

## UZAKTAN ALGILAMA İLE BİNDİRME FAYLARININ TANIMI

Çeviri: Halil YUSUFOĞLU MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdleri Dairesi, ANKARA

Kıvrım / bindirme alanları, Dünya çapında petrol alınabilen yerlerdir, fakat, uzaktan algılama ile bu tipte alanları tanımlamak oldukça zordur. Yazar bu makalede yararlı olacağı açısından, Pakistan'da bu yönlü yapılmış uzaktan algılama çalışmalarını sunacaktır.

Wyoming Bindirme Kuşağı, Dünya çapında hidrokarbon üretimini sağlayan saha olarak, kıvrım / bindirme alanlarının bir örneğidir. Bu sahada, 1981'e değin, 58,4 Tcfg ve 6,7 milyar varil petrole sahip, tahmini rezerv içeren onyediyedi saha saptanmıştır. Buna benzer diğer bindirme fay kuşakları, geniş rezerv potansiyeline sahip, ancak karmaşık yapısal konumlu ve derinde olmaları yüzünden dünyanın birçok yerinde araştırılmadan bırakılmıştır.

Genelde uzaktan algılama; yarı çalışılmış alanların haritalanması ve değerlendirilmesinde kullanılır. Böyle haritalar (algılama haritaları), tektonik evrim, rezerv derinliği, petrol oluşum ve göçü ve yapısal gelişmenin zamanı ile ilgili modellerin kurulmasına yardımcı olur. Bu nedenle, bindirme kuşaklarının bir bütün olarak yorumlarının araştırılmasında, jeologlar bir sahaya ziyaret etmeden önce, yapısal kapanımların yerlerini, hangisinin teste değer olduğunu, hangi kesiminin test edilebilir ve olası sondaj derinliğinin ne kadar olacağını saptayabilirler.

Bu makale uzaktan algılama metodları ile, bindirmelerin jeomorfik kanıtı, başka fayların yorumu ve uyumsuzluklar ile karşılaştırılmalarını inceler. Basit bir özellik bir bindirmeyi tanımlamaz, ancak, birçok faktörün karşılaştırılması ile, bir bindirmenin yorumu için özellik teşkil eder. Pakistan'da buna ilişkin bir örnek çalışma, mükemmel mostra ve klasik bindirme özelliklerini içeren bir alandaki jeomorfik kriterleri göstermektedir. Yapısal yorum, enine kesitlerin yapılması ile desteklenip, birlikte bu özellikler araştırılacak sahanın önemini belirtmede kullanılır.

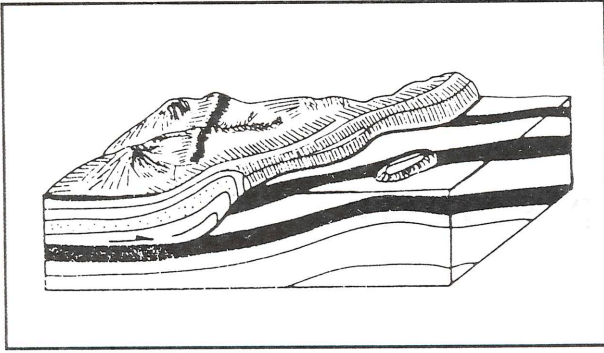
### YORUM KRİTERLERİ

Çoğun faylar, genelde bir şeve bağlı olarak, kayaçların tipleri ya da doğrultu ve eğimlerinde ani değişiklikler ile tanınır. Büyük açılı (dikeye yakın) bir fayın izi, genelde bir doğruyu andırmaya meyillidir. Bu nedenle "hat" olarak kabul edilir. Bir bindirme fayının izi, genelde düzensiz olup, topografik eşdeğer çizgilerini takip ederek bu fayların tanımını güçleştirir. Bununla beraber bindirmeleri tanımak için, hem doğrudan hem de dolaylı kriterler vardır.

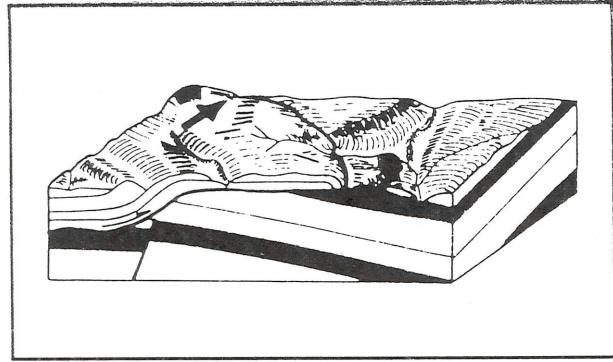
**Bindirme Faylarının Doğrudan Göstergeleri:** Bunlar genellikle tavan ve taban bloklarında değişik yapıları içeren doğrultu ya da eğimlerde ani değişiklik sunan özelliklerdir (Şekil 1). Tavan bloğu genellikle topografya olarak taban bloğundan daha yüksek olup, fay izi üst levhanın tabanında, topografya eğiminde bir kırık boyunca uzanır. Bu denli topografik rölyefin olmadığı yerlerde, tavan bloğu; tabakalanmanın doğrultusu, bindirme öneyine genelde paralellığı ile tanınır. Birçok halde fay izi kuşbakışı olarak tektonik taşınma yönünde dış-bükey konumludur (Şekil 2). Düzensiz fay izinin bir kısmı bindirme levhasının öneyinde erozyon sonucu oluşan klip olabilir.

Ön kenar antiklinalleri, kesit yukarı doğru rampalaşarak sonlanmış bindirmeleri karakterize eder; başka türlü tavan bloğu birimleri genellikle bindirme fayı ile eş-yön eğimlidirler. Binik yelpazeler, bindirmenin çatallanarak tavan bloğunu kesip, dilinim halinde yığılmış, birbirine paralel sırt zonları oluşturmuş ve litolojik kesit tekrarı gözlenmiş olarak tanımlanan bindirme fay türüdürler. Bir bindirme fayı ile devam ettirilmiş kıvrımlar, genelde ortak bir bakışimsızlığa eğilimli olup, ön-ülkeye doğru yatık konumludurlar. Bunlar genelde binik ya da yığılmış antiklinaller veya senkli-

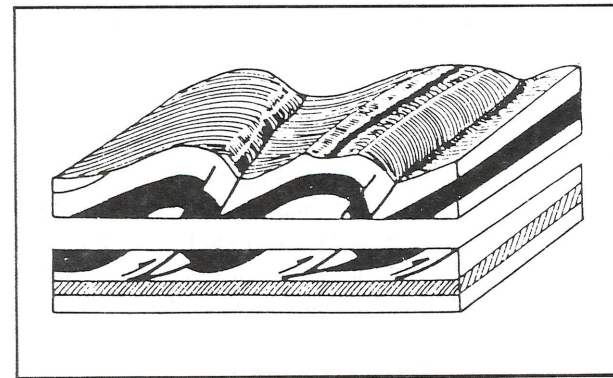
"World Oil" adlı derginin Eylül 1990 da yayımlanan 211/3 ncü sayısında Gary L. Prost tarafından yazılan ve 39-45 sayfalar arasında basılan "Recognizing thrust faults on remote sensing images" adlı makaleden tercüme edilmiştir.



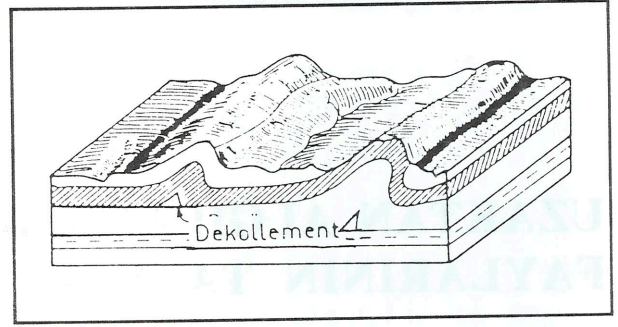
Şekil 1: Kavisli bir ön-kenar antiklinalinin diyagramı, düzensiz fay izi, erozyonal klip ve uyumsuz doğrultu/eğimler. Tavan bloğu tabakaları, bindirme izine paralel doğrultulu ve faya paralel eğimlidirler.



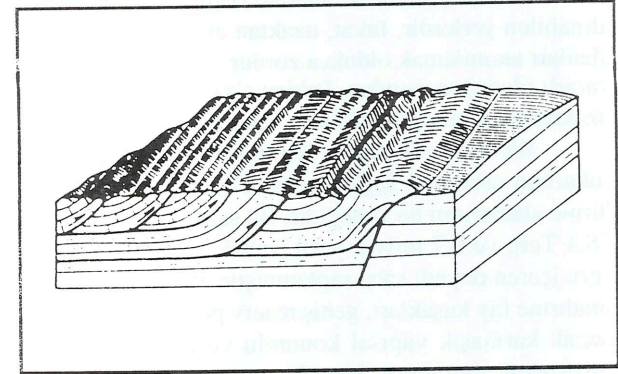
Şekil 2: Bu diyagramdaki bindirme fayı, topografya eğimindeki bir kırığı göstermektedir. Bindirme fay izi, tektonik taşınma yönünde dışbükey konumludur (ok yönü).



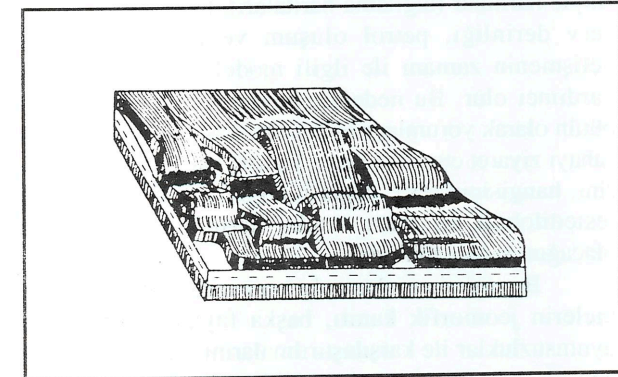
Şekil 3: Yığılmış antiklinaler (veya senklinaler) çatallanmış bindirme faylarını göstermektedir.



Şekil 4: Kıvrımlarda, genişliğin dalga boyunun 1/4'inden daha fazla olduğu ve eksen uzunluklarının dalga boyunun birkaç katı olduğu hallerde oluşan dekollement kıvrımları.



Şekil 5: Yapısal konumdaki ani değişimler, binik levhalardan ön-kenar kıvrımlarına-bindirmeyi karakterize eder.



Şekil 6: Bindirme/kıvrım alanlarında, yırtmaç fayları şekilde görüldüğü gibi ön bindirmenin içine kavislenebilirler. Kıvrımlar, yırtmaç fayının herhangi bir kenarı üzerinde zıt yönlü olabilirler. Hareket eğim-atım ya da doğrultu-atımlı görünebilir. Bindirme fayları, doğrultuları boyunca hareketlerini kıvrımlanmaya transfer ederler.



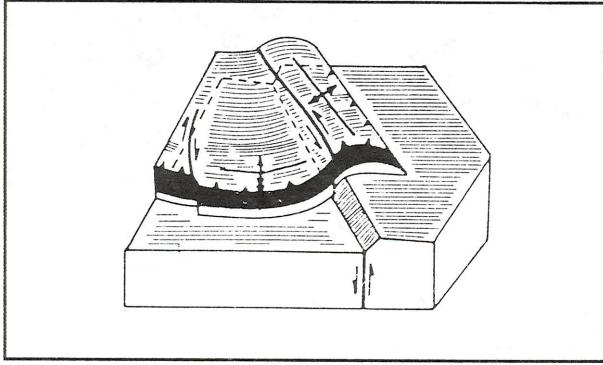
nalleri oluşturmuş erozyonun düzeyine dayanan yapılarıdır (Şekil 3).

Tavan bloğu dekollement kıvrımları, konsentrik yapı, katlanma/bükülme kaymasından oluşmuş ve genelde genişlikleri dalga boylarının 1/4'inden büyük olduğu gözlenmiştir. Bu kıvrımların eksen uzunlukları genelde dalga boylarının birkaç katı olup dolambaçlıdır (Şekil 4).

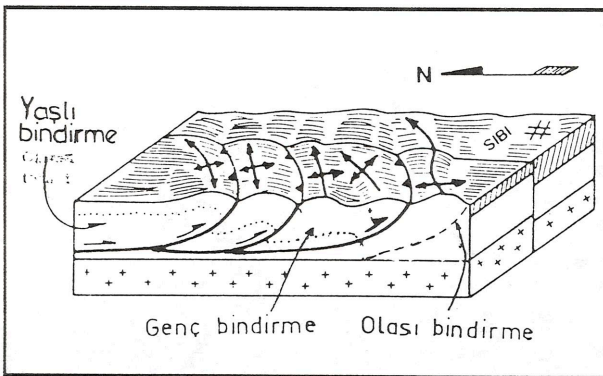
Yapısal tiplerindeki ani değişiklikler, örneğin, sıkçadan açık kıvrımlanmaya ya da binik sırtlarından kıvrımlara, bindirme fayları içinde sık sık rastlanmaktadır (Şekil 5).

#### Bindirme Fayları Dolaylı Göstergeleri:

Bunlar başlıca, yırtmaç fayları, yanal yokuş antiklinalleri, monoklinal eğilti ve gevşeme faylarıdır. Yırtmaç fayları düz ve doğrultu-atım fayları karakterindedirler, ancak eğim-atım ya da yönü boyunca gelişen monoklinal eğiltiye sahip olabilirler. Genelde bindirmenin öneyinde, ani olarak ya da bindirme fayına doğru kavis yaparak sonlanırlar (Şekil 6). Bir yırtmaç fayının herhangi bir



Şekil 7: Yanal yokuş antiklinalleri, bindirme/kıvrım alanlarında, taban bloğu fayları üzerinde oluşabilirler.



Şekil 8: Güney'de izlenen, ilerleyen genç yaşlı birimler ile gelişen bir aşmalı kıvrım diyagramı. Bindirme fay dizinleri Sibi alanının kuzeybatısında görülmektedir. Bu da gösteriyor ki; Bindirmeler güney'e doğru, yaşlıdan genç'e doğru gitmektedir. Olası bir bindirme fayına dikkat ediniz.

kenarındaki kıvrımlar bindirmeye zıt yönlü (Bir kıvrımın yatık veya eğim yönü) ya da yapısal oluşumun ayrı evrelerinde oluşmuş olabilirler. Faylı bir taban bloğu üzerinde gelişen bir yırtmaç fayı, bulunduğu yerde tavan bloğunun içinde monoklinal eğilti oluşur (Şekil 7). Diğer durumlarda, yanal yokuş antiklinalleri faylı taban bloğu üzerinde gelişir. Gevşeme fayları, tavan bloğu kıvrımlarının arka kanadı üzerinde ya da, bindirmenin kesit yukarı doğru rampalaştığı yer üzerinde gelişirler. Bu dizin normal faylar, kaşık biçimli, arka bölgeye doğru (Bindirmenin geliştiği yer) içbükey konumdadırlar. Bindirme fayları doğrultuları boyunca, sürüklenme hareketini kıvrımlara ya da aşmalı bindirme faylara transfer ederek sonlanırlar. Bu nedenle, doğrultu boyunca faylara karışmış kıvrımları, bindirme fayının olası göstergesidirler.

Açılı uyumsuzluklar, bindirme fayları gibi bazen aynı karaktere sahiptirler. Açılı uyumsuzluklar da doğrultu ve eğimdeki keskin değişimlerle karakterize edilirler. Bir uyumsuzluk düzleminin üzerindeki kıvrımlanma altta da aynen izlenir. Fakat, bindirmelerin tavan bloğundaki kıvrımlanma, taban bloğuna yansımamaktadır. Bir uyumsuzluğun üzerindeki tabakalanma, tanım olarak, alttakinden daha az tabakalanma gösterebilir, fakat, bir bindirmenin üst levhası alt levhasından daha çok deforme olur. Bindirmeler, litolojik kesit tekrarı içerir fakat, uyumsuzluklar içermez. Ters faylar, bindirmelerde olduğu gibi, genç yaşlı kayaları daha yaşlı kayaların üzerine getirir. Fay düzleminin büyük açılı olması, düz bir fay izinin oluşmasını sağlar, bu da, ters fayları bindirme faylardan ayırtan bir özelliktir.

Bindirme-altı yapıları dikkat çekici ve tanımlamaları hala çok zordur. Bindirme sonrası oluşan kıvrımlanma yüzeyde tanımlanır ve tavan bloğunun altına kadar uzanır. Ancak kıvrımlanmanın yaşı, yalnız uzaktan algılama verileri ile saptanamaz. Bindirme-altı yapıları, bindirme levhasının ve yükselminin kenarları boyunca yırtmaç fayların iç kesimlerinin derin erozyona uğramasına bir temel teşkil eder. Bindirme-altı yapısı, tavan bloğu kalınlığındaki değişimlerle nitelik kazanabilir. Bindirme levhasının kalınlığı, dekollement kıvrımlarının geometrisine dayanarak tahmin edilebilir. Jamison (1987) tarafından geliştirilen bir seri eğri, kıvrım kanatları arası açı ve arka kanat eğiminin, kıvrım dalga boyu (eş yükseklik verilerinden) oranına ilişkisinin bindirme levhası kalınlığına bölümünü açıklar. Tavan bloğu kalınlık değişimi, bindirme fay düzleminin şeklini göstermek için yüzey yükseltilerinden çıkarılabilir. Kıvrım duruşları aynı zamanda, bindirme fay levhasının bir yapıya üzerlediği (geri yönlü) veya bir bindirme-altı yapısına bindirdiği (ileri yönlü) düşüncesini akla getirmektedir. Binik yelpazeler, taban bloğu fayları ya da bir bindirmenin kesit



yukarı doğru rampalaştığı yer üzerinde gelişir. Bu özellikler aşağıdaki örneğinde gösterilmektedir.

### SÜLEYMAN SIRADAĞLARI, PAKİSTAN

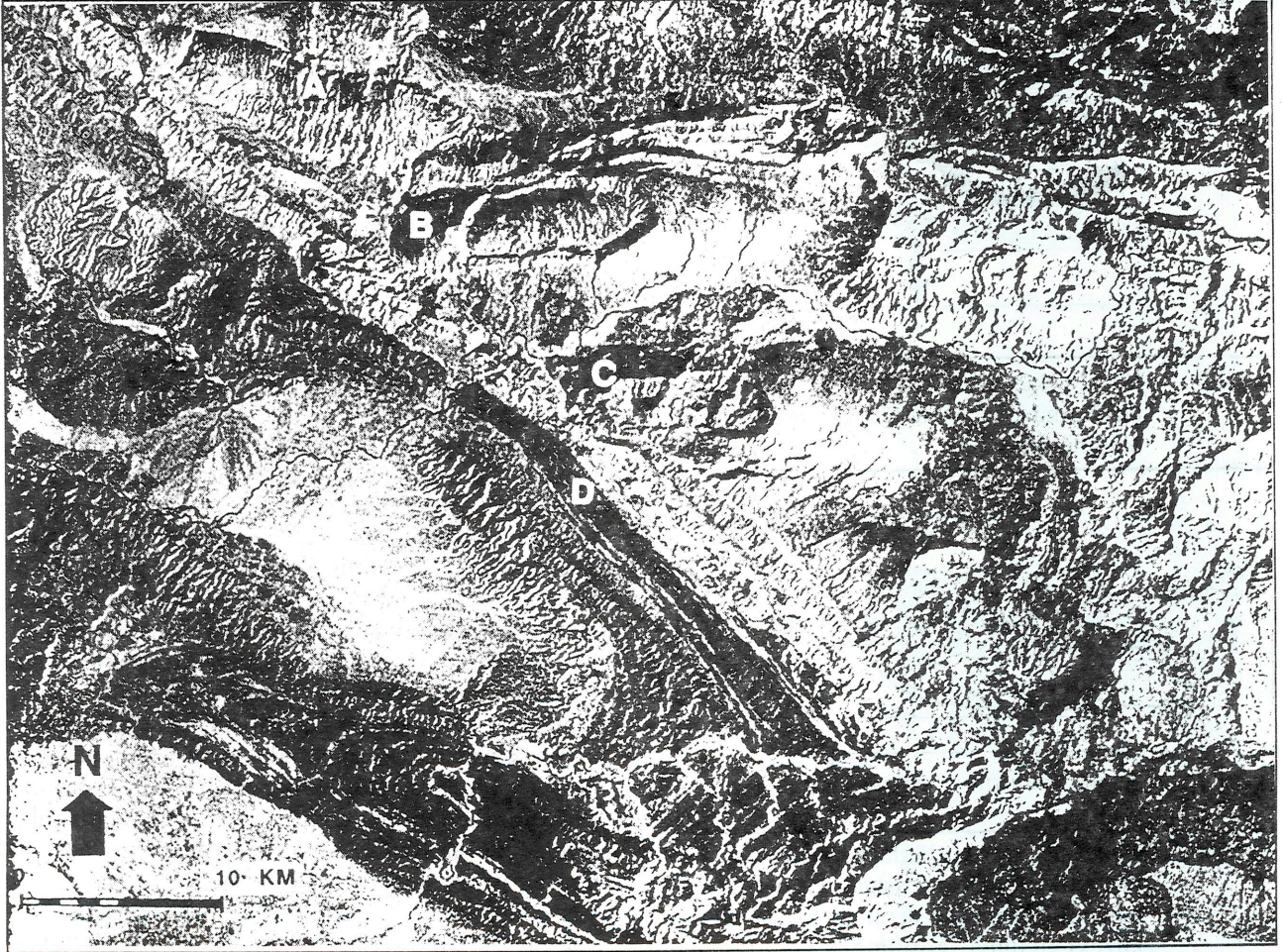
Süleyman Sıradağları, Hindistan-Asya levhalarının çarpışması sonucu Güney-Güneydoğu yönlü oluşan bindirme faylarının, Mississippiyen-Neojen yaşlı binik yapılarını içerir. Bindirmenin ana periyodu, yaklaşık 80 my önce başlamış ve 53 my öncesine kadar devam etmiştir. Düşey yönlü kısalma hala devam etmektedir.

Süleyman Sıradağları, batıda Jacobabad doğuda Sahiwal-Horunabad yükselimleri arasında, güneye yönelik devinen bir bindirme fayıdır. Domuz sırtı antiklinal yapıları, olası Eokambriyen yaşlı evaporitlerden (mostra vermiyor) oluşan ana dekollement yüzeyinden yukarı doğru çatallanan bindirmeler boyunca oluşmuşlardır. Landsat yorumları, en genç bindirmenin güneyde olup en genç birimleri (Paleosen-Eosen) etkile-

diğini göstermektedir. Bu aynı zamanda, sıradağların güneybatı kesiminde izlenen kıvrımlanma tipleri ile de gösterilmiştir (Şekil 8 ve 9).

Sui ve Uch, hatta Zindapir antiklinalleri (Şekil 10 ve 11), güncel yapılar oldukları, kanatları boyunca çakılların yukarı çevrilmesinden de anlaşılmaktadır. Bu çakıllar, olası Indus ovasının alüvyonları altında ön kenarları gömülü bulunan bindirmelerin üzerine taşınmıştır (Şekil 10). Çünkü, kıvrım eksenleri topografya ile çakışan bindirme fayların öneyine paraleldir. Kıvrım veya tabakalanmalarda sonlanan, doğrultu-atımlı, büyük ölçekli faylar, yırtmaç fayları olarak gözönüne alınmıştır. Bu fayların, uzanımlarının bir bölümü boyunca monoklinal eğiltilerin, batıda sağ yönlü doğuda sol yönlü atımlı, oluşları, Süleyman bindirme faylarının güneye doğru hareketini göstermektedirler.

Petrol üretimi, Dhodak, Sui ve Uch alanları gibi, Bindirme kuşağının saçak kesimlerinde sınırlanmıştır. Petrol sızıntısı kenarlar boyunca, Tadri, Dunagan, Sar-



Şekil 9: Süleyman Sıradağları güney kesiminin bu Landsat görünümü, yığılanmış antiklinallerde yüzlek veren kesit tekrarını göstermektedir (A,B,C), bir yırtmaç fayı/monoklinal eğilti (D) ve bindirmeye doğru kavis yapan bir yırtmaç fayı (E). (SPOT Image Corp. 1990).



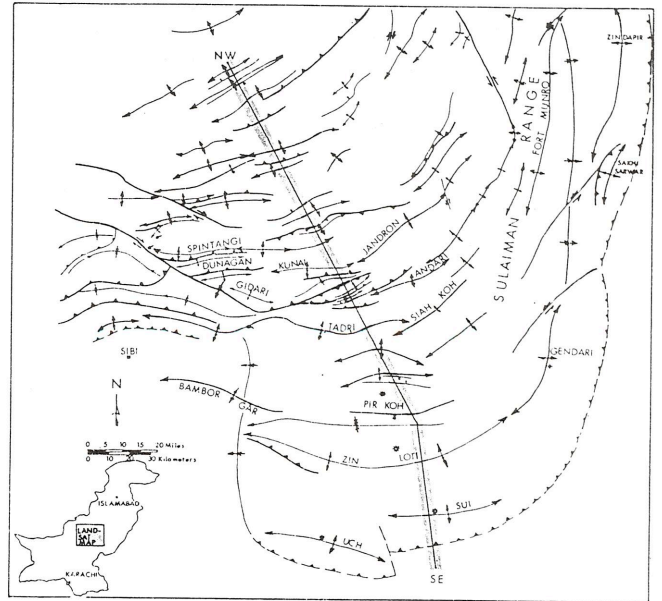
pusht ve Spintagni alanlarında da gözlenmektedir (Şekil 10 ve 11'e bakınız). Bu, kısmen bindirme alanının iç kesimlerinin zayıf kırıklı olması, fakat daha derin kesimlere doğru birimlerin gidişatına göre, kıvrımların daha çok kırıklı yapı kazanmasından da kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda kaynak kaya olgunluğu, bindirme saçakları civarında petrol oluşumunu sağlayabilirken, alanın iç kesimlerinde yer alan kıvrımlar da, petrol sızıntısı ve alanları ile gösterildiği gibi, yarılmış rezervlere sahip olabilir ve orada, kaynak kaya olgunluğu petrol oluşum derecesini aşabilir ya da gaz durumuna geçebilirler.

Şekil 11'de, Landsat yapısal yorumu, bu bölgenin ana bindirme özelliklerini göstermektedir. Kavisi bindirme öneyi, binik antiklinaller, kıvrım

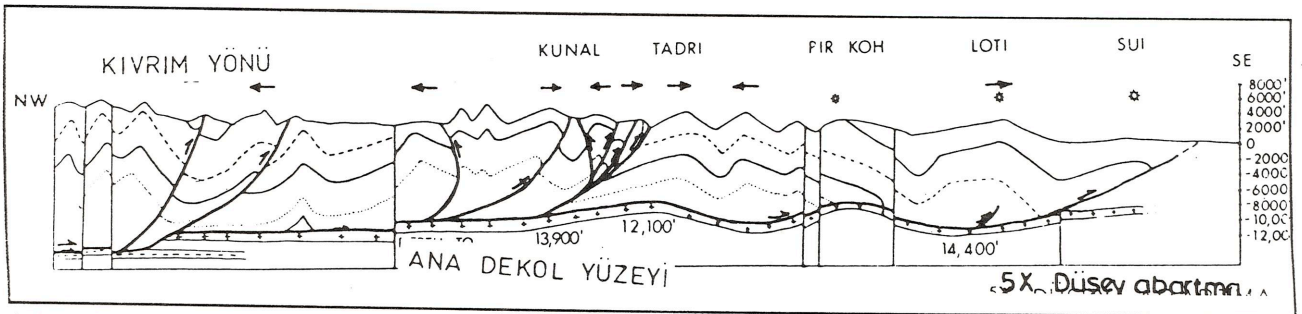


Şekil 10: Süleyman Sıradağları güney kesiminin bu Landsat görünümü; Sui (A) ve Uch'taki (B) genç kıvrımları, kavisi bir bindirme öneyini (C) ve yaşlı, daha çok erozyona uğramış Tadri'deki (D) kıvrımları göstermektedir. (SPOT Image Corp. 1990)

bakımsızlığı ve yırtmaç faylarının bulunması dikkat çekicidir. Bindirme-altı yüzeyinin eğimi ve bindirme levhası kalınlığı sırasıyla, bindirme-altı yapısının yorumuna temel oluşturan kıvrım yatık yönü ve kıvrım geometri analizlerine dayanmaktadır (Şekil 12). Kıvrım dalga boyunu elde etmek için 1/500.000'lik topografik haritalar kullanılmıştır. Eğimler, Landsat fotoğrafları ile yaklaşık 5 derece bulunmuştur. İyi bir etüd, büyük boyutlu yarılmamış rezerv ve görece basit deforme gibi birçok önemli faktörü içerir. Bu kriterler, uzaktan algılama fotoğraflarında gözlenebilir ve etüdü nitelik yönünden irdeleyebilir. Diğer faktörler, örneğin, olgun kaynak kaya yaklaşımı ya da yapısal oluşmaya göre petrol oluşum zamanı, diğer başka veri kaynaklarını gerektirir. Bu nedenle sağlanan derinlik verisi, bir sismik kesit atmaya ve hatta sondaj yapmaya yardımcı olabilir. Bin-



Şekil 11: Pakistan'da Süleyman Sıradağları'nın kısmi bir Landsat yapısal yorum haritası görülmektedir. Bulduru haritası altta sol köşede olup ve Şekil 12'deki enine-kesit çizgisi görülmektedir.



Şekil 12: Bu enine-kesit, Pakistan'da Süleyman Sıradağları içine boyunca kuzeybatıdan güneydoğuya doğrudur. Kesit çizgisi için Şekil 11'e bakınız.



dirmeli kıvrımlarda, büyük ölçekli yapısal kaymalarda, unutulmaması gereken, Tadri gibi bir antiklinal yapıyı oturtup, arka kanadını sondalamakla, hem yüzey kıvrımı hem de tavan bloğu yüksekliği test edilebilir. Bu antiklinalin batıya dalımlı ucundaki petrol sızıntısı, yalnızca, olgun kaynak kayanın yakında olduğu varsayımını artırır.

## SONUÇ

Kanıtları oluşturan birçok özelliklerin yaklaşımı, uzaktan algılama verileri ile, yorumlanması çok zor olan yapıların içinden bindirme fayların tanımını gösterir. Bu özelliklerden, bindirme fayları için en karakteristik olanları; tekrarlı litoloji kesitleri, düzensiz fay izi, ortak yönlü bakışsız kıvrımlanma, uyumsuz doğrultu ve eğimler, binik sırtlar, yığınlanmış kıvrımlar ve genişlikleri dalga boylarının 1/4'inden fazla olan kıvrımlardır. Bindirme-altı etüdü aynı zamanda önemli bir ipucu olabilir. Kıvrım geometrisi ve yönü, olası bindirme-altı yapılarını ortaya çıkaran, bindirme yüzeyi

şeklini ve derinliğini tahmin etmede kullanılabilirler. Binik yelpaze ve antiklinaller bindirme fay yokuşu üzerinde gelişirler.

Algılama görüntülerinde, uyumsuzluklar bindirme fayları ile karıştırılabilir. Kıvrımlanma, uyumsuzluğun altındaki ve üstündeki tabakalanmaya etki eder, fakat, tavan bloğu kıvrımları dekollement yüzeyi altı ile ilgisizdir. Bindirme fayları birimlerde litolojik kesit tekrarı yapar, uyumsuzluklarda ise bu özellik gözlenmez. Ters faylar, bindirme faylara benzerdir, ancak fay düzleminin eğimi 45 dereceden büyüktür. Ters fayları doğrusal olarak tanımlamak daha doğrudur. Bir etüd programında, uzaktan algılama veri yorumlarının, jeofizik etüd ve detay saha haritalamasından önce çalışılması yararlıdır. Bindirme faylarının verimli bir şekilde yorumlanması için; antiklinal yapıların dağılım ve yerlerinin gösterilmesi, kıvrım bakışsızlığının kurulabilmesi, erozyonel derinliğe ait verilerin bilinmesi, bindirme fayları boyunca, kıvrımlanmanın yaşının tesbiti ve olası bindirme-altı kıvrım yerlerinin ortaya çıkarılması açısından önemlidir.