

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**ANKARA – ÇUBUK BARAJ GÖLÜ ÇEVRESİNDE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VE
UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ YARDIMIYLA EROZYONUN
KANTİTATİF OLARAK BELİRLENMESİ**

Şenay ÖZDEN

TOPRAK ANABİLİM DALI

ANKARA

2000

Her hakkı saklıdır

Prof.Dr. Nuri MUNSUZ danışmanlığında, Şenay ÖZDEN tarafından hazırlanan bu çalışma 07/02/2000 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Nuri MUNSUZ *İmza* :

Üye : Prof.Dr. Ural DİNÇ *İmza* :

Üye : Prof.Dr. Can AYDAY *İmza* :

Üye : Doç.Dr. Mahmut YÜKSEL *İmza* :

Üye : Doç.Dr. Gökhan ÇAYCI *İmza* :

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof.Dr. Esmâ KILIÇ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

ANKARA - ÇUBUK BARAJ GÖLÜ ÇEVRESİNDE COĞRAFI BİLGİ SİSTEMİ VE UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ YARDIMIYLA EROZYONUN KANTİTATİF OLARAK BELİRLENMESİ

Şenay ÖZDEN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Nuri MUNSUZ

Ülkemizde topoğrafik yapının özendirir oluşu nedeniyle erozyon ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Yapılan bu çalışmada, Ankara Çubuk baraj gölü çevresinde kalan alanlarda coğrafi bilgi sistemi ve uzaktan algılama teknikleri yardımıyla kantitatif modellemeyen yararlanarak, yıllar itibariyle erozyonun çalışma alanında meydana getirdiği değişimi incelemek amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan materyaller, 1969 ve 1995 yıllarına ait 1:21000 ve 1:4000 ölçekli hava fotoğrafları, 1:25000 ölçekli toprak, topoğrafik ve jeolojik haritalar, nirengi ve kamera kalibrasyon bilgileri ve Landsat 7 görüntüsü'dür. Hava fotoğraflarının fotogrametrik yöntemlerle sayısallaştırılmasından elde edilen sayısal yükseklik noktaları, 0.5 m grid aralığında sayısal arazi modellerinden grid modeli haline getirilmiştir. Elde edilen 1969 ve 1995 yıllarına ait sayısal arazi modellerinden üretilen, sayısal yükselti sınıfları haritasına ait veriler birbirinden çıkarılarak, arazi yüzeylerinde meydana gelen değişim değerleri hesaplanmıştır. Değişim değerleri, piksel alanları ve sayısı, toprak örneklerinden elde edilen hacim ağırlığı değerleri kullanılarak t/piksel/26 yıl ve t/ha/yıl olarak aşınım ve birikim miktarları saptanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, aşınım alanlarından 8 t/ha/yıl toprağın uzaklaştığı ve birikim alanlarına değişik yollarla 18.30 t/ha/yıl toprağın geldiği belirlenmiştir. Çalışma alanında yol inşası nedeniyle hafriyat miktarı çıkarılarak, sadece 1-25 cm aşınım alanları dikkate alınarak aynı hesaplamalar yapılmış ve bu aşınım alanından 13.08 t/ha/yıl toprak kaybı meydana geldiği hesaplanmıştır. Aşınım ve birikim alanları, toprak haritalarında dikkate alınan, erozyon sınıflama kriterlerine göre sınıflandırılmış ve haritaları oluşturularak sadece aşınımın değişik seviyelerine ait alanlar gösterilmiştir. Üst üste çakıştırılan sayısal arazi modellerinden değişik noktalarda enkesitler alınmış, yüzeyde meydana gelen değişimler grafikler halinde verilmiştir. Buna göre, yamaç arazilerde aşınım fazla olurken, etek arazilerde birikimin fazla olduğu görülmüştür. 1969 yılına ait nokta verilerinden TIN modeli hazırlanmış, eğim haritası yeniden oluşturulmuştur. Elde edilen eğim haritası, toprak haritasından elde edilen, arazi kullanım kabiliyeti sınıfları, eğim ve derinlik sınıfları ve bu sınıflara karşılık gelen erozyon değerleri arasında ayrı ayrı istatistik analizleri yapılarak, erozyona o arazi için etki eden faktörler irdelenmiştir. Yapılan analizler sonunda, en fazla erozyonun, arazi kullanım kabiliyetlerine göre, VI. sınıf arazilerde, eğim sınıflarına göre, % 20-30 eğim grubunda ve toprak derinliğine göre ise, derin topraklarda olduğu saptanmıştır. Landsat 7 görüntüsünde, çalışma alanının erozyon,

bitki örtüsü ve birikim alanları, değişik bant kombinasyonları kullanılarak belirlenmiştir. Değişim haritasından belirlenen aşınım ve birikim alanlarının uydu görüntüsü üzerinde de aynı alanlara işaret ettiği görülmüştür. Kantitatif modelleme şeklinde ifade edilen bu çalışma sediment ve özellikle oyuntu erozyonu çalışmaları için kısa zaman içinde ve doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

2000, 90 sayfa

ANAHTAR KELİMELER : Erozyon, oyuntu, modelleme, coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama, Çubuk barajı, görüntü analizleri

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

QUANTITATIVE DETERMINATION OF EROSION BY USING REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN THE VICINITY OF ANKARA ÇUBUK DAM LAKE

Şenay ÖZDEN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Soil Science

Supervisor : Prof.Dr. Nuri MUNSUZ

Due to stimulating topographic structure, erosion is a crucial problem in Turkey. In this study, objective was to determine, through quantitative modelling using RS and GIS techniques, changes resulted from occurrence of erosion by years. Materials used in the study include aerial photos of 1969 and 1995 at scales of 1:21000 and 1:4000 respectively, topographic, soil and geological maps of 1:25000 scale, Landsat 7 images, camera and triangulation information of the aerial photos.

Digital elevation points produced by means of photogrammetric digitization of aerial photographs were transformed into grid model with grid interval of 0.5 meter.

Changes took place on land surface were calculated by extracting DTM (digital terrain model) of 1995 from the DTM of 1969. Erodibility and accumulation quantities were determined as t/pixel/26 years and t/ha/year by combining variation values, pixel areas and numbers and bulk density of soil samples.

Calculation have revealed that 8 t/ha/year of soil has been lost including road construction in eroded areas, whereas 18.30 t/ha/year of soil has been gained in accumulation areas in various forms. By omiting road construction area's data, 13.08 t/ha/year of soil has been lost in eroded areas that includes erosion between 1 - 25 cm.

Areas become eroded and subjected to accumulation were classified according to erosion criterion of National Soil Map Legend, then mapped with different levels of erosion and accumulation. Cross-sections of different points on the overlaid digital terrain models were created and changes occurred on land surface were illustrated in graphical forms, disclosing more erosion on steep slopes and substantial accumulation on foot slopes.

A TIN model was composed using point data of 1969, then slope map was recreated. By statistical analysis done between the slope map being recreated and land use capability, slope and depth classes of available soil map and erosion classes corresponding to the above mentioned erosion values, factors influencing land with regard to erosion were examined. Analysis have disclosed that an outstanding erosional phenomenon occurred on VI. class lands, soils having slope degree of 20-30 % and deep soils.

With different band combination of Landsat 7 image, erosion, vegetation and accumulation areas were determined. It has been observed that eroded and sedimented areas of the variation map are consistent with the same localities displayed on the Landsat imagery.

In this study, in the sense of expressing quantitative modelling, makes it possible studies of sediment and, particularly gully erosion to obtain accurate results within very short time.

2000, 90 pages

Key Words : Erosion, gully, modelling, geographical information systems, remote sensing, Çubuk dam, image analysis

TEŞEKKÜR

Doktora programı süresince danışmanlığımı yürüten ve her türlü desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof.Dr. Nuri Munsuz'a, tez izleme komitesinde görev yapan ve tez çalışmamı yönlendirerek değerli katkılarda bulunan, CBS ve UA konusunda temel bilgileri edinmemi sağlayan Prof.Dr. Ural Dinç'e, yine tez izleme komitesinde görev yapan Doç.Dr. Mahmut Yüksel'e, doktora programının başından itibaren yakın ilgi ve destek gösteren, döküman konusunda yardımcı olan Prof.Dr. Mustafa Çanga'ya, CBS ve UA konusunda kendisine danıştığım Prof.Dr. Can Ayday'a, çalışmamın değerlendirme aşamasında çok değerli deneyimlerini ve bilgilerini aktararak tezin istenilen düzeye ulaşmasında katkılarda bulunan Dr. İlhami Bayramın'e, hava fotoğrafları ve arazi bilgileri konusunda yardımcı olan Dr. Çetin Arcak'a, mesaisinin bir bölümünü ayırarak teknik yardımlarda bulunan Sebahattin Keskin'e, fotoğrafların sayısallaştırılmasında emeği geçen İsa Mısırlı'ya teşekkür ederim.

Tüm çalışma süresince bilgisayar sistemlerinin çalıştırılması konusunda ve tezin basım aşamasında büyük emekleri geçen arkadaşım Ali İhsan Koral'a, mesaimin büyük bölümünü doktora çalışmama ayırmama izin vererek desteklerini esirgemeyen Enstitü Müdürüm Dr. Bülent Sönmez'e ve Enstitü Müdür Yardımcım Dr. Fikret Eyüpoğlu'na, erozyon ve sediment konusunda bilgilerini aktaran arkadaşım Naci Sevinç'e, istatistik analizler konusunda yardımcı olan, değerli arkadaşım Dr. Ayla Altun ve Yrd.Doç.Dr. Ensar Başpınar'a, KHGM, Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü ve bu müdürlük bünyesinde yer alan Toprak ve Su Kaynakları Ulusal Bilgi Merkezi çalışanlarına, Esri grubu programlarda yardımcı olan İşlem Ltd. ve TNTmips programı konusunda yardımcı olan Hat A.Ş. çalışanlarına ve tez izleme komite toplantıları sırasındaki hazırlık çalışmalarına yardımcı olan Dr. Nesime Cebel ve diğer mesai arkadaşlarıma desteklerinden dolayı teşekkür ederim.teşekkür ederim.

Yoğun doktora programımın başından itibaren gösterdikleri sabır, anlayış ve destekleri için, biricik kızım Burcu Simay Özden'e ve çok değerli eşim Doç.Dr. D.Murat Özden'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Şenay ÖZDEN

Ankara, Şubat 2000

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	6
3. MATERYAL ve YÖNTEM	19
3.1. Materyal	19
3.1.1. Çalışma Alanının Tanımı	19
3.1.2. Çalışmada Kullanılan Materyaller	19
3.2. Yöntem	21
3.2.1. Hava Fotoğraflarının Sayısallaştırılması	21
3.2.1.1. Tarama	21
3.2.1.2. Havai Nirengi Ölçümü	21
3.2.1.3. Dengeleme	22
3.2.2. Sayısal Arazi Modelleri ve Erozyon Haritasının Hazırlanması	24
3.2.3. Toprak Haritasının Hazırlanması	24
3.2.4. Jeoloji Haritasının Hazırlanması	24
3.2.5. Şimdiki Arazi Kullanım Haritasının Hazırlanması	24
3.2.6. İstatistik Analizleri	25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	26
4.1. Sayısal Arazi Modelleri	26

4.2. Erozyon Hesaplamaları	28
4.3. Enkesitler	49
4.4. Göl Alanları	57
4.5. Toprak Haritası	57
4.6. İstatistik Analizlerinden Elde Edilen Bulgular	69
4.7. Çalışma Alanına Ait Uydu Görüntüsü Analizleri	79
4.7.1. Landsat 7-TM Görüntüsü ve Özellikleri	79
4.7.2. Kontrolsüz (Unsupervised) Sınıflama	80
 5. SONUÇ	 82
KAYNAKLAR	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çalışma Alanı	20
Şekil 3.2. Modelin İşlem Adımları	23
Şekil 4.1. Sayısal Yükseklik Noktaları (1969)	29
Şekil 4.2. Sayısal Yükseklik Noktaları (1995)	30
Şekil 4.3. Sayısal Arazi Modelinden Üretilen Sayısal Yükseklik Sınıfları (1969). 31	
Şekil 4.4. Sayısal Arazi Modelinden Üretilen Sayısal Yükseklik Sınıfları (1995). 32	
Şekil 4.5. Çalışma Alanı Yol, Göl, Şev ve Tarla Sınırları (1969)	33
Şekil 4.6. Çalışma Alanı Yol, Göl, Şev ve Tarla Sınırları (1995)	34
Şekil 4.7. Maskelenmiş Sayısal Yükseklik Sınıfları (1969).....	35
Şekil 4.8. Maskelenmiş Sayısal Yükseklik Sınıfları (1995)	36
Şekil 4.9. Sayısal Yükseklik Sınıfları Farkından Oluşturulan Harita	39
Şekil 4.10. Arazi Yüzeyinde Oluşan Değişimi Gösteren Harita	40
Şekil 4.11. Sınıflandırılmış Aşınım Haritası	41
Şekil 4.12. Çalışma Alanının Değişik Yerlerinde Ortaya Çıkan Aşınım ve Birikim Sınıfları	46
Şekil 4.13. Çalışma Alanının 1969 ve 1995 Yıllarına Ait Üç Boyutlu Sayısal Görüntüsü	47
Şekil 4.14. Çalışma Alanının 1969 ve 1995 Yıllarına Ait Farklı Bir Açıdan Üç Boyutlu Sayısal Görüntüsü ve Bindirilmiş Yüzeyler	48
Şekil 4.15. Enkesitlerin Alındığı Bölgeler	50

Şekil 4.16. Enkesit 1	51
Şekil 4.17. Enkesit 2	51
Şekil 4.18. Enkesit 3	52
Şekil 4.19. Enkesit 4	52
Şekil 4.20. Enkesit 5	53
Şekil 4.21. Enkesit 6	54
Şekil 4.22. Enkesit 7	54
Şekil 4.23. Enkesit 8	55
Şekil 4.24. Enkesit 9	55
Şekil 4.25. Enkesit 10	56
Şekil 4.26. Göl Alanı	58
Şekil 4.27. Toprak Haritası	59
Şekil 4.28. Büyük Toprak Grupları Haritası	60
Şekil 4.29. Arazi Kullanım Kabiliyetleri Haritası	62
Şekil 4.30. Şimdiki Arazi Kullanım Sınıfları Haritası	63
Şekil 4.31. Toprak Özellikleri Kombinasyonundan Üretilen Derinlik ve Eğim Haritaları	65
Şekil 4.32. Yeni Sınıflamaya Göre Eğim Haritası	66
Şekil 4.33. Jeoloji Sınıfları Haritası	68
Şekil 4.34. AKK ve Erozyon Arasındaki İlişki	72
Şekil 4.35. Eğim ve Erozyon Arasındaki İlişki	74

Şekil 4.36. Derinlik ve Erozyon Arasındaki İlişki	76
Şekil 4.37. Yeni Oluşturulan Eğim Değerleri İle Erozyon Arasındaki İlişki.....	79
Şekil 4.38. Landsat 7 Görüntüsünün 3-2-1 ve 4-3-2 Bant Kombinasyonları	81
Şekil 4.39. Unsupervised Sınıflandırma	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. 1:21000 Ölçekli Fotoğraflara Ait Dengeleme Verileri	22
Çizelge 3.2. 1:4000 Ölçekli Fotoğraflara Ait Dengeleme Verileri	22
Çizelge 4.1. Aşınım Alanları İçin Piksel Bazında Yapılan Hesaplamalar	42
Çizelge 4.2. Birikim Alanları İçin Piksel Bazında Yapılan Hesaplamalar	44
Çizelge 4.3. Arazi Sınıflarının Dağılımı	61
Çizelge 4.4. Toprak Özellikleri Kombinasyonu	61
Çizelge 4.5. Toprak Haritasına Göre Derinlik Sınıfları	64
Çizelge 4.6. Toprak Haritasına Göre Eğim Sınıfları	64
Çizelge 4.7. Sayısal Arazi Modelinden (TIN) Elde Edilen Eğim Grupları	66
Çizelge 4.8. Çalışma Alanının Jeolojik Özellikleri	66
Çizelge 4.9. AKK Gruplarında Erozyona Ait İstatistik Analiz Sonuçları	70
Çizelge 4.10. AKK Gruplarında Erozyona Ait Varyans Analiz Tablosu	71
Çizelge 4.11. Farklı AKK Gruplarında Belirlenen Erozyon Ortalamaları Arasındaki Farkların Duncan’a Göre Önemlilik Kontrolü	71
Çizelge 4.12. Eğim Gruplarında Erozyona Ait İstatistik Analiz Sonuçları	72
Çizelge 4.13. Eğim Gruplarında Erozyona Ait Varyans Analiz Tablosu	73
Çizelge 4.14. Farklı Eğim Gruplarında Belirlenen Erozyon Ortalamaları Arasındaki Farkların Duncan’a Göre Önemlilik Kontrolü	73
Çizelge 4.15. Derinlik Gruplarında Erozyona Ait İstatistik Analiz Sonuçları.....	74
Çizelge 4.16. Derinlik Gruplarında Erozyona Ait Varyans Analiz Tablosu	75
Çizelge 4.17. Farklı Derinlik Gruplarında Belirlenen Erozyon Ortalamaları Arasındaki Farkların Duncan’a Göre Önemlilik Kontrolü.....	75
Çizelge 4.18. Eşleştirilmiş Örneklerle Ait Bazı İstatistikler	76
Çizelge 4.19. Eşleştirilmiş Örneklerle Ait t Testi	77

Çizelge 4.20. Eğim-y Gruplarında Erozyona Ait İstatistik Analiz Sonuçları.....	77
Çizelge 4.21. Eğim-y Gruplarında Erozyona Ait Varyans Analiz Tablosu	78
Çizelge 4.22. Farklı Eğim-y Gruplarında Belirlenen Erozyon Ortalamaları	
Arasındaki Farkların Duncan’a Göre Önemlilik Kontrolü	78

ÖZGEÇMİŞ

Şenay ÖZDEN, Erzurum’da 1965 yılında doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 1982 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü’nden 1986 yılında Ziraat Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. Ekim 1990 – Kasım 1992 yılları arasında, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamlayarak Ziraat Yüksek Mühendisi oldu. 1988 – 1991 yılları arasında Tarım Bakanlığı Erzurum İl Müdürlüğünde, 1991 – 1994 yılları arasında Köy Hizmetleri Erzurum Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü’nde araştırma mühendisi olarak görev yaptı. 1994 yılında, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Havza Yönetimi Bölümünde görev yapmaya başladı. 1997 yılında Bölüm Başkanı olarak görevlendirildi ve 1998 yılında, Köy Hizmetleri Havza Yönetimi Araştırmaları Grubu Başkan Yardımcısı seçildi. Konusu ile ilgili yurt içi ve dışında çeşitli toplantı, seminer ve kurslara katıldı.

Toprak Verimliliği ve Toprak Muhafaza konularında yayımlanmış çeşitli eserleri bulunmaktadır.

İyi derecede İngilizce bilir, evlidir ve bir kız çocuğu vardır.

1. GİRİŞ

Gelişmiş ülkeler, kaynaklarını en iyi şekilde kullanmalarına karşın, gelişmekte olan ülkelerin büyük çoğunluğu henüz doğal kaynaklarının nitelik ve niceliklerine ilişkin yeterli bilgilerden yoksundur. Bugün gelişmekte olan ülkelerin çoğunda, temel kaynaklarını yeterli bir şekilde inceleyip izleyememiş olmaları sonucu; toprak ve su kaynakları, bazı tarım istatistikleri, madenler, orman ve otlaklara ilişkin tam ve kesin veriler bulunmamaktadır.

Diğer taraftan, ülkeler gelişme düzeyleri arttıkça kendi öz kaynakları hakkında daha geniş bilgileri kapsayan yeni teknolojik girdilere gereksinim duymaktadırlar. Doğal çevre içerisinde ilişkilerin önemli bir bölümünün dinamik nitelikte olması, bunların davranışlarını gözleyebilmek için sürekli olarak yeni bilgiler ve verilerin elde edilmesi konusuna büyük önem kazandırmaktadır. Havacılık ve uzay teknolojisindeki gelişmeler bu sorunların çözümü için yeni ufuklar açmış “Uzaktan Algılama (*Remote Sensing*)“ adı verilen yöntemle havadan ve uzaydan elde edilen görüntülerin yorumlanması sonucu yeni ve sürekli bilgi üretimi olanak içerisine girmiştir.

Uzaktan algılama sözcüğü, cisimlerle fiziksel değinimde bulunmaksızın, herhangi bir uzaklıktan yapılan ölçümlerle, cisimler hakkında bilgi edinme bilim ve sanatı olarak tanımlanmaktadır. Bu ölçümler, özellikle cisimler elektromanyetik spektrum içerisindeki davranışlarına, konumsal ve yıl içinde özelliklerindeki değişimlere dayanmaktadır.

Uzaktan algılamanın ayrılmaz bir parçası olan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), doğal kaynakların doğrulukla etüt edilmesinde, haritalanmasında ve bu verilerin kullanıcılara ve planlayıcılara aktarılmasında günümüzde en ideal metot olarak karşımıza çıkmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri, araştırma ve karar vermeye yardımcı olma ya da yönetim süreçleri ile ilgili olabilen, coğrafi olarak oluşturulmuş çok farklı ve kapsamlı bilgilerin elde edilmesi, işlenmesi ve hizmete sunulması için tasarımıdır. İlk CBS uygulamaları 1960’lı yıllarda başlamış, veri sağlanmasında, depolanmasında, işlenmesinde ve yayımlanmasında sağladığı kolaylıklar nedeniyle son 10-15 yıl içinde hızla geliştirilmiş ve kullanıcıların hizmetine sunulmuştur (Dinç 1997).

Coğrafi bilgi sistemleri kısaca; coğrafi verilerin, kullanıcının ve bilgisayar sistemlerinin bir plan içerisinde organize edilip, verilerin etkin bir şekilde algılanması, işlenmesi, sentez edilmesi ve veri tabanı oluşturulması olayıdır. Tüm bilim dallarında kullanılması gereken CBS, özellikle uygulamalı bilim dallarında (ormancılık, başta toprak ilmi olmak üzere ziraat, jeoloji, çevre kirliliği, ulaşım, inşaat, şehir planlaması vs.) yerini çoktan almıştır.

Zamanımızda karar alma sorumluluğunda bulunanlar, en doğru kararları almak için bilgiye ihtiyaç duymaktadırlar. Bilgi sistemleri karar verme sürecinin objektif, bilimsel ve etkin olmasına hizmet etmektedir. CBS sosyal, fiziksel ve çevresel olayların düzenlenmesi, birbiri ile etkili olarak birleştirilmesi, grafik olarak etkili bir şekilde gösterilmesi ve aynı zamanda bu olayların doğadaki zamana bağlı olarak değişimlerini değerlendirmek için geliştirilmiştir (Öztürk 1989).

Dünyanın nüfusu hızla artarken, gıda üretimi için daha fazla arazi kullanılmakta ve değerli araziler erozyondan etkilenmektedir. Toprak erozyonu toprak oluşumunun çok yavaş olması nedeniyle büyük endişeler oluşturmaktadır. 2.5 cm toprağın oluşması için yaklaşık 500 yıl (koşullara bağlı olarak 200-1000 yıl) gereklidir. Yapılan bir araştırmaya göre, tarımın başlamasından itibaren Amerika'da yaklaşık 8 cm üst toprak kaybedilmiştir (Lal ve Pierce 1993). Erozyon oranı, farklı iklim, topoğrafya ve tarımsal uygulamalara göre farklılık göstermektedir. Örneğin, Amerika yılda 18 t/ha toprak kaybederken Çin'de bu oran 40 t/ha kadardır. Erozyon ve diğer faktörlerin etkisi ile arazilerin bozulması sonucu tahmini olarak yıllık 6 milyon hektar kadar yerine bir daha konulamayan kayıplar meydana gelmektedir. Azalan toprak derinliği önemli derecede problem yaratırken, erozyon sonucu meydana gelen toprağın su tutma kapasitesindeki azalma, hızlı yüzey akış, organik madde ve bitki besin elementleri kaybı, arazi toprağının verim kaybına neden olarak daha ciddi sorunlar oluşturmakta ve degradasyonu hızlandırmaktadır (Lal ve Pierce 1993). Erozyon bütün dünyada ciddi bir çevresel problem durumundadır. Larson (1993) erozyonun, çevre ve insan yaşamını (artan nüfusa bağlı olarak gıda ihtiyacında oluşan artış nedeniyle) tehdit eden bir olay olması yanında, meydana gelebilecek toprak kaybını azaltabilmek için erozyonun boyutlarını belirlemenin ayrıca zorluğuna işaret etmiştir.

Arazinin yoğun bir şekilde işlenmesi, doğal örtünün tahrip edilmesine ve toprak yüzeyinin erozyon oluşturan kuvvetlere maruz kalmasına neden olmuştur. İnsanlar bazı durumlarda bu kuvvetleri kontrol altına alarak tarımın devamlı olmasını sağlamışlardır. Ancak, çoğu durumda erozyon kontrol edilmemiş ve büyük arazi tahripleri meydana gelmiştir. Bu tahripler büyük medeniyetlerin yıkılmasına yol açmıştır. Diğer bir deyişle insanlar erozyonu sınırlı ölçülerde kontrol etmiş ve yüzyıllar boyunca kurmuş oldukları tarım sistemini sürdürmüşlerdir (Çanga ve Erpul 1994).

Erozyon insan ekolojisi bakımından; verimli üst toprağı uzaklaştırması, karayolları, arazilerde büyük oyuntular ve heyelanlara yol açması, akarsu kanalları ve su depolama havzalarında siltlenme, suda oksijen azalması ve diğer bir çok yolla çevresel degradasyona neden olması ile çok önemli etkilere sahiptir. Erozyon karmaşık bir takım olayları içermekte olup, mekaniğı ve kontrolü hakkında bilinmeyen pek çok şey bulunmaktadır. Bu bakımdan, ancak büyük bir çaba ve maliyetle önlenabilir (Taysun vd 1995).

Ülkemizde topoğrafik yapı ve iklim koşullarının özendirir oluşu nedeni ile erozyon önemli bir sorundur. Erozyona etki eden bu iki etmen yanında; toprak örtüsü, toprak yönetimi ve insan faktörleri, iklimin erozyon yaratma gücünü ve toprağın erozyona uğrama eğilimini artırmaktadır. Bu nedenle topraklarımızın 3/4'ünden fazlası aşınım tehlikesi ile karşı karşıyadır ve bu aşınımından değişik düzeylerde zarar görmektedir (Sönmez 1991).

Su ve rüzgar erozyonunu Türkiye için inceleyecek olursak, orta ve daha yüksek derecede etkili su erozyonu alanı % 82.55'lik bir orana sahiptir. Buna hafif su erozyonu alanı da eklenirse bu oran % 89.77'ye ulaşır.

Arazi kullanım kabiliyet sınıfları bakımından, ülkemizin durumu oldukça ilginç ve problemli bir görünüm arz etmektedir. İşlenebilir arazilerin toplamı % 34.1 kadar iken işlemeye uygun olmayan arazilerin toplamı % 60 kadardır. Türkiye'nin yalnızca VII. sınıf arazilerinin % 46.6, VI. ve VII. sınıf toplamının yaklaşık oranının % 60 olması ne kadar problemli bir durumun olduğunu göstermektedir. Buna neden olan etken topoğrafik yapıdır. Bu durum mevcut toprak varlığımızın korunmasının önemini ortaya koymaktadır (Taysun 1985). Tarım alanlarında erozyon durumu incelendiğinde,

problemsiz arazilerin 4776339 ha, esas sorunu su ve rüzgar erozyonu olan arazilerin toprak işlemeye uygun alanlarda 11416396 ha, toprak işlemeye uygun olmayan alanlarda ise 5009563 ha alanı kapladığı görülmektedir. Ana sorunu erozyon olmayan fakat ikinci derecede sorunu erozyon olan tarım arazileri, toprak işlemeye uygun alanlarda 2749471 ha, toprak işlemeye uygun olmayan alanlarda ise 1004487 ha kadardır. Bu durum Türkiye topraklarının en önemli sorununun erozyon olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Dünyada erozyon belirleme çalışmaları 1930’larda başlamış olup, 1960’lı yıllarda ampirik metotlar erozyon belirleme çalışmalarında çok iyi bir şekilde kullanılır hale gelmiştir. Daha sonra bilgisayar teknolojisinin gelişimi ile erozyon çalışmalarında yeni teknolojiler kullanılarak yeni metodolojiler oluşturulmuştur (Elliot et al. 1991).

Toprak erozyonunun modellenmesi için yapılan veri toplama çalışmaları, erozyonun önlenmesinde kullanılabilecek metotlar ve metotlarla birlikte en iyi arazi kullanımının belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu bazen erozyon derecesinin tanımlanması, bazen de erozyonu kontrol eden faktörlerin kuramsal olarak toplanıp havza üzerinde model oluşturulması biçiminde olmaktadır. Yüksek çözünürlüğe sahip uzaktan algılama verileri ve gelişmiş veri işleme teknolojileri, parçalı verilerin toplanıp değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Günümüzde bir çok bilim dalında, bilgisayar çağının gereği olarak model çalışmaları deneysel metotların yerine tercih edilmektedir. Bütün dünyayı tehdit eden erozyon problemine ilişkin istatistiksel sonuçlar, cevaplanması gereken soruları da beraberinde getirmektedir. Bu sorulardan en önemlileri veri kaynakları, veri toplama metotları ve extrapolation (bilinen veriler ile gelecekteki tahmin), verilerin doğruluğu ve güvenilirliği şeklinde sıralanabilir. Güvenilmeyen veriler üzerine yapılan arazi kullanım planları, geri dönüşümü olmayabilecek büyük yanlışlara ve kayıplara neden olabilir. Bu yüzden acil olarak toprak erozyonuna ait verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak için standart haline getirilmiş metodolojilere ihtiyaç vardır (Lal 1993).

Aşınan materyalin istenmeyen birikimi, sedimantasyon probleminin çok genel bir açıklamasıdır. Havza arazilerinde sediment kontrolünün genel durumu ile ilgili problem, su veya rüzgar ile toprağın aşınması şeklinde başlar. Havza koruma projelerinde

erozyonun azaltılması ile sediment problemlerinin ıslahı, temel amaçları oluşturmaktadır. Bunun için de karşılaşılan problemlerin şiddetini içeren bilgiler elde edilmelidir. Gerekli olan bu veriler CBS ve UA teknikleri yardımıyla kısa zaman içerisinde elde edilebilmekte, CBS ve UA teknikleri, erozyon ve sediment tahmin modellerinde ve bu modellerden CBS ortamında oluşturulan veya çalıştırılan model çalışmalarında kullanılan verileri sağlama açısından, son yıllarda büyük önem kazanmaktadır. Bitki örtüsü, eğim uzunluğu, toprak özellikleri, hidrolojik parametreler, arazi kullanımı gibi veriler; mevcut haritaların sayısal ortama aktarılması, elde edilen verilerin işlenmesi, depolanması ve sorgulamalarla mevcut verilerden yeni veriler elde edilmesi, maliyetli ve uzun zaman alan yoğun arazi çalışmaları için birçok kolaylıklar sunmaktadır.

Bu çalışma, yukarıda ifade edilen gerekçelerle kantitatif modellemeden yararlanılarak Çubuk Baraj Gölü çevresinde kalan arazilerde, erozyonun çevre açısından oluşturduğu değişimi ortaya koymak ve erozyonun bu bölgedeki boyutlarını belirleyebilmek amacıyla, ele alınmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Günümüzde toprak işlemeli tarım arazileri için en uygun olan toprak, bitki ve arazi yönetimlerinin seçiminde, *USLE* - Üniversal Toprak Kayıp Denklemi'den yararlanılmaktadır. Wischmeier ve Smith (1978) tarafından geliştirilen üniversal toprak kayıp denklemi, erozyonla kaybolan toprak miktarının tahmin edilebilmesi amacıyla en çok kullanılan matematiksel modellerden biridir. Denklem aşağıda verilmiştir;

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

Burada;

A = Toprak kaybı miktarı, (t/ha/yıl),

R = Yıllık ortalama yağış erozyon indisi,

K = Toprağın erozyona duyarlılık faktörü; 22.1 metre uzunlukta ve % 9 eğimli devamlı nadas yapılan bir araziden birim erozyon indeksine karşılık erozyon oranıdır,

L = Eğim uzunluğu faktörü; herhangi uzunluktaki bir araziden oluşan toprak kaybının, aynı toprak tipi ve eğimde 22.1 m uzunluktaki araziden oluşan toprak kaybına oranıdır,

S = Eğim derecesi faktörü; herhangi bir eğim dikliğine sahip bir araziden oluşan toprak kaybının, % 9 eğim dikliği ve aynı toprak tipi ile eğim uzunluğuna sahip bir araziden oluşan toprak kaybına oranıdır,

C = Bitki yönetim faktörü; belirli bir ürün yetiştirme ve amenajmana sahip bir araziden oluşan toprak kaybının, K faktörünün değerlendirildiği nadas koşullarındaki araziden oluşan toprak kaybına oranıdır,

P = Toprak koruma önlemleri faktörü; düzeç eğrilerine paralel tarım, şeritvari ekim veya teraslama yapılan bir araziden oluşan toprak kaybının, eğim aşağı sürüm yapılan arazideki toprak kaybına oranıdır.

Denklemin Williams (1975) tarafından modifiye edilmesi ile *MUSLE* oluşturulmuş ve bu model ile tek bir sağanak yağıştan meydana gelebilecek toprak kaybı hesaplanmaya çalışılmıştır. Denklem aşağıda verilmiştir.

$$Y=11.8 (Q*qp)^{0.56} * K * L * S * C * P$$

Burada:

Y = Bir bireysel yağışın sediment verimi (metrik ton),

Q = Azami yüzey akış pikini veren yüzey akış hacmi,

qp = Azami yüzey akış debisi (m³/s),

K = Toprak erodibilite faktörü,

LS = Eğim uzunluğu ve eğim derecesi faktörü,

C = Ürün amenajmanı faktörü,

P = Toprak koruma faktörüdür.

Denklemin yeniden gözden geçirilmesi ile oluşturulan *RUSLE* ise, özel ürün yetiştirme ve yönetim koşulları altında, arazi eğimi boyunca yüzey akış tarafından taşınan ortalama yıllık toprak kaybını hesaplamak amacı ile geliştirilmiştir (Kenneth et al. 1991).

RUSLE'de yer alan L ve S faktörleri için uniform parsel çalışmalarına ait veriler (doğal ve yapay yağmurlama koşullarında) gözden geçirilerek eğim uzunluğu ve eğim derecesi için yeni ve *USLE*'den farklı ilişkiler ortaya koymuştur. Dik eğimlerde hesaplanan toprak kaybının *USLE*'ye göre neredeyse yarı yarıya olduğu belirtilmektedir. *RUSLE*'de ayrıca kompleks eğimler için uygulamacıların daha kolay karar vermesini sağlayacak üç ayrı eğim uzunluğu ilişkisi ortaya konmuştur. Eğim uzunluğu ölçümlerinde % 10'luk bir hata hesaplamalarda % 5'lik bir hataya yol açmaktadır.

Eğimdeki % 10'luk bir hata toprak kaybı hesaplarında % 20'lik bir hataya yol açmaktadır (Kenneth et al. 1991).

RUSLE'de aşınım duyarlılık parametresinin mevsimlere göre değiştiği ifade edilmiş ve C faktörünü hesaplamak için birçok alt faktör kullanılmıştır. Bu alt faktörler; önceki arazi kullanımı üzerine, yönetim tedbirleri ve önceki ürünün etkisi, ürün kanopisi tarafından toprak yüzeyine sağlanan koruma, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey örtüsü nedeniyle erozyondaki azalma ve bazı durumlarda düşük yağmur yoğunluğu nedeniyle yüzey akış azalması üzerine düşük toprak neminin etkisidir.

Bu parametrelerin nasıl değiştiğinin tam bir ölçümünü sağlamak için rotasyon ya da bir yıldan fazla olmak üzere yeteri kadar sıklıkla hesaplanan değerler, genellikle işleme tipi üzerine, bir işlemten sonra geçen zamana, bitkinin kapladığı alan ve gelişimine ve hasat tarihi üzerine dayandırılarak verilmiştir. USLE yaklaşımının rehberliğinde yapılan RUSLE hesaplamaları 15 günlük periyotlar üzerine dayandırılmaktadır.

Üniversal toprak kaybı denklemine ilişkin parametre tespit çalışmaları ülkemizde de değişik araştırmacılar tarafından farklı bölgelerde büyük toprak grupları üzerinde uzun yıllardan beri devam etmektedir. Bu konuda Doğan (1982, 1987), Türkiye'nin yağış potansiyellerini incelemiş ve yapay yağış koşullarında USLE parametrelerini Ankara yöresinde tespit etmiştir.

Doğal yağış koşullarında ise, Ankara'da Güçer (1979), Eskişehir'de Ayday (1984), Tokat'ta Köse ve Akar (1986), Tarsus'ta Mete (1988), Beyşehir'de Önmez (1981) ve Erzurum'da İstanbulluoğlu (1989), parametre tespit çalışmaları yapmışlardır.

Bu çalışmalardan elde edilen deneysel veriler derlenerek, yağmur tarafından oluşturulan toprak erozyonunu belirlemeye olanak sağlamak üzere, *TURTEM* – “Türkiye Toprak Erozyon Tahmin Modeli” bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program, yüzey ve oluk erozyonundan dolayı ortalama yıllık toprak kayıplarını belirlemek için üniversal toprak kayıp denkleminin prosedürünü kullanmakta ve toprak kaybını azaltmak amacıyla yönetim tedbirlerini önermektedir. Program, RUSLE'de yer alan LS (topoğrafik faktör) esaslarını kullanmakta ve bitki yönetim faktörü, C, içerisinde bulunan arazi kullanım, bitkinin kapladığı alan, yüzey örtüsü, yüzey pürüzlülük alt faktörlerini içermektedir.

Model, R faktörü dışındaki gerekli tüm faktör hesaplamalarını bir arazinin topoğrafya, toprak tipi, arazi kullanım ve bitki yönetim bilgileri ışığında yapabilmektedir. TURTEM, toprak kayıp tolerans sınırları ile belirlenen yıllık toprak kaybını karşılaştırarak arazi ve bitki yönetim tedbirlerini önermektedir. Windows altında çalışan program Visual Basic dilinde yazılmıştır (Özden ve Özden 1997, 1998).

Üniversal denklem parametrelerinin arazi denemeleri ile tespiti, hem zaman alıcı hem de pahalıdır. Günümüzde bir çok bilim dalında bilgisayar çağının gereği olarak, model çalışmaları deneysel metotların yerine tercih edilmektedir. Bu nedenlerden dolayı toprak muhafaza konularında da özellikle 1980 yılından sonra simülasyon çalışmalarına ağırlık verilmeye başlanmıştır. Son yıllarda erozyonun matematiksel modellemesi güncel ve önemli bir araştırma konusu olmuştur. Bilgisayarların artan kapasitesi ile çoğu araştırmacılar sediment verimi ve erozyon içinde yer alan kompleks sistemleri çalışmaya başlamışlardır. Bir çok araştırmacı genel ve özel havza ve arazi koşulları için erozyon modelleri geliştirmişlerdir (Foster ve Highfill 1983). Bu çalışmaların temelinde yine USLE, MUSLE, RUSLE yöntemleri esas alınmıştır. Modeller geliştirildikleri ülkelerin iklim, toprak, topoğrafya koşulları dikkate alınarak yazılmaktadır. EPIC, PI, CREAMS, SOLOSS, PERFECT, WEPP, RUSLE, SWRRB, AGNPS, ANSWERS, EUROSEM bu modellerden bazılarıdır.

Modeller geliştirildikleri ülkelerde yapılan koruma planlamalarında önemli bir role sahip olup; arazi kullanımları ve formları, farklı topraklar ve farklı coğrafik bölgeler arasında oransal toprak kaybını belirlemede kullanılmaktadır (Rosewell 1993).

Yukarıda verilen modellere ek olarak, son yıllarda, CBS ve UA teknikleri kullanan yeni metodolojiler geliştirilmiştir. Çalışmanın amacına uygun olarak, bu metodolojilerden örnek teşkil edenler incelenmeye çalışılmıştır.

“Akdeniz Çevresindeki Alanlar İçin Toprak Erozyon Modeli – SEMMED” Jong ve Riezbos (1997) tarafından Fransa’da Ardeche nehir havzasının bazı bölümleri için kullanılmıştır. Yıllık toprak kaybını tahmin etmede kullanılan Morgan, Morgan-Finney metodu, SEMMED’in fiziksel temellerini oluşturmaktadır. Model iki faza ayrılmaktadır. Bunlardan birisi su fazı, diğeri ise sediment fazıdır. Model yağmur damlasının çarpma etkisiyle, toprak zerreciklerinin parçalanmasından kaynaklanan toprak

erozyonunu göz önünde bulundurmaktadır. Su fazında, çarpma ile kopma ve akış miktarı için gerekli olan enerjiler tahmin edilmektedir. Çarpma ile kopma ve akış miktarı için gerekli enerjilerin hesaplanmasında toplam yıllık yağış ve şiddetli yağışların enerjisini hesaplamada Wischmeier ve Smith (1978)'in geliştirdiği denklemi kullanmıştır. İklim verileri, meteoroloji istasyonlarından, toprak verileri, toprak haritalarından, toprağın fiziksel verileri, sınırlı sayıdaki arazi gözlemleri ve ölçümlerini gösteren bu haritaların tanımlanmasından elde edilmiştir. Sayısal yükselti modeli topoğrafik haritadan elde edilmiştir. İlkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinin çok bantlı Landsat-TM görüntüleri yağış etkisini engelleme faktörü ve ürün faktörünün belirlenmesinde kullanılmıştır. SEMMED, toprak zerre hareketi olarak erozyon işleminin bir kısmı, üst topraktaki nem depolanması ve yüzey akışla toprak zerrelerinin taşınması gibi olayları içermektedir. SEMMED, vejetasyon özelliklerini değerlendirmede, CBS içinde sayısal bir arazi modelinin uygunluğunu göstermiştir. Landsat-TM spektral sayısal indisleri vejetasyon özelliklerinin piksel tahminine izin vermekte olup, çok bantlı yaklaşım, yetiştirme döneminde vejetatif örtünün değişiminin tahminine olanak sağlamıştır (Dinç 1997).

CORINE yöntemi genelde dört önemli indisin bileşeni olarak oluşturulmuş bir erozyon risk değerlendirmesidir. Bu indisler erodibilite, erosivite, meyil ve bitki örtüsüdür. CORINE gerçek ve potansiyel erozyon riskini ayrı ayrı ele almaktadır. Potansiyel toprak erozyon indisi için toprak erodibilite indisi, erosivite indisi ve meyil indisi değerlerinin çarpımı ile belirlenir. Gerçek (aktüel) toprak erozyon riskinin belirlenmesinde; arazi kullanım verileri ile potansiyel erozyon riski değerlerinden yararlanılmaktadır (Commission of the European Communities 1992).

Ayday vd (1998), Bilecik, Küçük Elmalı havzasında erozyon risk haritasını hazırlamak amacıyla yürüttükleri çalışmada CORINE metodunu ve geleneksel erozyon haritalama metodunu karşılaştırmışlardır. CORINE yöntemine göre çalışma alanının % 70'i hafif derecede erozyondan etkilenirken, % 17'si orta derecede ve % 3'ü yüksek derecede erozyondan etkilenmekte ve % 10'u ise hiç etkilenmemektedir. Elde edilen bu sonuçların geleneksel erozyon haritalama yöntemi ile benzer sonuçlar verdiğini bu tür metodların, başka havzalara veya alanlara da uygulanarak karşılaştırılması gerektiğini ve bunların yanında diğer metodolojilerin de çalışılmasını ve UA ve CBS yardımıyla

yapılan erozyon çalışmalarında standart bir yöntemle gidilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Dalaman havzasında uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi tekniklerini CORINE, ICONA, USLE gibi erozyon belirleme metodolojilerinde kullanarak, bölgenin erozyon haritasının çıkarılması amacıyla yürütülen projede, havzanın CORINE potansiyel erozyon risk haritasına göre toprakların yalnızca % 16'sında erozyon riski düşük olarak tespit edilmiştir (Doğan vd 1999). Orta düzeyde erozyon riski görülen alan % 45 , yüksek potansiyel risk alanı içeren alan % 35'dir. Erozyonu etkileyen faktörlerden biri olan bitki örtüsü dikkate alındığında; Dalaman havzasının yalnızca % 21'inin bitki örtüsü ile erozyona karşı korunduğu ortaya çıkmakta, geri kalan alanlarda mevcut bitki örtüsü erozyonu önlemede yetersiz kalmaktadır. Bu yöntem sonuçlarına göre havzanın % 80'inde orta ve yüksek erozyon riski görülmektedir. ICONA yönteminin toprak koruma düzeyleri ve aşınabilirlik düzeyleri katmanlarının sentezlenmesi ile belirlenen erozyon durumu sonuç katmanına göre Dalaman havzasının % 17'si çok hafif ve hafif, % 23'ü orta ve % 60'ı şiddetli ve çok şiddetli derecelerde erozyona maruz durumdadır. USLE yöntemine göre belirlenen yıllık ortalama muhtemel toprak kayıpları havzanın % 62'sinde 25 t/ha/yıl 'a kadar ulaşmaktadır. Havzanın % 12'sinde bu rakam 200 t/ha/yıl olarak tahmin edilirken, geri kalan % 26'sında olası toprak kaybı 25-200 t/ha/yıl arasında dağılım göstermektedir.

Gemalmaz vd (1993) CBS ve UA gibi yeni tekniklerin erozyon riski taşıyan alanların belirlenmesinde uygulanabilirliğinin ortaya konulmasını amaçlayarak yaptıkları bir çalışmada, CORINE yöntemini ele almışlardır. Konya - Karapınar bölgesi örnek alan olarak seçilmiş ve hesaplamalar için gerekli veriler, toprak ve topoğrafik haritalarından ArcInfo yazılımı kullanılarak sayısal ortama aktarılmıştır. İnceleme alanının Nisan-1993 Landsat-TM görüntüsü, Erdas görüntü işleme yazılımı ile işlenmiştir. Görüntü ve coğrafi verilerin entegrasyonu ile gerekli analizler yapılarak, inceleme alanında erozyon riski taşıyan alanlar tespit edilmiştir. Bitki örtüsünün bulunmadığı yüksek eğime sahip alanlarda, erozyon riskinin yüksek, buna karşılık eğimin sifıra yakın olduğu alanlarda erozyon riskinin düşük olduğu diğer taraftan yüksek eğime sahip fakat üzerinde kalıcı bitki örtüsü bulunan alanlarda erozyon riskinin düştüğü belirlenmiştir. İnceleme

alanında tarım amaçlı kullanılan alanların ise orta derecede risk taşıyan gruba dahil olduğu görülmüştür.

CBS ortamında oluşturulan modellerinden bir diğeri ICONA metodolojisi olup; temel olarak kalitatif bir karaktere sahiptir. Haritalama sistematğinde özellikle hava fotoğraflarından, uydu görüntülerinden, arazi etütlerinden ve haritalardan (topoğrafik, jeolojik vb.) gidilerek bilgilere ulaşılmaktadır. ICONA yaklaşımında Erozyon Durum Haritası, sekiz aşamada gerçekleştirilmektedir. Bunlar; rölyef özellikleri, arazi kullanım haritası, bitki örtüsü yoğunluğu haritası, toprak koruma düzeyleri haritası, meyil haritası, Lithopedolojik harita, erodibilite haritası ve erozyon durum haritasıdır. Erozyon durum haritası, toprak koruma düzeyleri haritası ile erodibilite haritalarının birleştirilmesi ile elde edilmektedir (Doğan vd 1999).

Diğ er bir çalışmada ise, CORINE ve ICONA metodolojileri birleştirilerek CBS teknolojisi yardımıyla yeni bir metodoloji oluşturulmuştur (Çullu 1993).

Filipinler’de Pinatubo dağının piroklastik akış depozitlerinde, erozyonun kartografik modellemesi CBS kullanılarak çalışılmıştır. Pinatubo dağı volkanik bir dağ olup, 1991 yılındaki patlamadan sonra meydana gelen depozitler sekiz havzayı etkilemiştir. Bu havzalardan biri olan Sacobia havzasında patlamadan sonraki depozitlerin etkisi ile jeomorfolojik olarak değişimler meydana gelmiştir. Bu piroklastik materyalin ve yıllık erozyonun belirlenmesi amacı ile CBS kullanılarak beş sayısal arazi modeli hazırlanarak yükseklik sınıfları elde edilmiş ve bunların farkları alınarak, depozitlerin kraterden 15 km aşağıya kadar ulaştığı ve 24 km² alanın depozitlerle kaplandığı ve erozyon miktarının 136 ile 219 milyon m³/yıl olduğu belirlenmiştir (Daag ve Westen 1996).

Erozyon, çoğunlukla yüksek arazilerdeki yüzey akışa geçen sularla oluşmaktadır. Genel bir kural olarak bir havzada erozyonla sedimantasyon arasında ilişki bulunmaktadır. Erozyon önemli derecede eğim uzunluğu, ana kaya, bitki örtüsü, yağış vb. gibi etmenlere bağlıdır. Bu etmenlerin bir bölgede ne denli etken oldukları daha doğrusu su erozyonunun şiddeti, derecesi ve tipi, hava fotoğraflarının yorumlanması sonucu saptanabilmektedir. Çünkü erozyona uğrayan arazilerle çevresi arasında gri tonda belirgin zıtlıklar bulunmaktadır. Yüzey erozyonu ile ana materyale kadar ulaşan toprak profilinin aşındırılması yer yer açık gri - beyaz renk desenlerinden, parmak şeklindeki

doğal su yolları kendilerine özgü birbirine paralel hatlarla fotolarda görüntülenir. Erozyonun şiddet derecesini belirleyen doğal su yolları (drenaj sistemi) ise gri tondaki değişimlerin farklı olması sonucu sınıflandırılabilir. Bir havzada yüzey akış sularını taşıyan doğal su yollarının bir araya gelmesi sonucu oluşan doğal drenaj sistemleri, çeşitli yer şekillerini ortaya koymaktadır. Drenaj sistemleri ile ana kaya ve dolayısı ile toprak koşulları arasında yakın bir ilişki vardır (Dinç ve Şenol 1994).

Su toplama havzasında meydana gelen erozyonla oluşan sedimentin bir bölümü, havza içinde tutulur. Havza düzeyinde meydana gelen toplam erozyon yüzey, parmak, oyuntu, akarsu yatağı ve yol kenarlarından oluşan erozyon ile taşkın sularının sürüklediği toprak miktarının toplamına eşittir (Öztürk ve Okman 1987). USLE, RUSLE gibi eşitlikler yüzey ve parmak erozyon hesaplanmasında kullanılmakta iken, oyuntular (Gully), değişik eşitlikler ile veya hava fotoğraflarının karşılaştırılması ile belirlenmektedir.

Dymond ve Hicks (1986) dağlık havzalarda erozyon miktarını belirlemek amacıyla oluşturdukları metot çalışmasında; tarihsel hava fotoğraflarını kullanarak havzadaki birikim ve potansiyel erozyon alanları üzerindeki yükseklik değişimlerini araştırmışlardır. Metot için çalışma alanı olarak Yeni Zelanda'da Waipawa ırmak havzasındaki Ruahine otlak alanı belirlenmiştir. Bu çalışmada toplam erozyon miktarını ve erozyon sonucu sediment iletim oranını hesaplamışlardır. Ortalama sediment verimini $72000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{yıl}$ olarak belirlemişlerdir. Bunun için 1950 yılına ait 1:17500 ve 1981 yılına ait 1:12000 ölçekli hava fotoğraflarını kullanmışlardır. Bu fotoğraflardan elde edilen sayısal arazi modelleri kullanılarak, birikim ve potansiyel erozyon alanlarının değişimi toplanarak hacimsel değişimler belirlenmiştir. En kesitler olarak, aşınım alanlarındaki yükseklik değişimlerini grafik halinde ifade etmişlerdir.

Spomer ve Mahurin (1984) aralarında zaman farkı olan hava fotoğrafları yardımıyla büyük oyuntuları (4.95 - 6.6 m arasında) haritalamışlardır. Oyuntu alanlarının kontur haritaları başarılı bir şekilde üst üste getirilerek, oyuntu erozyonu, oyuntu başları ve vadi tabanları içindeki değişimler incelenmiştir. 1969, 1974 ve 1978 yılına ait hava fotoğrafları ve bunlar üzerine aktarılan (süperimpose tekniği ile) 15 - 21 m yükseklikten çekilen hava fotoğraflarından elde edilen 120 nokta kullanılmıştır. Grid aralığı 0.15 m aralığında alınmıştır. Herbir kesit noktasının çizimi, çıplak toprak yüzeyi üzerindeki etütler için istenilen $\pm 0.0165 \text{ m}$ doğrulukla başarılmıştır. Yüzey ve parmak erozyonu

aynı zamanda aynı doğrulukla elde edilmiştir. Net olarak 1969 ve 1978 yılları arasında 9 yıllık erozyon miktarı 291 t/ha ve yıllık olarak 32 t/ha erozyon miktarı hesaplanmıştır. 35.6 ha havzanın ortalama yıllık sediment verimi 14.4 t/ha kullanılarak ortalama sediment iletim oranının % 53'ü belirlenmiştir. USLE hesaplamaları ise, yıllık toprak kaybını 83 t/ha/yıl olarak belirlemiştir. Bu sediment iletim oranının % 21'ini oluşturmaktadır. Fotoğrametrik çalışmalardan elde edilen sediment iletim oranının % 53'ü ile USLE'nin verdiği sediment iletim oranları karşılaştırılarak USLE'nin tahmin miktarının gerçeğinden fazla olduğunu ve sediment iletim oranına ilişkin çalışmaların artırılması gereğini ortaya koymuşlardır.

Stephens et al. (1982) Yeni Zelanda'da New Brunswicht 'te yaptıkları çalışmalar ile, belirli zaman aralıklarına ait hava fotoğraflarının yorumlanması ile ürün yetiştirilen arazilerdeki erozyon üzerine toprak yönetim pratiklerindeki değişimin etkilerini izlemişlerdir. 1944, 1945 ve 1980 yılına ait hava fotoğraflarının incelenmesiyle elde edilen kronolojik arazi verileri USLE ile birlikte ele alınmış, toprak yönetimindeki değişimlerin etkisine göre düzenlenmeyen toprak koruma sistemlerinin, 1944–1945 yıllarında oluşan yıllık erozyon oranına göre 5.3 kat daha fazla erozyon oluşturduğu saptanmıştır. Toprak koruma önlemlerinin alındığı yerlerde ise, erozyon oranında 1.2 kat azalış olmuştur. Fotoğraflar, toprak yönetimindeki değişimlerin yaklaşık tarihleri ve doğasına ek olarak değişimin gerçek yerini de göstermektedir. Bu şekilde her parsel için ürün verimi ve erozyon oranı arasında bir ilişki kurulması mümkün olmuştur. Yönetim pratikleri çalışmanın yapıldığı yıllarda aynı, ancak geçmişte farklı olan parsellerde yapılan ölçümlerde patates veriminde % 16 oranında bir azalma tespit edilmiştir.

Cyr et al. (1991) toprağı koruyucu örtü değişimleri ve erosivitenin, fenolojik periyot süresince USLE gibi erozyon tahmin modellerinde önemli rol oynadığını belirlemek amacıyla *NDVI* - Normalize Fark Vejetasyon İndeksini kullanmışlardır. 1990 yılında Mayıs ve Ekim ayları arasında 4 m yükseklikten radyometrik ölçümler ve hava fotoğraflarının çekimi yapılmıştır. Bu ölçümler; yonca, mısır, arpa, soya ve yulaf bitkilerinde yapılmıştır. Erosivite değerleri kullanılarak *NDVI* ve örtü oranı arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Mısır bitkisi için örtü oranı 0.1 'den 0.7 'ye değiştiği, 160. ve 210. günler arasında erosivitenin en düşük riske sahip olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmanın örtü durumu ve erosivite arasındaki ilişkileri tanımlamaya ışık tuttuğunu,

NDVI gibi vejetasyon indekslerinin, verilen bir ürünün başlangıç aşamalarını spektral olarak görmeye izin verdiğini ifade etmişlerdir. Sonuçlar, farklı ürün davranışlarının daha yüksek erozyon riskleri ile uyuştuğunu göstermiştir.

Wildman (1984) hava fotoğraflarından rüzgar erozyonunu belirleme çalışmalarında, çekimlerin, toprak işlemelerinin bitirilmesinden sonra yapılması gerektiğini bildirmiştir. Bu fotoğraflarda, açık renkler kum hareketlerini ifade ederken, daha koyu renklerin ise kumların toprak yüzeyinde sürüklenmesini ifade ettiği açıklanmıştır. Toprak işlemenin bu farkı yok edeceği düşüncesi ile, fotoğraf çekiminin işleme zamanından sonra yapılması önerilmektedir.

Ritchie et al (1994) kanal ve oyuntu morfolojisini belirlemek amacıyla saniyede 4000 ölçüm yapan laser yükseklik ölçer kullanmışlardır. Lasermetre komşu arazi şekilleri ile ilişkili oyuntuları ve oyuntuların morfolojilerini, kesit verilerini çabuk ve doğru bir şekilde belirlediğini açıklamışlardır. Bu tür ölçümlerin yer çalışmaları ile de yapılmasına rağmen bir uçağa monte edilen laser altimetre kullanımının daha büyük yoğunluk ve detayda daha çabuk veri toplanmasına izin verdiğini ifade etmişlerdir.

Ritchie et al (1992) Kuzey Teksas' ta yaptıkları bir çalışmada ise hidroloji ve erozyonla ilgili yüzey parametrelerini laser profili ile ölçerek; topoğrafya, kanopi yüksekliği, doğal vejetasyon dağılımını belirlemiştir. Maryland Bestville Tarımsal Araştırma Merkezi'nde yaptıkları çalışmada; nadas bir tarladaki küçük gali erozyon ölçümler için uçağa monte edilen lasermetre ile 200-100 m yükseklikten veri alarak galilerin 50-80 cm genişliğinde ve 20-390 cm derinliğinde olduğunu ölçmüşlerdir

Williams ve Morgan (1976) hava fotoğraflarının, toprak erozyon zararlarını değerlendirmede ve haritalamasında önemli bir yer teşkil ettiğini, yer çalışmalarına kıyasla etüt maliyetlerini azalttığı gibi haritalama çalışma zamanını da azalttığını bildirmiş ancak, bütün bunlara rağmen erozyon haritalama çalışmalarında bir standart yöntemin bulunmadığına işaret etmişlerdir.

Morgan ve Nalepa (1982) Teksas - Johnson bölgesinde Quil Miller deresi havzasında erozyon alanlarında problemleri tanımlamak amacıyla arazi bilgi sistemleri ve USLE denklemi ile birlikte renkli infrared hava fotoğraflarının yorumunu kullanmışlardır.

Çalışma yöntemi; arazi kullanımı, foto yorumu, USLE faktörlerini belirleme ve bilgisayarda oluşturulan haritalarda bilgilerin gösterilmesinden oluşturulmuş ve veri toplamayı organize etmek için 0.0625 km² grid aralıkları oluşturulmuştur. 1980 yılına ait 1:40000 ölçekli renkli infrared hava fotoğrafı alınmış, C ve P faktörleri bu görüntüden elde edilmiştir. Geniş alanlarda erozyon çalışmalarında renkli infrared hava fotoğraflarının daha doğru sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Welch et al. (1984) gali ve kanal erozyonunun belirlenmesinin gelişmiş ölçüm prosedürlerini gerektirdiğini, yaptıkları bir çalışma ile, nispeten düşük maliyetli 35 mm veya 70 mm kameralar kullanan yakın aralıklı fotoğrametri teknikleri, kolay sayısallaştırma ekipmanları ve analitik bilgisayar metotlarının, arazinin X, Y, Z koordinatlarını birkaç cm'lik alan içinde doğru olarak belirleyebilme imkanı verdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, sayısal arazi modelleri ile erozyonun belirlenebileceğini ve bu metodun teras yapımında, küçük çiftlik göletlerinin değerlendirmesinde ve erozyon tahmin modelleri için gerekli verilerin sağlanmasında kullanılabileceğini açıklamışlardır. Yaptıkları bu çalışmada, Georgia'da Watkinsville'ye yakın ölçüm istasyonu bulunan akım kanalında, 9.5 m yükseklikten sağnak yağıştan önce ve sonra olmak üzere iki fotoğraf çekmişlerdir. Bu fotoğraflardan elde edilen yükseklik noktalarını (1.5 mm doğrulukta) Harvard'ın SYMVU programı ve Calcomp'un 3-D programında kullanarak 0.25 cm grid aralığı bulunan sayısal arazi modellerini oluşturmuşlardır. Bu arazi modellerinin farkından 8 Ağustos 1980 ve 23 Eylül 1980 tarihleri arasındaki yüzey değişimlerini belirlemişlerdir.

De Rose et al. (1997) Yeni Zelenda'da Waipaoa nehri havzasında, yaklaşık 4 km² alan içinde kalan 11 gali tarafından 19.5 ve 33.2 yıl boyunca üretilen sedimentin miktarını belirlemek amacıyla, sayısal arazi modelleri kullanmışlardır. Çalışma alanı içinde kalan tüm galilerden sediment üretimi 1939-1958 yılları arasında 2480 t/ha/yıl olarak belirlenmiş olup, 1960 yıllarında başlayan ağaçlandırma çalışmaları ile daha küçük galilerin stabil hale geldiğini, galilerden sediment üretiminin, 1958 ve 1992 yılları arasında 1550 t/ha/yıl olduğunu hesaplamışlardır. Sayısal arazi modelleri için 1:12000, 1:18000 ve 1:15000 ölçekli hava fotoğrafları kullanılmıştır.

Palacio ve Blanco (1994) toprak erozyonunu izlemede uzaktan algılama tekniklerine alternatif olarak, video görüntüleri kullanılmak suretiyle Meksika'da erozyona uğramış

alanlardan temsili bir alan seçerek oyuntu büyüme sürecini incelemiştir. Bunun için bir video kamera 3 m³ kapasiteli helyum ile dolu bir balon içine yerleştirilmiş olan bir platform kullanmışlardır. Ağustos 1991 ve Aralık 1992 tarihleri arasında 5 set görüntü alınmıştır. Kontrol noktaları daha önceki çalışmalardan elde edilmiştir. Görüntüler 200 m yükseklikten 6500 m² 'lik bir alan için alınmıştır. Çalışma alanı içinde iki oyuntu belirlenmiş ve G1 ve G2 olarak izlemeler yapılmıştır. G1 alanında 18 ay boyunca erozyonla kaybolan alanın 1 m² ve G2 alanında ise yaklaşık 4 m² olduğu belirlenmiştir.

Cezayir'de Oued havzasında sedimentin kaynaklarını belirlemek amacıyla, Marl'ların erozyona hassasiyetini tesbit etmek için yapılan bir çalışmada, erozyon parsellerinden deneysel ölçümlerin galiler arasında düşük sediment miktarına işaret ettiği ifade edilmiştir. Sedimentin ana kaynağının galiler olduğunu ve küçük havzalar dikkate alındığında, çoklu değişim analizi ile gali gelişimi üzerine belirleyici rolü olan; marl tipi, eğim, yöney, arazi kullanımı ve galilerin yan duvarlarının morfolojisini ortaya koymuştur. Gali gelişimine etki eden faktörleri belirlemek için eğim, arazi kullanımı ve marl tipini gösteren 1:5000'lik haritalar kullanılmıştır. Yarıntının yönü ve gali yatağındaki bitki örtüsü için de arazi gözlemleri yapmışlardır. CBS ve UA teknikleri yardımıyla yürüttükleri bu çalışmada 5 tip gali belirlemişlerdir (Kouri et al 1998).

Yunanistan'ın merkezinde Thessaly ovasının doğusunda, Pinios ırmak havzasının küçük bir bölümünde gözlemler ve arazi ölçümleri ile erozyonu belirlemek; yoğun erozyon alanlarını haritalamak, esas bitki örtüsünü sınıflandırmak amacıyla yapılan bir çalışmada; 1992 yılına ait pankromatik hava fotoğrafları, Landsat 5-TM verileri ve 1986 yılına ait Landsat 5-TM (1, 2, 3, 4, 5, 6) bantları kullanılmıştır. Bu çalışmada esas erozyon faktörleri olarak arazi kullanımı ve tarımsal pratikler, arazi eğimi, sel gibi sağnak yağışlar ve sulama metotları alınmıştır. Histogram uzatma yönteminin, erozyon alanlarını belirlemede iyi sonuçlar verdiğini, arazi gözlemleri ile 75 t/ha/yıl erozyon tahmin edilirken, denemeler ve ölçümler sonucu miktarın 166.33 t/ha/yıl olduğu ortaya konmuştur. Maximum benzerlik sınıflama tekniği ile arazinin bitki örtüsü, eğim ve erozyon alanları % 83.94 oranında oldukça başarılı sonuçlar vermiştir (Floras ve Sgouras 1999).

Avusturalya'da Queensland Üniversitesi tarafından yapılan bir çalışmada; Avusturalya için modifiye edilen RUSLE programı (SOILOSS) kullanılarak yüzey ve parmak

erozyon indeksi ve bunların toprak fosforu ile kombine edilmesi ile oluşturulan, fosfor hareketi indeksi ArcInfo ve Erin yazılımları ile elde edilmiştir. Yüzey ve parmak erozyonu indeksi ve bir veri tabakası elde etmek amacıyla çalışılan alan, ızgaralara bölünerek, her bir ızgara içinde RUSLE yaklaşımı kullanılmıştır. Her ızgara içinde yüzey ve parmak erozyonu, indeks değeri düşük (<1 t/ha/yıl), orta (1-10 t/ha/yıl) ve yüksek (>10 t/ha/yıl) olarak sınıflandırılarak erozyon durumu haritalanmıştır (Rosewell 1997).

Güneybatı Çin’de Guizhou Karst platosu civarında 81 km^2 çalışma alanı içinde, RUSLE modeli CBS içinde kullanılarak, potansiyel ve gerçek erozyon risk alanları t/birim alan/yıl olarak haritalanmıştır. Gerçek ve potansiyel erozyon risk haritaları karşılaştırılarak uygulanan erozyon önlemlerinin ne kadar etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Teras inşaatları ve ağaçlandırma çalışmaları ile, toprak kaybında önemli miktarda azalma tespit etmişlerdir (Camp ve De Wulf 1998).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma Alanının Tanımı

Araştırma alanı yaklaşık olarak 1000 ha olup, Çubuk1 baraj gölü ve etrafında kalan alandır. Çalışma alanı Ankara'nın kuzeyinde, kuzey güney yönünde uzanmaktadır. Ovaya adını veren Çubuk ilçesinin Ankara'ya uzaklığı 40 km'dir. Bölge kuzeyden Aydos, güneyden Asar ve Meşelik, Kuşçu ve Etlik dağları ile çevrili olup; 32° 68' - 32° 88' batı boylamları ile 40° 00' - 40° 03' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Ovayı kuzeyden güneye kat eden Çubuk çayı 70 km uzunlukta olup, Aydos dağlarından iki kol halinde çıkmaktadır. Sırasıyla Kuyunözü (Sünlü), Azman, Karapınar, Kızılhisar, Bellihisar dereleri ile Çubuk1 barajını oluşturduktan sonra, Keçiören (Hacıkadın) deresini alarak Akköprü mevkisinde İncesu deresi ve Hatip çayı ile birleşir. Bu üç akarsu Akköprü'de birleştikten sonra Ankara Çayı adını alır (Çinkaya 1993).

3.1.2. Çalışmada Kullanılan Materyaller

Bu çalışmada, çalışma alanına ilişkin olarak Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü'nden ve ASKİ Genel Müdürlüğü'nden temin edilen, 1969 yılına ait 1:21000 ve 1995 yılına ait 1:4000 ölçekli hava fotoğraflarından, bu fotoğrafların fotogrametrik yöntemlerle sayısallaştırılması ile elde edilen yükseklik verilerinden, fotoğraflara ait nirengi bilgileri ve kamera kalibrasyon bilgilerinden, uydu görüntülerinden, jeoloji, topoğrafik ve toprak haritalarından ve diğer kuruluşların konu ile ilgili yaptıkları çalışmalardan yararlanılmıştır. Proje, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü'ndeki CBS ve UA laboratuvarında ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şube Müdürlüğü'ne bağlı, Toprak ve Su Kaynakları Ulusal Bilgi Merkezi'nde bulunan coğrafi bilgi sistemleri yazılım ve donanımları kullanılarak yürütülmüştür. Çalışmada, TNTmips 6.2, Intergraph MicroStation 95, ArcInfo 7.2.1, Erdas Imagine 8.1 ve ArcView 3.1 yazılımları kullanılmıştır.

Hava fotoğraflarının sayısallaştırılmasında kullanılan altlık materyaller ise aşağıda verilmiştir:

-

20

3.2. Yöntem

Çalışmada, sayısallaştırılan hava fotoğraflarından elde edilen yükseklik verileri kullanılarak elde edilen sayısal arazi modelleri, altlık olarak kullanılmıştır. Altlıklar üzerinde en-kesit alma, hacim analizi ile erozyon belirleme işlemlerinin yapılması, çalışmanın yöntemini oluşturmaktadır (Welch et al. 1984, Dymond et al. 1986). Yönteme ilişkin çalışmanın işlem adımları Şekil 3.2. 'de verilmiştir.

3.2.1. Hava Fotoğraflarının Sayısallaştırılması

MicroStation 95 yazılımı kullanılarak fotoğrametrik yöntemlerle sayısallaştırılan veriler nokta, çizgi, çokgen şeklinde olup; araziye temsil eden yükseklik (elevation) verileri yanında göl ve tarla sınırları, yollar, köprü, menfez, orman sınırı, şevler, kuru dere yatakları gibi veriler de sayısal olarak hazırlanmıştır. Sayısallaştırma işleminde aşağıdaki aşamalar izlenmiştir;

- Hava fotoğraflarının tarama (scanning) işlemi ile sayısal ortama aktarılması,
- Sayısal ortama aktarılan hava fotoğrafları üzerinden Havai Nirengi ölçümü yapılması,
- Havai nirengi dengelemesi,
- Sayısallaştırma ve SAM noktası toplanması.

3.2.1.1. Tarama

Fotoğrametrik blok oluşumuna göre seçilen diapositifler, tarama işlemi ile sayısal ortama aktarılmıştır. 1:21000 ölçekli hava fotoğrafları 14 mikron, 1:4000 ölçekli hava fotoğrafları ise 21 mikron olarak taranmış ve Intergraph JPEG formatında saklanmıştır. 14 mikron 18x18 cm'lik fotoğraf, min 58, max 69 MB, 21 mikron 23x23 cm'lik fotoğraf, min 64, max 86 MB yer kaplamaktadır.

3.2.1.2. Havai Nirengi Ölçümü

Havai nirengi ölçümü, ekranda 6 fotoğraf (bindirmeli iki kolon halinde) ile ve her fotoğrafın ortasına en az 5 nokta gelecek şekilde yapılmıştır (fotoğrafa en az 16 ve

modele en az 11 nokta düşmüştür). Altı adet fotoğrafın bir arada ölçümü ve nokta sayısının çokluğu, elde edilecek hassasiyeti olumlu yönde artırmıştır.

3.2.1.3. Dengeleme

Nirengi noktalarına göre sayısal yükseklik noktalarının dengeleme istatistikleri ve sonuçları aşağıdaki gibidir.

1:21000 ölçekli hava fotoğraflarının sayısı 14 adet, 1:4000 ölçekli hava fotoğraflarının sayısı 130 adettir.

Çizelge 3.1. 1:21000 Ölçekli Fotoğraflara Ait Dengeleme Verileri

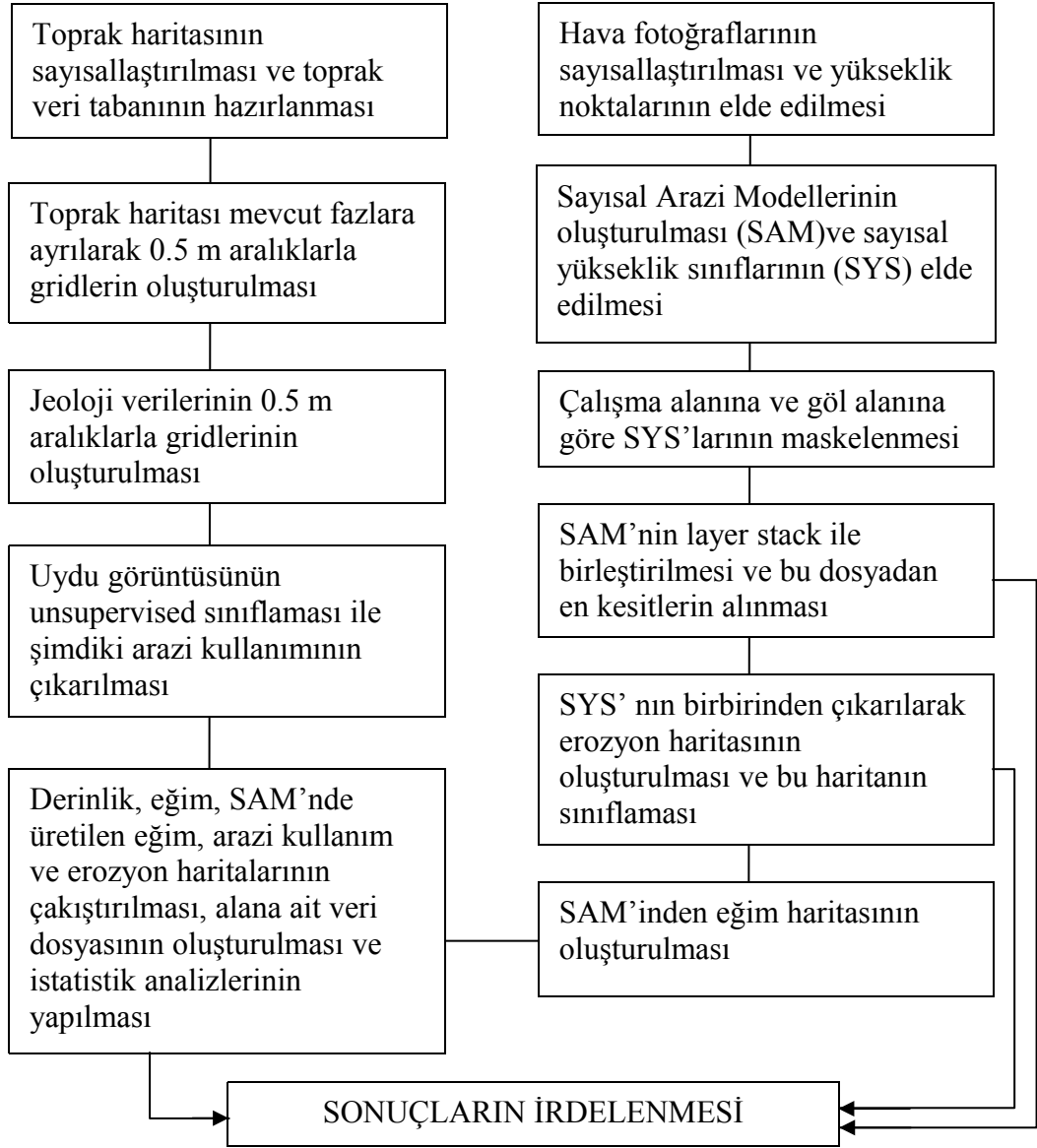
Parametreler	X	Y	Z
Hata Sınırı	0.200	0.200	0.300
Ortalama Standart Sapma	0.136	0.147	0.222

Çizelge 3.2. 1:4000 Ölçekli Fotoğraflara Ait Dengeleme Verileri

Parametreler	X	Y	Z
Hata Sınırı	0.075	0.075	0.100
Ortalama Standart Sapma	0.020	0.023	0.091

MEVCUT VERİLERİN TOPLANMASI

- Jeolojik harita 1:25000 (sayısal olarak)
- Toprak haritası 1:25000
- Topoğrafik harita 1:25000
- Hava fotoğrafları (1:21000 - 1:4000)
- Uydu görüntüleri Landsat - 7 TM



Şekil 3.2. Modelin İşlem Adımları

3.2.2. Sayısal Arazi Modellerinin ve Erozyon Haritasının Hazırlanması

Sayısal arazi modelleri, ArcView 3D modülü kullanılarak IDW yöntemi ile 0.5 m grid aralığında hazırlanmıştır. Sayısal arazi modelinden oluşturulan sayısal yükseklik sınıfları ArcInfo programına aktarılmış ve 1969 yılına ait veri setinden 1995 yılı verileri çıkarılarak erozyondan dolayı arazi yüzeyinde meydana gelen değişimi gösteren harita

elde edilmiştir. Bu haritada yer alan yükseklik değışim değeri, grid alanı ve hacim ağırlığı ile çarpılmak suretiyle aşınım alanlarından kaybolan ve birikim alanlarına taşınan toprak miktarları t/ha olarak bulunmuştur. Bu harita üzerinde çeşitli sınıflamalar yapılarak aşınım ve birikim alanları irdelenmiştir.

Elde edilen sayısal arazi modelleri, Erdas Imagine 8.1 yazılımına aktararak, üst üste çakıştırılmıştır. Arazinin değışik bölümlerinden en kesit alma tekniğı ile kesitler alınmış ve bu kesitlere ait veriler MS Excel yazılımı kullanılarak arazi yüzeyindeki değışimler grafik olarak elde edilmiştir.

3.2.3. Toprak Haritasının Hazırlanması

Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'ne ait 1:25000 ölçekli toprak haritası sayısallaştırma masası kullanarak sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılan toprak haritası, çalışma alanına göre maskelenmiş ve elde edilen yeni haritadan veri tabanında yer alan öz nitelik bilgilerine göre tematik haritalar üretilmiştir. Elde edilen tematik haritalar, ArcView yazılımı ve IDW yöntemi kullanılarak 0.5 m aralıkla gridlere ayrılmıştır.

3.2.4. Jeoloji Haritasının Hazırlanması

MTA Genel Müdürlüğü'nden sayısal olarak alınan jeoloji haritası, ArcView yazılımı ve IDW yöntemi kullanılarak 0.5 m aralıkla gridlere ayrılmıştır.

3.2.5. Şimdiki Arazi Kullanımı Haritasının Hazırlanması

Çalışma alanına ait Landsat 7 - TM uydu görüntüsü kullanılarak TNTmips 6.2 yazılımı içinde unsupervised sınıflama yapılmıştır.

3.2.6. İstatistik Analizleri

Erozyona etki eden parametreleri belirlemek amacıyla aşınım değeri ile toprak haritasından elde edilen katmanlardan AKK, derinlik, eğim ve TIN modelinden üretilen eğim katmanı arasında istatistik analizleri yapılmıştır. Arcinfo ortamında sadece aşınım alanlarına ait bu katman değeri örneklenerek istatistik veri dosyası oluşturulmuştur.

Erozyon değerleri ile yukarıda belirtilen her bir katmanın ayrı ayrı analizi yapılmıştır. Yapılan bu analizler ortalama, standart sapma ve varyans analizleri (Yurtsever, 1984) gibi istatistik analizler olup, bu analizler SPSS 8.0 yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Sayısal Arazi Modelleri

Sayısal arazi modelleri, bilgisayar ortamında yer yüzü yükseklik değerlerini içeren işlenebilir veri dosyaları olup, uzaktan algılama çalışmalarında en az uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları kadar önem taşımaktadır. Özellikle topoğrafik veri ihtiyacı duyulan yerbilimlerine yönelik uygulamalarda ayrı bir yere sahiptir. Sayısal arazi modelleri, uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları üzerinden görüntü işleme teknikleri kullanılarak oluşturulabildikleri gibi, genellikle eşyüksekti eğrilerinin sayısallaştırılması ile üretilirler. Yerbilimlerinin farklı disiplinlerinde yürütülen birbirinden farklı çalışmalarda kullanılan sayısal arazi modellerinin üretim ölçekleri ve çözümlemeleri de birbirinden farklıdır (Köse vd 1997).

Yüzeyler, coğrafi bilgi sistemi içinde önemli tematik katman özelliğine sahiptirler. Kullanım alanları çok fazla olan yüzey modelleri hacim hesaplarında, eş yükselti eğrilerinin hazırlanmasında, arazilerin kabartma haritalarının hazırlanmasında, arazi yüzeylerinin üç boyutlu görüntülenmesinde kullanılmaktadır. Gerçek arazi yüzeyleri çok fazla değişken görünümünde olduğu için, onları tanımlamada bütün lokasyonlarını kaydedebilmek mümkün değildir. Bu yüzden mümkün olduğu kadar çok sayıda noktadan alınan örneklerin değerleri, matematiksel yaklaşımlar ve interpolasyon yöntemleri kullanılarak tahmin edilmektedir.

Sayısal arazi modelleri iki tip modelden oluşmaktadır. GRID ve TIN olarak adlandırılan bu modellerden grid modeller, ızgara ağı şeklinde yüzeyi temsil ederler. Bilinen iki nokta arasındaki diğer noktalar ne kadar küçük mesafeye göre gridlenirse o kadar fazla detayı yansıtmaya özelliğine sahiptir. Düzensiz üçgenler ağı olarak tanımlanan TIN – “Triangulated Irregular Networks” modeli, mevcut verileri kullanarak yüzeyi temsil etmektedir. Herhangi bir yerdeki yüzey değeri, komşu üçgenlerden en yakın olanlara öncelik verilerek nodlarının ortalaması alınmak suretiyle belirlenebilmektedir. TIN çözünürlüğü, basit yüzeylerde az detaylı ve kompleks yüzeylerde daha fazla detaylı olabilir. Kaynak verinin koordinatları işlem sırasında korunmakta olup, ileri adımlarda yapılacak analizlerde, herhangi bir bilgi kaybı olmadan kaynak verinin kullanılmasına olanak sağlanmaktadır. TIN kullanmanın avantajlı yönleri olduğu gibi, kaliteli kaynak

verisine ihtiyaç duyulması, veri işlemenin maliyetli olması gibi olumsuz yönleri de bulunmaktadır.

Bu çalışmada, 1969 yılına ait 1:21000 ve 1995 yılına ait 1:4000 ölçekli hava fotoğraflarının fotogrametrik yöntemlerle sayısallaştırılması ile elde edilen sayısal yükseklik nokta verileri kullanılarak, 50 cm grid aralığında sayısal arazi modellerinden grid modeller oluşturulmuştur. Grid modeller ArcView 3D modülü kullanılarak hazırlanmıştır. Modellemede kullanılan sayısal yükseklik noktaları Şekil 4.1. ve 4.2.'de verilmiştir. Bu sayısal arazi modelinden üretilen sayısal yükselti sınıfları ise Şekil 4.3. ve 4.4. 'te verilmiştir. Program interpolasyon tekniği olarak IDW yöntemini kullandığı için gridleme de bu yöntem ile yapılmıştır. Yükseklik noktalarına ek olarak, çalışma alanına ait 1969 ve 1995 yılları için yol, göl alanı, köprü ve menfez, orman sınırları, dere yatakları ve şevleri gösteren veriler de sayısallaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.5. ve 4.6. 'da verilmiştir.

Dymond ve Hicks (1986), 1:17500 ve 1:21000 ölçekli hava fotoğraflarını kullanarak erozyonu hacimsel olarak tesbit etmişlerdir. Çalışmalarında grid aralığını 4 m'ye ayarlamışlardır.

Kouri et al.(1998), 1:5000 ölçekli hava fotoğraflarından elde edilen veriler ile erozyonu kantitatif olarak tesbit etmişlerdir.

Spomer ve Mahurin (1984), 0.15 m kontur aralığına sahip eş yükselti verileri ile modelleme yaparak aşınım ve birikim noktalarını ölçmüşlerdir.

Thomas et al. (1986), erozyon hacmini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, 1:240 ve 1:360 ölçekli hava fotoğraflarını (bir yıl içinde üç ayrı dönemde çekilen) kullanmışlar ve arazi yüzeyinin tam olarak temsil edilmesi için grid aralığının 0.3 ile 1 m arasında olması gerektiğini vurgulamışlardır.

Welch et al. (1984), laboratuvar koşullarında yaptıkları çalışmada 0.25 m grid aralığı değerini kullanmışlardır.

IDW – “Inverse Distance Weighted” interpolasyon yöntemi, her bir girdi noktasının yerel etkiye sahip olduğunu ve bu etkinin mesafe ile azaldığını esas alan bir yöntemdir.

Noktaları, işlem yapılan ve daha uzaktakine göre daha büyük değere sahip en yakın noktaya göre değerlendirmektedir. Her lokasyon için, belirli sayıdaki nokta veya belirli bir alan içinde kalan bütün noktalar, çıktı değerini belirlemede kullanılmaktadır. Yöntem, haritalanan değişkenin etkisinin, mesafe ile azaldığını kabul etmektedir. İnterpolasyon tekniklerinde daha fazla girdi noktası, daha güvenilir sonuçlar sunmaktadır. Diğer interpolasyon tekniklerinden bazıları Spline, Kriging ve Polinomial Trend yöntemleridir.

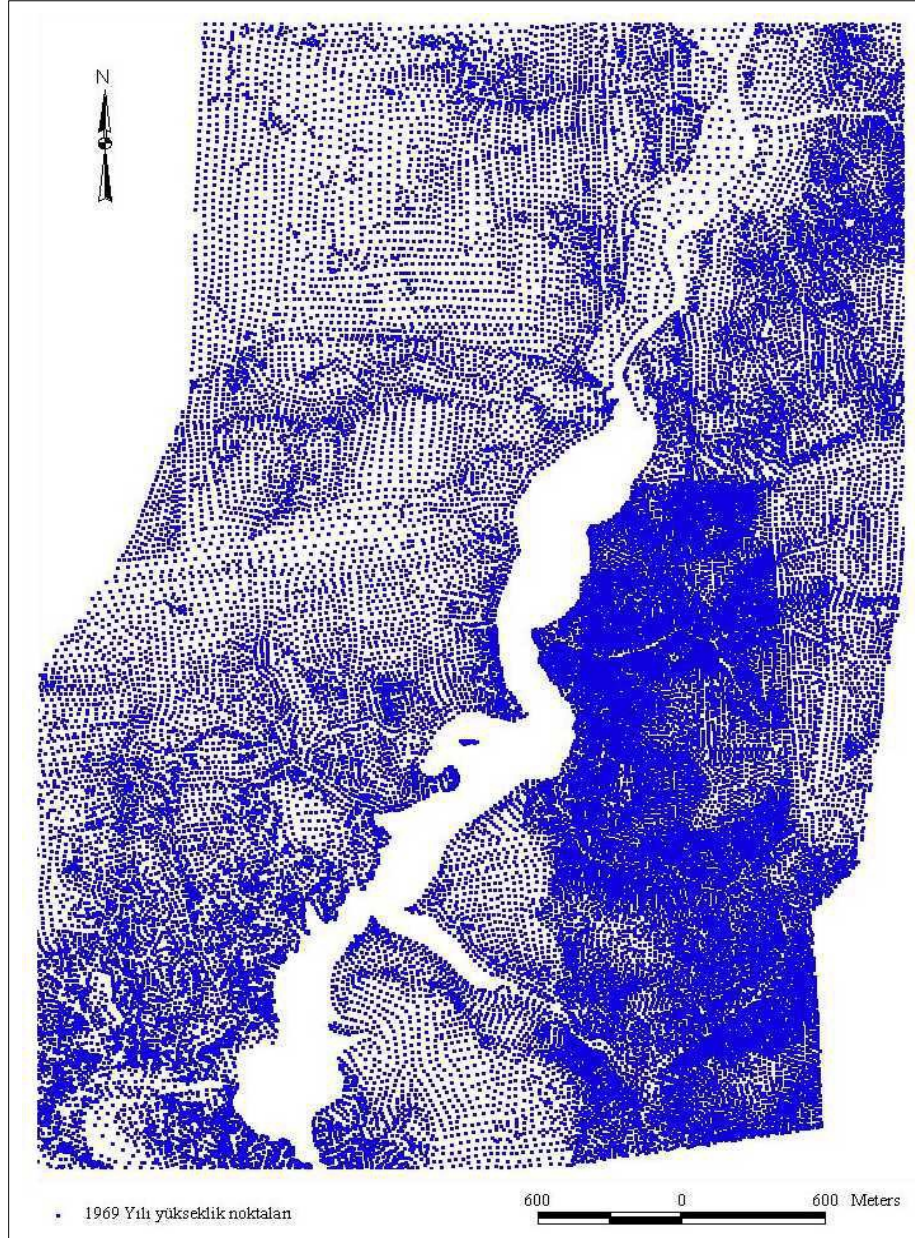
Yukarıda belirtilen yükseklik nokta verileri tam olarak bir dörtgen alanı temsil etmemektedir. Model oluşumunda program, veriler için interpolasyon yaparken, belirli sayıdaki matrise tamamlama özelliğine sahiptir. Bu yüzden, nokta verilerinin dışına taşan ve gerçek nokta verilerinin kapladığı alandan daha fazla alan, program tarafından oluşturulmuştur. İki farklı tarih için alanlar, aynı olmak üzere yeniden çalışma alanı sınırları belirlenmiş ve bu alan dikkate alınarak her iki sayısal arazi modeli ve bunlardan üretilen eşyükseklik sınıflarına ait haritalar maskelenmiştir. Göl alanında sediment birikiminden dolayı meydana gelen değişimin farklı bir araştırma konusunu içermesi nedeniyle ve sadece 1969 yılına ait göl sınırı dikkate alınarak, göl verisi de maskelenmiştir. Maskelenmiş sayısal yükseklik sınıfları Şekil. 4.7. ve 4.8. 'te verilmiştir. 1969 yılına ait olan sayısal yükseklik değerleri 877 m ile 1117 m arasında değişmektedir. 1995 yılına ait olan sayısal eşyüksekti sınıfları ise 884 m ve 1120 m arasında değişmektedir.

4.2. Erozyon Hesaplamaları

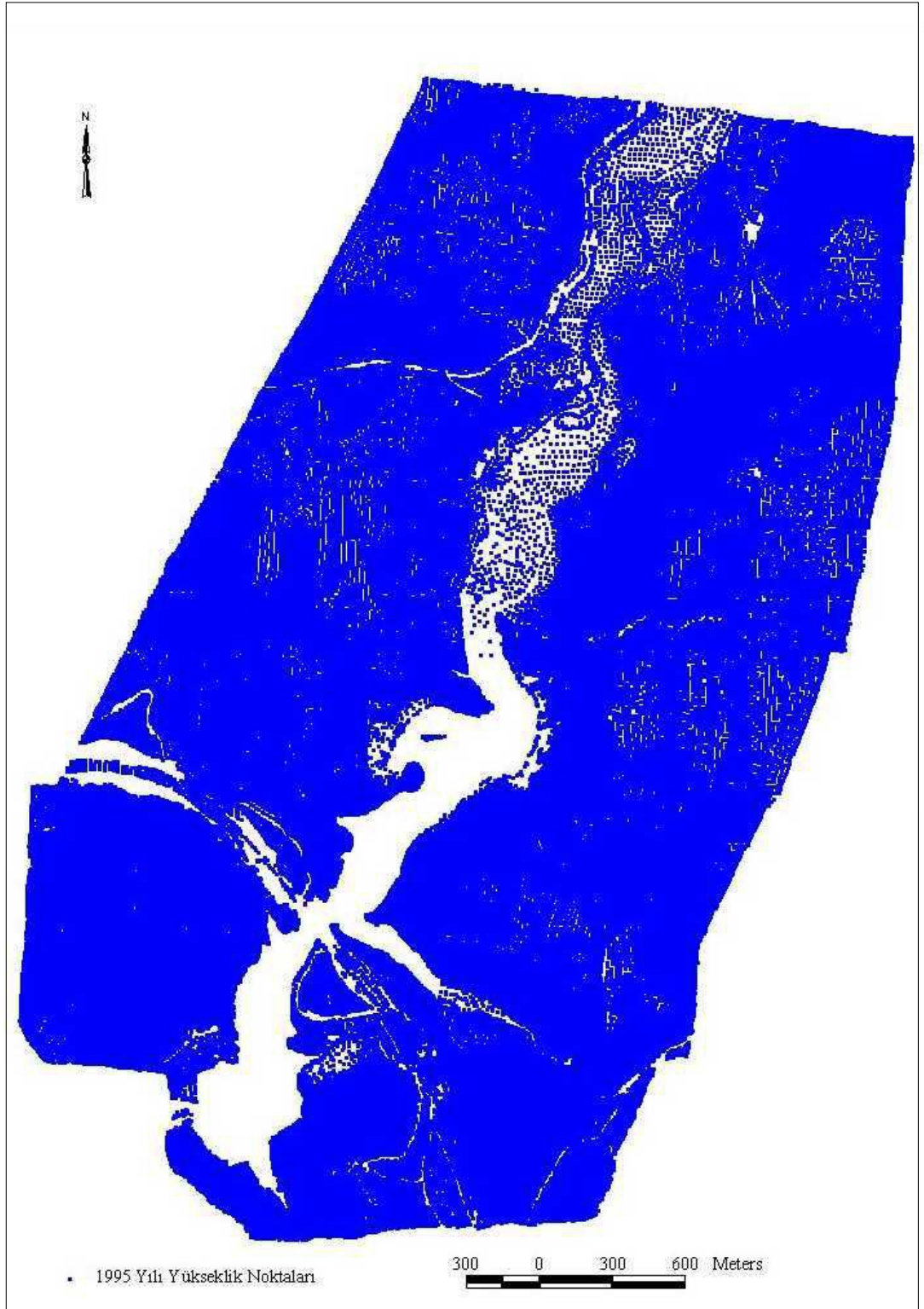
İki farklı tarihe ait sayısal eşyüksekti sınıfları, ArcInfo programına aktarılarak farkları alınmıştır. Elde edilen yeni harita (Şekil 4.9.), erozyondan dolayı meydana gelen yıllar arasındaki değişimi ifade etmektedir. Oluşturulan bu haritada elde edilen piksellerin pozitif ve negatif değerlerine ve ayrıca değişmeyen alanlarına göre sınıflama yapılmış ve sonuçlar Şekil 4.10. 'da verilmiştir.

Piksellerdeki pozitif değerler aşınımı ifade ederken negatif değerler birikimi ifade etmektedir. Bu haritada aşınımın 1 cm ile 60 cm arasında değiştiği, birikimin ise, 1 cm ile 99 cm arasında olduğu belirlenmiştir.

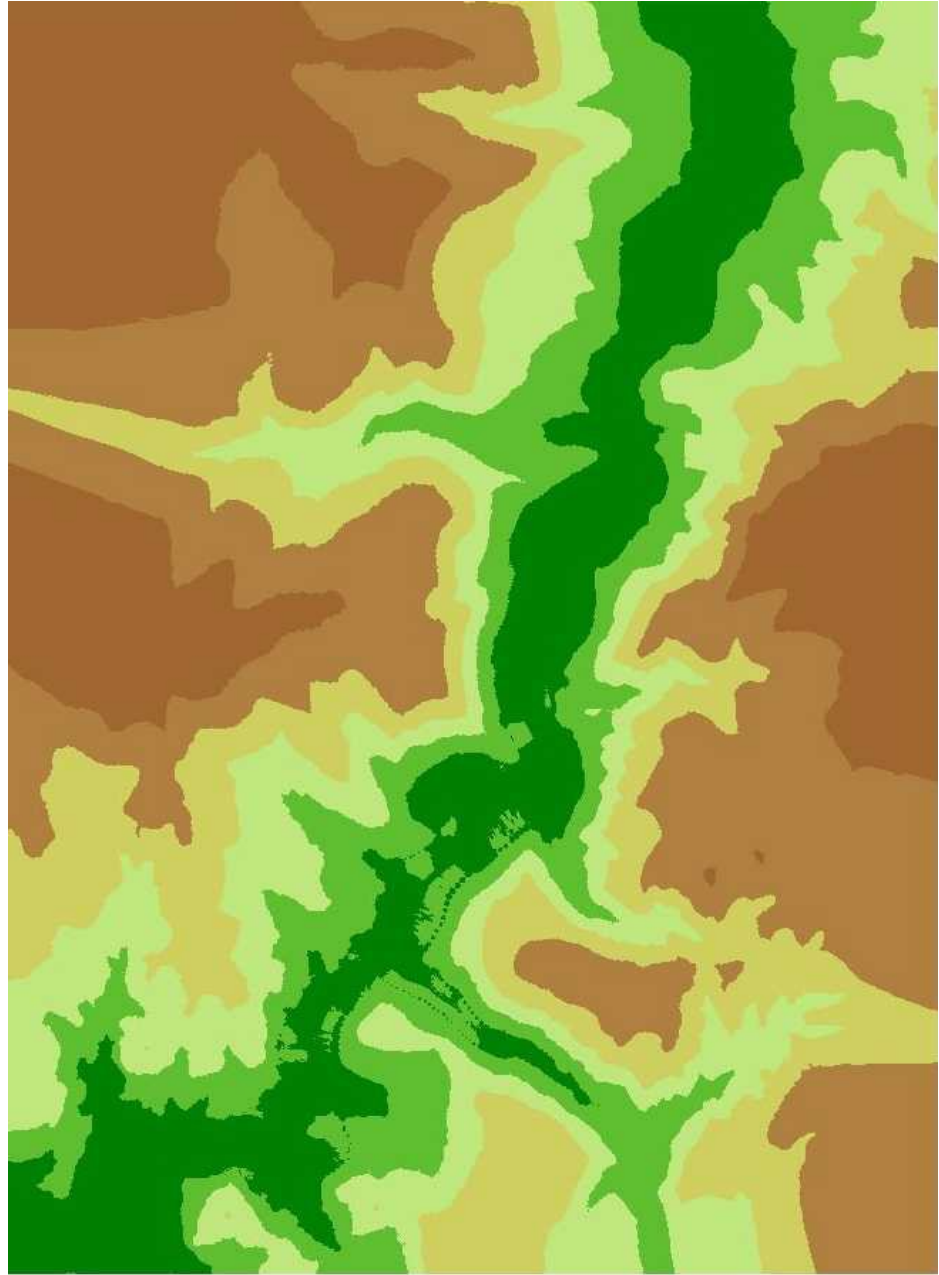
Pozitif değerler daha çok eğimin fazla olduğu noktalarda, şevlerde, kuru dere yataklarında ve oyuntularda elde edilmiştir. Bu alanlarda yer yer birikim noktalarının da olduğu, özellikle arazinin yukarı kesimlerinde ve ağaçlandırma yapılan bölgelerde birikimin aşınımdan daha fazla olduğu tesbit edilmiştir. Çalışma alanının yukarı kesimlerinde bulunan tarım arazilerinde genel anlamda değişimin olmadığı gözlenmiştir.



şekil 4.1. Sayısal Yükseklik Noktaları (1969)



Şekil 4.2. Sayısal Yükseklik Noktaları (1995)



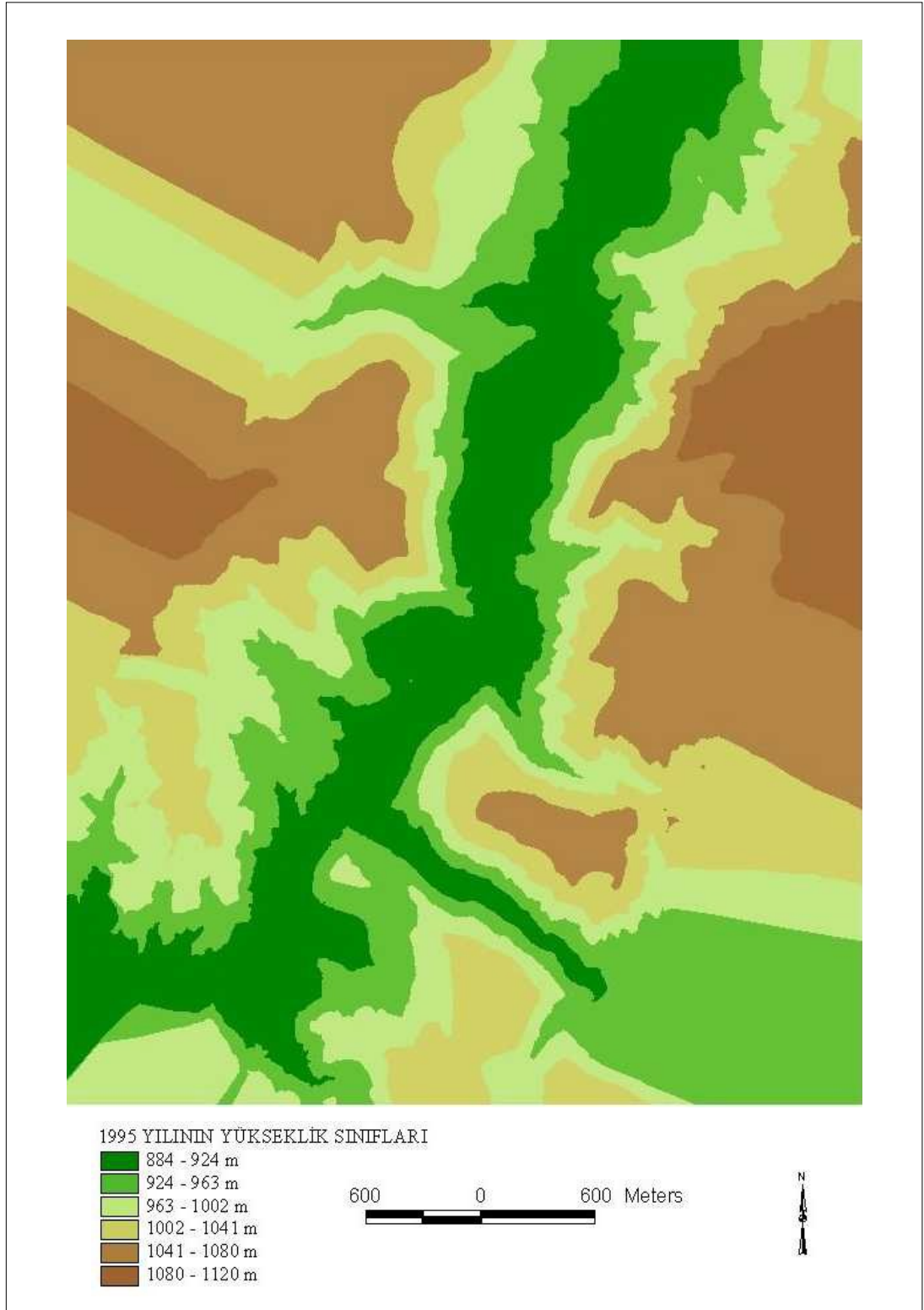
1969 YILINA AIT YUKSEKLİK SINIFLARI

877 - 917 m
917 - 957 m
957 - 997 m
997 - 1037 m
1037 - 1077 m
1077 - 1117 m

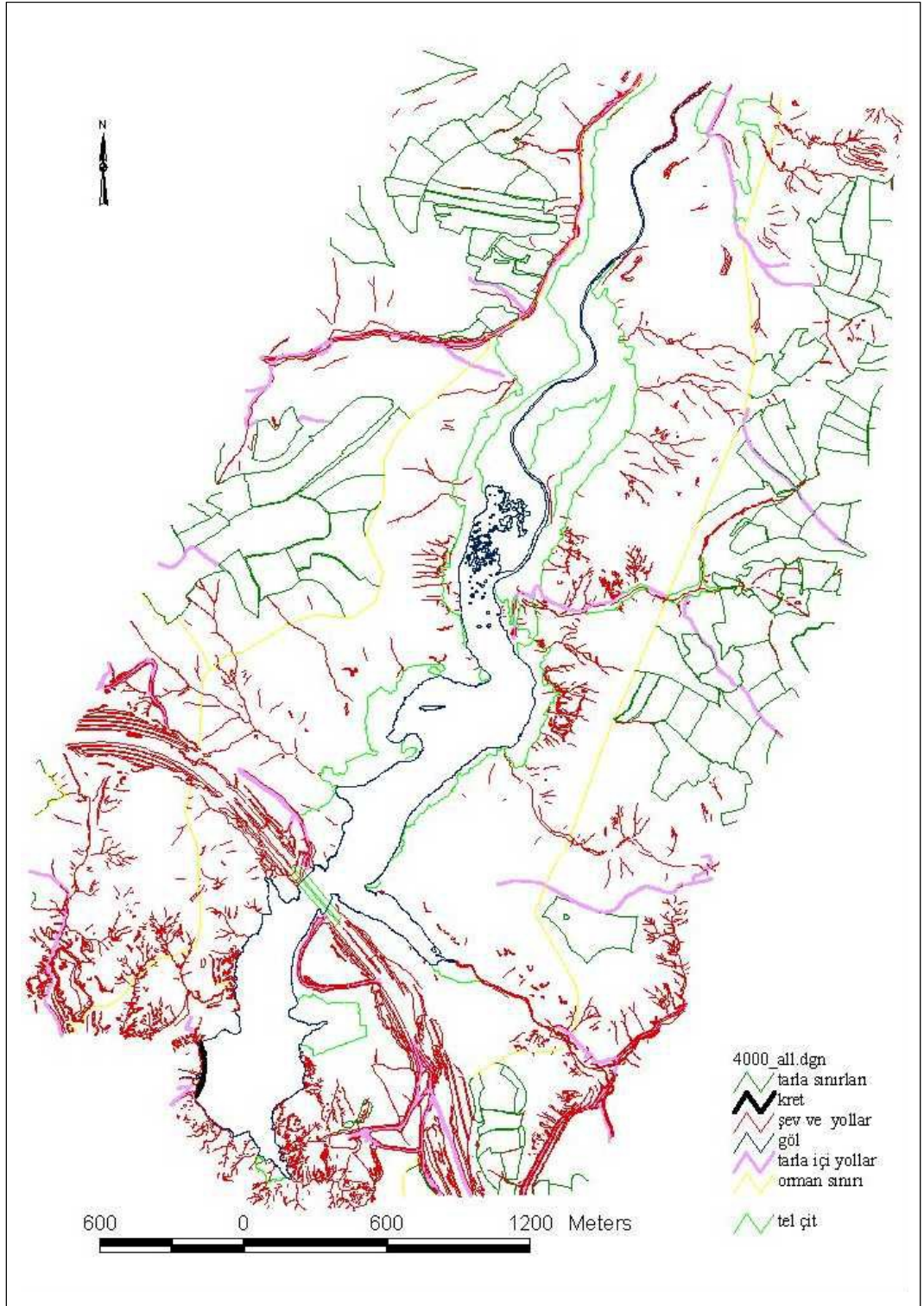
600 0 600 Meters



Şekil 4.3. Sayısal Arazi Modelinden Üretilen Sayısal Yükseklik Sınıfları (1969)

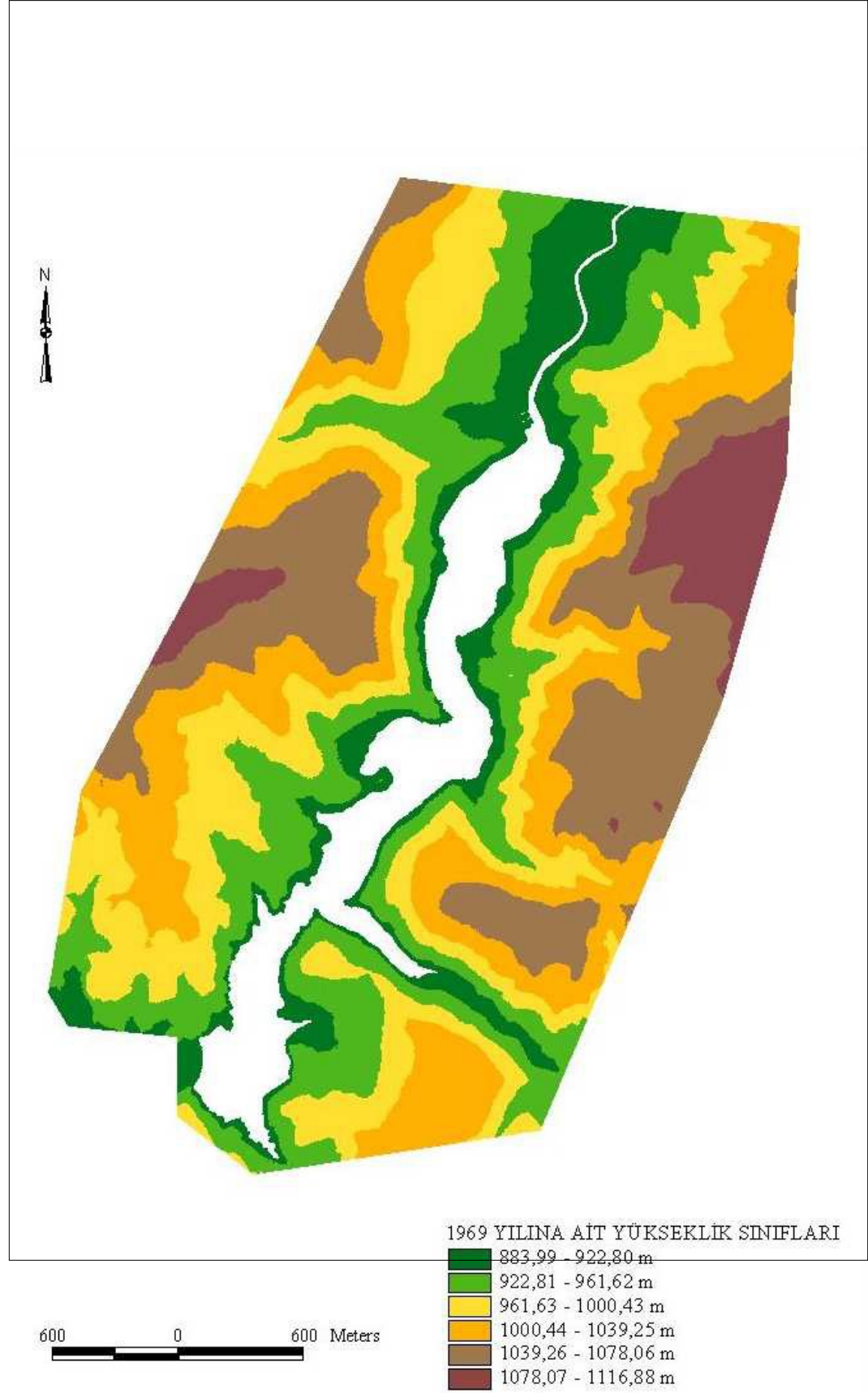


Şekil 4.4. Sayısal Arazi Modelinden Üretilen Sayısal Yükseklik Sınıfları (1995)

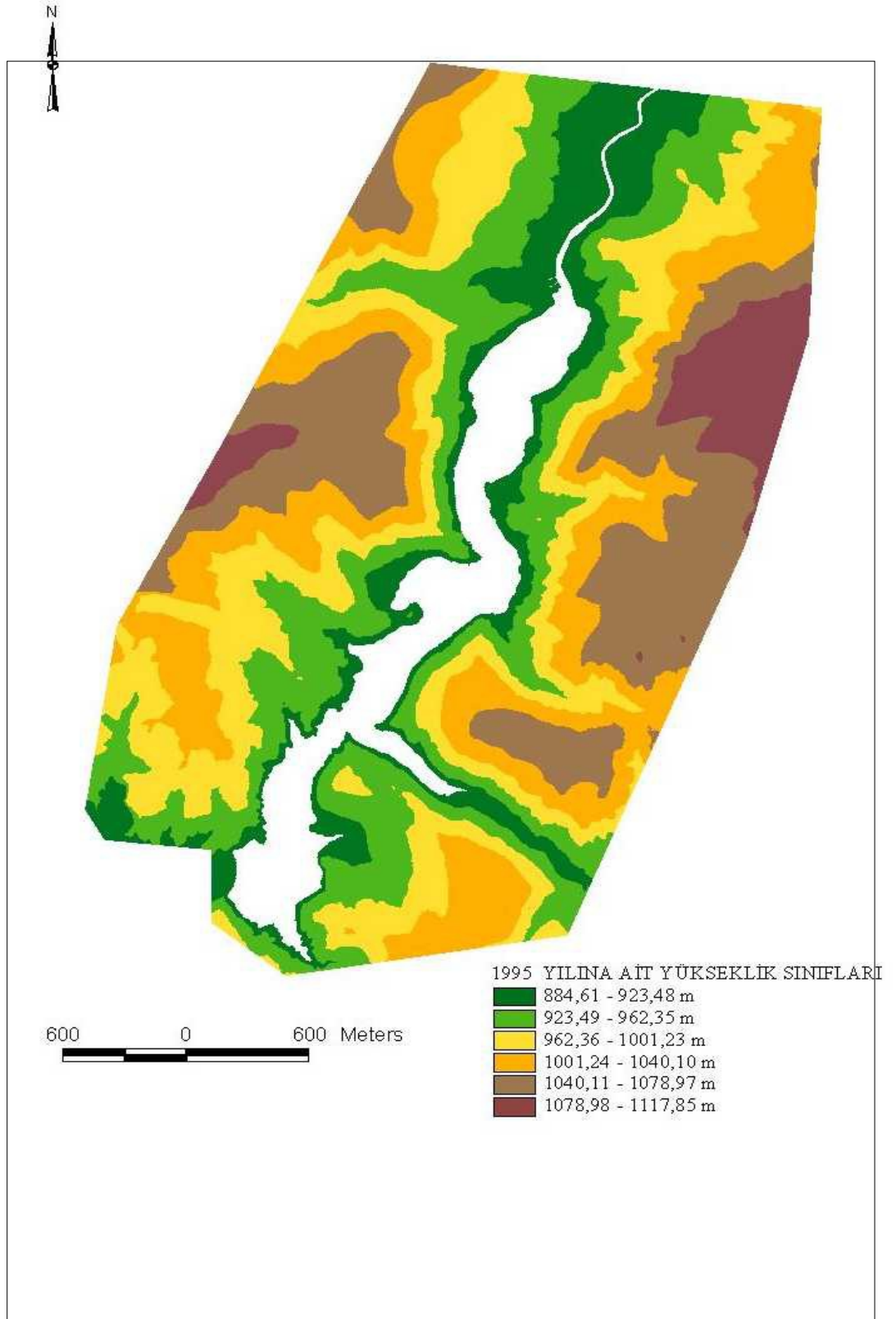


Şekil 4.5. Çalışma Alanı Yol, Göl, Şev ve Tarla Sınırları (1969)

Şekil 4.6. Çalışma Alanı Yol, Göl, Şev ve Tarla Sınırları (1995)



Şekil 4.7. Maskelenmiş Sayısal Yükseklik Sınıfları (1969)



Şekil 4.8. Maskelenmiş Sayısal Yükseklik Sınıfları (1995)

Çubuk havzasının erozyon potansiyelinin yüksek olması, Türkiye'nin içme suyu sağlanması amacı ile 1933-1935 yıllarında inşa edilen ilk barajın kullanımdan çıkmasına neden olmuştur. Baraj inşasından çok sonra yapılan ağaçlandırma ve erozyon kontrol çalışmaları sonucu erozyon oranında belirli düzeyde azalmalar olduğu bilinmektedir.

Değişim haritasındaki aşınım alanları, toprak haritasında ifade edilen geleneksel erozyon derecesi tanımları dikkate alınarak yeniden sınıflanmıştır. Birikim alanları da aynı yöntemle sınıflanmıştır. Buna göre, erozyon alanları 3 sınıfa indirgenmiştir. Bu sınıflara karşılık gelen, sınıflanmış aşınım haritası Şekil 4.11. 'de sunulmuştur. Sınıflama 1-25 cm, 26-50 cm ve 51-60 cm arasında aşınan alanlar şeklinde yapılmıştır. Aşınım sınıflamasına göre, 7967843 pikselin, 1-25 cm arasında, 156236 pikselin, 26-50 cm arasında, 56188 pikselin ise 51-60 cm arasında erozyona uğradığı hesaplanmıştır.

Birikim alanları ise, 1-25 cm, 26-50 cm, 51-75 cm ve 76-99 cm olmak üzere dört sınıfa indirgenmiştir. Sınıflamaya göre; 1-25 cm arasında 15 piksel, 26-50 cm arasında 29 piksel, 51-75 cm arasında 8452 piksel ve 76-99 cm arasında ise 172185999 piksel tesbit edilmiştir. Birikim sınıflamasına göre, birikimin en fazla 76-99 cm arasında olduğu görülmektedir.

Çalışmada bir pikselin boyutu 50 x 50 cm olacak şekilde düzenlenmiş olup, piksel alanı 0.25 m^2 'dir. Her bir piksel sayısına karşılık gelen yükseklik farkı cm olarak hesaplanmış olup bu değerler bir tek piksel alanı olan 0.25 m^2 ile çarpılmıştır. Daha sonra elde edilen bu değerler m^3 'e çevrilmiştir. Çalışma alanından alınan toprak örneklerinde yapılan hacim ağırlık değerlerinin ortalamasını ifade eden 1.33 g/cm^3 değeri ile çarpılarak piksellerde kaybolan toprak miktarı tona çevrilmiştir. Yükseklik farklarına ait piksel sayıları ile ton değerleri çarpılarak 26 yılda oluşan kayıp miktarı tesbit edilmiştir. Bu değerlerin toplanması ile tüm aşınım piksellerinden meydana gelen toprak kaybının 26 yılda 97326.19 ton olduğu hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer 26 'ya bölünmesi ile bir yılda meydana gelen toprak kaybının 3743.315 ton olduğu bulunmuştur. Aşınan alanlara ait toplam piksel sayısı 8180267 olarak belirlenmiştir.

Piksel sayısı ile piksel alanı çarpılarak aşınımına uğrayan alanın 204.52 ha olduğu, piksellerden yılda kaybolan toprak miktarının alana bölünmesi ile de, aşınım alanında yılda 8.00 t/ha/yıl erozyon meydana geldiği bulunmuştur. Çalışma alanında yer alan büyük toprak grubu % 94 oranında kahverengi toprak grubudur. Elde edilen aşınım değeri, kahverengi toprak grubu için üniform parsel çalışmalarından deneysel olarak elde edilen toprak kaybı olan 10 t/ha/yıl değeri ile kıyaslandığında uyumlu olduğu görülmektedir. (Doğan ve Küçükçakar 1996). Aşınım alanları için piksel bazında yapılan tüm hesaplamalar Çizelge 4.1. 'de verilmiştir. Aşınım haritasından görüleceği gibi yol yapımından kaynaklanan ve doğal olmayan aşınım alanı, toplam erozyon değerlerinden çıkarılmış ve sadece doğal erozyon alanlarına ait toprak kayıp miktarları hesaplanmıştır. Bunun için 1 ile 25 cm arasında erozyona uğrayan alanların piksel sayıları toplanmış ve toplam 7967843 adet piksel bulunmuştur. Bu rakam ile piksel alanı olan 0.25 m² çarpılarak 1-25 cm arasında erozyona uğrayan alan 199.19 ha olarak hesaplanmıştır. Bu piksellerden 26 yılda toplam 67752.11 ton toprağın kaybolduğu ve bir yılda ise 13.08 t/ha/yıl toprağın uzaklaştığı saptanmıştır.

Benzer şekilde birikim alanlarına ait hesaplamalar da yapılmış ve toplam 17226816 adet pikselden 26 yılda 89628.41 ton toprağın yukarı havzalardan ve diğer alanlardan birikim noktalarına ulaştığı hesaplanmıştır. Bir yıl için yapılan hesaplamada ise bu rakam 34447.25 ton olarak bulunmuştur. Birikim alanı, 430.67 ha olup bu alana yılda ulaşan toprak miktarı ise 18.30 t/ha/yıl olarak hesaplanmıştır. Birikim alanları için piksel bazında yapılan tüm hesaplamalar Çizelge 4.2. 'de verilmiştir.

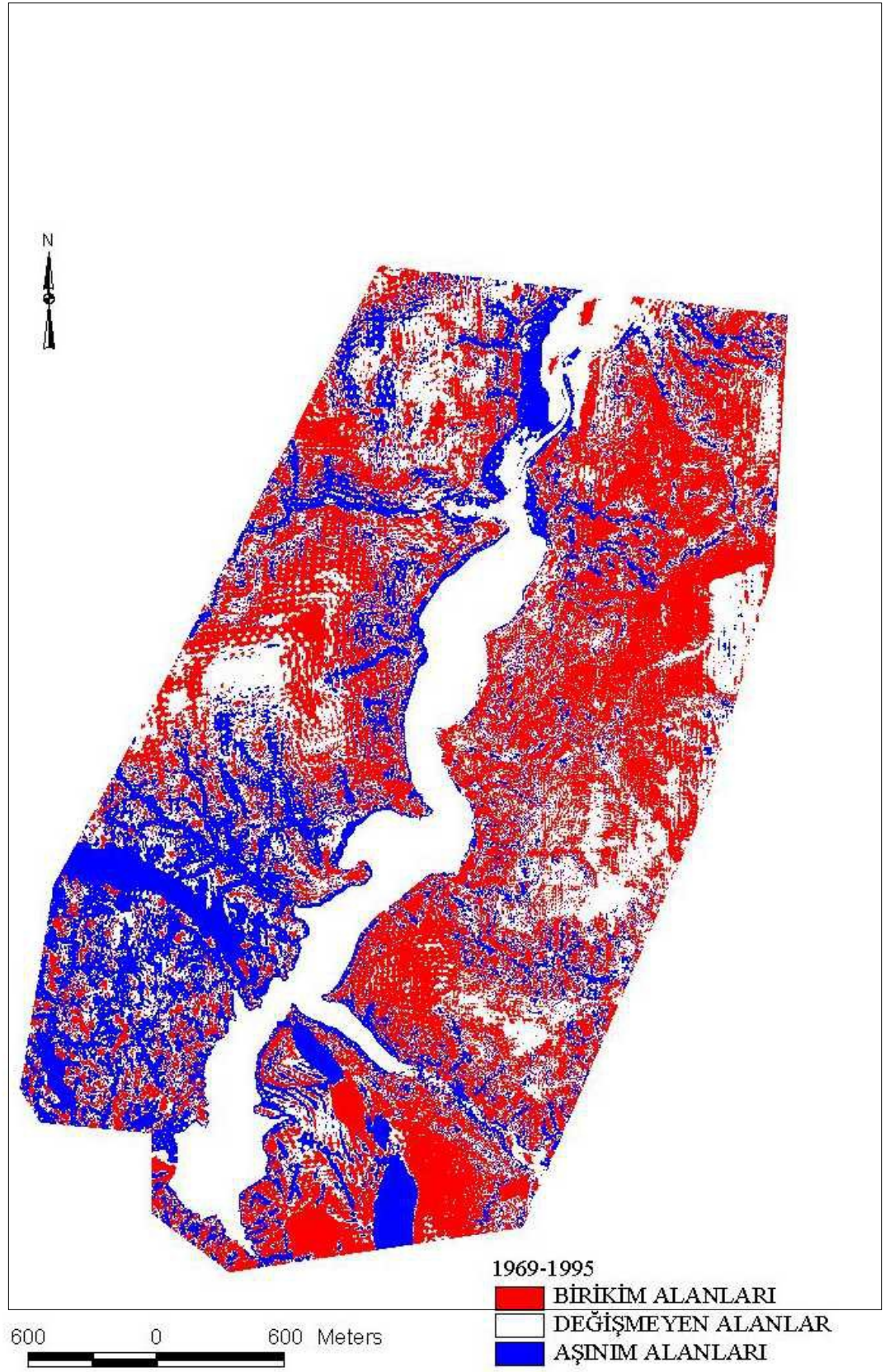
Değişmeyen alanlara ait piksel sayısı 13330848 adet olup, alanı 333.27 ha olarak hesaplanmıştır. Hesaplama göl alanı da değişmeyen alan olarak kabul edilmiştir. Çalışma alanının değişik yerlerinde ortaya çıkan aşınım ve birikim sınıfları cm olarak Şekil 4.12. 'de verilmiştir.

Dymond ve Hicks (1986), Yeni Zelanda'da Waipawa ırmak havzasının Ruahine bölümünde 31 yılda oluşan 72000 m³ sediment miktarını kantitatif olarak hesaplamışlardır. Thomas et al. (1986), çalıştıkları alanda, 23 Mart ve 6 Temmuz ayları arasında oyuntulardan 13000 kg toprağın uzaklaştığını 6 temmuz ile 31 Ekim ayları arasında ise 46000 kg toprak uzaklaştığını belirlemişlerdir. De Rose et al. (1997), 1939 ve 1958 yılları arasında çalıştıkları araziden 2480 t/ha/yıl toprağın uzaklaştığını,

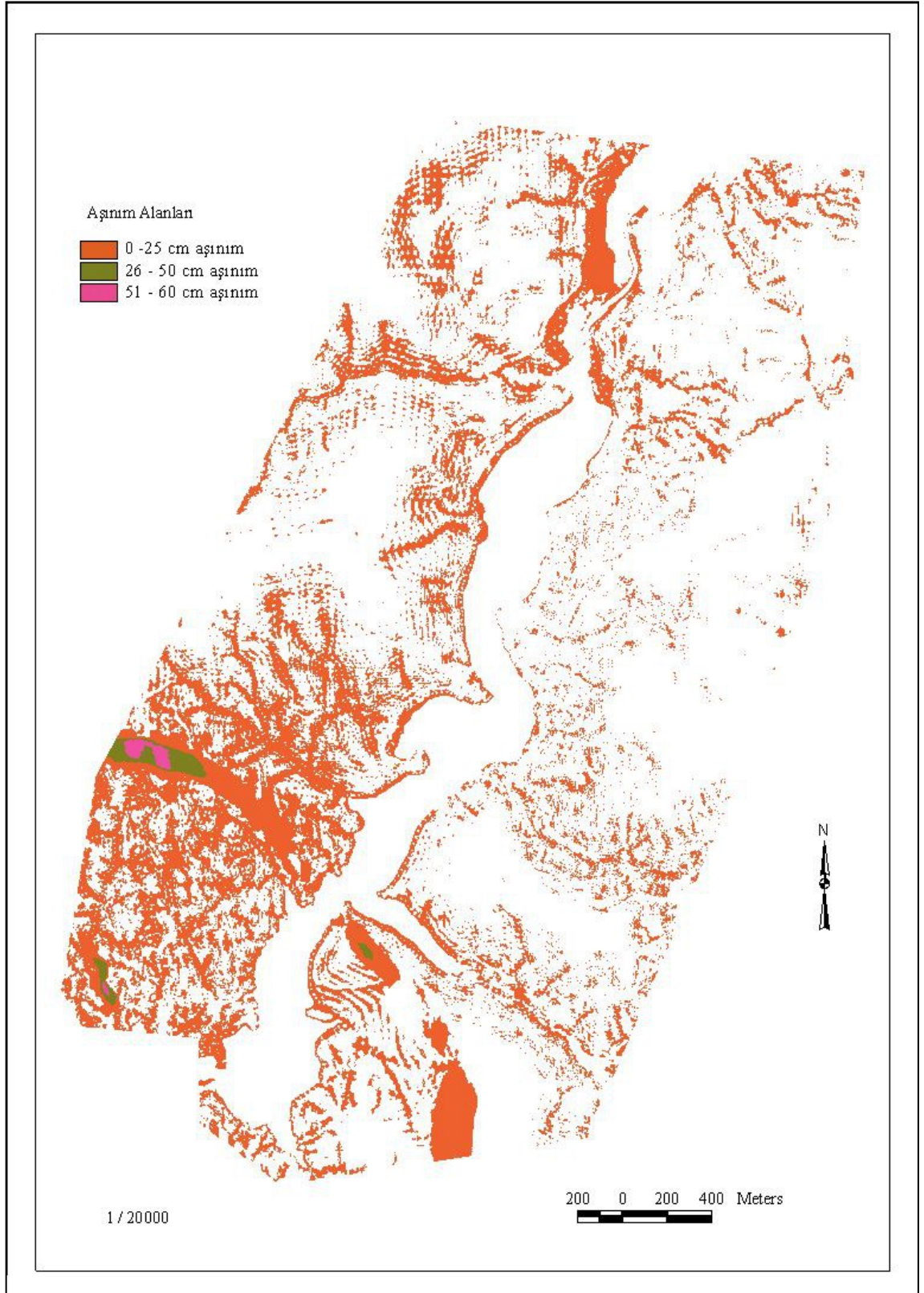
erozyon koruma tedbirlerinin alınmasından sonra, 1958 ve 1992 yılları arasında 1550 t/ha/yıl toprağın uzaklaştığını, böylece erozyon koruma önlemleri ile toprak hareketinin azalmış olduğunu belirlemişlerdir.



Şekil 4.9. Sayısal Yükseklik Sınıfları Farkından Oluşturulan Harita



Şekil 4.10. Arazi Yüzeyinde Oluşan Değişimi Gösteren Harita



Şekil 4.11. Sınıflandırılmış Aşınım Haritası

Çizelge 4.1. Aşınım Alanları İçin Piksel Bazında Yapılan Hesaplamalar

piksel	cm	cm³	m³	t/tek piksel	t/26 yıl	t/ha/yıl
5471716	1	2500	0.0025	0.0033	18193.4557	5.1154
224298	2	5000	0.0050	0.0067	1491.5817	10.2308
920284	3	7500	0.0075	0.0100	9179.8329	15.3462
421553	4	10000	0.0100	0.0133	5606.6549	20.4615
207237	5	12500	0.0125	0.0166	3445.3151	25.5769
118080	6	15000	0.0150	0.0200	2355.6960	30.6923
79688	7	17500	0.0175	0.0233	1854.7382	35.8077
62733	8	20000	0.0200	0.0266	1668.6978	40.9231
48176	9	22500	0.0225	0.0299	1441.6668	46.0385
41020	10	25000	0.0250	0.0333	1363.9150	51.1538
40151	11	27500	0.0275	0.0366	1468.5228	56.2692
34499	12	30000	0.0300	0.0399	1376.5101	61.3846
25000	13	32500	0.0325	0.0432	1080.6250	66.5000
26509	14	35000	0.0350	0.0466	1233.9940	71.6154
30464	15	37500	0.0375	0.0499	1519.3920	76.7308
27552	16	40000	0.0400	0.0532	1465.7664	81.8462
25704	17	42500	0.0425	0.0565	1452.9186	86.9615
23441	18	45000	0.0450	0.0599	1402.9439	92.0769
20685	19	47500	0.0475	0.0632	1306.7749	97.1923
19554	20	50000	0.0500	0.0665	1300.3410	102.3077
23388	21	52500	0.0525	0.0698	1633.0671	107.4231
23387	22	55000	0.0550	0.0732	1710.7591	112.5385
19152	23	57500	0.0575	0.0765	1464.6492	117.6538
16958	24	60000	0.0600	0.0798	1353.2484	122.7692
16614	25	62500	0.0625	0.0831	1381.0388	127.8846
9015	26	65000	0.0650	0.0865	779.3468	133.0000
10245	27	67500	0.0675	0.0898	919.7449	138.1154
8953	28	70000	0.0700	0.0931	833.5243	143.2308
8144	29	72500	0.0725	0.0964	785.2852	148.3462
7243	30	75000	0.0750	0.0998	722.4893	153.4615
7359	31	77500	0.0775	0.1031	758.5289	158.5769
4872	32	80000	0.0800	0.1064	518.3808	163.6923
5257	33	82500	0.0825	0.1097	576.8243	168.8077
4955	34	85000	0.0850	0.1131	560.1628	173.9231
4613	35	87500	0.0875	0.1164	536.8379	179.0385

Çizelge 4.1. (devam)

4754	36	90000	0.0900	0.1197	569.0538	184.1538
------	----	-------	--------	--------	----------	----------

4429	37	92500	0.0925	0.1230	544.8777	189.2692
4492	38	95000	0.0950	0.1264	567.5642	194.3846
4534	39	97500	0.0975	0.1297	587.9465	199.5000
4243	40	100000	0.1000	0.1330	564.3190	204.6154
4386	41	102500	0.1025	0.1363	597.9215	209.7308
5217	42	105000	0.1050	0.1397	728.5541	214.8462
5212	43	107500	0.1075	0.1430	745.1857	219.9615
6666	44	110000	0.1100	0.1463	975.2358	225.0769
6286	45	112500	0.1125	0.1496	940.5428	230.1923
5552	46	115000	0.1150	0.1530	849.1784	235.3077
6429	47	117500	0.1175	0.1563	1004.6920	240.4231
7709	48	120000	0.1200	0.1596	1230.3564	245.5385
7186	49	122500	0.1225	0.1629	1170.7791	250.6538
8485	50	125000	0.1250	0.1663	1410.6313	255.7692
8816	51	127500	0.1275	0.1696	1494.9732	260.8846
8433	52	130000	0.1300	0.1729	1458.0657	266.0000
8549	53	132500	0.1325	0.1762	1506.5475	271.1154
7876	54	135000	0.1350	0.1796	1414.1358	276.2308
6715	55	137500	0.1375	0.1829	1228.0056	281.3462
6600	56	140000	0.1400	0.1862	1228.9200	286.4615
4332	57	142500	0.1425	0.1895	821.0223	291.5769
3273	58	145000	0.1450	0.1929	631.1981	296.6923
1426	59	147500	0.1475	0.1962	279.7456	301.8077
168	60	150000	0.1500	0.1995	33.5160	306.9231

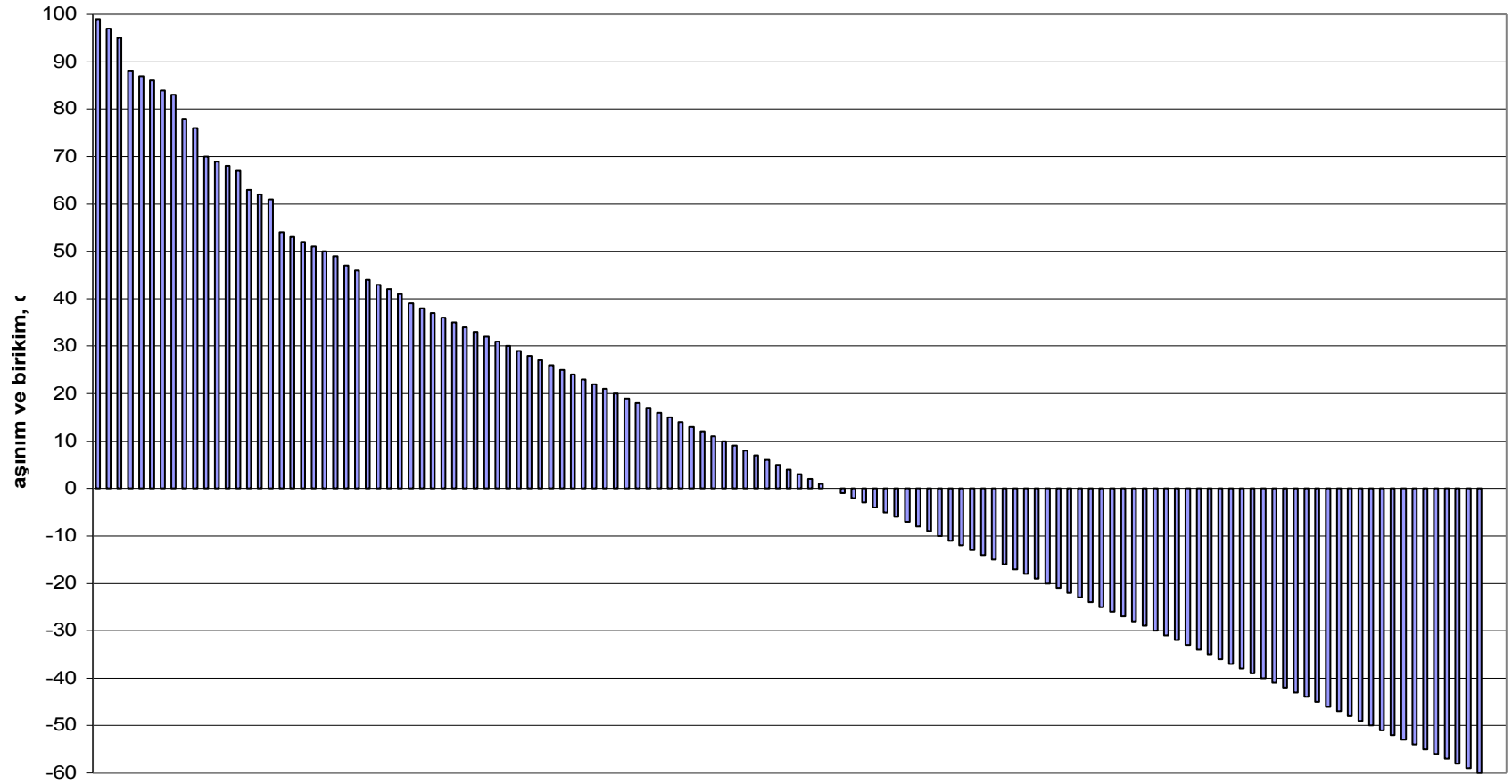
Çizelge 4.2. Birikim Alanları İçin Piksel Bazında Yapılan Hesaplamalar

piksel	cm	cm ³	m ³	t/tek piksel	t/26 yıl	t/ha/yıl
1	-99	-247500	-0.2475	-0.3292	-0.3292	506.4231
2	-97	-242500	-0.2425	-0.3225	-0.6451	496.1923
1	-95	-237500	-0.2375	-0.3159	-0.3159	485.9615
3	-88	-220000	-0.2200	-0.2926	-0.8778	450.1538
2	-87	-217500	-0.2175	-0.2893	-0.5786	445.0385
1	-86	-215000	-0.2150	-0.2860	-0.2860	439.9231
1	-84	-210000	-0.2100	-0.2793	-0.2793	429.6923
1	-83	-207500	-0.2075	-0.2760	-0.2760	424.5769
2	-78	-195000	-0.1950	-0.2594	-0.5187	399.0000
1	-76	-190000	-0.1900	-0.2527	-0.2527	388.7692
4	-70	-175000	-0.1750	-0.2328	-0.9310	358.0769
3	-69	-172500	-0.1725	-0.2294	-0.6883	352.9615
1	-68	-170000	-0.1700	-0.2261	-0.2261	347.8462
2	-67	-167500	-0.1675	-0.2228	-0.4456	342.7308
3	-63	-157500	-0.1575	-0.2095	-0.6284	322.2692
1	-62	-155000	-0.1550	-0.2062	-0.2062	317.1538
7	-61	-152500	-0.1525	-0.2028	-1.4198	312.0385
2	-54	-135000	-0.1350	-0.1796	-0.3591	276.2308
2	-53	-132500	-0.1325	-0.1762	-0.3525	271.1154
1	-52	-130000	-0.1300	-0.1729	-0.1729	266.0000
1	-51	-127500	-0.1275	-0.1696	-0.1696	260.8846
2	-50	-125000	-0.1250	-0.1663	-0.3325	255.7692
3	-49	-122500	-0.1225	-0.1629	-0.4888	250.6538
1	-47	-117500	-0.1175	-0.1563	-0.1563	240.4231
2	-46	-115000	-0.1150	-0.1530	-0.3059	235.3077
2	-44	-110000	-0.1100	-0.1463	-0.2926	225.0769
3	-43	-107500	-0.1075	-0.1430	-0.4289	219.9615
3	-42	-105000	-0.1050	-0.1397	-0.4190	214.8462
4	-41	-102500	-0.1025	-0.1363	-0.5453	209.7308
3	-39	-97500	-0.0975	-0.1297	-0.3890	199.5000
9	-38	-95000	-0.0950	-0.1264	-1.1372	194.3846
3	-37	-92500	-0.0925	-0.1230	-0.3691	189.2692
52	-36	-90000	-0.0900	-0.1197	-6.2244	184.1538
71	-35	-87500	-0.0875	-0.1164	-8.2626	179.0385
93	-34	-85000	-0.0850	-0.1131	-10.5137	173.9231

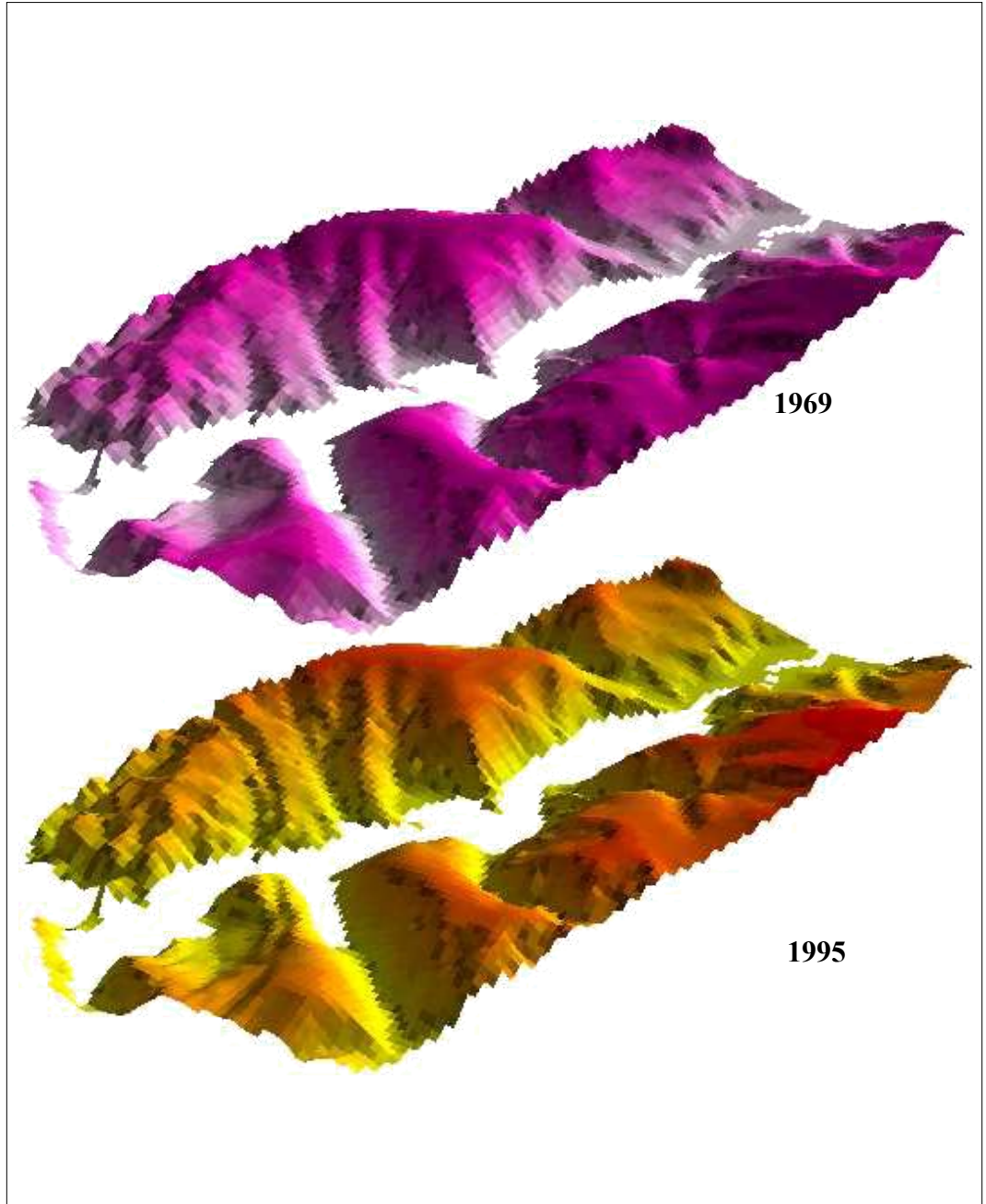
Çizelge 4.2. (devam)

130	-33	-82500	-0.0825	-0.1097	-14.2643	168.8077
-----	-----	--------	---------	---------	----------	----------

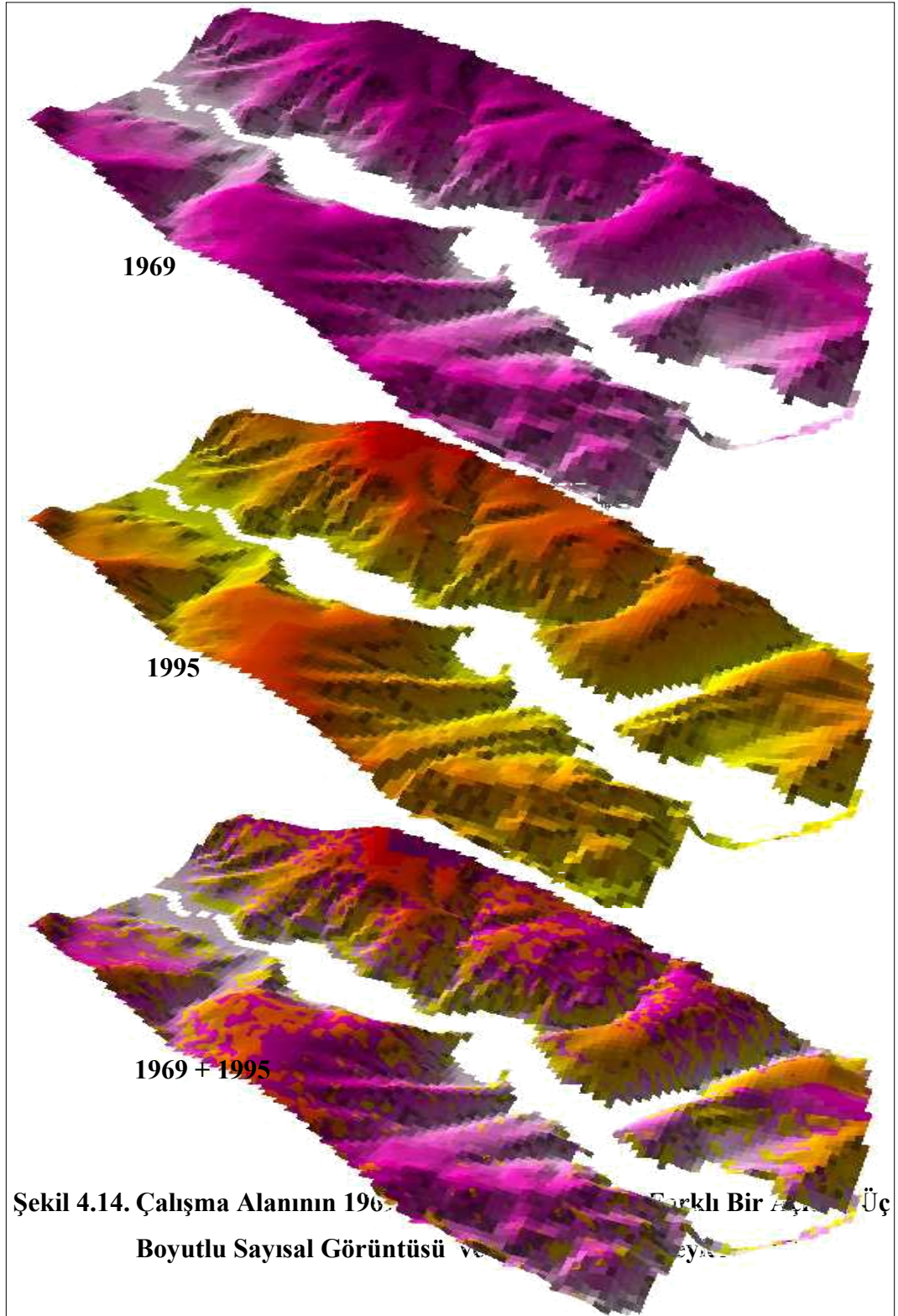
597	-32	-80000	-0.0800	-0.1064	-63.5208	163.6923
694	-31	-77500	-0.0775	-0.1031	-71.5341	158.5769
690	-30	-75000	-0.0750	-0.0998	-68.8275	153.4615
908	-29	-72500	-0.0725	-0.0964	-87.5539	148.3462
1211	-28	-70000	-0.0700	-0.0931	-112.7441	143.2308
1264	-27	-67500	-0.0675	-0.0898	-113.4756	138.1154
1365	-26	-65000	-0.0650	-0.0865	-118.0043	133.0000
1344	-25	-62500	-0.0625	-0.0831	-111.7200	127.8846
1539	-24	-60000	-0.0600	-0.0798	-122.8122	122.7692
1571	-23	-57500	-0.0575	-0.0765	-120.1422	117.6538
2134	-22	-55000	-0.0550	-0.0732	-156.1021	112.5385
2541	-21	-52500	-0.0525	-0.0698	-177.4253	107.4231
2657	-20	-50000	-0.0500	-0.0665	-176.6905	102.3077
3506	-19	-47500	-0.0475	-0.0632	-221.4916	97.1923
3831	-18	-45000	-0.0450	-0.0599	-229.2854	92.0769
5889	-17	-42500	-0.0425	-0.0565	-332.8757	86.9615
5770	-16	-40000	-0.0400	-0.0532	-306.9640	81.8462
6437	-15	-37500	-0.0375	-0.0499	-321.0454	76.7308
7518	-14	-35000	-0.0350	-0.0466	-349.9629	71.6154
8572	-13	-32500	-0.0325	-0.0432	-370.5247	66.5000
12587	-12	-30000	-0.0300	-0.0399	-502.2213	61.3846
13897	-11	-27500	-0.0275	-0.0366	-508.2828	56.2692
14830	-10	-25000	-0.0250	-0.0333	-493.0975	51.1538
19605	-9	-22500	-0.0225	-0.0299	-586.6796	46.0385
24224	-8	-20000	-0.0200	-0.0266	-644.3584	40.9231
34815	-7	-17500	-0.0175	-0.0233	-810.3191	35.8077
57425	-6	-15000	-0.0150	-0.0200	-1145.6288	30.6923
121329	-5	-12500	-0.0125	-0.0166	-2017.0946	25.5769
325226	-4	-10000	-0.0100	-0.0133	-4325.5058	20.4615
1087203	-3	-7500	-0.0075	-0.0100	-10844.8499	15.3462
3812029	-2	-5000	-0.0050	-0.0067	-25349.9929	10.2308
11643185	-1	-2500	-0.0025	-0.0033	-38713.5901	5.1154



Şekil 4.12. Çalışma Alanının Değişik Yerlerinde Ortaya Çıkan Aşınım ve Birikim Sınıfları



Şekil 4.13. Çalışma Alanının 1969 ve 1995 Yıllarına Ait Üç Boyutlu Sayısal Görüntüsü



1969

48

1969 + 1995

Spomer ve Mahurin (1984), Iowa'da Treynor havzasında, 1969, 1974 ve 1978 yıllarına ait hava fotoğraflarını kullanarak 1969 ve 1978 yılları arasındaki 9 yılda 35.6 ha alandan 291 ton toprağın erozyonla uzaklaştığını ve yılda bu değerin 32 ton olduğunu sayısal ile hesaplamışlardır. Hacim ağırlığı olarak 1.36 gr/cm^3 değerini kullanmışlardır.

Daag ve Westen (1996), 1991, 1992 ve 1993 yıllarına ait hava fotoğraflarını birlikte kullanarak volkan patlaması sonucu çevreye yayılan materyalin miktarını, araziden uzaklaşan ve yağmurlar sonucu diğer alanları etkisi altına alan materyal miktarını belirlemişlerdir. İlk patlamadan sonra oluşan materyal miktarının 219 milyon m^3 olduğunu ve ikinci patlamadan sonra 1039 milyon m^3 materyalin çalışılan havzaları kapladığını, sayısal yükselti sınıfları ile ortaya koymuşlardır.

Sayısal yükselti verilerine verilen abartma ile oluşturulan, araziye ait üç boyutlu görüntüler değişik açılarla gösterilmiş (Şekil 4.13.) ve ayrıca üst üste çakıştırılarak oluşan renk farkları ile pozitif ve negatif değişimlerin, yüzeyler üzerinden de görünmesi sağlanmıştır (Şekil 4.14.).

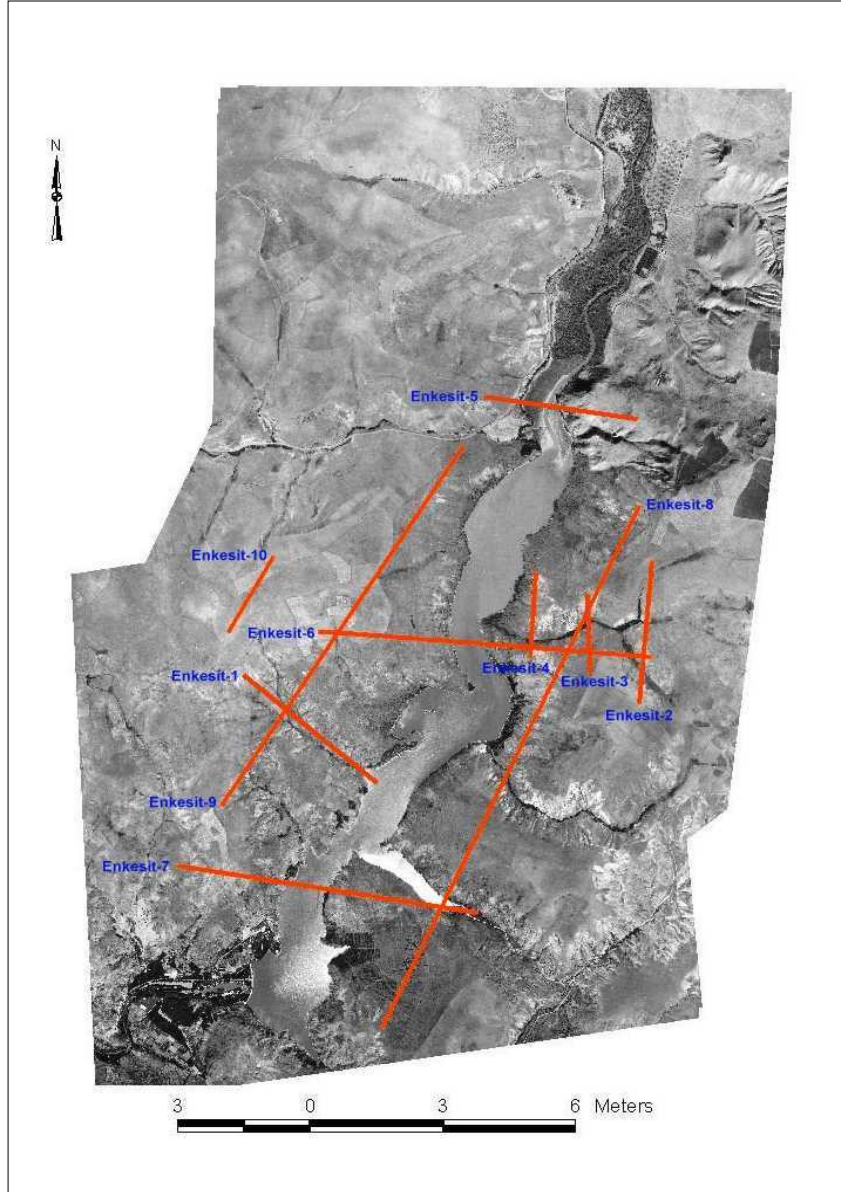
4.3. Enkesitler

Erdas Imagine programına aktarılan iki farklı tarihe ait bu modeller, katman birleştirme (layer stack) analizi ile üstüste çakıştırılmıştır. Elde edilen yeni katman üzerinde değişik noktalardan enkesitler alınmıştır. Enkesit noktaları Şekil.4.15.'teki TIF formatındaki görüntü üzerinde gösterilmiştir. Enkesitlere ait rapor dosyaları Excel programına aktararak, arazide erozyondan dolayı meydana gelen yükseklik farklarının grafikleri çizilmiş ve ölçeksiz olarak çizilen bu grafikler Şekil.4.16. - 4.25. 'te sunulmuştur.

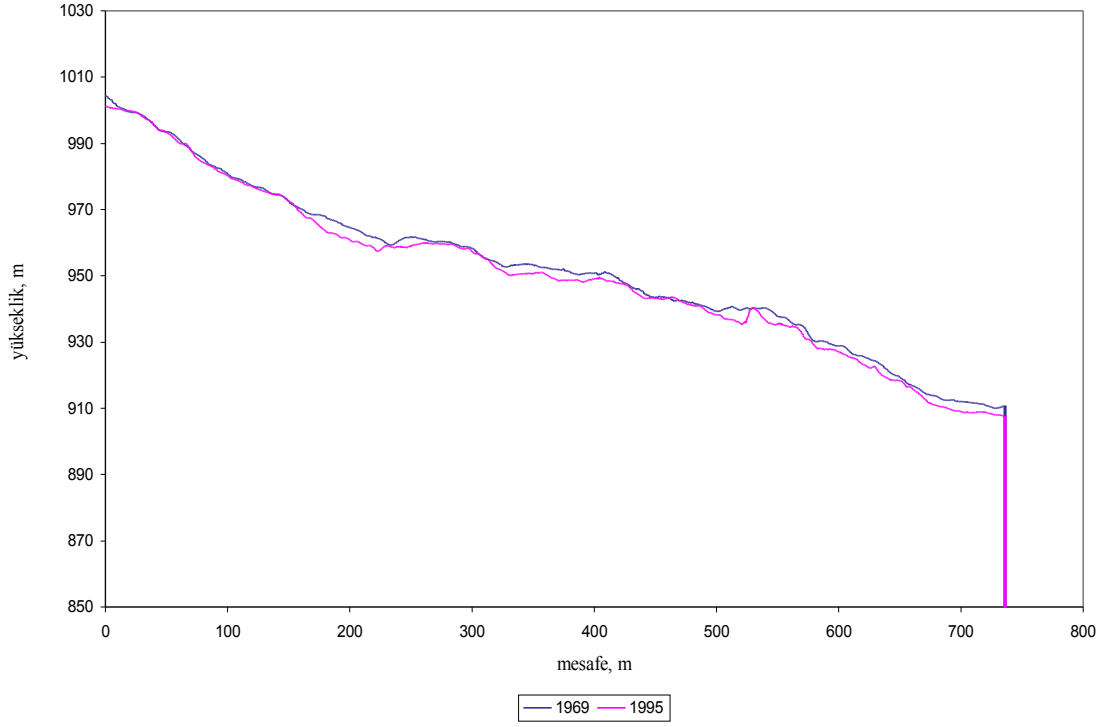
Kesitlerin incelenmesinden de görüleceği gibi erozyondan dolayı 26 yıl içerisinde arazi yüzeyinde topoğrafyanın özelliğine bağlı olarak değişimler gerçekleşmiştir.

En kesit alanlarından biri olarak seçilen kuru dere yatağı, aşağıda verilen şekilden de (Şekil 4.16.) görüleceği gibi erozyona en fazla uğrayan alanlardan biridir. Aşınımın çok fazla olmasına rağmen, toprağın aşınımını azaltan yüzeydeki münferit bitki örtüsü veya yüzey akış ile harekete geçmesi zor olan taş veya kaba materyalin varlığı gibi nedenlerle çok az noktada da olsa değişim olmadığı gibi birikim noktaları da mevcuttur.

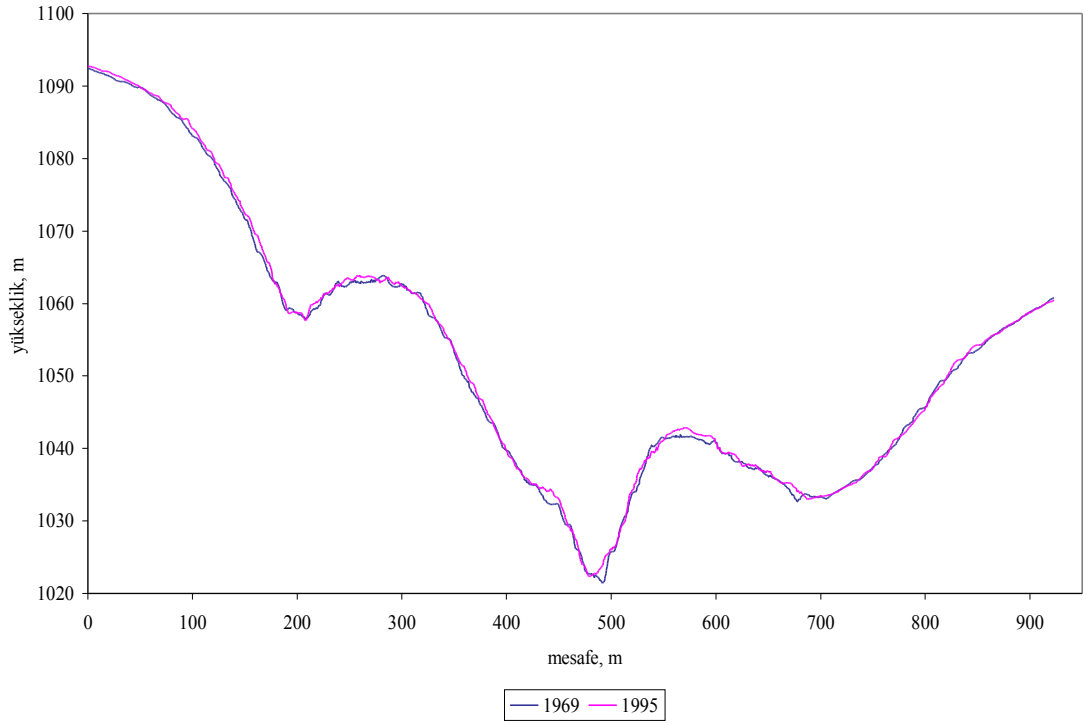
Çalışma alanının su ayırım çizgisi ile sınırlandırılan bir havza olmayışı nedeniyle havzanın yukarı ve aşağı kısımlarında erozyon anlamına gelecek değişimleri izleyebilmek her ne kadar mümkün olmasa da, arazinin yüksek kesimlerinden eğimin daha çok arttığı aşağı kesimlerine doğru erozyon açısından oluşan farklılığı irdeleyebilmek amacıyla aşağıdaki enkesitler alınmıştır. Aynı alanın yüksek kısım, orta kısım ve daha aşağı kısım olarak tanımlanabilecek noktalarından kesitler alınarak bir yamaç boyunca eğime bağlı olarak değişimin farkı Şekil 4.17., 4.18. ve 4.19. 'da verilen en kesit örneklerinde sunulmuştur.



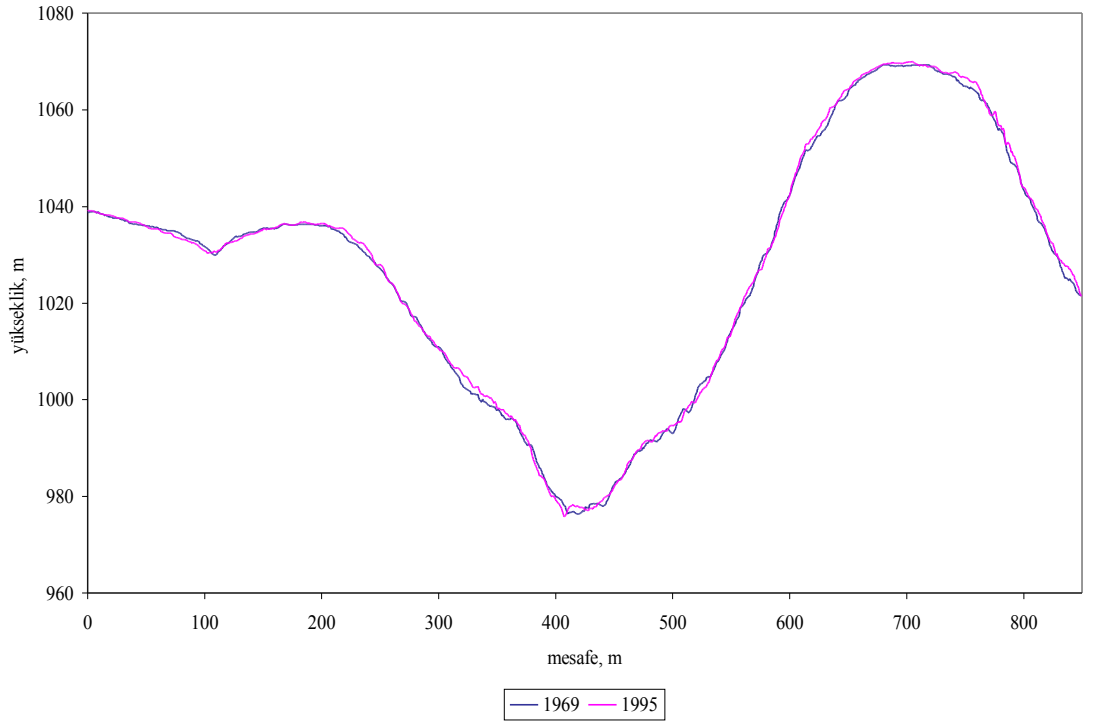
Şekil 4.15. Enkesitlerin Alındığı Bölgeler



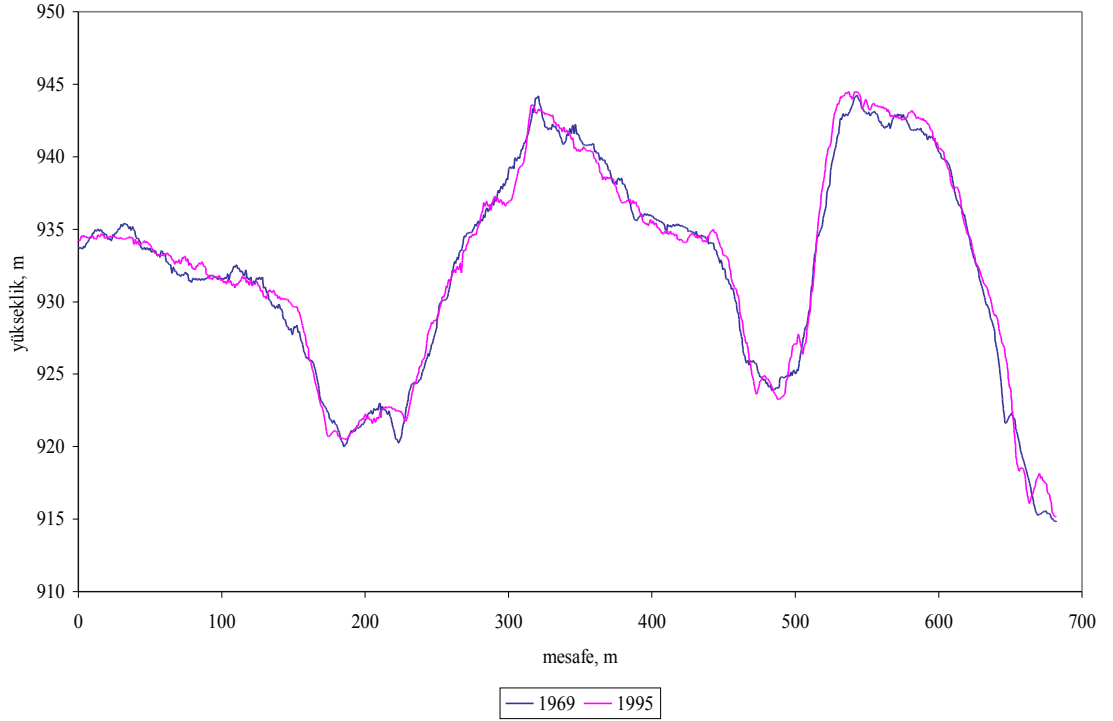
Şekil 4.16. Enkesit 1



Şekil 4.17. Enkesit 2



Şekil 4.18. Enkesit 3

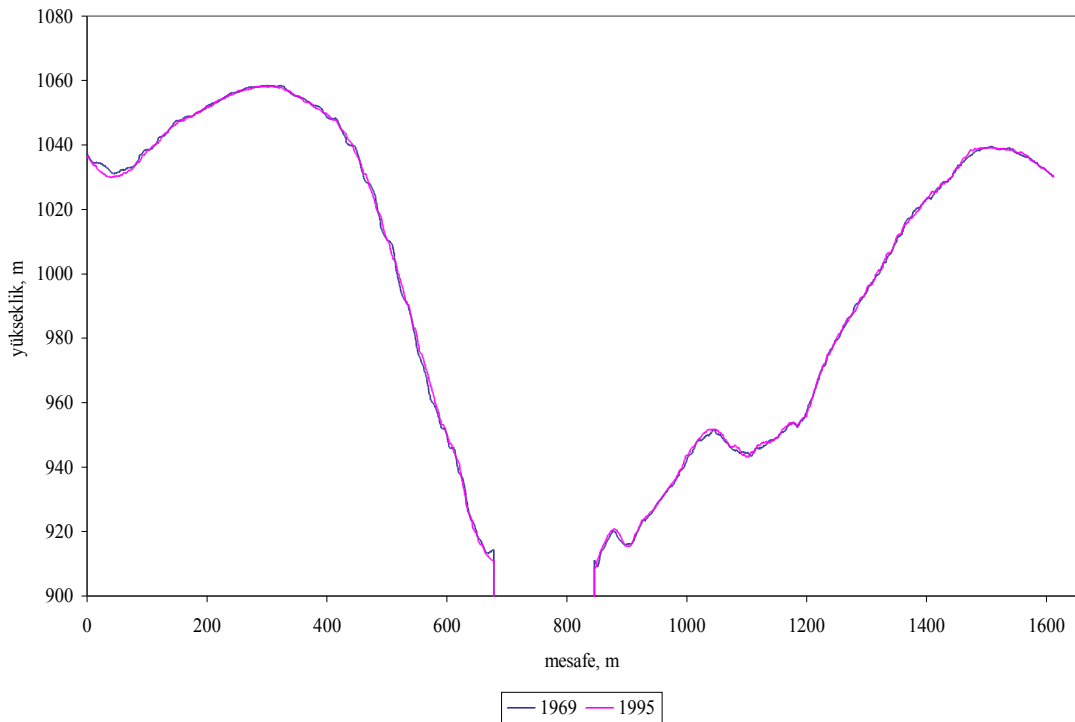


Şekil 4.19. Enkesit 4

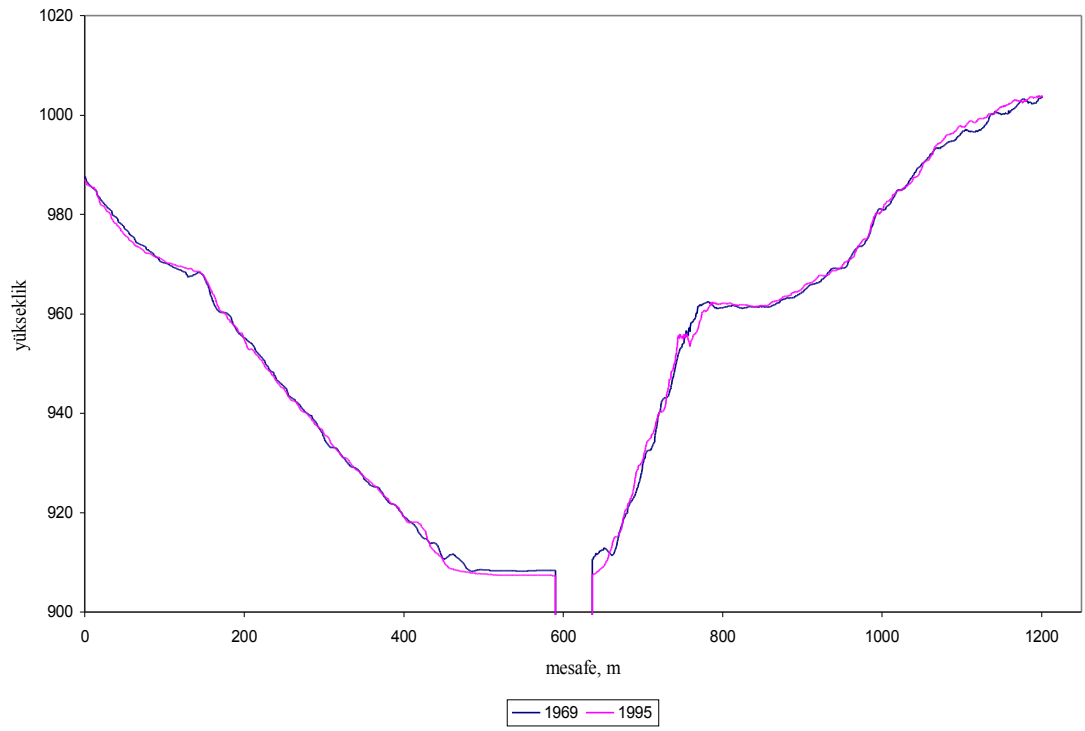
Yukarıdaki en kesitlerin alındığı alanlarda, aşınımın ziyade birikim miktarı daha fazla olmuştur. Bunun nedeni o alandaki ağaçlandırma, teraslama ve yukarı havzadan gelen toprağın birikim noktalarından biri niteliğinde olmasıdır. En aşağı kısımdan alınan kesit 6 'da aşınımın birikime oranla fazla olduğu, özellikle yamaçlardaki eğim dikliğinin arttığı yerlerde bitki örtüsü varlığına rağmen aşınım bulunduğu tesbit edilmiştir.

Çalışma alanında, göl yüzeyinden krete doğru dik olarak alınan en kesit örneklerinde, gölün yukarı kısımlarında sediment nedeniyle göl alanının daha dar, krete doğru ise göl yüzeyinin daha geniş olduğu, özellikle 5 ve 6 numaralı en kesit örneklerinde, 1969 yılından sonra erozyonla gelen toprağın gölün yukarı kısmında ve sınır alanında biriktiği görülmektedir.

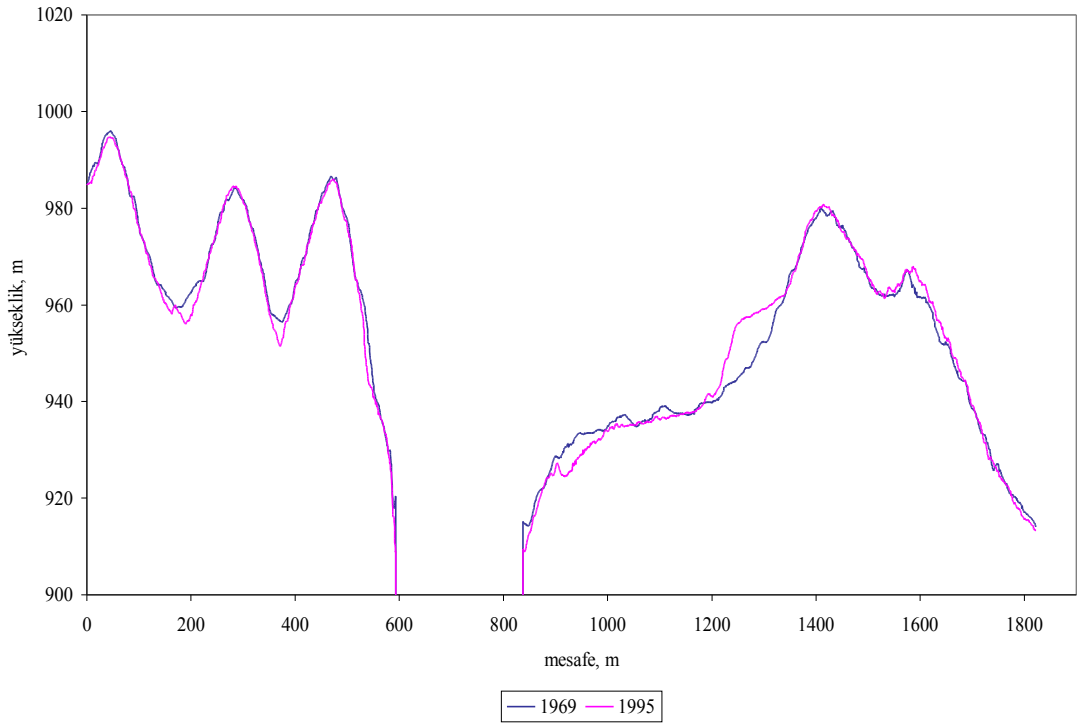
Göl alanına paralel olarak alınan enkesit örneklerinde değişim çok az gibi görünse de tepelik kesimlerde birikim ve tepeler arasındaki oyuntularda aşınım olduğu görülmektedir.



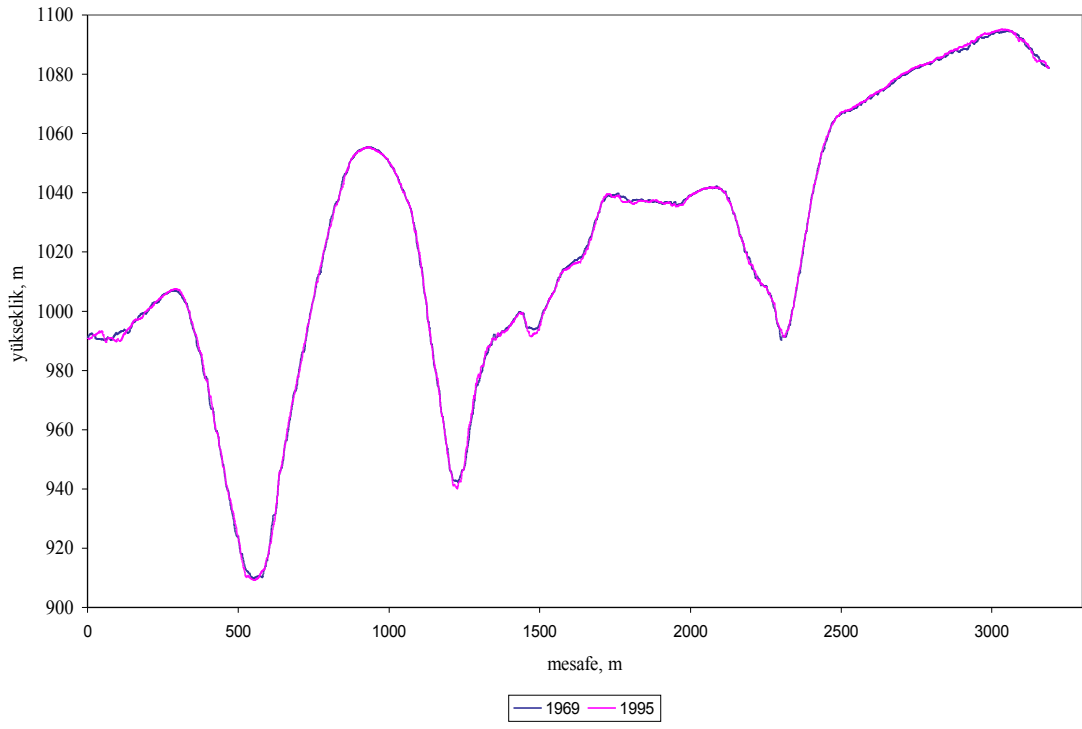
Şekil 4.20. Enkesit 5



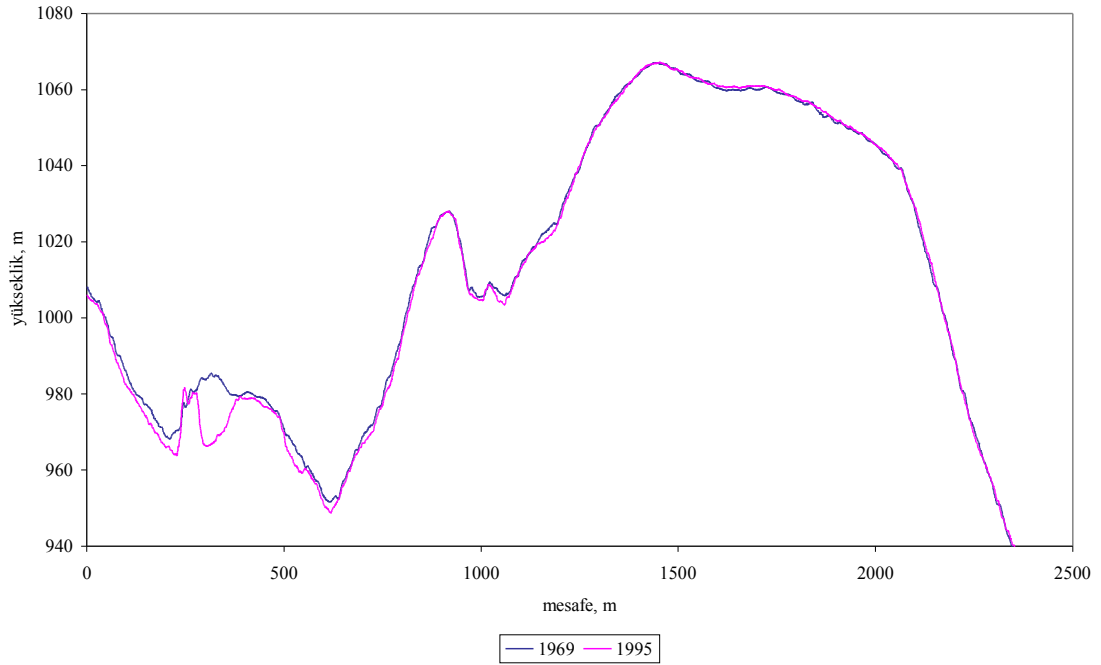
Şekil 4.21. Enkesit 6



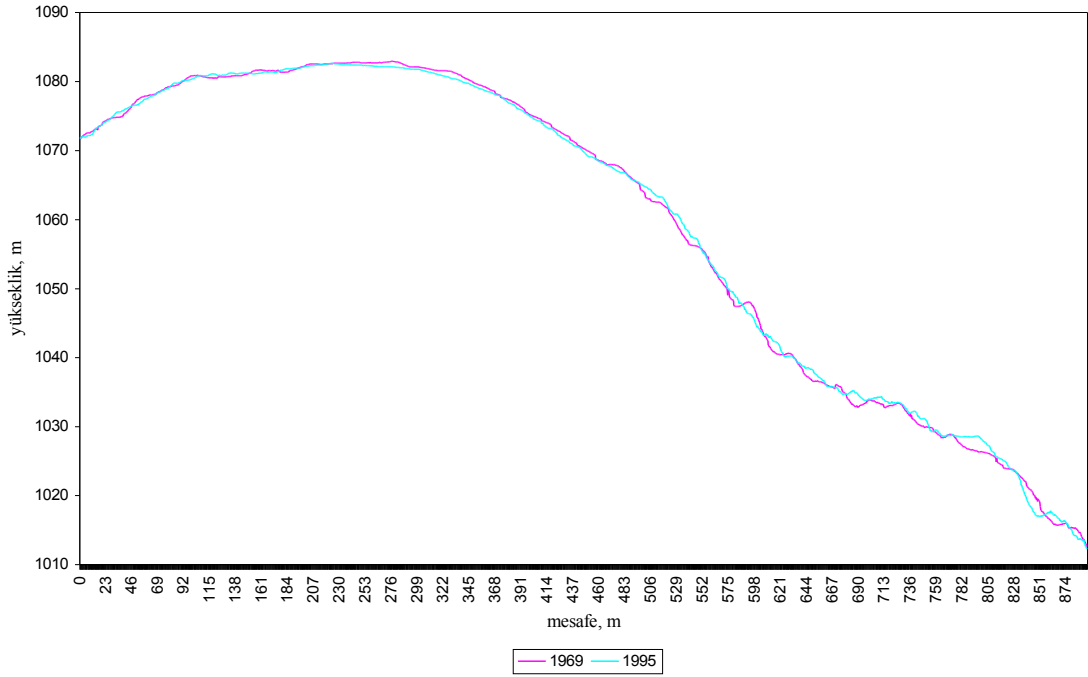
Şekil 4.22. Enkesit 7



Şekil 4.23. Enkesit 8



Şekil 4.24. Enkesit 9



Şekil 4.25. Enkesit 10

Enkesitler özellikle oyuntuların tabanlarında oluşan değişimi çok iyi yansıtmaktadır. İki enkesit arasında kalan alan ve arazide yapılacak derinlik ölçümleri ile o noktadan hareket eden toprağın hacmi kolayca hesaplanacağı gibi, belirli zaman aralıklarında GPS ile noktaların alınması ve bu veri ile birlikte kullanılması ile oyuntu gelişimi arazi çalışmalarına kıyasla daha az zamanda hesaplanabilecektir.

Daag ve Westen (1996), volkanik patlamalardan kaynaklanan volkan materyallerinin çevredeki havzalara olan etkisini ortaya koymak için yaptıkları çalışmalarda sayısal arazi modellerinden kesitler alarak materyalin havzada birikim noktalarını göstermişlerdir. Dymond ve Hicks (1986), erozyon nedeniyle oluşan aşınım alanlarını belirleme çalışmasında enkesitler almışlardır. Aldıkları enkesitler sonucu bir oyuntu yatağında bozulmanın yaklaşık 40 m olduğunu ifade etmişlerdir.

4.4. Göl Alanları

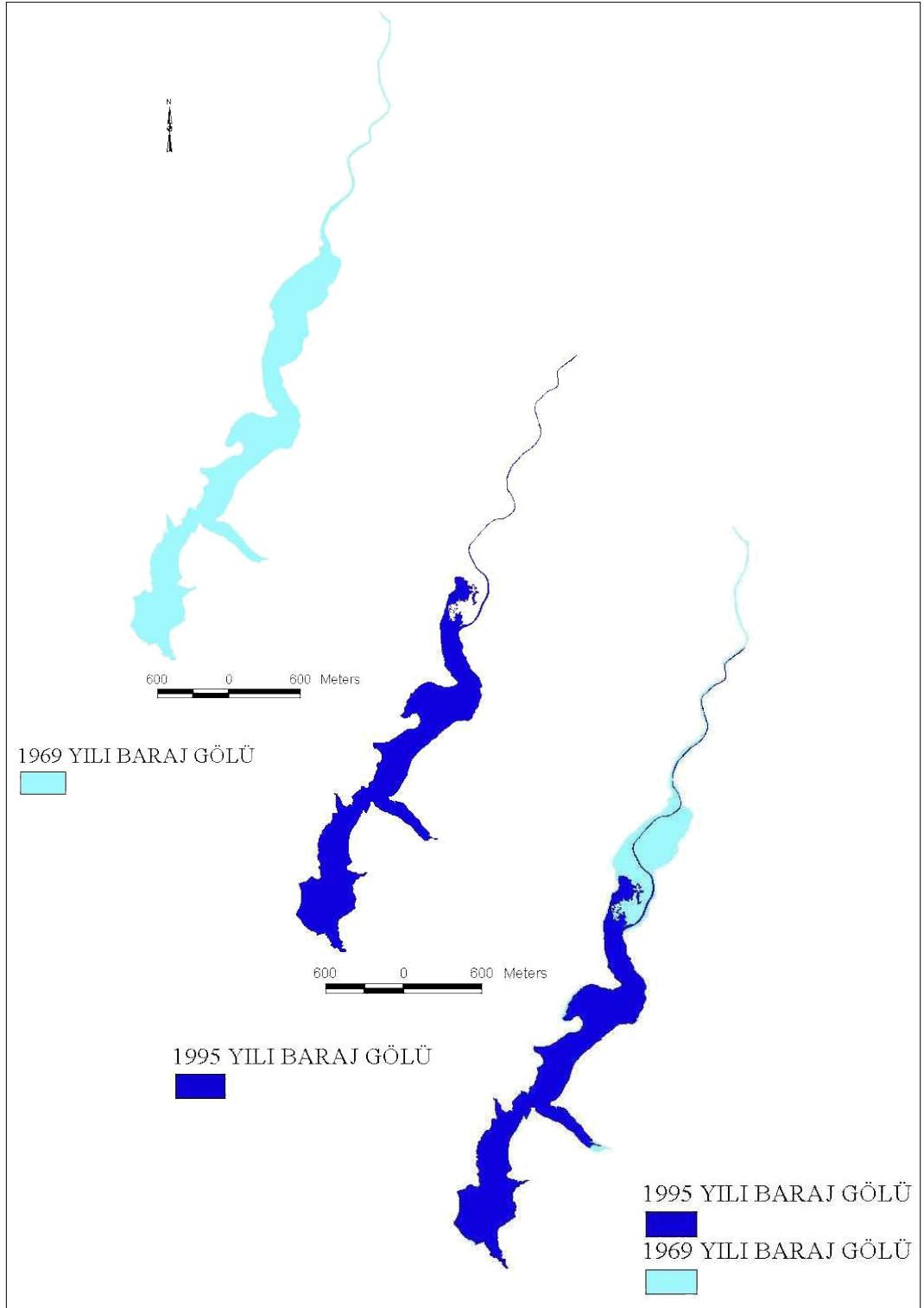
Çalışma alanında bulunan baraj gölünün alanı, 1969 yılında 110.94 ha iken, 1995 yılında 80.45 ha olarak hesaplanmıştır. Geçen süre içinde yaklaşık 30.49 ha göl alanı sediment ile dolmuştur. Göl alanındaki değişimi gösteren harita, Şekil 4.26. 'da verilmiştir.

4.5. Toprak Haritası

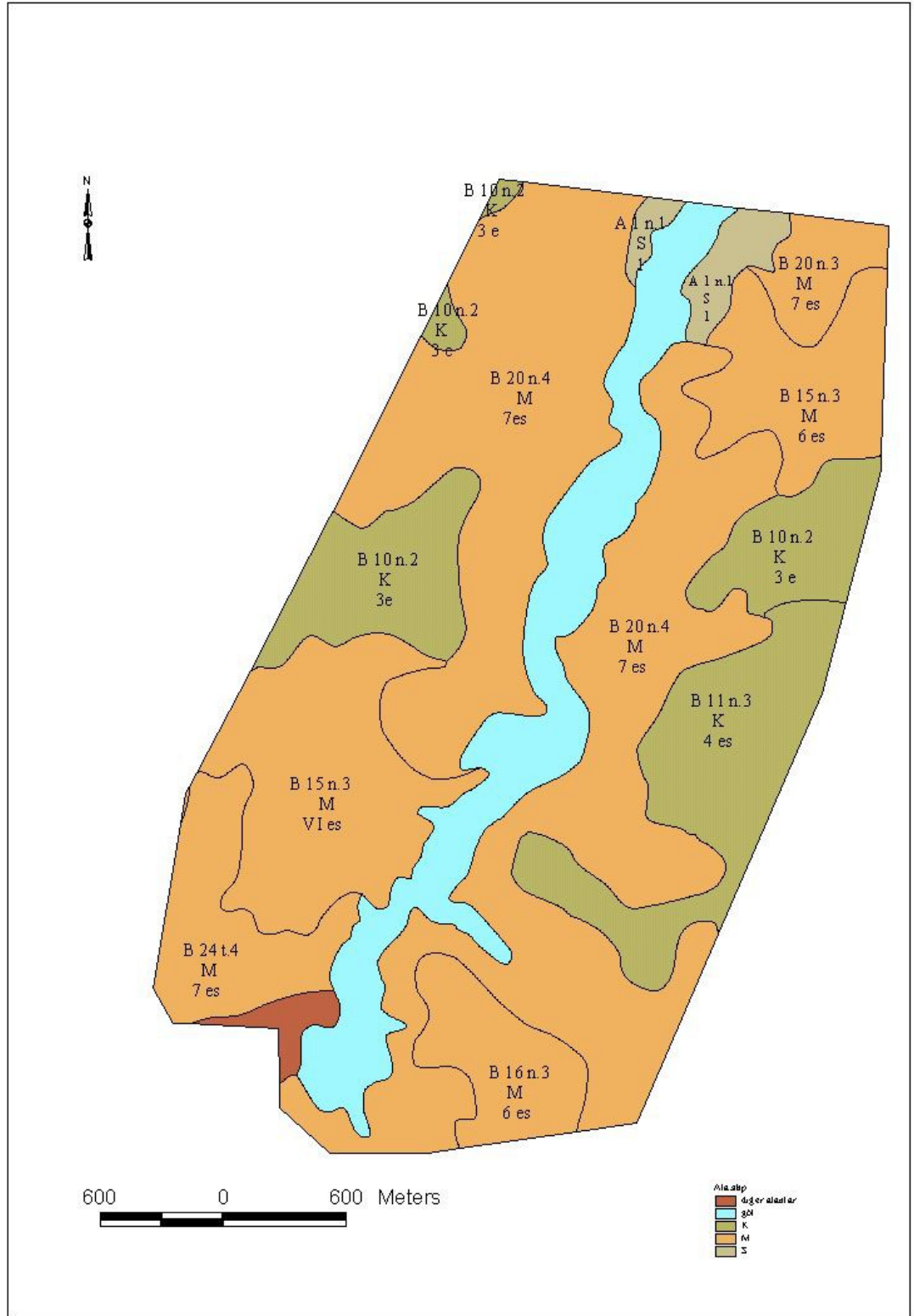
Toprak verileri, TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından 1960-1970 yılları arasında yapılan toprak etütleri sonucunda hazırlanmış 1:25000 ölçekli toprak haritasının (h29c3 paftası) sayısallaştırılması ile toprak veri tabanına aktarılmıştır (Şekil 4.27.). Sayısallaştırılan toprak haritasından, büyük toprak grupları - BTG, toprak özellikleri kombinasyonu - TOK, arazi kullanma kabiliyet sınıfı - AKK, şimdiki arazi kullanım durumu - ŞAK gibi özellikler dikkate alınarak yeni katmanlar oluşturulmuştur. Bu katmanların her birinin gridleri, ArcView 3D modülü kullanılarak 0.50 m aralıklarla yeniden oluşturulmuş ve elde edilen yeni katmanlar ArcInfo programına aktararak, 1969 yılına ait göl sınırlarına göre maskelenmiştir. Toprak haritasından oluşturulan Büyük Toprak Grupları Haritası - BTG, Şekil 4.28. 'de verilmiştir.

Toprak haritasının incelenmesinden görüleceği gibi hakim olarak iki büyük toprak grubu bulunmakta olup bunlar, kahverengi toprak grubu ve aluviyal toprak grubu'dur. Çalışma alanının % 94 'ü kahverengi toprak grubu ve % 2 'si aluviyal toprak grubundan oluşmaktadır.

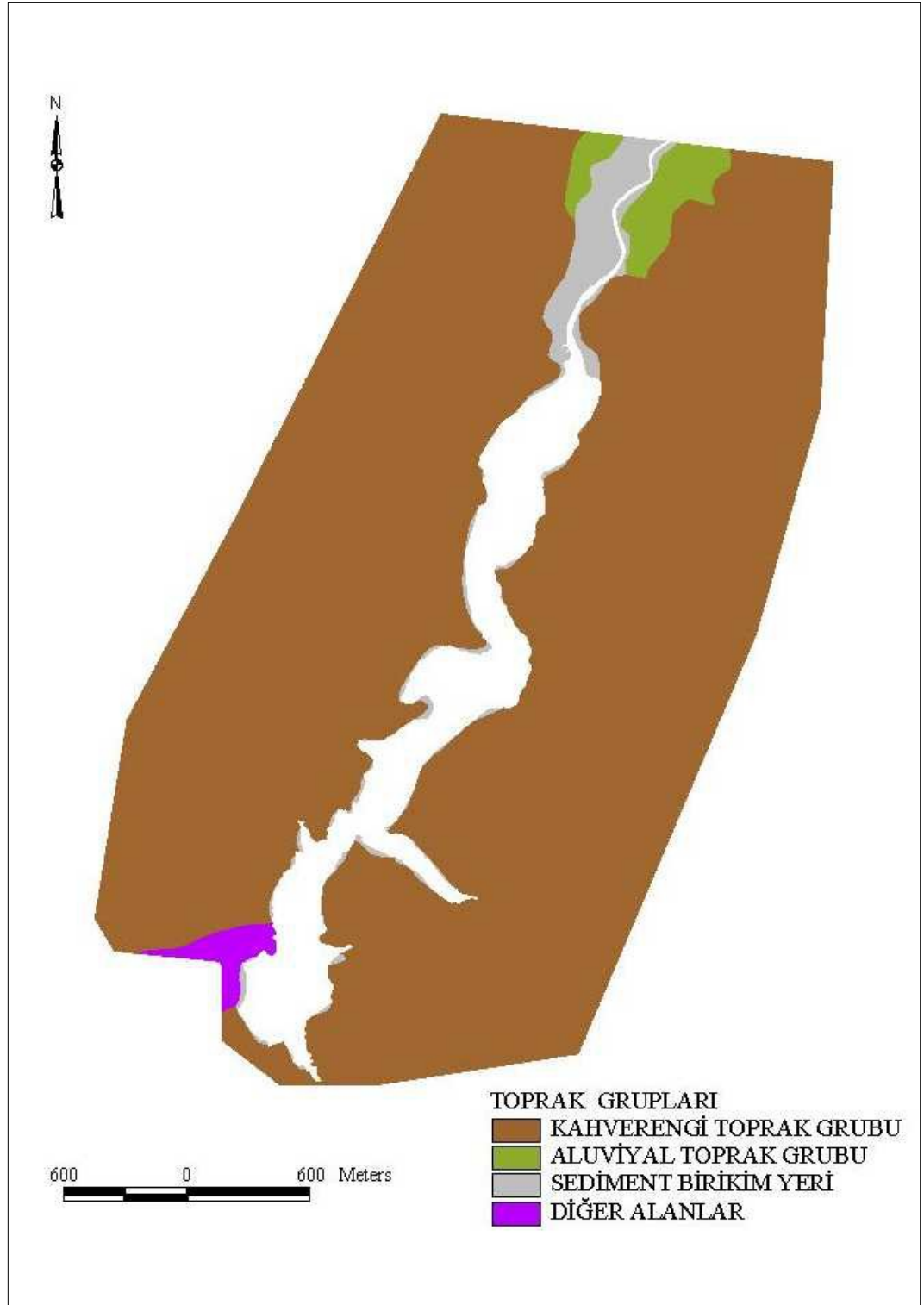
Arazi kullanım kabiliyet sınıfları haritasına göre, çalışma alanında 1., 3., 4., 6. ve 7. sınıf arazi bulunmaktadır. Arazi sınıflarının % dağılımları ise, Çizelge 4.3. 'te sunulmuştur.



Şekil 4.26. Göl Alanı



Şekil 4.27. Toprak Haritası



Şekil 4.28. Büyük Toprak Grupları Haritası

Çizelge 4.3. Arazi Sınıflarının Dağılımı

Arazi Kabiliyet Sınıfları	%
1. Sınıf	2
3. Sınıf	10
4. Sınıf	10
6. Sınıf	22
7. Sınıf	52
Geriye kalan alanlar	4

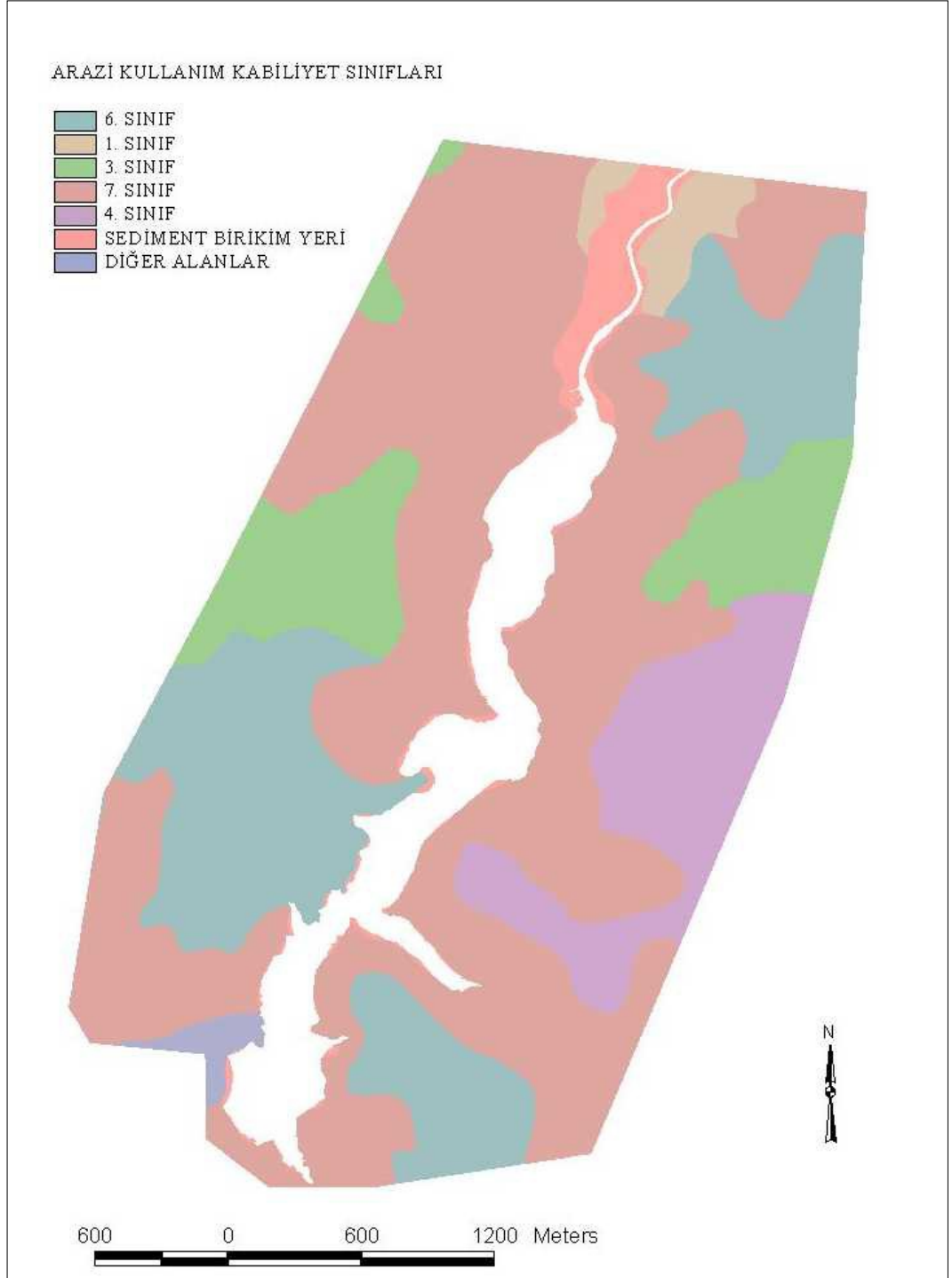
Çizelge 4.3. incelendiğinde, toplam alanın % 84 'ü 4., 6. ve 7. sınıf arazilerden oluşmaktadır. 1. ve 3. sınıf arazi toplamı ise % 12 kadardır. Çalışma alanı, arazi kullanım kabiliyet sınıflarına göre önlemler alınmadan işlemeli tarım yapılmasına uygun değildir (Şekil 4.29)

Şimdiki arazi kullanım haritası incelendiğinde çalışma alanında kuru tarım, sulı tarım ve mera kullanımının mevcut olduğu görülmektedir. Dağılımlar incelendiğinde ise, arazinin % 20 'sinde kuru tarım yapıldığı, % 2 'sinde ise sulı tarım yapıldığı, mera olarak kullanılan alanın % 78 olduğu ve çalışma alanında en fazla mera kullanımının mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 4.30.)

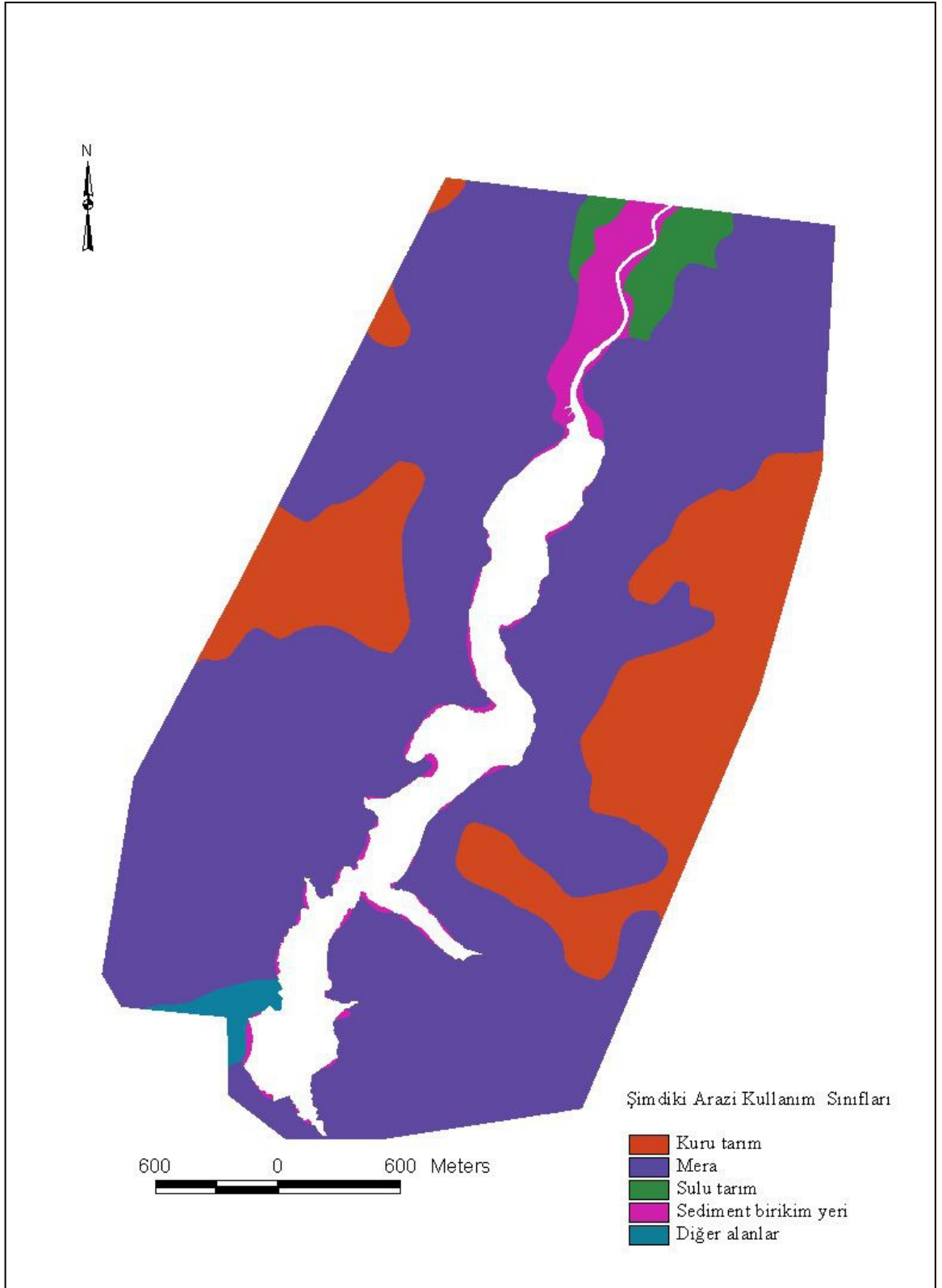
Çalışma alanı, toprak özellikleri kombinasyon haritasına göre incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4. 'te verilmiştir..

Çizelge 4.4. Toprak Özellikleri Kombinasyonu

Toprak Özellikleri Kombinasyon durumu	% dağılım
1 (% 0 – 2 eğim ve derin topraklar (90 cm'den fazla))	2
10 (% 6 – 12 eğim, orta derin topraklar (90 - 50 cm))	10
11 (% 6 – 12 eğim, sığ topraklar (50 – 20 cm))	10
15 (% 12 – 20 eğim, sığ topraklar (50 – 20 cm))	17
16 (% 12 – 20 eğim, çok sığ topraklar (20 - 0 cm))	5
20 (% 20 – 30 eğim, çok sığ topraklar (20 - 0 cm))	46
24 (% 30'dan fazla eğim, sığ topraklar (50 - 20 cm))	6
Geriye kalan alanlar	4



Şekil 4.29. Arazi Kullanım Kabiliyetleri Haritası



Şekil 4.30. Şimdiki Arazi Kullanım Sınıfları Haritası

Yukarıdaki çizelgeye göre, çalışma alanında derin ve orta derin topraklar % 12 kadar olup, geri kalan alanlar, sıg ve çok sıg alanlar şeklindedir. Çalışma alanında, eğim açısından düz eğim % 2 kadar olup, alanın % 20 'si, % 6-12 eğim grubunda bulunmakta, % 22 'si, % 12-20 eğim grubunda ve alanın yarıdan fazlası yani, % 52 'si ise % 20 'den fazla eğim grubunda yer almaktadır.

Bu harita, eğim ve derinlik olarak yeniden sınıflanmıştır. Buna göre eğim ve derinlik haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.31).

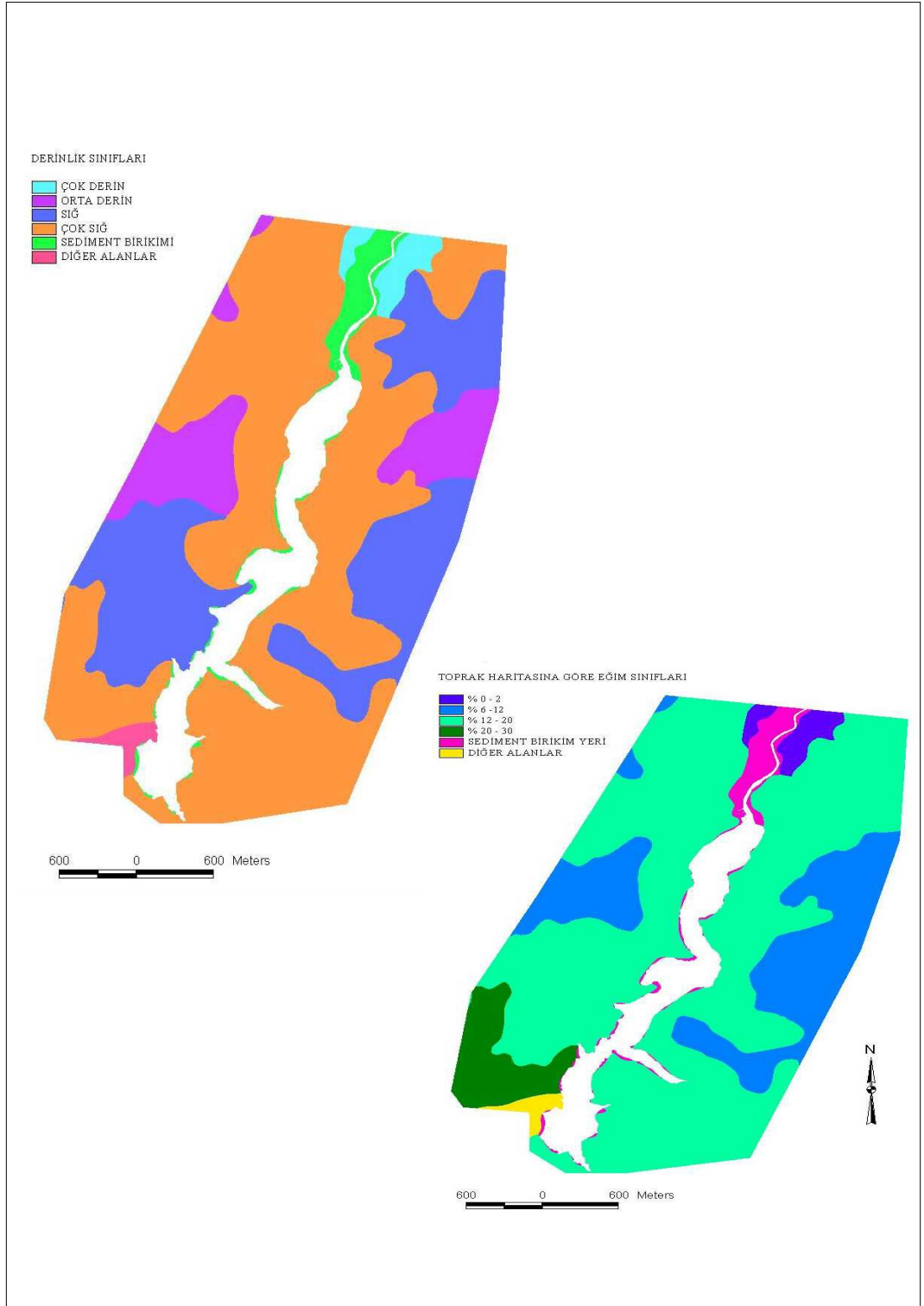
Çizelge 4.5. Toprak Haritasına Göre Derinlik Sınıfları

Derinlik sınıfları	% dağılım
Derin (90 cm'den fazla)	2
Orta derin (90 - 50)	10
Sıg (50 – 20)	27
Çok sıg (20 - 0)	57
Diğer alanlar	4

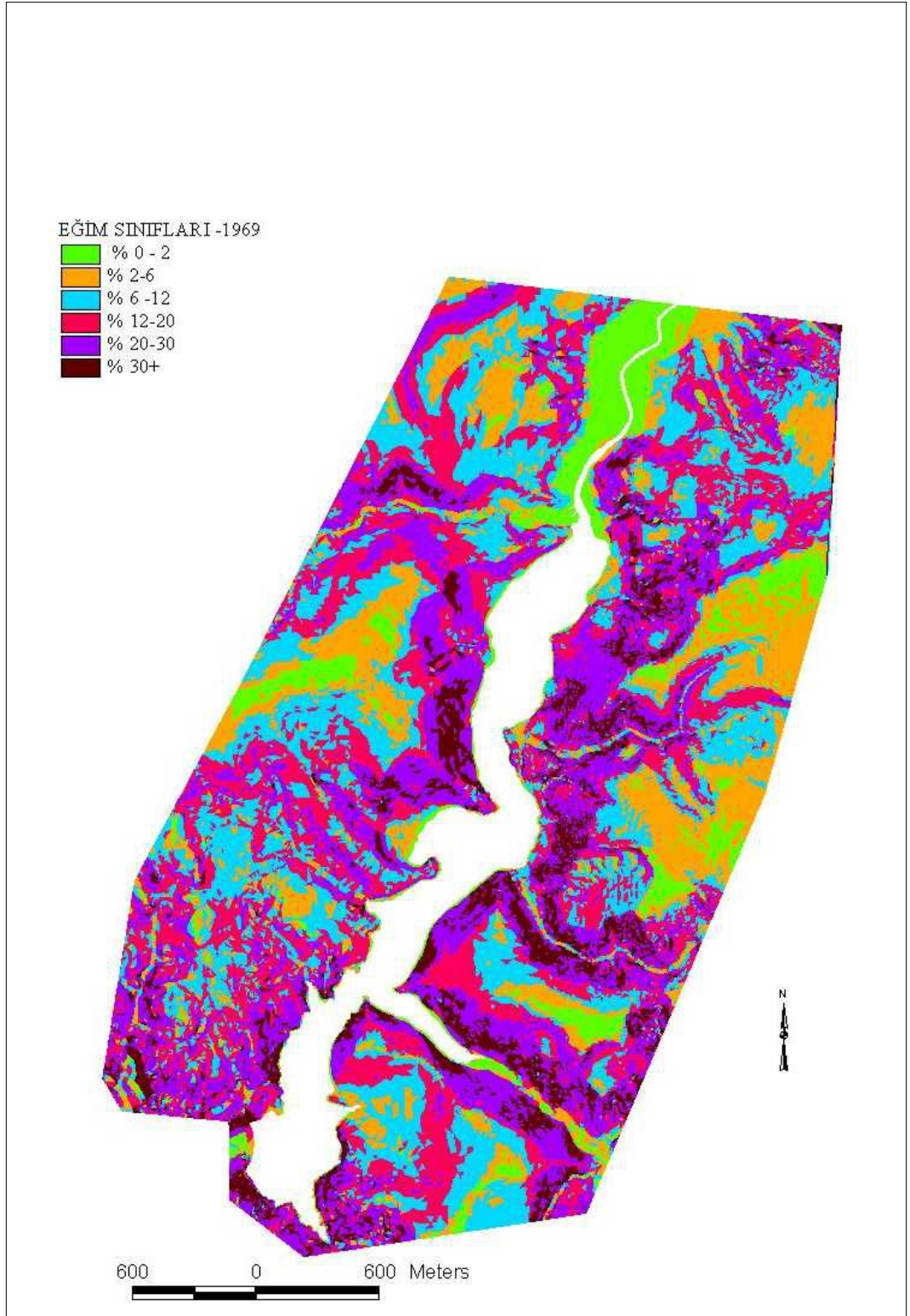
Çizelge 4.6. Toprak Haritasına Göre Eğim Sınıfları

Toprak haritasına göre eğim sınıfları	% dağılım
% 0 – 2 eğim	2
% 2 - 6 eğim	0
% 6 – 12 eğim	20
% 12 – 20 eğim	22
% 20 – 30 eğim	46
% 30 'dan fazla eğim	6
Diğer alanlar	4

1969 yılına ait yükseklik noktaları kullanılarak TIN modeli oluşturulmuştur. TIN modelinden 1 m aralıkla eğim haritası çıkarılmış ve bu harita yukarıda verilen sınıflamaya göre yeniden düzenlenmiştir. Bu sınıflamaya göre elde edilen değerler Çizelge 4.7. 'de, oluşturulan eğim haritası ise, Şekil 4.32. 'de verilmiştir.



Şekil 4.31. Toprak Özellikleri Kombinasyonundan Üretilen Derinlik ve Eğim Haritaları



Şekil 4.32. Yeni Sınıflamaya Göre Eğim Haritası

Çizelge 4.7. Sayısal Arazi Modelinden (TIN) Elde Edilen Eğim Grupları

1969 Yılına Ait Eğim Grupları	% Dağılımlar
0 – 2	7
2 – 6	15
6 – 12	23
12 – 20	25
20 – 30	21
30 'dan fazla	8

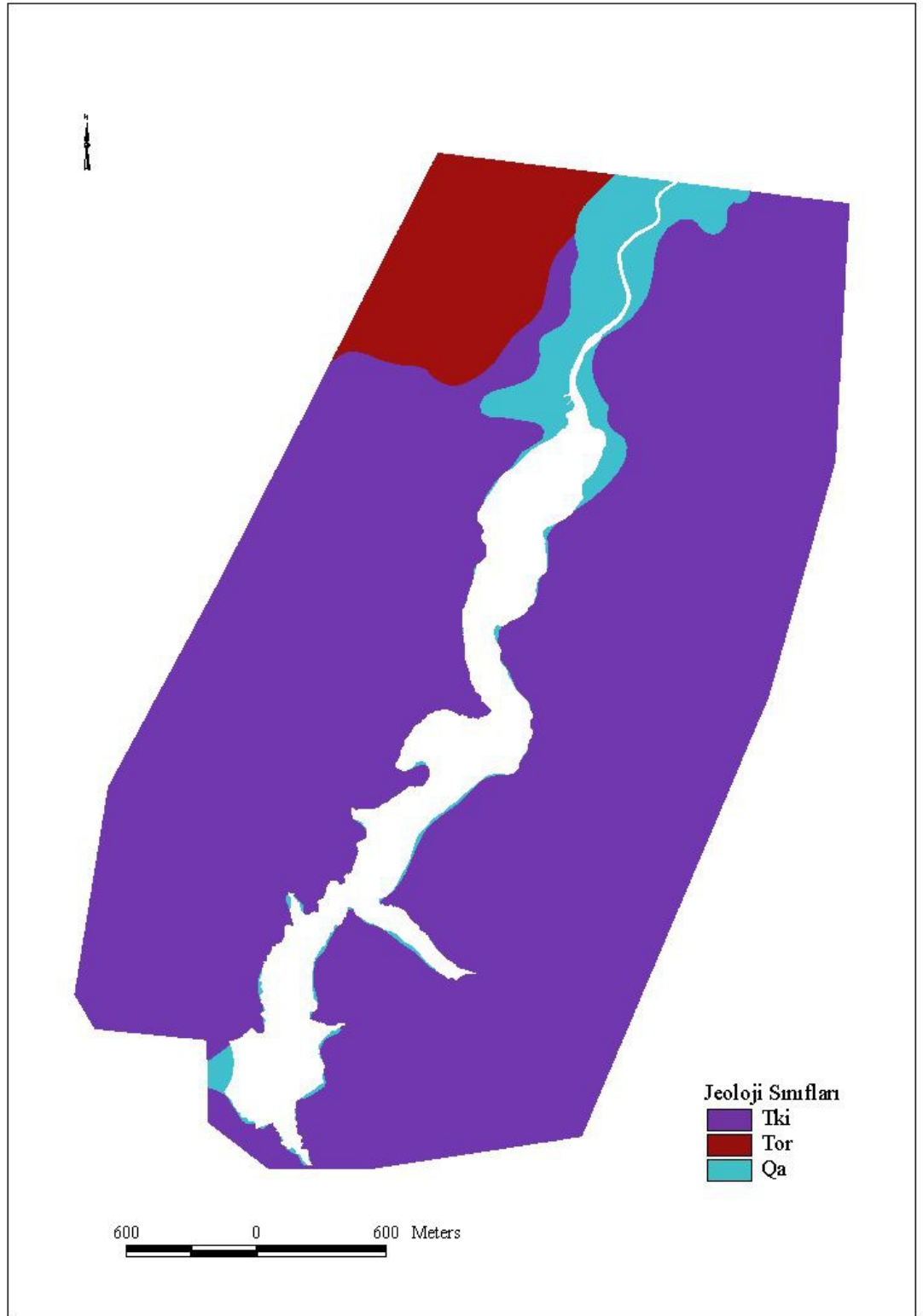
Çizelge 4.7. incelendiğinde, düz, düze yakın ve hafif eğimli alanların % 22 kadar olduğu anlaşılmaktadır. % 6-20 eğim grubunda toplam alanın yaklaşık % 48 'i bulunmakta olup, % 20-30 eğim grubunda alanın % 21 'i ve % 30 'dan fazla eğim grubuna ise arazinin % 8 'i yer almaktadır. Oluşturulan bu eğim haritası, toprak haritasında yer alan eğim grupları dağılımından farklılık göstermektedir. Toprak haritasından elde edilen eğim sınıflamasında % 2-6 eğim sınıfı bulunmamaktadır. Bunun nedeni ise, toprak haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntem ve materyalin farklı olması ve erozyondan dolayı mikro topoğrafyada değişim meydana gelmesidir.

Çalışma alanına ait jeoloji verileri incelendiğinde, üç değişik jeolojik formasyon bulunduğu anlaşılmaktadır. Formasyonlar ve dağılım yüzdeleri Çizelge 4.8. 'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Çalışma Alanının Jeolojik Özellikleri

Jeolojik sınıf birimleri	% dağılım
Qa (aluvyon)	5.3
Tor (Örencik volkaniti, çakıltaşı, kumtaşı, kiltası)	7.5
Tki (Kirazdağ volkaniti, Andezit, anglomera)	87.2

Çalışma alanında en fazla % 87.2 'lik oranla Tki formasyonu bulunmakta, bunu sırasıyla % 7.5. ile Tor ve % 5.3 ile Qa izlemektedir. Erozyon açısından Qa dışındaki sınıflar arasında fark görülmemiştir.



Şekil 4.33. Jeoloji Sınıfları Haritası

4.6. İstatistik Analizlerinden Elde Edilen Bulgular

Toprak haritasından 0.5 m grid aralığında üretilen Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıfları (AKK), Arazi Kullanım Sınıfları (SAK), Büyük Toprak Grupları (BTG), Toprak Kombinasyon Haritasından (TOK) üretilen eğim ve derinlik sınıfları ve jeloji sınıfları, 1969 yılına ait sayısal yükseklik noktaları kullanılarak oluşturulan eğim haritası ve sayısal yükselti sınıflarının birbirinden çıkarılması ile elde edilen ve sadece erozyon değerlerini içeren erozyon haritaları üst üste çakıştırılarak piksel değerleri ASCII koduna çevrilmiştir. Dosya büyüklüğü 2.5 GB 'tan fazla olan bu veri, ArcInfo içerisinde veya herhangi bir istatistik programında açılmamıştır. Daha sonra harita sayısı azaltılmış, diğer alanlar maskelenmiş ve aynı zamanda piksel boyutu 2 m 'ye yeniden gridlenerek ArcInfo ortamında örnek dosya oluşturulmuş ve alınan bu dosya ile istatistiki analizler SPSS programı kullanılarak yapılmıştır. Piksel boyutunun 2 m 'ye çıkarılması ile tematik katmanlardaki sınıflarda değişim olmuştur. Örnek olarak, derinlik katmanında yer alan dört sınıf, üç sınıfa düşmüştür. Piksel boyutu 0.5 m'ye göre derinlik sınıfları;

- 1 derin,
- 2 orta derin,
- 3 sığ,
- 4 çok sığ

şeklinde iken, piksel boyutu 2 m 'ye çıkarıldığında orta derin sınıfı program tarafından diğer sınıflar içine alınmıştır.

İstatistik analizleri yapılırken bağımlı değişken olarak erozyon alınmış ve bağımsız değişkenler olarak, arazi kullanım sınıfları, toprak özellikleri kombinasyon haritasından elde edilen eğim ve derinlik sınıfları tanımlanmıştır. BTG, SAK ve jeoloji gibi diğer haritalarda sınıf sayılarının az olması ve erozyon açısından büyük farklılık oluşturmaması nedeniyle istatistiki değerlendirmeye alınmamıştır.

Toprak derinliği, eğimi ve arazi kullanım kabiliyet sınıflarının erozyona olan bağımsız ve birlikte etkilerini belirleyebilmek için faktöriyel analizler yapılmaya çalışılmış, fakat

veri sayısının çok olması nedeniyle çözüme ulaşılamamıştır. Bunun üzerine faktörler ayrı ayrı değerlendirmeye alınmıştır.

Arazi kullanım kabiliyet sınıflarına ait alanlarda meydana gelen ortalama erozyon miktarları ile bu ortalamalara ait bazı istatistik veriler Çizelge 4.9. 'da verilmiştir. Çizelgeden en yüksek erozyonun 6. sınıf arazilerde ortaya çıktığı görülmektedir. Bu sınıfta belirlenen erozyon miktarları, 1 cm ile 60 cm arasında değişmektedir. Ortalama erozyon miktarı 2.5586 cm olup, ortalamanın standart hatası 0.008216 ve % 95 olasılıkla güven sınırları 2.5425 ile 2.5747 arasındadır. Bu sonuca göre, 6. sınıf için populasyon ortalamasının bu değerler dışında olma olasılığı % 5 'tir.

Çizelge 4.9. AKK Gruplarında Erozyona Ait İstatistik Analiz Sonuçları

AKK Grup.	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Güven Aralığı		Min Eroz.	Max Eroz.
					Alt Sınır	Üst Sınır		
1	52265	1.0655	0.3135	1.371E-03	1.0628	1.0682	1.00	4.00
3	255971	1.0072	0.1094	2.163E-04	1.0068	1.0076	1.00	5.00
4	250849	1.0057	8.906E-	1.778E-04	1.0054	1.0061	1.00	5.00
6	557690	2.5589	6.1364	8.217E-03	2.5428	2.5750	1.00	60.00
7	1320966	1.3790	2.5974	2.260E-03	1.3745	1.3834	1.00	60.00
Total	2437741	1.5647	3.5481	2.273E-03	.	.	1.00	60.00

Farklı arazi kullanım kabiliyet sınıflarında erozyon miktarları arasında farklılık olup olmadığını belirlemek amacıyla tek yönlü varyans analizi yapılmış ve sonuçları Çizelge 4.10. 'da verilmiştir. Varyans analizi sonucu grup ortalamaları arasındaki farkların önemli olduğu bulunmuştur ($P < 0.01$). Bu durumda, arazi kullanım kabiliyet sınıfları arasında erozyon bakımından önemli farkların olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.10. AKK Gruplarında Erozyona Ait Varyans Analiz Tablosu.

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F
Gruplar Arası	767807.759	4	191951.940	15638.422
Gruplar İçi (hata)	29921698.247	2437736	12.274	
Genel	30689506.006	2437740		

Her bir sınıftaki erozyon ortalamaları, yeni değişim genişlikleri kontrol yöntemine (Duncan) göre karşılaştırılmış ve sonuçlar Çizelge 4.11. 'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde % 1 önemlilik seviyesinde dört grup olduğu görülmektedir. En yüksek erozyon ortalaması 6 .sınıf arazilerde meydana gelmiş ve bu sınıfı 7. sınıf ile 1. sınıf izlemiştir. Her üç sınıfa ait ortalamalar birbirlerinden % 1 seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir. En düşük erozyon miktarı ise 3. sınıf ve 4. sınıf arazilerde ortaya çıkmış olup, bu iki ortalama arasında istatistiki anlamda önemli fark bulunmamıştır (Şekil 4.34.). Aynı gruba giren 3. sınıf ve 4. sınıf, diğer sınıflardan farklılık göstermiştir.

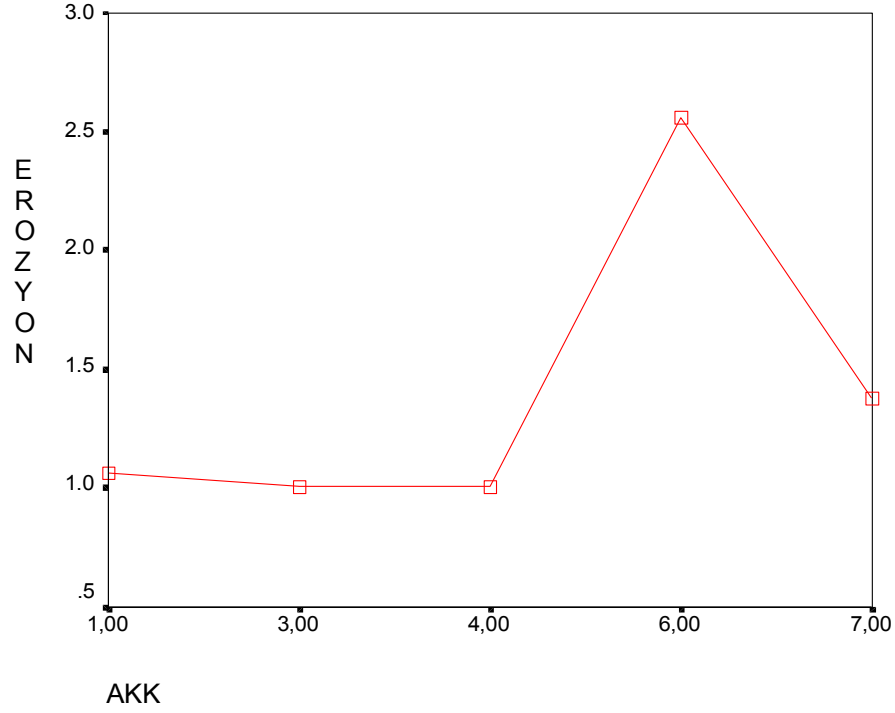
Çizelge 4.11. Farklı AKK Gruplarında Belirlenen Erozyon Ortalamaları Arasındaki Farkların Duncan'a Göre Önemlilik Kontrolü

AKK	N	Duncan Grupları			
		1	2	3	4
4	250849	1.0057			
3	255971	1.0072			
1	52265		1.0655		
7	1320966			1.3790	
6	557690				2.5589

*Harmonik ortalama kullanılmıştır

* $\alpha = 0,01$

Şekil 4.28. incelendiğinde yine 6. sınıf arazilerde erozyonun en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.



Şekil 4.34. AKK ve Erozyon Arasındaki İlişki

Farklı eğim gruplarında meydana gelen erozyon miktarlarına ait bazı istatistik değerler Çizelge 4.12. 'de verilmiştir. Eğim arttıkça erozyon miktarı artmış ve % 20-30 eğimde ortalama erozyon miktarı 2.8858 cm olmuştur. En düşük eğim derecesinde ise ortalama erozyon 1.012 cm olarak bulunmuştur. Bu alanlarda en çok 5 cm erozyon görülmesine rağmen, % 12-20 ve % 20-30 eğimde erozyon, 60 cm 'ye kadar çıkmıştır.

Çizelge 4.12. Eğim Gruplarında Erozyona Ait İstatistik Analiz Sonuçları

Eğim	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Güven Aralığı (%95)		Min Ero.	Max Ero.
					Alt Sınır	Üst Sınır		
1	559085	1.0120	0.1361	1.820E-04	1.0116	1.0123	1.00	5.00
4	1734689	1.6332	3.6594	2.778E-03	.	.	1.00	60.00
5	143967	2.8863	6.9826	1.840E-02	2.8503	2.9224	1.00	60.00
Toplam	2437741	1.5647	3.5481	2.273E-03	.	.	1.00	60.00

Eğim gruplarına ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.13. 'te ve Şekil 4.35. 'te verilmiştir. Analiz sonucu, eğim gruplarına ait erozyon ortalamaları arasındaki farkların önemli olduğu belirlenmiştir ($P < 0.01$).

Çizelge 4.13. Eğim Gruplarında Erozyona Ait Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Sebestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F
Gruplar Arası	430411.748	2	215205.874	17337.450
Gruplar İçi (hata)	30259094.258	2437738	12.413	
Genel	30689506.006	2437740		

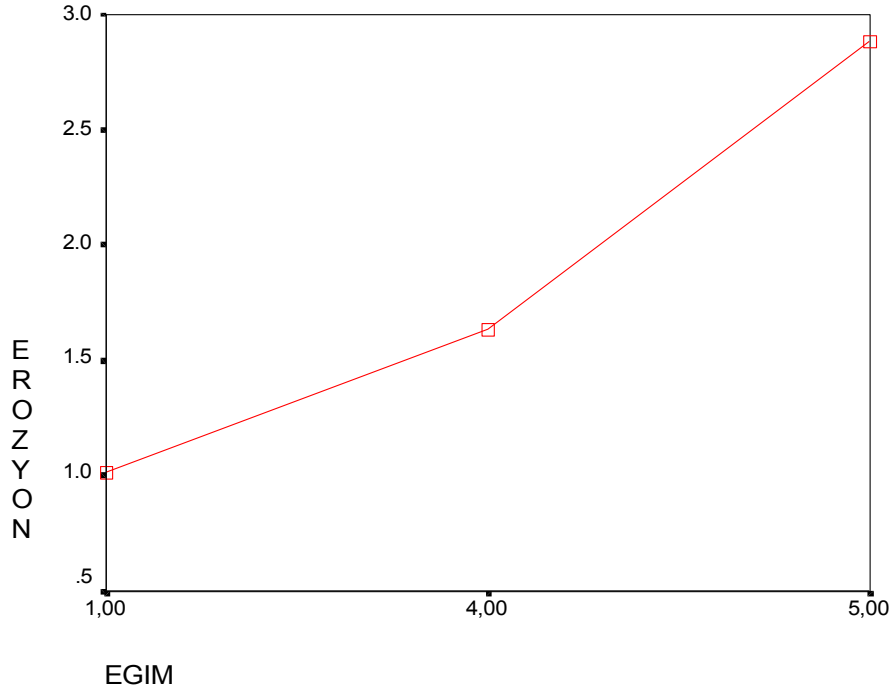
Eğim grupları Duncan metodu ile karşılaştırıldığında, 3 grup ortalamasının da % 1 önem seviyesinde birbirinden farklı olduğu bulunmuştur.

Çizelge 4.14. Farklı Eğim Gruplarında Belirlenen Erozyon Ortalamaları Arasındaki Farkların Duncan'a Göre Önemlilik Kontrolü

Eğim Grup.	N	Ortalama Erozyon Değerlerine Ait Duncan Grupları		
		1	2	3
1	559085	1.0120		
4	1734689		1.6332	
5	143967			2.8863

*Harmonik ortalama kullanılmıştır

* $\alpha = 0,01$



Şekil 4.35. Eğim ve Erozyon Arasındaki İlişki

Farklı toprak derinliklerinde belirlenen erozyon miktarlarına ait analiz sonuçları Çizelge 4.15. 'te ve Şekil 4.36. 'da verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, en az erozyonun 3. derinlik grubunda olduğu ve maksimum erozyonun 5 cm olduğu görülmektedir. Bu grupta erozyon ortalaması 1.0072 cm ve bu değere ait % 95 olasılıkla alt güven sınırı 1.0068 cm, üst güven sınırı 1.0076 cm olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.15. Derinlik Gruplarında Erozyona Ait İstatistik Analiz Sonuçları

Derin. Grup.	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Güven Aralığı(%95)		Min Eroz.	Max Eroz.
					Alt Sınır	Üst Sınır		
1	746263	1.8541	4.9469	5.726E-03	1.8428	1.8653	1.00	60.00
3	255971	1.0072	0.1094	2.163E-04	1.0068	1.0076	1.00	5.00
4	1435507	1.5138	2.9246	2.440E-03	1.5090	1.5185	1.00	60.00
Toplam	2437741	1.5647	3.5481	2.273E-03	.	.	1.00	60.00

Farklı toprak derinliklerinin erozyon açısından farklılık oluşturup oluşturmadığını saptamak için yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.16. 'da verilmiştir. Çizelge incelendiğinde derinlik grupları arasındaki farklılığın önemli olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.16. Derinlik Gruplarında Erozyona Ait Varyans Analiz Tablosu.

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Sebestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F
Gruplar Arası	145775.158	2	72887.579	5817.579
Gruplar İçi (hata)	30543730.848	2437738	12.530	
Genel	30689506.006	2437740		

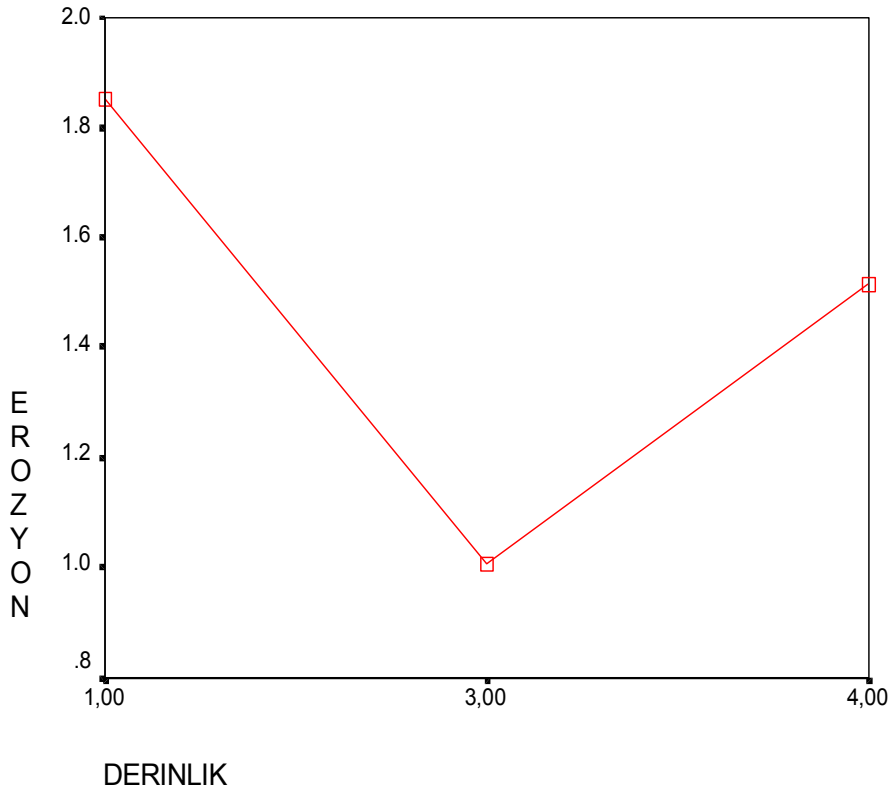
Duncan gruplaması sonucunda, en çok erozyonun meydana geldiği 1. derinlik grubuna ait erozyon ortalamasının diğer iki derinlik grubuna ait erozyon ortalamalarından % 1 seviyesinde önemli farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Çizelge 4.17. 'den görüleceği gibi 3. ve 4. derinlik grubuna ait ortalamalar da birbirlerinden farklılık göstermektedir. Derinlik sınıflarında özellikle 1. sınıf derinlik grubunda erozyonun fazla olması, bu derinlik grubundaki toprakların aşınabilirlik özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.17. Farklı Derinlik Gruplarında Belirlenen Erozyon Ortalamaları Arasındaki Farkların Duncan'a Göre Önemlilik Kontrolü

Derinlik Grupları	N	Duncan Grupları		
		1	2	3
3.00	255971	1.0072		
4.00	1435507		1.5138	
1.00	746263			1.8541

*Harmonik ortalama kullanılmıştır

* $\alpha = 0,01$



Şekil 4.36. Derinlik ve Erozyon Arasındaki İlişki

Bu çalışmada iki farklı yöntemle belirlenen eğimlere ait bazı özet istatistiksel veriler Çizelge 4.18. 'de verilmiştir. Sayısal yükselti modelinden elde edilen eğim derecelerine göre bulunan ortalama erozyon = $3.6745 + 0.00085$ cm, toprak haritasından oluşturulan eğim haritasına göre bulunan ortalama erozyon = $3.3710 + 0.00084$ cm 'dir.

Ayrıca, erozyon bakımından oluşturulan, yukarıda bahsedilen, farklı eğimler arasında ilişki olup olmadığı araştırılmış ve korelasyon katsayısı $r = 0.45$ olarak bulunmuştur. Bu iki eğim haritası verilerinin pozitif yönde değişime sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.18. Eşleştirilmiş Örneklerle Ait Bazı İstatistikler

Eşler	Ortalama	N	Standart Sapma	Standart Hata
Eğim	3.3710	2437741	1.3144	8.418E-04
Eğim-y	3.6753	2437741	1.3284	8.508E-04

İki farklı yöntemle belirlenen eğimlere ait erozyon değerleri arasında farklılık olup olmadığı eşleştirilmiş, örneklere ait t istatistiği ile kontrol edilmiş ve fark önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.19. Eşleştirilmiş Örneklerle Ait t Testi

Eşler	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Farkların Güven Aralığı (% 95)		t	Serbestlik Derecesi
				Alt	Üst		
Eğim-Eğim-y	- 0.3043	1.3859	8.877E-04	- 0.3066	- 0.3020	- 342.787	2437740

Yeni yöntemle belirlenen farklı eğim gruplarında meydana gelen erozyon miktarlarına ait bazı istatistik değerler Çizelge 4.20. 'de verilmiştir. Eski yöntemde erozyon 3 eğim grubuna göre değerlendirilmiş olmasına rağmen bu yöntemde 6 eğim grubuna göre değerlendirilmiş ve en yüksek erozyonun 3. grupta olduğu ve bunu 6. grubun izlediği görülmüştür (Şekil 4.37.). Erozyon, 1 eğim derecesi dışında maksimum 60 cm 'ye kadar yükselmiştir.

Çizelge 4.20. Eğim-y Gruplarında Erozyona Ait İstatistik Analiz Sonuçları

Eğim-y Grup.	N	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	Güven Aralığı (% 95)		Min	Max
					Alt Sınır	Üst Sınır	Eroz.	Eroz.
1	126549	1.5863	3.0363	8.535E-03	1.5695	1.6030	1.00	58.00
2	378417	1.4677	3.4175	5.556E-03	1.4568	1.4786	1.00	60.00
3	582401	1.8041	4.3745	5.732E-03	1.7929	1.8154	1.00	60.00
4	621110	1.5454	3.4186	4.338E-03	1.5369	1.5539	1.00	60.00
5	531174	1.3279	2.3474	3.221E-03	1.3216	1.3342	1.00	60.00
6	198090	1.7281	4.3221	9.711E-03	1.7091	1.7471	1.00	59.00
Total	2437741	1.5647	3.5481	2.273E-03	.	.	1.00	60.00

Eğim gruplarına ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.21. 'de verilmiştir. Analiz sonucu, yeni yöntemle belirlenen eğim gruplarına ait erozyon ortalamaları arasındaki farkların yine önemli olduğu belirlenmiştir ($P < 0,01$).

Çizelge 4.21. Eğim-y Gruplarında Erozyona Ait Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F
Gruplar Arası	72307.688	5	14461.538	1151.425
Gruplar İçi (hata)	30617198.318	2437735	12.560	
Genel	30689506.006	2437740		

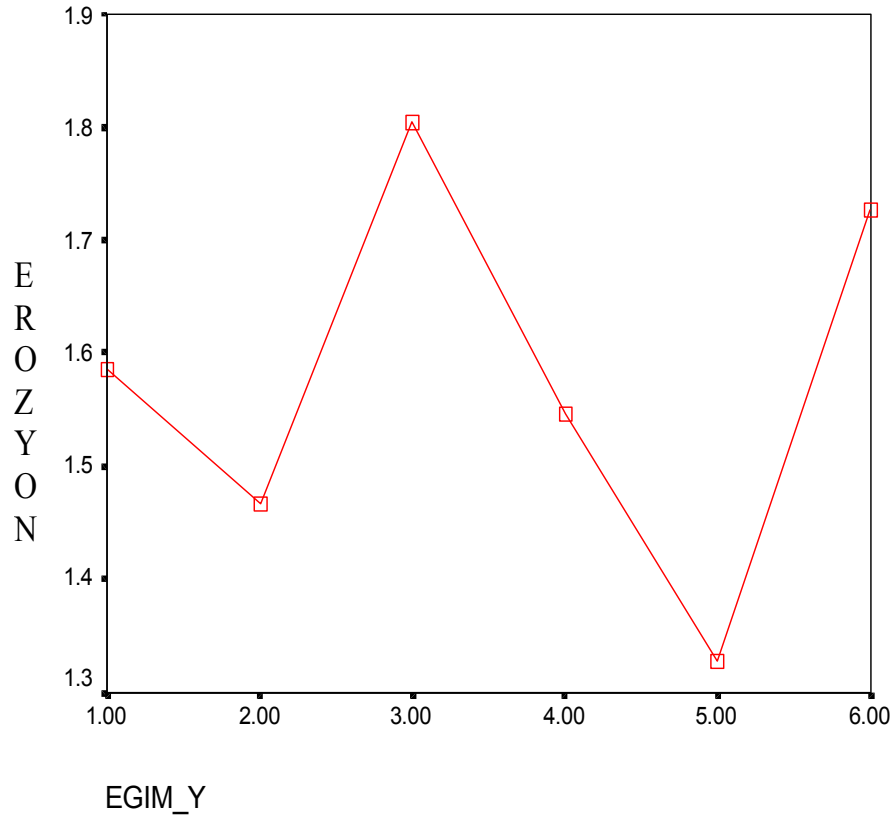
Varyans analizi sonucu belirlenen önemli farklılığı hangi grupların oluşturduğunu saptamak amacıyla yapılan analiz sonuçları Çizelge 4.22. 'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, en yüksek erozyonun belirlendiği, sırasıyla 3., 6. ve 1. eğim grup ortalamalarının aynı gruba girdiği ve istatistiki olarak aralarında önemli farklılığın olmadığı görülmektedir. Fakat 3. eğim grubu, 6 ve 1. eğim grubu dışındaki diğer gruplardan % 1 anlamlılık düzeyinde farklılık göstermektedir.

Çizelge 4.22. Farklı Eğim-y Gruplarında Belirlenen Erozyon Ortalamaları Arasındaki Farkların Duncan'a Göre Önemlilik Kontrolü

Eğim-y	N	Ortalama Erozyon Değerlerine Ait Duncan Grupları					
		1	2	3	4	5	6
5	531174	1.3279					
2	378417		1.4677				
4	621110			1.5454			
1	126549				1.5863		
6	198090					1.7281	
3	582401						1.8041

*Harmonik ortalama kullanılmıştır

* $\alpha = 0,01$



Şekil 4.37. Yeni Oluşturulan Eğim Değerleri İle Erozyon Arasındaki İlişki

4.7. Çalışma Alanına Ait Uydu Görüntüsü Analizleri

4.7.1. Landsat 7 – TM Görüntüsü Ve Özellikleri

Yeryüzünün doğal ve yapay cisimleri hakkında değişik şekillerde bilgi toplayıp, bunları bize ileten uzaktan algılama biliminin temel araçlarından biri olan uyduların sayısı ve nitelikleri de teknolojik ilerlemeye bağlı olarak değişmektedir. İlk uzaktan algılama uydusu olan ve önceleri ERTS (Earth Resources Technology Satellite) olarak bilinen Landsat, 1972 yılında NASA tarafından uzaydaki yörüngesine oturtulmuş, bunu Landsat - 1, 2, 3, 4, 5 ve 7 izlemiştir. Landsat 7, 1999 yılında yörüngesine oturulmuş ve Nisan ayından itibaren veri alınmaya başlanmıştır. Uydunun tarama genişliği 185 km olup, 16 günde bir aynı noktadan geçmektedir.

Çalışmada kullanılan Landsat 7 görüntüsü, diğer Landsat görüntülerinden farklı olarak birisi pankromatik olmak üzere 8 bant içermektedir. İlk yedi bantın dalga boyu ve

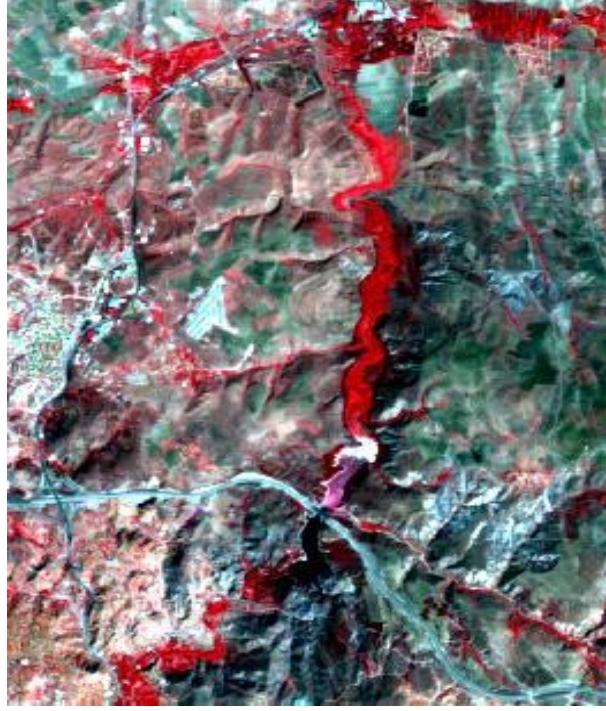
çözünürlükleri sırasıyla; 0.45-0.515 mikron - 30 m, 0.525-0.605 mikron - 30 m, 0.63-0.69 mikron - 30 m, 0.75-0.90 mikron - 30 m, 1.55-1.75 mikron - 30 m, 10.4-12.5 mikron - 60 m ve 2.09-2.35 mikron - 30 m 'dir. Termal bant, düşük ve yüksek olmak üzere iki şekilde düzenlenmiştir. Pankromatik bantın dalga boyu 0.52-0.90 mikron ve çözünürlüğü 15 m 'dir.

4.7.2. Kontrolsüz (Unsupervised) Sınıflama

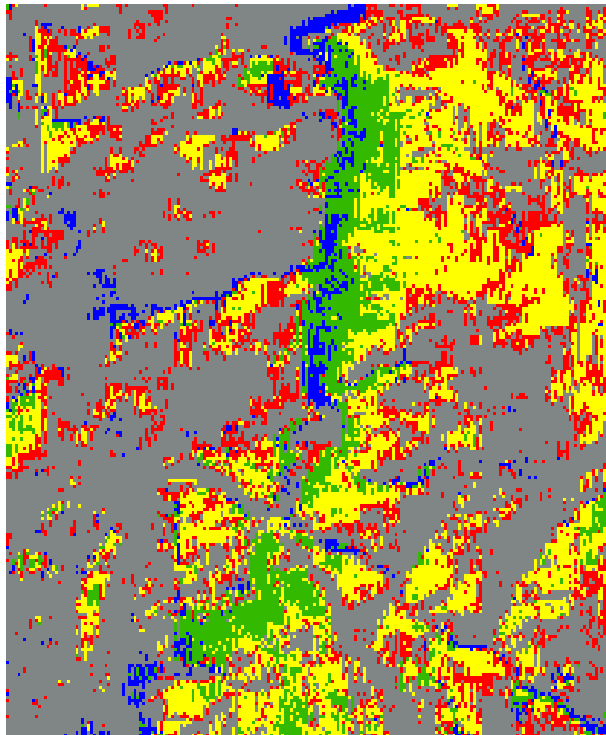
Genel anlamda “image”, nesnelerin sayısal olarak sunumudur. Uzaktan algılamada kullanılan görüntü terimi yeryüzünün sayısal görüntüsüdür. Sınıflandırma ise bu görüntülerin piksel yansıma değerlerinden yararlanarak arazi hakkında veriler üretilmesidir. Örneğin, arazi örtüsü, arazi kullanımı, tarım alanları, orman alanları gibi. Uydu görüntülerinde sınıflandırma işlemi genel olarak supervised (kontrollü) ve unsupervised (kontrolsüz) olmak üzere iki şekilde yapılır. Supervised sınıflamada sınıflar kullanıcı tarafından belirlenirken, unsupervised sınıflamada ise sisteme, görmek istenilen sınıf sayısı verilir. Program tarafından, verilen sınıf sayısına göre en yakın yansıma değerlerine sahip pikselleri aynı sınıfa atanır. Dolayısı ile kullanıcının arazi hakkındaki bilgisi devre dışı kalmaktadır. Bu çalışmada unsupervised sınıflandırma kullanılmış ve uydu görüntüsü olarak yukarıda özellikleri verilen Landsat 7, 29 Eylül 1999 görüntüsü kullanılmıştır.

Landsat 7 görüntüsü üzerinde TNTmips programı ile, öncelikle değişik bant kombinasyonları kullanılarak, arazide bulunan çeşitli unsurlar tanımlanmaya çalışılmıştır. Bunlardan 3-2-1 bant kombinasyonunun arazinin doğal renklerini yansıtması nedeniyle, yollar, yapılar ve göl alanı rahatlıkla ayıredilebilmiştir. Erozyona uğramış alanlar net bir şekilde görülmüştür. Erozyon haritasından elde edilen aşınım, birikim ve değişmeyen alanların, Landsat 7 görüntüsü üzerinde de aynı bölgelere düştüğü görülmektedir.

Bant kombinasyonlarından 4-3-2, 7-5-1 ve 7-4-1 incelenmiş ve bunlar kullanılarak unsupervised sınıflamalar yapılmıştır. Araziye ait detayların bilinmesi, unsupervised sınıflamanın yorumlanmasında zorluklara neden olmuştur. 4-3-2 bant kombinasyonu (Şekil 4.38.) kullanılarak yapılan sınıflandırma, araziye daha iyi temsil edebilecek nitelikte bulunmuştur. Bu sınıflandırmaya ait görüntü Şekil 4.39. 'da verilmiştir.



Şekil 4.38. Landsat 7 Görüntüsünün 3-2-1 ve 4-3-2 Bant Kombinasyonları



Şekil 4.39. Unsupervised Sınıflandırma

5. SONUÇ

Yapılan araştırmalar sonucu, bu çalışmanın niteliğine uygun zaman aralığına ve belirli detay ölçeklerine sahip 1969 yılına ait 1:21000 ve 1995 yılına ait 1:4000 ölçekli hava fotoğraflarının, fotogrametrik yöntemlerle sayısallaştırılmasıyla elde edilen sayısal yükseklik noktaları kullanılarak, çalışma alanında erozyondan dolayı meydana gelen değişim incelenmiştir. Bu amaçla, sayısal arazi modelleri altlık olarak kullanılmıştır. Sayısal arazi oluşturulmasında, 0.5 m grid aralığı verilmiş ve bu modellerden üretilen sayısal yükseklik sınıflarının farkı alınmak suretiyle, yüksekliklerde meydana gelen değişimler saptanmıştır. Bu değişimlere ilişkin veriler, piksel sayıları, piksel alanları, toprak örneklerinin ortalama hacim ağırlığı gibi değerler kullanılarak t/piksel/26 yıl ve t/ha/yıl olarak, aşınım ve birikim miktarları hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplamalara göre; çalışma alanı olarak seçilen arazinin erozyona uğrayan bölümlerinde 8 t/ha/yıl toprak kaybı meydana geldiği, sediment birikimi olan bölümlerinde ise 18.3 t/ha/yıl toprağın değişik yollarla çalışma alanına ulaştığı hesaplanmıştır. Ayrıca, çalışma alanında, 1969 yılından sonra inşa edilen çevre yolu yapımından kaynaklanan hafriyat miktarı çıkarılmak üzere, bu alanlar hesaplama alınmamış ve sadece 1-25 cm arasında erozyona uğrayan alanlar için benzer hesaplamalar yapılmıştır. Bu alanlarda 13.08 t/ha/yıl toprak kaybı olduğu tespit edilmiştir. Oluşturulan değişim haritasından farklı sınıflandırmalar ile, aşınım, birikim ve değişmeyen alanlar ve kendi içinde aşınım alanları, toprak haritalarında kullanılan erozyon değerlendirme kriterleri dikkate alınarak gruplandırma yapılmıştır. Bu gruplandırmaya göre en fazla aşınım 1-25 cm arasında ve birikim miktarı da 76-99 cm arasında elde edilmiştir. Görüntü analiz programına aktarılan sayısal arazi modelleri üst üste çakıştırılmış ve elde edilen bu katman üzerinden enkesitler alınarak, arazinin değişik yerlerindeki değişimler grafikler halinde gösterilmiştir. Bu enkesit örneklerine göre, yamaç kısımlarda ve oyuntularda erozyonun daha çok olduğu, eteklerde ise birikimin fazla olduğu belirlenmiştir. Erozyonu etkileyen toprak derinliği, eğimi ve arazi kullanım kabiliyeti gibi faktörler dikkate alınarak, bu faktörlerin erozyona etkileri, bazı istatistik analizleri yoluyla ortaya konulmuştur. Buna göre, arazi kullanım kabiliyetleri açısından en fazla erozyonun, 6. sınıf arazilerde, en az erozyonun, 3. ve 4. sınıf arazilerde ortaya çıktığı belirlenmiştir. Toprak haritasından oluşturulan eğim gruplarına göre, eğim arttıkça erozyon artmış ve en fazla erozyon % 20-30 eğim grubunda olmuştur. Derinlik grupları içinde en az

erozyon sığ grupta, en fazla erozyon, çok derin grupta meydana gelmiştir. 1969 yılına ait eğim gruplarına göre yapılan analizde, en fazla erozyon, % 6-12 eğim grubunda olmuştur.

Erozyonu belirleme metodolojileri içinde son yıllarda üzerinde büyük önem arzeden ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak büyük ilerlemeler kaydeden kantitatif modelleme gittikçe önem kazanmaktadır. Ülkemizde bu güne kadar erozyon konusunda yapılan çalışmalardan yöntem yaklaşımı itibarıyla farklılık arzeden bu araştırma bu yönüyle bir ilki oluşturmaktadır.

Temel altlıklarını hava fotoğraflarının oluşturduğu bu modelleme çalışmasında, uygun alan ve uygun fotoğraf ölçeği konusunda karşılaşılan bir çok zorluklar, ülkemizde hava fotoğraflarının çekiminden sorumlu olan kuruluşların çalışma konularının farklılıkları ve bu konulara bağlı olarak fotoğraf ölçeği ve ayrıca belirli zaman aralıklarında fotoğraf çekiminin olmayışı gelmektedir. Bu sorunlara bağlı olarak temin edilebilen hava fotoğraflarının ölçekleri farklı olmakla birlikte daha eski zamanlara ait uygun fotoğraf temini mümkün olmamıştır.

Yukarıda ifade edilen zorluklara karşın, fotogrametri konusunda ülkemizde son teknolojik gelişmelerin takip edilip başarı ile uygulanıyor olması, çalışma açısından olumlu katkılar sağlamıştır. Çalışma hassasiyetine uygun olarak yapılan sayısallaştırma ile ölçek detayları arasındaki farklılıklar en aza indirilmiştir.

Çalışmada diğer bir altlığı oluşturan toprak haritaları güncel olmayıp, erozyonu etkileyen parametreler açısından gereken alt birim düzeyinde bilgileri içermemektedir. Daha sonra yürütülecek veya geliştirilecek yöntem çalışmaları için seri bazında sınıflaması yapılan toprak haritalarının esas alınması sonuçların yorumlanmasında önemli kolaylıklar sağlayacaktır. Ülke bazında bir an önce temel toprak etüt çalışmalarının başlatılması, bu konuda karşılaşılan zorlukları giderecektir.

Fotoğraf teminine bağlı olarak seçilen alan aşınım ve birikim noktalarını açıklamada tüm parametrelerin irdelenmesini güçleştirmektedir. Aşınım ve birikim sonuçlarının daha iyi irdelenmesi açısından bu tür çalışmaların su ayırım çizgisi ile sınırlandırılan havzalar bazında ele alınması gerekmektedir. Böylece gelen toprağın kaynağı daha net

olarak açıklanabileceği gibi, birikimi ve bunun yanında aşınımı etkileyen faktörlerin de daha sağlıklı yorumlanmasını sağlayacaktır.

Ele alınan bu çalışmada sayısal yükselti model oluşumunda kullanılan interpolasyon metodu, kullanılan programdaki interpolasyon tekniğine bağlı olarak yapılmıştır. Arazi modellemesi için mevcut olan diğer interpolasyon teknikleri de test edilerek çalışma sonuçlarını etkileyip etkilemediğinin bilinmesinde fayda olacağı düşünülmektedir. Buna ek olarak, sayısal arazi modellerinden grid yönteminin dışında düzensiz üçgenler metodunun da çalışılması ve araziye en iyi ifade eden modellerin esas alınması, araştırılması gereken diğer konuları oluşturmaktadır. Sayısal yükselti modellemesinde kullanılan iki tip veri bulunmaktadır. Yükseklik noktalarının yanısıra bu noktaların kullanılması ile üretilen eşyükselti eğrileri de modellemede kullanılmaktadır. Bu çalışma için hazırlanan yükseklik noktalarından üretilen ve 25 cm 'de bir geçirilen eşyükselti verileri mevcut olmasına rağmen kullanılamamıştır. Bunun nedeni ise verilerin Microstation ortamında ve DGN formatında olmasıdır. ArcInfo ve ArcView programlarının bu veri tipini tam olarak yönetip destekleyememesi nedeniyle kontur paftaları birleştirilememiştir. Bu yüzden yükseklik noktaları kullanılmıştır. Ek olarak, araziye daha iyi temsil edebilmesi için hazırlanan tarla sınırları, şevler ve kuru dere yataklarına ait yükseklik verileri, yine format sorunu ve grid modellemenin ek veri olarak nokta verisi dışında veri kabul etmemesi nedeniyle analizde kullanılamamıştır.

Bir diğer sorun ise, projeksiyonu yapılan dosyaların bir diğer programa aktarılırken mevcut projeksiyonu tanımaması ya da projeksiyona ait bazı parametreleri değiştirmesi olmuştur. Grid aralığının çok düşük olması nedeniyle, veri hacmi aşırı oranda artmış ve kullanılan bilgisayarlar çok yüksek kapasiteli (2x500 Mhz Dualprocessor, 2x18 GB harddisk, 1 GB RAM) olmasına rağmen verilerin işlenmesinde zorluklarla karşılaşmıştır. Görüntü işleme, CBS ve sunum özelliklerine sahip tek bir programın kullanılmasının, bu tür zorlukların yaşanmasını önleyeceği düşünülmektedir.

Çalışma sonuçlarının test edilebilmesi amacıyla ileriki yıllarda, daha çok arazi gözlem değerlerini içeren alanlarda, benzer araştırmaların yürütülmesi önem arz etmektedir. Bu ifadeye dayanarak, ülkemizde veri tabanı oluşturma konusunda, ülke bazında yürütülecek çalışmalara hız verilmesi; uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri gibi

daha çok veri tabanına dayalı çalışmaların hızlanmasını ve çalışma sayılarının artmasını sağlayacaktır.

Oyuntu erozyonu gibi daha fazla arazi çalışması gerektiren konularda, kısa zaman içerisinde sağlıklı sonuçlar verebilen bu metodoloji, belirli zaman aralıklarında meydana gelen değişimleri izleme imkanı vermektedir.

Toprak ve su kaynakları konusunda yapılan yatırımların yanısıra, erozyon önleme çalışmalarının birlikte ele alınması, yatırımların kısa sürede elden çıkmasını önleyecektir. Önlemlerin alınması yanında bakımı ve sürekliliği de ayrıca sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ayday, E. 1984. Eskişehir koşullarında üniversal denklemin yağış erozyon indisi (R) ve toprak aşınım (K) faktörlerinin belirlenmesi. Topraksu Araştırma Yayınları No:178, Eskişehir.
- Ayday, C., Altan, M. and Karaş, E. 1998. Preparation of erosion risk map by using remote sensing and geographic information systems techniques. International Conference on GIS for Earth Science Applications. Ljubljana, 11-20.
- Camp, N. and De Wulf, R. 1998. Erosion risk assessment by remote sensing and GIS technology, Land management in China. Geomatics Info Magazine, 12; 31-33.
- Commission of the European Communities. 1992. CORINE Soil erosion risk and important land resources. Luxembourg
- Cyr, L., Poulin, A. and Bonn, H. A. 1991. Remote sensing protective land cover evaluation as an input to regional scale erosion modelling. Proceedings of I. GARRS. 43-52.
- Çanga, M. R. ve Erpul, G. 1994. Toprak işlemeli tarım alanlarında erozyon ve kontrolü. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ankara.
- Çinkaya, N. 1993. Ankara metropoliten alanı içerisinde kalan Çubuk vadisi ve çevresinin arazi kullanım planlaması. Yüksek Lisans tezi (basılmamış). Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Çullu, M. A. 1993. Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri yardımıyla toprak erozyonunun belirlenmesi üzerine araştırmalar. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Daag, A. and Westen, C. J. 1996. Cartographic modelling of erosion in pyroclastic flow deposits of Mount Pinatubo, Philippines. ITC Journal, 2; 110-124
- De Rose, D. C. Gomez, B. Marden, B. And Trustrum, N. A. 1997. Gully erosion in Mangatu Forest, New Zealand, Estimated from digital elevation models. Earth Surface Process and Landforms.
- Dinç, U. 1997. Arazi kullanım planlamasında uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılması eğitim programı danışman raporu. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
- Dinç, U. 1997. Arazi kullanım planlamasında uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılması eğitim programı kurs notları. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
- Dinç, U. ve Şenol, S. 1994. Kartoğrafya. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Genel Yayın No: 89. Ders Kitapları Yayın No: 21. Adana.

- Doğan, O. 1982. Ankara koşullarında üniversal denklem faktörleri. Merkez Topraksu Araştırma Enstitüsü Yayınları. No 82, Ankara.
- Doğan, O. 1987. Türkiye erosiv yağış potansiyelleri, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Doğan, O. ve Küçükçakar, N. 1996. Ankara yöresinde üniversal toprak kaybı eşitliği parametreleri. Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü Yayınları, Genel Yayın No:199, Rapor Seri No:105, Ankara.
- Doğan, O., Küçükçakar, N., Özel, M. E. ve Yıldırım, H. 1999. Dalaman havzası erozyon haritalama pilot projesi. İstanbul.
- Dymond, J. R. and Hicks, D. L. 1986. Steepland erosion measured from historical aerial photographs. Journal and Water Conservation. 41-4; 252-255.
- Elliot, W. J., Foster, G. R. and Elliot, A. Z. 1991. Soil erosion: Processes impacts and prediction. Soil Management for Sustainability. Soil And Water Conservation Society.
- Floras, S. A. and Sgouras, L. D. 1999. Use of geoinformation techniques in identifying and mapping areas of erosion in a hilly landscape of central Greece. ITC Journal, 1; 68-77.
- Foster, G. R. and Highfill, R. E., 1983. Effect of terrace on soil loss: USLE P factor values for terraces, Journal of Soil and Water Conservation, 38.
- Gemalmaz, H.A.; Demirbüken, H., Aztopal, H. ve Çalış, N. 1993. Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak erozyon riski taşıyan alanların belirlenmesi: Türkiye için Bir çalışma. Araştırma Simpozyumu, Devlet İstatistik Enstitüsü
- Güçer, C. 1979. Kahverengi büyük toprak grubuna dahil Beytepe kilinin üniversal denklemde kullanılan aşınma duyarlılık (K) faktörünün yağmurlayıcı ve doğal yağış koşulları altında saptanması üzerine bir araştırma (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi, Ankara.
- İstanbulluoğlu, A. 1989. Erzurum yöresinde üniversal denklem parametrelerinin tesbiti. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Yıllık Raporu. Erzurum.
- Kenneth, G., George, R. T., Gleen, A. W. and Jeffrey, P. P. 1991. Revised universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation, 46.
- Kouri, L., Vogt, H., Gomer, D.1998. Using a geographic information system to determine the sensitivity of marls to gully erosion in the Oued Mina Basin, Algeria ITC Journal,1; 11-14.

- Köse, C. ve Akar, F. 1986. Tokat koşullarında üniversal denklemin R, K, C ve P faktörleri. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Yayınları. No:82, Tokat.
- Köse, O., Kasapoğlu, K.E. ve Eren, T. 1997. III. Uzaktan Algılama ve Türkiye'deki Uygulamaları Semineri Bildiri Özetleri. Uludağ, Bursa.
- Lal, R. and Pierce, F. J. 1993. The vanishing resource. Soil Management for Sustainability. Soil And Water Conservation Society.
- Lal, R. 1993. Soil erosion research methods. Soil Erosion and Water Conservation Society of America.
- Larson, D. 1993. Natural resource assesment and policy. Soil Management for Sustainability. Soil And Water Conservation Society.
- Mete, C. 1988. Tarsus koşullarında üniversal denklemin R, K, C ve P faktörleri. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Yayınları. No:145, Tarsus.
- Morgan, K. M. and Nalepa, R. 1982. Application of aerial photographic and computer analysis to the USLE for areawide erosion studies. Journal of Soil and Water Conservation. 37; 347-350.
- Önmez, O. 1981. Konya-Beyşehir şartlarında üniversal toprak kaybı denkleminin R, K, C ve P faktörleri, Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Yayınları No:147, Konya.
- Özden, Ş. 1992. Doğu Anadolu Bölgesinde yaygın bazı büyük toprak gruplarının aşınımına duyarlılığı üzerine bir araştırma, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Anabilim Dalı Master Tezi, Erzurum
- Özden, Ş. ve Özden, D. M. 1997. Türkiye Toprak erozyon tahmin modeli – TURTEM. Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Yıllığı. Yayın No:167 Ankara.
- Özden, Ş. ve Özden, D. M. 1998. Erosion estimation model of Turkey - TURTEM. International Symposium on Arid Region Soil. 154-160. İzmir.
- Öztürk, F. ve Okman, C. 1987. Su toplama havzalarında meydana gelen sediment miktarının saptanmasında kullanılan yöntemlerin Ovaçayı Eybek havzasında uygulanması ve karşılaştırılması. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı, 1986, Cilt: 37, Fasikül 2'den ayrı basım. Ankara.
- Öztürk, N. 1989. Landsat-5 TM sayısal uydu verileri yardımıyla Ceylanpınar Ovası topraklarının sınıflandırılmasında supervised ve unsupervised metotlarının uygulanması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. (master tezi). Adana.
- Palacio, J. L. and Blanco, J. L. 1994. Videography: an alternative remote sensing tool for monitoring gully erosion. ITC Journal, 3; 233-237.

- Ritchie, J., Jackson, T. J., Everitt, D. E., Escobar, D. E., Murphey, J. B. and Grissenger, E. H. 1992. Airborne laser: A tool to study landscape surface features. *Journal of Soil and Water Conservation*. 47(1); 104-107.
- Ritchie, J., Grissinger, E. H., Murphey, B. J. and Garbretch, J. D. 1994. Measuring channel and gully cross-sections with an airborne laser altimeter, *Hidrological Processes*. 8; 237-243.
- Rosewell, C. J. 1993. SOILOSS – A program to assist in the selection of management practices to reduces erosion. Department of Conservation and Land Management, Soil Conservation Research Centre, Gunnedah, NSW, Avustralia
- Rosewell, C. 1997. Potential source of sediments and nutrient: Sheet and rill erosion and phosphorus sources. Department of Land and Water Conservation. Soil Conservation Research Centre. Gunnedah. Australia.
- Sönmez, K. 1991. Topraklarımızı kaybediyoruz. *Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Dergisi*, 65, Ankara
- Spomer, R. G. and Mahurin, R. L. 1984. Time-lapse remote sensing for rapid measurement of changing landforms. *Journal of Soil and Water Conservation*, 39; 397-401.
- Stephens, P. R., Daigle, J. L. and Cihlar, J. 1982. Use of sequential aerial photographs to detect and monitor soil management changes affecting cropland erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*, 37; 101-104.
- Taysun, A. 1985. Erozyon sorunu ve erozyonun sınıflandırılması. *Tarım Dünya Dergisi*. Sayı:4, 10-12, Şanlıurfa
- Taysun, A., Çanga, M. R., Uysal, H. ve Erpul, G. 1995. Toprak erozyonu ve korunma önlemleri. *Türkiye Ziraat Mühendisliği 4. Teknik Kongresi*. 267-281
- Thomas, A.W., Welch, R. and Jordan, T. R. 1986. Quantifying concentrated-flow erosion on cropland with aerial photogrammetry. *Journal and Water Conservation*. 41-4; 249- 252
- Topraksu, 1972. Ankara ili toprak kaynağı envanter raporu. TOPRAKSU Genel Müdürlüğü, Bakanlık Yayınları: 177, Genel Müdürlük Yayınları 262, Raporlar Serisi,: 49. Ankara.
- Welch, R., Jordan, T. R. and Thomas, A. W. 1984. A photogrammetric technique for measuring soil erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*. 39; 191-194.
- Wildman, W.E. 1984. Aerial photography for conservation information and education. *Journal of Soil and Water Conservation*, September-October; 297-299.

- Williams, J. R. 1975. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor, In present and prospective technology for predicting sediment yields and sources, ARS-S-40, United States Department of Agriculture
- Williams, A.R. Morgan, R.P.C. 1976. Geomorphological mapping applied soil erosion evaluation, Journal of Soil and Water Conservation, July-Agust;164.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning, Agriculture Handbook 537, United States Department of Agriculture, Washington DC, p.58
- Yurtsever, N. 1984. Deneysel istatistik metotları, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Genel Yayın No: 121, Teknik Yayın No: 56, Ankara.