

MADRA BARAJI HAVZASINDA EROZYON ANALİZİ

MURAT FIÇICI

ARTİKEL AKADEMİ: 374

Madra Barajı Havzasında Erozyon Analizi
Murat FIÇICI

Ardahan Üniversitesi, İnsani Bilimler ve Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü
<https://orcid.org/0000-0003-1508-7738>

Editör:
Doç. Dr. Cengiz KAHRAMAN
<https://orcid.org/0000-0003-0272-649X>

ISBN 978-625-5674-13-5

Birinci Basım: Ekim - 2025

Ofset Hazırlık: Artikel Akademi

Baskı ve Cilt: Uzunist Dijital Matbaa Anonim Şirketi
Akçaburgaz Mah.1584.Sk.No:21 / Esenyurt

Matbaa Sertifika No: 68922

Artikel Akademi bir Karadeniz Kitap Ltd. Şti. markasıdır.

©Karadeniz Kitap - 2025

Akademik etik kurallara
bağlı kalınarak yapılacak olan alıntılar ve tanıtım maksadıyla yapılacak
olan kısa alıntılar dışında, yazılı izni alınmadan, tümünün veya bir
kısımının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla, basımı, yayımı,
kopyalanması, çoğaltımı veya dağıtımı yapılamaz.

KARADENİZ KİTAP LTD. ŞTİ.
Koşuyolu Mah. Mehmet Akfan Sok. No:67/3 Kadıköy-İstanbul
Tel: 0 216 428 06 54 // 0530 076 94 90

Yayıncı Sertifika No: 19708
mail: info@artikelakademi.com
www.artikelakademi.com

MADRA BARAJI HAVZASINDA EROZYON ANALİZİ

MURAT FIÇICI

artikol
akademi

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	17
1. GİRİŞ	19
AMAÇ VE KAPSAM	21
MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
KONU ve ÇALIŞMA SAHASINA AİT LİTERATÜR	27
TOPRAK EROZYONU ve TOPRAK EROZYONUNUN HESAPLANMASINDA KULLANILAN EŞİTLİKLER.....	33
Toprak Erozyonunun Tarihçesi	36
Toprak Erozyonu Üzerine Kurulan İlk Eşitlikler	37
2. MADRA BARAJI HAVZASI'NDA TOPRAK EROZYONUNU ORTAYA ÇIKARAN PARAMETRELER.....	43
2.1. Anakaya Faktörü.....	44
2.1.1 Kayaç Günlenmesi	44
2.1.1.1. Doğrudan çökelme	46
2.1.1.2. Çözme ve Yıkama (Leaching)	46
2.1.1.3. Fırlatma (Ejecta)	47
2.1.2. Madra Barajı Havzası'nın Jeolojik Yapısı	47
2.1.2.1. Kristalize Kireçtaşı (Paleozoik-Üst Permien).....	48
2.1.2.2. Metamorfik Şistler (Alt Trias).....	48
2.1.2.3. Metavolkanitler (Alt Trias)	49
2.1.2.4. Granodiyorit (Tersier)	49
2.1.2.5. Andezit, Tüf, Lahar (Tersier)	53
2.1.2.6. Aglomera (Tersier)	53
2.1.2.7. Bazalt (Pleistosen)	53

2.1.2.8. Alüvyon (Kuaterner).....	54
2.1.3. Madra Barajı Havzası'nı Meydana Getiren Litolojik Yapının Yıl İçindeki Günlenme Durumu.....	55
2.1.4. Madra Barajı Havzası'nda Ana Kayaç Gruplarının Eğim, Yağış Eroziyon Faktörü ve Yükselti İlişkileri.....	66
2.1.4.1. Ana Kayaç Gruplarının Eğim Gruplarına Dağılımı.....	67
2.1.4.2. Ana Kayaç Gruplarının Yağış Eroziyon Faktörü ve Yükselti Kademelerine Göre Durumu.....	68
2.2. Yağış Eroziyon Faktörü.....	71
2.2.1. MPSIAC Yağış Eroziyon Faktörü.....	78
2.3. Topografya Faktörü.....	80
2.3.1. Madra Barajı Havzası'nda Jeomorfolojik Birimlerin Dağılımı ..	80
2.3.1.1. Dağlık Araziler.....	81
2.3.1.2. Plato Yüzeyleri.....	86
2.3.1.3. Kozak Ovası.....	88
2.3.2. MPSIAC Topografya Faktörü.....	89
2.4. Drenaj Özellikleri.....	95
2.4.1. Madra Barajı Havzası Akarsularının Morfometrik Özellikleri ..	95
2.4.1.1. Çatallanma Durumu.....	96
2.4.1.2. Drenaj Yoğunluğu.....	97
2.4.1.3. Akarsu Sıklığı.....	99
2.4.1.4. Tekstür Oranı.....	100
2.4.2. Madra Baraj Göleti.....	101
2.4.3. MPSIAC Drenaj Yoğunluk Faktörü.....	105
2.5. Toprak Erodiyibilite Faktörü.....	108
2.5.1. Açıklama.....	109
2.5.1.1. Toprak reaksiyonu (pH):.....	109
2.5.1.2. Toprak bünyesi:.....	109
2.5.1.3. Organik madde:.....	110
2.5.1.4. Katyon değişim kapasitesi (KDK):.....	85
2.5.2. Foster Eşitliğine Göre MPSIAC Yönteminde Madra Barajı Havzası Topraklarının Erodiyibilite Durumu.....	116
2.6. Arazi Yüzey Kapalılık Oranı.....	120

2.7. Arazi Örtüsü ve Kullanımı Faktörü (C).....	126
2.8. Yüzey Erozyon Faktörü.....	130
2.8.1. Bileşik Topografik İndeks (Compound topography index).....	130
2.8.2. MPSIAC Yüzey Erozyon Faktörü.....	132
2.9. Oyuntu Erozyon Faktörü.....	134
2.9.1. Akış Gücü İndeksi (Stream power index).....	134
2.9.2. MPSIAC Kanal Erozyon Faktörü.....	136

3. MPSIAC YÖNTEMİNE GÖRE MADRA BARAJI HAVZASI EROZYON DURUMU

139

SONUÇ VE BULGULAR

149

KAYNAKÇA

151

SÖZLÜK

159

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Çalışmada kullanılacak olan analog -sayısal ve metinsel veriler.....	24
Tablo 2. Araştırma sahasına ait çalışma takvimi zamanlama tablosu.....	26
Tablo 3. Erozyon Tahmini Eşitliklerinin Tarihsel Sınıflaması (Uludağ ve Fıçıcı, 2018).....	42
Tablo 4. MPSIAC Modeli Üzerinde Erozyon Etki Faktörleri ve Hesaplaması.....	43
Tablo 5. Kayaçların Günlenmesine İlişkin Tanımlama Tablosu (Aydağ, 2017'den Değiştirilerek).....	45
Tablo 6. Madra Barajı Havzası'nda Bulunan Kayaçların Minerolojik Bileşimi	46
Tablo 7. Madra Barajı Havzası Ana Kayaç Gruplarının Dağılımı.....	47
Tablo 8. İklimsel Koşulların Fonksiyonu Olarak Granitin Alterasyonu (Tardy, 1969)	51
Tablo 9. Madra Barajı Havzası'nda Ana Kayaç Gruplarının Alterasyonuna İlişkin Tanımlama	55
Tablo 10. Madra Barajı Havzası Ana Kayaç Gruplarının Kayaç Dayanım Katsayıları Ve Günlenme Durumunun Yıl İçerisindeki Farkı İle Yıllık Ortalaması.....	56
Tablo 11. Madra Barajı Havzası Ana Kayaç Gruplarına Ait İstasyonların Kayaç Dayanım Katsayıları Ve Günlenme Durumu.....	57
Tablo 12. Madra Barajı Havzası'nda Bulunan Kayaç Gruplarının Kayaç Sertliği Ve Bozunuma Karşı Gösterdikleri Dağılım Durumu.....	59
Tablo 13. Ana Kayaçların Eğim Gruplarına Göre Oransal Dağılımı.....	67
Tablo 14. Ana Kayaç Gruplarının Yağış Eroziyon Faktörüne Göre Oransal Dağılımı.	69
Tablo 15. Ana Kayaç Gruplarının Yükselti Kademelerine Göre Alansal Dağılımı.....	70
Tablo 16. Yağış Yoğunluğu Erozyon Etkileşimi	72
Tablo 17. Fournier Index Sınıflaması.....	73

Tablo 18. Altınova Meteoroloji İstasyonu (25 M) Yıllık Ortalama Yağış Verileri (MGM).....	74
Tablo 19. Madra Barajı Havzası'na Ait Yağış Eroziyon Faktörü Hesaplaması.....	75
Tablo 20. Yağış Eroziyon Faktörü Alansal Dağılımı	77
Tablo 21. Madra Barajı Havzası'nı Oluşturan Jeomorfolojik Ünitelerin Alansal ve Oransal Dağılımı	81
Tablo 22. Baraj Havzasında Akarsuların Morfometrisinde Kullanılan Eşitlikler	95
Tablo 23. Madra Barajı Havzası Drenaj Yoğunluğu Dağılımı.....	98
Tablo 24. Madra Barajı Havzası Akarsu Morfometrik Özellikleri Hesaplamaları.....	101
Tablo 25. Madra Baraj Göleti Planlama Özellikleri (Cürebal, 2003).....	103
Tablo 26. Toprakların Ph Dağılımı Tablosu.....	109
Tablo 27. Madra Barajı Havzası Büyük Toprak Gruplarına Ait Analiz Verileri (Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak İnceleme Laboratuvarı)	113
Tablo 28. Madra Barajı Havzası Büyük Toprak Gruplarının Alansal Dağılımı.....	114
Tablo 29. Foster Eşitliğine Göre Madra Barajı Havzası Topraklarının Mpsiac Yönteminde Duyarlılık Değerleri	117
Tablo 30. Kapalılık Oranları Dağılım Tanımlaması (Orman İdaresi Ve Planlama Dairesi Başkanlığı, 2012).....	123
Tablo 31. Madra Barajı Havzası Yüzey Kapalılık Oranları Dağılımı.....	124
Tablo 32. Madra Barajı Havzası Arazi Örtüsü ve Kullanımı Dağılım Oranları.....	129
Tablo 33. Madra Barajı Havzası Toprak Erozyonu Alansal Dağılımı.....	140
Tablo 34. Baraj Havzasında Anakaya-Yağış-Toprak Parametrelerinin Toprak Erozyonu ile İlişkisi.....	141
Tablo 35. Baraj Havzasında arazi örtüsü-kapalılık ve drenaj yoğunluğu ile toprak erozyonu ilişkisi	144

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Madra Barajı Havzası Lokasyon Haritası.....	20	Şekil 18. Eğim Formları ve Yüzey Akış Yolları (Erdoğan, 2013)	90
Şekil 2. Fiziki Coğrafya 'da araştırma yöntemleri.....	25	Şekil 19. Madra Barajı Havzası Eğim Pozisyonu Haritası	92
Şekil 3. Madra Barajı Havzası Jeoloji Haritası.....	52	Şekil 20. Mpsiac Topografya Faktör Haritası (0,33*S)	94
Şekil 4. Kayaçların Sertliğine İlişkin Dağılım Durumu.....	60	Şekil 21. Madra Barajı Havzası Çatallanma Durumu Haritası	97
Şekil 5. Kayaçların Alterasyonuna İlişkin Dağılım Durumu	60	Şekil 22. Madra Barajı Havzası Drenaj Ağı Dağılım Grafiği	99
Şekil 6. Kayaç Sertliği Ve Günlenmenin Yıl İçerisindeki Korelasyonu	63	Şekil 23. Madra Barajı Havzası Drenaj Ağı Haritası.....	100
Şekil 7. Madra Barajı Havzasına Ait Ana Kayaç Gruplarının Yıl İçerisinde Kayaç Sertliği.....	65	Şekil 24. Madra Barajı Batimetri Haritası	102
Şekil 8. Madra Barajı Havzasına Ait Ana Kayaç Gruplarının Yıl İçerisinde Kayaç Günlenmesi	66	Şekil 25. Madra Barajı Havzası Mpsiac Yöntemine Göre Drenaj Yoğunluğu Haritası (0,006+10Qp).....	107
Şekil 9. Madra Barajı Havzası'nda Bulunan Ana Kayaç Gruplarının Eğime Göre Dağılımı	68	Şekil 26. Tekstürel sınıflar ve kum alt sınıfları tanımı; ince toprak bileşenlerinin boyut açısından ilişkisi.....	110
Şekil 10. Baraj Havzasında Bulunan Ana Kayaç Gruplarının Yağış Eroziyon Faktörüne Dağılımı	69	Şekil 27. Madra Barajı Havzası Btg'na Göre Mpsiac Toprak Erodiyibilite Değerleri Dağılımı Haritası (16,67*K).....	119
Şekil 11. Yağmur Şiddetine Göre Damla Büyüklüğü Dağılışı (Schwab vd., 1996)	72	Şekil 28. Madra Barajı Havzası MPSIAC Yüzey Kapalılığı Dağılımı Haritası.....	125
Şekil 12. Yağmur Damlacıklarının Toprak Yüzeyinde Yağış Eroziyona Etkisi Eğimli Yamaçlarda Düz Yamaçlara Oranla Daha Yüksek Etki Yaratmaktadır (Fernandez-Raga Vd., 2017).....	74	Şekil 29. Madra Barajı Havzası Arazi Örtüsü Ve Kullanımı Haritası.....	127
Şekil 13. Madra Barajı Havzası Yağış Eroziyon Faktörü Haritası	76	Şekil 30. Madra Barajı Havzası Mpsiac Yöntemine Göre Arazi Faktörü Haritası (20-0,2*Pc).....	129
Şekil 14. Madra Barajı Havzası Yağış Eroziyon Faktörü Dağılım Grafiği.....	77	Şekil 31. Madra Barajı Havzası Bileşik Topografik İndeks Haritası	131
Şekil 15. Madra Barajı Havzası Mpsiac Yöntemine Göre Yağış Faktör Haritası (0,2*R)	79	Şekil 32. Madra Barajı Havzası Mpsiac Yüzey Erozyon Faktörü Haritası (0,25*SSF)	133
Şekil 16. Madra Barajı Havzası Jeomorfoloji Haritası (Cürebal, 2003).....	84	Şekil 33. Madra Barajı Havzası Akış Gücü İndeks Haritası.....	135
Şekil 17. Madra Barajı Havzası Eğim Dağılımı Haritası.....	85	Şekil 34. Madra Barajı Havzası Kanal Erozyon Faktörü Haritası (1,67*SSFs).....	138
		Şekil 35. Madra Barajı Havzası MPSIAC Toprak Erozyonu Haritası.....	146
		Şekil 36. Madra Barajı Havzası RUSLE Toprak Erozyonu Haritası	147

FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Foto 1. Schmidt Çekici	23
Foto 2. Dijital Eğim Ölçer	23
Foto 3. GPS.....	23
Foto 4. Toprak ph Ölçüm Aleti.	23
Foto 5. Araştırma Sahasının Kuzeydoğusunda 9-10 Numaralı İstasyonlar Arasında Karabacak Dere'nin Kuzeyinde Yer Alan Metavolkanitler 0,120 T/Ha/Y Alterasyona Uğrayan Bozunumlar Göstermektedir.....	49
Foto 6. Yukarıcuma-Çamavlu Yolu Arasında Yer Alan Granodiyorit İntrüzyonu.	50
Foto 7. Aşağıcuma Yerleşim Biriminin 1 Km Kuzeybatısında Koca Dere'nin Kolları Tarafından Granodiyorit Ana Kayasının Arenalanması ve Üzerinde Oluşum Gösteren Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklarının Gully Erozyonuna Maruz Kalması.....	50
Foto 8. Kozak Ovası'nın Kuzeydoğusunda Yukarıcuma Yerleşim Biriminden Çamavlu Yerleşimine Doğru, Soğanbahçe, Kütüklü ve Koca Dereleri Tarafından Oluşturulmuş Alüvyal Ovalık Arazi.....	54
Foto 9. Araştırma Sahasının Doğusunda Yer Alan Kapan Tepe İle Softa Tepe Arasında Bulunan Metavolkanitlerin Günlenmesi (06.06.2020- 1.115 M)	62
Foto 10. Madra Barajı Havzası'nın Doğusunda Yer Alan Kıranlı-Çobanlar Yerleşim Birimlerinin Üzerinde Yer Aldığı Ana Kayasını Granodiyoritlerin Oluşturduğu Araziler Üzerinde Oyuntu Erozyonun Gelişimi (06.06.2020- 694 M).....	62
Foto 11. Çamavlu yerleşim biriminden araştırma sahasının güneydoğusunda yer alan anakayasını metamorfikşistlerin meydana getirdiği Güvem Dağı şiddetli toprak erozyon sahalarını oluşturmaktadır.....	83
Foto 12. Çamoba Platosu	86
Foto 13. Kozak Ovası (Aşağıcuma yerleşmesinden kuzeydoğuya).....	89
Foto 14. Madra Çayı taşıdığı malzeme ile kum adaları meydana getiren akışa sahip 6. seviyede akarsu özelliği göstermektedir	96
Foto 15. Kireçsiz kahverengi topraklar üzerinde yeni gelişmekte olan gullyler	112
Foto 16. Biyokimyasal süreçlerle ayrıştırılan granodiyorit anakayasası üzerinde gelişen kireçsiz kahverengi orman toprakları, toprak erozyonu açısından orta şiddette toprak kayıplarına yol açmaktadır	115

Foto 17. Aşağıcuma yerleşim biriminin 1 km güneydoğusunda Kozak Çayı'nın biriktirdiği alüvyal topraklar oluşmuştur	116
Foto 18. Yüksekliği 19 m, taç kısmı 18 m civarında ve gövde çapı 8,5 m olan çınar ağacı (Platanus orientalis) yaklaşık 850 yaşındadır. Kapalılık oranı % 100 civarındadır (Bağyüzü).....	121
Foto 19. Granit anakayasası üzerinde yetişen fıstıkçamı 384 cm varan gövde çapıyla yaklaşık 235 yaşındadır ve kapalılık oranı %60 civarındadır (Bağyüzü)	122
Foto 20. Metavolkanit arazi yüzeyleri üzerinde gelişen fundalıkların kapalılıkları yarı yarıya oranındadır (13 nolu istasyondan Yaylacıkdede Dağı'na doğru)	124
Foto 21. Aşağıcuma- Hacıhamzalar yerleşim birimleri arasında yer alan tarım arazileri ve taş işleme ocağı toprak erozyonunda olumsuz etki yaratan kriterlerdir.....	126
Foto 22. Yukarıcuma-Çamavlu yerleşimleri arasında yer alan anayoldan Kozak Ovası'na doğru tarımsal faaliyetler ve fıstıkçamı birlikleri toprak erozyonu açısından kozmopolit bir yapı arz etmektedir.....	128
Foto 23. Granodiyorit anakayasası üzerinde gelişen oyuntu erozyonu.....	143
Foto 24. Granit anakayasasının biyokimyasal ve mekanik alterasyonu sonucu oluşmuş arena	143
Foto 25. Araştırma sahasının kuzeydoğusunda yer alan 10-13 numaralı istasyonlar arasında metamorfikşistleri parçalayan Karabacak Dere oyuntu erozyonunun en yüksek oranda teşekkül ettiği araziye oluşturmaktadır	143
Foto 26. 10 numaralı istasyon üzerinde yıllık hektar başına 43 tondan fazla toprak erozyonu kayıpları meydana gelmektedir	143
Foto 27. Aşağıcuma ve Göbeller yerleşim birimlerinin yaklaşık 300 m doğusunda Kozak Çayı tarafından oluşturulan birikim platformunun kalınlığı yaklaşık 2 m civarındadır	148
Foto 28. Anakayasası granodiyorit üzerinde yaklaşık 2 m kalınlıkta alüvyal toprakla kapatılmış fıstıkçamları yer almaktadır.	148
Foto 29. Madra Çayı kolları tarafından taşınan sediment madde çay içerisinde ırmak adaları oluşturmaktadır.....	148

KISALTMALAR

Akr/acre: 4.047 m² alan ölçüsü birimi

ACRU: 1- Agricultural Catchments Reserch Unit (Tarım Havzaları Araştırma Birimi), 2- Agro-hydrological modelling system (Tarımsal Hidrolojik Modelleme Sistemi)

ANSWERS: Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation

C: Clay (Kil bünyeye sahip toprak)

CREAMS: Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems (USA)

Da: 1.000 m² 'lik bir alan ölçüsünü temsil eder

DSİ: Devlet Su İşletmeleri

Erg: Elektroretinogram. CGS sisteminde, uygulama noktasını, kuvvet yönünde 1 santimetre hareket ettiren 1 dinlik kuvvetin yaptığı işe eşit olan iş birimi

EUROSEM: The European Soil Erosion Model (Avrupa Toprak Erozyon Modeli)

ft: Feet- 1 birimi 30,48 cm'ye eşit olan uzunluk ölçü birimi

GIS: Geographic Information System (Coğrafi Bilgi Sistemi)

GPS: Global Positioning System (Küresel Konum Belirleme Sistemi)

H₂S: Hidrojen sülfür

HU_x: Hydrological Unit (Hidrolojik Ünite/Birim)

K: 1-Toprak erodabilite faktörü- toprağın erozyona karşı gösterdiği direnç durumu, 2- Potasyum, 3- Kayalık

L: Length (Uzunluk)

Ln/log: Üstel işlevlerin tersi olan bir matematiksel işlevdir.

M: Management (Yönetim)

MPSIAC: Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee

MTA: Maden Tetkik Arama Enstitüsü

MUSLE: Modified Universal Soil Loss Equation (Modifiye Edilmiş Uluslararası Toprak Kaybı Denklemi)

PSIAC: Pacific Southwest Inter-Agency Committee

RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation (Revize Edilmiş Uluslararası Toprak Kaybı Denklemi)

R: Rainfall Erosivity Factor (Yağış Eroziyon Faktörü)

R²: Doğrusal regresyon analizi. Birbirine bağlı olarak değişen iki fiziksel büyüklük arasındaki matematiksel bağlantıyı, mümkün olduğunca gerçeğe uygun bir denklem olarak yazmak için kullanılan, standart bir regresyon yöntemidir.

S: 1- Slope (Eğim), 2- Sand (Kumlu bünyeye ait toprak), 3- Steepness (Diklik)

SiL: Silt-Tın bünyede toprak

SL: Kumlu-Tın bünyeye sahip toprak

SYM/DEM: Sayısal Yükseklik Modeli/Digital Elevation Model

T: 1- Taşlık, 2- Tepe, 3- Toprak

tan: Trigonometrik bir fonksiyon. x açısının karşısındaki dik kenarın komsusundaki dik kenara olan oranına, x açısının tanjantı denir.

TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu

USGS: United States Geological Survey

USLE: Universal Soil Loss Equation (Ulusal Toprak Kaybı Denklemi)

WEPP: The Water Erosion Prediction Project (Su Erozyonu Tahmini Projesi)

ÖNSÖZ

Uygulamalı jeomorfolojik problemlerden birisi kabul edilen toprak erozyonunu ortaya çıkarmak amacıyla “Madra Barajı Havzasında (Balıkesir-İzmir) Erozyon Analizi” adlı çalışma ülkemizde uygulanan yöntemlere bir yenisini kazandırarak ileriki çalışmalarda diğer araştırma sahalarına çözüm ve öneriler getirmek amacıyla hazırlanmıştır.

Toprak erozyonunun tahminine yönelik hazırlanan bu çalışma 1996 yılında Madra Çayı üzerinde kurulu Madra Barajı’nın günümüze gelinceye kadar yıllık bazda hektar başına ne kadar sediment madde biriktirdiği ve kaç yıl içerisinde tamamının dolacağını hesaplamak hedef alınmıştır. Bu kapsamda çalışma dört ayrı bölümde değerlendirilmeye tabi tutulmuştur. Birinci bölüm giriş kısmında çalışma sahasının genel coğrafi özelliklerine ve toprak erozyonu üzerinde 1800’lü yıllardan günümüze gelinceye dek bilgilere değinilmiştir. İkinci bölümde araştırma sahasına uygulanan yöntemi oluşturan temel kriterler detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Üçüncü bölüm MPSIAC ve doğruluğu sağlamak amacıyla RUSLE yöntemlerinden elde edilen havza genelindeki sonuçlara dayalıdır. Sonuç ve bulgular kısmı araştırmanın dördüncü bölümünü oluşturmaktadır. Bu bölümde elde edilen bulguların temelleri üzerinde durulmuştur.

Baraj havzasında toprak erozyonunun tahminine yönelik yürütülen bu çalışmada bana ilk günden bugüne kadar gerek maddi gerekse manevi desteğini her zaman yanımda duran saygı değer danışmanım Prof. Dr. Abdullah SOYKAN’a sonsuz teşekkür ediyorum.

Çalışma sırasında desteğini her zaman gördüğüm ve her anlamda bizleri bilgiyle doldurmaya sevk eden Prof. Dr. İsa CÜREBAL, Doç. Dr. Emre ÖZŞAHİN, Doç. Dr. Musa ULUDAĞ, Dr. Öğr. Üyesi Dilek AYKIR, Dr. Öğr. Üyesi Erdal GÜMÜŞ, Araş. Gör. Dr. Yunus Emre MUTLU, Araş. Gör. Hatice ERDOĞAN, Araş. Gör. Melike DURAK hocalarıma teşekkürü borç bilirim. Balıkesir ve İzmir Orman Genel Müdürlükleri, Balıkesir 25. DSİ Bölge Müdürlüğü Harita Mühendisi Kurtuluş KAYA beye, Ankara Erozyonla Mücadele ve Rüşbat Daire Başkanlığı’na, İzmir vali yardımcısı sayın Fatih KIZILTOPRAK ve yerel halkın gösterdiği yardımlardan dolayı her birine ayrı ayrı teşekkür ediyorum.

Araştırma sahasında teşekkül etmiş toprakların fiziksel analizlerinin tamamlanmasında yardımcı olan Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Beslenme Bölümü öğretim üyesi sayın Dr. Öğr. Üyesi Sevdâ ALTUNBAŞ'a yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum.

Çalışmanın her aşamasında yanımda olan sevgili aileme, kardeşim Müjdat FIÇICI, kuzenim Umut BAŞAR ve amcam Salim FIÇICI'ya çok teşekkür ediyorum.

1. GİRİŞ

Madra Barajı Havzası, Ege Bölgesi'nin Asıl Ege Bölümü içerisinde bulunan Bakırçay Yöresi'nde yer almaktadır (Darkot-Tuncel, 1995:30). Madra Barajı Havzası, Balıkesir ile İzmir illerinin içerisinde coğrafi konum olarak $26^{\circ} 50' 30''$ ve $27^{\circ} 14'$ doğu boylamları ile $39^{\circ} 08'$ ve $39^{\circ} 22' 30''$ kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır (Şekil 1). 2002 yılında Türkiye İstatistik Kurumu ve Devlet Planlama Teşkilatı tarafından oluşturulan İstatistiksel Bölge Birimleri Sınıflamasına göre ise Madra Barajı Havzası sınırları TR 2 Batı Marmara ve TR 3 Ege bölgelerinin içerisinde yer alan TR 22 Balıkesir Alt Bölgesi ve TR 31 Ege Alt Bölgesi'nde yer almaktadır. Çalışma sahasının toplam alanı 40.832 ha alan ile Madra Çayı'nın meydana getirdiği su bölümü çizgisi tarafından oluşmaktadır. Bu çalışmada Madra Çayı'nın deniz kısmında bulunan alüvyon ovası çalışmanın amacına paralellik gösterecek şekilde dışarıda bırakılmıştır. Ancak çalışma sonuçlarından elde edilecek değerlendirmelerin doğruluğu açısından yıllar arası farka bağlı olarak kıyı çizgisi değişimleri ele alınmıştır.

Çalışma sahasını meydana getiren su bölümü çizgisinin en yüksek kesimleri kuzeyde Yaylacıkdede Dağı (1.047 m), kuzeydoğuda Madra Dağı (1.343 m), doğuda Kurtburun Dağı (968 m), güneydoğuda Güvem Dağı (947 m) ve güney kesimde Ergensivri Tepe (802 m) ile sınırlanmaktadır.

Madra Barajı Havzası litolojik açıdan farklı yaş ve karakterdeki kayalardan meydana gelmiş bir sahadır. Çalışma sahası volkanik açıdan andezit, bazalt, granit ve granitoyid kayaç gruplarından, metamorfik şisti serilerden ve kristalize kireçtaşları ile alüvyon zeminlerin meydana getirdiği sedimanter kayaç gruplarından oluşmaktadır.

Tektonik etkinliğin önemli ölçüde etkili olduğu Madra Barajı Havzası'nda Madra Çayı kollarıyla birlikte horst karakteri arz eden yapıyı derin bir şekilde parçalamıştır. Havza kuzeyinde Edremit Grabeni, kuzeybatısında Altınova Depresyonu, güneyde Bakırçay ve güneybatıda Dikili Grabeni ile sınırlanmıştır.

Çalışma sahasının günümüz morfolojik karakterini kazanmasında gerek farklı nitelikte kayaç gruplarından meydana gelmesi gerekse havzayı etkileyen iklimik koşulların etkinliği doğrultusunda ana kaya üzerine yerleşmiş drenaj ağının farklı dirençteki kayaçları korazyona uğratması ile oluşum göstermiştir. Bu bağlamda Madra Barajı Havzası 900 m rakımından daha yüksek tepelik alan-

de meydana gelen toprak erozyonu baraj bünyesine nasıl bir etkiye bulunuyor?” soruna bu çalışmada nicel yöntemler kullanılarak değerlendirmelerde bulunulacaktır. Bu bağlamda havza genelinde meydana gelen toprak erozyonu baraj rezervuarını ne kadar süre içerisinde ekonomik ömrünü tamamlayacağı ve toprak erozyonunun meydana gelmesini engelleyecek öneriler yapılacaktır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Madra Barajı Havzası’nda yıllık toprak erozyon durumunu ortaya çıkarabilmek amacıyla sayısal ve analog verilerden, gerekli ölçümlerin yapılabilmesi amacıyla farklı donanım ve teçhizatlar kullanılmıştır (Tablo 1). Araştırma sahasının görsel haritalarını oluşturabilmek amacıyla 7 adet 1/25.000 ölçekli topografya paftaları Harita Genel Komutanlığı’ndan (HGK) alınmıştır. Bu topografya paftaları; J17b4, J17b3, J18a4, J18a3, J17c1, J17c2 ve J18d1 paftalarından oluşmaktadır. Haritalar arasında analiz işlemlerini sağlamak için sahanın jeoloji haritaları da 1/25.000 ölçekli olarak Maden Tetkik Arama Enstitüsü (MTA) temin edilmiştir. Toprağın aşınabilirlik durumunu ortaya çıkarabilmek amacıyla Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü’nden 1/25.000 ölçeğe sahip, bilgisayar üzerinde dijitalleştirilmiş toprak haritaları ve bunlara ait özellikler ile Orman ve Su İşleri Bakanlığı’na bağlı Balıkesir ve İzmir Orman Bölge Müdürlüklerinden sahanın 1/25.000 ölçekli bitki amenajman haritaları temin edilmiştir. Çalışma alanımızdaki arazi kullanımının zamansal değişimlerini tespit etmek amacıyla uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu amaçla USGS veri tabanından Landsat ETM+ uydu görüntüleri internet üzerinden ücretsiz olarak indirilmiştir.

Metinsel veriler, ilgili kurum ve kuruluşlardan temin edilmiştir. İklim verileri Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden, havzadaki akarsuların akım verileri ile baraja akarsular tarafından taşınan detritik unsurların miktarına ilişkin veriler Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü’nden (DSİ) alınmıştır. Sahanın sosyo-ekonomik ve nüfus verileri ise Türkiye İstatistik Kurumu’ndan (TÜİK) temin edilmiştir. Yazılım olarak coğrafi bilgi sistemleri ArcMAP/ MapInfo yazılımlarından olan ArcGIS 10.2 kullanılmıştır. Araştırma sahasında alınan örneklerin yerinin belirlenmesi adına Garmin marka GPS ve jeolog pusulası, kayaçların direnç durumları ve tanımlanmasında Schmid çekici ve hidroklorik asit, pH metre, şerit metre ve numunelerin ispatına ilişkin fotoğraf makinesi kullanılmıştır (Foto: 1-2-3-4).



Foto 1. Schmidt Çekici.



Foto 2. Dijital Eğim Ölçer.



Foto 3. GPS



Foto 4. Toprak pH Ölçüm Aleti.

Uygulamalı jeomorfolojinin erozyon ve mühendislik yapılarına yönelik bu çalışma, coğrafya ve fiziki coğrafya araştırma yöntemlerine bağlı kalınarak;

- Hazırlık
- Gözlem, Ölçme ve İstatistik
- Analiz
- Sonuç

olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir (Şekil 2).

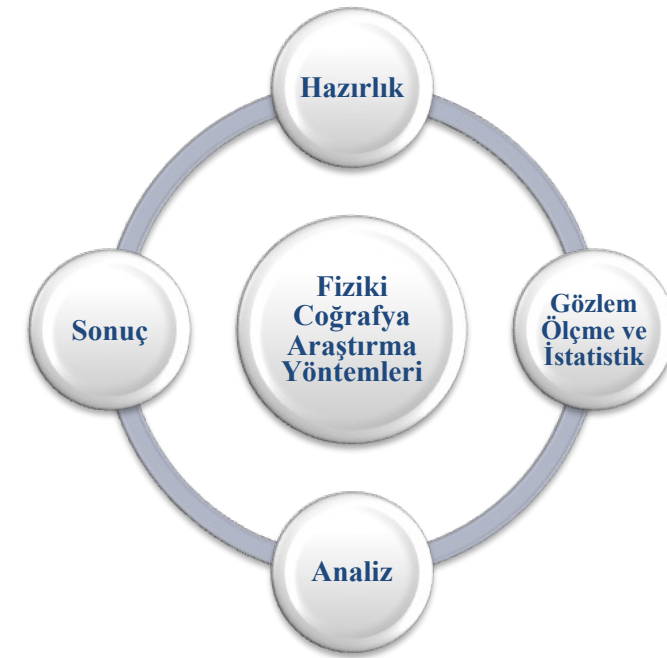
Tablo 1. Çalışmada kullanılacak olan analog -sayısal ve metinsel veriler.

Kurum Adı	Analog ve Sayısal Veriler	Metinsel Veriler
Harita Genel Komutanlığı	1/25.000'lik Topoğrafya Haritaları	Çalışma Sahasına Ait SYM Modelinin Oluşturulması, (SYM Modeli Kullanılarak Eğim, Bakı, Morfometrik İndeks Haritalarının Oluşturulması)
	1/35.000'lik Hava Fotoları	Araştırma Sahası Arazi Kullanımı ve Kıyı Çizgisi Değişimi
Maden Tetkik Arama Enstitüsü	1/25.000'lik Jeoloji Haritaları	Ana Kaya Özelliklerinin Belirlenmesi
Devlet Su İşleri	1/5.000 Ölçekli Batimetri Haritaları	Akım Verileri
	---	Havran Barajı'na Sediment Taşınımı ile İlgili Veriler
Meteoroloji Genel Müdürlüğü	---	İklim Verileri (Sıcaklık, Yağış, Nem, Rüzgâr, Basınç)
Orman ve Su İşleri Bakanlığı	1/25.000'lik Amenajman Haritaları	Bitki Kapalılık Oranlarına Ait Haritanın Elde Edilmesi
Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü	1/25.000'lik Toprak Haritaları	Büyük Toprak Gruplarının Saptanması ve Erodabilite Faktör Haritasının Hazırlanması

Hazırlık: Araştırmanın hangi amaca hizmet etmesi gerektiğine yönelik olarak çalışma sahası üzerinde daha önce yapılmış çalışmaların derlenmesi ve araştırma sahası üzerinde bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Ayrıca çalışma sahası üzerinde ortaya çıkan toprak erozyonlarına ilişkin uygulanacak yöntemin gereksinimlerinin temin edilmesi zorunlu bir durumdur. Dolayısıyla çalışma sahasına bağlı olan jeolojik, toprak grupları haritaları, iklimsel parametrelere ilişkin veri-

ler, topografyaya ait haritaların temini sağlanacaktır.

Gözlem, Ölçme ve İstatistik: Çalışmanın bu bölümünde hazırlık aşamasında hazırlanmış verilerin doğruluğu ve kontrolü gerçekleştirilecektir. Dolayısıyla çalışmanın işlerliğinin doğru yürütülmekte olduğu arazi çalışmalarına bağlı gerçekleştirilecektir. Mevcut hatalar ya da farkların oluşması halinde durum tespiti yapılarak arazi üzerindeki konum, değer ve verilerin doğal ortam üzerinde düzeltilmesi işlemi uygulanacaktır. Arazi çalışmaları sırasında konuya ilişkin kayaç sertlik ölçümleri ve toprak fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla toprak numunesi alma işlemleri yürütülecektir. Kullanılacak yöntem ve metotlara göre çalışma sahası üzerinden ayrıca suların alkali ya da asit reaksiyon özellikleri; kayaçların günlenmeye karşı gösterdikleri dirence bağlı olarak schmidt çekici yöntemi ile sertlikleri hesaplanacak varyans ve kovaryans hesaplamalarına gidilecektir. Baraj rezervuarında meydana gelen sediment madde miktarının belirlenmesinde ArcGIS üzerinden volüme analizi yapılacaktır. Bu sayede baraj hacminin toplam miktarı bulunarak ne kadar sediment madde birikimiyle ortalama olarak ömrünü tamamlaması hesaplamaları yapılabilecektir. Ayrıca çalışma sahasında elde edilen verilerin doğruluğunu tespit etmeye yönelik yerinde fotoğraf çekimlerine gidilecektir.

**Şekil 2.** Fiziki Coğrafya 'da araştırma yöntemleri.

Analiz: Araştırmanın bu son aşamasında üretilmiş verilerin ortaklaşa çalışmasını sağlayarak ArcGIS üzerinde haritaların çakıştırılması, toplanması ve çarpılmasına yönelik işlemler uygulanacaktır. İlk olarak taslak şeklinde hazırlanan, daha sonra ise arazide düzenlemeleri yapılacak olan haritalara son şekli bu aşamada verilecektir. Çalışmanın esasını oluşturan erozyon ve sediment madde miktarlarının belirlenmesi amacıyla;

i- Erozyonun tespit edilmesine yönelik uygulanacak yöntemlere göre (RUSLE, mPSIAC vs.) raster formatta haritaların hazırlanması (yönteme bağlı olarak weighted overlay, kriging, interpolation, volume analysis),

ii- Baraj rezervuarında meydana gelen sediment madde miktarının belirlenmesi açısından volüme analizi ve geleceğe yönelik senaryo haritalarının oluşturulması,

Sonuç: Bu aşamada elde edilen bulgulara yönelik yorumlamalar yapılacaktır. Çalışma sahasında meydana gelen toprak erozyonunun, araştırma sahasının hangi bölümünde yüksek potansiyele sahip olduğu durumu karelaajlama tekniği kullanılarak belirlenmeye ve baraj bünyesinin maksimum sediment taşıma miktarı belirlenecektir. Dolayısıyla barajın ekonomik ömrünün kaç yıl içerisinde tamamlanabileceğine ilişkin öngörüler ve soru işaretleri çözümlenmeye çalışılacaktır.

Tablo 2. Araştırma sahasına ait çalışma takvimi zamanlama tablosu.

ÇALIŞMA TAKVİMİ												
AYLAR/ PARAMETRELER	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
ANAKAYA		X					X	X		X	X	
TOPRAK (K)	X			X		X			X			
YAĞIŞ (R)		X			X		X					X
DRENAJ	X	X		X				X	X			
TOPOGRAFYA												
ARAZİ YÜZEY KAPALILIĞI			X	X		X			X			X
ARAZİ ÖRTÜSÜ ve YÖNETİMİ					X				X	X		
YÜZ									X	X	X	
Y EROZYONU									X	X	X	
OYUNTU EROZYONU									X	X	X	
SCHİMDT ÇEKİCİ ÖLÇÜM		X					X	X		X	X	
SAHA ÇALIŞMASI												
SU SERTLİK/ SICAKLIK		X	X				X	X		X	X	
TOPRAK (pH)		X	X		X		X	X		X	X	

KONU ve ÇALIŞMA SAHASINA AİT LİTERATÜR

Çalışma sahasına ait literatür taraması iki farklı şekilde yapılmıştır. İlk olarak konuyu oluşturan toprak erozyonu- siltasyon ve araştırma alanına ait çalışmaları ülkemiz ve dünya genelinde bu tür konularda neler yapıldığına yönelik araştırılmaya çalışılmıştır.

Cürebal (2003), “Madra Çayı Havzasının Uygulamalı Jeomorfoloji Etüdü” isimli doktora tezinde doğal etmen ve süreçlerin sebebiyet verdiği uygulamalı jeomorfolojik problemler ile insanın doğal ortam ile etkileşimi sonucu ortaya çıkan sorunlar olmak üzere iki ana bölümde değerlendirmiştir. Çalışmada doğal ortam -insan etkileşimleri ile ortaya çıkan uygulamalı jeomorfolojik problemlerin (erozyon, kütle hareketleri, kıyı çizgisi değişimi, arazinin yanlış kullanımları vb.) üzerinde durularak bunlara ilişkin çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Erkal ve Taş (2013), “Jeomorfoloji ve İnsan” isimli kitaplarında uygulamalı jeomorfolojinin tanımlaması, tarihi ve uygulamalı jeomorfolojik problemlerin hangi konulardan oluştuğunu açıklamaya çalışmışlardır. Erkal ve Taş uygulamalı jeomorfolojinin “bilginin doğrudan toplum yararına kullanılmasının öncelikli bir durum arz ettiği, diğer bir ifadeyle “merkeze insanın konulmasının gerektiği” insan -doğal ortam etkileşimlerinin optimal düzeyde nasıl bir arada olabileceği sorunlarına yönelik çözümler sunmasının gerekliliği araştırılmıştır.

Erentöz (1956), “Türkiye jeolojisi üzerine genel bir bakış” adlı çalışmasında Türkiye’deki en eski arazilerin temelini kristalen şistlerden müteşekkil araziler olduğunu belirtirken, Batı anadolu’da bulunan Kazdağı ve Uludağ dağlık kütlelerinin de kristalen şisti serilerden oluştuğunu ileri sürmektedir. Ayrıca kristalen serilerin temelini oluşturduğu bu arazilerin daha sonradan granit intrüzyonları sonucunda kesildiğini öne sürmektedir.

Kaaden (1959), Uludağ-Kazdağı dağlık kütlelerinin civarında magmatik-metamorfik faaliyetlere maruz kalmış arazilerin yaşlandırılması ve dağlık kütleleri meydana getiren kayaçların en yaşlıdan en gence doğru sınıflandırılması yapılmıştır. Magmatik-metamorfik faaliyetler sonucunda kayaçlar üstünde meydana gelen gerek minerolojik yapılarındaki değişim ve gerekse bu duruma bağlı kayaç formlarının değişmesi üzerine araştırmalar yürütmüştür.

Ketin (1959, 1960, 1966, 1968), Türkiye’nin orojenik gelişmesi ve tektoniği üzerine yaptığı çalışmalarda, ülkemizin daha çok Oligosen’deki Alpin Orojenezine maruz kaldığı nispeten bazı arazilerin Hersinien, Kaledonien ve Prekambrien tektonik faaliyetleri tarafından etkilendiğini öne sürmektedir. Araştırma sahasının da içerisinde bulunduğu (Marmara Havzası’nı içeren Pontidler) ve

ülkemizin en eski dağlık kütlelerine sahip bu araziler Hersinien Orojenik faaliyetlerinin birer ürünü olduğu ileri sürülmektedir.

Schuiling (1959), araştırmasında Kaz Dağı gnays masif arazisinin ve onu uyumsuz (diskordan) kapatan Paleozoik şisti serilerin farklı yönlerde eğimli olduğunu, ünitelerin metamorfik faaliyetlere maruz kaldığı ve metamorfik faaliyetler neticesinde bu bölgede Pre- Hersinien Orojenik hareketlenmelerinin oluştuğunu belirtmektedir.

Ozansoy (1960), araştırma sahasının güney sınır kesiminde arazi çalışmaları yürütmüş, arazinin karasal serilerini stratigrafi açısından paleontolojik verilere göre irdelemiştir. Tipik memeli faunalarına göre arazinin Burdigalien'den Holosen'e tamamıyla karasal bir rejim altında geliştiğini öne sürmektedir. Ülkemizin genel hatlarıyla karasallaşması süreci Neojen sonrasına tekabül ettiğinden bu kanının doğru olabileceği düşünülebilir.

Bilgin'in (1969), "Biga yarımadası güneybatı kısmının jeomorfolojisi" isimli çalışmada, araştırma sahasının kuzeybatı kesimini de içeren bölgenin jeolojisi ve jeomorfolojisi açıklanmış, Neojen sonrasında Biga Yarımadası'nın güneybatı kesimine ilişkin jeomorfolojik evrim ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Arpat ve Bingöl (1970), çalışmalarında Ege Bölgesi'ndeki graben çöküntü havzaları üzerinde durmuşlardır. Batı Ege Bölümü'ndeki graben sahalarının Küçük-Büyük Menderes, Bakırçay, Gediz, Simav, Bergama ve araştırma sahasının da içerisinde yer aldığı Edremit-Altinova graben havzalarından oluştuğunu belirtmektedirler.

Bingöl (1974), çalışmasında Türkiye'deki bazı metamorfik kuşaklar ve bu metamorfik kuşakların jeotektonik evrimi üzerinde durmuştur. Bingöl'e göre Kazdağı masifi; biri Prekambriyen'de orta basınç, bir diğeri Tersier'de siklonik faaliyetlere ilişkin iki kez metamorfize olduğunu ileri sürmektedir. Bunun yanı sıra KAF'ın güney kesiminde Ankara-Bilecik-Bursa-Balıkesir-Manisa hattı boyunca kireçtaşı blokları, metamorfizmaya uğramış spilit ve metamorfize grovaklardan müteşekkil Karakaya Formasyonu'nun bulunduğunu açıklamaktadır. Karakaya Formasyonu içerisindeki blokların oluşumu, Alt Trias sonrasında Tetis Denizi'ni etkileyen gerilme-boşalma kuvvetlerinin gravitasyonel faaliyetlerle Permo-Karbonifer'e ait daha yaşlı, eski kütlelerin taşınması şeklinde Bingöl tarafından açıklanmaktadır.

Okay ve Göncüoğlu (2004), Karakaya Kompleksi'nin oluşum modelleri üzerinde çalışmalar yürütmüşlerdir. Modellerden ilki Rift modelinde; karmaşık seriyi meydana getiren kayaçların Geç Permien'de bir riftte oluştuğu, sonrasında okyanusal bir denize evrilen bu riftin Geç Trias'ta kapanma eğilimi gösterdiği

belirtilmektedir. Dalma-batma-eklenme modeline göre Karakaya Karmaşık Serisi'nin, Paleo-Tetis'in Trias'ta kuzeye Lavrasya aktif kıta kenarınca dalma-batmayla gelişen eklenir prizmayı temsil ettiğini açıklamaktadır.

Pickett ve Robertson (2004), araştırma sahasının litolojisinde önemli bir yer tutan Karakaya Karmaşık Serisi'nin kuzey Anadolu'da batı-doğu yönlü, Ege Denizi'nden İran'a yaklaşık olarak 1100 km'lik bir uzanımına sahip olan Orta- Geç Trias bir dalma-batma-eklenme kompleksi olduğunu belirtmektedir.

Tekin ve Hafizoğlu (2004), Batı Anadolu'nun neotektonik birliği üzerinde durmuşlardır. Graben sistemlerinin Ege Bölgesi'nin tektonizma açısından hakim unsurun faylar olduğunu ve graben çöküntü sahalarının gelişimi ile bu arazilerde deprenselliği artırıcı etkide olduğunu belirtmektedirler.

Şengün (2006), Anadolu'nun jeolojik evrilimi ile kenetlenme kuşaklarına eleştirel bakış açısıyla, araştırma sahasının da içinde yer aldığı Pontidler'in yerine güneydeki Anatolid Platformu içerisinde yer aldığı vurgulanmaktadır.

Duru ve diğ., (2007), araştırma sahası ve yakın civarı üzerindeki jeolojik üniteleri incelemişlerdir. Elde ettikleri bulgulara göre araştırma sahasının temelini oluşturan Paleozoik Kazdağı Metamorfikleri ile farklı dönemlere ait birden fazla kayaç türünün ve yaşının mevcut olduğunu açıklamaktadırlar.

Erkül ve Erkül (2010), Ege Bölgesi kuzeyinde Neotetis Okyanusu'nun kapanımına sebebiyet veren çarpışmadan dolayı gerilme basınçlarının etkili olduğu ve gerilmenin Geç Oligosen- Erken Miosen'de başladığını ifade etmişlerdir. Gerilmeler sonucunda metamorfik çekirdek komplekslerinin meydana geldiği, faylarla hatları tarafından sınırlandırılmış D-B ve KD yönünde uzanan tortul havzaların gelişmesi ve bölgeye magmatik kayaçların yerleşmesine neden olan bir durumun ortaya çıktığını ileri sürmektedirler.

Cürebal vd. (2012) Çaygören Barajı bünyesinde 1970-2004 yılları arasında baraj rezervuarında meydana gelen siltasyon miktarını 3D modelleme kullanarak hesaplamışlardır. Geçen 34 yıllık süreçte baraj rezervuarının 14,74 milyon m³ oranında daralma gösterdiği hesaplanmıştır.

Kuzucuoğlu (1982), Kozak Masifi üzerine yaptığı araştırma sonucunda, masif araziye meydana getiren volkanik kayaçların (granit- granodiyorit) özellikleri üzerine eğilerek bu kayaçların kökeni hakkında araştırmalar yapmıştır.

Kayan (1988) yılında "Batı Anadolu Kıyılarında Geç Holosen Döneminde Kıyı Çizgisi Değişimleri" adlı çalışmasında; farklı noktalarda yaptığı sondaj çalışmalarının neticesinde araştırma sahasının da kıyısı bulunduğu Ege kıyılarında deniz seviyesinin günümüzdeki duruma 6.000 yıl önce ulaştığını, sonrasında deniz seviyesinin 1-2 m civarında regresyona maruz kaldığını ve kıyıda yaşamını

idame ettiren insanların bu kesimleri yaklaşık olarak 3.000 yıl önce kullanmaya başladıklarını, son olarak deniz seviyesinin tekrar bugünkü seviyesine bazı duraklamalardan sonra ulaştığını ifade etmektedir.

Kayan (1999) yılında Anadolu'nun Ege Kıyısı Platolarının Holosen Stratigrafisi ve Jeomorfolojik Evrimi adlı çalışmasında Ege kıyılarında delta sahalarının üç farklı döneme ait depolanma ve jeomorfolojik evrim geçirdiğini vurgulamaktadır; Erken Holosen, Orta ve Geç Holosen dönemleri. Bu dönemlerde sırasıyla Ege kıyıları post-glasyal transgresyon ve depolanma dönemi, yükselmenin durduğu Orta Holosen ile son dönemde delta gelişmesinin yavaşlama eğilimine girdiği taşkın ovalarının gelişme gösterdiği son Geç Holosen olarak ayırt etmektedir.

Sönmez (1996) yılında "Havran Çayı- Bakırçay Arasındaki Sahanın Bitki Coğrafyası" adlı yayınlanmamış doktora çalışmasında Madra Çayı Havzası bünyesinde araştırma sahasının içerisinde bulunduğu Akdeniz İklim koşullarına paralel olarak daha çok kurakçıl türlerin varlığından (meşe, kızılçam, fıstıkçamı) söz ederken daha yüksek kesimlerde yağışın artış göstermesi ve sıcaklığın düşmesine bağlı olarak karaçam türlerinin varlığını belirlemiştir.

Önal (1993), "Çökelbilimi- Çökelmenin Fiziksel İlkeleri Fasiyes Analizleri ve Karasal Çökelme Ortamları" adlı kitabını on bölüm halinde oluşturmuştur. Kitapta çökelbilimin gelişimi diğer bilim dallarıyla ilişkisi, jeolojik döngüler, çökelmenin fiziksel koşulları ve çökelme ortamlarına ilişkin ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde 10 mil kareden daha büyük havzalar için, kurak-yarıkurak bölgelerde PSIAC tarafından geliştirilen MPSIAC modeli İran'ın Gamasiab Havzası'nda uygulanmıştır. Çalışmada erozyon ve sediment madde üretimine yönelik tahminler MPSIAC modelinin coğrafi bilgi sistemleri aracılığı ile elde edilen 123 homojen bölgeye bölünen havza verilerinden türetilmiştir. MPSIAC modeli kullanılırken dokuz kriterin erozyon üzerindeki etkisi tanımlanmış ve parametreler belirli katsayılarla çarpılmış ve toplanarak sonuç haritasına ulaşılmıştır. Bu parametreler: anakaya, toprak, iklim, akarsu drenaj yoğunluğu, topografya, bitki yüzey kapalılık oranı, arazi kullanımı, kanal ve yüzey erozyon sahalarından meydana gelmektedir. Hemedan ve Kermanshah bölgeleri arasında yer alan Gamasiab Havzası'nda MPSIAC modellemesi sonucunda erozyon sınıflaması beş ayrı kategoride değerlendirilmiştir. Kilometrekare başına yıllık 2.500 ton 1.453 m³ tondan fazla sediment ürünü üreten sahalar çok yüksek erozyon meydana gelen sahalar olarak değerlendirilirken; kilometrekare başına yıllık 200 tondan daha fazla 95 m³ altında sediment verimi gerçekleşen sahalar çok düşük erozyon meydana gelen sahalar. Sonuç olarak havzanın

doğu ve güneydoğu kesimlerinde eğim değerlerinin fazla olması, toprak derinliğinin azlığı, çiftlik hayvanlarının beslenmesi ve marl formasyonlarının varlığına bağlı olarak erozyon oranı yüksek iken; güney kesimler tarımsal faaliyetler ve daha az eğim değerleri nedeniyle erozyonun düşük olduğu sahalar olarak belirlenmiştir (İlanloo, 2012).

Toprak erozyonu ve sedimentasyon havza degradasyonları adına İran'da en büyük çevre problemlerinden birisidir. Bu bağlamda kurak ve yarıkurak bölge şartlarındaki İran'da sediment üretimine ve sedimentasyon haritasına yönelik MPSIAC metodu kullanılarak katkıda bulunması amaçlanmıştır. MPSIAC modelini meydana getiren dokuz parametre ArcGIS ortamında dijitalleştirilmiş ve sonuç haritası oluşturulmuştur. İran'ın kuzeyinde bulunan Afjeh ve Lavarok bölgeleri temelinde geniş formasyonlar içeren şistli, kumtaşı, konglomera ve tüflü araziler başkalaşım kayalarlarına oranla daha fazla alan kaplamaktadır. Erozyon sonuçlarına göre şist, marl, tuf ve alüvyon birikim sahalarına ait havzalar ile Karaj ve Kuaterner sediment formasyonları arasında duyarlı korelasyon olduğu saptanmıştır. MPSIAC modelleme haritasına göre sediment madde üretimi açısından inceleme sahasının %75'ten fazlası IV. Sınıf erozyon kategorisinde bulunmaktadır. Afjeh 769.3 m³/km²/yıl; Lavarok 583.2 m³/km²/yıl sediment madde üretimi gerçekleşen sahalar. Çizgisel regresyon analizi MPSIAC modeli ve erozyon üzerinde en önemli iki faktörün jeoloji ile toprak erozibilite faktörleri arasında önemli korelasyon durumunun olduğu ortaya konulmuştur (Najm vd., 2013).

Toprak erozyonu dünya genelinde havzalar açısından en önemli sorunlardan birisidir. Sediment birikimi barajlar açısından minimum seviyede tutulması gereken negatif etkilerden birisidir. İran'daki Doğu Azerbaycan Bölgesi'nde yer alan Aidoghmoush Havzası'nda uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak MPSIAC modellemesine yönelik yürütülen çalışmada MPSIAC parametreleri ve uydu görüntüleri çalışma sahasına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 251 milyon kg toprak her yıl su erozyonu tarafından boşaltılmaktadır. Diğer bir deyişle 251 ton toprak kilometrekare başına her yıl erozyona uğramaktadır. Sedimentasyonda en önemli kontrol faktörlerinin çalışma sonuçlarına göre eğim ve arazi yüzey kapalılığı olduğu tespit edilmiştir. Hidrolojik ünitelerden (HU_x) HU1 ve HU4 yıllık sediment miktarının en yüksek olduğu çok kritik havzalardır. HU3 nolu hidrolojik havza ünitesi ise en düşük sediment üretim oranına sahip arazidir (Doneshfaraz, 2016).

Ülkemizin Doğu Anadolu Bölgesi'nde Murat Nehri'nin kollarından birisi olan Gökdere Havzası'nda erozyon duyarlılığına yönelik yürütülen analiz çalışmasında erozyonu etkileyen beş farklı parametre ağırlıklı çakıştırma ile

ArcGIS ortamında analize tabi tutulmuştur. Eğim, bitki örtüsü, litoloji, drenaj yoğunluğu ve toprak tekstürü katmanlarının kullanıldığı bu çalışmada inceleme alanının batı-kuzeybatı kesimlerinde erozyonun şiddetli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Erozyon duyarlılığının yüksek olduğu sahalar toplam arazinin %22'sini meydana getirirken %33'ü orta duyarlılıkta erozyon meydana gelen sahalardan oluşmaktadır. Erozyon üzerinde eğim, bitki örtüsü, litoloji ve drenaj yoğunluğunun önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Eğim değerlerinin yüksek olduğu bitki örtüsü açısından cılız ya da meşe ormanları gibi kurak ormanların ortadan kaldırıldığı sahalar ile anız yakma gibi yanlış uygulamalar sonucu erozyon duyarlılığının yükseldiği tespit edilmiştir. Erozyonla taşınan sediment madde Beyhan I Barajı'na taşınmakta ve tarımsal arazilere zarar vermektedir. Dolayısıyla bu sahalar üzerinde erozyonla mücadele açısından kontrol ve önleyici çalışmaların yürütülmesi gerekliliğine dikkat çekilmelidir (Avcı, 2016).

TOPRAK EROZYONU ve TOPRAK EROZYONUNUN HESAPLANMASINDA KULLANILAN EŞİTLİKLER

Toprak, üzerinde gelişme gösterdiği ana kayanın fizikokimyasal ve biyokimyasal yollar vasıtasıyla çözülmeye uğraması, zaman, iklimsel olaylar ve üzerindeki bitki örtüsü gibi farklı birçok parametreye bağlı olarak binlerce yılda gelişimini tamamlamaktadır. Yaklaşık olarak 2,5 cm kalınlığında bir toprak tabakasının oluşabilmesi için ortalama 500 yıl gibi uzun bir süre gerekirken üzerinde birçok tarımsal aktivite, hayvanlar açısından barınak, suların depo edilmesi açısından rezervuar ve maden kaynaklarının deposu olarak tanımlanabilecek solum (O, A ve B katları) katının meydana gelebilmesi için (ortalama 40 cm kalınlıkta toprak katı) 20.000 yıl gibi uzun bir zaman dilimine ihtiyaç duymaktadır.

Günümüzde önemini daha çok hissettiren ana konulardan biriside toprakta meydana gelen erozyon tehlikesidir. Erozyon, verimli toprak üst yüzeyinin gerek doğal ve gerekse doğal olmayan etmenler tarafından aşındırılarak, kendisinden daha alçak noktalarda bulunan gölsel, denizel ve okyanusal ortamlarda taşınması ve biriktirilmesi olarak tanımlanabilir. Kelime Latince “ERODE” kelimesinden türeyerek Türkçe 'de **kemirmek** anlamında karşılık bulmuştur (Özşahin, 2014). Ülkemizde erozyon kavramı yöresel olarak farklı isimlerle de anılmaktadır bu terimlerden bazılarını Bahtiyar 2003 yılında yaptığı çalışmasında **süprüntü**, **dalaz uçkun** olarak sıralamaktadır (Bahtiyar, 2003). Uygulamalı jeomorfoloji problemlerinden birisi olarak kabul edebileceğimiz erozyon kütle hareketleri kapsamında yavaş gelişme gösteren bir niteliğe sahiptir, bu nedenle teşhis edilebilmesi diğer problemlere göre daha zordur. Fakat erozyon tespitine yönelik gelişen teknolojik olanaklara bağlı olarak birçok yöntemde gelişme göstermiştir, konunun ilerleyen bölümlerinde bu kısım detaylı olarak ele alınacaktır.

Özellikle 1950'li yıllardan sonra dünya nüfusunda meydana gelen artış ve teknolojik gelişmelere paralel olarak artan gıda ihtiyaçlarının teminini sağlamak maksadıyla tarımsal alanların arttırılması yoluna gidilmiş ve besin maddeleri üretimine yönelinmiştir. Bu durum doğal ortamda mevcut bitki örtüsü tahribatlarıyla birlikte kendini göstermiş, ormanlık arazilerden ağaçlar sökülerek ya da yakma-açma yöntemleriyle ve mevcut meraların tarımsal araziye dönüştürülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Oysaki üzerinde yaşadığımız toprakta meydana gelebilecek erozyon faaliyetini frenleyici rol oynayan doğal un-

surlardan birisini ortadan kaldırmak erozyonu daha da hızlandıracaktır. Normal koşullar altında toprakta meydana gelen erozyon üzerinde yetiştirme imkânı bulan bitki örtüsü tarafından engellenmekte ve erozyona maruz kalan az bir toprak katmanı yerine kendisini yenileyebilecek üst toprak katmanı için yeterli zamana sahip olabilmektedir. Bu durum doğal olarak kendisini yenileyebildiğinden jeolojik (doğal) erozyon olarak tanımlanmakta; insanoğlunun topografya üzerinde meydana getirdiği faaliyetler sonucunda ortaya çıkan erozyonda daha sonraki toprak üst yüzeyi oluşabilmesi için uzun bir zaman dilimine ihtiyaç duyulmakta ve erozyon hızlandırılmakta olduğundan hızlandırılmış erozyon terimleriyle ifade edilmektedir.

Toprakta meydana gelen erozyon çeşitlerini oluşum koşullarına göre sınıflandırdığımızda:

1-Temel Erozyon Çeşitleri:

Jeolojik Erozyon,

Hızlandırılmış Erozyon,

2-Erozyonu meydana getiren doğal kuvvete göre:

Su Erozyonu;

Damla erozyonu (raindrop erosion),

Yüzey erozyonu (sheetflood erosion),

Oluk erozyonu (rill erosion),

Oyuntu erozyonu (gully erosion),

Akarsu ve yatak erozyonu,

Rüzgar Erozyonu,

Kitle Erozyonu,

Buzul Erozyonu,

Kıyı Erozyonu ve

Biyolojik Erozyon (Mater, 2004) olarak tanımlamak mümkündür.

Hangi nedenden ortaya çıkarsa çıksın temelde toprak verimli üst yüzeyinin bulunduğu ortamdan aşındırılarak daha alçak noktalarda biriktirilmesi durumu söz konusudur. Örneğin buzulun meydana getirdiği erozyonal faaliyette buzulun altında yer alan ana kayayı aşındırması sonucu erozyon durumu ortaya çıkarken rüzgar hakimiyetinin etkisi altında bulunan ve bitki örtüsü yönünden cılız ya da yok denecek kadar az olan sahalarda eoliyen süreçler egemendir. Toprak üst yüzeyi rüzgarlar tarafından aşındırılmak suretiyle rüzgar şiddet, yön ve taşınan tanecik boyutuyla orantılı olacak şekilde bulunduğu ortamdan kaldırılarak daha

alçak noktalarda biriktirilmektedir.

Su erozyonunun meydana geldiği sahalarda ise topografyaya düşen yağmur damlacıklarının yüzeye uyguladığı şiddetle orantılı olarak toprak parçacıkları sıçrama hareketine maruz kalırlar ve yüzeyde meydana gelen sellenme, ufak kanaletler ve daha geniş oluklar boyunca tanecik ya da süspanse malzeme olarak taşınmaktadırlar. Erozyonun meydana geldiği sahadaki yağışın şiddet durumu gerek yüzeysel akış ve gerekse infiltrasyon durumuyla doğrudan ilgili bir durumdur. Yağış şiddetli ve yağmur damlacıklarının boyutu büyük ise yüzeysel akış fazla infiltrasyon az gerçekleşmekte dolayısıyla toprak üst yüzeyinden taşınan malzemenin fazla olması sonucunu doğurmaktadır. Çap ortalaması 2 mm olan bir yağmur damlasının taşıdığı enerji 104 erg olarak hesaplanmıştır. Yağmur damlası toprağa çarptığında bir sıçrama hareketi de meydana getirir. Sıçrama hareketiyle toprak parçacıkları 60 cm dikey ve 150 cm yatay mesafede yer değiştirebilmektedir. Bu duruma paralel olarak kuvvetli bir yağmurla, 1 da'lık arazide (bitki örtüsü yok olmak koşuluyla) 25 tondan fazla toprak tanesi damla etkisiyle yer değiştirdiği belirlenmiştir.

Erozyonu ortaya çıkaran nedenler:

1-Doğal nedenler: iklimatik koşullar,

Topografya özellikleri,

Toprak özellikleri,

2-Toprak ve arazi kullanımına yönelik nedenler: arazinin kullanımına uygunluğu,

Nadasa bırakılan arazilerin durumu,

Meralık arazilerde hayvan otlatmanın kontrollü hale getirilmesi,

Tarımsal arazilerin tarımsal faaliyetler adına izohips eğrilerine paralel **şekilde sürümünün yapılması,**

3-Sosyo-ekonomik nedenler: Toprağı işler konumdaki çiftçinin işleme konusundaki bilgi noksanlığı,

Meralık ve ormanlık arazilerin imkânsızlıklar nedeniyle tahribata uğraması,

Ülkemizde her yıl erozyonla birlikte yer değiştiren ya da kaybolan ortalama toprak miktarı 1,4 milyar ton olarak hesaplanmıştır. Dünya genelinde ise 24 milyar tonluk bir toprak erozyonla birlikte yok olmaktadır (toprak erozyonuyla en fazla toprak kaybeden kıta Asya). Ülkemizde kaybedilen bu verimli tarım topraklarıyla 600,000 ton buğday üretebilmek mümkündür. Kaybedilen 1,4 milyar ton toprağın 500 milyon tonu tarım toprağı olarak belirlenmiştir. Yine

Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü'nün 2011 yılında erozyon üzerine yaptığı çalışmada orta ve şiddetli erozyona maruz kalan sahaların %64 meralık; %59 tarım alanları ve %54'ünün de ormanlık alanlarda meydana geldiğini tespit etmiştir.

Toprak Erozyonunun Tarihçesi

Erozyonla ilgili ilk çalışmalar 19. Yüzyılın son çeyreğinde Alman bilim adamı Ewald Wollny tarafından başlatılmıştır. Wollny 1888 yılında **“Pioneer of soil and water conservation reserch”** adlı çalışmasıyla erozyon üzerinde toprak fiziksel özelliklerinin ve yüzeysel akış sularının etkili olduğunu ileri sürmüştür (Baver, 1938). Erozyonun ortaya çıkmasında çeşitli faktörlerin olduğunu eğim diklik eğim uzunluk koşulları, bitki örtüsünün sahayı kapatma durumları, toprak tipleri ve yüzeysel akış sularının kinetik enerjisinin perkolasyon, transpirasyon ve evaporasyonu etkileyerek toprakta bir kompaktlaşma meydana getirdiği görüşündedir. Wollny 1888’li yıllarda erozyona yönelik bu tür çalışmaları başlatmasına rağmen onun görüşleri Amerikan coğrafyacılar tarafından ancak 1930’lu yılların ortalarında gözden geçirilmiştir (Nelson, 1958).

Kantitatif açıdan erozyon ölçümüne yönelik ilk çalışmalar 1912 yılında ABD’nin merkezi Utah Eyaleti’nde aşırı otlatma sahaları üzerindeki 10 acr’lık (1 acr= 4.047 m²) araziler üzerinde Sampson, Weyl, Storm ve Forsling tarafından yürütülen çalışmalardan oluşmaktadır (Sampson and Weyl, 1918). Otlak sahalar üzerinde erozyona yönelik yapılan bir diğer çalışma 1929 yılında Chapline’e aittir. Chapline aşırı hayvan otlatmaları sonucu bu sahalarda erozyon riskinin arttığını bunun için toprak verimliliğini tekrar eski haline getirmede önerilerde bulunmuştur (Chapline, 1929).

1917 yılında Missouri Tarımsal Gelişim İstasyonu’nda Dean, Duley ve Miller gibi toprak korumayla ilgili çalışmalar yürüten isimlerin yetiştirdiği öğrenciler ileriki yıllarda toprak erozyonuna ilişkin teknikler ve eşitliklerin bulunmasını sağlamıştır (Duley ve Miller, 1923). 1920’li yıllarda toprak erozyonunun tespitlendirilmesine yönelik çalışmalar aniden artış göstermiştir (Bennet ve Chapline, 1928). Bennett ve Chapline toprak erozyonu üzerinde daha fazla etkenin rol oynadığını ileri sürerek ABD’nin 10 farklı eyaletinde (Ohio, Texas, Utah, Kansas vd.) pilot bölge uygulamalarıyla erozyon ölçme araştırmalarına başlamışlardır. Pilot bölge uygulamalarından elde edilen sonuçlar doğrultusunda Miller ve araştırma arkadaşları yüzeysel akış-erozyon arasında gelişmesine bağlı olarak hesaplamalar oluşturmuşlardır. 1930-40 yılları arasında pilot bölge uygulamalarına yönelik sonuç raporları yayınlanmıştır. 1940-50 yılları arasında Smith ve Wischmeier gibi bilim adamları yeni eşitlikler ile toprak erozyonunun daha kapsamlı ve kompleks yapıda gelişen bir olgu olduğunu ileri sürerek erozyonun tespiti-

ne yönelik çalışmaların daha da gelişmesini sağladılar (Smith ve Wischmeier, 1957).

II. Dünya Savaşı öncesinde toprak erozyonu ve toprakların korunmasına yönelik altın bir çağ yaşanırken savaştan sonra toprak erozyonunda standart bir tekniğin olmayışından dolayı önemli sorunlar yaşandı;

- i- Pilot bölge uygulamalarının artması,
- ii- Artan uygulamaların maliyet ve zaman açısından yüksek ve pahalı olması,
- iii- Pilot bölge uygulamalarında farklı dönemlerde yapılan ölçümlere dışarıdan müdahalelerin yaşanması.

1939 yılında Bennett **“Soil Conservation”** adlı kitabı yazmıştır. Fakat kitap içeriğinde toprak erozyonunun matematiksel istatistik veriler ile tespitine yönelik herhangi bir eşitlik bulunmamaktadır (Bennett, 1939).

Toprak Erozyonu Üzerine Kurulan İlk Eşitlikler

Bennett’in 1939 yılında yazdığı eser toprak erozyonunu meydana getiren parametrelerin herhangi bir matematiksel denkleme dayandırılmaması eksiklik olarak kabul edilmiştir. Oysa 1936 yılında toprak erozyonunun tanımlanmasına yönelik matematiksel eşitlikler Cook ile başlamaktadır. Cook erozyon üzerinde üç farklı parametrenin varlığına bağlı olarak erozyon eşitliği oluşturulması gerektiğini vurgulamaktadır.

I-Testler sonucu oluşturulan toprak erodibilite faktörü,

II-Yüzeysel akışın yağış kinetik etkisi ve eğimle neden olduğu etki,

III-Bitki örtüsü.

Toprak kayıplarına yönelik hesaplamalar ise 1940 yılında Zinng ile kullanılmaya başlandı;

S= Slope steepness,

L= Slope length

C= Constant variation (sabit varyans katsayısı)

Zinng erozyonla ilgili edindiği bilgi ve tecrübelerine dayanarak:

$X = C.S^{1.4}.L^{1.6}$ eşitliğini oluşturmuştur. Oluşturulan eşitlikte Zinng eğim dikliğinin 1.4 kuvvet ve eğim uzunluğun 1.6 kuvveti alınarak hepsinin sabit bir varyans katsayısı ile çarpılması sonucu yıllık toprak kayıplarını tahmin etmeye yöneliktir (Zinng, 1940).

Takip eden 1941 yılında Smith arazi örtüsü (C) ve erozyon önleyici faktörler (P) de ilave ederek Zinng’in formülünü daha da geliştirmiştir ve katsayı çarpanlarını değişikliğe uğratmıştır:

$$A = C.S7/5.L3/5.P \text{ (Smith, 1941)}$$

1940'lı yıllar boyunca erozyon tespitine yönelik birçok yayın basılmıştır. 1941'de Smith ve 1947'de Browning aynı eşitlikleri kullanarak Iowa Eyalet toprakları üzerinde daha fazla etkiden, farklı toprak türlerinden ve rotasyonlardan eğimle bağlantılı olacak şekilde eşitliklerin önemine dikkat çektiler (Browning vd., 1947). Toprak tabakasının farklı bitki türleriyle kaplı olması, farklı iklim koşulları ve toprak türlerinin gelişimi, teraslama teknikleri ve konturlara uygun şekilde tarımsal etkilerde tarım arazilerine yapılan müdahaleler gibi birçok etkenin toprak erozyonu ile ilişkilendirilmesini sağladılar.

Smith 1958 yılında Milwaukee ve Wisconsin bölgelerinde Toprak Koruma Servisi adına toprak kayıplarının tahminine yönelik eşitliklerin çiftliklerde ve bölgesel uygulamalardaki araştırmaları üzerine çalışmalar yürüttü. Çalışmalarından elde ettiği sonuçların başarılı olduğunu görünce "SlopePractice Equation" eşitliği çıkarıldı ve ABD'nin bütün mısır kuşağında yer alan arazileri üzerinde toprak kayıplarının tahmini yapıldı. 1947 yılında eşitlik Musgrave tarafından daha da geliştirilerek "Corn Belt Equation" olarak kabul gördü (Musgrave, 1947).

$$A \text{ (inch/per year)} = \text{Rainfall} * \text{Slope steepness} * \text{Slope length} * \text{Soil types} * \text{Crop}$$

1948 yılında Smith ve Whitt "**Rasyonel Erozyon Tahmini Eşitliğini**" geliştirdi;

$$A = C * S * L * K * P$$

Musgrave 1949 yılında spesifik erozyon tehlikesinin agronomik tanımlamasında, erozyon şiddetinin farklı lokasyonlarda nasıl bir değişiklik gösterdiğine yönelik çalışmalar yürüterek erozyondan korunmada bitkilendirmenin önemine dikkat çekmiştir (Musgrave, 1949).

1950'li yıllarda Van Doren ve Bartelli farklı bir erozyon eşitliği ortaya çıkardı (Van Doren ve Bartelli, 1956):

$$A = f(T * S * L * P * K * I * E * R * M)$$

T= ölçülmüş toprak kaybı,

S= Steepness of slope,

L= Length of slope,

P= Practice impact,

K= Soil erodibility factor,

I= 30' precipitation velocity and frequency,

E= Previous erosion,

R= Rotation impact,

M= Management

Eşitlikte $S1.5 * L0.38$ ($L < 200$ ft)

$S1.5 * L0.60$ ($L > 200$ ft) değerleri eğim uzunlukta değişken olarak kullanılmaktadır.

1954 yılında Wieschmeir'in öncülüğünde erozyon tahmini eşitliğini geliştirmek ve bütün ABD'de uygulamak amacıyla Purdue University'de "**Ulusal Yüzeysel Akış ve Toprak Kaybı Veri Merkezi**" kuruldu. Bu dönemde birçok araştırmacı toprak ve su korunması çalışmalarına ilişkin Tarımsal Araştırma Servisi ve Toprak Koruma Servisi ile ortaklaşa çalışmalar yürütmüştür.

Smith ile beraber bütün ABD boyunca toprak erozyonu üzerine çalışan bilim adamları 1956 yılında 7000'den fazla pilot bölge ve 500'den fazla drenaj havzasından elde ettikleri sonuçları dijital ortama aktararak yağış-toprak kaybı arasında ilişkiye bağlı olarak standart bir kombinasyon kurmayı amaçladılar. 1958 yılında Wieschmeier, Smith ve diğer bilim adamları bitki rotasyonu ve yönetim faktörünü de kombinasyona ekleyerek Rocky Dağları'nın doğusunda erozyon tespitlendirmeye çalışmaları yürüttüler. Çalışmalar sonucunda ortaya "USLE- Universal Soil Loss Equation" denklemini çıkardılar (Wieschmeier, 1959). Oluşturulan eşitlikte gully erozyonu, bank erozyonu, kar erime erozyonu ve rüzgâr erozyonuna yönelik kayıplar yer almazken tam anlamıyla birikmenin meydana geldiği sediment erozyonu bulunmaktadır. Eşitlik;

$$A = R * K * L * S * P$$

Foster vd. 1977 yılında sediment yükünün bulunabilmesine yönelik rill ve interrill erozyonları tarafından aşındırılıp taşınan malzeme miktarı toplamının birbirine eşit olmasının gerektiğini vurgulayarak sediment yükü ile ilgili bir eşitlik yazmıştır (Foster vd., 1977);

$$G = [D_i d_x + D_r d_x = G_i + G_r]$$

G= Sediment yükü,

D_i = Interrill erozyonu tarafından aşındırılma

D_r = Rill erozyonu tarafından aşındırılma

G_i = Interrill erozyonu sediment yükü

G_r = Rill erozyonu sediment yükü

d_x = Segment uzunluğu/mesafesi

Governing Equation (Yönetici Denklem) Channal Erosion (Kanal Erozyonu)

$$dG/d_x = DL + DF$$

G= Kanal Sediment Direnci ($\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-1}$) (Sediment Load in Channal)

x = Segment eğim uzunluğu (m) (Segment Downslope Distance)

DL = Koldaki sediment madde akışı ($\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) (Lateral Sediment Inflow from Adjacent Hillslopes or Pounds)

DF = Akışla Ortaya Çıkan Çökel/Birikim ($\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) (Detachment or Deposition by Flow)

Kanal erozyonu denklemine göre kanaldaki sediment direncinin segment uzunluğuna olan oranı kanalda meydana gelen sediment akışı ve akışla beraber ortaya çıkan birikimin toplamalarına eşittir.

Rill Deposition Equation (Yüzey Birikim Denklemi)

$$D_f = (\beta V_{eff}/q) * [T_c - G]$$

D_f = Yüzey birikim oranı ($\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) (rill deposition rate)

G = Kanal Sediment Direnci ($\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-1}$) (Sediment Load in Channal)

β = Akış türbülans faktörü (rainfall turbulence factor)

V_{eff} = Etkin düşme hızı (m s^{-1}) (effective fall velocity)

q = Akış boşaltımı ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{01}$) (flow discharge)

T_c = Taşıma kapasitesi (transport capacity)

Yüzey erozyonunun hesaplanabilmesi için ortaya çıkarılan denkleme göre yüzeyde meydana gelen erozyon faaliyetiyle biriken toplam malzeme akış türbülans faktörü ve etkin düşme hızlarının çarpımının akış boşaltımına oranı ile taşıma kapasitesinden kanaldaki sediment direncinin çıkarılmasıyla elde edilen sonuçların çarpımına eşittir.

Gerek tarımsal faaliyetler ve gerekse doğal ortamın ayrılmaz bir parçası olarak kendine has bir ekolojik birim olarak önem arz eden toprağın, erozyon tarafından aşınım-taşınım faaliyetleri tarafından ortamı bozması sonucu, toprak erozyonunun nicel teknikler kullanılarak geçmişten günümüze doğru daha ağırlıklı olarak çalışıldığı söylenebilir. Dolayısıyla toprak erozyonunu ortaya çıkaran parametrelerin neler olduğu ve bu parametrelerin özelliklerine bağlı kalınarak deneysel yöntemlere dayalı, fiziki tabanlı ve kavramsal açıdan toprak erozyonu tahmini eşitliklerinin gruplandırılması yapılabilir (Lane vd., 1988).

CREAMS (Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems)

Foster ve arkadaşları tarafından daha küçük su toplama havzalarında meydana gelebilecek toprak erozyonlarının tespit ve tayin edilmesine ilişkin geliştirilen eşitlikte; sediment boşalımının mesafeye oranı yanal içe akış ve akış ile meydana gelen malzeme birikiminin toplamına eşit kabul edilerek saptanmaktadır (Foster vd., 1981).

$$dq_s/dx = D_L + D_F$$

dq_s = Sediment boşalımı,

dx = Mesafe,

D_L =Yanal içe akış oranı,

D_F =Akışla meydana gelen birikim.

Dendy & Bolton Metodu

Yıllık bazda havzalarda meydana gelen sediment veriminin tahmine yönelik 1976 yılında geliştirilen yöntemde yıllık akım miktarının 0,46 kuvveti alınarak havza alanının logaritması belirli katsayılarla çarpılarak toplam sediment verimi elde etmeye dayanmaktadır (Dendy vd., 1976).

$$S = 1280. Q^{0.46} \cdot ((1,43 - 0,26) \cdot \log A)$$

S = Sediment verimi ($\text{t/mi}^2/\text{y}$),

Q = Yıllık akım miktarı,

A = Su toplama havzası alanı (mi^2).

Renard Metodu

Belirli bir alanda ortalama yıllık sediment verimini hesaplamak maksadıyla alanın negatif kuvvetinin sabit bir katsayı ile çarpılarak elde edilmesine yönelik geliştirilmiş bir yöntemdir (Renard, 1980).

$$Y = 0,001846 \cdot Aa^{-0.1187}$$

Y = Yıllık ortalama sediment verimi (ac-ft/y),

Aa = Drenaj alanı (ac).

Tablo 3. Erozyon Tahmini Eşitliklerinin Tarihsel Sınıflaması (Uludağ ve Fıçıcı, 2018).

Ampirik – Deneye Dayalı Modeller	Sediment Değeri Eğrisi Musgrave Denklemi PSIAC Flaxman Metodu MUSLE Sediment Verim Oranı Metodu Dendy - Bolton Metodu USLE SLEMSA MPSIAC RUSLE	Campbell & Bauder (1940) Musgrave (1947) PSIAC (1968) Flaxman (1972) Williams (1975) Renfro (1975) Dendy and Bolton (1976) Wischmeier & Smith (1978) Elwell (1978) Johnsan & Gembhart (1982) Renard ve Diğerleri (1991)
Kavramsal Modeller	Sediment Konsantrasyon Grafiği Renard – Laursen Modeli Birim Sediment Grafiği Ani Birim Sediment Grafiği Sediment Taşınım Modeli Ayrık Dinamik Modeller Muskingum Sediment Taşınım Modeli ACRU Hidrolojik Simülasyon Programı	Johnson (1943) Renard & Laursen (1975) Rendon - Herrero (1978) Williams (1978) Williams & Hann (1978) Sharma & Dickinson (1979) Singh and Quiroga (1987) Shulze (1995) Walton & Hunter (1996)
Fiziki Tabanlı Modeller	Erozyon Kinematik Dalga Modeli Nispi Denge Durumu ANSWERS CREAMS WEPP EUROSEM	Hjelmfelt, Piest & Saxton (1975) Foster, Meyer & Onstad (1977) Beasley ve Diğerleri (1980) Knisel (1980) Laflen ve Diğerleri (1991) Morgan (1998)

2. MADRA BARAJI HAVZASI'NDA TOPRAK EROZYONUNU ORTAYA ÇIKARAN PARAMETRELER

Madra Barajı Havzası'nda toprak erozyonunu ortaya çıkarabilmek ve yıllık birim alanda meydana gelen erozyonla taşınan sediment madde miktarının havza içerisinde yer alan Madra Barajı'na hangi ölçüde etki yarattığını belirlemek üzere daha çok yarı kurak ve yarı nemli sahalarda uygulanan MPSIAC (Modified Pacific Southwest Inter Agency Committee) sediment verimi ve ölçümüne dayalı erozyon tahmini eşitliği kullanılmıştır. Eşitlik dokuz farklı parametrenin kendi içinde belirli katsayı çarpımları sonucunda toplanması sonucu elde edilen denkleme dayanmaktadır. Sonuçta elde edilen sediment verimi ve ölçümü yıllık hektar başına ton cinsinden toprak kayıplarını ortaya çıkarmaktadır (Tablo 3). 1968 yılında geliştirilen bu model 1982 yılında Johnson ve Gembhart tarafından orijinal modelin daha iyi sonuçlar elde edilmesi doğrultusunda geliştirilmiştir (İlanloo, 2012). Bu bağlamda baraj havzasında meydana gelen toprak erozyonu her biri ayrı parametre olarak yerinde ölçümler sonucu elde edilerek kendi içerisinde uygun yöntemler kullanılarak katsayı değeri atamaları verilerek yıllık toplam sediment verimi elde edilmiştir.

Tablo 4. MPSIAC Modeli Üzerinde Erozyon Etki Faktörleri ve Hesaplaması.

No	Etki Faktörü	Tanımlama	Eşitlik
1	Yüzey Jeolojisi	$X_1 =$ Kayaçların erozyon duyarlılığı	$Y_1 = X_1$
2	Toprak Erodi-bilite	$K =$ Toprak eroadibilite faktörü	$X_2 = 16,67K$
3	İklim Faktörü	$P_2 =$ 2 yıl içerisinde gerçekleşen 6 saatlik yağış	$X_3 = 0,2P_2$
4	Akım/Debi	$R =$ Yüksek akım; $Q_p =$ 1 yılda meydana gelen en yüksek boşaltım	$X_4 = 0,006R + 10Q_p$
5	Topografya	$S =$ Yüzde eğim değeri	$X_5 = 0,33S$
6	Yüzey Kapalılığı	$P_b =$ Yüzey kapalılık oranı (%)	$X_6 = 0,2P_b$
7	Arazi Kullanımı	$P_c =$ Gölgelek yüzde oranı (%)	$X_7 = 20 - 0,2P_c$
8	Yüzey Erozyonu	$SSF =$ Yüzey erozyonu toplamı	$X_8 = 0,25SSF$
9	Oyuntu Erozyonu	$SSF_g =$ Oyuntu erozyonu toplamı	$X_9 = 1,67SSF_g$

$R = X_1 + 16,67K + 0,2P_2 + 0,006R + 10Q_p + 0,33S + 0,2P_b + (20 - 0,2P_c) + 0,25SSF + 1,67SSF_g$
 $Q_s =$ Sediment verimi (t/ha/y); $18/6e^{0,036R} \gg e = 2,718$
 $Q_s =$ Sediment verimi (t/ha/y); $0,253 * e^{0,036R}$

2.1. Anakaya Faktörü

Baraj havzasında meydana gelen toprak erozyonuna, toprak erozyonunu oluşturan diğer kriterler dışarıda bırakılmak kaydıyla anakaya özelliklerinin iklimsel etkilere bağlı olarak nasıl bir değişme gösterdiği üzerinde yıllık hektar başına ne kadar anakaya erozyonu meydana getirdiği saptanmaya çalışılmıştır. Dolayısıyla havza bünyesinde anakaya dinamik özellikleri ve iklimle bağlı olarak nasıl bir değişme meydana geldiğini açıklamak amacıyla kayaçların dayanım katsayıları ve günlenme durumları “schmidt çekici test yöntemi” kullanılarak araziden ölçümler gerçekleştirilmiştir. Arazi üzerinde gerçekleştirilen ölçümler granitoid, metamorfik şist ve andezit/ tüf/ lahar ile alüvyon anakayalarına sahip arazilerden 10 km²'lik “karelajlama tekniği” kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Arazinin sahip olduğu iklimsel parametreler ise MTA Genel Müdürlüğü uzun dönemli verileri kullanılarak sahaya uyarlanmış ve yaz-kış ölçümleri sonrasında kayaç günlenmesi dağılım haritaları ArcGIS üzerinden “kriging yöntemi” kullanılarak iki dönem arasında havza genelinde iklim parametrelerinin değişimine bağlı olarak kayaç günlenmesinin yıllık hektar başına dağılım haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen bulgulara göre araştırma sahası üzerinde farklı litolojik yapılara sahip ana kayaç gruplarının yükselti kademeleri, iklim durumu ve minerolojik yapılarına bağlı olarak farklar arz etme durumu söz konusudur.

2.1.1. Kayaç Günlenmesi

Değişme, değişim ya da bozunma, bozunum olarak tanımlanan günlenme ilk safhada iki ana sınıf altında gelişme göstermektedir. Günlenmeye neden olan durum gün içerisinde kayaçların maruz kaldıkları ısı-ışık faktörleri ve hidrotermal günlenme şeklinde sınıflamaya ayrılmaktadır (Aydal, 2017). Doğal atmosferik koşullar altında ana kayacın minerolojik yapısında meydana gelen bozunmalar mineral dokularının birbirinden farklı özelliklerde olması ve mineral tanelerinin birbirine bağlanmasını sağlayan tutturucu nitelikteki materyalin fizikokimyasal, biyokimyasal süreçler altında parçalanması ya da mineral tanelerinin sahip olduğu yapının indirgenme veya iyon alışverişleri tarafından kontrol edilmektedir. Özellikle magmatik kökenli kayaç gruplarında meydana gelen günlenme durumu kayacın daha ufak parçalara ayrılması ve kayaç bünyesinde bulunan iç yapısında meydana gelen kimyasal değişmelerle bozunuma uğramasıyla sonuçlanmaktadır.

Tablo 5. Kayaçların Günlenmesine İlişkin Tanımlama Tablosu (Aydal, 2017'den Değiştirilerek).

Alterasyon Türleri	Mekanik Çözülme	Alterasyon Tipi	Tanımlama
		<i>Buz Sokulması</i>	Kayaç diyaklaz sistemlerinde suyun donup-erimesine bağlı olarak kayacı parçalaması,
		<i>Boşalma</i>	Sıkışma zonlarında kayacın rahatlamasıyla magmatik, metamorfik kayaçların folyasyonlaması olayı,
		<i>Termal Genlik</i>	Kayacın bulunduğu yerel koşullara bağlı olarak ısınma-soğumasına bağlı çözünmesi,
	Kimyasal Çözülme	<i>Biyolojik Faaliyetler</i>	Toprak yüzeyinde bitki formlarının kayaç diyaklaz sistemleri boyunca sokulumu, mikrofau- nanın ve mezofaunanın etkileri,
		<i>Erime</i>	Su içeriğinin sahip olduğu asidik-alkalen olma durumu,
		<i>Hidroлиз</i>	Suyu meydana getiren H ⁺ iyonlarının kayacı meydana getiren X ⁺ yüklü iyonlarla tepkimeye girmesi sonucu alterasyona uğratması,
		<i>Oksidasyon</i>	Kayacın elektron kaybına uğraması

Mekanik çözülme ve kimyasal çözülmenin haricinde kayaçların günlenmesine yönelik ayrıca iç dinamiklerden kaynaklanan ve gücünü mantodan alarak topografyayı değişime uğratan tektonik deformasyonlarla yerin iç yapısında bulunan suların minerolojik ve termal değişimlerine neden olan hidrotermal kaynaklar da kayaçları günlenmeye uğratmaktadır. Kayaçların jeokimyasını oluşturan mineral maddelerin dizilimleri iç dinamiklerin etkilerine paralel olarak basınç gerilmesi/boşalımı veya kontaktlama olaylarına maruz kalmasına istinaden yan kayaçların ana kaya ile yaptıkları etkileşim sonucunda minerolojik iyon değişimlerinin gelişmesine ya da yapısal farklılıkla sonuçlanmaktadır. Hidrotermal günlenmede ana kayanın ya da yan kayaçların bozunumu, bozunumun meydana geldiği ortam koşullarının yanı sıra oluşum şekline bağlı olarak da değişme göstermektedir. Bu durum;

1. Kayaçlardan ayrılan malzemenin doğrudan çökelişi,
2. Kayaç minerallerinin yer değiştirmesi,
3. Özellikle eriyebilme katsayısı yüksek kayaçlarda çözülme/erime ve yıkanma,
4. Kayaçlardan koparılan büyük boyutlu detritik unsurların fırlatılması şeklinde kendini göstermektedir (Aydal, 2017).

2.1.1.1. Doğrudan çökeltme

Havza genelini meydana getiren kayaçların minerolojik bileşimi Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Madra Barajı Havzası'nda Bulunan Kayaçların Minerolojik Bileşimi.

<i>Litolojik Birimler</i>	<i>Mineral Bileşimleri</i>
Kristalize kireçtaşı	Kalsit, oolit
Metamorfik şistler	Muskovit, kuvars, serizit, klorit, biyotit, fillit, albit, epidot, opak
Metavolkanitler	Spilit, diyabaz
Granodiyorit	Kuvars, oligoklaz-andezin, plajiolaz, apatit, sfen, zirkon, epidot, rutil, opak
Andezit, tuf, lahar	Plajiolaz, piroksen, opak, biyotit
Aglomera	Andezitik tuf ve çakıllar
Bazal	Ojit, opak, olivin, biyotit, plajiolaz
Alüvyon	Detritik unsurlar

Araştırma sahasının kuzeybatısında yer alan kristalize kireçtaşları yapı itibarıyla kalsit ve oolit mineralojik bileşimine sahiptir. Doğrudan çökeltim adına bu saha üzerinde kuzey-güneybatı yönlü akış gösteren Demirci Dere ve kolları fay hatları boyunca uzanış göstermektedir dolayısıyla mineral çökeltilecek akışkanın bu sahalar üzerinde seyir etmesine bağlı olarak minerolojik bileşiminde bulunan çözücü maddenin doygunluğuna bağlı olarak diyaklaz sistemleri boyunca kalsit birikimlerinin çökeltmesini sağlamaktadır.

Havzanın %70'ini meydana getiren granodiyoritlerin ve %9'unu oluşturan metamorfik şistlerin bünyesinde bulunan kuvars, epidot mineralleri de fay düzlemleri üzerinde akış gösteren akarsuların geçtikleri araziler üzerinde doğrudan çökeltim sahalarıdır.

2.1.1.2. Çözme ve Yıkama (Leaching)

Özellikle jeotermal sahaların çevre bölgelerinde ve dış kısımlarında gelişme gösteren bu durum araştırma sahası üzerinde jeotermal aktivitenin zayıf olmasından dolayı gerçekleşmemektedir. Jeotermal kaynaklar saha genelinde aktif rol oynama imkanına sahip olsaydı H₂S'ün oksitlenmesiyle asidik özelliğe sahip olan kayaçlarla tepkimeye girmesi sonucu birincil mineralleri çözme olanağı bulacaktı fakat kayaç boşlukları başka bir mineral tarafından doldurulmayacaktı. Eriyik akış gösteren akarsular tarafından topografyanın eğimine bağlı olarak daha alçak vadi

tabanlarına ya da baraj rezervuarına taşınabilme imkânı bulabilecekti.

2.1.1.3. Fırlatma (Ejecta)

Araştırma sahasında bulunan ana kayaların bünyesindeki epidot, kuvars mineralleri gibi mineraller diyaklaz hatlarına girdiklerinde fırlatılırlar. Kalsit, oolit gibi mineral yapısı itibarıyla tutuculuğu zayıf olan mineraller özellikle fırlatılan unsurlardır.

Biotit → Kuvars, illit, klorit, pirit, kalsit, anhidrit

Plajiolaz → Albit, kalsit, kuvars, klorit, illit, kaolin, epidot, montmorillonit araştırma sahasında tipik yer değiştirme ürünleri olarak ortaya çıkmaktadırlar. Baraj havzasında günlenmenin gelişmesine neden olan bu durum kayaçların karakteristik özellikleri (zayıf asit ortamlarda erime, mineral düzenleri, kristalizasyonu), iklim koşullarının sıcaklık ve nem durumu tarafından belirlenmektedir.

2.1.2. Madra Barajı Havzası'nın Jeolojik Yapısı

Madra Barajı Havzası'nda uygulamalı jeomorfolojik problemlerden birisi olarak kabul edilen toprak erozyonu durumunun ortaya çıkarılmasında ana kaya özelliklerinin detaylı olarak bilinmesi ciddi bir önem arz etmektedir. Araştırma sahasında topografyanın günümüz karakterini kazanmasında sahanın litolojik özelliklerinin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin birbirleriyle ilişkileriyle olduğu kadar dış güçler tarafından da günümüz görünümünü kazanmasında etkisi yadsınamaz bir gerçektir.

Tablo 7. Madra Barajı Havzası Ana Kayaç Gruplarının Dağılımı.

<i>Litolojik Birimler</i>	<i>Yaş</i>	<i>Alan (ha)</i>	<i>Oran (%)</i>
Kristalize kireçtaşı	Üst Permien	334	0,82
Metamorfik şistler	Alt Trias	3.671	8,99
Metavolkanitler	Alt Trias	1.369	3,35
Granodiyorit	Tersier	28.731	70,36
Andezit, tuf, lahar	Tersier	3.181	0,79
Aglomera	Tersier	3	0,09
Bazalt	Pleistosen	11	0,03
Alüvyon	Pleistosen	3.227	7,9
TOPLAM		40.560	99,33
Baraj Göleti		272	0,67
GENEL TOPLAM		40.832	100

Havzayı meydana getiren ana kayaç gruplarının çeşitliliği, oluşum gösterdiği dönem ile ilişkili olarak farklar arz etmektedir. Çalışma sahasında Üst Permien dönemden Kuaterner Pleistosen döneme kadar kayaç grupları müteşekkildir. Havza genelinde en fazla oranda bulunan kayaç grubunu granit-granodiyoritler oluşturmaktadır. Granitlerden sonra ikinci oranda metamorfik şistler, andezit-tüf-lahar ve alüvyon (granitoyit) ve nispi oranda kristalize kireçtaşları, bazalt, aglomera ile metavolkanitler meydana getirmektedir (Tablo 7).

2.1.2.1. Kristalize Kireçtaşı (Paleozoik-Üst Permien)

Baraj havzasında en yaşlı kayaç grubunu oluşturan kristalize kireçtaşları diyaklazlı bir yapı arz etmektedir. Kireçtaşlarının diyaklaz sistemleri boyunca alterasyona maruz kalan sahalarda doğrudan çökelim sonucunda kalsit dolgular mevcuttur.

Orta tabakalanmalı yapı gösteren kireçtaşları bünyesinde fosil içeriği zengin bir yapı sunmaktadır. Kireçtaşı ana kayalarının kalınlıkları ortalama olarak 250 m civarındadır. Birimin alt kısımları silttaşı ve kumtaşı ardaalanmaları tarafından istiflenmiştir. Sahada bulunan kristalize kireçtaşları devrik izoklinal yapıyla bünyesini oolitlik minerolojik yapıda gelişme göstermiş kireçtaşlarına geçiş yapmaktadır. Formasyon üst kesimi ise Senozoik zamana ait Tersier volkanitleri ile gölsel detritik unsurlar tarafından örtülmüştür (Akyürek ve Soysal, 1978). Kireçtaşları, çalışma sahasının kuzeybatısında Madra Barajı'nın kuzeydoğusundan araştırma sahasının kuzeydoğusuna doğru Beşiktepe ve Çamoba platolarının üzerinde akış gösteren Demirci Dere, Maden Dere ile Bakırlık Dere civarında merccekler halinde uzanış göstermektedir. Araştırma sahasının yaklaşık olarak %1'ini (334 ha) meydana getiren kristalize kireçtaşlarının minerolojik bileşimi arazide yürütülen çalışmalar sonucunda kalsit ve oolitten müteşekkil yapıda oldukları saptanmıştır (Şekil 3, Tablo 6).

2.1.2.2. Metamorfik Şistler (Alt Trias)

Madra Barajı Havzası'nın %9'unu (3.671 ha) meydana getiren metamorfik şistler muskovit, kuvars, serizit, klorit, biyotit, fillit, albit, epidot ve opak minerallerinden müteşekkil bir yapı arz etmektedirler. Alt Trias'ta oluşma imkanı bulmuş metamorfik şistler yine Alt Trias'a ait metavolkanit kayaçlar tarafından örtülmüştür. Üst Trias (Anisien) döneme ait metamorfik şistleri ise çamurtaşı-konglomera arasında farklı boyutlarda detritik unsurlardan meydana gelmiştir (Akyürek ve Soysal, 1978).

2.1.2.3. Metavolkanitler (Alt Trias)

Metamorfik şisti serilerle aynı yaşta olan metavolkanitlerin minerolojik yapısı spilit ve diyabazdan oluşmaktadır (Akyürek ve Soysal, 1978). Araştırma sahasının kuzeydoğusunda Kıran Tepe ile Maya Tepe arasında kalan sahanın doğu kesiminde yer alan metavolkanit araziler gerek yükseltinin bu saha üzerinde en yüksek noktasına ulaşması ve gerekse yıl içerisinde en fazla yağış düşen ve termik gradyanın en fazla olduğu saha olması hasediyle en yüksek oranda alterasyona uğrayan kayaç gruplarını meydana getirmektedir (Tablo 10-11; Şekil 7-8).



Foto 5. Araştırma Sahasının Kuzeydoğusunda 9-10 Numaralı İstasyonlar Arasında Karabacak Dere'nin Kuzeyinde Yer Alan Metavolkanitler 0,120 T/Ha/Y Alterasyona Uğrayan Bozunumlar Göstermektedir.

2.1.2.4. Granodiyorit (Tersier)

Kuvars, oligoklaz-andezin, plajiolaz, apatit, sfen, zirkon, epidot, rutil, opak (Akyürek ve Soysal, 1978) gibi farklı türde birçok mineralin birleşmesiyle oluşum imkanı gösteren granodiyoritler araştırma sahasının %70'ini (28.730 ha) meydana getirmektedir (Tablo 6-7). Alt ve Orta Trias yaşlı kayaç gruplarını keserek kontakt metamorfizmaya uğratan kayaçlar kireçtaşları ile deformasyona uğrayarak demir cevheri olarak bilinen manyetit oluşumuna olanak sağlamıştır (Foto 6). Granodiyorit ana kayasının yaşı birçok araştırmacı tarafından farklı tarihler olarak ana kayayı meydana getiren minerallerin yaşlandırması tarafından

Üst Kretase-Alt Miosen dönemlerine ait olarak saptanmıştır (Bürküt, 1966; Bingöl, 1976; Akyürek ve Soysal, 1978; Yılmaz vd., 2000). Cürebal 2003 yılında tamamladığı doktora çalışmasında araştırma sahasında en yaygın litolojik birimin varlığı olarak granodiyoritlerin mevcudiyetinden söz etmektedir (Cürebal, 2003).



Foto 6. Yukarıcuma-Çamavlu Yolu Arasında Yer Alan Granodiyorit İntrüzyonu (06.06.2020).

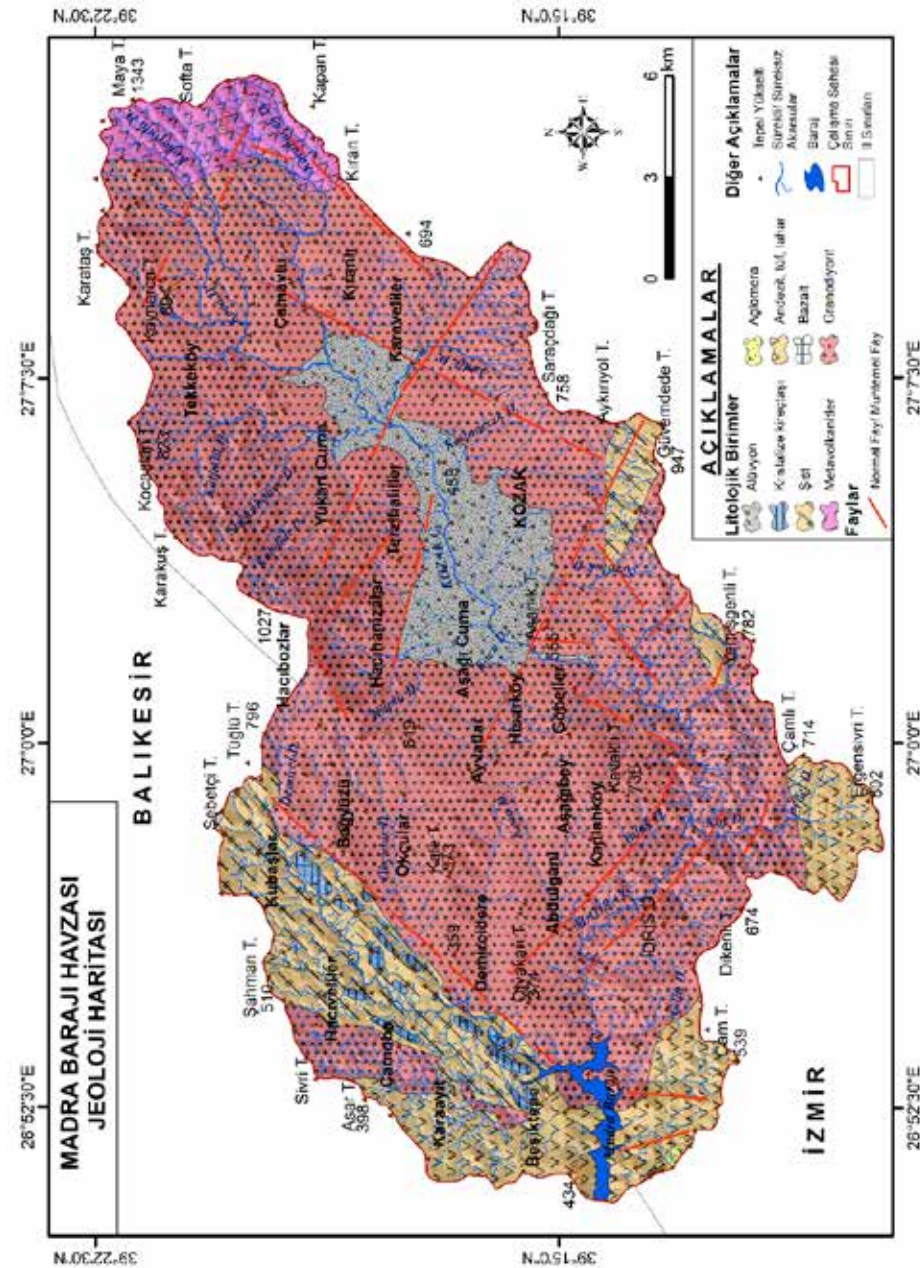


Foto 7. Aşağıcuma Yerleşim Biriminin 1 Km Kuzeybatısında Koca Dere'nin Kolları Tarafından Granodiyorit Ana Kayasının Arenalanması ve Üzerinde Oluşum Gösteren Kireçsiz Kahverengi Orman Topraklarının Gully Erozyonuna Maruz Kalması.

Tablo 8. İklimsel Koşulların Fonksiyonu Olarak Granitin Alterasyonu (Tardy, 1969).

İklim Koşulları	Mineraller	Artık Ürünler			
		Vermiküllit	Montmorillonit	Kaolenit	Gibsit
Yarı kurak	Kuvars				
	Muskovit →				
	K-Feldispat →				
	Biyotit →				
	Na-Feldispat →				
	Ca-Feldispat →				
Yarı nemli	Kuvars				
	Muskovit →				
	K-Feldispat →				
	Biyotit →				
	Na-Feldispat →				
	Ca-Feldispat →				
Nemli	Kuvars				
	Muskovit →				
	K-Feldispat →				
	Biyotit →				
	Na-Feldispat →				
	Ca-Feldispat →				

Araştırma sahasının yarı nemli iklim koşulları altında bulunmasına bağlı olarak, granit ana kayasını meydana getiren kuvars mineralleri olduğu gibi alttere olurken, muskovit vermiküllit; K-Feldispat (potasyumlu) kaolenite; biyotit montmorillonite; Na-Feldispat (sodyumlu) kaolenite ve Ca-Feldispat gibsite ayrışma eğilimi göstermektedir (Tardy, 1969).



Şekil 3. Madra Barajı Havzası Jeoloji Haritası

2.1.2.5. Andezit, Tüf, Lahar (Tersier)

Çok sert yapıda, porfiri dokuda ve diyaklaz sistemleri iyi gelişmiş gri, sarı ve bordo renkli kayalar iri plajioklaz fenokristalleri içeren camlı görünümüne sahip yapıdadırlar. Yer yer tüflerin kaolinleşmesi durumu söz konusudur. Andezit serilerinde karbonatlaşma diyaklaz sistemleri boyunca gelişme gösterir. Tüfler silisten meydana gelmiştir. Ayrıca silisleşmiş tüfler de perlitleşme görülmektedir. Laharlar ise çakıl ve blok malzemeden oluşmuş, orta-iri boyutlu ve köşeli andezin bileşimine sahiptir (Akyürek ve Soysal, 1978).

Baraj havzasının %7,79'unu (3.181 ha) meydana getiren Tersier andezit, tüf, lahar ana kayaç gruplarının minerolojik bileşimi plajioklaz, piroksen, opak ve biyotit minerallerinden oluşmaktadır. Havzanın batı kesiminde yer alan andezit, tüf, lahar formasyonu Madra Barajı tarafından kuzey-güney yönlü olarak ikiye ayrılmıştır. Ayrıca bu saha üzerinde yer alan andezit, tüf, lahar ana kayaç grubu barajın güneyinde kuzey-güney ve kuzeybatı-güneydoğu yönlü uzanım gösteren normal faylanmalara maruz kalmıştır. Araştırma sahasının batısında ve güneyde Çamlı Tepe ile Ergensivri Tepe arasında yer alan bu formasyon daha çok grano-diorit ana kayaç grubu ile dokanak yapmaktadır (Şekil 3).

2.1.2.6. Aglomera (Tersier)

Genel olarak çimentosunu andezitik tüflerin oluşturduğu, yarı köşeli-yuvarlak çakıl-blok serilerinin meydana getirdiği kayaç grubu, silttaş tabakaları ile ara katkılı yapıdadır. Bu kayaç serileri bazı arazilerde Neojen volkanitleri ve gölsel depolar üzerinde yer almaktadır. Aglomeralar kendinden daha genç bazalt lavları tarafından kesilmiştir (Akyürek ve Soysal, 1978). Aglomera formasyonu araştırma sahasının güneybatısında 36 ha (%0,09) bir alan kaplamasından dolayı kayaların dayanım katsayısı adına alterasyon durumu içerisinde değerlendirilmemiştir (Tablo 7).

2.1.2.7. Bazalt (Pleistosen)

Üst Pliosen-Kuaterner (Pleistosen) döneme ait kayalarda hegzagonal soğuma izleri, koyu siyah renkli, masif, sert yapıda ve bol gaz boşlukları içeren bir yapıya sahiptir. Boşluklar nispeten doldurulmuştur. Fenokristalen yapıdaki bazalt serileri olivin, ojit, plajioklaz ve biyotit minerallerinden müteşekkildir (Akyürek ve Soysal, 1978). Ortalama kalınlığı 100 m civarında olan seri, volkanik aktivitelerin arazideki son ürünleridir. Dolayısıyla kendinden daha yaşlı Neojen'e ait volkanik arazileri ve göl sedimanlarını kesintiye uğratmıştır (Cürebal, 2003). Araştırma sahasının güneybatısında aglomera serileri ve ande-

zit, tüf, lahar ana kayaç grupları ile dokanak yapan bu ana kayaç grubu da 11 ha gibi çok düşük bir alan kaplaması hasediyle günlenme ölçümlerinde dışarıda bırakılmıştır.

2.1.2.8. Alüvyon (Kuaterner)

Allokton yapıdaki detritik unsurlardan meydana getirilmiş ve ana kayası granodiyoritler üzerinde depo edilmiş malzemenin kalınlığı yer yer 100 m'yi geçmektedir. Fakat Kozak Ovası'nı meydana getiren alüvyal dolgunun kalınlığı 10 m'yi geçmemektedir (Üzel, 1978). Araştırma sahasında bulunan alüvyon ana kayaç grupları toprak erozyonu analizinde birikimin gerçekleşme gösterdiği araziye karşılık malzemenin geliştiği için bu araziler üzerinde yapılan kayaç dayanım katsayıları ilişkin ölçümler alüvyon malzemenin üzerinde depo edildiği ve yer yer mostra verdiği granodiyorit ana kayaç grubu üzerinde yapılmıştır.



Foto 8. Kozak Ovası'nın Kuzeydoğusunda Yukarıcuma Yerleşim Biriminden Çamavlu Yerleşimine Doğru, Soğanbahçe, Kütüklü ve Koca Dereleri Tarafından Oluşturulmuş Alüvyal Ovalık Arazi.

2.3.1. Madra Barajı Havzası'nı Meydana Getiren Litolojik Yapının Yıl İçindeki Günlenme Durumu

Araştırma sahasın oluşturan ana kayaç gruplarının farklı tiplerde mineral-lerden gelişme göstermiş olması ve topografik yapı ile topografik yapıya bağlı olarak iklimatik koşullarda meydana gelen değişimlere paralel olacak şekilde ana kayaç gruplarını oluşturan minerallerin günlenmesi de yıl içerisinde değişme göstermektedir. Bu durum ana kayaç gruplarını oluşturan minerallerin dayanımı, bozunumu, üzerinde yetişme imkânı gösteren bitki ve yaşama imkanına sahip mikro-mezofaunanın etkileri ile yıl içerisinde değişim arz eden sıcaklık koşullarındaki termal gradyana bağlı olarak gelişme göstermektedir. Ana kayaç gruplarının yıl içerisinde günlenme durumlarının değişimini saptayabilmek amacıyla yaz-kış dönemlerinde gerek termik gradyanın gerekse yıl içerisinde değişme gösteren yağış koşullarının kayaçlar üzerinde yarattığı etkiyi belirlemek amacıyla arazi yüzeyi kareajlama tekniği kullanılarak her bir kareajı yansıtacak şekilde schmidt çekici kullanılarak kayaçların dayanım katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların güvenilirlik katsayılarını yükseltmek maksadıyla kovaryans analizi uygulanarak kayaç dayanım katsayılarına ilişkin dağılım haritaları oluşturulmuştur. Verilerin birbiri arasındaki ilişkilerini belirlemek amacıyla da doğrusal regresyon ve R^2 hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen yaz-kış sonuçlarının ortalama değerleri alınarak yıllık ortalama kayaç dayanım katsayısı hesaplamasına gidilmiştir. Yıllık ortalama kayaç dayanım katsayıları her birisi yaz ve kış dönemleri arasında korelasyon analizine tabi tutularak aralarındaki bağlantı ortaya çıkarılmıştır. Yapılan bütün ölçümlerin doğruluğu ve güvenilirliğini yükseltmek amacıyla istatistiki olarak güven aralığı %95 olarak belirlenen doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. MPSIAC yöntemi kullanılarak Madra Barajı Havzası'nda erozyon analizinin ana kayaç grupları adına;

$X_i = Y_i$ eşitliği kullanılmıştır.

Tablo 9. Madra Barajı Havzası'nda Ana Kayaç Gruplarının Alterasyonuna İlişkin Tanımlama.

$W_c = R_f / R_w$	Sınıf	Tanımlama
< 0	1	Bozunmamış
0,11- 0,115	2	Az bozunmuş
0,115- 0,120	3	Orta derecede bozunmuş
> 0,20	4	Tamamen bozunmuş

Tablo 10. Madra Barajı Havzası Ana Kayaç Gruplarının Kayaç Dayanım Katsayıları Ve Günlenme Durumunun Yıl İçerisindeki Farkı İle Yıllık Ortalaması.

Tanımlama	Aralık Değer	Günlenme Durumu					
		Kış		Yaz		Genel (Yıllık)	
		Alan (ha)	Oran (%)	Alan (ha)	Oran (%)	Alan (ha)	Oran (%)
Bozunmamış	< 0,11	1.326	3,25	10.370	25,40	2.235	5,47
Az Bozunma	0,11- 0,12	33.104	81,07	30.120	73,77	38.247	93,67
Orta Derece Bozunma	0,120 +	6.402	15,68	342	0,84	350	0,86
TOPLAM		40.832	100	40.832	100	40.832	100
Ortalama Değer		0,115		0,111		0,113	
Standart Sapma Değeri		0,004		0,003		0,002	
Maksimum		0,128		0,122		0,121	
Minimum		0,108		0,104		0,108	
Kayaç Sertliği		Kayaç Sertlik Durumu					
< 50		4.423	10,83	140	0,34	462	1,13
50- 55		36.039	88,26	32.148	78,73	39.755	97,36
55 +		370	0,91	8.544	20,92	615	1,51
TOPLAM		40.832	100	40.832	100	40.832	100
Ortalama Değer		52,38		54,03		53,1	
Standart Sapma Değeri		1,42		1,17		0,89	
Maksimum		55,38		57,48		55,02	
Minimum		48,42		49,35		50,85	

Madra Barajı Havzası'nda yaz-kış ve genel olarak kayaç sertliklerinin durumu ve kayaç günlenmesi durumuna ilişkin olarak genel değerlendirme yapıldığı takdirde, kayaç sertlik durumlarının yıl içerisinde yıllık ortalama olarak %97 (39.755 ha) oranında 50-55 schmidt sertliği gösterdiği ve ortalamada 53.1 geri tepmeye sahip olduğu saptanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda standart sapması yıllık ortalama bazda 0,89 olarak bulunmuştur. Kayaç sertliği genel durumuna göre araştırma sahasının %1,13 (462 ha) ile %1,51 (615 ha) gibi birbirine yakın değerler sergileyen arazilerin mevcudiyeti söz konusudur.

Tablo 11. Madra Barajı Havzası Ana Kayaç Gruplarına Ait İstasyonların Kayaç Dayanım Katsayıları Ve Günlenme Durumu.

İstasyon No	Anakaya	Günlenme (Bozunma)			Kayaç Sertliği		
		Kış	Yaz	Yıllık (Genel)	Kış	Yaz	Yıllık (Genel)
1	Granodiyorit	0,115	0,107	0,111	52,33	56,00	54,17
2	Andezit, tüf, lahar	0,116	0,111	0,113	51,77	54,00	52,19
3	Metamorfik şist	0,115	0,115	0,115	52,33	52,20	52,27
4	Granodiyorit	0,108	0,110	0,109	55,66	54,60	55,13
5	Granodiyorit	0,110	0,105	0,107	54,66	57,40	56,03
6	Granodiyorit	0,120	0,102	0,11	50,00	59,10	54,55
7	Granodiyorit	0,112	0,117	0,115	53,67	51,12	52,39
8	Metavolkanit	0,121	0,121	0,121	49,78	49,78	49,78
9	Metavolkanit	0,136	0,132	0,134	44,17	45,33	44,75
10	Granodiyorit	0,180	0,110	0,136	33,33	54,62	43,98
11	Granodiyorit	0,112	0,097	0,104	53,50	61,67	57,58
12	Granodiyorit	0,114	0,108	0,111	52,83	55,67	54,25
13	Granodiyorit	0,099	0,107	0,103	60,33	56,20	58,27
14	Granodiyorit	0,114	0,120	0,117	52,67	50,00	51,33
15	Alüvyon (Granodiyorit)	0,135	0,117	0,125	44,33	51,50	47,92
16	Granodiyorit	0,099	0,113	0,106	60,67	53,00	56,83
17	Granodiyorit	0,122	0,117	0,119	49,33	51,22	50,28
18	Granodiyorit	0,123	0,122	0,123	48,66	49,00	48,83
19	Metamorfik şist	0,117	0,101	0,109	51,33	59,17	55,25
20	Granodiyorit	0,131	0,129	0,130	45,66	46,67	46,16

İstasyon No	Anakaya	Alterasyon (Bozunma)			Kayaç Sertliği		
		Kış	Yaz	Yıllık (Genel)	Kış	Yaz	Yıllık (Genel)
21	Metamorfik şist	0,117	0,115	0,116	51,33	52,17	51,75
22	Metamorfik şist	0,108	0,104	0,106	55,33	57,67	56,50
23	Granodiyorit	0,109	0,107	0,108	55,00	56,00	55,50
24	Granodiyorit	0,114	0,111	0,113	52,66	53,83	53,25
25	Alüvyon (Granodiyorit)	0,115	0,111	0,113	52,00	53,83	52,92
26	Granodiyorit	0,107	0,112	0,110	55,83	53,44	54,64
27	Granodiyorit	0,125	0,111	0,117	48,17	54,10	51,13
28	Metamorfik şist	0,109	0,109	0,109	55,00	55,20	55,10
29	Granodiyorit	0,117	0,113	0,115	51,50	53,02	52,26
30	Granodiyorit	0,118	0,115	0,117	50,66	52,00	51,33
31	Granodiyorit	0,120	0,117	0,118	50,00	51,50	50,75
32	Granodiyorit	0,119	0,116	0,117	50,50	51,17	51,14
3	Andezit, tüf, lahar	0,117	0,115	0,116	51,50	52,32	51,91
34	Andezit, tüf, lahar	0,099	0,098	0,099	60,33	61,33	60,83
35	Granodiyorit	0,110	0,108	0,109	54,66	55,33	55,00
36	Granodiyorit	0,104	0,101	0,103	57,66	59,12	58,39
37	Andezit, tüf, lahar	0,104	0,103	0,104	57,50	58,27	57,89

Kayaç sertlik durumunun kış döneminde ise %88 oranında 50-55 arasında değişen schimdt sertliği gösterdiği, 50 sertlik altında kalan sahaların ise %11 (4.423 ha) civarında ve 55 üzerinde sertliğe sahip arazilerin ise %1'in altına düştüğü tespit edilmiştir. Kış döneminde yapılan kayaç sertlik durumu ölçümlerine göre standart sapma değeri yıllık genel ortalama ve yaz döneminde yapılan ölçümlerin üzerinde 1,42 olarak hesaplanmıştır. Yaz döneminde yapılan schimdt sertlik ölçümlerindeyse kayaç sertlik durumlarında 50-55 schimdt sertliği gösteren sahaların oranı kışa oranla %9 ve genel ortalamaya oranla %18 oranında düşüş göstermiştir. 50 schimdt sertliği altında kayaç dayanım katsayısı gösteren sahalar %1'in altına düşerken 55 sertlik üzerine çıkan sahalar %21 (8.544 ha) civarındadır. Yaz dönemi ölçümleri sonucunda kayaç sertlik durumlarının standart sapması 1,17 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla kış ve yaz döneminde yapılan

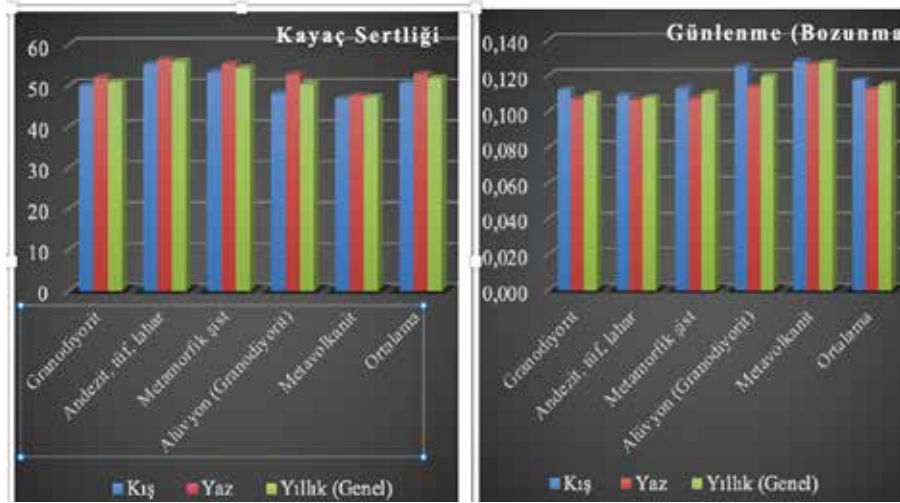
ölçümler sonucunda, araştırma sahasında meydana gelen iklimatik değişimlerin kayaçların dayanım katsayılarına önemli oranda etkide bulunduğu yapılan arazi çalışmalarıyla doğrulanmıştır.

Baraj havzasında yaz-kış ve genel olarak yapılan kayaç bozunumunun (alterasyonu) yıl içerisinde kayaçların dayanım katsayısıyla orantılı olarak paralel bir durum arz ettiği saptanmıştır. Yıllık ortalama da günlenme durumunun araştırma sahasının toplam arazi varlığının %94 oranında az bozunma; %5 oranında bozunmamış ve %1 civarında da orta derecede bozunuma uğrama gösterdiği saptanmıştır. Yıllık ortalama da hektar başına kayaç günlenmesinin 0,113 ton oranında olduğu ve kayaçların az bozunuma uğrama durumu belirlenmiştir.

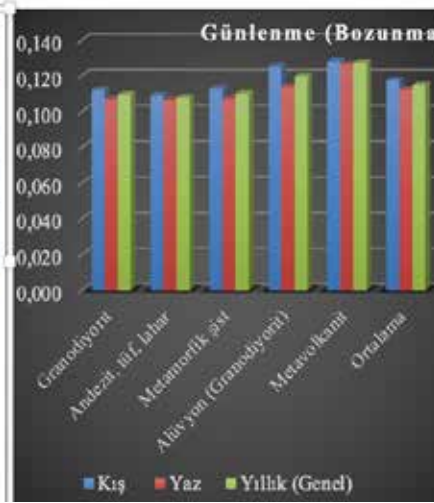
Yaz döneminde yapılan kayaç dayanım katsayılarının sertlik durumlarına göre ise araştırma sahasının ¼'lük kesiminin bozunma göstermediği; %74'ünün az bozunuma maruz kaldığı ve %1 civarında da orta derecede bozunma gösteren sahaların mevcudiyeti söz konusudur. Yaz döneminde kayaç dayanım katsayılarının sertlik durumlarının 50 schimdt sertliği üzerinde seyretmesine istinaden günlenmenin yavaşlaması durumu ortaya çıkmaktadır. Kış döneminde ise kayaç dayanım katsayılarının sertlik değerlerinin sıcaklık-yağış koşullarına göre ve gün içerisinde yaşanan değişimlere bağlı olarak genleşmenin artışına istinaden kayaç dayanım katsayılarında schimdt sertliğinin 50-55 arasında değişme gösterdiği sahaların %81'i az bozunuma; 55 schimdt sertliği üzerinde kayaç dayanım katsayısı gösteren sahaların %3,25'i bozunma göstermeyen ve 50 schimdt sertliği altında kalan arazilerin de %15,68 oranında orta derecede bozunma gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 12. Madra Barajı Havzası'nda Bulunan Kayaç Gruplarının Kayaç Sertliği Ve Bozunuma Karşı Gösterdikleri Dağılım Durumu.

Anakaya	Günlenme (Bozunma)			Kayaç Sertliği		
	Kış	Yaz	Yıllık (Genel)	Kış	Yaz	Yıllık (Genel)
Granodiyorit	0,112	0,107	0,110	50,00	51,86	50,93
Andezit, tüf, lahar	0,109	0,107	0,108	55,28	56,48	55,88
Metamorfik şist	0,113	0,107	0,110	53,25	55,32	54,28
Alüvyon (Granodiyorit)	0,125	0,114	0,120	48,17	52,67	50,42
Metavolkanit	0,128	0,126	0,127	46,97	47,56	47,26
Ortalama	0,117	0,112	0,115	50,73	52,77	51,75



Şekil 4. Kayaçların Sertliğine İlişkin Dağılım Durumu.



Şekil 5. Kayaçların Alterasyonuna İlişkin Dağılım Durumu.

Araştırma sahası üzerinde sahayı meydana getiren ana kayaç gruplarından bazalt, aglomera ve kristalize kireçtaşı arazileri karelejama tekniğinde merkezi kısımda ve bütün karelej alanını temsil edemeyeceğinden dolayı dışarıda bırakılmıştır. Ayrıca bu sahaların toplam arazi varlığı içerisindeki paylarının da bir hayli az olması ve kayaç dayanım katsayılarına ilişkin bütün sahayı temsil edememesinden örneklem sahalarının dışında tutulmuştur. Çalışma sahasını oluşturan diğer ana kayaç grupları üzerinde yapılan ölçümler alüvyon (granodiyorit); andezit, tuf, lahar; metamorfik şist; metavolkanit ve granodiyoritlerden elde edilmiştir.

İstasyon ölçümleri adına en fazla ölçüm noktasına sahip ana kayaç grubunu granodiyoritler meydana getirmektedir. 24 farklı istasyon üzerinde granodiyoritler üzerinde yürütülen yaz-kış dönemlerine ait schimdt kayaç dayanım katsayılarına ilişkin verilerden elde edilen sonuçlara göre kayaç sertliklerinin 50-55 arasında değişim gösterdiği ve bu bağlamda kış döneminde kayaç dayanım katsayılarının düşmesine bağlı olarak yaz-kış arası dönemlerde kayaçların günlenmesine ilişkin değişimlerin gözlemlendiği tespit edilmiştir. Yıllık ortalama kayaç alterasyonu adına granodiyorit ana kayaç gruplarından hektar başına 0,110 ton kayaç bozunuma uğramaktadır (Tablo 12).

Araştırma sahası üzerinde 15 ve 25 nolu istasyonlara ait sahalar ise alüvyon (granodiyorit) ana kayaç gruplarından meydana gelmektedir. İçerisinden Kozak Çayı'nın geçtiği bu araziler yıl içerisinde schimdt sertlik durumuna göre değişkenlik gösteren bir yapı arz eder. 50 schimdt kayaç dayanım katsayısı civarında

olan bu iki istasyon yıl içerisinde meydana gelen iklimatik ve gün içerisinde değişim gösteren termik gradyana bağlı olarak yaz döneminde ortalama 0,114 t/ha/y olarak kayaç bozunuma uğrarken kış döneminde 0,125 t/ha/y kayaç bozunumu göstermektedir.

Madra Barajı Havzası'nda kayaçların dayanım katsayılarına göre istikrarlı yapıda iki ana kayaç grubu mevcuttur. Bu kayaç gruplarından elde edilen ölçümlere göre yaz-kış ve yıllık genel ortalama değişim göstermeyen bir yapı sergilerler. Kayaç gruplarından ilki 55 schimdt kayaç sertliği üzerinde kayaç dayanım katsayısı sergileyen ve 2, 33, 34 ile 37 numaralı istasyonlara sahip 4 farklı istasyonun yer aldığı andezit, tuf, lahar ana kayaç grubudur. Çalışma sahasının kuzeybatısında yer alan 2 numaralı istasyon, Madra Barajı ile Çam Tepe arasında kalan saha üzerinde 33 ve 34 numaralı istasyonlar ile araştırma sahasının en güneyinde bulunan 37 numaralı istasyon plajiolaz, piroksen, opak ve biyotit minerallerinden teşekkül etmiş andezit, tuf ve laharlardan müteşekkildir. Dört istasyonun ortalama yükseltisi 405 m civarındadır. İstasyonların ortalama eğim değerleri yapılan hesaplamalar sonucunda 6-12° eğimli araziler üzerindedir ve yıllık ortalama yağış erozif faktörü 173,92 mm'dir. Kış-yaz ve yıllık genel ortalama adına bu istasyonların bünyesine sahip karelejlar schimdt çekici kayaç dayanımı katsayılarının 55 üzerinde seyrettiği arazileri oluşturmaktadır. Ayrıca yılın hiçbir döneminde bu ana kayaç gruplarına sahip araziler üzerinde elde edilen ölçümlere dayalı olarak yıllık kayaç günlenmesinin 0,110 t/ha/y üzerine çıkmadığı belirlenmiştir.

Kayaç dayanım katsayısı adına istikrarlı durumda bulunan diğer ana kayaç grubunu 8 ve 9 nolu istasyonların içerisinde bulunan, minerolojik yapısını spilit ile diyabazların meydana getirdiği metavolkanitler oluşturmaktadır. Araştırma sahasında kayaç dayanım katsayılarının en düşük olduğu ve yıllık günlenmenin yılın hiçbir döneminde değişim göstermeden sürekli 0,120 t/ha/y üzerinde hesaplandığı bu araziler baraj havzasının kuzeydoğusunda en yüksek noktayı meydana getiren Maya Tepe (1.343 m) ve Kapan Tepe arasında kalan sahalardan oluşmaktadır. Yılın farklı dönemlerinde uygulanan schimdt çekici test verileri kayaç dayanım katsayısının hiçbir dönemde 50 üzerine çıkmadığını göstermektedir. Arazi çalışmalarından elde edilen bulgulara göre bu araziler üzerinde en yüksek yağış erozif faktör değerlerine (288 mm) ve ortalama yükseklik (180 m) koşullarının en yüksek saha olması hasediyle termik gradyanda meydana gelen gün ve yıl içerisindeki farklılıklardan dolayı rill ve gully (oyuntu) erozyon sahalarının geliştiği gözlenmiştir (Foto 10).



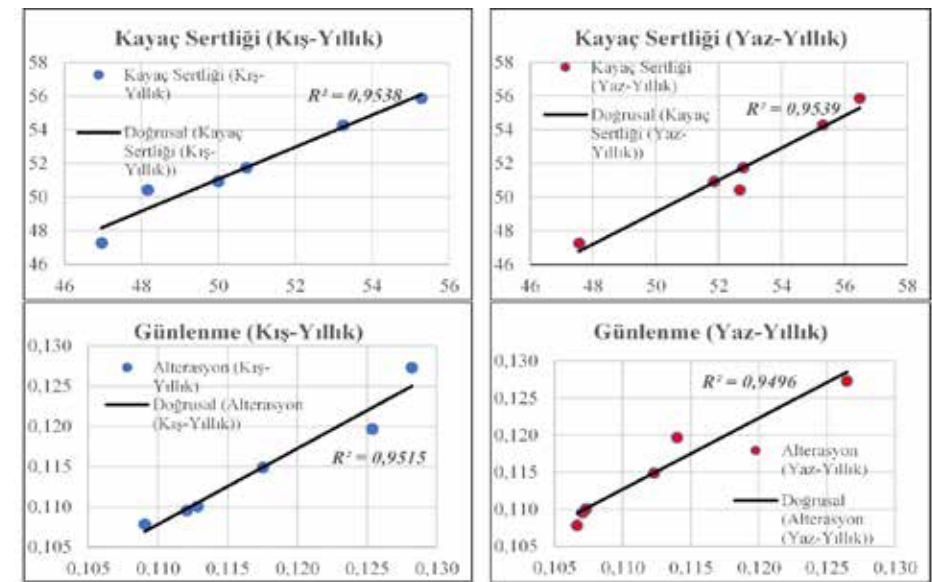
Foto 9. Araştırma Sahasının Doğusunda Yer Alan Kapan Tepe İle Softa Tepe Arasında Bulunan Metavolkanitlerin Günlenmesi (06.06.2020- 1.115 M).

Foto 10. Madra Barajı Havzası'nın Doğusunda Yer Alan Kıranlı-Çobanlar Yerleşim Birimlerinin Üzerinde Yer Aldığı Ana Kayasını Granodiyoritlerin Oluşturduğu Araziler Üzerinde Oyuntu Erozyonun Gelişimi (06.06.2020- 694 M).

Araştırma sahasının %9'unu (3.671 ha) meydana getiren metamorfik şistler kuvars, muskovit, serizit, biyotit, klorit, fillit, epidot, albit ve opak gibi birçok farklı minerolojik bileşim sonucu oluşum göstermiş ve baraj havzasında 3, 19, 21, 22 ve 28 numaralı istasyonlardan elde edilen kayaç dayanım katsayılarından elde edilen 5 farklı istasyon verilerine göre kış-yaz dönemleri içerisinde kayaç bozunumu adına değişken bir durum sergilemektedir. Kayaç bozunumu adına metamorfik şisti serilerde bozunuma en dirençli sahalar Yukarıcuma yerleşim biriminin kuzeybatısında bulunan 5 numaralı istasyona aittir. Yıllık kayaç bozunumu adına bu saha civarında 0,107 t/ha/y kayaç bozunuma maruz kalmaktadır. Hacıveliler yerleşim biriminin güneydoğusunda bulunan 19 numaralı metamorfik şisti serilerin yıllık kayaç günlenmesi 0,113 t/ha/y olarak belirlenmiştir. Bu saha civarında bulunan ana kayaçlar az bozunma gösterir niteliktedir. Madra Barajı'nın kuzeyinde bulunan 21 ve 22 numaralı istasyonlar ile araştırma sahasının güneyinde yer alan ve Seroluk Dere'nin akış gösterdiği 29 numaralı metamorfik şistlerin bulunduğu araziler kayaç günlenmesi adına bozunmanın en az olduğu ve az derecede günlenme gösterdiği arazilerdir. Metamorfik şistlerin yer aldığı arazilerin ortalama yükseltisi 225 m civarında olup eğim değerleri 0-2° arasındadır ve yıllık yağış erozif faktör değeri 187 mm civarındadır.

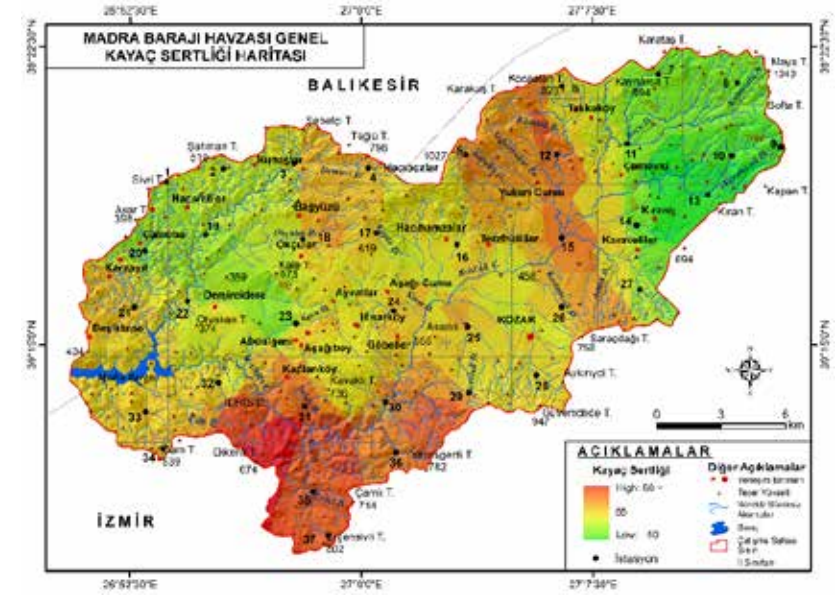
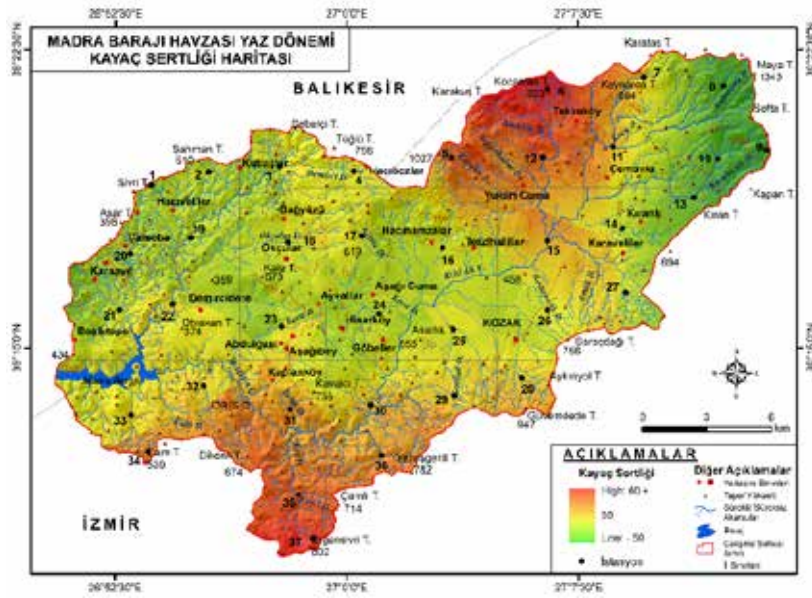
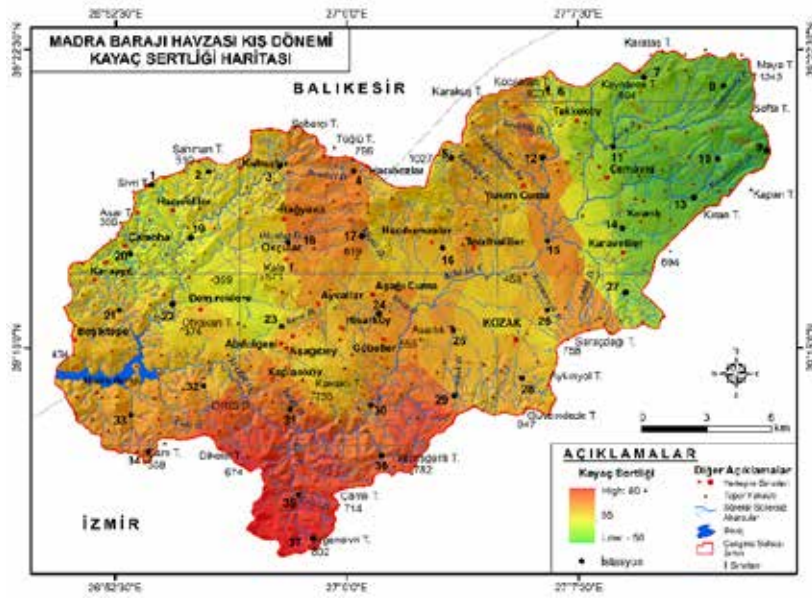
Madra Barajı Havzası'nda 37 farklı istasyonda farklı kayaç grupları üzerinde yapılan schmidt çekici kayaç dayanım katsayılarından elde edilen genel değerlendirilmede kayaçların kış döneminde 50,73 schmidt sertliği gösterdiği yaz döneminde ise 52,77'ye çıktığı saptanmıştır. Yıllık ortalama schmidt kayaç da-

yanımı adına kayaçların sertliği 51,75 olarak hesaplanmıştır. Günlenme durumu adına kış döneminde kayaçların az derecede altere oldukları aynı durumun yaz ve yıllık genel günlenmeye uğradıkları ve istikrarlı bir yapı sergiledikleri belirlenmiştir. Kayaç günlenmesine yönelik araştırma sahasının kuzeydoğusunda yer alan ve 700 m civarından başlayarak araştırma sahasının en yüksek noktasına kadar ana kayasını granodiyorit ile metavolkanitlerin meydana getirdiği sahalar 0,120 t/ha/y kayaç günlenmesine maruz kalan 7, 8, 9, 10, 11, 13 ve 14 numaralı istasyonlar üzerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilmiştir. Baraj havzasının kuzeybatısında bulunan 1, 19, 20, 22 ve 23 numaralı istasyonlar üzerinde yapılan ölçümler sonucu ise az derecede bozunuma uğradıkları tespit edilmiştir. Bu araziler üzerinde kayaç günlenmesi 0,110-0,120 t/ha/y olarak belirlenmiştir (Şekil 8).



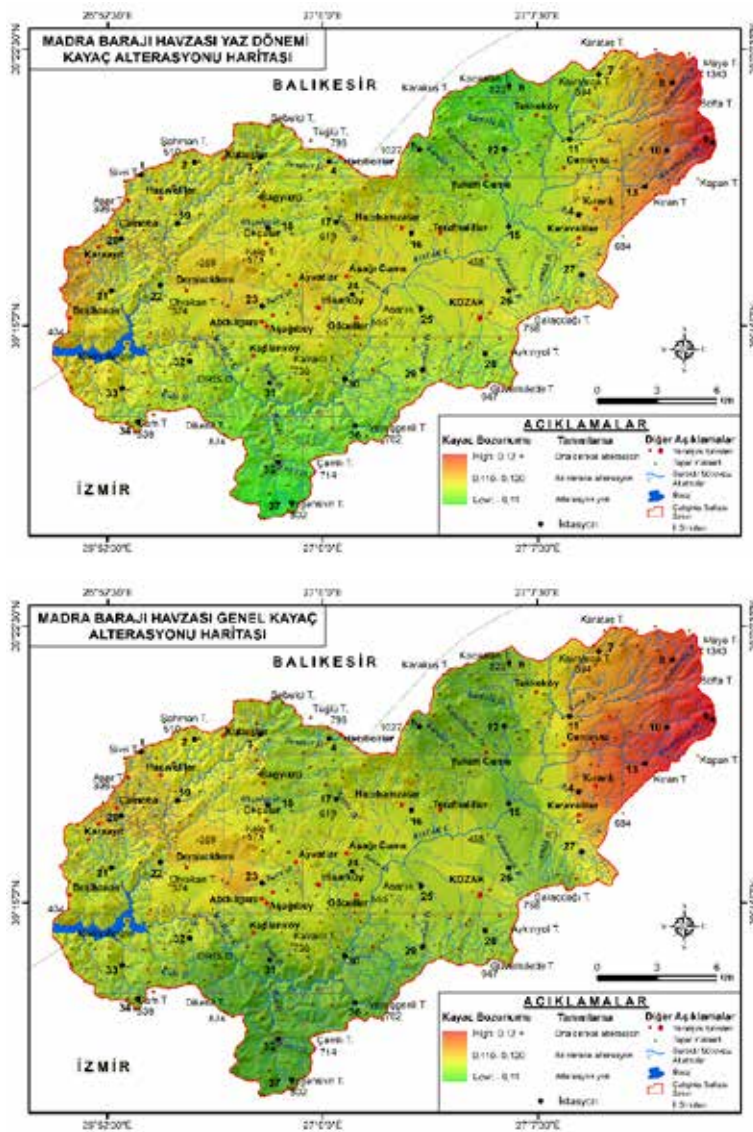
Şekil 6. Kayaç Sertliği Ve Günlenmenin Yıl İçerisindeki Korelasyonu.

Madra Barajı Havzası'nı meydana getiren granodiyorit, metamorfik şist, metavolkanit, alüvyon (granodiyorit) ve andezit, tuf, lahar ana kaya formasyonlarına ait yıl içerisinde yapılan ölçümlerin %95 oranında kayaçların sertliği ve günlenmesinde ilişki bulunduğu yapılan doğrusal regresyon (en küçük kareler yöntemi) tarafından tespit edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 7. Madra Barajı Havzasına Ait Ana Kayaç Gruplarının Yıl İçerisinde Kayaç Sertliği.





Şekil 8. Madra Barajı Havzasına Ait Ana Kayaç Gruplarının Yıl İçerisinde Kayaç
Günlenmesi.

2.1.4. Madra Barajı Havzası'nda Ana Kayaç Gruplarının Eğim, Yağış Eroziyon Faktörü ve Yükselti İlişkileri

Baraj havzasını oluşturan ana kayaç gruplarının farklı minerolojik yapılarda gelişmiş olması, ana kayaç gruplarının farklı yükselti, eğim koşulları ve yağış erozif faktörlerinin de farklılaşmasına bağlı olarak kayaç dayanım katsayılarının değişmesi sebebiyet vermiştir, dolayısıyla kayaçların günlenmesine bağlı

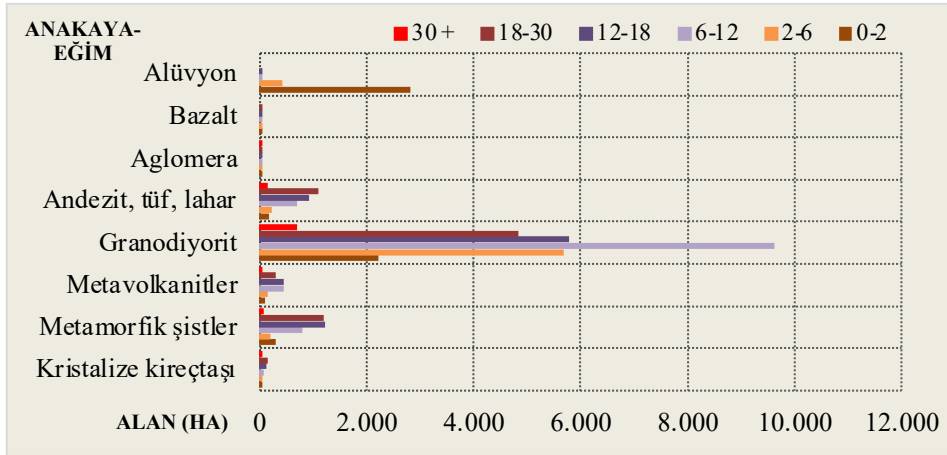
bozunuma uğrama durumu söz konusudur. Araştırma sahasının sahip olduğu topografik yapı üzerinde gelişme gösteren drenaj ağının kurulumu ve yoğunluğu ana kayaç gruplarının günlenmeye uğraması sonucu ortaya çıkan arenalanmış materyalin taşınmasını sağlamakta ve topografik eğim koşullarına göre vadi tabanlarına ya da baraj bünyesine depo edilmektedir dolayısıyla baraj havzasında erozyona uğratılan detritik unsurların barajı doldurması durumu söz konusudur.

2.1.4.1. Ana Kayaç Gruplarının Eğim Gruplarına Dağılımı

Havza bünyesinde bulunan sekiz farklı ana kayaç grubunun eğim koşullarına göre dağılımı, üzerinde akış gösteren akarsuların potansiyel ve kinetik enerjileri ile etkilerine bağlı olarak kayaçlardan günlenmeye uğratılan malzemenin boyutu ve yükü arasında taşınma durumuna etki etmektedir. Arazinin sahip olduğu düz arazilerden çok dik yamaçlı arazilere kadar ana kayaç gruplarının dağılımı söz konusudur.

Tablo 13. Ana Kayaçların Eğim Gruplarına Göre Oransal Dağılımı.

<i>Anakaya</i>	<i>Eğim (°)</i>						<i>TOPLAM</i>
	<i>0-2</i>	<i>2-6</i>	<i>6-12</i>	<i>12-18</i>	<i>18-30</i>	<i>30 +</i>	
<i>Kristalize kireçtaşı</i>	17	14	61	106	132	4	<i>334</i>
<i>Metamorfik şistler</i>	287	178	788	1.198	1.174	46	<i>3.671</i>
<i>Metavolkanitler</i>	80	129	439	430	283	8	<i>1.369</i>
<i>Granodiyorit</i>	2.192	5.660	9.596	5.772	4.826	685	<i>28.731</i>
<i>Andezit, tüf, lahar</i>	145	208	693	909	1.091	135	<i>3.181</i>
<i>Aglomera</i>	1	1	2	8	22	2	<i>36</i>
<i>Bazalt</i>	1	1	2	4	3	0	<i>11</i>
<i>Alüvyon</i>	2.795	403	27	2	0	0	<i>3.227</i>
<i>TOPLAM</i>	<i>5.518</i>	<i>6.594</i>	<i>11.608</i>	<i>8.429</i>	<i>7.531</i>	<i>880</i>	<i>40.560</i>



Şekil 9. Madra Barajı Havzası'nda Bulunan Ana Kayaç Gruplarının Eğime Göre Dağılımı.

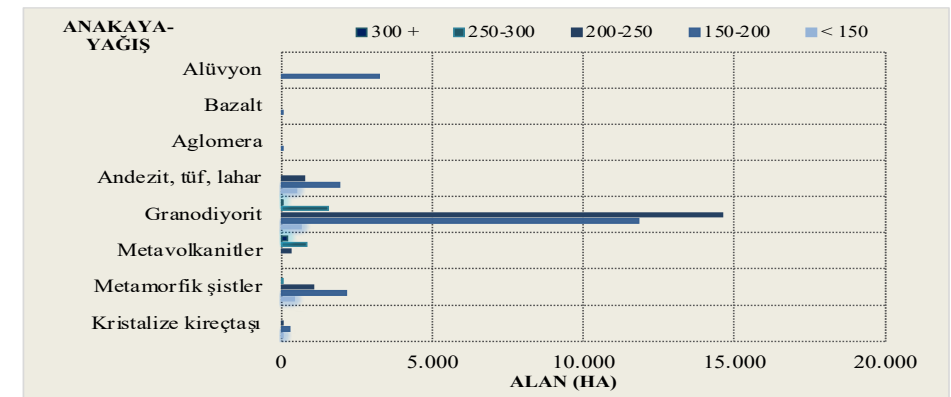
Araştırma sahasını meydana getiren ana kayaçların alansal dağılımı birbirinden farklılıklar arz etmesine göre eğim açısından da büyük farklar göstermektedir. Bütün kayaç gruplarının ortalama eğimi 6-12° basamağı arasında yer almaktadır. Basamak içerisindeki en büyük pay 9.596 ha ile granodiyorit ana kayaç grubuna aittir. Ana kayasını granodiyorit meydana getirdiği diğer eğim sınıflarında yine bu kayaç grubu en yüksek alana sahip arazileri meydana getirmektedir.

2.1.4.2. Ana Kayaç Gruplarının Yağış Eroziyon Faktörü ve Yükselti Kademelerine Göre Durumu

Yağış eroziyon faktörünün yükselti kademelerine göre artış göstermesine bağlı olarak yağışın neden olduğu toprak erozyonunun birbiriyle ilişkili olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Schreiber'in her 100 m lik yükselti artışına bağlı olarak 54 mm yağış artışına istinaden yağışın neden olduğu eroziyon faktörünün de artışlar meydana getirmesi durumu söz konusudur. Araştırmanın bu aşamasında ana kayaç gruplarının yükselti kademelenmesine ve yağış eroziyon faktörünün artışına bağlı olarak nasıl bir dağılım sergilediği ArcGIS ortamında yapılan intersect (kesişim) analizleri ile hesaplanmıştır.

Tablo 14. Ana Kayaç Gruplarının Yağış Eroziyon Faktörüne Göre Oransal Dağılımı.

Anakaya	Yağış Eroziyon Faktörü (t/ha/y)					TOPLAM
	< 150	150-200	200-250	250-300	300 +	
Kristalize kireçtaşı	45	287	2	0	0	334
Metamorfik şistler	442	2.144	1.083	2	0	3.671
Metavolkanitler	0	0	319	856	194	1.369
Granodiyorit	658	11.849	14.628	1.552	44	28.731
Andezit, tüf, lahar	491	1.926	764	0	0	3.181
Aglomera	0	36	0	0	0	36
Bazalt	0	11	0	0	0	11
Alüvyon	0	3.227	0	0	0	3.227
TOPLAM	1.636	19.480	16.796	2.410	238	40.560



Şekil 10. Baraj Havzasında Bulunan Ana Kayaç Gruplarının Yağış Eroziyon Faktörüne Dağılımı.

Baraj havzasında bulunan ana kayaç gruplarının yağış eroziyon faktörüne göre oransal dağılımında bütün kayaç gruplarının yağış eroziyon faktörü içerisinde yer alan kademelenmenin hiçbir basamağında hepsinin bir arada bulunmadığı tespit edilmiştir. Granodiyorit ana kayacı yağış eroziyon faktörüne göre bütün kademelenmelerde yer almıştır. Bu durum granodiyorit ana kayaç grubunun baraj havzasının %70'ini (28.731 ha) oluşturması ve havzanın her yerine dağılmasıyla ilişkilidir.

Araştırma sahasında ana kayaç gruplarının yağış eroziyon faktöründe en yüksek oranda dağılım gösterdiği grubu yıllık hektar başına 150-250 ton toprak ka-

yıplarının meydana getirdiği araziler oluşturmaktadır. Bu grup içerisinde yine granodiyorit ana kayası başı çekmektedir. Metamorfik şisti seriler (3.237 ha) ise granodiyorit ana kayac grubundan sonra ikinci düzeyde yağış erozif faktörüne maruz kalan 150-250 t/ha/y toprak kayıpları oluşturan grubu oluşturmaktadır. Minerolojik bileşimini plajioklad, piroksen, opak ve biyotit minerallerinin oluşturduğu andezit, tüf, lahar ana kayac grubu bu dağılımda yağış erozif faktörü adına üçüncü derecede öneme sahip 200-700 m yükselti rakımında dağılım gösteren arazileri oluşturmaktadır. Yine bu kayac grubu yılın bütün dönemlerinde ve genel olarak istikrarlı bir yapı arz etmesinden dolayı yıllık hektar başına 0,108 t/ha/y toprak kayıpları meydana getiren arazilerdir.

Tablo 15. Ana Kayac Gruplarının Yükselti Kademelerine Göre Alansal Dağılımı.

Yükselti Basamağı (m)	Anakaya								TOP-LAM
	Kristalize kireçtaşı	Metamorfik şistler	Meta-volkanitler	Granodiyorit	Andezit, tüf, lahar	Agglomera	Bazalt	Alüvyon	
< 100	0	0	0	3	0	0	0	0	3
100-200	33	298	0	401	241	0	0	0	973
200-300	83	668	0	1.526	984	0	0	0	3.261
300-400	114	820	0	2.330	746	8	0	0	4.018
400-500	89	759	0	5.943	360	27	7	3.225	10.410
500-600	15	416	0	7.427	336	1	4	2	8.201
600-700	0	383	2	4.608	410	0	0	0	5.403
700-800	0	252	142	3.185	101	0	0	0	3.680
800-900	0	58	175	1.701	3	0	0	0	1.937
900-1000	0	17	297	668	0	0	0	0	982
1000-1100	0	0	305	509	0	0	0	0	814
1100-1200	0	0	238	326	0	0	0	0	564
1200-1300	0	0	197	104	0	0	0	0	301
1300 +	0	0	13	0	0	0	0	0	13
TOPLAM	334	3.671	1.369	28.731	3.181	36	11	3.227	40.560

Ana kayac gruplarının yağış erozif faktörü ve yükselti kademelenmesine göre en yüksek öneme sahip araziler minerolojik bileşimine göre split ve diyabazlardan müteşekkil metavolkanit arazilerden meydana gelmektedir. Meta-

volkanit arazilerin 700 m rakımından sonra baraj havzasında bulunması yağış erozif faktörünün bu araziler üzerinde 200 t/ha/y toprak kayıplarına ev sahipliği yapmasına imkan tanımaktadır. Yükseltinin artışına istinaden metavolkanit arazi yüzeylerinin termik gradyanının diğer ana kayac gruplarına oranla daha yüksek oranda gerek gündüz gerekse yıl içerisinde farklar arz etmesiyle kayac sertliklerinin daha düşük olmasına ve günlenmenin daha yüksek olmasına olanak tanımaktadır. Bu arazi yüzeyleri andezit, tüf, lahar ana kayac gruplarında olduğu gibi istikrarlı bir yapı arz etmektedir, fakat bu durum tersi yöndedir. Metavolkanit arazi yüzeylerinin termik gradyan, kayac sertlikleri ve günlenme durumuna bağlı olarak yıllık hektar başına 0,127 ton toprak kayıpları oluşturan arazi yüzeylerini oluşturmaktadır.

2.2. Yağış Erozi Faktörü

Yağış erozif faktörü, toprak yüzeyinde yağmur damlalarının kinetik enerjisine maruz kalan agregatların mekanik parçalanması sonucu aşındırılarak taşınmasına bağlı olarak gerçekleşen bir durumdur. Yağışların büyük çoğunluğunun yağmur şeklinde gerçekleşmesinden dolayı yağmur damlalarının erozyon üzerinde etkisini incelemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır (Wischmeier, Smith, 1978; Schwab vd., 1966, Fournier indeksi). Dolayısıyla yüzeysel akışa oranla daha yüksek kinetik enerjiye sahip yağmur damlalarının toprak erozyonu üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu söylenebilir.

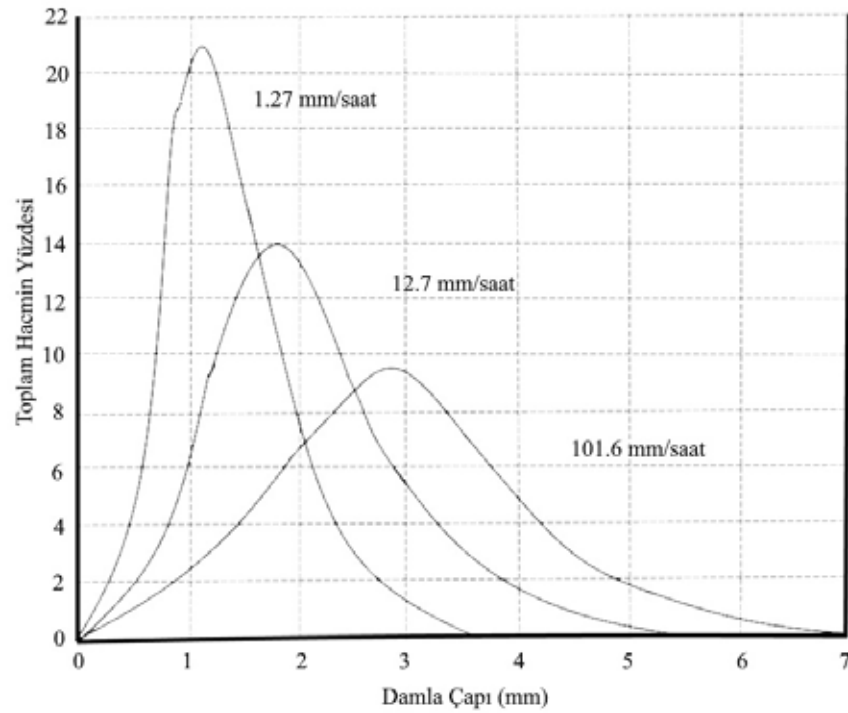
Yağmur damlacıklarının sahip olduğu kinetik enerji ve yüzeyde meydana gelen sellenme sayesinde toprak üst yüzeyinde toprağı oluşturan agregatların yuvarlanması durumu söz konusudur. Dolayısıyla toprağın aşınma-taşınmaya karşı göstereceği direncin azalması ve dağılma durumu ortaya çıkmaktadır. Toprak agregatlarının erozibilitesi, (sıçrama) splash ve aşınmaya karşı göstereceği direnç:

- Ageratların kohezyon durumu,
- Toprağı oluşturan fraksiyonların ortalama çapı ve
- Toprak üst yüzeyinde bulunan fraksiyonların istiflenmesi ile yakından ilişkilidir (Bahtiyar, 1999).

Yağışın neden olduğu yağış erozif faktörünün belirlenmesine en uygun indeks yağışın kinetik enerjisine yönelik oluşturulan indeks hesaplamasıdır. Dolayısıyla yağış erozif faktörünü belirleyen temel nedenlerin ortaya çıkması durumu söz konusudur. Bu bağlamda yağışın *süresi*, *şiddeti*, *kütlesi*, *damlaların düşme hızı ve damla çapları* belirli bir fonksiyonda birleştirilerek yağış erozivite indeksi oluşturulmuştur (Schwab vd., 1966).

Tablo 16. Yağış Yoğunluğu Erozyon Etkileşimi.

Yağışın Yoğunluğu (mm/sa)	Erozyonla İlişkisi
0-6	Hafif
6-12	Orta
12-50	Şiddetli
50 +	Çok şiddetli

**Şekil 11.** Yağmur Şiddetine Göre Damla Büyüklüğü Dağılışı (Schwab vd., 1996).

Wischmeier ve Smith'in 1978 yılında yağmur damlacıklarının toprak yüzeyinde toprak fraksiyonlarını kopartıcı ve dağıtıcı etkisinden dolayı **yağış erozif faktörünü**, yağışların toplam kinetik enerjileri ile 30' lık maksimum yoğunluklarının çarpımı sonucu elde etmişlerdir (Wischmeier ve Smith, 1978). Bu indeks ile toprak erozyonu arasında yüksek oranda bir korelasyon bulunduğu belirlenmiştir.

İndekse göre:

$$EI_{30} = E * I_{30}$$

EI_{30} = Erozivite indeksi ,

E = Yağmurun kinetik enerjisi (jul/m²),

I_{30} = 30' lık yağmur şiddeti (cm/sa)

Kinetik enerji ise deneysel olarak geliştirilen eşitlikten faydalanılarak hesaplanmaktadır:

$$E = 210.3 + 80 \log I$$

E = 1 cm lik yağışın kinetik enerjisi (jul/m²),

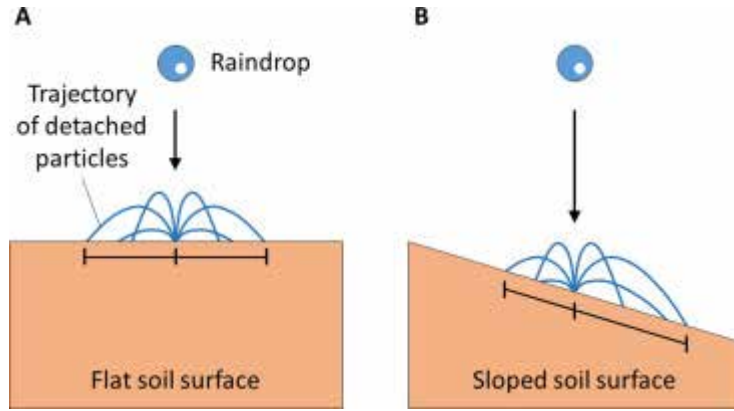
I = Yağış şiddeti (cm/sa)

Sıçrama, yüzeysel akış ve parmak erozyonu ile 30' lık yağışların neden olduğu kinetik enerji arasında araştırmacılar yüksek korelasyon bulmasına rağmen bu durum Stocking ve Elwell (1973) yılında yaptıkları çalışmaya göre sadece çıplak toprak yüzeyleri adına geçerli olduğu kanısında kullanılması gerektiğini öne sürmektedirler. Bitki örtüsünün zayıf-cılız olduğu arazi yüzeylerinde hesaplanan 15' ve yoğun bitki örtüsü ile kaplı arazilerin 5' lık yağışlar sonucunda korelasyon katsayısının artış gösterdiğini bildirmektedirler (Stocking ve Elwell, 1973).

Yağış erozivite indeksine göre yapılan çalışmalardan **Fournier Index**'i ise taşınan materyal, iklim verileri ve topografik unsurlar arasındaki ilişkiyi ele alan hesaplamaya dayanmaktadır (Lal, 1988). Fournier İndeksi'nde, aylık yağışların karesinin toplam yağışa oranlanması ve bunların toplanmasıyla elde edilen sonuç, akarsu havzalarında erozyon indeksi olarak kullanılmaktadır.

Tablo 17. Fournier Index Sınıflaması.

Fournier Index dağılımı	Sınıfı	Erozyon İlişkisi
<60	1	Çok az
60-90	2	Az
91-120	3	Orta
121-160	4	Yüksek
160 +	5	Çok yüksek



Şekil 12. Yağmur Damlacıklarının Toprak Yüzeyinde Yağış Erozivite Etkisi Eğimli Yamaçlarda Düz Yamaçlara Oranla Daha Yüksek Etki Yaratmaktadır (Fernandez-Ra-ga Vd., 2017).

$$R = \sum 12 * 1,735 * 10^{(1,5 \log_{10} (P_2/P) - 0,082)}$$

Pi= aylık yağış (mm)

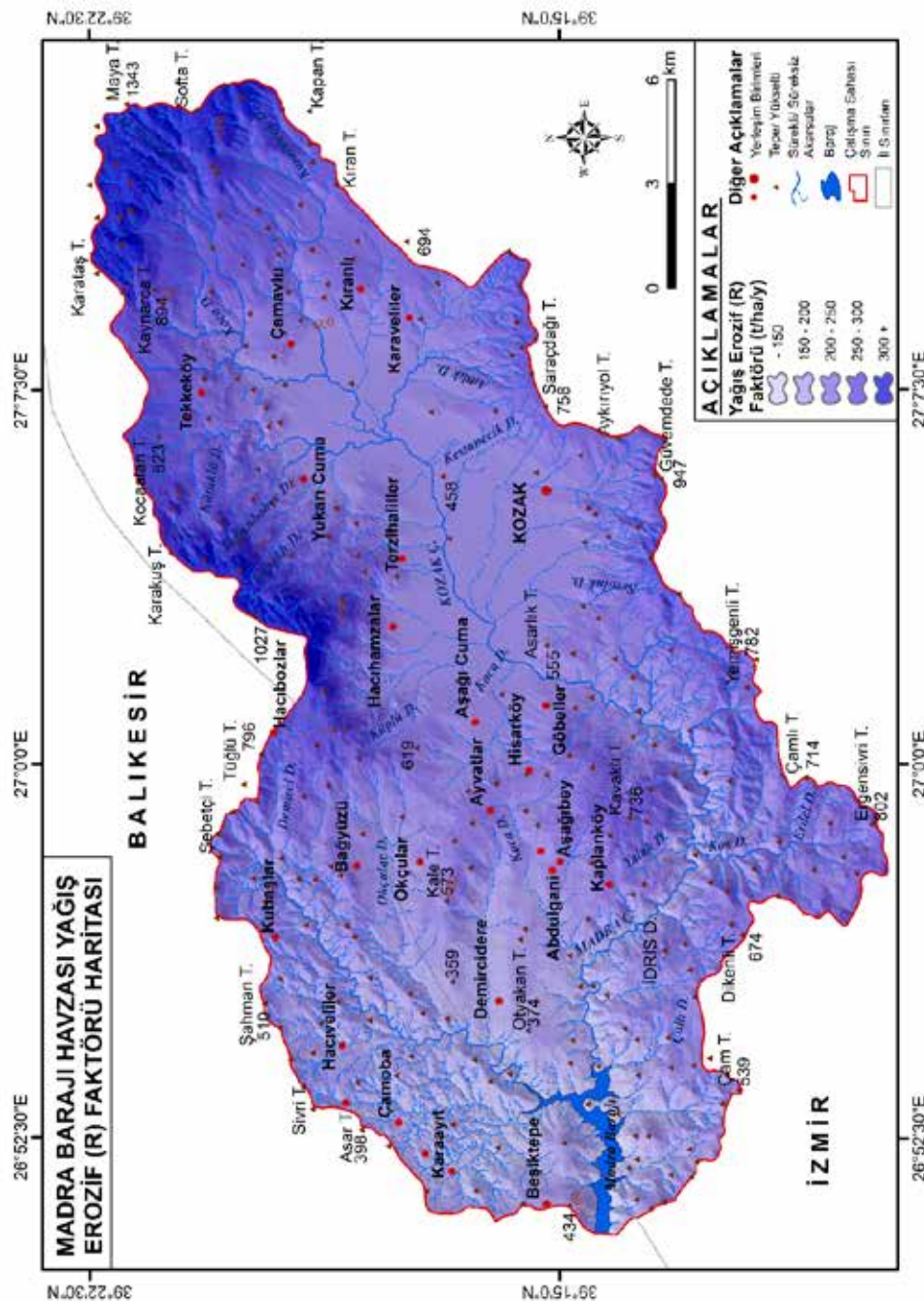
P= ortalama aylık yağış (mm)

Tablo 19. Madra Barajı Havzası'na Ait Yağış Eroziyon Faktörü Hesaplaması.

Yük-selti	h	Yağış	Std	Pj	Yağ. Karesi	MFI	Sabit Kts	Çarpım	Sabit Değer	R Fak-tör
25	0,25	574,6	54	588,1	43.474,7	73,92	4,17	308,25	152	156,25
125	1,25	574,6	54	642,1	44.782,8	69,74	4,17	290,82	152	138,82
225	2,25	574,6	54	696,1	50.318,7	72,29	4,17	301,45	152	149,45
325	3,25	574,6	54	750,1	56.340,6	75,11	4,17	313,21	152	161,21
425	4,25	574,6	54	804,1	62.848,5	78,16	4,17	325,93	152	173,93
525	5,25	574,6	54	858,1	69.842,4	81,39	4,17	339,40	152	187,40
625	6,25	574,6	54	912,1	77.322,3	84,77	4,17	353,49	152	201,49
725	7,25	574,6	54	966,1	85.288,2	88,28	4,17	368,13	152	216,13
825	8,25	574,6	54	1.020,1	93.740,1	91,89	4,17	383,18	152	231,18
925	9,25	574,6	54	1.074,1	102.678,0	95,59	4,17	398,61	152	246,61
1025	10,25	574,6	54	1.128,1	112.101,9	99,37	4,17	414,37	152	262,37
1125	11,25	574,6	54	1.182,1	122.011,8	103,22	4,17	430,43	152	278,43
1225	12,25	574,6	54	1.236,1	132.407,7	107,12	4,17	446,69	152	294,69
1325	13,25	574,6	54	1.290,1	143.289,6	111,07	4,17	463,16	152	311,16

Tablo 18. Altınova Meteoroloji İstasyonu (25 M) Yıllık Ortalama Yağış Verileri (MGM)

O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
98,7	70,8	60,6	37,6	31,6	13,2	6,2	3,0	11,9	39,1	87,5	114,4	574,6

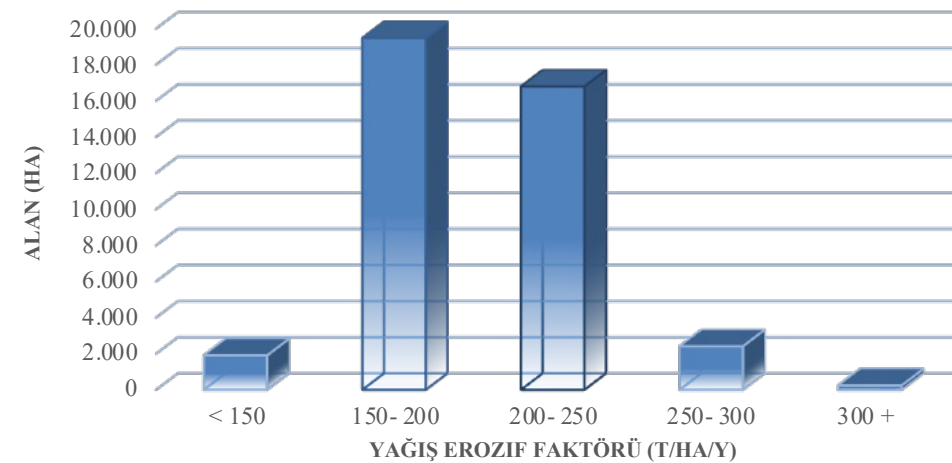


Şekil 13. Madra Barajı Havzası Yağış Eroziyon Faktörü Haritası.

Madra Barajı Havzası genelinde yağış erozif faktörüne göre Madra Dağı ve Yaylacıkdede Dağı civarı yıllık ortalama 300 tondan fazla toprak kayıplarının meydana geldiği sahalardır. Burada dikkate alınması gereken durum erozyonu ortaya çıkaran diğer parametrelerin dışarıda tutulduğu unutulmamalıdır. Araştırma sahasının 240 ha lık kesiminde 300 tondan fazla toprak kayıplarının sadece yağış faktöründen kaynaklandığı görülmektedir.

Tablo 20. Yağış Erozif Faktörü Alansal Dağılımı.

<i>Yağış Erozif (R) Faktörü (t/ha/y)</i>	<i>Alan (ha)</i>	<i>Oran (%)</i>
<i>< 150</i>	1.906	4,67
<i>150- 200</i>	19.481	47,71
<i>200- 250</i>	16.794	41,13
<i>250- 300</i>	2.411	5,90
<i>300 +</i>	240	0,59
<i>TOPLAM</i>	<i>40.832</i>	<i>100</i>



Şekil 14. Madra Barajı Havzası Yağış Eroziyon Faktörü Dağılım Grafiği.

Yıllık ortalama 250-300 ton toprak kayıplarının meydana geldiği sahalara ise araştırma sahasında yüksek kademe yarılmış yüzeylerin yer aldığı 600- 900 metre yükselti basamağı arasında kalan sahalara karşılık gelen Kavaklı T. civarı, çalışma sahasının kuzeydoğusunda Kocaalan- Kaynarca-Kıran T. arasında kalan

sahalar bu sahalar araştırma alanının toplam arazi varlığının yaklaşık %6'sını meydana getirmektedir. Araştırma alanı bünyesinde yağış erozif faktörü açısından en fazla alan kaplayan hafif ve orta şiddette 150-250 ton toprak kayıpları 100-600 m yükselti kademesi arasında kalan alçak ve orta kademe yarılmış yüzeyler ile Kozak Ovası bünyesinde meydana gelmektedir dolayısıyla bu araziler araştırma sahası toplam arazi varlığının 35.000-36.000 ha lık kesimini meydana getirmektedir. Yağış erozif faktörü açısından en az risk taşıyan sahalar ise 200 m altında yükseltiye sahip Madra Barajı çevresinde bulunmaktadır. Bu sahalar üzerinde yıllık hektar başına 150 tondan daha az yağış erozif faktörünün etkisinden söz edilebilir. Çalışma sahası içerisinde 150 tondan daha az toprak kayıplarının yaşandığı sahaların oranı %5 civarındadır (Tablo 20; Şekil 14).

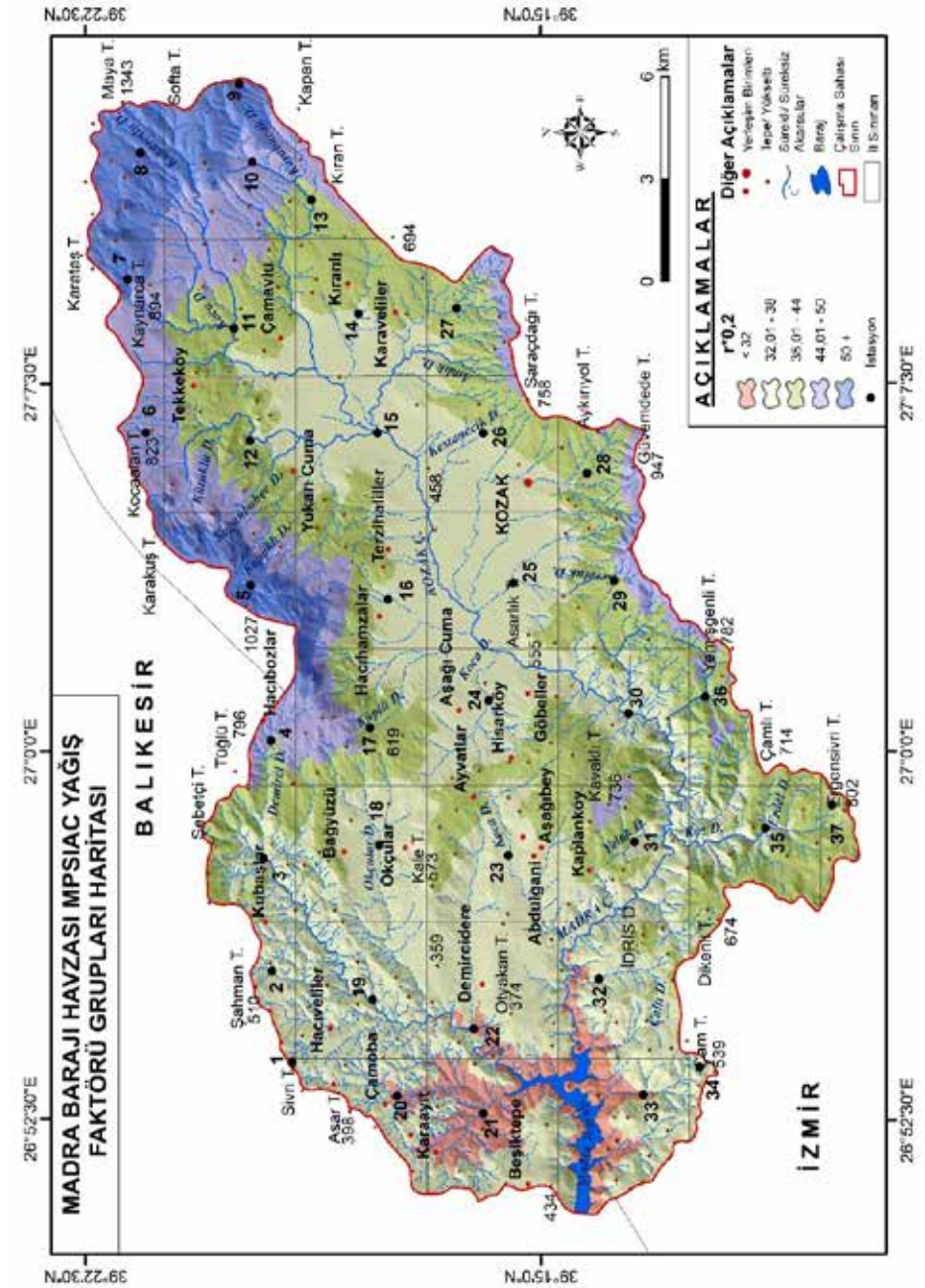
2.2.1. MPSIAC Yağış Erozif Faktörü

MPSIAC Modeli'nde yağış parametresi, toprak erozyonu ve sediment taşınımı adına ana etken olarak düşünülmektedir (İlanloo, 2012). Bu çalışmada Wischemier'in yağmur damlacıklarının toprak yüzeyinde toprak fraksiyonlarını kopartıcı ve dağıtıcı etkisinden sahip olduğu kinetik enerjinin 30' lık maksimum yoğunlukları ile çarpımı sonucu hesaplama yoluna gidilmiştir. Elde edilen sonuçlar MPSIAC iklim faktörüne uyarlanarak **0,2** katsayısı ile çarpılmıştır. Ortaya çıkan formül şu şekilde hesaplanmıştır;

$$X_3 = 0,2 * \left[\sum_{i=1}^{12} * 1,735 * 10^{(1,5 \log 10 (P_2/P) - 0,082)} \right]$$

Madra Barajı Havzası'nda iklime bağlı olarak oluşturulan yağış parametresine göre, ortalama yağış erozif faktörü 39,86 ton/ha/y olarak hesaplanmıştır. Yağış erozif faktörü değer aralıkları 27,77 ile 62,23 arasında değişkenlik göstermektedir. Değişimin temel nedeni her 100 m de yağışın ortalama olarak 54 mm artışına bağlı kullanılan Schreiber formülüdür. Bu bağlamda havza genelinin ortalama düzeyde yağış erozif faktörünün etkisi altında bulunduğu söylenebilir.

Havza genelinde en yüksek yağış erozif faktörünün etkilediği araziler: havzanın kuzeyinde yer alan Yaylacıkdede Dağı civarı (4-5 numaralı istasyonlar), kuzeydoğu kesimde bulunan Madra Dağı civarı (7-8-9-10 numaralı istasyonlar) ve havza güneyinde İdris Dağı ile Ergensivri Tepe arasında bulunan yüksek kesimlerdir. Dolayısıyla bu araziler üzerinde yıllık yağış erozif faktörüne bağlı olarak 62 tondan fazla toprak kayıplarının meydana geldiği ortaya çıkmaktadır.



Şekil 15. Madra Barajı Havzası Mpsiac Yöntemine Göre Yağış Faktör Haritası (0,2*R).

Barajın kurulu olduğu sahanın kuzey ve güney kesimleri ile Okçular Platosu ve Kozak Platosu orta derecede yağış erozif faktörüne maruz kalan arazilerdir. Toprak erozyonu açısından bu sahalara orta dereceli erozyon riski taşıyan sahalara karşılık gelmektedir. Toprak erozyonu açısından yağış erozif faktörünün düşük düzeyde etkileşimde bulunduğu araziler ise Kozak Ovası ve ovanın kuzeybatısına doğru Okçular Deresi'nin oluşturduğu vadi tabanı sahalardan oluşmaktadır. Vadi tabanları da dahil olmak üzere en düşük yağış erozif faktörüne maruz kalan araziler üzerinden yıllık ortalama 27,77 ton hektar başına toprak kayıpları meydana gelmektedir (Şekil 15).

2.3. Topografya Faktörü

2.3.1. Madra Barajı Havzası'nda Jeomorfolojik Birimlerin Dağılımı

Toprak erozyonu üzerinde yağış etkinliği kadar topografik yapının da etkisi mevcuttur. Jeomorfolojik açıdan dağlık araziler, yüksek derecede eğim değerlerinin görüldüğü sarp yamaçlar toprak erozyonunda erozyonu tetikleyen yağış erozif faktörüne arttırıcı rol oynayan unsurları oluşturmaktadır. Dolayısıyla arazi üzerinde bulunan gerek bitki örtüsü ve gerekse toprak örtüsü ne olursa olsun toprak erozyonunun ilk başlama noktası jeomorfolojik ünitesini yüksek eğim değerlerinden oluşan arazi yüzeyleri oluşturmaktadır. Arazi yüzeylerinin sahip olduğu eğim değeri (diklik), eğim uzunluğu ve eğim pozisyonu özellikleri saha üzerinden aşındırılıp taşınacak toprağın nicel ve niteliği üzerinde etki yaratmaktadır.

Baraj havzasında jeomorfolojik açıdan dağlık yüksek kesimlerden, eğim değerlerinin artış gösterdiği yamaçlara, platoluk arazilerden eğimin daha düşük düzeyde izlendiği ve toprak erozyonu ile taşınan sediment maddenin birikim gösterdiği dağ içi ovalarına kadar birçok topografik yapının görülmesi durumu söz konusudur (Şekil 16, Tablo 21). Bu bağlamda havzanın eğim değerlerinin yüksek olduğu kesimlerden ovalık arazi yüzeylerine doğru sediment akışı gerçekleşmektedir. Ayrıca ovalık araziye de oluşturan Kozak ve Madra çaylarının sahip olduğu yüksek debi, sediment maddenin sadece ovalık araziye oluşturmaya haricinde daha alçak seviyeye sahip Madra Barajı bünyesinde depo edilmektedir. Dolayısıyla baraj gövde hacminde taşınan sediment maddenin taşınan maddenin miktarına bağlı olarak barajı doldurması ve ekonomik ömrünün sona erdirilmesine neden olmaktadır.

Tablo 21. Madra Barajı Havzası'nı Oluşturan Jeomorfolojik Ünitelerin Alansal ve Oransal Dağılımı.

Jeomorfolojik Birimler	Alan (ha)	Oran (%)
Ovalık	3.276	8,02
Alçak Kademe (100-300)	523	1,28
Orta Kademe (300-600)	25.802	63,19
Yüksek Kademe (600-900)	9.130	22,36
Dağlık Alanlar (900 +)	1.708	4,18
Birikinti Yelpazesi	108	0,26
Kuru Vadiler	13	0,03
Baraj Göleti	272	0,67
TOPLAM	40.832	100

2.3.1.1. Dağlık Araziler

Madra Barajı Havzası'nda toprak erozyonunun başlangıç noktasını ve su bölümünü oluşturan dağlık arazi yüzeyleri 900 m'den başlayarak 1.343 m (araştırma sahasının kuzeydoğusunda Maya T.) yükseltiye kadarki sahalardan meydana gelmektedir. Baraj havzası doğu batı olmak üzere iki kesime ayrıldığı takdirde dağlık arazilerin tamamı doğu kesimde bulunduğu görülmektedir. Araştırma sahasında bulunan başlıca dağlık üniteler sahanın kuzeyinde yer alan Yaylacıkdede Dağı (1.220 m), kuzeydoğuda Madra Dağı (1.343 m), güneydoğu kesimde Kurtburun Dağı (968 m) ve Güvem Dağı (940 m)'dir. Havzanın kuzeyinde bulunan Yaylacıkdede Dağı, ana kayası Üst Oligosen-Miosen arasında gelişen granodiyoritlerden meydana gelmektedir. Dağlık kütle araştırma sahası içlerine sokulum gösterecek kuzey sektörlü rüzgarları kesmektedir. Ayrıca yapılan incelemeler sonucunda dağlık kütlenin en fazla yağış erozif faktörüne ($EI_{30} = 50 +$) maruz kalması durumu söz konusudur. Ancak 5 numaralı istasyonda ana kayac grupları üzerinde yapılan kayac sertliklerinde (56,03 schmidt sertliği) bulunan değerler henüz ana kayac gruplarının yeni bozunuma uğradıklarını göstermektedir.

Trias metavolkanit arazilerden oluşum gösteren Madra Dağı civarı arazinin en yüksek kesimlerini meydana getirmektedir. Yükseltiyle birlikte yağışın da artış gösterdiği dağlık kütle, araştırma sahasının gerek yağış erozivite faktörü ve gerekse ana kayanın günlenmesine ilişkin en yüksek oranda bozunum gösterdiği arazi yüzeylerinden meydana gelmektedir. Dağlık kütlenin güney-güneybatısında bulunan faylar ve Karabacak Deresi'nin de içerisinden akış gösterdiği arazi, eğim değerleri açısından sarp arazilerden müteşekkildir. Dolayısıyla yağış ero-

zivite etkinliği ve tektonik deformasyonların bir araya gelmesi sonucu yer yer genişliği 1,5 m ve derinliği 1,25 m'ye varan oyuntu erozyonlarının gelişmesi durumu söz konusudur (Şekil 17). 7-8-9 numaralı istasyonlar üzerinde yer alan dağlık kütle üzerinde 30°'den fazla eğim değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca arazi ana kayası üzerinde yürütülen schmidt sertlik değerlerinin yıl içerisinde ve genelde istikrarlı bir yapı göstererek 50 sertlik üzerinde olmadığı belirlenmiştir. Bu duruma ilaveten yağış erozivite faktörü $EI_{30} = 50 +$ bulunmaktadır. Yağış etkinliğinin arazi yüzeyi ile bir arada değerlendirilmesi sonucunda dağlık kütle üzerinde yer alan bu istasyonlar üzerinden en yüksek oranda toprak erozyonu gelişimi söz konusudur (Şekil 17).

Baraj havzasının güneydoğusunda bulunan bir diğer dağlık arazi Kurtburun Dağı (968 m) tarafından oluşmaktadır. Kozak Çayı'nın kollarından Değirmen Dere'nin kaynak kesimini oluşturan bu arazinin temeli granodiyoritten müteşekkildir. Eğim değerlerinin (12°-18°) yine çok yüksek olduğu bu arazi Kozak Platosu'na doğru yüksek dikliklerle inmektedir. Dolayısıyla arazi üzerinde yağış erozivite faktörünün bu arazi üzerinde yoğun bir şekilde aşındırıcı rol oynadığı söylenebilir. Dandritik akış gösteren ve kaynaklarını Kurtburun Dağı'ndan alan akarsu yoğun bir akarsu şebekesine sahiptir (Cürebal, 2003). Bu duruma istinaden dağlık kütle sadece yağmur damlacıklarının neden olduğu yağış erozivite faktörü tarafından etkilenmemekte ayrıca akarsuların sahip olduğu hidrolik etkiye de maruz kalmaktadır.

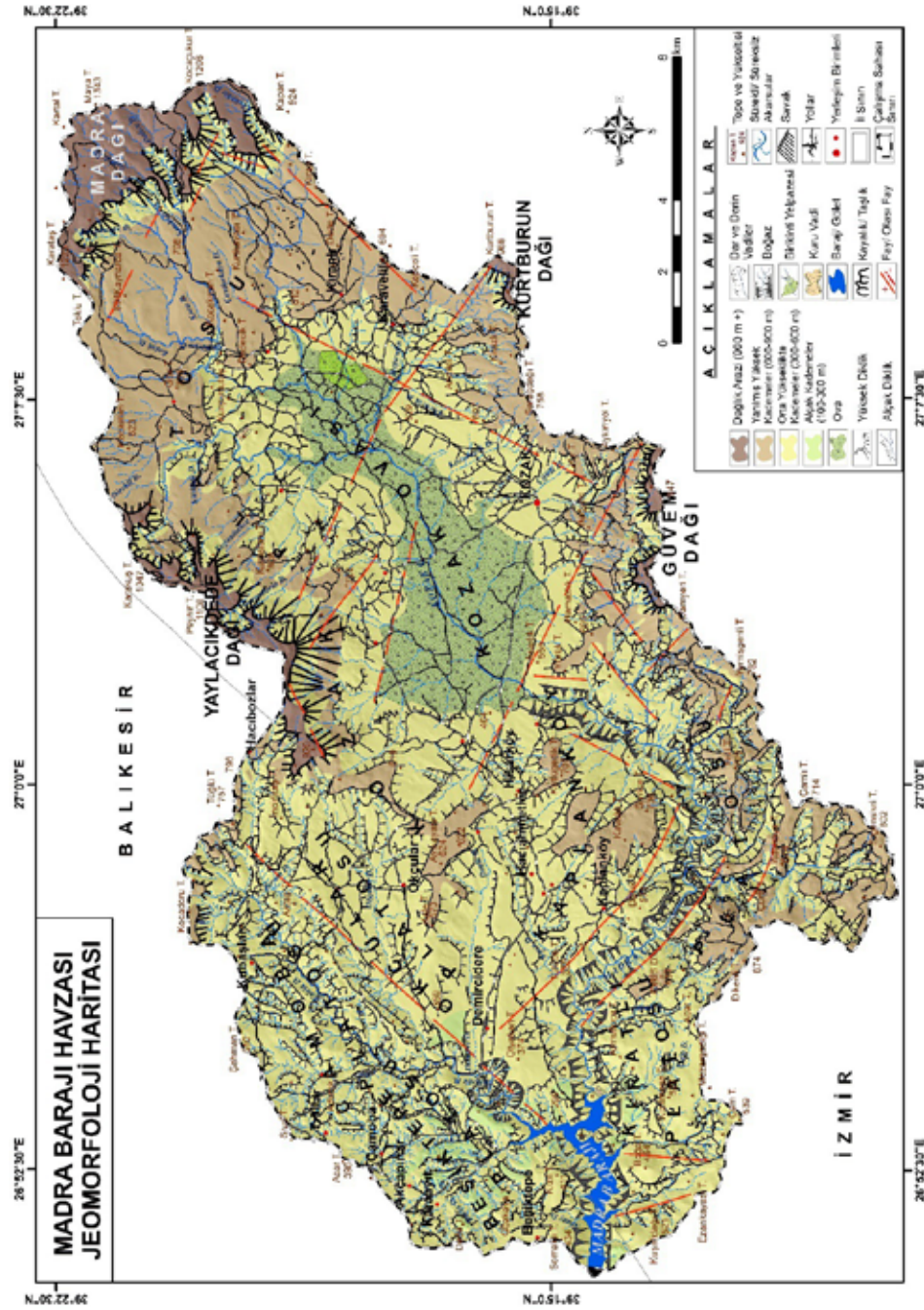
Trias metamorfikşisti serilerden meydana gelen, havzanın güneydoğusunda bulunan Güvem Dağı son dağlık kütleyi meydana getirmektedir. Kaplanköy Platosu'na doğru yüksek dikliklerle iniş gösteren ana kaya üzerinde yapılan schmidt sertlik değerleri 55 civarında bulunmuştur. Bozunma değerleri bu dağlık kütle üzerinde az bozunma göstermektedir. Arazi Seroluk Dere'nin kaynaklarını aldığı sahayı yüksek diklikler ve "V" şekilli derin vadiler ile parçalamıştır. Eğim değerlerinin de 30° üzerinde seyrettiği dağlık kütle üzerinden yıllık hektar başına 43 tona varan toprak kayıpları meydana gelmektedir.

Sonuç olarak dağlık kütleleri meydana getiren; Yaylacıkdede Dağı, Madra Dağı, Kurtburun Dağı ve Güvem Dağı üzerinden oluşan toprak kayıpları yıllık hektar başına 43 tona kadar ulaşma imkanı bulabilmektedir. Dağlık kütleler yüksek eğim değerleri nedeniyle bir alt kademesinde bulunan 600-900 m yüksekliğindeki yüksek yarılmış düzlükleri geçerek 300-600 m rakımındaki orta seviyedeki parçalanmış platoluk yüzeylere dik yamaçlarla inme eğilimi göstermektedir. Özellikle Yaylacıkdede Dağı ve Madra Dağı fay hatları tarafından parçalanma gösterdiğinden 5-7- 8-9 numaralı istasyonlarda toprak erozyonu gelişmesinin daha iyi geliştiği görülmektedir.

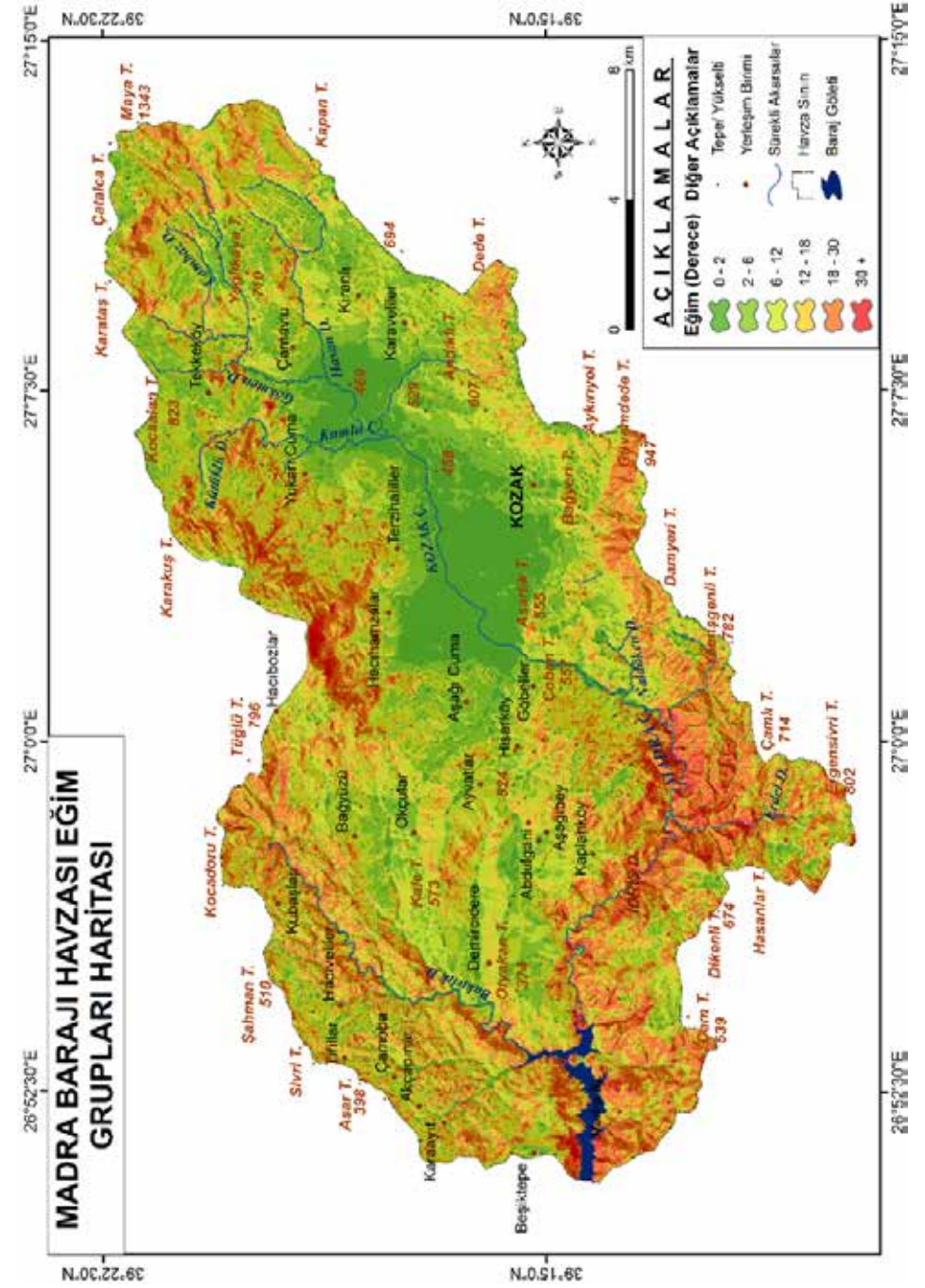


Foto 11. Çamavlu yerleşim biriminden araştırma sahasının güneydoğusunda yer alan anakayasını metamorfikşistlerin meydana getirdiği Güvem Dağı şiddetli toprak erozyon sahalarını oluşturmaktadır.

Güvem Dağı üzerinde kurulmuş 28-29 numaralı kayaç sertlik ölçüm istasyonları arasında uzanan hat boyunca erozyon durumunun bir sınır oluşturmaması durumu söz konusudur. Bu durum araştırma sahasının bu arazi yüzeylerinde farklı yapıda litolojilerden meydana gelmesi ve anakayaya bağlı olarak üzerinde yetişen fıstıkçamı ile karaçam birliklerinin farklılaşması durumuna bağlı gerçekleşmektedir. Ayrıca kayaçların farklı litolojik yapıları sertlik değerlerinin değişmesine ve günlenmenin de bu duruma bağlı olacak şekilde değişim göstermesine imkan tanımaktadır.



Şekil 16. Madra Barajı Havzası Jeomorfoloji Haritası (Cürebal, 2003).



Şekil 17. Madra Barajı Havzası Eğim Dağılımı Haritası.

2.3.1.2. Plato Yüzeyleri

Madra Barajı Havzası'nı meydana getiren, akarsular tarafından parçalanmış yüksek düzlükler havza genelinin %88,83'ünü (35.455 ha) oluşturmaktadır. Platonluk yüzeyler litolojik açıdan ve morfolojik karakterleri yönünden birbirinden farklılıklar arz etmektedir (Cürebal, 2003). Araştırmanın bu bölümünde yer alan platoluk yüzeylerin oluşumlarına ilişkin bilgi verilmeyecektir. Fakat plato yüzeylerinin erozyona karşı nasıl bir tepkide bulundukları üzerinde durulacaktır.



Foto 12. Çamoba Platosu.

600-900 m yükselti basamak aralığında gelişme gösteren Kozak Platosu ve Kaplanköy Platosu'nun ana kayasını granodiyorit araziler oluşturmaktadır. Kozak Platosu Okçular Platosu'nun (Okçular yerleşim birimi) doğusundan başlayarak merkezi güneydoğuda yer alan Kozak Ovası'nı bir yay şeklinde çizerek Kurtburun Dağı'nın kuzeybatısında sonlanma göstermektedir. Plato yüzeyi baraj havzasının kuzeyinde yer alan Yaylacıkdede Dağı eteklerinde, kuzeydoğuda platoluk yüzeyler boyunca ve Kurtburun Dağı'nın kuzeydoğusunda bulunan faylar tarafından deformasyona uğratılmıştır. Dolayısıyla fay hatları boyunca akış gösteren akarsuların içerisinde oluşturdukları yataklar plato yüzeylerini oldukça de-

rine aşındırma eğiliminde bulunmaktadır. Yağış erozif faktörüne ilaveten drenaj yoğunluğunun artış gösterdiği araziler üzerinde toprak erozyonu adına yüksek risk potansiyeli oluşturmaktadırlar. Platonun kuzeyinde Yaylacıkdede Dağı'nın güneyinde akış gösteren Küplü Dere üzerindeki 17 numaralı ölçüm istasyonu, Küttüklü Dere üzerindeki 12 numaralı ölçüm istasyonu; platonun doğusunda yer alan Çamavlu yerleşim biriminin doğusu ile 10 numaralı ölçüm istasyonunun batısında kalan arazi ve platonun güney kesiminde Kurtburun Dağı'ndan kaynaklarını alan Andık Dere üzerinde yer alan 27 numaralı ölçüm istasyonları üzerinde yıllık toprak kayıplarının gerek faylanmalara bağlı tektonik etkinlik sonucu akarsuların derine yarılmış vadileri ve gerekse eğim değerleri ile drenaj yoğunluklarının artışı göstermesine istinaden 27 ton/ha/y toprak kayıplarının meydana geldiği hesaplanmıştır.

600-900 m yükselti basamağı arasında parçalanmış diğer platoyu Kaplanköy Platosu meydana getirmektedir. Kaplanköy Platosu, Kozak Platosu'na göre daha fazla eğim değerlerine sahiptir. Madra Çayı'nın kuzey-güney şeklinde ikiye ayırdığı platoluk arazi kuzeyde Sivrice Tepe ve güneyde Yelli Tepe'ye kadar doğu kesiminde kuzeydoğu-güneybatı ve batıda güneydoğu-kuzeybatı yönlü fay düzlemleri arasında araziye parçalayan akarsu tarafından derine yarılmış vadi özelliği arz etmektedir. Platonun kuzeyinde yer alan 30-31 numaralı ölçüm istasyonları ve güneyde bulunan 35-36-37 numaralı ölçüm istasyonlarına ait verilerde yıllık toprak erozyonunun 43 ton/ha olarak kayıp edildiği belirlenmiştir.

Orta yükselti kademesinde oluşum gösteren Beşiktepe ve Çamoba platoları yapısal açıdan benzerlikler arz etmektedir. Ana kayası metamorfik şisti seriler içerisinde sokulum gösteren kristalize kireçtaşlarından müteşekkil bu iki plato yüzeyi, Tüglü Tepe'den Madra Barajı'na kadar kuzey kuzeydoğu-güney güneybatı istikametinde uzanış gösteren fay boyunca paralel bir şekilde akış arz eden Bakırlık Dere ve kolları tarafından parçalanmıştır. 18°-30° ve 30° üzerinde eğim değerlerine sahip plato yüzeyleri yağış erozif faktörünün azalmasına bağlı olarak yıllık hektar başına orta düzeyde (21-24 t/ha/y) toprak erozyonu riski taşımasına neden olmaktadır. Orta kademedeki bu iki plato yüzeyleri üzerinde yüksek oranda toprak erozyonu riski taşıyan araziler de mevcuttur. Bu araziler Kubaşlar yerleşim biriminin kuzeydoğusunda içerisinde 3 numaralı istasyonun bulunduğu saha, Hacıveliler yerleşim biriminin güneydoğu kesimi 19 numaralı ölçüm istasyonu, Çamoba yerleşmesinin kuzeybatı ile güneydoğu kesimi 20 numaralı ölçüm istasyonu ve 22 numaralı ölçüm istasyonunun batı kesimleri yıllık hektar

başına 24-27 ton toprak kayıplarının meydana geldiği arazileri oluşturmaktadır.

Orta yükselti kademesinde bulunan diğer platoluk saha Okçular Platosu tarafından oluşmaktadır. Plato Beşiktepe ve Çamoba platolarından kuzey kuzeydoğu-güney güneybatı yönlü uzanış gösteren fay düzlemi ile ayrılmaktadır. Kaplanköy ve Kozak platolarından ise yaş farkıyla ayrılmaktadır. Plato ana kayası tamamen granodiyoritten müteşekkildir. Diğer orta kademe yükseltide yarılmış plato yüzeylerine oranla daha sade ve ortalama eğim değerleri açısından daha düşük eğim değerlerine sahip olması hasediyle toprak erozyonunun nispeten daha düşük düzeyde gerçekleşmesi durumu ortaya çıkmaktadır. Okçular Platosu'nun sadece kuzeyi ve batı kesiminde yer alan Otyakan Tepe civarı hafif-orta şiddette toprak erozyonuna maruz kalan arazileri meydana getirmektedir.

Madra Barajı'nın güneyinde İdris Dağı'na kadar 300-600 m yükselti basamakları arasında orta kademede yarılmış yüksek düzlüklerden son olarak Kıratlı Platosu gelmektedir. Platonun neredeyse tamamı andezit, tuf, lahar- bazalt ve aglomeralardan müteşekkildir. Platonun merkezi kesiminde kuzey-güney doğrultuda uzanış gösteren iki adet fay mevcuttur. Plato bu fay düzlemlerine paralel akış gösteren akarsular tarafından parçalanmıştır. Oldukça arızalı bir topografyaya sahip Kıratlı Platosu üzerinde bulunan 33-34 numaralı ölçüm istasyonları üzerinde ana kayalar üzerinde yapılan schmidt sertlik ölçümlerinde (60 schmidt sertliği) yıl genelinde istikrarlı bir yapı olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla ana kayanın yıl içerisinde günlenmesi 0,099 t/ha/y olarak hesaplanmıştır. Yağış erozif faktörü $EI_{30} = 32-38$ arasında ölçülmüştür. 18° üzerinde eğim değerlerinin hesaplanmasına bağlı olarak plato üzerinde toprak erozyon şiddetinin orta düzeyde gerçekleşmesi söz konusudur.

2.3.1.3. Kozak Ovası

Madra Barajı Havzası'nın merkezi güney-güneydoğu kesiminde kuzeydoğu-güneybatı istikametinde 400-700 m yükselti basamakları arasında plato-dağ geçişi yüzey kademelerinde oluşum gösteren Kozak Ovası ortalama 450 m rakıma sahiptir. Ovalık arazinin en yüksek ve en düşük kesimleri arasında yükselti farkı yaklaşık olarak 65 m civarındadır (Cürebal, 2003). Ovalık arazinin eğim değerleri 0-2 ile dağlık yamaç arazilerden ovaya bağlanan yamaçlarda 6° 'ye kadar çıkmaktadır. Eğim değerlerinin düşük olması, araştırma sahasını meydana

getiren yüksek dağlık kütleler ve yüksek kademe aşınım yüzeylerinden aşınarak taşınan sediment maddenin biriktirildiği jeomorfolojik ünitenin oluşturulması adına son derece önem arz eden bir durumdur. Dolayısıyla jeomorfolojik ünitenin yapılan akış gücü indeks değerlerinde negatif indis değerleri göstermesi sahanın birikim sahası olduğunun kanıtıdır. İçerisinde 14-15-16 ve 25 numaralı ölçüm istasyonları bulunan ovalık arazinin yağış erozivite değerleri $EI_{30} = 32-38$ t/ha/y olarak hesaplanmıştır. Toprak erozyonu adına ovalık saha birikim sahası olması nedeniyle yapılan hesaplamalar sonucunda yıllık hektar başına çok düşük risk grubu içerisinde yer almaktadır. Araziden sadece içerisinden Madra Barajı kolu olan Kozak Çayı tarafından taşınan malzemenin baraj havzasına taşınma gösterdiği söylenebilir.

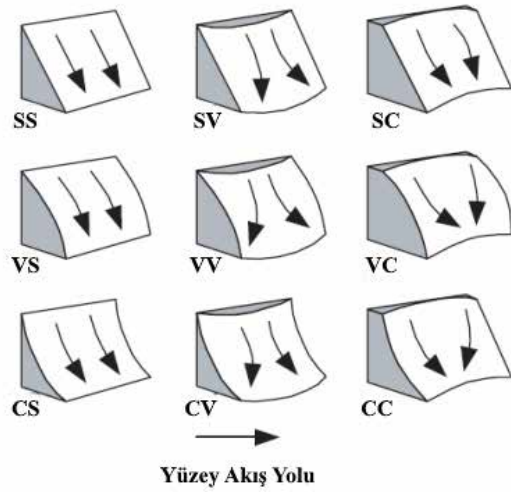


Foto 13. Kozak Ovası (Aşağıcuma yerleşmesinden kuzeydoğuya).

2.3.2. MPSIAC Topografya Faktörü

Toprak erozyonunu ortaya çıkaran suyun potansiyel gücü yamaç eğimi ve yamaç şekillerine göre azalışlar ya da artışlar sergilemektedir. Dış bükey yamaç şekillerinin meydana geldiği konveks yapılı sahalar toprak erozyonu

oluşturma açısından en yüksek risk grubu içerisinde değerlendirilmektedir. Bu durum yamaç üzerinde yüzeysel akış suları ile beraber taşınan sediment maddenin taban kısmında herhangi bir birikim platformuna sahip olmamasıyla açıklanmaktadır. Suyun potansiyel taşıma gücü düz yamaçlarda iç bükey konkav yapılı arazilere oranla daha yüksek iken dış bükeyliklerin oluşturduğu konveks yapılı arazilere oranla daha düşüktür. İç bükey arazilerde yürütülen laboratuvar deneylerinden elde edilen bulgulara göre, bu sahalar üzerinde meydana gelen toprak erozyonunun düz ve konveks yapılı sahalarla oranla iki ya da üç kat daha fazla erozyon riski taşıdığı kanısına varılmıştır. Yapay yağmurlama ile yürütülen laboratuvar deneyleri sonucunda 30' lık yağışlar sonucunda dış bükey yamaçlarda 0,22 t/ha; düz yamaçlarda 0,16 t/ha ve iç bükey yamaçlarda 0,02 t/ha toprak kayıplarının meydana geldiği gözlenmiştir (Şensoy ve Palta, 2009).

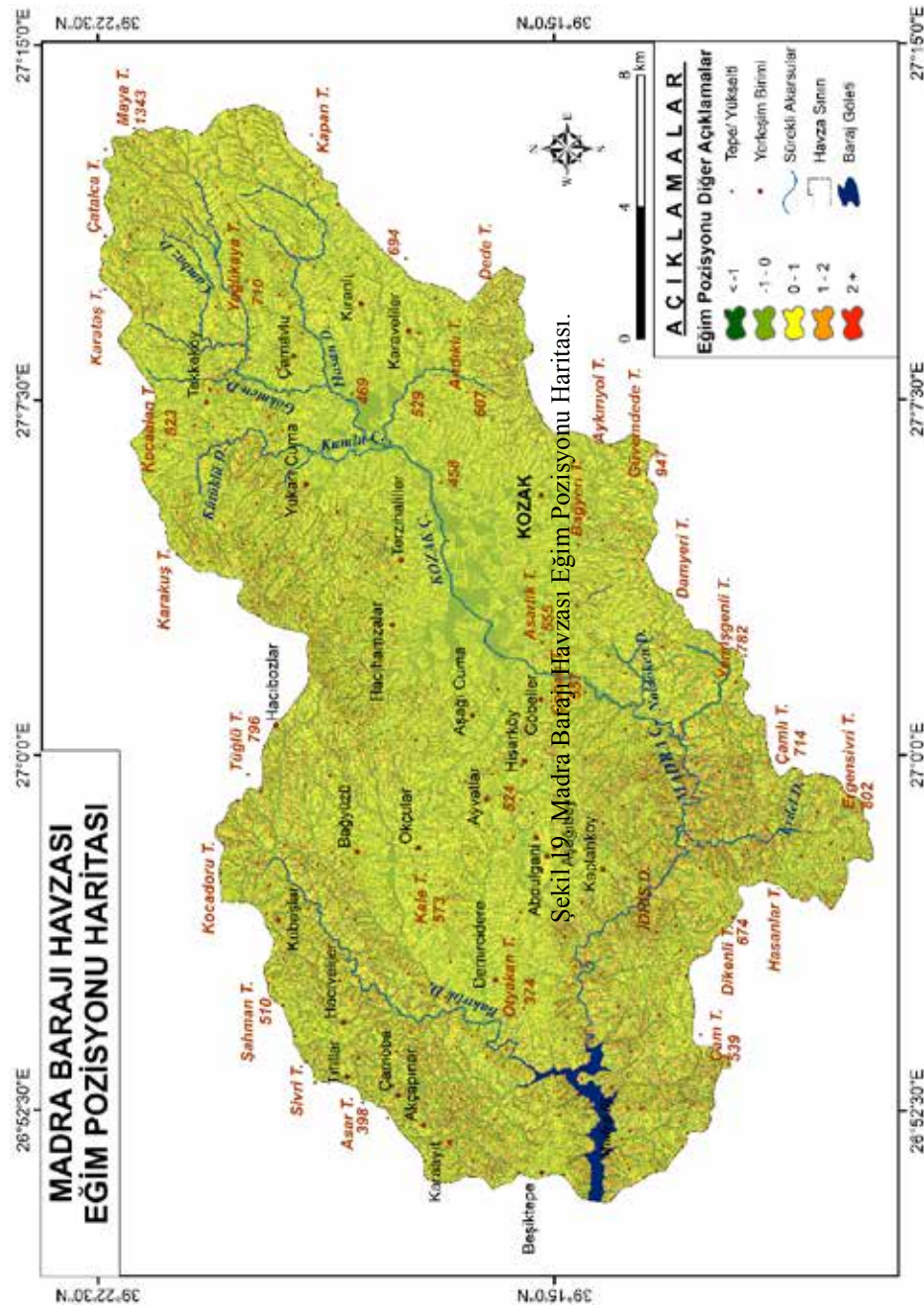


Şekil 18. Eğim Formları ve Yüzey Akış Yolları (Erdoğan, 2013).

Açıklama: S-Düz, C-Konkav (içbükey), V-Konveks (dışbükey)

Vadi tabanı düzlük indeksi ya da eğim pozisyonuna göre Madra Barajı Havzası'nda -769,309 ile 708,93 arasında değişen değerler hesaplanmıştır. Ortalama eğim pozisyonu değeri ise -3,87 olarak bulunmuştur. Ortalama eğim pozisyonu ve diğer indis hesaplarından elde edilen bulguların paralel sonuçlarına göre baraj havzasının iç dinamiklerin etkisini yitirdiği bunun yerini artık aşındırıcı dış güçleri aldığı durumu ortaya çıkmaktadır.

Havza genelinde eğim pozisyonu açısından dış bükey yamaçlar ile SPI indis değerlerinin yüksek çıktığı sahalar arasında paralel bir durum söz konusudur. Ayrıca bu durum fay hatlarıyla da bağdaşmaktadır. Dolayısıyla araştırma sahasında dış bükey yamaçlar Madra Barajı'nda kuzeydoğuda yer alan Çamoba ve Beşiktepe plato sahalarına, Hacıhamzalar yerleşim biriminden Kocaalan T.'ye ve Maya T. civarına, güney kesimde Kıratlı ve Kaplanköy platoları üzerinde bulunduğu tespit edilmiştir. Negatif indis değerlerine sahip iç bükey yamaçlar ile Kozak Ovası birbirini destekler nitelikte yer almaktadır. Bunun haricinde Beşiktepe ve Çamoba platolarının güneydoğusunda kalan saha Okçular yerleşim birimine kadar Madra Barajı'ndan başlayarak Tüglü Tepe'ye kadar güneybatı-kuzeydoğu yönlü uzanış gösteren iç bükey yamaçlardan meydana gelmektedir. Araştırma sahasında diğer araziler karma yapılı kompleks yamaçlardan teşekkül etmiştir (Şekil 19).

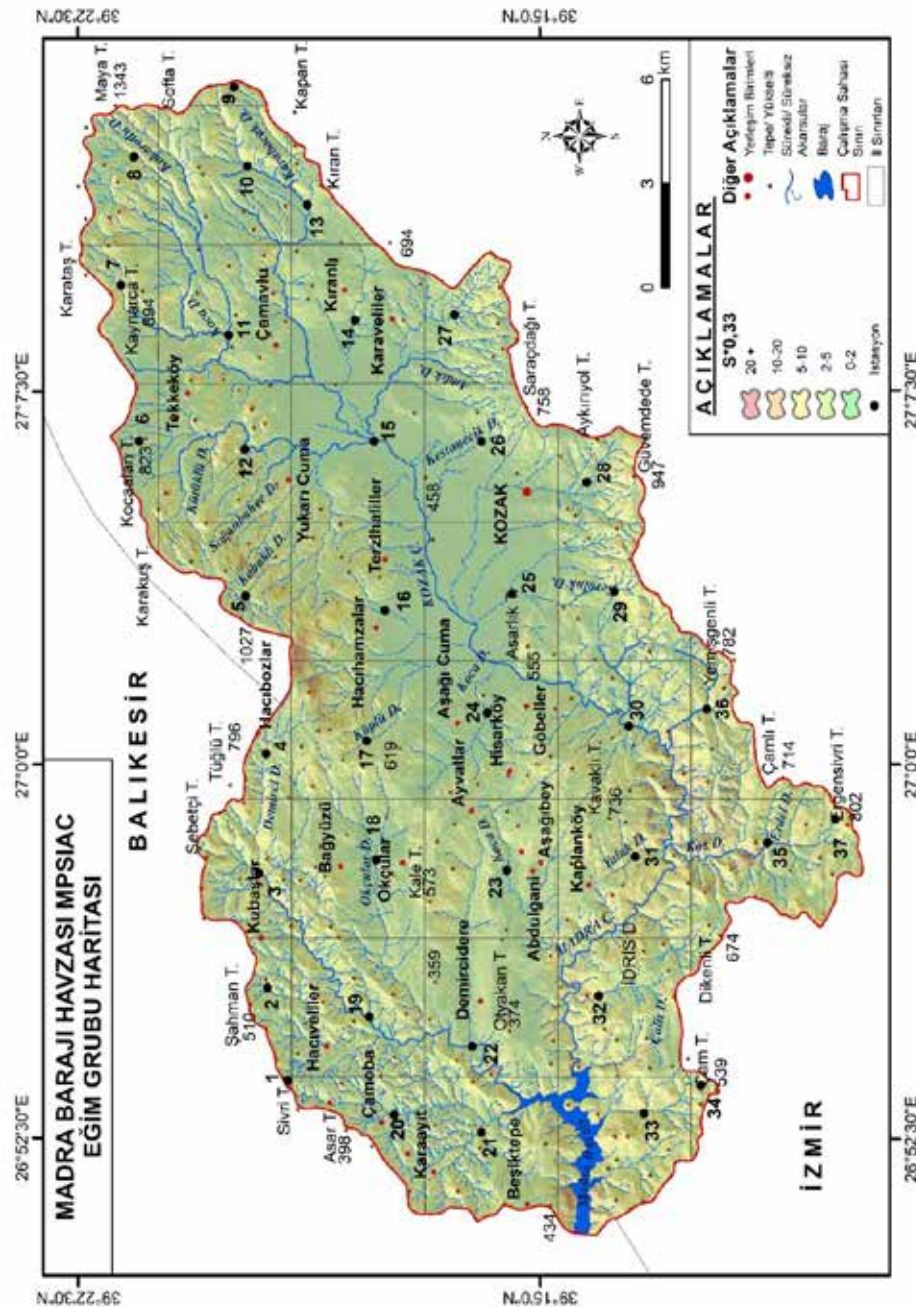


Şekil 19. Madra Barajı Havzası Eğim Pozisyonu Haritası.

MPSIAC Topografya Faktör değeri araştırma sahasına ait sayısal yükseklik modeli (Digital Elevation Model-DEM/SYM) ArcGIS ortamında eğim (slope) analizi gerçekleştirilerek 0,33 katsayısı ile çarpılarak elde edilmiştir. Eğim değerleri MPSIAC Topografya Faktörü için yüzde değerler olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla oluşturulan formül:

$$X_5 = 0.33 * S \text{ (} S \rightarrow \text{Slope}\%)$$

Topografya faktörüne göre Madra Barajı Havzası'nda 0 ile 29,085 arasında değişen değerler hesaplanmıştır. Ortalama eğim faktörü değeri ise 3,7 olarak bulunmuştur. Baraj havzasında topografya faktörünün en etkili olduğu araziler, havza kuzeyinde yer alan Yaylacıkdede Dağı'nın güneyinde bulunan 4-5-16-17 numaralı istasyonlar; havzanın kuzeydoğusunda bulunan Madra Dağı içerisinde yer alan 7-8-9-10 numaralı istasyonlar ve baraj güney-güneydoğusunda bulunan arızalı yüzeylere ait 30-37 numaralı istasyonlar üzerinde görülmektedir (Şekil 20). Bu arazi yüzeyleri topografya açısından yüksek oranda erozyon riski taşıyan sahalardan müteşekkildir. Arazi içerisinden Madra Çayı'nın da akış gösterdiği dik ve devamlı yamaçlardan meydana gelen ve granodiyorit ana kayaç gruplarının da parçalanma gösterdiği, arenalanma sonucu açığa çıkan malzemenin lokasyon itibarıyla baraj göletine yakın olması ve yüksek oranda sediment madde birikimi oluşturan sahalardan meydana gelmektedir. Açığa çıkan sediment madde birikiminin bu arazi yüzeyleri üzerinde daha az yol kattetmesi ve hemen kısa bir mesafe sonunda birikime uğratılması nedeniyle baraj bünyesine en fazla sedimenti taşıması açısından barajın doldurulmasında yüksek oranda risk taşıyan erozyon sahalarını oluşturmaktadır.



Şekil 20. Mpsıac Topografya Faktör Haritası (0,33*S).

2.4. Drenaj Özellikleri

2.4.1. Madra Barajı Havzası Akarsularının Morfometrik Özellikleri

Dünyanın birçok bölgesinde akarsu havzaları veya akarsu alt havzalarına yönelik drenaj özelliklerinin belirlenmesine ilişkin farklı yöntem ve teknikler kullanılmaktadır (Horton, 1945; Strahler, 1952). Akarsu morfometrik özelliklerine yönelik çalışmalar akarsuların farklı özelliklerinin ortaya çıkarılmasıyla elde edilebilir (Strahler, 1957). Morfolojik özelliklerin değerlendirilmesi ise akarsu dizinleri, akaçlama havzası alanı, havza alanının çevre uzunluğu, drenaj yoğunluğu, drenaj sıklığı, akarsu çatallanma oranı gibi akarsuyun birçok parametresinin analizi sonucunda ortaya çıkarılmasıyla gerçekleştirilir (Kumar vd., 2000).

Madra Barajı Havzası'nda akarsuların morфометrik özelliklerine ait özelliklerin belirlenmesi amacıyla araştırma sahasına ait 1/25.000 ölçekli topografya haritaları üzerinde bulunan akarsular GIS ortamında dijitalleştirilmiş, drenaj havzası ortaya çıkarılmış ve Microsoft Excel programı üzerinde uzunluk, alan ve çatallanma durumlarına ilişkin hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 22. Baraj Havzasında Akarsuların Morfometrisinde Kullanılan Eşitlikler *.

<i>Morfometrik Parametreler</i>	<i>Formül</i>	<i>Tanımlama</i>
Dizin Sayısı (N)	ΣN_u	Havza alanındaki toplam dizin sayısı
Dizin Uzunluğu (L)	ΣL	Havza alanındaki dizinlerin toplam uzunluğu
Çatallanma (R_b)	$R_b = N_u / N_{u+1}$	Bir dizinin kendinden bir sonraki dizine oranı
Drenaj Yoğunluğu (D_d)	$D_d = \Sigma L / A$	Dizinlerin toplam uzunluğunun havza alanına oranı
Akarsu Sıklığı (F_u)	$F_u = \Sigma N_u / A$	Toplam dizin sayısının havza alanına oranı
Tekstür Oranı (T)	$T = N_{D1} (1/P)$	1. dizin sayısının havza çevresine oranı

*(*Kaynak*: Verstappen, 1983; Reddy vd., 2004; Macka, 2001; Baker vd., 1988; Biswas vd., 1999; Sherman, 1932).

2.4.1.1. Çatallanma Durumu

Çatallanma oranı açısından Verstappen'in 3.0-5.0 değerleri arasında değişen oranlardaki görüşlerini destekleyecek nitelikte sonuçlar elde edilmiştir (Verstappen, 1983). Madra Barajı Havzası'nda çatallanma oranı hesaplaması $Rb = Nu/Nu+1$ formülü ile hesaplanmış olup çatallanma oranı 3.32 ile 4.43 arasında değişen değerler arasında bulunmuştur. İnceleme sahasında çatallanma durumu açısından bir ve ikinci dizinler arasında çıkan değerlerin fazlalığı nispetinde havza genelinde oyuntu erozyon sahalarının (gullylerin) dar-derin vadileri geliştirmesi durumu da artış göstermektedir (Şekil 21).



Foto 14. Madra Çayı taşıdığı malzeme ile kum adaları meydana getiren akışa sahip 6. seviyede akarsu özelliği göstermektedir.



Şekil 21. Madra Barajı Havzası Çatallanma Durumu Haritası.

2.4.2.1. Drenaj Yoğunluğu

Baraj havzasında drenaj yoğunluğu hesaplaması, havzaya ait 1/25.000 ölçekli topografya haritaları üzerinde yer alan akarsuların manuel olarak dijitalleştirilmesi ve havza alanı hesaplamalarının yapılmasından sonra birim alana düşen birim uzunluktaki akarsu ağı olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda drenaj yoğunluğu adına ArcGIS programı üzerinde yer alan *Arc Tool Box» Spatial Analyst» Density» Line Density* analizi yapılmıştır. Analiz ile çizgisel detayların yoğunluğunu belirlemek üzere her hücrenin belirli bir yarıçap içinde kalan bölümünün birim alan başına yoğunluğunu hesaplama işlemi yapılmıştır (ESRI, 2014). Drenaj yoğunluğu havzalar üzerinde akış göstere akarsular tarafından hangi ölçüde parçalandığını göstermesi açısından önem arz etmektedir (Verstappen, 1983). Drenaj yoğunluğu, yüzeysel akışı kontrol altında tutan etmenlerin sonucu olarak gösterilir ve bu durum havza genelinden meydana gelebilecek sediment madde miktarının taşınımı ile suyun boşaltımına etkide bulunur (Macka, 2001). Drenaj yoğunluğu, zeminin geçirgenlik özellikleri, bitki örtüsü yoğunluğu, topografik

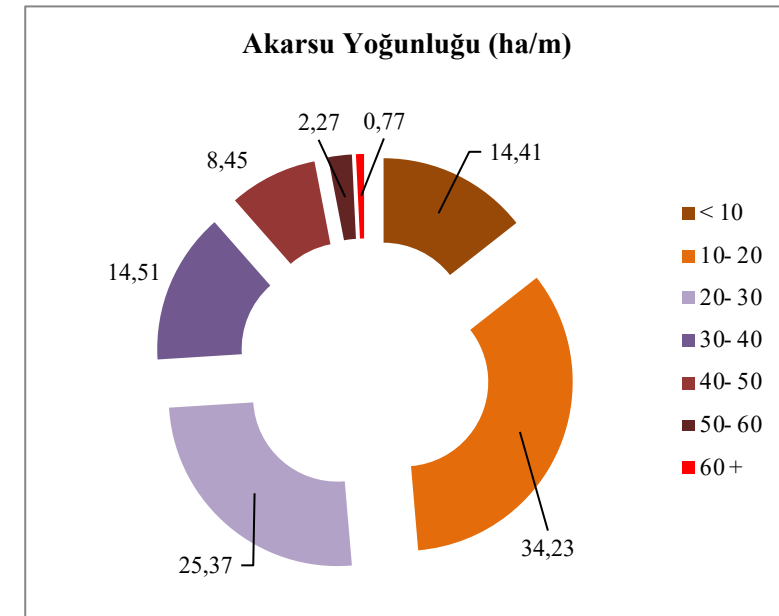
yapı özellikleri ve iklim unsurları tarafından etkilenmektedir (Verstappen, 1983; Baker, 1988). Madra Barajı Havzası'nda drenaj yoğunluğu 2,39 olarak hesaplanmıştır.

Drenaj yoğunluğu açısından Madra Barajı Havzası'nda en yüksek oranlar barajın kuzey kesiminde yer alan Karaayıt yerleşim birimi güneydoğusu ile Çamoba yerleşim biriminin güneyinde kalan araziler üzerinde görülmektedir. Bu araziler üzerinde drenaj yoğunluğu hektar başına 73 m'den fazla akarsu ağı olarak hesaplanmıştır. Toplam arazi varlığının %0,77 lik (315 ha) kısmını meydana getiren bu araziler 60 m'den fazla uzunlukta akarsu ağına sahip sahalardır. Drenaj yoğunluğunun ikinci yüksek olduğu sahalarda 40-60 m hektar başına akış gösteren akarsu uzunluğuna sahip sahalardır. Bu sahalarda havzanın kuzeybatısında Kubaşlar-Çamoba yerleşim birimleri arasında; kuzeyde Kocaalan Tepe civarının güney kesimi; kuzeydoğuda Maya Tepe-Çatalca Tepe-Yağlıkaya Tepe ve Kapan Tepe arasında kalan saha; havzanın güneydoğu-güney kesimi arasında yer alan Dede Tepe-Hasanlar Tepe mevkidir. Baraj havzasının %10,72 sine (4.500 ha) karşılık gelen bu araziler yüzey-oyuntu erozyonu adına yüksek duyarlılık gösteren dar-derin vadilerin teşekkül ettiği arazilerdir. Drenaj yoğunluğunun orta derecede artış gösterdiği araziler havzanın merkezi orta kesiminde baraj gölünün doğusundan başlayarak kuzeydoğuya doğru Yağlıkaya Tepe istikametinde uzanış gösteren sahalarda ile Kozan Çayı ve Madra Çayı'na katılan 3. ve 4. dereceden akarsu dizinlerinin meydana getirdiği kesişim sahalardır. Hektar başına bu araziler 20-40 m akarsu ağı uzunluğuna sahip arazilerdir. Bu sahalarda toplam arazi varlığının %39,88 ine (23.334 ha) oluşturmaktadır (Tablo 23; Şekil 22-23).

Tablo 23. Madra Barajı Havzası Drenaj Yoğunluğu Dağılımı.

Akarsu Uzunluk (m)	Alan (ha)	Oran (%)
< 10	5.885	14,41
10- 20	13.976	34,23
20- 30	10.358	25,37
30- 40	5.923	14,51
40- 50	3.449	8,45
50- 60	926	2,27
60 +	315	0,77
TOPLAM	40.832	100

Baraj havzasında hektar başına 20 m uzunluğa kadar drenaj yoğunluğuna sahip araziler ise Madra Barajı'nın kuzeydoğusunda Otyakan Tepe ile Bağyüzü ve Aşağıcuma yerleşim birimleri arasında kalan araziler; Aşağıbey yerleşim biriminin güneydoğusu; Göbeller yerleşim birimi Asırlık Tepe arası; Kıranlı ve Çamavlu yerleşmeleri civarı ile Terzihaliller yerleşmesinin doğusunda kalan sahalardan meydana gelmektedir. Drenaj yoğunluğu 20 m/ha olarak karşımıza çıkan bu araziler toplam arazi varlığının %48,64 üne (19.861 ha) oluşturmaktadır



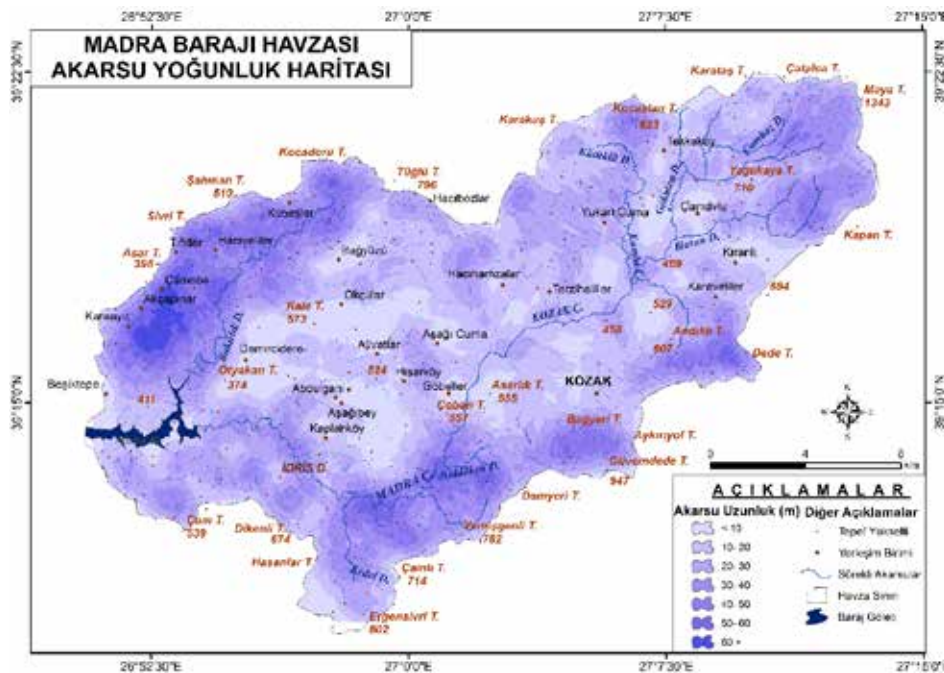
Şekil 22. Madra Barajı Havzası Drenaj Ağı Dağılım Grafiği.

2.4.1.3. Akarsu Sıklığı

Havzalarda toplam dizin sayısının havza alanına oranı sonucunda elde edilen akarsu sıklığının yüksek değerler göstermesi geçirimsiz zemin koşullarını, cılız/seyrek bitki örtüsü varlığını ve yüksek topografik özelliklerini gösterirken düşük akarsu sıklığı litolojik yapının geçirgenliğini ve düşük topografik yapı özelliklerinin bir sonucu olarak gösterilmektedir (Reddy vd., 2004). Madra Barajı Havzası'nda akarsu sıklığı 4,37 olarak hesaplanmıştır.

2.4.1.4. *Tekstür Oranı*

Baraj havzasında I. Dizinde bulunan akarsu sayısının havza çevresine oranlanması sonucu elde edilen tekstür oranının yüksekliğiyle orantılı olarak havzadaki akış gösteren akarsuların yüksek bir akıma sahip bir durumu ortaya çıkarması durumu söz konusudur. Baraj havzası tekstür oranı yapılan hesaplamalar sonucunda 11,63 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla ilk dizinde havza üzerine düşen meteorik suların akışa geçmesiyle birlikte yüksek oranda bir akımın ortaya çıkması durumu söz konusu değildir. Bu durum alt havza çalışmaları ile birlikte yürütüldüğü takdirde daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir. Alt havza çalışmalarına yönelik hesaplamaların burada temel alınmaması soru işareti olarak akla gelebilir fakat buradaki asıl amaç havza genelinde meydana gelen yıllık toprak kayıplarının ortalama ve toplam olarak ne kadar gerçekleştiği yönünde olduğuna istinaden, alt havzalar dışarıda tutulmuştur.



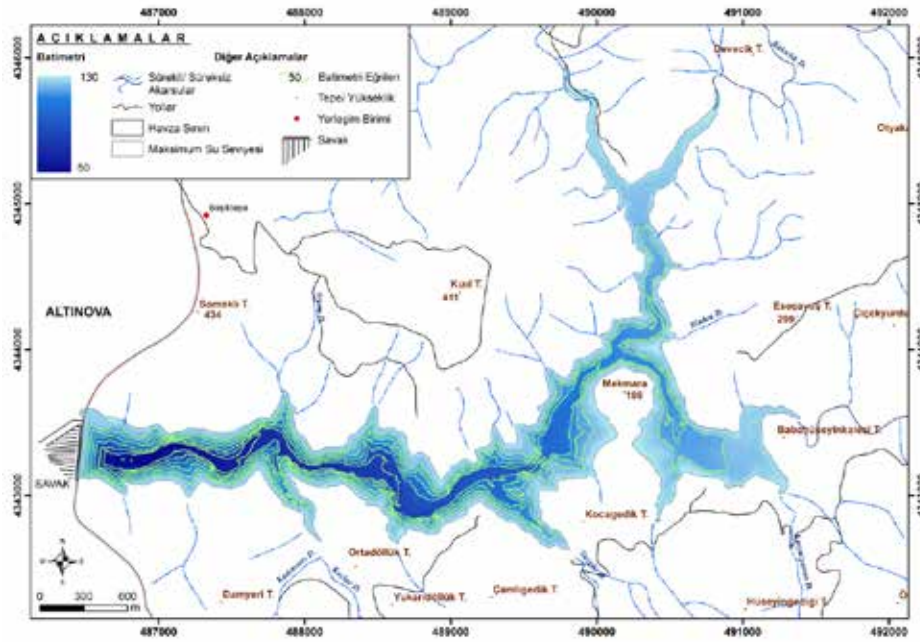
Şekil 23. Madra Barajı Havzası Drenaj Ağı Haritası.

Tablo 24. Madra Barajı Havzası Akarsu Morfometrik Özellikleri Hesaplamaları.

Dizin No	Uzunluk (m)	Sayı	Çatallanma $R_b = N_u/N_{u+1}$	Drenaj Yoğunluğu $D_d = \Sigma L/A$	Akarsu Sıklığı $\Sigma N_u/A$	Tekstür Oranı $T = N_{D1}(1/P)$
1	530.116	1279	3,60	2,39	4,37	11,63
2	215.214	355	3,32			
3	113.686	107	3,45			
4	70.872	31	4,43			
5	16.228	7	3,50			
6	30.362	2				
TOPLAM	976.478	1.781				

2.4.2. Madra Baraj Göleti

Madra Barajı 1996 yılında yapımına başlanan ve 1997 yılında su tutmaya başlayan 272 ha alana sahip Kozak ve Madra çayları tarafından beslenen suni bir su toplama alanı niteliği taşımaktadır. Barajın en derin noktası 47 m rakımdan başlayarak 130 m rakımına kadar 83 m'lik bir su depolama alanıdır. Baraj havzasında gölet Somaklı Tepe (434 m) ve Kuşalıdağ Tepe (521 m) arasında yapılmıştır (Cürebal, 2003).



Şekil 24. Madra Barajı Batimetri Haritası.

Tablo 25. Madra Baraj Göleti Planlama Özellikleri (Cürebal, 2003).

Hidroloji ve Göl	Havza alanı	40.560 ha
	Yıllık ortalama debi	105,10*10 ⁶ m ³
	Ortalama debi	333 m ³ /s
	Talveg kotu	46,0 m
	Minimum işletme seviyesi	78,6 m
	Maksimum işletme seviyesi	129,6 m
	Ölü hacim	6,15*10 ⁶ m ³
	Minimum işletme seviyesi hacmi	6,39*10 ⁶ m ³
	Maksimum işletme seviyesi hacmi	79,4*10 ⁶ m ³
	Aktif hacim	73,10*10 ⁶ m ³
	Minimum işletme seviyesi göl alanı	50 ha
	Maksimum işletme seviyesi göl alanı	267 ha
	Sulama amaçlı çekilen su	64,53*10 ⁶ m ³
	Regülasyon oranı	61,40%
Baraj Gövdesi	Tipi	Kil çekirdek- kaya dolgu
	Kret kolu	132,00 m
	Talveg kolu	46,00 m
	Barajın talveg itibari yüksekliği	86,00 m
	Kret uzunluğu	435,00 m
	Kret genişliği	12,00 m
	Kil dolgu hacmi	1.193.115 m ³
	Kaya dolgu hacmi	1.706.220 m ³
	Filtre dolgu hacmi	220.865 m ³
	Toplam dolgu hacmi	3.120.200 m ³
	Gövde menba şevi	1/2
	Gövde mansap şevi	1/2

Tablo 25 (devamı). Madra Baraj Göleti Planlama Özellikleri (Cürebal, 2003).

Dolu Savak	Dolusavak yeri	Sağ sahil
	Dolusavak tipi	Karşıdan alışı, radyal kapaklı
	Dolusavak taşkın piki	1.801 m ³ /s
	Kapak sayısı	6
	Kapak ölçüleri	6,5*8,3 m
	Toplam kret genişliği	48,00 m
	Yaklaşım kanalı kotu	119,6 m
	Dolusavak kret kolu	121,6 m
	Deşarj kanalı uzunluğu	280 m
	Enerji kırıcı tipi	Sıçratma eşikli
Derivasyon Tüneli ve Batardolar	Yeri	Sol sahil
	Derivasyon tüneli tipi	Atnalı kesit (beton kaplama)
	Tünel iç yapı	5,50 m
	Tünel uzunluğu	465,00 m
	Tünel eğimi	0,0054
	Batardo tipi	Kil çekirdekli kaya dolgu
	Batardo kret kotu	71,60 m
	Batardo yüksekliği	25,20 m
	Kret uzunluğu	158,00 m
	Kret genişliği	8,00 m
	Dolgu hacmi (gövde dahil)	131.700 m ³
	Derivasyon kapasitesi	329.30 m ³ /s
	Mansap batardosu kret kotu	48,00 m
	Mansap batardosu yüksekliği	3,50 m
	Tünel giriş kotu	48,00 m
	Tünel çıkış kotu	45,50 m

2.4.3. MPSIAC Drenaj Yoğunluk Faktörü

Ana akarsu, beslendiği yan kollara göre derecelendirilmektedir (Usul, 2001). Drenaj yoğunluğu ise birim alana düşen akarsu uzunluğunun birim cinsinden değeri olarak tanımlanmaktadır (Bayazıt, 1999). Yoğunluk, su toplama havzasını besleyen yan kollarının uzunluklarının toplanması ve havza alanına oranlanması sonucu elde edilmektedir (Avcı, 2016). Akarsu yoğunluğu, drenaj ağının üzerine kurulu olduğu ana kaya özellikleri, iklim, bitki örtüsü gibi birçok parametre tarafından etki görmektedir. Ana kayanın direnç durumu, permeabilite, porozite özellikleri tarafından belirlenmektedir. Dirençli kayaç gruplarının bulunduğu arazilerde akarsu yoğunluğu düşük iken, direnç göstermeyen kayaç grupları üzerinde yoğun akarsu ağı kurulumu görülmektedir (Verstappen, 1983). Drenaj yoğunluğu, genel olarak reliefin yüksek, bitki örtüsünün cılız ya da hiç olmadığı ve permeabilitenin düşük olduğu ortamlarda yüksektir; buna karşın düşük relief özellikleri, yoğun-gür bitki örtüsü ile kaplı araziler ve permeabilitesi yüksek ana kayaçlar üzerinde düşük drenaj yoğunluğu görülmektedir. Dolayısıyla drenaj yoğunluğuna paralel olarak yoğunluğun yüksek olduğu araziler üzerinde yüksek erozyon riski ortaya çıkarken drenaj yoğunluğunun düşük olduğu ortamlarda düşük erozyon riskiyle karşı karşıya gelinmektedir (IIRS, 2005). MPSIAC yöntemine göre drenaj yoğunluk faktörünün hazırlanmasında;

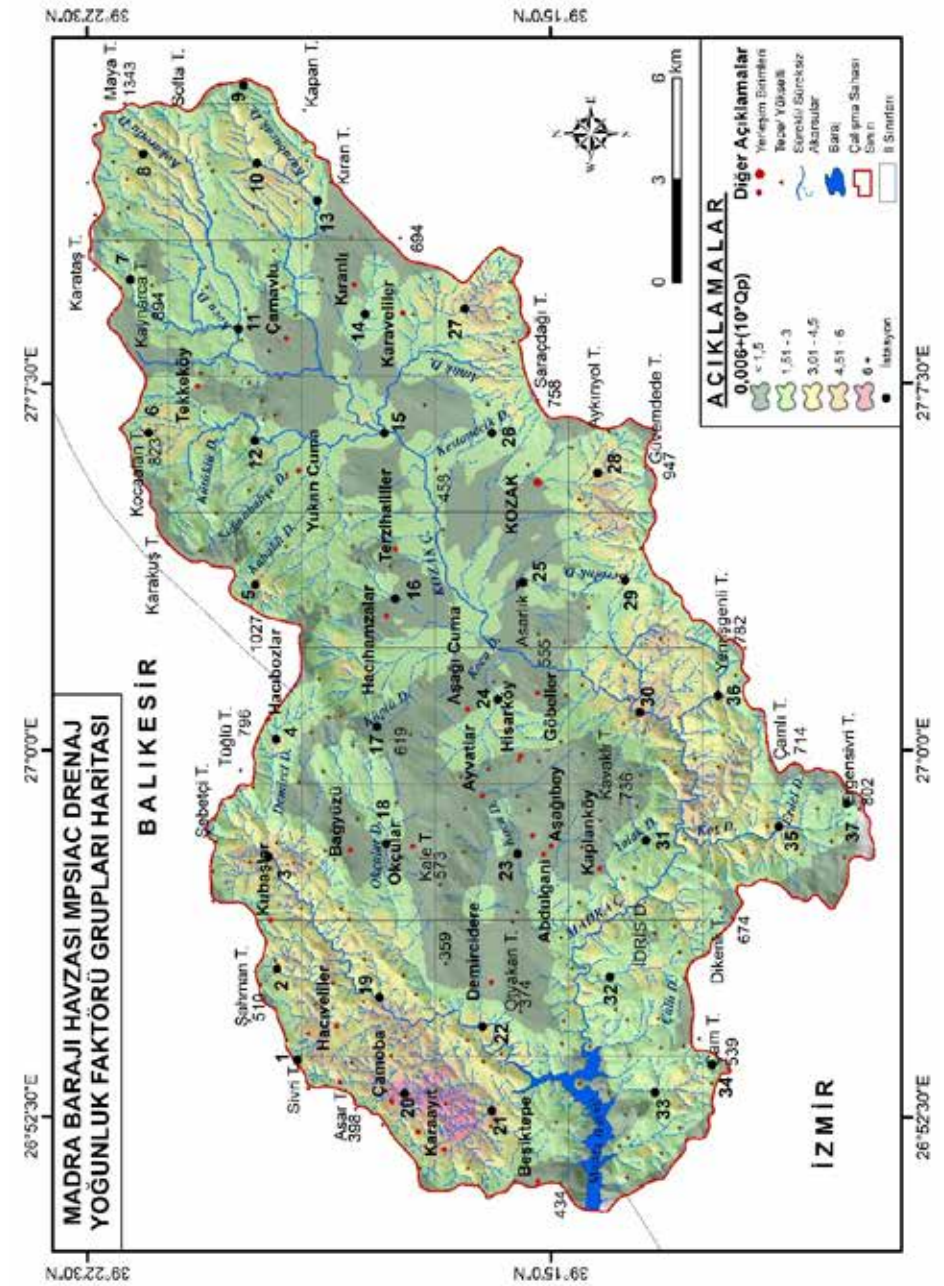
$$X_d = 0,006R + 10Q_p \text{ formülü kullanılmıştır.}$$

Madra Barajı Havzası'nda MPSIAC yöntemine göre drenaj yoğunluğu ortalama olarak 2,27 m olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre drenaj yoğunluğu 0,006 ile 7,47 m arasında bulunmuştur. En yüksek drenaj yoğunluğu havzanın kuzeybatısında bulunan 20-21 numaralı istasyonların üzerinde kurulu oldukları Beşiktepe ve Çamoba platoluk arazisi oluşturmaktadır. Bu arazi yüzeyleri üzerinde akarsu yoğunluğu 7,47 m civarındadır; dolayısıyla bu yüzeyler üzerinden meydana gelebilecek toprak erozyonu yüksek risk grubu içerisinde değerlendirilebilir.

Baraj havzasında drenaj yoğunluğunun ikinci derecede önem arz ettiği noktalar; havzanın kuzeybatısından kuzey kesimlerine doğru kayma eğilimi gösteren 2-3-19 numaralı istasyonlar; kuzeydoğuda 6-12-8-9-10 numaralı istasyonlar; Saraçdağı Tepe'nin kuzeyinde yer alan 27 numaralı istasyon ve havzanın güney kesimlerinde 28-29-30-31-35 ve 36 numaralı istasyonlar 4,51-6 m arasında dre-

naj yoğunluğuna sahip arazi yüzeyleridir. Toprak erozyonu adına bu istasyonlar ikinci derece yüksek risk taşıyan bölgeler oldukları söylenebilir.

Baraj havzasının merkezi iç kesiminde Koca Dere ve Kozak Çayı'nın da keşim gösterdiği Çamavlu yerleşim birimi ile Otyakan Tepe arasında kalan sahayı çeviren arazi yüzeyleri üzerinde 1,5-4,5 m arasında drenaj yoğunluğu mevcuttur. Alüvyal toprakların mevcudiyet gösterdiği ve Çamoba Platosu'nun güneydoğusunda kalan araziler ise drenaj yoğunluğunun en düşük olduğu sahaları karşılamaktadır; bu bağlamda bahsi geçen bu arazi yüzeyleri toprak erozyonunun drenaj yoğunluğu adına en düşük risk taşıyan araziler olarak tanımlanabilir.



Şekil 25. Madra Barajı Havzası Mpsiac Yöntemine Göre Drenaj Yoğunluğu Haritası (0,006+10Qp).

2.5. Toprak Eroadibilite Faktörü

Toprak faktörü toprağı meydana getiren agregatların birbirine bağlanma durumları, fraksiyonlar arasındaki adhezyon ve kohezyon kuvvetlerinin suya karşı gösterdikleri ayrışma direnci ile porozite ve permeabilite gibi su tutma kabiliyeti olan profil hatları boyunca erozyona karşı duyarlılık değerini belirleyen başlıca kriterlerdir. Eroadibilite değeri %9 eğim ve 22,1 m eğim uzunluğa sahip bitki örtüsünden yoksun, eğime paralel sürülmüş standart bir arazi ünitesinde birim erozyon indisi ile hektardan kaybolan toprağın ton olarak ifadesidir.

Baraj havzasında toprak eroadibilite değerlerinin tespit edilebilmesi amacıyla çalışma sahası üzerinde bulunan ana toprak gruplarından örnek toprak numuneleri alınarak toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilişkin laboratuvar analiz sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen değerlere göre toprak bünyesini meydana getiren toprak kum, kil ve silt oranı gibi oransal yüzdelerinden toprak fraksiyonlarının partiküler boyutları hesaplanmış ve Foster'ın kullandığı toprak eroadibilite eşitliği araştırma sahasından elde edilen verilere uyarlanarak toprak erozyonuna karşı ana toprak gruplarının durum değerlendirmesine gidilmiştir. Değerlendirmelerden sonra toprak örneklerinin alındığı sahalara paralellik arz edecek şekilde haritalama yoluna gidilmiştir.

Madra Barajı Havzası'nda gelişen büyük toprak grupları, havzayı meydana getiren ana kayaç özellikleri, iklim ve arazi örtüsü yapısı etkisi altında oluşmuştur. Havzanın her iki il ile sınır oluşturması nedeniyle Balıkesir ve İzmir illeri toprak envanterlerine göre dikkate alınarak düzenlenmiştir. Çalışma sahasına ait toprak eroadibilite faktör haritası ise ana toprak gruplarının verdikleri katsayı değerlerine göre ArcGIS üzerinde kriging metodu kullanılarak ordinary dağılım ile modelleme yoluna gidilmiştir. Sonuçlar raster formatta veriler olarak üretilmiş ve son kısımda Foster eşitliğine bağlı kalınarak kullanılan erozyon kaybı yöntemi eşitliğinde;

$X_2 = 16,67 * K$ değeri olarak düzenlenmiştir.

2.5.1. Açıklama

2.5.1.1. Toprak reaksiyonu (pH):

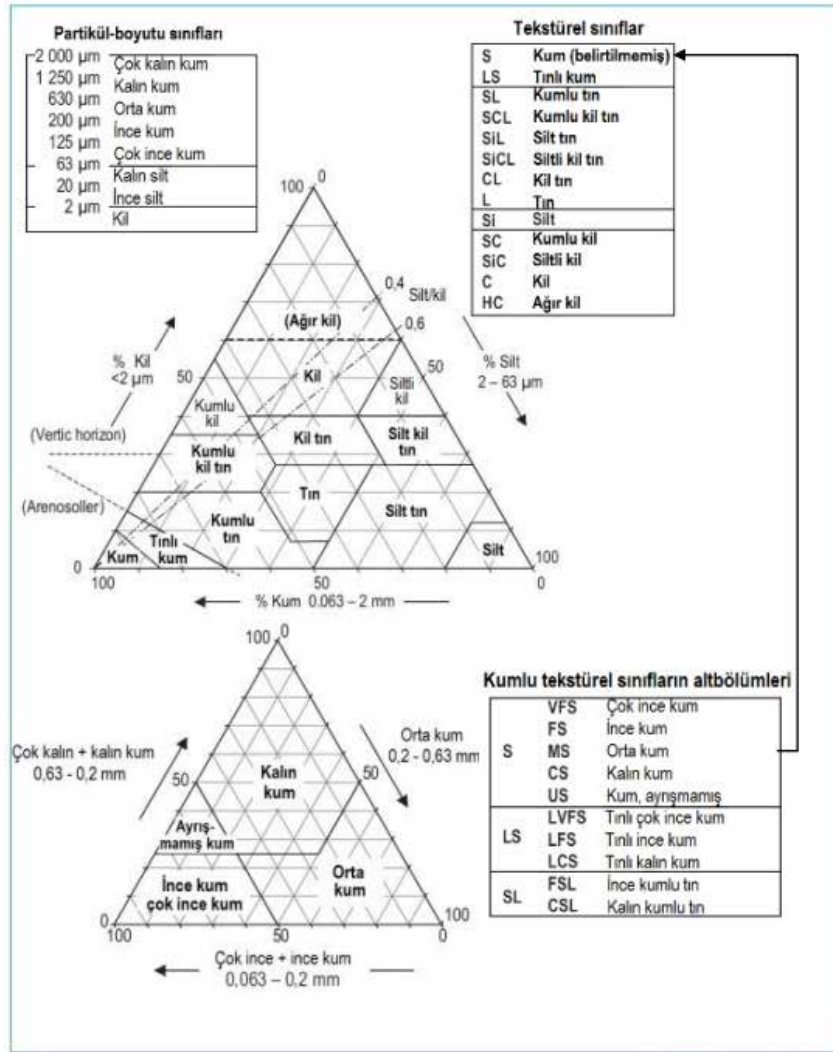
Toprakların reaksiyon değerleri Jackson (1967)'a göre 1:2.5 toprak-su karışımında pH metre aleti kullanılarak ölçülmüş ve Kellog'a (1952) göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 26. Toprakların Ph Dağılımı Tablosu.

<u>pH</u>	<u>Toprak Reaksiyonu</u>
4,5 >	Ekstrem asit
4,5-5,0	Çok kuvvetli asit
5,1-5,5	Kuvvetli asit
5,6-6,0	Orta asit
6,1-6,5	Hafif asit
6,6-7,3	NÖTR
7,4-7,8	Hafif alkali
7,9-8,4	Alkali
8,5-9,0	Kuvvetli alkali
9,1 <	Çok kuvvetli alkali

2.5.1.2. Toprak bünyesi:

Bünye sınıflaması Bouyoucos (1955) tarafından belirlenen esaslara göre hidrometre yöntemiyle yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre bünye sınıfının belirlenmesinde "Toprak Bünyesi Sınıflandırma Üçgeninden" yararlanılmıştır (Black 1957).



Şekil 26. Tekstürel sınıflar ve kum alt sınıfları tanımları; ince toprak bileşenlerinin boyut açısından ilişkisi.

2.5.1.3. Organik madde:

Toprakların sahip oldukları organik madde miktarı, Modifiye Walkley-Black metoduna göre tayin edilerek (Black 1965) ve Thun vd. (1955) tarafından bildirilen esaslara göre sınıflandırılmıştır.

% OM	Değerlendirme
0-1	Çok düşük
1-2	Düşük
2-3	Yeterli
3-6	Yüksek
6<	Çok yüksek

2.4.1.4. Katyon değişim kapasitesi (KDK):

Katyon değişim kapasitesi, 1 N amonyum asetat yöntemine göre belirlenmiştir (Kacar 1995).

KDK- me/100 g	Değerlendirme
2-10	Düşük
11-19	Orta
20-24	Yüksek
25<	Çok yüksek

Alansal olarak 40.832 ha arazi varlığına sahip baraj havzasında dört büyük toprak grubu ve taşlık kayalık araziler bulunmaktadır. Bu çalışmada toprak türleri adına; kireçsiz kahverengi orman toprakları, kahverengi orman toprakları, kireçsiz kahverengi topraklar ve alüvyal topraklardan alınan örnekler sahanın toprak erozyonuna karşı toprakların direnç durumları ortaya konulmuştur.



Foto 15. Kireçsiz kahverengi topraklar üzerinde yeni gelişmekte olan gullyler (Çamavlu yerleşim biriminin 200 m güneybatısı).

Araştırma sahasının %76,1'ini (31.070 ha) meydana getiren kireçsiz kahverengi orman toprakları sahayı oluşturan tuf, lahar, andezit, metamorfik şist, metavolkanit ve özellikle granodiyorit kayaçlar üzerinde teşekkül etmiştir. 19 ve 23 nolu istasyonlardan alınan numunelere bağlı olarak, kireçsiz kahverengi orman topraklarının bulundukları sahalarda en düşük kireç oranı tespit edilmiştir (%6,1). Kireçsiz kahverengi orman topraklarının pH değerleri 6,43 asit reaksiyon göstermektedir. Dolayısıyla toprak bünyesinden kirecin taşınması durumu söz konusudur. Bu duruma ek olarak yapılan analizler sonucunda kireçsiz kahverengi orman topraklarının KDK meq/100 gr da 9,5 olarak tespit edilmiştir. KDK değeri bitki gelişmesi ve büyümesi adına 2-10 değer aralığında yer alması nedeniyle düşük derecede önem arz etmektedir. Granodiyorit ana kayaç grupları üzerinde gelişmesini tamamlamış kireçsiz kahverengi orman toprakları ana kayanın ayrışması sonucu yüksek oranda kum içeriğine sahip bir durum ortaya çıkartmaktadır. Analizler sonucunda KKOT (kireçsiz kahverengi orman toprakları) bünye sınıflamasına göre Kumlu-Tın (SL) yapıdadır. Kilce fakir topraklar sınıfına giren KKOT'nın kil oranı %6,6 olarak analiz edilmiştir (Tablo 27). Kumlu-tın bünyeye sahip bu topraklar unlu değil, taneli, parmak kenarlarında nadiren ince materyal bırakma, hafifçe şekillendirilebilir ve parmaklara hafif bir

şekilde yapışma özelliği göstermektedirler (Erdoğan, 2013).

Baraj havzasının kuzeybatısında Beşiktepe-Kubaşlar yerleşim birimleri arasında ana kayası kristalize kireçtaşlarından müteşekkil, orman bitki örtüsü altında gelişme imkanı bulan kahverengi orman toprakları (KOT) kireçtaşlarının altere olması sonucu açığa çıkan oolit ve kalsit mineralleri açısından zengin bir yapı arz etmektedir. Havzanın kuzeybatısında, güneybatı-kuzeydoğu uzanımlı kristalize kireçtaşlarının merccekler halinde lineer uzanışına bağlı orman örtüsü altında gelişme imkanı bulan kahverengi orman toprakları toplam arazi varlığının 356 ha (%0,9) oluşturmaktadır. KOT, kalsifikasyon olayının görüldüğü, koyu kahverenge sahip olup, analizler sonucunda yüksek kireç oranına sahip (%7,7) ve organik madde içeriği en yüksek toprak türünü meydana getirmektedir. Silt-Tın (SiL) bünyeye sahip kahverengi orman topraklarının kil içeriği laboratuvar analizlerinden elde edilen bulgulara göre %18,7'dir. Kilce zengin, taneli değil ancak fark edilir derecede unlu ve nispeten yapışkan bir özellik göstermektedirler.

Tablo 27. Madra Barajı Havzası Büyük Toprak Gruplarına Ait Analiz Verileri (Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak İnceleme Laboratuvarı).

Sıra No	pH	E C (%)	Kireç (%)	O M (%)	KDK	Değişebilir Katyon (ppm)				Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)
						me/100 gr	Mg	Ca	Na	K		
1	6,8	0,008	7,7	6,09	18,7	24,76	130	0,349	6,743	51,8	29,5	18,7
2	5,45	0,007	5,9	3,39	14,4	14,18	52,59	281,75	9,951	81,7	9,6	8,7
3	7,24	0,008	7,7	1,85	23,3	41,09	162,3	14,5	10,77	59,8	19,6	20,6
4	6,43	0,006	6,1	1,08	9,5	12,13	58,13	0,67	13,57	81,9	11,5	6,6

Açıklama: 1= Hacıveliler yerleşim birimi kuzeybatısı 1 nolu istasyon KOT, 2= Sivri Tepe civarı 21 ve 22 nolu istasyonlar A, 3= Abdulgani/ Hacımehmetler 23 nolu istasyon KKT, 4= Aşağıcuma yerleşim birimi güneyi 24 nolu istasyon KKOT

Tablo 28. Madra Barajı Havzası Büyük Toprak Gruplarının Alansal Dağılımı.

<i>BTG</i>	<i>Alan (ha)</i>	<i>Oran (%)</i>
<i>KKOT</i>	31.070	76,1
<i>KKT</i>	5.461	13,4
<i>KOT</i>	356	0,9
<i>A</i>	3.207	7,9
<i>TK</i>	466	1,1
<i>Baraj Göleti</i>	272	0,7
<i>TOPLAM</i>	40.832	100

Açıklama: *KKOT*; Kireçsiz kahverengi orman toprakları, *KKT*; Kireçsiz kahverengi topraklar, *KOT*; Kahverengi orman toprakları, *A*; Alüvyal topraklar, *TK*; Taşlık/Kayalık

Araştırma sahasında kireçsiz kahverengi orman topraklarından sonra en fazla alanda gelişme gösteren toprak türünü kireçsiz kahverengi topraklar meydana getirmektedir. Bu topraklar araştırma sahasının %13,4'ünü (5.461 ha) oluşturmaktadır. Bünyesinde kireçtaşı barındırmayan ya da bitki örtüsünün cılız veya olmadığı araziler üzerinde gelişme göstermektedir (Cürebal, 2003). Madra Barajı'nın kuzey-kuzeydoğusunda Beşiktepe-Karaayıt ile Hacıveliler-Kubaşlar yerleşim birimleri arasında, baraj gölünün güney-güneydoğusunda İdris Dağı'nın güneybatısında kalan saha ve havzanın kuzeydoğusunda Kaynarca-Kıran-Maya tepeler arasında kalan sahalar bitki örtüsünün seyrek olduğu araziler üzerinde kireçsiz kahverengi topraklar gelişme imkanı bulmuştur. Elde edilen analizlere göre kireçsiz kahverengi toprakların pH değerleri nispeten alkelen reaksiyon göstermektedir (7,24 pH). Kil içeriği 8-27 (%) arasında 20,6 olarak analiz edilen toprakların organik madde miktarı 1,85'tir. Tınlı (L) bünyeye sahip kireçsiz kahverengi topraklar orta büyüklükte kum taneleri içermektedir.



Foto 16. Biyokimyasal süreçlerle ayrıştırılan granodiyorit anakayası üzerinde gelişen kireçsiz kahverengi orman toprakları, toprak erozyonu açısından orta şiddette toprak kayıplarına yol açmaktadır (Terzihaliller- Yukarıcuma arası).

Dış dinamikler tarafından ana kayadan ayrılarak, akarsular vasıtasıyla gücün azaldığı ve agregatların biriktirildiği ortamlarda oluşma imkanına sahip alüvyal araziler üzerinde alüvyon malzemedan müteşekkil azonal topraklar grubuna dahil alüvyal topraklar gelişmiştir. Alüvyal topraklar araştırma sahasının %7,9'unu (3.207 ha) meydana getirmektedir. Bu toprakların organik madde miktarı diğer toprak türlerine oranla daha düşüktür (%1,08). Derin toprak gruplarına dahil bu toprak grubunda horizonlaşma görülmemesine karşın işlemeli tarımsal faaliyetler yürütülmektedir. Baraj havzasının merkezi kesiminde 450-550 m rakımları arasında meydana gelmiş ovalık alüvyal toprak arazi üzerinden alınan toprak örneklerinin analizi sonucunda, toprak bünyesinin tınlı-kum (LS) nitelikte kil içeriğinin %6,6 oranında, unlu nitelik taşımadığı, granüler yapıda, parmak kenar kısımlarında nispeten ince materyal yapışma ve hafifçe şekillendirilebilir nitelikte olduğu tespit edilmiştir.



Foto 17. Aşağıcuma yerleşim biriminin 1 km güneydoğusunda Kozak Çayı'nın biriktirdiği alüvyal topraklar oluşmuştur.

2.5.2. Foster Eşitliğine Göre MPSIAC Yönteminde Madra Barajı Havzası Topraklarının Eroadibilite Durumu

Madra Barajı Havzası'nda büyük toprak gruplarına ait alınan toprak numunelerinin laboratuvar analizlerinden elde edilen veriler Tablo 29' a dayanılarak Foster eşitliğinde toprak eroadibilite duyarlılığı hesaplamasına tabi tutulmuştur. Foster eşitliğine göre:

$$K = [2,8 * 10^{-7} * M^{1,14} * (12-a)] + [4,3 * 10^{-3} * (b-2)] + [3,3 * (c-3)]$$

toprakların erozyona karşı gösterdikleri direnç durumu belirlenmiştir. Burada;

K= Toprak eroadibilite değeri,

M= Partikül boyutu,

{silt(%) + iyi gelişmiş kum (%) } * { (100- kil (%)) }

a= organik madde içeriği (%)

b= toprak strüktür kodu

c= toprak geçirgenlik sınıfı olarak hesaplanmaya gidilmiştir.

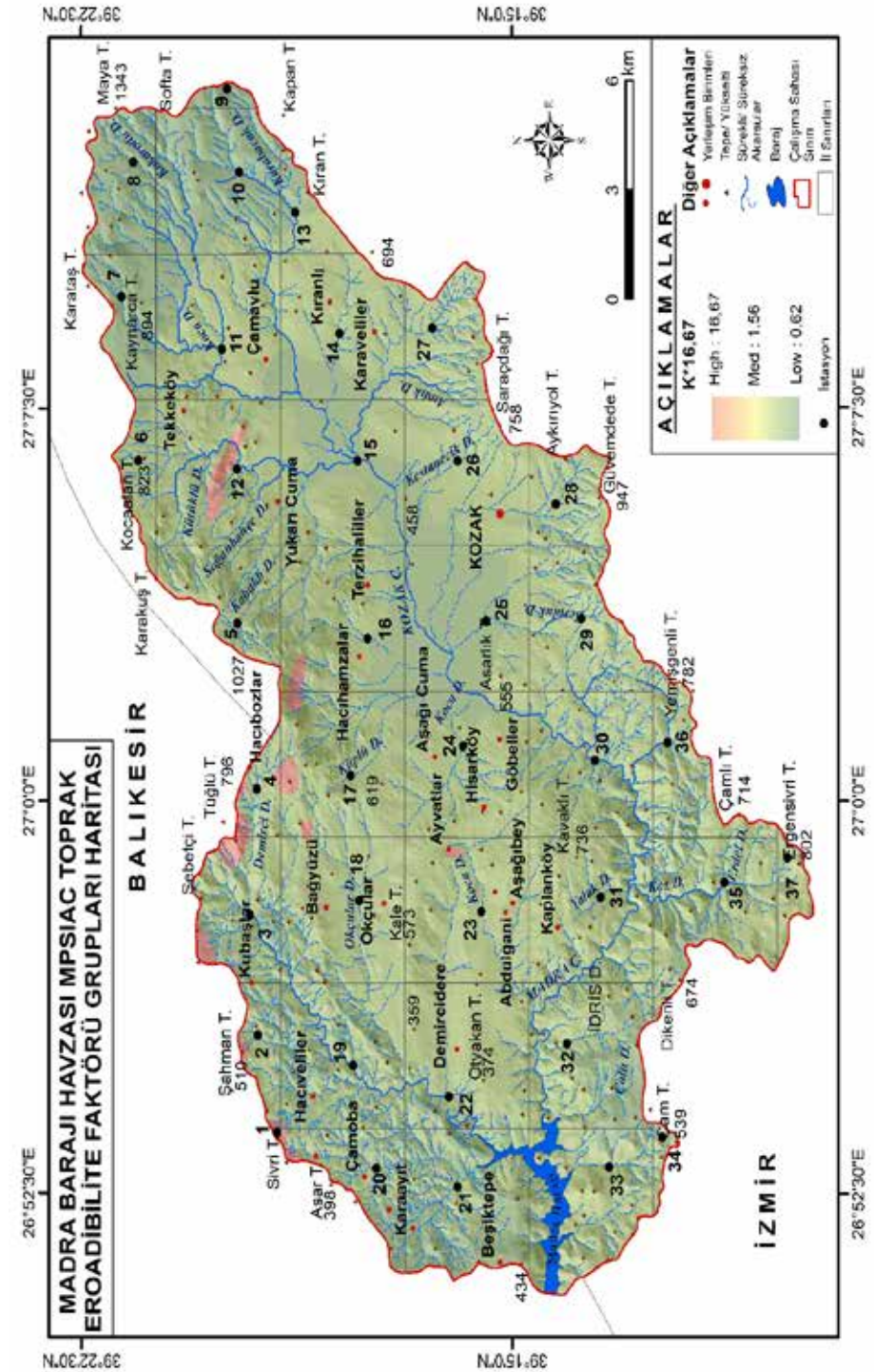
Eşitlikten elde edilen sonuç daha sonradan MPSIAC yönteminde toprakların erozyona karşı direnç durumuna göre sabit katsayı olan $16,67 * K$ ile çarpılarak toprak eroadibilite değeri elde edilmiştir.

Tablo 29. Foster Eşitliğine Göre Madra Barajı Havzası Topraklarının Mpsiac Yönteminde Duyarlılık Değerleri.

Örnek No	M (Partikül Boyutu)						12-a	M*10 ⁻⁷	K Faktörü	BTG
1	81,3	81,3	6606,438	22634,08	0,00000028	5,91	0,006338	0,037	KOT	
2	91,3	91,3	8332,038	29488,76	0,00000028	8,61	0,008257	0,071	A	
3	79,4	79,4	6308,172	21472,87	0,00000028	10,15	0,006012	0,061	KKT	
4	93,4	93,4	8728,044	31091,76	0,00000028	10,92	0,008706	0,095	KKOT	

Tablo 3'den elde edilen Foster eşitliğine göre, en yüksek eroadibilite faktörü kireçsiz kahverengi orman topraklarından meydana gelmektedir. Kil içeriğinin düşük olması burada toprak agregatları arasında oluşan adhezyon ve kohezyon güçlerinin düşük olmasını sağlamakta dolayısıyla toprağın erozyona karşı direncini düşürmektedir. Kireçsiz kahverengi orman topraklarından sonra ikinci düzeyde erozyona karşı dirençsiz grubu alüvyal topraklar oluşturmaktadır. Bağlayıcı unsurların düşük olması yine bu durumu açıklar niteliktedir. Ayrıca toprak pH değerlerinin yine bu toprak türünde 5,45 olarak asit reaksiyon gösterir niteliktedir. Erozyona karşı direnci orta derecede yüksek grubu oluşturan toprak türünü 0,061 ton ha başına yıllık kayıplarla kireçsiz kahverengi toprak grubu meydana getirmektedir. Toprak erozyonu adına en yüksek dirence sahip toprak grubu kahverengi orman toprakları tarafından meydana getirilmektedir. Yıllık hektar başına 0,037 ton toprak kayıpları meydana gelen kahverengi orman topraklarının kil oranının yüksek olması ve organik bağlayıcıların yüzdesinin diğer toprak türlerine göre daha fazla olması fraksiyonlar arasında bağlayıcı unsurun artmasına ve birbirine daha yüksek oranda tutulmasına olanak tanımaktadır (Tablo 29; Şekil 27).

Toprak erodabilite faktörü, toprakların fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu duruma ilaveten toprak erozyonunun gelişmesinde ve artışında toprak türlerinin alansal olarak kapladıkları arazilerin genişlikleri veya daha az alan kaplamalarına göre erozyon durumu artış ya da azalışlar sergilemektedir. Baraj havzasında en yüksek alan kaplayan toprak türlerinin KKOT ve A toprak gruplarının Foster eşitliğine göre düşük direnç gösteren toprak türlerinden meydana gelmesi nedeniyle yüksek derecede erozyon riski taşıyan topraklar olması göze çarpmaktadır.



Şekil 27. Madra Barajı Havzası Btg'na Göre Mpsiac Toprak Erodabilite Değerleri Dağılımı Haritası (16,67*K).

Erozyonu meydana getiren diğer kriterler dışarıda tutularak, baraj havzasında toprak erodabilite faktörüne göre MPSIAC değerlerinin 0,62 ila 16,67 ton yıllık hektar başına toprak kayıpları oluşturduğu hesaplanmıştır. En yüksek toprak erodabilite değerleri araştırma sahası üzerinde herhangi bir bitki örtüsü bulunmayan taşlık/kayalık araziler üzerinde 16,67 ton/ha/y olarak havzanın kuzey kesimlerinde 3-4-16-17 ve 12 nolu ölçüm istasyonlarında elde edilmiştir. Toprak erodabilitesi açısından MPSIAC ortalama değeri ton/ha/y olarak 1,62'dir.

Toprak (K) faktörüne göre orta derecede önem arz eden ve 1,56 ton/ha/y toprak kayıpları meydana getiren araziler KKOT yayılış alanlarına karşılık gelmektedir. Ayrıca 1,36 ton/ha/y olarak toprak kayıpları meydana getiren araziler, baraj havzasının merkezi kesiminde gelişme gösteren A topraklar üzerinde hesaplanmıştır. KKT ve KOT'nın yayılış gösterdiği kristalize kireçtaşları çevresindeki ormanlık araziler ile baraj havzasının kuzeydoğusunda bulunan Kaynarca-Kıran-Maya tepeleri arasında kalan sahalar üzerinde en düşük toprak erodabilite değerleri elde edilmiştir. Toprak fiziksel özelliklerine göre bahsi geçen bu araziler üzerinde toprak gelişimi ve toprağı oluşturan mineral maddelerin birbirine bağlanma durumlarına bağlı olarak yıllık hektar başına 0,62 ton toprak kayıpları meydana gelmektedir.

2.6. Arazi Yüzey Kapalılık Oranı

Akdeniz Fitocoğrafya Bölgesi içerisinde yer alan Madra Barajı Havzası üzerinde yükselti, ana kaya ve antropojen faktörlerin etkisi nedeniyle farklı bitki topluluklarının gelişmesi durumunu sağlamıştır. Bitki türlerinin yatayda ve dikeyde değişim göstermesi, türlerin çeşitliği baraj havzasında arazi yüzeylerinin de kaplılığına farklı açılardan katkılar sağlamaktadır.

Baraj havzasını meydana getiren bitki türleri formasyon itibarıyla kurakçıl unsurlardan meydana gelmektedir. Kurakçıl türlerin başında Akdeniz bitki örtüsü unsurlarını oluşturan fıstıkçamı (*Pinus pinea*), kızılçam (*Pinus brutia*), maki (*Machia*), zeytin (*Olea europaea*) ile daha serin şartlar isteyen yayvan yapraklı meşe (*Quercus sp.*) türleri, ibrelili karaçam (*Pinus nigra*) birliklerinden oluşmaktadır (Cürebal, 2003). Madra Barajı Havzası'nın batısında, batı-güneybatı bakılı yamaçlar 350 m rakımına kadar Akdeniz bitki örtüsüne özgü makiliklerden meydana gelmektedir. 350 m rakımından 850 m rakımına kadar doğal bitki örtüsünü

kızılçamlar (*Pinus brutia*) oluşturmaktadır. 850 m rakımından daha üst seviyelerde karaçamlar (*Pinus nigra*) görülmektedir (Sönmez, 1996:58).

Madra Dağı'nın batı ve güneybatısından Kozak Yaylası civarına değin bitki örtüsünün yoğun degradasyonu sonucu çalı türünde formasyonlar yetişme imkânı bulmuştur. Bu türler saçlı meşe (*Quercus cerris*), ahlat (*Pyrus elaeagnifolia*), ardıç (*Juniperus oxycedrus*), geyik dikenini (*Crataegus monogyna*), palamut meşesi (*Quercus ithaburensis*) ve tüylü meşe (*Quercus pubescens*) birliklerinin karışımından oluşmaktadır (Sönmez, 1996:62-63).



Foto 18. Yüksekliği 19 m, taç kısmı 18 m civarında ve gövde çapı 8,5 m olan çınar ağacı (*Platanus orientalis*) yaklaşık 850 yaşındadır. Kapalılık oranı % 100 civarındadır (Bağyüzü).

Madra Barajı Havzası'nın merkezi-güneydoğu kesiminde bulunan Kozak Ovası'nın batı ve doğu kesimleri jeomorfolojik açıdan kuzey rüzgarlarına karşı kapalı-açık olma özelliği göstermesi nedeniyle fıstıkçamı ormanlarının gelişmesi durumu da değişim ve farklılıklar arz etmektedir (Cürebal, 2003). 2003 yılında Cürebal'ın yaptığı çalışmalara göre baraj havzasında 11.000 ha'lık arazi fıstıkçamları ile kaplıyken günümüzde 26.367 ha arazi fıstıkçamı arazisi olarak ge-

nişleme göstermiştir. Bu durum ekonomik yönden halkın geçim kaynağı olarak fıstıkçamına yönelimiyle ilgilidir. Dolayısıyla geçmişten günümüze arazi örtüsü üzerinde meydana gelen bu değişim arazi yüzey kapalılığına da büyük oranda etkide bulunmaktadır.

Baraj havzasında tahribatın olmadığı sahalar meralık-fundalık arazilerden müteşekkildir. Bu arazi yüzeyleri kermez meşesi (*Quercus coccifera*), menengiç (*Pistacia terebinthus*), yabani erik (*Prunus divericata*), katırtırnağı (*Spartium junceum*), laden (*Cistus creticus*), kuşkonmaz (*Asparagus*) ve kekik (*Thymus sp.*) gibi bitki türleri tarafından kaplanmıştır (Sönmez, 1996:64). Dolayısıyla arazi yüzeylerinin kapalılık oranları yine bu arazi yüzeyleri üzerinde farklılıklar oluşturmaktadır ve toprak erozyonuna neden olan yağış erozif faktörü, termal genlik, toprak eroadibilite faktörü ve infiltrasyon üzerinde büyük rol oynamaktadır.



Foto 19. Granit anakayası üzerinde yetişen fıstıkçamı 384 cm varan gövde çapıyla yaklaşık 235 yaşındadır ve kapalılık oranı %60 civarındadır (Bağyüzü).

Toprak erozyonu açısından bitki örtüsü yüzey kapalılığı, erozyon oluşumunu engelleyen ya da önlemeye yardımcı doğal bir faktör olarak tanımlanabilir. Arazi yüzeylerinin bitki örtüsü yüzey kapalılığı açısından erozyon adına işlevleri:

- i. Arazi üzerine düşen yağış erozivite etkisini ya da damlaların neden olduğu kinetik enerjinin azaltılmasında önemli rol oynar. Kinetik enerjinin dü-

- şürülmesi toprak fraksiyonlarının dağıtılmasına etki etmekte dolayısıyla erozyonla taşınan sediment madde miktarının azalmasını sağlamaktadır,
- ii. Arazi üst yüzeyinde splash etkisinden doğan yüzeysel akış sularının hızlarına etki etmekte ya da yüzeysel akış sularının yönlerinin değişmesine imkan tanımaktadır,
- iii. Kapalılık oranının yüksek olduğu arazi yüzeylerinin bulunan coğrafi konumuna istinaden oluşan termal genlik durumunu azaltma görevi göstermektedir. Dolayısıyla ana kayanın parçalanması ve günlenme etkisini indirgemesi durumu söz konusudur.

Tablo 30. Kapalılık Oranları Dağılım Tanımlaması (Orman İdaresi Ve Planlama Dairesi Başkanlığı, 2012).

Kapalılık Oranı (%)	Tanımlama
<10	Boşluklu kapalı
11- 40	Gevşek kapalı
41- 70	Orta kapalı
71- 100	Kapalı ve tam kapalı
100 +	Sıkışık/ girift

Madra Barajı Havzası, arazi yüzey kapalılığı açısından, araziye kaplayan fıstıkçamı, kızılçam, meşe ve Akdeniz bitki örtüsü elemanlarının oluşturduğu daha çok kurakçıl (*kseromorf*) türler tarafından kuşatılmıştır. Araştırma sahası ortalama kapalılık değeri adına 41-70 arasında yüzey kapalılığına sahiptir. Bu durumun temel nedeni arazi yüzeylerinin %75 oranında, yüzey kapalılığı adına 30-60 arasında değerler gösteren fıstıkçamları tarafından örtülü olmasıyla ilişkilidir (Tablo 31).



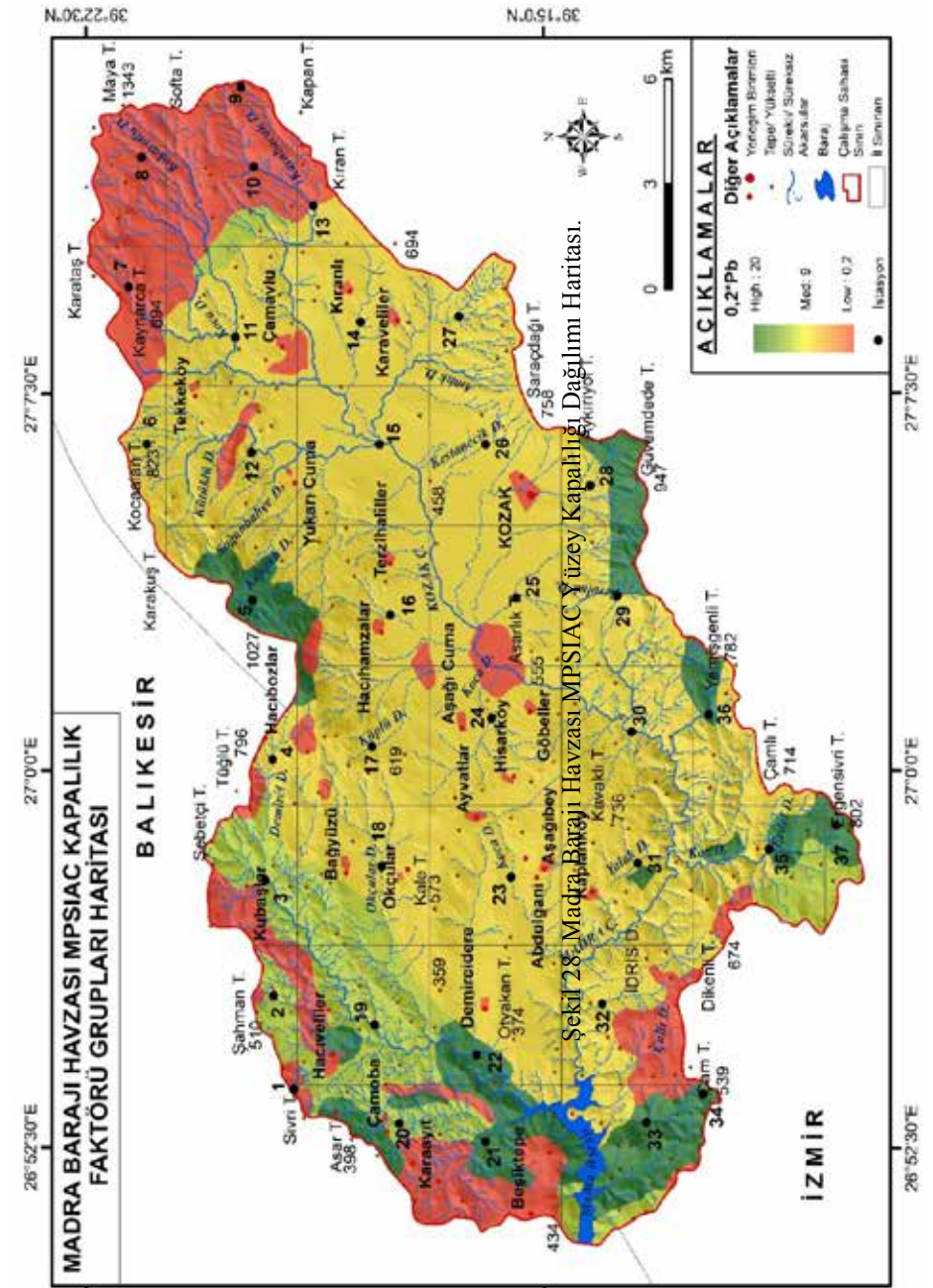
Foto 20. Metavolkanit arazi yüzeyleri üzerinde gelişen fundalıkların kapalılıkları yarı yarıya oranındadır (13 nolu istasyondan Yaylacıkdede Dağı'na doğru).

Tablo 31. Madra Barajı Havzası Yüzey Kapalılık Oranları Dağılımı.

Kapalılık Oranı (%)	Alan (ha)	Oran (%)	Türler
< 10	1.579	3,87	Kuru tarım, taşlık, yerleşim
11- 40	4.899	12,00	Mera
41- 70	30.336	74,29	Fıstıkçamı, fundalık
71- 100	3.390	8,30	Kızılçam, karaçam, gençleştirme
100 +	356	0,87	Zeytin
Baraj Göleti	272	0,67	Baraj göleti
TOPLAM	40.832	100	

Yüzey kapalılık değerleri adına %100 kapalılığa sahip zeytinlik araziler araştırma sahasının kuzeybatısında bulunan Çamoba ve Hacıveliler yerleşim birimleri etrafında arazi yüzeyini örtmektedir. Toplam arazi varlığının yaklaşık %1'ine karşılık gelen zeytin dikili araziler üzerinden MPSIAC toprak erozyonu eşitliğinde en düşük risk faktörü grubunu oluşturmaktadır. Toprak erozyonu adına yüzey kapalılığında kızılçam, karaçam ve orman gençleştirme sahaları ise 3.390 ha'lık arazi ile ikinci derecede erozyon önleme sahalarını meydana getirmektedir. Arazi kullanımı adına kuru tarım, yerleşim birimleri ve taşlık-kayalık arazi yüzeyleri ise toprak erozyonu oluşturmada en yüksek risk faktörünü meydana getirmektedir. Bu arazi

yüzeyleri üzerine düşen suyun kinetik enerjisinin kesintiye uğratılamaması ve yön verilememesi toprak erozyonunu hızlandırıcı etki yaratmaktadır.



Şekil 28. Madra Barajı Havzası MPSIAC Yüzey Kapalılığı Dağılımı Haritası.

2.7. Arazi Örtüsü ve Kullanımı Faktörü (C)

Arazi kullanımı faktörü, erozyonu etkileyen yağış, infiltrasyon ve debi arasındaki ilişkileri şekillendirici rol oynadığından, atmosferik olaylar sonucu meydana gelen yağış, kar gibi yağışların kinetik enerjilerine etki etmektedir. Dolayısıyla doğrudan toprak kayıplarına sebep olan bir kriter olarak karşımıza çıkmaktadır. Madra Barajı Havzası arazi örtüsü ve kullanımı adına %73,78 oranında ormanlık arazilerden müteşekkildir. Dolayısıyla ormanlık araziler üzerinden gerçekleşen toprak kayıpları mera, fundalık, kuru tarım, yerleşim alanları ve taşlık-kayalık araziler üzerinde gerçekleşen miktardan daha az oranda kendini göstermektedir. Toprak erozyonu adına ormanlık araziler üzerinden yıllık hektar başına 0,05 ton toprak kayıpları meydana gelmektedir. Kuru tarım faaliyetlerinin yürütüldüğü sahalardan yıllık hektar başına 0,07 ton toprak kayıpları oluşmaktadır. Kuru tarım yapılan araziler araştırma sahasının merkezi kesiminde yer alan Kozak Ovası'nın batısı ile kuzeydoğusunda ve baraj havzasının batı kesiminde bulunmaktadır. Mera ve fundalık araziler üzerinde ise 0,09 ton/ha/y olarak toprak kayıpları oluşmaktadır. Karaayıt-Kubaşlar yerleşim birimleri arası, Kaynarca-Kıran-Maya tepeleri arasında kalan saha, Çam Tepe'nin kuzeyi ve İdris Dağı'nın güneybatısı merallık ve fundalık arazilerden meydana gelmektedir. Araştırma sahasında en yüksek toprak kayıplarının meydana geldiği araziler baraj havzasının kuzey kesimlerinde bulunan taşlık-kayalık arazilerdir (Tablo 32; Şekil 29).



Foto 21. Aşağıcuma- Hacıhamzalar yerleşim birimleri arasında yer alan tarım arazileri ve taş işleme ocağı toprak erozyonunda olumsuz etki yaratan kriterlerdir.

Tablo 32. Madra Barajı Havzası Arazi Örtüsü Ve Kullanımı Dağılım Oranları.

Arazi Kullanımı	Kod	Alan (ha)	Oran (%)	C Faktör
Fundalık	F	3.959	9,70	0,09
Mera	M	4.899	12,00	0,09
Kızılçam	Pb	2.628	6,44	0,05
Orman gençleştirme	G	196	0,48	0,05
Kuru tarım	K	884	2,16	0,07
Taşlık/kayalık	TK	459	1,12	1
Karaçam	Pn	575	1,41	0,05
Zeytinlik	Ze	356	0,87	0,09
Yerleşim birimi	YR	236	0,58	1
Fıstıkçanı	Pp	26.368	64,58	0,05
Baraj/Gölet	BG	272	0,67	---
TOPLAM		40832	100	

MPSIAC yöntemine göre baraj havzasında arazi kullanımı ve örtüsü adına, arazinin kullanımının;

$X_7 = 20 - (0,2 * P_j)$ değeri ile çarpılması sonucu toprak kayıpları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre baraj havzasında yıllık hektar başına 19,982 ile 19,989 ton toprak kayıpları oluşmaktadır.

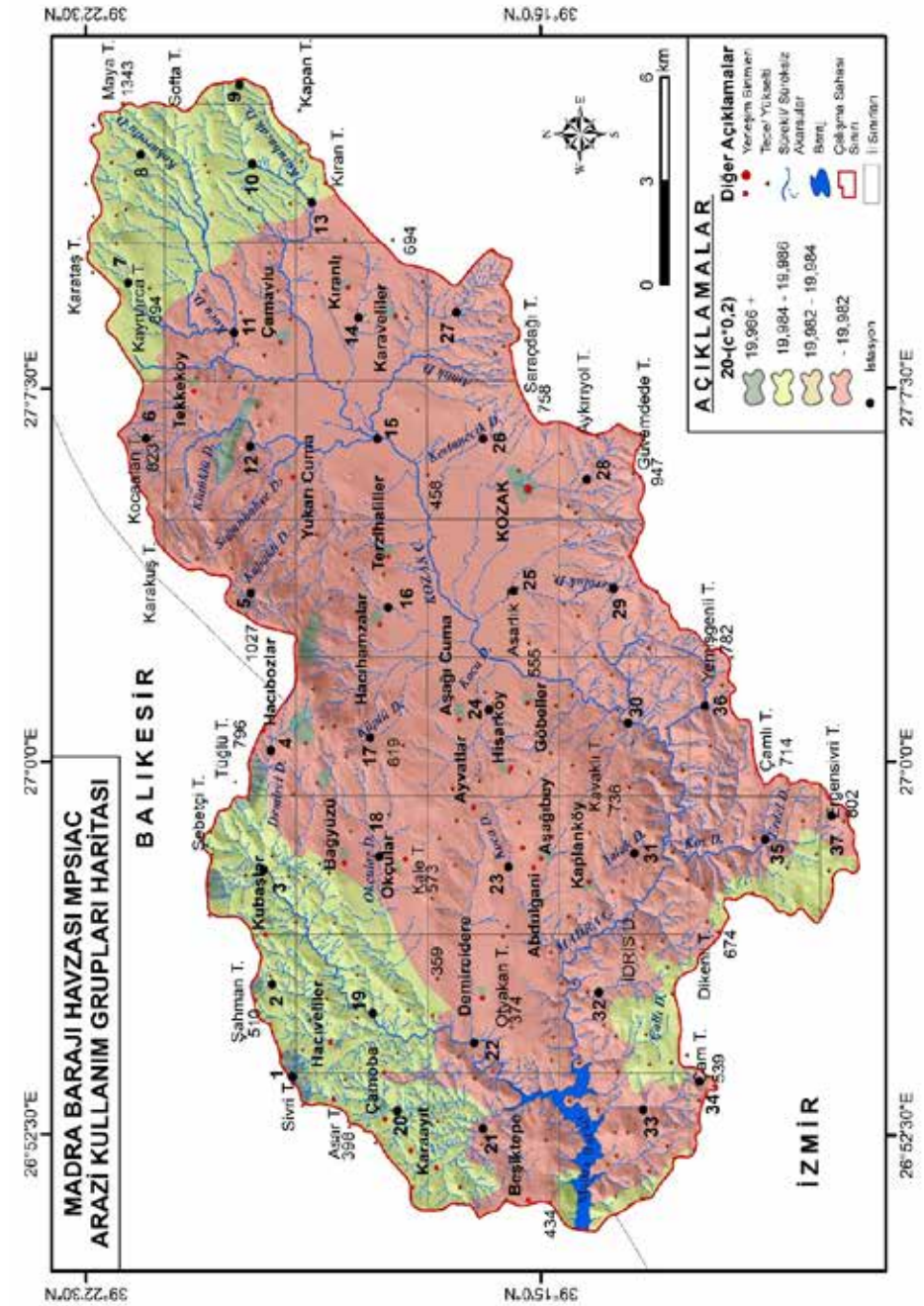


Şekil 29. Madra Barajı Havzası Arazi Örtüsü Ve Kullanımı Haritası.

MPSIAC metoduna göre çarpılan arazi kullanımı ve örtüsü haritası tekrardan türetilmiştir. Dolayısıyla oluşturulan yeni verilere göre orman arazilerin kapladığı araziler üzerinden 19,982 ton/ha/y toprak kayıpları meydana gelirken; araştırma sahasının batısı, kuzeydoğusu ve güneybatıda kalan meralık-fundalık araziler üzerinden 19,984-19,989 ton arası toprak kayıpları oluşmaktadır. En yüksek toprak kayıplarını ise baraj havzasının kuzeyinde yer alan taşlık-kayalık araziler olan ve üzerinde bitki örtüsü bulunmayan yıllık hektar başına 19,986 + ton toprak kayıpları meydana getiren araziler oluşturmaktadır (Şekil 30).



Foto 22. Yukarıcuma-Çamavlu yerleşimleri arasında yer alan anayoldan Kozak Ovası'na doğru tarımsal faaliyetler ve fıstıkçamı birlikleri toprak erozyonu açısından kozmopolit bir yapı arz etmektedir.



Şekil 30. Madra Barajı Havzası Mpsiac Yöntemine Göre Arazi Faktörü Haritası (20-0,2*Pc).

2. 8. Yüzey Erozyon Faktörü

2.8.1. Bileşik Topografik İndeks (Compound topography index)

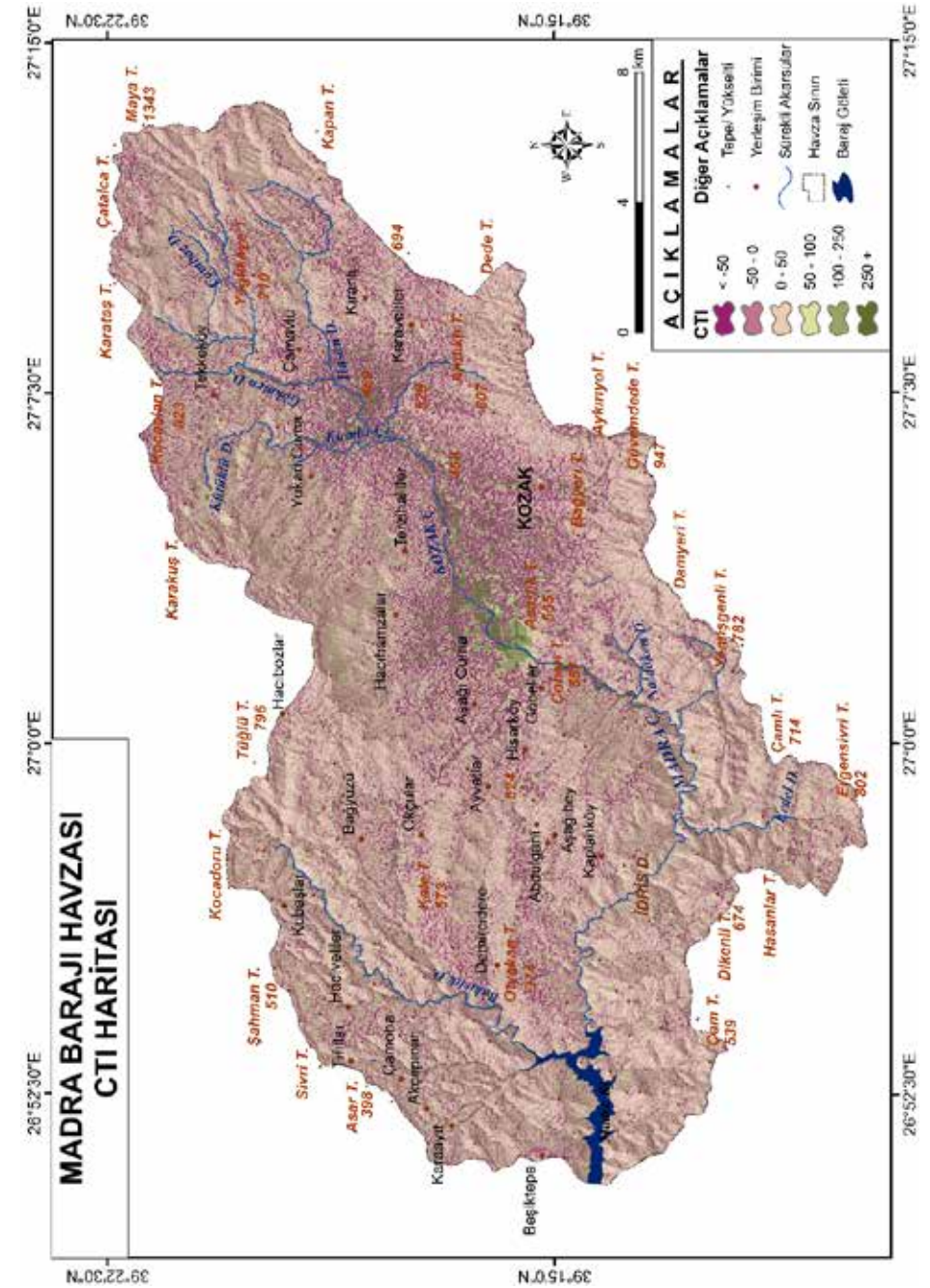
Bileşik topografik indeks hesaplamasında ise Madra Barajı Havzası'nda akış gösteren akarsuların akış toplamı ile eğimin yüzdesine oranının logaritmasının alınması sonucu hesaplanmıştır. Dolayısıyla;

$CTI = \ln(\text{flow accumulation} + .001) / (\text{slope} / 100) + .001$ şeklinde literatürde formüle edilmiştir.

Sabit durumlu bir ıslaklık indeksi olan bileşik topografik indeks topografik ıslaklık indeksi olarak da bilinmektedir. Akış yönüne dik, birim genişlik başına birim eğim ve yukarı çıkış akışına katkı sağlayan bir fonksiyon olan bileşik topografik indeks, toprak silt yüzdesi; organik madde içeriği ve fosfor gibi toprak özellikleriyle yüksek derecede ilişkilidir (Moore vd., 1991).

Bileşik topografik indeks hesaplaması akış gücü indeksinin tam zıttı denilebilir. Literatürde yer alan hesaplamada akaçlama havzasında akış toplamının eğimin yüzdesine bölünerek logaritması alınması sonucu hesaplanmaktadır. Gessler vd. tarafından bileşik topografik indeks hesaplaması;

$CTI = \ln(As / \tan \beta)$ şeklinde formüle edilmektedir burada As= spesifik toplama alanı, akış yönüne dik olan birim genişlik başına m² olarak ifade edilir ve β radyan cinsinden ifade edilen eğim açısını tanımlamaktadır.



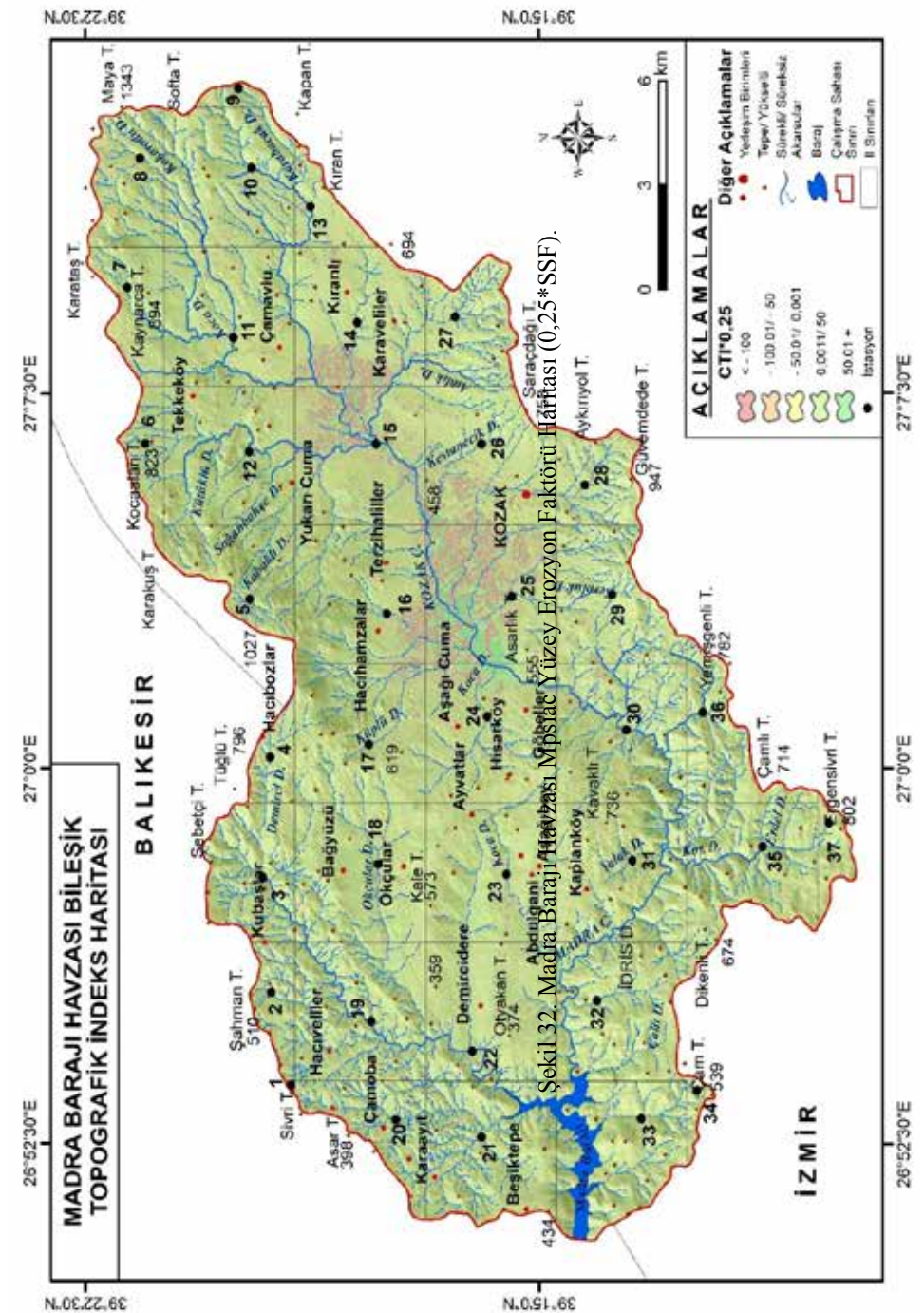
Şekil 31. Madra Barajı Havzası Bileşik Topografik İndeks Haritası.

Madra Barajı Havzası'nda bileşik topografik indeks değerleri (CTI) -6.907 ile 13.087 arasında hesaplanmıştır. Ortalama CTI değeri -113,39 olarak bulunmuştur. En düşük CTI değerlerine Asarlık T. ile Aşağıcuma yerleşim birimleri arasında kalan Kozak Ovası'nın güneybatı, güney kesimlerinde hesaplanmıştır. Bu saha üzerinde yüzey erozyonunun en düşük seviyede risk taşıması eğim değerlerinin en alt seviyeye 0'a kadar ulaşmasıyla ilişkilidir. Ayrıca ovalık arazi olması hasediyle bu saha birikimin meydana geldiği bir platformdur. CTI değerlerine en yüksek yine Kozak Ovası'na doğru eğimli yamaçlar üzerinde hesaplama yapılmıştır. CTI değerlerinin yüksek olduğu diğer araziler ise havzanın kuzeybatısında yer alan Okçular-Bağyüzü yerleşim birimleri arasında, merkezi kesimde Göbeller-Aşağıcuma-Terzihaliller arasında kalan yerleşim birimleri sahası, kuzeydoğuda Kocaalan T. ve Çatalca T. ile Maya T. arasında ve batı merkezi kesimde Çamoba Platosu'nun güneydoğu kesimlerinde şiddetli derecede yüzey erozyonu meydana gelen arazileri oluşturmaktadır (Şekil 31).

2.8.2. MPSIAC Yüzey Erozyon Faktörü

Yüzey erozyonu faktörünün hesaplanmasında, bileşik topografik indeks hesaplamasından faydalanılmıştır. Baraj havzasına ait oluşturulan bileşik topografik indeks haritası MPSIAC Yüzey Erozyonu Faktörü adına **0,25*SSF** katsayısı ile çarpılarak sonuca gidilmiştir. Oluşturulan MPSIAC Yüzey Erozyonu Faktörü formülü:

$X_8 = 0,25 * [\ln(\text{flow accumulation} + .001) / (\text{slope} / 100) + .001]$ şeklinde hazırlanmıştır. Baraj havzasında akış gösteren akarsuların akış toplamı ile eğimin yüzdesine oranlanması sonucu logaritması alınan değer 0,25 sabit katsayısı ile çarpılmıştır.



Şekil 32. Madra Barajı Havzası Mpsiac Yüzey Erozyon Faktörü Haritası (0,25*SSF).

Madra Barajı Havzası'nda SPI değerleri -94,46 ile 28,44 arasında değişkenlik arz etmektedir. Ortalama SPI değeri havza geneli için -0,42 olarak hesaplanmıştır. Madra Barajı Havzası'nda kuzeyde Hacıhamzalar yerleşim biriminin kuzeyi ile kuzeydoğu kesimleri, kuzeydoğuda Madra D.'nin güneybatıya doğru akış gösteren Cambaz D. ve kollarının oluşturduğu vadiler, güney kesimlerde Madra Çayı'nın içerisinde akış gösterdiği yatak; Erdel Dere ve İdris D. civarı, güneybatı kesimlerde ise Çam T. ile Madra Barajı arasında akış gösteren akarsuların vadi yatakları üst çığıruları SPI değerleri açısından yüksek çıkan arazilerdir. Dolayısıyla bu sahalarda gullylerin iyi derecede gelişme göstermesi durumu söz konusudur (Şekil 33). SPI değerlerinin yüksek olduğu sahalarda jeolojik yapı arasında yüksek oranda tutarlılık durumu da söz konusudur. Fay hatlarına paralel olarak SPI değerlerinde artış durumu görülmektedir. Bu durum da tektonik aktivite ile akış gücü indeksi arasındaki ilişkiyi ortaya koyan en önemli göstergelerden birisidir.

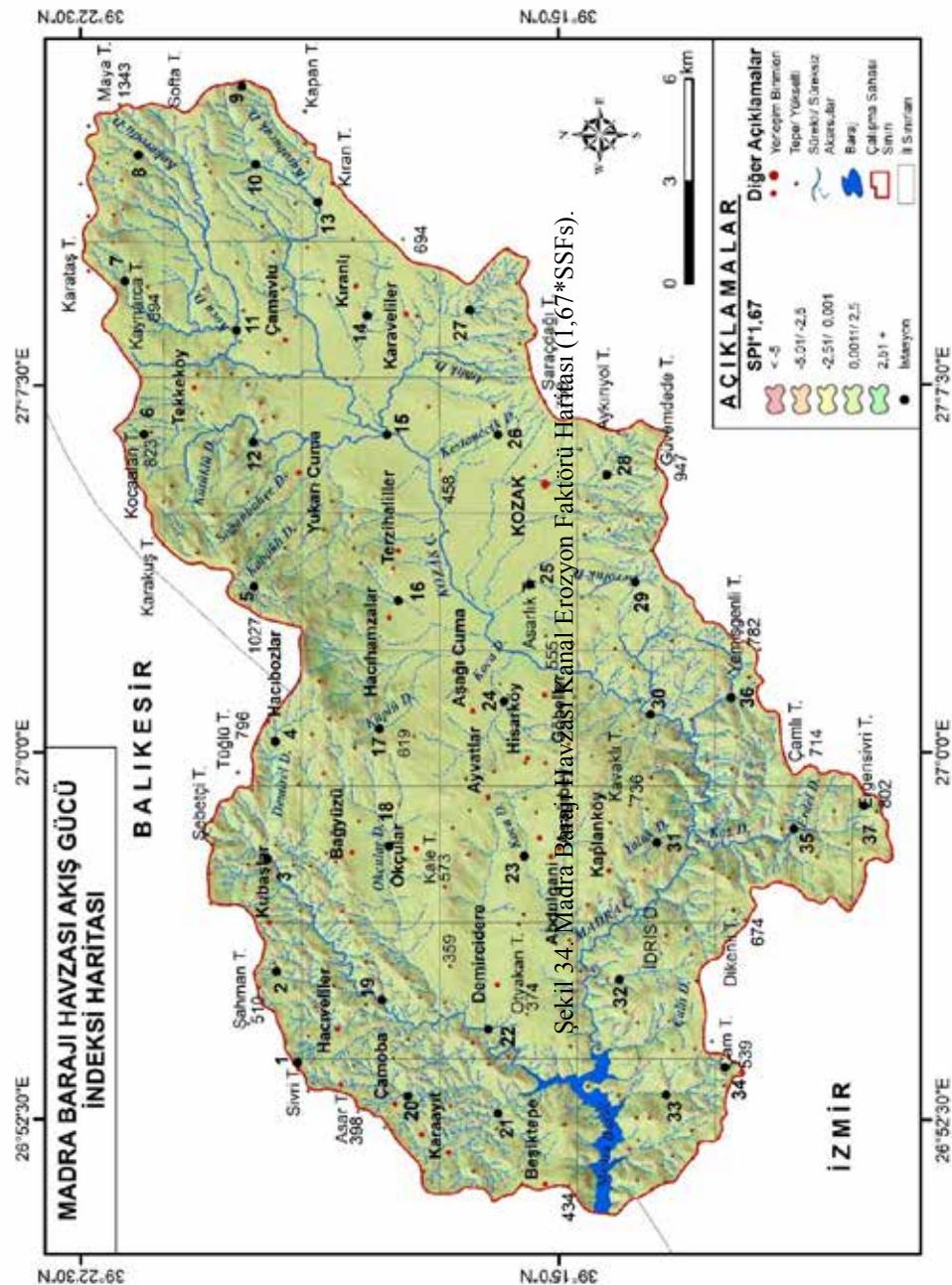
SPI değerleri açısından düşük risk taşıyan ve değerlerin en düşük olduğu nokta havzanın güneydoğu kesiminde yer alan Kozak yerleşmesinin batısından başlayarak Kozak Çayı'nın üst çığırına doğru kuzeydoğu istikametinde gelişme gösteren ovalık arazi üzerinde hesaplanmıştır. Bu saha yüzey ve oyuntu erozyonlarının taşıdıkları materyali boşaltım sahası olarak karşımıza çıkmaktadır. Tektonik etkinlikle birlikte değerlendirildiği takdirde yine bu ovalık arazi fay hatları tarafından sınırlandırılmış izole bir alan olarak jeomorfolojik gelişimini tamamlamıştır. SPI değerlerinin orta derecede etkiye sahip olduğu alanlar ise 600-900 m yükselti basamağı ve 300-600 m yükselti kademeleri arasında geçişe sahip yamaç arazilerdir. 300-600 ile 300 m ye kadar platoluk yüzeyler arasında geçiş formuna sahip yamaçlar ise SPI değerleri yönünden hafif şiddette risk taşıyan gruba dahil edilebilir. Bu durum yükselti kademeleri ile eğim durumu arasındaki farktan kaynaklanmaktadır.

2.9.2. MPSIAC Kanal Erozyon Faktörü

Akış gücü indeksi hesaplaması sonucu elde edilen veriler, kanal erozyonu faktöründe $1,67 \cdot SSF_s$ sabit katsayı ile çarpılarak MPSIAC parametresi oluşturulmuştur. Akış gücü indeksi, akarsuyun toprak erozyonu üzerinde potansiyel açıdan kinetik enerjisi ile toprak partiküllerini yer değiştirmeye zorlamakta ve eğimle birlikte etki etmekte olan bir faktör olarak tanımlanabilir.

$X_g = 1,67 \cdot [\ln(\text{flow accumulation} + .001) \cdot (\text{slope} / 100) + .001]$ şeklinde hesaplamaya tabi tutulmuştur. Elde edilen bulgulara göre (akış gücü indeksi

ve 1,67 sabit katsayısının çarpılmasıyla) Madra Barajı Havzası kanal erozyonu faktörü ortalama değeri -0,067 olarak hesaplanmıştır. Kanal erozyonu faktörü değerlerinin ise -157,74 ile 47,50 arasında değişkenlik gösterdiği bulunmuştur. MPSIAC faktörüne göre baraj havzasında toprak erozyon kriterini oluşturan bu son parametre "akış gücü indeksi" hesaplamasında ortaya çıkan sonuçlarla paralellik arz etmektedir. Bu konuda tekrara düşmemek amacıyla bu bölümde MPSIAC kanal erozyon faktörü yorumlanma yoluna gidilmemiştir.



Şekil 34. Madra Barajı Havzası Kanal Erozyon Faktörü Haritası (1,67*SSFs).

3. MPSIAC YÖNTEMİNE GÖRE MADRA BARAJI HAVZASI EROZYON DURUMU

Madra Baraj Havzası'nda MPSIAC yöntemi kullanılarak, havza genelinde meydana gelen toprak erozyonunun hesaplanmasında elde edilen bulgulara göre:

1. Havza genelinin toprak erozyonu açısından orta şiddette risk grubu içerisinde yer aldığı hesaplanmıştır. Yöntem (MPSIAC) verilerinden elde edilen sonuçlar havzanın yıllık ortalama 22,5 ton hektar başına toprak kayıpları ortaya çıkardığı hesaplanmıştır. Uygulanan RUSLE analizine göre yine baraj havzasının orta düzeyde toprak erozyonuna uğradığı belirlenmiştir. RUSLE yöntemi ile elde edilen yıllık toprak kayıpları hektar başına 34,05 tondur. Uygulanan iki yöntem arasında yüksek oranda farkın çıkması kullanılan parametre değerine bağlanmaktadır.

2.Havzanın kuzeyinde yer alan Yaylacıkdede Dağı üzerinde oluşturulan 5 numaralı ölçüm istasyonu; kuzeydoğuda yer alan 8 numaralı Kokarotlu Dere'nin kaynaklarını aldığı Madra Dağı metavolkanit araziler; 28-29 numaralı ölçüm istasyonlarının yer aldığı Güvem Dağı çevresi ve son olarak güney kesimde bulunan 35-36-37 numaralı ölçüm istasyonları üzerinden yıllık hektar başına 43,6 ton toprak kayıplarının meydana geldiği en yüksek toprak erozyon risk sahalarını oluşturan araziler toplam arazi varlığının %4,16 (1.698 ha) oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır.

3.Uygulanan toprak erozyonu yöntemine göre erozyon sahalarının saptanmasında negatif indis değerlerinin elde edildiği sahalar toprak erozyonu tarafından taşınan sediment madde birikiminin gerçekleştiği arazilere karşılık gelmektedir. Havza genelinde bu araziler Madra Barajı'nın kuzeyinde yer alan Beşiktepe yerleşim birimi civarı ile Beşiktepe Platosu içerisinde bulunan depresyon sahası; Kozak Ovası'nın kuzeydoğusunda Çamavlu yerleşim biriminin güneybatısı ile ovanın güneybatısında Hisarköy yerleşmesinin doğu kesimleri 213 ha'lık birikim sahası olarak hesaplanmıştır.

4.Hesaplamalar sonucunda havzanın orta şiddetli toprak erozyonu grubunda 18-43 ton toprak kayıpları arasında dağılıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Orta

şiddette toprak erozyonlarının gelişme gösterdiği araziler daha çok havza içerisinde yer alan platoluk arazilere aittir.

5.Baraj havzasını oluşturan 300-600 m yükselti basamak aralığında yer alan alçak kademe platoluk araziler toprak erozyonu açısından orta şiddette risk faktörü taşıyan genel erozyon varlığının en hafif düzeyde 0-18 ton toprak kayıpları meydana getiren arazileri teşkil etmektedir. Bu durum arazinin en düşük yağış erozif faktörü taşıdığı arazilerden ve kapalılık açısından çam fıstığı kaplı alanlardan müteşekkil olmasıyla daha düşük düzeyde eğim değerlerine sahip olmasıyla açıklanabilir.

6.Elde edilen veriler doğrultusunda Madra Baraj Göleti'nin taşınan sediment ortalaması (MPSIAC yöntemine göre) ile 80 yıl maksimum düzeyde tamamen baraj ömrünü tamamlayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum baraj bünyesinin batimetrik ölçümleri ile oluşturulan volüme analizi ve yıllık toplam erozyon miktarının ne kadar gerçekleştiği ile bağdaştırılarak hesaplanmıştır.

7.Baraj bünyesine ait batimetrik ölçümler 2006 yılına ait olup ileriki çalışmalarda batimetrik ölçümün tekrar edilmesi ile arada baraj hacminin tekrarlanan dönem arasında ne kadar sediment biriktirdiği daha doğru sonuçlar üretebileceği için toprak erozyonunun ne kadar gerçekleştiğine ilişkin daha doğru sonuçlar üretilebilir.

8.MPSIAC ve RUSLE (3D) yöntemleri kullanılarak yapılan hesaplamalar ve karşılaştırmalar sonucunda baraj havzasında şiddetli erozyon sahaları ile birikim sahalarının kesişmesi durumu söz konusudur (Şekil 35-36).

Tablo 33. Madra Barajı Havzası Toprak Erozyonu Alansal Dağılımı.

<i>Risk Sınıfı</i>	<i>Erozyon Durumu</i>	<i>Alan (ha)</i>	<i>Oran (%)</i>
1	Çok yüksek	1.698	4,16
2	Yüksek	7.120	17,44
3	Orta düzeyde	19.784	48,45
4	Hafif	11.040	27,04
5	Çok hafif	705	1,73
6	Birikim sahası	213	0,52
<i>Baraj Göleti</i>		272	0,67
TOPLAM		40.832	100

Madra Barajı Havzası'nda toprak erozyon durumu ile toprak erozyonunu ortaya çıkaran parametreler arasında nasıl bir ilişki olduğunu anlayabilmek mak-

sadıyla ArcGIS üzerinde üretilen raster formatındaki haritalar vektör veri formatına çevrilerek daha sonra herbiri ile kesişim (intersect analyses) analizine tabi tutulmuştur. Elde edilen kesişime ait sayısal veriler Excel ortamına aktararak alansal verisi hazırlanmıştır. Buna göre üretilen sayısal tablolar 34 ve 35. tablolarda açıklanmaya çalışılmıştır.

Tablo 34. Baraj Havzasında Anakaya-Yağış-Toprak Parametrelerinin Toprak Erozyonu ile İlişkisi.

Parametre	Açıklama	Yıllık Toprak Kaybı (t/ha)						Toplam
		< 0,001	0,001- 18	18- 21	21- 24	24- 27	27 +	
Anakaya	Andezit, tüf, lahar	0	242	845	1.362	703	29	3.181
	Aglomera	0	0	4	29	3	0	36
	Metamorfikşist	0	51	637	2.091	674	218	3.671
	Metavolkanit	0	0	19	212	843	295	1.369
	Granodiyorit	0	142	6.800	15.775	4.858	1.156	28.731
	Bazalt	0	0	1	9	1	0	11
	Alüvyon (granodiyorit)	213	269	2.712	33	0	0	3.227
	Kristalize kireçtaşı	0	1	22	273	38	0	334
Yağış (R)	Toplam	213	705	11.040	19.784	7.120	1.698	40.560
	< 32	0	58	662	824	71	1	1.616
	32- 38	0	646	10.084	7.680	1.009	29	19.448
	38- 44	213	1	290	9.322	2.293	268	12.387
	44- 50	0	0	4	1.933	2.235	322	4.494
	50 +	0	0	0	25	1.512	1.078	2.615
Toprak (K)	Toplam	213	705	11.040	19.784	7.120	1.698	40.560
	Taşlık/ Kayalık	0	3	4	44	201	214	466
	Kireçsiz kahverengi t.	0	273	1.206	1.773	1.780	446	5.478
	Kahverengi orman t.	0	1	27	286	41	1	356
	Alüvyon	200	279	2.725	23	0	0	3.227
	Kireçsiz kahverengi o. t.	13	149	7.078	17.658	5.098	1.037	31.033
Toplam		213	705	11.040	19.784	7.120	1.698	40.560

Anakayası granodiyorit araziler üzerinde toprak erozyonu şiddeti yapılan hesaplamalar sonucunda en yüksek orana sahip arazi yüzeylerini meydana getirmektedir. Bu arazi yüzeylerinde toprak erozyonunun en fazla gerçekleştiği

sahalar ise 15.775 ha arazi yüzeylerinden meydana gelen orta şiddetli erozyonu bünyesinde barındırmaktadır. Araştırma sahasının merkezi doğu-kuzeydoğu kesimlerinde anakayası granodiyoritten müteşekkil arazi yüzeyleri 213 ha alan ile birikim sahalarının tamamını oluşturmaktadır. Kozak Ovası'nı meydana getiren granodiyorit anakayası üzerinde toprak erozyon miktarının şiddetine paralel ölçüde düşüş görülmektedir. Bu durumun aksine metavolkanit arazi yüzeyleri üzerinde toprak erozyonu şiddeti, şiddet durumuna göre alansal olarak artışlar sergilemektedir. Nitekim metavolkanit arazi yüzeylerinin yükseltiyle birlikte yağış, termik gradyan koşullarına bağlı olarak günlenmeye maruz kalması bu durumun temel nedenleri arasında gösterilebilir.

Yağış erozivite faktörü ile toprak erozyonu arasındaki ilişkide yıllık toprak kayıplarının daha çok EI_{32-38} ton yağış etkinliği oluşturduğu orta düzeyde meydana gelmektedir. EI_{50} yağış erozivite faktörünün en yüksek görüldüğü arazi yüzeyleri 1.512 ha ile şiddetli erozyon sahalarına karşılık gelmektedir. Yağış erozivitesi adına toprak birikiminin yaşandığı sahalar EI_{38-44} değer aralığında yer edinmiştir.

Toprak erodabilite faktörü açısından birikim gösteren arazi yüzeylerinin neredeyse tamamı (200 ha) alüvyon toprak grubu içerisindedir. Birikimin gerçekleştiği diğer toprak grubunu kireçsiz kahverengi orman toprakları meydana getirmektedir. Araştırma sahasında en yüksek oranda yer tutan kireçsiz kahverengi orman topraklarının toprak erozyonu açısından ortalama değeri 21-24 t/ha/y olan ve alansal açıdan araştırma sahasının 17.658 ha kaplayan topraklardan meydana gelmektedir.



Foto 23. Granodiyorit anakayası üzerinde gelişen oyuntu erozyonu (Yukarıcuma- Çamavlu arası).



Foto 24. Granit anakayasının biyokimyasal ve mekanik alterasyonu sonucu oluşmuş arena.



Foto 25. Araştırma sahasının kuzeydoğusunda yer alan 10-13 numaralı istasyonlar arasında metamorfikistleri parçalayan Karabacak Dere oyuntu erozyonunun en yüksek oranda teşekkül ettiği araziye oluşturmaktadır.



Foto 26. 10 numaralı istasyon üzerinde yıllık hektar başına 43 tondan fazla toprak erozyonu kayıpları meydana gelmektedir.

Tablo 35. Baraj Havzasında arazi örtüsü-kapalılık ve drenaj yoğunluğu ile toprak erozyonu ilişkisi.

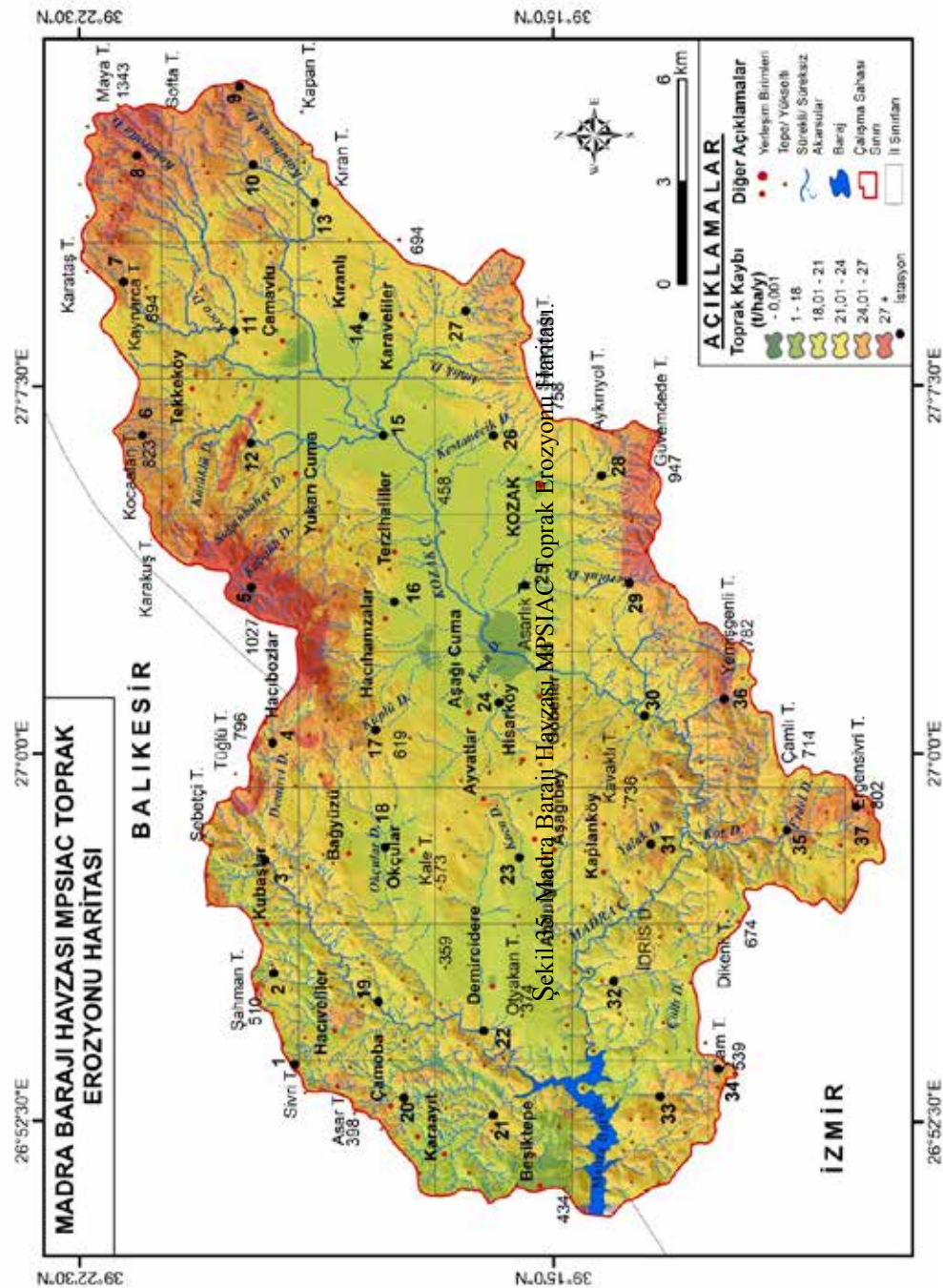
Parametre	Açıklama	Yıllık Toprak Kaybı (t/ha)						Toplam
		< 0,001	0,001- 18	18- 21	21- 24	24- 27	27 +	
Arazi Örtüsü ve Kullanımı (C)	Fundalık	0	1	544	2.873	493	48	3.959
	Mera	0	18	1.225	1.579	1.632	446	4.900
	Kızılçam	0	23	48	1.226	1.002	329	2.628
	Orman gençleştirme	0	0	2	85	97	12	196
	Kuru tarım	0	614	259	8	1	2	884
	Taşlık/ Kayalık	0	5	105	120	159	70	459
	Karaçam	0	2	0	4	20	549	575
	Zeytinlik	0	0	4	152	197	3	356
	Yerleşim alanı	0	0	57	174	5	0	236
	Fıstıkçanı	213	42	8.796	13.563	3.514	239	26.367
Toplam		213	705	11.040	19.784	7.120	1.698	40.560
Kapalılık Oranı	< 10	0	675	537	133	160	66	1.571
	11- 40	0	18	1.207	1.563	1.616	448	4.852
	41- 70	213	9	8.745	13.788	3.550	239	26.544
	71- 100	0	1	520	2.859	479	48	3.907
	100 +	0	2	31	1.441	1.315	897	3.686
Toplam		213	705	11.040	19.784	7.120	1.698	40.560
Drenaj Yoğunluğu	< 10	0	158	2.546	2.685	233	60	5.682
	10- 20	213	383	5.124	5.884	1.859	513	13.976
	20- 30	0	87	2.015	5.268	2.276	644	10.290
	30- 40	0	22	510	3.158	1.809	424	5.923
	40- 50	0	36	492	2.135	734	52	3.449
	50- 60	0	17	225	494	185	5	926
	60 +	0	2	128	160	24	0	314
Toplam		213	705	11.040	19.784	7.120	1.698	40.560

Baraj havzasında en yüksek oranda arazi kullanımı adına fıstıkçanı sahalarının yer kapladığı görülmektedir (%65) dolayısıyla fıstıkçanı arazileri toprak erozyonu açısından her türlü şiddete maruz kaldığı belirlenmiştir. Havza genelinde fıstıkçanı sahalarının en yüksek oranda toprak erozyonuna uğradığı ba-

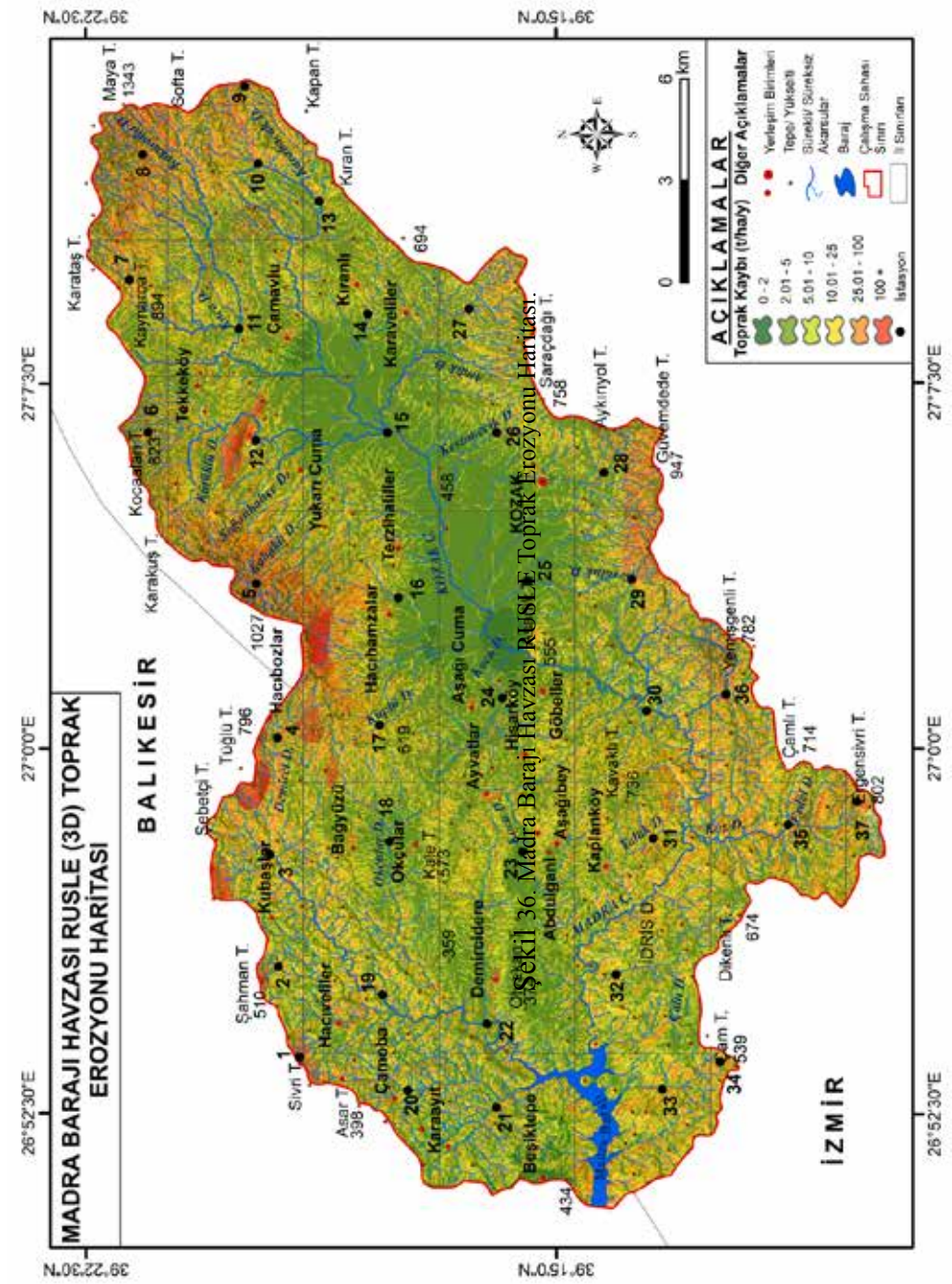
samak grubu 21-24 t/ha/y olarak orta düzeyde kesişim göstermektedir. Ayrıca sadece bu araziler üzerinde taşınan malzemenin birikim gösterdiği saptanmıştır. Arazi kullanımlarında ikinci düzeyde toprak erozyonuyla ilişkili araziler meralık ve fundalık arazilerden meydana gelmektedir. Bu araziler toprak erozyonu risk gruplarının hafif düzeyinden şiddetli toprak kayıplarının meydana geldiği sahalar kadar alan işgal etmektedir. Kuru tarım arazileri ise yıllık hektar başına 18 tona kadar toprak erozyonuna uğramakta olan arazileri meydana getirmektedir.

Kapalılık oranı adına ise toprak kayıplarının arazi örtüsü ve kullanımı faktörüyle paralel bir durum arz ettiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla kapalılık oranında 41-70 kapalılığa sahip araziler araştırma sahasının %70'ini oluşturduğu ve erozyon riski açısından orta düzeyde bir seyir izlediği hesaplanmıştır.

Drenaj yoğunluğunun ha başına 10-30 m arasında olduğu arazi yüzeyleri çalışma sahasının yarısını meydana getirmektedir. Toprak erozyonu sonucu biriktirilen sediment malzemenin tamamı bu sınıf içerisinde yer alırken, toprak erozyonu risk gruplarında bu sınıf içerisinde dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Dolayısıyla toprak erozyonu drenaj yoğunluğu arasındaki ilişkiye göre orta ve şiddetli toprak erozyonlarının dağılımı ha başına 10-30 m olduğu basamakta yer almaktadır.



Şekil 35. Madra Barajı Havzası MPSIAC Toprak Erozyonu Haritası.



Şekil 36. Madra Barajı Havzası RUSLE Toprak Erozyonu Haritası.



Foto 27. Aşağıcuma ve Göbeller yerleşim birimlerinin yaklaşık 300 m doğusunda Kozak Çayı tarafından oluşturulan birikim platformunun kalınlığı yaklaşık 2 m civarındadır.



Foto 28. Anakayası granodiyorit üzerinde yaklaşık 2 m kalınlıkta alüvyal toprakla kapatılmış fıstıkçamları yer almaktadır.



Foto 29. Madra Çayı kolları tarafından taşınan sediment madde çay içerisinde ırmak adaları oluşturmaktadır.

SONUÇ VE BULGULAR

Uygulamalı jeomorfolojik problemlerden birisi olan toprak erozyonu günümüzde yanlış arazi kullanımları ve iklimde meydana gelen doğal ve beşeri problemler nedeniyle ayrı bir önem teşkil etmektedir. Toprak erozyonunun ortaya çıkarılması ve tahmini konusunda 1800’lü yıllardan günümüze gelene kadar birçok eşitlik ve denklem oluşturulmuş, toprak kayıplarının en aza indirilmesi temel alınmıştır. Bu bağlamda “Madra Barajı Havzasında (Balıkesir-İzmir) Erozyon Analizi” adlı çalışmayla ülkemizde uygulanan eşitliklere birisi daha olan MPSIAC (Modified Pasific Southwest Inter Agency Committee) yöntemi diğer kurak-yarıkurak ve yarınemli bölgelerde literatüre kazandırılmaya çalışılmıştır. MPSIAC yönteminde toprak erozyonunu ortaya çıkaran dokuz parametre birbirinden bağımsız olarak incelenmiş ve toplanarak yıllık hektar bazında araştırma sahasının uygulanan yöntemle göre ne kadar sediment verimi ürettiği hesaplanmıştır.

Araştırmanın temel amacı binlerce yılda gelişen ve canlı bir katman olarak kabul edilen toprağın fiziki ve beşeri unsurlara dayalı olarak bizden sonraki nesillere de miras olarak kalmasını sağlamaktır. Ayrıca Madra Çayı üzerinde 1996 yılında su tutmaya başlayan Madra Barajı’nın ne kadar sürede dolabileceğini tahmin etmek amaçlanmıştır. Toprak erozyonunu belirlenmesi kapsamında araştırma sahası üzerinde;

1. Litolojik açıdan farklı kayaç gruplarından teşekkül etmiş baraj havzası üzerinde anakayaç grupları kapladıkları alana oranlanarak karelaajlama tekniği ile kayaç sertliklerinin ölçülmesi ve yıl içerisinde farklı minerolojik yapıları itibarıyla günlenme durumları tespit edilmiştir,
2. Araştırma sahasının havza özelliğine bağlı olarak batıda kurulu Madra Barajı’ndan kuzeydoğuda yer alan Madra Dağı’na doğru muntazam bir artış sergilemesi, yağış etkinliği ve termik gradyanda değişmelere neden olarak mekanik çözülmenin artmasına olanak tanımaktadır,
3. Havzanın farklı litolojideki kayaç grupları üzerine kurulu akarsu şebekesinin minerolojik yapısına bağlı olarak yarıma derecelerinde önem teşkil ettiği belirlenmiştir,
4. Baraj havzasının sahip olduğu iç bükey-dış bükey ve kompleks yapıdaki arazileri eğim değerlerine bağlı olarak toprak erozyon şiddetinin artışı-

na ya da erozyonla taşınan sediment maddenin birikim meydana getirdiği ovalık arazinin oluşması ve gelişmesini sağlamaktadır,

5. Bitki örtüsünün kapallılık derecesi toprak erozyonunda buharlaşma, yüze düşen yağışın infiltrasyonu ve yağış etkinliğinin azaltılmasına katkı sağlamakta olup, erozyon şiddetinin azaltılması ya da arttırılmasına etkide bulunmaktadır,
6. Arazi kullanımlarının bitki örtüsü ile ilişkisinin doğrudan bağlantılı olduğu ve en ideal arazi kullanımlarının planlamalar şeklinde gerçekleştirilmesi gerektiği ayrı bir önem arz etmektedir,
7. Madra Çayı üzerinde kurulan barajın, çayın getirdiği sediment maddenin denizde birikim yapamaması sonucunda döküldüğü noktada kıyının gerilemesi durumu söz konusudur. Bu durum ayrıca habitat bölünmesine de neden olarak görülmektedir, dolayısıyla kıyıda oluşum gösteren sulak alanların daralmasına neden olmaktadır.

Sonuç olarak baraj havzasında uygulanan iki farklı toprak erozyon eşitliğinde de erozyon şiddetinin orta ölçekte yer aldığı belirlenmiştir. Her iki yöneme göre de ülkemizde hektar başına 7 ton civarında toprak kayıplarının meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum ülkemizde uygulanan toprak erozyonu eşitliğinde farklı bir tekniğin kullanılmasına dayanmaktadır. Nitekim uygulanan yöntem ve tekniklerin araştırma sahalarını karakterize etmesi temel amaç olarak hedeflenmelidir. Ayrıca uygulanan yöntemin gereksinimlerine göre ölçüm istasyonları ve laboratuvar analizleri yapılarak tekniğe uygulanmalıdır. Bu durum toprak erozyonunun tahminine yönelik daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde etmemizi sağlayacak temel alınmalıdır.

Elde edilen bulgulara bağlı olarak ağaçlandırma faaliyetlerinin yürütülmesi, gerekli yerlerde teraslama faaliyetlerinde bulunulması ve arazinin doğru kullanımlarına göre gelecek nesillere miras olarak bırakabileceğimiz bir varlık bırakabiliriz, toprağı.

KAYNAKÇA

- Akyürek B. ve Soysal Y. (1978). *Kırkağaç-Soma (Manisa), Savaştepe-Korucu-Ayvalık (Balıkesir), Bergama (İzmir) civarının jeolojisi*. MTA Raporu, ANKARA.
- Arpat, E. ve Bingöl, E. (1970). Ege bölgesi graben sisteminin gelişimi üzerine düşünceler. *MTA Dergisi*. 73, 1-9.
- Avcı, V. (2016). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile Gökdere Havzası ve çevresinin (Bingöl) erozyon duyarlılık analizi. *The Journal of Academic Social Science*, Yıl: 4, Sayı: 26, S: 170-193.
- Aydal D. (2017). Alterasyon türleri, minerolojisi ve jeokimyası. *AÜ Mühendislik Fakültesi Jeokimya Ders Notları*, ANKARA.
- Bahtiyar, M. (1999). Toprak erozyonu, oluşumu ve nedenleri, erozyonla mücadele tema eğitim semineri notları. 1. Baskı, Lebib Yalkın Matbaası, S: 33-52, İSTANBUL.
- Bahtiyar, M. (2003). Toprak erozyonu, oluşumu ve nedenleri. 3. Baskı (Editör: E. Gülşah Sevinç), *Erozyonla mücadele (Tema Eğitim Semineri Notları)*, TEMA Vakfı Yayınları No: 26, ISBN:975-7169-20-X, Lebib Yalkın Matbaacılık, S: 28-46, ANKARA.
- Baker, V.R., Kochel, R.C. and Paton, P.C., (1988). *Flood geomorphology*, John Wiley & Sons, USA.
- Baver, L.D. (1939). Ewald wolny-a pioneer in soil and water conservation reserch. *Proceedings of the Soil Science Society of America*, 3:330-333.
- Beasley, D.B., Huggins, L.F. and Monke, E.J. (1980) ANSWERS: a model for watershed planning. *Trans ASAE* 23:938-944.
- Bennett, H.H. (1939). *Soil conservation*. 1st edition, New York and London: McGraw-Hill.
- Bennett, H.H., Soil Scientist, Soil Investigations, Bureau of Chemistry and Soils, Chapline, W.R., Inspector of Grazing, Branch of Reserch, Forest Service, 1928, *Soil Erosion a National Menace*, United States Department of Agriculture, Washington DC.
- Bilgin, T. (1969). *Biga yarımadası güneybatı kısmının jeomorfolojisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Basımevi.
- Bingöl, E. (1974) 1/2. 500.000 Ölçekli türkiye metamorfizma haritası ve bazı metamorfik kuşakların jeotektonik evrimi üzerinde tartışmalar. *MTA Dergisi*. 83, 178-184.
- Biswas, s., Sudhakar, S. and Desai, V.R. (1999). Prioritisation of subwatersheds based on

- morphometric analysis of drainage basin: A remote sensing and GIS approach. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Vol. 27, No. 3, pp. 155-166.
- Black, C.A. (1957). *Soil-plant relationships*. John Wiley and Sons, Inc., Newyork.
- Black, C.A. (1965). Methods of soil analysis part II, Amer, Society of Agronomy Inc., Publisher Madisson, Wilconsin, USA, 1372-1376.
- Bouyoucos, G.J. (1955). A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of the soils. *Agronomy Journal*, 4(9): 434.
- Browning, G.M., Parish, C.L., and Glass, J. (1947). A method for determining the use and limitations of rotation and conservation practices in the control of erosion in Iowa. *American Society of Agron. Journal*, 39(4):65-73.
- Burbank, D.W. and Anderson, R.S. (Eds.) (2001). *Tectonic geomorphology*. Blackwell Science Inc. (E.E.U.U.).
- Bürküt Y. (1966). *Kuzeybatı Anadolu'da yer alan plütonların mukayeseli jenetik etüdü*. İTÜ Yayınları No: 272, İSTANBUL,
- Campbell, F.B. and Bauder, H.A. (1940). A rating-curve method for determining silt-discharge of streams. *Transactions, American Geophysical Union* 21, doi: 10.1029/TR021i002p00603. issn: 0002-8606.
- Chapline, W.R. (1929). Erosion on Range Land. *Journal American Society Agron.*, 21:423-429.
- Cürebal, İ. (2003). *Madra Çayı Havzasının uygulamalı jeomorfoloji etüdü*, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, (Yayınlanmamış Doktora Tezi).
- Cürebal İ., Efe R., Soykan A. ve Sönmez S. (2012). Üç boyutlu modelleme kullanılarak siltasyon miktarının ölçülmesi: Çaygören Barajı örneği, *UJES (2012) III. Ulu-sal Jeomorfoloji Sempozyumu*, Hatay.
- Darkot, B. ve Tuncel, M. (1995) *Ege Bölgesi coğrafyası*, İÜ Yayınları, No: 1365, Coğrafya Enstitüsü Yayınları, No: 99, İSTANBUL.
- Dendy F.E. and Bolton, G.C. (1976). Sediment yield-runoff drainage area relationships in the United States, *J. Soil and Water Cons.*, 31, 264-266.
- Doneshfaraz, R., Rahmati, M. and Akbari Maghanjiq, P. (2016). Soil erosion and sediment mapping in aidoghmouth watershed using mpsiac model and gis and rs Technologies. *Environmental Resources Reserch*, Vol: 5, No: 1, Iran.
- Duley, F.L., and Miller, M.F. (1923). Erosion and surface runoff under different soil conditions. University of Missouri Agricultural Experiment Station Reserch Bulletin, 63.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Dönmez, M., Ilgar, A. ve Akçay, E. A. (2007). 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları Balıkesir İ 18 paftası. Ankara: MTA Jeoloji Etütleri

Dairesi.

- Elwell, H.A. and Stocking, M.A. (1973). Rainfall parameters and a cover model to predict runoff and soil loss from grazing trials in the Rhodesian sandveld. *Proc. Grassld. Sot. So. Afr.* 9157-163.
- Elwell H.A. (1978). Modelling soil losses in southern Africa. 1. *Agric. Eng. Res.* 23, 117-127.
- Erdoğan H. E. (2013). *Toprak tanımlama kılavuzu (guidelines for soil description) ulus-lararası sınıflandırma, ilişkilendirme ve iletişim için bir çerçeve*. Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (FAO/IUCC/ISRIC).
- Erentöz, C. (1956). Türkiye jeolojisi üzerine genel bir bakış. *MTA Dergisi*, 48, 37-52.
- Erkal, T. ve Taş, B. (2013). *Jeomorfoloji ve insan*. İstanbul: Yeditepe.
- Erkül, F.ve Erkül, T. S. (2010). Erken Miyosen Alaçamdağ (Dursunbey- Balıkesir) magmatik kompleksinin jeolojisi ve batı anadolu genleşme tektoniğindeki konumu. *MTA Dergisi*. 141, 1-27.
- ESRİ, Kahraman, S. ve Ünsal, Ö. (2014). *ArcGIS for desktop spatial analysis*, Sarıyıldız Ofset Basımevi, S: 34; 56-57, Ankara.
- EVAAL (Erosion Vulnerability Assessment for Agricultural Lands), Nelson, T., Ruesch, A., Evans, D., Mazurek, D. and Kempen, S. (2014). Methods Documentation, Version 1.0, Wisconsin.
- Evans, I.S. (1980). An integrated system of terrain analysis and slope mapping. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, Suppl-Bd 36, pp.274 - 295.
- Fernandez-Raga M., Palencia C., Keesstra S., Jordan A., Fraile R., Angulo-Martinez M. and Cerda A. (2017). Splash erosion: a review with unanswered questions. *Earth-Science Reviews*, V: 171, P: 463-477.
- Flaxman, E.M. (1972). Predicting sediment yield in western United States, Proceedings of the ASCE. *Journal of the Hydraulics Division*, 98, 2073-2085.
- Foster, G. R., Meyer L. D., and Onstad C. A. (1977). An erosion equation derived from basic erosion principles. *TRANSACTIONS of the ASAE* 20(4), 678-682.
- Foster, G.R., Lane, L.J., Nowlin, J.D., Laflen, J.M. and Young, R.A. (1981). Estimating erosion and sediment yield on field sized areas. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 24: 1253-1263.
- Galzki, J.C., Mulla, D.J. and Peters, C.J. (2015). Mapping the potential of local food capacity in Southeastern Minnesota. *Renew. Agric. Food Syst.*, 30, 364-372.
- Hjelmfelt, A. T., Jr., Piest, R. P. and Saxton, K. E. (1975). Mathematical modeling of erosion on upland areas. *International Association of Hydrologic Research Congress, 16th*, Sao Paulo, Brazil, 1975, Proceedings, v: 2.

- Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am.* 56, pp: 375-370.
- IIRS (Indian Institute of Remote Sensing), (2005). RS and GIS applications in water resources. *Lectures Notes*, Dehradun, India.
- Ilanloo, M. (2012). Estimation of soil erosion rates using MPSIAC models (Case study Gamasiab basin). *International Journal of Agricultural and Crop Sciences*, vol:4, p: 1154-1158, Iran.
- Jackson, M.C. (1967). *Soil chemical analysis*. Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi.
- Johson, J.W. (1943). Distribution graphs of suspended- matter concentration. *Transactions, American Society of Civil Engineers*, Vol: 108.
- Johson, C.W., and Gebhardt, K.A. (1982). Predicting sediment yields from sagebrush rangelands. *Proc. Workshop Estimating Erosion and Sediment Yield on Rangelands*, March 12-14, Tucson, AZ, USA.
- Kaaden, V. D. G. (1959). Anadolu'nun kuzeybatı kısmında yer alan metamorfik olaylarla magmatik faaliyetler arasındaki yaş münasebetleri. *MTA Dergisi*. 52, 15-34.
- Kaçar, B. (1995). *Bitki ve toprağın kimyasal analizleri: III. toprak analizleri*, AÜ Ziraat Fakültesi Geliştirme Vakfı Yayınları No: 3.
- Kayan, İ. 1988, "Late Holocene Sea-Level Changes On The Western Anatolian Coast", Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, Sayı:68, 2-4, s:205-218, Special Issue: Quaternary Coastal Changes, Ed. By P.A. Prizzoli D.B. Scott (A Selection Of Papres Presented At The IGCP-200 Meetings), Elsevier Science Publishers, B.V. Amsterdam.
- Kayan, İ. (1999). Holocene stratigraphy and geomorphological evolution of the Aegean Coastal Plains of Anatolia. *Quaternary Science Reviews*, Sayı:18, p.451-548.
- Kellog, C.E. (1952). *Our garden soils*. The Macmillan Company, Newyork.
- Ketin, İ. (1959). Türkiye'nin orojenik gelişmesi. *MTA Dergisi*. 53, 79-84.
- Ketin, İ. (1960). 1/2.500.000 ölçekli türkiye tektonik haritası hakkında açıklama. *MTA Dergisi*, 54, 1-6.
- Ketin, İ. (1966). Anadolu'nun tektonik birlikleri. *MTA Dergisi*. 66, 20-34.
- Ketin, İ. (1968). Türkiye'nin genel tektonik durumu ile başlıca deprem bölgeleri arasındaki ilişkiler. *MTA Dergisi*, 71, 129-134.
- Knisel W.G. (1980). *CREAMS: A field- scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems*, U.S. Department of Agriculture, Science and Education Administration, Conservation Reserch Report No: 26.

- Kumar, R., Kumar, S., Lohani, A.K., Nema, R.K. and Singh, R.D. (2000). Evaluation of geomorphological characteristics of a catchment using GIS., *GIS India* 9 (3), pp: 13-17.
- Kuzucuoglu, C. (1982). L'origine des alveoles en milieu cristallin, l'exemple du Massif De Kozak (Turquie). *Physio-Geo*, 4, pp:1-23, Paris.
- Laflen, J.M., Lane L.J., and Foster G.R. (1991). WEPP: a new generation of erosion prediction tchnology. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol: 46; no: 1; pages: 34-38.
- Lal, R. (1988a). Soil erosion research on steep lands. In: Conservation Farming on Steep Lands. W.C. Moldenhauer and N.W. Hudson (eds.). p. 47. *Soil and Water Conservation Society*, Ankeny, Iowa.
- Lal, R. (1988b). *Erodibility and erosivity*. Chapter 7. In: Soil Erosion Research Methods. R. Lal (ed.). Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.
- Lane L.J., Shirley, E.D. and Singh, V.P. (1988). *Modelling erosion on hillslopes*. Chapter in Modelling Geomorphological Systems, Edited by Anderson, M.C., John Wiley & Sons Ltd.
- Macka, Z. (2001). Determination of texture of topography from large scale contour maps. *Geografski vestnik*, 73-2, pp: 53-62.
- Madra Dağı Ulusal Çalıştayı (2012) (12-13-14 Ekim), Kaz Dağı ve Madra Dağı Belediyeler Birliği, BALIKESİR.
- Mater, B. (1998 ve 2004). *Toprak coğrafyası*, Çantay Kitabevi, İSTANBUL.
- Moore, I.D., Grayson, R.B. and Ladson, A.R. (1991). Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological processes* 13(4), 305-320.
- Morgan R.P.C., Quinton J.N., Smith R.E., Govers G., Poesen, J.W.A., Auerswald K., Cnisci, G. and Torri D. (1998). *The EUROSEM model*. in Boardman, J. B. and Favis-Mortlock, D. (Eds.) Global Change: modelling soil erosion by water, NATO ASI series, Series 1: Global environmental change. Springer Verlag, London.
- Musgrave G.W. (1947). The quantitative evaluation of factors in water erosion A first approximation [J]. *Journal Soil and Water Cons.*, 2:133-138.
- Najm, Z., Kayhani, N., Rezai, K., Nazmi Nezamebed, A. and Hamid Vaziri, S. (2013). Sediment yield and soil erosion assessment by using an empirical model of MPSIAC for Afjeh and Lavarek sub-watersheds. *Earth Science*, vol: 2, No: 1, pp: 14-22, Iran.

- Nelson, T., Ruesch A., Evans D., Mazurek D. and Kempen S. (2014). EVAAL, Erosion Vulnerability Assessment of Agricultural Lands. The Wisconsin Department of Natural Resources (WDNR) Bureau of Water Quality.
- Okay, I. A. ve Göncüoğlu, C. M. (2004). The Karakaya complex: a review of data and concepts. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 13, 77-95.
- Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı Eğitim İçi Ders Notları, Nisan-2012, AN-KARA.
- Ozansoy, F. (1960). Ege Bölgesi karasal senozoik stratigrafisi (Balıkesir Güneyi, Soma, Bergama, Akhisar, Manisa ve Kismen Tire). *MTA Dergisi*. 55, 1-27.
- Önalın, M. (1993). Çökelbilim- çökelmenin fiziksel ilkeleri fasiyes analizleri ve karasal çökme ortamları. İÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Özşahin, E., Atasoy, A., (2014). Aşağı Asi Nehri Havzası'nın Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) Teknikleriyle Erozyon Analizi, Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, HATAY.
- Pickett, A. E. and Robertson. H. F. A. (2004). Significance of the volcanogenic nilüfer unit and related components of the triassic Karakaya Complex for tethyan subduction/accretion processes in NW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 13 (2), 97-143.
- PSIAC- Pacific Southwest Inter Agency Committee, (1968). *Factors Affecting Sediment Yield in the Pacific Southwest Area and Selection and Evaluation of Measures for Reduction of Erosion and Sediment Yield*. Water Management Subcommittee on American Society of Civil Engineers (ASCE), Report No. HY 12.
- Reddy, G.P.O., Maji, A.K. and Gajbhiye, K.S. (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in basaltic terrain, Central India- a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Observation and Geoinformation*, 6, pp: 1-16.
- Renard K.G. and Laursen E.M. (1975). Dynamic Behavior Model of Ephemeral Streams. *J. Hydraul., Div., Proc., ASCE*, 101 (HY5).
- Renard, K.G. (1980). *Estimating erosion and sediment yield from rangeland*. Watershed Management '80. Am. Soc. Civil Engin., Boise, Idaho.
- Renard, K., Foster, G.R., Weesies, G.A. and Porter, J.P. (1991). RUSLE Revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 46 (1) 30-33.
- Rendon-Herrero O. (1978). Unit sediment graph. *Water Resources Reserch*, Vol: 14, Issue: 5.
- Renfro, W.G. (1975). Use of erosion equation and sediment delivery ratios for predicting sediment yield. In: *Present and Prospective Tecnology for Predicting Sedi-*

ment Yields and Sources. US Dept. Agric, Publ. ARS-S-40, 33-45.

- Sampson, A.W., and Weyl, L.H. (1918). *Range preservation and its relation to erosion control on western grazing lands*. Bulletin No. 675. Washington, DC: USDA.
- Schuiling, K. D. (1959). Kaz Dağı kristalinin arzettiği bir Pre- Hersinien iltiva safhası hakkında. *MTA Dergisi*. 53, 87-90.
- Schulze, R.E. (1995). *Hydrology and agrohydrology: a text to accompany the ACRU 3.00 agrohydrological modelling system*. Water Research Commission, Pretoria, RSA. Report TT69/95.
- Schumm, S.A., Dumont, J.F. and Holbrook, J.M. (2000). *Active Tectonics and Alluvial Rivers*. Cambridge University Press, p. 290.
- Schwab, G.O., Frevert, R.K., Edminster, T.W. and Barnes, K.K. (1966). Soil and water conservation engineering. *Second Edition, John Wiley and Sons*, pp:683, New York.
- Schwab, F. and Prothero, D.R. (1996). *Sedimentary geology. An Introduction to Sedimentary Rocks and Stratigraphy*, Cambridge University Press, Newyork.
- Sharma, T.C., Hines, W.G.S. and Dickinson, W.T. (1979). Input-output model for runoff-f-sediment yield processes. *J. Hydrol., Published by Elsevier* Vol: 40, Issues: 3-4, Pages: 299-322.
- Sherman, L.K. (1932). The relation of hyrographs of runoff to size and character of drainage basin. *Trans. Am. Geophys. Union*, 13, 332-339.
- Singh V. P. and Quiroga C. A. (1987). A dam-breach erosion model: I. formulation. *Water Resources Management*, Vol. 1, Issue 3, pp 177-197.
- Smith, D.C. (1941). Interpretation of Soil Conservation Data for Field Use. *Agricultural Engr.*, 22:173-175.
- Smith, D.D., and Wischmeier, W.H. (1957). Factors affecting sheet and rill erosion. *American Geophysical Union Transactions*, 38:889-896.
- Strahler, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Am. Geophys. Union* 38, pp: 913-920.
- Strahler, A.N. (1952). Dynamic basis of geomorphology. *Bull. Geol. Soc. Am.* 63, pp: 923-938.
- Sönmez, S. (1996). *Havran Çayı-Bakırçay arasındaki sahanın bitki coğrafyası*. İ.Ü. Sos. Bil. Enst. Doktora Tezi, İstanbul.
- Şengün, M. (2006). Anadolu'nun kenet kuşakları ve jeolojik evrimine irdlemeli ve eleştirel bir bakış. *MTA Dergisi*. 133, 1-26.
- Şensoy, H. ve Palta, Ş. (2009). Yamaç şekillerinin toprak erozyonuna etkileri, *Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 11 (15): 95-98.

- Tardy Y. (1969). *Géochimie des altérations. Etude des arènes et des massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Mèm. Serv. Carte Géol. Alsace Lorraine*, 31, 199 pp.
- Tardy Y., Bocquier G., Paquet H. and Millot G. (1973). Formation of clay from granite and its distribution in relation to climate and topography, *Geoderma*, 10: 271-284.
- Tekin, F., Hafizoğlu, E. (2004). Batı Anadolu'daki önemli fay zonları ve depremselliğe etkileri. *Teknik Bilimler Dergisi*. 1 (1), 1-16.
- Thun, R., Hermann, R. and Knickman, E. (1955). Die Untersuchung von Boden Neuman Verlag, *Radelbeul und Berlin*, Pp: 48-48.
- Üzel C. (1978). *Dikili ovası jeofizik etüd raporu*, DSİ Yayınları, İZMİR.
- Van Doren, C.A. and Bartelli, L.J. (1956). A Method of Forecasting Soil Loss. *Agr. Engr.*, 37(5): 335-341.
- Verstappen, H.Th. (1983). *Applied geomorphology*, ITC, Enschede, The Netherlands.
- Walton R. and Hunter H. (1996). Modelling water quality and nutrient fluxes in the Johnstone River catchment, North Queensland. In: *23rd Hydrology and Resources Symposium*. Sydney.
- Williams, J.R. (1975). Sediment – yield prediction with universal equation using runoff energy factor. Proceedings of the sediment Yield Workshop, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi.
- Williams J. R., 1975a, Sediment routing for agricultural watersheds. Water Resource 313 Bulletin 11: 965-974. 314.
- Williams W. H. (1978). *A sampler on sampling: John Wiley & Sons*. New York, N.Y.
- Williams, J. R. and R. W. Hann, (1978). Optimal operation of large agricultural watersheds with water quality constraints, TR-%. 152 pp., Tex. Water Resour. Inst., Texas A&M Univ., College Station.
- Wischmeier, W.H. (1959). A rainfall erosion index for a universal soil loss equation, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 23, pp. 247-249.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses; A guide to Conservation planning, Agriculture Handbook No. 537, USDA Sci. and Educ. Admin., Washington D.C.
- Yaralı, O., Kandemir A. ve Eren A. (2008). Bazı magmatik kayaçların kayaç dayanım katsayısı ve schimid sertliği arasındaki ilişkiler, *Madencilik*, cilt: 47, sayı: 2, sf: 25-36, ZONGULDAK.
- Yılmaz, Y. (2000). Ege Bölgesi'nin Aktif Tektoniği, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, İZMİR.
- Zingg, A.W. (1940). Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. *Agr. Engr.* 21(2):59-64.

SÖZLÜK

- Aglomera:** Lapilli ve volkan bombası gibi çakıl ya da blok boyutunda iri volkanik unsurların volkanik bir çimentoyla birleştirilmeleri sonucu oluşan kayaç.
- Agregat:** Küçük toprak parçacıklarının birbirine yapışarak oluşturdukları daha büyük parçalar.
- Akaçlama:** Bir sahanın sularının akarsular tarafından toplanıp akıtılması veya boşaltılması.
- Albit:** Sodyumlu bir plajiolit minerali ($\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$). Beyaz, gri veya mavimsi renklidir.
- Allokton:** Bulunduğu yerde meydana gelmemiş, başka bir yerden taşınmış getirilmiş olan nesne ya da unsur.
- Alterasyon:** Yerkabuğunu teşkil eden (kayaçları) formasyonları oluşturan minerallerin fiziksel ve kimyasal etkilerle kompozisyonlarının değişmesi Yerkabuğunu teşkil eden (kayaçları) formasyonları oluşturan minerallerin fiziksel ve kimyasal etkilerle kompozisyonlarının değişmesi.
- Anhidrit:** Sülfatlar grubunda yer alan ve su içermeyen mineral (CaSO_4). Cam veya sedef gibi parıltılı ya da yarı saydam, sertlik değeri 3-3,5 arasında değişen özgül ağırlığı 2,9 olan mineral.
- Apatit:** Doğada bulunan, içinde flor veya klor olan doğal kalsiyum fosfat.
- Arena:** Granit ana kayasının ayrışması sonucu ortaya çıkan kum.
- Biyokimyasal:** Bitki, hayvan ve mikroorganizma biçimindeki bütün canlıların yapısında yer alan kimyasal maddelerle kimyasal süreçlerini kapsayan olaylar bütünü.
- Biyotit:** Siyah mika.
- Bozunum:** Bir öğecik çekirdeğinin kendiliğinden ya da çarpışma ile edindiği ısımetkinlik sonucu, bir ya da birden fazla parçacık ya da ısılcık salarak parçalanması.

Çatallanma: Bir akarsuyun çeşitli dereceden kollara ayrılması veya çeşitli derecede kollardan meydana gelmesi.

Degredasyon: Akarsu, buzul ve rüzgar gibi aşındırma etmenlerinin yapmış oldukları aşındırmalar sonucu yeryüzünün giderek alçaltılması.

Detritik: Yerkabuğunu meydana getiren kayaçların, çözülme veya akarsu, buzul, dalga, rüzgar gibi dış dinamiklerin etkisiyle aşındırılıp, parçalanma gibi olaylar sonucu oluşan kırıntılı parçacıklar.

Diskordant: Genel anlamda; aralarında uyumsuzluk oluşturan yapılar.

Diyabaz: Feldspatlardan bir plajiyoklaz ile ojitte oluşmuş yeşil renkli bir kayaç türü.

Dokanak: jeolojide, iki oluşum arasındaki bağlantıya verilen ad.

Doğrusal regresyon: Diğer bir olayın belirli bir büyüklüğüne karşılık bulan bir olayın yaklaşık büyüklüğünü bulma amacını güden işlem.

Enterpolasyon: Bilinmeyen bir fonksiyonun bilinen değişken değer setlerini kullanarak bilinen bir fonksiyon elde etme yöntemi.

Epidot: Kayaç yapıcı mineral $[Ca_2(Al, Fe, Mn_3)(OH/SiO_4)]$. Sertlik değeri 6-7 arasında özgül ağırlığı 3,3-3,5 arasında değişen monoklinal yapıya sahip kayaç yapıcı mineral.

Eroadibilite: Toprağın erozyona karşı gösterdiği direnç durumu.

Evaporasyon: Bir maddenin kimyasal bir değişme olmaksızın sıvı halden buhar haline geçmesi.

Fauna: Yeryüzünde ekolojik olarak sınırlanabilir bir yaşam alanında bulunan hayvan türlerinin toplamıdır.

Fenokristal: Porfirik dokuya sahip katılaşım kayaçlarında ince taneli ve camsı bir hamur içerisinde bulunan iri kristal yapı.

Fillit: Killi şistler ile billurlu şistler arasında geçiş tipi oluşturan bir metamorfik kayaç türü.

Fizikokimyasal: Kimyasal olayların fiziksel yöntemlerle çözülmesi.

Formasyon: Homojen ve benzer bir özellikteki tabaka dizisi ya da serisi.

Fraksiyon: Parçacık, bölüm, kesim.

Glasyal: Buzul.

Gnays: Yüksek dereceli başkalaşım sonucu meydana gelen bir başkalaşım kayacı. Asıl minerallerini kuvars, feldspat ve mika meydana getirir.

Gradyan: Bir kimse veya nesnenin bir başkasıyla karıştırılmamasını sağlayan ayrılık, benzer şeyleri birbirinden ayıran özellik, başkalık, ayırım, nüans.

Granodiorit: Granit ile diorit arasında geçiş tipi oluşturan bir katılaşım kayacı türü. Faneritik dokuya sahip, kuvars, siyah mika (biyotit) ve hornblend mineralleri içeren, granite oranla daha koyu renge sahip katılaşım kayacı.

Günlenme: Yerkabuğunu oluşturan kayaçlarda yüzey ve yüzeye yakın kesimlerde yer değiştirmeye uğramadan, mekanik ve kimyasal süreçlerle meydana gelen nitelik değişimleri olarak tanımlanır.

Hekzagonal: Altı kenarlı çokgen, altıgen.

Hidrotermal: Sıcak yeraltı suları ve bunların yeryüzüne çıkmalarıyla meydana gelen sıcak kaynaklarla ilgili olan etkinlik.

Horizon: Fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olan toprak katlarından her biri.

Hornblend: Silikat grubu minerallerinden olan amfibollerin bir türü $[(Ca, Na)_2(Mg, Fe, Al)_5(Si, Al)_8O_{22}(OH)_2]$. Koyu yeşil veya siyah renkli, sertlik derecesi 5-6, özgül ağırlığı 3-3,4 arasında değişen ve kristal yapısı hekzagonal yapıya sahip bir mineral türü.

Intersect analysis: Kesişim ifadesinden kalan sonucu veren analiz işlemi.

İnfiltrasyon: Sızma.

İllit: Kimyasal formülü $(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10} [(OH)_2,(H_2O)]$, özgül ağırlığı 2,79-2,8 ve Mohs sertliği 1-2 olan, monoklinik sistemde kristalleşen, gri-ak, gümüşümsü ak, yeşilimsi gri renklerde, çizgi izi ak, donuk incimsi parlaklıkta, çok küçük gri kristallerin oluşturduğu agregalar halinde bulunan, yarı saydam, su çekme özelliği yüksek, fillosilikatlardan kabarma-şişme özelliği göstermeyen kil-mika grubu bir mineral.

İntrüzyon: Magmanın yerkabuğunu meydana getiren kayaç veya tabakalar içine doğru girmesi, sokulması süreci.

İyon: Suda atomların parçalanmasından meydana gelen bir ya da daha fazla elektron yüklenmiş veya elektron kazanmış bir atom veya atom grubundan oluşmuş elektrik yüklü parçacık.

İzoklinal: Eksen düzlemleri ve kanatları birbirine paralel yapılar.

Jeotektonik:

Kalsit: Bir karbonat minerali türü (CaCO_3). Genellikle beyaz veya renksiz, üç yönlü dilinime sahip, sertlik derecesi 3 ve özgül ağırlığı 2,7 olan mineral.

Kaolenit: Bir tür sulu alüminyum silikat minerali ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Sıcak-nemli bir iklim altında ve asit ortamlarda oluşur.

Kaolin: Özellikle granitlerin içindeki feldspat minerallerinin kimyasal ayrışması sonucu meydana gelmiş olan kil minerali.

Kil: Tane çapı 0,002 mm'den küçük olan detritik unsurlar, siltlerden daha küçük olan boyut sınıfında yer alır. Silikat grubu minerallerden bir tür.

Klorit: Yeşil tonları ile yeşilimsi siyah renge sahip ve monoklinal kristal yapısına sahip bir tür mineral ($\text{H}_5\text{Mg}_4\text{Si}_2\text{O}_{11}$).

Klüz: Kıvrımlı yapıya sahip bir sahada, komşu iki senklinali aralarındaki antiklinali enine olarak yarıp geçerek birbirine bağlanmış olan vadi.

Kolüvyal: Yamaçların etek kısımlarında biriken çeşitli boyuttaki detritik unsurların veya birikintilerin meydana getirdiği gevşek depolar.

Kompaktlaşma: Gevşek halde bir arada bulunan detritik unsurların zamanla kendi ağırlıklarının veya basıncın etkisiyle birbirlerine yaklaşım sıkışmaları süreci.

Kompleks: Hemen kavranamayan, çözümü, kavranması güç olan; karmaşık.

Konkav: İçbükey.

Konveks: Dışbükey.

Kontaklıma: Yerkabuğu içine sokulan magmanın, sahip olduğu yüksek sıcaklık nedeniyle çevre kayalarla meydana getirdiği başkalaşım süreci.

Korazyon: Aşındırma etmenleri tarafından çeşitli boyuttaki katı unsurların yer aldıkları zeminde veya kayaç yüzeylerinde çarpma yoluyla meydana getirdikleri fiziksel-mekanik aşındırma faaliyeti.

Kovaryans: İki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin değişkenliğini ölçen bir kavramdır.

Kriging: Numune noktaları arasındaki mesafenin veya yönün, yüzeydeki

değişimi açıklamak için kullanılabilecek uzamsal bir korelasyonu yansıttığını varsayan yöntem.

Kristalizasyon: Katı bir maddenin uygun bir çözücü içinde çözünmesi sonrasında çöktürülmesi yoluyla katı ve sıvı fazlarının birbirinden ayrılmasını sağlayan işlem.

Kuvars: Oksit grubu minerallerden biri (SiO_2).

Lahar: Piroklastik maddelerden özellikle volkan küllerinden meydana gelen çamur akıntısı. Volkanik küllerin suya doymun hale gelmesi ve yer çekimi etkisiyle volkan konisinin yamaçlarından aşağı akması sonucu oluşur.

Manyetit: Oksit grubu minerallerden bir demir oksit (Fe_3O_4) minerali. Siyah renge sahip ve mıknatıslanma özelliği gösteren yapıya sahiptir.

Marl: Kireçtaşı (kalker) bakımından zengin kiltası.

Masif: Tabakalaşma, yapraklanma ve eklemli yapı gibi özellikler içermeyen çok kalın bir kaya birimini veya kütleli ifade etmek için kullanılan sıfat.

Metagrovak: Az çok başkalaşmış bir hamur içinde, köşeli kuvars, feldspat taneleri ve kayaç parçacıklarından bileşik, sert, koyu renkli metamorfizmaya uğramış kayaç.

Mezofauna: Artropodlar (eklem bacaklılar) veya nematodlar (yuvarlak solucanlar) gibi makroskopik toprak omurgasızlarıdır.

Montmorillonit: Yüksek derecede plastik olan bir tür kil minerali [$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{MgCa})\text{O}_5\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$]. Bazik ortamlarda, kurak ve yarı kurak iklim altında oluşur.

Morfometrik indis: Detritik tortul depo ve kayalarla meydana getiren çakıl, kum gibi detritik unsurların belirli şekilsel özellikleriyle ilgili ölçmelere dayanan indislerden herbiri.

Mostra: Yerkabuğunu oluşturan kayaç veya tabakaların yer yüzeyinde görünen kısımları.

Muskovit: Beyaz mika.

Olivin: Peridotların en tanınan minerallerinden biri ($\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$. Yeşil renkli, saydam ya da yarı saydam camsı yapıya sahip bir tür kayaç.

Oolit: 0,25 ile 2 mm arasında çapa sahip, esas olarak kalsiyum karbonat bileşiminde bulunan balık yumurtası şeklinde küreciklerden her

biri.

Opak: Işığın absorpsiyon özelliği kuvvetli olan, saydam olmayan mineraller.

Perkolasyon: Genel anlamda, yer üstü sularının veya yüzeysel suların yarık, çatlak ve gözenekler aracılığıyla yeraltına geçmesi veya girmesi süreci.

Perlit: Camsı dokuya sahip riolitik bileşimde bir tür katılaşım kayacı.

Permeabilite: Geçirimsizlik.

Piroksen: Gri, yeşil renklerden siyaha kadar çeşitli renklerde olabilen bir silikat minerali türü. Sertliği 5-6, yoğunluğu 3,3 civarındaki mineral.

Plajiolaz: Sodyum veya kalsiyum ya da her ikisini de içeren bir feldispat türü.

Pluton: Volkanizma esnasında yerkabuğunun içine sokulan magmanın yerkabuğu içinde herhangi bir derinlikte yerleşip katılaşması sonucu meydana gelen intrüfif katılaşım kayacı kütlesi.

Porozite: Herhangi bir kayacda yer alan gözeneklerin hacminin kayacın toplam hacmine oranı (gözenek hacmi/kayaç hacmi*100).

Regresyon: Gerek östatik hareket gerekse izostazi sonucu, genel taban seviyesinin alçalması durumu.

Rendzina: Yumuşak kireç taşları üzerinde oluşan topraklardır. Koyu renkli olan bu toprakların alt kesimlerinde kireç birikimi fazladır. Kireç taşlarının parçalanmasından dolayı toprak içinde bol miktarda çakıl bulunur. Bu topraklar organik madde bakımından zengindir.

Rezervuar: Doğal veya yapay olarak yapılmış bir yerde herhangi bir maddenin birikmesi.

Rutil: Formülü TiO_2 olan kırmızı kahverengi prizmalar halinde titanyum minerali.

Sediment: Tortul.

Sellenme: Yağış sırasında yer yüzeyine düşen suların, kanalizasyon olmadan, sıg bir tabaka halinde, bütün bir yüzeyi örtü şeklinde kaplayarak akması.

Sfen: Titanit. Formülü $CaTiSiO_5$ olan, kayaların bileşiminde yer alan, değişen oranlarda demir, mangan ve tritium içeren, parlak sarı veya kahverengi doğal kalsiyum ve titanyum silikat.

Silt: Tane çapı 0,02-0,002 mm'ler arasında değişen detritik unsur.

Siltasyon: Erozyonla taşınan kil, mil gibi ince boyutlu materyalle barajların dolması.

Süspanse yük: Akarsuda asılı halde taşınan kil ve ince millerden oluşan yük.

Tabakalanma: Altında ve üstünde bulunan kayalardan gözle ya da fiziksel olarak ayrılabilen kalınlığı mm boyutundan yüzlerce metreye varan farklı birimlerin katlanması.

Tekstür: Doku.

Transgresyon: Östatik hareket ya da izostazi sonucu genel taban seviyesinin yükselmesi durumu.

Transpirasyon: Suyun, gövdeden yukarıya doğru çıkarak iletim basıncı yardımıyla bitki yapraklarından buharlaşması.

Varyans: Bir sayı dizisinin aritmetik ortalama etrafındaki dağılımının derecesini ölçmeye yarayan istatistik bir ölçü.

Vermiküllit: Biotitten gelişmiş olan illitin fazla miktarda K^+ kaybetmesi ve yaprakçıkları arasında K^+ yerine Mg^{++} katyonlarının girmesi ile gelişir.

Zirkon: Doğal durumunda bulunan, renksiz, sarı, yeşil, kahverengi türleri olan doğal ve saydam, değerli taş. Erime noktası $2700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye yaklaşan, ateşe çok dayanıklı, beyaz renkli, katı, zirkonyum birleşimi (ZrO_2).