

**T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA (FİZİKİ COĞRAFYA)
ANABİLİM DALI**

ÇAMLIDERE BARAJI HAVZASINDA EROZYON PROBLEMİ VE RİSK ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

Erkan YILMAZ

Ankara-2006

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA (FİZİKİ COĞRAFYA)
ANABİLİM DALI

ÇAMLIDERE BARAJI HAVZASINDA EROZYON PROBLEMİ VE RİSK ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

Erkan YILMAZ

Tez Danışmanı
Doç. Dr. İhsan ÇİÇEK

Ankara-2006

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA (FİZİKİ COĞRAFYA)
ANABİLİM DALI

ÇAMLIDERE BARAJI HAVZASINDA EROZYON PROBLEMİ VE RİSK ANALİZİ

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İhsan ÇİÇEK

Tez Jürisi Üyeleri

Adı ve Soyadı

İmzası

Doç. Dr. İhsan ÇİÇEK.....

.....

Doç. Dr. Günay ERPUL.....

.....

Yrd. Doç. Dr. Necla TÜRKOĞLU....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Tez Sınavı Tarihi - 04.12.2006

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ

GİRİŞ.....	1
1. KURAMSAL VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	5
1.1. EROZYONUN TANIMI VE EROZYON ÇEŞİTLERİ.....	5
1.2. SU EROZYONUNUN AŞAMALARI.....	7
1.2.1. Damla Erozyonu (Raindrop Erosion).....	7
1.2.2. Yüzey Erozyonu (Sheet Erosion).....	9
1.2.3. Parmak Erozyonu (Rill Erosion).....	10
1.2.4. Oyuntu Erozyonu (Gully Erosion).....	11
1.2.5. Akarsu Yatak Erozyonu (Linear / Alluvial Channel Erosion).....	12
1.3. SU EROZYONUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	13
1.3.1. İklim Koşulları.....	13
1.3.2. Toprak Koşulları.....	14
1.3.3. Topografik Özellikler.....	16
1.3.4. Bitki Örtüsü.....	17
1.3.5. İnsan Faaliyetleri.....	18
1.4. EROZYON ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN MODELLER.....	20
1.4.1. Niteliksel Modeller.....	20
1.4.1.1.FAO	20
1.4.1.2.ICONA	21
1.4.1.3.CORINE.....	21
1.4.2. Niceliksel Modeller	22
1.4.2.1.WEPP (Water Erosion Predict Project).....	22
1.4.2.2.EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator).....	23
1.4.2.3.ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation)	24
1.5. ÜNİVERSAL TOPRAK KAYIPLARI EŞİTLİĞİ (USLE).....	24
1.5.1. Usle, Musle, Usle-M ve Rusle Gelişimi.....	24
1.5.2. USLE Eşitliğinde Faktörlerin Belirlenmesi.....	27

1.5.3. USLE ve Analizi.....	28
2. ÇAMLIDERE BARAJI HAVZASINDA USLE MOEDELİNE GÖRE EROZYONUN	34
2.1. HAVZANIN KONUMU.....	34
2.1.1. İklim Özellikleri.....	36
2.1.2. Usle R Faktörü.....	40
2.2. ZEMİN ÖZELLİKLERİ VE USLE K FAKTÖRÜ.....	47
2.2.1. Jeolojik Yapı.....	47
2.2.2. Toprak Özellikleri.....	51
2.2.3. Usle K Faktörü.....	53
2.3. TOPOGRAFİK VE JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLER VE USLE LS FAKTÖRÜ	61
2.3.1. Topografik ve Jeomorfolojik Özellikler.....	61
2.3.2. Usle LS Faktörü.....	65
2.4. ARAZİ ÖRTÜSÜ ile USLE C ve P FAKTÖRLERİ.....	68
2.4.1. Havzada Arazi Örtüsü.....	68
2.4.2. Usle C Faktörü.....	71
2.4.3. Usle P Faktörü.....	75
2.5. HİDROGRAFİK ÖZELLİKLER ve SEDİMENT İLETİM ORANI.....	78
2.5.1. Hidrografik Özellikler.....	78
2.5.2. Sediment İletim Oranı – Sio (Sediment Delivery Rate – SDR).....	79
SONUÇ ve TARTIŞMA	85
A – TOPRAK KAYIPLARI VE KONUMU.....	85
B – BARAJ ÖMRÜ.....	90
KAYNAKÇA	92

FOTOĞRAF LİSTESİ

Foto : 1 – Damla Krateri.....	8
Foto : 2, 3 – Çamlıdere Barajı Havzasında Parmaklar.....	10
Foto : 4, 5 – Çamlıdere Barajı Havzasında parmaklar ve oyuntuların kırgıbayır haline dönüşmesi.....	11
Foto : 6 – Kanal Erozyonu.....	12
Foto : 7,8 – Göl Tabanında çökelmiş killi tortullar.....	48
Foto : 9, 10 – Volkanik ara katkılı göl tortulları.....	48
Foto : - 11, 12 – Havzadaki Volkanik kayalar.....	49
Foto : 13 – Yaylalar Krateri.....	49
Foto : 14 – Ovacık Krateri.....	50
Foto : 15, 16 – Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları.....	52
Foto : 17, 18 – Kahverengi Orman Toprakları	52
Foto : 19, 20, 21 – Kırgıbayır alanları	71
Foto : 22, 23 – Havzada küçükbaş ve büyükbaş hayvancılık.....	75
Foto : 24, 25 – Havzada orman kesimi ve ağaçlandırma alanları.....	76
Foto : 26, 27 – Havzadaki meralarda yapılan teraslar ve bentler	77

TABLO LİSTESİ

Tablo : 1 – Ekim Nöbetinin Erozyon Üzerine Etkisi.....	18
Tablo : 2 - İstasyonların İklim Sınıflandırması.....	37
Tablo : 3 – İstasyonlara ait F değerleri.....	43
Tablo :4 – İstasyonlara ait R Değerleri.....	43
Tablo : 5 – Doğan’a (2002) göre r değerleri ve hesaplanan F değerleri.....	44
Tablo : 6 – Jeolojik Birimler.....	51
Tablo : 7 – Havzadaki Toprakların Alanları.....	53
Tablo : 8 - Toprak örneklerinin strüktür özellikleri.....	55
Tablo : 9 - Toprak örneklerinin organik madde miktarı.....	56
Tablo : 10 -Toprak örneklerinin hidrolik iletkenlikleri.....	57
Tablo : 11 – Toprak örneklerinin tekstür analizi sonuçları.....	58

Tablo : 12 – Toprak Örneklerinin K Değerleri.....	59
Tablo : 13 – Havza topraklarının aşınabilirlik durumları.....	60
Tablo : 14 – Yükselti Basamaklarına Göre Alan Dağılışı.....	62
Tablo : 15 – Eğim sınıflarına göre alanlar.....	63
Tablo : 16 – Havzadaki ağaç türlerinin alanları.....	69
Tablo : 17 – Havzada arazi türleri.....	70
Tablo : 18 – Havzada arazi örtüsüne göre C değerleri.....	72
Tablo : 19 – Havzada USLE C değerinin dağılımı.....	72
Tablo : 20 – Havzada yıllık ortalama toprak kayıplarına göre alanlar.....	87
Tablo : 21 – Arazi örtüsüne göre toprak kayıpları.....	88
Tablo : 22 – Toprak kaybı sınıfları ve arazi örtüsüne göre dağılışı.....	88
Tablo : 23 – Orman alanlarındaki toprak kayıpları.....	89
Tablo : 24 – SİO eşitliklerine göre baraja taşınan toprak miktarları.....	91
Tablo : 25 – SİO eşitliklerine Çamlıdere Barajının ömürleri.....	91

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil : 1 - Bir yüzey akış parseli (Doğan, 1986)	28
Şekil : 2 - Kısımlarına ayrılmış bit yağış diyagramı	29
Şekil : 3 – Bitki boyu ve kanopi kapalılığı arasındaki ilişkiye bağlı olarak toprak kaybı	33
Şekil : 4 – Malç, kanopi kapalılığı ve bitki boyuna bağlı olarak toprak kayıpları	33
Şekil : 5 – Eşyükselti eğrilerinin karelere (gridlere) bölünmesi.....	46
Şekil : 6 – Eşyükselti eğrilerinden SYM elde edilmesi.....	66
Şekil : 7 – SYM'den akış yönlerinin belirlenmesi.....	67
Şekil : 8 – Akış yönlerine bağlı olarak akış birikiminin hesaplanması.....	67
Şekil : 9 – Aşınım ve Birikim Alanları.....	79
Şekil : 10 - Kullanılan SİO Modeli Akış Şeması.....	83
Şekil : 11 – USLE eşitliğinin elde edileme şeması.....	85
Şekil : 12 - Baraj haznesinin kısımları	90

GRAFİK LİSTESİ

Grafik : 1, 2, 3 – Kum, silt+ince kum ve kil oranı ile USLE K değeri arasındaki ilişki	30
Grafik : 4, 5, 6 – Strüktür kodu, hidrolik iletkenlik ve organik madde miktarı ile USLE K değeri arasındaki ilişki	31
Grafik : 7 – Eğim , eğim uzunluğu ve L değeri arasındaki ilişki.....	32
Grafik : 8 - Eğim ve S değeri arasındaki ilişki.	32
Grafik : 9 – İstasyonlara ait aylık ortalama sıcaklıkların yıl içindeki gidişi...	38
Grafik : 10 – İstasyonlara ait aylık ortalama toplam yağışın yıl içinde dağılışı	38
Grafik : 11 – F ve R değerleri arasındaki ilişki.....	42
Grafik : 12 – İstasyonlara ait yıllık R değerleri.....	45
Grafik : 13 – Havzanın Hipsografik Eğrisi.....	62
Grafik : 14 – Havzanın Yükselti Sıklık Grafiği.....	62
Grafik : 15 – Eğim Birikimi	63
Grafik :16 – Havzada yükselti basamaklarına göre alanlar ve ortalama eğimler	63
Grafik : 17 – Ağaç türlerinin yükseltiye göre dağılışı.....	69

HARİTA LİSTESİ

Harita 1: Çamlıdere Barajı Havzasının Konumu	
Harita 2: Havza Çevresindeki Meteoroloji İstasyonları	
Harita 3: Çamlıdere Barajı Havzasında Yağışların Erosif Gücü	
Harita 4: Çamlıdere Barajı Havzası Yıllık Ortalama Toplam Yağış Haritası	
Harita 5: Çamlıdere Barajı Havzası Jeoloji Haritası	
Harita 6: Çamlıdere Barajı Havzası Toprak Haritası	
Harita 7-8: Havzadaki Toprakların Strüktür Özellikleri ve Organik Madde Miktarları	
Harita 9-10: Havzadaki Toprakların Hidrolik İletkenlikleri ile Silt+İnce Kum Yüzdeleri	

- Harita 11:Havzadaki Toprakların Kum Oranları
- Harita 12: Çamlıdere Barajı Havzasında Toprakların Erozyona Duyarlılığı
- Harita 13: Çamlıdere Barajı Havzası Fiziki Haritası
- Harita 14: Çamlıdere Barajı Havzası Eğim Haritası
- Harita 15: Çamlıdere Barajı Havzası Jeomorfografya Haritası
- Harita 16: Çamlıdere Barajı Havzasında USLE LS Değerleri Haritası
- Harita 17: Çamlıdere Barajı Havzası Arazi Kullanım Haritası
- Harita 18: Çamlıdere Barajı Havzasında USLE C Değerleri
- Harita 19: Çamlıdere Barajı Havzası 1987 Yılı Landsat Görüntüsü
- Harita 20: Çamlıdere Barajı Havzası 2000 Yılı Landsat Görüntüsü
- Harita 21: Çamlıdere Barajı Havzasında Tali Havzalar ve Akarsu Havzaları
- Harita 22-23-24-25: Çamlıdere Barajı Havzasında Alana Göre SİO'ları
- Harita 26: Çamlıdere Barajı Havzasında Bagerello ve Ferro'ya Göre SİO
- Harita 27: Çamlıdere Barajı Havzasında Yıllık Ortalama Toprak Kaybı

ÖNSÖZ

Doğada bir denge bulunmaktadır. İnsanlar yerleşik hayata geçtikten sonra bu dengeyi bozmaya başlamıştır. Bu bozulma 19. yüzyıldan sonra daha da fazla artmış ve neredeyse insanların doğaya hâkim olma yarışı bir savaşa dönüşmüştür. Bu çerçevede doğada birçok tahribat yaratılmıştır. Bu hâkimiyet çalışmalarından biri de barajlardır. Barajlar yapıldıktan sonra akarsulara gem vurulmuş, deltaların gelişmesi engellenmiş, biyolojik çeşitlilik yok edilmiş, tarım alanları sularla kaplanmış ve insanlar yurtsuz bırakılmıştır. Bunun yanında bir de barajların getirileri vardır. Bunlar ise sulama, taşkın önleme, elektrik enerjisi elde etme vb şeklinde çoğaltılabilir. Getirileri ve götürüleri belli olan barajların belli bir ömürleri vardır. Bu ömür baraja taşınan sediment miktarıyla orantılıdır.

Çamlıdere Barajı 2. büyük şehrimiz olan Ankara'nın içme suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle hayati bir öneme sahiptir. Barajın bu hayati görevini ne kadar sürdürebileceğini bilmemiz, bizim gelecek için planlarımızı yaparken oldukça önemlidir. Ayrıca barajın olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla barajların ekonomik ömürleri bitmeden yıkılması ve biriken sedimentlerin temizlenmesi gerekmektedir.

EİEİ ve DSİ tarafından yapılan baraj ömrü hesaplamalarının nasıl yapıldığına ait kabul edilebilir bilgiler elde edilememiştir. Bu çalışma barajların ömürlerini hesaplamak, barajların fizibilite çalışmalarında kullanılacak veriler sağlamak ve yapılmış barajların ömrünü artırmak amacıyla alınması gereken önlemlerin nerelerde yapılması gerektiğini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Çalışmanın hazırlanması aşamasında birçok kişiden fikir, bilgi ve görüş alınmıştır. Bu kişilerin birçoğu araştırmaya yön vermiş, hazırlayanın ufkunu açarak, çalışmaya ışık tutmuştur.

Çalışmanın başlangıç safhasından, veri derleme, düzenleme, analiz ve sonuçlarının oluşturulmasında;

Çamlıdere Orman İşletmesi Müdürü Halil YÖRÜKOĞLU'na

KHGM Ankara Araştırma Enstitüsünden Hicrettin CEBEL'e

DSİ Erozyon Kontrolü ve Rüsubat Şubesinde Yaşar DİNÇSOY'a

DSİ CBS Şubesinde Kemal SEYREK'e

A.Ü.Z.F. Toprak Bölümünden Prof. Dr. Mustafa ÇANGA'ya

A.Ü.Z.F. Toprak Bölümünden Arş. Gör. Emrah ERDOĞAN'a

A.Ü.Z.F. Toprak Bölümünden Tülay TUNCAY'a

A.Ü. DTCF Coğrafya Bölümünden Yrd. Doç. Dr. Necla TÜRKOĞLU'na

A.Ü. DTCF Coğrafya Bölümünden Arş. Gör. Neşe KORKMAZ'a

A.Ü.E.B.F. Sosyal Bilimler Anabilim Dalından Arş. Gör. Onur

ÇALIŞKAN'a

A.Ü. DTCF Coğrafya Bölümünden Doç. Dr. Uğur DOĞAN'a

A.Ü. Çankırı Orman Fakültesi'nden Arş. Gör. Ali Uğur ÖZCAN'a

ve

A.Ü.Z.F. Toprak Bölümünden Doç. Dr. Günay ERPUL ile

çok kıymetli hocam Doç. Dr. İhsan ÇİÇEK'e katkı ve yardımlarından dolayı çok teşekkür ediyorum.

GİRİŞ

Tartışılmaz bir gerçektir ki doğa, insanı etkilemektedir. Bu etki tek taraflı mıdır? Hayır, tabii ki insan da doğayı etkilemektedir. Öyleyse insan ve doğa sürekli etkileşim içerisinde olan iki öğedir.

Hümanistlere göre insan, yüce bir varlıktır ve her şey insana hizmet eden bir amaç gütmelidir. İnsanı odağına almayan kuram ve uygulamalar, hatalıdır. Öyleyse insanı merkeze almak, buna göre uygulamalar geliştirmek gerekmektedir.

Doğacılar göre insan doğanın bir parçasıdır. Dolayısıyla tabiat kanunlarına tabiidir. Öyleyse insan faaliyetlerinin tamamını da doğal saymak gerekir. O halde, insanın doğayla etkileşiminde ortaya çıkan her durum doğaldır. Sonuçta bu etkileşim içerisinde doğal olmayan bir durum olmadığı için herhangi bir sorun söz konusu değildir.

Realistler, her bir duruma göre bu öğeler arasındaki etkileşimin değiştiğini, dolayısıyla bazen doğanın insanı bazen de insanın doğayı etkilediğini savunmaktadır. O halde doğa ile insan arasındaki etkileşim sürekli ve karşılıklı fayda-zarar ilişkisi olarak ortaya çıkmaktadır.

İdealistler insan-doğa etkileşimi çerçevesinde bir uyumun olması gerektiğini, uyumun dengeli olması halinde de ideal şartların gerçekleşebileceğine inanırlar.

Doğal süreçler değerlendirildiğinde her bir etkinin bir tepki doğurması çok normaldir. Doğanın insanı etkilemesi çerçevesinde, doğal şartların değiştirilemeyeceği, fakat buna ancak uyum sağlanabileceği bilinmektedir. Durum böyle olunca insan-doğa etkileşimi içerisinde değiştirebileceğimiz tek unsur insanın yaptıkları ve yapacakları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu bağlamda düşünöldüğünde insanın yapacakları doğaya zarar vermeyecek bir niteliğe kavuşturulabilir. Peki ya insanın doğaya verdiği zararlar nasıl giderilebilir. Aslında bu konuda oldukça karamsar olanlar vardır. Bazı kişiler göre Endüstri Devrimiyle doğaya verilen zarar o kadar fazla olmuştur ki, artık geri dönüşü mümkün değildir.

Bir de son yıllarda sürdürülebilir kalkınma ismi altında, doğal kaynakların düzenli ve ölçülü kullanılması gerektiği yönünde görüşler vardır. Peki, bunlar ne kadar gerçekçidir. Bunların sorgulanması bir yana, eğer insan doğa etkileşiminde var olan denge tamamen bozulursa herhalde 3. Dünya Savaşı'na gereksinim kalmayacaktır.

İşte bu çerçevede doğaya yaptıklarımızın telafi edilmesi, yapacaklarımızın ise, iyi planlanması ve hesaplanması gerekmektedir. Ekonomik gelişme mantığıyla yapılacak planlamalarda sadece insan faydası düşünölmemeli, doğada oluşabilecek tahribatlar hesaba katılmalıdır. Çünkü doğal çevre hesaba katılmadan yapılan birçok uygulama sonucunda doğa, insana gereken cevabı bazen direkt olarak bazen de çok uzun zamana yayarak vermektedir. Seller, taşkınlar, kuraklık, ıg, heyelan, sis, arazinin çoraklaşması bunlara örnek verilebilir.

Erozyon ise, bu cevaplar içinde en yavaş gerçekleşen, hissedilmesi çok zor olan, hissedildiğinde ise geri kazanımın oldukça zor olduğu bir afettir. Çoğu zaman insan bunun farkında bile olmaz. Hissedildiğinde geri dönölmesi zor olmasına rağmen, önlem alınması kolay ve ucuz bir afettir de erozyon.

Bu nedenle yapılacak planlamalar, iyi bir araştırma yapıldıktan ve iyi bir etkileşim envanteri ortaya çıkarıldıktan sonra hayata geçirilmelidir. Ancak bu sayede doğa ve insan etkileşimi birbirine zarar vermeden, dengeli bir şekilde devam edebilir.

Bu çalışmada amlıdere Barajı Havzasında meydana gelen erozyon konu edilmiştir. Baraj, Ankara şehri'nin su ihtiyacını karşılamak amacıyla inşa edilmiştir. Fakat özellikle baraj gölü çevresinin bitki örtüsünden yoksun olması ve yamaç eğiminin fazla olması nedeniyle şiddetli erozyon alanıdır. Bu da baraj ömrünü azaltan bir etki olarak algılanabilir.

Havzada özellikle jeolojik yapının da etkisiyle erozyon bir afet durumuna geçmiştir. Daha nceki bir dönemde var olan (Alt-Orta Miyosen) gl tortullarının açığa çıktığı bu alanda, kiltaşının varlığı geçirgenliği azaltmakta, yağışlarla yeryüzüne düşen suların yüzeysel akışa geçmesine neden olmaktadır. Bu da önce parmakların, sonra oyuntu ve kırgıbayırların oluşmasına neden olmaktadır.

Havzada özellikle 1990'lı yıllardan sonra insanın doğaya etkisi azalmıştır. Bu nedenle daha önce tahrip edilen bitki örtüsü yeniden canlanmaya başlamıştır. Havzadaki bu canlanmanın kırgıbayır alanlarında da görülmesi, bu havzanın önceden şiddetli bir tahribata uğradığının kanıtıdır. Kırgıbayır alanları da muhtemelen bu tahribat sonucunda oluşmuş, jeolojik yapının da etkisiyle alanını genişletmiştir.

Burada söylenmesi gereken bir nokta da, havzanın kendini yenileme yeteneğinin kaybolmamış olmasıdır. Aslında Ovacık Krateri çevresinde, kavak ağaçlarının yaygın bir duruma geçmesi, burada daha önce bir orman olmadığını veya bu ormanın tahribatından sonra toprak yapısının da bozulduğunu gösterebilir. Çünkü kavak öncül bir ağaçtır ve orman gelişimi için toprak dengesini kuran bir özelliğe sahiptir.

amlıdere Barajı Havzası 750 km²'ye yakın alanıyla içinde orman, mera, tarım alanı ve yerleşmeleri barındıran bir özelliğe sahiptir. Bu zellik erozyon şiddetini belirlemek amacıyla yapılabilecek çalışmalarda da ayrıntıya inmeyi güçleştirmektedir. Bu çalışmada erozyonun şiddetini ve niceliğini belirlemek amacıyla 1950'li yıllardan beri Amerika Birleşik Devletlerinde

birçok çalışmaya konu edilmiş Üniversal Toprak Kayıpları Eşitliği (USLE) kullanılmıştır. Esasında parsel temelli olan bu eşitlik, son yıllarda havzalara da uygulanmaktadır. Özellikle bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler bu uygulamaları arttırmıştır.

Çalışma; kaynak tarama, veri derleme ve düzenleme, arazi gözlemleri, laboratuvar çalışmaları, bilgisayar analizleri ve hesaplamaları gibi bölümlerden oluşmuş ve en sonunda da elde edilen veriler ışığında havzadaki erozyonun genel görünümünü belirlenmiştir.

Çalışmanın sunumu aşamasında direkt olarak havzadaki erozyona girilmemiştir. Önce genel erozyon mekaniği özetlenmiştir. Daha sonra bu mekaniği etkileyen faktörler etki derecesine göre verilmiştir. Erozyon çalışmalarında kullanılan metodolojilerde anlatıldıktan sonra USLE modelinin gelişimi ve kritiği yapıldıktan sonra havzadaki uygulaması anlatılmış ve sonuçları irdelenmiştir.

1. KURAMSAL VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

1.1. EROZYONUN TANIMI VE EROZYON ÇEŞİTLERİ

Latince kökenli bir sözcük olan “*erozyon*” dilimizde “kemirme” anlamına gelmektedir. Yerel olarak erozyon için süprüntü, uçkun, dalaz gibi ifadeler de kullanılmaktadır (Bahtiyar, 2006).

Erozyon, toprağın ve ana kayanın çeşitli dış güçlerle aşındırılmasıyla taşınmaya hazır duruma getirilmesi, aşındırılan veya daha önce ayrılmış malzemenin (fiziksel veya kimyasal ayrışma) taşınması, bu esnada taşınan malzemeye tekrar aşındırılması ve nihayetinde de biriktirilmesi şeklinde tanımlanabilir. Birikim noktası bazen topografik bir eğim kırıklığı olabileceği gibi bir dere, akarsu veya rezervuar alan da olabilir.

Jeolojik erozyon, oluşan toprakların doğal kuvvetlerle bir denge içerisinde aşındırılıp taşınması ve başka yerlerde biriktirilmesidir. Buna “*doğal erozyon*” ya da “*normal erozyon*” da denilmekte ve bazen de toprak oluşumunu ifade etmektedir. Jeolojik erozyona yararlı olduğu gözüyle de bakılmaktadır. Bu erozyon, kesintisiz cereyan eden bir süreçtir. İnsan müdahalesi olmayan yerlerde, erozyonla üstten aşınıp taşınan toprak miktarıyla alttan oluşan toprak miktarı arasında doğal bir denge söz konusudur. Yani doğal erozyonda, erozyon hızı ile toprak oluşum hızı neredeyse birbirine eşittir. Hatta toprak kazanımı daha fazladır. Bunu derin toprak profillerinden anlamak mümkündür (Bahtiyar, 2006).

Hızlandırılmış erozyon (ekstralated erosion) ise insanların yanlış arazi kullanımı ve hatalı tarımsal faaliyetleri sonucunda ortaya çıkarmış oldukları bir erozyondur. İnsanlar özellikle tarımsal amaçlar için toprağı işlemeye başladıklarından itibaren, toprak kaybı sürecini de başlatmış ve giderek hızlandırmışlardır (Bahtiyar, 2006). Hızlandırılmış erozyonla oluşan toprak taşınmaları, toprak profilinin üst katmanlarında başlamakta ve bu yolla

binlerce, hatta milyonlarca yılda oluşmuş bulunan toprakların önce üst katmanları ve daha sonra ise alt katmanları taşınarak, toprak profilleri giderek sıkışmakta ve bitki yetiştirmeye yarayan gerçek toprak, erozif güçler tarafından zamanla yok edilmektedir (Sarı, 2005).

Erozyonun oluşumu dış güçlerin etkinliğine ve bunların şiddetine bağlıdır. Dolayısıyla erozyon da, aşınmaya neden olan dış güce göre sınıflandırılabilir. Bu açıdan bakıldığında erozyon; su, rüzgâr, buzul, dalga erozyonu gibi türlere ayrılabilir. Fakat özellikle su ve rüzgâr erozyonunun birlikte etkin olduğu alanlar da mevcuttur.

Su erozyonu, genel anlamıyla yağışlar ile yeryüzüne düşen suların çeşitli şekilde yaptıkları aşındırma, taşıma ve biriktirme faaliyetlerini kapsar. Alansal olarak dünyanın her tarafında görülür. Bu nedenle dünyada en fazla problemin olduğu erozyon türüdür.

Rüzgâr erozyonu, kurak ve yarı kurak alanlarda, su erozyonundan daha etkin bir işlev görmektedir. Çünkü bu alanlarda su erozyonu ancak epizodik yağışlarla meydana gelir (Erinç, 2001). Fakat her zaman rüzgârla aşındırma ve biriktirme faaliyetine maruz kalmaktadır.

Buzul erozyonu da buzulların yaptıkları aşınım, taşınım ve biriktirme olarak tarif etmek mümkündür. Fakat yeryüzündeki buzul alanları insanlar tarafından ekonomik bir amaç güderek kullanılmadığı için, buzul erozyonu diğerlerine oranla daha az zararlı görülmektedir.

Dalga erozyonu yeryüzünü şekillendirmesi bakımından oldukça önemli işlevlere sahiptir. Hatta bazı alanlarda yılda 2–4 metrelik bir aşınmanın gerçekleştiği bilinmektedir (Mater, 1987). Buna rağmen dalga aşındırması yine de insanları su ve rüzgâr erozyonu kadar etkilememektedir. Bu nedenle ancak Hollanda gibi alçak ülkelerde kıyılara yol yapımı gibi faaliyetler esnasında araştırılması gereken husus olmaktadır.

Bu çalışmada Çamlıdere Barajında meydana gelen su erozyonu konu edilmiştir. Havza rüzgâr erozyonu ve hatta baraj yapıldıktan sonra dalga erozyonuna da maruz kalmaktadır. Ama su ile meydana gelen erozyona oranlandığında, diğer dış güçlerin bu havzada meydana getirdikleri erozyon yok sayılabilecek kadar azdır.

1.2. SU EROZYONUNUN AŞAMALARI

Bugün Türkiye’de sularla meydana gelen erozyonun sınıflandırılmasında kullanılan sistem, Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı tarafından geliştirilmiş sistemin, Türkiye koşullarına göre değiştirilmiş şeklidir (Balci ve Ökten, 1987). Bu sisteme göre erozyon, yüzey ile oyuntu erozyonu ve bunların şiddetlerine göre sınıflandırılır.

Erozyon, literatürde genellikle 3 veya 4 sınıfa ayrılmıştır. Bunlar genelde damla, yüzey, parmak ve oyuntu erozyonu olarak sınıflanmaktadır. Bu çalışmada erozyonu biz de bu hiyerarşi içerisinde, fakat akarsu erozyonunu oyuntu erozyonundan ayırarak, farklı bir başlık altında incelenmiştir (Çanga, 1985).

Burada şunun da belirtilmesi gerekir ki su erozyonunda aşındırmanın odağı, noktadan başlar, yüzeysel erozyona döner ve ardından da çizgisel erozyonla son bulur. Buna göre su erozyonu başlıca beş aşamadan oluşmaktadır.

1.2.1. Damla Erozyonu (Raindrop Erosion)

Erozyon olayının ilk aşamasıdır. Özellikle arazide toprağın parçalanmasını ve taşınmaya hazır duruma getirilmesinin sağladığı için önemlidir. Bu terim, çeşitli kaynaklarda yağmur damlası erozyonu, sıçratma erozyonu şeklinde de tanımlanmaktadır.



Foto: 1 – Damla Krateri

Yağış başladığında, yağmur damlaları toprak agregatları ve keseklerin üzerine düştüğü zaman daha küçük parçacıklara ayrılmalarına ve toprağın infiltrasyon kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır. Yağmur damlalarının toprağa aktardıkları momentuma bağlı olarak iki etki söz konusudur. Birincisi; toprakta sıkışmaya neden olan konsolidasyon (pekiştirme), kuvveti ve ikincisi ise bazı toprak parçacıklarının dispersiyonu (parçaların birbirinden ayrılması) ve havaya doğru sıçratılmasıdır. Havaya sıçrayan taneler tekrar düşmeleri ile eğim aşağı momentumlarını diğer parçacıklara transfer ederler ve böylece sıçrama olayı tekrarlanır. Eğimli arazilerde bu şekilde sıçrayan tanelerden yarısından fazlası yere düştüklerinde eğim aşağı hareket etmiş olurlar (Çanga, 1985).

Toprağa düşen yağmur damlaları toprak taneciklerini 1–1,5 m çapında bir daire içerisinde etrafa ve hemen hemen 60 cm yukarı doğru sıçratır (Mater, 1987). Bu da bu tip erozyonla taşımanın sınırlı olduğunu göstermektedir.

Damla erozyonu özellikle toprak aşınması bakımından hızlandırıcı bir rol oynar. Etkisi damlanın kinetik enerjisine (boyut, düşme hızı). ve zemin yapısına bağlıdır (Erinç, 2000). Yüksek yoğunluktaki yağışlarda, genellikle damla boyutlarında hafifçe bir düşme görülür bazen de damla çapları 5–6 mm'ye kadar çıkabilir. Damla hızının etkisi genellikle damlanın boyutlarına bağlıdır (Cooke ve Doornkamp, 1990).

1.2.2. Yüzey Erozyonu (Sheet Erosion)

Yağmur damlası bir noktaya enerji göndermekte ve dolayısıyla noktasal bir aşındırma yapmaktadır. Aşındırma yapan damlaların toprak yüzeyinde birikmesi, belli bir kısmının sızması ve geri kalanın da yüzeyi kaplayacak şekilde akışa geçmesi ile yüzey erozyonu başlar. Bu erozyonu tabaka erozyonu olarak niteleyenler de vardır. Çünkü bu evrede sular artık arazi yüzeyini kaplayan bir tabaka halinde hareket ederler.

Yağmur damlalarının sıçratması ve yüzey akışla meydana gelen toprak hareketine yüzey erozyonu denmektedir ([Çanga, 1985](#)). Topografya yüzeyini kaplayarak akan yağış sularının meydana getirdiği aşınma yamaçların işlenmesinde ve şekillenmesinde rol oynayan başlıca süreçlerden biridir. Etkisi yüzeysel akışın kütlesi ve hızı ile doğru orantılıdır ([Erinç, 2000](#)).

Yüzey erozyonu ile hafif toprak parçacıkları organik madde ve eriyebilir bitki besin maddeleri araziden uzaklaştırılır. Bu bakımdan arazinin verimliliğinde ciddi bir azalma meydana gelmektedir. Yüzey erozyonu çoğunlukla eğim boyunca tekdüze bir şekilde meydana geldiğinden verimli üst toprağın büyük bir kısmı taşınmadan önce dikkati çekmemektedir. Bu yüzden yüzey erozyonu en tehlikeli erozyon türüdür ([Çanga, 1985](#)).

Yağmur suları eğim aşağı akarken, yerçekiminin yaptığı etki sonucunda enerjilerini arttırırlar. Bu enerjinin bir kısmı aşındırmada, bir kısmı da aşındırılan materyali taşımada kullanılır. Suyun toprak tanelerini yerlerinden sökme ve sökülen maddeleri taşıma kapasiteleri denge halinde olduğu zaman erozyon, en yüksek düzeye ulaşır ([Akalan, 1987](#)).

Yüzey erozyonu ile toprağın üst kısmı taşındığından, bu erozyonun şiddetli olduğu alanların çevrelerine göre daha açık renkte bir görünüm gösterdiği bilinmektedir ([Mater, 1987](#)).

1.2.3. Parmak Erozyonu (Rill Erosion).

Erozyonun yüzeysel aşınmadan çizgisel aşınmaya geçtiği aşamadır.



Foto: 2, 3 – Çamlıdere Barajı Havzasında Parmaklar

Yüzey erozyonunda seyelan şeklinde akan su, hem kendi etrafında dönme hem de taşıma enerjisi kazanır. Dönme enerjisi toprak tanelerini gevşetip yerlerinden koparır. Taşıma enerjisi ise, kopan tanelerin eğim aşağı taşınmasını sağlar. Bu enerjiler, arazi üzerinde dar alanlarda toplandıkları takdirde yüzey toprağında olukçukların açılmasına neden olurlar. Derinlikleri 1–10 cm olan bu olukçuklara “parmak” adı verilir (Akalan, 1987).

İnce kanalcıklar içinde eğim aşağı doğru akmaya başlayan yüzey akış suyu, akış yolu boyunca giderek artan bir oyma ve taşıma gücü kazanır. Bu su, akış yolu üzerindeki her kıvrım veya çıkıntıdaki toprak kitlesini gevşetir, oyar ve toprak parçacıklarını yerinden koparır. Eğim aşağı doğru akan bu suyun toprak yüzeyinde ince kanalcıklar oluşturmaya, onları derinleştirip genişletmesine, elin parmakları gibi oluklar açmasına oluk, ya da parmak erozyonu adı verilir. Bu oluklar kendiliğinden veya eğim doğrultusundaki sürüm karıkları, hayvan ayak izleri ve tarım makineleri izleri dolayısıyla oluşurlar. Oluk erozyonu hafif eğimin (% 6 eğimin) üzerindeki eğim derecelerinde çok daha zararlı olmaktadır (Bahtiyar, 2006).

1.2.4. Oyuntu Erozyonu (Gully Erosion)

Bazı arazilerde oluşan parmaklar, önlem alınmadığı takdirde, zamanla derinleşip, genişleyerek sel yarıntısı şeklini alırlar. Oluşan bu sel yarıntılarına civardan gelen sel suları katılır. Bu sular sel yarıntısının yan yarıntılarla dallanmasına ve zarar gören alanın genişlemesine neden olur. Sel yarıntılarının derinlik ve genişlikleri jeolojik yapıya, toprağın kalınlığına, sert kaya katının derinliğine, toprak altı materyalin yumuşaklığına, arazinin eğim derecesine ve sel yarıntısından akan sel sularının taşıdığı materyalin miktar ve cinsine bağlı olarak değişir (Akalan, 1987).



Foto: 4, 5 – Çamlıdere Barajı Havzasında parmaklar oyuntuya dönüşüyor (Solda), Oyuntular kırğıbayır şeklini almış (Sağda).

Oyuntular artık çizgisel erozyonun ilerlemiş bir safhasıdır ve akarsu aşındırması ile parmak erozyonu arasında bir geçiş aşamasıdır. Oyuntular genellikle akarsuların ilk oluşum aşamasıdır. Büyüyerek vadi halini alabilirler. Derelerle akarsu yatakları ayırımında suyun akış dönemi karşılaştırması yaparak sonuca varılsa da oyuntular ile dereleri ayırmada ölçüt topografyadır. Çünkü oyuntular küçük alanlı dar bir çukurluk oluşturur. Fakat derelerin genel topografyaya göre oluşturdukları çukurluklar daha büyüktür. Bu erozyon tipi gully erozyonu olarak da işlenmektedir.

Oyuntu erozyonuna bağlı olarak gelişen kanallar “V” ve “U” şekilli olabilir. Bu şekil toprağın ve toprağın alt kısmının özelliğine bağlıdır. Eğer

toprak materyali kolaylıkla aşınıyorsa (lös ve alüvyal toprak). “U” profilili, toprağın alt kısmı dayanıklı ize oluşan profil de “V” şeklindedir (Mater, 1987).

1.2.5. Akarsu Yatak Erozyonu (Linear / Alluvial Channel Erosion)

Akarsular, sürekli eğimi olan bir oluk içerisinde, en azından yılın belli dönemlerinde veya tamamında akış gösteren sulardır (Erinç, 2000). Tanımdan da anlaşılacağı gibi belli bir yatakları vardır ve bu yatak oyuntuların büyümesiyle oluşmuş olmalıdır. Akarsuların erozyona yani aşınmaya katkısı oldukça fazladır. Çünkü birçoğu yılın tamamında akış gösterir.



Foto: 6 – Kanal Erozyonu

Alüvyal kanallardaki erozyon bank ve yatak tabanını kapsayarak akan suyun, hidrolik gücü tarafından dağınık sedimentin yıkanarak taşınmasını sağlar. Akarsu yüzeyinde veya hemen altında odaklanan erozyon, yamacın altının kazılmasına/oyulmasına yol açar ve eğer kısmen bir önceki yüzey akışla ıslanmışsa, bankın üst kesmi çöker.

Hem aşındırma hem de biriktirme yapan akarsuların, sanırım erozyon açısından en büyük işlevi taşımadır. Çünkü aşındırılan malzeme taşınmaz ise üzerinde oluşacak flora, malzemenin sabitleşmesini sağlayacak ve tekrar aşındırılmaya gerek duyulacaktır. Böylece hem taşınma gecikecek hem de üzerini örttüğü toprak parçasını erozyondan koruduğu için, aşınmayı

azaltacaktır. Oysa akarsular bunları taşıyarak, rezervuar alanına biriktirecektir ki bu da zaten erozyonun son aşamasıdır.

Akarsuların erozyonun oluşmasında diğer bir kilit rolü ise, yerel kaide seviyesi rolüne bağlı olarak, diğer tüm erozyon aşamalarına yön vermesidir.

Akarsular, mekanik, korrazyon ve korozyon yoluyla aşındırma yaparlar (Erinç, 2000).

1.3. SU EROZYONUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Erozyon, birçok çalışmada aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmeye çalışılır (Balci ve Ökten, 1987).

$E = f(I, K, T, B, H)$ eşitliği ile belirtilen bu faktörler;

E = Erozyon Miktarı veya şiddeti

I = İklim

K = Toprak

T = Topografya

B = Bitki Örtüsü

H = İnsan 'dır

Bu çalışmada biz de bu faktörlerin etkisini özetlemeyi uygun gördük.

1.3.1. İklim Koşulları

Erozyonun şiddetini etkileyen en önemli faktör iklimdir. Çünkü su erozyonunun motoru olarak kabul edilen suyun kaynağı, farklı şekillerde oluşsa da yağış ve dolayısıyla iklimdir. Fakat iklimin erozyonu etkilemesi oldukça karışık bir denklemdir.

İklim elemanlarından sıcaklık, yağışın türü ve şiddetini, toprağın nem miktarını, toprağın donmuş olup olmamasında ve dolayısıyla infiltrasyon ve erozyon üzerinde etkili olmaktadır. Rüzgâr ise yağmur damlalarının düşme

açısı ve toprağa çarpma hızında etkili olmaktadır. Ancak bunlardan en etkilişi yağıştır (Balci ve Ökten, 1987).

Toprak kaybı ile yağışlar arasında yağmur damlalarının toprak yüzeyine çarpması ve yüzey akışlara ilave olması nedeniyle çok yakın bir ilişki vardır. Bu durum özellikle yüzey akış ve parmak erozyonun için söz konusu olup en önemli yağış karakteristiği yağış yoğunluğu kabul edilmektedir (Çanga, 1985).

1950 yılından sonra yapılan birçok araştırma sonucunda erozyonu etkileyen 20'den fazla yağış etmeninin bulunduğu ortaya çıkmıştır. Yağış miktarı ile oluşan toprak kaybı arasında önceleri ortaya konan doğrusal ilişkiler son yıllarda pek benimsenmemektedir. Çünkü yağış miktarı yanında, yağış anındaki toprak nem içeriği (Doğan, 1987, 2002), sıcaklık, buharlaşma koşulları, damla büyüklük dağılımı, yağış yoğunluğu, yağış süresi, yağışın araziye düşme açısı, damlanın düşme hızı (Lal, 1988), vb. birçok etmen, erozyonla oluşan toprak kaybına etki etmektedir. Ayrıca yağışların dağılımı ile de toprak kaybı arasında aranan bağıntılarda sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir. Buna en iyi örnek Ülkemizde Rize ve Marmaris Meteoroloji İstasyonları için verilebilir. Marmaris'te 1209 mm yağış düşmesine rağmen R değeri (erosif gücü) 522 iken Rize'de 2180 mm yağışa karşılık R değeri 481 olarak hesaplanmıştır (Doğan, 1987, 2002).

1.3.2. Toprak Koşulları

İdeal özelliklerine sahip olmaları halinde toprakların erozyona karşı dirençlerinin yüksek olmasına, ideal özelliklerinin bozulması halinde ise toprakların erozyona karşı dirençlerini kaybetmelerine neden olan toprak ve yüzey özelliklerinden bazıları aşağıda verilmiştir.

Strüktür oluşumu, agregatlaşma

Agregatların suya dayanıklılığı

Özgöl ağırlık

Gözenek hacmi, gözenek çapları ve gözeneklerin devamlılığı

Kil minerallerinin miktarı ve tipi

Organik madde miktarı

Değişebilir katyonların cinsi ve miktarı

Mikroorganizma faaliyetinin düzeyi

Yağışlardan önceki toprağın nem içeriği

gibi daha pek çoğu burada verilmemiş olan toprak özellikleri, toprak erozyonunun oluşmasında ve oluşacak erozyonun şiddet derecesine etkide bulunmaktadır ([Sarı, 2005](#)).

Toprak bünyesinin rolü oldukça fazla olup hem su hem de rüzgâr erozyonunda en etkin belirleyicidir. Büyük parçacıklar taşınmaya ve küçük parçacıklar ise parçalanmaya karşı dirençlidirler. Çünkü büyük parçacıkların taşınması için daha fazla taşıyıcı güce ihtiyaç vardır. Küçük parçacıklar ise daha yüksek kohezyonları nedeniyle dayanıklı agregatları oluştururlar. Su erozyonuna en az dirençli olan silt ve ince kumdur, yani bir toprağın silt kapsamı yüksekse su erozyonuna dayanıklılığı az demektir. Richter ve Negendank ([1977](#)) % 40–60 silt kapsamına sahip toprakların erozyona karşı dayanıksız topraklar olduğunu bildirmektedir. Bünye unsurlarından kil kapsamı da kullanılabilmekte olup % 9–30 kil kapsamında erozyona en fazla duyarlılık saptanmıştır. Kil kapsamı aynı zamanda agregat dayanıklılığı ve oluşumu bakımından da önemli olduğu için daha uygun bir ölçüt olarak görülmektedir ([Çanga, 1985](#)).

Geçirgenliğin fazla olması erozyonun oluşumunu azaltır. Çünkü yağışla yere inen sular yeraltına sızar ve aşındırma yapamaz. Fakat birim yağışın birim geçirgenlikten fazla olduğu zamanlarda sular yeraltına sızma imkânı bulamadan akışa geçebilir.

Organik madde, toprakların su tutma kapasitelerini artırır, yüzey akış kayıplarını azaltır, özellikle ağır topraklarda havalanmayı düzenler ve daha iyi bir yapı ve tav durumu hazırlar. Organik maddenin toprakta kümeleşmeyi

uyararak, iyi bir toprak yapısı ve tav durumunu oluşturması, infiltrasyonu artırarak yzey akış kayıplarını azaltması, su ve rzgâr erozyonu kayıplarının normal dzeeye inmesinde de büyük rol oynamaktadır (Aalan, 1987).

1.3.3. Topografik Özellikler

Normal olarak erozyon, artan eğim ve eğim uzunluğuna bağılı olarak yzey akışının hızı ve hacminin artışına paralel bir şekilde artar. Düz bir yzeyde yağmur damlaları toprak parçalarını tesadüfi olarak her yöne sıçratırlar ancak, eğimli bir yzeyde eğim aşağı sıçrayan taneler eğim yukarı olanlardan daha fazladır. Bunun oranı eğim artışına bağılıdır (Çanga, 1985).

Eğim uzunluğu, eğimin başladığı nokta ile sedimentlerin yığıldığı nokta ya da sıfır olduğu nokta arasındaki mesafe olarak kabul edilir. Yamaç uzunluğunun erozyon üzerine etkisi, toprak tekstürü ve geçirgenliği ile yakından ilişkilidir. Bir eğim uzunluğu üzerine düşen yağmurun oluşturduğu erozyon, eğimin yukarı kısmında çok az, eğimin aşağı kısmında ise çok fazla olmaktadır. O halde yamaç uzunluğu arttıkça buna bağılı olarak, taşınan toprak miktarı da artmaktadır (Doğan ve Güçer, 1976).

Erozyonun şiddeti açısından eğim derecesi, eğim uzunluğundan daha önemlidir. Çeşitli araştırmacılar aynı koşullar altında eğimin artması ile erozyon şiddetinin arttığını deneysel olarak belirlemişlerdir (Balci ve Ökten, 1987).

Erozyon şiddeti ile eğim arasındaki fonksiyonel ilişki, değışik yağış karakteristikleri ve arazi kullanma koşulları altında farklı olmaktadır. Örneğın, eğimin % 5'ten % 10'a çıkması halinde erozyon miktarında 3 katı oranında, % 15'e çıkması halinde ise 5 katı bir artış olduğu bulunmuştur (Balci ve Ökten, 1987).

Eğimler, içbükey, dışbükey ve düzgün bir şekil gösterirler. Çoğu zaman her üç şekli de bir yamaçta görmek mümkündür. İçbükey bir şekle sahip yamaçlarda daha az erozyon tahribatı görülmektedir. Kolüvyal sahaların oluşumunda içbükey yamaçların varlığı esastır. Dışbükey yamaçlarda, aşınma içbükey yamaçlara oranla daha fazla olmaktadır (Doğan ve Güçer, 1976).

1.3.4. Bitki Örtüsü

Toprak üzerindeki bitki örtüsü, her şeyden evvel, yağmur damlalarının toprak zerrelere çarpmasını, dolayısıyla yüzeysel tabakanın tahribini önler. Bitki örtüsünün bu koruyucu görevi, yağmur damlalarını tutarak, hızlarını azaltmaktadır (Doğan ve Güçer, 1976).

Bitki örtüsü, toprak ile atmosfer arasında bir tampon veya koruyucu katman gibi rol oynar. Bitkilerin yapraklar ve saplar gibi toprak üstü kısımları; yağmur damlalarının, yüzeyden akan suyun ve rüzgârın enerjilerini emerek toprağa daha az enerjinin geçişini sağlarlarken, bitki örtüsünün kök sistemlerinden oluşan toprak altı kısmı toprakların mekanik dayanımlarına katkıda bulunurlar (Çanga, 1985).

Bitki örtüsü yüzeyden akan suyun enerjisini akışa karşı pürüzlük yaratmak suretiyle giderir ve dolayısıyla hızını azaltır. Bitkiler hava akışına karşı pürüzlük oluşturarak rüzgârın hızını azaltırlar. Orman örtüsü genellikle araziye kütle hareketlerine karşı kısmen ağaç köklerinin kohesif etkileri yoluyla korumaktadır. 1–20 mm çapındaki ince kökler toprakla birleşik bir materyal oluştururlar ve düşük gerilme (tensile) dayanıklılığına sahip toprak, nispeten yüksek gerilme dayanıklılığına sahip kökler vasıtasıyla güçlenir (Çanga, 1985).

Orman ölü örtüsü en şiddetli yağışları kolaylıkla geçirebilecek bir infiltrasyon kapasitesine sahiptir. Örneğin çürüntü-mul mor tipi humus içeren

bir orman örtüsü 150 mm/saat şiddetinde bir yağışı kolaylıkla süzerek toprağa geçirebilmektedir. Bu alanlarda geçirgenlik ölü örtünün kalınlığıyla orantılıdır (Balcı ve Ökten, 1987).

Çayır ve otlaklar toprak taşınımına oldukça dirençlidir. Bu alanlar hem erozyonu önlerler, hem de yüzeysel akışı azaltırlar. Sık bir çayırılık, akan suları geçirmeyen bir tabaka teşkil ederek, mükemmel bir şekilde toprağı korur. Otlaklar, toprak nemliliğini transpirasyon yolu ile azaltırlar. Toprakları daha sonraki yağış sularını emecek bir kıvamda tutarlar (Doğan ve Güçer, 1976).

Kültür bitkilerinin türüne göre erozyon miktarı değişmektedir. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, eğer örtü bitkilerinin ekili olduğu bir arazideki aşınma miktarı 1 kabul edilirse, aşınmanın tahıllarda 5, endüstri bitkilerinde 20 olacağı belirtilmiştir (Çeliker ve Anaç, 2005). Ayrıca kültür bitkilerinde uygulanan nöbetleşe ekim de erozyonu etkilemektedir (Tablo 1).

Nöbet Sistemi	Ortalama Toprak Kaybı (Ton/ha/yıl).
Mısır-Buğday-Üçgül	6,67
Sürekli Buğday	24,95
Sürekli Mısır	48,66

Tablo: 1 – Ekim Nöbetinin Erozyon Üzerine Etkisi

1.3.5. İnsan Faaliyetleri

Yeryüzünde görüldükleri andan itibaren canlılar, özellikle insanlar bilerek ve/veya bilmeyerek üzerinde yaşadıkları arazilerin bitki örtüsünü sürekli olarak tahrip etmişler ve etmektedirler. Günümüzde de insanlar yaşamlarını sürdürebilmek için tarım ve hayvancılık yapmak zorundadırlar. Bu durum ise sürekli olarak yeryüzündeki bitki ve toprak varlıklarının tahrip edilmesine yol açmaktadır. Doğal denge koşulları içerisinde, en azından doğal güçlerin erozyonla taşıdığı toprak miktarı kadar yeniden toprak oluşumu esastır. Söz konusu bu denge, insanların doğayı kullanmaya

başladıkları döneme kadar devam etmiş ve insanların doğaya ve araziye müdahaleleri ile birlikte bu denge toprakların aleyhine dönmüştür. İnsanların sürekli olarak bitki örtüsünü tahrip etmesi ve uygun özelliklere sahip olmayan toprakları tarıma açması, erozyona ortam hazırlamaktadır. Bunların yanı sıra arazi ve toprakların oluşurken kazandıkları yeteneklerine uygun olmayan kullanım biçimleri altında işletilmeleri ve hatalı ve yanlış tarım yöntemleri uygulanarak kullanılmaları da erozyon zararının beklenilenden fazla olmasına neden olmaktadır (Sarı, 2005).

Üretimin arttırılmasında bilgi ve beceri temel koşuldur. Bilgisizlik sonucu yapılmış olan yanlışlıklar ve beceri eksikliği nedeniyle erozyonu hazırlayan ve hızlandıran faktörleri ana başlıklarıyla aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Bahtiyar, 2005).

Toprağı, üretim gücüne (yetenek sınıfına) uygun olarak kullanmamak,
Dik veya çok dik eğimli (% 12'den fazla) arazilerde, toprak koruyucu önlem almadan toprak işlemeli tarım yapmak,

Çok sık (20 cm.'den az derin) topraklı arazilerde, taşlık ve kayalık yerlerde toprak işlemeli tarım yapmak,

Uygun olmayan tarım alet-makineleri kullanmak ve hatalı toprak işlemesi yapmak,

- o Toprağı eğim doğrultusunda işlemek,
- o Toprağı alt - üst eden ve strüktürünü bozan işleme yapmak,
- o Toprağı, erozyon gücü yüksek yağışlardan önce işlemek,

Toprak koruyucu kültürel (bitkisel) önlemlere yer vermemek,

- o Bitki artıklı tarım yapmamak,
- o Arazileri topluca nadasa bırakmak,
- o Hatalı bitki ekim nöbeti uygulamak,
- o Yeşil gübrelemeye gerekli önemi vermemek,
- o Ahır gübresini tarlaya vermeyip, yakmak,
- o Şeritvari ekim sistemi uygulamamak,

Otlak alanlarını usulüne göre kullanmamak,

- o Erken ve aşırı otlatmak,
 - o Otlak alanlarını toprak işlemeli tarım alanlarına dönüştürmek,
- Ormanları iyi koruyamamak,
- o Orman arazisini toprak işlemeli tarıma açmak,
 - o Orman içi otlatma yaptırmak,
 - o Usulsüz ve kaçak kesim yapmak,
 - o Ormanları yakmak.

1.4. EROZYON ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN MODELLER

1.4.1. Niteliksel Modeller

Erozyonun şiddetini belirlemeye yönelik modeller bu sınıfa girer. Bu modellerde erozyon; az, orta, şiddetli, çok şiddetli gibi sınıflara ayrılır. Bu modellere bakarak erozyonun az ve çok olduğu alanlar tespit edilebilir. Fakat nerelerde önlem alınması gerektiği veya nerelerde hangi tür erozyonun şiddetli olduğu açık değildir.

1.4.1.1. FAO

Bir havza veya bölgede, erozyondan etkilenmeyen (durağan) alanlar ile, erozyondan etkilenen (durağan olmayan) alanlarda uygulanan, aktif erozyon özelliklerinin sistematik haritalanmasında diğer bir ifadeyle, potansiyel erozyon derecesinin ve erozyon riskinin kalitatif (nitelik) olarak haritalanmasında **FAO (Birleşmiş Milletler Gıda Tarım Teşkilatı) Metodu** kullanılabilir. Diğer bir ifade ile, **FAO metodu**; bir havzada mevcut ve aktif olan erozyonu değerlendiren ve kalitatif olarak tanımlayan haritalama metodudur. Bu yöntemin prensibi, hava ve/veya uydu fotoğraflarını yorumlama ve arazi gözlemlerinden yararlanılarak, yeni bir yoruma dayalı olarak potansiyel erozyon haritalamasını tamamlayıcı nitelikte erozyonun haritalanmasıdır. Bu metodoloji;

Arazi stabilizesi derecesinin belirlenmesi,

Durağan ve durağan hale getirilmiş alanlar için erozyon riski derecesinin tanımı, erozyona müsait alanlar veya erozyona neden olan özel etmenler gibi yerel özelliklerin tanımlanması ve değerlendirilmesi,

Durağan olmayan alanlar için hakim erozyon tipinin tanımlanmasının (bu erozyonun şiddeti ve değişim hızıyla ilişkilidir), bir lejanta dayalı olarak haritalanması, gibi adımlarından oluşur. Böylece durağan ve durağan hale getirilmiş alanlarda erozyon risklerinin yoğunluğu, eğilimleri ve etken faktör belirlenerek, uygulanacak toprak muhafaza tedbirlerinin tespiti yapılır (Anonim, 2005).

1.4.1.2. ICONA

Önemli diğer bir erozyon haritalama metodolojisi ise, İspanyolların geliştirdiği, PAP/RAC/UNEP (Öncelikli Eylem Planı) Uluslararası Teşkilatının katkılarıyla ülkemizin de katılımı ile pilot havzalarda uygulanan **ICONA** yöntemidir. Bir havza veya bölgede, su erozyonunun mevcut durumunu ve erozyon riskini kalitatif olarak haritalama için kullanılır. Burada;

Arazi kullanımı,

Bitki örtüsü yoğunluğu,

Fizyografik birimler (topografya ve eğim) ve

Lito-pedolojik birimler (jeoloji ve toprak) dikkate alınarak, ilk olarak koruma düzeyleri ve erozyona duyarlılık haritaları, daha sonra bu iki haritanın çakıştırılması ile de “**Erozyon Durum Haritası**” hazırlanmaktadır (Anonim, 2005).

Bu yöntem ülkemizde de birçok alanda kullanılmış ve erozyon alanlarını belirlenmiştir (Doğan vd. , 2000a, Bayramin vd. , 2003).

1.4.1.3. CORINE

Diğer bir erozyon metodolojisi ise, Avrupa Topluluğuna üye ülkelerce uygulanan erozyon riski ve arazi kalitelerini belirleyen **CORINE** modelidir. Bu modelde;

Toprak aşınım duyarlılığı (erodibilite= aynı koşullar altındaki toprakların erozyona karşı nispi duyarlılığıdır)

Aşındırıcı etken,

Topografik durum ve

Bitki örtüsü indisleri, dikkate alınarak **“Erozyon Risk Değerlendirmesi”** yapılmaktadır

Bu model Avrupa Birliği Ülkelerinde uygulanan ve birçok ülkede erozyon çalışmalarını standardize etmeyi amaçlayan bir modeldir (Anonim, 2005).

Yöntem, Türkiye’de Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (KHGM) APK Dairesine Bağlı Ulusal Bilgi Merkezinde gerçekleştirilmektedir. Pilot çalışma alanı daha çok Marmara Bölgesinden seçilmiştir. KHGM bu işlemi HAT A.Ş. ile birlikte yürütmektedir (Hat A.Ş., 2002).

1.4.2. Niceliksel Modeller

Bu modeller erozyonun miktarını sayısal tahmin etmeyi amaçlar. Bu nedenle sadece topografya, toprak, jeoloji vb. gibi faktörleri yüzeysel olarak değerlendirmezler. Bu modeller birçok fiziksel, istatistiksel ve deneysel parametreyi kullanır. Sadece bir parametrenin belirlenmesi bile uzun çalışmalar gerektirir. Bu nedenle disiplinler arası bir yaklaşım gerektirir.

Bu modeller genel olarak fizik yasalarına bağlı olarak geliştirilen, bazıları deneysel modellerden yararlanarak oluşturulmuş uygulamalardır. Bu modeller deney sonuçlarını ve erozyona etki eden faktörleri fiziki yasalarla mekanize etmeye çalışırlar.

1.4.2.1. WEPP (Water Erosion Prediction Project).

Bu model USLE ve RUSLE’nin eksik yönlerini tamamlamak amacıyla geliştirilmiştir. Zaten hemen hemen aynı kadro tarafından geliştirilmiştir.

USLE ve RUSLE deneysel ve/veya istatistiksel modeller olmasına rağmen bu model fiziki temellere dayalıdır.

Su Erozyonu Tahmin Modeli, yeni bir erozyon modeli olarak Amerikan Tarım Bakanlığı (USDA) tarafından geliştirilmiştir. Modelin teknik tabanı; iklim, su geçirgenliği, hidroloji, toprak fiziki, bitki örtüsü, hidrolik koşullar ve erozyon mekaniğine dayanır. Özellikle topografik şartlar ve bitki amenajmanı yönünden diğer modellere nazaran oldukça iyi tahmin yapar. Ayrıca geçici erozyon (bir yerden bir yere taşınım) ve konumsal erozyon (burada erozyonun cinsi kastedilmektedir; parmak, parmaklar arası gibi) tahmini konusunda da yeterlidir. Günlük, aylık ve yıllık erozyon tahmini için seçenekler sunmaktadır. Ayrıca geleceğe yönelik tahminler de yapabilmektedir (Flanagan and Nearing, 1995).

WEPP'in oldukça iyi tahmin yaptığı kabul edilse de, model uygulamalarının sadece ABD Toprak Erozyonu Araştırma laboratuvarı ve başka birkaç yerde uygulanması, modelin çok ayrıntılı veri gerektirdiği ve nedenlerden dolayı pek yaygınlaşamamıştır (Kalin, 2003).

1.4.2.2. EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator).

Türkçe karşılığı **Erozyon ve Toprak Verimliliğine Etki Hesabı**'dır. Farklı alanlarda kullanılsa da, fiziki temellere dayalı güçlü bir erozyon modelidir. Erozyondan kaynaklanan ekonomik kayıpları hesaplamak amacıyla geliştirilmiştir (Lal, 1988).

Erozyonun toprak verimliliğine etkisini araştıran bu modelde bitki gelişimi, hidrolik özellikler, iklim özellikleri, topraktaki azot ve nitrat miktarı, toprak sıcaklığı, sürüm yöntemleri gibi parametreler kullanılır. Bilgisayar tabanında çalışan simülasyon modelleri geliştirilmiştir. Modelde ekonomik parametreler de kullanılmaktadır. Bunlar içinde, birçok girdi türü, güvenlik harcamaları, sermaye miktarı vb. onlarca faktör kullanılmaktadır. Özellikle

tarıma yatırım yapan müteşebbisler için oldukça kullanışlıdır (Cooke ve Doornkamp, 1990).

1.4.2.3. ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation)

Fiziksel parametrelere dayalı bir modeldir. Havza bazında çalışır. Tarım alanlarının ve yerleşmelerin, araziden erozyonla kaybolan bitkisel besinlere etkisini amaçlayan bu model su yükü taşınımını hesaplar. Genellikle bilgisayar ortamında uygulanır. Bilgisayar ortamında kullanılırken her tarafı aynı özelliklere sahip hücreler elde edilerek kullanılır. Modelde;

Yağış,

Topografik özellikler,

Su geçirgenliği ve sızma,

Sediment parçalanması ve iletimi,

Parmak, parmak arası ve kanal,

Erozyon alanındaki strüktür bilgileri kullanılır. Ayrıca bitki gelişimini, buharlaşma, toprak nemi değişimi ve bitkilerin azot kullanımı ve topraktaki diğer bazı mineral miktarı bilgileri de bu modelde kullanılır. Modelin GRASS ve ARC-GIS gibi Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarında kullanılan ara yüzü geliştirilmiştir. Model genelde EPIC ve WEPP'in karışımı gibi görünmektedir. En fazla havza plancıları tarafından kullanılmaktadır (Kalin, 2003).

1.5. ÜNİVERSAL TOPRAK KAYIPLARI EŞİTLİĞİ (USLE)

1.5.1. Usle, Musle, Usle-M ve Rusle Gelişimi

USLE, Birleşik Devletler Tarım Bakanlığı Toprak Koruma Bölümü tarafından geliştirilen, günümüzde dünyanın hemen her yerinde kullanılan, en yaygın ve bilinen su erozyonu tahmin modellerinden biridir. Amerika Birleşik Devletlerinde 10.000'den fazla tarım çiftliğindeki deneme sonuçlarının

değerlendirilmesiyle formüle edilmiştir (Wischmeier, ve Smith, 1978). Özellikle farklı arazi örtüsü altında, uzun dönemlerde, ortalama yıllık toprak kaybının hesap edilmesinde isabetli sonuçlar vermektedir (Kinzel, 2000). Deneysel bir erozyon modeli olan USLE toprak kaybını genel olarak, altı farklı parametrenin bir fonksiyonu olarak hesaplar. Buna göre;

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Formülde;

A = Yıllık toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ y^{-1}$).

R = Yağış erozyon indisi ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ y^{-1}$).

K = Toprağın erozyona duyarlılığı ($t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$).

L = Eğim uzunluğu faktörü

S = Eğim dikliği faktörü

C = Ürün ve arazi yönetim faktörü

P = Toprak koruma önlemleri

USLE yukarıda da değinildiği gibi yıllık ortalama toprak kayıpları için oldukça kullanışlıdır. Fakat özellikle tek bir yağış sonucu oluşan erozyon miktarını ölçmede yetersiz kaldığı bilinmektedir (Kinzel, 2000). Bunun yanında USLE'nin parsel bazında erozyon miktarını daha doğru hesapladığı fakat oluşan toprak kaybının ne kadarının dere, çay, nehir veya göl ya da barajlara taşındığı hakkında bir sediment iletim oranı (Sediment Delivery Ratio – SİO) sunmadığı eleştirisi yapılmaktadır.

Bu nedenlerden dolayı USLE eşitliğinde yeni düzenlemeler yapılmış ve MUSLE (Modified Universal Soil Lose Equalation) olarak yeniden adlandırılmıştır. Williams ve Berndt (1972) bu eşitliğe göre herhangi bir yağış sonucu oluşan erozyon miktarı;

$$SY_e = X_e.K.L.S.C_e.P_e$$

Formülde;

SY_e = Yıllık toprak kaybı ($t\ ha^{-1}\ y^{-1}$).

X_e = Erozyona neden olan tek yağışın indisi

K = Toprağın erozyona duyarlılığı ($t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$).

L = Eğim uzunluğu

S = Eğim dikliği

C_e = Ürün ve arazi yönetim faktörü

P_e = Toprak koruma önlemleri

Burada C_e, P_e yağışın meydana geldiği dönemdeki ürün yönetimi faktörü ve toprak koruma önlemi olarak ifade edilmiştir. X_e ise;

$X_e = \alpha(Q_e q_p)^{0.56}$ olarak USLE'deki R yani yağış faktörünün yerine konulmuştur.

Formülde;

α = Deneysel bir katsayı

Q_e = Akış miktarı

q_e = Erozyon esnasında, en fazla akış miktarının oranını ifade etmektedir.

USLE-M ise Kinnel ve Risse (1998) tarafından sunulan ve yine Usle'deki faktörlerin düzeltilmesine çalışıldığı bir eşitliklerdir. Bu eşitlikte de K.L.S.P. faktörleri USLE ile hemen hemen aynıdır. R faktörünün hesaplanmasında MUSLE'den farklı olarak EI₃₀ aynen alınmış, ayrıca buna akış miktarı eklenmiştir.

RUSLE ise Renard vd. tarafından 1990'larda geliştirilmiştir. Amaç yine USLE eşitliğindeki eksiklikleri gidermek ve daha doğru sonuç veren bir model üretme olmuştur. Perdue Üniversitesi ve Amerika Tarım Bakanlığı, Toprak Koruma Bölümünün ortaklaşa hazırladıkları bu model gerçekten de USLE'ye göre oldukça ayrıntılıdır (Renard vd., 1996). USLE ile RUSLE (Revised USLE) arasındaki farkların başlıcaları aşağıdaki gibidir.

R faktörünün hesaplanmasında yeni eşitlikler geliştirilmiştir. Ayrıca 1 yıldan daha kısa (Mesela; 15 günlük) dönemlerde oluşan toprak kaybı hesaplanabilmektedir.

K faktörünün belirlenmesinde özellikle yıl içerisindeki farklılıklar göz önüne alınabilmektedir.

İçbükey ve dışbükey eğime sahip yamaçlar için yeni hesaplamalar geliştirilmiştir.

Ürün yönetimi faktörü hesabı için kanopi, kanopi yüksekliği ve bunların yıl içindeki değişimleriyle ilgili ayrıntılı çözümler vardır.

Bunlara rağmen RUSLE eşitliğinin Türkiye’de uygulanması şu an oldukça zor görülmektedir (Çanga, 1985).

Usle ve Rusle’nin toprak kaybını iyi hesaplamadığı dile getirilse de (Kinnel, 2005) bu kadar çok faktörü içinde barındıran, özellikle çok fazla deneme sonucunda ortaya çıkan ve gerçeğe en yakın sonucu veren modelin Usle olduğu, bu modelin çok fazla uygulama alanı bulmasından anlaşılmaktadır.

USLE eşitliği daha önce sözü edilen su erozyonu aşamalarından yalnızca, parmak ve yüzey erozyonunu hesaplamaktadır. Bunlar içerisine damla erozyonu da katılabilir. Fakat oyuntu ve kanal erozyonu bu yöntemle hesaplanamamaktadır. Oyuntu ve kanal erozyonunun miktarı bu çalışmada USLE eşitliğinde bulunan sonucun % 35’i olarak alınmıştır (Öztürk ve Okman, 1987).

1.5.2. USLE Eşitliğinde Faktörlerin Belirlenmesi

USLE eşitliğinde herhangi bir faktörün belirlenmesinde yüzey akış parselleri kullanılır. Bu parseller ilk olarak Wischemeir ve Smith (1978) tarafından uygulandığı için standart olarak kabul edilmiştir. Bu standartlar,

22,13 m eğim uzunluğu,

% 9 eğimli,

Eğim yönünde sürülmüş,

Devamlı nadas yapılan bir alan olarak bilinmektedir.

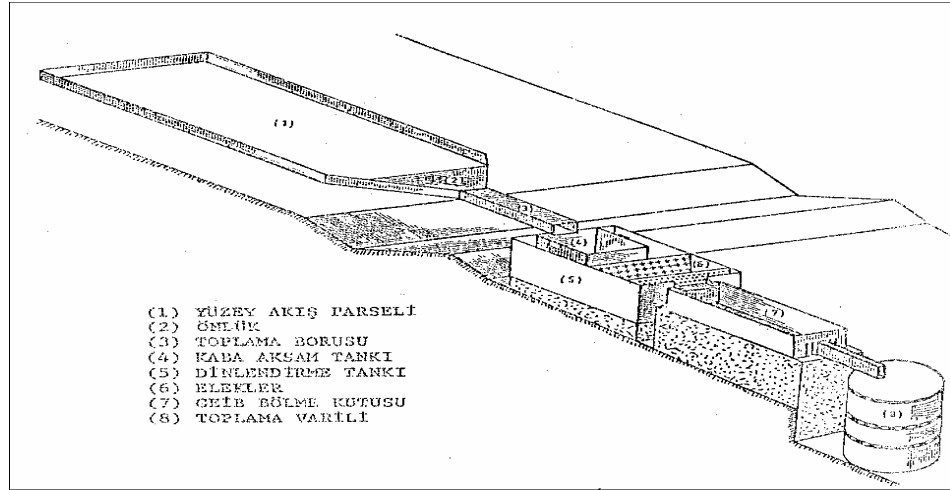
Bir parametrenin erozyonu nasıl etkilediği, parametre haricinde diğer tüm faktörler sabit tutularak deneysel çalışmalarla belirlenmeye çalışılır. Eğim

uzunluğunun erozyona etkisi belirlenmek istendiğinde diğer şartların hep aynı olduğu, fakat eğim uzunluğunun farklı olduğu parseller oluşturulur. Daha sonra, oluşan erozyon ile eğim uzunluğu arasındaki ilişki istatistiksel ve matematiksel olarak değerlendirilerek sonuca varılır.

Ya da bir alandaki toprak duyarlılığının erozyona etkisi ölçülmek istendiğinde,

$K = A / El_{30}$ eşitliği kullanılır.

Bu işlemler USLE parsellerinde uygulandığı için de L, S, C ve P faktörleri de 1 olarak kabul edilir (Cebel, 2006, Çanga, 1985).



Şekil : 1 - Bir yüzey akış parseli (Doğan ve Küçükçakar, 1986).

Ülkemizde USLE parselleri, yüzey akış parseli olarak isimlendirilmektedir. Doğan ve Küçükçakar'ın (1986) hazırladıkları talimat ile daha önce Köy Hizmetlerine bağlı bölge müdürlüklerinde hazırlanan parsellerde toprak kaybının Türkiye'deki parametreleri belirlenmeye çalışılmaktaydı. Fakat KHGM' nün idari konumunun değişmesine bağlı olarak bu parsellerde tekrar çalışılıp çalışılmayacağı belirsizlik içindedir.

1.5.3. USLE ve Analizi

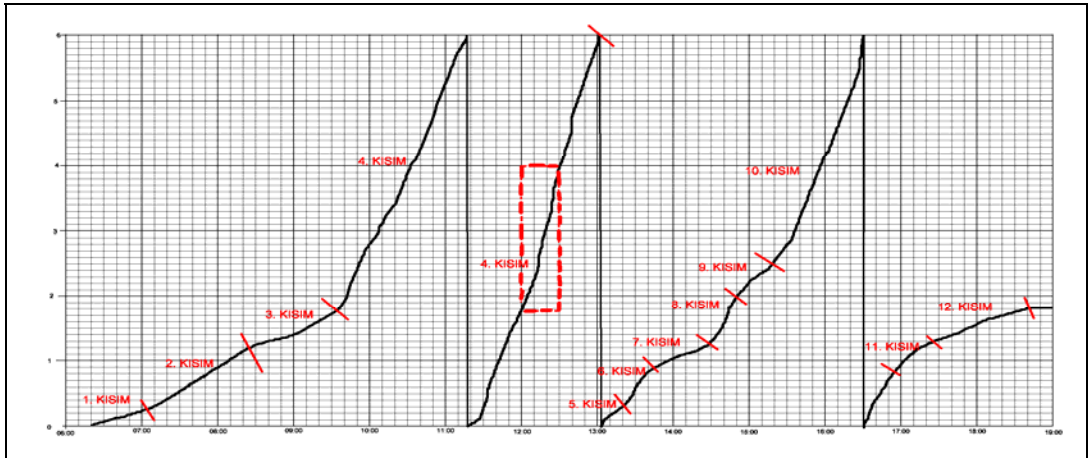
USLE eşitliği ilk olarak ABD Tarım Bakanlığının 282 nolu el kitabında Kayalık Dağlarının doğu kısmı için hazırlanmış erozyon belirleme modeli olarak karşımıza çıkmaktadır (Wischmeier, ve Smith, 1965). Bundan sonra sürekli geliştirilerek günümüze kadar kullanılmıştır. Ülkemizde USLE eşitliği

genellikle ziraat mühendisleri, orman mühendisleri, inşaat mühendisleri ve peyzaj mimarları tarafından kullanılmaktadır.

USLE çalışmaları ülkemizde oldukça fazladır. Bunların bir kısmı direkt USLE uygulaması şeklindedir (Cambazoğlu ve Göğüş, 2004; Özcan vd. 2006). Bazıları USLE eşitliğini ve faktörlerin hesaplanışını konu edinmekte (Çanga 1985; Doğan, 1985; Cebel, 2006 ve Erpul ve Erdoğan, 2006) bazıları da deneysel çalışmalar şeklinde görülmektedir.

Usle daha öncede değinildiği gibi 6 farklı parametreden oluşmaktadır. Bunlardan eğim ve eğim uzunluğu faktörleri genellikle topografik faktör olarak LS değeri şeklinde birleştirilmiştir. P faktörü yani önlem ve tedbirleri içinde barındıran faktör genellikle havza çalışmalarında değerlendirilmez.

USLE eşitliğinin ilk parametresi olan R değeri yani iklim faktörünün belirlenmesi aşamasında birçok ölçüt değerlendirilir. Bunlardan ilki yağış ayırımıdır ki bu ayırım 6 saat gibi uzun bir süre yağış olmadığında, sonraki yağışın ilk yağışın erosif gücünü artırmadığı prensibine dayanır. İkinci ölçüt yağış yoğunluğudur ve bunu da geçirgenlikle ilişkilendirmek gerekir. Buna göre düşük yoğunluktaki yağışlar, toprağa sızacağı ve yüzey akış oluşturmayacağı için erozif etkiye sahip değildir. Üçüncü ölçüt yağış miktarıdır. Bu da belli miktarın altındaki yağışların buharlaşma ile tekrar atmosfere döneceği ve erozif etki yapmayacağı prensibine dayanır.



Şekil : 2 - Kısımlarına ayrılmış bir yağış diyagramı

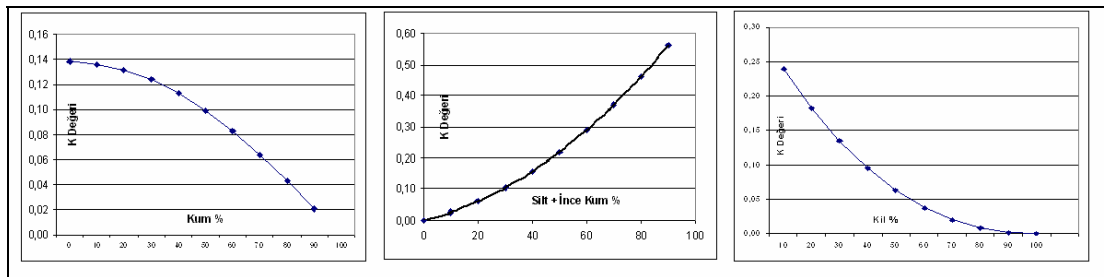
USLE eşitliğinin R değeri genellikle yağış diyagramlarının incelenmesiyle hesaplanır. Yağış diyagramında yani yağış esnasında en fazla erozif etki yapan yağış kısımları, yoğunluğun yani kinetik gücün en fazla olduğu yağış kısımlarıdır. Buna göre; erosif gücün en fazla olduğu kısım 4. kısımdır (Şekil 2). Burada yağış eğrisi çok diktir yani yoğunluk oldukça fazladır. Erozif gücün en az olduğu kısım ise 1. kısım olmalıdır. Çünkü bu kısımda toprak geçirgenliği en fazladır ve yağışla yere düşen sular toprağa sızar.

Bundan başka, yağış miktarının artması da erosif gücü artıran diğer bir etkidir. Burada söz edilmesi gereken diğer bir husus da 30 dakikalık maksimum yoğunluktur. Bu da özellikle yağış esnasında toprak parçalanmasının en fazla olduğu dönemdir ve tüm yağış esnasındaki erozyonu etkilemektedir.

USLE eşitliğinde kullanılan toprak erozyon duyarlılık faktörü olan K değerinin hesaplanması, beş farklı toprak parametresine dayanır. Bunlar,

- Silt + İnce kum yüzdesi (0,002 – 0,100 mm)
- Kum yüzdesi (0,100 – 2,000 mm)
- Organik madde yüzdesi –a
- Strüktür kodu – b (Strüktür sınıfına göre belirlenir)
- Geçirgenlik kodu –c (Geçirgenlik sınıfıdır) olarak sıralanır.

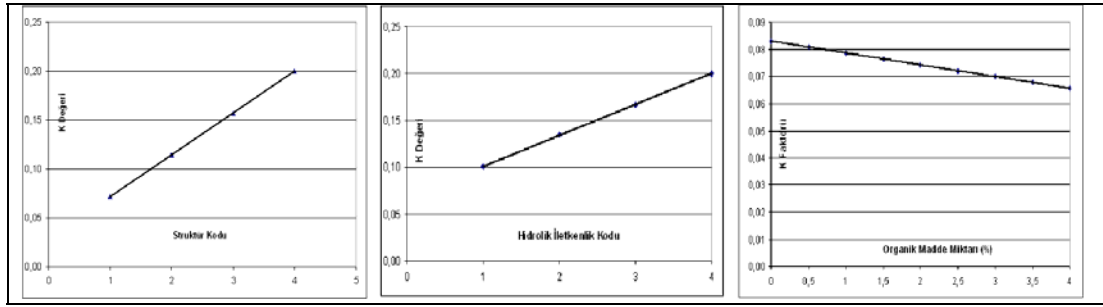
Bunlardan toprağın tekstür özelliklerini yansıtan kum, ince kum+silt ve kil oranlarına bakıldığında Hjustrom diyagramına benzeyen bir manzara görülür. Diğer faktörlerin sabit tutulup, sadece kum, kil ve ince kum+silt özellikleri incelendiğinde;



Grafik : 1, 2, 3 – Kum, silt+ince kum ve kil oranı ile USLE K değeri arasındaki ilişki

kum oranı artışına bağlı olarak USLE K değerinin düştüğü görülmektedir (Grafik 1, 2, 3). Aynı şekilde kil oranındaki artış da K değerinin düşmesine neden olmaktadır. Fakat silt+ince kum oranının artışı erozyon duyarlılığını da artırmaktadır. Buna ek olarak, K değerinin belirlenmesinde silt+ince kum oranının etkisinin çok fazla olmasıdır. Çünkü kil oranı K değerinde ancak 0,25'lik, kum oranı 0,14'lük bir değişim potansiyeline sahipken silt+ince kumda bu değer 0,6'ya erişmektedir.

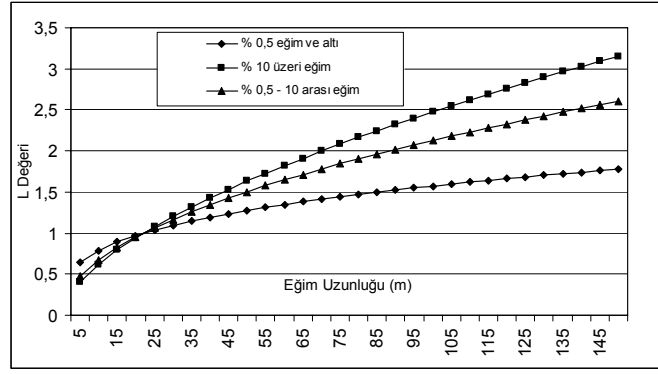
K değerinin belirlenmesinde diğer faktörlerin etkisine bakıldığında da silt+ince kum oranının etkisini geçen bir parametre ile karşılaşılmaz. Toprak strüktürü K değerinin belirlenmesinde 0,12'lik bir değer arzederken, hidrolik iletkenlikte bu değer 0,1'e düşmektedir. Organik madde miktarının etkisi ise K değerinin belirlenmesinde en azdır (Grafik 4, 5, 6).



Grafik : 4, 5, 6 – Strüktür kodu, hidrolik iletkenlik ve organik madde miktarı ile USLE K değeri arasındaki ilişki

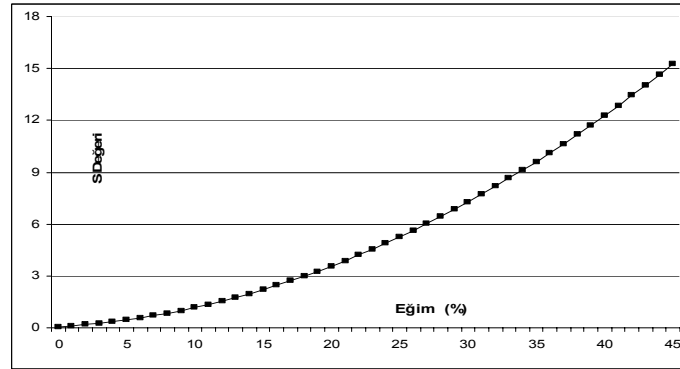
Toprakta strüktüre bağlı olarak agregat oluşumu arttığında erozyon da artmaktadır. Çünkü geçirgenlik azalmaktadır. Geçirgenlik arttıkça (Hidrolik kodla ters orantılı) erozyona duyarlılık azalmaktadır. Yine organik madde miktarının artması da erozyonu azaltmaktadır (Grafik 4, 5, 6).

USLE eşitliğindeki topografik faktör genellikle L (Eğim Uzunluğu Faktörü) ve S (Eğim Faktörü) değerlerinin çarpımıyla elde edilir. Eğim uzunluğu; akışın başladığı noktadan birikimin oluşacağı eğime kadar olan mesafe ya da akışın başladığı noktadan bir kanal veya drenaj ağına (akarsu kanalına) olan mesafe olarak tanımlanmıştır.



Grafik : 7 – Eğim , eğim uzunluğu ve L değeri arasındaki ilişki

USLE eşitliğinde eğim uzunluğu arttıkça erozyon artmaktadır. Bunun yanında eğim uzunluğunun etkisi 22 metreden sonra farklılık göstermektedir. 22 m eğim uzunluğuna kadar, eğimim artışına bağlı olarak erozyon azalmaktayken, 22 m'den sonra eğim arttıkça, eğim uzunluğunun erozyona etkisi de artmaktadır.



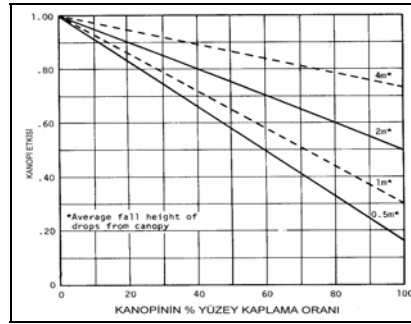
Grafik : 8 - Eğim ve S değeri arasındaki ilişki.

USLE eşitliğindeki eğim dikliği (S değeri) faktörü, araziye ait eğimin bir fonksiyonudur. Eğimin artmasına bağlı olarak bu faktörde de artışlar görülür. Fakat bu etki çizgisel bir etkiden çok üssel bir fonksiyona bağlı olarak değişmektedir (Grafik 8).

USLE eşitliğinde ürün yönetiminden (C değeri) anlatılmak istenen, arazi üzerini kaplayan bitki örtüsüdür. Bu doğal olabileceği gibi kültüre alınmış olabilir. Bu faktör, bitki kalıntıları ve amenajman yöntemlerinin toprak kaybı üzerindeki toplam etkisini açıklar. Birçok durumda bu faktör bütün bir yıl boyunca sabit kalmaz. Faktörün gerçek değeri diğer bütün faktörlere bağlıdır. Bu bakımdan C faktörü çoğu durumlar için deneysel olarak saptanmalıdır.

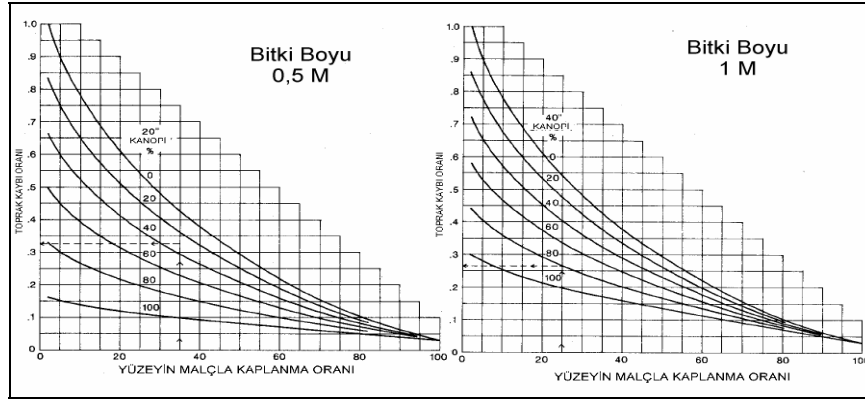
C faktöründe, devamlı işlenen nadasa bırakılmış bir tarlanın değeri 1 olarak alınmış ve diğer arazilerdeki değerin bundan daha düşük olacağı düşünülmüştür.

C değerinin belirlenmesi için, Wischmeier ve Smith (1978)'in USLE için sunduğu nomograflar kullanılmaktadır. Bu nomograflara göre bitkilerin tepe kapallılığı arttıkça, erozyon miktarı azalmaktadır (Şekil 3).



Şekil : 3 – Bitki boyu ve kanopi kapallılığı arasındaki ilişkiye bağlı olarak toprak kaybı

Bunun yanında bitki örtüsünün boyu arttıkça C değeri yani erozyon artmaktadır (Bitkilerin boyu, nomografa metre olarak yerleştirilir - Şekil 4)



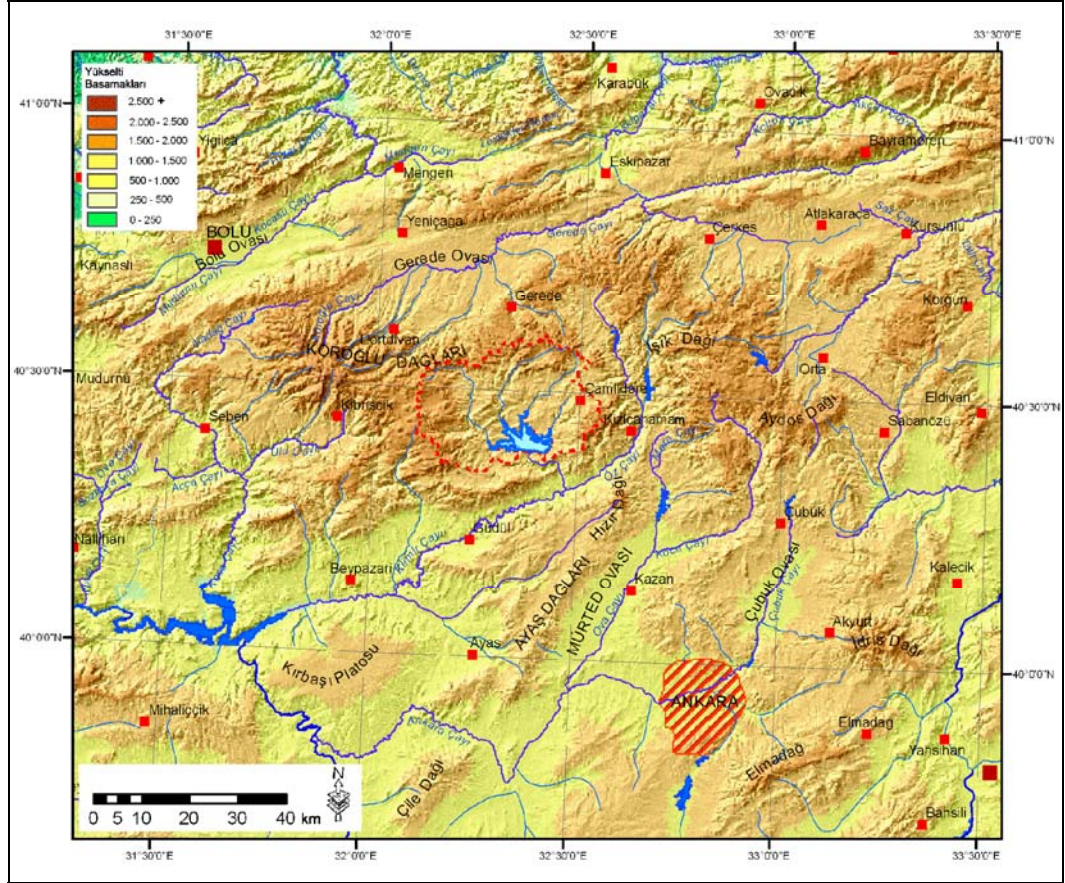
Şekil : 4 – Malç, kanopi kapallılığı ve bitki boyuna bağlı olarak toprak kayıpları

Diğer bir faktör ise arazinin malçla örtülme oranıdır. Malç, yüzeydeki ot, ot tipi bitkiler, yüzeyde çürüyen sıkışmış yüzey örtüsü ve çürümemiş bitki artıkları ile geniş yapraklı bitkiler tarafından oluşturulmuş yüzey örtüsüdür. Bu oran arttıkça erozyon miktarı düşmektedir.

2. ÇAMLIDERE BARAJI HAVZASINDA USLE MOEDELİNE GÖRE EROZYONUN DURUMU

2.1. HAVZANIN KONUMU

Çamlidere Barajı, 1976 yılında yapımına başlanan, 1985 yılında yapımı tamamlanan, Ankara şehrinin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla inşa edilen bir barajdır. Halen Ankara'nın içme suyu ihtiyacının karşılamak amacıyla kullanılan en büyük baraj niteliğindedir. Toplam su gereksinimi 400 hm^3 civarında olan Ankara'nın yıllık 150 hm^3 'lük su ihtiyacı bu barajdan sağlanmaktadır.



Harita : 1 - Çamlidere Barajı Havzasının Konumu

Baraj Ankara'nın kuzeybatısında Bayındır çayı üzerine inşa edilmiştir. Volkanik breş ve andezit temeline inşa edilen baraj seti, kaya dolgu tiptedir. Barajın toplam su hacmi 1160 hm^3 'tür. Su toplama havzası 722 km^2 'dir. Baraj gölü ise ortalama su yüzeyi yüksekliği 995 m olarak alındığında 32 km^2 'lik bir alana sahiptir. Baraj havzası genel olarak bir elipsi andırır.

Havza coğrafi olarak tamamen Karadeniz Bölgesinin, Batı Karadeniz Bölümü sınırları içerisinde yer almaktadır. Karadeniz Bölgesi'nde olmasına rağmen, havza sınırı İç Anadolu Bölgesi ile komşudur. Bu nedenle, havzanın tamamı Karadeniz Bölgesinin özelliklerini yansıtmaz. Özellikle Baraj gölü ve çevresi İç Anadolu Bölgesini andırır. Bu açıklamalardan da anlaşılacağı gibi, havza, iki bölge arasında bir geçiş kuşağı oluşturmaktadır.

Sularını Karadeniz'e boşaltan Sakarya Nehri Havzası içerisinde yer alan Çamlıdere Havzası, DSİ tarafından belirlenen bölgelerden 5. bölge 12. bölümde yer almaktadır.

Havza idari olarak Çamlıdere ve Gerede ilçeleri içerisinde yer almaktadır. Kızılcahamam batısında yer alan havzanın bitki örtüsü, Kızılcahamam'a benzemektedir. Alçalarda meşe ile başlayan bitki katlaşması en yukarıda göknar ile bitmekte, arada ise karaçam ve sarıçam ormanları ile kaplı bir manzara sunmaktadır. Havza güneyinde Kirmir Çayı vadisi ve Çeltikçi, kuzeyinde Gerede Ovası, batısında ise Köroğlu Dağları uzanmaktadır (Harita 1).

Havza sınırı, baraj setinden doğuya doğru Saçlık Tepe'ye kadar, Ak Tepe ve Dazıdağ Tepe'yi aşarak ulaşır. Buradan kuzeye yönelen sınır, Çamlıdere Yaylası'nı, Sakar, Dibektaş, Nohut, Pınar ve Ayiini Tepelerini geçerek Okluağaç Tepe'ye varır. Daha sonra batıya yönelen sınır, Dorukgöynük, Dede, Meşeli, Uzunalan, Taşlıalan, Akkuma ve Yedidedeler Tepesi'nden sonra Karatuzla Tepesi'nden sonra güneye döner. Burada, Çatalkaya, Mahye, Kirazlı, Çiçeklipınar tepelerini geçtikten sonra Kazankaya Tepesinden sonra doğuya yönelir ve Geyecek, Köçey Güneyi, Sulucaeyrek Tepe'den sonra Doğanlar Tepede son bulur.

Havzada bitki örtüsünün tahrip edilmesinden dolayı özellikle, baraj çevresinde şiddetli erozyon alanları bulunmaktadır. Bu erozyon alanları Ankara – İstanbul otoyolu boyunca gözlenmektedir.

Çamlıdere Barajı havzasında erozyonun şiddetini belirlemek amacıyla yaptığımız çalışmanın bu kısmı daha önce USLE eşitliğini anlatırken kullandığımız sistematik çerçevesinde ortaya konulacaktır. Anlatımda coğrafi faktörler erozyonu etkileme durumuna göre verilmeye verilecektir.

İKLİM ÖZELLİKLERİ VE USLE R FAKTÖRÜ

2.1.1. İklim Özellikleri

Çamlıdere Barajı Havzası, daha önce de belirtildiği gibi coğrafi olarak Karadeniz Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi arasında bir geçiş kuşağında yer alır. Bu geçiş çoğu özellikte kendini hissettirdiği gibi iklim özelliklerinde de kendini gösterir. Özellikle Karadeniz'den gelen nemli hava kütlelerinin, Köroğlu Dağlarını aşıp, İç Anadolu platolarına geçmeden önce derin vadileri ve hava kütlelerine dik uzanan sırtlarıyla bir durak noktası oluşturur.

Havzada Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne (DMİGM) bağlı 2 küçük klima istasyonu bulunmaktadır. Bunlardan Peçenek istasyonu hemen baraj gölü kuzeyinde, Peçenek Köyü yakınlarındadır. Çamlıdere istasyonu ise Çamlıdere ilçesinde yer almaktadır. Fakat bu istasyonlar 1985 ile 1996 yılları arasında çalışmış ve daha sonra kapatılmışlardır. Çamlıdere Orman İşletmesine Bağlı olan Çamkoru istasyonu da havzanın doğusunda yer alan diğer bir büyük klima istasyonudur. Ayrıca havzaya çok yakın olan, Kızılcahamam istasyonu da Çamkoru istasyonu gibi uzun yıllık veriler sağlamakta ve havzanın iklimini yansıtmakta faydalı olmaktadır ([Harita 2](#)).

Havzanın İç Anadolu Bölgesi'ne komşu olması ve denize uzaklığı Karadeniz Bölgesi'nin nemli karakterini almasını engellemiştir. Bu nedenle Erinç'in kuraklık indisine göre yarı kurak bir iklime denk gelmektedir. Havza içinde baraja yaklaşıldığında (Peçenek İst.) kuraklaşma artarken, havzanın doğusuna (Kızılcahamam İst.) ve kuzeyine gidildikçe nemlilik artmaktadır ([Tablo 2](#)). De Martonne'a göre havza yarı nemli olarak nitelendirilmektedir. Yani havza az nemli fakat kuraklığa meyilli bir saha durumundadır.

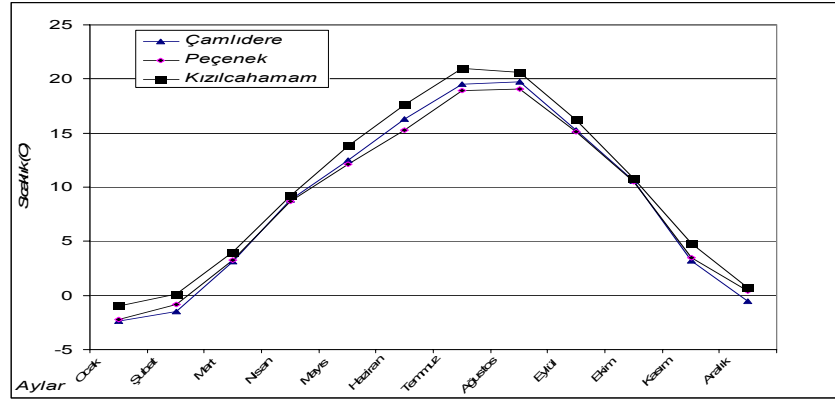


Harita : 2 - Havza çevresindeki meteoroloji istasyonları

İstasyon	Yıl. Ort. T.Yağış	Yıl. Ort. Sıcaklık	Ort. Ay. En Yük. Sıcaklık	De Martonne	Erinç
Çamlıdere	444,5	8,7	25,0	Yarı Nemli	Yarı Kurak
Peçenek	403,1	8,7	27,7	Yarı Nemli	Yarı Kurak
K.hamam	508,3	9,8	27,7	Yarı Nemli	Yarı Kurak

Tablo : 2 - İstasyonların İklim Sınıflandırması

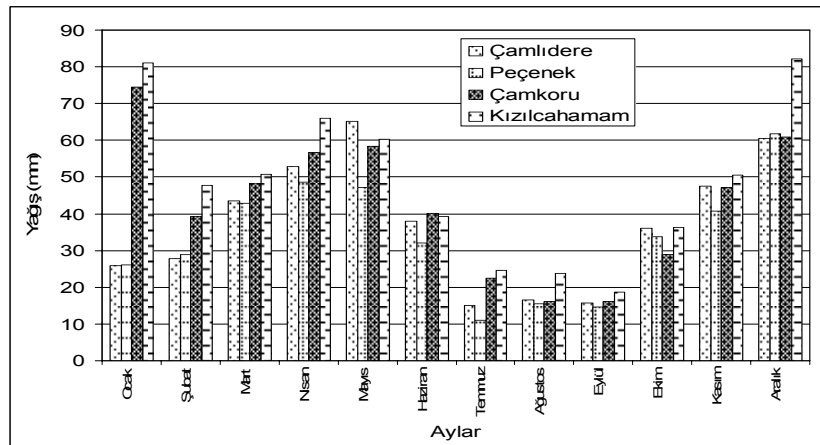
Havzada sıcaklık aylar arasında oldukça büyük farklılıklar göstermektedir. En düşük sıcaklıklar ocak ayında, en yüksek sıcaklıklar ise temmuz ve ağustos aylarında görülmektedir. Yıl içerisindeki ortalama sıcaklık genliği ise 25 °C civarındadır (Grafik 9). Sıcaklığın 0 °C'ın altına düştüğü dönem 2 - 3 ay ile sınırlıdır. Bu durum yükseltiye bağlı olarak değişmektedir. Baraj gölü çevresinde sıcaklık 0 °C 'nin altına düştüğü dönem 2 ay olurken, yükseklerle çıkıldıkça (Çamlıdere İst. – 1175 m) bu durum 3 aya çıkmaktadır.



Grafik : 9 – İstasyonlara ait aylık ortalama sıcaklıkların yıl içindeki gidişi

Yıllık ortalama sıcaklık havza içerisinde 8,7 °C civarındadır. Fakat burada istasyonların yükseltisi de önemlidir. Peçenek istasyonu 1050 metrede 8,7 °C, Çamlıdere 1175 metrede 8,7 °C yıllık ortalama sıcaklığa sahiptir. Kızılcahamam istasyonu ise 1033 metrede 9,8 °C sıcaklığa sahiptir (Tablo 2). Bunlara bakılarak havzada doğuya gidildikçe sıcaklığın yükseldiği anlaşılmaktadır. Bu da özellikle yerleşmelerin havza doğusunda yoğunlaşmasının bir nedeni olabilir.

Havzada yıllık ortalama yağış Çamkoru ve Kızılcahamam'da 508 mm, Çamlıdere'de 444 mm, Peçenek istasyonunda ise 403 mm civarındadır. Yani Baraj çevresi yarı kurak iklim bölgesi sınırındayken baraj gölünden uzaklaştıkça yağış artmaktadır. Bunda yükseltinin de etkisi vardır.



Grafik : 10 – İstasyonlara ait aylık ortalama toplam yağışın yıl içinde dağılışı

Yağışın aylara dağılışı da düzensizdir. Yağışlı dönem yıl içerisinde iki defa görülür. En yağışlı dönem Peçenek ve Çamlıdere istasyonunda nisan, mayıs aylarıdır (60 mm). Bu istasyonlarda yaz yağışlarında büyük bir düşüş görülür. Sonbaharda yükselen yağışlar, Ocak ve Şubat aylarında tekrar bir azalma dönemine girer. Çankırı ve Kızılcahamam istasyonunda ise farklı karakterde bir gidiş görülür. Bu istasyonlarda en yağışlı ay ocak ayıdır (80 mm). Sonra hızlı bir yağış azalması görülür. Ama nisan, mayıs aylarında yağış tekrar yükselir. Daha sonra ağustos, eylül aylarında en kurak dönem yaşanır (15 mm). Bu istasyonlar havza kuzeydoğusunda yer almaktadır. Buna bağlı olarak havzanın doğusu ile batısı arasında en yağışlı dönemin farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır.

Burada dikkati çeken diğer bir nokta bütün istasyonlarda yağışlı dönemin iki defa görülmesidir ki bu havzanın karasal bir karakterde olduğunu, denizel etkini az olduğunu göstermektedir.

Ayrıca havzanın sıcaklıkta olduğu gibi yağış açısından da doğusu ile batısı arasında yıllık ortalama toplam yağış açısından farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Buna göre havzanın kuzey ve doğusuna gidildikçe yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık artmaktadır.

Yağışların şiddetinde bölgede ilginç durumlarla karşılaşmakta ve düzensizlikler görülmektedir. Çiçek'in (2001a ve 2001b). yaptığı çalışmada Ankara, Bolu ve Çankırı'da yağışların % 90'ının 0,1-9,9 mm arasında gerçekleştiği belirtilmektedir. Geriye kalan yağışların çoğu ise 10-24,9 mm arasında olmaktadır. 100 mm'den fazla yağışlar ise neredeyse hiç yoktur. Bunların mevsimlere dağılışında da benzer durumlar gözlenmektedir. Bu da alanda özellikle erozyonun artmasını engelleyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.

Buharlaşıma, Kızılcahamam istasyonu verilerine göre nisan ve aralık ayları arasındaki bir dönemde görülmektedir. Temmuz ayı buharlaşmanın en

fazla olduğu aydır (209 mm). Buharlaştırmanın var olup da en az olduğu ay ise aralık ayıdır (15 mm).

Bu bilgilere göre kış ayları erozyon açısından sıcaklığın 0 °C'ın altına düşmesi ve yağışların muhtemelen kar şeklinde düşmesine bağlı olarak azalmaktadır. İlkbahar mevsimi ve sonbaharda yağışların yükselmesine bağlı olarak erozyonda da artış beklenmelidir. Fakat ilkbahar aylarındaki bu yükseliş kar erimelerine bağlı olarak artmaktayken aynı zamanda buharlaşmanın başlamasına bağlı olarak da azalacaktır. Yazın ise yağış miktarının düşüşüne bağlı olarak erozyonda da düşüş gerçekleşecek, fakat günlenme artacaktır. Bu nedenle havza açısından en fazla erozyon riski olan mevsim sonbahardır.

2.1.2. Usle R Faktörü

USLE modelinde yağışın erozyon oluşturma gücü, El_{30} olarak tanımlanan değerin hesaplanmasıyla bulunmaktadır. Yıllık erozyon oluşturma indeksi olan R_y değeri ise yıl boyunca oluşan yağışların El_{30} değerlerinin toplanmasıyla bulunur. Buna göre bir yıllık R_y değeri;

$$R_y = \sum_{i=1}^n El_{30} \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

Burada

R_y = Hesaplanan yılın toplam yağış erozyon indeksi

n = Yıl içerisindeki yağış sayısı

El_{30} = Her bir yağışın erosif gücü olarak belirtilmektedir.

Bir yağışın El_{30} değerinin hesaplanması, direkt olarak yağış diyagramlarının incelenmesiyle mümkün olmaktadır. El_{30} değeri aslında E ve I_{30} değerlerinin çarpımının 100'e bölünmesiyle elde edilmektedir.

$$El_{30} = \frac{EI_{30}}{100}$$

E değeri her bir yağışın toplam kinetik enerjisini ifade eder ve

$E = 210,1 + 89 \log_{10} I$ formülü ile hesaplanır.

Burada;

E = Birim kinetik enerji (ton-m ha⁻¹).

I = Hesapı yapılan yağış kısmı için ortalama yağış yoğunluğu (cm sa⁻¹) olarak belirtilmiştir.

Üniversal eşitlikte kullanılan iklim faktörü veya yağış faktörü olan R değeri genellikle çalışmanın yapıldığı deneme istasyonunu karakterize eder. Yani noktasal bir değerdir. Bu açıdan araştırma alanında kullanılacak olan R değerinin belirlenmesinde birçok sorun ortaya çıkmaktadır. Bunlardan ilki istasyon azlığı ve/veya istasyon yokluğudur. Çünkü her alanı karakterize edecek istasyon yoktur. Yakında bir istasyon bulunsa bile, bu istasyon verilerinin araştırma alanında kullanılması bazen uygun olmayabilir.

Bir diğer sorun alanda bulunan istasyonun gerekli verilere sahip olmamasıdır. Çünkü Türkiye’de DMİGM’ne ait istasyonların sadece Büyük Klima İstasyonlarında yağış diyagramları kullanılmaktadır ki USLE eşitliğindeki R değerinin hesaplanması için bu diyagramlara ihtiyaç vardır. Bu problemden dolayıdır ki araştırma alanında var olan 3 istasyonun R değerleri hesaplanamamıştır. Çünkü istasyonlar Küçük Klima istasyonudur ve buralarda yağış ölçülürken plüviyometre kullanılmaktadır.

Bu sayılan sorunları ortadan kaldırmak için bazı yöntemler uygulanmaktadır. Fakat onların kullanılabilmesi için de yağış tekerrür eğrilerine ihtiyaç vardır ve maalesef DMİGM tarafından yayınlanan tekerrür eğrileri sadece Büyük Klima İstasyonları için mevcuttur. Bu zorlukların ortadan kaldırılması amacıyla geliştirilen başka çözümler vardır.

Fornuier indeksi bu sorunları ortadan kaldırmak için başvurulan bir indekstir. Bu indeks akarsu havzaları için erozyon indeksi olarak geliştirilmiştir. Fornuier (1960) aylık yağışların karesinin toplam yağışa bölünmesi ve bunların toplanması sonucu elde edilen sayının akarsu havzalarında erozyon indeksi olarak kullanılmasını önermiştir. Fournier’e (1960) göre erozyon indeksi

$$F = \sum_{x:i} \frac{p^2}{P}$$

eşitliğiyle bulunur. Bu eşitlikte F değeri yıllık erozyon indeksini;

p her bir ayın yağış miktarını (mm) ; P ise yıllık yağış toplamı (mm) olarak verilmiştir.

Daha sonraları Fournier'in (1960) F değeri ile USLE denkleminde kullanılan R değeri arasında yüksek bir ilişkinin bulunduğu belirlenmiştir. Bu ilişki doğrusal bir fonksiyonla belirtilir ve aşağıdaki gibi formüle edilir (Rinos, 2005).

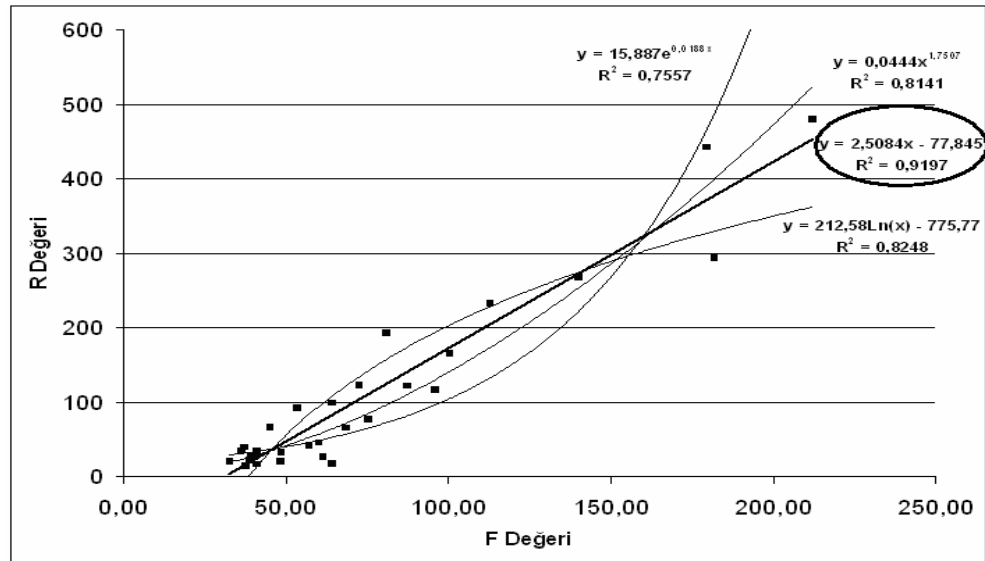
$$R = b + aF$$

Buradaki a ve b değerleri katsayıdır. Bu katsayılar her iklim bölgesi için farklıdır. Bu nedenle bu indeksin kullanılması için bu katsayıların belirlenmesi gereklidir.

Ülkemizin belirli istasyonları için R değerleri Doğan (1987,2002). tarafından hesaplanmıştır. Fakat Ülkemize ait Fournier İndeksi katsayıları belirlenememiştir. Bu amaçla Doğan'ın hesapladığı değerler kullanılarak ülkemize ait a ve b değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu işlem yapılırken Doğan'ın (1987, 2002) hesaplamalarında 12 aylık yağış diyagramlarını değerlendirdiği istasyonlar kullanılmıştır. Aynı istasyonların aylık yağış değerlerine bağlı olarak F değerleri hesaplanmış ve F değerleri ile Doğan'ın (2002) hesapladığı R değerleri arasında bir ilişki aranmıştır (Tablo 4).

Sonuç olarak bu iki değer arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğu anlaşılmış ve $r^2=0,91$ olarak hesaplanmıştır (Grafik:11). Yapılan işlem sonucunda

$$R = 2,5084F - 77,845 \text{ eşitliğine ulaşılmıştır.}$$



Grafik : 11 – F ve R değerleri arasındaki ilişki

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Yıllık
PAZARKÖY	Yağış (mm)	64,5	41,3	53,4	53,8	65,7	53,2	45,4	30,5	32,5	50,3	60,8	70,4	622
	p^2/P	6,7	2,7	4,6	4,7	6,9	4,6	3,3	1,5	1,7	4,1	5,9	8,0	55
ÇELTİKCI	Yağış (mm)	34,7	22,9	35,8	42,2	32,3	35,0	15,8	7,1	6,7	35,4	41,8	56,5	366
	p^2/P	3,3	1,4	3,5	4,9	2,8	3,3	0,7	0,1	0,1	3,4	4,8	8,7	37
CAMLIDERE	Yağış (mm)	25,8	27,8	43,6	52,8	65,1	37,9	15,1	16,5	15,8	36,0	47,6	60,5	445
	p^2/P	1,5	1,7	4,3	6,3	9,5	3,2	0,5	0,6	0,6	2,9	5,1	8,2	44
K.HAMAM	Yağış (mm)	68,1	47,8	50,7	66,0	60,3	39,3	24,7	23,8	18,6	36,3	50,5	82,2	568
	p^2/P	8,2	4,0	4,5	7,7	6,4	2,7	1,1	1,0	0,6	2,3	4,5	11,9	55
SEBEN	Yağış (mm)	48,6	36,1	37,7	48,7	50,3	30,7	14,0	20,5	13,1	34,1	43,6	59,9	437
	p^2/P	5,4	3,0	3,3	5,4	5,8	2,2	0,4	1,0	0,4	2,7	4,3	8,2	42
GEREDE	Yağış (mm)	74,4	41,4	47,6	56,5	76,3	55,4	48,8	26,0	32,7	40,7	71,9	77,2	649
	p^2/P	8,5	2,6	3,5	4,9	9,0	4,7	3,7	1,0	1,6	2,6	8,0	9,2	59
BOLU	Yağış (mm)	56,2	43,5	45,5	51,7	60,2	48,0	33,7	28,4	23,0	46,2	48,8	61,4	547
	p^2/P	5,8	3,5	3,8	4,9	6,6	4,2	2,1	1,5	1,0	3,9	4,4	6,9	48
BEYPAZARI	Yağış (mm)	47,6	33,4	33,8	48,9	42,5	29,4	14,0	14,1	12,6	28,3	37,6	54,0	396
	p^2/P	5,7	2,8	2,9	6,0	4,6	2,2	0,5	0,5	0,4	2,0	3,6	7,4	39
GÖKÇESU	Yağış (mm)	44,8	24,2	30,1	61,3	59,3	66,8	7,1	16,6	58,3	90,6	74,4	58,9	592
	p^2/P	3,4	1,0	1,5	6,3	5,9	7,5	0,1	0,5	5,7	13,9	9,3	5,9	61
PEÇENEK	Yağış (mm)	26,2	28,8	42,8	48,7	47,1	32,1	11,1	15,5	14,7	33,7	40,7	61,7	403
	p^2/P	1,7	2,1	4,5	5,9	5,5	2,6	0,3	0,6	0,5	2,8	4,1	9,4	40
GUDEM	Yağış (mm)	30,1	29,1	42,1	46,5	45,2	57,8	19,8	20,4	13,5	31,2	36,3	67,5	440
	p^2/P	2,1	1,9	4,0	4,9	4,6	7,6	0,9	0,9	0,4	2,2	3,0	10,4	43
CAMKÖRÜ	Yağış (mm)	74,5	39,2	48,1	56,7	58,3	40,1	22,5	16,2	16,1	28,8	47,2	61,0	509
	p^2/P	10,9	3,0	4,6	6,3	6,7	3,2	1,0	0,5	0,5	1,6	4,4	7,3	50,0

Tablo : 3 – İstasyonlara ait F değerleri

Bu eşitliğe bağlı olarak Çamlıdere Barajı Havzasında bulunan 3 istasyonla birlikte çevredeki istasyonlar da (Harita 2) kullanılarak havza için F değerleri daha sonra da R değerleri hesaplanmıştır. (Tablo 3, 5)

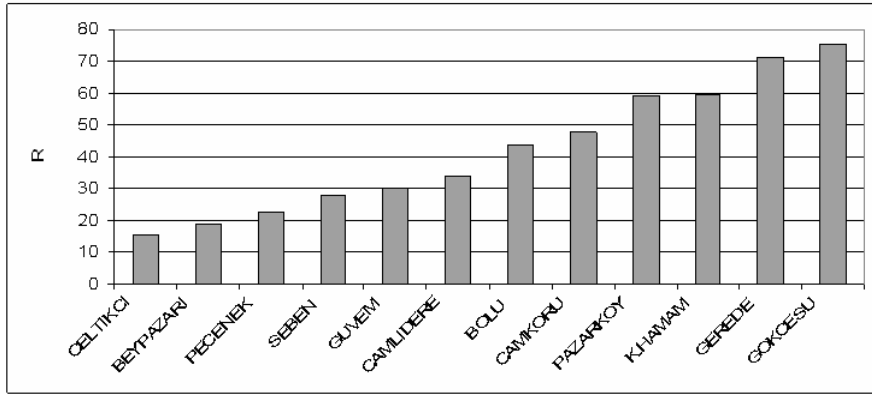
İstasyon Adı	Çeltikçi	Beypazarı	Peçenek	Seben	Güvem	Çamlıdere
R Değeri	15,3	18,8	22,6	27,5	30	33,7
İstasyon Adı	Bolu	Çamkörü	Pazarköy	Kızılcıhamam	Gerede	Gökçesu
R Değeri	43,7	47,5	59,3	59,8	71	75,4

Tablo : 5 – İstasyonlara ait R Değerleri

Bu sonuçlara göre araştırma alanı ve çevresinde R değerlerinin en düşük olduğu istasyon, 15,3 ile havza güneyindeki Çeltikçi, en yüksek değer ise 75,6 ile Gökçesudur. Havza içerisindeki istasyonlarda ise; Çamkörü 47,5, Çamlıdere 33,7 ve Peçenek ise 22,6 R değeriyle ortalarda yer almaktadır.

Aylar	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		Yıllık		
İstasyonlar	p	p2/P	p	p2/P	p	p2/P	p	p2/P	p	p2/P	p	p2/P	p	p2/P	p	p2/P	p	p2/P	p	p2/P	p	p2/P	p	p2/P	P	Toplam p2/P R (Doğan)	
BURSA	85,4	10,5	74,6	8,0	68,4	6,8	62,5	5,6	49,9	3,6	31,7	1,4	24,3	0,9	18,4	0,5	37,7	2,1	61,4	5,4	79,1	9,0	99,7	14,3	693,1	68,2	66,6
KONYA	37,2	4,3	29,2	2,6	29,2	2,6	32,4	3,3	43,9	6,0	24,4	1,8	7,0	0,2	5,0	0,1	10,6	0,3	29,6	2,7	31,9	3,2	41,8	5,4	322,2	32,6	22,4
ERZİNCAN	27,2	2,0	31,2	2,6	39,7	4,2	51,3	7,1	53,0	7,6	31,3	2,6	10,8	0,3	6,4	0,1	14,2	0,5	40,8	4,5	35,5	3,4	30,2	2,5	371,6	37,4	15,2
VAN	36,7	3,3	32,5	2,8	44,8	5,2	55,4	8,0	45,4	5,4	18,0	0,8	5,3	0,1	3,3	0,0	13,1	0,4	45,3	5,4	47,7	5,9	37,0	3,6	383,5	40,9	17,6
KAYSERİ	33,6	3,0	35,0	3,2	38,9	4,0	53,3	7,5	52,3	7,2	38,7	4,0	8,9	0,2	6,6	0,1	13,0	0,4	25,8	1,8	32,9	2,9	38,6	3,9	377,6	38,3	22,4
KIRŞEHİR	47,3	5,9	37,1	3,6	39,8	4,2	43,3	4,9	45,9	5,6	32,5	2,8	6,0	0,1	4,8	0,1	10,5	0,3	25,1	1,7	36,5	3,5	50,4	6,7	379,2	39,3	27,7
ESKİŞEHİR	39,3	4,1	34,6	3,2	37,0	3,7	39,0	4,1	45,6	5,6	35,6	3,4	14,0	0,5	7,7	0,2	16,3	0,7	26,0	1,8	31,2	2,6	47,9	6,1	374,2	35,9	36,1
AFYON	43,6	4,4	39,8	3,6	46,1	4,9	46,8	5,0	54,6	6,8	37,9	3,3	23,1	1,2	11,9	0,3	16,8	0,6	31,9	2,3	34,7	2,8	48,3	5,4	435,5	40,7	35,2
ANKARA	39,0	3,9	35,5	3,2	36,8	3,5	43,9	5,0	52,0	6,9	34,2	3,0	15,1	0,6	11,3	0,3	17,3	0,8	26,0	1,7	32,1	2,6	45,9	5,4	389,1	37,0	40,7
ELAZIĞ	41,4	4,2	42,6	4,4	55,6	7,5	65,2	10,3	52,8	6,8	11,8	0,3	2,1	0,0	1,0	0,0	6,9	0,1	38,3	3,6	48,8	5,8	46,5	5,2	413,0	48,1	21,7
SİVAS	0,5	0,0	39,2	3,6	43,7	4,5	58,1	8,0	59,6	8,4	33,1	2,6	8,5	0,2	5,8	0,1	17,0	0,7	32,5	2,5	39,8	3,7	45,2	4,8	424,0	39,0	26,3
ÇORUM	37,9	3,4	29,7	2,1	36,8	3,2	48,2	5,5	62,1	9,1	50,3	6,0	20,0	0,9	13,8	0,5	19,1	0,9	26,7	1,7	33,6	2,7	44,8	4,7	423,0	40,6	29,1
KASTAMONU	29,2	1,8	25,9	1,4	32,7	2,3	51,9	5,8	73,6	11,6	65,1	9,1	31,6	2,1	30,0	1,9	27,4	1,6	35,2	2,7	29,6	1,9	33,2	2,4	465,4	44,7	67,4
DIYARBAKIR	71,0	10,5	66,5	9,2	67,4	9,4	69,2	9,9	41,7	3,6	6,8	0,1	0,7	0,0	0,5	0,0	2,8	0,0	29,9	1,9	53,6	6,0	72,0	10,8	482,1	61,3	27,3
UŞAK	70,8	9,3	64,2	7,7	60,5	6,8	49,0	4,5	48,1	4,3	23,8	1,1	15,8	0,5	9,9	0,2	16,2	0,5	36,9	2,5	59,4	6,5	84,1	13,1	538,7	56,9	43,0
BOLU	57,3	6,1	48,1	4,3	47,5	4,2	50,6	4,7	58,6	6,4	52,0	5,0	29,4	1,6	22,8	1,0	27,1	1,4	39,3	2,9	48,0	4,3	59,4	6,5	540,1	48,2	34,6
İSPARTA	78,0	10,9	68,5	8,4	60,2	6,5	53,0	5,0	54,6	5,3	31,9	1,8	13,2	0,3	11,4	0,2	15,4	0,4	34,9	2,2	45,9	3,8	91,7	15,1	558,7	59,9	46,8
EDİRNE	57,7	5,7	48,7	4,0	49,3	4,1	49,1	4,1	50,2	4,3	46,6	3,7	30,9	1,6	24,4	1,0	34,0	2,0	52,9	4,8	73,4	9,1	71,8	8,8	589,0	53,1	92,9
MERSİN	116,1	22,6	86,7	12,6	53,8	4,9	35,8	2,2	22,2	0,8	8,6	0,1	8,0	0,1	4,5	0,0	7,4	0,1	39,0	2,6	78,6	10,4	134,8	30,5	595,5	86,9	122,6
İZMİR	129,1	24,2	98,0	13,9	76,0	8,4	44,5	2,9	31,3	1,4	7,9	0,1	2,1	0,0	2,7	0,0	11,8	0,2	38,1	2,1	95,6	13,3	152,5	33,7	689,6	100,2	166,6
ARTVİN	89,5	11,7	74,6	8,1	57,5	4,8	52,6	4,0	51,6	3,9	49,1	3,5	28,9	1,2	28,5	1,2	35,5	1,8	59,3	5,1	71,5	7,5	87,5	11,2	686,1	64,0	18,8
ADANA	109,4	18,4	88,6	12,1	65,4	6,6	53,0	4,3	46,6	3,3	20,3	0,6	6,3	0,1	5,6	0,0	15,4	0,4	43,0	2,8	73,3	8,3	123,8	23,6	650,7	80,4	194,0
SAMSUN	69,5	6,8	59,7	5,0	64,3	5,8	57,7	4,7	47,7	3,2	44,6	2,8	33,1	1,5	32,9	1,5	54,6	4,2	79,6	8,9	84,7	10,1	80,4	9,1	708,8	63,8	99,5
MANİSA	121,5	20,2	104,4	14,9	80,0	8,8	57,1	4,5	40,0	2,2	13,2	0,2	6,5	0,1	4,5	0,0	16,4	0,4	47,1	3,0	92,8	11,8	146,5	29,4	730,0	95,5	118,4
TRABZON	82,9	8,4	65,7	5,3	58,2	4,1	54,9	3,7	51,8	3,3	51,6	3,3	35,7	1,6	45,7	2,6	75,7	7,0	112,6	15,5	99,0	12,0	83,5	8,5	817,3	75,2	78,5
KOCAELİ	88,7	10,0	71,0	6,4	71,4	6,5	51,2	3,3	45,7	2,6	51,4	3,3	40,7	2,1	41,1	2,1	58,8	4,4	80,4	8,2	81,0	8,3	108,5	14,9	789,9	72,1	124,1
ANTALYA	232,8	50,4	158,6	23,4	97,2	8,8	48,5	2,2	30,4	0,9	9,2	0,1	1,9	0,0	2,5	0,0	11,7	0,1	66,6	4,1	140,7	18,4	275,7	70,7	1075,8	179,0	443,4
ANTAKYA	195,3	33,5	171,6	25,9	144,1	18,2	105,8	9,8	83,2	6,1	22,5	0,4	7,8	0,1	8,3	0,1	31,5	0,9	82,9	6,0	102,0	9,1	182,8	29,4	1137,8	139,6	268,5
ZONGULDAK	137,7	15,5	97,4	7,7	95,7	7,5	67,6	3,7	54,2	2,4	72,0	4,2	71,3	4,1	88,6	6,4	100,1	8,2	145,8	17,4	144,9	17,1	149,9	18,3	1225,2	112,6	234,6
MUĞLA	243,3	49,2	179,2	26,7	125,1	13,0	67,0	3,7	47,6	1,9	20,3	0,3	7,2	0,0	9,2	0,1	15,8	0,2	64,9	3,5	140,2	16,3	282,5	66,4	1202,3	181,5	295,1
RİZE	230,3	23,1	191,4	15,9	162,9	11,5	97,6	4,1	98,0	4,2	133,1	7,7	144,8	9,1	193,5	16,3	249,3	27,0	286,8	36,8	261,5	29,7	251,4	27,5	2300,6	211,9	481,4

Tablo : 4 – Doğan'a (2002) göre R değerleri ve hesaplanan F değerleri



Grafik : 12 – İstasyonlara ait yıllık R değerleri

Çamlıdere Barajı havzası çevresinde istasyonların R değerleri genel olarak kuzeye doğru artmaktadır. Bunda Karadeniz'in büyük etkisi vardır. Çünkü yağış değerleri de aynı özelliği taşımaktadır (Grafik 12).

Elde edilen R değerleri direkt olarak kullanılmamıştır. R değerinin alana yayılması için Toy ve Foster, (1998) tarafından kullanılan yöntem benimsenmiştir (Harita 3). Bu yöntem

$$R_y = R_b * \left[\frac{P_y}{P_b} \right]^{1.75} \quad \text{eşitliği ile gösterilmektedir ve}$$

R_y = Değeri bilinmeyen nokta için hesaplanan R değeri

R_b = Değeri bilinen referans istasyonun R değeri

P_y = Değeri bilinmeyen noktanın ortalama yıllık yağışı (mm).

P_b = Değeri bilinen referans istasyonun ortalama yıllık yağışı (mm)'ni ifade etmektedir.

Yukarıda da görüldüğü gibi R değerinin alana yayılması için yıllık ortalama toplam yağış haritasına ihtiyaç vardır. Bu nedenle yağış haritası oluşturulmuştur. Toy ve Foster (1998) yağışın her 305 metrede yağışın 54-76 mm gibi bir artış değerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Bilindiği gibi yağışı birçok faktör etkilemektedir. Bu nedenle yağışı etkileyen bakı, yükselti, denize yakınlık, enlem vb. birçok faktörün, bu alana yayma işlemi esnasında hesaba katılması gerekir. Oysa bu faktörlerin yağışı

nasıl etkiledikleri ile ilgili, en azından ülkemiz için, belli bir model yoktur. Bu nedenle Erinç (1996) ve Ardel vd. (1969)'nin önerdiği eşitlik kullanılarak yağış haritası elde edilmiştir (Harita 4).

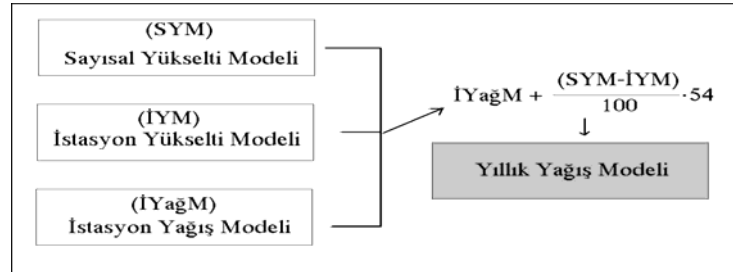
Bu eşitlik Schreiber Eşitliği olarak bilinir ve hem aylık hem de yıllık yağış hesabı için iki farklı hesap sunmaktadır (Ardel vd.,1969; Erinç, 1996).

Yıllık denkleme göre

$$Ph = Po + 54h \text{ olarak hesaplanır.}$$

Bu denklemde Ph belirli nokta için tahmin edilen yıllık yağış miktarı (mm), Po yıllık yağış miktarı bilinen noktanın yağış değeri (mm), h ise hektometre cinsinden yükselti farkıdır ve yağışı tahmin edilmek istenen noktanın yükseltisinden, yağış değeri bilinen istasyonun yükseltisi çıkarılarak elde edilir. Bu eşitliğe göre her 100 metre yükseğe çıkıldıkça yıllık toplam yağış 54 mm artmaktadır.

Bu bilgilere bağlı olarak yağış haritasının oluşturulmasında aşağıdaki metot benimsenmiştir.



Şekil : 5 – Yağış Modeli Akış Şeması

Yağış haritaları oluşturulurken bu çalışmada kullanılan modelin aşamaları aşağıdaki gibidir.

- İlk olarak alana ait **Sayısal Yükselti Modeli** elde edilir.
- Daha sonra yağış istasyonlarının yükseltilerine bağlı olarak yeni bir **İstasyon Yükselti Modeli** oluşturulur.
- İstasyonun yıllık yağış değerine göre yeni bir **İstasyon Yağış Modeli** oluşturulur ki bu yükselti hesaba katılmadan yapılan ve bazen çok kişi tarafından kullanılan bir yağış haritasıdır.

d) Son işlem formülünün uygulanmasıdır. Bu yapılırken Sayısal Yükselti modelinden İstasyon Yükselti Modeli çıkarılır. Bulunan değer 100'e bölünür. Elde edilen sonuç 54 (eğer yıllık ise 54, aylık ise 4,5) ile çarpılır. Sonra İstasyon Yağış Modeliyle toplanır.

2.2. ZEMİN ÖZELLİKLERİ VE USLE K FAKTÖRÜ

2.2.1. Jeolojik Yapı

Çamlıdere Barajı Havzası Köroğlu Volkanik kütlesinin Ankara çevresindeki gölsel tortullar ile iç içe bulunduğu bir alandır. Havza genel olarak volkanik, volkanik-gölsel, gölsel ve karasal akarsu çökellerinden oluşmaktadır. En yaşlı birim Alt-Orta Miyosen gölse ve volkanik serilerinden oluşur. Volkanik birimler alanda en geniş yayılıma sahiptir ([Harita 5](#)).

Alt-Orta Miyosen, havzada bir geçiş teşkil edecek şekilde yayılmaktadır. Bir kısmı kireçtaşı ve kilitaşlarından, bir kısmı kilitaş ile volkanik materyal ara katkılı, bir kısmı da volkanik tuf, dasit ve andezit ağırlıklı diğer volkanik malzemelerden oluşur.

Karasal ortamda oluşmuş olan konglomera, kumtaşı, kilitaş ve jipsten oluşan ilk kısım transgresif bir seriyi andıracak şekilde alttan üste doğru dizilim gösterir. Genellikle gri, yeşil, boz, sarı ve sarımsı beyaz renkte görülürler ([Altun vd, 2002](#)). Bunlar göl tabanında oluşan tortullardır.

Özellikle bu alandaki transgresif serinin daha önce var olan gölün alanını genişlettiğini gösterirken, bu tortullar içinde jipsin bulunuşu akla gölün kurak devreler geçirdiğine işaret etmektedir. Bu birim havzada sadece göl çevresinde görülmektedir.



Foto : 7,8 – Göl Tabanında çökelmiş killi tortullar

Muhtemelen bu çökelmeler oluşuktan sonra bu alanda volkanizma başlamış ve gölsel tortullarla volkanik malzemelerden oluşan diğer geçiş birimi oluşmuştur.

Volkanik ara katkılı tortullardan oluşan geçiş birimi kumtaşı, kilitaşı, şeyl tuf ve kireçtaşılarından oluşmaktadır (Foto 9, 10). Beyaz, gri renkte, orta-kalın tabakalı çörtlü kireçtaşı, beyaz, sarı renkli, orta tabaklı kumtaşı, gri, yeşil renkli ince tabakalı yer yer kartonumsu seviyeler içeren kilitaşları ile tufiler içerir (Bilginer vd, 2002). Bölgede göl çökeli mi devam ederken etkinliğini sürdüren volkanizma ürünleri tüflitler şeklinde çökeli me katılmıştır (Yurdakul vd., 1998).



Foto : 9, 10 – Volkanik ara katkılı göl tortulları

Genellikle baraj gölünün doğusunda, Elmalı ve Kavutçu Köyleri civarı ile Ovacık Krateri tabanında yayılım göstermektedir.

Bu tortullar üzerinde erozyon çok şiddetlidir. Tortullar içindeki tüflerin yüzeye çıktığı bazı yerlerde peri bacasına benzeyen şekiller oluşmuştur (Foto 9, 10).

Geçiş kısmının son üyesi dasit ve riyolit türde lav, tuf ve aglomeradan oluşur. Lavlar beyaz, gri, pembe renkli, akma yapılı, yer yer blok gibi görülür. Lavların andezit, dasit olanları porfirik dokuda, riyolitler ise camsı akma yapısı gösterirler. Yer yer volkanizmadan çıkan ürün yakınlarında göllerle temas ederek ani soğumaya bağlı olarak oluşan perlitler de bu birim içerisinde.

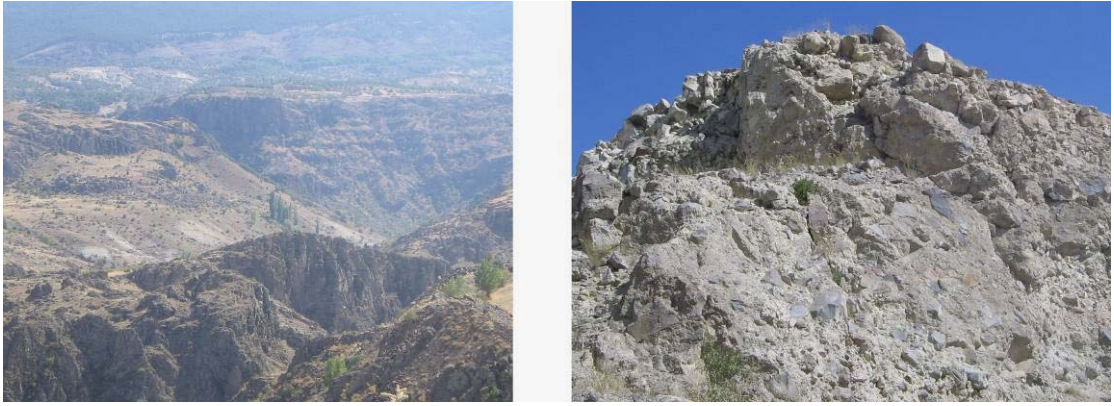


Foto : - 11, 12 – Havzadaki Volkanik kayaçlar

Volkanik birimler havzada oldukça geniş bir yayılım gösterir. Özellikle dasitin yoğun olduğu yerler Alakoç ve Örenköy batısındaiken, andezit ve piroklastik materyalin yayılımı çok geniştir.



Foto : 13 – Yaylalar Krateri

Bölgede volkanizma merkezi erüpsiyon şeklinde gerçekleşmiştir. Özellikle Çamkoru'nun 10 km batısında çapı 2500 metreye varan krater (Bu çalışmada bu krater Ovacık Krater olarak adlandırılacaktır – Foto 14) ile Mahye Tepesi kuzeyinde yer alan, çapı 3000 metreye varan, (Bu çalışmada

bu krater Yaylalar Krateri olarak adlandırılacaktır – Foto 13) krater bu merkezi erüpsiyonun kanıtıdır (Sür, 1994).



Foto : 14 – Ovacık Krateri

Örencik formasyonu olarak adlandırılan birim ise Bilginer vd. (2002) tarafından bölgenin alüvyondan sonra en genç karasal tortulları olarak nitelendirilmektedir. Kırmızı, sarımsı kırmızı, kahve renkli konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ardalanması ile temsil edilir. Konglomeralar, aşınmalı tabanlı, kötü boylanmalı olup çakılları yuvarlak-az yuvarlaktır. Üste doğru kumtaşlarına ve çamurtaşlarına derecelenme gösterir. Kumtaşlarında sarımsı kırmızı renk hâkim olup, ince-orta-kaba tanelidir. Bu birimin ortalama kalınlığı 50–100 metre civarındadır. Akarsu ve gölssel ortamda oluşmuştur (Altun vd., 2002).

Pliyosen tortulları volkanizmaya bağlı olarak gölün parçalanması ve farklı alanlarda varlığını korumasıyla oluşmuştur. Bu nedenle sadece Çamlıdere batısında ve Osmansin Köyü civarında yayılım göstermektedir.

Kuaterner alüvyonları, havzada akarsuların vadi tabanlarında görülmektedir. Özellikle vadilerin baraja yaklaştıkça tabanlarının genişlemesiyle ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında Yaylalar Krateri tabanında

da çevreden gelen akarsular tarafından oluşturulmuş geniş bir alüvyal alan bulunmaktadır. Diğer alanlarda oldukça az yayılım gösterir.

Havzadaki faylar genellikle KD-GB yönlü olarak uzanmaktadır. Baraj setinin bulunduğu yarma vadinin oluşmasında da bu fayların etkisinin olduğu düşünülebilir. Yürür vd (2002) bu fayların yaşını volkanizmayla eşzamanlı olarak vermektedirler.

Havzadaki volkanik birimlerin erozyona duyarlılıkları oldukça farklıdır. Bayramin vd (2003)'nin havza güneyinde ICONA metoduna göre yaptıkları çalışmada bu alandaki kayaçları erozyon duyarlılığına göre sınıflandırmışlardır.

Eroz.Duy.*	Eroz.Duy.	Jeolojik Birimler	Alan (km ²).	%
1	1	A-O Miy .- Andezit, Dazit, Piroklastik Mat.	554	77
3	2	A-O Miy .- Çakıtaşı, Kumtaşı, Kumtaşı	100	14
3	3	Pli. - Konglomera, Kumtaşı, Kilitaşı	22	3
3	4	A-O Miy .- Kireçta, Kumta., Konglome, Çört, Kilt.	29	4
5	5	K - Alüvyon	12	2

Tablo : 6 – Jeolojik Birimler

*Bayramin vd (2003)'e göre erozyon duyarlılığı

Buna göre havzadaki jeolojik birimlerin %77'si erozyona karşı dirençli, % 23'ü ise erozyona eğilimli alanları oluşturmaktadır.

2.2.2. Toprak Özellikleri

Havzada toprak çeşitliliği oldukça azdır. Bunun nedeni anakaya özelliklerine bağlıdır. Çünkü havzanın nerdeyse tamamı volkanik ve volkanik ara katkılı formasyonlardan oluşmaktadır. Bu nedenledir ki havzada 3 farklı toprak türü görülmektedir (Harita 6).

Bu toprak gruplarından ilki, kireçsiz kahverengi orman toprağıdır. Bu toprak grubu, 722 km²'lik alanın 620 km²'sini kaplamakta ve tüm havzanın % 86'sını oluşturmaktadır. Yarı nemli iklim koşulları altında gelişmiş olan bu toprak grubu jeolojik olarak volkanik birimler üzerinde gelişmiştir. Bazı

alanlarda baraj gölüne kadar sokulur ve göl tortulları üzerinde de yayılım gösterir.

Çamlıdere Baraj Gölü Havzasında kireçsiz kahverengi orman topraklar en derin topraklar olarak karşımıza çıkmaktadır. Genellikle 50 cm ile 1 m arasında bir derinliğe sahiptir (Foto 16). Ama bazı yerlerde daha derinliği birkaç metreye kadar inebilmektedir. Bu toprak birçok yerde çok taşlı bir profile sahiptir (Foto 15).



Foto : 15, 16 – Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları

Kahverengi topraklar havzanın % 13'ünü oluşturmaktadır. Yarı kurak karakterdeki, baraj gölü çevresinde görülür. Genellikle, göl tortulları ile volkanik ara katkılı tortullar üzerinde oluşmuşlardır. Bu nedenle kireç oranı yüksektir. Bu toprak grubu, Elmalı ve Kavutçu Köyleri doğusunda, Yaylalar Krateri çevresinde ve Özmuş Köyü ile İnceöz Yaylası arasında uzanır.

Bu topraklar çok sıgıdır. Özellikle Özmuş Köyü civarında derinlik çok azdır. Bu alanda topografyanın eğimli olması toprakların derinleşmesini engellemiştir (Foto 17). Fakat bu topraklar havza genelinde de sıg bir karakterdedir (Foto 18).



Foto : 17, 18 – Kahverengi Orman Toprakları

Havzada en az alan kaplayan alüvyal topraklar, genellikle vadilerin taban kazandığı yerlerde görülürler. Alüvyal topraklara Alakoç deresinin, Örenköy, Alakoç, Avşarlar ve Tutak Köyleri civarında, Çamlıdere ilçesi doğusunda, Sarıkaya Köyü doğusunda, Derecik Çayının belli bölümlerinde ve Yaylalar Krateri tabanında rastlanır.

Havzadaki toprakların erozyona duyarlılık dereceleri çok farklı özellikler göstermektedir. Doğan vd (2000)'nin ülkemiz topraklarının erozyona duyarlılıklarını ölçtükleri çalışmada, Ankara'da kahverengi orman topraklarının USLE K değerinin, 0,14 ile 0,25 arasında değiştiği, kireçsiz kahverengi topraklarda bu değer 0,07 ile 0,23 arasında bir farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Büyük Toprak Grupları	%	Alan (km ²).
Alüvyal Topraklar	1	8
Kahverengi Orman Toprakları	13	94
Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklar	86	620
Toplam	100	722

Tablo : 7 – Havzadaki Toprakların Alanları

Alüvyal toprakların K değerleri ise 0,1 ile 0,26 arasında değişmektedir.

2.2.3. Usle K Faktörü

USLE eşitliğindeki K değerinin belirlenmesi farklı yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Bunların en bilineni ülkemiz için Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün (KHGM) her araştırma bölgesindeki büyük toprak grupları için belirledikleri ortalama K değerlerini kullanmaktır. Bu yöntem birçok araştırma da karşımıza çıkmaktadır.

Bunun yanında Erpul ve Erdoğan (2005) tarafından önerilen yöntem de diğer bir seçenektir. Buna göre KHGM'nün oluşturduğu haritalardaki toprak özelliklerine göre (organik madde miktarı, geçirgenlik, toprak yapısı, strüktür) K değeri hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada, Çamlıdere Barajı Havzasında K faktörünün belirlenmesi amacıyla, belirlenen 32 noktadan toprak örnekleri alınmıştır. Örnekler yüzeydeki örtü tabakası kaldırıldıktan sonra 10–25 cm derinlikten alınmış ve konumları GPS ile belirlenmiştir. Örneklerin alınmasında alanın geniş olması, ormanlık saha olması ve yolların uygun olmaması gibi zorluklarla karşılaşmış, bu nedenle numunelerin mümkün olan en uygun yerlerden alınmasına dikkat edilmiştir.

Alınan örneklerin organik madde, strüktür ve hidrolik iletkenlik analizleri A.Ü. Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü laboratuvarında yapılmıştır.¹

Toprakların strüktür sınıfları araziden alınan örneklerle göre belirlenmiş, daha sonra strüktür sınıfları için USLE eşitliğinde kullanılan strüktür kodları belirlenmiştir. Bu sınıflar ve strüktür kodları aşağıda belirtilmiştir (Tablo 8).

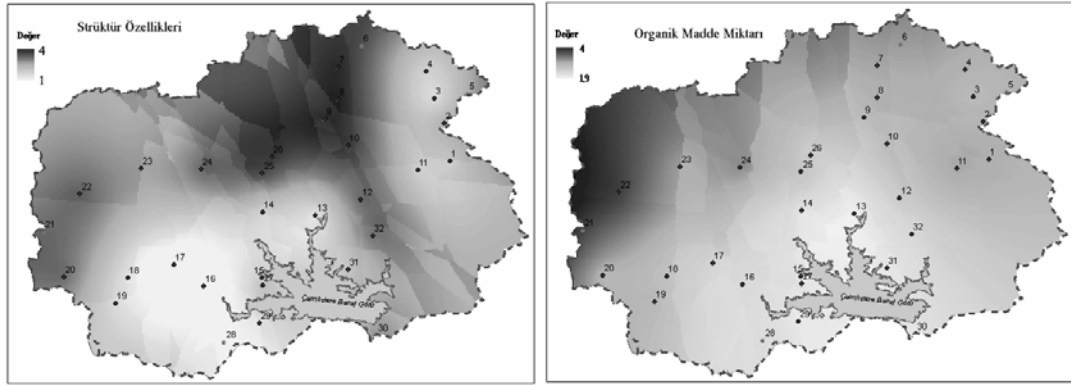
<i>Numune No</i>	<i>Strüktür Tipi</i>	<i>USLE Strüktür Kodu</i>
1	1. Zayıf, küçük granüler strüktür (1-2 mm).	2
2	2. Orta, küçük yarı köşeli blok strüktür	4
3	3. Zayıf, çok küçük granüler (< 1mm).	1
4	4. Zayıf, küçük granüler strüktür (1-2 mm).	2
5	5. Orta, orta kaba yarı köşeli blok strüktür (2-5mm).	4
6	6. Orta, orta kaba yarı köşeli blok strüktür	4
7	7. Kuvvetli, orta kaba yarı köşeli blok strüktür	4
8	8. Zayıf, çok küçük yarı köşeli blok strüktür	4
9	9. Zayıf, çok küçük yarı köşeli blok strüktür	4
10	10. Orta, orta kaba yarı köşeli blok strüktür	4
11	11. Zayıf, küçük granüler strüktür	2
12	12. Zayıf küçük yarı köşeli blok strüktür	4
13	13. Zayıf, çok küçük granüler strüktür	1
14	14. Zayıf, küçük granüler strüktür	2
15	15. Zayıf, küçük granüler strüktür	2
16	16. Zayıf, çok küçük granüler strüktür	1
17	17. Çok zayıf, çok küçük granüler strüktür	1
18	18. Zayıf, küçük granüler strüktür	2
19	19. Zayıf, küçük granüler strüktür	2
20	20. Orta, orta kaba yarı köşeli blok strüktür	4
21	21. Orta, küçük yarı köşeli blok strüktür	4
22	22. Orta, küçük yarı köşeli blok strüktür	4
23	23. Orta, orta kaba granüler strüktür	3
24	24. Orta, küçük yarı köşeli blok strüktür	4

¹ Analizler A.Ü. Ziraat Fak. Toprak Bölümü'nden Tülay TUNÇAY tarafından yapılmıştır.

25	25. Orta, küçük yarı köşeli blok strüktür	4
26	26. Zayıf, çok küçük yarı köşeli blok strüktür	4
27	27. Orta, küçük yarı köşeli blok strüktür	4
28	28. Zayıf, küçük granüler strüktür	2
29	29. Zayıf, küçük granüler strüktür	2
30	30. Orta, küçük yarı köşeli blok strüktür	4
31	31. Zayıf, küçük granüler strüktür	2
32	32. Orta, küçük yarı köşeli blok strüktür	4

Tablo : 8 - Toprak örneklerinin strüktür özellikleri

Toprakta strüktür tanımlaması yapılırken; dayanıklılık, sınıf (büyüklük). ve tip sıralaması takip edilmiştir. Dayanıklılık, strüktürün agregasyon derecesidir. Sınıf, büyüklük agregatların çapına göre tanımlanır. Her strüktür tipinin kendine özgü büyüklük sınıfları vardır. Çok küçük, küçük, orta kaba, kaba, çok kaba olmak üzere beş büyüklük sınıfı içerir.



Harita : 7 – 8 – Havzadaki toprakların strüktür özellikleri ve organik madde miktarları

Havzadaki toprakların strüktür sınıflarına göre erozyona duyarlılıkları genellikle güneyden kuzeye doğru artmakta ve Ovacık Krateri batısı erozyon riskinin olduğu alan olarak ortaya çıkmaktadır (Harita 7).

Örneklerin organik madde oranları belirlenirken Walkley - Black yöntemi kullanılmıştır. Organik madde yaklaşık olarak % 58 oranında organik karbon içermektedir. Bu yöntemde organik karbon miktarı hesaplanarak organik maddeye geçilmektedir. Yöntemin esası organik maddenin potasyum bikromat ile oksitlendirilmesi ve oksitlenmeden arta kalan potasyum bikromatın demir (II) amonyum sülfat çözeltisi ile titre edilmesine dayanır.

Buna göre toprakların organik madde miktarları ve USLE eşitliğinde kullanılan organik madde oranları aşağıda verilmiştir (Tablo 9). Havzadaki toprakların organik madde miktarları genellikle kuzeye ve özellikle kuzeybatıya gidildikçe artmaktadır. Buna bağlı olarak kuzeybatıdaki toprakların da erozyona direnci artmaktadır (Harita 8).

<i>Numune No</i>	<i>X UTM Koordinatı</i>	<i>Y UTM Koordinatı</i>	<i>Organik Madde Oranı (%)</i>	<i>USLE Oranı %</i>
1	456710	4483578	3,1	3,1
2	456239	4486538	2,9	2,9
3	455481	4488494	2	2
4	454833	4490630	2,9	2,9
5	458131	4488900	2,7	2,7
6	449775	4492634	4,2	4
7	447951	4490956	2,6	2,6
8	447952	4488417	2,8	2,8
9	446910	4486869	2,7	2,7
10	448687	4484847	2,6	2,6
11	454168	4482870	3,5	3,5
12	449708	4480579	2,5	2,5
13	446162	4479319	1,3	1,3
14	442031	4479578	0,7	0,7
15	441920	4474426	1,6	1,6
16	437404	4473785	1,6	1,6
17	435048	4475512	2,4	2,4
18	431437	4474460	1,5	1,5
19	430471	4472484	3,6	3,6
20	426440	4474489	0,7	0,7
21	424865	4478084	5,5	4
22	427681	4481027	5,1	4
23	432492	4482989	2,3	2,3
24	437194	4482930	4,5	4
25	441973	4482631	3,5	3,5
26	442740	4483907	0,7	0,7
27	442030	4473850	3,4	3,4
28	439020	4469463	2,1	2,1
29	441740	4470928	1,6	1,6
30	450952	4469965	2,4	2,4
31	448717	4475117	2,4	2,4
32	450613	4477716	2,1	2,1

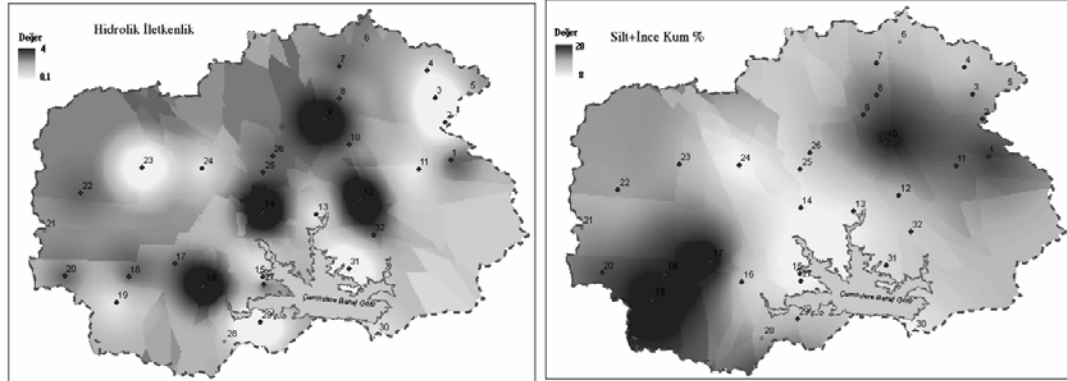
Tablo : 9 - Toprak örneklerinin organik madde miktarı

Alınan örneklerin hidrolik iletkenliklerini belirlemek için, hidrolik iletkenlik setine uygun şekilde yerleştirildikten sonra, üzerine su verilmiş, ilk damlanın akması beklenmiştir. Damlalar akmaya başlayınca toprağın suya doymun hale geldiği anlaşılmıştır. 1, 6, 24 ve 48 saat okumaları yapılmış, su

süzüldükten sonra üstteki boşluk ölçülmüştür. Çıkan su dereceli silindire konmuş ve miktarı belirlenmiştir. Daha sonra gerekli eşitlikler kullanılarak örneklerin hidrolik iletkenlikleri belirlenmiştir. Alınan örneklerin hidrolik iletkenlikleri ve sınıfları aşağıdaki gibidir (Tablo 10).

Numune No	Geçirgenlik (cm/h).	Hidrolik İletkenlik Kodu	Numune Numarası	Geçirgenlik (cm/h).	Hidrolik İletkenlik Kodu
1	2,21	3	17	2,43	3
2	14,97	1	18	3,75	3
3	16,31	1	19	7,53	2
4	11,88	2	20	4,80	3
5	3,15	3	21	3,61	3
6	5,39	3	22	4,03	3
7	3,99	3	23	14,23	1
8	3,43	3	24	8,86	2
9	1,41	4	25	3,63	3
10	2,55	3	26	4,52	3
11	9,82	2	27	3,84	3
12	0,88	4	28	3,52	3
13	10,55	2	29	14,49	1
14	1,06	4	30	8,05	2
15	7,07	2	31	13,59	1
16	1,10	4	32	5,81	3

Tablo : 10 -Toprak örneklerinin hidrolik iletkenlikleri



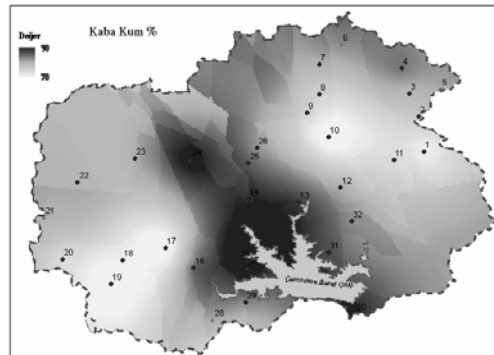
Harita : 9, 10 – Havzadaki toprakların hidrolik iletkenlikleri ile silt+ ince kum yüzdeleri

Havzadaki toprakların hidrolik iletkenlikleri çok kısa mesafede değişmektedir. Bunda analiz işlemlerinin çift paralelli yapılmasının da etkisi olmalıdır. Hidrolik iletkenlik kodlarına göre havza ortasında 4 farklı noktada hidrolik iletkenlik düşüktür. Buna bağlı olarak bu alanlarda erozyona duyarlılığın da fazla olması beklenmektedir.

Toprak örneklerinin tekstür analizleri, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Alüvyal Jeomorfoloji ve Sedimentoloji Laboratuvarında yapılmıştır. Analizler hidrometre yöntemine göre yapılmıştır. Bu yöntem mekanik bir analiz yöntemidir. Yöntemde toprak-su süspansiyonunun yoğunluğu özel bir aletle ölçülmektedir. Dispersiyondan sonra topraktaki fraksiyonlar için, belli olan zaman süresi kadar beklenerek kum, silt ve kil fraksiyonlarının yüzde oranları bulunur (Boşgelmez vd., 2001) Analiz sonuçları aşağıda verilmiştir (Tablo 11).

Numune No	Kaba Kum %	Silt+İnce Kum %	Kil %	Numune No	Kaba Kum %	Silt+İnce Kum %	Kil %
1	67,3	29,3	3,4	17	56,1	40,7	3,2
2	82,3	15,7	2,0	18	80,1	17,8	2,1
3	74,8	23,1	2,1	19	61,2	36,4	2,4
4	89,0	8,5	2,5	20	72,9	24,3	2,9
5	87,3	10,5	2,2	21	82,0	17,6	0,4
6	90,9	7,5	1,6	22	80,6	17,4	2,0
7	79,0	19,8	1,2	23	78,9	17,7	3,4
8	76,0	21,3	2,7	24	95,4	4,0	0,6
9	80,2	18,5	1,3	25	85,7	11,4	2,9
10	60,6	33,6	5,7	26	78,4	19,0	2,6
11	76,8	19,0	4,2	27	89,8	9,0	1,2
12	84,0	14,1	1,8	28	69,0	30,4	0,6
13	90,1	7,7	2,2	29	78,8	18,6	2,6
14	88,1	10,4	1,5	30	91,9	7,2	1,0
15	95,4	4,0	0,6	31	86,6	12,5	0,9
16	93,7	4,9	1,4	32	79,0	16,4	4,6

Tablo : 11 – Toprak örneklerinin tekstür analizi sonuçları



Harita : 11 – Havzadaki toprakların kum oranları

Elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilen formülde gerekli yere koyularak toprakların K değerleri bulunmuştur (Tablo 12).

$$K = \frac{2,77M^{1,14}(10^{-4})(12 - a) + 4,28(b - 2) + 3,29(c - 3)}{100}$$

Burada M, silt, ince kum ve kum yüzdesine göre hesaplanan bir değerdir. $M = z(z + y)$ eşitliği ile bulunur (y = Kum yüzdesi, z = Silt + İnce Kum yüzdesi, c = geçirgenlik kodu, b = strüktür kodu, a = organik madde yüzdesi).

Numune No	K Değeri	Numune No	K Değeri
1	0,16	17	0,23
2	0,10	18	0,13
3	0,05	19	0,15
4	0,01	20	0,29
5	0,14	21	0,16
6	0,11	22	0,15
7	0,20	23	0,09
8	0,21	24	0,07
9	0,22	25	0,13
10	0,29	26	0,24
11	0,05	27	0,12
12	0,20	28	0,22
13	0,01	29	0,07
14	0,11	30	0,09
15	0,01	31	0,01
16	0,02	32	0,19

Tablo : 12 – Toprak Örneklerinin K Değerleri

Bu sayede elde edilen K değerleri örneklerin GPS ile belirlenen konumlarına yerleştirilmiştir. Bu işlemler yapılırken Üniversal Transversal Merkator (ED 1950) projeksiyonu kullanılmıştır.

Konumları belirlenen örnek noktalarına göre, havzanı K değeri haritası elde edilmiştir. Bu işlem yapılırken doğal yakınlık analizi (Natural Neighbour). interpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

K değeri haritası elde edilirken, verilerin tüm alana yayılması esnasında karşılaşılan sorunların giderilmesi amacıyla Doğan vd (2002)'den yararlanılmıştır. Bu sayede havzanın bazı bölümleri için eksrapolasyon sağlanmıştır.

Elde edilen haritaya göre (Harita 12) havza topraklarının % 5'i çok az aşınabilir durumdadır. % 13,5'i az aşınabilir topraklardan oluşan havzanın, % 72'si orta derecede, % 9,5'lik kısmı ise kuvvetli derecede aşınabilir topraklardan oluşmaktadır (Tablo 13).

K Değeri	Alan (km ²).	Alan %	Birikimli %
0,01-0,05	35,87	4,97	4,97
0,06-0,1	96,28	13,34	18,31
0,11-0,15	275,09	38,11	56,41
0,16-0,2	245,55	34,01	90,43
0,21-0,25	57,68	7,99	98,42
0,26-0,29	11,42	1,58	100,00
Toplam	721,89	100,00	100,00

Tablo : 13 – Havza topraklarının aşınabilirlik durumları

Harita 12 incelendiğinde havzada, erozyon potansiyelinin fazla olduğu alanlar ile erozyona dirençli toprakların üçer ada oluşturacak şekilde dağıldığı görülmektedir.

Çok az aşınabilir topraklar, Alakoç Köyü batısında ve baraj gölü kuzeyinde karşımıza çıkmaktadır. Bunun nedeni bu alandaki topraklarda özellikle kum oranının fazla olmasıdır (Harita 11).

Az aşınabilir topraklar ise çok az aşınabilir toprakların çevresinde ve Özmuş Köyü ile İnceöz Yaylası civarında görülmektedir. Aslında bu alanlar kahverengi orman topraklarının bulunduğu alanlara genel olarak uymaktadır (Harita 6).

K değeri açısından tehlikeli alanlar ise Müsellim ve Kuyubaşı Köyleri civarı ile Mahye Tepesi güneyinde yer almaktadır. Bu durum silt+ince kumun bu alanlarda fazla olmasıyla ilişkilidir (Harita 10).

Burada ayrıca dasit, riyolit ve tüflitin bulunduğu alanların da (Harita 5) erozyona karşı dirençli olduğunu belirtmek gerekir. Bunun yanında belirtilmesi gereken diğer bir nokta da jeolojik birimlerle USLE K değerine

göre yapılan haritanın, erozyona duyarlılık açısından birbirinin tersi özelliklere sahip olduğudur. Çünkü jeolojik birimlerden volkanik alanlar genellikle erozyona dirençli olarak nitelendirilirken, USLE K değeri açısından bu alanlar erozyona müsait alanlar olarak çıkmaktadır.

Bu durumun nedeni USLE K değerinin toprağın duyarlılığını ölçmesi, jeolojik birimlerin ise kayalarla özdeşleşmesidir. Buradan havzadaki toprakların erozyona duyarlılık açısından üzerinde olduğu kayaca göre daha fazla erozyona eğilimli olduğu söylenebilir. Bazı kayalarda ise durum tam tersi işlemektedir. Yani kayaların erozyona direnci az olurken, yerinde oluşan toprakların erozyona direnci artmaktadır. Buna örnek olarak havzadaki tortullar üzerinde oluşan kahverengi orman toprakları verilebilir.

2.3. TOPOGRAFİK VE JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLER VE USLE LS FAKTÖRÜ

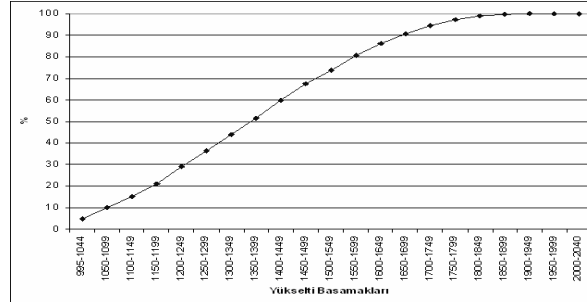
2.3.1. Topografik ve Jeomorfolojik Özellikler

Havzada yükselti 995 metre ile 2040 metre arasında değişmektedir. Buna göre yükselti farkı 1000 metre civarındadır. Yükseltisi az olan alanlar baraj çevresinde yoğunlaşmıştır. En yüksek nokta ise Yaylalar Krateri güneybatısındaki Mahye Tepesidir (2040 m). Genel olarak havzanın merkezinden doğuya, kuzeye ve batıya gidildikçe artan yükselti, güneye inildikçe ve baraja yaklaşıldığı için düşmektedir ([Harita 13](#)).

Yükseltinin havzadaki dağılışı yüzdesi oldukça farklılıklar göstermektedir. Havzanın yarısı 1400 metreden düşük yükseltilere sahipken % 10'u 1700 metrenin üzerindedir. Bu da bize havzada yüksek yerlerin az olduğunu göstermektedir ([Grafik 13](#), [Tablo 14](#)).

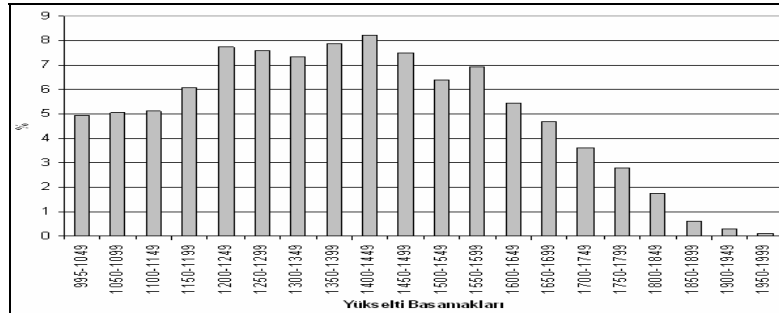
Yükselti Sınıfı	Alan %	Alan Birikimli %	Alan (km ²).
995-1049	4,93	4,93	35,64
1050-1099	5,06	9,99	36,55
1100-1149	5,11	15,11	36,94
1150-1199	6,07	21,18	43,83
1200-1249	7,74	28,91	55,89
1250-1299	7,59	36,50	54,79
1300-1349	7,33	43,83	52,95
1350-1399	7,87	51,70	56,82
1400-1449	8,20	59,90	59,26
1450-1499	7,50	67,40	54,15
1500-1549	6,38	73,78	46,11
1550-1599	6,92	80,70	49,99
1600-1649	5,45	86,15	39,34
1650-1699	4,68	90,83	33,82
1700-1749	3,62	94,45	26,17
1750-1799	2,80	97,25	20,20
1800-1849	1,72	98,97	12,45
1850-1899	0,62	99,59	4,45
1900-1949	0,32	99,90	2,28
1950-1999	0,09	99,99	0,65
2000-2040	0,01	100,00	0,05

Tablo : 14 – Yükselti Basamaklarına Göre Alan Dağılışı



Grafik : 13 – Havzanın Hipsografik Eğrisi

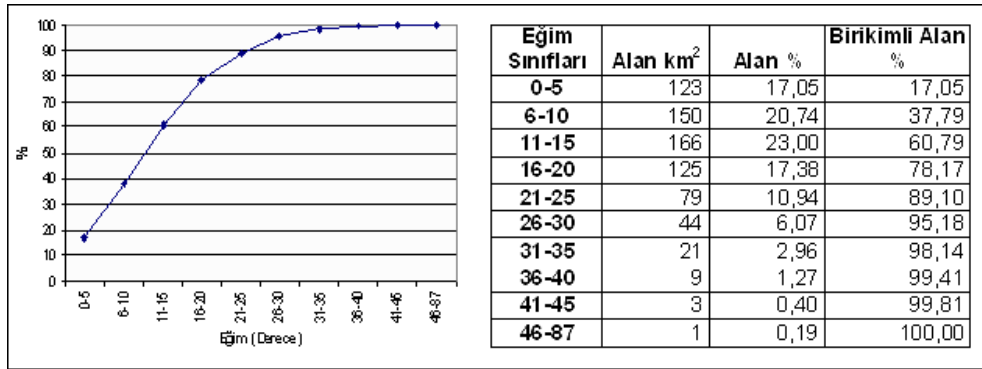
Havzada en geniş alan kaplayan yükselti sınıfları 1200 m ile 1600 m arasındaki yoğunlaşmıştır (Grafik 14).



Grafik : 14 – Havzanın yükselti sıklık grafiği

Havzanın % 50'si 10° eğimin altındaki yerlerden oluşmaktadır. Bu da erozyonu azaltan bir faktördür. Fakat alanın % 21'i 20°den yüksek eğime sahiptir. Eğimler genellikle akarsu vadilerinin yamaçlarında artmaktadır (Harita 14). Özellikle Ovacık ve Yaylalar Kraterleri çıkışında eğimler çok fazladır. Bunun nedeni bu alanların özellikle volkanik kayalardan oluşması, akarsular tarafından derin yarılması ve boğaz şeklini almasıdır. Ayrıca Gürlük Deresinin, Büyük Derenin ve Karağaç Deresinin açtıkları vadi yamaçları eğimin 30°'yi aştığı diğer alanları oluşturmaktadır.

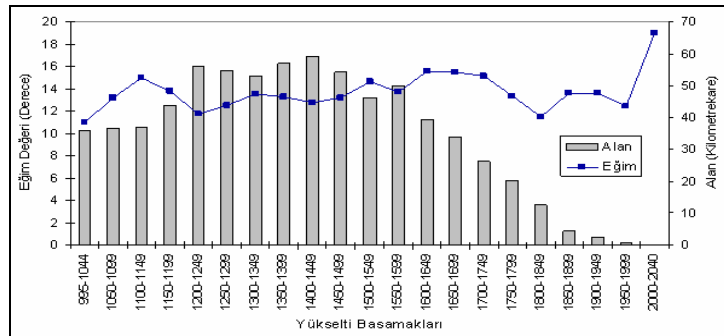
Havzada eğimin azaldığı alanlar dağınık bir özellik göstermektedir. Yaylalar ve Ovacık Kraterlerinin tabanında, Atça, Çamköy, Meşeler Köyü çevresinde, Özmuş ve İnceöz Yaylası kuzeyinde ve baraj gölü çevresinde eğim genellikle düşüktür.



Grafik : 15 – Eğim Birikimi

Tablo : 15 – Eğim sınıflarına göre alanlar

Havza genellikle parçalı yüzeylerden oluşmaktadır. Bu yüzeyler çoğu yerlerde akarsularca yarılmış ve derin vadiler oluşmuştur. Bazen bu vadilerin derinliği, özellikle Yaylalar ve Ovacık Kraterlerinin çıkışında, 200–300 metreyi bulmaktadır.



Grafik :16 – Havzada yükselti basamaklarına göre alanlar ve ortalama eğimler

Çamlıdere Barajı Havzası genel olarak, fay dikliklerinden, farklı yükseklikteki platolardan, krater tabanlarında gelişen ovalardan ve farklı eğimdeki yamaçlardan oluşmaktadır. Faylar tabakaların eğimlenmesine neden olmuş ve bazı alanlarda kuesta topografyasının görülmesini sağlamıştır (Harita 5, 15).

Havzadaki platolar 3 farklı basamak şeklinde dağılmaktadır (Grafik 16). En alçak platolar, baraj çevresinde yoğunlaşmıştır. Eğimin oldukça az olduğu bu platolar, vadilerce fazla parçalanmamıştır. Bu platolar baraj gölünden başlayıp, 1100 metrelere kadar çıkmaktadır.

Orta yükseklikteki platolar alçak platolara göre daha fazla parçalanmıştır. Genel olarak 1200–1300 metreler arasında görülen bu platolar, baraj gölü batısında ve kuzeyinde yoğunlaşmıştır. Bu platolara havzanın kuzeybatısında da rastlanır.

Orta yükseklikteki platolar ile yüksek platolar arasındaki geçiş çok belli değildir. Bazı yerlerde birbirinin devamı niteliğinde olan bazı kısımlarda da sırtlar halinde kalabilmişlerdir.

Yüksek platolar havzada 1450–1600 metreler arasında uzanır. Akarsularca oldukça fazla yarılmıştır. Yükseltiye bağlı olarak, Yaylalar ve Ovacık Krateri çevresi ile havza kuzeyinde yoğunlaşmışlardır. Ayrıca Çamlıdere güneyinde de bu platolara rastlanır.

Havzadaki zirve düzlükleri genellikle tek tepeler ve sırtlar halindedir. Bunlar Ovacık Krateri güneyinde ve Mahye Tepesi civarında birer plato özelliğindedir.

Havza'da jeomorfolojik olarak erozyonun en fazla olduğu alanlar genellikle yamaç karakterindeki alanlardır. Bu alanlarda oluşan topraklar, sadece suyun değil aynı zamanda yerçekiminin de etkisiyle eğim boyunca

taşınmaktadır. Erozyon açısından bu alanlar haricinde platoların dış sınırları da dışbükey bir eğim yarattığı için erozyon açısından tehlikeli alanlar olarak nitelendirilebilir.

2.3.2. Usle LS Faktörü

USLE eşitliği parsel temelli bir model olduğundan, araştırma alanı bir havzanın tamamı olduğunda, topografik faktörün belirlenmesinde zorluklar yaşanmaktadır. Bu zorlukların ilki eğim uzunluğu değerinin hesaplanmasıdır.

Eğim uzunluğu değerinin hesaplanmasının yanında bir diğer sorun en yüksek eğim uzunluğu değerinin belirlenmesidir.

Doğan ve Küçükçar'ın (1996) yaptığı çalışmada, Wischmeier ve Smith'den (1978) farklı olarak, Ankara koşullarında eğim uzunluğu etkisinin belli bir noktadan sonra düştüğü belirlenmiştir. Araştırmaya göre;

22 metre eğim uzunluğu için L faktörü 1,1

44 metre eğim uzunluğu için L faktörü 1,2

66 metre eğim uzunluğu için L faktörü 1,5

88 metre eğim uzunluğu için L faktörü 0,6 değerinin kullanılması önerilmiştir. Bundan da anlaşılacağı gibi yarı kurak alanlarda, λ değerinin etkisi sürekli artmamaktadır. Belli bir noktadan sonra düşmektedir.

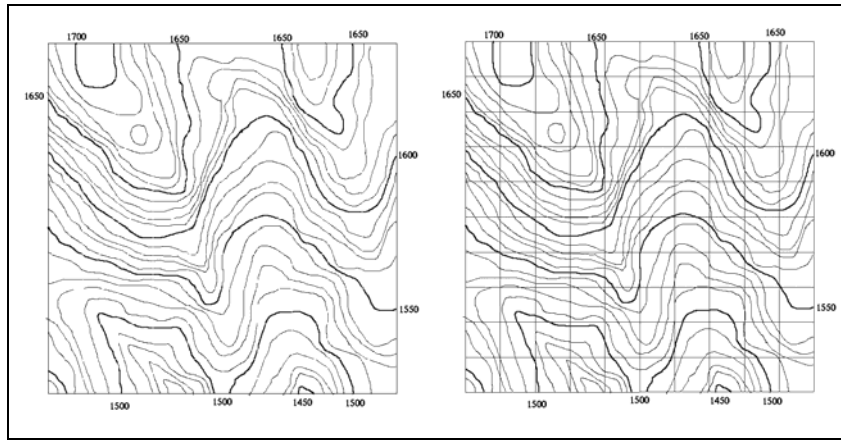
Bu çalışmada Çamlıdere Barajı Havzasının yarı nemli - yarı kurak koşulları altında olduğunu düşünülerek, en uzun eğim uzunluğu değerini 150 m olarak alınmıştır (Erpul ve Erdoğan, 2005).

Eğim uzunluğu değerinin özellikle sayısal ortamda belirlenmesi maksadıyla birçok yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada eğim uzunluğu değeri belirlenirken Kinnel'in (2001) önerdiği yöntem uygulanmıştır. Buna göre eğim

uzunluğu değeri CBS sistematığı içerisinde akış birikimine (Flow Accumulation) denk gelmektedir.

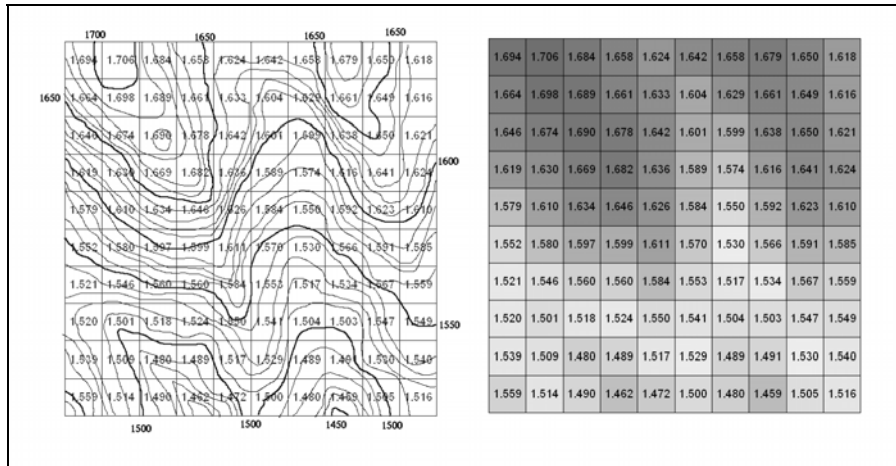
Akış birikimi CBS ortamında aşağıda belirtildiği gibi hesaplanmaktadır ve genel olarak USLE eğim uzunluğu mantığına uymaktadır.

Bu yöntemde ilk olarak sayısal eşyükselti eğrilerine bağlı olarak, CBS terminolojisinde DEM olarak bilinen sayısal yükselti modeli oluşturulur (Şekil 5, 6).

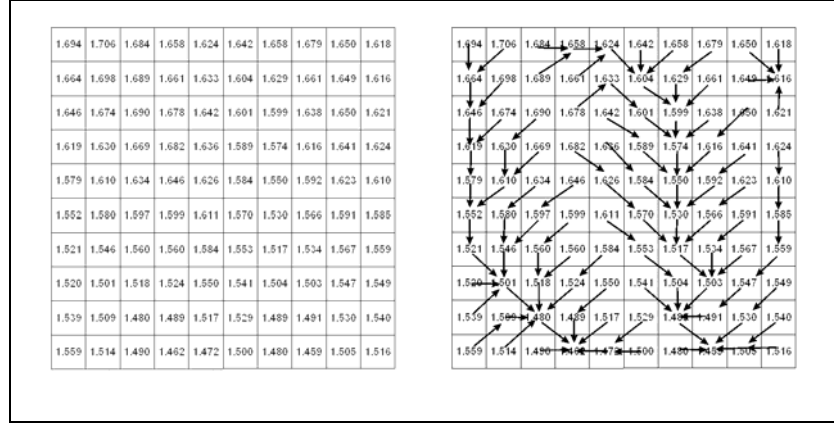


Şekil : 5 – Eşyükselti eğrilerinin karelere (gridlere) bölünmesi

Yöntemin temelinde kareleme metodu vardır ve bu grid veya cell (hücre) olarak isimlendirilir. Eşyükselti eğrilerine göre doğal yakınlık ve üçgenleme metoduyla SYM (Sayısal Yükselti Modeli) oluşturulur.

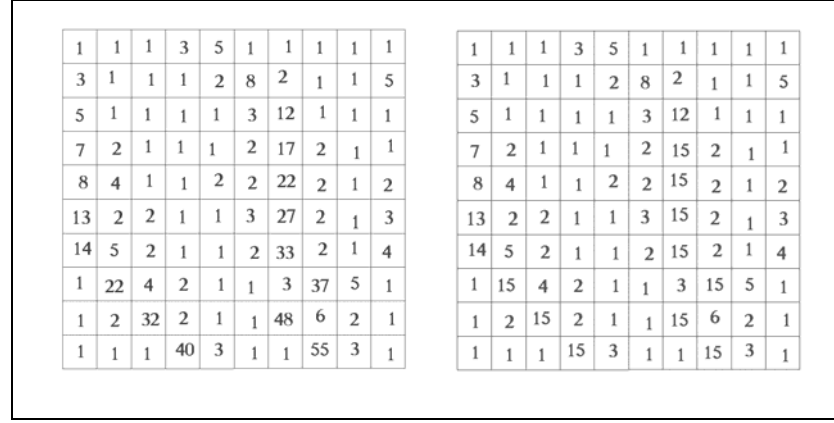


Şekil :6 – Eşyükselti eğrilerinden SYM elde edilmesi



Şekil : 7 – SYM’den akış yönlerinin belirlenmesi

Elde edilen SYM’den ilk olarak akış yönleri belirlenir (Şekil 7).



Şekil : 8 – Akış yönlerine bağlı olarak akış birikiminin hesaplanması

Akış yönlerine göre akış birikimi hesaplanır. Bu yöntemde her bir kare kendine akan grid sayısından 1 fazla akış birikimine sahiptir (Şekil 8). Elde edilen birikim değerleri alan ve dolayısıyla akış birikimiyle doğrusal bir ilişkiye sahiptir. Bu ilişki her bir gridin boyutu ile şekillenir.

Yani bir gride gelen akış birikimi bu gridin akış birikimi değeri ve alanı ile çarpılarak bulunur. Eğim uzunluğu değeri de aynı şekilde grid boyut ile akış birikimi değerinin çarpımına eşittir.

Bu çalışmada topografik bilgiler 1:25.000 ölçekli topografya haritasından alınmış ve grid boyutu 10 m alınarak, analiz edilmiştir. Yani λ değeri hesaplanırken akış birikimi değeri 10 ile çarpılarak belirlenmiştir.

L faktörü hesaplanırken

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m \text{ eşitliğinden faydalanılmıştır.}$$

m = 0,5; eğim > 5 %

m = 0,4; 3% < eğim < 5 %

m = 0,3; 1% < eğim < 3%

m = 0,2; eğim < 1 % olarak alınmıştır.

Eğim dikliği faktörü yani S değerinin hesaplanmasında, yine Moore vd., (1992)'in önerdiği eşitlik kullanılmıştır. Bu eşitliğe göre,

$S = (\sin \theta / 0,896)^{1,3}$ şeklinde hesaplanır (θ = radyan cinsinden eğimi ifade etmektedir.).

Akış modelinden ve eğim modelinden yukarıdaki eşitliklerle elde edilen L ve S faktörleri birbirleriyle çarpılarak USLE için LS değeri elde edilmiştir. Elde edilen LS haritası (Harita 16) genellikle eğim haritası ile büyük benzerlikler göstermektedir. Eğimin dağılışıda olduğu gibi, özellikle derin vadi yamaçlarında erozyon potansiyeli topografik olarak yüksektir. Buna karşın eğimin az olduğu krater tabanlarında ve platolarda erozyona duyarlılık azdır. Ayrıca fay dikliklerinin bulunduğu alanlar da erozyon potansiyelinin yüksek olduğu alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.4. ARAZİ ÖRTÜSÜ ile USLE C ve P FAKTÖRLERİ

2.4.1. Havzada Arazi Örtüsü

Çamlıdere Barajı Havzası daha önce de belirtildiği gibi İç Anadolu Bölgesi ile Karadeniz Bölgesi arasında geçiş kuşağındadır. Bu geçiş en iyi bitki örtüsünde gözlenir. Baraj gölü çevresi genellikle İç Anadolu bölgesinin steplerini andırır. Yükseklerle çıkıldıkça ve kuzeye gidildikçe bu stepler, yerini önce meşelere daha sonra Karadeniz Bölgesi ormanlarına bırakır.

Havzanın % 52'si çeşitli özellikteki orman alanlarıyla kaplıdır. Bu ormanlar içerisinde en geniş alan kaplayan tür meşelerdir (Tablo 16). Meşelerden sonra saf sarıçamlar, saf karaçamlar ve karışık sarıçam-gökknar ormanları gelir. Kavaklar bazen saf bazen de sarıçam ve karaçamlarla karışık olarak gözlenir. Ama havza genelinde dar bir alanda varlığını sürdürür.

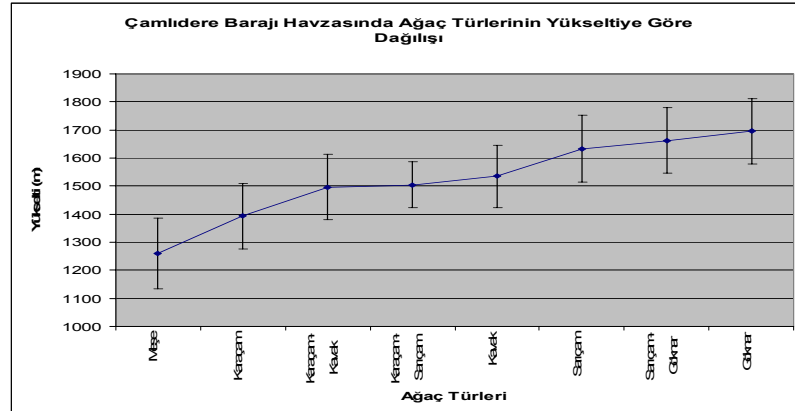
Bitki Türü	Alan (km ²).	Alan %
Meşe	113	30
Karaçam	81	21
Karaçam-Kavak	2	1
Karaçam -Sarıçam	7	2
Kavak	6	1
Sarıçam	88	23
Sarıçam-Gökknar	72	19
Gökknar	8	2
Toplam	377	100

Tablo : 16 – Havzadaki ağaç türlerinin alanları

Gökknar ormanları havzada, Ovacık Krateri batısında, Yaylalar Krateri güneyinde ve havzanın kuzeybatısında görülür. Saf olarak az bulunurken, sarıçam ile birlikte oluşturduğu meşcereler havzanın % 21'inde karşımıza çıkar.

Sarıçamlar havza batısında, Yaylalar Krateri çevresinde ve Çamlıdere güneybatısında bulunur. Ayrıca Ovacık Krateri çevresindeki yüksek yerlerde de bazen saf, bazen de gökknar ile birlikte meşcereler oluşturur.

Karaçam ormanları havzanın batısında, doğusunda ve kuzeyinde yükseltinin fazla olduğu yerlerde, sarıçam ormanlarını çevreleyecek şekilde dağılışı gösterir. En geniş alan kapladığı yer, baraj gölü batısıdır.



Grafik : 17 – Ağaç türlerinin yükseltiye göre dağılışı

Havzada bitkiler yükseltiye bağılı olarak, alçaktan yükseğe doğru, meşe, karaçam, karaçam-sarıçam, sarıçam, sarıçam-gökmar ve gökmar sırası ile dağılmaktadır. Kabaca, meşeler 1200–1300, karaçamlar 1300–1500, sarıçamlar 1500–1650 metreler arasında görülmektedir. Gökmarlar ise 1600 metrenin genellikle üstündedir (Grafik 17).

Karışık türlerin bulunduğu meşcereler, saf meşcerelere göre yükselti açısından daha dar bir alanda görülür (Grafik 17).

Havzada ormanlardan sonra en geniş alan kaplayan arazileri meralar oluşturur. Meralar, Yaylalar Krateri tabanında, Ovacık Krateri çevresinde, Özmuş, Peçenek Köyleri arasındaki geniş bir alan oluştururken havzanın diğer kısımlarında ormanlar ile tarım alanları arasında şeritler halinde uzanır (Harita 17, Tablo 17).

Ziraat alanları, genellikle, alçak ve orta yükseltideki platolar üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu alanlarda genellikle tahıl tarımı yapılır.

Arazi Örtüsü	Alan (km ²).	Alan %
Orman Alanları	377	52
Mera Alanları	206	29
Ziraat Alanları	97	13
Kırgıbayır Alanları	24	3
İskan Alanları	10	1
Taşlık Alanlar	7	1
Toplam	722	100

Tablo : 17 – Havzada arazi türleri

Baraj gölü doğusu ve kuzeyi erozyonun şiddetli olduğu alanlardır. Bu alanlarda bitki örtüsü çok zayıftır. Bu nedenle yamaçlar sel sularıyla kırgıbayır görünümü kazanmıştır (Foto 19, 20, 21).



Foto : 19, 20, 21 – Kırğıbayır alanları

Yerleşmeler havzanın doğu kısmında genellikle köy özelliğindeyken, batıda yayla yerleşmeleri hâkimdir. En yoğun yerleşim alanı, Çamlıdere ilçesi ve çevresindeki yoğunlaşmaktadır. Bu alanlar özellikle nüfus açısından da kalabalık yerlerdir.

Taşlık alanlar, baraj seti çevresinde ve fayların bulunduğu yerlerde yoğunlaşmaktadır. Genellikle volkanik kayalardan oluşan bu yerler bitki ve toprak örtüsünden yoksundur. Çok dik eğimler oluşturan bu alanlarda yaygın kayaç türü andezittir.

2.4.2. Usle C Faktörü

Havzada C faktörünün belirlenmesinde ve haritalanmasında, OGM'den elde edilen meşcere türlerini ve arazi kullanımını gösteren haritadan yararlanılmıştır.

C Faktörü belirlenirken bitki örtüsü türü, kapallılığı, yoğunluğu ve tahmini malç durumu değerlendirilmiştir.² Bu işlemler esnasında arazi gözlemleri ve önceki çalışmalar yol gösterici olmuştur (Tablo 18).

Sıra	Simge	Ağaç Türleri ve Arazi Kullanımı	Tepe Kapallılığı %	Çapı	C Değeri
1	BÇk	Bozuk Karaçam	-	-	0,10
2	BÇkKv	Boz. Karaçam - Kavak	-	-	0,10
3	BÇkM	Bozuk Karaçam - Meşe	-	-	0,10
4	BÇs	Bozuk Sarıçam	-	-	0,10
5	BÇsM	Bozuk Sarıçam - Meşe	-	-	0,10
6	BG	Bozuk Gökmar	-	-	0,10
7	BKv	Bozuk Kavak	-	-	0,10
8	BM	Bozuk Meşe	-	-	0,10
9	BMBt	Bozuk Meşe Baltalığı	-	-	0,10
10	ÇBÇs	Bozuk Sarıçam	-	-	0,11
11	ÇBÇsG	Bozuk Sarıçam – Gökmar	-	-	0,11
12	ÇBG	Bozuk Gökmar	-	-	0,11
13	ÇBMKv	Bozuk Meşe - Kavak	-	-	0,11
14	Çka	Karaçam	-	-	0,06
15	Çka0	Karaçam	-	< 8	0,05
16	Çka3	Karaçam	41 - 70	< 8	0,03
17	Çkb3	Karaçam	41 - 70	8 - 20	0,03
18	Çkbc3	Karaçam	41 - 70	8 - 36	0,03
19	Çkc1	Karaçam	< 10	20 - 36	0,05
20	Çkc2	Karaçam	11 - 40	20 - 36	0,04
21	Çkc3	Karaçam	41 - 70	20 - 36	0,03
22	Çkcd1	Karaçam	< 10	20 - 52	0,06
23	Çkcd2	Karaçam	11 - 40	20 - 52	0,05
24	Çkcd3	Karaçam	41 - 70	20 - 52	0,04
25	ÇkÇsa	Karaçam - Sarıçam	-	< 8	0,03
26	ÇkÇsbc3	Karaçam - Sarıçam	41 - 70	8 - 36	0,03
27	ÇkÇsc3	Karaçam - Sarıçam	41 - 70	20 - 36	0,03
28	ÇkÇscd1	Karaçam - Sarıçam	< 10	20 - 52	0,06
29	ÇkÇscd2	Karaçam - Sarıçam	11 - 40	36 - 52	0,05
30	Çkd1	Karaçam	< 10	36 - 52	0,06
31	ÇkKvbc3	Karaçam - Kavak	41 - 70	8 - 36	0,03
32	ÇkKvc3	Karaçam - Kavak	41 - 70	20 - 36	0,03
33	Çsa	Sarıçam	-	< 8	0,05
34	Çsa0	Sarıçam	< 10	< 8	0,05
35	Çsa3	Sarıçam	41 - 70	< 8	0,03
36	Çsab3	Sarıçam	41 - 70	8 - 20	0,03
37	Çsb1	Sarıçam	< 10	8 - 20	0,06
38	Çsb3	Sarıçam	41 - 70	8 - 20	0,04
39	Çsbc2	Sarıçam	11 - 40	8 - 36	0,05

² Bu faktörün belirlenmesinde A.Ü. Çankırı Orman Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapan Sayın **Ali Uğur ÖZCAN**'dan yardım alınmıştır.

40	ÇsBc2	Sarıçam	11 - 40	20 - 36	0,05
41	Çsbc3	Sarıçam	41 - 70	8 - 36	0,03
42	Çsc1	Sarıçam	< 10	20 - 36	0,06
43	Çsc2	Sarıçam	11 - 40	20 - 36	0,05
44	Çsc2/Gb2	Sarıçam - Gökmar	11 - 40	20 - 36	0,05
45	Çsc3	Sarıçam	41 - 70	20 - 36	0,03
46	Çscd1	Sarıçam	< 10	20 - 52	0,06
47	Çscd1/a	Sarıçam	< 10	20 - 52	0,05
48	Çscd1/Gb3	Sarıçam	11 - 40	20 - 52	0,03
49	Çscd2	Sarıçam	11 - 40	20 - 52	0,05
50	Çscd3	Sarıçam	41 - 70	20 - 52	0,03
51	ÇsÇkbc3	Sarıçam - Karaçam	41 - 70	8 - 36	0,03
52	ÇsÇkc2	Sarıçam - Karaçam	11 - 40	20 - 36	0,04
53	ÇsÇkc3	Sarıçam - Karaçam	41 - 70	20 - 36	0,03
54	ÇsÇkcd1	Sarıçam - Karaçam	< 10	20 - 52	0,05
55	ÇsÇkcd2	Sarıçam - Karaçam	11 - 40	20 - 52	0,04
56	ÇsÇkcd3	Sarıçam - Karaçam	41 - 70	20 - 52	0,03
57	Çsd/a	Sarıçam	-	< 8	0,03
58	Çsd/a3*	Sarıçam	41 - 70	< 8	0,03
59	Çsd/ÇsGa	Sarıçam - Gökmar	-	< 8	0,03
60	Çsd/ÇsGa3	Sarıçam - Gökmar	41 - 70	< 8	0,03
61	Çsd/GÇsa	Sarıçam - Gökmar	-	< 8	0,03
62	Çsd1	Sarıçam	< 10	36 - 52	0,06
63	Çsd1/a	Sarıçam	< 10	36 - 52	0,05
64	Çsd1/a0	Sarıçam	< 10	36 - 52	0,05
65	Çsd1/ÇsGa0	Sarıçam - Gökmar	< 10	36 - 52	0,04
66	Çsd1/Gb3	Sarıçam - Gökmar	11 - 40	36 - 52	0,03
67	ÇsGbc2	Sarıçam - Gökmar	11 - 40	8 - 36	0,04
68	ÇsGbc3	Sarıçam - Gökmar	41 - 70	8 - 36	0,03
69	ÇsGc2	Sarıçam - Gökmar	11 - 40	20 - 36	0,04
70	ÇsGc3	Sarıçam - Gökmar	41 - 70	20 - 36	0,03
71	ÇsGcd2	Sarıçam - Gökmar	11 - 40	20 - 52	0,04
72	ÇsGcd3	Sarıçam - Gökmar	41 - 70	20 - 52	0,03
73	ÇsKvbc3	Sarıçam - Kavak	41 - 70	8 - 36	0,03
74	E	Kırgıbayır Alanı	-	-	1,00
75	Ga2	Gökmar	11 - 40	< 8	0,04
76	Gbc3	Gökmar	41 - 70	8 - 36	0,03
77	Gc3	Gökmar	41 - 70	20 - 36	0,03
78	Gcd3	Gökmar	41 - 70	20 - 52	0,03
79	GÇcbc3	Gökmar - Sarıçam	41 - 70	8 - 36	0,03
80	GÇsbc1	Gökmar - Sarıçam	< 10	8 - 36	0,05
81	GÇsbc1	Gökmar - Sarıçam	< 10	8 - 36	0,05
82	GÇsbc2	Gökmar - Sarıçam	11 - 40	8 - 36	0,04
83	GÇsbc2	Gökmar - Sarıçam	11 - 40	8 - 36	0,04
84	GÇsbc3	Gökmar - Sarıçam	41 - 70	8 - 36	0,03
85	GÇsc3	Gökmar - Sarıçam	41 - 70	20 - 36	0,03
86	GÇscd2	Gökmar - Sarıçam	11 - 40	20 - 52	0,04
87	GÇscd3	Gökmar - Sarıçam	41 - 70	20 - 52	0,03
88	i	İskan Alanı	-	-	0,50
89	Kvb2	Kavak	11 - 40	8 - 20	0,08

90	Kvbc3	Kavak	41 - 70	8 - 36	0,06
91	Kvc3	Kavak	41 - 70	20 - 36	0,06
92	OT	Orman Toprağı	-	-	0,15
93	T	Taşlık	-	-	0,00
94	Z	Ziraat Alanı	-	-	0,40

Tablo : 18 – Havzada arazi örtüsüne göre C değerleri

Elde edilen haritaya göre (Harita 18) havzada erozyon potansiyeli en yüksek alanlar, bitki örtüsünden yoksun kırgıbayır alanlarıdır. Bu alanlar daha önce söylenildiği gibi baraj gölü çevresindedir. Kırgıbayır alanları havzanın % 3,4'ünü oluşturmaktadır (Tablo 18, 19).

Erozyon potansiyelinin yüksek olduğu diğer alanlar ise başta ziraat alanları, iskân alanları ve orman toprağı olarak belirtilen meralardır. Bu alanların havzadaki oranı % 40'ı geçmektedir.

C değerinin yüksek olduğu yerler genellikle, baraj gölü çevresinde yoğunlaşmaktadır. Ayrıca Avşarlar, Atça, Ovacık Köyleri çevresi de bu açıdan erozyon potansiyeli olan alanlardır (Tablo 19, Harita 18).

Taşlık alanlar havzada genellikle akarsular tarafından derince yarılmış ve derin vadilerin olduğu yerlerdir. Bu alanların topografik olarak erozyona müsait olmasına rağmen, üzerinde toprak örtüsü yoktur. Bu nedenle USLE C değeri 0 olarak alınmış ve erozyon olmayan alanlar olarak nitelendirilmiştir (Tablo 18, 19).

Arazi No	C Değeri	Alan (km ²)	%
1 (taşlık)	0	7,4	1,0
2 (orman)	0,03	118,6	16,4
3 (orman)	0,04	19,1	2,6
4 (orman)	0,05	52,2	7,2
5 (orman)	0,06	20,0	2,8
6 (orman)	0,08	0,1	0,0
7 (orman)	0,1	161,7	22,4
8 (orman)	0,11	4,7	0,6
9 (mera)	0,15	206,4	28,6
10 (ziraat)	0,4	97,2	13,5
11 (yerleşme)	0,5	10,0	1,4
12 (kırgıbayır)	1	24,3	3,4
Toplam	Ort : 0,17	722,0	100

Tablo : 19 – Havzada USLE C değerinin dağılımı

2.4.3. Usle P Faktörü

Havzadaki tarım alanlarında USLE eşitliğine göre erozyon kontrol uygulamalarının bulunmaması nedeniyle P faktörü hesaplama katılmamıştır (Burada, eşyükselti eğrilerine paralel sürüm, teraslama vb. gibi yöntemler uygulanmamaktadır).

Havzadaki tarım alanları yoğun olarak kullanılmamaktadır. Bunda havzadaki nüfusun azlığı etkidir. Bu alan Ankara'ya yakın olması nedeniyle genç nüfusunu göç yoluyla kaybetmiştir. Alanda sürekli ikamet eden nüfus da genellikle yaşlıdır. Dolayısıyla havzadaki erozyona insan etkisi oldukça düşüktür.

1990'lı yıllar öncesi özellikle ormanlardan kaçak kesim yapıldığı, meralarda yoğun hayvan otlatıldığı yöre sakinlerinden alınan bilgilerden anlaşılmaktadır.

Çamlıdere Barajı Havzasında hayvancılık da nüfusun yaşlanmasına bağlı olarak azalmıştır. Bu nedenle orman alanları bu etkiden kurtulmuş gibi gözükmemektedir. Genellikle alçak kesimlerde az miktarda küçükbaş hayvancılık, yüksek kesimlerde ise yazın yaylalarda sürdürülen büyükbaş hayvancılık hâkimdir (Foto 22, 23).



Foto : 22, 23 – Havzada küçükbaş ve büyükbaş hayvancılık

Küçükbaş hayvanlar genellikle koyunlardan oluşmaktadır. Bazen sürüler içerisinde keçilere de rastlanmaktadır. Ağaçların seyredildiği ve steplerin arttığı yerlerde yapılan küçükbaş hayvancılık yükseklerde ormanların yoğunlaşmasına bağlı olarak yerini büyükbaş hayvancılığa bırakır. Büyükbaş hayvancılık özellikle havza batısındaki yaylalarda görülmektedir.

Havzada orman kesimi, Çamlıdere Orman İşletmesine bağlı olarak belli bir programa göre, yaz aylarında yapılmakta ve bu alanlar tekrar ağaçlandırılmaktadır. Aynı şekilde ormanlarda gençleştirme çalışmaları da mevcuttur³ (Foto 24, 25).



Foto : 24, 25 – Havzada orman kesimi ve ağaçlandırma alanları

Havzada DSİ 5. Bölge Müdürlüğüne erozyon tespitine yönelik çalışmalar yapılmış fakat sonuçlandırılmamıştır. Bu çalışmalara genellikle ağaçlandırma amacıyla düşünülmüştür. Bu nedenle Peçenek Köyü civarında 20 hektarlık bir alan pilot bölge olarak seçilmiş, teraslama işlemi tamamlanmış ama ağaçlandırma yapılmamıştır.⁴

Bunun haricinde havzada son yıllarda erozyon kontrolüne yönelik bazı çalışmalar da mevcuttur. Havza güneyinde baraj seti doğusunda, Kızık Köyü civarında, kırgıbayır alanları teraslanarak ağaçlandırılmıştır. Bu işlem Ankara – İstanbul Otoyolunun belli kesimlerinde yol kenarlarında da mevcuttur.

³ Bu bilgiler Çam. Orm. İşlt. Müdürü Halil YÖRÜKOĞLU’ndan alınmıştır.

⁴ Bu bilgiler DSİ 5. Bölge Rüsubat ve Erozyon Kontrolü Şube Müdürü, M. Ramiz AKIN’dan alınmıştır.

Ayrıca Ovacık Krateri çıkışında Dörtkonak yaylası civarındaki mera alanlarında da teraslama işlemi yapılmıştır. Fakat bu alanlar ağaçlandırılmamıştır. Bunlara ek olarak bu alandaki derelere sedimenti tutacak küçük bentlerde yapılmıştır (Foto 26, 27).



Foto : 26, 27 – Havzadaki meralarda yapılan teraslar ve bentler

Çamlıdere Barajı Havzasında, 1987 ve 2000 yıllarına ait uydu görüntülerine göre, orman alanları genişlemektedir (Harita 19, 20). Bu alan artışı, göçe bağlı olarak insan etkisinin havzada azaldığını göstermektedir.

Ovacık Krateri çevresinde bu yıllar arasında bitki yoğunluğu açısından büyük farklar vardır. Özellikle bu alanda kavakların alanı sürekli genişlemektedir. Bunun yanında Yaylalar Krateri çevresindeki orman alanları da krater doğru genişlemektedir.

Bitki örtüsünün genişlediği yerler genellikle havzanın batısında yoğunlaşmıştır. Burada, özellikle orman sınırları genişlemektedir. Bu durum vadilerde daha iyi gözlenmektedir.

2.5. HİDROGRAFİK ÖZELLİKLER ve SEDİMENT İLETİM ORANI

2.5.1. Hidrografik Özellikler

Daha önce de söylendiği gibi Çamlıdere Barajı Havzası Sakarya Nehri su toplama havzasının bir bölümünü oluşturur. Havzanın suları ve dolayısıyla erozyona uğrayan malzemeler, baraj yapılmadan önce Bayındır çayı ile havza dışına taşınmaktaydı. Barajın yapılmasıyla havza suları 5 ana tali havzadaki akarsularca taşınmaktadır (Harita 21).

Bu akarsular doğudan batıya doğru, Büyük Dere, Kocaağaç Deresi, Derecik Deresi ile Gürlük ve Akkaya dereleridir.

Akkaya Deresi havzanın güneyindeki, Gürlük deresi batısındaki, Derecik deresi kuzeyindeki, Kocaağaç ve Büyük Dere de havza suları baraj gölüne taşır.

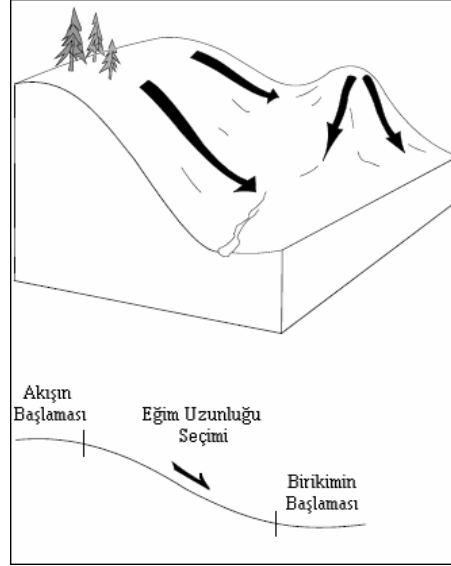
Havza en küçük alanı 1 km²'den başlayan, en büyük alanı 5 km² olan toplam 430 tane tali akarsu havzasından oluşmaktadır. Bunlar genellikle yan derelerin havzalarıdır.

Havzada Strahler'e (1996) göre oluşturduğumuz akarsu derecelerinden, 1 ve 2. derecedeki dereler yaz kuraklığı nedeniyle yazın akış göstermezler, 3, 4 ve 5. derecedeki akarsular yazın da akışlarına devam ederler (Harita 21).

Havzadaki akarsuların akımları, mayıs ve haziran aylarında en yüksek seviyeye ulaşmaktadır.

2.5.2. Sediment İletim Oranı – SİO (Sediment Delivery Rate – SDR)

Sediment iletim oranına geçmeden önce bazı kavramlara açıklık getirmek gerekir. Bir havza için erozyon mekaniği düşünüldüğünde, havzanın bir kısmı erozyon açısından aşınma kapsamındadır ve sürekli toprak kaybı olur. Bir kısmı ise erozyonun birikim aşamasının işlediği kısımdır ve sürekli birikim olur (Bazı dönemlerde birikim alanları da aşınma kapsamına girebilir.). Genellikle aşınan kısımlar sürekli eğimli alanlar ile dışbükey eğime sahip alanlardır. Birikim alanları ise içbükey eğim kırıklığının görüldüğü kısımlar ile eğimin olmadığı ya da az olduğu alanlardır (Şekil 9).



Şekil : 9 – Aşınım ve Birikim Alanları (Wall vd., 1997).

Bu açıdan bakıldığında havza birikim ve aşınım alanları olmak üzere iki ana bölüme ayrılabilir. Fakat USLE eşitliği havzaya bu açıdan bir bakış getirmemektedir. Havzanın tamamını erozyonun aşınma alanı olarak görür.

Bunlar bir yana havzanın tamamı aşınma alanı olarak görülmüştür. Birikim alanı olarak görülen kesim ise barajdır. Yani havzada erozyona uğrayan malzemenin baraj haznesinde biriktiği kabul edilmiştir.

Erozyona uğrayan her malzeme genellikle birikim alanına kadar taşınmaz. Bu malzemeler yol kenarlarında, içbükey eğim kırıklıklarında, eğimin azaldığı yerlerde vb. birçok alanda birikir. İşte bunların oranını hesaplamamız gerekmektedir. Bu oran da sediment iletim oranı olarak dillendirilmektedir. Kısacası USLE eşitliği ile bir bakıma potansiyel erozyon hesaplanmaktadır. Fakat bunun rezervuar alan yani bir akarsu kanalına, göle, baraja veya denize taşınan miktarının ancak sediment iletim oranı ile belirlenmesi gerekmektedir.

SİO genellikle arazi çalışmalarıyla belirlenir. Çünkü her havza için kullanılabilecek bir katsayı ya da model yoktur. Bu nedenle önce araziden erozyona uğrayan toprak miktarı herhangi bir modele göre hesaplanır. Daha sonra akarsularda asılı yük (süspanse sediment). ölçümü yapılarak kaybolan toprak miktarı bulunur. Bu yapılırken akım ölçümleri ile asılı yük arasındaki logaritmik ilişkiden yararlanılır. Asılı yük miktarı bulunduğunda yatak yükü ile olan bağıntı sayesinde toplam yük bulunur (Lal, 1994).

SİO çalışmalarında bir diğer yöntem rezervuar alanda biriken Sediment miktarının bulunmasıdır. Bunda da rezervuar alanın sediment taşınımından önceki ve sonraki topografik özellikleri ana kaynak olarak kullanılır. Topografik farklılığın belirlenmesinde genellikle “echosounder” denilen aletler kullanılır. Bu sayede önceki ve sonraki topografik yapı arasındaki hacim farkı bulunur ve bu hacim farkının rezervuar alanda biriken sediment olduğu kabul edilir.⁵

Diğer bir yöntem de rezervuarın bir baraj veya göl olması durumunda, tabanda biriken tortulların kalınlıklarının ölçümüdür. Bu sayede birim zamanda oluşan tortul kalınlığı ölçülür, bunun hacim ağırlığı belirlenerek, baraja gelen sedimentin oranı tahmin edilir (Hay, 1994).

⁵ Bu yöntem DSİ tarafından bazı barajlar için uygulanmıştır.

Bunlardan başka SİO'nın belirlenmesinde bazı istatistiksel yöntemler de vardır. Bunlar var olan çalışmalara bağlı olarak bazı parametrelerin sediment iletim oranı hesaplamaları için kullanılabileceği temeline dayanır. Bunlardan ilki havza ya da erozyona uğrayan sahanın alanına bağlı olarak geliştirilen. Bunlardan en fazla tanınanları;

a) Renfro (1975) Teksas'ta Blackland Preri alanlarında 14 havzanın verilerine bağlı olarak, $r^2=0,92$ ile geliştirdiği bir eşitlik. Bu eşitliğe göre

$$\log (SIO). = 1,7935 - 0,14191\log A$$

b) Vanoni'nin (1975) 300 havzanın incelenmesiyle oluşturduğu eşitlikte,

$$SIO = 0,42A^{-0,125}$$

c) Boyce'un (1975) geliştirdiği eşitlikte,

$$SIO = 0,3750A^{-0,2382}$$

d) Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığının geliştirdiği eşitlik ise (USDA, 1972)

$$SIO = 0,5656A^{-0,11} \text{ olarak özetlenebilir.}$$

Eşitliklerin hepsinde "A" kilometrekare olarak havza alanını ifade etmektedir.

Fakat bu eşitliklerde havzanın yükseltisi, iklimi, eğimi, bitki örtüsü, jeolojik özellikleri, toprak özellikleri ve özellikle geçirgenlik göz önüne alınmaz.

Bunlardan başka;

Yağış ve akım ilişkilerine,

Eğim, yarıma, topografik yapı (yükselti farkı),

Havzadaki toprakların tekstürüne,

bağlı olarak geliştirilen birçok eşitlik bulunmaktadır (Da Ouyang ve Bartholic, 2005).

Burada önemli olan benzer havza özellikleridir. Aynı bölgede bir kaç tali akarsu havzasındaki iletme bağlı olarak geliştirilen eşitlikler, bu bölgenin diğer havzaları için kullanılırsa çok büyük farklılıklar ortaya çıkmaz fakat özellikleri farklı bir bölgede uygulanması uygun değildir.

Bu çalışmada yukarıda sayılan SİO eşitlikleri ile, İrvem ve Tülücü (2001) tarafından Seyhan'ın Körkün tali havzasında uygulanmış olan ve oldukça doğru sonuçlar veren başka bir model kullanılmıştır. Bu model özellikle bilgisayar tabanlı uygulamalar için birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Ferro vd., 2001; Chao Yuan Lin vd.,2002). Eşitlik ilk olarak aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$SIO = \exp \left[-\beta \frac{L_i}{\sqrt{S_i}} \right]$$

Burada;

SIO = Her bir hücre için belirlenmiş sediment iletim oranı

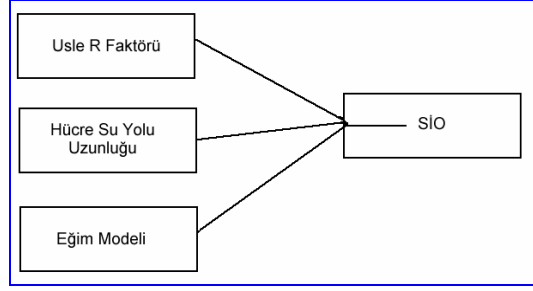
L_i = Hücre su yolu uzunluğu (m) (Flow lentgh).

S_i = Hücre eğimi (%).

β ise akım ve sediment taşınımına bağlı olarak geliştirilen bir katsayıdır ve 0,1 ile 1,6 arasında değişmektedir (İrvem ve Tülücü, 2001). Buradan da anlaşılacağı gibi bu katsayının belirlenebilmesi için havzaya ait akım ve sediment ölçümlerine ihtiyaç vardır.

Çalışma alanımızda bu türden ölçümlerin sadece akım için yapılması ve sedimente ait bilgilerin uzak bir istasyon için mevcut olması bizi bu formülün daha sonra geliştirilen şeklini kullanmaya yönlendirmiştir. Bu yöntemle göre β katsayısının belirlenmesi için Usle R değerinin kullanılması gerekmektedir (Ferro vd., 2001). Buna göre

$$\beta = 0,2802 R^{-0,6689} \text{ eşitliği kullanılmıştır.}$$



Şekil : 10 - Kullanılan SİO Modeli Akış Şeması

SİO eşitliklerine göre havzadaki iletim oranı farklılık göstermektedir. En yüksek değer Bagarello ve Ferro (1999)'un geliştirdiği modelde karşımıza çıkarken, en düşük değer, Renfro (1975)'nin geliştirdiği eşitlikte hesaplanmıştır.

Hesaplanan sediment iletim oranlarındaki durum geliştirilen eşitlikler bağlı olarak şekillenmektedir. Bu eşitliklere göre tali havzaların alanları büyüdükçe SİO düşmektedir. Alanın küçülmesine bağlı olarak SİO 1'e yaklaşmaktadır.

Havzada alan formüllerine göre oluşturulan SİO'larında en yüksek değerler USDA (1972)'de bulunmuştur. Bunu Vanoni (1972), Boyce (1975) ve Renfro (1975) izlemektedir (Harita 22 ,23, 24, 25). Havzadaki SİO'nun dağılışı belli bir düzen yoktur. Bunun nedeni oluşturulan tali havzaların alanlarının tesadüfi olmasıdır. Buna rağmen tali akarsu havzalarının toplam alanında olanları, alanları az olduğu için SİO'da da yüksek değerler göstermektedir.

Bagarello ve Ferro (1999)'un geliştirdikleri eşitlik ise üç kıstasa göre şekillenmektedir. Bunlardan ilki USLE R değeridir ve yağışların erosif güçleri fazla olduğunda SİO'da da artış olmaktadır. Dolayısıyla buna göre aynı havzada, daha yüksekte olan yerlerde SİO'nun daha fazla olması gerekmektedir.

İkinci ölçüt eğimdir ve eğimin artışına bağlı olarak yerçekiminin de etkisiyle SİO artmaktadır. Son ölçüt ise hücre su yolu uzunluğudur. Buna göre de akarsu ve derelerden uzaklaştıkça SİO oranı düşmektedir.

Bu üç ölçüte göre hazırlanan haritaya göre (Harita 26) eğimin fazla olduğu akarsu vadilerinde SİO artmaktadır. Bunda özellikle hücre su yolu uzunluğunun az olmasının da etkisi vardır. Buna karşın krater tabanlarında ve baraj gölü çevresindeki az eğimli alanlarda SİO'nun düşük olduğu görülmektedir.

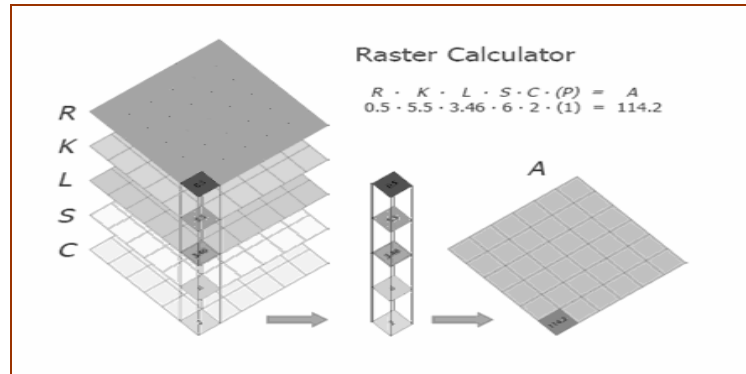
Burada söylenmesi gereken diğer bir nokta, özellikle havzada baraj gölünden uzaklaştıkça R değerinin artmasına bağlı olarak SİO'nun da yükselmesidir.

SONUÇ ve TARTIŞMA

A. TOPRAK KAYIPLARI ve KONUMU

Çamlıdere Barajı Havzasında USLE R değerine göre, baraj gölünden uzaklaştıkça erozyonun artması beklenmektedir. K değerine yani, toprak duyarlılığına göre ise havza ortasında Müsellim ve Kuyubaşı köyleri güneyinde ve Mahye Tepesi civarında erozyonun şiddetli olması gerekir. Topografyaya göre krater çıkışlarındaki vadi yamaçlarında erozyonun fazla olması gerekir. Bitki örtüsüne göre ise baraj gölü doğusundaki kırgıbayır alanları şiddetli erozyon alanı olarak görülmektedir.

Yıllık ortalama toprak kayıpları USLE eşitliğine göre elde edilen R,K,LS ve C haritalarının çarpımı sonucunda hesaplanmıştır (Şekil 11).



Şekil : 11 – USLE eşitliğinin elde edileme şeması

Bunların hepsi birleştirildiğinde (Harita 26), erozyonun şiddetli olduğu alanlar şöyle sıralanmaktadır.

Ankara-İstanbul otoyolu doğusu havzada erozyon açısından bir hat çizmekte ve doğusunda erozyon artarken, batıda erozyon azalmaktadır.

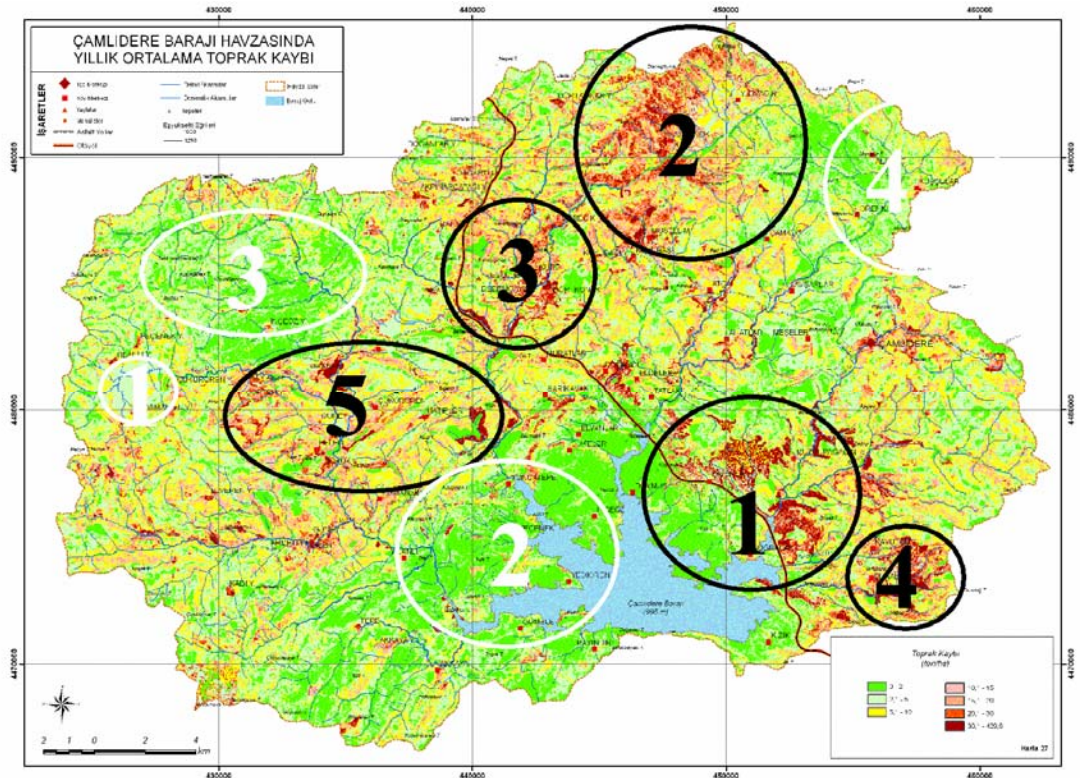
Baraj gölü doğusundaki kırgıbayır alanları şiddetli erozyon alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun nedeni bu alanlarda bitki örtüsünün tahrip edilmesidir. Yani bu alanlarda USLE C değeri belirleyici olmuştur (Harita 27 – Siyah 1).

Ovacık Kraterinin batı yamaçları erozyonun şiddetli olduğu alanlar içerisinde. Bunda hem topografyanın (LS) hem de R değerinin etkisi belirleyici olmuştur (Harita 27 – Siyah 2).

Ovacık Krateri çıkışı şiddetli erozyon alanıdır. Bunda belirleyici olan faktör topografyadır (Harita 27 – Siyah 3).

Havza güneyinde, baraj gölü doğusunda Elmalı ve Kavutçu köyleri civarı erozyonun şiddetli olduğu diğer bir alandır ve burada topografik şartlar, toprak duyarlılığı ve R değeri etkili olmuştur (Harita 27 – Siyah 4).

Otoyolun batısında Özmuş, Çukurören ve Hatipler köyü civarında da sürekli olmayan fakat şiddetli erozyon alanları bulunmaktadır (Harita 27 – Siyah 5). Bu alanlarda erozyonun fazla olması toprak şartları haricindeki tüm faktörlerin yerel olarak erozyonu artırmasından kaynaklanmaktadır. Ama en büyük etki özellikle bu alandaki faylara bağlı olarak LS değerinin yüksek olmasıdır.



Erozyonun az olduğu alanlardan ilki Yaylalar Krateri tabanıdır. Çünkü bu alanda eğim oldukça düşüktür (Harita 27 – Beyaz 1).

Baraj gölünün doğusu haricindeki tüm çevresi erozyon açısından tehlikesiz alandır. Bunun nedeni bu alanda LS değerinin düşük olması ve toprak duyarlılığının az olmasıdır (Harita 27 – Beyaz 2).

Havza kuzeybatısı da erozyon açısından tehlikesiz alanlar içerisindedir. Bu alanda bitki örtüsünün yoğun olması erozyonu azaltmaktadır (Harita 27 – Beyaz 3).

Ayrıca Alakoç ve Örenköy civarı da erozyonun az olduğu diğer bir alandır. Bunun nedeni de bu alanda toprak duyarlılığının az olmasıdır (Harita 27 – Beyaz 4).

Havzada erozyonu etkileyen iki ana etmen bitki örtüsü ve topografyadır. Toprak duyarlılığı 0,01 ile 0,3 arasında değiştiği için yüksek belirleme gücüne sahip değildir. Fakat C değeri yani bitki örtüsü 0 ile 1 arasında değişmekte ve belirleyiciliği artırmaktadır. Yine LS yani topografyanın etkisi de 50 gibi yüksek değerlere ulaşabilmektedir.

Havzada yıllık ortalama toprak kaybı 530.000 ton olarak hesaplanmıştır (Ortalama 7,3 ton/ha). Türkiye’de ortalama yıllık toprak kaybı 6,5 ton/ha olarak alındığında, havzadaki toprak kaybının Türkiye ortalamasının biraz üstünde olduğu anlaşılmaktadır.

Havzada 10 tonun üzerinde toprak kaybı olan yerlerin oranı, % 21 civarındadır. 5 tonun altında toprak kaybı olan yerler ise havza alanının % 56’sına denk gelmektedir (Tablo 20).

Toprak Kaybı (ton/ha).	Alan km ²	%	Birikimli % (Ters).
0 – 2	178	25	100
2,1 – 5	226	31	75
5,1 – 10	170	23	44
10,1 – 15	68	9	21
15,1 – 20	32	4	11
20,1 – 30	27	4	7
30,1+	21	3	3
Toplam	722	100	0

Tablo : 20 – Havzada yıllık ortalama toprak kayıplarına göre alanlar

Çok şiddetli toprak kaybının olduğu yerler havzanın % 10'u civarındadır. Havzada 2-5 ton arasında toprak kaybı olan yerler oldukça geniştir.

Havzada kaybolan toprakların 180.000 tonu orman alanlarından erozyona uğramaktadır. Orman alanlarından bu kadar yüksek erozyon miktarının olması, orman alanlarının geniş olmasından ve topografyanın erozyona müsait olmasından kaynaklanmaktadır (Tablo 21).

Arazi	Alan (km2)	Ortalama (ton/ha)	Toprak Kaybı (ton/yıl)	Toprak Kaybı %	Birikimli %
Taşlık	7	0	0	0	0
İskan	10	15	15354	3	3
Kırgıbayır	24	34	83018	16	19
Ziraat	97	10	100436	19	38
Mera	206	7	149732	28	66
Orman	377	5	180874	34	100
Toplam	722	7,3	529272	100	0

Tablo : 21 – Arazi örtüsüne göre toprak kayıpları

Toplam toprak kaybının en fazla olduğu alanlar, ormanlardan sonra, meralar, ziraat alanları ve bitki örtüsünden mahrum, kırgıbayır alanlarıdır. Bu kırgıbayır alanları yıllık ortalama toprak kaybı 34 ton/ha gibi bir değerle çok şiddetli erozyon alanları içindedir (Tablo 21). Bu alanlar havzanın % 3,4 'ünü kaplamasına rağmen toplam erozyonun % 16'sı bu alanlardan kaynaklanır. Bu alanlar şiddetli erozyonun görüldüğü en geniş yerlerdir (Tablo 22).

Sınıflar	kırgıbayır	iskan	ziraat	mera	orman	toplam	toplam
0-2	169,4	817,5	1.547,2	4.542,3	10.833,3	17.910	alan (ha)
0-2	0,2	1,1	2,1	6,3	15,0	25	oran %
2,1-5	309,3	157,4	2.322,3	5.698,4	14.037,2	22.525	alan (ha)
2,1-5	0,4	0,2	3,2	7,9	19,5	31	oran %
5,1-10	283,7	187,3	2.257,6	5.399,1	8.744,8	16.873	alan (ha)
5,1-10	0,4	0,3	3,1	7,5	12,1	23	oran %
10,1-15	193,2	181,2	1.369,8	2.501,4	2.548,3	6.794	alan (ha)
10,1-15	0,3	0,3	1,9	3,5	3,5	9	oran %
15,1-20	185,8	127,2	830,6	1.191,4	894,9	3.230	alan (ha)
15,1-21	0,3	0,2	1,2	1,7	1,2	4	oran %
20,1-30	312,7	139,5	824,8	937,2	491,1	2.705	alan (ha)
20,1-31	0,4	0,2	1,1	1,3	0,7	4	oran %
30,1+	975,9	124,5	552,9	348,1	100,2	2.102	alan (ha)
30,1+	1,4	0,2	0,8	0,5	0,1	3	oran %
toplam	2.430	1.735	9.705	20.618	37.650	72.137	alan (ha)
toplam	3	2	13	29	52	100	%

Tablo : 22 – Toprak kaybı sınıfları ve arazi örtüsüne göre dağılışı

Ziraat alanlarında yıllık ortalama 10 ton/ha toprak, erozyonla taşınmaktadır. Bu değer, toprak toleransı 5 ton alındığında oldukça yüksektir. Ziraat alanları, havzanın % 13'ünü oluşturmalarına rağmen toplam erozyonun % 19'u bu alanlardan kaynaklanmaktadır (Tablo 21, 22).

Yıllık ortalama toprak kaybının yüksek olduğu diğer yerler yerleşmelerdir. Fakat bu alanlar havzadaki toplam toprak kaybı açısından çok önemli bir yere sahip değildir. Çünkü havzanın ancak % 2'sini oluşturur ve toplam erozyonun da % 3'ü bu alanlardan meydana gelir.

Havzada orman alanlarından oluşan toprak kaybının üçte biri meşe alanlarından erozyona uğramaktadır. Bunda alanın geniş olması ve meşelerin bozuk baltalık şeklinde olmasının büyük etkisi vardır.

Arazi	Alan (km ²)	Ortalama (ton/ha)	Toprak Kaybı (ton/yıl)
Karaçam-Kavak	2	5	1064
Sarıçam-Karaçam	7	3	2023
Kavak	6	10	5479
Gökmar	8	10	8070
Sarıçam-Gökmar	72	4	28150
Karaçam	81	4	34218
Sarıçam	88	5	44671
Meşe	113	5	57198
Toplam	377	5	180874

Tablo : 23 – Orman alanlarındaki toprak kayıpları

Yıllık ortalama toprak kaybı orman alanlarında genellikle düşüktür (Tablo 23). Bu erozyonu da doğal erozyon sınıfına koymak gerekir. Fakat kavak ve özellikle saf gökmar ormanı alanlarında yıllık ortalama toprak kaybı 10 ton/ha civarındadır. Çünkü bu alanlar, özellikle gökmar alanları havzanın en yüksek yerleridir ve hem R değeri hem de LS değerleri bu yerlerde oldukça yüksektir.

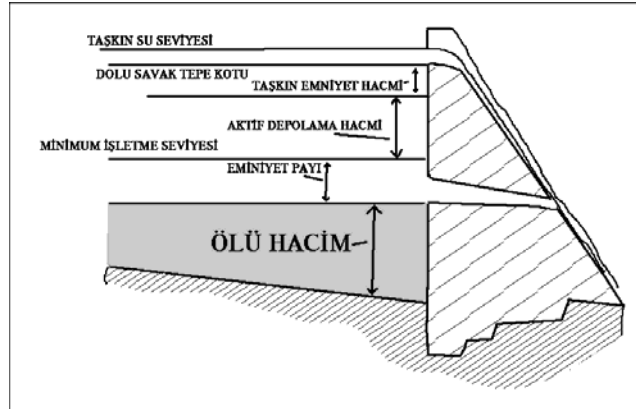
Karışık meşcerelerde de yıllık ortalama toprak kaybı miktarı düşmektedir.

B. BARAJ ÖMRÜ

Akarsular üzerinde içme, kullanma, tarım ve endüstrinin su ihtiyaçlarını karşılama, enerji üretimi, taşkın kontrolü gibi çok çeşitli amaçlarla barajlar ve göletler yapılmaktadır. Hangi amaca yönelik olursa olsun, sedimantasyon bilgisinin azlığından dolayı bu yapıları besleyen akarsuların getirdiği kum, silt, kil ve çakıl gibi katı maddeler baraj göllerini doldurmakta, depolama kapasitelerini azaltmakta ve bunun sonucu olarak barajların ekonomik ömürleri kısalmaktadır. Bu konu, yarı kurak bir iklimin egemen olduğu ve bununla birlikte karmaşık bir topografik yapıya sahip olan ülkemizde son derece önem kazanmaktadır (Seyrek vd., 2006).

Bu nedenle baraj ve diğer yapıların inşasına karar vermeden önce bunların verimliliklerinin bilinmesi gerekir. Verimlilik kapsamında düşünülebilecek baraj ömrü hesaplamalarının sağlıklı bir şekilde yapılması, karar aşamasında oldukça etkili olacaktır.

Baraj ömrü genelde ölü hacim ile ilişkilidir. Bir baraj için ölü hacim, hazne tabanında katı maddelerin birikmesi için ayrılan kısımdır (Aküzüm ve Öztürk, 1996).



Şekil : 12 - Baraj haznesinin kısımları (Aküzüm ve Öztürk, 1996).

Ölü hacim taşınan çakıl, kum, kil, silt ile dolduğu zaman barajın ekonomik ömrünün bittiği anlamına gelir (Şekil 12). Bu nedenle ölü hacmi

dolduracak materyalin ne kadar sürede taşınacağı hesaplanırsa barajın ekonomik ömrü hesaplanmış olacaktır.

Ölü hacim DSİ tarafından,

$V_o = Y * r * Ad$ olarak hesaplanmaktadır. Burada Y baraj için biçilen ekonomik ömrü, r yıllık sediment verimini ($m^3/km^2/yıl$), V_o ise ölü hacmi ifade etmektedir (DSİ, 2000).

Bu çalışmada Çamlıdere Barajının ölü hacmi,

$\bar{O}h = (SYy - OSYy) * SYa$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır (Burada, $\bar{O}h$ - ölü hacmi, SYy - Su yapısı kotu yükseltisi, OSYy - Su Yapısı kotuna bağlı olarak oluşturulan hayali gölün ortalama yükseltisi, SYa ise, Su Yapısı kotuna bağlı olarak oluşturulan hayali gölün alanını ifade etmektedir. Hesaplarda aynı birim kullanılmalıdır, metre, metrekare, metreküp)

Buna göre barajın hacmi 95 hm^3 olarak hesaplanmıştır.

Baraja toplam 716.000 ton toprak taşındığı kabul edilmiştir ($530.000 * 1,35 = 715,5 \text{ ton/yıl}$). Bu toprağın hacim ağırlığı 1,6 alınmıştır (Akalan, 1987).

Buna göre toprak hacmi ve sediment iletim oranlarına bağlı olarak hesaplanan baraj ömürleri aşağıda sunulmuştur.

SİO	Kullanım Şekli	Top. Toprak Kay. (ton/yıl).	SİO'lu Topr. Kaybı (Ton/yıl)	Toprak Hacmi $m^3/yıl$
Ferro vd (1998).	SİO Haritası	529.272	482.939	301.837
USDA (1972)	SİO Haritası	529.272	276.569	172.856
Vanoni (1975)	SİO Haritası	529.272	203.239	127.024
Boyce (1975)	SİO Haritası	529.272	168.432	105.270
Renfro (1975)	SİO Haritası	529.272	144.314	90.196

Tablo : 24 – SİO eşitliklerine göre baraja taşınan toprak miktarları

SİO	Toprak Hacmi $m^3/yıl$	USLE + % 35 ($m^3/yıl$)	Hacim hm^3	Baraj Ömrü (Yıl)
Ferro vd. (1998)	301.837	407.480	0,41	233
USDA (1972)	172.856	233.355	0,23	407
Vanoni (1975)	127.024	171.483	0,17	554
Boyce (1975)	105.270	142.115	0,14	668
Renfro (1975)	90.196	121.765	0,12	780

Tablo : 25 – SİO eşitliklerine Çamlıdere Barajının ömürleri

KAYNAKÇA

Akalan, İ., 1987, Toprak Bilgisi, A.Ü. Ziraat Fakültesi Yay. No:1058, Ders Kitabı:309, Ankara

Aküzüm, T., Öztürk, F., 1996, Topraksu Yapıları (Genişletilmiş II. Baskı), A.Ü. Ziraat Fak. Yayınları No: 1448, Ders Kitabı: 428, Ankara

Altun, İ.E., Kadıncık, G., Aksay, A., 2002, 1:100.000 Ölçekli Bolu H28 Paftası, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara

Anonim, 1991, Orman Amenaj Planlarının Düzenlenmesi, Uygulanması, Denetlenmesi ve Yenilenmesi Hakkında Yönetmelik, Tarım, Orman ve Köyişleri Bak. Orman Gen. Müd., Ankara

Anonim, 2005, Çölleşme ile Mücadele Türkiye Ulusal Eylem Programı, Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları No: 250, Ankara

Ardel, A., Kurter, A., Dönmez, Y., 1969. Klimatoloji Tatbikatı. İÜ Yay. No: 1123. İstanbul.

Bagerello, V., Ferro, V., 1999. Assessment of Soil Erosion. CIGR Handbook of Agricultural Engineering Vol:1. Land And Water Engineering. (H.N. VAN LİEReditör).,ASAE.St.Joseph,MI,s.153-184

Bahtiyar, M., 2006, Su Erozyonun Oluşumu ve Nedenleri, (tema.org.tr /trcevre_kutuphanesi/erozyon/pdf/ToprakErozyonuOlusumuNedenleri.pdf)

Balcı N., Ökten, Y., 1987, Sel Kontrolü, KTÜ Basımevi, Trabzon

Bayramin, Ü., Dengiz, O., Başkan, O., M. Parlak. 2003. "Soil erosion assessment with Icona Model Case Study: Beypazarı Area." Volume: 27, Number: 2, 105-116. T.BÜTAK.

Bilginer, E., Pehlivan, Ş., Aksay, A., 2002, 1:100.000 Ölçekli Bolu G29 Paftası, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara

Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ., Savşçı, S., Paslı, N., 2001, Ekoloji – II Toprak, Başkent Klşe Matbaacılık, Ankara

Boyce, R.C., 1975. Sediment routing with sediment delivery ratios. Present and Prospective Technology for ARS. USDA, Washington, D.C.

Cambazoğlu, M.K., Göğüş, M., 2004, Sediment Yield of Basin in the Western Black Sea Region of Turkey, Turkish J. Eng. Env. Sci.28, TUBİTAK., Ankara

Cebel, H., 2006, Üniversal Eşitlik ile Toprak Kayıplarının Belirlenmesi, Köy Hizmetleri Genel Müd. Yay. Ankara, (Baskıda)

Cooke, U.R., ve Doornkamp, J.C., 1990, Geomorphology In Environmental Managemant, Clarendon Press, Oxford

Çanga, M.R. 1985. Toprak ve Su Koruma. A.Ü.Ziraat Fak.Yayınları No: 1386, Ders Kitabı No:400.

Çeliker, A., Anaç, H., 2005 , Erozyon, Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü

Çiçek, İ., (2001a) Türkiye’de Mevsimlere Göre Yağış Şiddetleri ve Sınıfları”, A.Ü. Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi, Sayı:8, Ankara.

Çiçek, İ., (2001b) “Türkiye’de Günlük Yağış Şiddetleri ve Sınıfları”, A.Ü. Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi, Sayı:8, Ankara.

Da Yuang, Bartholic J., 2005, Predicting Sediment Delivery Ratio In Saginaw Bay Watershed, Ins. Of Water Research, Michigan

Doğan, O., Güçer, Ç., 1976. Su Erozyonunun Oluşum Nedenleri Ve Üniversal Denklem İle Toprak Kayıplarının Saptanması. T.C. Köyşleri Bakanlığı Yayın No: 41, Ankara.

Doğan, O., Küçükçakar, N., 1986, Toprak ve Su Muhafazası Araştırmalarında Yüzey Akış ve Toprak Kayıplarının Belirlenmesi Talimatı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Yay., Ankara

Doğan, O., 1987,. Türkiye Yağışlarının Erozyon Oluşturma Gücü Ve Üniversal Toprak Kaybı Eşitliğinin Yağış Erozyon İndeks Değerleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No:220, Rapor Yayın No:R-120, Ankara, S. 211

Doğan, O., Küçükçakar, N.,1989a. Su Erozyonuna Karşı Toprakların Korunması. Köy Hizmetleri Ankara Ar.Ens.Md.Yay.No:158, Çiftçi Yay.No:15

Doğan, O., Küçükçakar, N., 1989b. Erozyon Kontrolünde Basit Yöntemle Teras Yapımı. Köy Hizmetleri Ankara Ar.Ens.Md.Yay.No:161, Çiftçi Yay.No:18.

Doğan. O., 1995. Türkiye’ de Toprak Kaynakları, Sorunlar Ve Çözümler. Standart Çevre S. 73-79, Ankara.

Doğan, O., Küçükçakar, N., 1996, Ankara Şartlarında Üniversal Toprak kaybı eşitliği Parametreleri, KHGM Ank. Arş. Ens. Müd. Genel Yay. No:203, Ankara

Doğan, O., Özel M.E., Yıldırım H., Küçükçakar N., 2000a, Erosion risk mapping of Dalaman Basin located in west Mediterranean Region using CORINE method. Proceedings of International Symposium on Desertification. Konya-Turkey, ss.125-129.

Doğan, O. ve Küçükçakar, N., Cebel, H., Akgül, S.,2000b, Türkiye Büyük Toprak Gruplarının Erozyona Duyarlılık "K" Faktörleri, Köy Hizmetleri Genel Müd. Yay. No:111, Ankara

Doğan,O., 2002. Türkiye Yağışlarının Erozyon Oluşturma Gücü Ve Üniversal Toprak Kaybı Eşitliğinin Yağış Erozyon İndeks Değerleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No:220, Rapor Yayın No:R-120, Ankara, S. 211.

DSİ, 2000, Hidroloji Seminerleri, Etüt ve Plan Dairesi Başkanlığı, İstanbul

Erinç, S., 1996, Klimatoloji Metotları, Çantay Kitbevi, İstanbul

Erinç, S., 2000. Jeomorfoloji I, Der Yayınları, İstanbul.

Erinç, S., 2001. Jeomorfoloji II, Der Yayınları, İstanbul.

Erol, O., 2000, Genel Klimatoloji, Ankara

Erpul, G., 2006, Su Erozyonu Tahmin Modelleri Dersi Notları (Yüksek Lisans), Basılmamış, Ankara

Erpul, G., Erdoğan., E., 2005, Erozyon Uygulamaları Ders Notları, A.Ü. Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü

Ferro, V., Bagarello., V., Stefano, C.Di., Giordano, G., Porto., P., 2001, Monitoring And Predicting Sediment Yield In A Small Sicilian Basin, American Society of Agricultura Engineers, Vol:44 pp585-595

Flanagan, D.C., Nearing, M.A., 1995, Water Erosion Prediction Project Hillslope Profile And Watershed Model Documentation, USDA

Flanagan, D.C., Nearing, M.A., 1995, WEPP Erosion Model, National Soil Erosion Research Laboratory, 1196 Building SOIL, West Lafayette, IN 47907-1196 USA

Fournier, F., 1960, Climat et Erosion, Universitaires de France, Paris

Hat A.Ş., 2002, Uzaktan Algılama (Microimage TNT Mips Uygulamaları), Ankara

Hay, B.J., 1994, "Sediment and water discharge rates of Turkish Blacksea Rivers before and after hydropower dam construction", *Enviromental Geology*, S.23, s.276-283, Massachusetts

Hickey, R., 1994, Slope Length Calculations From a DEM Within Arc/Info Grid, *Comput. Environ. And Urban Systems*, Vol:18, No:5, pp 365-380

İrvem, A. Tülücü, K., 2001. Coğrafi Bilgi Sistemi İle Toprak Kaybı Ve Sediment Verimi Tahmin Modelinin (EST) Oluşturulması Ve Seyhan Körkûn Alt Havzasına Uygulanması, Adana

Kacar, B.... Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri:III Toprak Analizleri, A.Ü. Ziraat Fak. Eğit., Araş. ve Geliş. Vakfı Yay. No:3, Ankara

Kalin, L., 2003, Evaluation of Sediment Transport Models and Comparitive Application of Two Watershed Models, National Risk Management Research Laboratory,

Kinnell P.I.A., 2000, "AGNPS-UM: applying the USLE-M within the agricultural nonpoint source pollution model" *Environmental Modelling&Software*, 15 (2000) 331-341, Australia

Kinnell, P.I.A., 2001. „Slope Length Factor For Applying The USLE-M To Erosion İn Grid Cells". *Soil Till. Res.*, 58: 11–17.

Kinnell, P.I.A., 2005. "Why The Universal Soil Loss Equation And The Revised Version of İt do not Predict Event Erosion Well", *Hydrol. Process.* 19, 851–854

Kinnell, P.I.A., Risse, L.M., 1998. "USLE-M: Empirical Modelling Rainfall Erosion Through Runoff And Sediment Concentration." *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 62, 1667–1672.

Korkmaz, N., 1981, "Drenaj Alanlarında Yağış Miktarının Değişimine Tesir Eden Faktörlerin Araştırılması", *DSİ Teknik Bülten.* Sayı:48, ss:15-23

Lal, R.,1988, Soil Erosion Research Methods, Soil and Water Conservation Society, Netherland

Mater, B., 1987, Toprak Oluşumu, Erozyonu, İzmir

Molnar, D.K. , Julien, P.Y., 1998. Estimation Of Upland Erosion Using GIS. *Computer And Geosciences*, 24(2): 183-192.

Moore, I.D., Burch, G.J., 1986. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 1294-1298

Munsuz, N., 1982, Toprak-Su İlişkileri, A.Ü.Ziraat Fakültesi Yay. No:798, Ders Kitabı:221, Ankara

Nearing, M.A., 1997, A Single Continuous Function for Slope steepness Influence on Soil Loss, Soil Science Society of American Journal 61, 917-919

Özcan, U., Başaran, M., Erdoğan, E., Baysal, M. ve Pekin U., 2006, “Çankırı İndağı Bölgesindeki Farklı Arazi Kullanım Türlerinde Usle Yöntemi Kullanılarak Toprak Erozyonu Risk Değerlendirilmesi”

Özhan, S., Balcı, N., Özyuvacı, N., Hızal, A., Gökbülak, F., Serengil, Y., 2005. Cover And Management Factors For The Universal Soil-Loss Equation For Forest Ecosystems İn The Marmara Region, Turkey. Forest Ecology And Management, 214: 118-123.

Öztürk, F., 1997, Sakarya Havzasında Akarsu Debisi ile Sediment Miktarı Arasındaki İlişkiler, A.Ü. Ziraat Fak. Yayın No:1489, Bilimsel İncelemeler No:816, Ankara

Öztürk, F., Okman, C., 1987, Su Toplama Havzalarında Meydana gelen Sediment Miktarının Saptanmasında Kullanılan Yöntemlerin Ova Çayı Eybek Havzasında Uygulanması ve Karşılaştırılması, A.Ü. A.F. Yıllığı, Cilt:37, Fas:2, Ankara

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool D.K., Yoder, D.C., 1996, Predicting soil erosion by water. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Agriculture Handbook 703

Renfro, G.W., 1975, Use Of Erosion Equation and Sediment Delivery Ratios for Predicting Sediment Yield. In Present and Prospective Technology for Predicting Department of Agriculture, Washington D.C.

Richter G.J., Negendak, F. W.. 1977. Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle river. Earth Surface Processes 2:261-278.

Rinos, M.H., Aggarwal, S.P., Ranjith Premalal, D.S., 2005, Application of Remote Sensing and GIS on Soil Erosion Assessment at Bata River Basin, India, Water Resources Division, ([www.gisdevelopment.net\application\Natural Hazard Management](http://www.gisdevelopment.net/application/Natural%20Hazard%20Management))

Sarı, M., 2005, Toprak Erozyonuna Farklı Bir Bakış, ([tema.org.tr /trcevre_kutuphanesi/erozyon](http://tema.org.tr/trcevre_kutuphanesi/erozyon))

Seyrek, K., Dinçsoy Y., Hatipoğlu, M., 2006, İvriz Baraj Havzasında Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Erozyon Risk Haritasının Hazırlanılması, DSİ Bülteni, Ankara (Baskıda)

Strahler, A. 1996, Introduction to Physical Geography, New York

Sür, Ö., 1994, “Türkiye’de Volkanizma ve Volkanik Yerçekilleri”, A.Ü. T.Coğrafyası Araş. Ve Uygulama Merkezi Der. Sayı:3 ss: 29-52, Ankara

Svetla. Rousseva, Asen Lazarov, Vihra Stefanova, Ilia Malinov, 2006, Soil Erosion Risk Assessments in Bulgaria,

Toy, T.J., Foster, G.R., 1998. In J.R. Galetovic(Ed) Guidelines For The Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle) Version 1.06 On Mined Lands, Construction Sites, And Reclaimed Lands. The Office Of Technology Transfer Western Regional Coordinating Center Office Of Surface Mining 1999 Broadway, Suite 3320 Denver,CO 80202-5733.

USDA, 1972. Sediment sources, yields, and delivery ratios. National Engineering Handbook, Section 3 Sedimentation.

Vanoni, V.A., 1975. Sedimentation Engineering, Manual and Report No. 54. American Society of Civil Engineers, New York, N.Y.

Wall, G.J., Coote, D.R., Pringle, E.A., ve Shelton, I.J., 1997, Revised Universal Soil Loss Equation for Application in Canada, Agriculture, Agri-Food Canada, Canada

Wall, G.J., Coote, D.R., Pringle, E.A.,Shelton, I.J. 1997, Revised Universal Soil Loss Equation forApplication in Canada

Williams, J.R., 1975. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources. ARS.S-40 US Gov. Print Office, Washington, DC

Williams, J.R. and Berndt, H.D., 1972, “Sediment YieldComputed with Universal Equation”, Journal of the Hydraulic Division.proceedings of American Society of Civil Engineers, 98, 2087-2098

Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1965. Predicting Rainfall Erosion Losses From Cropland East Of The Rocky Mountains: Guide For Selection Of Pratices For Soil And Water Conservation Planning. USDA, Agricultural Handbook. U.S. Government Printing Office, Washington, DC., Pp. 282.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses–A Guide For Conservation Planning. USDA, Agricultural Handbook. U.S. Government Printing Office, Washington, DC., Pp. 537.

Yurdakul, M., Keçer, M., 1998, Ankara İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, MTA Rapor No:10069, Ankara

Yürür, M.T., Temel, A., Köse, O., 2002, “Galatya Volkanik Bölgesinin Sınırındaki Kabuk Açılmasına Ait Veriler”,Türkiye Jeoloji Bülteni,Cilt 45, Sayı:1, Ankara

Yılmaz, Erkan, The Erosion Problem in Çamlıdere Dam Lake Basin and Risk Analysis, Master's Thesis, Advisor: Assoc.Prof. İhsan Çiçek, 98p.

SUMMARY

USLE (Universal Soil Loss Equitation) was used in this research which has been prepared for determining amount and intensity of erosion at the Çamlıdere Dam Basin. We used precipitation data for calculating Fournier Index which are belong the meteorological station neighborhood the dam lake basin. Then we calculated USLE R factor. USLE K factor was calculated form the data which belong the sample form the dam lake basin. And USLE LS factor was calculated form the DEM digitalized from the map which was prepared by HGK (General Command of Mapping - Turkey).

USLE was calculated by determined factors R.K.LS.C. (The P factor was not used.) Then we realized the USLE map and determined the hazard region. We used the topographic map which was produced before building the dam for calculating dam dead volume. So we could calculate the dam economic life.

The determined results show that there is 716.000 ton/ha soil loses in the dam lake basin. This lose is % 34 from the forests that has different characters. % 28 soil loss from pasture lands when % 19 loses from agriculture lands and % 15 from badlands. The fast soil lose is from badlands (34 ton-m/ha). A rural area is follow the badlands with 15 ton-m/ha soils lose.

We used the USLE results and sediment delivery ratios results for calculating the dam lake productivity life and obtained 5 different lives. According to Bagerello and Ferro (1999) the life is 233 years when USDA (1972) SDR shows 407 years. Calculated with Vanoni (1975) SDR, the life is 554 years when Boyce (1975) and Renfro (1975) SDR show 668 and 780 years.

Yılmaz, Erkan, Çamlıdere Barajı Havzasında Erozyon Problemi ve Risk Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Tez danışmanı: Doç. Dr. İhsan Çiçek, 98s.

ÖZET

Çamlıdere Barajı Havzasında erozyonun miktarının ve şiddetinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, Üiversal Toprak Kayıpları Eşitliği kullanılmıştır (Wischmeier, ve Smith 1978). Bu bağlamda havzadaki ve çevredeki meteoroloji istasyonlarına ait yağış değerlerinden Fournier (1960) İndeksi kullanılarak erosif güç yani USLE R faktörü hesaplanmıştır. Havzadan alınan toprak örneklerinin analizleriyle toprak duyarlılık faktörü yani USLE K faktörü belirlenmiştir. Harita Genel Komutanlığından elde edilen 1:25.000 ölçekli topografya haritalarından havzanın topoğrafik özellikleri çıkartılmış ve USLE LS değeri hesaplanmıştır. Orman Genel Müdürlüğünden alınan meşcere haritasına bağlı olarak USLE C faktörü yani arazi örtüsü faktörü oluşturulmuştur.

Elde edilen değerler USLE eşitliğine bağlı olarak değerlendirilmiş ve havzadaki erozyonun şiddeti ve miktarı belirlenmiştir. Ayrıca baraj yapımından önceki topografya haritasından elde edilen bilgilere ve barajın su alma yapısının özelliklerine bağlı olarak, ölü hacim hesabı yapılarak, barajın ekonomik ömrü hesaplanmaya çalışılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre havzada yılda 716,000 ton toprak kaybolmaktadır. Bunun % 34'ü orman alanlarından, % 28'i meralardan, % 19'u tarım alanlarından, % 16'sı kırgıbayır (badlands) alanlarından, % 3'ü de yerleşme alanlarından kaynaklanmaktadır. Erozyonun en şiddetli olduğu yerlerin başında 34 ton/ha ile kırgıbayır alanları gelmektedir. Bunu 15 ton ile yerleşme alanları, 10 ton ile tarım alanları, 7 ton ile mera alanları ve 5 ton ile de orman alanları takip etmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre, barajın ekonomik ömrü 5 farklı sediment iletim oranına belirlenmiştir. Buna göre barajın ekonomik ömrü, Ferro (1998)'e göre 233 yıl, USDA (1972)'ye göre 407 yıl, Vanoni (1975)'e göre 554, Boyce (1975)'e göre 668 yıl, Renfro (1975)'e göre ise 780 yıl olarak hesaplanmıştır.