

**DERİN DENİZLERDE  
FOSİL YAKIT ARAMA:**

# **YER ALTINI SARSMAK**

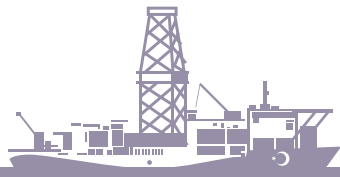
Prof. Dr. Derman Dondurur

[ *Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği Anabilim Dalı* ]



Derin denizlerde petrol veya doğal gaz arama süreci, doğanın bizler için üretip sakladıklarını ortaya çıkarmak için doğaya karşı yapılan bir meydan okumadır aslında. Yerin altındakileri ararken teknolojinin sınırlarını zorlamaktır. İşin kötüsü, çoğu kez de sonu hüsrarla biten zorlu bir süreçtir.

Peki, yüzlerce metre derinlikteki denizlerde, deniz tabanının binlerce metre altındaki hidrokarbon birikimleri nasıl bulunur, nasıl çıkarılır? Yerin içine inen bir asansörle gidip o derinlikleri göremeyeceğimiz açık. Gelin, yerin derinliklerinde gizli bu değerli bileşiğin nasıl oluştuğuna, arandığına ve üretildiğine hep birlikte göz atalım.



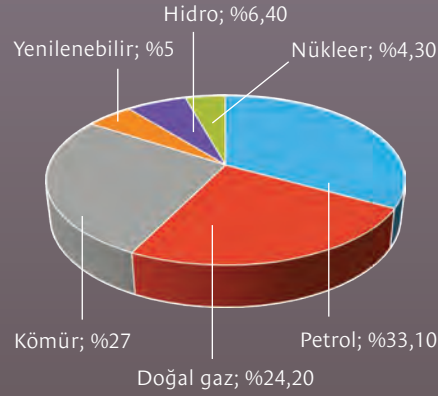
## Petrol, Doğal Gaz ve Enerji

Enerji, ülkelerin sürdürülebilir ekonomik, sosyal ve toplumsal gelişimlerini belirleyen en önemli parametrelerden biri. Sürdürülebilir bir gelişme ve büyüme politikası benimseyen ülkemiz için enerji, aynı zamanda önemli stratejik bir konu. Petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklar, bugün dünyada tüketilen enerji kaynakları arasında %84'lük bir oranla en başta geliyor (Şekil 1). Özellikle petrol, dünya birincil enerji tüketimi içinde en büyük paya sahip olan kaynak durumunda.

Gerek dünyada gerekse ülkemizde, enerjiye olan talebimiz azalmadığı gibi yıllara göre de sürekli artış gösteriyor. Talepteki artışın en önemli nedeni gelişmekte olan ülkelerin özellikle sanayi sektöründeki artan gereksinimleri. Bu anlamda, talep artışının büyük kısmının, Çin ve Hindistan gibi ülkelerin gelişen sanayileri için ihtiyaç duydukları enerji nedeniyle, Asya Pasifik bölgesinden gelmesi bizi şaşırtmıyor. Elektrik üretiminde en fazla kömür kullanılırken, petrol taşıma sektöründe, doğal gaz ise ısınma alanında talep görüyor.

Son yıllarda, rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yeni ve yenilenebilir kaynaklara yatırım ciddi şekilde

artsa da bugün bu kaynakların toplam enerji sektöründeki oranı hâlâ oldukça düşük düzeylerde. 2017 yılı itibarıyla, tüm dünya olarak enerji gereksinimimizin neredeyse yarısını petrol ve doğal gazdan karşılıyoruz. Dünya petrol üretiminin neredeyse yarısını Ortadoğu ülkeleri karşılıyor ve tüm dünyada her gün yaklaşık 500.000 akaryakıt tankeri dolusu petrol tüketiliyor.



Şekil 1. 2019 yılı küresel birincil enerji kaynakları tüketim oranları (BP, 2020)

## 2017 yılı itibarıyla dünyamızın 50,2 yıllık petrol rezervi kalmış durumda. Peki, bu endişelenecek bir durum mu?

Şimdilik hayır. Bundan kabaca 10 yıl önce de dünyanın ortalama 50 yıllık petrol rezervi vardı, bugün de öyle. Neyse ki gelişen teknoloji ile birlikte, dünya ispatlanmış petrol rezervleri sürekli yükseldiğinden, yeni keşfedilen rezervler hâlâ artan talebi karşılayabilir durumda.

Küresel doğal gaz sektörü için de durum aslında oldukça benzer. Gezegeneğimizin bize sunduğu şu anki toplam doğal gaz rezervi-





mizin her yıl %7'sini tüketiyoruz. En büyük rezervler tahmin edilebileceği gibi Rusya ve İran'da ve her iki ülkenin toplam doğal gaz rezervi, dünyanın geri kalan ülkelerindeki rezervden daha fazla. Bu üretim ve tüketim oranlarıyla, dünyanın kendisine 52,6 yıl yetecek doğal gazı var.

Dünyadaki genel durum böyleyken, ülkemiz de gelişen ekonomisi ile dünyadaki önemli enerji tüketicileri arasında yer alıyor. Enerji tüketimimizde, her biri ortalama %30 paya sahip olan petrol, doğal gaz ve kömür, yani fosil yakıtlar en önemli enerji kaynakları olarak yer alıyor. Ülke olarak maalesef yerli üretim yoluyla enerji tüketimimizi karşılamaktan çok uzağız ve bugün kullandığımız enerjinin %75'ini ithal ediyoruz. Yeni keşifler yapılmadığı takdirde, ülkemizin mevcut üretim miktarı göz önünde bulundurularak, kalan üretilebilir ham petrol

rezervimizin 18, doğal gaz rezervimizin ise 9 yıllık ömrü var. Neyse ki, TPAO tarafından geçtiğimiz günlerde Batı Karadeniz Tuna-1 kuyusunda gerçekleştirilen doğal gaz keşfi, bu miktarları önemli oranda değiştirecek gibi duruyor.

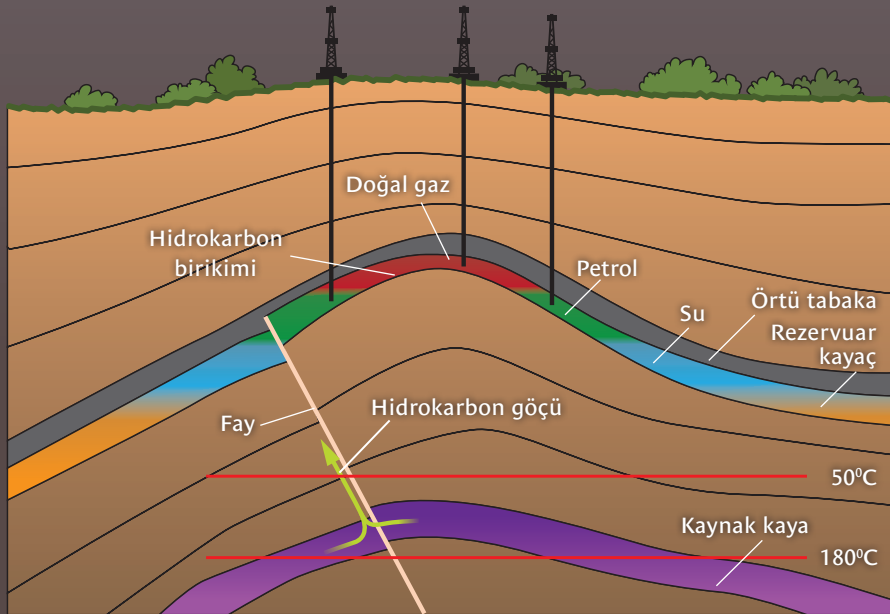
## Petrol Nasıl Oluşur?

Hidrokarbonlar en basit organik bileşiklerdir, sadece karbon ve hidrojen atomlarından oluşurlar. Sıvı formdaki hidrokarbonlar “petrol”, gaz formundakiler ise “doğal gaz” olarak biliniyor. Ham petrol, içeriğine ve yoğunluğuna bağlı olarak su kadar akışkan olabildiği gibi, bal kadar viskoz da olabilir.

Petrol, toplu iğne başı büyüklüğündeki organizmaların ölerек durgun deniz ve göl gibi ortamların tabanında birikmesiyle meydana gelir.

na gelir. Bu tek hücreli canlılar bitki değildir, ancak bitkiler gibi güneş ışığını enerjiye çevirirler. Bu ölü organizmalar, akarsuların taşıdığı kum, kil ve mineral tanecikleri ile birlikte, milyonlarca yıl boyunca dibe çökerek yığılırlar. Bu işlem, yığılan malzeme ile basıncın ve sıcaklığın artmasına, en sonunda da gömülen organik malzemenin kimyasal bozunma ve moleküler değişime uğramasına neden olur. Katakenez adı verilen bu süreçte organik kökenli sıvılar ve gazlar, yani ham petrol ve doğal gaz oluşur. Yani, ölü dinazorların petrole dönüşmesi bir masaldan ibaret!

Oluşmasının ardından petrol ve doğal gaz, yer içinde yatay ve düşey yönde bazen kilometrelerce yer değiştirerek kendisine içinde birikebileceği bir ortam aramaya başlar. Bu ortam, rezervuar olarak bilinen, kumtaşı gibi daha gözenekli kayalardır. Eğer hidrokarbonlar, bu gözenekli ortamı terk edemeyerek sıkıştırlarsa “kapanlanmış” olurlar ve bu rezervuar içerisinde en üstte doğal gaz, onun altında petrol ve en altta da su olmak üzere, kayaç gözenekleri içinde sıralanırlar. Bu kapanların üzeri, içerisinde bulunan hidrokarbonların kaçmasını engelleyen geçirimsiz bir örtü tabakası ile kaplıdır (Şekil 2). Kapan için kullanılan en yaygın örnek, jeolojik olarak “antiklinal” adı verilen kubbe biçimli yer altı yapılarıdır.



Şekil 2. Petrol ve doğal gaz derinlerdeki organik maddece zengin kaynak kayada oluştuğundan sonra yeryüzüne doğru hareket eder ve kapan adı verilen jeolojik yapıların içerisine hapsolür.



Petrol, yer içindeki kayaçların mikroskobik gözeneklerinde bulunur. Petrolün yer altında uzanan büyük boşluklar içerisinde bir göl gibi durduğu veya yer altında nehirler şeklinde akarak hareket ettiği düşüncesi yanlıştır. Petrolün gözenekli kayaçların içine girmesi, tıpkı köşesinden çaya temas ettirdiğiniz küp şekerin içerisine çayın girmesi gibidir.

## Yerin Altını Sarsmak: Sismik Çalışmalar

Petrol ve doğal gazın aranması, jeoloji, jeofizik, petrol mühendisliği gibi farklı bilim dallarının ortak çalışmasını gerektiren karmaşık bir iştir. Karada en azından yüzeydeki jeolojiyi görebiliyorken, denizlerde su kolonunun varlığı nedeniyle maalesef o bile mümkün değil. Bu nedenle, yer altının görüntülenmesi için çok özel yöntemler geliştirildi. Jeolojik olarak hidrokarbon içermesi olası bir alanda arama yapmak üzere karar verilmesinin ardından yerin iç yapısının anlaşılabilmesi için hem karada hem de denizde sismik çalışmalar yürütülür. Jeofiziğin özel bir dalı olan sismik çalışmalar, sondaj öncesi petrol ve doğal gazın aranmasında tüm dünyada kullanılan en etkili yöntemdir. Doktora gittiniz ve

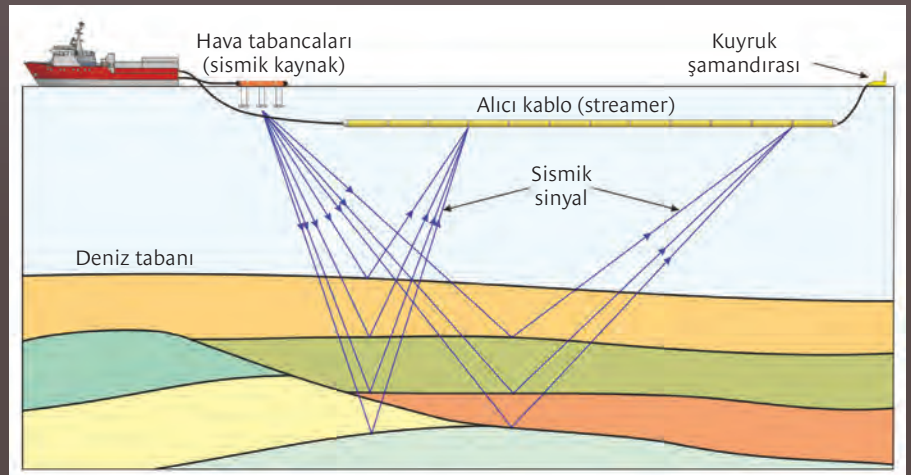
akciğer filmi çektiniz diyelim. Elinizdeki röntgen, jeofizikçilerin bize sunduğu sismik kesit gibidir. Doktor filmde ilginç bir kitle gördü ve biyopsi istedi diyelim. İşte bu biyopsi de sondaja karşılık gelir. Kara ve deniz sismiğinde temel mantık benzer olsa da bu yazıda özel olarak denizlerdeki sismik çalışmalardan bahsedeceğiz.

## Peki, Nedir Bu Sismik Yöntemin Temeli ve Bize Sundukları?

Aslında fiziksel temeli oldukça basit: Yeryüzünde farklı yöntemlerle güçlü ses dalgaları (sismik sinyal) oluşturuluyor. Sismik sinyaller, yer altındaki kayaçların içerisinde, deniz suyu gibi sıvılarda ve havada farklı hızlarda yayılabiliyor. Bazı bilim insanları bu işlemi yapay dep-

rem üretmek şeklinde de tanımlıyorlar. Aslında üretilen sismik sinyal deprem dalgaları ile aynı olsa da bu ses dalgalarının büyüklüğü daha az ve depremlerden farklı olarak dalgaların üretileceği zaman tam olarak bilim insanları tarafından belirleniyor. Ancak yine de jeofizikçilerin yer için ürettikleri ses dalgaları ile sarstığı bir gerçektir.

Sismik sinyal denizlerde hava tabancası adı verilen cihazlardan su içerisine çok yüksek basınçlı havanın ani olarak salınmasıyla üretiliyor. Salınan havanın basıncı öyle yüksek ki deniz seviyesindeki hava basıncının yaklaşık 150 katı. Sinyal, önce suyu sonra da yer içerisindeki tabakaları geçerek derinlere iniyor. Bu yolculuğu sırasında, ses dalgasının bir kısmı tabakaları ayıran sınırlardan (ara yüzeyler) yansıyor yeryüzüne geri dönüyor. Su yüzeyinde konumlandırılmış özel alıcı sensörlerle (bunlara hidrofondeniyor), ara yüzeylerden yansıyan bu ses dalgaları algılanarak özel bilgisayarlarda kaydediliyor (Şekil 3).



Şekil 3. Denizlerde sismik veri toplama işlemi: Hava tabancaları ile su içerisinde üretilen ses sinyali, derinlerdeki ara tabakaların yüzeylerinden yansır ve alıcı kablodaki sensörlerle algılanarak kaydedilir.



Şekil 4. Sismik sinyaller üretmek için, çok sayıda hava tabancası belirli bir düzen içerisinde birlikte kullanılır.

Basit bir mantıkla, üretilen ses ne kadar güçlü olursa sismik sinyalin o kadar derine ineceği ve daha derinlerdeki yapılardan sinyal alınabileceği düşünülebilir. Sonuçta oluşan sismik sinyalin büyüklüğü, sismik sinyalin hedef derinliğe inebileceği kadar büyük olmalıdır. Bunu sağlamak için, pratikte tek bir hava tabancası kullanmak yerine, birden çok hava tabancasından aynı anda ses dalgası oluşturulur (Şekil 4). Hava tabancalarından oluşan bu düzenek, sismik veri toplama sırasında geminin birkaç yüz metre gerisinden ve su yüzeyinin genellikle 6 m altından çekilir. Günümüzde Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'na (TPAO) ait Barbaros Hayreddin Paşa ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'ne (MTA) ait Oruç Reis gibi modern sismik arama gemileri, 18 ila 48 tane hava tabancasını aynı anda kullanırlar. Oluşan sinyalin genliği o kadar büyüktür ki deniz tabanından 10 km derinliğe kadar inebilir.

Yine pratikte, yansıyan sinyalleri algılamak için su yüzeyinde tek bir sensör kullanmak yerine, bir alıcı kablo (streamer) içerisine



Şekil 5. Sismik gemilerde kullanılan alıcı kablolar.

yerleştirilmiş birçok alıcı sensör aynı anda kullanılır (Şekil 5). Bir alıcı kablo içerisine belirli aralıklarla yerleştirilmiş birden çok sensörün kullanıldığı bu düzenek, sismik veri toplamada bazı önemli avantajlar sağlar. Örneğin yansıyan sinyaller daha güçlü kaydedilebilir, gürültü adı verilen istenmeyen sinyaller bastırılabilir ve gönderilen sinyalin yer içerisinde hangi hızda yayıldığı belirlenebilir. Modern sismik gemilerde, yüzlerce sensör içeren bu alıcı kabloların boyu 10 km'ye ulaşabilir. Alıcı kablo düzeni de tıpkı hava tabancasında olduğu gibi, sismik geminin arkasından genellikle su yüzeyinin 8 m altından çekilir.



Şekil 6. CGG Alize sismik arama gemisinin kayıt ve veri kontrol odası.

Bu sistemin çalışma mantığı ise şu şekildedir: Sismik gemi ortalama 4,5 deniz mili (knot), yani hafif tempolu koşu hızına yakın bir hızda, sabit bir hat üzerinde seyrederek. Gemi, önceden belirlenen bir atış noktasına ulaştığında hava tabancaları patlatılır ve su içerisinde sismik sinyal oluşturulur. Aynı anda, alıcı kablo içerisindeki sensörlere gelen sinyaller de algılanarak kaydedilmeye başlanır. Yapılan patlatmayı takiben, ortalama 10-12 saniye boyunca (buna kayıt süresi deniyor) yerin içi dinlenir ve alıcılara gelen tüm sinyaller algılanarak, gemilerin kontrol odalarındaki özel kayıt sistemlerinde kaydedilir (Şekil 6). Kontrol odaları, çok sayıda özel bilgisayar ve yazılımın kullanıldığı özel bölümlerdir. Bu sistemlerin bazıları sismik veriyi kontrol eder ve kayıt altına alır; bazıları hava tabancalarını, bazıları ise navigasyon sistemini denetler. Bu odalarda ayrıca veri depolama, işleme ve kalite kontrol sistemlerini içeren güçlü bilgisayar sistemleri de bulunur.



Temel mantık, daha sığ tabakalardan yansıyan sinyallerin (daha az yol katettiği için) daha erken, daha derinlerden yansıyanların ise daha geç geleceğidir. Dinleme süresinin sonunda kayıt durdurulur. Bu işlemler sırasında sismik gemi sürekli hareket hâlinindedir, birkaç saniye sonra seyir hattı üzerindeki bir sonraki atış noktasına ulaşır ve tüm işlemler yinelenir. Gemi bu şekilde bir hat boyunca sürekli seyrederken, belirli aralıklarla (örneğin her 25 veya 50 metrede bir) patlatma yapılarak bir sismik sinyal üretilir; yansımaları belirli bir zaman boyunca kaydedilir ve hat boyunca işlem bazen günler, bazen de haftalar boyunca bu şekilde devam eder.

## Bir Sismik Sistemdeki Tüm İşlemler Milisaniye Hassasiyetinde Yapılır...

Şu ana kadar tanımladığımız sismik sistemin bileşenleri oldukça basit görünüyor: Birçok hava tabancasından oluşan bir ses kaynağı düzeni ve yansıyan sinyali algılayan sensörleri içeren bir alıcı kablo. Ancak bu sadece buz dağının görünen yüzü ve durum gerçekte bu kadar basit değil. Çünkü zaten fark ettiğiniz üzere, bu sistemler çok hassas

zamanlamalarla çalışır. Örneğin patlatma yapıldığı anda sensörlerden gelen veri kaydedilmeye başlanır, algılanan sinyal zamana bağlı olarak kaydedilir vs. Bir sismik sistemdeki tüm işlemler milisaniye hassasiyetinde yapılır.

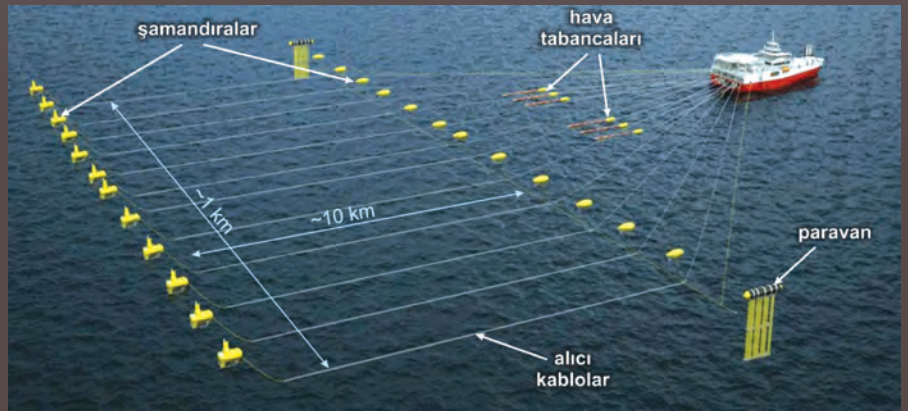
Yani 1 saniyenin binde biri!

Dahası, hassasiyet gösterilmesi gereken tek konu zamanlama da değildir. Geminin arkasından çekilen hava tabancası ve alıcı kablo gibi cihazların konumlarının da son derece hassas olarak bilinmesi, gerektiğinde bunlara müdahale edilmesi gerekir. Bu da bizi, hassas navigasyon sistemlerine götürür: Bir sismik gemide, sismik bileşenleri yönetmekte kullanılan onlarca farklı navigasyon cihazı bulunur. Bunların birçoğu, her bir atış noktasında alıcı kablo içerisindeki sensörlerden her birinin gerçek konumunun hesaplanmasında kullanılır. Bu amaçla alıcı kablonun üzerine ve her iki ucuna, hava tabancası sistemlerinin üzerine, kısacası gemiden uzakta bulunan tüm cihazların üzerine hassas ve özel cihazlar yerleştirile-

rek bunların konumu santimetre hassasiyetiyle sürekli olarak izlenir ve kaydedilir.

Sismik çalışmalarla yer altı iki veya üç boyutlu olarak görüntülenebilir. Buraya kadar anlattığımız sistemler, denizlerde tek bir alıcı kablo ve bir hava tabancası grubu ile yapılan iki boyutlu çalışmaları kapsıyordu. Aynı sismik gemi, birbirine paralel (aralarında ortalama 100 m mesafe olacak şekilde) birden fazla (en çok 24 tane) alıcı kablo ve iki eşdeğer hava tabancası grubu kullanarak, yerin içinin üç boyutlu görüntüsünü de elde edebilir (Şekil 7).

İki ve üç boyutlu görüntülemenin temel farkı ise şöyle: Elimizde ince kek ve krema katmanlarından oluşturulmuş büyük bir yaş pasta olduğunu düşünelim. Büyük bir bıçak ile bu pastayı düşey şekilde ikiye bölerek bu kek ve krema katmanlarına baktığımızı varsayalım. İki boyutlu sismik veri, bize yer altına bu şekilde bakma olanağı sunar. Eğer elimizde kilometrelerce



Şekil 7. Birbirine paralel uzanan çok sayıda alıcı kablo ve iki ayrı hava tabancası düzeni kullanılarak denizlerde üç boyutlu sismik veri toplanması.



Şekil 9. MTA Oruç Reis sismik arama gemisi üç boyutlu sismik veri topluyor.

uzunlukta bir bıçak olsaydı ve dünyayı düz bir hat boyunca bu bıçakla kesip tabakalara bakabilseydik iki boyutlu bir sismik kesiti görmüş olurduk. Üç boyutlu sismik veri ise bize yer altı ile ilgili farklı bakış açıları sunar. Örneğin, pastayı tek bir doğrultu boyunca değil de istediğimiz herhangi bir doğrultuda kesme özgürlüğümüz olsaydı, hatta pastayı yatay yönde bile istediğimiz katman boyunca kesebilseydik, bu bize pastayı üç boyutlu olarak tanımlama olanağı sunardı. İşte üç boyutlu sismiğin yer altını tanımlamakta bize sunduğu avantaj da tam olarak budur (Şekil 8).

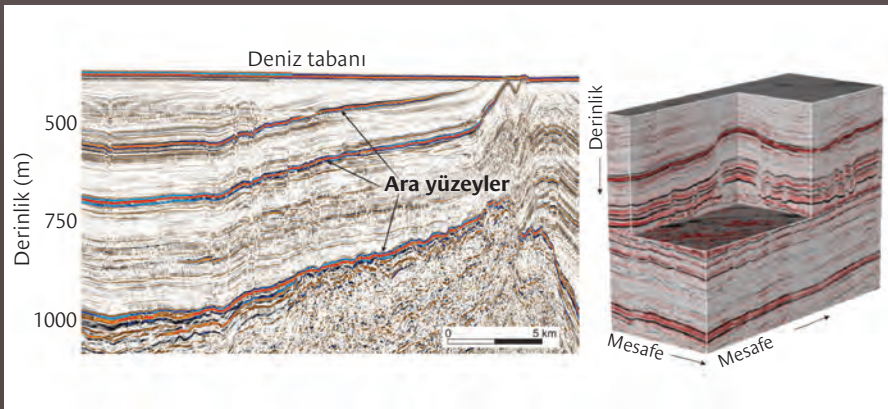
Gerçekte denizlerde sismik veri toplama, içerisinde teknik (yazılım, donanım, veri yönetimi, mekanik bileşenler, yüksek basınç sistemleri, hidrolik sistemler, navigasyon gibi) ve aynı zamanda idari (gemi yönetimi, geminin sevk ve idaresi, iş güvenliği gibi) birçok farklı disiplini barındıran oldukça karmaşık bir işlemdir. Bu nedenle, burada bahsettiğimiz her bir teknik konuda uzman kişiler, veri toplama sırasında gemide vardiyalı şekilde 24 saat

çalışırlar. Üç boyutlu çalışma yapabilen sismik gemilerde mekanik sorumluları, veri toplama sorumluları, navigasyon, veri işlem ve kalite kontrol uzmanlarının yanı sıra proje sorumlusu, sorumlu jeofizikçi, sağlık/güvenlik sorumlusu gibi idari personel de görev yapar. Gemi personeli ile birlikte, bu tür gemilerdeki toplam personel sayısı genellikle 50 kişiden fazladır.

Özellikle üç boyutlu çalışma yapabilen sismik gemilerde, teknik anlamda bireysel çalışan ancak birbirleri ile sürekli iletişim içerisinde olan bu kadar farklı cihaz ve sistemin birlikte sorunsuz çalışması neredeyse kusursuz bir işbirliğinin sonucudur. Gerçekten de bu tür çalışmalar bazen son derece karmaşık olabilen mekanik, yazılım, donanım, jeoloji, jeofizik gibi farklı mühendisliklerin bir arada çalışmasını gerektirir. Her biri 10 km uzunluğunda, birbirine paralel uzanan 10 adet alıcı kablo ile üç boyutlu sismik çalışma yapan bir sismik gemi, yeryüzünde hareket eden en büyük nesnedir de aynı zamanda (Şekil 9). Günümüzde bu denli karmaşık çalışmaları yapı-

bilen özel sismik arama firmalarının sayısı bir elin parmaklarını geçmez. Bu firmalar, her biri yaklaşık bir futbol sahası uzunluğundaki özel gemileriyle, petrol şirketleri için tüm dünya denizlerinde sismik çalışmalar yapar, veri toplar ve petrol ararlar. Bu gemiler sosyal anlamda da çalışanlara pek çok imkân sunar; gemilerde oyun ve spor salonları, sauna, yüzme havuzu ve hatta bazılarında futbol/basketbol alanı bile mevcuttur.

İster iki, ister üç boyutlu olsun; tüm sismik arama çalışmaları üç temel aşamadan oluşur. Bunlar sismik veri toplama, veri işleme ve sismik yorumlamadır. Toplanan sismik veri bilgisayar disklerinde çok ciddi hacimde yer kaplar. Bu kadar büyük miktardaki verinin işlenmesi de hayli zahmetli ve zaman alan bir işlemdir. Ana sorun, veriyi toplarken sadece tabaka ara yüzeylerinden yansıyan sinyallerin değil, aynı zamanda gürültü diye tabir edilen istenmeyen tüm diğer sinyallerin de kaydedilmesidir. Bunların arasında, sismik geminin kendi pervanesinin ya da civardaki diğer gemilerin gürültüleri, deniz yüzeyindeki dalga-



Şekil 8. İki boyutlu (solda) ve üç boyutlu (sağda) sismik veri (Dondurur, 2020)



lanmaların oluşturduğu gürültüler ve hatta su kolonundaki canlıların oluşturduğu gürültüler bile vardır. Her bir gürültünün özelliği farklı olduğundan, bunları veriden sürebilmek için uygulanan matematiksel işlemler de farklı olur. Sismik verinin işlenmesi gerçekten de güçlü bilgisayarlar, uzmanlık, tecrübe ve sabır gerektiren bir işittir.

İşlenen sismik veri, artık yorumlamaya hazır hâle gelmiştir. Bu aşama, sismik veriden jeolojik bilgilerin elde edildiği en önemli kısımdır. Genellikle jeoloji ve jeofizik uzmanlarından oluşan bir ekip bir araya gelerek sismik veriyi yorumlar. Doğru toplanmış ve işlenmiş bir sismik kesit, bize yer altının düşey bir kesitini verir. Böyle bir kesite bakarak, yerin binlerce metre altındaki tabakaların sınırlarını, derinliklerini, iki veya üç boyutta nasıl değişim gösterdiklerini ve elbette ki fayları oldukça detaylı bir şekilde ortaya koyabiliriz (Şekil 10). Birbirine paralel uzanan sismik hatlar üzerinde aynı fayları

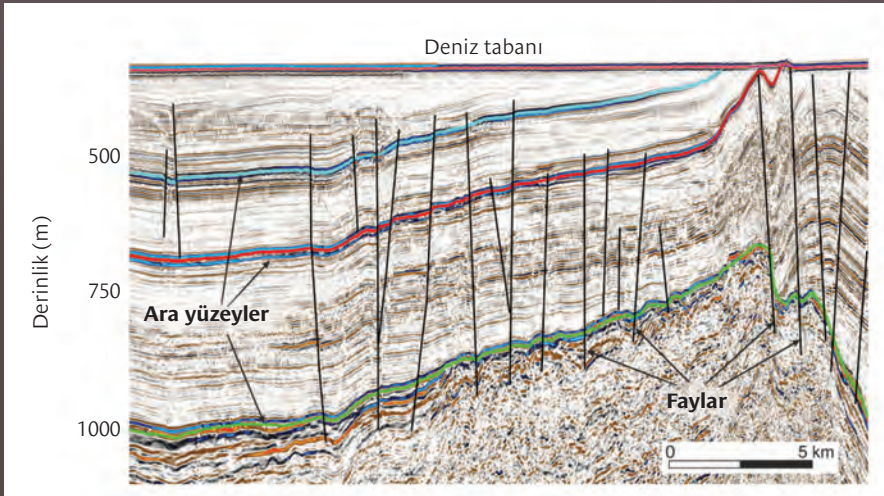
birbirleriyle ilişkilendirerek, uzanmalarını ve aktiflik derecelerini belirleyebiliriz. Tüm bunları bir araya getirerek, ilgili bölgenin geçmişten günümüze değişen jeolojik yapısını açıklayabiliriz.

Hidrokarbon endüstrisi için ise temel amaç aslında basittir: Sismik kesitlerden yer altında petrol ve doğal gaz içermesi olası jeolojik oluşumları belirlemek. Ancak temel sorun büyüktür: Yerin derinliklerindeki jeolojik yapıları bu denli detaylı şekilde ortaya koyabilen sismik veri, yer altında petrol veya doğal gaz oluşumuna dair doğrudan kanıtları bize nadiren sunar. Eğer çok şanslıysak sismik kesitlerde hidrokarbon varlığına dair belirgin kanıtları görebiliriz. Bu kanıtlar çoğu kez, hidrokarbon içeren jeolojik yapıdan yansıyarak bize gelen sismik sinyalin büyüklüğünde (genlik) olan değişimlerdir. Eğer jeolojik yapı hidrokarbon içeriyorsa buradan alınan sinyallerin genliğinde bazen anormal değişimler gözlenir. Genlik çok

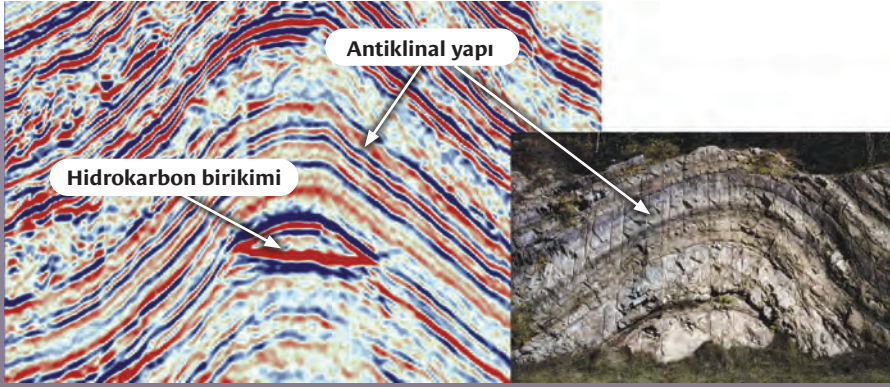
fazla yükselebilir veya düşebilir hatta bazen sismik kesitlerde çok belirgin oluşumlar ortaya çıkabilir (Şekil 11). Jeofizikçiler bu tür değişimleri dikkatle inceleyerek bir sismik kesitten olası hidrokarbon birikimleri hakkında en fazla bilgiyi elde etmeye ve en doğru sondaj konumunu belirlemeye çalışırlar. Ancak, gelişen teknoloji ve analiz yöntemlerine rağmen, bunu yapmanın kolay olmadığını da belirtmek gerek.

Sismik veriden yola çıkarak, bugünkü tecrübelerimizle, hidrokarbon içermesi olası bulunan jeolojik yapıları tanımlayabilir, derinlik ve üç boyuttaki uzanmalarını belirleyebiliriz. Ancak bu yapıların içerisinde petrol veya doğal gaz olup olmadığı genellikle sismik veri ile anlaşılmaz. Bu nedenle, sismik veri kullanılarak kapan yapısının belirlenmesinin ardından, yapının petrol ve/veya doğal gaz içerip içermediği kesin olarak yalnızca sondaj ile belirlenebilir. Bu durum, sismik yöntemle hidrokarbon arama sürecindeki en büyük belirsizliktir ve bazen gerçekten önemli bir risk oluşturur. Çünkü karada yapılacak bir sondajın maliyeti ortalama 5 milyon dolar civarında iken, bir derin deniz sondajı 200 milyon dolara mal olabilir.

Büyük alanları daha hızlı tarayarak yer altı hakkında detaylı bilgi elde edebildiğimiz sismik çalışmaların maliyeti, derin denizlerdeki sondaj maliyetine oranla oldukça



Şekil 10. Yorumlanmış bir sismik kesitte yer altındaki farklı tabakaları ayıran ara yüzeyler ve faylar detaylı şekilde görülebilir (Dondurur, 2020).



Şekil 11. Bir antiklinal yapının altında kapanlanmış hidrokarbon birikimi (solda), yeryüzünde gözlenen bir antiklinal yapı (sağda)

düşük kalıyor. Bu nedenle, günümüzde önce iki, ardından da üç boyutlu sismik çalışmalar yapılarak hidrokarbon içerme olasılığı bulunan jeolojik yapılar haritalanmadan ve sınırları, büyüklüğü ve derinliği gibi parametreler belirlenmeden petrol şirketleri sondaj kararı vermezler. Bu anlamda en gelişmiş teknolojileri kullanan sismik yöntem, günümüz teknolojisiyle yerin altına bu kadar detaylı şekilde, binlerce metre derinliklere kadar iki ve üç boyutta incelememizi sağlayan tek yöntemdir.

## Petrolü Bulduk, Peki Ya Sonra?

2013 yılına kadar, ülkemizde sismik çalışmalar yapma yeteneği ve altyapısı bulunan tek gemi Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsüne ait K. Piri Reis araştırma gemisiydi. K. Piri Reis gemisinin, 2011 yılında Doğu Akdeniz’de yaşanan politik krizin ardından bölgeye sismik veri toplamak için gönderilmesiyle, ülkemizin daha derinleri araştırabilen ve üç boyutlu arama yapabilen bir sismik gemiye gereksinimi olduğu anlaşıldı. 2013 yılında Barbaros Hayreddin Paşa, 2015 yılında da Oruç Reis üç boyutlu sismik arama gemilerinin ülkemize kazandırılmasıyla, Türkiye, son 10 yılda TPAO aracılığıyla denizlerimizde sismik arama faaliyetlerine hız verdi. Bu kapsamda, sadece 2018 yılında, çevre denizlerimizde İstanbul’un iki katı büyüklüğünde bir alan üç boyutlu sismik çalışmalarla tarandı.

Bu yoğun sismik çalışmaların ardından, Fatih ve Yavuz derin deniz sondaj gemileri, petrol veya doğal gaz içerebilecek kapan yapılarına sondajlar yapmaya başladı. Yapılan çalışmalar ilk meyvesini Batı Karadeniz Tuna-1 kuyusunda vermiş bulunuyor.

Petrol veya doğal gaz amaçlı delinen kuyuların pek çoğu, daha önce açıkladığımız risk faktörü nedeniyle petrollü veya gazlı çıkmaz. Bu tür kuyular “kuru kuyu” olarak ifade edilir ve terk edilirler. Bir kuyudan üretim yapılması, tamamen ekonomik hesaplamalar sonucu belirlenir. Kuyunun üretime geçirilmesi için, o kuyudan elde edilecek petrol veya doğal gazın toplam değerinin, kuyuya üretim için yapılacak yatırımdan daha fazla olması gerekir. Eğer durum böyle ise, petrol veya doğal gazın üretimi için sahanın geliştirilmesi aşamasına geçilir. Tam tersi durumdaysa, yani mevcut petrol veya doğal gaz rezervi, yapılması öngörülen yatırımı karşılayamayacak kadar küçükse, petrol veya gaz içerse dahi kuyu terk edilir. Ülkemizde bu tür kuyular özellikle Güneydoğu Anadolu bölgemizde mevcuttur ve halk arasında, bulunan petrolün çıkarılmayarak kuyuların kapatıldığı spekülasyonlarına sıkça neden olmuştur. Ancak durum tamamen mühendislik ekonomisi ile ilgilidir.





## Bulunan Petrol veya Doğal Gazın Kullanıma Sunulması İçin İzlenen Süreçler

Bir sahada, petrol veya doğal gazın keşfi amacıyla açılan ilk sondaj, arama kuyusu olarak bilinir. Arama kuyusu bir petrol veya doğal gaz keşfi ile sonuçlanırsa belirlenen süre boyunca kuyuda akış testleri yapılarak rezervardaki basınç değişimleri belirlenir. Mevcut rezervi tam olarak belirlemek amacıyla bölgede ek tespit kuyuları kazılır. Bu ek kuyular kullanılarak doğru rezerv (petrol için milyon varil, doğal gaz için ise milyar metreküp cinsinden) hesaplanır ve üretim için kazılacak kuyulara karar verilir.

Karada petrol çıkarılmasında at başı denilen mekanik sistem, denizlerde ise üretim platformları kullanılır. Bunlar, su derinliği öncelikli olmak üzere, bölgenin iklim koşulları da dikkate alınarak tasarlanan oldukça özel yapılar. Sığ derinlikler için platformlar deniz tabanına sabitlenirken, kıydan uzak derin sular-daki noktalardan üretim yapmak için yüzer üretim platformları kurulur. Platformlar hem petrolün çıkartılmasında, hem kuyunun açılmasında hem de çıkarılan petrolün belirli bir düzeye kadar işlenmesinde kullanılan çok işlevli karmaşık yapılardır.

Derin denizlerde bulunan petrol veya doğal gaz rezervinin karaya taşınmasında da farklı yöntemler kullanılır. Doğal gazı karaya en güvenli, verimli ve ekonomik taşıma yöntemi, deniz tabanına döşenecek boru hatlarıdır. Ancak özellikle derin denizler için boru hatlarının döşenmesi, ciddi yatırımlar ve uzun süreçler

gerektiren zahmetli bir süreçtir. Alternatif olarak, derin denizlerde üretilen petrol, içerisindeki yabancı maddeler ayrıldıktan sonra, doğal gaz ise basınçlı tanklarda sıvılaştırılmış (LNG) olarak, platforma yanaşan ham petrol tankerlerine aktararak da rafinerilere ulaştırılabilir.

Rafineriler, farklı petrol türevlerinin üretildiği karmaşık üretim tesisleridir. Rafineriye ulaşan ham petrol tuzdan arındırıldıktan sonra bir buhar kazanına gönderilir ve burada yüksek sıcaklıklara ısıtılarak damıtılır. Damıtma sırasında petrol farklı türevlere ayrılır: sıvılaştırılmış petrol gazı (LNG), benzin, plastik yapımında kullanılan nafta, uçaklarda jet yakıtı olarak kullanılan kerosen, dizel, yağlayıcı sıvılar, fuel-oil ve asfalt.

## Sonuç Olarak...

Petrol ve doğal gaz, günlük hayatımızda kullandığımız en önemli enerji kaynakları ve evlerimizin ısıtılmasından ulaşıma, sanayiden ticarete, hayatımızın her safhasında gereksinim duyduğumuz en önemli ihtiyaçlarımız arasında. Ancak, her yenilenemeyen enerji kaynağı gibi, gezegenimizin bize sunduğu petrol ve doğal gaz kaynakları da sınırlı. Bu durumda yeni rezervler bulunamazsa, bugün itibarıyla yaklaşık 50 yıl yetecek petrol ve doğal gazımız var.





Jeofizikçiler olarak yeni sahaların keşfi için sürekli çalışıyoruz. Ancak, yeni rezervlerin keşfi kadar, enerjinin verimli kullanılması, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının ülke kullanımına sunulması da önem arz ediyor. Umudumuz, yeni arama ve sondaj gemilerimizle, ülkemizin enerji açısından dışa bağımlılığını azaltacak umut vadeden yeni keşiflerin yapılması. Unutmayalım ki enerji olmadan gelecek de olmaz! ■



## Anahtar Kavramlar

**Ham petrol:** Yerküre içerisinde organik materyalin başkalaşımı ile oluşmuş ve gözenekli kayalar içerisinde depolanmış sıvı hâldeki hidrokarbonlar.

**Hidrofon:** Denizlerde yapılan sismik çalışmalarda, sismik sinyalin algılanmasında kullanılan sensör.

**Sismik yöntem:** Yapay olarak oluşturulan sismik (ses) dalgaları ile yeraltı yapısının araştırılmasında kullanılan, petrol ve doğal gaz aramalarının temel jeofizik yöntemidir.

**Hava tabancası:** Denizlerde sismik sinyal üretmek için, su içerisine çok yüksek basınçlı hava göndermekte kullanılan cihaz. Sismik kaynak olarak da bilinir.

**Antiklinal:** Tabakaların yukarı doğru kıvrılmasıyla oluşan kubbe şekilli yapı. En çok karşılaşılan hidrokarbon rezervuar türüdür.

**Kapan:** İçerisinde petrol veya doğal gazın birikmesine izin veren gözenekli kayaları içeren, üzeri geçirimsiz bir örtü tabakası ile kaplanmış, hidrokarbon içeren jeolojik yapı.

**Rezervuar:** Yer içerisinde petrol veya doğal gaz içeren gözenekli kayaç.

**Navigasyon:** Seyir veya seyrüsefer anlamına gelen navigasyon, deniz araştırmalarında konum belirleme anlamında kullanılır. Açık denizlerde gerek sismik geminin gerekse geminin kullandığı tüm cihaz ve ekipmanın konumunun anlık olarak saptanması işlemidir.

**Jeofizik:** Yer kürenin ve gezegenlerin fiziksel yapısını inceleyen bilim dalıdır. Maden, petrol, yeraltı suyu ve jeotermal sular gibi yeraltı kaynaklarını, arkeolojik kalıntıları araştıran, mühendislik ve zemin çalışmaları gerçekleştiren, depremleri inceleyen, fizik yasaları uyarınca matematiği ve jeolojiyi kullanarak yeraltının anlaşılmasını sağlayan mühendislik dalıdır.

### Kaynaklar

TPAO, "2018 Yılı Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu", 2018.

Dondurur, D., "Acquisition and Processing of Marine Seismic Data", Elsevier Science Publishing Co., 2018.

Dondurur, D., "Deniz Sismiğinde Veri İşlem", TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 2009.

Dondurur, D., "Attributes in Marine Seismics", Doktora Ders Notları, 2020.

Yılmaz, Ö., "Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data", SEG Publications, 2001.

Sadeghi, K., "An Overview of Design, Analysis, Construction and Installation of Offshore Petroleum Platforms Suitable for Cyprus Oil/Gas Fields", GAU J. Soc. & Appl. Sci., Cilt 2, s. 1-16, 2007.

Beşergil, B., "Ham Petrolde Petrokimyasallara, El Kitabı", Gazi Kitabevi, 2007.

BP, "Statistical Review of World Energy 2020", 2020.