

# UZAKTAN ALGILAMA TEKNİĞİNDEN YARARLANARAK, EROZYON ALANLARININ SAPTANMASI

Prof. Dr. Tahsin TOKMANOĞLU<sup>1)</sup>

## Kı s a Ö z e t

Toprak erozyonu, insanlığın çok önemli bir sorunu haline gelmiştir. Dünya nüfusu süratle artmakta, bu nüfusu besleyecek olan verimli topraklar ise devamlı şekilde azalmaktadır. Toprak erozyonunu önleyebilmek için, her şeyden önce, ne-relerde ve hangi oranda erozyon olduğunu hatasız bir şekilde saptamak gerekmektedir.

Uydulara yerleştirilen algılayıcı sistemler, arazi parçalarının birçok özelliklerini gözler önüne sermektedir. Yakın zamana kadar, tarayıcı sistemler yardımıyla saptanabilen en küçük boyut 30 m. idi. Fransızlar tarafından geliştirilen SPOT yöntemiyle bu boyut 10 m.'ye kadar indirildi.

Erozyon yarıntıları, genellikle 10 m.'den daha küçük olduğundan, SPOT yöntemiyle çekilen fotoğraflar üzerinde de görülmemektedirler. Son yıllarda yapılan araştırmaların büyük çoğunluğunda, uyduların sağladığı olanaklardan yararlanarak, toprak erozyonuna ait bilgilerin toplanmasına çalışılmaktadır. Çok bantlı tarayıcı sistemlerden yararlanılarak yapılan erozyonla ilgili çalışmalar, uçaktan çekilen 1/6000 ölçekli renkli hava fotoğraflarıyla elde edilen bilgilerden çok daha ayrıntılı olmuştur.

1979 yılında, uydudan yararlanma yöntemleri çok geliştirilmiş, orta derecede erozyona uğrayan alanların saptanması amacıyla çalışmalar yapılmış, sonuçta bu amacın % 100 oranında hatasız bir şekilde gerçekleştirildiği görülmüştür.

Yakın zamana kadar fotoğraflar çıplak gözle incelenmekteydi, son yıllarda ise Spektral radyometrelerle taranmaya başlanmıştır. Böylelikle incelemeler çok daha duyarlı ve süratli şekilde yapılmaya başlanmıştır. Geniş arazilere ait bilgiler, süratle toplanmakta, üzerlerinde bazı düzeltmeler yapıldıktan sonra depolanmakta ve istenildiği zaman kullanılmaktadır.

Erozyonun süratli ve hatasız saptanabilmesi için, yukarda açıklanan kurallara dayanılarak GİS isimli yeni bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistemde erozyon sayı-larla da belirlenebilmektedir. Buna Dijital Yöntem denilmektedir ve oyuntu eroz-

1) İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman İnşaatı, Geodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı Öğretim Üyesi.

Yayın Komisyonuna Sunulduğu Tarih: 12.10.1989

yonları bu yöntemle optimal şekilde belirlenmektedir. GİS yöntemleri çok çeşitli şekillerde uygulanmaktadır, erozyona en uygun olanına USLE denilmektedir. Aşağıda bu yöntem açıklanmaktadır. Oyuntu erozyonunun, diğer erozyon yöntemleriyle birlikte ele alınması ve USLE yönteminin hepsine birden uygulanması zorunludur.

Son yıllarda sağlanan bu gelişmeleri açıklamak amacıyla, Meksika'nın Orta kısmında yapılan bir çalışma örnek olarak ele alınmış ve bütün açıklamalar bu örnek üzerinde durularak yapılmıştır.

1970'li yılların başından beri, toprak incelemelerinde, Sayısal Fotoğraf tekniğinden yararlanılmaktadır. Bu çalışmalarda, toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleriyle görüntüsü arasındaki yakın ilişkiyi faydalanılmaktadır. Yapılan araştırmaların büyük çoğunluğunda, uydu aracılığı ile elde edilen görüntülerden yararlanarak, toprak erozyonuna ait bilgilerin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. 1973 yılında, uyduya yerleştirilen çok bantlı tarayıcı sistemden yararlanılarak, toprak erozyonlarını sınıflara ayırmak ve haritalarını çizmek amacıyla araştırmalar yapılmış, beklenenin çok üstünde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen bilgiler, uçaktan çekilen 1/6000 ölçekli renkli hava fotoğraflarıyla elde edilen bilgilerden çok daha ayrıntılı olmuştur. 1979 yılında, uydu görüntülerinden yararlanma yöntemi büyük çapta geliştirilmiş, orta derecede erozyona uğrayan alanların saptanması amacıyla çalışmalar yapılmış, sonuçta bu amaç % 100 oranında hatasız bir şekilde gerçekleştirildiği saptanmıştır.

Aynı yıl, aynı yöntemlerden yararlanılarak, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki aşırı erozyona uğrayan alanlarda bulunan bitkilerin cinsleri saptanmış ve erozyona yaptığı etkiler araştırılmıştır. Kaba bir sınıflamaya göre çıplak görülen, alanlar 5 sınıfa ayrılmıştır, bunlardan bir tanesi, erozyonun en fazla olduğu sınıftır. Her sınıfta hangi bitkilerin bulunduğu ve özelliklerinin neler olduğu saptanmıştır. Erozyonun en fazla olduğu yüksek dağ yamaçlarının görüntüleri, çok açık tonda, erozyonun az olduğu alanlarda daha koyu tonlarda görülmektedir. Erozyon arttıkça renk açılmakta ve parlaklık artmaktadır. Bu çalışmalar çıplak gözle yapılmamış, uydu görüntüleri laboratuvar koşullarında, Spektral Radyometrelerle taranarak yapılmıştır. Ayrıca arazide deneme alanları alınmış ve gerekli incelemeler yapılmıştır. Deneme alanları, drenajın az olduğu yörelerde, daha sık alınmıştır. Aynı erozyon sınıfına giren toprakların anaşları birbirinden çok farklı olabilir, coğrafi bakımdan da gene birbirinden çok ayrı olabilir, fakat belirli özelliklerinin birbirine benzemesi nedeniyle, aynı spektral görüntüyü vermekte ve aynı sınıfa girmektedirler. Topraktaki kil durumu, tanelerin büyük veya küçük olması (tekstür), demir, organik madde ve nem oranları, ışın yansıtma oranını geniş çapta etkilemektedirler. Bu etkenlerin bileşkesine göre yansıyan ışınlar, arazinin hangi erozyon sınıfına gireceğini belirlemektedirler.

Uzaktan Algılama biliminden yararlanılarak, kısa zamanda güvenilir bilgiler elde edilebilmektedir. Bu bilgilerin büyük çoğunluğu, coğrafya konularını kapsamakta ve geniş alanlara ait bulunmaktadır. Bilgiler Uzaktan Algılama Sistemi yardımıyla toplanmakta, üzerinde bazı düzeltmeler yapıldıktan sonra depolanmakta ve istenildiği zaman da kullanılmaktadır. Bu sisteme "Coğrafik Bilgi Sistemi" (Geographic Information System) denilmekte ve GIS harfleriyle gösterilmektedir. Toplanan bilgiler manyetik bantlara ve diskere doldurulabileceği gibi, büyük ölçekli tematik haritalar yapılarak da ortaya konulabilir.

### GİS SİSTEMİNDEN YARARLANARAK, TOPRAK EROZYONUNUN İNCELENMESİ

Erozyon zamana ve yere göre değişen dinamik bir olaydır, etkenleriyle birlikte incelenmesi gereklidir. Erozyonun sınırlı ve hatasız bir şekilde saptanabilmesi için, GIS en uygun (optimal) bir sistem olarak ortaya çıkmıştır. Uzaktan Algılama tekniğinden yararlanarak, erozyon etkisiyle toprak yüzeyinde meydana gelen değişiklikleri, zamana bağlı olarak ve rakamlarla belirleme yöntemi (Dijital

Yöntem) geliştirilmiştir. Aynı yöntemden yararlanılarak oyuntu erozyonları saptanabildiği gibi, topografik yapıdaki değişiklikler de ortaya konulabilmektedir.

Erozyon incelemelerinde uygulanan GIS yöntemleri içerisinde en çok kullanılan "Üniversal Toprak Kaybı Denklemi" isimli yöntemdir. Kısaca USLE (Universal Soil Loss Equation) harfleriyle gösterilmektedir. Aşağıda bu yeni yöntem açıklanmaya çalışılmıştır. Yöntemin uygulanabilmesi için arazide X ve Y eksenleri alınmakta ve çeşitli noktaların bu eksenlere göre koordinatları saptandıktan sonra çalışmalara başlanmaktadır. Yörenin veya ülkenin standart haritalarıyla ilişki kurabilmek için aynı eksenlerden yararlanmak, diğer bir deyimle; yapılmış olan nirengi ağuna bağlanmak, daha uygun olmaktadır. Yeni yöntemin uygulanması için gerekli olan koşullar hazırlanır ve uygulamada hatasız bir şekilde yapılırsa, çok duyarlı sonuçlar alınmaktadır. Örneğin; yeni yöntemi, sadece oyuntu erozyonuna uygulama olanağı yoktur. Oyuntu erozyonunun, diğer erozyon türleriyle birlikte ele alınması ve yeni yöntemin, yani USLE yönteminin hepsine birden uygulanması gereklidir.

"Çok Bantlı Tarayıcı Sistemin" saptadığı ayrıntılı bilgiler "Yükseklikleri (Kotları) Sayısal Olarak Saptayan Model" ile birleştirilerek yeni yöntem oluşturulmuştur. Yeni yöntemde arazi, yükseklik veya eğim kademelerine ayrılmaktadır. Böylelikle meyva bahçeleriyle doğal vejetasyon arasındaki sınır da belirlenmektedir. Yalnız Landsat uydusunun saptadığı bilgilerden yararlanarak bu sınırları bulmaya olanak yoktur. Yeni USLE yönteminin uygulanması sonunda 6 bilinmeyenli bir denklem elde edilmektedir. Bu 6 bilinmeyenin 3 tanesi şunlara atılır: Yamaç uzunluğu, eğimi ve bitki örtüsünün oranı.

Çok Bantlı Tarayıcı Sistem'in (MSS), topladığı bilgiler, Klasik Harita (TM) ve Sayısal Yükseklik Modeli (DEM), yeni yöntem USLE'nin girdilerini oluşturmaktadır. Böylelikle denklemin katsayıları saptanmaktadır. Bitki örtüsünün oranı, Çok Bantlı Tarayıcı Sistemin verdiği bilgilerin sınıflandırılması ve Klasik haritanın incelenmesi sonucunda elde edilmektedir. Yeni Yöntem sayesinde erozyon çeşitleri ortaya çıkmaktadır. Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) den yararlanılarak, yamaçların eğimleri bulunabilir ve buradan da erozyon kademeleri saptanabilir. Yakın zamana kadar da böyle yapılmıyordu. Fakat; bu şekilde bulunan erozyon kademeleri, arazide yapılan inceleme sonuçlarına genellikle uymamaktadır.

İki Amerikalı uzman (Wheeler ve Ridd), GIS sistemini, Uzaktan Algılama Tekniğinden yararlanarak uygulamaya çalıştılar. Amaçları; doğal kaynakları kontrol altına alacak ve doğal tehlikeleri önleyecek planlar yapmaktır. "Toprak Koruma Bölgesi" olarak seçilen yörelerden birinde, bir deneme alanı saptadılar. Saptanan yerin, coğrafi özellikleri Coğrafya Birliği tarafından saptanmış, çeşitli ölçeklerde haritaları yapılmış, arazi kullanma şekilleri belirlenmiş, arazide çeşitli kontroller de yapılmıştı. Deneme alanında bitki türleri ve kapladığı büyüklükler saptanmış, duyarlı vejetasyon haritaları yapılmıştı. Bu haritalar yapılırken uydu aracılığı ile elde edilen bilgilerden yararlanılmıştı. Ayrıca Deneme Alanı yükseklik, eğim, yamaç uzunluğu ve görüntü bakımından kademelere ayrılmış bulunan sonuçlar, Sayısal Harita şeklinde saptanmıştır.

Benzeri çalışmalar daha birçok kimse tarafından yapılmıştır. Bu kimselerin başlıcaları şunlardır:

Olsson, çeşitli Uzaktan Algılama yöntemleriyle elde bulunan diğer bilgileri birleştirerek yeni bir yöntem geliştirmiş, GIS sisteminden de yararlanmış ve geliştirdiği bu yöntemle, Sudan'da erozyondan zarar görmüş (Degrede) arazileri incelemiştir.

Walsh, Uzaktan Algılama ve GIS sistemlerinden yararlanarak, bazı havzaların yüzeyindeki su hareketlerini saptamış, hidrolojik haritasını yapmış, kirlenmelerin hangi doğrultularda yayıldığını be-

irlemiştir. Ayrıca; toprak, bitki örtüsü ve iklimin kirlenmeyi ne şekilde etkilediklerini araştırarak, kirlenmenin olmaması için, bu etkenlerin hangi özelliklerde olması gerektiğini araştırmıştır.

Millington, GIS sistemlerini geliştirerek, Sierra Leone, Toprak erozyonunu incelemiş ve tehlike sınırlarını saptamaya çalışmıştır. Bölgede yapılan erozyonu önleme çalışmalarının, hangi oranlarda yararlı olduğunu, objektif şekilde ortaya koymuştur. Harita üzerine bir grid yerleştirmiş ve grid noktalarında incelemeler yaparak erozyon durumlarını, yamaç eğimlerini, drenaj yoğunluklarını saptamış ve bunlar arasındaki ilişkileri bulmaya çalışmıştır.

Gyampfi-Aidao, Landsat uydusunun küçük ölçekli fotoğraflarından ve tematik haritalardan yararlanarak, Gona'nın doğusundaki degrede arazileri incelemiştir. Aynı çalışmanın benzeri Uganda'da yapılmıştır. Bu çalışmalar, ormanların yok edilmesile toprak erozyonunun nasıl arttığını da ortaya koymuştur.

Hollanda'da aynı konularda geniş çaplı araştırmalar yapılmış ve yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmalarda özellikle erozyon konusu üzerinde durulmuştur. Geliştirilen yöntemlerin az parayla uygulanabilen yöntemler olması üzerinde de önemle durulmuştur. Bu yöntemlerin uygulanabilmesi için aşağıdaki olanakların sağlanması gerekli görülmüştür.

–Deneme alanı olarak alınacak noktaların yerleri, grid yöntemiyle saptanmalı

–İnceleme sonunda elde edilen bilgiler, grafiklere dönüştürülerek, daha kolay anlaşılır duruma getirilmeli.

–Stereskopik görüntünün incelenmesile elde edilen bilgilerle, evvelce saptanmış ve kitaplara geçmiş bilgiler arasında ilişki kurulmalı

–En güçlü bilgisayarlardan kolaylıkla yararlanma olanağı sağlanmalı

Geliştirilen yeni yöntemler, klasik bilgilere asla ters düşmemekte, matematik istatistik kurallarını kapsamakta ve şu amaçların gerçekleşmesini sağlamaktadırlar: Tarım ekolojisi, tarım alanlarındaki verim, hidroloji, verimsizleşmiş (degrede) araziler ve toprak erozyonu. Bu konularda maddeler oluşturulmakta ve gelişim izlenmektedir.

### AMAÇLAR

GIS sistemlerinde bugüne kadar büyük gelişmeler olmuştur, fakat daha birçok gelişmelerin olacağı da beklenmektedir. Bu sistemler, çeşitli uzay elementlerini kapsadığı gibi, uzaktan algılama'nın sınıflama sistemlerini de kapsamakta ve bunlardan çok yararlanmaktadır. Bulunan sonuçlar, arazi incelemelerile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmakta, böylelikle yapılan işin duyarlılığının artması sağlanmaktadır. Uzaktan Algılama ile elde edilen bilgilerin ve görüntülerin, renk, desen, ton ve sıcaklık gibi özellikleri bulunmaktadır. Bu özelliklerden yararlanılarak modeller oluşturulmakta, hesaplar yapılmakta ve sonunda erozyonla kaybedilen toprak miktarı veya sedimentasyonla elde edilen toprak miktarı ortaya çıkartılabilmektedir. Erozyon ve sedimentasyon, Uzaktan Algılama ile GIS sistemlerinin kombinasyonu sonunda elde edilmesi amaçlanan, çok önemli iki konudur.

Uzaktan algılama ile GIS sistemleri arasındaki ilişki ve karşılıklı etkileşim, olması gerekene kıyasla çok düşüktür. Uzaktan Algılama, GIS sistemlerinin uygulanmasında, düşünüldüğü kadar büyük roller oynamamaktadır. Aşağıda açıklanan çalışmada, toprak erozyonunun incelenmesinde, Uzaktan Algılama Tekniğinden ve arazide yapılan inceleme sonuçlarından nasıl yararlandığını gösteren bir örnek verilmiştir. Yapılan açıklamaların genel amacı; erozyon olan alanla olmayan alanın, "Otomatik Görüntü Sınıflama Tekniği" yardımıyla birbirinden nasıl ayrıldığını ve GIS yöntemiyle, yapılan ayrımın nasıl kontrol edildiğini anlatmaktır.

Aynı açıklamaların özel amaçları da şunlardır:

–"Otomatik Görüntü Sınıflama Tekniği"ni Landsat uydusundan ve SPOT yönteminden yararlanarak daha fazla geliştirmek, böylelikle erozyon alanlarını sınıflandırmak

–SPOT yöntemiyle elde edilen stereskopik görüntüleri inceleyerek, araziye şekil veya topografik yapı bakımından sınıflara ayırmak.

–Uzaktan Algılama ve GIS sistemlerini, erozyon alanına ayrı ayrı uygulamak, sonra bunları birleştirmek, ortaya çıkan farkların sebeplerini araştırmak

Uygulama alanı olarak, Meksika'nın orta kısmında 500 km<sup>2</sup> büyüklüğünde bir yer seçilmiştir. Bu alan Meksika'nın volkanik şeridi üzerinde bulunmaktadır, volkanik orijindir. Meksika nüfusunun yarıdan fazlası bu alan içinde yaşamaktadır. Yörede büyük çapta erozyon olmakta ve erozyonun etkileri hemen her alanda görünmekte ve yaşamı etkilemektedir.

### YÖNTEM

Çalışma alanının incelenmesinde, aşağıdaki kaynaklardan yararlanılmış ve belirtilen işlemler yapılmıştır.

–Landsat uydusunun Mart 1984'te topladığı bilgiler otomatik tarayıcı sistemlerden geçirilerek değerlendirilmiştir.

–Yağış mevsiminin son günlerine isabet eden Ekim 1987'de çekilen çeşitli fotoğrafların monoskopik ve stereskopik analizleri yapılmıştır.

–1970 yılında çekilmiş 1/25.000 ve 1/50.000 ölçekli siyah-beyaz pankromatik fotoğraflar ile 1983'te çekilmiş aynı özellikteki fotoğraflardan yararlanılmıştır.

–1/50.000 ölçekli topoğrafik, jeolojik haritalar ile toprak özelliklerini ve arazi kullanma şekillerini gösteren haritalar.

Standart haritaların (TM) yapımında kullanılan normal renkli ve yanılıcı renkli (False colour) fotoğrafların her ikisinde de yararlanılmıştır.

Uzun zamandan beri harita yapımında kullanılan siyah-beyaz fotoğraflar ile normal renkli fotoğraflar ve yanılıcı renkli (False colour) fotoğraflar, klasikleşmiş araçlar haline gelmiştir, son yıllarda yerlerini SPOT yöntemiyle çekilen fotoğraflara bırakmaya başlamışlardır. Buradaki çalışmada, klasik ve SPOT yöntemleri ile çekilen fotoğrafların hepsinden yararlanılmıştır. Çok bantlı sınıflama ve GIS işlemleri fotoğrafların tamamına uygulanmıştır.

Çalışma alanı içerisinde 6 tane deneme alanı alınmıştır. Deneme alanlarının her birinin 100x100 pikselin kapsadığı alan büyüklüğünde olması sağlanmıştır. Bu alanların her biri, çalışma alanının tamamının özelliklerini taşımaktaydı. Kanallardaki, bantlardaki Atmosfer Pencerelelerinin her birinde, normal demet yöntemi uygulanmıştır. Böylelikle; deneme alanlarının her birinde, Spektral Sınıflar belirlenmiştir.

Her deneme alanında 20-24 Spot'tan ve klasik fotoğraflardan (TM) yararlanılmıştır. Yapılan bu sınıflamadan yararlanılarak, her pencerede, "En büyük Benzerlik Yöntemi" uygulanmış ve benzer bireylerden oluşan demetler elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar, çıplak gözle ve klasik yöntemlerle kontrol edilmiştir, kaba hatalarla yüklü olanlar çıkartılmıştır. Geride kalan sınıfların yorumları yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen sınıflara Spektral sınıf (Spectral Class) denilmiştir.



Birbirine yakın olan spektral sınıfları birleştirerek daha büyük sınıflar oluşturma olanağı bulunmaktadır. Birbirine yakın Spektral Sınıfların birleştirilmesiyle elde edilen büyük sınıflara Bilgi Sınıfı (Information Class) denilmiştir. Örneğin su birikintileri 8 tane Spektral Sınıf oluşturmaya karşılık, bir tane Bilgi Sınıfına girmektedir.

Saptama şekli özet olarak yukarıda açıklanan sınıflar (Spektral Sınıflar), elde edilmek istenen bilgilerin, en iyi şekilde saptanmasını sağlamaktadırlar. Doğal olarak kullanılan fotoğrafların netliği ve ayrıntıları belirtme gücü (Kapasitesi), bu çalışmada etkili olmaktadır. Yapılan çalışmada, erozyon yarınlarının ve oyuntularının, saptanması amaçlanmıştır.

SPOT fotoğrafları yardımıyla yapılan sınıflandırma, klasik fotoğraflar yardımıyla kontrol edilmektedir. "En yakın Komşu Demeti" yöntemiyle yapılan sınıflamada deneme alanları 30x30 m. büyüklüğünde alınmaktadır. Sınıflamada alınan orijinal boyutlar 20x20 m. büyüklüğünde olduğundan, hiç bir bilgi kaybolmamaktadır. Birinci bant yardımıyla elde edilen fotoğraflar mavime, ikinci bant yardımıyla elde edilen fotoğraflar yeşile, üçüncü bant yardımıyla elde edilenler de kırmızıya boyanmakta, sonra her üçü birleştirilerek yanıtıcı renkte fotoğraflar elde edilmekte ve sınıflamada bunlardan da yararlanılmaktadır. Çalışma alanının bu şekilde elde edilen fotoğrafları streskopik olarak incelenmiş ve topografik haritaları çizilmiştir. Daha sonra ILWIS olanaklarından yararlanılarak, bu fotoğrafların üzerlerine kare şebekesi yerleştirilmiş ve köşe noktaları deneme alanı kabul edilerek gerekli incelemeler yapılmıştır. Son olarak; sınıflandırma sonuçlarını gösteren haritalarla, arazi tiplerini gösteren haritalar, birbirleri üzerine yerleştirilerek kontrol edilmiş ve böylelikle, yapılan sınıflandırma, daha kesin ve daha geliştirilmiş bir duruma getirilmiştir.

#### ÇOK BANTLI SINIFLAMA

**SPOT yöntemiyle çekilen fotoğrafların sınıflanması:** Çizelge No: 1'de, SPOT yöntemiyle çekilen fotoğraflara çok bantlı sınıflama uygulanması sonucunda elde edilen değerler görülmektedir. Çalışma sonunda 29 Spektral sınıfın saptandığı ve her birinin analizinin (yorumunun) yapıldığı görülmektedir. Baskı olanağı bulunmadığından, kullanılan SPOT fotoğraflarından örnekler veremiyoruz. Verebilmeyi çok isterdik. Saptanan spektral sınıflardan birbirine yakın alanlar birleştirilerek büyük sınıflar, yani Bilgi Sınıfları oluşturulmuştur. Çizelgenin birinci sütununda Spektral sınıflara, ikinci sütununda da Bilgi Sınıflamasında ise tek bir sınıfa girmektedir. Bu nedenle ikinci sütundaki su sözcüklerinin başına I yazılmıştır. Aynı şekilde yörede bulunan karışık ormanlar Spektral Sınıflamada 5 sınıfa ayrılmış ve 13-17 şeklinde numaralanmıştır. Bilgi sınıflamasında ise tek bir sınıfa girmiş ve 4 no ile gösterilmiştir. Bu nedenle ikinci sütundaki Karışık Orman sözcüklerinin başına 4 yazılmıştır. 1 ve 2'nci sütunun sonundaki rakamlardan anlaşıldığına göre; Spektral Sınıflama yöntemine göre 29 sınıf, Bilgi Sınıflamasına göre de 10 sınıf saptanmıştır. Çizelgenin 3'üncü sütununda Spektral Sınıflamaya göre saptanan alanların genel alana oranları bulunmaktadır. En geniş alanı 19 nolu sınıfa giren, çalılık alanların kapladığı ve oranının % 23,02 olduğu görülmektedir.

**Klasik Yöntemle çekilen fotoğrafların sınıflanması:** Çizelge No: 2'de, klasik yöntemle çekilen fotoğrafların yani normal renkli ve yanıtıcı renkli fotoğrafların, "Çok Bantlı Sınıflama" yöntemiyle sınıflandırılmasının sonuçları görülmektedir. Baskı olanağı bulunmadığından, kullanılan bu fotoğraflardan da örnekler veremiyoruz.

Çalışma sonunda 37 Spektral Sınıfın saptandığı görülmektedir. Aynı yerde ve aynı yöntemle yapılan başka bir çalışmada, bu sayının iki katından daha fazla sınıf saptanmıştır. Çizelgedeki 37 Spektral sınıftan birbirine yakın olanlar birleştirilerek 11 tane Bilgi Sınıfı oluşturulmuştur. Çizelge No: 1'de olduğu gibi, Çizelge No: 2'de de birinci sütuna Spektral sınıflar, ikincisine Bilgi Sınıfları, üçüncüsüne de, her spektral sınıfa giren alanın toplam alana oranı yazılmıştır.

#### Çizelge No : 1

SPOT yöntemiyle çekilen uydu fotoğraflarının sınıflanmasından elde edilen sonuçlar.

Spektral Sınıflar	Bilgi Sınıfları	Spektral sınıflara giren alanların genel alana oranları %
1	1 Su 1	0,38
2	1 Su 2	0,24
3	1 Su 3	0,11
4	1 Su 4	0,06
5	1 Su 5	0,06
6	1 Su 6	0,06
7	1 Su 7	0,05
8	1 Su 8	0,09
9	2 Kasaba	0,96
10	3 Ekin 1	3,65
11	3 Ekin 2	2,34
12	3 Ekin 3	1,09
13	4-Karışık Orman 1	8,35
14	4-Karışık Orman 2	4,04
15	4-Karışık Orman 3	3,73
16	4-Karışık Orman 4	2,53
17	4-Karışık Orman 5	1,74
18	5-Çayır	14,68
19	Çalılık	23,02
20	7-Çıplak toprak 1	6,43
21	7-Çıplak toprak 2	3,64
22	7-Çıplak toprak 3	2,18
23	8-Eski Tarım alanı	11,58
24	9-Orta derecede erozyon	5,49
25	10-Şiddetli erozyon	1,50
26	10-Şiddetli erozyon	1,14
27	10-Şiddetli erozyon	0,58
28	10-Şiddetli erozyon	0,31
29	10-Şiddetli erozyon	0,04
		<hr/>
		100,00

## Çizelge No: 2

Klasik yöntemlerle çekilen uydu fotoğraflarının sınıflanmasından elde edilen sonuçlar.

Spektral Sınıflar	Bilgi Sınıfları	Spektral sınıflara giren alanların genel alana oranları %
1	1 Su 1	0,44
2	1 Su 2	0,26
3	1 Su 3	0,04
4	1 Su 4	0,03
5	1 Su 5	0,01
6	1 Su 6	0,06
7	2 Kent 1	1,63
8	2 Kent 2	0,45
9	3 Ekin 1	2,15
10	3 Ekin 2	0,44
11	3 Ekin 3	0,40
12	3 Ekin 4	0,08
13	4 Sık karışık orman 1	6,09
14	4 Sık Karışık orman 3	5,09
15	4 Sık karışık orman 4	2,14
16	4 Sık karışık orman 5	1,79
17	4 Sık karışık orman 6	0,93
18	4 Sık karışık orman 7	0,75
19	4 Sık karışık orman 7	0,63
20	4 Sık karışık orman 8	0,17
21	5 Orta sıklıkta karışık orman 1	3,87
22	5 Orta sıklıkta karışık orman 2	3,49
23	6 çayır 1	5,20
24	6 Çayır 2	1,80
25	6 çayır 3	0,91
26	7 Eski tarım alanı 1	7,82
27	7 Eski tarım alanı 2	7,07
28	7 Eski tarım alanı 3	1,66
29	8 Çok eski tarım alanı 1	14,04
30	8 Çok eski tarım alanı 2	1,45
31	9 Çıplak toprak 1	4,49
32	9 Çıplak toprak 1	0,42
33	9 Çıplak toprak 2	0,03
34	10 Orta derecede Erozyon	10,55
35	11 Şiddetli Erozyon	8,39
36	11 Şiddetli Erozyon	4,18
37	11 Şiddetli Erozyon	1,10
		<hr/>
		100,0

## SPOT FOTOĞRAFLARININ STRESKOPIK İNCELENMESİ

Spot fotoğraflarının ölçekleri yaklaşık olarak 1/200.000, 1/100.000 ve 50.000 idi ve hepsi stereoskopik olarak incelenmiştir (İnterpretasyonu yapılmıştır). Bu incelemede, topografik ve jeolojik yapıları farklı olan arazi parçalarının ve şiddetli erozyona uğrayan yerlerin 1/200.000 ölçekli fotoğraflarda dahi birbirinden kesin olarak ayrılabilirdiği saptanmıştır. 1/100.000 ölçekli fotoğraflarda dahi birbirinden kesin olarak ayrılabilirdiği saptanmıştır. 1/100.000 ölçekli fotoğraflarda bu ayrım çok daha kolaylıkla ve kesin olarak yapılabilmektedir. Baskı olanağı bulunmadığından, stereoskopik çiftlere ait örnekler de veremiyoruz. 1/100.000 ölçekli fotoğraflar, topografik ve jeolojik yapılarına göre kademelere ayrılmış arazi parçalarını daha alt kademelere ayırma olanağını vermektedir. Aynı şekilde, erozyona uğradığı belirlenen yerleri; az, orta ve şiddetli erozyon kademelerine ayırma olanağı vermektedir. Erozyon kademeleri saptandıktan sonra, 1/50.000 ölçekli fotoğraflardan yararlanılarak kontroller yapılmış ve bazen de daha küçük parçalarının topografik ve jeolojik yapılarına göre hangi kademelere (Sınıflara) ayrıldığı ve nasıl kodlandığı görülmektedir. 1/50.000 ölçekli fotoğraflar yardımıyla yapılan bu çalışmanın sonuçları, arazide kontrol edilmiş ve araziye çok uygun olduğu kanısına varılmıştır. Fotoğraf çeşitleri stereoskopik olarak incelenirken, arazi modellerine düşey olarak bakıldığından, altıyazal arazilerin oluşturduğu yelpaze şekilleri net olarak görülmektedir. Spot fotoğrafları 10 m.'den daha büyük objeleri gösterebildiğinden bütün arazi şekilleri görülebilmektedir. Ayrıca kızılötesi ışınlarla çekilen fotoğraflar, bitki örtüsünün durumunu belirtmektedir. Siyah-beyaz pankromatik filmlerle çekilen fotoğraflar da arazi şekillerini göstermektedir. İdeal inceleme (İnterpretasyon) şekli; siyah-beyaz pankromatik film kullanarak spot fotoğrafları çekmek, sonra bunlara stereoskopik olarak incelemektir. Böyle yapıldığı takdirde, görülebilen en küçük boyut 10 m. olmakta, 6 bantın çektiği fotoğrafların tamamından yararlanılarak, çok fazla ayrıntılı bilgiler elde edilebilmektedir.

## GÖRÜNTÜNÜN AÇINIMI (PROCASS'I) VE GIS YÖNTEMİ

Matematik istatistik kurallarından yararlanılarak yapılan çok bantlı sınıflamada çok karşılaşılan önemli problemlerden biri, yanlış sınıflamadır. Farklı sınıflara girmesi gereken araziler, bazen aynı veya benzer görüntü verirler, bu nedenle de aynı sınıfa sokulurlar. Bu benzerlik, bazen kanalların bir kısmında, bazen de hepsinde olmaktadır. Hepsinde olunca, problemin çözümü zorlaşmaktadır. Deneysel kimseler bazı bilgi sınıflarını çıplak gözle ayırt edebilmektedirler. Coğrafik bilgi sistemi ile, görüntü proses sistemlerinin birleştirilmesi (entegre edilmesi) sayesinde, bilgi sınıflarının saptanması ve isimlendirilmesi işlemleri kolaylaşmıştır. ILWIS sisteminin analiz ve model oluşturma kapasitesi, coğrafik bilgileri görüntünün verdiği ayrıntılarla birleşmiş olarak, belirlemeye yeterlidir. Stereoskopik görüntüye ait hesapları yapmak amacıyla planlanmış özel bilgisayar (MCALC), iki boyutlu sınıflama çözümleri yapmaktadır. Bu boyutlar; matematik, mantığa uygun herhangi bir düzen ve benzerleri olabilir. Çizelge No: 4 bu şekilde yapılmıştır. Boyutlardan biri klasik yöntemle çekilen fotoğraflardan, diğeri de Spot yöntemi ile elde edilen fotoğraflardan toplanan bilgilere ve yapılan sınıflamalara aittir. Çizelge No: 4'ün birinci sütunundaki isimler, Çizelge No: 2'nin ikinci sütunundaki isimlerin aynıdır ve 37 tanedir. En yukarıda yazılı olan sütun isimleri de Çizelge No: 1'in ikinci sütunundaki isimlerin aynıdır ve 29 tanedir. Çizelgenin içinde yazılı olan sayıların anlamları 2 tane 2, 5 tane 5 ve 21 tane 1 yazılı olduğu görülmektedir. Bunların anlamları şudur:

Klasik yöntemle göre tarım alanı 1 sınıfında görülen 29 yerin 3 tanesi sulanmayan tarım alanı (2) sınıfındaymış. Spot fotoğrafları ile yapılan sınıflamada bu 3 yer sırasıyla tarım alanı 1, tarım alanı 2 ve tarım alanı 3 sınıflarına sokulmuş.

Çizelge No: 4'ün birinci satırında bulunan 5 tane 5, yani klasik yöntemle göre tarım alanı 1 sınıfında görülen 5 yer, Spot fotoğrafları ile yapılan sınıflamada sırasıyla Orman 1, Orman 2, Orman 3, Orman 4, Orman 5 sınıflarına sokulmuştur. Aynı satırda bulunan 2 tane 1, yani klasik yöntemle göre tarım alanı 1 sınıfından görülen 2 yer, spot fotoğrafları ile yapılan sınıflamada ayrı sınıflara dağılmışlardır.





- |                                     |                               |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1- Tarım alanı                      | 7- Eski tarım alanı (çalılık) |
| 2- Orman                            | 8- Hafif erozyon              |
| 3- Seyrek Orman                     | 9- Orta derecede erozyon      |
| 4- Çayır                            | 10- Şiddetli erozyon          |
| 5- Eski tarım alanı                 | 11- Su                        |
| 6- Çıplak toprak (eski tarım alanı) | 12- Yerleşim alanı            |

Sadece Klasik yöntemden yararlanılarak sınıflandırma yapıldığı takdirde, tarım alanları, çıplak araziler ve ormanlar, oldukça iyi bir şekilde saptanabilmektedir. Fakat; erozyona uğrayanlar hakkında tam olarak doğru bilgiler elde edilememektedir. Çünkü, büyük çapta tahminlere yer verilmektedir. SPOT yönteminde, boyutları daha küçük olan objeleri saptama olanağı bulunduğundan, oyuntu erozyonu bulunan alanlar, daha duyarlı bir şekilde saptanabilmekte ve sınıflandırılmaktadır. Bitki örtüsü hakkında duyarlı bilgiler verebilen klasik yöntemde, bu olanak bulunmamaktadır.

SPOT ve Klasik yöntemle yapılan sınıflandırma sonuçları birbiriyle karşılaştırılır, SPOT fotoğraflarının streskopik incelenmesi (İnterpretasyonu) sonucunda elde edilen bilgiler de bunlara ilave edilecek olursa, oyuntu erozyonuna uğrayan alanlar, hem ayrıntılı bir şekilde belirlenmekte hem de hatasız şekilde sınıflandırılmaktadır. ILWIS yöntemlerinden yararlanılarak geliştirilmiş olan bu yeni yöntem, erozyon alanlarına uygulanabildiği gibi başka alanlara da uygulanabilmektedir. Çalışmada GIS sistemlerinden ve ILWIS yöntemlerinden yararlanılmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- BOCCO, G. 1986. *Aspects of the Anthropic Erosion in the Tlalpujahu River Basin, Central Mexico. An applied geomorphological approach. Unpub MSC thesis, ITC, Enschede.*
- BOCCO G. and C.R. Valenzuela. 1987. *Digital image processing techniques for soil erosion assessment in central Mexico. Proc symp on Remote Sensing Applications in Hydrology and Natural Resources, ISPRS, Comm VII, Amman.*
- GORTE, B, R. Liem and J. Wind. 1988. *The ILWIS software kernel. ITC Journal 1988-1, pp 15-22.*
- LANGRAN, J.C.A. 1983. *An information system for naturel resources. J. of Soil and Water Conservation.*
- LORANT, J.A. Zink and K.J. Beek. 1988. *Management, conservation and erosion data base. Proc 5th Int Soil Conserv Conference, Bangkok.*
- MARBLER, D.F. and D.J. Peuquet (eds). 1983. *Geographic information systems and remote sensing. In: Colwell (ed), Manual of Remote Sensing, ASPRS- Chapter 22, pp 923-958.*
- MILLINGTON, A.C. 1986. *Reconnaissance scale soil erosion mapping using a simple GIS in the humid tropics. IN: R.N.Colwell (ed), Manual of Remote Sensing, ASPRS, Chapter 22, pp 923-958.*
- MILLINGTONn, A.C. 1986. *Reconnaissance scale soil erosion mapping using a simple GIS in the humid tropics. IN: W.Siderius (ed), L. Land Evaluation for Land Use Planning and Conservation in Sloping Areas. ILRI Pub 40, Wageningen, pp 64-81.*

- PELLETIER, R.E. 1985. *Evaluating non point pollution using remotely sensed data in soil erosion models. J.Soil & Water Cons 40 (4), pp 332-335.*
- PICKUP, G. and J. Nelson. 1984. *Use of Landsat radiance parameters to distinguish soil erosion, stability and deposition in arid central Australia. Rem Sens of Env 16, pp 195-204.*
- SEUBERT, C.E., M.F. Baumgardner, R.A.Weismüller and F.R.Kirschner. 1979. *Mapping and estimating areal extent of severely eroded soils of selected sites in northern Indiana. Proc Symp Machine Processing of Remotely Sensed Data, pp 234-238.*
- SPANNER, M.A. 1982. *The use of digital elevation model topographic data for soil erosion modelling within a GIS. Proc 49 th Ann Meeting ASPRS Techn Papers, pp 314-321.*
- SPANNER, M.A., A.H.Strahler and J.E.Estes. 1983. *Soil loss prediction in a geographic information system format. Proc 17 th Int Symp Rem Sens of Env, pp 89-102.*
- VALENZUELA, C.R. 1988. *ILWIS overview. ITC Journal 1988-1, pp 3-14.*
- WEISMILLER, R.A., I.D. Persinger and O.L.Montgomery. 1977. *Soil inventory from digital analysis of satellite scanner and topographic data. Soil Sci Soc Am J. 41, pp 1166-1170.*
- WEISMILLER, R.A. and S.A. Kaminsky.. 1978. *Application of remote sensing methodology to soil survey research. J.Soil & Water Cons 33 (6), pp 287-289.*