

UZAYDAN UZAKTAN ALGILAMANIN JEOLÖJİK ÖNEMİ

Prof.Dr. Yusuf TATAR F.Ü. Müh. Fak., Jeoloji Müh. Böl.,Elazığ

GİRİŞ

Uzaktan algılama, uzay teknolojisinin gelişmesiyle, 1970'li yılların başlarında bilim dünyasına kazandırılmış önemli bir kavramdır; kısa tanımını şöyle yapabiliriz: Uzaktan algılama elektromanyetik spektrumun mor ötesi ile mikrodalga arasındaki ışınlarından yararlanılarak, cisimler hakkında, onlarla fiziksel bir bağ kurmaksızın veri kaydetme ve bilgi sağlama tekniğidir. Yeryüzünün ve yeryüzündeki varlıkların özelliklerinin incelenmesi için veri kaydı havadan, yani uçaklardan; veya atmosfer dışından, yani uydulardan yapılmaktadır. Birinci durum için havadan uzaktan algılama, ikinci durum için ise uzaydan uzaktan algılama terimlerini kullanmak yerinde olur.

Uzay Çağı, Rusya'nın ilk yapay yer uydusu olan SPUTNİK 1'i 4 Ekim 1957 tarihinde yörüngeye yerleştirmesiyle açılmıştır. Bu tarihten sonra Rusya ve A.B.D. arasında sürdürülen yarışla, çok hızlı gelişmeler kaydedilmiş ve 23 Temmuz 1972 tarihinde NASA(A.B.D.) tarafından, 920 km. yükseklikte bir yörüngeye yerleştirilen LANDSAT 1 uydusu ile de, uzaydan bilimsel uzaktan algılama dönemi başlamıştır. O zamandan bu yana, henüz 20 yıl bile geçmemiş olmasına karşın, beklentileri çok aşan gelişmeler sağlanmıştır. LANDSAT serisinden 4. ve 5. uydular, daha geliştirilmiş algılayıcılarıyla birlikte halen çalışır durumdadır. LANDSAT 6'nın 1991'de, 7'nin 1994'de, 8'in de 1997'de yörüngeye yerleştirilmesi planlanmıştır. Bu alanda Rusya da çalışmalarını sürdürmekle birlikte, A.B.D. ölçüsünde başarı ortaya koyamamıştır. 22 Şubat 1986 tarihinde, Fransa'nın yaklaşık 825 km. yükseklikte bir yörüngeye yerleştirdiği SPOT 1 uydusu, bilimsel uzaktan algılama alanında yeni bir kilometre taşı oluşturmuştur. İlk LANDSAT uydusunun algılarında 80 m. olan ve 4. ile 5.sinde 30 m.'ye çıkarılan yer ayırma gücü, SPOT 1 uydusu ile 10 m.'ye kadar yükseltilmiş; ayrıca gerçek anlamda stereo kayıt olanağı yaratılmıştır. Fransa, 1989 sonlarında SPOT 2, 1991 sonlarında SPOT 3, 1994 ortalarında da SPOT 4 isimli uyduları yörüngeye yerleştirmeyi planlamaktadır. Bu alandaki çalışmalara, 23 Şubat 1987'de fırlatılan MOS 1 uydusu ile Japonya;

17 Mart 1988'de fırlatılan IRS 1A uydusu ile Hindistan, fiilen katılmışlardır. Ayrıca Pakistan, Brezilya, Çin, Avrupa Uzay Ajansı ülkeleri de, önümüzdeki yıllardabilimsel uzaktan algılama uydularına sahip olacak ülkelerdir (EOSAT, Landsat Data User Notes, 1988, 3/2).

Uzaydan uzaktan algılama çalışmalarında, insanlı uydu olarak SKYLAB (A.B.D., 1973-1978), ve SALYUT (S.S.C.B., 1971'den beri) gibi uzay laboratuvarlarının da önemli bir yeri bulunmaktadır. Bu alandaki gelişmeler, A.B.D.'nin, ilk uçuşunu 12-14 Nisan 1981 tarihleri arasında gerçekleştiren UZAY MEKİĞİ ile doruğa ulaşmıştır. Basına yansıyan bilgilerden, Rusya'nın da, yakın bir gelecekte kendi uzay mekiğine sahip olacağı anlaşılmaktadır.

TEMEL TEKNİK BİLGİLER

Konu bütünlüğü sağlamak bakımından, çok kısa olarak burada bazı temel teknik bilgilere yer verilmesinde de yarar görülmüştür.

Bilindiği gibi, uzaktan algılamanın fiziksel temeli cisimlerle elektromanyetik enerji ışınları arasındaki karşılıklı etkileşime dayanmaktadır. Her cismin yaydığı veya yansıttığı elektromanyetik enerji ışınları o cismin biçim, boyut, doku, sıcaklık ve başka özellikleri hakkında, değişik oranlarda bilgiler taşıyan ışınlardır. Uzaktan algılamanın amacı da, ışınların taşıdığı bu bilgileri, olabildiğince en ayrıntılı biçimde kaydedip inceleyerek, uzakta bulunan cisimlerin özelliklerini ortaya çıkarmaktır.

Yeryüzündeki su, bitki, toprak ve kayalarla diğer cisimlerin, uzaktan algılama yöntemleri ile incelenmesinde ve tanınmasında, bunların farklı dalga boylarında özışın yaymaları, veya üzerlerine düşen ışınları farklı oranlarda yansıtmaları temel ögeyi oluşturmaktadır (Sabins 1978, Siegal and Gillespie 1980, Colwell 1983, Dinç 1986, Sarı 1986, Şenol 1986, Tatar 1986).

Işınların taşıdığı bilgileri kaydeden gereçlere algılayıcı gereçler denilmektedir. Bilinen ilk ve klasik algılayıcı gereç fotoğraf makinasıdır. Teknolojik gelişmeler sonucu, insansız uydularda kayıt yapabilen ve bu kayıtları, radyo dalgaları aracılığı ile, otomatik olarak yer istasyonlarına gönderebilen televizyon kamerası, elektro-optik tarayıcı gereçler ve radar gibi çeşitli algılayıcılar üretilmiştir. Uzaktan algılamada en çok insansız uydular ve bu uydularda da en çok elektro-optik tarayıcı gereçler kullanılmaktadır (Tatar, 1979 a). Bunların temel örneği, ilk LANDSAT uydusunda kullanılan çok kanallı tarayıcı (multispectral scanner-MSS) olmuştur. Günümüzdeki uydularda, bunların daha gelişmiş mo-

delleri kullanılmaktadır.

Uzaktan algılama teknolojisindeki gelişmelerin hedeflerini şu satırbaşlarıyla belirtebiliriz. Görüntülerde daha yüksek ayırma gücü ve daha yüksek kontrast, geometrik hatasızlık, stereo kayıt, geniş alanı kapsamak, daha düşük maliyet, kısa süreli tekrarlamalı kayıt, bilgisayarla değerlendirme kolaylığı, isteyen herkesin verilere ulaşabilmesi. 1970'li yılların başlarından beri bu konularda önemli gelişmeler sağlanmıştır ve gelişmeler büyük bir hızla devam etmektedir.

VERİ TÜRLERİ

Uzaydan uzaktan algılama çalışmalarında kullanılan başlıca veri türlerine, aşağıda çok kısa olarak değinilmiştir.

1. Işık ışınlarıyla kaydedilmiş fotoğraflar,
2. Işık ışınları dışında, başka elektromanyetik dalgalarla kaydedilmiş görüntüler,
3. Görüntüye dönüştürülebilen ve bilgisayarla da değerlendirilebilen manyetik band kayıtları.

Band kayıtlarının görüntüye dönüştürülebilmesi, veya bilgisayarla değerlendirilmesi özel ve pahalı donanımlar gerektirdiğinden, en yaygın olarak kullanılan veriler film veya kart baskı şeklindeki fotoğraf ve görüntülerdir. Kayıtların çok kanallı olarak gerçekleştirilmesi ve aynı yere ait, aynı anda sağlanmış değişik kanal kayıtlarının biribiriyle çeşitli seçeneklerde birleştirilerek, çok çeşitli yapay renkli görüntüler üretilebilmesi; ayrıca bilgisayar tekniğinden yararlanılarak kayıtlarda görüntü zenginleştirilmesi (image enhancement) yapılabilmesi, uzaktan algılama yoluyla, cisimler hakkında elde edilebilecek bilgi sınırlarını önemli ölçüde genişletmektedir.

JEOLOJİK ÇALIŞMALARIN HEDEFLERİ

Bu bildiri ile jeoloji mesleğinden olanlar yanında, bu meslekten olmayanlara da hitabedildiğinden; jeoloji hakkında, özellikle jeolojinin çalışma alanları hakkında tanıtıcı kısa bilgiler vermek yararlı olacaktır.

Jeoloji, üzerinde yaşadığımız yerkabuğunun bileşiminin ve evriminin incelenmesi; yerkabuğunda maden, petrol, kömür, yeraltı suyu ve başka her türlü jeolojik kökenli hammaddenin aranıp bulunması, bunların rezerv ve tenörlerinin ortaya çıkarılması; zeminin yol, tünel, köprü, baraj ve başka tür yapılar için elverişlilik derecesinin araştırılması; deprem, heyelan, yanardağ patlaması ve sel gi-

bi afetlerden korunma önlemleri geliştirilmesi görevlerini üstlenmiş, bir bilim ve meslek dalıdır.

Bu amaçlar için, özellikle çok geniş sahaların, doğrudan doğruya arazi çalışmalarıyla incelenmesi çok pahalı ve çok zaman alıcı olduğu gibi; yeterince sağlıklı da olmamaktadır. Arazi çalışmalarına ek ve destek olarak, başta fotoğraf ve görüntü şeklindeki veriler olmak üzere, havadan ve uzaydan kaydedilmiş çeşitli uzaktan algılama verileri üzerinde yapılan incelemeler çalışmaların maliyetini düşürmekte, sonuçların doğruluk derecesini yükseltmekte, ayrıca emek ve zamandan da büyük tasarruflar sağlamaktadır.

Jeolojik çalışmaları başlıca dört ana gruba ayırabiliriz.

1. Bir bölgenin, bir dağ zincirinin, bir ülkenin ve nihayet tüm yerkabuğunun bütün jeolojik özelliklerini, jeolojik evrimini ve jeolojik olayların bilinmeyen yönlerini ortaya çıkarmak için yapılan, bilimsel amaçlı araştırma çalışmaları. Bu çalışmalara kısaca temel jeoloji çalışmaları denilmektedir.

2. Yerkabuğunda, insanların gereksinimlerini karşılayacak olan, jeolojik kökenli her tür hammaddenin aranıp bulunması ve rezerv ve tenörlerinin belirlenmesi için yapılan ekonomik amaçlı çalışmalar. Bunları da kısaca ekonomik jeoloji çalışmaları olarak adlandırabiliriz.

3. Deprem, heyelan, yanardağ patlaması, sel gibi afetlerden korunma amacıyla yürütülen çalışmalara jeolojik yaklaşımlarla katkılar sağlamak; bina, yol, tünel, köprü, baraj gibi yapıların inşaatından önce, zeminlerinin jeolojik özelliklerinin elverişli olup olmadığını araştırmak; yeni yerleşim alanları seçilirken veya varolan yerleşim alanları genişletilirken, jeolojik etkenlerin dikkate alınmasını sağlayıcı çalışmalar yapmak; çevre koruma çalışmalarına da yine jeolojik yönden katkılar getirmek amacıyla yürütülen hizmetler. Bütün bu nitelikteki çalışmaları da uygulamalı jeoloji çalışmaları olarak adlandırıyoruz.

4. Jeolojiyi meslek olarak seçmiş kimselere gerekli eğitim ve öğretim vermek amacıyla yönelik çalışmalar. Bu çalışmalar da kısaca jeoloji eğitimi çalışmaları olarak adlandırılmaktadır.

UZAYDAN UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİNİN JEOLojİK ÇALIŞMALARDA KULLANILIŞI VE ÜSTÜNLÜKLERİ

Yukarıda sıralanan çalışma gruplarından birincisi, yani temel jeoloji çalışmaları, diğerlerine göre öncelik taşımaktadır. Adında da anlaşılacağı gibi, bu çalışmalar diğer üç gruptaki çalışmalar için temel niteliğine sahiptir. Temel jeoloji çalışmalarında bir

bölgedeki kayaçların türlerine, yayılımlarına yaşlarına, sedimentolojik, paleontolojik ve petrografik özelliklerine; bölgenin tektonik yapısının hangi öğeleri taşıdığına dair sorular ana sorulardır. Bu soruların yanıtları, bölgeye ait ayrıntılı ve sağlıklı jeolojik haritalar hazırlamakla verilir. Uydu verileri ise, jeolojik haritaların hazırlanmasında, veya varolan jeolojik haritaların revizyonunda, giderek artan oranlarda yararlar sağlamaktadır. Özellikle tektonik çalışmalarda bu yararlar, litolojik çalışmalara göre daha da büyük olmaktadır.

Diğer yandan, bir bölgenin temel jeoloji özelliklerinin ortaya çıkarılması; o bölgede yeraltı servetleri bakımından ümitli sahalarla, çeşitli mühendislik yapıları için öncelikle sözkonusu olabilecek sahaların belirlenmesi açısından da gerekli ve zorunludur.

Eğitim öğretim için gerekli bilgi birikimi de, yine temel jeoloji çalışmaları sayesinde gerçekleşmektedir.

Klasik hava fotoğraflarının jeolojik çalışmalardaki yararları İkinci Dünya Savaşı'ndan beri bilinmektedir (Tatar,1978). Hava fotoğraflarının, uzaydan kaydedilmiş fotoğraflar ve görüntüler karşısında en önemli üstünlüğü ölçek büyüklüğü ve buna bağlı ayırma gücü idi. SPOT 1 uydusu ile sağlanan 10 m.'lik ayırma gücü, bu üstünlüğü önemli ölçüde dengelemiştir (SPOT IMAGE, Spot Newsletter, 1986/8). Ayrıca uydu fotoğraflarında ve görüntülerinde, gerçek anlamda stereo kayıt eksikliği de, yine SPOT 1 ile ortadan kaldırılmıştır.

Bunlara karşılık, uzaydan kaydedilen fotoğraf ve görüntülerin, hava fotoğraflarına göre birçok üstün lükleri bulunmaktadır (Sabins 1978, Tatar 1979 a, Siegal and Gillespie 1980, ...). Bu üstünlükler, özellikle jeolojideki önemleri de vurgulanarak, aşağıda kısaca açıklanmıştır.

1. Her bir uzay görüntüsü, hava fotoğrafına oranla yüzlerce, hatta bazıları binlerce kat daha geniş arazi kapsamaktadır. Bir bölgenin temel jeolojik özelliklerinin sağlıklı bir şekilde ortaya konulabilmesi için, geniş alanlara yayılmış formasyonların tamamının aynı anda gözlemlenmesi; büyük boyutlu tektonik yapıların da yine aynı görüntü üzerinde izlenebilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu olanağı da uydu verileri sağlamaktadır. Geniş alanları aynı anda izleyebilmek için hava fotoğraflarından üretilen fotomozayikler hem çok pahalı, hem de geometrik ve radyometrik hataları çoktur. Uydu görüntüleri, aynı zamanda bir bölgede dar alanlarda yapılacak arazi çalışmalarının planlanması açısından da, büyük faydalar sağ-

lamaktadır. Uydu verilerinin bu özelliği, temel jeoloji çalışmalarının en önemli kısmını oluşturan jeolojik harita üretimine büyük hız kazandırabilmektedir (Short et al. 1976, Smith 1977, Sabins 1978, Colwell 1983).

2. Her biri çok geniş alan kapsayan uydu görüntüleri saniyelerle ölçülen çok kısa süre içinde, uydu fotoğrafları da, elbette anlık sürelerde kaydedildiğinden; bunlarda geniş alanlarda ışık koşulları bakımından tekdüzelik(homojenlik) sağlanabilmektedir. Bu özellik kayaç türlerinin ayırımında, yeryüzü şekillerinin tanınmasında ve buna bağlı olarak tektonik yapıların ortaya çıkarılmasında yararlı olmaktadır.

3. Uydu verileri yüksek yörüngelerden kaydedildiğinden, geometrik hatalar ölçeğe oranla ihmal edilebilecek değerde olmaktadır. Ayrıca kayıt tekniğine bağlı olarak, bilgisayarla düzeltmeler daha kolay yapılabilmektedir. Bu nedenlerle, küçük ölçekli jeolojik harita çalışmalarında, uydu verileri ile daha yüksek geometrik doğruluk derecesi sağlanabilmektedir.

4. Aynı yerin çok kanallı kaydının kolaylıkla yapılabilmesi de, uzaydan uzaktan algılama tekniğinin bir başka üstünlüğünü oluşturmaktadır. Daha önce de değinildiği gibi, çok kanallı kayıtlardan üretilen yapay renkli görüntülerin, temel jeoloji araştırmalarında olduğu gibi; maden, petrol, yeraltı suyu aramaları ve benzer özel konularda da, giderek artan oranlarda yararları olmaktadır (EOSAT, Landsat Application Notes, 1987,2/1, 1988, 3/1; EOSAT Landsat Data User Notes,1987 2/1, SPOT IMAGE, Spot Newsletter, 1988/10).

5. Aynı yerin, bir iki hafta gibi kısa aralıklarla, tekrarlanabilir görüntü kaydının yapılabilmesi; özellikle dinamik jeoloji incelemelerinde eşî bulunmayan yeni bir olanak yaratmıştır. Örneğin yarımadaların etkenlikleri, buzul hareketleri, sel olayları gibi olaylar bu sayede daha kolay incelenebilmekte ve izlenebilmekte ve bunların zararlı etkileri azaltılabilmektedir(Short et al. 1976; EOSAT Landsat Data User Notes 1986,1/3; 1987, 2/4).

6. Uydulardan yapılan radar kayıtlarındaki bulut, bitki örtüsü ve hatta belirli kalınlıktaki kum örtüsüne göre geçirgenlik de; ormanlarla veya kumullarla örtülü geniş alanlarda jeolojik incelemeler için yeni bir olanak ortaya çıkarmaktadır (NOAA, Landsat Data User Notes, 1984/32).

7. Uydu verilerinin daha baştan itibaren dijital olarak bilgisayar bandlarına kaydedilmesi, bunlar üzerindeki görüntü zenginleştirme ve istenen öğeleri daha belirgin olarak ortaya çıkarma ama-

cıyla yapılacak işlemlerde kolaylık sağlamaktadır. Bu teknik olanaklar, gelişmiş uydu algılayıcılarındaki yüksek ayırma gücü ile birleşince, sadece temel jeoloji çalışmalarında değil; petrol, maden, yeraltı suyu araması gibi özel konularda da, uydu verileri doğrudan kullanılmaya başlanmıştır(örneğin EOSAT Landsat Data User Notes,1987, 2/1; EOSAT Landsat Application Notes,1987, 2/1 ve 1988, 3/1).

8. Bilimsel uydu verilerinin gizlilik taşımaması, isteyen herkes tarafından, belli bir ücret karşılığında, dünyanın her tarafına ait uydu görüntülerinin elde edilebilmesi de önemli bir noktadır. Bu sayede, jeoloji alanında araştırma ve eğitim çalışmaları yapanlar, kendi bölgelerinde kaydedilmiş uydu verilerinden yararlanabildikleri gibi; jeolojik bakımdan örnek özellikler taşıyan, dünyanın başka yerlerine ait uydu verilerini de inceleyebilme ve meslek bilgilerini geliştirme olanağına kavuşmuşlardır. Uzaydan uzaktan algılama döneminden önce sözkonusu olanak sınırlı düzeyde ve ancak hava fotoğrafları boyutunda mevcut idi. Güney Afrika'da Büyük Damar-Great Dyke ve Angola Anortozit Masifi, Kuzeybatı Afrika'da Richat Strüktürü, Kuzey Amerika'da Kayalık Dağlar Hendeği-Rocky Mountain Trench, Kanada'da Manicouagan Gölü ve benzeri daha birçok jeolojik harikanın, bütün yerbilimcilerin gözleri önüne serilmesi, uzaydan uzaktan algılamanın sağladığı eşsiz bir olanaktır (Bodechtel und Gierloff-Emden 1974, Short et al. 1976, Tatar 1979 a, Siegal and Gillespie 1980, ...).

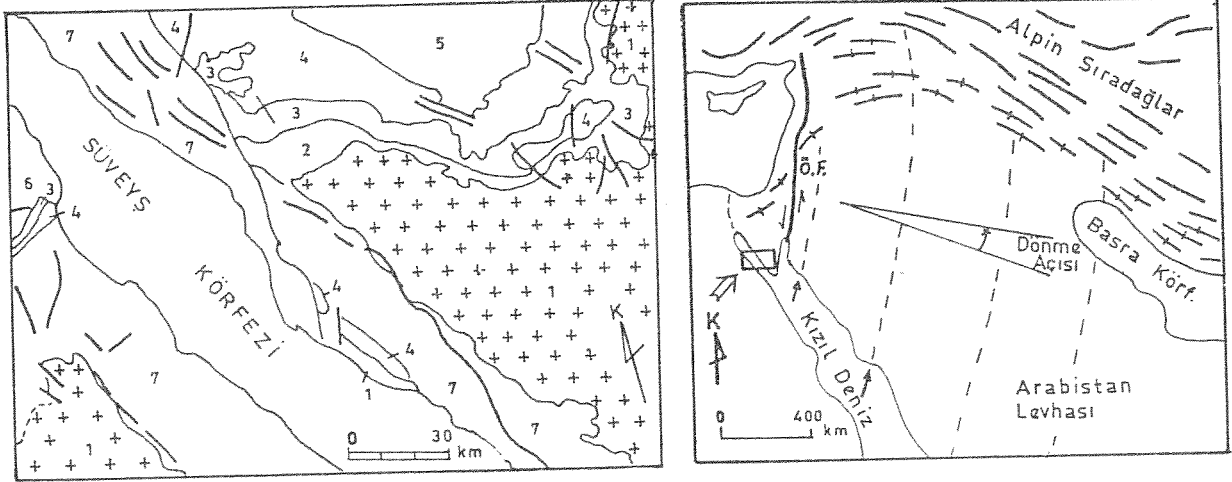
İNCELEME ÖRNEKLERİ

1. SİNA YARIMADASI GÜNEYBATISINDA TEKTONİK HARİTALAMA

Sina Yarımadası'nın güneybatı kesimine ait bir LANDSAT görüntüsü (Foto 1), ilgi çekici tektonik özellikler gösterdiğinden, özel olarak incelenmiştir. Görüntü Photogr. Eng. and Rem. Sensing Dergisinin 65/6 (1981) sayısının kapağında yayımlanmıştır. İncelenen örnek ise, bunun 1/300.000 ölçeğine büyütülmüş bir örneğidir. Görüntü ile, Şekil 1'deki haritanın karşılaştırılması, Arabistan gibi tamamen çıplak arazilere ait görüntüler üzerinde, tektonik yapıların yanında, kayaç birimlerinin de oldukça ayrıntılı düzeyde ayırdedilebileceğini göstermektedir.

Şekil 1'deki haritada (Said,1962) 1 numara ile gösterilmiş kristalin temel kütle, görüntüde çok sayıda tektonik kırık sergilemektedir ve bu kırıklar topoğrafyada düz çizgisellikler şeklinde kolayca tanınmaktadır. Yaklaşık 4000 km² genişlikte bir alana yayılmış olan bu kırıklar, görüntü üzerinde 45 dakika gibi çok

kısa bir süre içinde haritalanmıştır (Şekil 3). Aynı kırık haritası arazi çalışmalarıyla hazırlanmak istense, bu iş hem yıllar alacak, hem çok daha fazla para ve emek harcaması gerektirecektir. Bu konuda verilen ilk klasik örneklerden biri de A.B.D.'nde



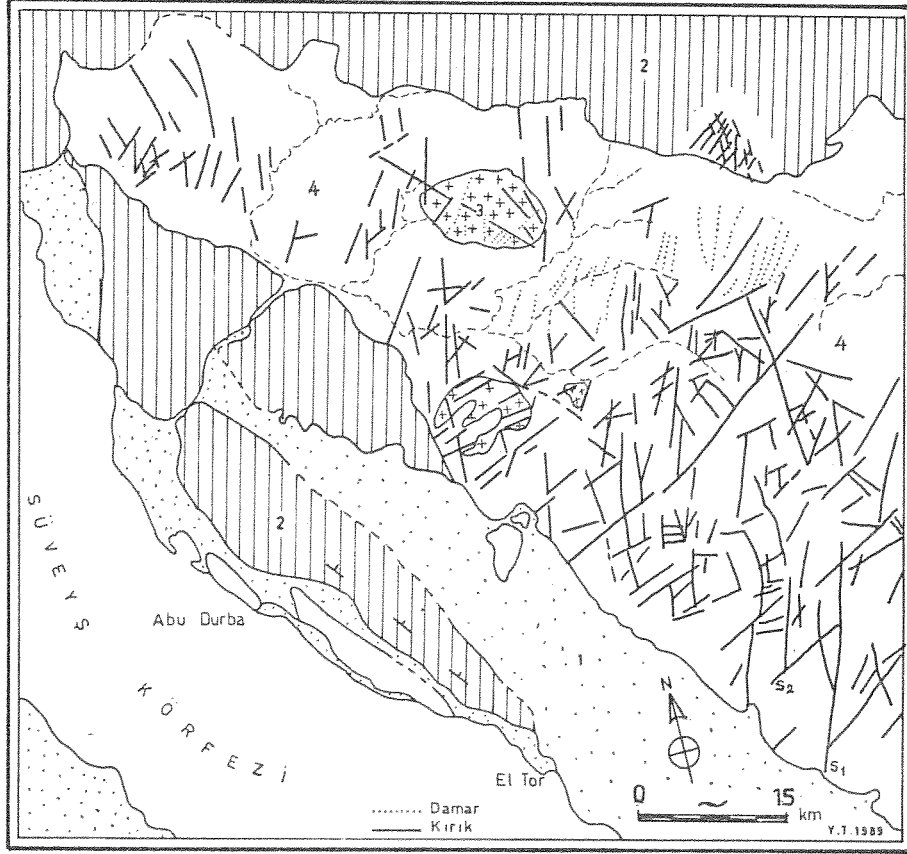
Şekil 1. Sina Yarımadası güneybatı kesiminin jeolojik haritası (Saïd, 1962'den yalınlaştırılarak alınmıştır). 1- Kristalin temel kayalar, 2- Karbonifer, 3- Alt Kretase, 4- Orta Kretase, 5- Tebeşir ve Egiş Kireçtaşı (Eosen), 6- Bazalt, 7- Kuvaterner. Kalın çizgiler kırıkları göstermektedir.

Şekil 2. Kızıldeniz'in açılması ve Arabistan Levhasının hareketi. Açılmanın hızı kuzeyden güneye gidildikçe arttığından, Arabistan Levhasının kuzeye hareketi de, saat ibresinin tersi yönde dönmeli bir hareket olmaktadır (Mattauer 1980'e göre Roy. Soc. London, 1970).

Wyoming Eyaletinde bir bölgenin kırık haritasıdır. R. Parker isimli bir jeolog, LANDSAT döneminden önce, bu bölgenin kırık haritasını beş yaz arazide çalışarak hazırlamıştır. Aynı kişi, aynı bölgenin çok daha ayrıntılı bir kırık haritasını, LANDSAT görüntüsü üzerinde, üç saat gibi çok kısa bir sürede hazırlamıştır (Short 1977, Tatar 1979 a). Uydu görüntülerinden hazırlanan mozaikler üzerinde, ülkeler büyüklüğündeki sahaların kırık haritaları da kısa süreler içinde hazırlanabilmektedir (örneğin Türkiye Kırık Haritası , Henden 1983; A.B.D. Kırık Haritası, Siegal and Gillespie 1980).

Burada sunulan kırık haritasında (Şekil 3), kırıkların iki belirgin doğrultuda yoğunlaştıkları görülmektedir. Harita üzerinde S₁ ve S₂ olarak işaret edilmiş olan bu iki doğrultu arasındaki dar açının açılı ortayı, deformasyon mekaniğinden bildiğimiz gibi, basınç gerilmesi doğrultusuna karşılık gelmektedir. Abu Durba ve

El Tor arasında, kıydan biraz içerdeki kayaalarda, tabaka doğrultuları da körfez eksenine paralel uzanmaktadır. Bu duruma uygun olarak, kesme kırıkları arasındaki dar aının aı ortayı da, körfez eksenine dik konumdadır. Diğer yandan kristalin temel ka-



Şekil 3. Sina Yarımadası güneybatısında kristalin temel kayaaların kırık haritası. Phot. Eng. and Rem. Sensing Dergisinin 65/6 (1981) sayısının kapağında yayımlanmış renkli LANDSAT görüntüsünün, 1/300.000 leđine büyütülmüş bir örneğinden hazırlanmıştır. 1- Yüzey rts, 2- Yaşları Karbonifer, Kretase ve Eosen olan tortul birimler, 3- Kristalin temel kayaaçlar içinde, yuvarlak biçimli, açık renkli yüzeylemeler; granitik sokulumlar olarak yorumlanmıştır, 4- Kristalin temel kayaaçlar. Fazla açıklama için metne bakınız.

yalar içerisinde, El Tor'un 180 km. kadar kuzeydoğusunda, birbirine paralel çok sayıda damar bulunduğuna dair gcl belirtiler gözlenmiştir. Damarların doğrultuları da körfez eksenine dik veya dika yakındır. Bu doğrultu, kesme kırıklarının dar açılarının aıortayına paraleldir ve dolayısıyla aynı basınç gerilmesi ile oluşmuş çekme kırıklarını (tansiyon çatlaklarını) temsil etmektedir. Kristalin temel kayaaçlar içerisinde yuvarlak, açık renk-

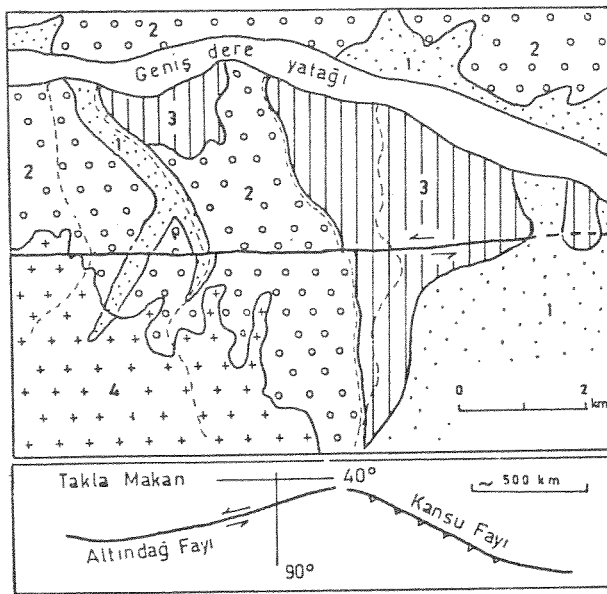
li yüzeylemelerin (Şekil 3), daha genç granitik sokulum kayaların olabileceği düşünülmüştür. Damarlar yer yer bu kütlelerin içinde görüldüğünden, onlardan daha gençtir.

Elde edilen bu bulgular bütünüyle Kızıldeniz'in açılmakta olduğu kuramını (Şekil 2) desteklemektedir. Kızıldeniz'deki açılma hızı kuzeyden güneye doğru gidildikçe arttığından, Arabistan Levhası da buna bağlı olarak, kuzeye doğru saat ibresi tersi yönünde dönmeli bir hareket yapmaktadır (Mattauer 1980'e göre Roy. Soc., London, 1970). Ölüdeniz Fayı (Şekil 2, ÖF) nedeniyle, Sina Yarımadası'nda, Kızıldeniz'in açılma yönünün tersine bir hareket gözlenmekte ise de; bu durum, yine Kızıldeniz'in açılma hızının kuzeyden güneye gidildikçe artması ile açıklanabilir.

Hazırlanan kırık haritasının yeraltı servetleri bakımından da bazı ümitli bölgeleri gösterdiğini söyleyebiliriz. Örneğin damarlar, özellikle damarların yoğun kesimleri ile plutonik kütle içindeki kısımları; kırıkların arakesit yerleri maden arama için hedef bölgeler olarak kabul edilebilir.

2. ORTA ASYA'DA ALTINDAĞ FAY KUŞAĞI İÇİNDE BİR YAN FAYIN HARİTALANMASI

Orta Asya'nın önemli tektonik çizgilerinden olan Altın Dağ Fayı LANDSAT görüntüleri üzerinde çok net olarak tanınabilmektedir (örneğin Molnar and Tapponier, 1977). SPOT görüntüleri ise, bu tür yapılar hakkında çok daha ayrıntılı bilgiler taşımaktadır. Şekil 4'deki yalın harita, KJ 238-271 numaralı, çok kanallı SPOT



Şekil 4

Orta Asya'da Altın Dağ Fayının doğu kesiminde bir yan fay. 1/100.000 ölçekli, çok kanallı, renkli SPOT görüntüsünden (SPOT IMAGE, Spot Newsletter, 1988/10) hazırlanmıştır. Altta Altın Dağ Fayının konumunu gösteren kısım Siegal and Gillespie 1980, Fig. 14.36'dan yararlanılarak çizilmiştir. 1- Genç alüviyon yelpazeleri, 2- Daha eski alüviyonlar ve kısmen kırıntılı tortul kayalar, 3- Drenaj yoğunluğu yüksek, olasılıkla kırıntılı tortul kayalar, 4- Drenaj yoğunluğu düşük, olasılıkla plutonik kayalar

görüntüsü üzerinde çizilmiştir. Ayırma gücü 20 m. olan SPOT çok kanallı görüntüleri, oldukça ayrıntılı jeolojik bilgiler vermektedir. Nitekim Şekil 4'deki haritanın hazırlandığı görüntü üzerinde, diğer morfolojik ögeler gibi, fay izi de son derece net olarak görülmektedir. Fay izinin, morfolojiden etkilenmeksizin, düz bir çizgi şeklindeki gidışı, fay düzleminin düşey veya düşeye yakın olduğunu göstermektedir. Morfolojik ögelerin, özellikle bazı kesimlerdeki dere yatağı ötelenmelerinin durumundan, fayın doğrultu atımlı, sol yönlü bir fay olduğu kesin olarak anlaşılmaktadır. SPOT görüntülerinin 1/25.000 ölçeğine kadar büyütülebilmeleri ve yüksek ayırma gücü sayesinde, burada örneği sunulan türden fayların atım miktarları da, metre düzeyinden belirlenebilmektedir. Şekil 4'deki fayın atımının da 60 m. kadar olduğu ortaya çıkarılmıştır (SPOT IMAGE, Spot Newsletter, 1988/10).

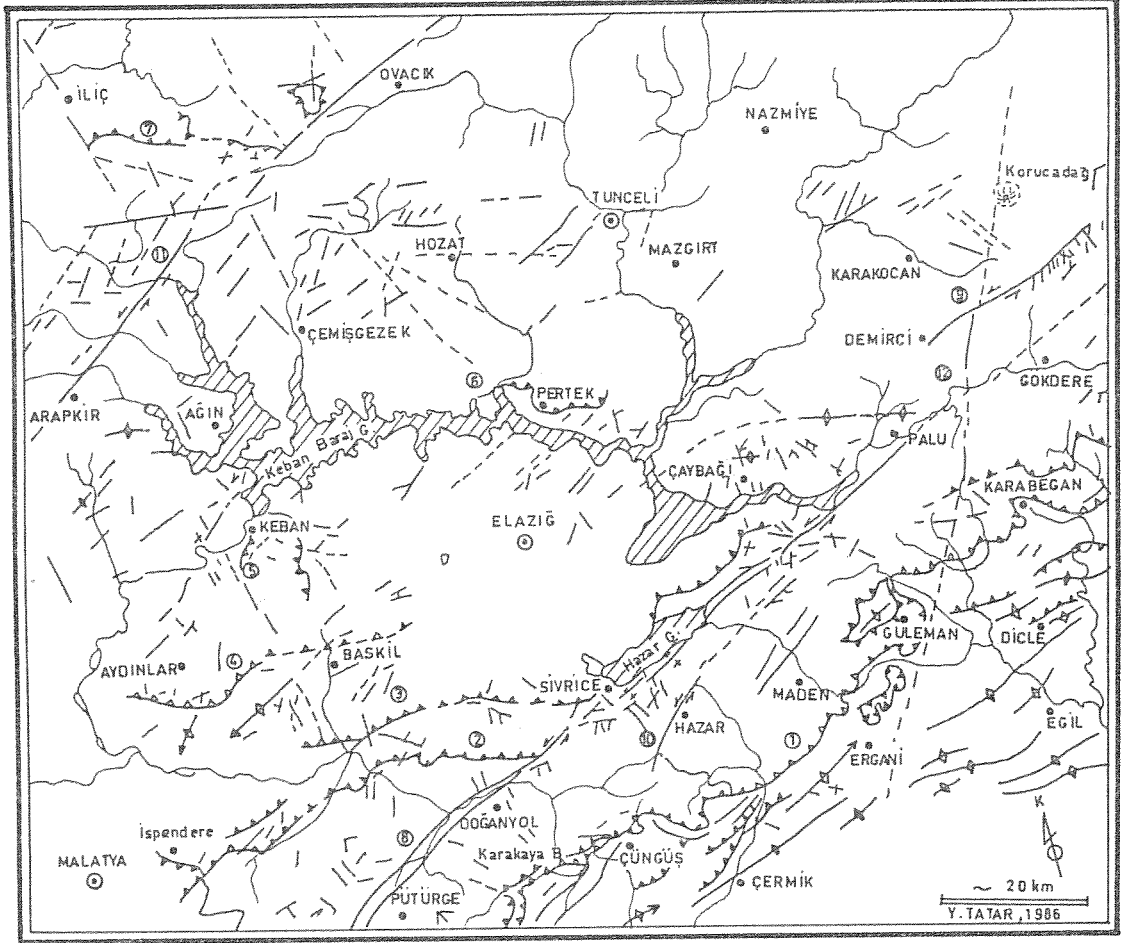
3. ELAZIĞ ÇEVRESİNDE TEKTONİK İNCELEMELER

Uydu görüntülerinin tektonik çalışmalardaki yararlarının, litolojik çalışmalara göre daha da fazla olduğuna yukarıda değinilmişti. Nitekim, LANDSAT görüntülerinin hizmete sunulduğu 1972 yılından bu yana, dünyanın birçok yerinde varlığı bilinmeyen birçok tektonik kırık ortaya çıkarılmıştır. Türkiye'de de, önemli bazı kırıklı yapıların keşfedilmesinde ve bilinen kırıkların özelliklerinin daha iyi incelenmesinde LANDSAT görüntülerinden yararlanmıştı (örneğin Tatar 1979 b, Henden 1983, Yıldız 1985,...).

Şekil 5'teki yalınlaştırılmış tektonik harita, 8 Eylül 1975 tarihli, 1/300.000 ölçeğine büyütülmüş, siyah-beyaz, 7. kanal LANDSAT görüntüsü üzerinde; bölgeyle ilgili değişik yayınlardan alınan verilere, LANDSAT görüntüsünden çıkarılan veriler eklenecek hazırlanmıştır. Haritadaki küçük boyutlu kırıkların yaklaşık yüzde sekseni uydu görüntüsünden çıkarılmıştır. Bunların, özellikle Ovacık-Hozat-Çemişgezek-Ağın-Arapkir ve İliç arasındaki bölgede yoğunluk gösterdiği görülmektedir. Çaybağı çevresinde, Palu Antiklinaline göre makaslama konumunda olan kırıklar da görüntüden çıkarılmıştır.

Uydu görüntüsü üzerinde dikkati çeken büyük çizgisellikler de bulunmaktadır. Bunlardan Ovacık Fayı (11), özellikle önemli gözükmektedir. Ovacık Fayı adı ilk defa Arpat ve Şaroğlu (1972) tarafından kullanılmış bir kavramdır. Arpat ve Şaroğlu Ovacık Ovasının kuzeybatı kenarında, 15 km. uzunluğunda diri bir fay bulunduğunu; fay düzleminin dike yakın bir şekilde güneye eğimli oldu-

ğunu, fayın kuzeydoğuya ve güneybatıya devamının belirgin olmadığını kaydetmişlerdir. LANDSAT görüntüsü üzerinde yapılan incelemeler ise, fay hakkında çok daha geniş bilgiler sağlamıştır (Tatar,1986). Bazı kesimlerde belirsiz olmakla birlikte, görüntü üzerinde fayın, Kuzey Anadolu Fayı ile Tanyeri yakınında kesişen



Şekil 5. Elazığ çevresinin yalınlaştırılmış tektonik haritası (LANDSAT görüntüsünden ve çeşitli yayınlardan yararlanılarak hazırlanmıştır). 1- Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı (Bitlis Bindirmesi), 2- İspendere Bindirmesi, 3- Kömürhan Bindirmesi, 4- Baskil Bindirmesi, 5- Keban Bindirmesi, 6- Pertek Bindirmesi, 7- Kemaliye-Ovacık Bindirmeleri, 8- Doğu Anadolu Fay Kuşağı, 9- Demirci Fayı, 10- Hazar Fayı, 11- Ovacık Fayı, 12- "Korucadağ Fayı". Antiklinal eksenleri numaralanmamıştır (Tatar,1986).

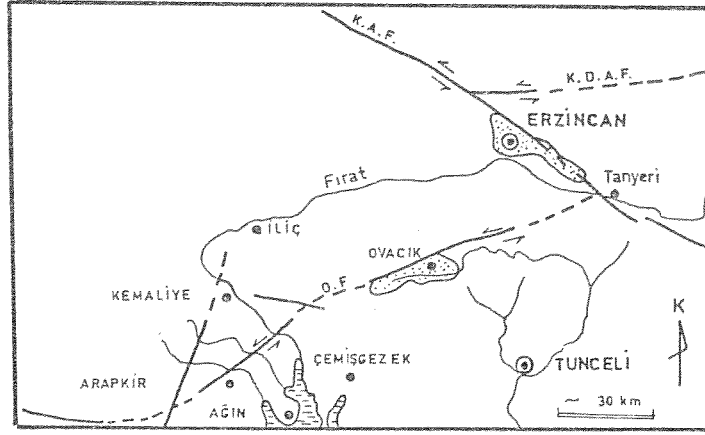
ve güneybatıya doğru, yaklaşık 180 km. kadar uzanan, sol yanallı büyük bir kırık olduğunu gösteren önemli bulgular elde edilmiştir. Bu bulguların başlıcaları aşağıda açıklanmıştır.

1. Ovacık Fayı olarak adlandırılan çizgiselliğin bir fay olduğunu gösteren morfolojik belirtiler oldukça kuvvetlidir. Çizgi-

sellikte, bütünüyle diğer morfolojik öğeleri kesen düz vadi görünümü egemendir.

2. Doğu Anadolu Fay Kuşağının yaklaşık 80 km. kuzeybatısındaki bu büyük çizgisellik, Doğu Anadolu Fay Kuşağına paralel uzanmaktadır. Erzincan-İliç arasında Fırat Vadisinin de bu çizgiselliğe paralel uzanması; İliç'in 20 km. kadar güneybatısında keskin bir dirsek yaparak güneydoğuya dönmesi, Fırat Vadisinin bu kesiminin de bir kırık kuşağıyla ilgili olabileceğini düşündürmektedir.

3. Çizgiselliğin Arapkir ile Fırat arasındaki bölümünde, Fırat Vadisi ile, çizgiselliği kesen diğer büyükçe vadiler, birbirine paralel olarak açık (S) şeklinde bükülmüşlerdir (Şekil 6).



Şekil 6. Ovacık Fayı (O.F.) ve bunun Kuzey Anadolu Fay Kuşağı ile ilişkisi. K.D.A.F.- "Kuzeydoğu Anadolu Fayı" (Tatar 19-78). Harita LANDSAT görüntüsü üzerinde çizilmiştir (Tatar,1986).

Bu durum çizgiselliğin doğrultu atımlı, sol yönlü bir fay olduğunu gösteren, oldukça önemli bir veri oluşturmaktadır. Vadilerin bu şekilde bükülmüş olması, fayın aynı zamanda diri bir fay olduğuna da işaret eder. Arapkir'in güneybatısında bu fayın Malatya F Fayı ile kesiştiğine Perinçek v.d.(1987) de değinmişlerdir.

4. Pliyo-Kuvaterner çökelleri ile dolu olan Ovacık Ovası, yaklaşık Hazar Gölü genişliğinde bir alan kapsamaktadır. Bu ovanın da, Hazar Gölü ve Erzincan Ovası gibi, çek-ayır havzası olarak (Mann et al.,1983) gelişmiş olduğunu düşünebiliriz.

5. Arpat ve Şaroğlu (1972) tarafından dikkat çekildiği gibi, Ovacık Ovasındaki büyük su kaynakları, tam çizgiselliğin üzerinde yer almakta, dolayısıyla bunun bir fay olabileceğine dair kanıt niteliği taşımaktadır.

Ovacık Fayı dışında, iki büyük çizgisellik de Demirci Fayı(9) ve "Korucadağ Fayı(12)" olarak adlandırılan çizgiselliklerdir.

Demirci Fayı, Palu'nun 20 km. kadar kuzeydoğusundaki Demirci Köyü yakınında başlayıp, LANDSAT görüntüsü üzerinde kuzeydoğuya doğru 30 km. kadar izlenebilen bir çizgiseliktir. Doğu Anadolu Fayınının 10 km. kadar kuzeyinde ve ona paralel olarak uzanan bu çizgiselliğin, doğrultu atımlı, sol yönlü bir fay olabileceği kabul edilmiştir.

"Korucadağ Fayı" olarak adlandırılan büyük çizgisellik LANDSAT görüntüsü üzerinde daha zayıf belirtilerle dikkati çekmektedir. Ergani'den itibaren kuzey-kuzeydoğuya doğru düz bir hat şeklinde uzanan bu çizgisellik, Bingöl'ün 25 km. kadar kuzeybatısındaki genç Korucadağ Volkanından geçmektedir. Korucadağ'dan sonra aynı yönde, yer yer kesintili biçimde devam eden çizgiselliğin, Kiği'nin yaklaşık 17 km. kuzeydoğusunda, Kuzey Anadolu Fay Kuşağı ile kesiştiğine dair bazı belirtiler bulunmaktadır. Kesin niteliklerini ortaya koyabilmek için, bunun, üzerinde araştırma yapmayı degecek bir çizgisellik olduğu düşünülmektedir.

İlk defa LANDSAT görüntüsü üzerinde keşfedilmiş önemli bir yapı da, Baskil ile Fırat Nehri arasındaki Baskil Antiklinalidir. Görüntü üzerindeki belirtisine dikkat çektiğimiz bu yapının varlığı, Turan'ın(1984) arazi çalışmalarıyla kesinlik kazanmıştır. Diğer yandan, LANDSAT görüntüsü üzerindeki gözlemler, Baskil Antiklinali ile, doğudaki Palu Antiklinalinin, doğu-batı uzanımlı, yaklaşık 100 km. uzunlukta, büyük bir antiklinalin uç kısımları olduğu izlenimi vermektedir.

Siyah-beyaz LANDSAT MSS görüntüsü yerine, bilgisayarla görüntü zenginleştirme işleminden geçirilmiş, renkli bir LANDSAT TM görüntüsü, veya SPOT görüntüsü kullanıldığı takdirde, bölgeye ait çok daha fazla jeolojik bilgi elde edilebileceği kesindir.

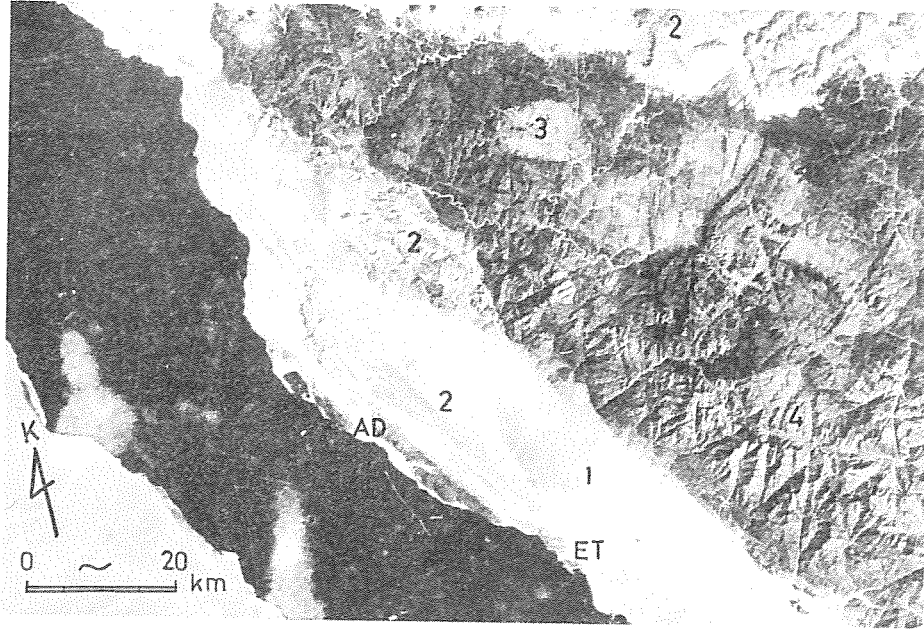


Foto 1. Sina Yarımadası güneybatısına ait LANDSAT görüntüsünün Abu Durba yakını kesimi. Photogr. Eng. and Rem. Sensing Dergisinin 65/6 (1981) sayısının kapağında alınmıştır. 1- Yüzey örtüsü, daha çok kumullar, yer yer alüvyonlar; 2- Karbonifer, Kretase ve Eosen kayalar; 3- Granitik sokulum kayalar, 4- Kristalin temel kayalar. Bu fotoğrafı Şekil 1, 2 ve 3 ile karşılaştırarak inceleyiniz. Bölgesel jeolojik bilgiler için Said'e(1962) bakınız.

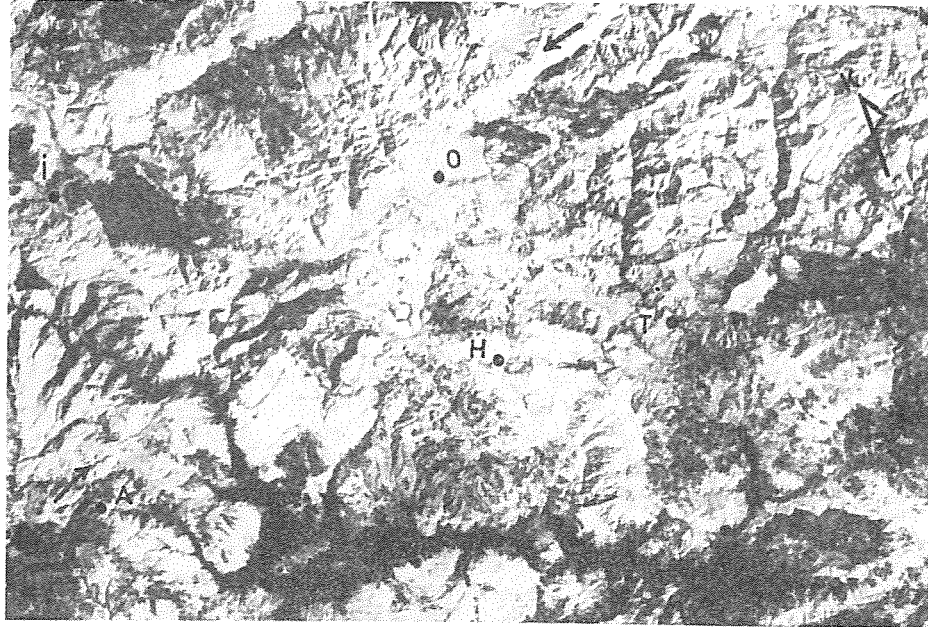


Foto 2. 8 Eylül 1975 tarihli LANSAT MSS 7. kanal görüntüsünün Ovacık çevresine ait kısmı. Ovacık Fayı çizgiselliğine, iki uçta oklarla işaret edilmiştir. T- Tunceli, O- Ovacık, H- Hozat, A- Arapkir, İ- İliç. Fazla açıklama için metne bakınız ve fotoğrafı Şekil 5 ve 6 ile karşılaştırınız.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Arpat,E., Şaroğlu,F.,1972, Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler. M.T.A. Derg., 78, 44-51.
- Bodechtel,J., Gierloff-Emden,H. G.,1972, The earth from space. David and Charles, pp. 176.
- Colwell,R.N.(ed. in-chief),1983, Manual of remote sensing, second ed., in two vols.,Amer. Soc. of Photogrammetry, Virginia,pp.2440.
- Dinç,U.,1986, Belli başlı yeryüzü objelerinin uzaktan algılama yöntemleri ile tanınması: Su yüzeyleri. Uz. Alg. Lisanüstü Yaz Okulu, Adana, s. 2.24 - 2.27.
- EOSAT, 1986, Landsat Data User Notes, 1/3.
- , 1987, Landsat Data User Notes, 2/1.
- , 1987, Landsat Data User Notes, 2/4.
- , 1988, Landsat Data User Notes, 3/1 ve 3/2.
- , 1987, Landsat Application Notes, 2/1.
- , 1988, Landsat Application Notes, 3/2.
- Henden,İ., 1983, Uzay görüntülerinin Türkiye çizgisellik haritası ve maden aramaları için hedef sahalarının seçilmesi, bölgesel çizgiselliklerin deprem ve sıcak su kaynakları ile ilişkisi. M.T.A. Derg.,95/96,
- Henden,1986, Uzaktan algılamada gözle yapılan yorumlar ve bilgi üretimi: Jeoloji ve toprak. Uz. Alg. Lisanüstü Yaz Okulu, Adana, s. 5.13-5.33.
- Mann,P., Hempton,M.K., Bradley,D.C., Burke,K., 1983, Development of pull-apart basins. Journ. of Geol., 91, 529-554.
- Mattauer,M.,1980, Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre. Hermann, Paris, pp. 493.
- Molnar,P., Tapponnier,P., 1977, The collision between India and Eurasia. Sciet. Amer.,236, 30-42.
- NOAA, 1984, Landsat Data User Notes, 32.
- Perinçek,D., Günay,Y., Kozlu,H., 1987, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesindeki yanallı faylar ile ilgili yeni gözlemler. Türkiye 7. Petrol Kongresi, TPJD, Ankara.
- Sabins,F.F.,Jr., 1978, Remote sensing: Principles and interpretation. Freeman, pp. 426.
- Sarı,M.,1986, Bellibaşlı yeryüzü objelerinin uzaktan algılama yöntemleri ile tanınması: Topraklar. Uz. Alg. Lisanüstü Yaz Okulu, Adana, 2.20-2.24.
- Short,N.M.,1977, Exploration for fossil and nuclear fuels from orbital altitudes. In: Smith,W.L., Remote sensing applications

- for mineral exploration. Dowden Hutchinson and Ross, pp. 391.
- Short, N.M., Lowman, P.D. Jr., Freden, C.S., Finch, W.A. Jr., 1976, Mission to earth: Landsat views the world, NASA SP-360, pp. 459.
- Siegal, B.S., Gillespie, A.R. (eds), 1980, Remote sensing in geology. John Wiley and Sons, pp. 702.
- SPOT IMAGE, 1986, Spot Newsletter, 8.
- , 1988, Spot Newsletter, 10.
- Şenol, S., 1986, Bellibaşlı yeryüzü objelerinin uzaktan algılama yöntemleri ile tanınması: Bitki örtüsü. Uz. Alg. Lisansüstü Yaz Okulu, Adana, 2.1-2.8.
- Tatar, Y., 1978, Fotojeoloji. K.T.Ü. yayın no. 89, Trabzon, s. 250.
- , 1979a, Uzaktan algılama, Landsat programı ve jeolojiye katkısı. Jeol. Müh. Odası, yayın no. 1, s. 109.
- , 1979b, Kuzey Anadolu Fay Zonunun Erzincan-Refahiye arasındaki bölümü üzerinde tektonik incelemeler. Yerbilimleri, 4(1-2), 201-236.
- , 1986, Bellibaşlı yeryüzü objelerinin uzaktan algılama yöntemleri ile tanınması: Kayalar. Uz. Alg. Lisansüstü Yaz Okulu, Adana, 2.8-2.19.
- Turan, M., 1984, Baskil-Aydınlar (Elazığ) yöresinin stratigrafisi ve tektoniği. Doktora tezi, yayımlanmamış, Fırat Üniv., Elazığ, s. 185.
- Yıldız, B., 1985, Güneydoğu Anadolu bölgesinin jeolojisi, tektoniği ve maden yataklarının uzaktan algılama yöntemleri ile incelenmesi. M.T.A. Arşivi, Ankara, yayımlanmamış.
- Said, R., 1962, The geology of Egypt. Elsevier, pp. 377.