

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADENCİLİK FAALİYETLERİNİN
ÇEVRESEL ETKİLERİNİN VE DOĞA ONARIM
ÇALIŞMALARININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ
(CBS) İLE BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ

Görkem ERTUĞRUL

Eylül, 2010
İZMİR

**MADENCİLİK FAALİYETLERİNİN
ÇEVRESEL ETKİLERİNİN VE DOĞA ONARIM
ÇALIŞMALARININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ
(CBS) İLE BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı

Görkem ERTUĞRUL

Eylül, 2010

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

GÖRKEM ERTUĞRUL, tarafından **PROF. DR. HALİL KÖSE** yönetiminde hazırlanan “**MADENCİLİK FAALİYETLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN VE DOĞA ONARIM ÇALIŞMALARININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ (CBS) İLE BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
PROF. DR. Halil KÖSE

Danışman

.....
PROF. DR. Vahap TECİM

Jüri Üyesi

.....
YRD. DOÇ. DR. A. H. DELİORMANLI

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜRLER

Tez çalışmalarım sırasında başta maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen eşsiz ve değerli Aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım

Çalışmalarıma destek veren bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, çalışmalarım sırasında her türlü imkanı sağlayan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Halil KÖSE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım

Çalışmalarımda beni yönlendiren ve motive eden Sayın Yrd. Doç. Dr. A. Hamdi DELİORMALI hocama teşekkür ederim

Tez çalışmalarımı yaptığım süre boyunca bilgi paylaşımını esirgemeyen Sayın Araş. Gör. Mehmet V. ÖZDOĞAN teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Maden mühendisliği bölümü ve fen bilimleri enstitüsü çalışan değerli diğer bütün öğretim üyelerin ve çalışan personele teşekkürlerimi iletirim.

Görkem ERTUĞRUL

MADENCİLİK FAALİYETLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN VE DOĞA ONARIM ÇALIŞMALARININ COĞRAFI BİLGİ SİSTEMİ (CBS) İLE BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ

ÖZ

Madencilik sırasında ve sonrasında oluşan çevre sorunları incelenmesi ve çözümleri hem hukuksal açıdan hem de habitatta oluşturulacağı zararlar bakımından önemli olmaktadır. Bu yüzden son yıllarda çevre düzenlemesi çalışmalarına önem verilmeye başlanmıştır ve bu kapsamda yapılacak doğa onarım çalışmaları uygulanması ve yerinde gözlem yapılması gerekmektedir.

Günümüzde gelişmekte olan bilgisayar teknolojileri aracılığıyla uzaktan algılama yöntemlerinin bu çalışmalarda kullanımı önemli bir rolü bulunmaktadır. Kapalı maden işletmelerinin yerüstüne yapacağı sorunları SYM ve radar kullanımı ile belirlemek klasik yöntemlere göre daha etkili verimli olmaktadır. Açık işletme madenciliğinde ise, radar ve uydu görüntüleri sayesinde doğa onarım çalışmaları yön vermektedir. Bu nedenle uzaktan algılama yöntemlerinin kullanımı gerek ülkemizde gerek yurtdışında çevresel sorunların çözümü için kullanımı büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Rekültivasyon, uzaktan algılama, açık işletme madenciliği, kapalı maden işletmeciliği, SYM, radar, uydu görüntüleri.

**ENVIROMENTAL ASSEMENT OF MINING STUDIES AND
RECLAMATION BY MODELLING AND CONDITIONING GEOGRAPHIC
INFORMATION SYSTEM (GIS)**

ABSTRACT

Study of the environmental problems of Mining and solutions both during and after legal perspective and it is important to establish damages habitat. This is why in recent years was held within the scope of this work to be awarded and landscaping reclamation studies must be made to implement and on-site observation.

Today, emerging computer technologies play an important role through the use of remote sensing methods in these studies. Underground mining operations and accelerating DEM and issues that aboveground radar use with classical methods more effective efficient set. Thanks to the radar and satellite images is Open pit mining nature restoration work. Therefore the use of remote sensing methods for the solution of environmental problems in use abroad need.

Keywords: Reclamation, remote sensing, open pit mining, underground mining, DEM, radar, satellite images.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR-GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ-UZAKTAN ALGILAMA İLE İLGİLİ TANIMLAR, BİLGİLER VE GENEL KAVRAMLAR.....	5
2.1 Uzaktan Algılamanın Tanımı.....	5
2.2 Uzaktan Algılama Bileşenleri.....	8
2.2.1 Uzaktan Algılamada Görüntü Ve Oluşturulması.....	9
2.2.2 Uzaktan Algılamada Veri Elde Edilmesi.....	12
2.2.3 Uzaktan Algılamada Veri İşleme Ve Görsel Yorumlama.....	14
2.2.3.1 Elektromanyetik Enerji.....	14
2.2.3.2 Elektromanyetik Spektrum.....	16
2.2.3.3 Elektromanyetik Işınım.....	18
2.2.3.4 Enerji Kaynağı Ve Hedefle Etkileşim.....	19
2.2.3.5 Spektral Yansıma.....	20
2.2.3.6 Dijital Görüntü.....	21
2.2.3.6.1 Dijital Görüntünün Özellikleri.....	21
2.2.3.7 Görüntüleme Spektroskopisi.....	26
2.3 Görüntü Elde Edilmesi.....	32
2.3.1 Ön İşleme Ve Düzeltmeler.....	33
2.3.1.1 Radyometrik Düzeltmeler.....	33
2.3.1.2 Geometrik Düzeltmeler.....	34
2.3.2 Görüntü Zenginleştirme.....	34
2.3.3 Görüntü Dönüşümleri.....	35

2.3.4 Sınıflandırma.....	35
2.3.5 Veri İşleme.....	36
2.4 Uzaktan Algılamanın Kullanıldığı Alanlar.....	36

BÖLÜM ÜÇ-MADENCİLİKTE DOĞA ONARIM

ÇALIŞMALARI.....38

3.1 Doğa Onarım Kavramı.....	38
3.2 Doğa Onarımının Aşamaları.....	43
3.2.1 Alan Kullanım Planlaması.....	43
3.2.2 Yeniden Düzenleme.....	45
3.2.3 İyileştirme.....	47
3.2.4 İzleme Ve Bakım.....	48
3.2.5 Doğaya Yeniden Kazandırma Çalışmaları.....	49
3.3 Maden Ocaklarının Çevrede Oluşturacağı Etkiler.....	50
3.3.1 Genel Bilgi.....	50
3.3.2 İnsan Güvenliğine Direkt Tehdit Oluşturan Faktörler.....	51
3.3.3 İnsan Sağlığına Dolaylı Tehdit Oluşturan Faktörler.....	52
3.3.4 Özel Mülke, Tarım Alanlarına, Ormanlara Ve Hayvanlara Verilen Zararlar.....	53
3.3.5 Yaşam Kalitesi ve Motivasyonun Bozulmasına Neden Olan Tehditler...54	
3.3.6 Doğal Rezervlerin Kullanımı.....	54
3.4 Arazinin Şekillendirilmesi.....	55
3.4.1 Uygun Bir Planlama İle Maliyetin Azaltılması.....	55
3.4.2 Sahanın Stabilizasyonu.....	57
3.4.3 Arazinin Erozyondan Korunması.....	58
3.4.4 Drenaj Ve Erozyon Yapılarının Çalıştırılması.....	59
3.4.5 Şev Emniyetinin Daima Sağlanması.....	59
3.4.6 Doğala Özdeş Şevler Oluşturulması.....	60
3.5 Görsel Tasarımlar.....	61
3.5.1 Görsel Karakterin Nitelikleri.....	61
3.5.2 Görselliğin Sağlanması.....	62

3.5.3	Manzaranın Analiz Edilmesi.....	63
3.6	Atıkların Islah Edilmesi.....	67
3.6.1	Atıklar.....	67
3.6.2	Susuzlandırma.....	68
3.6.3	Atık Yığınlarının Örtülmesi.....	69
3.6.4	Bitkilendirme.....	71
3.7	Su Yollarının Rekültivasyonu.....	72
3.7.1	Kanal Geometrisi Ve Jeomorfolojisi.....	72
3.7.2	Kanal Substratı Ve Sedimenti.....	73
3.7.3	Kanal Şablonları.....	74
3.7.4	Drenaj Rekültivasyonu Kriterleri.....	74
3.7.5	Kanallarda Stabilitte Sağlama Yöntemleri.....	75
3.8	Toprakların Kullanımı.....	76
3.8.1	Toprağın Kurtarılması.....	76
3.8.2	Üst Toprak Katmanının Stoklanması ve Korunması.....	77
3.8.3	Yedek Üst Toprak Alınması.....	81
3.8.4	Üst Toprağın Yerinde Muhafaza Edilmesi.....	82
3.8.5	Toprağın Serilmesi.....	83
3.8.6	Toprak Sıkışmasının Azaltılması.....	84
3.8.7	Yüzeyin Hazırlanması.....	86
3.8.8	Gübreler Ve Toprak Koşullandırıcıları.....	87
3.8.9	Toprak Yüzeyinin Stabilizasyonu.....	88
3.8.9.1	Biyokatıların Kullanımı.....	88
3.8.9.2	Malç.....	90
3.9	Arazinin Yeniden Bitkilendirilmesi.....	92
3.9.1	Bitkilendirme Başarısı.....	92
3.9.2	Bitki Türünün Seçimi.....	94
3.9.3	Dikim Miktarı.....	94
3.9.4	Tohumların Ismarlanması.....	95
3.9.5	Tohumların Saklanması.....	95
3.9.6	Tohumlama Zamanı.....	96
3.9.7	Tohumlama Yöntemleri.....	96

3.9.8 Sulama.....	98
3.9.9 Canlı Transplantlarla Bitkilendirme Yapmak.....	98
3.9.10 Bitkilendirmede Başarı Teknikleri.....	99
3.10 Çöktürme Havuzları.....	102

**BÖLÜM DÖRT- UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMİNİN
MADENCİLİKTEKİ ÇEVRESEL ETKİ BELİRLEME ÇALIŞMALARINDA
UYGULANMASI.....103**

4.1 Madencilikte İşletme Metotları.....	104
4.1.1 Açık Maden İşletmeleri.....	104
4.1.2 Yeraltı (Kapalı) Maden İşletmeleri.....	104
4.1.3 Cevher Hazırlama Ve/Veya Zenginleştirme Tesisleri.....	105
4.1.4 Madencilik Faaliyetleri Sonucu Bozulan Arazinin Sınıflandırılması...	106
4.2 Uzaktan Algılama Yöntemini Araziye Uygulama Aşamaları.....	106
4.3 Metodoloji.....	107
4.4 Uzaktan Algılama Tekniği İle Bitki Örtüsü Analizi.....	108
4.4.1 Bitki Örtüsünün Spektral Yansıma Karakteristiği.....	112
4.4.1.1 Görülebilir Işın Bölgesi (0,4–0,7 µm).....	113
4.4.1.2 Yakın Kızılötesi Bölgesi (0,7–1,3 µm).....	114
4.4.1.3 Kızılötesi Bölgesi (1,3 µm'dan daha fazlası).....	116
4.5 Açık İşletme Madenciliğinde Uzaktan Algılama Yönteminin Çevresel Etki Belirleme Çalışmalarında Kullanımı.....	116
4.6 Yeraltı (Kapalı) Maden İşletmelerinin Yer yüzeyine Oluşturacağı Etkilerin Uzaktan Algılama Yöntemi İle İncelenmesi Ve Değerlendirilmesi.....	119
4.6.1 Kömür Madenciliğinde Tasman.....	121
4.6.2 Tasman Oluşumuna Neden Olan Etmenler.....	122
4.6.3 Tasman Oluşum Mekanizması Ve Etki Alanı.....	123
4.6.4 Tasman Hasar Değişkenleri.....	126
4.6.5 Tasman Kontrolü.....	128
4.6.6 Tasman Belirlemede Uzaktan Algılama Yöntemi İle Fotogrametri Kullanılması.....	131

4.6.6.1 Fotogrametri.....	131
4.6.6.1.1 Fotogrametrinin Özellikleri.....	131
4.6.6.1.2 Fotogrametrik Harita Yapım Aşamaları.....	132
4.6.7 Kapalı Ocak İşletmelerinin Yerüstüne Oluşturacağı Deformasyonların Radar İle İzlenmesi.....	141
4.6.7.1 Yapay Açıklıklı Radar İnterferometri.....	143
4.6.7.2 Üç Geçiş Veya Çifte Fark Yöntemi İle Diferansiyel İnterferometri.....	145
4.6.7.3 İki Geçiş ve SYM Yöntemi İle Diferansiyel İnterferometri.....	145
4.6.7.4 İki Geçiş Ve SYM Yöntemi İle DINSAR Kullanımı.....	146
4.8 Uzaktan Algılama Yönteminin Doğa Onarım Aşamalarındaki Önemi.....	148
BÖLÜM BEŞ-SONUÇLAR.....	150
KAYNAKLAR.....	153

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Uzaktan Algılama, en genel anlamıyla fiziksel bir temas olmaksızın gözlemlenen cisimlerden bilgi edinmektir. Atmosferde veya uzayda konumlandırılmış algılayıcılar sayesinde yeryüzündeki nesnelere hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Diğer bir deyişle bir nesne, bir arazi bir olay hakkındaki verilerin doğrudan fiziki temas olmayan aletlerle bilgi elde edilmesi ve yorumlanması amacıyla taşıyan bir yöntemdir. Günümüzde bilgisayar teknolojisi çok değişik alanlarda insanlığa hizmet vermektedir. Özellikle veriye bağlı bilgilerin yönetilmesinde, birçok madencilik uygulamalarında önemli rol oynamaktadır. Uzaktan Algılama teknolojisi, yüksek çözünürlükte çok geniş alanlara ait bilgi üretmesi yeryüzü kaynaklarının verimli kullanmayı olanaklı kılmaktadır. Uzaktan algılama yöntemi madencilikle birlikte çevre, jeoloji, meteoroloji, ziraat, orman, şehir planlama gibi birçok bilim dalında yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzaktan algılamanın madencilikte maden arama çalışmasında kullanılmasının yanı sıra maden üretimi sırasında ve sonrasında oluşabilecek çevresel etkilerin tanımlanmasında da kullanımı önemli olmaktadır. Çünkü gerek açık işletme madenciliği gerek yeraltı maden işletmeciliği çevrede toprak kaybı, bitki örtüsünün yok olması, topografyanın değişimi, toprak verimliliğinin yitilmesi ve görsel kirlilik gibi birçok olumsuz yönde çevresel etkiler oluşturmaktadır (Basal vd., 1995).

Açık işletme madenciliğini çevresel etkileri yeraltı madenciliğinden daha fazla olmaktadır. Maden yatağının açık işletme yöntemi ile üretilmesi sonucu arazinin topografyası doğrudan etkilenmektedir. Açık işletme yönteminin üretim yönteminin yanlış planlanması sonucunda teknik sorunlar görülebilmektedir. Bunlardan en çok bilinen örnekleri şev kaymaları, erozyon (toprak kayması) ve ocak tabanlarında aşırı su basması gösterilmektedir bunlar teknik sorun olmasına rağmen aynı zamanda çevre sorunu olmaktadır.

Kapalı işletme madenciliğinin yeryüzüne en büyük etkisi ise, yeraltı işletmesinin dolgulu yöntemlerle çalışmaması halinde yeryüzünde yaratacağı çöküntü etkileridir. Yeraltı üretimleri sonrası boşluk üzerindeki kaya kütlesi zamanla yerçekiminin de etkisiyle yenilmekte ve üretimden dolayı oluşan boşluğu dolduracak şekilde hareket etmektedir. Bunun sonucunda yeraltı boşluğunun üzerinde bulunan yüzey tabakasına kadar kaya kütlelerinde bir yer değiştirme söz konusu olabilmektedir. Bu düşey yer değiştirme olayına madencilikte tasman (sübsidans) adı verilmektedir. Aynı olay sadece madencilik alanında değil her hangi bir yeraltı yapısının oluşturulması sırasında veya oluşturulmasından sonra zamanla oluşabilmektedir.



Şekil 1.1 Yerleşim yeri altındaki oluşan tasmanın etkisi

Maden sahalarında ki maden üretiminin teknik olarak en hızlı şekilde, en verimli ve çevresel etkisinin en az olacak şekilde üretilmesi için üretim yerlerinde meydana gelen yüzey hareketlerinin dikkatli ve düzenli olarak gözlenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde yeraltındaki üretimin oluşturduğu tasmanlar yüzünden yeryüzündeki yapılar zarar görebilmektedir. Örneğin bu tasmanlardan maden sahası üzerindeki karayolları, demiryolları ve kanalizasyon gibi alt yapı tesisleri, maden sahası üzerindeki tesisler, yüksek gerilim hatları, veya ocağın şehrin altına doğru ilerlemesi veya şehrin maden alanı üzerine doğru genişlemesi sonucu bu kentsel

alanlar yada köyler gibi yerleşim alanları bu yüzey hareketlerinden olumsuz yönde etkileneceklerdir. Ayrıca yeraltında oluşan bu hareketler yeraltı ocağının duraylılığını olumsuz yönde etkileyeceklerdir.

Maden sahalarının yüzey hareketlerinin ölçümü eskiden buyana topografik ölçüm aletlerin kullanılması ve bu ölçümlerin haritalara işlenmesi ile yapılmaktaydı. Ancak bu ölçümlerin topografik aletlerle yapılması özellikle maden ocakları gibi büyük alanlar için hem çok zaman alıcı, hem de çok emek ve yoğunluk gerektiren bir iş olmaktadır. Bu yüzden bu tür ölçümlerin sık sık tüm ocak için yapılması pek mümkün olmamaktadır. Bunun yerine günümüzde uzaktan algılama yöntemi kullanılmaktadır.

Uzaktan algılama yöntemi özellikle son 15 yılda haritacılık, ormancılık, jeoloji, hidroloji, biyoloji, tarım gibi birçok değişik alanda kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Uzaktan algılamanın temel amacı bir nesneyle temas etmeksizin nesneden yayılan elektromanyetik enerji vasıtasıyla onu fiziksel özellikleri hakkında bilgi toplamaktır.

Uzaktan algılamadan kastedilen, uydular veya hava araçları üzerinde taşınan aletlerle yapılan gözlem ve ölçümler dikkate alınmaktadır. Uzaktan algılama sistemlerinde ölçülen nicelik, ilgilenilen cisimden yayılan elektromanyetik enerjidir. Uydular veya hava araçları üzerinde taşınan aletlerle yapılan gözlem ve ölçümlerde elektromanyetik enerjiden yararlanılmaktadır (Kavzoğlu, 2002).

Günümüzde uydu görüntülerinin piksel boyutlarında meydana gelen küçülme nedeniyle konumsal ayırma gücü artmış olup, uydu görüntülerinden birkaç metre büyüklüğündeki cisimler rahatlıkla görülebilir hale gelmiştir. Uydu sistemlerinde meydana gelen gelişmeler sonucu uydu görüntülerinin yersel çözünürlüğü pankromatik (siyah/beyaz) görüntüler için 50 cm., multispektral (çok bantlı/renkli) görüntüler için 2 m. kadar düşmüştür. Uydu görüntülerinden bu denli yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmesi sonucunda yeryüzündeki farklılıklar kolayca tespit edilebilir hale gelmiştir. Uzaktan algılama bir cisim, bir arazi yapısı veya bir

doğal olayın fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında arada herhangi bir fiziksel ilişki olmaksızın, çeşitli algılayıcı sistemler tarafından toplanan veriler yardımı ile bilgi edinme bilimi ve sanatı olarak tanımlanmaktadır.

Maden ocaklarının üretimi sırasında ve/veya sonrasında bozulan arazilerinin yeniden düzenlenmesi ve iyileştirilmesi konusu rekültivasyon (iyileştirme) veya başka bir kullanım alanı olarak çalışmalar yapılabilmektedir. Bu çalışmalarda Uzaktan Algılama yönteminin geniş alanlarda kullanım üstünlüğü sayesinde etkili sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bu yöntemin kullanılmasıyla gerekli toprak, su ve habitatın iyileştirilmesi ve sonrasında korunmasına hemen geçilmesi gerekmektedir. Bu amaca yönelik Uzaktan Algılama (UA) yönteminin kullanımı çok geniş arazilerde olumsuz faktörlerin şiddet ve derecesi çok hızlı bir şekilde ve düşük girdiyle belirlenebilmektedir.

Çevre sorunları, coğrafi boyutlu olduklarından bu sorunların coğrafi özellikleri ele alınmaksızın çözüme ulaştırılmaları olası değildir. Günümüzde çevreye ait bilgilerin elde edilmesi, bu bilgilerin işlenmesi ve modellenmesi teknolojileri hızla gelişmektedir. Hatta sadece çevresel uygulamalara yönelik olarak geliştirilmiş uzaktan algılama platformlarının sayısında artış gözlemlenmektedir.

BÖLÜM İKİ

UZAKTAN ALGILAMA İLE İLGİLİ TANIMLAR, BİLGİLER VE GENEL KAVRAMLAR

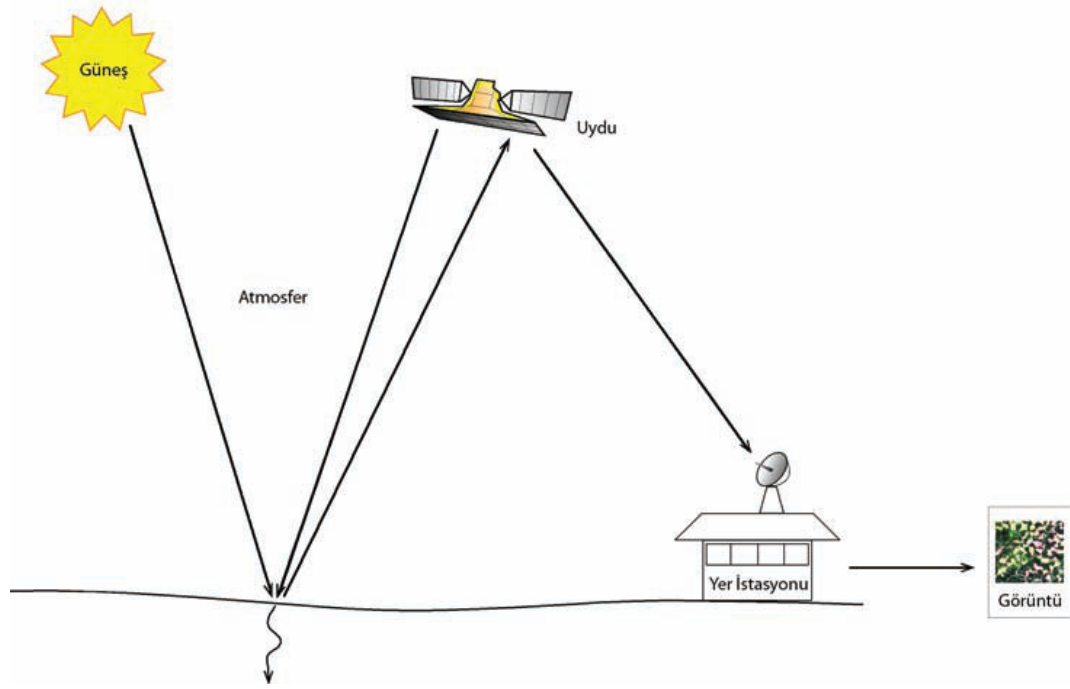
2.1 Uzaktan Algılamanın Tanımı

Uzaktan Algılama, bir cisminle bir temas olmaksızın, algılayıcı sistemleri kullanarak yeryüzü hakkında bilgi edinme bilimidir. Atmosferde veya uzayda bulunan uydular (algılayıcılar) tarafından yeryüzündeki cisimler hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Uçaklara monte edilmiş kamera sistemleriyle elde edilen hava fotoğrafları ve uçağa yerleştirilmiş olan elektronik tarayıcılar-algılayıcılar ile uydulara yerleştirilmiş elektronik tarayıcılar-algılayıcılar sayesinde oluşturulan sayısal görüntüler, yeryüzündeki cisimlerden veri elde edilmesini sağlamaktadır.

Uzaktan algılama teknolojileri yer yüzeyinden yansıyan ve yayılan enerjinin algılanmasında, kaydedilmesinde, elde edilen materyalden bilgi çıkarmak üzere işlenmesinde ve analiz edilmesinde kullanılmaktadır.

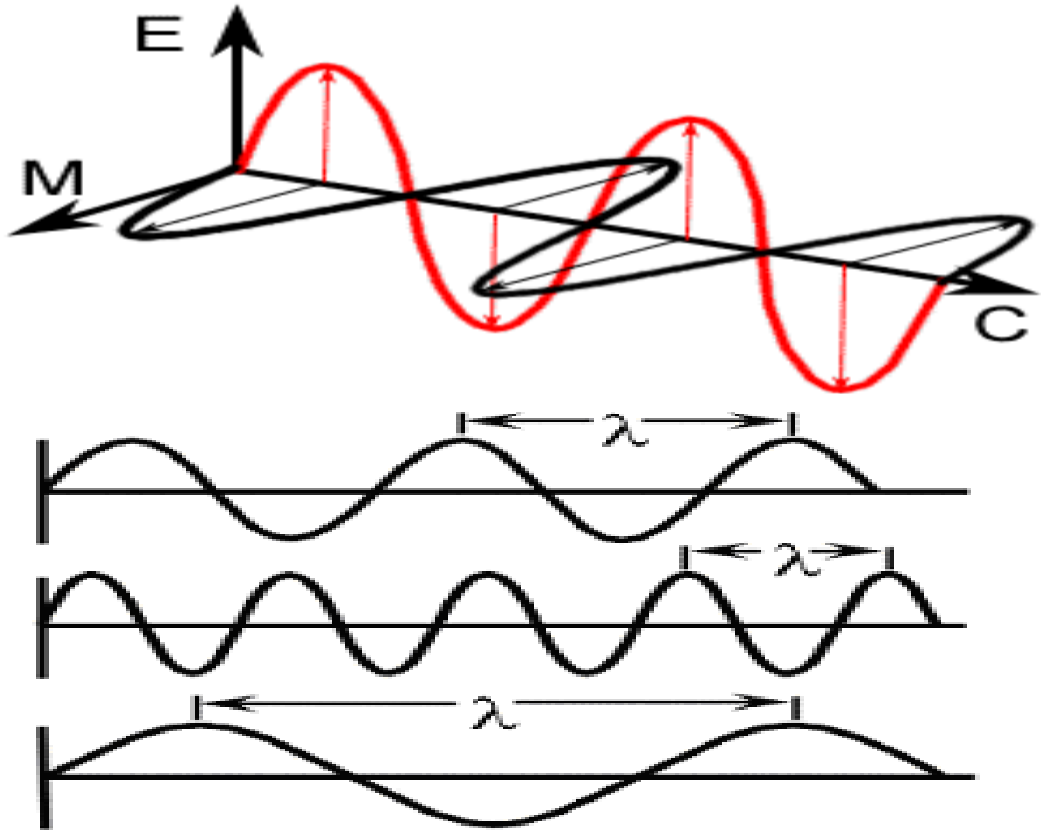
Uzaktan Algılama yönteminin avantajlarını şöyle sıralanmaktadır;

- Geniş alanların görüntülenmesi olanağı
- Zamandan tasarruf
- Doğru bilgiye kısa sürede ulaşım
- Hızlı veri aktarımı
- Veri toplama
- Bilgisayar ortamında çalışma olanağı
- Aynı görüntünün birçok amaca yönelik kullanımı



Şekil 2.1 Uzaktan algılama sürecinin basitleştirilmiş gösterimi

Elektromanyetik enerji ışık hızında 3×10^8 m/sn de hareket eder ve bütün enerji şekillerini kapsamaktadır. Görünür ışık elektromanyetik enerjinin bir çeşididir. Radyo dalgaları, morötesi (ultraviolet), x-ray ve diğer bilinen çeşitler buna örnektir. Elektromanyetik enerji, genelde bir dalga gibi hem elektrik hem de manyetik eleman olarak davranmaktadır (Şekil 2.2). Bir dalganın tepesi (en yüksek yeri) ile onu takip eden dalganın tepesi arasındaki uzunluğa dalga boyu (wavelength) adı verilmektedir. Bir saniyede oluşturulan dalga sayısı frekans (frequency) olarak adlandırılmaktadır (Örmeci, 1987).



Şekil 2.2 Elektromanyetik dalga şekli

Uzaktan algılamada raster veri kavramı, coğrafi verilerin hüresel olarak temsil edilmesine dayanmaktadır. Resim içindeki her bir hücrenin mekansal özelliklerini temsil eden bir rakamsal değeri bulunmaktadır. Aynı değere sahip hücreler aynı özelliği temsil etmektedir. Uydu görüntüleri ve taranmış haritalar raster verilere örnektir (Arda, 2006).

Vektör veri, nokta, çizgi ve poligon ana elemanlarından oluşmaktadır. Noktalar sadece bir koordinat değeri ile ifade edilen elemanlardır. Çizgiler, eğri bir çizgi oluşturan koordinatlar dizisidir. Poligonlar bir alan oluşturan çizgiler bütünüdür (Arda, 2006).

Konumsal çözünürlük, Uydu tarafından tanımlanabilen en küçük birimin büyüklüğüdür. Bir raster/resim üzerindeki detay seviyesidir. Düşük çözünürlüğe sahip görüntülerde küçük nesnelerin detayı bulunmaz. Yüksek çözünürlüklü

görüntüler ise fotoğraf kalitesine yakın bir niteliğe sahiptir ve küçük nesnelere detaylı görülür (Arda, 2006).

Zamansal çözünürlük, Uydunun taramış olduğu bir alanı tekrar tarayınca kadar geçen zamandır (Arda, 2006).

Sınıflandırma, Birbirine göre jeoreferanslanmış birden çok görüntü veya bandın bir arada analiz edilerek bu görüntülerdeki benzer istatistikî özelliklere sahip olanlarının gruplar halinde bir araya gelerek sınıflar oluşturulmasıdır. Sınıflandırma sonucunda bir raster veri elde edilir (Arda, 2006).

Sayısallaştırma, analog veriyi dijital/sayısal veriye dönüştürme işlemidir. Analog formdaki verinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında görüntülenebilmesi ve analiz edilebilmesi için sayısallaştırılması gerekmektedir (Arda, 2006).

2.2 Uzaktan Algılama Bileşenleri

Enerji Kaynağı (A): Hedefe bir kaynak tarafından bir enerji gönderilmesi gerekmektedir. Bu kaynak hedefi aydınlatmaktadır veya hedefe elektromanyetik enerji göndermektedir. Optik uydular için enerji kaynağı güneştir, ancak radar uyduları kendi enerji kaynaklarını üzerinde taşımaktadır ve elektromanyetik enerjiyi üreterek hedefe yollamaktadırlar.

Işınım Atmosfer (B): Enerji, kaynağından çıkarak hedefe yol alırken atmosfer ortamından geçmekte ve bu yol boyunca bazı etkileşimlere maruz kalmaktadır.

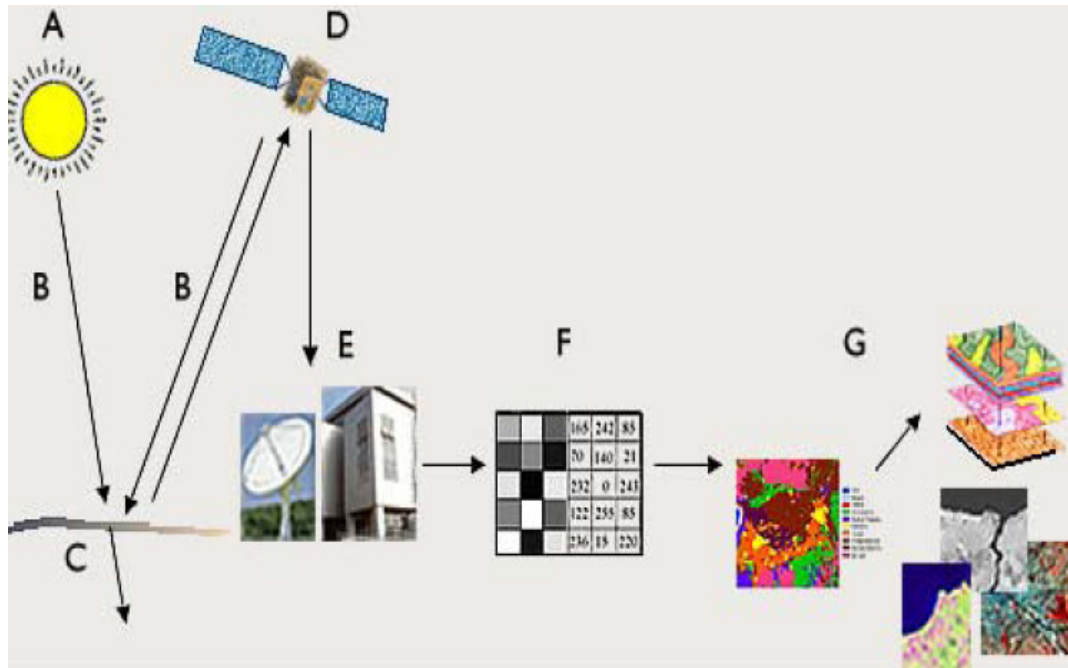
Hedefe Etkileşim (C): Atmosfer ortamından geçen elektromanyetik dalga, hedefe ulaştığında hem ışınım hem de hedef özelliklerine bağlı olarak farklı etkileşimler oluşmaktadır.

Enerjinin Algılayıcı Tarafından Kayıt Edilmesi (D): Algılayıcı hedef tarafından yayılan ve saçılan enerjiyi algılamakta ve buna ilişkin veri kayıt edilmektedir.

Verinin İletimi, Alınması Ve İşlenmesi (E): Hedeften toplanan enerji miktarına ait veri algılayıcı tarafından kayıt edildikten sonra, görüntüye dönüştürülmek ve işlenmek üzere bir uydu ve yer istasyonuna gönderilmektedir.

Yorumlama Ve Analiz (F): Görüntü görsel, dijital ve elektronik işleme teknikleri ile zenginleştirilmekte, analiz edilmekte ve nicel sonuçlar elde edilecek veriye sahip olunmaktadır.

Uygulama (G): İşlenmiş veriden bilgi çıkarılır, bazı sonuçlara ulaşılmaktadır. Ayrıca elde edilen sonuçlar, başka veri kaynaklarıyla birleştirilerek kullanılmaktadır.

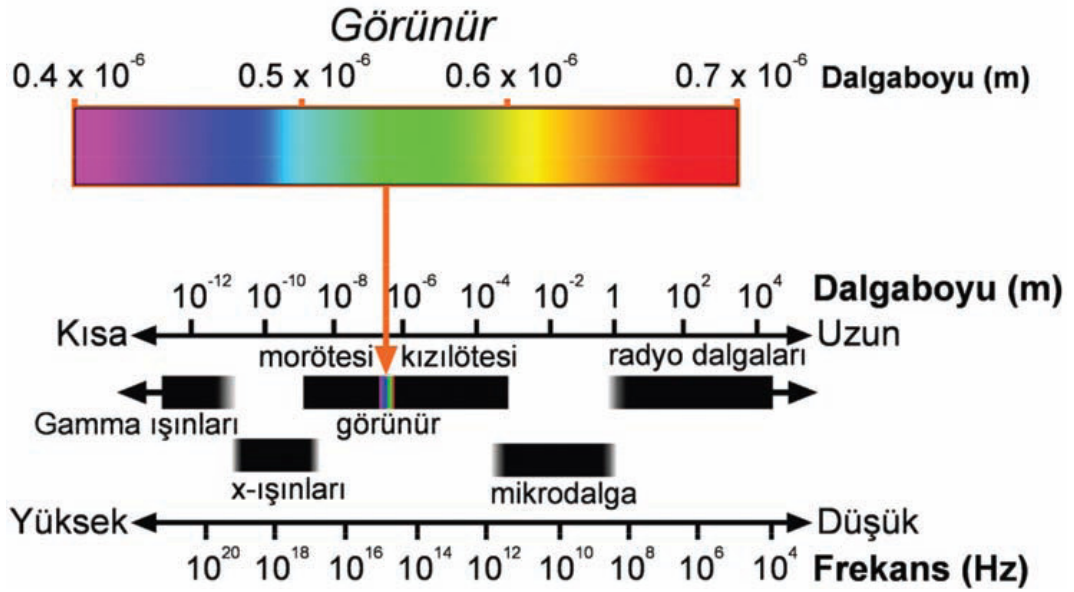


Şekil 2.3 Uzaktan algılama prensip şeması (Uhuzam, 2009)

2.2.1 Uzaktan Algılamada Görüntü Ve Oluşturulması

Uzaktan algılama görüntününün oluşturulması için öncelikle elektromanyetik enerji yayan bir kaynak gerekmektedir. Bu doğal ve yapay kaynak olabilir. Kaynaktan yayılan enerji yere ulaşmadan önce atmosferle etkileşime girmekte ve enerjinin bir kısmı atmosferde saçılmaktadır. Yere ulaşan enerji, yüzeyin ve ışınımın özelliğine

göre yüzeye etkileşime girmektedir. Yayılan, yansıyan yada saçılan enerji, uzayda yada atmosferde konumlandırılmış bir algılayıcı sistem tarafından kaydedilmektedir. Farklı dalga boylarına ait bilgileri içeren kaydedilmiş bu enerji verisi yer istasyonuna aktarılmaktadır. Son olarak veri işlemden geçirilmekte ve görüntü oluşturulmaktadır.



Şekil 2.4 Elektromanyetik enerji tayfi

Görüntünün sahip olduğu band sayısı kadar, mekansal ve radyometrik çözünürlüğü de önemlidir. 'mekansal çözünürlük', görüntüyü oluşturan en küçük birim olan kare şeklindeki pikselin yer üzerinde ne kadarlık bir alana karşılık geldiğini göstermektedir. Örneğin 30 m. Çözünürlüğe sahip bir görüntüde her bir piksel 30mx30m'lik bir alana karşılık gelmektedir. Bir pikselin temsil ettiği alan küçüldükçe, mekansal çözünürlüğü yani detay artmaktadır. 'Radyometrik çözünürlük', görüntünün içerdiği bilginin ifadesidir ve değeri 'bit' adı verilen veri birimidir. 8 bit bir görüntü 2'nin 8. kuvvetidir yani 256 sayısal değer içermektedir. Radyometrik çözünürlük arttıkça sayısal değer aralığı dolayısıyla görüntülenen renk sayısı artmaktadır.

Spektral çözünürlük, özetle bir algılayıcının elektromanyetik spektrumdaki belli bazı dalga boyu aralıklarında algılanmış görüntülerini belirtir. Bu sayede bir sensör

sisteminin birçok dalga boyu genişliğine sahip elektromanyetik radyasyonu algılaması ile farklı nesnelerin ayrı dalga boyu aralıklarına tepkilerini karşılaştırarak ayırt edilmektedir.

Radyometrik çözünürlük, kısaca bir algılayıcı ile alınan veya filme kaydedilen görüntünün, elektromanyetik enerjinin miktarına olan hassasiyetini belirler. Elektromanyetik enerjideki çok küçük değişimleri belirleyebilme kabiliyetidir. Algılayıcının radyometrik çözünürlük hassasiyeti arttıkça elektromanyetik radyasyonun davranışını anlamak daha kolay olmaktadır.

Zamansal çözünürlük, kısaca bir uzaktan algılama sisteminin tamamen aynı bakış açısıyla aynı alanı hangi sıklıkla görüntülediği anlaşılır. Aynı alanı ikinci kez görüntülemek için geçen sürede alandaki değişikliği görmek açısından önemlidir.

Uydu, yörüngesi boyunca yer üzerinde dönerken algılayıcını gördüğü ve taradığı alanın genişliğini de ‘şerit genişliği’ denilmektedir. Şerit genişliği aynı zamanda tek bir görüntünün kapsadığı alandır. Landsat-7 görüntüsünün şerit genişliği 185 km. Terra-Aster görüntüsünün ise 60 km. dir (Şekil 2.5).

	Landsat 4-5 (TM)	Landsat 7 (ETM)	SPOT (XS)	SPOT (Pan)	Terra (Aster)	Ikonos 2	Aviris (Hiperspektral)
Tayfsal bölge							
Görünür ve yansıyan kızılötesi (VNIR-SWIR)	0.45 ile 2.35 μm arasında	0.45 ile 2.35 μm arasında	0.50 ile 0.89 μm arasında	—	0.52 ile 2.43 μm arasında	0.45 ile 0.88 μm arasında	0.40 ile 2.50 μm arasında
Pankromatik (PAN)	—	0.52 ile 0.90 μm arasında	—	0.51 ile 0.73 μm arasında	—	0.45 ile 0.90 μm arasında	—
Termal kızılötesi (TIR)	10.5 ile 12.5 μm arasında	10.5 ile 12.5 μm arasında	—	—	8.125 ile 11.65 μm arasında	—	—
Tayfsal bant sayısı	7	8	3	1	14	5	224
Kapladığı alan							
Doğudan batıya	185 km	185 km	60 km	60 km	60 km	11 km	10.5 km'lik şerit
Kuzeyden güneye	170 km	170 km	60 km	60 km	60 km	11 km	—
Mekansal çözünürlük							
Görünür ve yansıyan kızılötesi (VNIR-SWIR)	30x30 m	30x30 m	20x20 m	—	15x15 m ve 30x30 m	4x4 m	20 m
Pankromatik (PAN)	—	15x15 m	—	10x10 m	—	1x1 m	—
Termal kızılötesi (TIR)	120x120 m	60x60 m	—	—	90x90 m	—	—

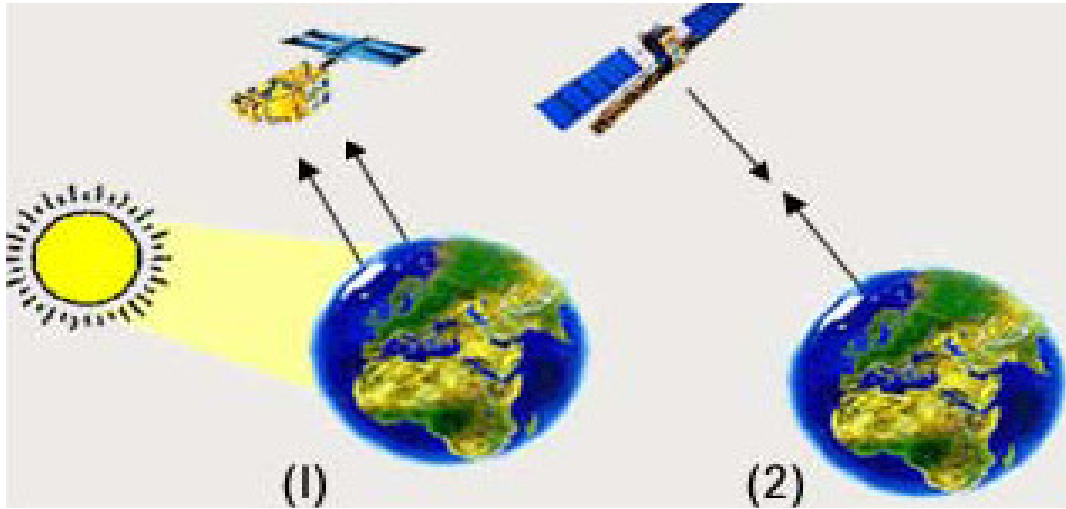
Şekil 2.5 Uzaktan algılamada kullanılan sistemlerin teknik özellikleri

2.2.2 Uzaktan Algılamada Veri Elde Edilmesi

Uzaktan Algılamada veri elde edilmesi temel olarak iki grupta incelenmektedir. Bunlar pasif algılayıcıya sahip sistemler ve aktif algılayıcı sistemlerdir. Doğal enerji kaynağı (Güneş) kullanan algılayıcılar 'pasif', sistemin kendi yaydığı enerjiyi kullanarak algılama yapan algılayıcılar ise 'aktif' olarak isimlendirilmektedir.

Pasif Sistemler: Pasif sistemler yeryüzünün doğal yayılım enerjisi veya güneş enerjisinin yansıtımını algılayan optik, ısı ve mikrodalga algılayıcılardır.

Aktif Sistemler: Aktif sistemler kendi enerji kaynaklarını kullanmaktadırlar. Hedefe ürettikleri elektromanyetik dalga sinyallerini yollar ve hedeften saçılan enerjiyi algılamaktadırlar (Şekil 2.6) (Marangoz, 2010).



Şekil 2.6 Uzaktan algılamadaki aktif ve pasif sistemlerin çalışma prensibi

Hava Fotoğrafları, ışığın (enerjinin), sayısal algılayıcılardan farklı olarak uçağa monte edilmiş kameralar aracılığıyla ışığa duyarlı film üzerine düşürülmesiyle elde edilmektedir. Hava fotoğrafları siyah-beyaz, renkli ya da kızıl ötesi özellikte olabilmektedir.

Algılayıcı sistemler, elektromanyetik tayfın çeşitli dalga boylarına ait enerji verilerini toplarlar. Uydu görüntüsünde farklı dalga boyu aralığına sahip bu veriler ‘band’ adı verilen dosyalara saklanmaktadır. Bandlar görüntünün tayfsal çözünürlüğünü ifade etmektedir. Bir görüntüde bant sayısı ne kadar fazlaysa elde edilen bilginin miktarı da o oranda artmaktadır. Örneğin Landsat-7 görüntüsü 8 banda sahipken, Terra-Aster görüntüsü 14 banda, EO-1-Hyperion görüntüsü ise 220 banda sahiptir. Algılayıcı platformları, bir yüzeyden yayılan veya yansıtılan enerjiyi hassas bir şekilde toplamak ve kaydetmek için algılayıcının kararlı bir platformda taşınması gerekmektedir. Uzaktan algılamada yer, hava, uzay aracı veya uydu platformlarına monte edilen algılayıcılar kullanılmaktadır.

Uzaktan algılamanın en yaygın kullanım biçimi, pasif uzaktan algılamalardır. Bu sistemde dün ya çevresinde belirli bir yörüngede hareket eden uydular üzerindeki algılayıcılar kullanılmaktadır. En önemli uzaktan algılama uydularına Landsat, Spot ve Ers örnek verilebilir. Uydu üzerinde bulunan algılayıcı sistemde elektromanyetik tayfın belirli bir bölümü kullanılmaktadır. Uydu üzerindeki algılayıcılarda band olarak isimlendirilen bu bölümlerle, elektromanyetik tayfın belirli dalga boyundaki bilgiler toplanmakta ve sayısal özellikte saklanmaktadır. Yer istasyonu tarafından elde edilen bu sayısal verilere, çeşitli veri işleme ve analiz teknikleri uygulanması sonucunda bilgi elde edilmektedir. Bu bandların her biri farklı özellikteki nesnelere karşı duyarlılığa sahiptir. Örneğin Landsat TM5 uydusunun 1. bandı, mavi renge, su yüzeylerine karşı daha duyarlıdır. Bu nedenle, su yüzeyi hakkındaki araştırmalarda Landsat TM5 uydusunun 1. bandı kullanılmaktadır. Uzaktan Algılama yönteminde çok band kullanılarak da yeryüzü hakkındaki bilgiler elde edilebilmektedir. Bu çalışmalara, bitki örtüsünün belirlenmesi, arazi kullanım durumunu vb. gibi araştırmalar örnek verilebilir. Uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak bir bölgeye ait bilgiler klasik ölçme yöntemlerine göre, hızlı, ekonomik ve istenen doğrulukta belirlenebilmektedir (Tombuş F. E., 2009).

Yer bilimlerinde kullanılan başlıca pasif algılayıcı sistemler Landsat (MSS, TM, ETM), Terra (Aster), Spot, Ikonos ve Quickbird uydularıdır. Radarsat ve Jers-1 gibi

uydular da üzerinde radar algılayıcı sistemler bulunan aktif sistemlere başlıca örneklerdir.

Yer sabit görünelere sahip olan uydular genellikle çok yüksek irtifaya sahiptirler. Bu tür uydular dünyanın her zaman aynı bölgesinde görülmektedir. Bu nedenle aynı bölgeyi izleme ve o bölge hakkındaki sürekli bilgi elde etme imkânı sağlamaktadırlar. Meteorolojik ve haberleşme uyduları genellikle bu tür yörüngelere sahip uydulardır.

Pek çok uzaktan algılama platformu kısa sürede dünyanın pek çok yerini görüntülemeyi sağlayacak yörüngelere oturtulmuştur. ‘Yakın-Kutupsal Yörünge’ ismi, bu tür uyduların kuzey ve güney kutupları arasında uzanan bir yolu takip etme nedeniyle kullanılmaktadır.

Tarama alanının tanımı, uydu dünya etrafında dönerken, algılayıcı yer yüzeyinin belli bir kısmını taramaktadır. Yörünge boyunca ilerlerken taranan bu bölgeye ‘tarama alanı’ adı verilmektedir.

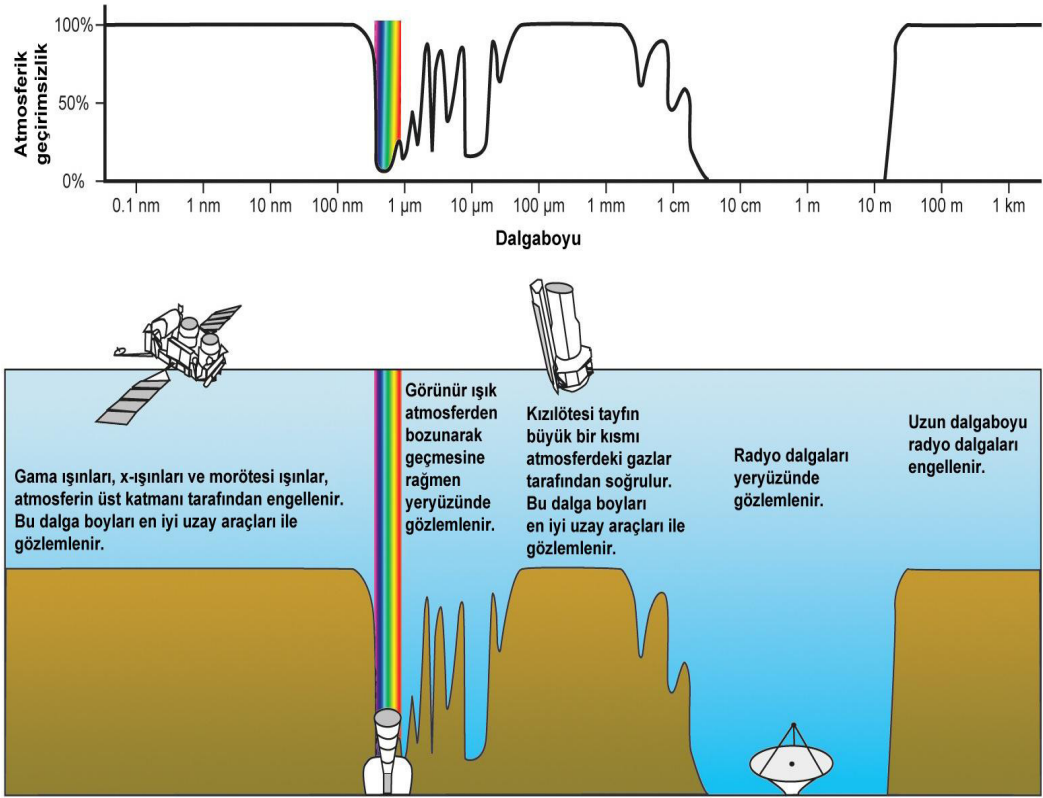
2.2.3 Uzaktan Algılamada Veri İşleme Ve Görsel Yorumlama

Uzaktan algılamada veri işleme ve görsel yorumlamayı, elektromanyetik enerji, elektromanyetik spektrum, elektromanyetik ışınım, enerji kaynağı ve hedefle etkileşim, spektral yansıma, dijital görüntü ve görüntüleme spektroskopisi olmak üzere 7 ana başlıkta toplanmaktadır.

2.2.3.1 Elektromanyetik Enerji

Elektromanyetik enerji atmosferden geçerken etkileşime girmektedir. Bu etkileşim, ışınların atmosferden geçtiği yolun uzunluğuna, atmosferin bileşimine ve ışınların dalga boyuna bağlıdır. Bu etkileşimin sonucu elektromanyetik enerjide iki çeşit değişim olmaktadır. İlk olarak elektromanyetik enerjinin doğrultusu değişmekte ve yansıma ya da saçılma gerçekleşmektedir. İkinci olarak elektromanyetik enerji, atmosferin kimyasal bileşeni veya moleküler yapısı yüzünden soğurulmaktadır.

Atmosferden geçen ve geçemeyen elektromanyetik enerjinin elektromanyetik tayftaki dağılım şekil 2.7’de ele alınmıştır.



Şekil 2.7 Elektromanyetik enerji ile atmosferin geçirimsizlik ilişkisi (Wikipedia, 2009)

Atmosfer tarafından herhangi bir bozunmaya uğramayan (saçılmayan veya soğurulmayan) elektromanyetik enerji, yer yüzeyine ulaştığında etkileşime girmektedir. Bu etkileşim çok karmaşıktır ve tamamen açıklanamamıştır. Bu etkileşimin sonucu elektromanyetik enerjide üç çeşit değişim olur. İlk olarak elektromanyetik enerjinin tümü veya bir kısmı bir yüzeye çarptığında yön değiştirerek yansımakta ve tekrar atmosfere geri dönmektedir. Bu yansıma nesnenin yüzeyine bağlı olarak düzgün veya dağınık şekilde meydana gelmektedir. İkinci olarak elektromanyetik enerjinin bir kısmı çarptığı nesnenin kimyasal bileşimi veya moleküller yapısı yüzünden soğurulur. Üçüncü olarak yansımayan veya soğurulamayan elektromanyetik enerji, çarptığı nesnenin içinden geçer yani aktarılır, iletilir ve yoluna devam etmektedir. Sıcaklığı mutlak sıfırın (0 °K) üzerinde olan her cisim elektromanyetik enerji kaynağıdır. Doğal enerji kaynağı Güneş’in yardımı

olmadan, belli bir ısıya sahip her nesne etrafına net bir yayılım yapar (CCRS, 2009; Short, 2009; Tatar vd., 2006).

Sonuç olarak, atmosferle ya da yeryüzüyle etkileşime giren elektromanyetik enerji yansır, saçılır, soğurular veya iletilir ve enerji kaybına uğramaktadır. Ayrıca nesnelere sahip oldukları öz enerji sayesinde bir yayılım yapar ve enerji kaybına uğramaktadır.

Elektromanyetik enerji, Elektrik alan ve manyetik alan olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır.

Elektromanyetik enerjinin belirli özellikleri vardır. Tüm elektromanyetik enerji ışık hızında hareket etmektedir, ($c = 299793 \text{ km/saniye}$ veya $c = 3 \times 10^8 \text{ m/saniye}$), ve hem tanecik hem de dalga modeli ile açıklanmaktadır.

Elektromanyetik enerjinin hareketi hız, dalga boyu ve frekans cinsinden ifade edilebilir: Hız (c), dalga boyu (L), ve frekans (f) olmak üzere, ilişki $L = c/f$ eşitliği ile ifade edilmektedir.

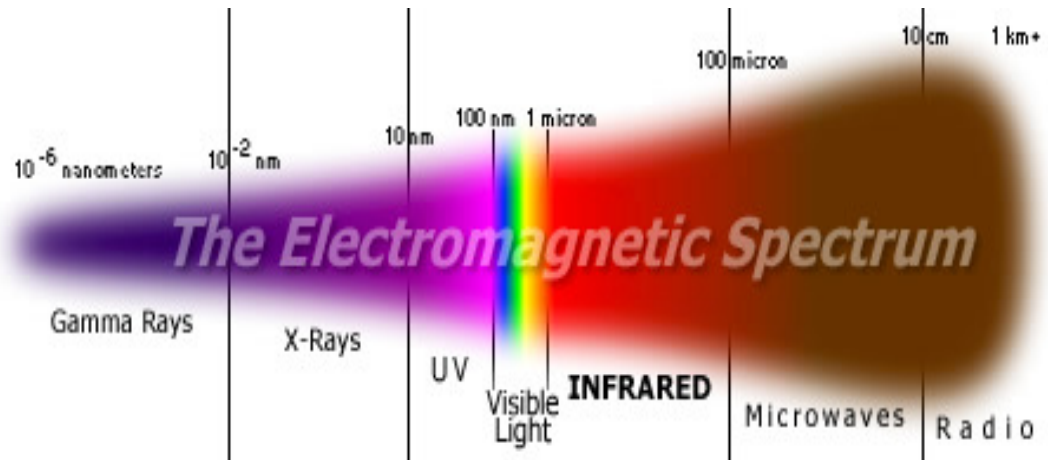
2.2.3.2 Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik spektrum, ışık hızı ile hareket eden dalga boyu nanometrelerden kilometrelere kadar uzanan sürekli enerji ortamıdır.

Elektromanyetik spektrumda dalga boyları bina mertebesinde uzunluğa sahip radyo dalgalarından, bir atom çekirdeği mertebesindeki kısa dalga boylarına kadar uzanır. İnsan gözünün algılayabildiği dalga boyları, sadece görünür bölgedekilerdir.

Bilindiği gibi insan gözü elektromanyetik spektrumun sadece görünür bölgesine algılayıcıdır (Şekil 2.8). Ancak bu algılayıcılar yardımıyla görünür bölge dışındaki kızılötesi ve mikrodalga bölgelerinden de cisimler ve olaylar hakkında yararlı bilgiler elde edilebilmektedir. İnsan gözünün görebildiği görünür bölge dışındaki kızılötesi ve mikrodalga boyları ($0,72 \text{ }\mu\text{m.-1m.}$) özellikle jeolojik uygulamalar için yararlı

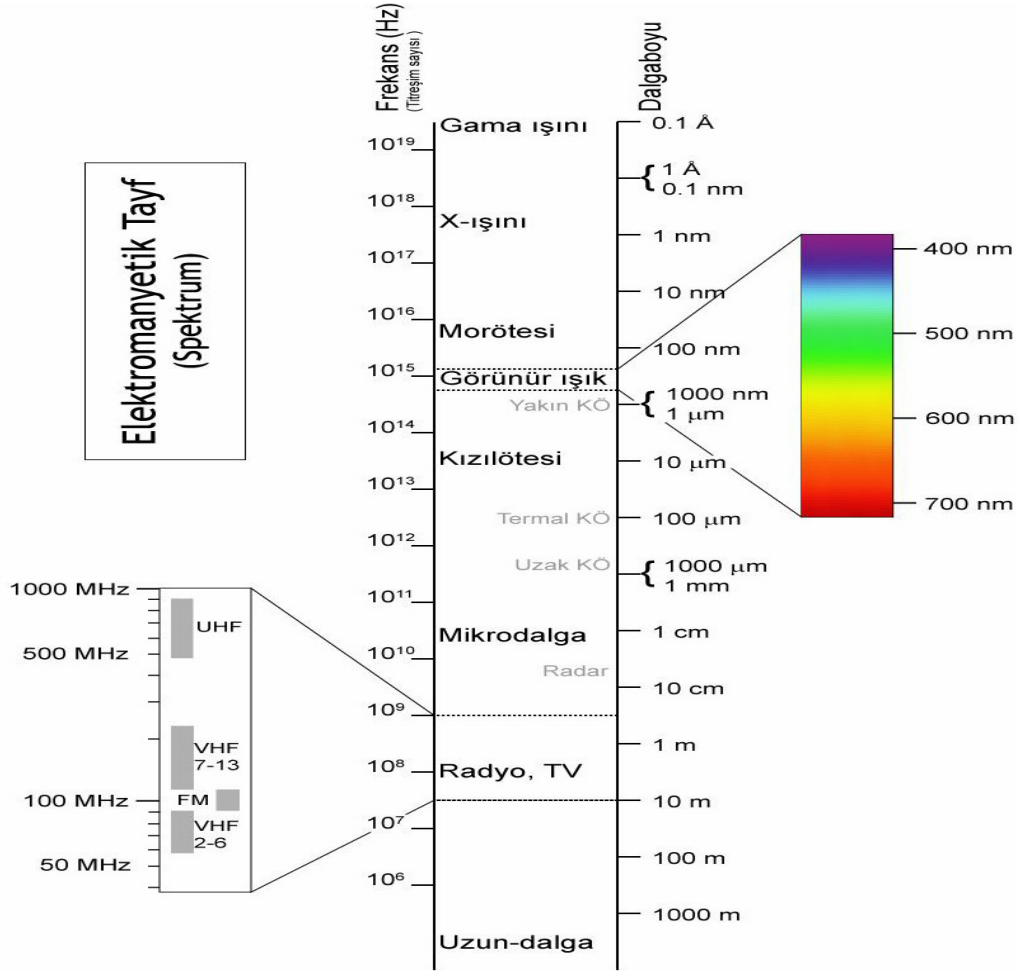
sonuçlar ortaya koyabilmektedir. Güneşten yayılan tüm dalga boylarındaki işinımı içeren logaritmik gösterime elektromanyetik spektrum denir (şekil 2.8). Spektrum, elektromanyetik işinımın özellikleri göz önüne alınarak belirli bölümlere ayrılmıştır. Bu bölümler arasında kesin bir sınır yoktur ve yer yer birbirlerinin sınırlarını işgal ederler. Atmosferde ya da uzayda bulunan algılayıcılar, ister pasif isterse aktif olsun yeryüzünden yansıma ve yayılma yoluyla kendilerine ulaşan enerjiyi kaydedebilirler.



şekil 2.8 Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik spektrumun bazı bölgeleri, uzaktan algılama amaçlı kullanılabilir. Mutlak sıfır derecesinden daha yüksek ısıdaki bütün nesnelere, bu bölgelerde elektromanyetik radyasyon yayar, üzerine düşen enerjiyi emer veya yansıtır. Foton denilen parçacıklar şeklinde ortaya çıkan, llen bu enerji, aynı zamanda çeşitli dalgalar şeklinde yayılır. EMS'deki belirli dalga boyları ile tanımlanan alt bölgelere ayrılır.

Elektromanyetik spektrumda, Radyo dalgaları: 10⁴–10² cm., Mikro dalgalar 1 cm. Kızılötesi dalgaları: 10–2 cm. görünür Işık dalgaları: 10–5 cm. Ultraviyole: 10–6 cm. ve X-işinı: 10–8 cm. aralığındadır. Güneş radyasyonu, dünya atmosferi içinden geçerken bir kısmı yansıtılır, bir kısmı emilir, bir kısmı ise geçirilir. Atmosfer, görünür ve kısmen de kızılötesine geçirgen olduğundan, uzaktan algılama uyduları bu dalga boyu bölgelerinde çalışırlar. Bir uyduya ulaşan enerji ölçümleri, uydudaki algılayıcılar tarafından sayısal olarak kaydedilir.



Şekil 2.9 Elektromanyetik tayf (Keiner, 2009)

2.2.3.3 Elektromanyetik Işınım

Uzaktan algılamada, elektromanyetik ışınımın (EMI) en önemli enerji kaynağı Güneş'tir. Güneş, Yerküre 'yi aydınlatan ve ısıtan en büyük enerji kaynağı olup doğal ışınım üretir. Güneş enerjisi, elektromanyetik dalgalar olarak yeryüzüne ulaşır. Bu enerjinin bir kısmı atmosferik pencereler sayesinde yeryüzüne ulaşırken diğer kısımları ise atmosferde soğrulur, yansır ve saçılıma uğrar. Atmosferik pencerenin dışında yeryüzüne ulaşmayan enerjiyi hem atmosferde hem de cisimlerin bünyesindeki H_2O , CO_2 , O_3 , NH_4 gibi gazlar soğrulur ve bu nedenle bazı dalga boylarındaki enerji yeryüzüne ulaşamaz. Sayılan tüm bu enerjilerin toplamı aslında güneşten yayılan ışınımına eşittir. Güneşten yeryüzüne gelen enerjinin tümü hiçbir zaman soğrulmaz ve büyük bir kısmı yansıtılır. Bu yansıtmanın özellikleri tamamen

yeryüzü cisimlerinin moleküler ve atomik yapısıyla yüzeyin doğasına ve kendine özgü yapısına bağlıdır.

Güneş, yaydığı ışınımın yaklaşık olarak % 41'ini görünür bölgede kalan kısmı ise bu bölgenin dışındaki dalga boylarında yayar. Atmosferi oluşturan bileşenler olarak da bilinen azot (N₂), oksijen (O₂), argon (Ar), CO₂, gaz ve toz parçacıkları EMI ile etkileşime girerek saçılma sebep olur. Bu bileşenlerin tane çaplarının, ışığı oluşturan dalga boylarıyla olan kombinasyonları sonucunda gökyüzünü günün belirli saatlerinde mavi renkte görmemizi sağlayan Rayleigh saçılım oluşur. Mie ve seçici olmayan saçılma türleri ise diğer saçılma türleri olarak da bilinir.

2.2.3.4 Enerji Kaynağı Ve Hedefle Etkileşim

Bir yüzeye enerji gönderildiğinde, gerçekleşebilecek 3 tür etkileşim vardır. Bunlar: Yutulma (Yu); İletim (İ); ve Yansıtım(Ys)'dir. Hedefe gelen toplam enerji (E) için bu etkileşimlerden biri veya birden fazlası gerçekleşebilir. Bu etkileşimlerin oranı gelen enerji ve hedef malzemesi ile ilişkili olarak değişim gösterir. $E=Yu+Ys+İ$

Yutulma: Hedefe gelen toplam enerjiden bir kısmı ortamdaki elektron ve moleküler reaksiyonlar nedeniyle yutulur, bu enerjinin bir kısmı genellikle uzun dalga boylarında geri yayılır, diğer bir kısmı da yutularak hedefin ısısını arttırır.

Yansıtım: Toplam enerjinin bir kısmı hedeften geri yansıtılır ve ışının geliş açısı ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak farklı açılarda saçılır. Yansıtım, bir hedefi terk eden ışık miktarının hedefe gelen ışık miktarına oranı olarak anlaşılır. Birimi yoktur. Yansıma; her objenin kendine özgü bir özelliği olarak ortaya çıkar ve gelen ışınımın dalga boyu dağılımı ile değişir.

İletim: Toplam ışınımın bir kısmı su gibi bazı maddelere nüfuz edebilir, madde saydam ve bir boyutu ince ise bir kısmı maddeden geçerek diğer ortama iletilir.

Yayılım: Bir enerji kaynağından ışınım veya iletim yolu ile elektromanyetik enerjinin yayılmasıdır.

Bir cismin kendi sıcaklığı nedeniyle yaptığı ışınımın ölçüsüdür. Yayım ile ilgili temel fizik yasalarından Kirchoff, Stefan Boltzmann, Wien Yer Değiştirme kanunları yayılan ışını açıklar.

Kara cisimleri için yayılan enerjinin emilen enerjiye oranı aynıdır (Kirchoff). Kara cisminin birim başına yaydığı enerji, cismin sıcaklığı arttıkça artar (Stefan Boltzmann). Yayılan ışınımın dalga boyu ve nesnenin sıcaklığı arasında ($\lambda=2897,8/T$), Planck sabiti (2897,8 $\mu\text{m. K}$) ile orantılıdır (Wien).

Radyans: Radyans, yeryüzündeki herhangi bir obje tarafından ışınan enerjinin ölçüsü olarak ifade edilebilir. Birim alandan birim zamanda ve sabit açı içine yansıyan enerji olduğundan birimi; watt/steradyan/metrekare'dir. Uzaktan algılama uyduları için nesneden yansıyan ışığın ne oranda görüldüğü olarak da tanımlanabilir.

Saçılım: Enerji dalgasının bir ortamda, enerjinin geliş açısı, polarizasyonu veya frekansı değişerek saçılması veya malzeme ile atomik veya moleküler seviyede etkileşerek eski durumunu muhafaza etmeden saçılmasıdır.

2.2.3.5 Spektral Yansıma

Bir malzeme için yansıyan, yutulan veya iletilen ışınım miktarları dalga boyuna bağlı olarak değişir. Bu önemli özellik sayesinde farklı nesnelere ya da sınıfları ayırt etmek olanaklıdır. Çalışmanın amacına göre, bir görüntüde ayırt edilmek istenen maddeler değişecektir. Analistler, daha iyi bir analiz yapmak için, spektral imzalardan yararlanarak kullanılması gereken spektral bantları belirlemektedirler.

2.2.3.6 Dijital Görüntü

Uzaktan Algılama görüntüleri dijital formlarda kayıt edilir ve bilgisayarlar tarafından görüntüye dönüştürülmek üzere işlenir. Bir uzaktan algılama sisteminde algılayıcı enerjiyi (ışığı) algılar, ölçer ve miktarını bilgisayarın okuyabileceği bir sayıya çevirir. Yörüngedeki uzay aracı bu kodları sinyaller ile yeryüzündeki uydu yer istasyonuna gönderir.

Bu sinyaller alınarak sayı dizilerine çevrilir, sıra ve sütunlar bir gri değerine denk gelen sayı ile ifade edilir ve bir dijital görüntü oluştururlar. Kısaca, sayılar küçük resim elemanlarına çevrilirler ve bir araya geldiklerinde görüntünün tamamını oluştururlar. Dijital görüntüyü oluşturan resim elemanlarına piksel adı verilir. Her piksele ait olan ve temsil edilen alandan gelen ortalama ışınımı veren değer DN ile gösterilir. DN değerleri genellikle 0–255 arasındadır.

Fotoğraflar iki boyutlu bir film üzerine kaydedilmektedir. Görüntüler ise dijital formda kaydedilmektedir. Bütün fotoğraflar birer görüntüdür fakat bütün görüntüler fotoğraf değildir.

2.2.3.6.1 Dijital Görüntünün Özellikleri. — Dijital görüntüler raster formatındadır

- Dijital görüntüler raster formatındadır
- Bir raster x ve y koordinatları ile tanımlı gridlerden oluşmaktadır.
- Bu gridlerin her birine piksel adı verilmektedir.
- Her bir piksel numerik bir değere karşılık gelmektedir (dijital number, DN).
- Piksel dijital değerleri 0 ile 255 gri renk tonuna (8 bit için) karşılık gelmektedir. 0 siyah, 255 beyaz renk tonuna karşılık gelmektedir.
- Tüm algılayıcılar binary (ikili sistem, 20, 21, 23,...) sistemde çalışmaktadır.

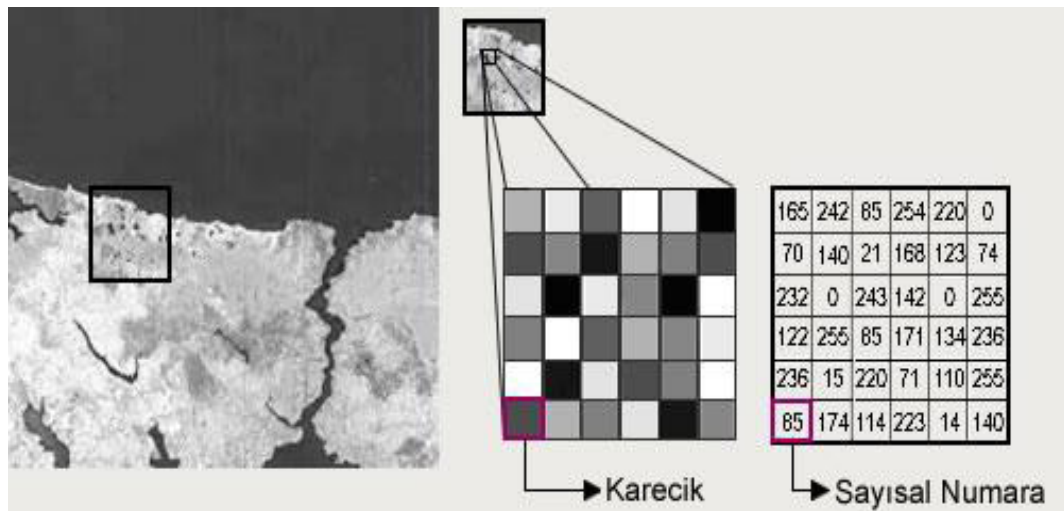
Çözünürlük bir görüntüleme sisteminde kayıt edilen detayların ayırt edilebilirlik ölçüsüdür. Uydu Görüntüleri için 4 farklı çözünürlük tanımlanmaktadır:

Radyometrik Çözünürlük: Elektromanyetik enerji miktarında sahip olunan hassasiyet radyometrik çözünürlüğü göstermektedir. Bir başka deyişle, bir görüntüleme sisteminin radyometrik çözünürlüğü, enerji farklılıklarını ayırt edebilme yeteneğini gösterir. Bahsedilen enerji farklılıkları ayırt edilmesi mümkün olan gri tonu sayısına denk gelir.

Aynı bölgeye ait 2-bitlik bir görüntü ile 8-bitlik bir görüntü karşılaştırıldığında, radyometrik çözünürlükle ilişkili olarak detay ayırt etme seviyesindeki fark göze çarpmaktadır.

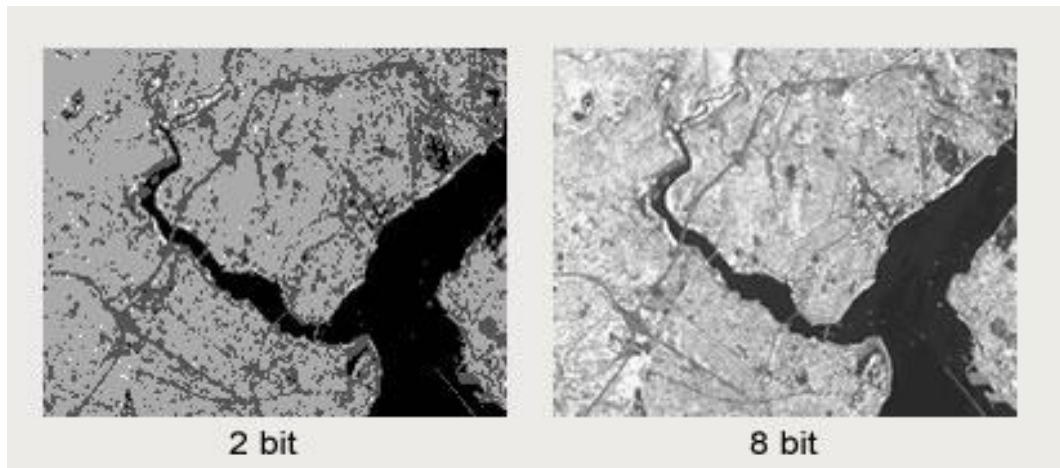
Diğer bir deyişle Algılayıcı tarafından kaydedilen enerji miktarı, bilgisayarın okuyabileceği bir sayıya çevrilmiştir. Yörüngedeki uzay aracında sayıya çevrilen veriler, sinyaller ile yeryüzündeki istasyona gönderilir. İstasyon tarafından alınan sinyaller sayı dizilerine çevrilir. Bilgisayar, dizinin sıralarını ve sütunlarını bir gri değere denk gelen sayı ile ifade eder. Böylece her sayı bir görüntü elemanına çevrilmiştir. Bu sayılar bir araya geldiklerinde görüntünün tamamını oluştururlar. Bu değerlerden oluşan görüntüye sayısal görüntü denilmektedir (Uhuzam, 2009).

Sayısal görüntüyü oluşturan en küçük görüntü elemanına karecik (piksel) denir. Her kareciğe ait olan ve temsil edilen alandan gelen ortalama ışınımı veren değer bir sayısal numara ile gösterilir (şekil 2.10).



Şekil 2.10 Sayısal görüntü işlemi (Uhuzam, 2009)

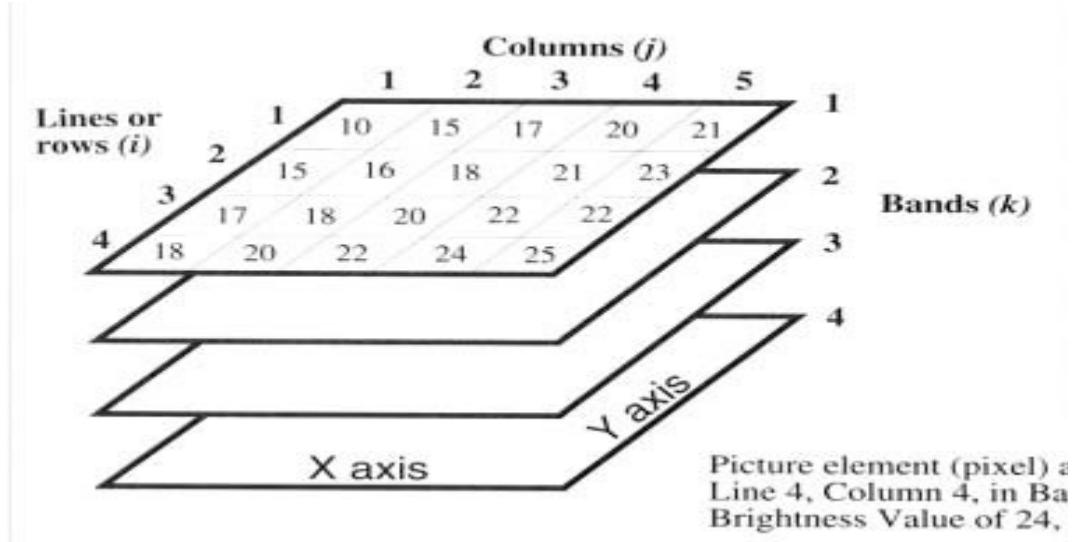
Bir görüntüleme sisteminin, enerji farklılıklarını ayırt edebilme yeteneğini gösterir. Enerji farklılıkları ayırt edilmesi mümkün olan gri tonun sayısına denk gelir. Aynı alana ait 2 bitlik bir görüntü ile 8 bitlik bir görüntü karşılaştırıldığında, radyometrik çözünürlükle ilişkili olarak ayrıntı ayırt etme seviyesindeki fark göze çarptığı bilinmektedir (şekil 2.11). Sayısal numara değer aralığı algılayıcının radyometrik çözünürlüğüne göre değişmektedir. Eğer veri 8 bit ($2^8=256$) olursa sayısal numara değerleri 0 ile 255 arasındadır. Bilgisayar, 0 değerini anlamsız, 255 değerini aşırı doygun olarak tanımlanmakta ve bu iki değeri göz ardı etmektedir (Gürçay, 2007; Uhuzam, 2009).



Şekil 2.11 İki farklı algılayıcının radyometrik çözünürlük farkı (Uhuzam, 2009)

Spektral Çözünürlük: Spektral çözünürlük algılayıcının duyarlı olduğu dalga boyu aralıkları ile ilgilidir. Spektral çözünürlüğün iyi olması bir kanal yada bandın algıladığı dalga boyu aralığının küçük olduğunu gösterir.

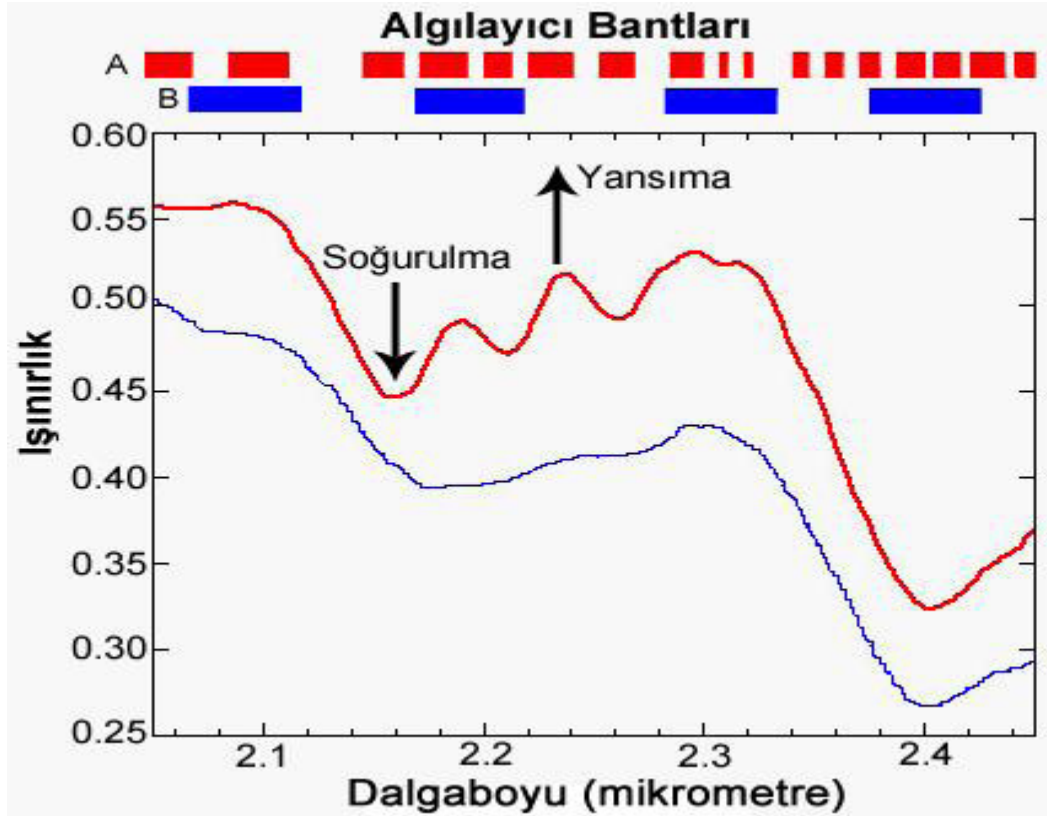
Çok gelişmiş çoklu-spektral algılayıcılara hiperspektral algılayıcılar denilmektedir. Bu algılayıcılar elektromanyetik spektrumun görünür, yakın kızılötesi ve orta-kızılötesi bölgelerinde yüzlerce küçük spektral aralıkta algılama yapmaktadırlar.



Şekil 2.12 Multi-spektral görüntü verisi

Bir nesnenin birim yüzeyi başına ışıyan ışık akısına ışınırılık (radyans) denilmektedir. Gelen ışın ile giden ışın arasındaki enerji farkına yansıma denilmektedir. Yansıma yüzde cinsinden ifade edilir (Gürçay, 2007). Uzaktan algılama ile bu yansıma ölçülmektedir.

Spektral çözünürlük, algılayıcının elektromanyetik tayftaki dalga boyları arasında yapabileceği veri kaydının niteliğini belirtir (Gürçay, 2007; Uhuzam, 2009). Şekil 2.13'de, aynı dalga boyu aralığında A algılayıcısı 17 bantlı bir veri ve B algılayıcısı 4 bantlı bir veri elde ediyor. Buna göre; A algılayıcısının ürettiği verinin dalga boyu aralığı daha geniş olması nedeniyle diğerine göre daha fazla soğrulma ve yansıma bilgisine sahip olur. Sonuç olarak, aynı nesne hakkında daha fazla bilgi elde edilmiş olur.



Şekil 2.13 İki farklı algılayıcının spektral çözünürlük farkı (USC RSL, 2009)

Uzaysal Çözünürlük: Bir görüntüde fark edilebilen küçük detay, algılayıcının uzaysal çözünürlüğü ile ilgilidir ve görülebilen en küçük hedef boyutunu tanımlar. Ticari uydular bir metreden kilometrelere varan çözünürlükler sağlamaktadırlar. Sadece çok büyük nesnelerin görülebildiği görüntülerin çözünürlüğü düşük, küçük nesnelerin ayırt edilebildiği görüntüler ise yüksek çözünürlüklüdür.

Zamansal Çözünürlük: Zamansal çözünürlük bir uzaktan algılama sisteminin aynı bölgeyi görüntüleme sıklığı ile ilgilidir. Bir bölgedeki spektral karakteristikler zamanla değişebilir ve çok-zamanlı görüntü setleri kullanılarak değişim analizi yapılabilmektedir.

Zamansal çözünürlük, görüntü alınan bir alandan algılayıcının tekrar görüntü alması için geçen süredir (Gürçay, 2007; Uhuzam, 2009). Aynı alandan 12 saatte bir geçen uydu, 16 günde bir geçen uyduya göre, o alandan daha sık bilgi toplar. Ne kadar sık bilgi toplanırsa o alandaki değişimler daha rahat gözlemlenir.

2.2.3.7 Görüntüleme Spektroskopisi

Spektroskopi bir katı, sıvı veya gazdan yayılan, yansıyan ve saçılan dalga boyunun bir fonksiyonu olarak ışığın incelenmesi olarak adlandırılmaktadır. Bir spektrometreyi tanımlamak için 4 genel parametreden bahsedilmektedir. Bunlar sırasıyla spektral aralık, spektral bant genişliği, spektral örnekleme ve sinyal/parazit oranı (S/N).

Spektral aralık, çözülmesi istenen bir problemde yeterli spektral soğurma yeteneğine sahip alanı örten bölüm olarak tanımlanabilmektedir. Genel olarak kullanımda olan ve her biri dedektör teknolojisi tarafından kontrol edilen spektral aralıklar sırasıyla; morötesi (UV) 0,001–0,4 $\mu\text{m.}$, görünür 0,4–0,7 $\mu\text{m.}$, yakın-kızılötesi (NIR) 0,7–3,0 $\mu\text{m.}$, orta-kızılötesi (MIR) 3,0–30 $\mu\text{m.}$ ve uzak kızılötesi 30 $\mu\text{m.}$ -1mm. bölgelerdir.

Yaklaşık olarak 0,4–1,0 $\mu\text{m.}$ dalga boyu aralığı, uzaktan algılama literatüründe görünür-yakın-kızılötesi (VNIR, visible–near–infrared) ve 1,0–2,5 $\mu\text{m.}$ aralığı ise kısa-dalga-kızılötesi (SWIR short–wave infrared) olarak da bilinmektedir. Yalnız bu terimler uzaktan algılama dışında tanınan standart terimler değildir. Fizikte kabul gören yakın-kızılötesi (NIR) bölgeyle uyuşmayan VNIR bölge içindeki NIR' dan dolayı VNIR ve SWIR terimlerinden kaçınılmaktadır. Orta-kızılötesi bölge ise yaklaşık 2,5 ile 3 $\mu\text{m.}$ 'den başlayıp 10 $\mu\text{m.}$ civarında pik veren termal bölgeye dahil olup bu pikin ötesinde azalarak gri-cisim emisyonuyla kontrol edilen bir şekle sahiptir.

Spektral bant aralığı, spektrometrede tekil spektral kanalın genişliğidir. Spektral bant genişliği ne kadar dar olursa spektrometrenin de soğurma özelliği o derece dar olacak ve böylece komşu spektral örneklemler sağlandığında da en hassas ölçüm yapılabilecektir. Bazı sistemler birbiriyle komşu olmayan birkaç tane geniş bant aralığına sahip olduğunda spektrometreler tarafından yeterince ölçümler yapılamaz.

Bant geçiş profilinin Şekli her zaman önemlidir. İdeal olarak her spektrometre, kanalı verilen dar bir dalga boyu aralığı hariç burada karŐıtlık yaratmaması amacıyla girilmeyecek olan optik etkilerden dolayı gelen tüm ışığı reddeder. Spektrometrelerdeki en genel bant geçiş Şekli Gaussian profildir. Ayrıntılı spektrometre tasarımları iyi tanımlanmış teorik bant geçiş profillerine sahipken optik sistemdeki hatalar genellikle Gaussian bir Şekle gösterirler. Bant geçişinin genişliği genellikle fonksiyonun %50 karŐılıđındaki dalga boyunun genişliği (Full Width at Half Maximum -FWHM) olarak da bilinmektedir.

Spektral rnekleme, dalgaboyunun bir fonksiyonu olarak spektrometredeki her bir kanal için spektral bant geçiş profili arasındaki dalga boyu aralığıdır. Spektral rnekleme sık sık bant geçiŐiyle karıŐtırılır ve ikisi de znrlk olarak adlandırılmaktadır. Teorik bilgiler bize iki spektral özelliği zmek için iki örneğe sahip olmamız gerektiğini ifade etmektedir. Bundan başka örnekleme hakkında önyargıya varmamak amacıyla rnekların yeterli derecede pik ve çukurluklara sahip olması gerekmektedir. Mineral veya kayaç haritalaması uygulamalarında daha çok çukurlukların karşılık geldiği dalga boyu değerleri dikkate alınır. Son olarak, spektrometre spektrumdaki detayları kaydetmek için yeterli doğrulukta ölçüm yapmalıdır. Sinyal/parazit oranı (signal-to-noise ratio -S/N) alıŐılan spektral özelliğin gücüne bağlı olmaktadır. S/N dedektör duyarlılığı, spektral bant genişliği ve yüzeyden yansıyan veya yayılan ışığın Şiddetine bağlıdır. Spektral zellikler yeterince güçlüyse ve sinyal/parazit oranı en az 10 civarındaysa cisimi tanımlamak mümkün olabilir (Swayze vd., 1997)

Hiperspektral görüntüleme, günümüzde yüzey örtü tiplerinin sağlıklı belirlenmesi açısından uzaktan algılamanın geldiği son noktadır denilebilir. Hiper sözcüğü aŐır, st, öte, fazla anlamına gelir. Spektral ise anlam itibariyle bir spektrumu tanımlar. Bir anlamda herhangi bir cismin dalga boyu-yansıma eğrisi olarak da bilinir. Hiperspektral bantlar genelde nanometre (1nm. = 10⁻⁹ m.) seviyesinde ölçülür. Bu tip görüntüler yeryüzüne özgü malzeme tipinin ortaya çıkarılması açısından pankromatik ve multispektral görüntülere oranla üstünlük sunar. Hiperspektral uzaktan algılama, görüntüleme spektroskopisi olarak da bilinir.

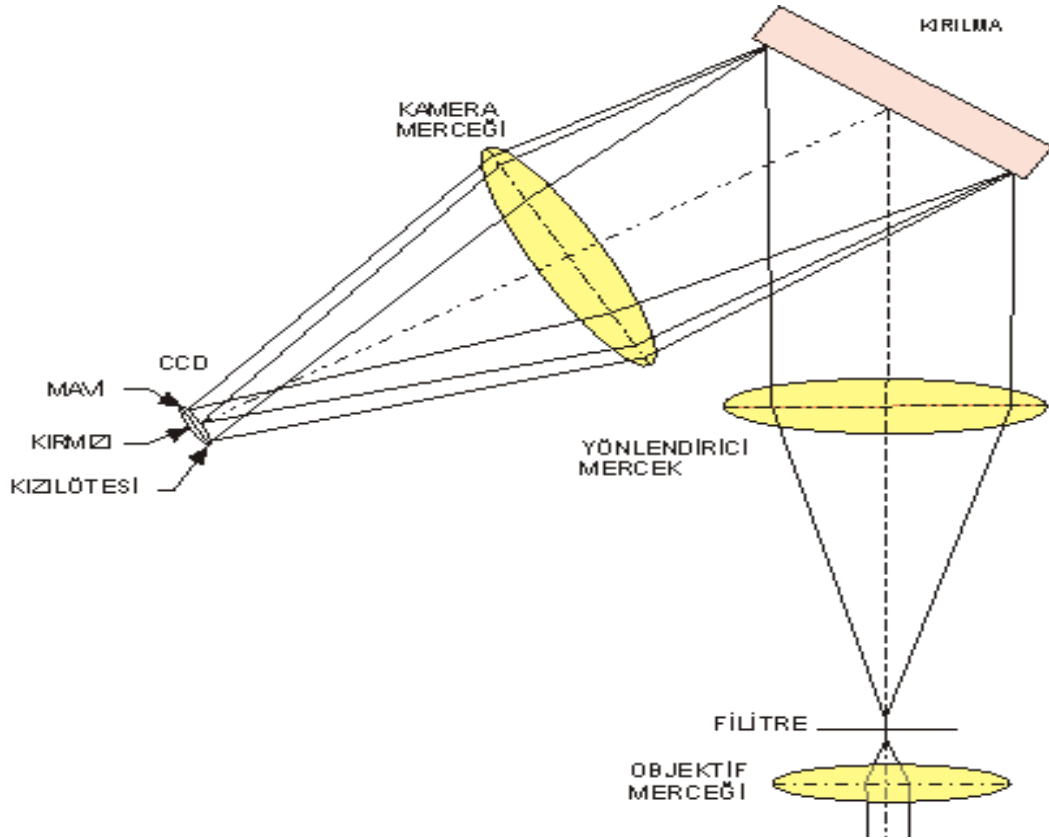
Uydu ya da hava araçları üzerine monte edilen algılayıcılardan elde edilen hiperspektral görüntüler ile çok sayıda dar dalga boyu bandına ait görüntü verileri elde edilmekte ve bunun sonucunda bir ayrışım sağlanmaktadır. Hiperspektral algılayıcılar yardımıyla dar bantlı ve sürekli aralıklandırılmış yüzlerce spektral bantta veri toplanabilmektedir.

Farklı cisimler, farklı dalga boylarında farklı yansıma özellikleri gösterirler. Bu özellik sayesinde cisimler birbirinden ayırt edilebilmektedir. Hiperspektral görüntüleme sistemleri, görünür bölge, yakın kızılötesi ve orta kızılötesi bölgelerinde çok dar bant aralıklarında görüntüleme yapar ve görüş alanındaki her bir görüntü elemanı için sürekli bir yansıma spektrumu bilgisi elde eder. Hiperspektral sınıflandırma ve tanıma yöntemlerinin, jeoloji dışında savunma, madencilik, tarım ve çevre gibi alanlarda da uygulama alanlarına sahiptir.

İnsan gözünün 580, 540 ve 450 nm. civarında merkezlenmiş üç geniş spektral bantta hassas olan üç (Rho, Gamma, Beta) algılayıcıları bulunmaktadır. Gözümüz 400 (mavi) ile 700 (kırmızı) nm arasından gelen görünür ışığı tespit edebilir. Renk algımız bu üç algılayıcının orantısız uyarılma kombinasyonları sayesinde belirlenmektedir. Görüntüleme spektrometreleri, genellikle dar spektral bantlarda hassas olan 100 den fazla algılayıcı içermektedir ve yalnız görünür ışığı (400–700 nm.) değil, yakın kızılötesi (700–1000 nm.) ve kısa dalga kızılötesi ışınımı da tespit edebilir.

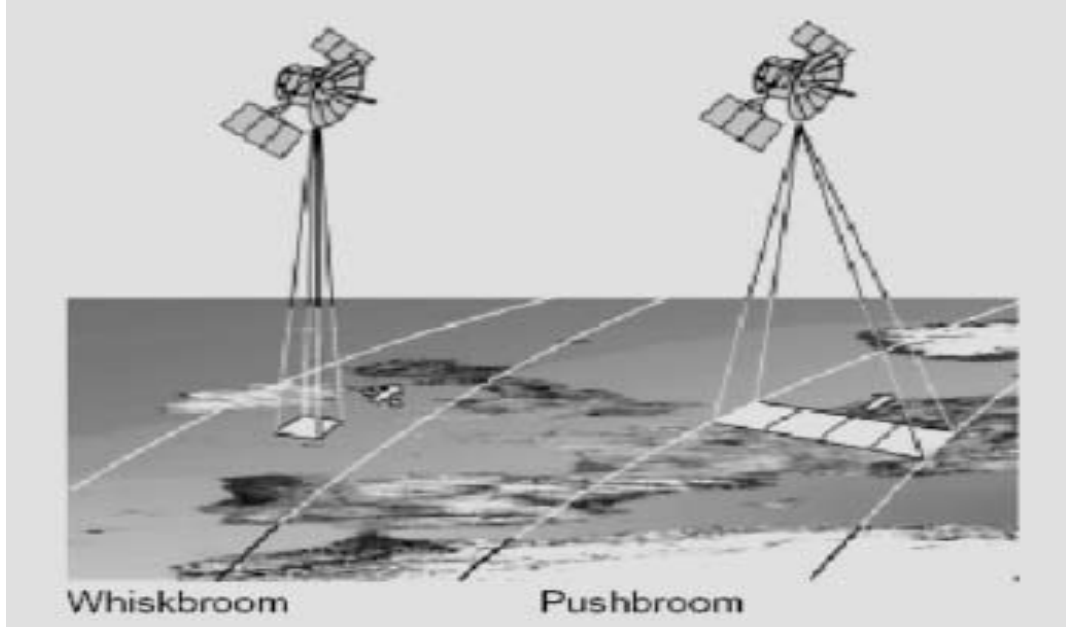
Algılayıcı verileri yorumlanırken bazı tanımlara dikkat edilmelidir. Genellikle bant genişliği, spektral çözünürlük ve örnekleme aralığı için farklı tanımlar kullanılmaktadır. Örnekleme aralığı, spektrumdaki iki örnek noktası arasındaki genişlik olup algılayıcının spektral çözünürlüğünden bağımsızdır. Spektral çözünürlük, bir algılayıcının tek renkli kaynağa olan tepkisinin yarım maksimumdaki tüm genişliği (Full-Width Half-Maximum, FWHM) olarak da tanımlanmaktadır. Yarım maksimumdaki tüm genişlik (FWHM), algılayıcının tek renkli kaynağa olan spektral tepkisindeki en uç değer yarısına denk gelen değerdeki genişlik olarak tanımlanmaktadır.

Gelen ışınlar, giriş noktasından geçtikleri yerde objektif lensinin görüntü düzlemine odaklanmaktadır (Şekil 2.14). Koşutlayıcı, gelen ışınları paralelleştirmektedir. Kırınım prizması ışınları farklı spektral bileşenlere ayırmaktadır. Kamera lensi, ışınları odak düzlemindeki detektöre tekrar odaklar.



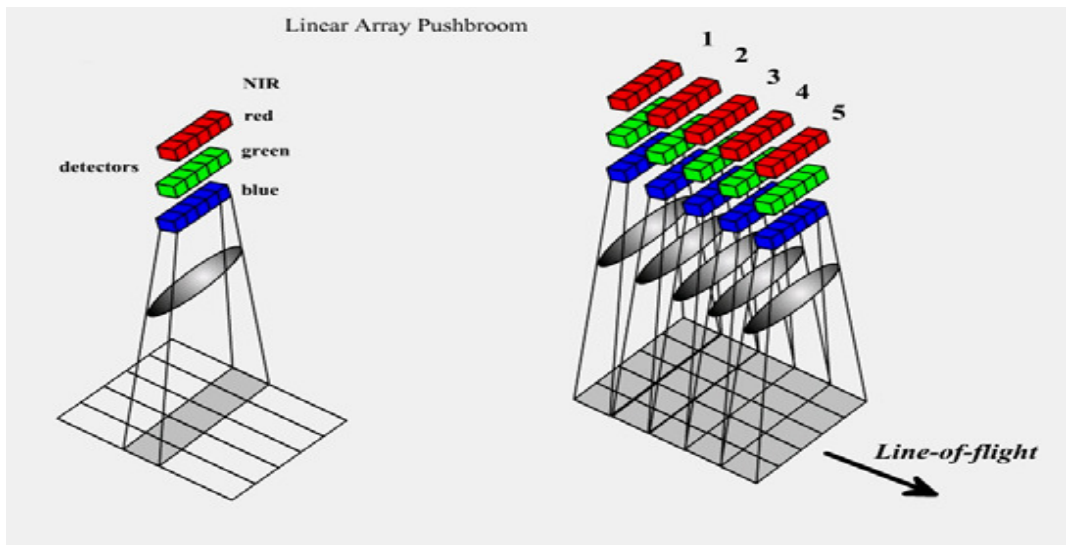
Şekil 2.14 Görüntüleme spektrometresinin optik sistemleri

Bir görüntüleme spektrometresi, genellikle, gelen ışığı farklı dalga boylarına ve whiskbroom veya pushbroom boyutlu algılayıcı dizilimine ayıran bir prizma içerir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Whiskbroom ve Pushbroom ilkeleri

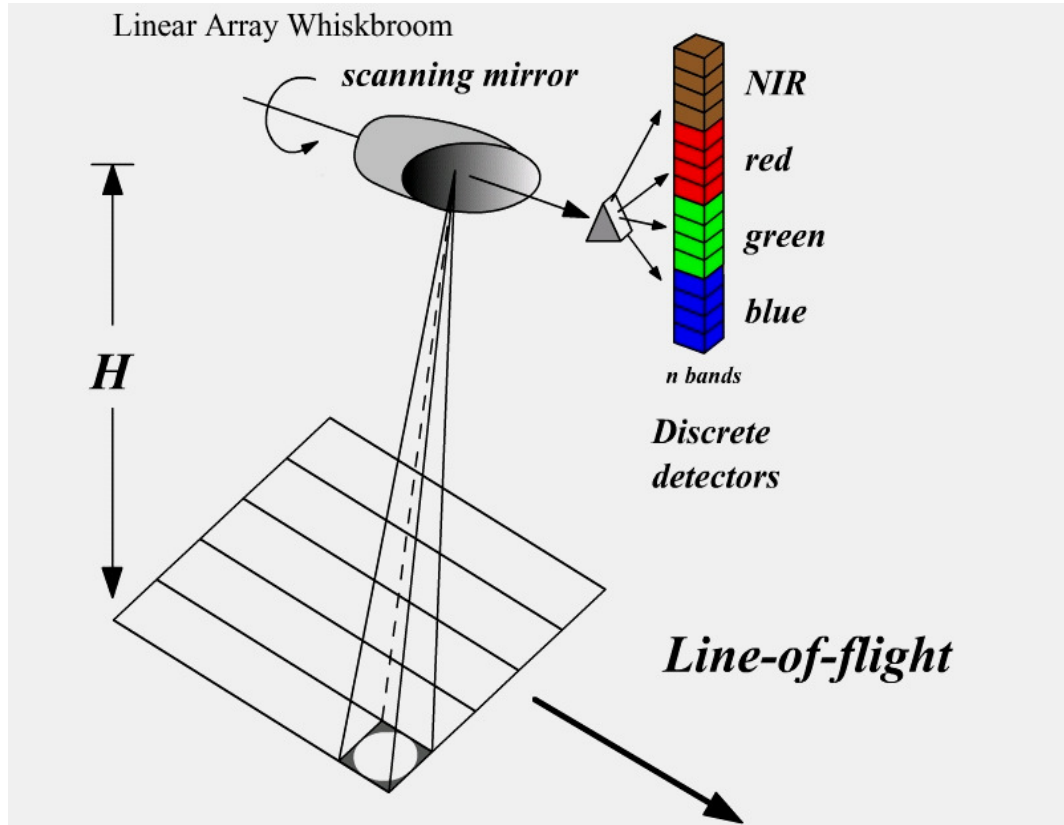
Whiskbroom algılayıcı, bir yer hücre biriminin (ground cell) yansıyan güneş ışınırlığını farklı dalga boylarında saklar ve alttaki alanı dönen aynalar kullanarak yandan yana tarar (Şekil 2.16). Dönen aynalar, algılayıcıya gelen ışığı yönlendirmek için kullanılır. Her yer hücresinin, görüntü elde edilme süresi, verilen anlık görüş alanında (IFOV) çok kısa olmalıdır. Çünkü taranan hat tespit edilecek olan birçok yer hücresinden oluşmaktadır. Çok iyi bilinen whiskbroom görüntüleyicileri AVHRR, Landsat ve SeaWIFS ve HyMAP' tır.



Şekil 2.16 Whiskbroom algılayıcısı

Pushbroom algılayıcıda ise, tarayıcı aynalar kullanmaz ve alttaki alandaki yansıyan güneş ışınırılığını iki boyutlu dizilim kullanarak, farklı dalga boyları için bir kerede tarar (Şekil 2.17). Toplam görüntü elemanı sayısı taranan alandaki yer hücre birimi sayısına eşittir. Uçağın veya uydunun hareketi, güzergâh yönünde tarama imkânı sağlar, böylece, hat frekansını tersi görüntü elemanı ışınlanma süresine eşittir. Daha çok sayıda bant kullanılırsa, daha sürekli bir yansıma spektrumu kaydedilebilecektir.

Pushbroom görüntüleme spektrometrelerinin birçok avantajı bulunmaktadır. Daha hafif, daha küçük ve daha az sayıda hareketli parçaları olduğu için daha az karmaşıktırlar. Daha uzun ışınlanma süresine (örneğin, verilen bir alan için bekleme süresi) bağlı olarak daha yüksek sinyal-parazit oranına sahiptirler. Ayrıca, daha iyi spektral ve yersel çözünürlüğe sahiptirler. Bir dezavantajları, ayar süresinin, yüksek sayıdaki bireysel detektör elemanına bağlı olarak uzun ve yoğun sürmesidir. Pushbroom algılayıcıya örnek olarak, CHRIS-Proba, CASI, ROSIS ve MERIS verilebilir.



Şekil 2.17 Pushbroom algılayıcısı

Işınımın detektöre ulaşması, algılayıcı maddesinde elektron çiftinin oluşmasına yol açar. Belirli bir işlem süresince, elektrot tüm serbest elektronları toplar. Bir yükselteç, elektron yükünü analog sinyale dönüştürür ve sinyalin gücünü yükseltir. Daha sonra, bir analog-sayısal dönüştürücü (ADC), analog sinyali ayırık tamsayılarla (sayısal sayılara) dönüştürür. ADC, aletin dinamik değer aralığını belirler (örneğin 12-bit ADC 4096 sayısal sayılı bir dinamik değer aralığı sağlamaktadır). Son olarak, DN (sayısal numara) hard disk ya da kaset sürücüyü kaydedilir.

2.3 Görüntü Elde Edilmesi

Renkler, üç ana rengin (kırmızı, yeşil, mavi) farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilmektedir. İnsan gözü sadece görünür bölgedeki dalga boylarını algılamaktadır. Optik görüntüler oluşturulurken, sırasıyla kırmızı yeşil ve mavi bantlara ait görüntüler bilgisayar ekranında görüntülendiğinde doğal renkli görüntü, diğer tüm

bant kombinasyonlarının görüntülenmesi durumunda ise yapay renkli görüntü elde edilmektedir.

Yapay görüntüler, özellikle insan gözünün duyarlı olmadığı bir spektral bölgedeki yansımaya ilişkin bilgi sağlayarak gözün algılamadığının görünür hale getirildiği görüntüler olup bazı uygulama alanları için büyük öneme sahiptirler. Görüntü iki şekilde elde edilmektedir;

- 1- Doğal renkli kompozit (TM bandları 3, 2 ve 1)
- 2- Yapay renkli kompozit (TM bandları 4,3, ve 2)

Radar görüntüleri de siyah-beyaz görüntüler olup kırmızı mavi yeşil (RBG) kombinasyonunda çok-spektrumlu, çok-zamanlı ve çok-polarizasyonlu görüntülerin kullanılması ile renkli görüntü elde edilebilmektedir.

2.3.1 Ön İşleme Ve Düzeltmeler

Radyometrik düzeltme ve geometrik düzeltme olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir.

2.3.1.1 Radyometrik Düzeltmeler

Radyometrik düzeltmeye 3 tür hata nedeni ile ihtiyaç duyulabilir:

(1) Algılayıcı Kaynaklı Hatalar: Bunlar sistematik hatalardır. Line drops radyometrik hatalara örnek olarak verilebilir.

(2) Güneş geliş açısından veya topografyadan kaynaklı gölge etkisi

(3) Atmosferik Şartlardan Kaynaklanan Hatalar: Sis ve bulut örnek olarak verilebilir. Hedefin önünde yer alarak, yeryüzüne ait veriye sağlıklı bir şekilde ulaşmayı engellemektedir.

Görüntü işlemeden önce bu hata ve etkilerin giderilmesi gerekmektedir.

2.3.1.2 Geometrik Düzeltmeler

Geometrik düzeltme, ham görüntüdeki geometrik bozulma etkilerinin giderilmesi ve görüntünün yer kontrol noktaları kullanılarak tanımlı bir coğrafi koordinat sistemine oturtulması işlemidir.

Düzeltilecek görüntüdeki nokta koordinatları yer kontrol noktalarının koordinatları ile tanımlanırken (enlem, boylam gibi) yapılan işleme rektifikasyon, bu işlem iki görüntünün aynı noktalarını eşleştirme ya da bir görüntüyü diğerine göre düzeltme şeklinde yapıyor ise geometrik kayıt denilmektedir.

2.3.2 Görüntü Zenginleştirme

Görüntüler pek çok histogram işlemleri ve filtreleme metotları ile zenginleştirilebilir.

Histogram: Histogram bir görüntüdeki yansıma değerlerinin grafik gösterimidir. Grafikte, yansıma değerleri (genellikle 0–255) x-ekseni üzerinde ve bu değerlerin görüntüde tekrar etme sıklığı ise y-ekseninde görülmektedir.

Bir görüntünün belli dağılıma sahip yansıma değerleri üzerinde işlemler yapılarak görüntüde istenen özellikler daha belirgin hale getirilebilir.

Filtre kullanılarak görüntü zenginleştirilmesi de görüntü işleme fonksiyonlarının bir diğer çeşididir. Uzaysal filtreler bir görüntüdeki bazı nesnelere belirginleştirmek veya bastırma amacıyla kullanılırlar.

Alçak geçiren bir filtre büyük, benzer tonda homojen alanları belirginleştirmek ve çok küçük detayları azaltarak sadeleştirmek üzere kullanılır. Yüksek geçiren filtreler ise küçük detayları keskinleştirmek ve mümkün olduğu kadar çok detayı

ortaya çıkarmak için kullanılır. Doğrusal filtreler veya kenar sağlama filtreleri, yolları ve alan sınırları gibi çizgisel yapıları vurgulamak için kullanılmaktadırlar.

2.3.3 Görüntü Dönüşümleri

Görüntü dönüşümleri, genellikle iki veya daha fazla görüntüden yararlanılarak ilgilenilen özelliklerin daha fazla ortaya çıktığı yeni bir görüntünün oluşturulması işlemidir. Temel görüntü dönüşümleri görüntüye uygulanan basit aritmetik işlemlerdir.

Örneğin, görüntü çıkarma işlemi genellikle farklı tarihlerde alınmış olan görüntülerin arasındaki farklılıkları bulmak için yapılan bir uygulamadır. Görüntü bölme veya orantılama işlemleri de sıkça kullanılan dönüşümlerdir.

2.3.4 Sınıflandırma

Sık kullanılan sınıflandırma prosedürleri kullanılan yöntemlere göre Kontrollü Sınıflandırma ve Kontrolsüz Sınıflandırma olmak üzere iki ana kısma ayrılmaktadır:

Kontrolsüz Sınıflandırma: Öncelikle spektral kümeler belirlenir. Bu tamamen yansıma değerlerine dayalı sayısal bir işlem olarak yapılır. Daha sonra bu kümeler sınıf oluşturmak üzere kullanılır.

Kontrollü Sınıflandırma: Kontrollü Sınıflandırma işleminde, analist görüntüde bilgi sahibi olduğu homojen örnek alanları tanımlar ve bu alanlar bilgisayar sınıflandırma algoritmasında eğitim alanları olarak temel alınarak sınıflandırma işlemi yapılır.

2.3.5 Veri İşleme

Veri entegrasyonu farklı kaynaklardan elde edilen bilgilerin daha iyi ve daha çok bilgi elde etmek üzere birleştirilmesidir. Bu kapsamda çok-zamanlı, çok-çözünürlüklü, çok-algılayıcı veri kombinasyonları kullanılabilir.

Bir uzaktan algılama veri setinin sınıflandırılmış harita formatında olan sonuçları, başka bir veri kaynağı olan Coğrafi Bilgi Sistemlerini (CBS) güncelleştirmede kullanılabilir. Farklı veri setlerini ve kaynaklarını bir arada kullanmak çok daha iyi sonuçlara ulaşmak için iyi bir yaklaşımdır.

Veri entegrasyonuna DEM ve DTM örnek verilebilir. DEM (Sayısal Yükseklik Modeli) ve DTM (Sayısal Arazi Modeli), yükseklik verisinin üzerine uzaktan algılama görüntüsünün giydirilmesi ile elde edilen 3 boyutlu perspektif görüntülerdir. DEM görüntülerinden yararlanılarak oluşturulan modeller ve simülasyonlar pek çok alanda kullanılmaktadır.

2.4 Uzaktan Algılamanın Kullanıldığı Alanlar

Uzaktan algılama, önceleri askeri amaçlarla kullanılmışsa da sonraları yavaş yavaş jeolojik, hidrolojik, madencilik, ormancılık, tarım çalışmaları, haritacılık, meteorolojik ve jeomorfolojik uygulamalar gibi sivil amaçlarla da kullanılmaya başlanmıştır. Uzaktan algılamanın kullanım alanları;

- Otoyol, devlet yolu, demiryolu ve boru hattı koridor seçimleri, sulama, baraj, madencilik ve ormancılık ön etüdlerinde,
- Stereo görüntülerden etüd haritaları ve 3 boyutlu sayısal arazi modellerinin hazırlanmasında,
- Deniz ve kıyı kirliliği etüdlerinde, uydu görüntülerinden işlenip uygun filtrelemeler uygulanarak kirlilik haritalarının yapımında,
- Tarımsal amaçlı, arazi kullanım ve toprak haritalarının etüdünde,

— Orman kaynaklarının ön envanterlerinin yapımı ve haritalanmasında, ayrıca orman yangınlarının yaptığı hasarların tespitinde ve görüntülerin işlenmesi - haritalandırılmasında,

— Maden aramalarında, jeolojik etüdlerin yapımında, yer çalışmalarını süre ve maliyet açısından en aza indirmek amacıyla birçok çalışmalarda başarıyla kullanılmaktadır.

BÖLÜM ÜÇ

MADENCİLİKTE DOĞA ONARIM ÇALIŞMALARI

3.1 Doğa Onarım Kavramı

Çevre sorunlarının ana nedeni, dünyada var olan ekolojik dengenin çoğunlukla insanoğlu tarafından bozulmasıdır. Madencilik de dahil olmak üzere, bu bozulmada önemli rol oynayan tüm endüstriyel faaliyetler, çevre üzerinde geçici ve/veya kalıcı etkiye sahiptir. Hatalı alan kullanımlarından ve endüstriyel faaliyetlerden dolayı tahrip edilmiş bir alam çevresel açıdan stabil duruma getirmek, temiz bir çevrenin ve doğal kaynakların gelecek nesillere aktarılması için zorunludur. Ancak, tahrip edilmiş bir alanın kendi haline bırakıldığında ekolojik dengeye yeniden kavuşması ve kendi kendini onarması çok uzun yıllar alabilir. Uygun bir zaman süreci içinde bu alanların yeniden doğaya kazandırılması için insan yardımına gereksinim vardır. Dolayısıyla doğa onarımı, tahrip olmuş bir alana verimliliğinin ve ekolojik, ekonomik ve estetik değerlerinin yeniden kazandırılmasını hedefleyen çalışmaların bütünüdür.

Rekültivasyon (Reclamation): Ramani ve diğerleri (1990), ıslahı (reclamation), madencilik faaliyeti yapılan alanın madencilik sonrası kullanımı için hazırlanmasına yönelik işlemler olarak ifade etmektedir. Islah ayrıca çevre duyarlılığı içinde maden alanının bir sonraki kullanımı için gerekli olan sediment ve erozyon kontrolü gibi çalışma aşamalarını da içerir. Yani ıslah, madenciliği tamamlayan, ona ilave tek bir aşama değil, madencilik planlarıyla eş zamanlı olarak başlatılan, maden çıkarma ve sonrasındaki safhalarda da devam eden bir dizi faaliyetten oluşmaktadır. Down ve Stocks'a göre (1977) İngiliz terminolojisinde reklamasyon, madenciliği de içine alan endüstriyel bir kullanım sonrası terk edilen alanın yeniden yararlı hale getirilmesi olarak ifade edilmiştir. Kanada terminolojisinde ise reklamasyon, alanın doğal durumuna veya daha uygun kullanıma döndürülmesi olarak tanımlanmaktadır

(Michaud, 1981). Marrit'e göre ABD'de ise tahrip edilmiş alanın verimli, işe yararlı, temiz ve estetik olarak iyi bir görünüme sokulması olarak tanımlanmaktadır.

Dilimize gelince reklamasyon kelimesinin asıl anlamı, sel veya benzeri doğal afetlerle bozulmuş arazilerin yeniden ıslah edilmesi ve tarıma kazandırılmasıdır. Ramani'nin madencilik alanında kabul görmüş olan tanımlamasına ek olarak, reklamasyon, aynı zamanda çevreye bağlı kalarak işletme sonrası arazinin sağlaştırılmasını da kapsar. Bu yüzden reklamasyon, erozyon ve sedimentasyon kontrolü olarak da ele alınabilir. Dolayısıyla reklamasyon madencilikle eş zamanlı ilerleyen entegre bir dizi işlemi kapsamaktadır. Reklamasyon işlemleri çevre birimlerinin tamamlayıcısı olan çeşitli uygulamalı bilimlere bağlıdır. Bunlar zemin ve kaya stabilitesi için zemin ve kaya mekaniği, toprak üretkenliği için zirai bilimler, yüzey ve yer altı suları için hidrojeoloji, temel çalışmalar için ekoloji ve arazi kullanım planı için sosyal bilimlerdir.

Rehabilitasyon (Rehabilitation): Down ve Stocks'a göre rehabilitasyon, madencilik yapılmış alanda tamamen yeni ve ilkinden farklı bir kullanım için gerekli şartların oluşturulması olarak ifade edilmektedir. Kanada terminolojisinde ise rehabilitasyon, alanın doğal durumuna veya buna eşdeğer bir duruma döndürülmesi olarak görülmektedir. Marrit'e göre ABD'de arazinin ekolojik ve estetik değerlerini dikkate alarak kullanım planlarının uygulamaya dönüştürülmesine rehabilitasyon denilmektedir. Ülkemizde ise rehabilitasyon, madencilik teknikleri kullanılarak arazinin iyileştirilmesi ve düzenlenmesi anlamına gelmektedir.

Restorasyon (Restoration): Down ve Stocks'a göre İngiliz terminolojisinde (1977) restorasyon, maden alanlarının işletme sonrası madencilik öncesindeki orijinal duruma getirilmesi olarak belirtilmektedir. İngiltere'de Madencilik Faaliyetleri Planlama Kontrol Komitesi ise restorasyonu minerallerin çıkarılmasından sonra arazinin yeniden kabul edilebilir çevresel şartlarının oluşturulmasına kadar yapılan işlemlerin tamamı olarak tanımlanmıştır. Marritt'e göre ABD'de restorasyon, tahrip edilmiş alanın fiziksel durumunu değiştirip işe yararlı hale getirilmesi ve verimliliğinin artırılması anlamına gelmektedir. Türkiye'de restorasyon, minerallerin

çıkarılmasından sonra arazinin yeniden kabul edilebilir çevresel şartlarının oluşturulmasına dek geçen zamanda yapılan karmaşık işlerin tamamıdır. Arazi restore edildikten sonra ya eski kullanıma dönülür veya bazı fazladan iyileştirme çalışmaları yapılarak daha yeni ve iyi bir kullanıma sunulmaktadır.

Tekrar Bitkilendirme (Revegetation): Arazi (eğer gerekiyorsa) tekrar doldurulduktan sonra veya döküm sahaları tekrar düzenlenip bitkilendirme işlemine hazır hale getirildikten sonra başlayan ve arazide planlanmış bitki örtüsünün oluşturulması için gerekli tüm çalışmaları (tohumlama, gübreleme, fidanların dikimi, sulama, izleme vb.) içeren çalışmaların tümünü kapsamaktadır.

Celem: Kırsal alanda yeni düzenlemeler için bitki, toprak, taş, demir gibi onarım elemanlarıyla doğa koruma önlemlerinin alınması çalışmalarını doğa onarımı olarak ifade etmektedir (Çelem, 1988). Doğa onarımının canlı bitkisel malzemeyle onarım şekli ise bitkisel örtülendirme olarak nitelendirmektedir. Buchwald'e göre "Bitkisel Örtüleme" ise, peyzaj mimarlığının hedef ve amaçlarına ulaşmak amacıyla bitki kısımlarını, bitkileri ve bitki topluluklarını canlı onarım ve düzenleme materyali olarak kullanma şeklinde tanımlanmaktadır.

Sonraki İşlemler (After Treatment): Mineralin üretiminden sonra arazinin yeniden doldurularak konturlama çalışmalarıyla en üst toprağın serilmesi ve tohumlama ile iyileştirilerek daha sonraki kullanım için uygun şartların oluşturulmasıdır.

Reklamasyon: Genelde rehabilitasyonu ve restorasyonu içine almaktadır. Reklamasyonun amacı, "araziye istenilen duruma geri getirmek"tir. Burada istenilen durumun çok iyi tanımlanması gerekir. İstenilen durum bazen arazinin orijinal haline geri getirilmesi olabilir veya arazide yeni bir kullanım şekli istenebilir. Türkçe'de reklamasyona eş anlamlı olarak "rekültivasyon" terimi kullanılmaktadır. Mevcut sosyoekonomik şartlar ne olursa olsun, madencilik alanlarının korunması ve reklamasyonu için dünyanın her yerinde geçerli olan genel ilkeler ana hatları ile şöyledir:

- Maden ocağı işletmeciliğinin neden olduğu çevre sorunlarının belirlenmesi,
- Madencilikle bozulan sahanın yeniden düzenlenmesi, iyileştirilmesi, arazi kullanım planlarının hazırlanması ve bunlarla işletmecilik yöntemleri arasında paralellik sağlanması,
- Jeolojik, hidrojeolojik, toprak, bitki, meteorolojik, ekonomik ve sosyal koşulların incelenmesi,
- İyileştirmeyi sağlayacak teknik ve sosyal koşulların yaratılması,
- Rekültivasyon çalışmalarının detay planlanması ve tasarımı,
- Reklamasyonun yasal ve mali konularının belirlenmesi ve işleme konması,
- Bu konuda uzman personelin yetiştirilmesi gerekmektedir.

Söz konusu ekolojik dengenin bozulmasında diğer endüstriyel aktivitelerin yanı sıra konumuz olan madencilik faaliyetleri de önemli bir pay sahibidir. İyi bir işletme tasarımı üretim esnasında sahaya verilen zararı en aza indirgediği gibi toprağı sonraki kullanımlara da hazırlamalıdır. Burada da devreye doğa onarımı ve aynı çerçevede düşünülmesi gereken "Land Use Planning" (Arazi Kullanım Planlaması) terimi girmektedir. Bu terim reklamasyonu, yeniden bitkilendirmeyi ve restorasyonu içine alan planlamanın tümünü içerdiğinden, madencilik sonrası arazilerin nasıl kullanılacağına metodolojisini doğru tespit etmekte yarar bulunmaktadır.

Tablo 3.1 Madencilik öncesi planlama aktiviteleri ve ilgili uzmanlık alanları

Maden Planlama Aşaması	Planlama Aktivitesi	Uzmanlık Alanı
Yasal Zorunlulukların Analizi	Alan kullanımı ile ilişkili Sınırlayıcı Düzenleyicilerin Kullanılması	Avukat, Hukuk Danışmanı, Bölge ve Şehir Planlamacısı
Arazi ve Kaynak Kazanılması	Alan Kullanım Hazırlığı	Peyzaj mimarı, Biyolog, Kartograf
Pazar Araştırması	Bölgenin Pazar Potansiyelinin Kontrolü	Coğrafyacı, Karayolu (İnşaat) Müh.
Finansal Değerlendirme	Alan Kullanım ve Doğa Onarım Maliyeti	Ekonomist, Bölge Planlamacısı, Emlakçı, Maliyeci
Bitki Örtüsü ve Sahanın Su Durumunun Tasarımı	Madencilik Sonrası Alan Kullanımında Atıkların Etkisinin Öngörülmesi	Maden Müh. (Cevher Hazırlama), Çevre Müh., Ziraat Müh., Hidrojeolog
Çevresel Etki Değerlendirme Çalışmaları	Madenciliğin Bir Alanın Kapasitesine Olan Etkisinin Değerlendirilmesi	Maden Müh, Çevre Müh, Ziraat Müh. Jeoloji Müh., Orman Müh., Biyolog, Arkeolog, Alan Kullanım Planlamacısı, Sosyolog, Toplumsal ve Sivil Kurumlar
Ön işletme Planlaması	Madencilik Sonrası Alan Kullanımının Başlangıçta Belirlenmesi	Maden Müh., Peyzaj Mimarı, Ziraat Müh. ve Ekonomist
Ruhsat Alınması	Madencilik Esnasındaki ve Sonrasındaki Üretim Planı ve İlgili Bilgiler	Maden Müh, Çevre Müh., Ziraat Müh.
Yönetsel Detay Analiz	Son Alan Kullanım Planının Kabulü	Ziraat Müh., Hidrojeoiog, Bitki Biyologu, Ekonomist
Detaylı Madencilik Plan	Farklı Amaçlı Alan Kullanım Tasarımları	Peyzaj Mimarı Çevre Müh., Ziraat Müh., İnşaat Müh., Mimar

Düzenleme ve iyileştirmenin ilk hedefi bozulan arazilerin yeniden kullanıma kazandırılması olduğundan, düzenleme ve iyileştirme planlamasının arazi kullanım planlaması ile yakından ilişkili olması gerekmektedir.

3.2 Doğa Onarımının Aşamaları

Alan kullanım planlaması, yeniden düzenleme, iyileştirme, izleme ve bakım, doğaya yeniden kazandırma çalışmaları olmak üzere 5 başlıkta incelenmektedir.

3.2.1 Alan Kullanım Planlaması

Alan kullanım planlaması, bir alanın değişik faktörler yönünden irdelenip önerilen kullanımlara uygunluğunun araştırılmasıdır. Aynı zamanda her alan için uygun bir kullanım ve her kullanım için uygun bir alan bulunabileceği ilkesinin çift taraflı işletilerek alan kullanımının geliştirilmesine olanak sağlayacak planlamalar dizinidir. Bu tip planlama çalışmaları, çevre değerlerini koruyarak ya da zararlanmayı minimuma indirerek kaynaklardan optimum düzeyde yararlanmayı sağlamaktadır (Akpınar, 1994).

Planlama çalışmalarının ana hedefi, toplumun ve bireylerin insan onuruna yaraşır, sağlıklı, dengeli ve nitelikli yaşam koşullarına sahip olabilecekleri bir çevre yaratılmasıdır. Bu bağlamda, madenciliğin yarattığı çevre sorunlarını en aza indirmek, ekoloji-ekonomi arasındaki dengenin kurulmasını sağlamak ve yöre halkına ihtiyaçları doğrultusunda yeni kullanım olanakları sunmak amacıyla, açık ocak madenciliği sonrasında alan kullanım planlaması gerekmektedir. Bu, doğa onarım çalışmalarının bir parçası olup tüm madencilik faaliyetlerinin planlanmasıyla başlar, üretim süresince de devam eder. Başlangıç aşamasında yörenin sonraki alan kullanımına ilişkin ön kararlar belirlenir. Böyle bir çerçeve plan, ileride alınacak detaylı kararlara temel teşkil eder ve ön değerlendirmeye olanak sağlamaktadır (Akpınar, 1994).

Nihai alan kullanımının amacının ve hedefinin önceden belirlenmemesi, doğa onarım çalışmalarının kesintiye uğramasına, para ve zamanın boşa harcanmasına ve sonuçta istenmeyen bir durumla karşılaşılmasına neden olabilir.

Nihai alan kullanımına baştan karar verildiğinde madencilik ve doğa onarım faaliyetleri birbiriyle uyumlu bir şekilde yürütülebilir ve her iki faaliyet için de en ekonomik ve uygun planlar elde edilebilir.

Genel bir alan kullanım planlamasında süreç, sorunun tanımlanmasıyla başlayarak, analiz-değerlendirme-sentez yardımıyla çerçeve plan, master plan ve tasarım aşamalarından geçer. Ancak açık ocak madenciliği sonrası alan kullanım planlaması oldukça farklıdır. Herhangi bir alan kullanım planlama çalışmasında olası alan kullanımları mevcut doğal ve kültürel değerler dikkate alınarak analiz edilmektedir.

Açık ocak madenciliği sonrası alan kullanım planlaması ise mevcudu değerlendirmek değildir. Tüm topografya, toprak, bitki örtüsü vb. ekolojik özelliklerin değişeceği bir alan için kullanım planlaması, sahanın yeniden yaratılmasıdır. Öte yandan açık ocak işletmelerinin nihai alan kullanım planlamalarında dikkate alınması gereken bir diğer önemli konu, çevreye yapılacak olumsuz etkiyi en aza indirmeyi hedeflerken en fazla üretimi sağlamaktır.

Madencilik sonrası alan kullanım planlanmasının aşamaları özetle aşağıdaki gibidir (Ramani, 1987).

- Madencilik öncesi şartların envanterinin çıkarılması,
- Etkilenecek birimlerin ihtiyaç ve isteklerini karşılayacak şekilde arazinin işletme sonrası gereksinimlerinin belirlenmesi ve bu konuda karar verilmesi,
- En uygun çözüme ulaşmak için alternatif alan kullanımları ile ilgili tüm planların analizi,
- Teknik, sosyal ve ekonomik koşullara uyumlu alan kullanımlarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu çerçevede genel planlama süreci ve aşamaları, madenciliğin ayrıcalıklı durumları dikkate alınarak açık ocak madenciliği sonrası alan kullanım planlamasına adapte edilebilir. Sorun ve planlamanın hedefi belirtildikten sonra, doğal, kültürel-

sosyoekonomik veriler toplanacak analiz edilir, arazi tanımlanır ve değerlendirilir. Bu çalışmaların ışığı altında, alanın hangi kullanıma ya da kullanım amaçlarına tahsis edileceğini belirlemek amacıyla, fiziki ve sosyal sınırlayıcı faktörler, ülkesel, bölgesel yöresel plan kararları ilgili yasalar dikkate alınarak teknik, estetik ve yararışlılık ilkeleri ve yöre halkının ihtiyaç ve beklentileri doğrultusunda disiplinler arası planlama çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

Açık ocak madenciliği sonrası alan kullanım planlamasında dikkate alınacak faktörler her maden alanının durumuna göre farklılık göstermekle birlikte, Ramani tarafından doğal faktörler, topografya, iklim, yükseklik, bakı, hidroloji, jeoloji ve toprak olarak, kültürel ve sosyoekonomik faktörler ise, coğrafi yerleşim, ulaşım durumu, alanın şekli ve büyüklüğü, çevredeki alan kullanım deseni mülkiyet durumu ve nüfusa ilişkin özellikler olarak özetlenmiştir.

Öte yandan genel bir kural olarak, açık ocak madenciliği sonrası alan kullanım planlamasında, alanın madencilik öncesi kullanımı ve verimliliği, madencilik sonrası potansiyel için iyi bir gösterge olarak kabul edilir (Michaud, 1981). Örneğin, alan daha önce tarım için kullanılıyorsa madencilik sonrası için de tarımı desteklemek, diğer şartlar da dikkate alınarak mümkün olabilir. Bununla birlikte, alanın orijinal topografyasından veya toprak şartlarından kaynaklanan bir sınırlayıcı faktör varsa ve alanı madencilik sonrası daha değerli bir kullanıma dönüştürmek mümkün oluyorsa ya da yöre halkının beklentilerini karşılayabilecek bir fonksiyona kavuşturulabiliyorsa alanı eski haline döndürmek ya da bir başka kullanım için zorlamak gereksiz ve anlamsızdır.

3.2.2 Yeniden Düzenleme

Planlamaya uygun olarak, kazı-döküm yapılması, döküm sahalarının ve şevlerin istenilen eğim ve yükseklikte olmasının sağlanması, en üstteki bitkisel toprağın ve bunun hemen altındaki verimli toprağın ya doğrudan tekniğine uygun olarak en üste serilmesi ya da önceden depolanıp daha sonra serilmesi tesviye, drenaj ve su rejimi

kontrolü ve gerekli alt yapının hazırlanması yeniden düzenleme işlerinin ana konularını oluşturmaktadır (Akpınar, 1994).

Örtü tabakasının kaldırılması aşamasında (kazı-döküm);

- Bitki ve bitki parçaları (kök vs.) temizlenir,
- Alt ve üst toprağın karışmasını önlemek için kalınlığı 0,3-1 m. arasındaki bitkisel toprak toplanarak ayrılır,
- Toplanan toprak maksimum 1 m. yükseklikte istiflenir (1,5 m olması tavsiye edilmektedir),
- Alt toprak kaldırılır,
- Örtü tabakası kaldırılarak iç veya dış döküm sahalarına taşınmaktadır.

Bitkilendirmeden önce, doğal drenaj yapısını oluşturmak ve uzun vadeli bir stabilizasyon sağlamak için topografya yeniden oluşturulur. Stabilizasyonun olmadığı yerde iyileştirme çalışmaları başarılı olamaz. Nihai topografik yapı oluşturulurken döküm sahalarında oluşturulan yamaçların eğimlerinin 5° - 22° arasında olması sağlanmalıdır. Michaud'a göre ise döküm sahalarında oluşturulacak eğim maksimum 26° olmalıdır. Drenaj, yeraltı ve yerüstü suyunun kirlenmesinin ve sel baskınlarını önlemek için gereklidir.

Geri doldurma ve yeniden kontur oluşturma çalışmaları sırasında eğimin ve drenajın yanı sıra, toprağın sıkışması, toprak horizonları arasındaki bağın eksikliği, aşırı nemli ve kuru havalarda üst toprağın yer değiştirmesi, aşırı depolama nedeniyle üst toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerinin değişmesi dikkate alınması gereken faktörlerdir.

Üst toprak toplanarak depolanırken üzeri çayır mera bitkileri ile geçici olarak bitkilendirilerek erozyon nedeniyle taşınması önlenebilir. Ayrıca, depolama süresince toprak yapısındaki bozulmaları önlemek, mikroflora ve mikrofaunanın varlığını sürdürmesini sağlamak ve organik maddeyi korumak için, aerobik şartlar

sağlanmalıdır. Her katmanın kendi kotlarında dökümü yeraltı toprak ve su yapısının korunması açısından gereklidir, ama bu çoğu kez mümkün olamamaktadır.

Alt toprak ve diğer uygun malzeme madencilik aktivitesi sona ermiş sahaya özenle yayıldıktan sonra, üzerine üst toprak serilir. Toprak kısmen kuru olursa daha kolay yayılır. Arazi hazırlığı sırasında kullanılan ağır iş makinaları, toprakta sıkışmaya neden olur. Madencilik sonrası alan kullanımında özellikle tarımsal kullanım söz konusu ise, bu istenmeyen bir durumdur. Sıkışmanın derecesi, toprağın tipine ve nem oranına bağlı olarak değişir. Üst toprağın yayıldıktan sonra işlenmesi, sıkışmayı azalttığı gibi toprakta tutulan su miktarını da artırarak ve yüzey suyu akış hızını düşürerek erozyonu da azaltır (Michaud, 1981). Buna göre, arazi düzenlemenin yararları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1- Alan kullanım potansiyeli için sınırlayıcı faktör olabilecek dik eğimlerin düzenlenmesi,
- 2- Zehirli atıklar gömülebilir,
- 3- Tohum yatağının hazırlanması kolaylaştırılır,
- 4- Erozyon tehlikesi azaltılır,
- 5- Maden çukurları kısmen veya tamamen doldurulabilir,

3.2.3 İyileştirme

İyileştirme faaliyetleri topografik düzenlemesi tamamlanan sahalarda başlatılır. Amaç, tahrip edilmiş olan biyolojik verimliliğin yeniden kazandırılmasıdır ve toprağın değerlendirilmesi-geliştirilmesi ile yeniden bitkilendirme çalışmalarını içermektedir.

Toprağın Değerlendirilmesi Ve Geliştirilmesi: Ekim-dikim çalışmaları için toprağın uygunluğunun belirlenmesi ve gerekiyorsa iyileştirilmesi gerekir. Bu çalışmalar arazinin madencilik sonrası uygun bir verimliliğe ulaştırılması için şarttır ve bu sayede iyileştirme kısa sürede ve daha ekonomik olarak gerçekleştirilebilir (Holmberg, 1983). Bu amaçla madencilik öncesi üst toprak ve örtü tabakasının doku,

pH, bitki besin maddesi ve toksit madde açısından fiziksel ve kimyasal analizlerinin yapılması gereklidir. Orta tabakasının özelliğinin bilinmesi, tahrip edilmiş sahalardaki sorunların tahmininde ve yorumlanmasında önemli rol oynar ve özellikle yeniden bitkilendirme çalışmalarında bitki türlerinin seçiminin daha iyi yapılmasını sağlar. Örtü tabakasının madencilik öncesinde ve sonrasında yapılan detaylı analiz ve değerlendirmelerine dayanarak, gerekiyorsa üst toprağa uygun bitki besin maddelerinin ve kimyasal iyileştiricilerin uygulanması yoluna gidilir (Holmberg, 1983).

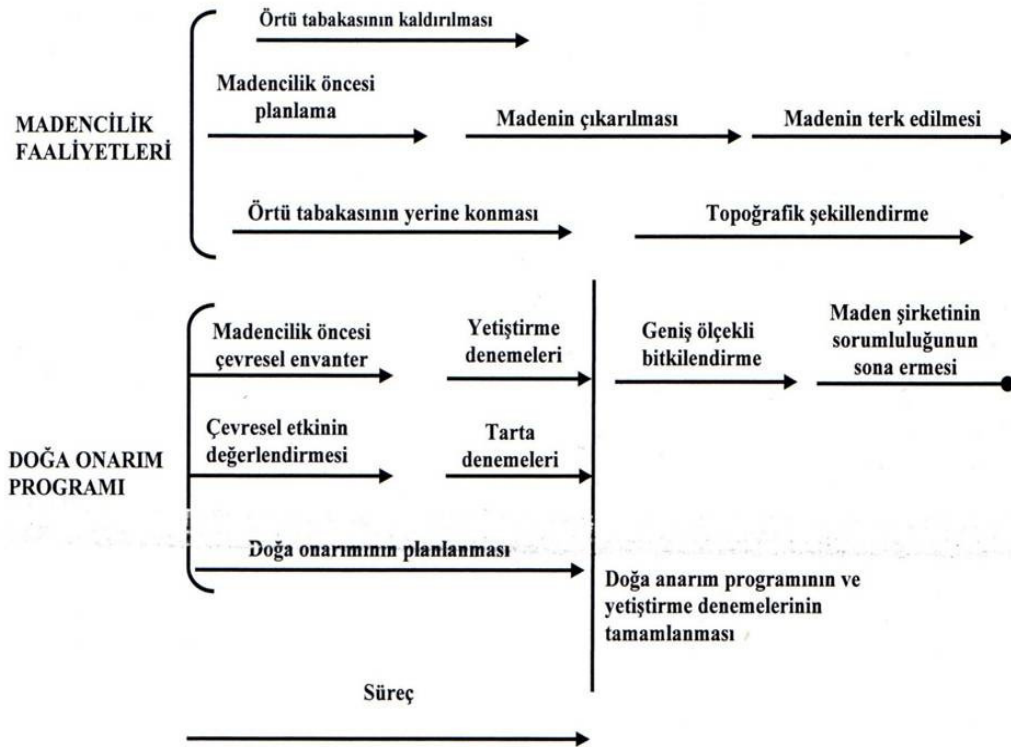
Yeniden Bitkiledirme: Bitkilendirme, alanın büyüklüğüne, alt yapı olanaklarına, toprak iklim koşullarına, ekim zamanına, tohum yatağının durumuna ve ekonomik göçe bağlı olarak seçilecek ekim-dikim metodu ile yapılır. Bu işlem, erozyonu önlemek amacıyla yeniden düzenleme ve toprak iyileştirme çalışmaları tamamlanır tamamlanmaz mümkün olduğunca çabuk yapılmalıdır.

Yeniden bitkilendirme programı madencilik faaliyetlerinin ilk aşamasında başlar. Genelde, aşırı pH değerlerine aşırı toprak sıcaklığına, neme ve besin maddesi eksikliğine tolerans gösterecek bitki türleri seçilir. Yöredeki doğal bitki türlerinden bu tolerans gösterecek olanların seçilmesi ise başarı oranını yükseltir, ekolojik dengenin daha hızlı kurulmasına yardımcı olur. Kalıcı bitkilendirmeye geçilmeden önce genellikle ön bitkilendirme uygulanır. Ön bitkilendirmeyi takip eden yıllarda, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimi-gelişimi gözlenerek ve analiz edilerek, tasarlanan alternatif kullanımın ön gördüğü şekilde kalıcı bitkilendirmeye geçilmektedir.

3.2.4 İzleme Ve Bakım

Uygun bir yeniden düzenleme ve iyileştirme çalışmasından sonra arazinin verimli olarak kullanılmasını sağlamak için ek bir sürece ihtiyaç vardır. Bu aşamada izleme, kontrol, bakım ve gelişim planlarına gereksinim duyulur. Su kalitesi, drenaj, şev duyarlılığı ve erozyon, izlenmesi gereken başlıca faktörlerdir. Kalıcı bitkilendirmeyi

takiben ise büyüme izlenir ve kaydedilir. Döküm alanlarında toprağın durumu ve gelişimi ise gerekli denemeler yapılarak gözlenebilir.



Şekil 3.1 Doğa onarım operasyonunun aşamaları

3.2.5 Doğaya Yeniden Kazandırma Çalışmaları

İzlemenin ve iyileştirmenin ihtiyaç duyduğu hususlar arazi yüzeyinin restorasyonu (drenaj, eğim, süreklilik), bitki örtüsünü yeniden kazandırma, (örtü ve çeşidi), yeraltı suyu (iyileştirilmesi, nitelik), yüzey suyu kalitesi kontrolünü kapsamaktadır.

Yukarıda bahsi geçenlere ek olarak Dünya Bankası standartlarında bir izleme programı hazırlanmalıdır. Bu program içerisinde:

- İzlenecek parametre
- İzlenecek parametrenin yeri
- Parametrenin nasıl izleneceği/izleme ekipmanının tipi
- Parametrenin ne zaman izleneceği- izleme sıklığı ve toplam izleme süresi

- Parametrenin izlenme nedeni
- İzleme metodolojisi
- İzleme maliyeti
- İzlemeden kimin sorumlu olduğu yer almaktadır.



Şekil 3.2 Arazi görünüşü

3.3 Maden Ocaklarının Çevrede Oluşturacağı Etkiler

İnsan sağlığı, orman, tarım ve mülk arazilerinde ve diğer başka alanlarda oluşturacağı çevresel etkilerin incelenmesi gerekmektedir.

3.3.1 Genel Bilgi

Maden ocağı çevresel projelerinin yürütülmesi için öncelikle genel anlamda maden işletmelerin doğuracağı çevresel etkileri baştan ortaya koymak ve ona göre üretim ve sonraki safhalarda karşılaşılabilecek koşulları inceleyerek bunlara karşı önceden hazırlıklı olmak gerekmektedir. Kapsamlı düşünüldüğünde, bir maden ocağı

işletmesinin çevreye vereceği zararlar ana hatlarıyla şöyle sıralanabilir (Keskin, 1996):

- Arazinin orijinal morfolojisinin bozulması
- Estetik görüntünün bozulması
- Yeraltı ve yerüstü su dengesinin bozulması
- Olası tarım ve orman bölgelerinin bozulması
- Rekreasyon alanlarının zarar görmesi
- Gürültü kirliliği ve toz sorunu
- kamyon nakliyatından ötürü trafik artışı
- Toprağın sedimentasyonu ve erozyonu
- Patlatma ve hava şoklarından doğan sarsıntılar
- Katı atıkların oluşması ve bertaraf edilmemesi
- Hava ve su kirliliği
- Faunanın bertaraf edilmesi

Yukarıda bir maden ocağı işletmesinin çevreye vereceği zararlar her ne kadar daha kompleks ve büyük çaptaki ocaklar için geçerli olacak şekilde belirtilmişse de, araştırma çalışmalarının hem planlama hem de yürütme aşamalarında baz alınması gereken en önemli faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada açık maden işletmelerinin yarattığı olumsuz etkiler farklı bir sistematik içinde sınıflandırılarak detaylandırılması gerekmektedir.

3.3.2 İnsan Güvenliğine Direkt Tehdit Oluşturan Faktörler

İş güvenliği kanunlarının disiplinli bir şekilde yürümediği ülkelerdeki madencilik operasyonlarının çoğunda madende çalışanlar ve işçiler potansiyel risk altındadırlar. Bunun yanında, genel: kamuoyu da ihmal durumlarında aşağıdaki tehditlerin varlığında tehlike içinde bulunmaktadır:

a) Rezervuarların, atık yığınlarının, atık havuzlarının ve açık ocak kenarlarının ani olarak kayması, personel ve yöre halkı üzerinde felaketle sonuçlanabilecek etkiler yaratabilmektedir.

b) Açık çukurlar ve kuyular, bir kazaya neden olabilecek tüm madencilik yapılarının çevresinin tel örgü ile çevrilerek önlem alınması gerekmektedir.

c) Toksik maddelerin salınması, birçok maden atığı, özellikle de metalik madenler, yağış mevsiminde doğaya toksik madde vermektedirler. Bunun için bu maddeleri toksik seviyenin altına indirgeyici ve seyreltici nitelikte önlemler alınmalıdır.

d) Patlayıcıların kullanılması, patlayıcı maddelerin yanlışlıkla ateş alması oldukça nadir görülse de, yine de halk için potansiyel bir tehlikedir. Son yıllardaki tekniklerle her ne kadar kaya fırlaması olayları azalmışsa da, yine de bundan doğan kazalara rastlanmaktadır.

e) Nakliyat, maden nakliyatı ve özellikle de yol trafiği, ocak kırsal bir alanda bulunuyorsa ve trafik yoğunluğu madencilik öncesine göre oldukça artmışsa tehlike arz etmektedir.

3.3.3 İnsan Sağlığına Dolaylı Tehdit Oluşturan Faktörler

Hava ve su kirliliği, gürültü ve toz olmak üzere iki faktörde incelenmektedir.

Hava Ve Su Kirliliği: Özellikle metalik maden yatakları doğaya tedrici olarak toksik maddeler verilmesine yol açmaktadır. Bu maddelerin içeriği çoğunlukla metal iyonları ve kimyasal reaktiflerdir. Bu salınma mekanizması öldürücü dozlarda olmasa da, besin zincirini etkileyebilecek konsantrasyonlarda olduğu için, sonuçta insan sağlığına da zarar vermektedir (Ripley vd., 1992).

Gürültü Ve Toz: Özellikle ocakta ve tesislerde çalışan personel uzun süreli yüksek ses seviyelerine maruz kaldığında kalıcı duyma problemleri ortaya çıkmaktadır. Ayrıca toz ile temas ise üst solunum yollarında ve akciğer dokularında enflamasyona sebep olabilmektedir.

3.3.4 Özel Mülke, Tarım Alanlarına, Ormanlara Ve Hayvanlara Verilen Zararlar

Tarım alanlarını, ormanları ve yöredeki hayvanları etki altına alan zararlar, besin kaynaklarını azalttığı veya kirlettiği için indirekt olarak insan sağlığını da etkilemektedir. Bunun dışında doğal alanların bozulması, toplumun belli bölümleri için mali açıdan da zararlı olabilmektedir.

Hava Kirliliği: Gaz emisyonları ve havada asılı kalan toz (özellikle de kükürt tozu), bitki gelişimini engellemekte veya bitkileri öldürmektedir.

Su Kirliliği: Madenlerden çıkan geniş yelpazedeki su akıntıları yeraltı ve yerüstü su dengesini bozarak su kaynaklarını kirletmektedir. Bu etkinin menzili, yüksek toksisiteden aquatik (suda yaşayan) bitki ve hayvanları etkileyen minör bozukluklara dek değişim göstermektedir. Sekonder etki olarak ise normal suyun sel haline gelmesi, arazinin tahrip olmasına neden olmaktadır.

Sübsidans: Açık ve kapalı işletmelerin bir arada bulunduğu sahalarda yer altında uygulanan göçertmeli sistemler, yüzeydeki basamaklar üzerinde çökme ve deplasmandan kaynaklanan stabilite sorunları yaratabilmektedir.

Yer Sarsıntıları Ve Hava Şoku: Yanlış şarj ve basamak geometrisinin uygulandığı patlatma operasyonları, yapısal zarara yol açabilecek yer sarsıntıları ve hava şoku dalgaları yaratmaktadır. Sahanın yerleşim birimlerine yakın olması durumlarında camlarda ve duvarlarda kırılma ve çatlaklar oluşabilmektedir. Tesis içindeki ekipmandan kaynaklanan statik sarsıntı sadece saha içinde bulunan binalar

üzerinde olumsuz etki yaratırken, binalara yakın yerlerde görülen mobil ekipman taşımacılığı da evler üzerinde patlatmaya eş sarsıntı seviyeleri yaratmaktadır.

3.3.5 Yaşam Kalitesi Ve Motivasyonun Bozulmasına Neden Olan Tehditler

Görsel kirlilik, gürültü ve sarsıntı, hava ve su kirliliği ve çorak görünüm olmak üzere 4 ana faktörlerde toplanmaktadır.

Görsel Kirlilik: Madenlerin kazısında ve atık sahasının oluşturulmasında görüntü kirliliği oluşmaktadır. Bir madenin izlenebilirliği doğal olarak operasyonun boyutuna, madenin işletilme şekline ve topografyaya bağlıdır.

Gürültü Ve Sarsıntı: Görüntü kirliliğinin aksine hem gürültü hem de sarsıntı seviyeleri nicel olarak ölçülebilmekte ve insanlar üzerinde demoralize etki yaratıp yaratmadığı belirlenmektedir. Burada duyulabilecek rahatsızlıklar, faktörün şiddetine, frekansına, süresine ve bireysel duyarlılığa bağlıdır.

Hava Ve Su Kirliliği: Düşük seviyelerdeki hava ve su kirlilikleri bile atmosferi ve su kaynaklarını kahverengi bir tona dönüştürürken, ek olarak suyun kirlenmesi, yakın konutlarda kullanılan suyu da negatif yönde etkilemektedir.

Çorak Görünüm: Açık ocakların üretim sonrasında hiç bir alan planlaması yapılmadan terk edilmesi, bölgenin çorak ve verimsiz bir yer olarak algılanmasına neden olacaktır.

3.3.6 Doğal Rezervlerin Kullanımı

Hammadde kaynaklarının toplam rezervi ve gelecekteki tüketim oranları tam olarak bilinmediği için, mevcut kaynaklar sanki hiç tükenmeyecekmiş gibi değil de, yerlerine ikame mallar bulacak şekilde ve recycling'e imkan tanıyacak tarzda verimli olarak işletilmelidir.

3.4 Arazinin Şekillendirilmesi

Arazi şekillendirme çalışmalarında, arazinin hem madencilik faaliyeti, hem de reklamasyon sırasında tahrip edileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Araziye verilecek tahribat, bölgenin jeolojisi, hidrolojisi, toprağı, bitki örtüsü, görsel ve estetik değerleri üzerinde bir dizi kompleks reaksiyona neden olabilmektedir.

Arazi şekillendirmedeki başlıca konular, emniyet ve erozyondur. Olası kaymaları engellemek için, maden sahasının arazi ıslah çalışmalarından önce stabil hale getirilmesi gerekmektedir. Arazi şekillendirme işleminde göz önüne alınması gereken faktörler şunlar olmalıdır:

- Maden sahası ve civarının görsel niteliğı
- Vahşi hayat habitatının yitirilmesi
- Kötüleşen su kalitesi
- Değişen drenaj şablonları

Madencilik ve reklamasyon operasyonları aşamasında, aşağıda sıralanan genel noktaların dikkate alınması gerekmektedir.

3.4.1 Uygun Bir Planlama İle Maliyetin Azaltılması

İşe başlarken bu operasyonların sonucunu düşünmek gerekir. Kazı miktarının minimize edilmesi maliyet bakımından fayda sağlayacağı gibi, çevreye vereceği zarar da daha az olacaktır. Arazi şekillendirme çalışmaları (dolgu, kazı, düzeltme), reklamasyon maliyetinin % 90'ını, bu maliyette yıllık işletme giderlerinin %9,8'ini kapsamaktadır. Üretimin başında kazı operasyonları, materyali sadece bir kez taşımak şeklinde planlanmalıdır, çünkü madencilik sonunda yapılacak doldurma işlemi en pahalı rekültivasyon tekniğı olacaktır. Bunun için yapılması gereken üretim esnasında jeoloji mühendisi ve maden mühendisi ile birlikte planlama yaparak, sahada mümkün olan en az kazı miktarı ile spesifik ve lokal stabilizasyonun sağlanmasıdır.

Maden Giriş Yolları: Sahaya verilecek en büyük zararların başında, gerekli yol girişlerinin açılması gelmektedir. Bunun için yerel yönetimler, yol genişliği, eğimi ve viraj yarıçapları gibi konularda standartlar koymalıdır. Arazide açılacak olan bu yollar için de standartlara uymak zorunlu hale getirilmelidir. Bu konuda da şu iki yaklaşım göz önünde bulundurulmalıdır:

— Planlama işleminin ilk aşamasında araziye yol inşası düşünülmelidir,

— Yollar, madencilik operasyonları ile ortak kullanılacak olan nakliye araçları ve nakliyat için tesviyeyi en aza indirecek tarzda dizayn edilmelidir.

Ekstra Malzeme: Gereğinden fazla malzemenin kaldırılması, yüzeye verilecek zararı artıracaktır. Eğer proje sadece kazıyı veya malzemenin alınmasını içeriyorsa, arazideki malzemenin dikkatli biçimde alınması sadece nakliyat masraflarını düşürmekle kalmayacak, aynı zamanda sonraki onarım aşaması için de yardımcı rol üstlenecektir.



Şekil 3.3 Ekstra malzeme

Ocak Çukurları: Ocak çukurlarıyla üretim esnasında ilgilenilmelidir. Genel olarak tüm maden yasalarında, açık ocaklarda oluşabilecek çukurların su ile dolmasından kaçınılması önerilmelidir. Üretim esnasında oluşabilecek çukur olasılığı

elimine edilmeli ve böylece işletmecinin reklamasyon aşamasında bir dinlendirme havuzu ile ilgilenmek zorunda kalması olasılığı ortadan kaldırılmalıdır.

3.4.2 Sahanın Stabilizasyonu

Stabilite problemlerini çözmek için araziyi iyi tanıyan maden ve jeoloji mühendislerine ihtiyaç vardır. Bu problemleri çözmek için birçok yöntem mevcut olup, bunlardan bazıları şunlardır:

- Geniş çaplı tesviye işlemleri
- Eğim değişikliği
- Zeminin stabilizasyonu

Mevcut olan kayma riski olasılığına, şiddetine, kaymayı tetikleyen mekanizmalara, kaymanın insan hayatına ve ekipmana vereceği zararlara göre stabilizasyon yöntemi seçilmelidir. Burada bahsi geçenlerden eğim değişikliği yöntemi, kazı ve doldurma (cut and fill) tekniğinin değişik varyasyonları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir şevin stabilitesi şevin üst kısmının alınması ile artırılabilir veya şevin potansiyel kayma bölgeleri boyunca direnci artırılmaktadır (şev dibine malzeme dolgusu yaparak).

Zemin stabilizasyonu veya diğer adıyla zemin iyileştirme yöntemi ise, fiziksel ve kimyasal alterasyon yoluyla zeminin yük taşıma kapasitesinin artırılmasını içermektedir. Bu tekniklerden bazıları aşağıda belirtilmiştir:

- Zeminin desteklenmesi
- Betonlama
- Jeosentetik uygulaması
- Kimyasal işlem

Bu iyileştirme çalışmaları ile zeminin mukavemet, sıkıştırılabilme, kohezyon ve bunların sonucunda da erozyona karşı dayanım özellikleri artmaktadır.

3.4.3 Arazinin Erozyondan Korunması

Arazideki yeraltı su sistemlerinin ve yüzey aşınmalarının kontrolü, hiç bir zaman gözden kaçırılmamalıdır. Bunu yerine getirebilmek de, potansiyel olarak stabil gözükmeyen şevlerin içinde ve yakınında yerüstüne ve yeraltına konulacak drenaj cihazları ile mümkün olacaktır. Özellikle şev kayması gözüken bölgelerde drenaj konusu daha da önem kazanmaktadır. Yüzey ve yeraltı sularının akışının kontrol edilmesi, aynı zamanda erozyonu ve bölgedeki siltleşmeyi önlemede de büyük önem arz etmektedir. Düzgün bir şekilde dizayn edilmiş drenaj şablonu özet olarak şev stabilitesini korurken, aynı zamanda sahadaki erozyonu ve siltleşmeyi de önlemelidir (Sendlein vd., 1983).

Bir şev boyunca veya geniş bir kazı aynasında oluşacak akışın (runoff) azaltılması ve suyun süzülmesi (infiltration), şev üstüne veya ayna üzerine bitki dikimi ile mümkün olabilmektedir. Zira bazı tür bitkiler toprağı sabitlerken, doğal olarak erozyonu da ortadan kaldırmaktadır. Seçilecek bitki türünün sulama gerektirmemesine dikkat edilmelidir, aksi takdirde sulama işleminden toprağın içine sızan su, aynı zamanda şev kayma riskini de artıracaktır. Kayma hareketinin zaten başlamış olduğu basamaklarda ise, bitkilendirme işlemi bile fayda sağlayamayacaktır.

Suyu şev üstünden, şev diplerinden ve potansiyel kayma alanlarından uzak tutmak için yüzey drenleri tasarlanmalıdır. Bu yolla stabil olmayan kütlenin içindeki ve yüzeyindeki süzülme ile erozyon azalmış olacaktır. Yüzey drenleri, şevlerin erozyon olasılığının kontrol altına alınmasında ve komşu dolgu şevlerinin drenajında kullanılan araçlardır. Daha önceden üretime başlanmış sahalarda suyu şevlerden başka yerlere yönlendirmek için drenaj kanallarının inşası gerekmektedir. Bu gibi durumlarda uygulanabilir tek drenaj kontrolü, suyu biriktirdikten sonra şev dibine kadar uzanan kanallar ve borular yardımıyla su akışına aynadan uzaklaşacak şekilde tekrar yön verilmesi şeklinde karşımıza çıkmaktadır.

3.4.4 Drenaj Ve Erozyon Yapılarının Çalıştırılması

Şilt çitleri, drenaj boruları ve yeraltı su kanalları gibi yapıların periyodik olarak bakımlarının yapılması gerekmektedir. Bu yapılar tıkanabilir veya bükülebilir, borular korozyona uğrayabilir ve hatta kırılarak şeve yapısal bir zarar vererek fazladan tesviye işlemi ve dolayısıyla masraf çıkarabilir. Bilindiği üzere, her bir mühendislik yapısının uzun ömürlü olması ve efektif olarak kullanılabilmesi, spesifik bakım prosedürleri ortaya koymak ve uygulamakla mümkün olmaktadır. Bu yapılarda herhangi bir zarar veya bozulma görüldüğü takdirde, tüm bakım ve onarım işlemleri bir sonraki sonbahar-kış dönemine kalmadan bitirilmelidir. Kış aylarında oluşabilecek şiddetli fırtına ve yağıştan sonra da mutlaka ek tetkik ve incelemeler yapılmalıdır.

3.4.5 Şev Emniyetinin Daima Sağlanması

Yurt dışındaki maden ve iş güvenliği yasalarında, genelde açık maden ocaklarında yüksek aynalı, eğimi 45^0 'den büyük şevlerin oluşturulması arzu edilen bir durum değildir. Çünkü bu eğimden daha dik eğimlerde jeolojik kesitte bulunan bazı horizonlar stabilite sorunu doğurabilmektedir. Aynı zamanda, görsel estetik açısından da şevlerin mümkün olduğunca 45^0 'ye yakın olması tercih edilen bir özelliktir. Söz konusu yaptırımlar öncelikle insan sağlığını ve makina-ekipman güvenliğini korumak adına yürürlüğe konmuş olup, şevlerin rekreasyonel, zirai veya ticari amaçla kullanımı bu kriterlerin yanında ikinci planda kalmaktadır.

Doğada topraklar, oluşumları esnasında sıkışma ve doğal çimentolanmaya bağlı olarak oldukça dik yamaçlarda da bulunabilirler. Ancak, arazi bir kez tesviye edildikten veya kazıldıktan sonra, bu kez mühendislik kodları ve standartları devreye girer ve güvenliği sağlama açısından şev eğimlerinin ve drenaj konfigürasyonlarının nasıl olması gerektiğini belirler. Ortaya konmuş bu kodlar ve standartlar, uzun yıllar süren gözlemlerden ve profesyonellerin tecrübelerinden doğmuş, ülkemizde de aynen uygulanması gereken kurallardır.

3.4.6 Doğala Özdeş Şevler Oluşturulması

Yukarıda anlatılan emniyet tedbirlerine körü körüne bağlı kalmak bazı yerlerde çok monoton ve peyzaj açısından doğal gözükmeyen görüntülerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Örnekleme gerekirse; eşit aralıklarla oluşturulmuş teraslar ve simetrik olarak inşa edilmiş drenaj kanalları görsel açıdan oldukça sade, kesin çizgilerle birbirinden ayrılmış, pek de estetik ve doğal olmayan bir görünüm sergilemektedir. Bütün bunlara ek olarak, madencilik öncesinde bakir sahada bulunan bitki örtüsü sentetik olarak yaratılmış basamaklarda aynı çeşitlilikte gelişmeyebilir.

Bu nedenle izlenmesi gereken en iyi yol, mühendislik emniyet kuralları çerçevesinde, biraz da hayal gücü ve çeşitliliği kullanarak doğala yakın arazi şekilleri elde etmeye çalışmaktır. Doğala eş arazi şekilleri yaratmanın ABD'deki mevcut maden kanunu terminolojisindeki ismi "Approximate Original Contouring" (AOC) olarak geçmektedir. Bu zorunluluklar, farklı türdeki madenlerin üretiminin hepsi için olmasa da, en azından tesviye ve kaz-doldur yöntemleri için ortaktır.

Doğal topografya, madenciliğin ilk aşamalarından başlayarak üretim süresince şu yollarla devam ettirilmelidir:

— İyi planlanmış bir üretim operasyonu

— Ekipman operatörlerine madencilik sonrası arazi kullanımı kavramının iyi benimsenmesi gerekmektedir. Doğal şevler aynı zamanda üretim esnasında da maksimum şev açısına uygun düşecek şekilde kazı yaparak veya kaz-doldur yöntemi ile de elde edilebilmektedir. Bu olay, genellikle en ucuz rekültivasyon yolu olarak bilinmektedir.

— Doğal bir arazi şeklini tekrar yaratmak için arazide madencilik öncesindeki eğim envanterinin çıkarılması faydalı olacaktır. Madencilik öncesindeki haritaların ölçeği ve kontur aralıkları madencilik sonrasındaki haritaların ölçeği ve kontur

aralıkları ile aynı olmak zorundadır. Bakir haldeki haritaları elde bulunmayan sahalar için, komşu arazilerin jeomorfolojisine uygun düzeltme işlemleri yürütülmelidir.

3.5 Görsel Tasarımlar

Her ne kadar biyolojik, jeolojik ve kimyasal unsurlar doğal onarım aşamasında önemli olsalar da, kamuoyunun ilk dikkatini çeken olgu, düzenlenmiş bölgenin dış görünümüdür. Burada görsel tasarım karakteristiklerinin neler olduğu ve estetik açıdan uygun peyzaj tablolar oluşturmanın yolları yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

3.5.1 Görsel Karakterin Nitelikleri

Daha önce de belirtildiği gibi, madencilik sahalarını doğala özdeş şekilde etkin biçimde düzenlenmiş büyük önem taşımaktadır. Bu da insanların peyzaj görüntüyü nasıl algıladığını bilmekten geçmektedir. Bir manzaranın görsel niteliğinin belli başlı 4 bileşeni bulunmaktadır. Bunlar, form, çizgi, renk ve dokudur.

— Sahanın bütünüyle şekline form adı verilir. Örneğin, pasa yığınları, yan şevler ve hatta uzun basamak düzlükleri, çevredeki doğal arazi ile çok sert bir kontrast oluşturmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Form ve rengin egemen olduğu bir bakır madeninin atık sahası

— Çizgi, forma çok yakın olup, şeklin bütünü yerine peyzaj terminolojisinde lineer ve tek bir elementi simgelemektedir. Bir pasa yığını ele alacak olursak, yan şevler ile şevin üstü arasında çok keskin bir ayrım göze çarpar. Bu keskin hat peyzajda çıkıntılı ve göze çarpan bir çizgi oluşturur. Mevcut doğal çizgiler ise sırtlar, bayırlar, akarsular ve hatta şelaleler içermektedir. Doğadaki çizgiler genelde doğru şeklinde olmayıp daha esnek özellikler taşımaktadır.

— Renk, bir arazi şeklinin veya objenin çevresi ile bütünleşmesine veya göz alıcı karakter olarak dikkat çekmesine yardımcı olan bir görsel bileşendir. Rekültive edilmiş bir arazideki renk, toprak, kaya malzemesi ve gelişen bitki örtüsü ile ortaya çıkmaktadır. Burada önemli olan nokta bu sayılan unsurları çevredeki bozunmamış araziye renksel olarak entegre etmektir.

— Doku, renk ve gölge farklılıklarından etkilenmektedir. Arazideki düzensizliklerin ve etrafa saçılmış vaziyetteki kayaların varlığı, bitkilendirme şekilleri ve topografyadaki küçük değişikliklerin hepsi dokuyu yaratmaktadır. Rehabilit edilmiş basamaklar, her ne kadar komşu araziye iyi bir geçiş gösterse de, üzerlerinde serpiştirilmiş tarzda kaya bloğu gibi öğeler içermiyorlarsa, doku açısından eksik kalmaktadırlar. Bu yüzden reklamasyonda bu peyzaj özelliğine de dikkat etmek gerekmektedir.

3.5.2 Görselliğin Sağlanması

Görsel estetiği sağlamanın ilk adımı çevredeki arazinin peyzaj özelliklerinin tasvir edilmesidir. Tanımı net şekilde yapılan bölge, madencilik faaliyeti bittikten sonra daha doğal bir görünüme kavuşacaktır. Ancak, bu tasvirin yapılabilmesi için, bölgedeki eğimler, su, bitki örtüsü gibi özelliklerin detaylı bir envanterinin çıkarılması zorunludur.

Şev: Şevlerin uzunluğu, yüzde eğimi, doğal oluşmuş basamakların şekilsel özellikleri (içbükey, dışbükey, kompleks veya homojen olması gibi), diğer arazi

özellikleri ile olan alansal bağları ve şayet mevcutsa kaya bloklarının boyutları ve frekansları bu gruba dahil edilmelidir.

Bitki Örtüsü: Bitki örtüsünün sıklığı, bitki türleri ve bu türlerin birbirleri ile olan kompozisyonu, bitkilerin renkleri ve hangi kotlarda hangi türlerin görüldüğü belirtilmelidir.

Su Durumu: Bu gruba ise drenaj şablonları, mevcut suyun miktarı ve lokasyonu, olası sulak ve gölet alanların varlığı ve vadi dibi terasları dahil edilmelidir.

Uçurumlar: Yüzlek vermiş jeolojik birimler ve yamaçlar gibi özellikler de söz konusu envantere dahil edilmelidir.

Özetlemek gerekirse doğa onarımı yapılmasının ve doğal görünümlü bir peyzaj elde etmenin en birinci kuralı, insanlar tarafından olması beklenen su, kaya ve bitki örtüsünün varlığını sağlamaktır. Bundan sonrası bunları etkin şekilde hazırlama ve birleştirme çabalarını içermektedir.

3.5.3 Manzaranın Analiz Edilmesi

Maden ocağının izlenebildiği tüm açıların ve durumların analiz edilmesi, estetik bakımdan hoş bir peyzaj oluşturma adına yararlı bakış açıları getirecektir. Daha geniş alanı kapsayan yüksek profilli projeler için, bu proses, toplum baskısı ve kanunlarla getirilen bir şart olarak maden mühendislerinin önüne çıkacaktır.

Manzarayı analiz ederken akıldan çıkarılmaması gereken kilit noktalar şunlardır:

— Ocağın hangi alanlardan görülebilmektedir? Bu işlem, maden alanında ayakta durarak ve peyzajın hangi kısımlarının görüldüğünü not etmekle oluşturulmaktadır.

— Ocağı gören izleyiciler kimlerdir? Her izleyicinin tavrı değer yargılarına göre değişiklik arz edecektir. Örneğin, çok yüksek bir taş ocağı aynası yaşamını o işten

kazananlar için güzel görünürken, anneler bu yapıyı çocukları açısından bir tehlike, turistler ise çirkinlik abidesi olarak tanımlayabilmektedirler.

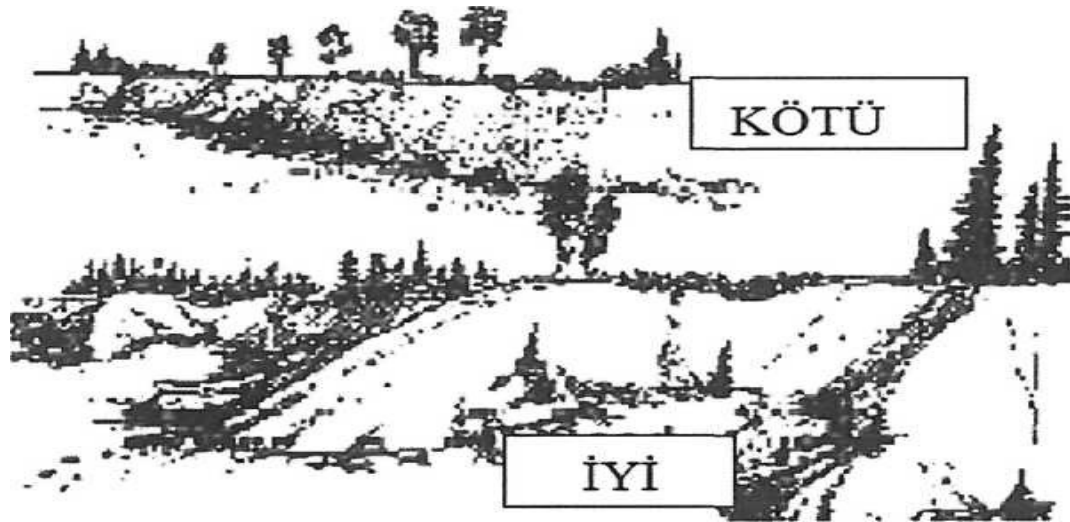
— İzleyiciler konum olarak nerede bulunmaktadırlar? Ocak, birçok kişinin yaşadığı veya toplandığı yörelerden görülebilmekte midir? İzleyicilerin pozisyonları projenin bazı kısımlarını saklamaya ve göz ardı etmeye elverişli midir?

— Birçok izleyici için izleme mesafesi ne kadardır? Reklamasyona ait görselliğin odak noktası, bakılan açığa göre değişiklik göstermektedir. Uzaktan izlemelerde form peyzaja egemen olurken, daha yakından bakışlarda form, doku ve renge bir anlamda geri fon oluşturmaktadır.

— İzleyiciler için izleme süresi ne kadardır? Bir izleyicinin bir manzarayı gözlemleme süresi rekültivasyon stratejisini etkileyebilmektedir. Bir otoyoldan geçen araçlı kişiler görsel kirliliğin detaylarını tam olarak algılayamazken, tam tersine yakın bir kasabada oturanlar ise tüm detaylarını göreceklerdir.

Yukarıdaki sorulara verilecek cevapların kombinasyonu, izleyicilerin ilgi alanlarına ve ihtiyaçlarına yanıt verecek nitelikte bir rekültivasyon projesinin işleme konmasına rehberlik edecektir.

Uygulamalar: Madencilik aktiviteleri doğada düzensiz bir peyzaj kompozisyonunda düzenli şekiller yaratmaktadır. Pasa yığınları, artık yığınları, basamaklar, teraslar ve maden içi yollar buna örnek olarak verilebilir. Tüm bunlar, doğada düz hatlar, keskin çizgiler ve birbirinden kesin sınırlarla ayrılmış düzgün şekiller sunmaktadır. Doğa onarımdaki amaç şayet doğal gibi görünen bir manzara elde etmek ise, bu şekiller birbirinden ayrılmalı, bozulmalı ve çevredeki araziye uydurulmalıdır. Düzenlenmiş şevler hem plan hem de profil açısından hem yumuşak kavisli hem de nispeten sağlam olmalıdır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Doğru rehabilite edilmiş ocak kesiti (Norman, 1996)

Burada görsel bakımdan önemli unsurlar, basamakta ani değişiklikler yapmadan yamacın konturunu uydurmak ve aynı zamanda mümkün olabildiğince komşu bitki örtüsü ve jeolojik birimlerle bir bütünlük sağlayabilmektir. Bahsi geçen tüm bu keskin hatlar ve şekiller ortadan tamamen kaldırılarak, üzerleri örtülerek veya tekrar tesviye edilerek, sahanın orijinal araziye entegrasyonu sağlanabilir. Şevlerin düzenlenmesinde proje alanından geçen sırtların ve drenaj şablonlarının devam etmesine izin verilmeli, hatta doğal görünüme kavuşabilmeleri için rekültive edilecek sahada küçük boyutta olmak üzere çukurlar ve tepecikler oluşturulmalı veya var olanlar bırakılmalıdır (Wright, 2000). Her ne kadar rehabilite edilecek basamaklar duraylı açılara uydurulmalı ise de, aralara bir anlamda serpiştirilmiş dik kesimler basamağın çevresine olan adaptasyonunu artıracaktır.

Böylece iyi bir planla ortaya konmuş doğa onarım çalışmaları peyzaj içinde yer yer yeni yapay çizgilerin oluşmasına neden olacaktır ve operasyonunun proje üzerinde gösterilmesi evresinde bakir arazi ile rekültive edilmiş araziler arasındaki keskin ve sert çizgileri önlemek ve ani geçişleri ortadan kaldırmak için şu maddeler akılda bulundurulmalıdır:

— Doğal ve kazanılmış edilmiş araziler arasındaki geçişi daha uygun hale getirmek için, kenarlar sinüzoidal eğri şeklinde yumuşak çizilmelidir.

— Basamakların eş yükseltiyeye sahip arazi parçasıyla bulunduğu yerlerde yumuşak ve yuvarlatılmış konturlar kullanılmalıdır.

— Doğal yüzey bitki örtüsü, özellikle de ruhsat sınırlarına yakın yerlerde mümkün olabildiğince taklit edilmelidir.

Konsolide kayaçlarda oluşturulmuş yüksek aynalar ve terasları birbirinden ayırt etmek, diğer kayaçlara oranla daha zor olmaktadır. Bunun için yapılan çalışmalarda oluklar, çıkıntılar, patlatma şevleri ve düzensiz yan yüzeyleri oluşturulur. Deliklere stratejik olarak yapılan şarj miktarı ile keskin ve monoton basamaklardan daha küçük boyuttaki, daha kıvrımlı basamaklara ve arazi şekillerine doğru bir geçiş sağlanmış olacaktır.

Rekültive edilmiş arazi formlarının düzgün biçimde şekillendirilmesi, estetik olarak hoş bir proje gerçekleştirmenin sadece ilk adımını oluşturmaktadır. Şekillendirme işlemlerinden sonra renk ve doku kavramlarını da ön plana çıkarmak gerekir. Rekültive edilmiş yüzeyleri doğal yüzey özelliklerine adapte edebilmek için, bitkiler, kaya parçaları ve diğer doğal malzemeleri kullanmak gerekmektedir. Bazı durumlarda, arzu edilen ilk dokuya ulaşmak için konturlanmış şevlere fundalıklar uygulanabilir. Bitkileri ve çalıları sıra sıra dikmek yerine, gelişmiş güzel ve öbekler halinde yerleştirmek gerekmektedir.

Delme-patlatma ile basamakların oluşturulması ve ardından rehabilite edilmesinden farklı olarak, bir maden ocağında zenginleştirme yöntemi olarak liç işlemi kullanılacaksa, şu maddeleri yerine getirmek zorunludur:

- Liç uygulanmış cevherin yıkanması ve nötralizasyonu
- Tabana sızdırmaz malzeme (jeotekstil örtü vb.) sermek
- Yıkanmış cevher yığınının stabilitesini artırmak için yeniden şekillendirmek
- Liç edilmiş cevherin üzerinin yalıtkan malzemeyle kaplanması
- Rekültive edilmiş maden sahasının tekrar bitkilendirilmesi
- Tampon çözeltilerin yönetimi

- Kullanım dışı fazla çözeltilerin buharlaştırılması
- Madencilik tesislerinin kaldırılması ve bu alanların ıslah edilmesi
- Atık havuzundaki sedimentlerin bertaraf edilmesi
- Atık havuzu alanının tesviyesi ve rekültivasyonu
- Madene ulaşım yollarının tesviyesi ve rekültivasyonu

Liç işlemi ve reklamasyon sırasında mühendislere zorluk çıkarabilecek, unutulmaması gereken noktalar ise şunlardır:

- Liç edilmiş cevherin toksik madde içeriği
- Liç edilmiş cevherin nötrleşmemesi
- Tabandaki kaplama malzemesinde oluşabilecek hasarlar
- Liç dökümlerindeki stabilite problemleri
- Standart dışı fazla çözeltilerin sahaya dren edilerek yayılması

3.6 Atıkların Islah Edilmesi

Atıkların ıslah edilmesi gelecekte oluşabilecek çevresel sorunların giderilmesi için önemli bir kavramdır.

3.6.1 Atıklar

Bilindiği üzere atıklar, cevher zenginleştirme işlemleri esnasında geri kazanılamayan malzemelerdir. Atık malzemesi küçük boyutlarda olup, istenmeyen metal konsantrasyonları, uzaklaştırılmayan kimyasallar ve önemli miktarda su içermektedir. Maden atıkları genel olarak bulamaç halinde atık sahasına taşınmaktadır. Bu atıkları boşaltma yöntemi, direkt olarak istiflenmeyi, bu da döküm sahasının yapısal stabilitesini etkileyecektir. Atıkların rekültive edilmesinde en sık karşılaşılan sorun, yüksek nem içeriği ve ince taneli malzemedeki ötürü doğan stabilite problemleridir. Bu yığınların istenen stabilitede olmaması, üzerlerinde ağır makine-ekipmanın kullanılmasını kısıtlamaktadır. Atık yığınlarının stabilizasyonundaki ilk adımı bu nedenle susuzlandırma prosesi oluşturmalıdır.

Susuzlandırma uygulamaları, üst tabakaların uzunca bir süre kurutulmaya bırakılmasından daha aktif muamele yolları olan yeraltı drenler yerleştirilmesi, yatay drenler yerleştirilmesi veya dikey fitil şeklinde drenler konmasına dek geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Atık akıntılarının bir jel haline getirilerek işlem görmesi de bir başka stabilizasyon yöntemidir. Bu jel teknolojisi atıkların ilk depolanmaya başlandığı sıralarda veya daha sonra atık havuzunda birtakım yapılar inşa etmek suretiyle yürütülmektedir. Atıkların toksik özelliği doğal onarımı daha komplike bir hale getirebilmekte, nötrleştirme ve bir kaplama malzemesi yerleştirilmesi işlemlerini gerekli kılmaktadır. Bu kaplamanın amaçları nemin süzülmesini, atıkların oksidasyonunu ve radon gazı kaçışını önlemektir. Doğal onarım esnasında atıklardan elde edilen çözeltilerin de kontrol altına alınması zorunludur. Bu çözeltiler ya basit şekliyle sadece toplamaya tabi tutulur, ya da birtakım kimyasal işlemlerden geçirilir.

3.6.2 Susuzlandırma

Susuzlandırma işlemi, maliyetleri geniş bir zaman aralığına yayabilmek açısından operasyonların aktif olduğu dönemde yürütülmelidir. Atık suyu, dinlendirme havuzu içinde yer alan atıklardan ayrılan suların boşaltılmasından gelmektedir. Söz konusu suyu uzaklaştırmak için genellikle bir yüzer mavna kullanılmaktadır. Eğer operasyonun geniş zamana yayılabilmek lüksü varsa, o halde doğal olarak kurumaya bırakılır. Ancak, pasif bir metod olan güneşte kurutma yöntemi, atığın özelliklerine ve kalınlığına bağlı olmak üzere pek de etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmamaktadır.

En sık kullanılan aktif susuzlandırma yöntemi ise, atık birikiminin içine dikey konumlu fitiller sokmaktır. Bu fitiller sayesinde katmanlar arasındaki çözeltiler aşağı doğru akışa geçmektedir. Bu fitillerden çok sayıda kullanmak, "baca drenaj etkisi"nin oluşmasına olumlu yönde yardımcı olacaktır. Susuzlandırma sırasında atık birikintisinin üst kısmı hemen kururken alt kısımları ıslak kalabilmektedir. Atık yığınının tamamının kurummasının ardından üstünün kapatılarak, bu yığının tekrar bitkilendirilmesi için geçen sürede geçici olarak toz bastırma teknikleri devreye

sokulmalıdır. Şekil 3.6'daki fotoğraflar dizisi pasa yığınlarının rekültivasyonunun öncesini ve sonrasını göstermektedir.



Şekil 3.6 Pasa yığınlarının öncesi ve sonrası (Goldstrike madeni, ABD)

3.6.3 Atık Yığınlarının Örtülmesi

Örtme dizaynı ne kadar kompleks ise, sistemin döşenmesi de bir o kadar zor olmaktadır. Örtü malzemesinin döşenmesi, düşük basınçlı çalışan ekipman kullanılmasını ve bunun yanında daha bir çok özel tekniğin kullanımını gerektirebilmektedir. Bu tekniklerin başında, sentetik astarlar üzerinde hareket eden bir paletli back-hoe tip ekskavatörün kullanılarak malzemenin serilmesi gelmektedir. Bu malzemelerle rahat bir çalışma alanı yaratabilmek için, atıkların üst kısmına rampa veya hendekler inşa edilir. İnşa edilen bu rampa, büyük bir olasılıkla ağır ekipmanları desteklemeden önce büyük miktarlarda çökmeye maruz kalacaktır. Üzerinde maruz kaldığı yük yüzünden atıklardan süzülerek çıkan su, rampanın ilerisinde ıslak bir bölge oluşturur. Rampa inşa edildikten sonra rampadan ekstra malzeme alınarak kaplama alanın seviyesi tedrici olarak artırılabilir.

Burada kullanılan bir başka yöntem ise, alanın çevresine bir bent şeklinde rampa yaparak alanı tecrit edilmiş bir bölge haline dönüştürmektir. Söz konusu bent alanın susuzlandırmasını iyi yönde etkilerken, aynı zamanda örtü malzemesinin döşenebileceği bir platform işlevi görmektedir. Daha sonra bu rampadan bir sonraki izolasyon bendini inşa etmek için platform olarak yararlanılmaktadır.

Atıklardan numune alımı ve atıkların karakterizasyonu, atıkların fiziksel özellikleri hakkında yararlı bilgiler vermektedir. Fakat maden işletmecilerinin çoğu hala hangi tür kaplama konstrüksiyonu yapılacağını ve işin hangi hızda ilerleyeceğini deneme-yanılma yoluyla tespit etme yoluna gitmektedirler. Her ne kadar mühendislik ürünü olarak kabul gören örtü malzemeleri sentetik astarlar ve kil olmalı ise de, günümüzde en sık kullanılan kaplama malzemeleri madencilikten çıkarılan yan taşlardır. Bitki köklerinin kaplama malzemesinin içine nüfuz etmesini önlemek için, dizayn esnasında kapiler bir bariyer bırakılması düşünülmelidir. Bu kapiler bariyer aynı zamanda bariyerin altındaki atıkların oksitlenmesini önlemek için de kullanılabilir. Söz konusu kapiler bariyerler, iri taneli malzeme üzerine ince malzeme serilmesiyle yaratılmaktadır. İnce boyutlu malzemenin kapiler özelliği, atmosferdeki nemin iri malzemelerin arasından atıkların içine doğru sızmasını da durdurmaktadır.

Atık malzemelerin bazıları tekrar vejetasyon için elverişli olabilmektedir. Söz konusu atıklar stabil hale geldikten sonra direkt olarak tohumlanabilir veya çok az oranlarda malç, biyokatılar ve gübre gibi organik maddeler ilave edilebilir.

Örtme işleminden sonra beklemek yerine yığının üst tabakalarını kirleticilerden arındırmak ve bu tabakaları nötrleştirmek için kimyasal muameleye tabi tutmak, daha düşük maliyetli olmaktadır. Kimyasal muamele için gerekli malzemeler ya madencilik operasyonu esnasında atık akıntısına verilebilir ya da üst kısımda istenen örtü malzemesi karışımını elde etmek için atık yerleştirmenin son safhalarında uygulanabilir.



Şekil 3.7 Bent yapılarak atık yığınının izole edilmesi

3.6.4 Bitkilendirme

Toprak ve alt toprak tabakalarının kümülatif kalınlığı, eğer atık malzemesi bitki yetişmesine elvermiyorsa, tek başına bitki örtüsünü destekleyecek yeterlikte olmalıdır. Bu alt toprak tabakasının kalınlığı birkaç santimetreden 50–60 cm.'ye kadar değişkenlik gösterebilmektedir. Bu yüzden toprak tabakasının ince olduğu durumlarda bu tabakalara ilave olarak bir kaplama konstrüksiyonu zorunlu olabilmektedir.

Üzerinde bitki yetişmesi olanağı olmayan atık malzemeler için nihai rekültivasyonun öncesinde 1–2 yıl boyunca direkt olarak tohumlama yapılması, üst yüzeyin susuzlandırılmasına, toz kontrolüne ve içerikteki organik madde artışına yardımcı olacaktır. Yüzey sularını atıklardan saptırmak için, rekültive edilmiş atık alanının nihai yüzeyi tekrar tesviye edilmelidir. Bitkilendirme çalışmalarının başarıya ulaşması için, yüzey, tohum ve nem absorpsiyonunu artırmak amacıyla pürüzlü ve bozuk hale getirilmelidir. Bitkilerin büyümeye başlamasına kadar geçen süre içinde çökmeden ötürü doğabilecek erozyonu önleyici birtakım önlemler alınması gerekebilir. Bu önlemler, ilk büyüme mevsiminde malç veya yapıştırıcı madde eklemek şeklinde olabilmektedir.

3.7 Su Yollarının Rekültivasyonu

Burada gerçekleştirilmesi gereken en önemli nokta, drenaj sisteminin yatay ve düşey yönde mobil özelliğinin bulunmasıdır. Mevcut ve yaratılacak olan drenaj karakteristikleri, yanal ve düşey erozyonun oranını ve uzanımını etkileyecektir. Uygun olan yerlerde kazıdan önceki kanal karakteristiklerini yeniden belirlemek daha avantajlı olacaktır. Bunun mümkün olmadığı yerlerde ise üst akım ve alt akım kanalları, drenaj şablonlarının kotlarını belirlemede kullanılmalıdır. Fluvial (nehirsel) proseslerden haberdar olması gereken mühendis, önemli su kaynaklarına, komşu lokasyonlara geçici ve daimi kanal reklamasyonu uygulamalıdır. Arazide planlama yapmadan önceki değerlendirilmesi gereken özellikler, boşalım karakteristikleri, kanal geometrisi ve akış jeomorfolojisidir.

Boşalım karakteristikleri, akışın süresini, frekansını ve şiddetini içermektedir. Bu karakteristikler iklim ve mevsim ile değişmektedir. Yüksek akış ve düşük akış kanallarından oluşan drenaj sistemleri dizayn edilmeli veya akış yönü, yüksek akış şartları altındaki düzlüklerden seçilmelidir. Ekstrem akış durumları mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Akışın günlük, geçici veya uzun süreli olduğuna bakılmamalıdır. Akış tipleri genelde akışın süresini ve frekansını şu şekilde etkilemektedir:

— Günlük akışlar çoğu zaman su tablasının üzerinde yer almaktadır. Bu akışlar suyu sadece yağış esnasında ve karların erimesi esnasında taşımaktadır.

— Geçici akışlar ise yılın belli bir bölümünde görülmektedir. Su tablası bu akışlar ile biraz yükselmektedir. Bahardaki boşalımlar veya yeraltındaki su akışı bu akıma katkıda bulunmaktadır.

— Daimi akışlar yılın büyük bölümünde akmaktadır.

3.7.1 Kanal Geometrisi Ve Jeomorfolojisi

Kanal geometrisi ve jeomorfolojisi belirlenmeden önce, arazinin orijinal haldeki drenaj envanteri çıkarılmalıdır. Eğer kanal envanterden önce bozulmuşsa, o halde

envanter için akıntıya karşı yönde ve komşu bozulmamış alanların etüdü yapılmalıdır. Bu envanterden elde edilmesi gereken bilgiler şunlar olmalıdır:

- Kanal yatağında birleşme ve bozunmanın olduğu alanlar
- Belirgin şev erozyonunun görüldüğü alanlar
- Doğal ve insan eliyle alınmış tedbirler
- Gerekli fotoğrafların çekilmesi

Eğer toplanan kanal envanterinin düzgün işlediği görülürse, yaklaşık kanal meyili, kanal eğrisi, kanal şekli ve kanal malzemeleri, yapılacak reklamasyon çalışmasında taklit edilmelidir. Kanalların düzgün işleyip işlemediğini saptamanın en iyi yolu, kanalı yüksek akış ve düşük akış mevsimlerinde gözlemekten geçmektedir.

3.7.2 Kanal Substratı Ve Sedimenti

Sedimentler, yatak yükü ve kanal malzemesi kanal sisteminde önemli parametrelerdir, çünkü bunlar yeterli enerjinin olduğu zamanlarda taşınmaya uğramaktadır. Burada gerekli güç boşalma ve şevin bir fonksiyonu olup, kanal sedimentleri ve malzemeyi taşıyarak enerji dönüşümü yaparken kanala yapılacak düzeltmeleri belirleyecektir.

Yatak malzemesinde ve tane dağılımında meydana gelecek değişimler de kanal stabilitesini etkileyen faktörlerdir. Arazideki tesviye ve ekstra kazı işlemleri bu özellikleri değiştirecek ve bu prosesler de kanal koridorunda duraysızlık meydana getirebilecektir. Kanal malzemesi veya substratı kanal çevresindeki havzanın jeolojisi tarafından tespit edilip, kanal şekli üzerinde büyük etkisi vardır. Genellikle, granit ve kireç taşı gibi yüksek dayanımlı kayaların olduğu kanallarda substrat içinde taş ve kaya bulunacaktır. Bu kanallar daha duraylı olup, kısa mesafelerde daha derin meyiller arz edecektir. Şeylli malzeme içeren kanallar daha çok “V” şekilli olacak ve ani bir şekilde düz bir hale geçmeye çalışacaklardır. Kumlu substrat ise daha geniş ve daha düz meyillerden oluşan kanallara geçiş gösterecektir. Askıda kalan sediment miktarındaki değişimler türbülans oluşturacağı için, ortalama hızı ve

kanal derinliğini etkileyecektir. Askıda kalan sedimentin taşınması ve düzeltilmesi kanal rekonstrüksiyonu açısından önemlidir, çünkü bu sedimentlerin biriktiği kenarlar bitki gelişimi için tercih edilecek alanlar olacaktır.

3.7.3 Kanal Şablonları

Dolambaçlı yollar, havuzlar ve engelli şekildeki kanal şablonları, suyun verimli şekilde akmasını sağlayacak ve drenaj kanalının potansiyel stabilitesini artıracaktır. Bunların arasında dolambaçlı yol şekli, sedimentlerin taşınmasını ve birikmesini dengeleyecek en verimli kanal şeklidir. Havuzlar ise bir akarsu tabakasının derin kısımları olup, doğal setlerin arkasında oluşmaktadır. Havuz oluşumu özellikle balık habitatı için çok elverişlidir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Kaya parçaları ve engellerden oluşan havuzlar (Sunnyside madeni, ABD)

Engelli kanal şablonları ise daha büyük boyutta kaya parçaları barındıran daha sığ kesimlerdir ve birikme ile oluşmaktadır.

3.7.4 Drenaj Rekültivasyonu Kriterleri

Daha önce de belirtildiği üzere kanal dizayn detayları, boşalım karakteristikleri, kanal geometrisi ve jeomorfolojiden edinilecek bilgilere göre şekillenecektir.

Rekültivasyon esnasında arazi üzerinde akışı sağlayan drenaj ve arazi şekilleri geliştirilmelidir. Kanal düzenlemelerini yapabilmek için yatak malzemelerinin yeterli derinlikte ve genişlikte olan alanlara yerleştirilmesi gerekmektedir. Malzemenin tane boyutu ve dağılımı, kanalın eğimine ve planına uygun olmalıdır. Erozyon ve akıntı oluşma olasılığı, uygun olmayan arazi şekli ve dolgu malzemesinden kaynaklanmaktadır. Drenaj sistemini madencilik öncesinde gözlenen seviyelere çekmek, erozyon potansiyelini azaltacaktır.

Kısa ömürlü (geçici) drenaj kanallarının rekültivasyonu, havzanın özelliklerine, topografyaya, eğime, substrata ve sediment yüküne bağlı olan akış karakteristikleri ile saptanmaktadır. Üst havzadaki drenajın kanalı beslediği ve bitki örtüsünün iyi geliştiği yerlerde, standart bir riprap kanalı veya gömülü kanal kullanılabilir. Drenaj kanalının aşırı miktarda kum içerdiği ve kısa süreli kullanılacağı durumlarda, kanal dizaynı, söz konusu şartları da yerine getirmek zorundadır. Yapılacak kanal düzeltmeleri, bunların yanındaki dik şevleri, istinat duvarlarını ve diğer yapıları riske sokmayacak şekilde yerine getirilmelidir.

Su kenarında büyüyen bitkiler ve yumuşak biyomühendislik yapılan geçici kanalların dizaynında rol oynayan kriterlerdir. Bunlar yeterli miktarda nem içerdikleri için kanala yeterli stabilite katacaklardır. Daimi sistemler için ise havuz/set oranı, kavis geometrisi ve kanal şekli büyük önem arz etmektedir. Geçici akıntılarda olduğu gibi bitki örtüsünün de katkısı vardır.

3.7.5 Kanallarda Stabilite Sağlama Yöntemleri

Riprap: Riprap farklı boyutlardaki taşlardan oluşan ve drenaj kanallarını stabilize etmede kullanılan özel bir karışımdır. Riprap, en çok geçici ve daimi akışlarda, bazen de kısa süreli akışlarda kullanılmaktadır. Rekültive edilmiş kanalın mobil özellikte olması, kumlu ve koloidal olmayan substrat içermesi durumunda riprapın etkinliği azalacaktır. Riprap malzemesinin, yoğun, çatlaklardan yoksun, aşınmaya karşı dirençli olması gerekmektedir. Kullanılacak malzemenin çoğunlukla köşeli taş ocağı kayacı olması zorunludur. Her bir taş tanesinin genişliği, uzunluğunun en az 1/3'ü

kadar olmalıdır ve bu amaç için yuvarlak akarsu taşları kullanılmamalıdır. Su ile temas ettiğinde kayaç çözünmemeli ve bozunmaya uğramamalıdır.

Gömülü Kanal: En sık olarak bitki gelişimine müsait kısa ömürlü kanallarda ve çevredeki alanlardan yoğun sediment akışı olmadığı alanlarda kullanılmaktadır. Rekülvite edilecek kanal mobil ve kumlu malzeme içeriyorsa, gömülü bir kanalın etkinliği düşecektir. Gömülü kanal inşası öncelikle riprap tipi bir kanal açılmasıyla başlar. Daha sonra bu kanal toprak ile kaplanıp bitkilendirilir. Burada da riprapta açılan problemlerin aynıları görülebilir, ancak daha ince taneler riprapdaki daha küçük boşlukları doldurarak stabiliteyi artırmaktadır.

Kaya Setleri: Kaya setleri tipik olarak kalıcı ve kesikli akıntılarda uygulanmakta olup, derinlik oluşturacağı için balıkçılıkta habitat çeşitliliğini artırmak amacıyla kullanılır. Bu setler aynı zamanda sediment tuzakları kurmak ve akıntının yatağını yükseltmek için de kullanılmaktadır. Bu setler ile ilgili problemler, setler akıntıları doğru yönde taşımayacakları zaman ortaya çıkmaktadır. Setin yanlış yerleştirilmesi, suyun hızlanmasına ve erozyonu artırmasına sebep olacaktır.

3.8 Toprakların Kullanımı

Toprağın kullanımı kurtarılması ve iyi saklanması yani orijinal halinde tutulması gelecekte yapılacak çevresel düzenlemeler için büyük önem taşımaktadır.

3.8.1 Toprağın Kurtarılması

Toprak, yer kabuğunun konsolide olmamış örtüsüdür. Toprak, bitki gelişimini teşvik edici yönde mineral ve organik bileşiklerden oluşmaktadır. Üst toprak genellikle toprağın en bereketli kısmı olup, besin maddeleri, mikroorganizmalar, tohumlar ve bitki kökleri içermektedir. Toprakların kurtarılması ve yeniden kullanılması, rekülvasyonun başarısını artıracak yönde yerine getirilmesi gereken yasal bir zorunluluktur. Toprağın kurtarılması, stoklanması ve yeniden yerleştirilmesi, büyük ekipman ve çok zaman gerektirmektedir.

Toprak Kurtarmanın Planlanması: Doğal onarım yapılan maden sahalarında edinilen tecrübelerle göre, tesviye, işleminden sonra yaklaşık 30 cm.'lik toprak serilmesi bitki gelişimini kuvvetlendirmektedir. Burada bitki köklerinin kazılmış örtü içine nüfuz edeceği düşünülürse, örtü tabakasının da en az 30 cm. kalınlığında hazırlanması zorunludur. Başka bir deyişle toplam bırakılacak derinlik 60 cm.'yi bulmaktadır. İşletmeciler arazide 30 cm. derinliğinde toprak ararken, kayaç topraklarını gözardı etmemelidir. Reklamasyonun amacı çevredeki araziye taklit etmek olduğuna göre, saf toprak örtüsünün içine kaya ve taş parçaları da dahil edilmelidir.

Bu kalınlığı elde edebilmek için arazinin bozulmasından önce toprakların bir etüdü yapılmalıdır. Bakir haldeki arazide görülen tüm bitki örtüsü, tuz kabukları, şeyller, mostralara ve dik şevler gibi tüm toprak engellemeleri kaydedilmelidir.

Madencilik aktivitesi başlamadan üst toprak malzemesi sıyrılarak alınmalı ve 30 cm.'lik kalınlık elde edecek şekilde saklanmalıdır. Üst topraktaki 5–10 cm.'lik değişim bile bitki gelişiminde farklılık yaratacaktır. Üst toprağın sınırlı olduğu bölgelerde tesviye edilmiş yüzey, bitki gelişimi için uygun tutulmalıdır. Birçok operasyon detaylı bir toprak araştırması yapılmasından faydalanacaktır. Böylesi bir araştırmanın amacı, sahadaki toprakların türünü, yayılımını, derinliğini, lokasyonunu ve kalitesini ortaya koymaktır. Bu araştırma, toprak planlama stratejisinde temel oluşturma açısından önemlidir. Araştırma bilgileri, toprak çukurlarından ve sahada düzenlenmiş kesitler üzerindeki delgi çukurlarından alınmaktadır. Bu çukurlar bilim adamlarına yöredeki toprağın horizonları hakkında bilgi sağlamaktadır. Her bir horizonttan veya 30 cm.'lik kısımdan alınan numuneler, pH, elektrik iletkenlik, doku, organik madde içeriği, su tutma kapasitesi, çözünebilir potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum ile toplam azot ve fosfor içeriği açısından incelenmelidir.

3.8.2 Üst Toprak Katmanının Stoklanması Ve Korunması

Uygun bir bitki gelişim ortamı, arazi rehabilitasyonu açısından olmazsa olmaz bir esastır. Topraklar özellikle kurak bölgelerde çok yavaş geliştikleri için, üst toprak

çok değerli bir kaynak olarak ele alınmalıdır. Üst toprak en iyi bitki gelişim ortamı olarak bilinip, bu yüzden de reklamasyon aşamasında kullanılmak üzere selektif olarak ele alınmalı ve muhafaza edilmelidir.

Herhangi bir madencilik faaliyeti başlamadan üst toprak ve yardımcı üst toprak dikkatlice yerinden alınmalıdır. Toprak kaynakları ya daha sonraki uygulama için bir yerde stok edilir, ya da aktif maden alanından alınarak tesviye edilmiş örtü tabakası üzerine derhal serilir. Canlı nakliyat olarak adlandırılan bu ikinci opsiyon, taze haldeki üst toprak, çeşitli bakteriler, canlı tohumlar ve bitki kökleri içermektedir. Bununla birlikte, birçok durumda, üst toprağın stok edilmesi, toprak kaynaklarının saklanması tek seçim olarak karşımıza çıkmaktadır. Arazide bozulacak alan miktarını en aza indirmek ve toprakla ilgilenmeyi azaltmak için şu önlemler alınmalıdır:

- Topraklara araçla yapılacak girişler öngörülmalıdır.
- Toprağın sıyrılması ve kurtarılması esnasında yerinde gözlem yapılmalıdır.
- Üst Toprağın alınması operasyonunda toz bastırma önlemleri alınmalı, tozlanmanın önüne geçilmediği durumlarda operasyon geçici olarak durdurulmalıdır.

Toprağın kontrollü bir şekilde alınabilmesi için aşağıdaki yöntemler uygulanmalıdır:

- Toprak sıyrma derinliğini sağlama almak için, arazide yer yer küçük üst toprak adalarından oluşan kaideler bırakılmalıdır.
- Alınacak toprağın derinliğini tutturabilmek için bir backhoe ekskavatör ile çukur ve hendekler kazılmalıdır.
- Bu sıyrma işlemini yerinde gözlemek için ziraat mühendisi bulundurulmalıdır.
- Ek olarak, bu tarz bir toprak sıyrma tecrübesi bulunan bir işletmeci sahada bulundurulmalıdır.



Şekil 3.9 Toprak sıyrılırken kaideler bırakılması

Üst toprak sıyrılıp stoklandıktan sonra nihai reklamasyona kadar bir daha rahatsız edilmemelidir. Stoklanan üst toprak kütlesi;

- Madencilik boyunca yerinde kalabilmelidir,
- Suya ve rüzgar ile gelen kirleticilere maruz bırakılmamalıdır.
- Sıkıştırmaya maruz bırakılmamalıdır.

Pratikte üst toprağın altta yatan alt topraklardan ayrılması, A horizonu (en üstteki organik katman) sığ olduğu için, hem A hem de B horizonlarının (A horizonunun altında bulunan ve organik+inorganik özellikteki katman) kurtarılması anlamına gelmektedir. Tam rekültivasyon anında, A ve B horizonları sıyrmanın tersi sırada bölgeye serilmeli ve böylece yerli toprak profili ikiye katlanmalıdır. Bu yapılacak çabalar rekültive edilecek arazinin verimliliğini artıracaktır.

Tarım yapılacak topraklar özel bazı muamele teknikleri gerektirmektedir. Üst toprak, 120 cm. derinliğe kadar kurtarılan alt topraktan ayrılır ve yine sıyrma sırasının tersi olacak şekilde serilir ve sahanın verimliliği artırılmış olur.

Toprak yapısı terimi, toprağın agrega stabilitesini ve boşluk sistemini açıklayan terim olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu terim önemli bir kavramdır, çünkü toprağın içindeki boşluk ağı suyu ve çözülmüş besinleri tutarken, hava girişine ve köklerin

toprağa penetrasyonuna olanak tanımaktadır. İyi kalitedeki toprak bile sıkışmaya maruz kalıp iç kısımdaki boşluk ağı kaybolmaktadır. Bunun sonucu olarak da toprağın yığın yoğunluğu artmaktadır. Toprağın kurtarılması ve geri serilmesi esnasında toprak yapısının muhafaza edilmesi ve sıkışmanın önüne geçilmesi büyük önem taşımaktadır. Toprak yapısı aşağıdaki bazı faktörlerden etkilenmektedir:

- Ele alınması: Toprağın yerinden hareket ettirilme sayısı minimize edilmelidir.
- Sıkışma: Üzerindeki araç trafiği minimize edilmelidir.
- Nem oranı: Toprakların çok kuru veya çok ıslakken ele alınmasından kaçınılmalıdır.

Toprağın iş makinaları ile ıslak veya kuru halde ele alınması, toprağın sıkışmasına veya toz haline dönüşmesine yol açacaktır. Bu iki durum da bitki gelişimini ciddi derecede etkilemektedir. Düşük su oranlarında, toprak gevrek bir yapıya bürünüp düşük basınçlarda bile ufalanmaktadır. Su içeriğinin artırılması, toprağın plastik davranış kazanmasına ve kırılmadan kalıplaşmasına neden olacaktır. Ekstrem şekilde ıslanması durumunda ise plastisite özelliği yapışkanlığa dönüşecek ve bu da toprağın alınması ve serilmesi esnasında sorunlar yaratacaktır. Bu yüzden topraklar sadece gevşek ve gevrek durumdalarsa veya nem içerikleri % 10–15 ise muamele edilmelidirler. Gevşek tutarlılık kavramı uyumlu olmayan kaba taneli toprakları ima ederken, kırılabilir tutarlılık ise parçalandığında ufalanan ince yapılı dokuyu kastetmektedir. Bu esaslarla ilgili pratikte şu 2 kural geçerli olmaktadır:

- 1) Toprak ekipmana yapışıyor, kuruyup gevrek bir yapı kazanıyorsa kadar beklenmelidir.
- 2) Toprak çok kuru ve sertse, aynı un örneğinde olduğu gibi bir miktar su eklenerek gevşek bir yapı kazandırılmalıdır.

Toprağın sıkışmasını hafifleten ve serilmesinden sonra yapısını koruyan doğal prosesler arasında, ıslanma-kuruma, donma-erime, kök penetrasyonu ve organik madde bozunumu bulunmaktadır.

Toprağın Stoklanması: Kurtarılan toprak güneye bakan alanlardaki güneşten korunacak, yüzey alanı maksimum hale getirilecek ve toprak derinliği minimum tutulacak şekilde saklanmalıdır. Ayrıca stok yığınları madenden gelecek tozlara karşı yalıtılmış olmalı, sellerden korunmalı ve zaman zaman rüzgardan ve su erozyonundan korumak için tohumlandırılmalıdır. Kısa vadede duracak yığınlar hızlı gelişen çim tohumları ile yeşillendirilerek toprağın iyileştirilmesi sağlanmalıdır. Eğer toprak yığını yerinde 1 yıldan daha uzun bir süre kalacaksa, çalılar ve otlardan oluşan bir karışım ile geçici olarak tohumlandırılmalıdır. Burada akılda tutulması gereken husus, saklama esnasında toprakta sürekli değişiklikler meydana geldiğidir. Kimyasal olarak, yığın, organik maddelerini ve gübrelerini kaybetmektedir. Biyolojik olarak, yararlı bakterilerin sayıları zamanla ve gömülme derinliği ile azalmaktadır. Yer solucanları azalmakta ve canlı tohumlar elimine olmaktadır. Fiziksel olarak ise, toprağın agrega stabilitesi de kaybolmaktadır. Son olarak toprak kompakt bir hale gelerek, yığın yoğunluğu artmaktadır.

İş makinelerinin neden olduğu sıkışmayı en aza indirmek için, ince tabakaların üzerinde defalarca gezinmek yerine bir defada kaldırma işlemi uygulayan operasyonlar tatbik edilmelidir. Ayrıca geniş ve sığ derinlikteki toprak yığınlarının daha çok bakteri, solucan ve canlı tohum içerdiği unutulmamalıdır.

Sıyrılan toprağın canlı olarak nakliyesi, stoklama işleminden doğan problemleri elimine etmektedir. Canlı nakliye tekniği, taze olarak kurtarılmış üst toprağın başka bir alanda tesviye edilmiş örtü tabakası üzerine direkt olarak uygulanması anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, verimliliğin, mikrofloranın ve tohum canlılığının bozulması önlenmiş olmaktadır.

3.8.3 Yedek Üst Toprak Alınması

Yedek üst toprak alınması, bazı durumlarda doğal onarım başarıya ulaşması için gerekli olmaktadır. Toprak tabakasının ince olduğu veya kirlendiği yerlerde, ayrıca maden pasasının toksik özellikte olduğu durumlarda, bitkinin kök salması için daha derin toprak gerektiğinden, bu koşullarda yedek üst toprak kullanılmaktadır.

Yedek üst toprak, alt topraklardan, jeolojik katmanlardan ve yan taşlarda oluşmaktadır. Üst toprağın yerine geçecek bu karışım, bitki gelişimini teşvik etmek ve madencilik sonrası arazi kullanımı amacıyla yerli toprak malzemesine yakın fiziksel ve kimyasal özellikler arz etmelidir. Yedek üst toprağın uygunluğunun değerlendirilmesinde başvurulan kriterler Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2 Toprak uygunluk tablosu

Özellikler	İYİ	ORTA	KÖTU
pH	6,1–8,2	5,1–6,1 ve 8,2–8,4	<4,5 >9
Elektrik iletkenliği (usiemens/cm)	0–4	4–15	> 15
Na Adsorbsiyon Oranı (%)	0–4	5–10	>12
Su Tutma Yeteneği (%)	> 0,10 iyi	0,05–0,10 düşük	< 0,05 çok düşük

Toprak sıyırılması operasyonlarından önce yapılan ön etüd ve gözlemlene, tesviye ve dolgu işlemleri esnasında yedek toprağın yüzeye serilmesi işleminin ana hatlarını tanımlayacak ve bu şekilde arzu edilmeyen malzemeler dolgunun içinde bırakılabilecektir.

3.8.4 Üst Toprağın Yerinde Muhafaza Edilmesi

Sıyırılıp alınmış toprak bir yere yığıldıktan sonra üstüne öncelikle jeotekstil bir örtü örtülmektedir. Daha sonra ise üzerine toksik ve çevreye zararlı madde içermeyen dolgu malzemesi örtülmektedir. Dolgu malzemeleri nihai doğal onarım safhasına dek yerinde kalabilmelidir. Doğal onarım sırasında dolgu malzemesi alınacak ve jeotekstil tabakanın üzeri açılmış olacaktır. Daha sonra ise bu tabaka alınarak orijinal toprak yüzeyi açığa çıkacak ve gevşetme işlemi ile muamele edilecektir. Son olarak toprak yüzeyi tohumlandırılıp yeniden bitkilendirilmektedir.

Üst toprağın bir dolgu malzemesi altında saklanması her ne kadar üst toprağın bir yığın içinde gömülü olarak stoklanmasına benzese de, ikisi aynı şey değildir. Yerinde koruma tekniği aşağıda belirtildiği üzere bazı çevresel faydalar sağlamaktadır:

— Toprak stoklanma süresince el değmeden kalabilmekte, rüzgar ve yağmur ile yitip gitmemekte, ayrıca çevreden ve madenden gelen tozlarla kirlenmemektedir.

— Kök ve kaya gibi kohezif malzemeler toprak içinde muhafaza edilerek bir yandan bitki gelişimi teşvik edilirken, öte yandan erozyon ve şev kayması potansiyeli azaltılmaktadır.

— Doğal onarım zamanında toprak türünün doğal çeşitliliği ve derinliği, bitki çeşitliliğini doğuracaktır.

— Bozulmamış şeyler ve yerli topraklar, çevreye doğal bir şekilde uyum sağlamış olacaktır.

3.8.5 Toprağın Serilmesi

Doğal onarım planına göre nihai düzeltme ve kazı işleri geliştirilmelidir. Üst toprağın serilmesinden ve tohumlama işlemlerinden önce, tüm riprap şablonları ve vahşi hayat habitat dizaynları pratiğe geçirilmelidir. Daha sonra ise toprağın geri serilmesi işi en faydalı tohumlama mevsimine denk gelecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Üst toprağın serilmesi prosesi, çoğu zaman erozyonu ve yabani otların gelişimini önleme adına, hızlı büyüyen yulaf, pirinç ve arpa türleri ile tohumlandırmayı da kapsamalıdır. Tercih edilen kök salma zonu, 30 cm.'lik kısmı üst toprak olacak şekilde yaklaşık olarak 60 cm.'dir. Ancak, heterojen bir peyzaj, toprakların çeşitliliğine ve derinliklerine de bağlıdır. Tüm sahaya dağıtılacak olan toprak miktarları, şu faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterecektir:

— Üst toprağın kolay temini, stoklanan toprağın veya canlı olarak nakledilen toprağın hacmi

- Yedek üst toprak temini, üst toprağın yerine geçebilecek şekilde tanımlanan toprak kütesinin stoklanmış hacmi
- Dikilecek olan bitki türleri, gerekli olan toprak derinliğini belirlemektedir.
- Öngörülen arazi kullanımı, dikilecek olan bitkilerin belirlenmesi
- Şevin dikliği, üst toprak serme yöntemlerini stabilite ve ulaşım açısından etkilemektedir.
- Örtü tabakasının ve dolgu malzemesinin niteliği, toplam ne kadar kalınlıkta örtü gerektiğini belirlemektedir.



Şekil 3.10 Üst toprağın geri serilmesi

3.8.6 Toprak Sıkışmasının Azaltılması

Birçok açık ocakta kullanılan makine-ekipman, toprak sıkışmasını önleyecek yönde düşük zemin basınçları yaratmak üzere tasarlanmamıştır. Bunların arasında skreyperler, en kompakt toprak şekline neden olmaktadır. Burada kompaktlaşma derecesi, iş makinalarının toprak üzerinden geçişini en aza indirmekle düşürülebilmektedir. Öte yandan greyderlerin, skreyperlere oranla zemin üzerindeki tekerlek basınçları daha düşüktür. Diğer araçlar arasında ekskavatörler ve toprağı taşıyıp boşaltan damperli kamyonlar sayılabilir. Zeminin tesviye edilmesi için alternatif olarak dozerler, toprak serimi ile yüzey ondülasyonunu sağlamak için de paletli ekskavatörler kullanılır. Toprağın sıyırılması ve yeniden serilerek dağıtılması

işlemlerinde ekipman trafiğini azaltacak diğer çözümler de, toprak sıkışmasını önlediği için arzu edilir durumlardır. Riperleme, derin oyma ve yüzeyi kabartma şeklindeki teknikler, toprak/pasa arasında düzgün bir bağ geliştirmek için ve hem toprakta hem de pasa yığınlarında sıkışmayı önlemek için kullanılmaktadır. Üst toprağın serilmesinden önce veya sonra şu teknikler uygulanmalıdır:

1) Üst Toprağın Serilmesinden Önce Yüzeyin Kabartılması

— Tekrar kazılan pasa ile serilen toprak arasındaki kayma zonunu ortadan kaldırmaktadır.

— Tekrar kazılan pasa içinde kompakt hale gelmiş tabakaları birbirinden ayırır.

— Toprağa nem ve kök penetrasyonunu hızlandırır.

Kullanıldığı yerler;

— Pasa niteliği zayıf bir ortam olarak sınıflandırılmış,

— Pasa ve üst toprak karışımı bitki gelişimine zarar verecekse,

— Serilecek üst toprak derinliği, kök penetrasyonu tesviye edilen pasalara ulaşacak kadar ise,

2) Üst Toprağın Serilmesinden Sonra Yüzeyin Kabartılması

— Tüm toprak/pasa sınırına ve profiline penetre edecek münferit ve derin bir operasyondur.

— Daha az kompakt horizonlara yol açmaktadır.

— Tohumların filizlenmesi için mikro çapta alanlar yaratmaktadır.

Kullanıldığı yerler ise;

— Pasa malzemesi kabul edilebilir bir kalitede ise,

— Pasa malzemesi serilen üst toprakla uyumlu şekilde karışıyorsa,

— Üst toprak derinliği kök penetrasyonuna müsaade edecek kadar sığ ise,

— Serilen üst toprak yeteri kadar derin ise.

3.8.7 Yüzeyin Hazırlanması

Tüm yüzey ve tohum yatağı hazırlığı, kabartılmış bir yüzey ile sonlandırılmalıdır. Yüzeyi kabartmanın, farklı iklim, topografya ve toprak şartlarında çok geniş kullanım alanları mevcuttur. Herhangi bir yüzey hazırlama işlemine girişmeden önce, topraklar gevrek bir yapıda bulunmalıdır. Toprağın iyileştirilmesi gerektiği zamanlarda bu işlemler, yüzeyi hazırlamadan önce yapılmalıdır.

Bir backhoe veya paletli ekskavatör vasıtasıyla yüzeyin aşırı şekilde ondülasyona uğratılması, mikrohavzalar yaratmaktadır. Paletli shovel, minimum yüksekliği 45 cm. olacak şekilde kazı yapmak, oyuklar açmak ve yığınları itmek için kullanılmaktadır. Bu havzalar yaklaşık 60 cm. derinlikte olmalı ve genişliği kepçenin genişliği kadar olmalıdır. Bu da havzaların 120 cm.'ye kadar bir genişlikte olmasını sağlamaktadır. En çok uygulanan yöntem, bir kepçe kadar toprağın kazılarak toprak yüzeyinin 40–60 cm. üzerinden tekrar yere dökülmesidir. Bu proses, gelişigüzel bir şekilde tekrar edilir ve suyun şevden aşağı akması neredeyse imkansız hale getirilir. Yüzeyi işlem görmüş olan topraklar, üzerinde yürünemez hale getirilmelidir. Bazı şeyi içeren sahalarda oyuklar kısa bir zaman zarfında sedimentlerle dolmaktadır. Bu yüzden, oyukların boyutları mümkün olduğunca geniş tutulmalıdır. Tam tersine yapışkan toprak şartlarının egemen olduğu sahalarda, oyuklar bu kez de su ile dolabilecekleri için fazla büyük tutulmamalıdır. Kabartma işlemi sırasında saman ve yoncalar bölgeye yayılarak toprak yüzeyine bağlanmaları sağlanmalıdır.

Böylesine kabarık haldeki yüzeylerde mibzer kullanılmayacağı için, tohumlar elle dağıtılmalı veya hidrotomhlama yapılmalıdır. Kurak iklimde sahip ve gevşek toprak yapısının bulunduğu yerlerde, tohumlama işlemine başlamadan önce toprağın oturmasını beklemek avantajlı olacaktır. Yöntemlerden birisi tohumun yarısını hemen elle toprağa saçmak, diğer yarısını ise oturma tamamlandıktan sonra toprak yüzeyine uygulamaktır.

Riperleme, backhoe ile kabartmanın ekonomik olarak yapılamayacağı kadar geniş alanlarda toprak kabartma tekniği olarak kullanılmaktadır. Riperleme aynı zamanda

kompaktlaşmış toprak tabakalarını kırmak için de kullanılmaktadır. Bu işlemde ekipman, şevin konturu boyunca hareket ederek 60 cm. ve daha fazla derinlikte ripperleme yapmaktadır. Burada dikkat edilecek husus, ripperleme ile tohum dağıtma işleminin aynı anda yapılması gerekliliğidir. Ripperleme işlemi esnasında toprak iyileştirme ve malç işlemleri de gerçekleştirilebilir.

Eğer ripperleme işlemi geniş toprak topakları bıraktıysa, sekonder olarak diskleme ile çift sürme tekniği kullanılmaktadır. Büyük topakları bir başka kırma tekniği ise tirmıklama tekniğidir.

Yüzey hazırlama tekniklerinden bir başkası, kontur sabanlaması ve teraslar oluşturulmasıdır. Saban sürmede en önemli kısıtlama, bu tekniğin ancak % 10'dan az eğime sahip şevlerde kullanılabilmesidir. Bu teknikte sabanlar, 90 cm. aralıkla ve 30 cm. derinlikte monte edilmelidir. Düz hat sabanlarından doğan görsel yarıklar on yıllarca bozulmadan kalıp, reklamasyonu doğal görüntüsünden uzaklaştırmaktadır.

Teraslar daha büyük oranda kontur sabanlarına benzemektedir. Bu teraslar şev neredeyse dik uzanan kanallar oluşturmakta ve böylece sedimentleri toplayarak fazla suyu maden sahasından kontrollü bir şekilde uzaklaştırmaktadırlar. Teraslar en çok büyük sahalardaki pasa yığınları için uygundur. Eğer teraslar kullanılacaksa, bunlar teraslar yeterli bir boyutlandırma ve drenaj eğimi için bir hidrolog tarafından dizayn edilmelidir.

3.8.8 Gübreler Ve Toprak Koşullandırıcıları

Yeniden serilen üst toprağın ve üst toprak yerine geçecek malzemenin besin miktarını artırmak, ayrıca fiziksel, kimyasal ve su tutma özelliklerini artırmak için toprağın iyileştirilmesi (meliorasyon) gereklidir. Toprak meliorasyon işlemleri arasında kimyasal gübreler, kanalizasyon çamuru, hayvan gübresi ve talaş yan ürünleri sayılabilir. Talaş yan ürünleri ve saman ile malç yapılması su infiltrasyonunu artırırken toprak sıcaklıklarını düşürmektedir. Hayvan gübreleri ve kanalizasyon çamurları sadece besin kaynağı olmayıp, aynı zamanda mükemmel

birer toprak koşullandırıcıdır. Toprağa eklenen organik maddeler, faydalı bakteriyel popülasyonların yaşamasını teşvik etmektedir.

Gübreleme Oranları: Genel bir uygulama olarak yerli bitki türlerinin gübre ihtiyaçları, agronomik türlerden daima daha az olmalıdır. Gübrelemenin gereğinden fazla yapılması yabancı otların gelişmesini artıracığı için, ufak miktardaki denemelerden sonra gübre miktarı tedrici olarak artırılmalı ve yavaş salınımlı gübreler kullanılmalıdır. Uygulama oranı olarak kurak iklim koşulları referans olarak alınmalıdır.

Gübreleme Metodları: Katı gübreler el ile dağıtılırken, sıvı gübreler yüzeye püskürtülmektedir. Gübre verme işi, yüzeyin hazırlanması esnasında kök zonuna nüfuz edecek şekilde yapılmalıdır. Aksi takdirde, azot uçup atmosfere karışmakta ve fosfor ise yalnızca toprağın ilk bir kaç santimetresinde sabitlenmektedir.

3.8.9 Toprak Yüzeyinin Stabilizasyonu

Bir şevin uzunluğu ve eğimi ile birlikte toprak türü ve yağış miktarı, yıllık toprak kaybını direkt olarak etkilemektedir. Bu toprak kaybını azaltabilecek teknikler arasında şunlar sayılabilir:

- Malç, kaya parçası ve ot molozu gibi faydalı örtü malzemesi uygulanması
- Konkav şevler ve aşırı kabartma gibi ekstrem işletme pratikleri uygulamak
- Ripperleme yaparak kompaktlaşmayı elimine etmek
- Yoğun yağmur ve kar erimesi olaylarında arazinin bu doğa olaylarına en az şekilde maruz kalmasını sağlamak

3.8.9.1 Biyokatıların Kullanımı

Diğer organik madde ilavelerinde olduğu gibi, biyokatıların (bileşik kanalizasyon çamuru) kullanımı toprak yapısını oluşturmada ve yüzeyi daha az sert bir hale

getirerek su tutmasını geliştirmekte ve böylece erozyon kontrolü sağlamaktadır. Günümüzde biyokatıların yaygın kullanım alanı bulma nedenleri şunlardır:

— Biyokatılar, üst toprak yetersizliği olan, atık malzeme barındıran ve örtü tabakası bulduran yerlerde mikrobiyal popülasyonu ve biyolojik aktiviteyi artırmaktadırlar.

— Biyokatılar yavaş salınımlı bir gübre türü oldukları için, 5 yıllık bir periyot için azot ihtiyacını karşılamaktadır. Bundan dolayı fazla miktardaki azot durumunda ortaya çıkan yabancı otları önlemektedir.

— Uçucu kül gibi ince taneli malzeme ile karıştırılan biyokatılar toprağa gevreklik ve geçirgenlik özelliği kazandırırken, atıkların ıslanma ve kuruma özelliklerini geliştirmektedirler.

— Dışarıdan getirilen toprak malzemesine göre biyokatı kullanımı çok daha ekonomiktir.

— Biyokatı uygulamaları, pH oranlarını yaklaşık 1 derece düşürülebilmektedir.

Biyokatıları kullanırken bazı kısıtlamalara dikkat etmek gerekmektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

— Biyokatılar donmuş veya karla kaplı toprağa uygulanmamalıdır.

— Biyokatılar çok dik şevlere uygulanmayacağı için erozyona daha açık bir durum ortaya çıkabilir.

— Uygulanması için minimum 1,5 m. derinliğinde bir su tablası ve yüzey

— Suları için de 9,3 m.'lik bir tampon bölme bulunmak zorundadır.

— Biyokatılar, içindeki metaller harekete geçeceği için düşük pH'lı topraklara uygulanmamalıdır.

Biyokatılar, içerdikleri ağır metal konsantrasyonlarına göre sınıflandırılmaktadır. İzlenmesi gereken metaller As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se ve Zn'dir.

3.8.9.2 Malç

Malç, koruyucu bir tabaka olup, organik veya inorganik bir maddedir. Saman, sap ve ağaç fiberi, geçici olarak şev yüzeyini stabilize etmekte ve erozyonu önlemektedir. Malç işleminin literatürdeki tanımı, bozulmuş olan bir toprak yüzeyinin bitki kalıntısı veya kaya parçası gibi başkaca elverişli malzeme ile kaplanarak toprak neminin korunması ve erozyonun kontrol edilmesi şeklinde ifade edilmektedir. İlk bir kaç yıl için etkili olup, daha sonra bozmamaktadırlar. Asıl kalıcı toprak stabilizatörü ise kaya parçalarıdır. Şayet bitkiler şevin stabilitesini sağlayamıyorsa, mutlaka ekstra oranda kaya molozu tatbik edilmelidir.

Malç, bitki gelişiminden ziyade erozyon kontrolüne yardımcı olarak görülmektedir. Malç maddesi, yağmur damlalarından oluşan darbeyi azaltmak ve tohumu bir zırh gibi örterek korumak için kullanılmaktadır. Malç aynı zamanda toprağa su infiltrasyonunu sağlamada ve tohumları yerinde tutmada da yararlı olmaktadır. Çıplak ve çorak yüzeyler, bitki gelişene dek malç ile koruma altına alınabilmektedir. Malç işlemi, üzerinde mutlaka toprak bulunduran, nispeten düz veya az eğimli şevler için uygundur. Bununla birlikte, dik şevlere de ağlar ve örtüler yardımıyla başarıyla uygulanabilmektedir.

Malç malzemesinin seçimi temel olarak saha şartlarına ve malzemenin temin edilebilirliğine bağlıdır. Saman, sap, organik moloz gibi organik kökenli malçlarla taş parçası gibi inorganik kökenli malçlar en çok tercih edilen malzemelerdir, çünkü bunlar etkin olup çevre ile uyumludur.



Şekil 3.11 Rekültive edilen yüzeylerde malç uygulaması

Kaya Parçası: Kurak bölgelerde toprak yüzeyini kalıcı olarak stabilize etmek için kayalar kullanılmalıdır. Kayalar ayrıca bitki örtüsü oranının % 40'dan az olduğu yörelerde evaporasyonu da azaltmaktadırlar. Toprağı riprap ile veya iri çakıl malçı ile kaplamak, özellikle radyoaktif atık bölgelerinde çok uygulanmaktadır. Zırh görevi gören bu kaya parçaları, yağmur tanesinin enerjisini soğururken, su akış hızını düşürür ve toprağa su girişini artırır. Kaya malçı ister tek başına bir katman olarak, istenirse de yüzey toprakları ile birlikte karıştırılarak tatbik edilmektedir.

Atıklar: Atık kelimesi, arazi bozulmadan önce kurtarılan bitki malzemesi anlamına gelmektedir. Bunlar ölü çalı ve ağaç parçalarıdır. Malç malzemesi olarak atık kullanılması erozyonu önlerken tohumları yerlerine sabitlemekte ve onları otoburlardan korumaktadır. Samanın ve sapın aksine, ortama rekabet gücü yüksek yabancı otlar getirmemektedir. Aynı zamanda atıklar nem miktarını yüzeyde sabitleyerek, şartlar uygun olduğunda tohumların filizlenmesini sağlamaktadır. Atık malzemesinin kullanımı için stok sahaları gerekmektedir.

Saman Ve Yonca: Bu malzemeler genellikle zemin yüzeyini % 80–90 oranında örtecek şekilde, hektar başına 4–5 ton olarak tatbik edilmelidir. Uzun lifli sapsar ve samanlar kısılarına oranla erozyon açısından daha avantajlıdır. Şayet malç malzemesi yüzey kabartma işlemleri esnasında toprağa bırakılmadıysa, tohumlamadan sonra uygulanmalıdır. Eğer malç uygulaması hidrotokumlama ile

yapılacaksa, ikisi eş zamanlı olarak toprak yüzeyine verilmelidir. Bu saman ve yonca malzemesi el ile veya saman üfleyici ile dağıtılmaktadır.

Ağaç Parçaları: Bir bölgede ağaç parçalarının malç olarak kullanılmasına karar verilip verilmeyeceği, bu kaynakların rekültivasyon sahasına uzaklığına bağlıdır. Ağaç parçaları samana nazaran daha yavaş bozunmakta ve daha uzun süreli bir toprak iyileşmesi sağlamaktadırlar. Bu ağaç parçalarının C/N oranı çok yüksek olup (615/1), bozunmaları bundan ötürü 8–15 yıl sürebilmektedir. Yüzeye uygulanacak ağaç parçalarından oluşan malç malzemesi 5 cm. kalınlıkta olmalıdır. Ağaç parçaları yerine talaş tozu kullanılması, nitrifikasyonu artıracığı ve bozunmayı hızlandıracağı için fazla önerilmemektedir.

Ağaç Lifleri: Ağaç lifleri aynı zamanda hidromalç olarak da bilinmektedir. Uzun lifli talaş, kağıt pulpuna göre daha büyük erozyon kontrolü sağlamaktadır. Uygulamada kolaylık sağlaması için hidromalç yeşile boyanmakta, fakat kısa sürede açık kahverengiye dönüşmektedir. Ağaç lifleri sulu çözeltiliye karıştırılmakta ve hektar başına 1150–2250 kg olacak şekilde püskürtülmelidir. Bitki bazlı reçineler ise, daha dik şevlere uygulama yaparken malç malzemesinin içine katılmaktadır.

3.9 Arazinin Yeniden Bitkilendirilmesi

Arazide herhangi bir teknik girişime kalkışmadan önce, arazinin başarılı bir yeniden bitkilendirme potansiyelinin ne olduğu araştırılmalıdır. Eğer saha yumuşak şevlerden ve kısmen de iyi kalitede topraktan oluşuyorsa, bu bölümde anlatılacak uygulamalar ile başarılı bir yeniden bitkilendirmeye ulaşılabilecektir.

3.9.1 Bitkilendirme Başarısı

Burada belki de en kritik eleman nem kavramıdır. Yıllık yağış miktarı 254 mm.'den az olan nispeten kurak yerlerde yapılan tohumlama işlemi problemlili olup, yeniden tohumlama teknikleri gerektirebilir. Bu orandan daha fazla yağış alan yerlerde ise standart bitkilendirme kuralları düzgün uygulanırsa, tohumlama işlemi

başarıya ulaşacaktır. Tohum seçimi arazinin sonraki kullanım planına ve istenilen bitki örtüsüne bağlıdır. Arazi şekilleri ve yeniden bitkilendirme, şu arazi kullanımlarına göre değişkenlik gösterecektir:

- Bina yapımı
- Hayvancılık
- Vahşi hayatı koruma alanları
- Endüstriyel kullanım
- Rekreasyon alanları

Bir sahadaki bitkilendirme maliyeti sert çevre koşullarından oldukça etkilenmekte olup, bu koşullardan bazıları dik şevler, zayıf topraklar, çok rüzgar alan sahalalar, düşük yağış alan sahalalar, zehirli ot potansiyeli olan sahalalar ve yüksek rakımlı yerlerdir.

Tohumlama yapılacağı zaman iyi bir planlama gerekmektedir. Gerçek tohumlama veya dikim işlemi yapılmadan en az 1 yıl önce nihai tohumlama planı netleşmeli ve dikilecek olan bitki tohumları mümkün olduğunca erken bir tarihte ısmarlanmalıdır. Tohumlanacak olan arazinin yüzölçümünün tam olarak bilinmesi, doğru miktarda malzeme siparişi açısından önemlidir.



Şekil 3.12 Terk edilmiş bir madende başarılı bir bitkilendirme çalışması (Almanya)

3.9.2 Bitki Türünün Seçimi

Ne tür bitki dikileceğine karar verilmesi için öncelikle bir liste hazırlanıp, bu listeye ilerideki arazi kullanımı, toprak özellikleri, yağış miktarı, rakım, sıcaklık ve civardaki bitki örtüsü gibi seçenekler dahil edilmelidir. Eğer yerli türler seçilecekse, bu türlerin mutlaka yöresel iklime, toprağa ve rakıma adapte olabilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte yüksek maliyetten dolayı, ayrıca toprak ve topografya gibi sürekli değişen fiziksel özelliklerden ötürü, çevredeki arazinin kopya edilmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Bu yüzden tohumlama yapılmadan önce seçilen türlere alternatifler geliştirilmelidir.

Atılacak tohum karışımları her bir yaşam formundan çeşitli türleri içermelidir. Tohum karışımında kullanılan yaşam formları, otlar, çalılar ve ağaçlardır. Tipik bir tohum karışımı her bir kategoriden en az 3 veya 4 tür içermelidir.

3.9.3 Dikim Miktarı

Tohumlama oranları, birim alana düşen ağırlıktan ziyade birim alana düşen tohum sayısına göre ayarlanmalıdır. Farklı türdeki bitkilerin farklı ağırlıkları olacağı için, ağırlığa bağlı bir tohumlama küçük tohumların fazla, büyük tohumların az miktarda dikimine sebep olacaktır.

Thornburg'un (1982) araştırmasına göre araziye 1 m² için en az 400 canlı tohum ekilmelidir. Horton et. al. (1989), etkin bir erozyon kontrolü için 1 m² başına 500–1000 tane tohum düşmesi gerektiğini savunmuşlardır. Doğal olarak tohumlama oranları, iklim, beklenen büyüme, rekabet ve otlayan hayvanların varlığı gibi diğer faktörlere de bağlı olmaktadır. Burada uygulanması gereken genel kural, mibzer ile tohumlama yapılırken tohum oranının % 50 azaltılacağıdır.

3.9.4 Tohumların İsmarlanması

Ekilecek olan tohumlar sipariş edilirken mutlaka isim yapmış satıcılardan alım yapılmalıdır. Bu yüzden pahalı mal satan kurumlardan kaçınmak büyük bir hata olacaktır. Burada asıl önemli olan konu paradan ziyade tohumların kalitesi ve kaynağıdır. İsmarlama işleminin öncesinde satıcıya şu bilgiler kesinlikle ulaştırılmalıdır:

- Dikim alanının lokasyonu ve rakımı
- Saf canlı tohum başına yapılacak istek miktarı
- Sertifikalı tohum sağlanması

Bundan sonraki aşamada ise, satıcı, alan planlamacısına şu bilgileri sağlamak zorundadır:

- Canlılık testi
- Saflık analizi
- Test tarihleri
- Tohumun orijini

Böylelikle kaliteli tohumlar, problemleri ayırık otlarının bulunmadığı ortamlarda çok daha kısa zamanda ve sağlıklı olarak gelişecektir. Dikimden önce 12–18 ay süre verilerek, kaynağı belli ve sertifikalı ürün almak mümkün olacaktır.

3.9.5 Tohumların Saklanması

Tohumlar kuru ve serin bir ortamda ve böcekler ile kemirgenlerden uzak yerlerde saklanmalıdır. Tohumların ömrünü kısaltan en önemli faktörler, saklamanın yüksek sıcaklık ve nem oranlarında yapılmasıdır. Eğer tohumlar kullanılmadan önce çok uzun süre saklanmışlarsa ve bilinmeyen şartlarda tutulmuşlarsa, söz konusu testlere yeniden tabi tutulmalıdırlar.

3.9.6 Tohumlama Zamanı

Genellikle tohumlama için sonbahar mevsimi tercih edilmelidir. Bunun nedeni, ilk tohumlamanın yılın en çok yağış alan mevsiminden hemen önce yapılmasıdır. Sonbaharda yapılacak bu tohumlamalar mümkün olduğunca geç yapılmalı (Ekim başından sonra) ve böylece filizlenmenin sonraki ilkbahara kadar başlamaması sağlanmalıdır. Sonbaharın ilk başlarında dikim yapmak, ağır kış koşullarından önce yeterli kök gelişimi olmayacağı için, oldukça riskli olmaktadır. Kış süresince özellikle kar örtüsünün olmadığı sert şartlarda, tohumların ölüm oranı artmaktadır. Eğer toprağın yüzeyi gevrek bir yapıdaysa, gevşekse ve donmamışsa, tohumlama kış mevsiminde de yapılabilmektedir.

Yüksek sıcaklıklara ve kurak iklime dayanıklı ılık iklim türleri filizlenmek ve büyümek için sıcak toprak şartları istemektedir. Bu yüzden sınırlı da olsa, bazen Ağustos başında bu türler için tohumlama gerekebilmektedir. Bir bölgede hem soğuk iklim hem ılık iklim tohumlaması yapılacaksa, yılda iki kez tohumlama yapılmalıdır. Ancak tohumlama sadece bir kez yapılacaksa, bunun yaz başında uygulama gerekmektedir.

3.9.7 Tohumlama Yöntemleri

Tohumlar el ile saçılarak veya makina ile (mibzer) ekilmektedir. Artemisia gibi bazı türler filizlenmek için ışığa ihtiyaç duyduklarından bunların yüzeye elle dikilmesi gerekirken, bazı türler daha derin bir büyüme zonu istemektedir. Bazı durumlarda bu 2 yöntemin kombinasyonu da kullanılabilir. Pratikte hangi tür nasıl bir ekim gerektiriyorsa, tohumlar o derinlikte ekilmelidir.

Tablo 3.3 Araziye göre tohumlama yöntemleri

Arazi Durumu	Delerek	Saçarak	Hidro	Havadan
Çayır	+		+	
Dik Şevler			+	+
Taşlı Topraklar		+	+	+
Küçük Alanlar (4 hektar)		+	+	
Büyük Alanlar (20 hektar)	+	+	+	+

Mibzer İle Tohumlama (Drill): Bu yöntem, tohumları, toprağın içinde önceden belirlenen derinliğe yerleştirmektedir. Tohumlayıcı makina, genellikle bir traktörün veya dozerin arkasında çekilmektedir. Tohum ekme makinası şu parçalardan ibarettir:

- Derinlik bantları ve baskı tekerlekleri
- Karıştırıcılar içeren çoklu kutular
- Tohum atan yerin arkasında bulunan ve eşit üst toprak kalınlığı sağlayan eklenmiş zincirler

Günümüzde engebeli arazide farklı boyutta tohum atmaya yarayan ve farklı tohum kutuları bulunduran hibrid tohumlama makinaları mevcuttur. Saçarak tohumlamanın yapılması gerektiği yerlerde selektiflik sağlaması açısından, mibzer ekipmanına bir siklon şekilli tohumlayıcı da eklenebilmektedir. Mibzer ile tohumlamanın dezavantajları, yüzey pürüzlülüğünü azaltması, düz hatlarda oluşan bitkiler üretmesi ve bazı türlere daha fazla yaşama şansı tanınmasıdır.

Saçarak Tohumlama: Saçarak tohumlama toprak engebesini koruyabildiğinden, birçok durum için en çok önerilen yöntemdir. Saçarak tohumlama yöntemi, tohumu toprak yüzeyine yerleştirmektedir. Tohum yatağı gevşekse ve ekstrem kabartma teknikleri kullanılmışsa, tohum genellikle çamurlaşmaya bağlı olarak farklı derinliklerde gömülmektedir. Eğer tohum yatağı kabuklu ise, yüzeyin tohumlama işlemi ile eş zamanlı olarak tırmıklanması gerekmektedir. Yüzey kabartma işleminden hemen sonra tohumlama yapılması, kabuklanma oluşmadan önce tohumu

yere sokacaktır. Tohumların çoğunun yüzeyde bırakılmaması gerekmektedir, aksi takdirde bu tohumlar kurumakta ya da hayvanlar tarafından yenmektedir.

Saçarak tohumlama elde tutulan veya siklonu olan bir ekipman ile yapılmaktadır. El ile yapılan tohumlamanın 12 dönüm kadar geniş alanlara dek maliyeti oldukça düşüktür. Daha geniş alanlar için ise tekerlekli araçlara veya helikoptere monte edilmiş siklon tipi tohumlayıcılar kullanılmaktadır.

Hidrotohumlama: Bir çeşit saçarak tohumlama yöntemi olup, tohumu tatbik etmek için taşıyıcı ortam olarak suyu kullanmaktadır. Köpüklenmeyi önlemek ve uygulayıcıya kolaylık sağlaması açısından, bu çamurda 5670 litre suya karşılık 45–135 kg oranında ağaç sapları bulunmalıdır. Gübre maddesi içindeki tuzlar tohumun filizlenmesini % 50 oranında azaltacağı için, tohum ve gübre bu çamur içinde karıştırılmamalıdır. Tohum, bu sulu çamura dikim işleminden hemen önce eklenmelidir ve tohumun su içinde 30 dk'dan fazla kalması önlenmelidir. Eğer daha fazla kalırsa kendi kendine filizlenmeye başlamakta ve tatbik edilirken zarar görebilmektedir.

3.9.8 Sulama

Rekültive edilmiş sahalarda yerli bitki gelişimi için sulama, sadece yıllık yağış ortalaması 254 mm.'nin altında bulunan kurak ve yarı kurak bölgelerde bitki büyümesini hızlandırmak için kullanılmaktadır. Yerli bitkiler sadece bahar aylarını taklit edecek oranda ve sadece ilk büyüme yılında sulanmalıdır. Sulamanın daimi olması gerektiği durumlarda rekültivasyon giderlerine ek maliyetler binmektedir.

3.9.9 Canlı Transplantlarla Bitkilendirme Yapmak

Transplantlar çoğunlukla çalı ve ağaç türlerinin gelişimi için kullanılmaktadır, ancak kurak yerlerde çabuk gelişim için çim kutuları kullanıldığı da görülmüştür. Transplantlar genellikle fidanlıklardan temin edilmektedir. Transplant yapmanın

yüksek maliyetinden dolayı, bu işlem sadece tohumdan kendi kendine gelişemeyen türler için söz konusu olmalıdır.



Şekil 3.13 Transplantlarla bitkilendirme yapılması

3.9.10 Bitkilendirmede Başarı Teknikleri

Bitkilendirmede başarı teknikleri, mikroorganizmalarla aşılama, yabancı ot kontrolü, otlamanın önlenmesi ve tekrar tohumlama olmak üzere 4 tane konuda incelenmektedir.

Mikroorganizmalarla Aşılama: Yonca gibi baklagiller düzgün Rhizobium bakterileri ile aşılmalıdır. Rhizobia, baklagillerle girdiği mutualistik bir ilişki sonucunda, atmosferdeki azotu bitkiler tarafından kullanılabilir hale dönüştürmektedir. Bu bakteriler sıklıkla yerli topraklarda zaten bulunmaktadır, ancak topraklar harmanlanınca veya üst toprak yerine başka malzemeler kullanılıncaya kaybolmaktadırlar. Bu yüzden tohum siparişi yapılırken Rhizobium ile aşılama yapılıp yapılamayacağı da öğrenilmelidir.

Mycorrhiza ise yine bitkilerle mutualistik bir ilişki içinde olup, hem kendi hem de bitkinin büyümesini artıran faydalı mantarlardır. Bu mantarlar, bitkinin kök hacmini 80 katına çıkararak bitkinin büyümesine yardımcı olmaktadır. Böylece bitkinin topraktan besin ve su absorplama kapasitesi gelişmektedir. Mycorrhiza sporları rüzgârlarla aşılacaktır ve rekülvite edilmiş birçok saha yıl içinde doğal olarak aşılacaktır. Özellikle kozalaklı ağaçlar için ticari mycorrhiza aşılı da mevcuttur. En yaygın ticari tipi *Pisolithus tinctorius*'dur. Ticari olarak veya lokal olarak yapılacak Mycorrhiza aşılması, gelişmekte olan bitkinin kök zonuna bizzat yerleştirilmelidir. Bu aşılama yapılırken gübre takviyesi yapılması önerilmez, çünkü topraktaki yüksek azot ve fosfor oranları bu mantarların bitkiye bulaşmasını engelleyebilmektedir.

Yabani Ot Kontrolü: Yabani otlar her rekülvite edilmiş alana gelebileceği için, en baştan optimum yeniden bitkilendirme tekniğinin kullanılması, arzu edilen bir bitki örtüsü elde etmeye yardımcı olacaktır. Devedikeni ve kazayağı gibi türleri kontrol altına almak, şayet yörede asıl arzu edilen türler mevcutsa, çoğunlukla gerekli değildir. Bu yüzden böylesine yöreler tekrardan tohumlanmamalı veya yabancı ot içeren bölge hemen bozulmamalıdır. Böyle bir operasyon milyarlarca yabancı ot için iyi bir tohum yatağı yaratacaktır. Yabani otlar sıklıkla bir rekülvasyon çalışmasının parçası olup, kontrol genellikle zorunlu değildir.

Yine de gerekli görüldüğü yerlerde uygulanması gereken yabancı ot kontrol yöntemleri şu şekilde sıralanabilir:

- 1) El ile koparmak, hayvan otlatma gibi kültürel yöntemler
- 2) Böcekler ve hastalıklar kullanarak kontrol altında tutmak
- 3) En son seçenek olarak ise bitki ilaçları kullanılmalıdır, çünkü bunlar toksik madde içermektedir. Hedefe göre ilaç belirlenmeli ve bu seçilen ilaç mümkün olan en düşük dozlarda verilmelidir.
- 4) Yabancı otların önlenmesi belki de en kolay ve en ucuz yoldur. Zaten sağlıklı kurulmuş bir bitki topluluğu yabancı otları kendi bünyesinde barındırmayacaktır.

Otlatmanın Önlenmesi: Yeniden bitkilendirilen bir alanın öncelikli olarak korunması, bu çalışmanın başarısını etkileyen ilk faktördür. Transplant ağaçlar hayvanlara çok lezzetli gelmektedir ve tavşan, kedi, köpek, geyik ve kemirgenlere karşı çok hassastırlar. Transplantların üzerine rijit yapıda bir tüp veya konik plastik yerleştirmek, otlatma etkilerini azaltacaktır. Tohumlanmış araziler yine belli bir stratejisi bulunmayan büyükbaş hayvancılıktan uzak tutulmalıdır. Büyükbaş hayvanların geçişini önleyici olarak çitler kurulabilmektedir. Bitki gelişiminin ilk yıllarında yapılacak otlatmalar dikkatlice izlenmelidir.

Tekrar Tohumlama: Yeniden bitkilendirme çabaları ilk tohumlamadan sonra en az 2 yıl geçmeden başarısız sayılmamalıdır. Bu süre daha kurak bölgeler için 3–4 yılı bulabilmektedir. Tohumlamanın başarısızlığa uğraması, en kurak bölgeler dışında tüm alanlarda 1 m. içinde ortalama olarak birden az tür bulunması durumunda olmaktadır. Genç fidelerin gözlenmesi, yabancı ot barındıran sahalarda oldukça güçtür. Görüntünün net olabilmesi için donma olayından sonra ve bahardaki açimlardan önce gözleme yapılmalıdır. Kritik olan ekim alanlarında gecikmeden tekrar tohumlama yapılmalıdır. Bu işlemi yaparken tüm saha yerine bölgesel ve noktasal tohumlama uygulanmalıdır. Gelecekteki diğer tohumlamaların da başarısız olmaması için ilk tohumlamada yapılan hatalar iyi analiz edilmelidir. Burada detaylı şekilde analiz edilmesi gereken noktalar şunlardır:

- Yıl normalden daha mı kurak geçti?
- Bahar normalden daha mı kurak geçti?
- Tohumlar test edilmiş miydi?
- Bölgeye en iyi adapte olabilecek türler ve kaynaklar seçilmiş miydi?
- Bölge tohumlayıcı tarafından unutulmuş muydu?
- Tohumlar kuş ve veya kemirgenler tarafından yenilmiş miydi?
- Tohumlar rüzgar ve su erozyonuna maruz kalmış mıydı?
- Dikim zamanı doğru seçilmiş miydi?

3.10 Çöktürme Havuzları

Çökeltme havuzları ve siltleşme yapıları, yüzey sularına yapılacak sediment katkısını minimize etmek için kullanılmaktadır. Çökeltme havuzları suyun hızını azaltarak toplarlar ve böylece tabana sedimentlerin çökmesini sağlarlar. Çökeltme havuzlarının bir başka faydası ise, drenaj alanından yüzey suyuna olan maksimum akış hızını azaltmasıdır. Çökeltme havuzları, toprak malzemedan yapılan bir bent ile kazılabilir veya inşa edilebilir. Birçok amaç için bu havuzların doğal drenajların dışında yer alması önerilmektedir. Açık işletme metodu kullanılan madenlerde çökeltme havuzu genelde ocak çukurudur ve bozulmuş arazideki drenaj bu çukura doğru yönlendirilmelidir.

Bir çökeltme havuzu ile su tutma yapısı arasındaki en büyük fark, boyutu ve işlevidir. Su tutma ve siltleşme yapıları daha küçük boyutta olup, bunlar sedimentler havuza gitmeden önce onları toplamak için kurulan yardımcı yapılardır. İnşa edilecek çökeltme havuzlarının, bozulmaları durumunda insan hayatına, civardaki binalar ile otoyollara zarar vermeyecek bir noktada seçilmeleri gerekmektedir.

BÖLÜM DÖRT

UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİNİN MADENCİLİKTEKİ ÇEVRESEL ETKİ BELİRLEME ÇALIŞMALARINDA UYGULANMASI

Ekonominin önemli sektörlerinden biri olan madencilik, ulusların sosyo ekonomik kalkınmaları için gerekli olan enerji ve sanayinin temel hammaddelelerini sağlayan tüm faaliyetleri kapsamaktadır.

Madenler, ülkelerin doğal kaynaklarından biri olup, giderek artan talepleri karşılamak yüzünden de işletilmeleri kaçınılmazdır. Ancak kullanılmakta olan maden çıkarma metotlarına bakılmaksızın, her türlü maden işletmeleri yoğun olarak arazi bozulmalarına ve doğal çevrenin tahribine sebep olmaktadır.

Madencilik işletmeleriyle doğal kaynaklar olan madenler ve mineraller insan refahı için bir taraftan ekonomiye kazandırılırken, diğer taraftan ekolojik çevreye verilen büyük tahribat ve zararları çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Faaliyetlerin yapıldığı alanlarda ve özellikle açık işletme yöntemi ile çalışılan sahalarda, çalışmalar bittikten sonra topografya, jeolojik yapı, röliyef, su rejimi, iklim ve peyzaj tamamen değişmekte ve bitki örtüsünün de tahrip olmasına neden olmaktadır. Madencilik faaliyetleri sonucu iki tür çevre bozulması söz konusudur.

— **Doğrudan Bozulma:** Maden ocakları çalışma sahalarındaki örtü ve atık yığınları ile madencilik binalarının inşa edildiği diğer alanlardaki toprak ve bitki örtüsünün yok edilmesi sonucu meydana gelir.

— **Dolaylı Bozulma:** Eski maden hafriyat yerleri, örtü ve atık yığınları, maden binaları ile mineral zenginleştirme tesislerinin bulunduğu yerlerde toprak yapısı, su ilişkileri, kimyasal özellikler, toprak ve bitki örtüsü, yerel iklim, insan ve hayvan sağlığının değişime uğraması gibi olaylar görülebilir.

4.1 Madencilikte İşletme Metotları

Toprak ve çevre bozulmasının karakteri, madencilik yapılan bölgenin tabiatına ve uygulanan madencilik metotlarına bağlıdır. Maden işletmelerinde çok çeşitli metotlar kullanılmasına rağmen, bu metotlar genel olarak iki ana başlık altında incelenmektedir.

4.1.1 Açık Maden İşletmeleri

Jeolojik yapı, röliyef ve su rejimindeki doğrudan değişiklikler açık maden işletmelerinde çok daha belirgindir. Bu tür işletmelerde çok miktarda toprak çıkarılarak dış kısma yığılır. Hafriyat yerlerini çoğu zaman su basar ve dışarıya yığılan topraklar çok geniş alanları kaplar. Aynı zamanda tarım ve orman alanları da engellenmiş olur.

Açık işletmelerin zararlı etkilerinin boyutu; jeolojik yapıya, hidrolojik özelliklere, ocak alanı ve derinliğine, mevcut toprak, bitki örtüsü ve iklim şartlarına bağlıdır. Dış kısımdaki yüksek yığınlar, toprak ve bitki örtüsünü önemli ölçüde bozarlar.

Yığınlarda toplanan kayaçlar bozulmaya fazlasıyla direnç gösterirler ve bitki örtüsüne zehirli bileşikler verebilirler. İşletme sonrası hafriyat yerleri, derinlikleri, eğimlerin dikliği ve kayalık olması, su erozyonu ve su basması gibi sebeplerden dolayı, bu alanların yeniden kullanılmaları çok güçtür.

4.1.2 Yeraltı (Kapalı) Maden İşletmeleri

Açık işletmelere göre yeraltı maden işletmeciliği çok daha pahalı ve zor olmasına rağmen, madenin cinsine ve bulunduğu derinliğe bağlı olarak uygulanan bir metot olup, bu tür metotla yapılan maden işletmeciliği büyük miktarlarda arazi bozulmalarına sebep olabilmektedir.

Yeraltı madenciliğinin doğrudan değişiklikleri atık yığınları ve pasalarla olduğu gibi üretim ve işletme tesisleri tarafından da meydana gelmektedir. Röliyef su rejimi, ekolojik ve ekonomik şartlardaki en büyük bozulmalar, çökmüş ocaklarda görülmektedir.

Bu tür maden işletmelerinde kayaçların birkaç metreye varan yatay veya dikey hareketleri meydana gelebilir. Bu durum ise, sel basması veya toprağın dağılmasına neden olur. Etkilenen maden alanları tümüyle iyileştirilemez hale gelerek kullanım değeri düşer. Toprak çöküntüleri ve kaymalar ayrıca hizmet binaları, yeraltı ve yerüstündeki tesislerin tamamı için tehlike kaynağı oluştururlar.

4.1.3 Cevher Hazırlama Ve/Veya Zenginleştirme Tesisleri

Yeraltından çeşitli metotlarla çıkarılan madenler, mineral atıklarıyla beraber çıkarıldığı için mineral dokusuna ulaşınca kadar kırma, öğütme ve eleme işlemine tabi tutulmaktadır. Eleklerden geçirildikten sonra silolarda depolanmaktadır. Buraya kadar tüm madenlerde aynı işlemler uygulanmaktadır. Bundan sonra zenginleştirme işlemine geçilmektedir.

Cevherin yapısına göre önce sulu sistem zenginleştirme ile mineral atıkları temizlenir. Her değişik tür cevheri zenginleştirmek için farklı metotlar uygulanır. Örneğin, demir cevherinin zenginleştirilmesi yüksek ısıda olur. Sonuç olarak zenginleştirme; yeraltından çıkarılan maden cevherinin fiziksel, kimyasal ve minerolojik işlemlere tabi tutularak cevherin pasadan ayrılmasıdır.

Sulu sistem zenginleştirme sonucu ortaya çıkan sıvı atıklar ise sedimentasyon havuzlarına ihtiyaç gösterirler ve bu nedenle pasa barajlarında toplanırlar. Sıvı atıkların depolanması çoğu zaman su ilişkileri ve tuzlanmada etkili olurlar ve tarımsal zehirli metallerin veya maden cevherini işlemede kullanılan kimyasal atıkları bulundurabilirler. Aşırı dolu sedimentasyon havuzları oldukça zararlı ve tehlikelidir. Bunların etkileri ile hidrostatik basınç artar ve atık baraj duvarlarının çökmesi veya sızıntı olması durumunda çevrede doğrudan büyük tehlike

oluşturabilirler. Genellikle yüksek düzeyde tuzun ve bitki örtüsü için zararlı diğer metallerin bulunması, atık barajındaki drenajla ilgili güçlükler nedeniyle, sulu pasa çamurunun iyileştirilmesi işleri oldukça sorunlu bir durum meydana getirilebilir.

4.1.4 Madencilik Faaliyetleri Sonucu Bozulan Arazinin Sınıflandırılması

Madencilikle ilgili arazi ve çevre bozulmalarını kapsayan sınıflandırmalar, uygulanan madencilik metotlarına bağlı olarak meydana gelen toprak ve çevre bozulması esas alınarak yapılmaktadır. Bunlar;

- a. Cevher hazırlama (zenginleştirme) sonucu, toprak ve çevrenin bozulup kirlenmesi,
- b. Yüzeysel madenciliği sonucu meydana gelen arazi bozulmaları,
- c. Sıyırma madenciliği sonucu oluşan arazi bozulması,
- d. Açık maden işletmeciliği sonucu meydana gelen toprak ve arazi bozulmaları,
- e. Yeraltı (kapalı) maden işletmeciliğine bağlı olarak ocak çökmeleri ve ocak ağızlarında biriken atıkların sebep olduğu arazi ve çevre bozulması olarak sayılabilir.

Bir başka kritere göre, ıslahı gereken madencilik alanlarının sınıflandırılması şu şekilde yapılmaktadır;

- a. Maden ocaklarının işletme süreleri,
- b. Madencilikle ilgili arazi bozulma biçimleri,
- c. Madencilik sonrası, hafriyat yeri ve atık yığınlarının şekilleri,
- d. Arazi ve toprağın iyileştirilmesi ve eski haline getirilme yöntemleri,
- e. Su rejimi olarak sıralanmaktadır.

4.2 Uzaktan Algılama Yöntemini Araziye Uygulama Aşamaları

Sayısal görüntü, bilgisayara belirli bir zaman aralığında piksel olarak aktarılmaktadır. Bilgisayar, her bir piksel için elde edilen bu verilerin, belli bir program yardımı ile oluşan sonuçlarını kaydedebilen yada ek programlar yardımıyla

ileri işlemlere tabi tutabilen yeni sayısal görüntülerin oluşmasını sağlamaktadır. Sayısal görüntülerde farklı özellik tipleri, doğal spektral yansıtma ve yayma özelliklerine bağlı olarak farklı sayısal değerler içeren kombinasyonlar oluşturmaktadır. Bu farklılıktan yararlanılarak aynı spektral özellikleri taşıyan yeryüzündeki nesnelere gruplandırılabilir. Sınıflandırmada amaç uydu görüntülerindeki her pikseli spektral özelliklerine göre farklı gruplara ayırmak ve pikseli yansıtma değerlerine göre yeryüzündeki karşılık geldiği kümeye atmaktır. Sınıflama işleminde dikkat edilecek hususlar şunlardır (Musaoğlu, 1999).

- Algılayıcı, algılama zamanı ve spektral bantların amaca uygun olarak seçimi,
- Yeryüzü özelliklerini ortaya koyabilecek kontrol alanlarının seçimi,
- Amaca yönelik sınıflandırma algoritmasının seçimi,
- Belirlenen bu özelliklerin tüm görüntüye uygulanması ve görüntülenmesi,
- Sonuç görüntülerinde doğruluk değerlendirmelerinin yapılması gerekmektedir.

Değişim belirlemenin bir yolu da sınıflandırma sonrası karşılaştırmayı kullanmaktır. Bu yaklaşımda görüntüler bağımsız şekilde sınıflandırılır ve kayıt edilir. Daha sonra her iki görüntü arasında değişen pikseller belirlenerek sonuçları ortaya konulur (Lillesand ve Kiefer, 1994).

4.3 Metodoloji

Yapılacak olan çalışmalarda öncelikle Çalışma bölgesindeki maden ocaklarının yoğun bulunduğu cevher havzasının mevcut topografik yapısı ile ilgili bilgiler toplanarak bu bilgilerle arazi dikkatli bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu bölgedeki açık ocakların eski ve yeni imalat planları elde edilmelidir. Daha sonra havzadaki yeraltı ocaklarının yerleri belirlenerek ve üretim yöntemleri ve üretim planları hakkında bilgi edinilmesi sağlanmalıdır. Yeraltı ocaklarının üretim planlarına göre tasman beklenen potansiyel bölgeler belirlenerek bu alanlardaki çevre sorunu oluşan yerler tespit edilmelidir. Ardından bölge ile ilgili uydu fotoğrafları elde edilerek ve fotoğraflar üzerinde çalışılarak görüntüler bilgisayar yazılımları ile işlenmesi gerekmektedir. İşlenen görüntüler daha sonra yine bilgisayar yazılımı

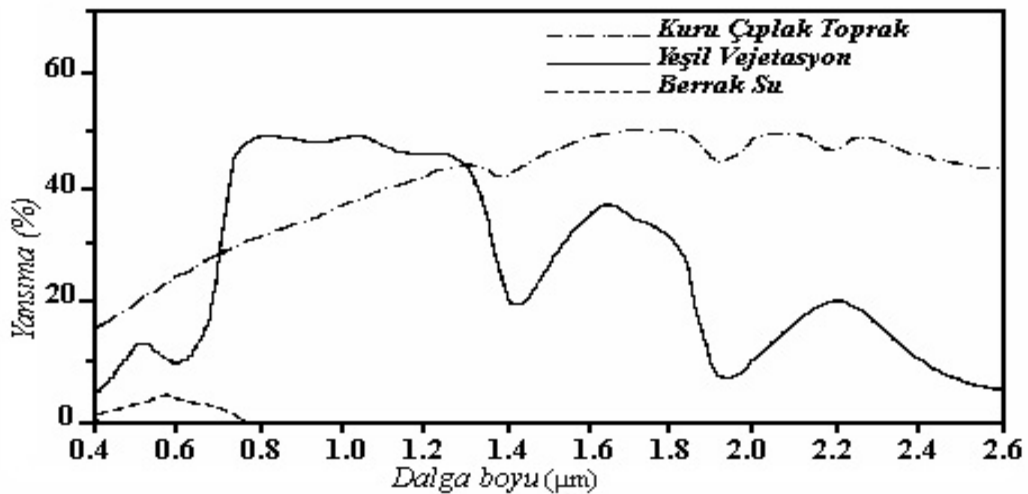
yardımı ile analiz edilmelidir. Alınan uydu görüntüleri aynı alanın belirli farklı zaman dilimlerinde alınmış görüntüleri olacak ve bu sayede o alandaki çevresel değişimleri hakkında bilgi sahibi olunması şarttır. Daha sonra uydu fotoğraflarının işlenmesiyle elde edilen veriler ile yeryüzü hareketleri belirlenecek yapılan çalışma sonucu açık ocaklarda, ocakların belirli bir süre bazında genişlemeleri ve kısa dönemlik ocaklardaki çevresel değişimler belirlenecektir. İşlenen fotoğraflarla aynı zamanda yeraltı ocaklarından kaynaklanan tasman alanlar ve bu alanların büyüklükleri belirlenmelidir. Gerekli olması durumunda araziye gidilerek tekrar topografik ölçümlerin yapılması planlanmalıdır.

4.4 Uzaktan Algılama Tekniği İle Bitki Örtüsü Analizi

Atmosferde yutulmayan, saçılmaya uğramayan radyasyon, yer yüzeyine ulaşmakta ve etkileşime uğramaktadır. Enerji yer yüzeyine çarptığında yutulma, geçirilme ve yansıma şeklinde üç etkileşim meydana gelmektedir. Toplam gelen enerji, bu üç halin bir veya bir kaçı yoluyla yüzeye etkileşmektedir. Bunlardan her birinin oranı, enerjinin dalga boyuna, materyal ve niteliklerin durumuna bağlı olarak değişmektedir. Yutulma; radyasyonun (enerji) hedef tarafından yutulduğunda, Geçirilme; radyasyonun hedef içinden geçtiğinde, Yansıma; radyasyonun hedefe çarparak geri dönüp yönü değiştiğinde meydana gelmektedir. Uzaktan algılamada ise en çok ilgilenilen husus; hedeften yansıyan radyasyonun ölçülmesidir. Yansıma, tam ve dağılan yansıma olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmıştır. Düz bir yüzeyde tam yansıma olmakta ve enerjinin hepsi yüzeyden tek bir yönde geri yansımaktadır. Yüzey engebeli olduğunda dağılan yansıma meydana gelir ve enerji neredeyse aynı biçimde, bütün yönlerde yansır. Yer yüzeyinin büyük bir kısmı, tam ve tam dağıtıcı yansıtıcı arasında bir özelliğe sahiptir. Gelen radyasyonun dalga boyundan ziyade objenin yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak hedef radyasyonu, hem tam hem de dağılan biçimde veya bu ikisinin arasında bir biçimde yansımaktadır.

Dalga boyları, yüzey varyasyonlarından veya yüzeyi oluşturan kendine özgü partiküllerin büyüklüklerinden çok daha küçük olduğunda dağıtıcı yansıtma egemen olacaktır. Cisimlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile görünür bölgelerde oluşan

spektral değişiklikler, renk diye adlandırılan olgunun ortaya çıkmasına neden olur. Birçok uzaktan algılama sistemi, temelde yansıma enerjisinin ağır bastığı dalga boyu bölgesinde çalıştığından cisimlerin yansıtma özellikleri çok önemlidir. Her cisim yansıtma özellikleri bakımından farklılık gösterir ve bu davranış spektral yansıtma eğrisi denilen bir eğri ile gösterilir (Şekil 4.1). Spektral yansıtma özellikleri belirli spektral bölgelerde farklılık gösteren cisimler, bu bölgelere duyarlı uzaktan algılama görüntülerinde farklı sayısal renk değeri ile temsil edilir. Bu nedenle cisimlere ait spektral yansıtma özelliklerin bilinmesi, belirli bir uygulama için gerekli uzaktan algılama verisinin elde edilmesi gereken dalga boyu bölgesinin seçiminde önemli rol oynar (Teillet vd., 1997; Jusoff ve Manaf, 1995).



Şekil 4.1 Üç farklı materyalin ortalama yansıtma eğrisi

Nesnelerin spektral yansıtma özellikleri oldukça çeşitlilik göstermektedir. Aynı tür nesnelere dahi, zaman ve konumuna bağlı olarak farklı yansımalarla sahip olabilmektedir. İnceleme konusu olan nesnelerin spektral yansımalarını etkileyen faktörlerin anlaşılması, nesne ile elektromanyetik radyasyonun etkileşiminin doğru biçimde yorumlanması için önemlidir.

NOAA uydu görüntülerinde, bant-1 (kırmızı) ve bant-2 (yakın kızılötesi)'nin çeşitli matematiksel kombinasyonları, yeşil vejetasyon varlığının hassas bir göstergesi olarak bulunmuştur. Metodolojide yapılacak çalışmalarda NDVI [Normalized Difference Vegetation Index, (Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Fark

İndeksi) (Rouce vd., 1973)] kullanımı çalışma yapılacak bölgedeki madencilikten dolayı oluşan yeşil alanlardaki değişimin incelenmesi için bu indeksten faydalanılmaktadır.

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R); (Rouce \text{ vd.}, 1973)$$

NIR: Yakın Kızıl Ötesi Bandı,

R: Kırmızı Bandı

NDVI biofiziksel bir özellik olup, bitki örtüsünün fotosentez faaliyetiyle bağıntılıdır. Buna ek olarak, bitkinin canlı olup olmadığının göstergesi koşuldur (Wang ve Tenhunen, 2004).

Tucker'ın (1979) araştırmalarında NDVI değerlerinin -1,0'le +1,0 arasında değiştiğini fakat bitkilerin 0,1 ile 0,7 arasında değerler aldığı ve yüksek indeks değerleri canlı bitki örtüsüyle orantılı olduğunu belirtilmiştir. Diğer bir yaklaşımla NDVI indeks değerleri teorik olarak (-1) ile (+1) arasında değişmektedir. Yeşil bitki örtüsünün fazla olduğu alanlarda indeks değeri +1'e doğru yaklaşırken, bulutlar, su ve kar düşük (eksi) NDVI indeks değerlerine sahiptir. Çıplak toprak ve zayıf vejetasyon ise sifıra yakın NDVI değeri gösterir. Tarımın yoğun olduğu bölgeler gözlemlendiğinde yüksek değerde, düşük NDVI değerlerine sahip alanlar kuraklık, aşırı rutubet, hastalık ve zararlılar gibi çeşitli nedenlerle zayıf bitki gelişiminin olduğu alanları işaret etmektedir. Yüksek NDVI değerleri ise sağlıklı bitki gelişiminin olduğu alanları göstermektedir.

Fotosentetiksel olarak aktif olan bitki örtülerinde yüksek yansıma göstermektedir. Bundan dolayı fotosentetiksel olarak aktif bitkilenme için NDVI değerleri pozitif olmaktadır. Havanın bulutlu olması ve su bölgelerinde NDVI değerleri sıfır veya negatif değerler vermektedir.

Türkiye’de önceden yapılmış çalışmalarda ve uydu görüntüleri üzerinde 4 tip bitki örtüsü bulunmuştur ve NDVI analizi yapılarak bitki örtüsü tiplerindeki değişimler saptanmaktadır.

Tablo 4.1 Bitki örtüsü yoğunluğu değişkeninin sınıflandırılması ve puanlandırılması

KOD	BİTKİ ÖRTÜSÜ YOĞUNLUK SINIFLANDIRMASI	YENİDEN PUANLANDIRMA DEĞERLERİ
1	Az Yoğun	100
2	Orta Yoğun	75
3	Yoğun	50
4	Çok Yoğun	25

Birçok bitki örtüsü indeksi elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın kızılötesi bölgelerinden tayfsal bitki örtüsü karakteristiklerini zenginleştirmek için kullanılabilir. Bu indeksler genellikle biokütle veya yaprak alanı indeksleri gibi bazı biyofiziksel parametrelerle ilişkilendirilir (Shimabukuro Y. E., 1996).

Bu bant aritmetiği, elektromanyetik tayfın yakın kızılötesi (near infrared) ve görünen kırmızı (visible red) bantlarına dayalıdır. Muhtelif bantları seçerek yapılan analiz çalışması esnasında, bitki analizi için default olarak yakın kızılötesi ve görünen kırmızı bantlardan bilgi sağlamaktadır.

Bitkiler özellikle yakın kızılötesi bölgede yansıma yaparlar. Bitki ve su arasındaki kontrastlık bu bölgede görünmektedir. Tayfın görünen kırmızı bandında; bitki, çıplak arazi, kayalık arazi ve insan yapısı cisimler çok iyi kontrastlık sağlamaktadır. Çıplak veya satıhtaki insan yapısı cisimlere göre bitkiler, tayfın görünen kırmızı bandına eğilim göstermektedirler, bu nedenle koyu renkte görünmektedirler. Çıplak veya satıhtaki insan yapısı cisimler ise, tayfın bu kısmında açık renkte ve parlak görüntü vermektedirler.

NDVI değerlerinin hesaplanmasında başka bir yöntem ise, farklı bantların sayısal numara (DN) değerleri kullanılmaktadır. Bir DN değeri, veri bandındaki bir pikselin değeridir. Ayrıca DN değeri, atmosferin ve yeryüzünün ne kadar radyasyon emdiğine

ve sensöre ne miktar yansımaya geri gönderdiğine bağlı olarak değişmektedir (İşlem Şirketler Grubu, 2002).

NDVI, aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilmektedir;

$$NDVI = [(NIR-VIS)/(NIR+VIS)] \times 255$$

NIR; yakın kızılötesindeki yansımaya,

VIS; görünür bölgedeki yansımaya tanımlar. (Shimabukuro, Y. E., 1996).

“NDVI” hesaplama yöntemi kullanıldığında, bitki örtüsünün bulunduğu sahalar göze çarpacak şekilde gösteren, tek bantlı siyah-beyaz bir görüntü meydana gelmektedir. Hesaplamalar sonucunda; bitkiler için 0,1–0,6 aralığında bitki indeksi değerleri elde edilmektedir. Muhtelif özelliklere ve bantlara göre hesaplanmış değerler tablo 4.2 ‘de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Bantlara göre NDVI değerleri (ERDAS imagine, 2002)

ÖZELLİK	YAKIN KIZIÖTESİ DEĞERİ	GÖRÜNEN KIRMIZI DEĞERİ	SONUÇ NDVI DEĞERİ
Bitki	Yüksek	Düşük	Yüksek
Bulut/su/kar	Düşük	Yüksek	Negatif
Kayalar/çıplak toprak	Yüksek	Yüksek	Sıfıra Yakın

Bitki indeksinin “0” değerinden küçük değerleri için bitkiye karşılık gelmeyen pikselleri, (0–1) arasında değişen değerler ise bitki yoğunluğu bulunan pikselleri temsil etmektedir. Bitki indeksi bulunduktan sonra “0”dan küçük değerler, “0”a taşınmaktadır (Körümdük, 2003).

4.4.1 Bitki Örtüsünün Spektral Yansımaya Karakteristiği

Yeryüzü objeleri içinde uzaktan algılama yöntemiyle en kolay ve sağlıklı olarak tanımlanıp, incelenmesi mümkün olanı bitki örtüsüdür. Bunun en önemli nedeni

algılayıcı ile bitki örtüsü arasında görüntü kalitesini etkileyebilecek herhangi bir nesnenin yer almamasıdır. Ayrıca önemli bir faktörde, bitki türlerinin kendine özgü tipik yansıma göstermesidir. Bitkiler hücre yapılarına, yaprak ve yüzey genişliklerine, yapılarında buldukları su miktarına ve doğal ortamlarındaki konumlarına göre çeşitli dalga boylarındaki ışınları kendilerine özgü bir şekilde absorbe eder ya da yansıtırlar. Her bir bitki türü kendine özgü hücre yapısı ve doğadaki duruş şekline sahiptir. Böylece bitki türlerinin birbirinden ayırt edilebilmeleri mümkün olmaktadır. Genel olarak bitkiler, görünür ışın bölgesi denilen 0,4–0,7 μm dalga boyundaki ışınları absorbe etmektedir. Kızılötesi ışınlar ise çok düşük oranda absorbe ederlerken çok büyük bir bölümünü yansıtırlar (CCRS, 2003; Teillet vd., 1997).

Kızılötesi ışınların bitkilerce güçlü fakat farklı oranlarda yansıtılmaları, algılanması ve analiz edilmesi açısından çok büyük kolaylık sağlamaktadır. Örneğin; iğne yapraklı türlerden oluşan bitki örtüsü, yapraklı türler ve yoğun çayırılık veya tarımsal alanlardaki bitki örtülerine göre kızılötesi ışınları daha düşük oranda yansıtırmaktadırlar.

4.4.1.1 Görülebilir Işın Bölgesi (0,4–0,7 μm)

Görünür bölgede (0,4–0,7 μm) yaprakların pigmentasyonu dominant faktördür. Burada yansıma klorofil, karoten, ksantofil ve antosyanis gibi yaprak pigmentleri tarafından kontrol edilmektedir. Görünür spektrumun mavi ve kırmızı bölgelerinde yansıtım çok düşüktür. Çünkü yapraktaki klorofil, yaklaşık olarak 0,45 ile 0,65 μm . arasında merkezlenmiş bu dalga boyu bantlarından gelen enerjinin çoğunu yutmaktadır. İki klorofil-yutma bandı arasındaki dalga boylarında bağıl bir yutma kaybı, yaklaşık 0,54 μm . de bir yansıtım tepe noktası oluşmasına neden olur ki, bu yeşil dalga bölgesidir. İşte bu dalga boylarındaki düşük yutulma; normal, sağlıklı yaprakların gözümüze görünmesine neden olmaktadır. Eğer bir bitki stres altında ise ve klorofil üretimi azaldıysa, klorofil-yutma bantlarında daha az yutulma olmakta ve özellikle spektrumun kırmızı bölgesinde daha fazla bir yansıma sahip

olacaklarından, sarımsı veya "klorotik" renkte gözükecektir (Matkav ve Sunar, 1991).

Bu bölgede bitki yapraklarındaki pigmentlerin ışığı fazla soğurmaları nedeniyle düşük yansımaya olmaktadır, bu nedenle 0,4–0,7 μm . bölgesi pigment soğurma dilimi olarak tanımlanır. Soğurma özellikle mavi ve kırmızı ışığın bitki yapraklarında süredenen fotosentez işleminde kullanılmasından ileri gelmektedir. Yeşil dalga enerjisinin önemli bir miktarı ise geri yansıtılmaktadır. Bunun sonucu olarak, yaşayan bitkiler yeşil görünmektedir.

Klorofil dışında ilgilenilen diğer pigmentlerden Karotenler ve ksantofiller (sarı pigmentler) genellikle yeşil yapraklarda bulunur ancak spektrumun mavi bölgesinde bir yutma bandına sahiptir. Bir bitki yaşlandıkça klorofil genellikle kaybolur. Bu da karotenlerin ve ksantofillerin dominant olmasına neden olur ki ağaç yapraklarının sonbaharda sarı renk almasının temel nedeni budur. Aynı şekilde sonbaharda klorofil üretimi azaldığında bazı ağaçlar fazlaca antosyanin üretir ve bunun sonucunda da yaprakları açık kırmızı görünüm almaktadır (Matkav ve Sunar, 1991).

4.4.1.2 Yakın Kızılötesi Bölgesi (0,7–1,3 μm)

Spektrumun bu bölgesinde soğurulma çok az, yansımaya çok yüksek olduğundan bitki türüne bağlı olarak arasında yansımaya oranı (%30–70) değişmektedir. Geri kalan enerjinin yüksek bir miktarı ise yaprak içine iletilmektedir. Soğurulma ise spektrumun bu bölgesinde minimum olmaktadır. 0,3–1,3 μm . dalga boyları arasında bitkiden yansımaya, daha çok bitki yapraklarının iç yapısından etkilenmektedir. Bitki türlerinin iç yapı yönünden önemli farklılıklar göstermesi nedeniyle, bu bölgedeki yansımaya ölçümleri, görülebilir dalga boylarında aynı görülen bitki türlerini dahi ayırt etmeye olanak sağlamaktadır.

Sağlıklı yeşil bitki örtüsü, yakın kızılötesi bölgesinde (0,7–1,3 μm .), görünür dalga boyları ile karşılaştırıldığında, çok yüksek yansıtım (yaklaşık: %45'den %50'ye kadar), çok yüksek geçirgenlik (yaklaşık: %45'den %50'ye kadar) ve çok düşük

yutulma (%5'den az) ile karakterize edilmektedir. Bitki yapraklarının iç (hücre) yapısı çok karmaşıktır. Yakın kızılötesi bölgesindeki yansıtımı kontrol altında tutan en önemli etken bu içyapı olmaktadır.

1,3 μm .’den 0,7 μm .’ye doğru spektrumun yakın kızılötesi bölümünden görünür bölgeye gidilirse sağlıklı vejetasyonda meydana gelen yansıma artmaktadır. 0,7–1,3 μm .’deki bitkilerin yansıma oranları birinci olarak bitki yapraklarının içyapılarından olmaktadır. Bu yapı bitki türlerinde oldukça değişken olduğu için, yansımanın bu bölgede ölçülmesi bitki türleri arasındaki tanımlamaları kolaylaştırmaktadır. Burada görünür bölgedeki dalga boyları çok benzer olsa bile, bu işlemler çok kolay gerçekleştirilmektedir. Benzer şekilde, bitkilerin çoğu bu bölgede yansımalarını çok değişik şekillerde yapmaktadır ve alıcıların bölge düzenlemeleri sık sık vejetasyon etkilerini belirlemede kullanılmaktadır (Lillesand, 1990).

Dalga boylarının 1,3 μm .’daki enerjisi boyunca yaprakların yansıması genellikle toplam olarak yaprak içerisinde bulunan su muhtevası ile ilişkili olmaktadır. Bu toplam değer yaprağın hem içeriğinin hem de kalınlığının bir fonksiyonu olmaktadır (Lillesand, 1990).

Çok sayıda yaprak tabakası, tek bir yaprak yansıtımı ile karşılaştırıldığında, spektrumun yakın kızılötesi bölgesinde (%85’e kadar) daha yüksek yansıma neden olmaktadır. Bunun nedeni toplamsal (aditif) yansıtımdır. İlk (en üst) yaprak tabakasından geçirilen ve ikinci bir tabakadan yansıyan enerji, ilk tabakadan kısmen tekrar geçirilir. Örneğin, kendisine gelen yakın kızılötesi enerjinin %50’sini yansıtan ve yaklaşık %50’sini geçiren bir yaprak göz önüne alınırsa; geçirilen enerji, ikinci yaprak tabakasına gelir ve burada bunun yarısı (ilk enerjinin %25’i) tekrar geçirilir ve yarısı da yansıtılır. Daha sonra bu yansıyan enerji, bu enerjinin yarısını (yani orijinalinin %12,5’i) geçiren ve yarısını yansıtan en üst yaprak tabakasından tekrar geçer. Bu iki tabakalı örnekte, en üst yaprak tabakasından gelen toplam enerji, içeri giren enerjinin %65’i olmaktadır (Matkav ve Sunar, 1991).

4.4.1.3 Kızılötesi Bölgesi (1,3 μm 'dan daha fazlası)

Orta kızılötesi bölgesinde (1,3–2,7 μm) bitkilerin su muhtevası spektral yansımaya etki eder. 1,4 μm .–1,9 μm .–2,7 μm . yakınında oluşan güçlü su yutma bantları, yeşil bitki örtüsünün spektral duyarlılığında dominanttır. Yansıma eğrisi bu kısımlarda çukurluklar gösterir. Orta kızılötesi dalga boylarında yansıtım tepe noktaları ve su yutma bantları arasında, yaklaşık 1,6 μm . ile 2,2 μm . de oluşur. Gelen güneş enerjisinin bitki örtüsü tarafından yutulma derecesi yaprakta mevcut su miktarının bir fonksiyonudur. Yansıtım ile yapraktaki su muhtevası ters orantılı olup, su muhtevası da yaprak kalınlığı ile orantılıdır. Yaprakların nem oranı azaldıkça, orta kızıl ötesi bölgesindeki yansıtım artar. Yapraklar nem kaybettikçe hücre yapılarında oluşan değişim yakın kızılötesi yansıtımı da etkilemektedir (Matkav ve Sunar, 1991).

Bu bölgede bitki örtüsü üzerine gelen enerji esas olarak ya yansıtılmakta ya da soğurulmaktadır. Bitki dokuları içinde iletimi ya çok az olmakta ya da hiç olmamaktadır. Yansımada azalmanın 1,4–1,9 ve 2,7 μm . dalga boylarında bitki yapraklarında bulunan suyun, gelen enerjiyi ileri derecede soğurması söz konusudur. Soğurmanın meydana geldiği bu bantlar arasında yer alan 1,6–2,2 μm . dalga boylarında yansıma en üst düzeye çıkmaktadır. Spektrumun bu bölgesinde yansıma, yaprakların toplam su yüzdesi ile yakından ilişkilidir. Bu toplam su yüzdesi yaprağın hem kalınlığı hem de nem içeriğinin bir fonksiyonudur (CCRS, 2003).

4.5 Açık İşletme Madencilğinde Uzaktan Algılama Yönteminin Çevresel Etki Belirleme Çalışmalarında Kullanımı

Açık ocak işletmesi şeklinde yapılan madencilik faaliyetlerinde sadece jeolojik, teknik ve ekonomik faktörlere bağlı kalınarak işletmeye açılan maden ocakları çevreyi, işletme sırasında ve sonrasında ekolojik, ekonomik ve estetik yönden ciddi boyutlarda etkilemektedir. Bu etkiler bulunduğu alanın çevresel faktörlerine, alt yapıya, alınan önlemlere ve yerin iklimsel özellikleri ile işletme esnasındaki meteorolojik koşullara göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak maden ocakları

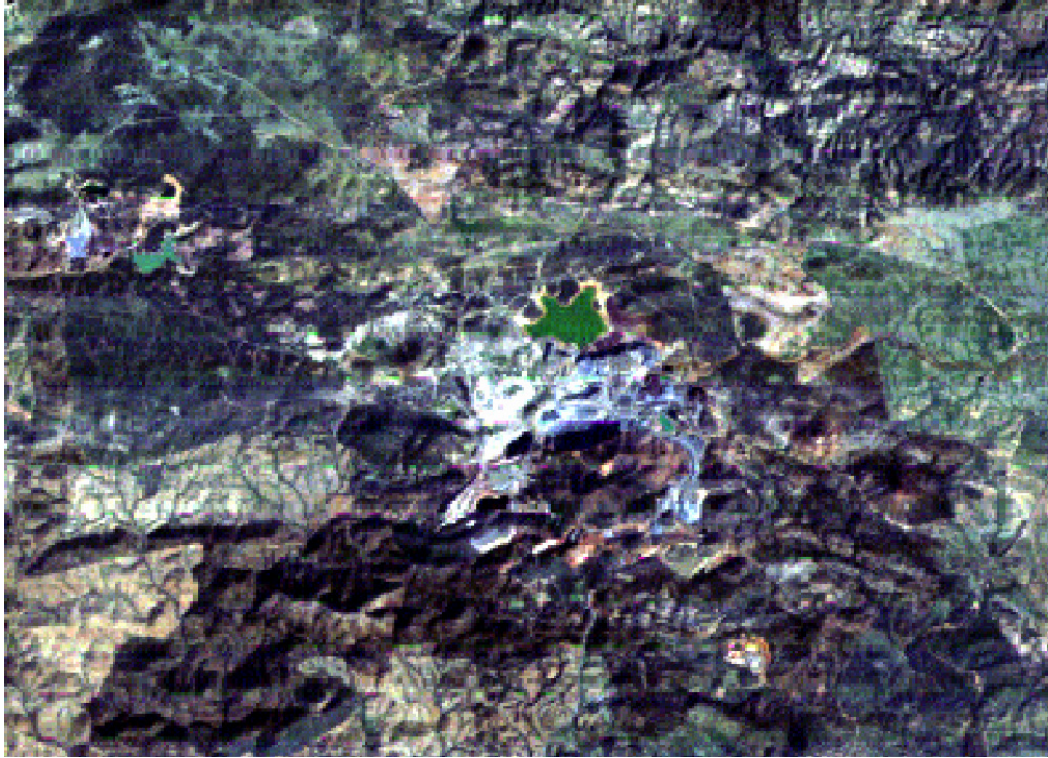
ile jeomorfoloji ve görsel peyzaj değerlerinde değişim; bitki örtüsünün ve üst toprağın kaldırılması; su rejiminde değişiklikler, patlatma sırasındaki yer sarsıntıları, gürültü, toz ve taş fırlamaları; ripperleme, yükleme, boşaltma, kırma, taşıma sırasında meydana gelen toz; artık ve atıkların rüzgar ve su ile taşınması ve şantiyenin atık kirliliği gibi etkilerle çevreye zararlı olabilmektedir.

Uzaktan algılama çalışmalarında açık ocak genişlemelerinin (değişimin) takibi için yapılan araştırmalar için birbirinden farklı birçok algoritma geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu algoritmalar iki ana başlık altında incelenebilir. İlki ham görüntü bantlarının kullanıldığı ve hücre hücre karşılaştırmayı içeren farklı zamanlara ait ilgili görüntü bantlarının oranlaması veya görüntü bantlarının farklarının alınması yöntemleridir. İkinci grup yöntemler ise görüntüleme yapılmış olan analiz sonrası karşılaştırmayı içeren yöntemlerdir. Bu yöntemler sınıflandırma sonuçlarının karşılaştırılması, bitki indeksinin karşılaştırılması ya da temel ana bileşenler farklılığı analizleri gibi analiz sonrası değişim takibi metotlarıdır. Bu yöntemlerde farklı yıllara ait görüntüler analiz edildikten sonra tekrar hücre hücre farklılıklar araştırılmaktadır. Bu analizlerin doğru şekilde yapılması için görüntülerin geometrik rektifikasyon analizlerinin çok iyi şekilde yapılmış olması gerekmektedir. Bu işlem her bir görüntünün birbirine göre doğru şekilde oturmasını sağlayacaktır. Değişim analizleri öncesi yapılan bu çalışmalar geometrik rektifikasyon yanında atmosferik düzeltme analizleri, mekansal ve spektral çözünürlük eşleme analizleri de gerekmektedir.

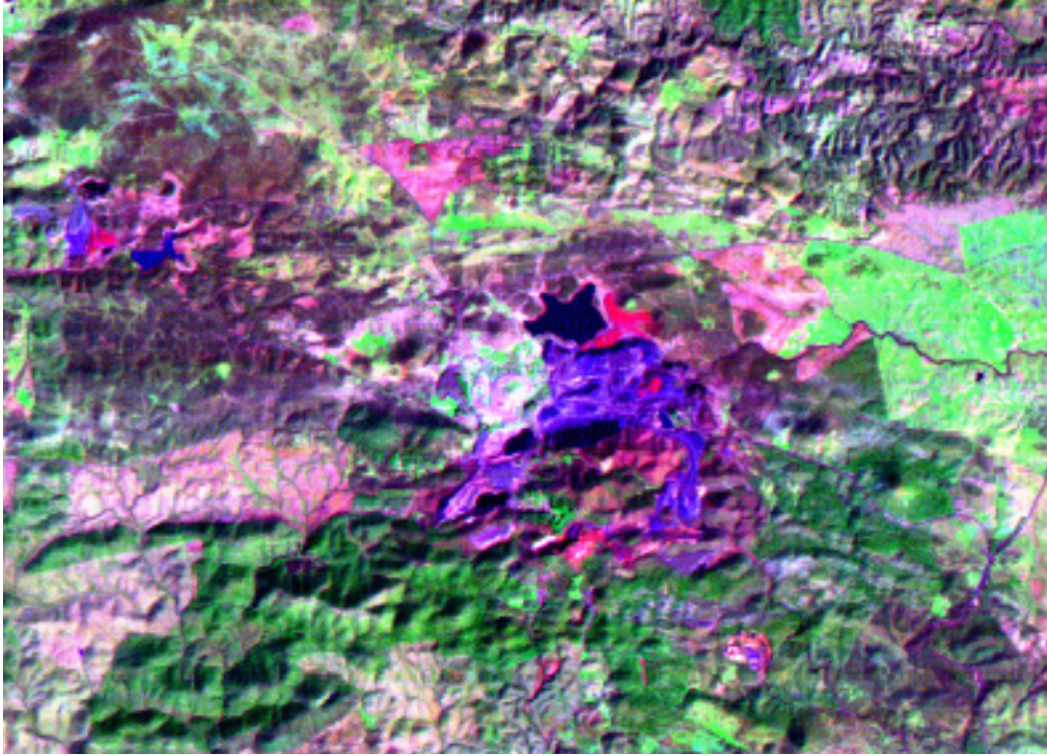
Açık Ocularda başka inceleme olarak arazi değişimlerinin incelenmesi için üç farklı değişim izleme metotlarından yararlanılmaktadır. Bunlar fark analizi, eğitimli sınıflandırmaya farklılığı ve temel bileşenler analizi (TBA) farklılığıdır. Değişim belirleme algoritmalarını uygulamadan önce, ön analizlerin yapılması mecburidir. Genel olarak ön analizler iyi şekilde yapılmış görüntü rektifikasyonu, atmosferik düzeltme ve spektral ve mekansal çözünürlük ayarlamalarını gerektirmektedir.

Maden ocaklarında meydana gelen alansal ve zamansal değişimi incelemek için, Uygulanan her bir değişim algoritması sonrası elde edilen değişim görüntülerinde

değişim alanları çok büyük değerlerin olduğu yerlerde ve değişimin olmadığı yerler ise sıfıra yakın alanlarda yer alması söz konusu olmaktadır. Belirlenecek eşik değeri bu nedenle oldukça kritik ve her uygulama için benzer bir metodla bu eşik değeri belirlenmelidir. Çalışmalarda değişim alanlarını belirlemek için, değişim görüntüleri üzerinde, birinci derecelik standart sapma için sınıflandırma yapılmış ve ortalamadan sapan ilk iki standart sapma eşik değeri değişimin olduğu alanlar olarak belirlenmesi uygun olmaktadır.



Şekil 4.2 Madencilik faaliyetleri yapılmadan önceki görüntü (TKİ)



Şekil 4.3 Madencilik faaliyetleri yapıldıktan sonraki işlenmiş görüntü (TKİ)

Şekil 4.2 ile şekil 4.3 karşılaştırıldığında açık ocak işletmesi madencilik faaliyeti yapılırken ve yapıldıktan sonraki görüntülerde alansal ve zamansal değişim görülmektedir. Bu görüntülerde gözlenen alanın bitki örtüsünde ve topografyadaki değişim alansal olarak bulunması gelecekte yapılacak doğa onarım çalışmaları için önemli bir rol üstlenmektedir.

4.6 Yeraltı (Kapalı) Maden İşletmelerinin Yer yüzeyine Oluşturacağı Etkilerin Uzaktan Algılama Yöntemi İle İncelenmesi Ve Değerlendirilmesi

Madenlerin yeraltı üretim yöntemleri ile çıkarılması sonucunda meydana gelebilecek boşluklar, üretim yöntemine göre, ya dolgu ile doldurulmakta ya da boşluk olarak bırakılmaktadır. Özellikle dolgusuz üretim yöntemlerinde, cevher damarının üzerinde askıda kalan kaya kütlesi, yerçekimi kuvvetinin etkisiyle zaman içerisinde yenilmekte ve bu boşlukları dolduracak şekilde aşağıya doğru hareket etmektedir. Bunun sonucunda, örtü tabakasının yapısına, kalınlığına ve oluşan

boşluğun büyüklüğüne bağlı olarak yüzey topoğrafyasında üç yönlü yer değiştirme hareketi ortaya çıkmaktadır.

Yeraltı boşluğu üzerindeki kaya kütlelerinin, özellikle düşey yönde bu boşluğu doldurması şeklindeki yer değiştirmesine “tasman” adı verilmektedir ve bu değişimin yerüstü yapılarına zararını en düşük seviyelere indirmek için kontrol ve takip edilmesi önemli olmaktadır. Özellikle tasman oluşumu genellikle yeraltı kömür madenlerinde karşımıza çıkmaktadır. Tasman, birçok doğal ve yapay etmenlerin ortak bileşenleri sonucu, zemin içinde ve yeryüzünde, yer değiştirmeler ve birim deformasyonların ortaya çıkmasına neden olan karmaşık bir oluşumdur. Bu oluşumun bölgesel davranışı, yeryüzü ve yeraltı ortamlarında etkin gözlem yöntemleriyle incelenebilmekte, buna göre maden bölgesinin tasman özellikleri saptanabilmektedir.

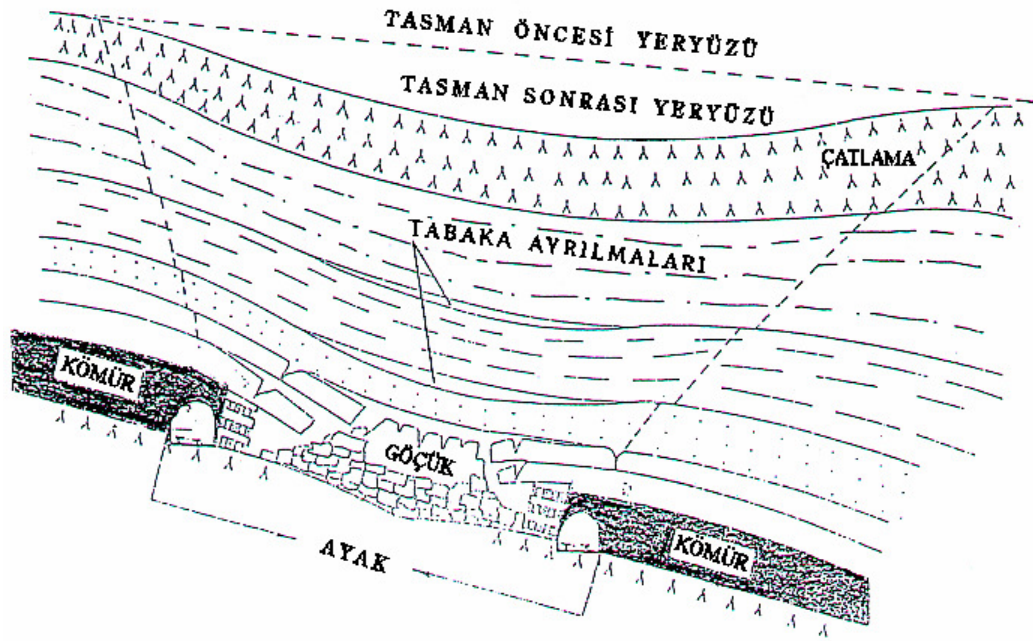
Meydana gelen bu hareket, üretim üzerindeki yapılarda, yol, kanalizasyon gibi altyapı tesislerinde, madenlerdeki önemli tesislerde hasarlara, yeraltında göçüklere, zemin hidrolojik dengesinin bozulmasına, yeryüzündeki jeodezik ağlarda deformasyonlara ve mülkiyet yapısının değişmesine neden olmaktadır.

Tasman, genellikle üretim yapılan boşluğun boyutları ve madencilik koşulları gibi değişken, zeminin jeomekanik yapısı ve tabaka özellikleri gibi sabit etmenlere göre değişim göstermektedir. Böylece, üretimlerin artması ile daha derinlere inen madenler, yeryüzünde daha geniş bir alanı tasman etkisi altına almakta, bu durumda çeşitli sorun ve zararları da gündeme getirmektedir. Bu zarar ve sorunların azaltılabilmesi için:

- Tasmanın belirlenmesine yönelik gözlemler (ölçme çalışmaları),
- Tasman tahminleri üzerine çalışmalar,
- Hasar ve zararlara karşı alınabilecek önlemler geliştirilmelidir.

4.6.1 Kömür Madenciliğinde Tasman

Milyonlarca yıllık zaman kesitinde çeşitli tektonik hareketlenmeler ve çevresel koşullar sonucu yeraltında oluşmuş cevherin; yapılan madencilik çalışmalarıyla insanlık hizmetine sunulması sırasında meydana gelen büyük çaplı üretim boşluklarının, üzerindeki zemin katmanının basıncıyla çökmesi ve zemin içi kırılmalara yol açması sonucu, ocak içinden yüzeye doğru olan hareketlenmelerin yeryüzünde oluşturduğu düşey çökme ve yatay yer değiştirmeler “Madencilik Tasmanı” olarak adlandırılır (Şekil 4.4). Tasman, yeraltı madenciliğinin yapıldığı diğer bölgelerde olduğu gibi ülkemizde de ekonomik, teknik, sosyal ve çevresel sorunlara neden olmaktadır.



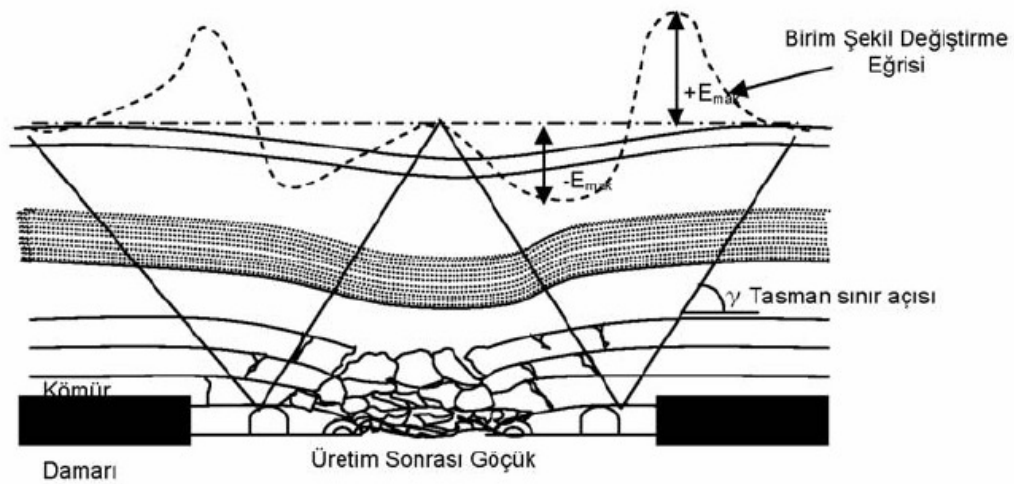
Şekil 4.4 Yeraltında yapılan üretim sonucunda oluşan tasman etkileri (Kuşçu, 1983)

Yeraltı maden işletmeciliği yapılırken yeryüzünde zemin hareketlerinin olması kaçınılmaz bir olaydır. Bu hareketler üretim seviyesinden yeryüzüne kadar devam ederek zeminde deformasyonlar meydana getirir. Bunun sonucunda yeryüzündeki herhangi bir nokta, yatay ve düşey hareket etmekte ve yatay olan zemin yüzeyi, hareket sonrasında eğrisel bir konum almaktadır. Bu zemin hareketleri yeryüzünde bulunan her türlü yapıda hasarlar meydana getirmektedir. Hasar miktarları, zemin

hareketlerinin büyüklüğüne, yeryüzünün jeolojik ve topografik yapısına ve yapıların fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle; etki altındaki alan üzerinde ve içinde bulunan yollar, tüneller, yeraltı galerileri, maden kuyuları, binalar, santraller, barajlar, su, gaz, elektrik, kanal ve kanalizasyon hatlarının; işletmelerin, kentlerin ve ülkelerin sürdürülebilir yaşamı açısından büyük önemi bulunduğundan, deformasyona maruz kalmadan koruma altında tutulması gereklidir. Bunu başarabilmek için ise mühendislik ölçmelerine yönelik bir uzmanlık olan maden haritacılığının bilgi ve deneyimlerinden yararlanılması gerekir (Kuşçu, 1986).

4.6.2 Tasman Oluşumuna Neden Olan Etmenler

Tasman oluşum mekanizması incelendiğinde; hareketlenmenin, yeraltındaki madenin alınmasıyla oluşan boşlukların çökmesi ile başladığı ve zemin içindeki katmanlarda bu hareketin yeryüzüne kadar iletilmesi ile son bulduğu belirlenmiştir. Bu durumda hareketlenmenin iki temel nedeni olduğu görülmektedir. Bunlardan ilki, yeraltı üretiminin yapıldığı kömür damarındaki boşluğun göçme mekanizmasını oluşturan etmenler, ikincisi de üretim yapılan damar ile yeryüzü arasındaki örtü tabakasının yapısı ve davranışına ilişkin etmenlerdir. Bu durumu, Şekil 4.5'te tasman oluşumu şekli görülmektedir.



Şekil 4.5 Tasmanın zemin içinde ve yeryüzündeki oluşum mekanizması (Shadbald, 1977'den değiştirilerek alınmıştır)

Oluşum mekanizmasını hızlandıran veya yavaşlatan nedenler daha ayrıntılı olarak ele alındığında, birçok unsurun kitle hareketlerini doğrudan ya da dolaylı olarak etkilediği görülür. Bunun için, oluşuma sebep olan etmenler şu şekilde sınıflandırılabilir:

Sabit Etmenler: Jeolojik etkenler olan yan taşların petrografik yapısı, damarın üzerindeki örtü tabakasının stratigrafik yapısı (örtü tabakası içindeki katmanların dizilişi), zeminin jeomekanik ve hidrolojik özellikleri, yeryüzünün topografik yapısı ve bitki örtüsü, damar kalınlığı ve eğimi ile eski üretimler sabit etmenler olarak gruplandırılabilir.

Değişken Etmenler: Boyutsal etkenler olan yeraltı açıklığının genişliği, boyu ve derinliği, işletme yöntemlerine bağlı etkenler (göçertmeli veya dolgulu uzun ayak, oda - topuk gibi üretim yöntemleri), üretim hızı değişken etmenlerdir.

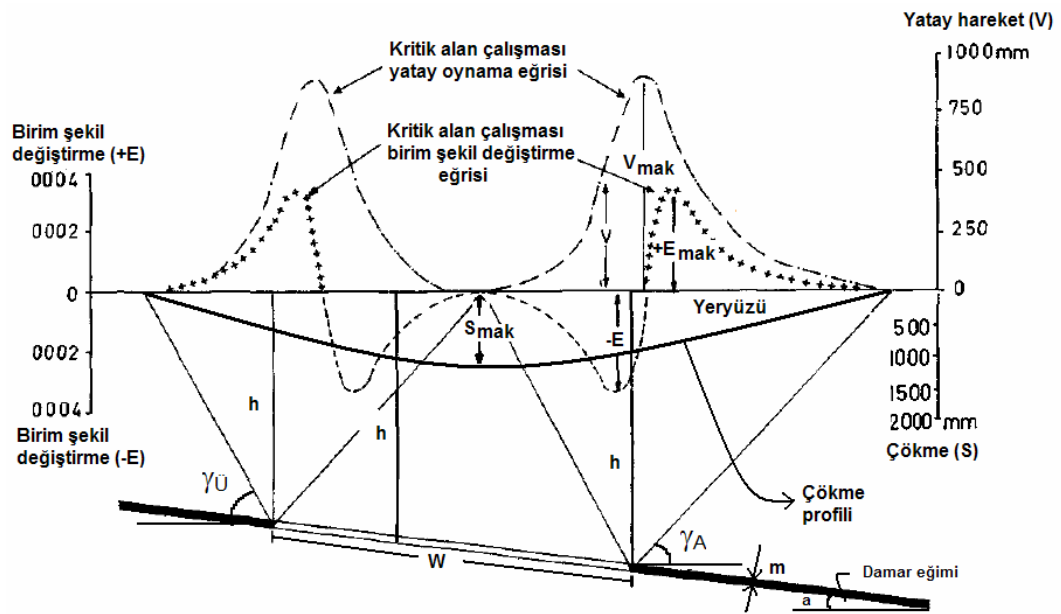
4.6.3 Tasman Oluşum Mekanizması Ve Etki Alanı

Tasmanın yeryüzü seviyesinde etkilediği alanın belirlenmesi, gözlemler açısından önemlidir. Eğer etki alanı belirlenebilirse bu alan içindeki yapıların, tasman profili denilen çökme havuzu içinde yatay yer değiştirmeye, bükülmeye veya gerilmeye bağlı deformasyona uğraması söz konusu olacaktır.

Havuzun merkezinde en büyük çökme meydana gelir ve bu noktaya “En Yüksek Tasman” denilir. Havuz oluşumunun dışına doğru oluşan bölümlerinde çekme, merkeze doğru olan bölümlerde ise basınç etkileri meydana gelir. Bu, yeryüzünün birim şekil değiştirmesidir. (Whittaker, 1989 ve Kuşçu, 1986). Yapılarda esas hasarı oluşturan da, topoğrafyada meydana gelen bu şekil değiştirmedir. Birim şekil değiştirme çökme havuzunun dışına doğru $+E_{mak}$, merkezine doğru $-E_{mak}$ olarak adlandırılır ve yapılarda en şiddetli olanı $-E_{mak}$ değeridir (Şekil 4.6).

Tasman mühendisliğinde yatay hareketler birim şekil değiştirme ile tanımlanır. Birim şekil değiştirme, birim boyda meydana gelen uzama veya kısalma miktarını

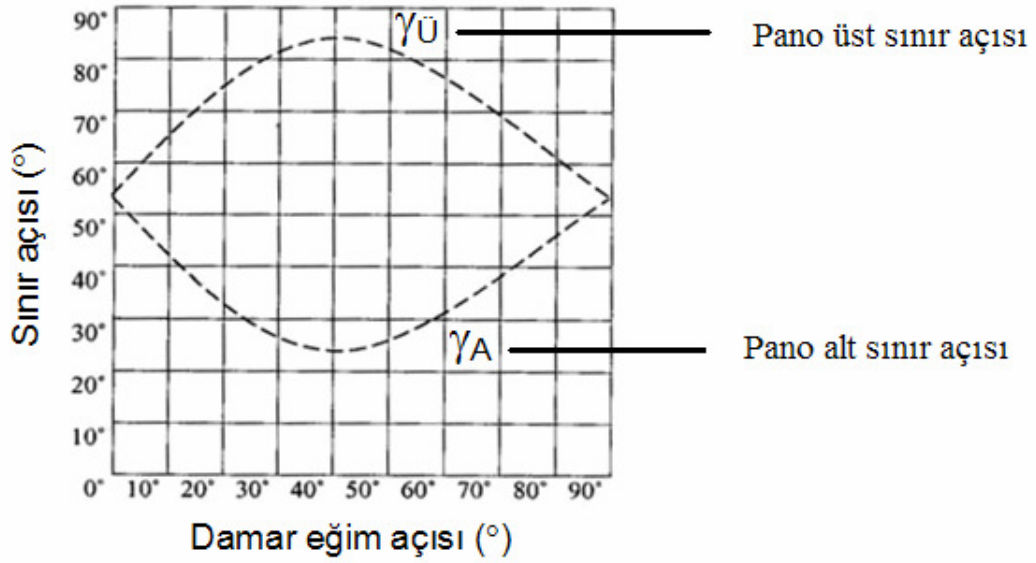
belirtilir. Üretim sonrasında zemin yüzeyindeki çökmeler düşey ekseninde, yatay mesafeler de yatay ekseninde gösterilerek tasman eğrisi elde edilir (Şekil 4.6). Tasman eğrisi incelendiğinde, bu eğrinin içbükey ve dışbükey iki eğrinin birleşiminden meydana geldiği görülür. Bu iki eğrinin birleşim noktası genellikle en yüksek tasmanın yarısına eşit kısımlarda olur. İçbükey kısımda zemin kısılmakta, dışbükey kısımda ise zemin uzamaktadır (Kratzsch, 1983).



Şekil 4.6 Birim şekil değiştirme ile tasman eğrisini ve yatay hareketleri gösteren tipik kesit (Kratzsch, 1983'ten değiştirilerek alınmıştır)

Tasman eğrisinin içbükey olduğu kısımda birim şekil değiştirme negatif, dışbükey olduğu kısımda ise pozitifdir. Üretimden kaynaklanan en yüksek birim şekil değiştirme değerleri; pano genişliği, damar derinliği ve en yüksek tasman değerine bağlı olarak yaklaşık hesaplanmaktadır (Kratzsch, 1974; Proust, 1964; Luetkens, 1957).

Tasman eğrisinin toplam uzunluğu pano genişliğine (W), damar derinliğine (h) ve tasman sınır açısına (γ) bağlı olarak değişmektedir. Tasman sınır açısı, çökmenin sıfır olduğu nokta ile pano bitimini birleştiren doğrunun yatayla yaptığı açıya denmekte ve genel olarak $35^\circ - 50^\circ$ arasında değişmektedir. Üretim sahalarında meydana



Şekil 4.8 Damar eğimine bağlı tasman sınır açılarını gösteren grafik (Whittaker ve Reddish, 1989)

4.6.4 Tasman Hasar Değişkenleri

İncelenen konunun bütünlüğünü sağlamak amacıyla burada tasman yapı hasarlarına neden olan belli başlı değişkenlerin etki dereceleri incelenmesi gerekmektedir.

Tasman meydana gelen bölgelerde;

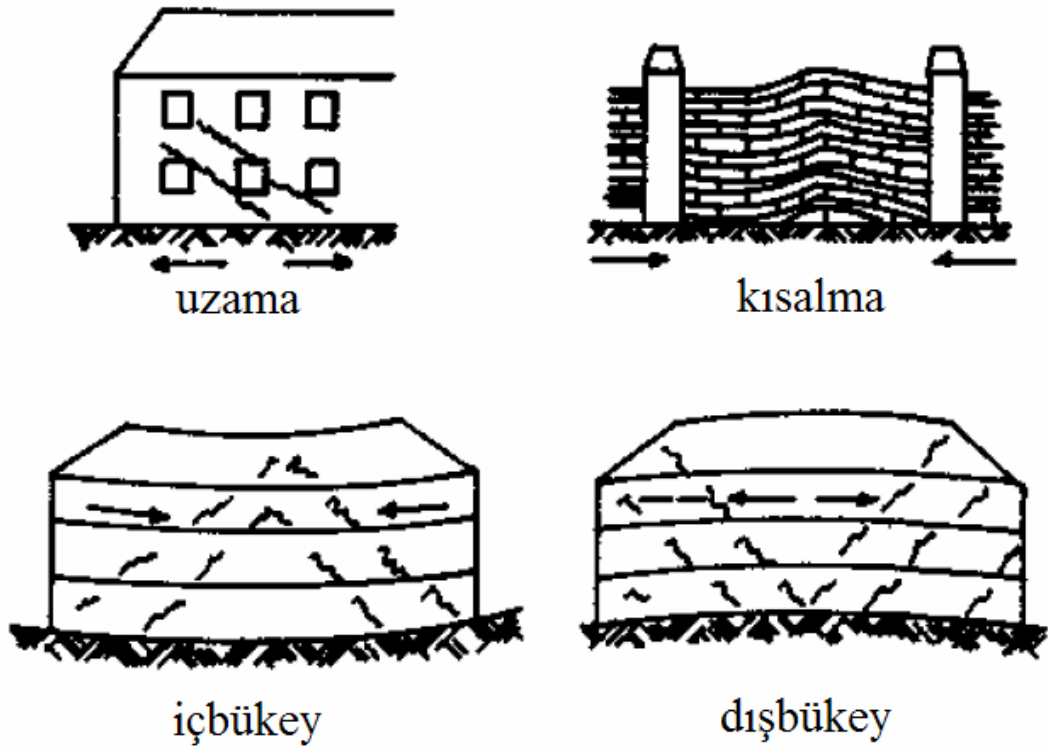
- i. Binalarda, yol, su, kanalizasyon, enerji ve haberleşme tesislerinde; kuyu, galeri, tünel gibi yeraltı yapılarında hasarların ve zararların ortaya çıkması,
- ii. Yeraltı ve yerüstü doğal su dengesinin ve drenaj düzeninin bozulması, erozyon, kaya düşmesi, ve heyelan gibi oluşumlar veya bu oluşumların artması,
- iii. Kadastro ve haritacılık ile ilgili diğer hizmetlerin güç yapılı hale gelmesi; mülkiyet ve arazi kullanımı ile ilgili çeşitli sorunların ortaya çıkması gibi çeşitli teknik, ekonomik ve sosyal içerikli problemlere neden olmaktadır.

Yapılarda gözlenen hasarlar, tasman olayının yeryüzünde oluşturduğu düşey ve yatay yer değiştirme hareketlerinin ortaklaşa fiziksel sonuçlarıdır.

Düşey Hareketin Etkisi: Tasmanın düşey hareketi, zemin yüzeyinin orijinal eğriliğini değiştirerek yapıların farklı oturmalarına neden olur. Bu yer değiştirme hareketi ise yapıda, kullanılan malzeme karakteristiğine, yapı türüne ve geometrisine bağlı olarak eğilme ve kayma gerilmeleri oluşturur. Bu gerilmelerin elastik sınırları aşması durumunda yapıda çatlaklar gözlenir. Eğilme gerilmesinin hakim olduğu kesimlerde (yapının orta kısmında) düşey yönde gelişecek çatlaklar kendilerini "çekme çatlakları" olarak belli ederken, yapının uç kısımlarında ise kayma çatlakları meydana gelmektedir.

Yatay Hareketin Etkisi: Tasman hareketinin yatay bileşeni, zemin yüzeyinin yapı temeline göre göreceli yer değiştirmesine neden olur. Bu yer değiştirme; temel sisteminin, yapı yüklerinin oluşturduğu deformasyonlar dışında maruz kalacağı en yüksek birim uzama ya da kısalma ile belirlenmektedir. Bu büyüklüğün izin verilebilir deformasyonu aşması durumunda yapı sisteminde çatlak oluşacaktır. Söz konusu büyüklük yapı temeli ile zemin arasındaki hareket sırasında gelişecek sürtünme kuvvetine, temel yapı şekli ve derinliğine bağlıdır.

Zemin hareketleri temelde başlar. Temel, yeterli mukavemete sahip değilse çatlama ve kırılmalar meydana gelir. Bu çatlama ve kırılmalar bodrum ve zemin katta yoğunlaşır. Yapılarda zemin hareketlerinin meydana getirdiği karakteristik hasar tipleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Zeminin içbükey eğilme durumunda çatlaklar çan şeklinde olmasına karşılık dışbükey eğilmede (V) şeklinde olmaktadır.



Şekil 4.9 Yapılarda uzama, kısalma ve eğilme hasarları

4.6.5 Tasman Kontrolü

Yeryüzünde meydana gelen zemin hareketlerinin büyüklüğü, zeminin cinsi, jeolojik yapısı, nemlilik derecesi ve topoğrafyasına; işletilen damarın büyüklük, kalınlık, eğim ve derinliğine; kömür üretiminde kullanılan yöntem ve işletmenin ilerleme hızı gibi etmenlere bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir.

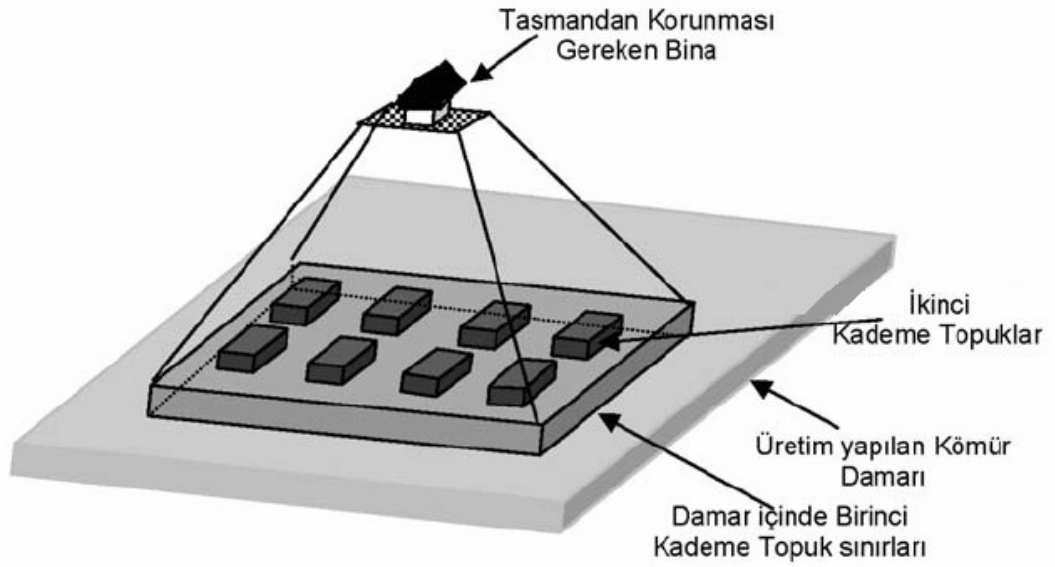
Yeraltı maden üretim bölgelerinde, uygulanabilecek bazı yöntemler ile tasmanın kontrol altında tutulması söz konusu olabilmektedir. Bu yöntemlerin ele alınmasıyla, oluşacak olan tasman birim şekil değiştirme değerlerinin, yapı tesislerinin zarar görmeyeceği sınırlar arasında tutulması olasıdır. Ayrıca bu yöntemlerin uygulanmasıyla tasman hareket büyüklüklerinin değişimi yavaş ve daha az etkili bir şekilde meydana gelmektedir. Bu yöntemleri;

- Üretilen damarda topuk bırakma
- Oda-topuk uygulaması

- Dolgulu (rambleli) üretim
- Harmonik üretim şeklinde sıralanmaktadır (Proust, 1964; Luetkens, 1957).

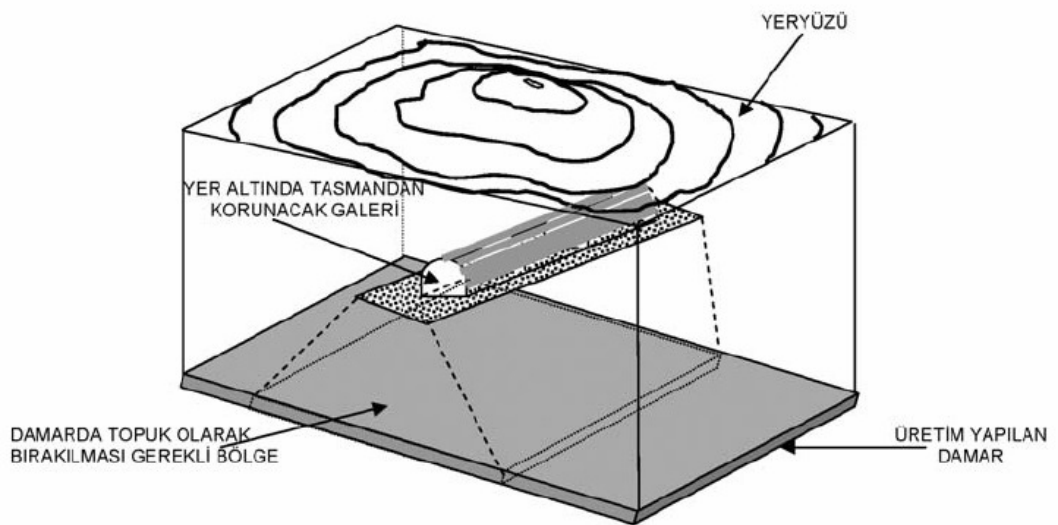
Bunlardan topuk bırakma, önemli yapıların veya maden sahaları üzerinde bulunan yerleşkelerin korunmasına yönelik en önemli uygulamalardan biridir, ancak bu uygulamada büyük üretim kayıpları söz konusu olmaktadır. Oda-topuk yönteminde daha küçük topuklar bırakarak aradaki boşlukların alınmasıyla üretim sürdürülmektedir (Şekil 4.10). Ancak bu yöntemin de, özellikle eğimli damarlarda uygulanabilirliği kısıtlıdır ve her an tasman riski söz konusudur. Harmonik üretimde ise farklı seviyelerdeki damarların birbirini takip eden aralıklardaki üretim panolarında senkronize uygulama gerçekleştirerek, her iki panodaki göçük mekanizmalarının yeryüzüne ulaşmadan katmanlar arasında sönmülmesi sağlanarak yüzey tasmanı önlenmeye çalışılır.

Yukarıda belirtilen yöntemlerden topuk uygulaması dışındaki tüm yöntemler, tasman etkisini bütünüyle etkisiz hale getiremez. Bu nedenle topuk bırakma madencilikteki etkin çözümlerden biridir. Bir tesisin, maden üretimlerinden etkilenmemesi için damar içinde bırakılan, dolayısıyla hiç çalışılmayan veya çalışılmayacak alana “topuk” denilmektedir (Sanşan, 1980). Ancak ilerleyen zamanlarda bırakılan topuklar içinde ikinci kademe topuklar bırakılmak suretiyle oda-topuk yöntemi de uygulanabilmektedir. Şekil 4.10’da yeryüzündeki bir yapının korunmasına yönelik kademeli bir topuk tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Yeryüzündeki bir yapının tasmandan korunmasına yönelik topuk bırakma (Peng, 1992)

Topuklar, genellikle yeryüzünde sürekli veya geçici süre korunması gereken bazı mühendislik yapıları ile deniz, göl veya nehirler için bırakılır. Ayrıca madenin yeryüzüne ulaştırılması amacıyla yapılan tesislerin (kuyu, galeri gibi), korunması için de topuk bırakılmaktadır. Bu topuk yeraltındaki diğer damarlar için de geçerli olup, her damar için genişleyerek devam eder. Yeraltı galerileri için bir topuk tasarımı Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 Bir yeraltı nakliyat galerisinin korunması için topuk tasarımı (Peng, 1992)

4.6.6 Tasman Belirlemede Uzaktan Algılama Yöntemi İle Fotogrametri Kullanılması

Madenciliğin uygulandığı birçok yerde, madencilikten kaynaklanan yüzey deformasyonu olarak bilinen tasman oluşumunun izlenmesi ve bu oluşumun yeryüzünde yaratacağı etkinin önceden kestirilerek önlemler alınması gereklidir. Böylece, tasmanın periyodik gözlemlerle özgün davranış modelleri oluşturulmaktadır. Fotogrametri yöntemi bu modeli oluşturmak için kullanılan yöntemlerden biridir.

4.6.6.1 Fotogrametri

Fotogrametri, Işık yardımı ile çizerek ölçme anlamına gelmektedir. Fotogrametri tekniği ile ölçülmek istenen nesnenin, yakın çevresinin ve arazinin fotoğrafları çekilir. Bunların fotoğraf üzerindeki görüntüleri ölçülerek istenen bilgiler sağlanabilir ya da özel aletlerde bu görüntüler harita veya plan biçimine dönüştürülebilir.

Fotogrametrinin matematiksel modeli, merkezi izdüşümdür. Merkezi izdüşümün matematiksel ve geometrik özellikleri kullanılarak fotoğraftaki nesnelere; şekil, konum, büyüklük, görünüş gibi özellikleri kolayca belirlenebilir. Ayrıca fotoğrafta görülen nesnelere renk ya da gri tonlarındaki değişimlerin incelenmesi ve bunların yorumlanması sayesinde nesnelere ilgili topolojik bilgiler de elde edilebilmektedir.

4.6.6.1.1 Fotogrametrinin Özellikleri. Fotogrametri dolaylı bir ölçü tekniğidir. Gerekli ölçme ve gözlemler, cisimler yerine resimler üzerinde yapılır. Yanına gidilemeyen cisimlerin ölçülmesi fotogrametride mümkün olmaktadır. Fotogrametrinin özelliklerinden bazıları şunlardır:

- Fotogrametride bilgiler fotoğraf çekimi yoluyla yapılmaktadır.
- Fotogrametride bilgi toplama işlemi cisim üzerinde hiçbir etki bırakmaz.

— Gerek geometrik gerekse fiziksel bilgilerin yorumlanması sırasında kolaylık sağlamaktadır.

— Fotografik olarak kaydedilen bilgiler belgesel olarak bir nitelik taşımaktadır. İstenildiği zaman işlenmekte ve ölçüler tekrar tekrar yapılmaktadır.

— Bilgi toplama süresi yersel yöntemlere göre daha kısadır. Çalışmaların büyük bir kısmı büroda yapılmaktadır.

— Dördüncü boyut olarak zamanın alınmasıyla her türlü hareket, değişim ve oluşum incelenebilmektedir.

Fotogrametride hem görünen hem de görünmeyen ışınlarla çekilmiş fotoğraflar kullanılabilir. Yani görünen ışık dalgalarından başka kızıl ötesi, mor ötesi, termal gibi gözle görülmeyen ışık dalgalarıyla çekilen fotoğraflar da kullanılabilir.

Fotogrametri teknolojiye paralel bir şekilde her geçen yıl gelişme göstermekte ve ilerlemektedir. Optik kamera kombinasyonunun gelişmesi, yüksek çözünürlük ve düşük distorsiyonlu resimlerin elde edilmesini sağlamıştır. Özellikle sayısal fotogrametri, görüntülerin yüksek çözünürlükte elde edilmesi sayesinde, hızla gelişme göstermektedir. Bunların yanısıra günümüzde bilgisayar teknolojisinin ilerlemesi, güçlü bellek ve hızlı işlemcilerin yapılması sayesinde sayısal fotogrametriye olan ilgi artmaktadır (<http://www.fotolab.ktu.edu.tr/fotogrametri.htm>).

Sayısal fotogrametri sayısal görüntüler ile işlem yapmaktadır. Sayısal görüntü kullanmanın çeşitli avantajları bulunmaktadır:

- Görüntüler doğrudan bilgisayarda görüntülenebilir ve ölçülebilir.
- Ölçüm sistemleri sabittir ve kalibrasyona gerek yoktur.
- Görüntüde iyileştirme (image enhancement) yapılabilir.
- Sayısal görüntü işleme teknikleri fotogrametrik ölçme ve değerlendirme işlerinin otomatik olarak yapılmasını sağlamaktadır.

4.6.6.1.2 Fotogrametrik Harita Yapım Aşamaları. Harita yapım işlemleri kısaca şöyle özetlenmektedir.

Arazi Çalışması: Öncelikle haritası yapılacak olan iş bölgesinde yer kontrol noktaları belirlenmesi gerekmektedir. Bu noktalar açık alanlarda seçilir ve en az 60°'lik bir görüş açısına sahip olmaları gerekmektedir. Bu görüş konisi içerisinde bina, ağaç gibi herhangi bir engel olmamalıdır.

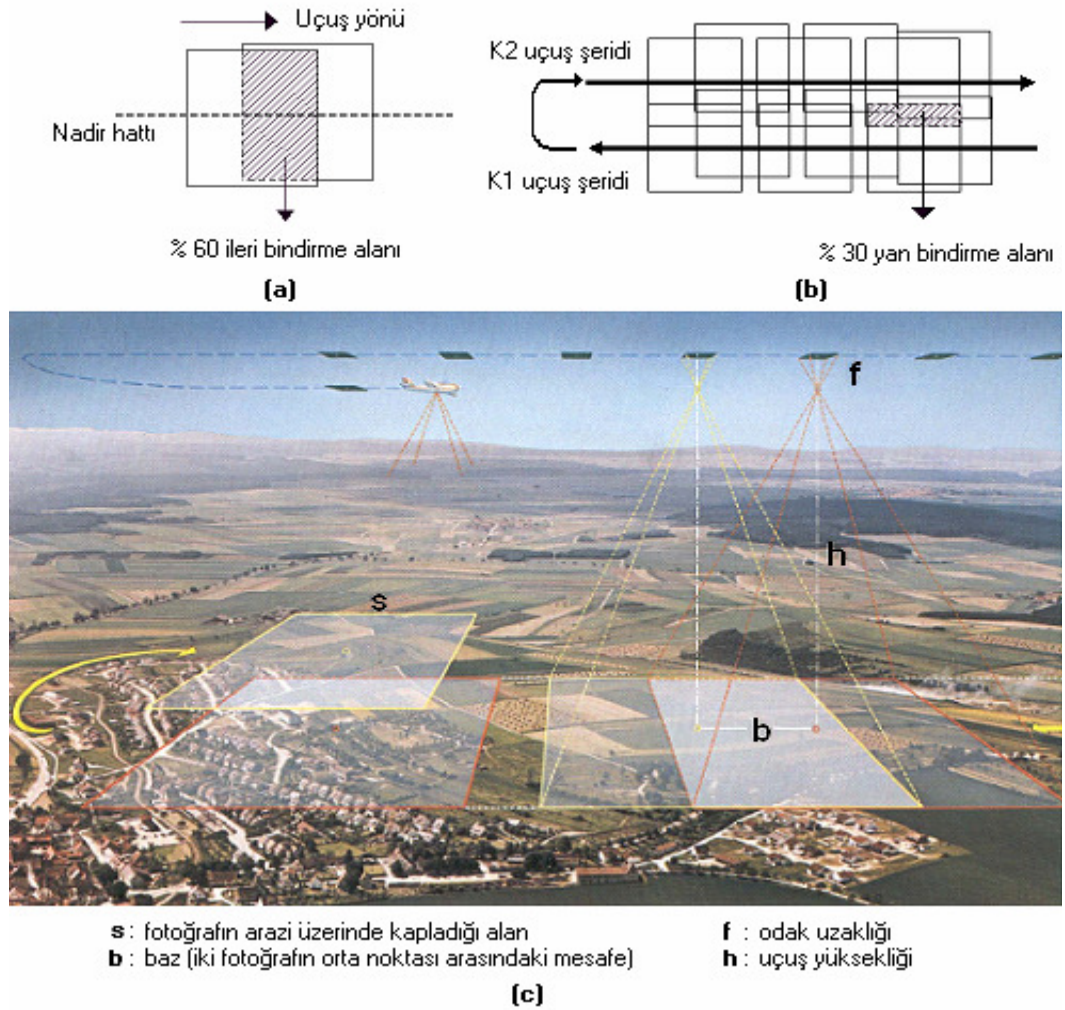
Kontrol noktalarının büyüklükleri harita yapım yönetmeliğindeki esaslara göre belirlenir. Noktaların koordinatları ise GPS aletleri yardımıyla ölçülür. Bu noktalar, zemin noktalarının üzerinin ve yakın çevresinin boyanması ya da geçici plakalar takılması suretiyle oluşturulur. Bunlar, daire veya kare biçiminde olup beyaz ya da yakın çevresi ile zıt bir renktedir (Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, 2005).

Fotoğraf Çekimi: Fotogrametrik harita yapımına yönelik hava fotoğrafı alımı, daha önceden bir uçuş planının yapımını gerektirmektedir. Bu uçuş planı, uçağın izleyeceği uçuş kolonları tespit edilerek haritalanacak bölgenin fotoğrafla kapatılmasını içermektedir. Hava fotoğraflarında stereoskopik denilen üç boyutlu görüş oluşturmak için, birbirini izleyen görüntüler arasında % 60 ileri bindirme ve kolonlar arasında ise % 30 yan bindirmeli fotoğraflar çekilmektedir (Şekil 4.12 ile Şekil 4.13).

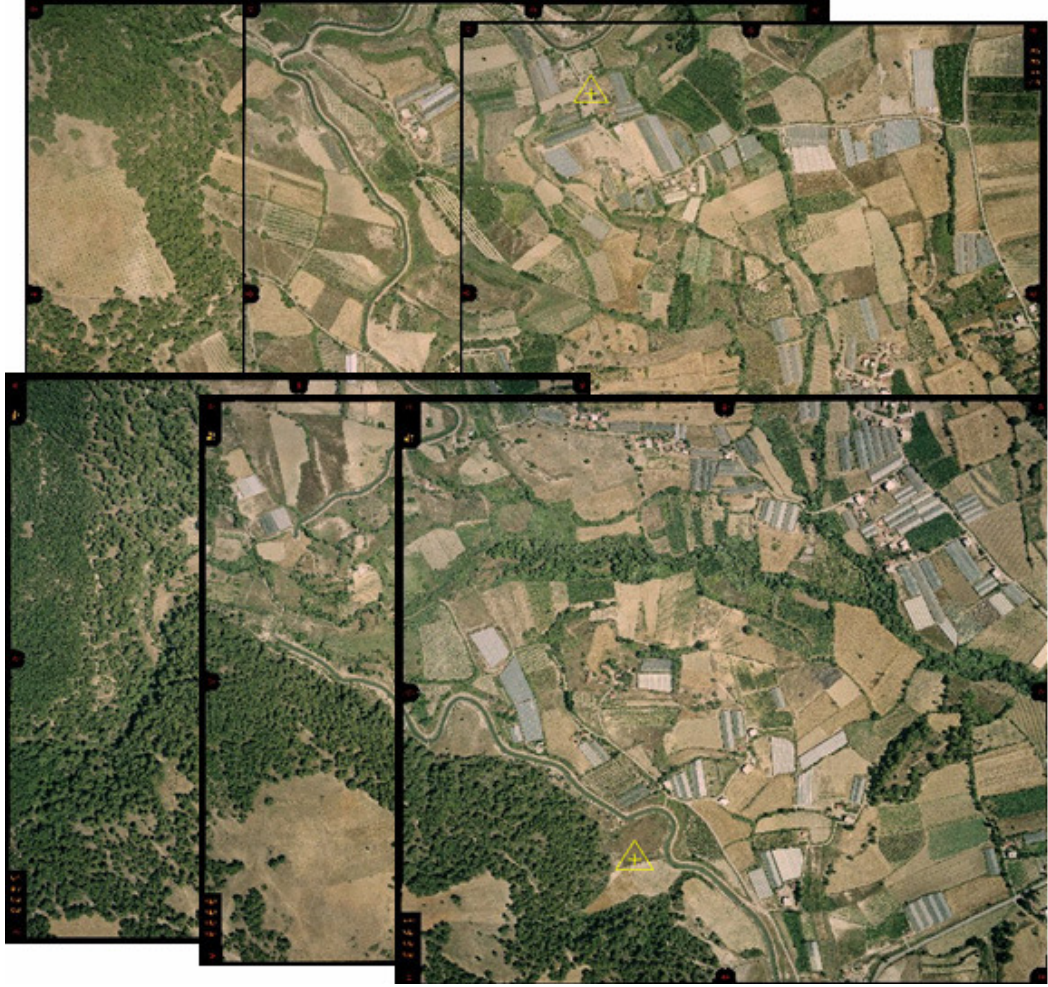
Uçuş Hattı, fotoğraf çekimi amacıyla belli bir doğrultuda uçağın uçtuğu hattır. Uçuş Şeridi, uçuş hattı boyunca fotoğrafı çekilen arazi parçasının oluşturduğu görüntü alanıdır. Nadir hattı, uçuş hattının arazideki izidir. Uçuş hattı boyunca uçağın deniz seviyesine göre uçtuğu yükseklik ise "Uçuş Yüksekliği"dir.

Gerçekte hava fotoğrafları her türlü amatör ya da metrik kamera ile elde edilebilir. Ancak elde edilecek görüntüde yüksek kalite ve geometrik doğruluk yanında büyük alanların hızlı fotoğraflanması söz konusu olduğunda, hassas yapılı hava kameraları kullanmak gerekmektedir.

Hava kameralarında, fotoğraf alımı anında uçağın hızına göre fotoğraf bindirme oranını otomatik olarak ayarlayabilen ve uçağın hızından kaynaklanan resim sürüklenmelerini engelleyen özel donanımlar vardır. Uçağın tabanına monte edilen ve optik bakımdan çok yüksek bir hassasiyete sahip olan bu kameralar ile çekilecek fotoğrafların kullanılış amacına bağlı olarak odak uzaklıkları farklı olan objektif konileri de kullanılabilir.



Şekil 4.12 (a) % 60 ileri, (b) % 30 yan bindirmeli olarak yapılan uçuşun grafiksel gösterimi ve (c) bu uçuşların arazideki uygulaması (<http://www.orman.ktu.edu.tr> sitesinden değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 4.13 Uçuş sonrası kolonların dizgisi (Yetişen, 2007)

Uçuş Planının Hazırlanmasında Dikkate Alınacak Özellikler: İyi bir hava fotoğrafı alımı için kalibrasyonu yapılmış hava kameraları, detay ayırma gücü yüksek filmler ve amaca uygun, düşük hızda uçaklar kullanılmalıdır.

Fotoğrafi çekilecek alanın tam sınırları veya biliniyorsa coğrafi koordinatları verilmelidir. Uçuş çizgileri doğu - batı ya da kuzey - güney doğrultusunda ve olabildiğince paftaların orta çizgileri ile çakışacak şekilde düzenlenmelidir. Zorunlu durumlarda uçuş çizgileri çapraz doğrultuda da olabilmektedir. Topografik durum nedeni ile ortaya çıkabilecek bindirme sorunları, uçuş planının hazırlandığı altlık üzerinde denetlenerek gerekli önlemler alınmakta ve uçuş planlarında düzeltmeler yapılmaktadır.

Fotoğraf çekiminde bulut ve gölge oranlarının etkisi büyüktür. Bulutun kendisinin örtme ve gölge etkisi olmak üzere iki türlü olumsuz etkisi bulunmaktadır. Ayrıca arazide dağ ve ağaç gölgeleri de yorumlamayı olumsuz yönde etkilemektedirler.

Fotogrametrik Nirengi Ölçümü Ve Dengelemesi: Fotogrametrik nirengi, havadan ve yerden alınan resimlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilen fotogrametrik nokta belirlemesidir. Bu noktalar, yapılması istenen haritanın ölçeğine göre alınmış hava fotoğraflarının oluşturduğu bloklarda yapılan fotogrametrik nirengi ölçüm ve dengeleme işlemleri sonucunda, üç boyutlu koordinatları elde edilen kontrol noktalarıdır. Fotogrametrik nirenginin temel amacı, bilinen yer kontrol noktaları yardımıyla, en az iki resimde tanımlanabilen noktaların arazi koordinatlarını, resimler veya modeller üzerinde yapılan koordinat ölçümlerinden hesaplamaktır. Bu teknikte, genelde fotogrametrik çalışmalar için yetersiz sayıda olan kontrol noktalarının sıklaştırılması sağlanmaktadır.

Fotogrametrik nirengide kullanılan noktalar; uçuş öncesi işaretlenen kireçli noktalar (yer kontrol noktası veya diğer adıyla nirengi noktası) ve resimlerde seçilen doğal noktalar (belirgin detay köşeleri) dir.

Gelişen GPS yöntemleriyle, hareket halindeki uçakta bulunan ve resim çekimi yapan kameranın konum verileri hassas olarak belirlenmeye başlamış ve GPS ile elde edilen bu koordinatların dengelemede kullanılması ile arazide tesis edilecek kontrol noktası sayısında büyük bir azalma sağlanmıştır. Kinematik GPS yönteminin fotogrametride kullanımı konusundaki araştırmalar halen devam etmekte, kullanıcı sayısı her geçen gün hızla artmaktadır.

Fotogrametrik nirengi ölçmeleri, kullanılan fotogrametrik sistemin sağladığı olanaklara göre tam otomatik veya yarı otomatik yapılabileceği gibi, doğrudan operatör tarafından da yapılabilmektedir.

Fotogrametrik nirengi ölçüm ve dengeleme aşamalarını 4 başlık altında toplamak mümkündür:

İç Yönelme: Görüntülerin alımı esnasında objektif merkezi ile resim düzlemi arasında oluşan ışın demeti geometrisinin yeniden oluşturulması ve sayısal görüntünün hücre (piksel) koordinat sistemi ile görüntü koordinat sistemi arasındaki dönüşümün sağlanmasıdır. İki koordinat sistemi arasındaki dönüşüm değişkenlerinin belirlenmesinde, sayısal görüntünün değişmez köşe markalarının, hava kamerasının ilgili köşe noktalarına çakıştırılması gerekmektedir. Her kameranın kendine ait özel desen matrisi mevcuttur. Tüm köşe markalarının konumu, bu desen (pattern) matrisinde bilinmektedir. Bu bilgiler yardımıyla iki sistem arasındaki dönüşüm değişkenleri kolayca bulunabilmektedir.

Resim (köşe) markaları, bir metrik hava kamerasının çerçevesi üzerinde, dört ya da sekiz belirteçten ibarettir. Resim markalarının resim koordinatları, kamera kalibrasyon raporları ile belirlenmektedir. İç yönelmenin doğruluğu, resim köşe markalarının görünüşüne bağlı olmaktadır. Köşe markaları deseni, sayısal görüntülerde korelasyon yardımıyla yerleştirilir ve köşe markalarının yerleri belirlenmektedir (Akdeniz, 2000).

İç yönelme sonucunda elde edilen bilgiler şunlardır:

- Her köşe markasının hücre (piksel) koordinatları,
- Hücre koordinat sistemlerinin görüntü koordinat sistemlerine dönüşüm değişkenleri,
- Doğruluk değerleri.

Karşılıklı Yönelme: Sayısal fotogrametride karşılıklı yönelme, iki görüntünün göreceli konumunu bulmaktır. Kontrol ve bağlama noktaları ile standart Von Gruber noktaları iki görüntüde aynı anda ölçülmektedir. Ancak görüntülerde monoskopik olarak yürütülen bu işlemlerde başlangıçta çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Karşılıklı yönelmede gereksinim duyulan bilgiler şunlardır:

- Görüntü bilgileri,

- İç yöneltme ve kamera verileri,
- Model için yaklaşık ölçek, bindirme oranları ve baz uzunluğu

Yarı otomatik ölçüm yönteminde operatör, örneğin sol görüntüde noktaları yaklaşık olarak ölçer. Sistem diğer görüntüdeki noktaları oto-korelasyon (image matching) yöntemiyle tespit eder ve noktaların kesin yerlerine operatör karar vererek ölçümü tamamlar.

Yarı otomatik demet yönteminde oto-korelasyon yöntemiyle hassas ölçü yapılması işlemi sistem tarafından gerçekleştirilir, operatör gerekli kontrolü yaparak ölçümü sağlar. Opsiyonel olarak, stereo modda ölçüm yapılması da olanaklıdır. Yöntemin en önemli avantajları; ölçüm hızının yüksek olması, klasik yöntemlere oranla daha doğru ve güvenilir sonuçların elde edilmesidir.

Dengeleme: Stereo resim çiftindeki iki ayrı resme ait ışın demetlerinin sayısal olarak yöneltmesi yöntemidir. Tam analitik bir yöntem olup, ışın demetlerinin ilgili noktalarda kesiştirilmesi esasına dayanmaktadır (Şekil 4.14). Bu yöntemde, koordinatları bilinen kontrol noktaları yardımıyla iki resme ait 12 dış yöneltme elemanı ve yeni noktaların (kolon ve model bağlama noktaları) koordinatları hesaplanmaktadır. Yöntem, çok sayıdaki resme blok oluşturmak suretiyle aynı anda uygulanabilir.

Her bir resimde en az 9 adet bağlama noktası olması istenmektedir. 15–25 adet bağlama noktası, iyi bir blok geometrisi sağlar. Bu durumda hatalı gözlemler kolayca saptanıp göz ardı edilebilirler. En az 15 adet nokta ölçülmesi ile uygun çözüm sağlanabilir. Ancak, bunun için blok kenarlarında yeteri kadar kontrol noktası bulunması gerekmektedir.

Dış Yöneltme: Resimlerin uçaktan alım anındaki konumlarının tekrar oluşturulması işlemine dış yöneltme adı verilmektedir. Yöntemin temel amacı, görüntü koordinatı ile yer koordinat arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Her hava

kamerası 6 adet dış yöneltme değişkenine sahip olmaktadır. Bunlar, alım noktası koordinatları (X_0, Y_0, Z_0) üç dönüklük açısı (ω, φ, χ) olmaktadır.

Stereo Değerlendirme: Fotogrametrik nirengi dengelemesi sonunda elde edilen yöneltme elemanları ile yöneltmesi yapılmış stereo modellerden üç boyutlu değerlendirme (kıymetlendirme) yapılır. Stereo değerlendirme, stereo modelin net alanında yapılır. Stereo modelden yapılacak değerlendirme, harita çizim yönetmeliğine göre yapılacak sayısallaştırmadan oluşur. Bu sayısallaştırma, eş yükseklik eğrisi ve detay çizimini kapsar.

Eş Yükseklik Eğrisi Çizimi: Arazinin topoğrafik durumu eş yükseklik eğrileri (münhani) ile gösterilir. Çizilecek harita ölçeğine göre eş yükseklik eğrileri aralıkları belirlenir. Örneğin; 1/5000 ölçekli bir haritada ana eş yükseklik eğrileri 25 m. ara eş yükseklik eğrileri 5 m. ve yardımcı eş yükseklik eğrileri 2,5 m. aralıklarla; 1/1000 ölçekli bir haritada ise ana eş yükseklik eğrileri 5 m. ara eş yükseklik eğrileri 1 m ve yardımcı eş yükseklik eğrileri 0,5 m. aralıklarla çizilir. Eş yükseklik eğrileri otomatik, yarı otomatik ya da operatör tarafından doğrudan çizilebilir. Eş yükseklik eğrileri ile gösterilemeyen düz arazilerde ve yerleşim yerleri içerisindeki boş alanlarda, yükseklikler kot noktaları ile gösterilmektedir.

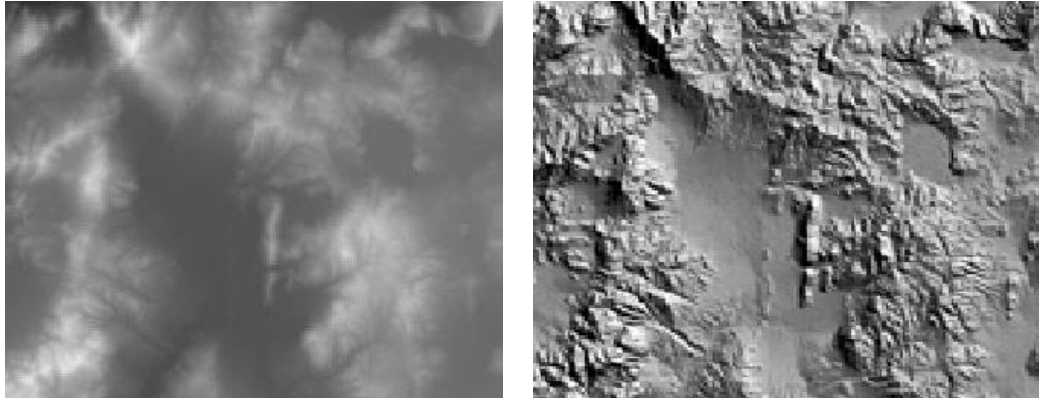
Otomatik eş yükseklik eğrisi çizdirmek için arazide SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) noktaları toplanmaktadır. SYM noktaları otomatik olarak toplanacağı gibi yarı otomatik ve manuel (el ile) olarak da toplanmaktadır. Düzenli/düzensiz noktalarda bulunan yükseklik değerleri, bilgisayar ortamında sayısal dosyalara aktarılarak, bu dosyalar düzenli hücre (grid) noktalarına dönüştürülmektedir. Hücre noktaları, tüm harita yüzeyini kapsayan kare biçiminde, buldukları koordinatın yükseklik bilgisini içeren yapılardır. Sonuçta, sayısal yükseklik modeli olarak adlandırılan ve yüksekliklerin yatay ve dikey yönde eşit aralıklı bir matris noktaları şeklinde elde edilebildiği bir model oluşturulmaktadır (Akkaya, vd., 2004). Elde edilen hücre görüntüsü eş yükseklik eğrilerine dönüştürülerek alanın topoğrafik haritası elde edilmektedir.

Sayısal Yükseklik Modeli: Sayısal Yükseklik Modeli, alana ait yükseklik bilgilerini içeren ve bunları lekesel olarak ifade eden bir görüntüdür.

SYM, yeryüzünün bilgisayarla yapılacak işlemlerde temelini oluşturan sayısal gösterimidir. SYM oluşumu için, arazi yüzeyi üzerinde uygun biçimde dağılmış, konum ve yükseklikleri bilinen noktalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktalara dayanak noktaları, kontrol noktaları veya referans noktaları denilmektedir. Bu dayanak noktaları yardımıyla, oluşturulan model üzerinde istenilen sıklıkta yeni noktalar üretilerek, bu noktalara ait konum ve yükseklikler belirlenir ve böylece yüzey sayısal olarak ifade edilmektedir.

Üretilen SYM'de beyaz renkli alanlar yüksekliğin fazla olduğu alanları, siyah renkli alanlar ise yüksekliğin az olduğu alanları göstermektedir (Şekil 4.14).

SYM, araziye bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak görmemizi sağlamaktadır. Arazi eğimi, arazi bakışı, arazi eğriliği, havza alanı, eğim uzunluğu gibi genel arazi özellikleri SYM'den kolaylıkla hesaplanmaktadır.

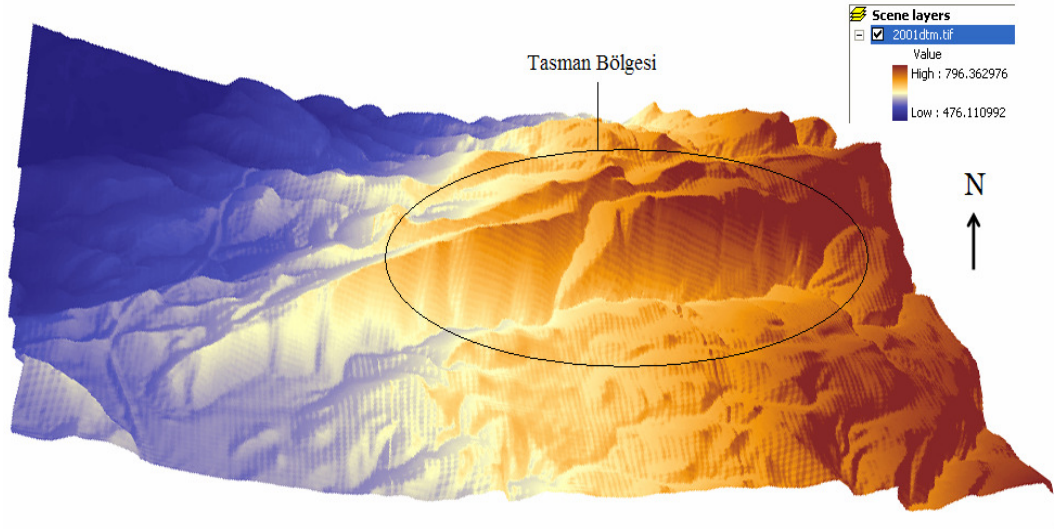


(a)

(b)

Şekil 4.14 (a) iki boyutlu ve (b) üç boyutlu sayısal yükseklik modelleri

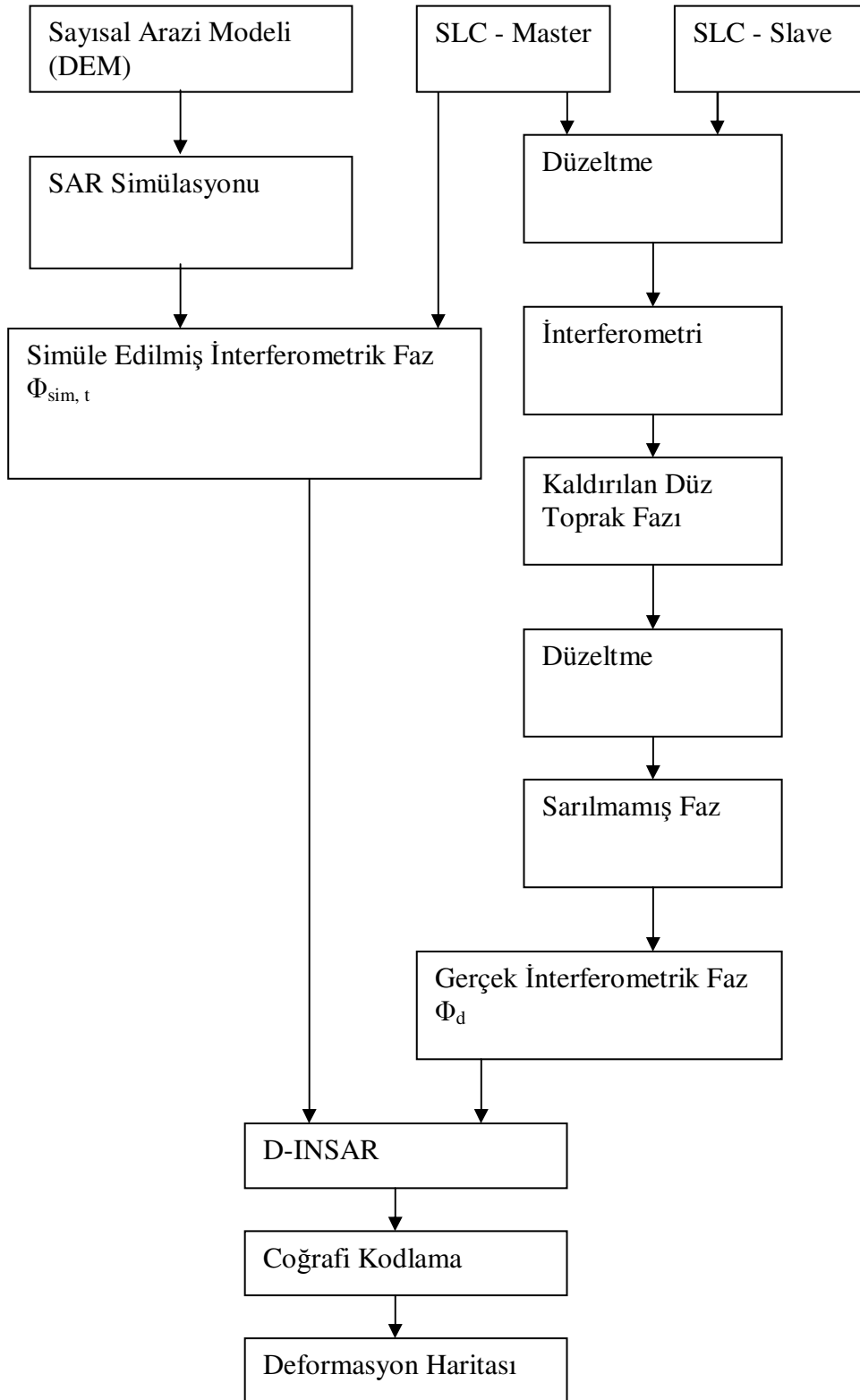
Bir sayısal yükseklik modeli yeryüzünün sürekli bir biçimde değişen topoğrafik yüzeyini göstermek için uygun bir yapıdır. Bu model arazi analizleri ve diğer üç boyutlu uygulamalar için genel bir veri kaynağı olmaktadır.



Şekil 4.15 Üç boyutlu sayısal yükseklik modeli (Yetişen, 2007)

4.6.7 Kapalı Ocak İşletmelerinin Yerüstüne Oluşturacağı Deformasyonların Radar İle İzlenmesi

Tasman gözlemleri genellikle yersel yöntemlerle yapılmasına rağmen bu yöntemlere daha iyi bir alternatif olarak radar ile izlenmesi kullanılabilmektedir. Bu yersel yöntemlerin, gözlemlerin yapılacağı alanın topografik yapısı, şehirleşme oranı, bitki örtüsü gibi elverişsiz olabilecek faktörler ve sonuçların elde edilmesindeki zamansal gecikmeler nedeniyle yetersiz kalması, herhangi bir ön bilgi gerektirmeksizin çok geniş alanlardaki yüzey deformasyonlarını belirlemeye olanak sağlayan Diferansiyel Radar Interferometri (DInSAR) tekniğini ön plana çıkarmıştır. Farklı zamanlarda alınan iki SAR uydusu verisinin faz farkını kullanarak deformasyonların belirlendiği bu yöntemle depremler, volkanik hareketler, buzul hareketleri, heyelanlar, madencilikten kaynaklanan yüzey hareketleri vb. izlenebilmektedir (Hanssen, 2001).



Şekil 4.16 D-INSAR data işleminin akış şeması

4.6.7.1 Yapay Açıklıklı Radar İnterferometri

İnterferometri terimi, interferans kelimesinden türemiş bir kelimedir. İnterferans, iki dalganın (ses, ışık, okyanus, elektromagnetik, sismik gibi) bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. InSAR, interferansın yapay açıklıklı radarla birleşmesiyle oluşan bir yöntemdir. InSAR tekniği ile aynı bölgeye ait iki SAR görüntüsünün, birbirlerine denk düşen piksellerinin faz farkları hesaplanarak yeni bir görüntü elde edilmekte ve bu yeni görüntüye interferogram adı verilmektedir. İnterferogram, faz farkından dolayı frinçlerin interferans dokusudur. Diğer bir ifadeyle, radardan yeryüzüne olan uzaklık değişimlerinin eş yükseklik haritasıdır. Fazın ya da frincin interferogramdaki her bir döngüsü, dalga boyunun yarısı kadar uydu yeryüzü uzaklığındaki değişimlere karşılık gelmektedir (Çakır, 2003).

Bir radar interferometre, ya tek bir platforma monte edilmiş iki antenle (tek geçiş interferometri) ya da bir uydudaki tek bir anten kullanılarak, neredeyse tam tekrarlanan yörünge üzerinden geçerken, aynı bölgenin iki görüntüsü alınarak oluşturulur (tekrar çift geçiş interferometri). Tek geçiş interferometride antenler, su akıntılarını ve buzul gibi hareketli nesnelere incelemek için uçuş yönüne paralel olarak yerleştirilebilecekleri (alongtrack interferometri) gibi lokal ya da global topografyayı ölçmek için uçuş yönüne dik olarak da yerleştirilebilirler (acrosstrack interferometri). Neredeyse aynı yörüngede, çok az farklı görüş geometrisiyle hareket eden ve yörüngesi çok hassas şekilde bilinen platformlarda, sadece tek bir antenle de radar interferometre oluşturmak mümkündür. Tekrar geçiş metodu, daha stabil olduklarından ve yörüngeleri hava araçlarına göre çok daha hassas hesaplandığından uydular için daha uygun olmaktadır (Çakır, 2003, ve Deguchi, 2006).

Tekrar geçiş interferometrisinde uydu, bir önceki geçişine göre bire bir aynı yörüngede hareket etmediği için yeryüzündeki hedef iki farklı noktadan görüntülenecek, böylece bir çift radar görüntüsü elde edilecek ve oluşacak faz farkı;

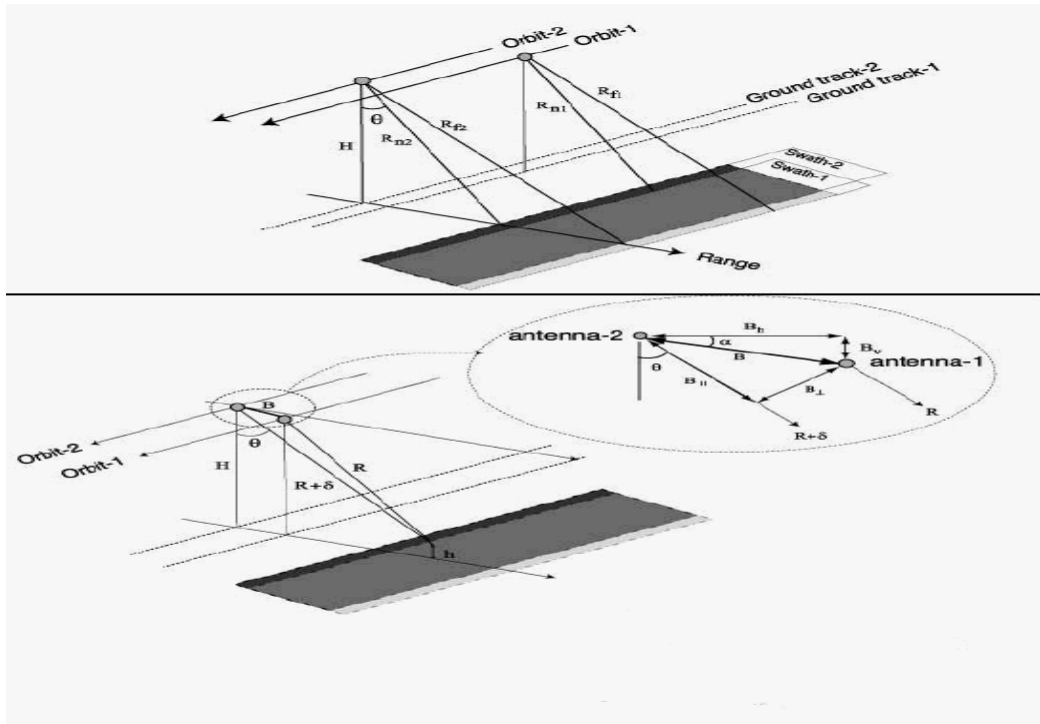
$$\Phi = (4\pi/\lambda)\delta R \quad (1)$$

olacaktır (Şekil 4.17). Burada δR , range farkıdır.

Yukarıdaki eşitlik, görüntülenen alan ve atmosferik etkiler iki veri alımı arasında aynı kaldığı kabul edilirse geçerlidir. Atmosferik etkiler değişmez ancak iki görüntü alımı arasında deprem, tasman vb. kaynaklanan δd kadarlık bir yükseklik değişimi oluşursa faz farkı;

$$\Phi = (4\pi/\lambda)\delta R + (2\delta d)/\lambda \quad (2)$$

Bu δd kadarlık yükseklik değişimini belirlemek için diferansiyel interferometri olarak adlandırılan InSAR tekniğinden yararlanılır (ÇAKIR, 2003). Diferansiyel interferometri iki yolla yapılabilir. Bunlar, üç geçiş veya çifte fark yöntemi ile diferansiyel interferometri ve iki geçiş ve SYM yöntemi ile diferansiyel interferometridir.



Şekil 4.17 Tekrar geçiş interferometri geometrisi (Çakır, 2003)

Şekil 4.17'de;

α = Baz Yönelme Açısı

θ = Bakış Açısı

B = Baz

B_h = Yatay Baz

B_v = Düşey Baz

B_{\perp} = Dik Baz

B_x = Paralel Baz

göstermektedir.

4.6.7.2 Üç Geçiş Veya Çifte Fark Yöntemi İle Diferansiyel İnterferometri

Bu yöntemde farklı zamanlarda alınmış üç SAR görüntüsü kullanılır. Çifte fark interferogram denilen sonuç görüntü, birinci ve ikinci görüntü kullanılarak elde edilen ve anlamlı bir yüzey değişimi içermeyen interferogram görüntüsünün, üçüncü ve birinci veya ikinci görüntü kullanılarak üretilen ve yüzey değişimi içeren interferogram görüntüsünden çıkartılmasıyla elde edilir (Aydöner ve Maktav, 2006 ve Hanssen, 2001).

4.6.7.3 İki Geçiş ve SYM Yöntemi İle Diferansiyel İnterferometri

Bu yöntem için farklı zamanlarda alınmış iki SAR görüntüsü gereklidir ve bu iki görüntü kullanılarak tek bir interferogram üretilir. Fark almak için gerekli olan ve anlamlı bir yüzey değişimi içermeyen ikinci interferogram ise, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve uydu konum bilgisi kullanılarak oluşturulur. Deformasyon miktarı, oluşturulan bu interferogramdan, üretilen ilk interferogramın çıkartılmasıyla belirlenir (Aydöner ve Maktav, 2006 ve Hanssen, 2001).

4.6.7.4 İki Geçiş Ve SYM Yöntemi İle DINSAR Kullanımı

Bu yöntemde kullanılan iki SAR görüntüsünden biri ana (master), diğeri ikincil (slave) olarak adlandırılır. Ana görüntü fazı ile ikincil görüntü fazı arasındaki fark;

$$\Phi = \Phi_{\text{orbit}} + \Phi_{\text{topo}} + \Phi_{\text{atm}} + \Phi_{\text{def}} + \Phi_{\text{noise}} \quad (3)$$

şeklindedir. Burada;

Φ_{orbit} : İki gözlemden elde edilen baz uzunluğundan kaynaklanan yörünge frinci,

Φ_{topo} : Topografyadan kaynaklanan topografik frinçtir (Deguchi vd., 2006)

Yukarıdaki değerleri şöyle ifade edersek:

$$\Phi_{\text{orbit}} = (4\pi B_{\text{para}})/\lambda \quad (4)$$

$$\Phi_{\text{topo}} = (4\pi h B_{\text{prep}})/\lambda R \sin\alpha \quad (5)$$

eşitliğiyle ifade edilmektedir. Burada;

B_{para} : [$B_{\text{para}} \approx \delta R$ (Eşitlik 1)],

B_{prep} : Baz uzunluğunun paralel ve dik bileşenleri,

h : Yükseklik

λ : Dalga boyu

R : Range

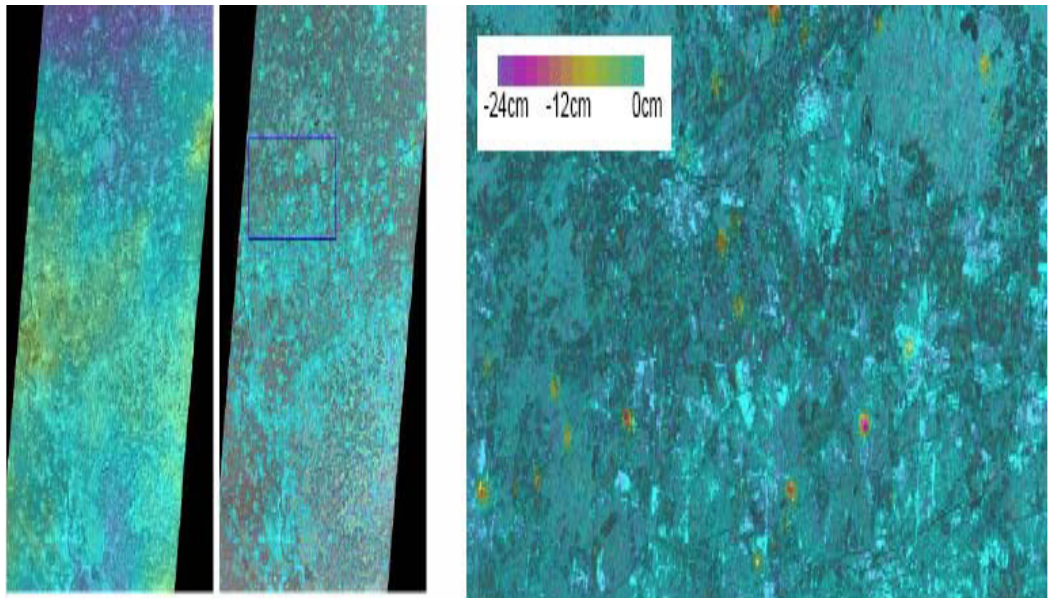
α : Eğim açısı

Φ_{atm} : Su buharı tabakası nedeniyle mikrodalganın yansımından kaynaklanan faz gecikmesi

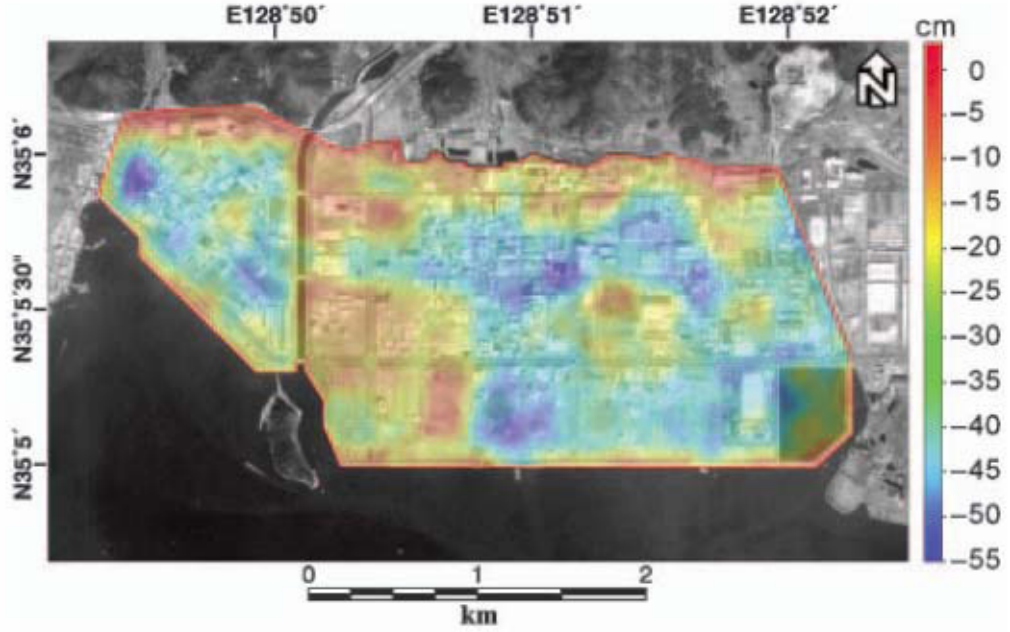
Φ_{noise} : Termal gürültü ya da baz uzunluğu veya saçılma karakteristiğindeki değişimden kaynaklanan zamansal ve mekansal dekorelasyon

Φ_{def} : İki gözlem arasındaki zaman diliminde meydana gelen yüzey deformasyonu büyüklüğünü göstermekte ve aşağıdaki işlem adımlarıyla hesaplanmaktadır.

- İkincil görüntünün ana görüntüye göre yeniden örnekleme ve kaydı,
- SYM kullanılarak SAR görüntüsünün simülasyonu,
- Simüle edilmiş SAR görüntüsünün yeniden örnekleme ve kaydı,
- Baz mesafesinin kestirimi,
- Faz filtreleme,
- Faz açılımı,
- Atmosferik düzeltme,
- Foreshortening düzeltmesi ve harita projeksiyonuna indirgeme (Deguchi vd., 2006).



Şekil 4.18 Deformasyon anomalileri [Ruhr maden havzası JERS görüntüsü, (Wegmuller vd., 2005)]



Şekil 4.19 D-INSAR ölçümleri ile yapılmış tasman haritası [352 günlük zamandan fazla 60 cm.'lik hareket gözlemlenmiştir (Kim vd., 2007)]

Radar kullanımı geniş alanları görüntüleme olanağı ve sağlıklı sonuçlar sağladığından yeraltı işletmelerinin yeryüzüne oluşturacağı tasman etkilerini belirlemede önemli rol oynamaktadır. Belirli aralıklarla alınan Radar görüntüleri ile InSAR analizleri sonucunda yer yüzeyindeki deformasyon miktarları elde edilmektedir. Buna bağlı olarak, radar kullanımı ile gelecekte yapılacak çevresel etki düzenlemelerine dolaylı olarak yön verecektir.

4.8 Uzaktan Algılama Yönteminin Doğa Onarım Aşamalarındaki Önemi

Bu çalışmalarda, maden sonrası oluşan kullanım alanlarının çevrelerindeki peyzajla bir bütün olarak ele alan bir yaklaşımla;

- 1) Çalışma alanındaki mevcut alan kullanımının ve zaman içinde geçirdikleri transformasyonun anlaşılması,
- 2) Bu değişimin sonucu arazi üzerindeki kenar etkisinin saptanması,

3) Bu değişimin kullanım alanları arasındaki bağlantıyı nasıl etkilediğini belirleme,

4) Bulgular doğrultusunda peyzajın geneline yönelik onarım ve koruma amaçlı planlama ve alan kullanım önerilerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Doğa onarımını şekillendiren tam anlaşılması sürdürülebilir bir çevresel etki düzenlemeleri için hem nicelik hem de nitelik bakımından geniş bir bakış açısına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmalarda takip edilen nesne tabanlı sınıflama uzaktan algılama ve peyzajla bağlantılı olması şarttır.

Bu yaklaşımın yaygınlaşması ekolojik prensiplerle planlama arasındaki bağları kuvvetlendirme açısından önemlidir. Bu çalışma genel peyzaj ekolojisi ilkelerinin planlamaya aktarımı ve indekslerin kompleks mekansal süreçleri anlamadaki rollerinin ortaya konması açısından da ayrıca önemli olmaktadır. Elde edilen sonuçlar sürdürülebilir kaynak kullanımı açısından dikkat edilmesi gereken noktaları vurgulamaktadır.

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

1) Büyük ve sütrüktürel kalitesi yüksek doğal vejetasyon parçaları değişim geçiren peyzajda uygun doğal yaşamın yaratılması gerekmektedir. Bu oluşturulan alanların izlenmesi ve korunması yasa ve yönetmeliklerce şarttır. Buna ek olarak bu çalışmaların bir doğal alanlar ağı mantığı ile ele alınması faydalı olmaktadır.

2) Arazi kullanımlarının mekansal dağılımları kenar etkisini önemli şekilde belirlemektedir. Bu yüzden doğal alanlarda uyumlu alan kullanımlarının yani sütrüktürel açıdan az olduğu alan kullanımlarının koruma alanlarının çevresinde ağırlıklı olarak yer almasının faydası bulunmaktadır.

3) Kenar etkisinin korunan alanlara yaptığı baskıyı bu alanlar çevresinde azaltmak tampon bölgeler oluşturmakla mümkün olur. Uygun tampon bölge genişlikleri ve tipolojileri kenar etkisi yaratan faktöre göre değişiklik göstermektedir.

4) Peyzajdaki bağlantılılık habitat ve ekolojik süreçlerin bağlantılılığını etkileyen bir faktör olduğu için doğal alanları birbirine bağlayan koridorların yaratılması yada peyzaj genelinde adım taşlarının oluşturulması önemlidir. Peyzajdaki bağlantıları korumak ve iyileştirmek, tamamen yok olmuş bağlantıları yeniden oluşturmaktan çok daha kolay ve ucuzdur. Bu geleceğe yönelik planlama çalışmalarında bu tür peyzaj elemanlarına özel dikkat edilmesini gerektirmektedir. Koridor ve adım taşları alan büyüklüğüne hassas olmayan türler için ek habitatlar oluşturduğu için ufak vejetasyon parçaları dahi bu sisteme katkıda bulunacak potansiyele sahip olmaktadır.

5) Peyzaj ekolojisi, peyzaj elemanlarının ve ekosistemlerin birbirleriyle olan mekansal ilişkilerini, yapısal ve işlevsel durumlarını ve zaman içinde geçirdikleri değişimi irdeleyen bir bilim dalıdır. Gelişmiş ülkelerde çevre ile ilgili çalışmalarda

ağırlıklı olarak kullanılmaktadır ve kendine ait terminolojisi ve metodolojisi bulunmaktadır. Uzaktan algılama yönteminin ile kullanımıyla madencilik sonrasında yapılan doğa onarım çalışmalarında etkin bir rolü bulunmaktadır. Peyzaj ekolojisinde kullanılan peyzaj yapısı metrikleri, peyzaj yapısının sayısal bir şekilde tanımlanmasına olanak sağlayarak, peyzajın işleyişinin objektif şekilde anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Peyzaj metrikleri planlama, onarım ve yönetim çalışmaları için geleceğe dönük önemli kestirim imkanları sunmakta ve bu yönüyle ekolojik planlamanın temel araçları olarak kabul edilmektedir. Kentleşme ve açık alan planlaması konusuna odaklanan pek çok disiplinin aynı dili kullanarak daha kapsamlı ve disiplinler arası çalışmalar yapmasına olanak tanıyan peyzaj ekolojisi, ülkemizde de eksikliğini hissettiğimiz meslekler arası dayanışmada ve daha kapsamlı ve aynı zamanda tarafsız koruma önlemlerinin alınmasında etkili rol oynayabilir.

6) Madencilik sonrası bitkisel gelişimi izlemek ve gelişimini etkileyen faktörlerin belirlenmesinde uzaktan algılama yöntemi kullanılmaktadır. Doğru ve uzman kişiler tarafından yapılan uzaktan algılama çalışmaları gelişmiş ülkelerde bitkisel girdilerin maliyetinin azaltılmasına ve birim alandan elde edilen verimin artmasına olanak sağlamaktadır.

7) Uzaktan algılama teknolojileri arazi kullanımının izlenilmesinde sıkça başvurulan yöntemlerden biri haline gelmiştir. Özellikle uydu sensörlerinin ürünleri olan uydu görüntülerinin farklı zamanlarda elde edilmiş ve dijital ortamlarda saklanabiliyor olması, çeşitli periyotlardaki arazi kullanım biçimlerinin göreceli olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmelerine imkan sağlamaktadır. Bu durum geniş arazi parçalarının belirli zaman aralıklarında geçirmiş olduğu değişimlerin izlenilmesine ve tespit edilecek değişim sonuçlarının istatistiksel açıdan değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

8) Madencilik çalışmaları sonucunda, atık sahaları ve ocak çukurları işletme sonrası kendi hallerine bırakılırsa, bu alanların kendilerini onarmaları ve tekrar kullanılabilir hale gelmeleri uzun yıllar alacaktır. Oysa yapılacak onarım çalışmaları ile doğal yapısı bozulan bu alanların farklı amaçlar doğrultusunda geri kazanımları

mümkündür. Bu kazanım çalışmaları, madencilik faaliyetleri için yer seçim aşamasından başlayarak onarım çalışmalarının sonuçlanması aşamasına kadar olan geniş bir zaman dilimi kapsar. Bu zaman dilimi içinde, gerek maden ocağının optimal işletilmesi gerekse sürdürülebilir kaynak kullanımını açısından;

- Planlı kazı çalışmaları ile iyileştirme çalışmaları eş zamanlı yapıldığında,
- Mevcut arazi kullanma planları, yöresel gelişme inşaat planları ve belirlenmiş peyzaj koruma alanları dikkate alındığında,
- Peyzaj yapılanma planları bölgesel, yöresel gelişim planlarıyla ve kentsel planlarla kombine edildiğinde,
- Endüstri, alan strüktürü ve peyzaj planlaması arasında iyi bir koordinasyon sağlandığında,
- Madencilik sonrasında yapılacak arazi kullanım biçimi işletme öncesinde belirlendiğinde,
- Alana ilişkin ekolojik veriler işletme öncesinde değerlendirildiğinde,
- Onarım ve sürdürülebilir kullanıma ilişkin planlar, ekosistem yönetimi ile doğal arazinin rasyonel kullanımının birlikte yürütülmesi durumunda başarılı bir madencilik gerçekleştirilmiş olunacaktır.

9) Yeraltı madenciliğinde oluşan tasman oluşumu uzaktan algılama teknikleri aracılığıyla hızlı, güvenilir ve verimli bir şekilde incelenmesi mümkün olmaktadır. Yeraltı maden işletmeciliğinin yarattığı zemin hareketlerinin gözlenmesi, yorumlanması, tahmin edilmesi çok uzun bir zaman diliminde, oldukça masraflı ve emek gerektiren bir işdir. Bundan dolayı uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak zamandan ve insan gücünden tasarruf edilmektedir. Ayrıca yöntem, geniş alanları kapsamaması bakımından da önemli bir yere sahiptir. Tasman oluşumlarının izlenerek önceden belirlenmesi, ortaya çıkabilecek zararların engellenmesi veya en aza indirilmesi bakımından önemlidir. Bu yüzden uzaktan algılama yöntemlerinin uygulamalarda kullanımı büyük yarar sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Akın A., Berberoğlu S. (2005) Arazi Örtüsü Değişim Tespitinde Farklı Uzaktan Algılama Yöntemleri Çukurova Deltası Örneği. Ç.Ü. Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana.
- Bayram A. (2005) *Isparta İli Keçiborlu İlçesi Kükürt Maden Ocağı Ağaçlandırma Sahasındaki Bitki Örtüsü Gelişimi*. Yüksek Lisans Tezi S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Coğrafi Bilgi Sistemleri-Geographic Information Systems/*
http://www.tagem.gov.tr/gis_web/noaa_calismalari.html, (2010), retrieved from 2 Haziran 2010
- Deniz B., Küçükerbaş E. V., Eşbah Tuncay H. (2006) Peyzaj ekolojisine genel bakış. A.D.Ü., *Ziraat Fakültesi Dergisi* 3 (2), 5-18.
- Duran C. (2007) Uzaktan Algılama Teknikleri ile Bitki Örtüsü Analizi. *Doğu Akdeniz Ormanlık Araştırma Müdürlüğü Dergisi* 13 (7), 45-67, Mersin.
- Düzgün H. Ş. (2009) Maden Kapatma Planlaması ve Doğaya Yeniden Kazandırmanın Temel İlkeleri. 3. Madencilik ve Çevre Sempozyumu ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Erbulak A., Şen M. Arazi Kullanım Potansiyellerinin Belirlenmesi Ve Uzaktan Algılama Teknolojisi. C.B.Ü., Turgutlu Meslek Yüksek Okulu, Manisa.
- Erdoğan M. A., Berberoğlu S. (2003) Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Habitat Modelleme. Ç.Ü. Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana.

- Erener A., Düzgün H.S.B. (2009) *Murgul Bakır Ocaklarındaki Alansal Değişimin Uzaktan Algılama Yöntemi ile Belirlenmesi*. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.
- Eşbah H. (2007) *Koruma Alanları ve Çevresindeki Peyzajın Geçirdiği Değişimin Tespiti ve Alan Kullanım Planlaması Önerilerinin Geliştirilmesi*. İ.T.Ü, Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, İstanbul.
- Genç L., Kavdır İ., Turhan H., Genç H., Kavdır (2005) *Bitkisel Üretim Ve Uzaktan Algılama*. HR.Ü *Ziraat Fakültesi Dergisi* 9 (4), 1-9.
- Gökdemir O., Arkan A. (2004) *NOAA-AVHRR Uydu Girintileri ile Bölgesel Buharlaştırma-Terlemenin Belirlenmesi*. H.Ü. *Jeoloji Mühendisliği Bölümü* 56. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara.
- Güler B. (2009) *Yerbilimsel Saha Çalışması, Yerbilimsel Harita Alımı ve Yerbilimde Uzaktan Algılama Yöntemi*. H.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Hidrojeoloji Mühendisliği Programı Staj Çalışması raporu, Ankara.
- Gündeş S. (2007) *Türkiye'nin Bitki Örtüsü Değişiminin NOAA Uydu Verileri ile Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Karabulut M. (2006) *NOAA AVHRR Verilerini Kullanarak Türkiye'de Bitki Örtüsünün İzlenmesi ve İncelenmesi*. K.S.Ü., Coğrafi Bilimler Dergisi 4 (1), 29-42, Kahramanmaraş.
- Karahan F. (1998) *Erzurum Ve Yakın Çevresindeki Alpin Vejetasyonunda Yer Alan Bazı Bitkilerin Peyzaj Mimarlığı Çalışmalarında Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Kavzoğlu T., etin M. (2005) Gebze Bölgesindeki Sanayileşmenin Zamansal Gelişiminin ve evresel Etkilerinin Uydu Görüntüleri ile İncelenmesi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Konya H. (2007) *Hiperspektral Jeolojik Uzaktan Algılama*. Yüksek Lisans Semineri C.. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Koruyan K., Deliormanlı A. H., Yalçın E., Tecim V., Karaca Z. (2007) *Muğla'daki Mermercilik Faaliyetlerinin Bitki rtsne Etkilerinin CBS Ve Uzaktan Algılama Teknolojileri Kullanarak Analiz Edilmesi. Maden Sahalarını Doğaya Yeniden Kazandırma alıştayı*. D.E.., İzmir.
- Mancini F., Stecchi F., Zanni M., Gabbianelli (2009). Monitoring ground subsidence induced by salt mining in the city of Tuzla (Bosnia and Herzegovina) *Environ Geol* 58, 381–389.
- Marangoz A. M., (2010) *Uzaktan Algılama Giriş Ders Notları*.
- Miao F., Yan M., Qi X., YE C., Wang B., Liu R., Chen J., (2008) Application Of DINSAR and GIS For Underground Mine Subsidence Monitoring Chengdu University of Technology.
- Pamukçu . (2004). *Açık Ocaklarda Alternatif Rehabilitasyon Modellerinin Geliştirimleri Ve rnek Bir Uygulama*. Doktora Tezi D.E.U., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Raucoules D., Mouelic S. L., Carnec C., Guise Y., (2008) Monitoring post-mining subsidence in the Nord-Pas-de-Calais coal basin (France) comparison between interferometric SAR results and levelling *Geocarto International*. 23 (4), 287-295.

- Topay M., Koçan N. (2007) Ekonomik Ömrünü Tamamlamış Açık Maden Ocaklarının Rekreatyonel Amaçlarla Düzenlenmesi. Z.K.Ü. Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Bartın.
- Topay M., Sertkaya Aydın Ş., Koçan N. (2007) Taş Ocaklarının Peyzaj Etkileri ve Yeniden Kullanımlarına Yönelik Çözüm Önerileri Bartın İli Örneği. S.D.Ü. *Orman Fakültesi Dergisi* 2 (7), 134-144, Bartın.
- Tunay M., Ateşoğlu A. (2004) *Uzaktan Algılama Tekniği ve CBS Kullanılarak Bartın Çevresindeki Doğal Olmayan Değişikliklerin Belirlenmesi* Bartın Z.K.E.Ü. Bartın Orman Fakültesi 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri.
- Wang Z., Zhang J., Huang G., Zhang Y. (2009) Monitoring land subsidence in Suzhou city using D-InSAR technique Geomatics College, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, *China*.
- Yaobin S., Wang Y., Ge L., Rizos C., (2009) Differential Radar Interferometry and Its Application in Monitoring Underground Coal Mining-Induced Subsidence School of Surveying and Spatial Information Systems, *The University of New South Wales, Sydney*.
- Yetişen H. (2007) *Hava Fotogrametrisi Kullanılarak Tasman Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi H.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yomralıoğlu T., Akça M. D., (1999) Çevresel Bilgi Sistemleri İçin Model – Altlık Tasarımı Trabzon – Değerlendirme Havzası Örneği. K.T.Ü. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü *Yerel Yönetimlerde Kent Bilgi Sistemleri Uygulamaları Sempozyumu*, Trabzon.
- Zhao C.Y., Zhang Q., Ding X.L., Lu Z., (2009) Monitoring of land subsidence and ground fissures in Xian, China 2005–2006: mapped by SAR interferometry *Environ Geol* 58, 1533–1540.