

Kaan Şevki .KAVAK

Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas

# Uzaktan algılamanın temel kavramları ve jeolojideki uygulama alanları

*Uzaktan algılama, elektromanyetik radyasyonun uzakta bulunan objelere etkileşimde bulunup yansımaları sonucunda algılanan objenin özelliklerini ortaya çıkaran bir teknolojidir.*

*Uzaktan algılama; jeolojide doğada yüzeylemiş durumda bulunan kayaç ve toprakların bileşimsel özelliklerinden yararlanarak ayırt edilmesinin yanında değişik boyut ve ölçekteki tektonik özellikleri de ortaya çıkarabilir. Bununla, birlikte bu makalenin amacını jeolojik haritalama, maden aramaları, petrol ve yeraltı suyu olanakları, mühendislik jeolojisi uygulamaları yanında jeolojik ve jeokimyasal risk faktörlerinin uzaktan algılamada kullanımı oluşturmaktadır,*

## Giriş

Son 25-30 yıl içerisinde çok hızlı bir gelişim gösteren uzaktan algılama tekniği (remote, sensing), içinde haritacılık, şehir ve bölge planlama, tanım, hidroloji, ormancılık için de bir çekim, merkezi haline gelmiştir. Özellikle» şimdi ki adıyla Landsat serisi uyduların, ilki olan ve 1972 -yılında uzaya fırlatılan ERTSI (Earth Resources Technology Satellite I) adlı uydunun çok kısa süreler içerisinde çok geniş alanları kapsayan bölgelerden topladığı bilgilerin niteliği ve belirli periyotlarla tekrarlanabilirliği jeologları, büyülemiştir.

Jeolojinin büyük çapta gözleme dayanan bir bilim dalı olması yadsınmaz bir gerçektir., Sahada gözlem, yapan, bir jeologun,, gözlerini kendisini ilgilendiren yeryüzü özellikleriyle etkileşimde bulundurması bir anlamda uzaktan algılamanın temel mantığıyla da uyur., İnsan gözünün algılaya-

bildiği aralık olan ve elektromanyetik spektrumun yakın kızıl ötesi (near infrared) ve mor ötesi (ultra, violet) bölgeleri arasına, düşen görünür (visible) bölgede- (0.40-0,67µm) cisimlerin boyuta, dokusu,, üç boyuttaki şekli ve yeri hakkında bilgi edinmek, mümkündür, Bunun, yanında uzaktan algılama, elektromanyetik, spektrumun insan gözünün algılayamayacağı diğer bölümlerinde de çok önemli uygulama alanlarına sahiptir.,

Bu makalede, konuyla çok yalından ilişkiler içinde olan ve birlikte düşünülmesi gereken karışık matematiksel, kimyasal ve fiziksel ilişkilere yer verilmeden, uzaktan algılamanın temel kavranılan ve jeolojik anlamdaki uygulamaları özet, bir şekilde verilmeye çalışılacaktır.

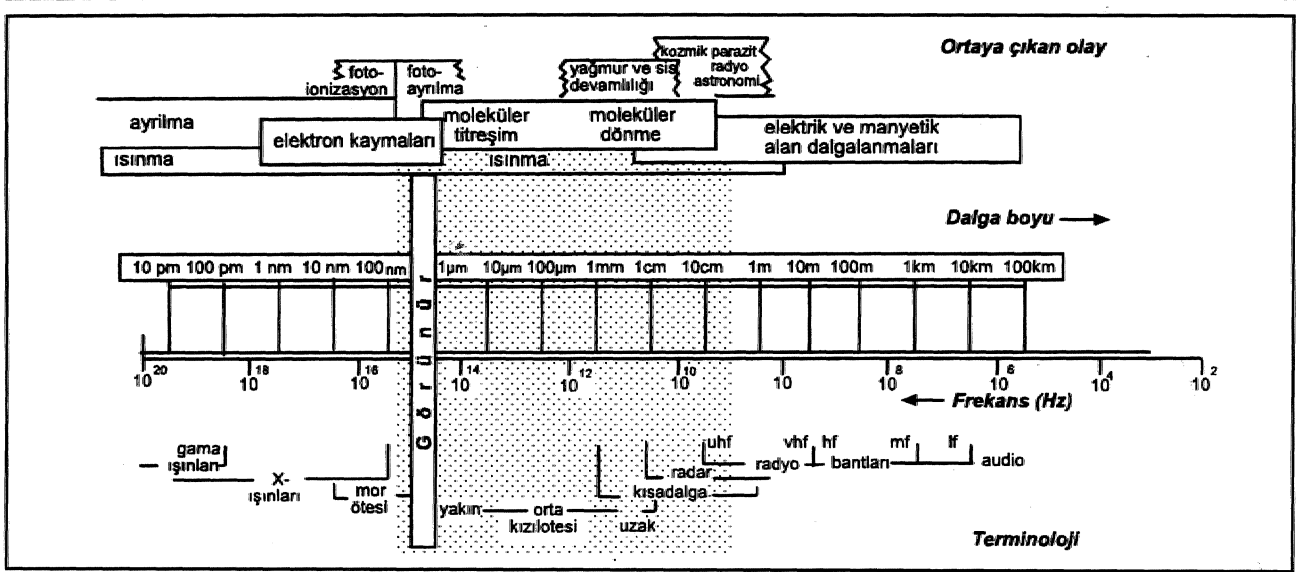
## Uzaktan, algılamanın, tamını ve geçmişi

Uzaktan algılama (remote sensing); -elektromanyetik spektrumun morötesi ışınlar ile mikrodalga ışınlar (Şekil 1) arasındaki bölümünden yararlanarak bir cisim» bir arazi yapısı veya doğal, bir olayın, fiziksel, ve kimyasal özellikleri hakkında\* .arada herhangi bir fiziksel bağlantı ohnaksızV çeşitli algılayıcı sistemler' tarafından toplanan veriler yardımcı ile uzaktan bilgi edinme yöntemi ya da bilimidir..

Uzaktan algılama, aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılır. Bunlardan aktif uzaktan algılama, incelenecek cisim ya da yüzeye yapay olarak gönderilen, enerjinin, yansıldıktan sonra analiziyle karakterize olur. Radar (Radio detection and ranging) olarak adlanan, aktif yöntem, bu sınıf içerisinde yer alır.

Pasif uzaktaâ'algılama ise, doğada tamamen doğal yollarla -güneş ışınımı, aracılığıyla- yayılan elektromanyetik radyasyonun cisim ve yüzeylerle etkileşimde bulunarak onların fiziksel, ve kimyasal özellikleri hakkında istenilen bilgileri, sağlama yöntemi olarak aktif uzaktan algılamadan ayrılır.

Cisimler hakkında uzaktan bilgi kaydetmeye yarayan donanım ise uzaktan algılayıcı gereçler (remote sensors)



Şekil 1. Elektromanyetik spektrumun dalga boyu ve frekans arasındaki ilişkileri ile spektrumun değişik bölümlerinin adlanması (Drury, 1993).

olarak, anılır. Bu gereçlerin, sağladıkları verileri ise algı ya da kayıt (imagery) olarak adlandırılmak mümkündür. Sözü edilenler, bu algılar bilgisayar ve kağıt gibi değişik format ve ortamlarda saklanabilir.

Bir uzaktan algılama sistemi sırasıyla; enerji kaynağı, enerji/madde etkileşimi» atmosfer, algılayıcı ve veri toplama sistem elemanlarından oluşur. Uzaktan algılama tekniğinin temelini cisimlerini yansıttıkları veya yaydıkları elektromanyetik ışınlarla,, kendi, özellikleri arasında belirli ilişkilerin bulunması meydana getirmektedir.

Uzaktan algılamanın İlk tarihi uygulaması 1858 yılında Gaspard Tournachon isimli bir Fransız araştırmacının balon yardımıyla Paris yakınlarındaki bir bölgenin, fotoğrafını çekmesiyle gerçekleşmiştir.

Daha sonraları askeri amaçlar, uzaktan algılamanın gelişimini belirleyici faktörler olmuştur, ABD iç savaşı sırasında (1861-65) Kuzeyliler, Güneylilerin pozisyonlarını, balonlar yardımıyla fotoğraflar çekerek belirlemişler ve uçurtmalara bağlanarak uzaktan kontrol edilen gereçler kullanmışlardır.

I. Dünya Savaşı yılları Almanya'nın» güvercinlerin taşıdığı minyatür kameraları kullanarak askeri bilgiler elde ettiği ve sistematik hava fotoğrafları, haritacılık, ormancılık ve jeolojinin 1920 ve 30'lu yıllara doğru ilk, önemli, örneklerini vermesi açısından önemlidir.

Jeolojik açıdan, ilk büyük uygulama 30'lu yılların sonunda Anglo Persian Şirketi tarafından petrol amaçlı olarak İran'da gerçekleştirilmiştir. II Dünya Savaşı sırasında hava fotoğrafı araştırmacılığı yanında askeri gereksinimler göz önünde tutularak radar, çok yakın -kızılötesine (VNIR) du-

yarlı filmler ve termal- kızılötesi algılama gereçleri geliştirilmiştir.

50' M yıllarda bitki örtüsü çalışmalarında kullanılan kızılötesi fotoğraflar yanında, side looking airborne radar (SLAR) ve synthetic-aperture radar (SAR) sistemleri optik işlem, bakımından başarılı gelişmeler olarak ortaya çıkmıştır. 60'lı yıllardan itibaren teknolojinin, gelişimiyle beraber, algılayıcı sistemleri olan line-scanner, pushbroom ve spektral duyarlılığı fazla olan dedektörler ortaya çıkarak sivil-ticari uygulamalarda kullanılmışlardır.

Günümüzde uydu görüntülerinin,, im'ye varan ayırma gücüyle -rezolüsyon- yeryüzünün izlenebildiği öne sürülmektedir. Bunlardan ABD'ne ait US Keyhole (KH-12) uydu serisinde görünür -VNIR ayırma, gücünün 10-15 cm. civarında olduğu tahmin edilmektedir, Çok hassas ayırma gücüne sahip radar ve termal görüntüler de bu gibi dolaylı kanıtların göstergesidir.

## Elektromanyetik radyasyonun, yeryüzü özellikleriyle etkileşimi

Uzaktan algılanmış verileri yorumlayabilmek için yeryüzündeki çeşitli malzemelerin elektromanyetik radyasyon ile etkileşimini, bilmek, gerekir.

Elektromanyetik, enerji, yeryüzü özelliklerine bağlı olarak onunla 3 değişik şekilde etkileşebilir.

a) Yansıma (reflection): Gelen enerjinin belli kurallara göre geri, dönmesi

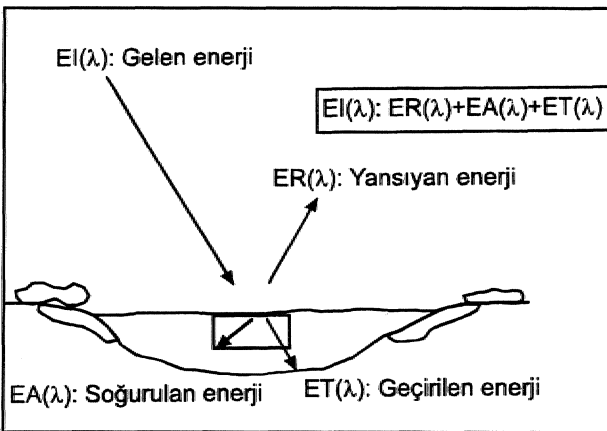
b) Geçirme (transmission): Enerjinin cisim içinde yayılması

c) Soğurma (absorbtion): Gelen radyasyonun kısmen veya tamamen, yutulurak ısı gibi diğer enerji şekillerine dönüşmesi

Bu etkileşimler bir su kütlesi üzerinde Şekil 2'de verilmiştir. Su üzerine gelen, enerji yansımakla, soğurulmakta ve/veya geçirilmektedir. Herhangi bir yeryüzü cisminde ortaya çıkan bu etkileşimlerin özel nitelikli, karışımı, cismin atomik, moleküler ve kristal yapısına, ve gelen enerjinin dalga boyuna bağlıdır.

Enerjinin etkileşimde bulunduğu cismin geometrik şekli enerjinin yansıtımında önemli bir konuma sahiptir. Yansıtıcı, dağıtıcı ve Lambertian olarak üç ayrı sınıfa ayrılabilen yansıma çeşidi gelen enerjiyi sırasıyla yansıma açısının, geliş açısına eşit olduğu veya yansımanın tüm yönlerde gözlemlendiği bir şekilde etkiler (Şekil 3). Lambertian yansımanın dağıtıcı yansımadan en önemli farkı, yansıtıcı yönünde yansımanın, daha büyük oranda gerçekleşmesidir.

Şekil 4, yeryüzü özelliklerinin üç temel türü olarak nitelenebileceğimiz doğal (sağlıklı) yeşil bitki örtüsü, kuru çıplak toprak (gri-kahverengi kum, balçık ve bitki karışımından oluşan toprak) ve berrak göl suyu için tipik, spektral yansıma eğrilerini göstermektedir. Bu eğriler söz konusu



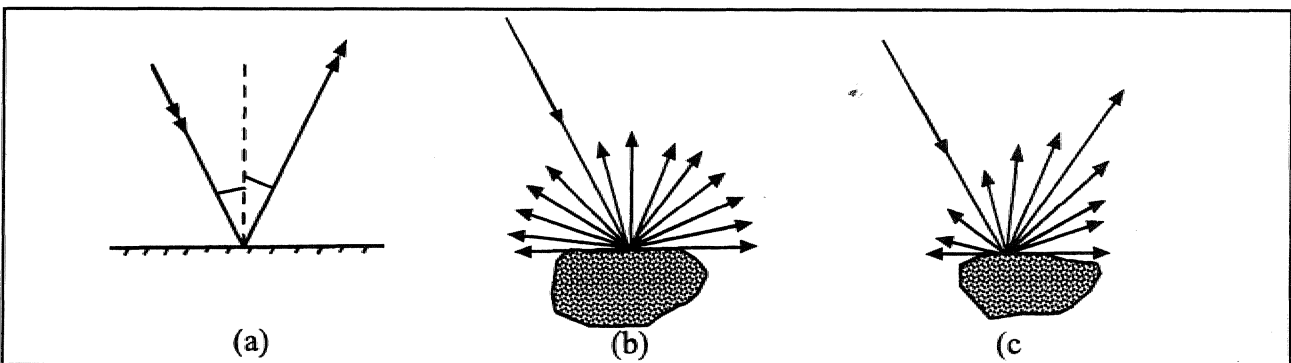
Şekil 2. Elektromanyetik enerji ile yeryüzü özellikleri arasındaki enerji etkileşimi (Lillesand ve Kiefer, 1994).

türlerin en genel özelliklerinin bütünleştiği ortalama değerler olup spektral yansıma ile ilgili birkaç ana noktayı açıklar. Bu spektral eğrilerde de izlendiği gibi yansıma ve dalga boyu cisimlerin türüne göre değişiklikler göstermektedir.

Sağlıklı, yeşil bitkilere ait spektral yansıma eğrileri çoğu kez birbirini izleyen tepe ve çukurlar şeklindedir. Spektrumda görülen çukurlar, bitki yapraldardaki pigmentler nedeniyle oluşur. Çünkü klorofil a ve klorofil b adı verilen maddeler yaklaşık 0,45 ve 0,67  $\mu\text{m}$  değerlerine, merkezlenmiş dalga boyu bantlarındaki enerjiyi kuvvetli bir şekilde soğurur (Seranda, 1986). Mavi, ve kırmızı enerjinin sözü edilen bu değerlerde bitki yaprakları tarafından soğurulması ve yeşil enerjinin de bu oranda yansıması, gözlerin sağlıklı bir bitki örtüsünü yeşil renkte algılamasına yol açar. Eğer bir bitki türü normal büyüme ve verimliliğini engelleyen bazı zorlamalara konu oluyorsa klorofil üretimi, azalmış veya durmuş, demektir. Bu durumda mavi ve kırmızı bantlarda daha az klorofil, soğurulup sağlıklı yeşil renginde bozulmalar gözlenecektir.

Suyun spektral yansıması incelendiğinde; en belirgin göze çarpan özellik, yansıyan kızıl ötesi, dalga boyundaki enerjinin soğurulmasıdır. İster göl, akarsu gibi su kütlesi olsun, isterse bitki örtüsü ya da topraktaki su olsun bu dalga boyundaki enerji soğurulur. Bu nedenle uzaktan algılama verileri ile su kütlelerini bulma ve şeklini belirleme işlemi, yansıyan kızıl ötesi dalga boylarında gerçekleştirilir. Bir su kütlesindeki yansıma, suyun yüzeyi, suyun içeriğindeki fiziksel ve kimyasal maddeler veya, su kütlesinin derinliği gibi faktörler nedeniyle farklılıklar sunar.

Şekil 4'deki toprak eğrisi, yansımada çok az derecede tepe ve çukur değişimi içermektedir. Yani toprak, yansıma olayı içerisinde spesifik dalga bantlarını en az düzeyde etkileyici bir yapıya sahiptir. Topraktaki yansımayı etkileyen faktörler arasında, nem durumu, toprak dokusu (kum, mil ve kil miktarı) yüzey eğmesi, demir oksit ve organik madde içeriği sayılabilir. Bu faktörler karmaşık, değişken, ve birbirleriyle ilişkilidir. Örneğin toprakta bulunan nem, yansı-



Şekil 3. a) Yansıtıcı (specular), b) dağıtıcı (diffuse) ve c) Lambertian yansımaların şematik görünüşleri (Dury, 1993).

mayı azaltacaktır. Bitki içeren, topraklarda bu etki 1.4, 1.9 ve 2.7 fım civarındaki su soğırma bantlarında en büyüktür (aynı şekilde killi topraklarda. 1.4 ve 2.2 fım avamındaki su soğırma bantlarında hidroksil içerir). Toprak içerisindeki nem» toprağın doknsn ile ilişkilidir. Sert ve kumlu topraklar düşük düzeyde- nem. içerdiklerinden göreceli olarak yüksek yansımaya sahiptirler. Gevşek dokulu ve #em oranı, fazla topraklar ise düşük yansımaya gösterirler. Yüze engesesi ve organik madde içeriği gibi faktörler de- toprak, yansımasını azaltıcı yönde etki yaparlar. Toprakta, demiroksit bulunması durumunda da özellikle görülebilen dalga boylarındaki yansımaya önemli derecede azalacaktır.

### Elektromanyetik radyasyonun kayaç ve minerallere etkileşimi

Kayaçlar oluşturan minerallerin' her birinin kim.yasal bileşimi, ve kristalin yapısı farklı olduğundan dolayı yansımaya spektralan da birbirinden farklıdır.. Hele bir de- doğada bulunan kayaların çoğunun 'farklı minerallerin birlikteliğiyle-oluştugu gözönüne alındığında, bir kayaca, ait genel spektra için. kendisini oluşturan mineral spektralanmn bir arada düşünülmesi gerekir.,

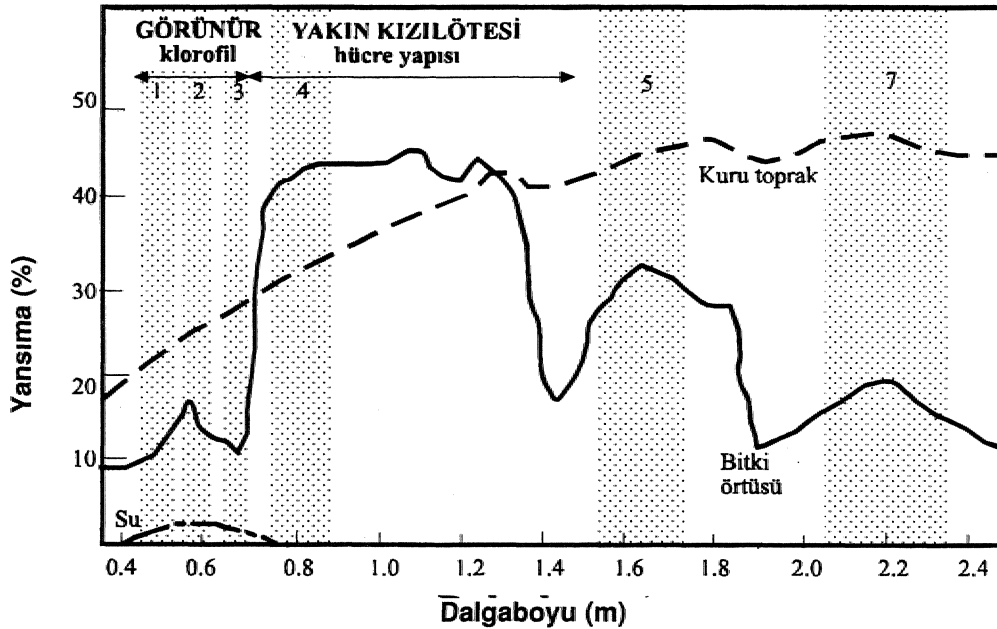
Çoğu mineral, örneğinin tane boyutuyla dalga boyu spektrası arasında, bir' ilişki kurulması istenildiğinde 1.25-500 |fım arasında, tane boyutuna sahip minerallerin 0.4-2.5 |Lm, 74-250 |fım arası tane- boyutuna, sahip minerallerin ise 2-25 |fım. dalga boyu spektrasına sahip olduğu ortaya çıkar.

rilmiştir. Sözi. edilen bu minerallerin, tane boyutu ortalama olarak orta kum boyutu olarak düşünölmelidir. Demir oksit ve kil gibi daha küçük tane boyutuna .sahip mineraller (0-45 Jim) için 0.4-2.5 pım, kil-silt tane- boyutu. (0-2 pım veya 0-75 fım) malzeme içinse 2-25 pım .arasındaki dalga boyu. spektrası geçerlidir.. Kil-silt tane boyutuna sahip örnekler için genelde- 45' fım'den daha küçük tane boyutlu terimi kullanılır.

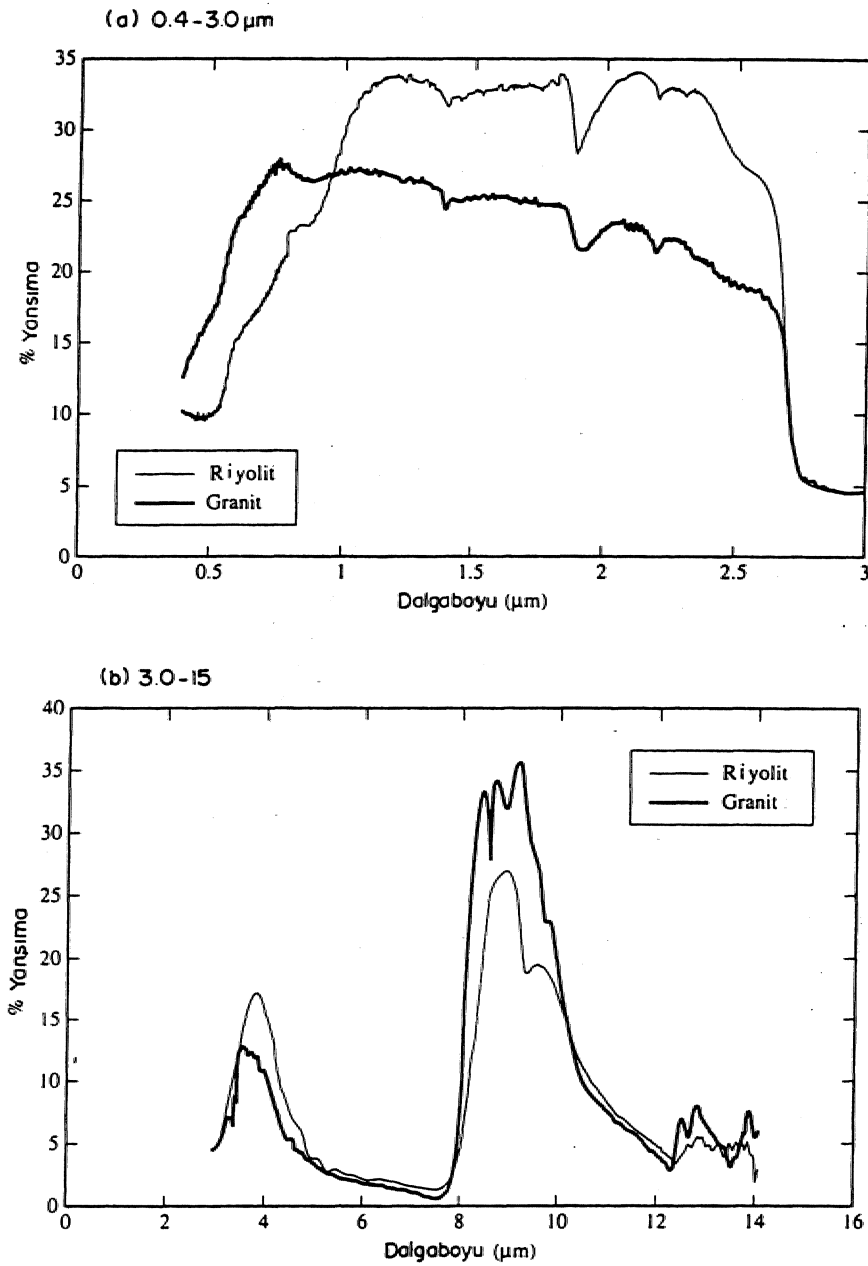
Bu bölümde sırasıyla,, mağmatik, sedimanter Ye metamorfik kayaç türlerine ait ölçölmüş spektral yansımaya eğri örnekleri verilecektir.

Bilindiği gibi. mağmatik kayaçlar., silikat minerallerinin çeşitli oranlarda karışımından ve magmanın katüaşmasıyla oluşur. Şekil 5a, ve b'de verilen örnekte benzer bileşime sahip olan fakat, derinlik ve yüze kayacı olarak ayrılan granit ve riyolitın spektral yansımaya eğrilerini göstermektedir', Burada 8.0-12.0 pım arasındaki dalga boyu için. kuvvetli, yansımamn malik kayaçlar için. genellikle daha ezim dalga boylarında, oluştuğunu söylemek mümkündür. Dunit için bu maksimum yansımaya değeri (restrahlen band) yaklaşık 11 |Lm, bazalt ve gabro için 10.0-10.5 pım., andezit ve diyorit içinse 10' |fım civarındadır. Mağmatik, silikatik kayaçlardaki felsik. değışim,, uzaktan algılama ölçümleriyle kayaç ve toprak bileşimi arasındaki ilişkileri kullanan bir faktördür.

Sedimanter' kay açlara, örnek olarak Şekil 6\* da fosilli ve dolomitik kireçtaşı ömek verilmiştir., Görüldüğü gibi fosilli ve dolomitik kireçtaşı» 8.5-9.5 pım -arasındaki bölge hariç 3-13 Jim arasındaki tüm bölgede- hemen, hemen benzer eğrilerle sahiptir. Sadece 8.5-9,5 |Lm arasındaki bölgede dolomitik



Şekil 4. Bitki örtüsü, toprak ve su için tipik spektral yansımaya eğrileri (Drury, 1993).



Şekil 5. Granit ve riyolit'in (a) 0.4-3.0  $\mu\text{m}$  ve (b) 3.0-15  $\mu\text{m}$  arasındaki spektral yansıma eğrileri (Salisbury ve D'aria, 1992).

kireçtaşındaki kuvars ve diğer silikat minerallerinden dolayı maksimum yansımalar izlenebilmektedir.

Şekil 7 ise beyaz mermer ve serpantin :mermere ait spektral yansıma eğrilerini göstermektedir. Her iki örneğe ait kuvvetli karbonat yansıma özelliği 6  $\mu\text{m}$  civarında gözlenmektedir. İşte bu değerdeki karbonat soğuma bandı ve serpantin, mermer örneğindeki %20, İlk serpantin, %5'lik flogopit miktarları yansımanın farklılıklarını oluşturmaktadır.

Minerallerin 0.4-2.5  $\mu\text{m}$  arasındaki dalga boyu aralığı-

daki en genel soğuma bantları, sırasıyla demir oksit, ve mafik silikatlardaki  $\text{Fe}^{3+}$  ve  $\text{Fe}^{2+}$  demir iyonları, hidroksit ve kilerdeki hidroksiller ( $\text{OH}^-$ ), birasyona uğramış minerallerdeki su, karbonat minerallerindeki karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) iyonu ve sülfat minerallerindeki sülfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) iyonları tarafından etkilenir. Görünür kızılötesi, ve termal kızılötesi dalga boylarındaki absorpsiyon bantları en az yansımayla karakterize olur,

0.4-2.5  $\mu\text{m}$ , 3-5  $\mu\text{m}$  ve 8-14  $\mu\text{m}$  arası dalgaboylarında

yer alan silikat, karbonat, sülfat ve slifit minerallerinin spektralan .arasında farklılıkları bulunur.

## Uzaktan, algılamada kullanılan Yeri tipleri ve kaynakları

Gerçekte uzaktan algılama yorumsal fotogrametrisinin alt dallarından biridir.. Yorumsal fotogrametri için diğer bir dalı olan fotoğrafçılıkta ise» fiziksel iletişim olmaksızın cisimleri tanıma ve anlamlılığına karar vermede kullanıldığından uzaktan algılamanın bir şekli olarak da düşünülür.

Ancak resim, yorumlama, genelde elektromanyetik spektrumun görünen kısmına kaydedilen görüntülerin incelenmesi ile sınırlıdır. Uzaktan algılama ise genellikle resim yorumlama ile birlikte elektromanyetik, spektrumun daha geniş alanlar üzerindeki çoğu. ölçülebilir boyutlarda olan enerjiyi kayıt eden algılayıcı sistemler ile bunların elde ettikleri verilerin analiz ve yorumlama işlemleri ele alınır,

Bu yüzden uzaktan algılamada kullanılan veri tiplerini başlıca elektromanyetik spektrumun görünür bölgesine duyarlı olan ve bugün gündelik hayatta da kullanılan, siyah-beyaz veya renkli fotoğraf filmler ve uzaya gönderilen insanlı veya insansız uydulardan sağlanan, görüntüler olarak iki kısma, ayırmak gerekir.

Uzaydan sağlanan veriler çeşitli uydular tarafından yer yüzündeki istasyonlara gönderilir. Bu uydulara, uzay mekiği (Space- Shuttle), meteorolojik ve oşinografik amaçla uzaya gönderilen NOAA/ITROS, GOES, NIMBUS, DMPS ve SEASAT uyduları örnek verilebilir. Sözü edilen bu uydulardan NOAA ve GOES meteorolojik amaçlı uydular olup, yerküreyi, bütünüyle tek bir görüntü içinde gözleyebilirler.. NIMBUS uyduları ise okyanusların kıyı bölgelerine ait renk ve ısı ölçümleriyle su kalitesindeki değişimleri gösteren, fok uydudur. Bu amaçlara, ek olarak, deniz buzulları ve ozon dağılımının haritalanması da sayılabilir. DMPS uydusu yerleşim yerleri, volkanik faaliyetler,, petrol ve doğal gaz üretim, alanları ve orman yangınlarının, izlenmesinde kullanılır. SEASAT' uydusu ise tamamen oşinografik araştırmalara yönelik çalışmalar için planlanıp gönderilmiştir. Bu uydunun sayesinde yüzey rüzgar hızı, buzul sınırları ve uzanım yönleri,, atmosferik su buharı ve deniz yüzey ısı hakkında bilgi alınmaktadır.

Yukarıda, sözü edilen uydulardan jeolojik açıdan daha popüler olan ve verileri tüm dünya üzerinde daha çok kullanılan uzaktan algılama amaçlı iki uydusu sistemi, vardır. Bunlardan ilki ABD tarafından ilk olarak 1972 yılında uzaya gönderilen LANDSAT I (ERTS-I) adlı uydusu sistemine atfen LANDSAT' serisi uydulardır.

İkinci olarak Fransa, Belçika ve İsveç tarafından finanse edilip ilk olarak 1986 yılında uzaya gönderilen SPOT

(System Pour F Observation de la Terre) serisi uydulardır. Sözü edilen bu 'sistemlere ait uyduların algılayıcı kaynakları ve uyduların, teknik, özellikleri Çizelge 1 de verilmiştir.

## Jeolojik uygulamalarda uzaktan algılama yöntemlerinin esasları

Jeolojik çalışmalar için uygulanacak, uzaktan algılama yöntemlerinin seçiminden önce bazı etkenleri de gözönünde bulundurmak gerekir. Bunlar sırasıyla şu ana başlıklar altında özetlenebilir.

Uygulama tanımı: Bu uygulamaları kapsayacak jeolojik özelliklerin ve işlemlerin tanımlanması gerekir. Bu görüntü verilerinden istenen bilgilerin çıkarılabilirliği İlk aşamada düşünülmelidir.

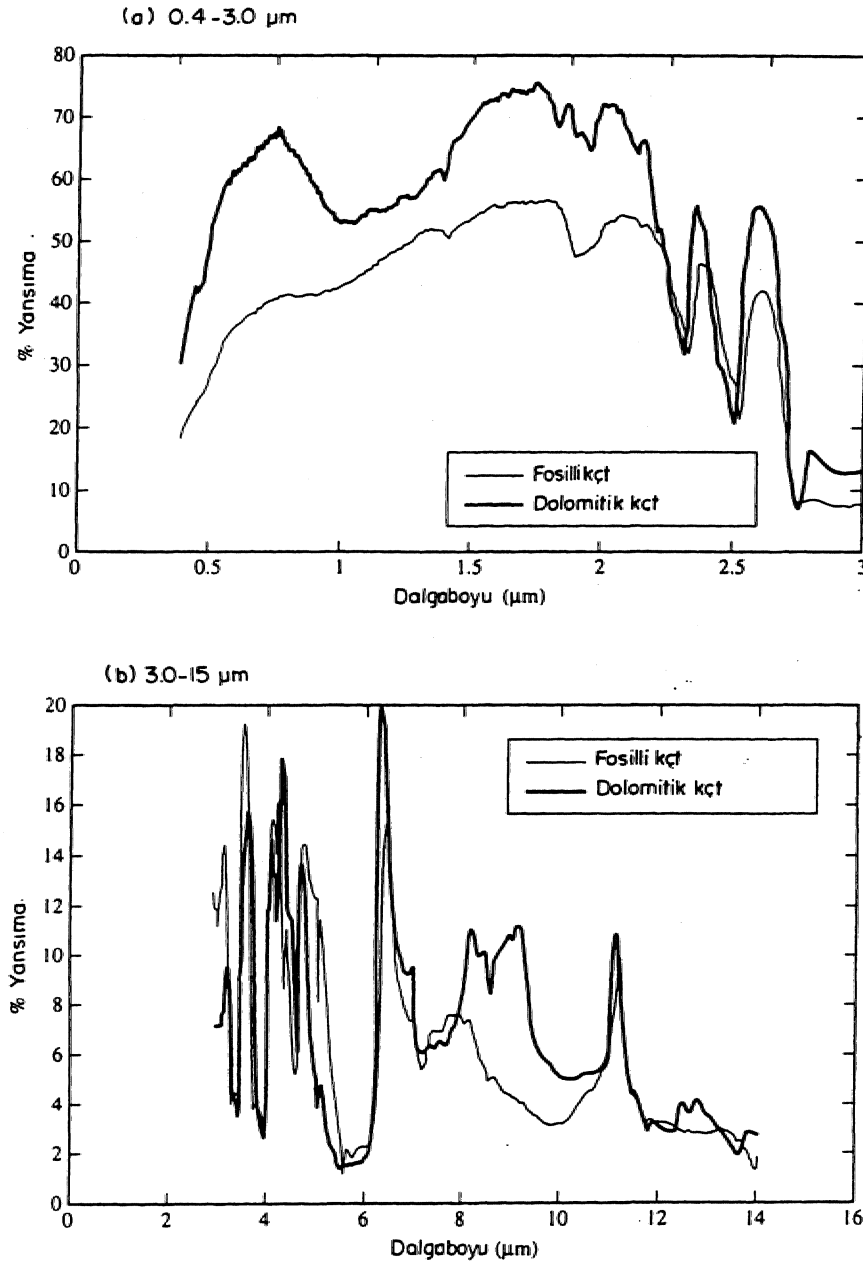
Ayrırma, **gucu (rezolüsyon)** ve ölçek: Jeolojik, bilgi için gerekli minimum' konumsal ayırma gücü ve ölçeğin ortaya çıkarılması bu tür çalışmaların planlama aşamalarındaki en önemli faktörlerden birisidir,. Minimum ayırma gücü, maksimum ölçekle beraber' göz, önünde, bulundurulmalıdır. Genellikle bu ilişki 1/10.000 ölçekli bir' görüntü için ayırma gücünün 5 m ve daha küçük olduğu durumlarıdır.

**Spektral kapsama aralığı:** Yapılması düşünülen uygulama için pankromatik veya multipektral görüntülerin seçimi işlemidir, Uygulaması yapılacak özellik için uygun olan elektromanyetik spektrum aralığının belirlenmesi de bu sınıf içinde yer alır.

Veri işleme: Görüntülerde istenen bilginin ortaya çıkarılması ve görsel olarak, zenginleştirilmesini içeren sayısal görüntü işlemleri (Digital. Image Processing) ve coğrafik bilgi sistemleri (Geographic Information. Systems) uygulamalarını içerir.

## Uzaktan, algılama yöntemleriyle jeolojik harita lama uygulamaları

Haritalama, değişik tipteki kaya birimleri, arasındaki sınırların, saptanması, birbirleriyle olan ilişkilerinin ortaya çıkarılması ve yüzeydeki tektonik kökenli çizgiselliklerin ortaya çıkarılması esasına dayanır. Jeolojik, haritalar,, iç ve dış olaylar arasında meydana, gelen etkileşimleri ve çalışılan bölgedeki yer tarihini ortaya çıkarmak için gerekli ipuçlarını içeren iki boyutlu anlatımlardır ve geleneksel olarak arazi üzerinde hazırlanır. Çoğuş zaman vurgulandığı gibi» görüntü verileri kayaç tipleri arasındaki geleneksel yolla ortaya çıkarılan ayrıntıları gösteren verileri doğrudan içermezler., Görüntülerden gerçekleştirilen 'haritalama' genel olarak iki ayrı yaklaşım göz önünde bulundurulur. Bunlar görüntü üniteleri ve litofasiyes üniteleri olarak da adlanır.. Görüntü üniteleri, elektromanyetik radyasyonla yüzeydeki dokusal

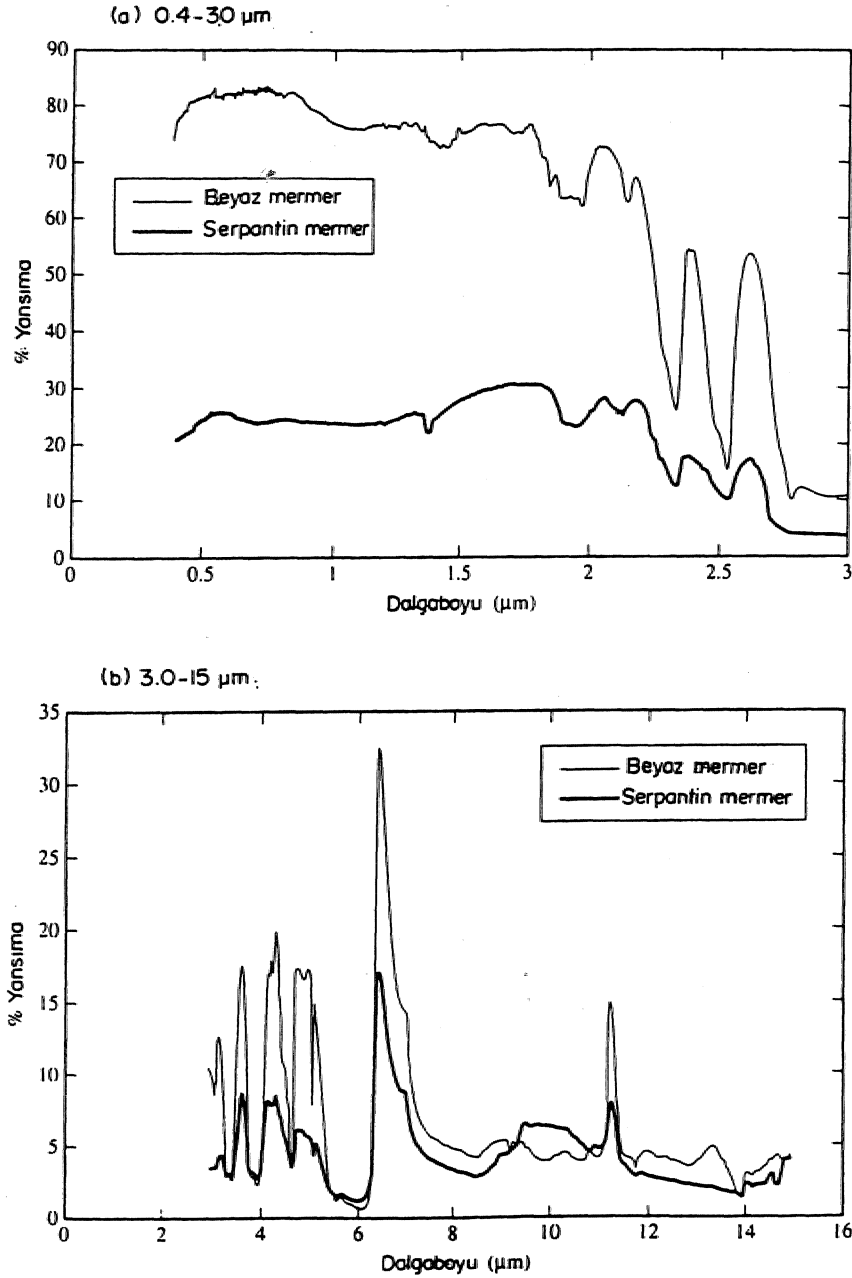


Şekil 6. Fosilli ve dohmitik kireci aşının (a) 0.4-3.0  $\mu\text{m}$  ve (b) 3.0-15  $\mu\text{m}$  arasındaki spektral yansıma, eğrileri (Salisbury ve D\*aria, 1992).

özelliklerin etkileşimini içerir. Birimlerin görelî yaşlan» uyumsuzluk gibi temel jeolojik özellikler de ortaya çıkarılabilir,

Genelde jeolojik sınırların büyük çoğunluğu fay, magmatik dokanak veya uyumsuzluk gibi jeolojik özellikleri kesen tabakalanmalar içerir. Görüntülerdeki tabakalanmaların tanımlanması, doğrultu ve eğim arasındaki ilişkilerin V kuralından yararlanarak ortaya çıkarılması düzlemsel do-

ku ve şekli de yansıtır. Bu şekilde ortaya çıkanları kıvrımlarına ve açılı uyumsuzluklar değerlendirilir ve haritalanabilir. Bazen de tabakalanmalar ve spektral özellikler» kıvrımlı yapıları, ve görelî, fay atımlarının çizgiselliklerini ortaya çıkarmada kullanılır. Ayrıca sayısal görüntü işlemleri de en iyi kombinasyonu içeren verilerin ortaya çıkarılmasında ve elde edilen ipuçlarının bir araya getirilip sunumunda çok önemli rol oynar.



Şekil 7. İteyaz mermer ve serpanünit mermerin (a) 0.4-3.0 βm ve (b) 3.0-15fım arasındaki spektral yansırma eğrileri (Salisbury ve B'aria., 1992),

Jeolojik haritalama, yüzeysel jeolojik özelliklerin anlaşılması yanında manyetik ve gravite çalışmalarını içeren jeofizik yöntemlerinden de yararlanır. Aiazi ve görsel gözlemlerin, yanında liöolojik ve petrojenetik farklılıklarla ilişkili sağlıklı bilgiler gamma ışınlarının kullanıldığı radyometrik çalışmalarla ortaya çıkarılabilir.

### Uzaktan, algılama yöntemleriyle maden arama uygulamaları

Jeolojik amaçlı uzaktan algılama çalışmalarının ilk uygulamaları maden aramalarına yönelik olarak yapılmıştır. Multispektral tarayıcılar yardımıyla görüntü ve kızılötesi renkler kullanılarak, cevher oluşumlarıyla ilişkili madenlerin ortaya çıkarılmasını amaçlayan haritalar üretmek mümkündür.



Çizelge 1. LANDSAT ve SPOT uydu sistemlerinin karşılaştırmalı teknik özellikleri

Uydu Sistemi	Yükseklik Yörünge Eğim!	Spektral bant aralığı (um)	Algılayıcı sistem	Kapsadığı alan	Ayıma gücü
LAMDSAT 113 (A.B.D)		4. Barrü. 5-0.6 5. Bar-0.5-07 fi. Banl::0., T-O,a 7Bannt).ö-1.1	<MSS)	t8Sc170km2	99 m
LAMDSAT 4-5	TOSkm güneş eş zamanlı 33.Syörtlr.gacak 14 yürJng&gün 3-32	13am:0.5-C66 2. Banta 6-07 &JBmti0J-O& 4. Bart:0.-1.1	pSSJ	185x170 km2	82 m
SIPOT 1,111,11 ffrapssa» İsveç)	Belçika, 832km güneşe eş 2arr.anl: W1.4 yfirB*eMaik 1# yCrünga gur 98,7	i. Banrû. St*0.59 2. Ban.fcl.@f-0.6S 3 BanlO.??&-O.BS	(PUSHBROOM COO)* MükQkMkBral	60x6G krr2 raod:20	*ank'omSHk mod:10 m m

Bu konuyla ilgili, ilk uygulamalar uranyum, için geliştirilmiştir. Landsat MSS verilerinin spektral oranlamasıyla ortaya çıkan görüntülerle,, arkozik knmtaşlan içerisinde jeoMnyasal. hücrelerde saklanan ve uranyum oluşumuna neden olan ikincil, demir oksit oluşumları haritalanabilir. Landsat serisi uydu sistemi» uranyum aramalarında çok. daha ucuz ve efektif sonuçlar vermektedir..

Porfiro-bakir yataklarının, bulunmasında ve sonuçlandırılmasında, jeolojik uzaktan algılama çok etkili bir faktördür. Dört ayrı alterasyon zonundan -propilitik» arjillik,, serisitik ve: potasik cevher- oluşan bu. yataklardaki minerallerden bazdan uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak kolaylıkla haritalanabilir. Örneğin kaolinitik. ve monHomoril-IOÖlük killer, demir oksit ve hidroksitler, kuvars ve diğer •mineraller porfiro bakır' yataklarında birbirlerinden' ayrılabilir. Hidrotermal alterasyona uğramış yataklann diğer tiplerine alunitler örnek verilebilir, .Alunit, yalnızca hidrotermal alterasyona uğramış yerlerde oluşması nedeniyle demir oksitlere göre daha önemli bir' rol oynar.

Bitki örtüsüyle kaplı bölgelerde baz,ve değerli metal türlerinin ortaya çıkarılması amacıyla bu metal konsantrasyonlarının değişik yükseltilerdeki durumlarından faydalanılması esasına dayanan bitki, örtustndeki spektral yansıma değişimlerinin saptanması mümkündür. Özellikle yoğun bitki örtüsüne sahip bölgelerde hiperspektral algılayıcılar yardımıyla be. tip aramalar gerçeMeştirilmektodir..

Ekonomik, açıdan, oldukça büyük önem taşıyan masif

sünlrt yatakları içerisindeki kurşun, çinko ve- gümüş oluşumları; demir oksit, barit oluşumlarının haritalanması bu bölgelerde gözlenen manyetizmanın da, yüksek değerde olması nedeniyle kolaylıkla, ortaya, çıkarılabilirler. Landsat MSS ve TM görüntüleri genelde demir içeren bir bozunma turu olan gossanlann, TM görüntüleri ise barit oluşundan- nın haritalanm.asm.da kullanılır. Bunun yanında, jeofizik yöntemleri de masif sülfat aramalan için halen kullanılmaktadır. Çinko-karbonat. bileşiminde bulunan ve Mississippi Vadi Tipi. kurşun-çinko yatağına sahip olan. smitsonit Landsat TM görüntüleriyle çok iyi bir şekilde haritalanabilir. Dom. şeklindeki granitik intrüzyonların etrafında gözlenen kontakt metamorfizma ürüne, tungsten ise spektral oranlamaya, tabii tutulmuş görüntüler yardımıyla ortaya çıkarılabilir,

Multispektral uzaktan algılama, nabit altın mineralinin ve bu mineralin spektral eğrisinin emsalsiz olması nedeniyle saçınımdı altın yataklarının ortaya çıkarılmasında da. uygulanan Mr yöntemidir. Günümüzde yapılan araştırmalarda saçınımlı tipteki ^altın yataklarının sıcak su kaynakları ve bacalarla çok. yafandan, ilişkili olması nedeniyle, yer altında hirdokarbonlarla kontakt halinde- olduğu ve böylece kara veya denizaltında gözlenen sıcak sulann yüzeye çıktığı yerlerde bulunabileceği ortaya çıkarılmıştır. Hidrotermal aberasyonla ilişkili .tüm demir oksitler, killer' ve alüniüer, Landsat. TM spektral oranlamak görüntüleriyle haritalanabilir,

Çok değerli bir taş olan elmas ise manto malzemesi olan. ilöramafik kayaçlar içerisinde bulunur ve kimbedit veya lamproit olarak da adlanırlar. Bu kaya kütleleri yüzeylemiş durumdaysa multispektral termal kızılötesi spektral bandar yardımıyla, ultramafik kayaçlara benzer şekilde haritalanabilir. Aşınım yer altında gerçekleşmişse bile bu şüpheli, bölgeler birkaç, km<sup>2</sup> lik dairesel şekilli çökptii alanları şeklinde görülebilirler. Yan-kurak bölgelerdeki dairesel kil oluşumları bozunmaya uğramış kimberliüer üzerindeki, çöküntü alanlarıyla ilişkili olabilir. Jeofiziksel görüntülerdeki dairesel manyetik özellikler ise yine kimberit ve lamproit bacalarıyla ilişkili olarak, düşünülmelidir.

Endüstriyel minerallerin ortaya çıkarılması amacıyla uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri birlikte kullanılabilir. Kum ve çakıl yatakları; yüzeylemiş kayaçlar' ve toprak, içerisindeki, silis içeriği, gece ve gündüz sıcaklık, değişimlerinden yararlanılarak multispektral termal kızılötesi spektral bantlar yardımıyla haritalanabilir. Kil, jips ve sülfür yataklarının yeryüzündeki oluşumları Landsat TM görüntüleriyle; fosfatlar ise termal kızılötesi spektral bantlar' yardımıyla haritalanabilir. Zeolitler, kalsit, dolomit ve serisit ise hiperspektral algılayıcılar yardımıyla haritalanması mümkündür. Endüstriyel madenlerin çıkarıldığı, taş ocağı işletmeleri içinse dijital fotogrametri yöntemlerinden, faydalanmak daha yararlı olacaktır.

## Uzaktan algılama yöntemleriyle petrol ve yeraltısuyu araştırmaları.

Jeolojik uzaktan algılamanın, petrol, araştırmaları için üç ayrı aşaması bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla yapısal haritalama., çok eski hidrokarbon sızıntı bölgelerinin jeokimyasal açıdan haritalanması ve bu bölgelerde, gerçekleştirilen jeobotanik ve ince petrol tabakalarının haritalanması olarak sınıflanır. Yapısal haritalama jeofizik çalışmalarıyla birlikte multispektral uydu görüntüleri üzerinde yapılan konumsal -spatial- ve multispektral -çok kanallı- işlemleri, içerir,

Eski hidrokarbon sızıntılarının araştırılması; demir oksit içeriğinin, anormal derecede olmaması, veya bulunması esasına dayanır. Bu da uzaktan, algılanmış görüntülerde sırasıyla daha çok ağarmış açık renkli bölgelerle lekelenmiş koyu renkli alanların gözlenmesi esasına dayanır. Bu bölgelerdeki, anormal, derecelerdeki karbonat, silis ve amonyumla mineraller<sup>1</sup> çok eski hidrokarbon sıvılarının ortaya çıkarılmasında, önemli parametrelerdir.

Devam eden hidrokarbon sızıntılarının araştırılması, kıyıdaki jeobotanik yöntemlerle ve ta.yid.an uzaktaki, petrol tabakalarının ortaya çıkarılmasıyla gerçekleşmektedir. Hidrokarbon sızıntısı ve bitki örtüsü çeşidindeki farklılıklar arasında ince bir ilişki vardır. Bu ilişkiler<sup>1</sup> multispektral

uzaktan algılama yöntemleriyle ortaya çıkarılabilir. Ayrıca yukarıda sözü edilen petrol sızıntılarının tesbiti de bu yöntemle mümkündür.,

Yeraltı suyunun değeri» son yıllarda petrol ve gaz fiyatlarına göre çok daha fazla bir artış göstermiştir' ve gelecekte de bu durumun aynı şekilde devam edeceği sanılmaktadır. Bunun, bir' sonucu olarak, da, yeraltı, sularının uzaktan algılama, yöntemleriyle araştırılmasının • önem ortaya çıkmaktadır. Mağmatik ve metamorfik kayaçlarla kaplı bölgelerde yeraltı suyu rezervuarları tansiyonel gerilimlerle ilişkili kırık zonları ile ilişkili olarak, bulunurlar. Bu yüzden bu kırık zonların haritalanması kullanışlı bir yeraltı suyu araştırma yöntemidir., Karst yapısı gösteren bölgelerdeki kırık hatları yeraltı, sularının bu bölgelerde depolanmasının, çok daha elverişli olması nedeniyle çok daha önemlidir» Yeraltı, suyu araştırmalarında bir- başka arama yöntemi, de doğrulanmış yer kontrol noktalarının -ground, control points- coğrafi bilgi sistemleri veya sayısal görüntü işleme programlarıyla, beraber bütünleştirilerek kullanılmasıdır. Ayrıca .arazi kontrolleri süresince ve görüntü işlemlerini takip eden zaman içinde küresel pozisyon saptama, sistemlerine- (Global-Positioning System) ait ekipmanları kullanmak gerekebilir..

## Uzaktan algılama yöntemleriyle mühendislik jeolojisi uygulamaları

Uzaktan algılama, tekniği, son yirmi yıldır maden, ve petrol, ar.amal.an. kadar jeolojik açıdan mühendislik uygulamalarında da kullanılmaktadır, jeologlar' yol» baraj» güç santralleri ve atık depolama, alanlarının inşasına önemli katkılarda "bulunurlar. Bu çalışmalar daha çok bu yapıların, güvenliğini içeren heyelanlara karşı duraylıkları, deprem-sellik ve sellenme ile olan ilişkileri ve de potansiyel yapı malzemelerinin mühendislik özelliklerinin ortaya çıkarılması aşamalarında gerçekleştirilir.

Özellikle petrol bora hatları ve karayollarının güzergah seçiminde gerek duyulan doğru yükseldik ve şevin seçilmesi için coğrafi bilgi, sistemleri, yüksek rezolüsyonlu sayısal, arazi modellemeleri (Digital Elevation Modelling) ile desteklenerek birlikte kullanılır. Göz önünde tutulması gereken etkenlerden birisi olan şevin stereoskopik görüntülerle, izlenebilmesi yanında genel olarak düşey yöndeki abartmanın derecesi de bu tür uygulamalarda önemli bir kriterdir. Fotogrametrik elemanların, özenli bir şekilde kullanımıyla ihtiyaç: duyulan şev ve şev profilleri ortaya çıkarılır.

Özellikle köprü ve yol inşaatlarında, bölgenin değişik zamanlarda alınmış birden çok görüntüleri yardımıyla bu gibi mühendislik yapılarında ortaya çıkabilecek çökme, ve aşınımları saptayabilmek, için. stero-foto çiftler kuAnılabilir.

Hr, Bu tipteki, çökme olayları daha çok eski yeraltı maden havalandırma bacalarının veya karst bölgelerindeki büyük mağaraların bulunduğu yerlerde meydana gelmektedir. Ayrıca bu karayollarının bakımında da,, görüntü işleme programlarından yararlanılmaktadır. Bu yöntem, otoyol üzerinde maksimum hız sınırında seyreden bir araç üzerine monte edilmiş dijital, kameraların aldığı görüntülerde yol döşemesi üzerinde meydana gelen, knüdan otomatik olarak saptandığı bir sistem, kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

## Uzaktan algılama, yöntemleriyle jeolojik ve jeokimyasal riskleri belirlemeye yönelik uygulamalar

Uzaktan algılama yöntemleri,, sel baskınları, erozyon, •volkanik patlamalar ve depremler gibi jeolojik risk olarak tanımlanabilen olayların öncesinde, sırasında ve daha sonra, meydana, gelen hasarların belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Örneğin sayısal arazi, modeüemeleri, yüzey sularının akış modellerini kullanarak sel olaylarının önceden tahmin, edilmesinde kullanılabilir. SAR (Synthetic. Aperture Radar) uygulamaları ve topoğrafik değişimleri ortaya koyan sayısal, arazi modeUemeleri erozyon ve toprak kaybının olduğu bölgelerde gerçekleştirilebilir.. Bu tür teknikler hareket eden malzeroin hacminin belirlenmesini de içermektedir..

Geçmişte olan volkanik patlamaların ve depremlerin oluş aralıklarının incelenmesi ve buna bağlı olarak geçmişteki plaka hareketlerinin yonunlanması .amacıyla volkanik konilerin ve fayların, haritalanması da önemlidir.. Bu tür çalışmalar daha çok» sonradan ortaya çıkabilecek hasarların, azaltılmasında yarar sağlar., Volkanlar patlama öncesindeki değişik zamanlarda, sık sık sıcaklık artışları,, gaz yayımları ve topoğrafik. değişimler gösterirler., LandsatTM, 4, 5, 6 ve 7, kanalian. patlama Öncesinde ortaya çıkan sıcak noktaları algılayabilirler., AVHRR hava uydusu görüntüleri ise sıcaklık artışlarının yanında volkandan püsküren, sülfür dioksit soruçlarını da algılayabilirler.

Ayrıca çeşitli oydu sistemleri (ERS-I SAR,,) deprem sonrası oluşan topoğrafik değişimleri, METOSAT adlı uydunun kullandığı termal kızılötesi görüntüler yardımıyla da deprem öncesi, oluşan ve genel olarak 7-9 gin. sürebilen öncül depremler saptanmıştır. Metan» sıcaklık anomalileri, ve elektrik alandaki değişimler gibi faktörler' deprem risklerine ortaya çıkarılmasında önemli faktörlerdir.

Jeokimyasal riskler olarak da bilinen, ve insan sağlığını olumsuz yönde: etkileyebilecek olayların saptanmasına yönelik uzaktan algılama çalışmaları da bulunmaktadır. Zihinsel gerileme,, lösemi ve kanser gibi bazı hastalıklar' bu çevresel riskler sonucunda, ortaya çıkmaktadır, özellikle kurşun kirlenmesi» uranyumca zengin, granit ve şeyi

oluşumları toprakta biriken radon gaz emisyonu gibi etkiler yanında kireçtaşlanndan çıkan yumuşak nitelikteki suların kalp hastalıkları üzerindeki etkisi de- yapılan çalışmalarla ortaya çıkarılmıştır. Be tür risklerin büyük çoğunluğunun saptanmasında özellikle radyometre çalışmaları sırasında kullanılan, gamma ışınları kuşanılmaktadır, özellikle hidrotermal alterasyona uğramış, bölgelerde gözlenen asit türlerinin saptanmasıyla da çevresel felaketler saptanabilmekte ve. hasarlar en aza indirilebilmektedir.

## Sonuç

1. Uzaktan algılamanın jeolojik uygulamalarda, kullanılabilmesi için. ilk planda elektromanyetik radyasyonun ve onun toprak., su,, bitki örtüsü ve kayaç ve minerallerden, oluşan yeryüzü özellikleriyle etkileşiminin çok iyi derecede bilinmesi gerekmektedir. Bu da jeolojik özellikler' yanında uzaktan .algılamayla ilgili olabilecek matematiksel, fiziksel ve kimyasal kavramları bilme ve anlama zorunluluğunu, ortaya çıkarır.

2. Bu tür çalışmaları gerçekleştirebilmek .amacıyla, ilk planda, uygulamanın tanımının yapılması,, kullanılacak görüntünün ayırma, gücü ve ölçeğinin ortaya konması Ye spektral kapsama aralığının belirlenmesi gerekmektedir.

3., Jeolojik anlamdaki, uzaktan, algılama çalışmaları maksimum düzeyde arazi çalışmalarıyla desteklenmelidir.,

4, Yapılacak uygulamanın türüne göre uzaktan, algılama çalışmaları; sayısal görüntü işlemleri. (DİP), coğrafi bilgi. sistemleri (GIS), sayısal arazi modeUemeleri (DEM) ve küresel pozisyon saptama sistemleriyle de (GPS) beraber kullanılabilir..

5., Uzaktan algılama insan, sağlığı açısından jeok myasal risk olarak değerlendirebileceğimiz tehlikelerin zararlarını da en .aza indirmekte önemli, bir teknik olarak karşımıza çıkmaktadır.

## Değinilen Belgeler

- Arnold, R. H., 1997, Interpretation of Airphotos and Remotely-Sensed. Images, Published by Prentice Hall, 249 s.
- Dnuy, S. A., 1993,, Image Interpretation in Geology, 2nd. ed. Published-by Chapman & Hall,, 283 s.
- Kavak,, K. Ş., 1995» Uzaktan, algılamanın temel kavranılan ve Sivas Havzası'nın GD'suna ait Landsat MS S görüntülerinin arazi verileriyle denestirilmesine .yönelik bir uygulama. Doktora semineri 1, C. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 70 s,
- Kavak,, K. Ş., 1997,, Uzaktan algılamada sayısal görüntü işlemleri ve jeolojideki, uygulamaları,, Doktora Semineri 2, C. 0,

- Fen. Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 62- s.
- Lillesand, T. M. ve Kiefer, R. W., 1994, Remote Sensing and Image Interpretation,, 3rd ed.,, John Wiley & Sons, Inc, 750 s.
- Önder, M., 1993, Uzaktan Algılama ders Notları,, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ders Notları 23,, 195 s.
- Salisbury,, I. W., D'aria, D., M., 1992,, Emmistivity of terrestrial materials in the 8-14 micrometers atmospheric window., Remote sensing of Environment 42, No:2, p. 83-106.
- Senanda, E., 1986, Physical Fundamentals of Remote sensing,, Berlin: Springer Verlag.
- Vincent,, R. K., 1997,, Fundamentals of Geological, and Environmental Remote Sensing.. Prentice Hall Series in Geographical Information Series,, 366 s.