neden olmaktadır. Bu nedenle dere ve erozyonunu önlemek için derelerde erozyonu önleyici, suyun miktarını ve hızını düşürücü önlemler alınmalıdır. Bu amaçla derelerde erozyonu önleyen ve ıslah eden enine yapılar inşa edilebilir. Islah şekilleri, eşikler ve taban kuşakları derelerdeki eğimi düşürür dere tabanını erozyona karşı korur. Ayrıca kıyılara ve yamaçlara topuk desteğı oluşturarak kıyı oyulmalarını ve yamaçlardaki kayma ve göçmeleri önleyerek dereyi ıslah eder.

Ülkemizde erozyonun en önemli nedenlerinden biri de orman ve meraların tahribatıdır. Bu nedenden dolayı erozyon sorunu, havzada yaşayan ve doğal kaynakları yanlış kullanan yöre insanı ile birlikte çözülmesi gerekmektedir. Bu amaçla erozyonun havza bazında ele alınması gerekmektedir. Bundan dolayı halkın da katılımının sağlandığı, sürdürülebilir havza yönetimi sağlanmalı ve bu çalışmalara havza halkının ve sivil toplum örgütlerinin desteğı arttırılmalıdır. Havzada bulunan orman köylerinin kalkındırılması gayesiyle köylünün

katılımını esas alan 6831 sayılı Orman Kanunu (Orman Kanunu, 1956)'nın 58. maddesini değiştirmek üzere kanun teklifi yasalaşmalıdır.



KAYNAKLAR

- Amadesi, E., Vianello, g., Bonfatti, G., Pignone, R., Preti, D., 1977. Guide to a slope stability map. Regione Emilia Romagna, Pitagora Ed., Bologna, pp. 72
- Arı, H. A., Yüksel, Y., Çevik, E., Güler, I., Yalçiner, A.C., 2004. "Karaburun Balıkçı Barınağı'nda Kumlanma ve Kıyı Çizgisi Değişimi", 17. Teknik Kongre, 319-333, İstanbul.
- Balsillie, J.H. 1985C. " Post-Storm Report: Hurricane Elena of 19 August to 2 September 1985." Florida Department of Natural Resources. *Beaches and Shores Post-Storm Report* No. 85-2.
- Balsillie, J.H. ve R.R. Clark. 1979. " Preliminary Report on Coastal and Shoreline Damage Resulting from the Impact of Hurricane Frederic on the Northwestern Panhandle of Florida." Florida Department of Natural Resources. *Beaches and Shores Post-Storm Report* No.79-1.
- Balsillie, J.H., T.Y. Chiu, ve S. Demirapolat. 1986a. " Long-Term Shoreline Change Rates for Escambia County, Florida." Florida Department of Natural Resources. *Beaches and Shores Special Report* No. 96-1.
- Balsillie, J.H., T.T. O'Neal, ve W.J.Kelly. 1986b. " Long-Term Shoreline Change Rates for Bay County, Florida." Florida Department of Natural Resources. *Beaches and Shores Special Report* No. 86-1.
- Bakker.,W. T., (1968), "The Dynamics of a Coast with a Groin System", Proc. 11th Int. Conf. on CO. Eng., ASCE, London, pp 492-517
- Berkhoff, J.C.W., (1972), "Computation of cimbinded refraction-diffracton", Proc. 13th Coastal En. Conf., Vancouver 1972, ASCE, NewYork, Vol. 1, Chap. 24, pp. 471-490.
- Bijker, E. W., (1971), "Longshore Transport Computations", Journal of Waterways, Harbours and Coastal Eng. Division, ASCE, Vol 97, pp 687-701.
- Bruun., P., (1962), "Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion", Journal of Waterways and Harbours Divisions, Vol. 8, pp 117-130.
- Buff, V. ve S. Turner. 1987. " The Gulf Initiative." Coastal Zone.
- Campbell, T.R. 1990. *The Magnitude of the Problem. America's Sea – A National Resources at Risk*, New Orleans LA.
- Chiu, T.Y. 1977. " Beach and Dune Response to Hurricane Eloise of September 1975." *Coastal Sediments '77*.
- Clark, R.R. 1986. " Hurricane Kate, November 15-23, 1985." Florida Department of Natural Resources. *Beaches and Shores Post-Storm Report* No. 86-1
- Clark, R.R. 1991a. " Beach Conditions in Florida: A Statewide Inventory and Identification of the Beach Erosion Problem Areas in Florida." Florida Department of Natural Resources. *Beaches and Shores Technical and Design Memorandum* No.89-1.

Çelik, İ., 1994. "Türkiye'de Erozyon Sorunu ve Cumhuriyet Dönemi Boyunca Yapılan Erozyon Kontrol Çalışmalarının İrdelenmesi", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Yüksek Lisans tezi.

Di Silvio, G., 1984. "Soil Erosion and Conservation", Lecture Notes.

Davis, R.A., Jr., A.C Hine, ve D.F. Belknap. 1982. " Coastal Zone Atlas: Northern Pinellas County, Florida." Florida Sea Grant Project. R/OE-17.

Davies, M. H. ve Kamphius, J. W., (1985), "Littoral Transport Rate", Proc. Canadian Coastal Conference, St John's, pp 223-240.

Devlet Su İşleri, 2004. Su Dünyası, Sayı: 9, Nisan, 2004, Ankara.

Dunbar, J.B., L.D. Britsch, ve E.B. Kemp III. 1992. *Land Loss Rate: Report 3, Louisiana Coastal Plain*. USACE Technical Report. GL-90-2. Department of the Army-WES-CE. Vicksburg, MS. 28pp.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, 1993. "Türkiye Akarsularında sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınım Miktarları". Yayın: 93-59.

Enos, T. ve R.D. Perkins. 1979. " Evolution of Florida Bay from Island Stratigraphy." *Geological Society of merica Bulletin*. v. 90

Ergin, A., Yalçiner, A.C., Taşkıran, İ., Dedeoğlu, R., 2004. "Doğu Karadeniz Sahil Yolu Kıyı Koruma Yapılarının Ekonomik Analizi", 17. Teknik Kongre ve Sergisi, 352-367, İstanbul.

Eurosion, National Institute of Coastal and Marine Management of the Netherlands, 2004. "A guide to coastal erosion management practises in Europe: lessons learned.

Evans, M.W., A.C. Hine, D.F. Belknap, ve R.A. Davis, Jr. 1985. " Bedrock Controls on Barrier Island Development: West-Central Florida Coast." *Marine Geology*. v. 63.

Flaxman, E.M., Hobba, R.L., 1955. " Some factors affecting rates of sedimentation in the Columbia River Basin", Trans. American Geophysical Union, 36(2), pp. 293-303

Gleason, P.J., A.D. Cohen, H.K. Brooks, P. Stone, R. Goodrick, W.G. Smith, ve W. Spackman, Jr. 1974. " The Environmental Significance of Holocene Sediments From the Everglades and Saline Tidal Plain." *Environments of South Florida: Present and Past*. Miami Geological Society, Memoir 2.

Goda, Y., (1980), Random Seas and Design of Maritime Structures, U. Tokyo Press.

Gürhan, G. ve Adalıoğlu S.Ö., 1998. "Altınova Bölgesi örneğinde kıyı erozyon etüdü", 2. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, İçel

Hine, A.C., D.F. Belknap, J.G. Hutton, E.B. Osking, ve M.W. Evans. 1988. " Recent Geological History and Modern Sedimentary Processes Along an Incipient, Low-Energy, Epicontinental-Sea Coastline: Northwest Florida." *Journal of Sedimentary Petrology*. v. 39.

Hine, A.C. ve D.F. Belknap. 1986. "Recent Geological History and Modern Sedimentary Processes of the Pasco, Hernando, and Citrus County Coastline: West Central Florida." Florida Sea Grant College Report No.79. University of Florida. Gainesville, FL.

Houlthuijsen, L. H., Booij, N., Herbers, T.H.C., (1989), "A Prediction Model for Stationary, Short-crested Waves in Shallow Water with Ambient Currents", Coastal Engineering, Vol. 13, pp. 23-54.

Hudson, N.W., (1965). The influence of rainfall on the mechanics of soil erosion. MS Thesis, University of Capetown.

İrtem, E., Kabdaşlı, S., Gedik, N., Aydingakko, A., Mercan, D., Koca, D., 2002. "Numerical and Experimental Analysis of Rapid Delta Formation, Turkish Coast" Journal of Coastal Research, Special Issue 36.

Kirby, J. T., 1986. "Rational approximations in the parabolic equation method for water waves, Coastal Eng., Vol. 10, pp. 355-378.

Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 1987. Türkiye Genel Toprak Amenajman Planlaması.

Morton, R.A. 1977. *Historical Shoreline Changes and Their Causes, Texas Gulf Coast*. Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies, v. 27.

Musgrave, G.W., (1947), The quantitative evaluation of factors in water erosion-A First Approximation. J. Soil Water Conserv. 2:133-138

National Research Council. 1990. *Managing Coastal Erosion*. National Academy Press, Washington D.C.

Oivanki, S. M. 1992. *An Overview of the Mississippi Gulf Coast*. Office of Geology. State of Mississippi.

Orman Kanunu, Sayı: 6831, 89. 1956 tarihli Resmi Gazete, No: 9402.

Owen, M.W., (1980), "Design of Seawalls allowing for Wave Overtopping", Report No. EX924, Hydraulics Research, Wallingford, UK.

Özaral, E., Asan, T., Erden, Y.K., 2002. "Bafra Ovası Deltası Kızılırmak Nehri-Karadeniz Birleşimindeki Kıyı Erozyonunda Alınan Önlemler", 4. Kıyı Mühendisliği Ulusal Sempozyumu, 189-201, Antalya.

Paine, J.G. ve R.A. Morton. 1989. *Shoreline and Vegetation-Line Movement, Texas Gulf Coast, 1974 to 1982*. The University of Texas at Austin. Bureau of Economic Geology. Geological Circular 89-1.

Pilkey, O. H., Hume, T., 2001. "The shoreline erosion problem: lessons from the past", Water and Atmosphere, Vol. 9 (2)

Rabalais, N.N., R.E. Turner, W.J. Wiseman, Jr. ve D.F. Boesch. 1991. "A Brief Summary of Hypoxia on the Northern Gulf of Mexico Continental Shelf: 1985-1988." Pages 35-47 in R.V.

Tyson and T.H.Pearson (eds.), *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*. Geological Society Special Publication No. 58. The Geological Society. London.

Roberts, H.H., T.Wheelan, ve W.G. Smith. 1977. "Holocene Sedimentation at Cape Sable, South Florida." *Sedimentary Geology*. v. 18.

Roehl, J.W., 1962. "Sediment source areas, delivery ratios, and influencing morphological factors.", International Association of Scientific Hydrology, Publication 59, 202-213.

Shier, D.E., 1969 "Vermetid Reefs and Coastal Development in the Ten Thousand Islands, Southwest Florida." *Geological Society of America Bulletin*.v. 80.

Stapor, F.W. 1973a. "History and Sand Budgets of the Barrier Island System in the Panama City, Florida, Region." *Marine Geology*. v.14.

Stapor, F.W., T.D. Mathews ve F.E. Lindfors-Kearns. 1987. "Episodic Barrier Island Growth in Southwest Florida: A Response to Fluctuating Holocene Sea Level?" *Miami Geological Society Memoir* 3.

Stone, G.W. 1991 "Differential Sediment Supply and the Cellular Nature of Longshore Transport Along Coastal Northwest Florida and Southwest Alabama Since the Late Holocene." Ph.D. dissertation. University of Maryland. College Park, MD.

Stone, G.W. ve J.D. Salmon. 1988. "Hurricane-Related Morphodynamics and Implications for Hazard Mitigation, Perdido Key, Florida, USA." *Coastal Management*. V.16.

Swart, D. H., (1976), "Coastal Sediment Transport", Computation of Longshore Transport, Delft Hydraulics, The Netherlands, Report R968.

Tanner, W.F. 1960. "Florida Coastal Classification." *Transactions of the Gulf Coast Association of Geological Societies*. V. 10.

Tanner, W.F. 1975. "Historical Beach Changes, Florida Big Bend Coast." *Transactions of the Gulf Association of Geological Societies*. V. 25.

Titus, J.G.(ed.) 1988. *Greenhouse Effect, Sea Level Rise and Coastal Wetlands*. U.S. Environmental Protection Agency.

Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı Yayınları (TEMA), 1998. *Türkiye'de Rüzgar Erozyonu ve Çölleşme Sorunu*. Yayın No: 16.

U.S. Army Corps of Engineers. 1972. "Draft of Beach Erosion Control Study, Collier County, Florida." Jacksonville, FL.

U.S. Army Corps of Engineers. 1991a. "Lee County, Florida, Shore Protection. *General Design Memorandum*. Jacksonville, FL.

U.S. Army Corps of Engineers. 1991b. "Manatee County, Florida, Shore Protection Project, General Design Memorandum with Supplemental Environmental Impact Statement." Jacksonville, FL.

U.S. Environmental Protection Agency. 1991. *Gulf Facts*. Gulf of Mexico Program Office. John C. Stennis Space Center, MS.

Vellinga, P: 1986: *Beach and Dune Erosion During Storm Surges*, Communications No. 372, Delft Hydraulics Laboratory, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands

White, W.A. 1970. "The Geomorphology of the Florida Peninsula" Florida Department of Natural Resources. *Bureau of Geology, Geological Bulletin* No.51.

Williams J.R., Berndt H.D., 1972. "Sediment Yield Computed with Universal Equation", *Journal of the Hydraulics Division*, Vol. 98, No:12, 2087-2098.

Williams, J.r., (1975). Sediment yield prediction with universal soil loss equation using runoff energy factor, in *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources*, Agric., Washington, D.C., ARS-S-40,244-252.

Wischmeier, W.H., Johnson C.B, Cross,C.V.,1971. Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol:26, No:5, 189-193.

Wischmeier, W.H., D.D. Smith, R.E. Uhland, 1958, evaluation of factors in The Soil Loss Equation. *Agricultural Engin.* 39: 458-462

Wischmeier W.H., 1975. Estimating the soil loss equations's cover and management factor for undisturbed areas. In USDA (ed.), *Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources*. US Agr. Res. Ser. 118-124

Wu, J., (1980), "Wind Stress Coefficients over Sea Surface near Natural Conditions- a revisit, *Journal of Physical Oceanography*, 10, 727-740.

Yüksel, İ., Önsoy, H., 2002. "Karadeniz Sahil Otoyolu2nda Yapılan Yol ve Kıyı Koruma yapılarının Kıyı Hidrodinamik Dengesi açısından İncelenmesi" 4. Kıyı Mühendisliği Ulusal Sempozyumu, 635-647, Antalya.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Vedat HANEDAR	
Doğum Tarihi	15.09.1974	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1989-1992	Özel Bilfen Lisesi
Lisans	1993-1997	Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2001-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik Programı
Çalıştığı Kurum	1997-Devam ediyor Yıldız Çelik Tic. ve San. Ltd. Şti.	