



İskenderun Körfezi Geçiş Bölgesinde (Kara+Deniz) 2B Hibrid Sismik Araştırmanın Planlanması ve Veri Toplama

The Planning and Data Acquisition of a 2D Hybrid Seismic Survey in the Transition Zone (Land+Marine) in Iskenderun Bay

ORHAN GÜRELİ ¹ 

¹ Arar Petrol AŞ. Dumluca Sk. No:19, Beysukent, Ankara, Türkiye

Geliş (received): 5 Ağustos (August) 2025 Kabul (accepted): 22 Haziran (June) 2026

Öz

Sismik veri toplama çalışmaları, genel olarak karada ve denizde gerçekleştirilen uygulamalar olmak üzere iki ana bölüme ayrılır. Kara ve deniz ortamlarında verilerin ayrı ayrı toplanması durumunda, elde edilen sismik veriler doğrudan birleştirilememekte ve iki veri seti arasında boşluk oluşmaktadır. Bu boşluklar Geçiş Zonları (GZ) olarak adlandırılır. Bu geçiş zonlarında, geleneksel kara ve deniz sismik yöntemleri tek başına yeterli olmadığından, veri sürekliliği sağlamak amacıyla daha farklı yöntemler uygulanmaktadır. Karada yapılan sismik veri toplama çalışmalarında kaynak olarak vibratör, dinamit, ağırlık düşürme gibi çeşitli enerji kaynakları kullanılmaktadır. Buna karşılık deniz ortamında ise hava tabancası (air-gun), dinamit gibi kaynakların yanısıra, son yıllarda geliştirilen deniz vibratörü gibi sismik kaynaklar tercih edilmektedir. Denizde sismik veri toplama işlemleri, bu amaç için özel tasarlanmış sismik araştırma gemileri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu bölgelerde deniz sismiği uygulanmadığından, kara ve deniz verileri arasında boşluklar oluşmaktadır. Bunun sonucu olarak veri işleme ve yorumlama aşamasında kara ile deniz sismik verileri birbirleriyle sağlıklı bir şekilde birleştirilememektedir. Kıyı bölgelerinde klasik deniz sismiğinin yapılamaması nedeniyle, bu tür geçiş bölgeleri için özel ekipman geliştirilmiştir. Bu ekipmanlar geçiş zonu ekipmanları olarak bilinir. Bu özel ekipmanların maliyeti çok yüksek olup yalnızca bu özel koşullara sahip bölgelerde kullanılmaktadır. Bu ekipmanlar sayesinde kara ile deniz sismik verileri arasında süreklilik sağlanarak, iki veri seti birbirlerine bağlanabilmektedir. Karasal ve denizsel veriler, geçiş zonları verileri kullanılarak birleştirilmiş olur. Bu çalışmada, Türkiye-İskenderun körfezi'nde yapılan geçiş zonu 2B hibrid (vibratör ve dinamitin sismik kaynak olarak birlikte kullanılması) sismik veri toplama çalışmaları hakkında bilgi verilecektir. Hatay-İskenderun körfezi'nin kara kesiminde daha önce çok fazla 2B sismik veri toplanmış olmakla birlikte, elde edilen verilerin yorumlanması sonucunda jeolojik yapının denize doğru devam edip etmediği net olarak belirlenememiş ve yapının deniz altındaki uzanımı takip edilememektedir. Jeolojik yapının kıyıda denizin altına doğru geometrisinin ortaya konulabilmesi amacıyla bu örnek hibrid hat üzerinde veri toplama çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda, jeolojik yapının denizin altına doğru devamlılığı başarılı bir şekilde görüntülenmiş ve daha bütüncül bir jeolojik yorum yapılabilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deniz sismiği, Deniz vibratörü, Geçiş zonu (GZ), Kara sismiği, Vibratör

ABSTRACT

The acquisition of seismic data is generally classified into two main categories: onshore (land) and offshore (marine) operations. When seismic data are acquired separately on land and at sea, a gap arises between the resulting datasets, creating discontinuities between the two. These gaps are referred to as transition zones (TZ). Due to the limitations of conventional land and marine seismic methods in Transition Zones, alternative methodologies are required to ensure continuous and reliable data acquisition. In onshore seismic acquisition, various energy sources are commonly used, including vibrators, dynamite, and weight drops. In marine seismic acquisition, however, air guns and dynamite are traditionally preferred, while marine vibrators developed recently have also begun to be utilized. Marine seismic data acquisition is generally carried out using specially designed seismic vessels. Conventional marine seismic acquisitions are often not feasible in shallow coastal areas, leading to a gap between land and marine data. Consequently, conventional methods alone cannot accurately integrate land and marine seismic data during processing and interpretation. To overcome these limitations, specialized equipment known as transition zone (TZ) equipment has been developed for use in coastal and shallow-water environments. Although the cost of such equipment is relatively expensive, it is specifically designed for transition zone operations. The use of dedicated transition zone equipment enables the connection of terrestrial and marine seismic data, thereby allowing the integration of the two data groups into a continuous seismic section. Land and marine data are combined using transition zone data. This study presents information on the acquisition of 2D hybrid (using a vibrator and dynamite together as seismic sources) seismic data in the Gulf of Iskenderun, Türkiye. Vintage 2D seismic surveys have previously been conducted on the onshore side of the Hatay–Iskenderun Gulf. However, interpretation of these data has not been sufficient to determine conclusively whether the geological structures identified on land continue marine into the gulf area. Data acquisition was conducted along this sample hybrid line to delineate the geometry of the geological structure extending from the shoreline to the seabed. As a result of the study, the continuity of the geological structure beneath the seabed was successfully imaged, enabling a more comprehensive and integrated geological interpretation.

Keywords: Land seismic, Marine seismic, Marine vibrator, Transition zone (TZ), Vibrator

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.1758599>

*Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: orhangureli@gmail.com

GİRİŞ

Sismik modelleme, varsayılan bir yeraltı yapısı dikkate alınarak, belirli bir alıcı dizisinin kaydedeceği sismik izlerin sayısal olarak simüle edilmesi işlemidir (Carcione vd., 2002). Modelleme çalışmaları, gerekli tüm giriş parametrelerinin doğru biçimde tanımlanması ve uygun modelleme yöntemlerinin kullanılması koşuluyla, sismik veri yorumlarından elde edilen jeolojik modellerin kavramsal olarak test edilmesi ve doğrulanması açısından bir araçtır. (Lecomte vd., 2015). Bu nedenle sismik modelleme,

özellikle karmaşık jeolojik ortamlarda veri kalitesinin değerlendirilmesi ve yeraltı yapısının daha güvenilir biçimde yorumlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Geçiş zonu, kara (onshore) ve deniz (offshore) sismik veri toplama alanlarının birleşiminde yer alan, jeofiziksel açıdan oldukça karmaşık ve veri toplanamayan bölgeleri ifade etmektedir. Bu alanlarda veri toplama işlemleri, hem kara hem de deniz tabanlı ekipmanların birlikte kullanılmasını gerektirmektedir. Ancak

değişken su derinlikleri, gelgit etkileri, zemin özelliklerindeki farklılıklar ve lojistik kısıtlamalar, operasyonel süreçleri önemli ölçüde zorlaştırmaktadır. Geçiş zonularındaki sismik veri toplama çalışmaları, sığ göl ve kıyı ortamlarından başlayarak daha derin sığ deniz alanlarına ve yaklaşık 100 m su derinliğe kadar gerçekleştirilebilmektedir (Ofoedu, 2022). Bu farklı çevresel koşullar, vibratör, dinamit ve hava tabancaları gibi farklı sismik kaynakların kullanımını zorunlu kılmakta, aynı zamanda kara/bataklık jeofonları, hidrofonlar ve deniz tabanı kablosuz alıcı sistemleri gibi farklı kayıt sistemlerinin birlikte kullanılmasını gerektirmektedir (Roberts ve FitzPatrick, 2016). Özellikle kıyı bölgelerindeki geçiş zonları, kara-deniz etkileşiminin yoğun olduğu ve yüksek hidrodinamik/tortul kayaçların etkisi altında gelişen dinamik ortamlardır (Fiore vd., 2015).

Enerji kaynakları, sismik veri toplama operasyonlarının en kritik bir bileşenlerinden biridir. Derin deniz operasyonlarında ikincil öneme sahip bazı operasyonel ve jeofizik parametreler, sığ deniz ve geçiş zonu ortamlarında çok daha kritik hale gelmektedir. Bunun yanında gemi boyutu, su derinliği ve çevresel koşullar gibi faktörler de veri kalitesini doğrudan etkileyen unsurlar arasında yer almaktadır (Neill vd., 2002).

Aramacılık faaliyetlerinin gelişmesiyle birlikte karmaşık yüzey koşulları, zorlu jeolojik yapılar, teknik gereksinimler ve artan yatırım maliyetleri, sismik veri toplama yöntemlerinin sürekli gelişmesini sağlamıştır (Yi vd., 2016). Bu nedenle veri toplama yöntemleri, bölgenin jeolojik yapısına ve yüzey koşullarına uygun şekilde planlanmalıdır. Hedef Jeolojik seviyelerin özelliklerine bağlı olarak uygun kaynak ve alıcı parametrelerinin seçilmesi, veri kalitesinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Karasal sismik veri toplama çalışmalarında arazi şartlarına bağlı olarak kablolu veya kablosuz ekipmanlar kullanılabilir. Kablosuz ekipmanlar, yüzey koşullarından daha az etkilenmeleri nedeniyle hızlı ve kolay serim yapılabilir. Buna karşın kablolu sistemlerde serim hızı topografik koşullara bağlı olarak değişebilmekte, ancak verilerin anlık olarak görüntülenebilmesi önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Kablosuz sistemlerde ise veriler cihaz içerisinde depolanmakta daha sonra sisteme aktarılıp görüntülenebilmektedir.

Kablosuz kayıt cihazlarında alıcıları birbirine bağlayan kablolar bulunmamakta ve bu cihazlar sismik verileri uzun süre boyunca sürekli kayıt edebilmektedir. Sağladıkları operasyonel kolaylıklar ve esnek kullanım avantajları nedeniyle kablosuz sistemler, petrol şirketleri ve sismik veri toplama şirketleri tarafından giderek daha yaygın biçimde tercih edilmektedir (Yi vd., 2016). Bununla birlikte geçiş zonu gibi bazı karmaşık ortamlarda su derinliğinin hızlı değişim göstermesi ve yüzey açıklığının geniş olması nedeniyle tek veri toplama sistemi karmaşık jeolojik yapıları yeterince tanımlayamamaktadır. Bu nedenle kablolu ve kablosuz ekipmanların birlikte kullanıldığı hibrit veri toplama yaklaşımları ön plana çıkmaktadır.

Geçiş zonlarında elde edilen sismik verilerin kalitesi, farklı ortamlardan elde edilen veri tiplerinin uygun biçimde entegre edilmesine bağlıdır. Bu entegrasyonun başarısı, özellikle rezervuar modellemeleri ve yapısal yorumlamalarda kritik rol oynamaktadır. Dolayısıyla, geçiş zonu sismik çalışmaları, hem veri toplama teknolojileri hem de işleme teknikleri açısından özel yaklaşımlar gerektiren uygulamalar olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, Hatay-İskenderun körfezi'nde 2020 yılında gerçekleştirilen geçiş zonu sismik

veri toplama faaliyetleri incelenmiş, kullanılan ekipmanlar, veri toplama yöntemleri, karşılaşılan operasyonel ve jeofiziksel sorunlar ile bu sorunlara yönelik geliştirilen çözüm yaklaşımları teknik ve uygulamalı örnekler eşliğinde değerlendirilmiştir.

ÇALIŞMA SAHASININ JEOLOJİSİ

Hatay-Erzin ovası, Akdeniz Bbölgesi içerisinde yer almakta olup, İskenderun Körfezi'nin kuzeydoğusunda, Hatay ve Adana il sınırları içerisinde yer almaktadır. Ovanın toplam yüzölçümü yaklaşık 300 km² dir (Yüce, 2001).

Çalışma sahası ve yakın çevresinin bölgesel jeolojik özelliklerini inceleyen Kozlu (1997), Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Neojen havzalarını, kuzeyde Toros kuşağına ait birimler (Misis-Andırın Havzası ve Adana-Miyosen Havzası), güneyde Arap-Afrika kıtasına ait birimler (İskenderun Havzası) ve bunlar arasında yer alan Kenet kuşağı birimleri olmak üzere üç ana tektonik birim içerisinde değerlendirilmiştir (Yüce, 2001).

Çalışma alanının doğusunda Amanos Dağları, kuzeybatısında ise "Leçelik" olarak adlandırılan Kuvaterner yaşlı bazaltik kayalardan oluşan Delihalil volkanitleri bulunmaktadır. Bölgenin kuzey sınırını Kısık boğazı, güney sınırını ise İskenderun Körfezi oluşturmaktadır (Atlı, 2010).

Erzin Ovası'nın stratigrafik istifi incelendiğinde, en üst seviyede Kuvaterner yaşlı alüvyon birimlerinin yer aldığı görülmektedir. Bu birimlt ağırlıklı olarak kum ve çakıl seviyelerinden oluşmaktadır. Alüvyon birimlerinin altında Kuvaterner yaşlı bazaltlar, Pliosen yaşlı konglomeralar ile Miyosen yaşlı kilaşı ve kumtaşları seviyeleri bulunmaktadır (DSİ, 1974; Doyuran 1982; Gürel, 2024) (Şekil 1).

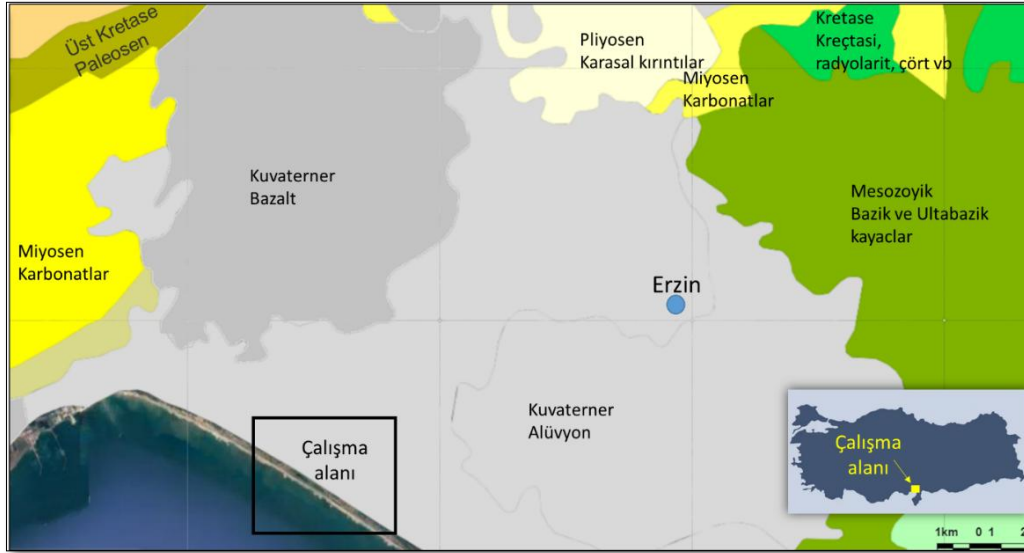
Çalışma sahası İskenderun Havzası içerisinde

yer alan Erzin Ovası'nda bulunmakta olup Kuvaterner yaşlı alüvyon birimleri ile örtülmüştür. Test hattının geçtiği güzergahlarda yüzey litolojisi genel olarak kum ve alüvyondan oluşmaktadır. Denize yakın kesimlerde yüzey tamamen kum örtüsüyle kaplı iken, kuzeye doğru ilerledikçe kum oranının azaldığı ve alüvyon birimlerinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca çalışma alanı, yoğun bir şekilde portakal ve mandalina bahçeleri ile kaplıdır.

Çalışma sahası, petrol ve doğalgaz potansiyeli açısından önemli bir bölge niteliğindedir. Bölgede daha önce açılan kuyularda petrol ve doğalgaz keşifleri yapılmıştır. Günümüzde Arar Petrol AŞ tarafından doğalgaz üretim faaliyetleri sürdürülmektedir (Gürel, 2024).

YÖNTEM

Sismik veri toplama yöntemleri, yeraltı yapıların incelenmesi, doğal kaynakların (petrol, doğalgaz ve madenler gibi) araştırılması ve yer kabuğunun yapısının bilimsel amaçlarla ortaya konulması amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler; veri toplama ortamına (kara, deniz veya geçiş zone) ve kullanılan teknolojiye bağlı olarak farklılık göstermektedir. Temel prensip, yüzeyde oluşturulan sismik dalgalarının yer altındaki jeolojik tabakalardan yansıyarak geri dönmesi ve bu yansımaların alıcı sistemler tarafından kaydedilmesi prensibine dayanmaktadır. Sismik yöntemler hem karasal hem de denizel ortamlarda uygulanabilmekte olup, özellikle petrol ve doğalgaz aramacılığında yoğun olarak tercih edilmektedir. Son yıllarda ise jeotermal enerji ve maden aramalarında da etkin biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek çözünürlükte veri sağlayan sismik yansıma yöntemi, yeraltı jeolojik yapıların ayrıntılı olarak görüntülenmesine olanak sağlamaktadır (Karlı, 2016).



Şekil 1. Çalışma sahası ve çevresinin jeoloji haritası (MTA, 2024; Gürel, 2024'ten revize edilmiştir).

Figure 1. Geological map of the study area (MTA, 2024, revised from Gürel, 2024).

Karasal sismik çalışmalarda kaynak ve alıcı parametreleri büyük ölçüde yüzey koşullarına bağlı olarak belirlenirken, denizel ortamlarda kullanılabilecek ekipman ve yöntem seçenekleri daha sınırlıdır. Geçiş zonlarında ise operasyonel koşullar nedeniyle bu seçenekler daha da kısıtlanmaktadır. Karada gerçekleştirilen sismik çalışmalarda topografya ve yüzey şartları önemli rol oynarken, deniz ortamında hava koşulları ve su derinliği veri kalitesini doğrudan etkileyen başlıca faktörlerdir. Karasal ve denizel ortamlarda ayrı ayrı elde edilen sismik veriler, geçiş zonu yöntemleri kullanılarak birleştirilmekte ve böylece kara ile deniz verileri arasında süreklilik sağlanabilmektedir. Geçiş zonu uygulamaları yalnızca sığ kıyı alanlarında değil, aynı zamanda derin deniz ortamlarında da gerçekleştirilebilmektedir. Bu tür

çalışmalarda, deniz tabanına yerleştirilen ve OBS (Ocean Bottom Seismometer: Okyanus tabanı sismometreleri) olarak adlandırılan alıcı sistemleri kullanılmaktadır (Aouad vd., 2012; Zappalá vd., 2024). OBS sistemleri, kayıt süresi boyunca deniz tabanında sabit kalan veya kablosuz olarak kullanılabilen alıcı sistemleridir.

Geçiş zonu sismik verileri, kara ve deniz sismik verilerinin entegrasyonunu sağlaması nedeniyle karışık bir yapıya sahiptir. Bu çalışmalarda alıcı olarak Jeofonlar, çamur jeofonları, hidrofonlar, kablolu sistemler ve kablosuz alıcılar kullanılabilmektedir. Bunun yanı sıra, farklı boyutlarda hava tabancaları, sismik vibratörler, patlayıcılar ve ani darbeleri kaynaklar gibi çeşitli enerji kaynaklarından yararlanılmaktadır (Hadidi vd., 2008; Mahgoub vd. 2016; Hammad ve Franco, 2022). Bu

projede ise alıcı sistemleri olarak yalnızca jeofonlar tercih edilmiştir.

Geniş nehir ve göl alanlarında gerçekleştirilen geçiş zonu çalışmalarında, hava tabancası sistemlerinin kullanılmasıyla birlikte deniz tipi kablolar ve hidrofonder; geleneksel kara ekipmanları ve geçiş zonu ekipmanlarıyla entegre edilerek hem iki boyutlu (2B) hem de üç boyutlu (3B) sismik veri toplama çalışmaları gerçekleştirilebilmektedir (Krishna vd., 2013).

Kara sismik yansıma yöntemi ve ekipmanları

Dünya genelinde faaliyet gösteren sismik ekiplerin üçte ikisinden fazlasında enerji kaynağı olarak vibratör sistemleri kullanılmaktadır (Sakallıoğlu vd., 2012). Karada yapılan sismik çalışmalarda kaynak seçimi, veri kalitesini doğrudan etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Geçmiş yıllarda ağırlık düşürme sistemleri ve dinamit patlatmaları yaygın olarak kullanılmış olmakla birlikte, teknolojik gelişmelere bağlı olarak bu yöntemlerin yerini büyük ölçüde vibratör kaynağı almıştır. Vibratör sistemleri, dünya genelinde 1950'li yıllardan itibaren, Türkiye'de ise özellikle 1990'lı yıllardan sonra yoğun bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemlerin kontrollü ve tekrarlanabilir enerji üretimi sağlaması, çevresel etkilerinin daha düşük olması ve yüksek kaliteli sismik veri elde edilmesine olanak tanınması nedeniyle günümüzde kara sismik çalışmalarında en yaygın kullanılan kaynak türü haline gelmiştir.

Karasal sismik veri toplama çalışmalarında en yaygın kullanılan enerji kaynaklarının başında vibratör sistemleri gelmektedir. Vibratör sistemlerinin uygulanmasının mümkün olmadığı bölgelerde ise yüzey ve zemin koşullarına bağlı olarak patlayıcı kaynaklar, özellikle dinamit, tercih edilmektedir. Bunun yanı sıra, karada gerçekleştirilen VSP (Vertical

Seismic Profiling) ve check-shot gibi kuyu içi sismik uygulamalarda hava tabancası (air-gun) sistemleri de kullanılabilmektedir (Şekil 2). Vibratör kaynaklarının yaygın olarak tercih edilmesinin temel nedenleri; düşük operasyon maliyeti, kontrollü ve tekrarlanabilir enerji üretimi sağlaması, çevresel etkilerinin görece düşük olması ve geniş alanlarda etkin biçimde uygulanabilmesidir.

Karada kullanılan yer ekipmanları, kablolu ve kablosuz yer ekipmanları olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. Özellikle son yirmi yılda kablosuz sistem teknolojilerinde önemli gelişmeler yaşanmış ve bu gelişmeler sayesinde sahada kullanılabilen canlı kanal sayısı büyük ölçüde artırılmıştır. Günümüzde 100.000'den fazla aktif kanal ile veri kaydı gerçekleştirilebilmektedir. Nitekim, BGP tarafından 2020 yılında Kuveyt'te gerçekleştirilen bir çalışmada 238.000 aktif kanal ile veri kaydı yapılmıştır (BGP, 2025).

Kablosuz kayıt sistemlerin en önemli avantajı, sahada hızlı ve esnek operasyon imkânı sağlamasıdır. Kablo kullanımının ortadan kalkması, ekipmanların daha kolay taşınmasına ve araziye daha hızlı serilmesine olanak tanımakta, bu durum da operasyon maliyetlerini azaltmaktadır. Bununla birlikte, kablosuz sistemlerin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. En önemli dezavantajlarından biri, kayıt edilen sismik verinin anlık olarak merkezi kayıt cihazında görülememesidir. Ayrıca sahada serili durumda bulunan cihazlarının kaybolması durumunda, bulunan kayıt cihazlarının kaybolması veya hasar görmesi durumunda, ilgili veri de kaybedilebilmektedir. Kablolu sistemlerde ise veri akışı eş zamanlı olarak kayıt merkezinde izlenebildiğinden, veri kalitesi ve sistem performansı anlık olarak kontrol edilebilmektedir. Ayrıca herhangi bir arıza durumunda, arızanın konumu ve nedeni



Şekil 2. Sismik kaynak türleri.

Figure 2. Types of seismic sources.



Şekil 3. Kablolü ve kablosuz kayıt cihazı ve yer ekipmanları.

Figure 3. Cable and cableless recording system and ground equipment.

hızlı bir şekilde tespit edilebilmektedir. Buna karşın, kablolu sistemlerin sahada kurulumu ve taşınması daha zahmetlidir. Özellikle nehir, otoyol, tarım arazisi ve engebeli alanlar gibi erişimi zor bölgelerde jeofonların ve kabloların araziye serilmesi ile bağlantılarının yapılması önemli operasyonel güçlükler yaratmaktadır. Bu durum iş gücü ihtiyacını ve operasyon maliyetlerini artırmaktadır. Şekil 3'te kablolu ve kablosuz yer ekipmanlarına ait örnekler gösterilmektedir.

Deniz sismik yansıma yöntemi ve ekipmanları

Denizde sismik veri toplama, deniz tabanı ve deniz altındaki jeolojik yapıların incelenmesi amacıyla kullanılan önemli bir jeofizik yöntemdir. Bu yöntem sayesinde petrol, doğalgaz, jeotermal kaynaklar ve maden yatakları gibi doğal kaynakların araştırılması, deniz altı jeolojik yapılarının belirlenmesi ve çeşitli bilimsel çalışmaların gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Deniz ortamında gerçekleştirilen sismik çalışmalar, kontrollü bir enerji kaynağı ile oluşturulan sismik dalgaların yeraltında yayılması ve farklı jeolojik birimlerden yansıyarak alıcılara ulaşması prensibine dayanmaktadır.

Deniz sismik veri toplama operasyonları genel olarak aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır:

- Araştırmanın amacı doğrultusunda çalışma alanının belirlenmesi,
- Hedeflenen jeolojik yapıya ve operasyon koşullarına uygun veri toplama parametrelerinin planlanması,
- Kullanılacak sismik geminin, sismik kaynakların (hava tabancası, patlatma vb.) ve alıcı sistemlerin

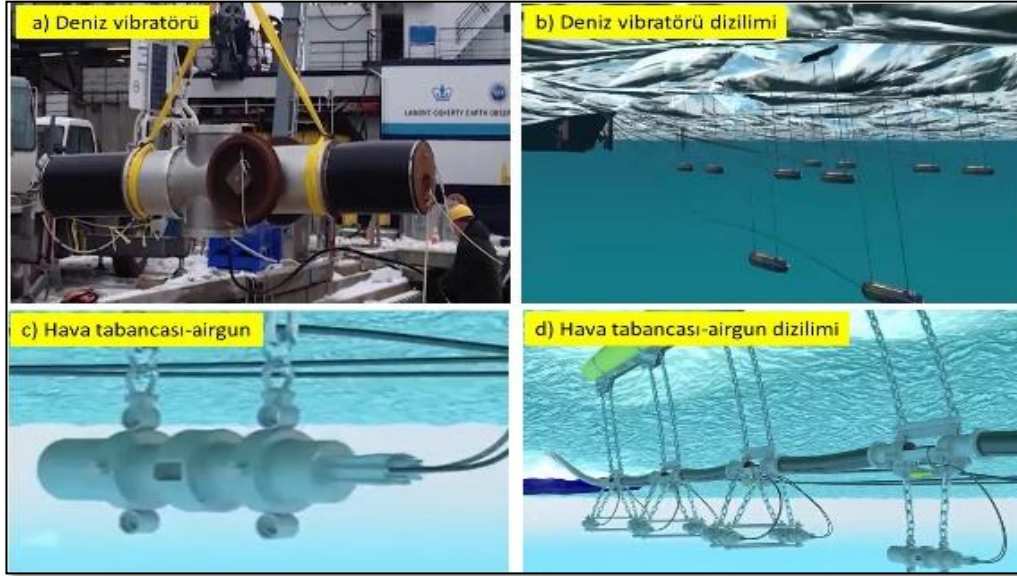
(hidrofon, deniz tabanı sismometresi vb.) seçilmesi,

- Kaynak ve alıcı sistemlerin deniz ortamında uygun geometri ile yerleştirilmesi,
- Oluşturulan sismik dalgaların kaydedilmesi ve veri kalitesinin kontrol edilmesi.

Deniz ortamında en yaygın kullanılan sismik kaynak hava tabancalarıdır (air-gun). Bu sistemlerde yüksek basınçlı hava ani olarak suya bırakılarak akustik enerji oluşturulur. Oluşan sismik dalgalar deniz tabanı ve yeraltındaki jeolojik birimlerden yansıyarak hidrofonlar tarafından kaydedilir. Şekil 4'te denizde kullanılan sismik veri toplama gemisi ve ekipmanları gösterilmektedir.

Deniz ortamında sismik kaynak olarak en yaygın kullanılan sistem hava tabancalarıdır (air-gun). Bununla birlikte, son yıllarda geliştirilen deniz sismik vibratörleri de uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 5). Hava tabancaları veya deniz vibratörleri, genellikle deniz yüzeyinin birkaç metre (yaklaşık 6–8 m) altına yerleştirilerek yüksek enerjili akustik dalgalar üretmektedir. Oluşturulan bu ses dalgaları deniz tabanına ve yer altındaki jeolojik katmanlara doğru yayılır.

Yer içerisinde ilerleyen sismik dalgalar, farklı fiziksel özelliklere ve yoğunluklara sahip jeolojik birimlerin ara yüzeylerine ulaştığında, enerjinin bir kısmı yansıyarak geri dönmekte, diğer kısmı ise kırılarak alt katmanlarda yayılmaya devam etmektedir. Yansıyarak geri dönen dalgalar, deniz yüzeyindeki araştırma gemisine bağlı alıcı kabloları (streamer) içerisinde bulunan hidrofonlar tarafından kaydedilmektedir (Şekil 6a). Elde edilen bu



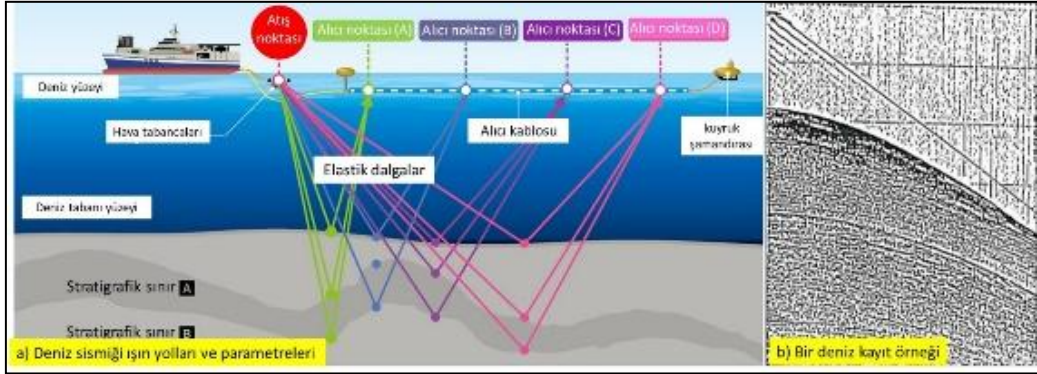
Şekil 4. Deniz sismik ekipmanları (Gürel, 2001; TPAO, 2025).

Figure 4. Marine seismic equipment (Gürel, 2001; TPAO, 2025).



Şekil 5. Deniz sismik kaynakları (Hart Energy,2025; Teledyne Marine, 2025).

Figure 5. Marine seismic sources (Hart Energy,2025; Teledyne Marine, 2025).



Şekil 6. a) Deniz sismiğinde kaynak, alıcı ve ışın yollarının görünüşü, b) Bir deniz kayıt örneği (Gürel,2001; OGF, 2025).

Figure 6. a) A view of source, receiver and ray paths in marine seismic, b) A view of shot gather in marine (Gürel,2001; OGF, 2025).

kayıtlar kullanılarak deniz altındaki jeolojik yapıların görüntülenmesi ve yorumlanması mümkün olmaktadır. Deniz sismik vibratörleri, çevresel etkiler açısından hava tabancalarına göre genellikle daha avantajlı kabul edilmektedir. Bunun temel nedeni, enerjinin tek bir yüksek genlikli darbe şeklinde değil, zamana yayılmış kontrollü bir sinyal olarak üretilmesidir. Bu durum özellikle deniz canlıları üzerindeki ani akustik etkinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca deniz vibratörlerinin önemli jeofizik avantajları da bulunmaktadır. Bunların başında, oluşturulan akustik dalga formunun ayrıntılı biçimde kontrol edilebilmesi ve tanımlanabilmesi gelmektedir (Laws vd., 2018).

Denizde veri toplama çalışmaları gece ve gündüz kesintisiz olarak gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca birden fazla gemi ve alıcı kablosunun eş zamanlı kullanılması sayesinde üç boyutlu (3B) sismik veri toplama operasyonları, kara ortamına

kıyasla daha etkin ve kolay bir şekilde uygulanabilmektedir. Deniz koşullarının ve meteorolojik şartların uygun olduğu durumlarda gemiler uzun süreli ve sürekli operasyon gerçekleştirebilmektedir.

Şekil 6a'da, 2B deniz sismiği veri toplama sisteminin şematik gösterimi yer almaktadır. Sistemde, geminin yaklaşık 100-150 m gerisinde sismik kaynak olarak hava tabancası veya deniz vibratörü grubu konumlandırılmaktadır. Kaynağın yaklaşık 50 m gerisinde ise alıcı kablosu (streamer) bulunmaktadır. Deniz sismiğinde yakın ofset, kaynak ile ilk alıcı grubu arasındaki mesafeyi, uzak ofset ise kaynak ile en uzaktaki alıcı grubu arasındaki mesafeyi ifade etmektedir. Ayrıca şekilde, kaynaktan yayılan sismik dalgaların yeraltındaki farklı jeolojik katmanlardan yansarak alıcı gruplarına ulaşmasına ait ışın yolları da gösterilmektedir. Aynı şeklin sağ tarafında ise 2B deniz sismik veri kaydına ait örnek bir atış sunulmaktadır (Şekil 6b).

Kara-deniz geçiş zonunda sismik yansıma yöntemi ve ekipmanları

Geçiş zonun sismik çalışmaları; gemi manevra kabiliyetinin sınırlı olması nedeniyle kıyıya yakın alanlarda yeterli veri toplanamaması ve kara ile deniz sismik verilerinin birbirine bağlanamaması problemlerini ortadan kaldırmak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalar sayesinde kıyıdan deniz ortamına uzanan jeolojik yapıların sürekliliği ortaya konulabilmekte ve kara-deniz arasındaki veri boşlukları giderilebilmektedir.

Geçiş zonları; kıyı şeritleri, deltalar, lagünler, bataklık alanlar, büyük nehirler ve göller gibi klasik kara veya deniz sismik yöntemlerinin tek başına etkin şekilde uygulanamadığı karmaşık çalışma alanlarını kapsamaktadır. Bu alanlarda hem karasal hem de denizel ekipmanların birlikte kullanılması gerekmektedir (Lauhoff ve Sheriff, 1979).

Geçiş zonlu sismik veri toplama çalışmaları, karasal ve deniz ortamlarının kesiştiği bölgelerde gerçekleştirilen, operasyonel açıdan yüksek mühendislik ve planlama gerektiren uygulamalardır. Özellikle değişken topoğrafya, sığ su koşulları, bataklık ve çamurlu zeminler, gelgit etkileri ve çevresel hassasiyetler veri toplama süreçlerini zorlaştırmaktadır. Ayrıca alıcı ve kaynak sistemlerinin sığ sularda etkin şekilde çalıştırılması, ekipman taşınabilirliği ve çevresel etkilerin minimum seviyede tutulması önemli operasyonel kısıtlamalar oluşturmaktadır.

Bu zorlukların aşılabilmesi amacıyla çeşitli teknik çözümler geliştirilmiştir. Bunlar arasında; kara ve deniz ekipmanlarının birlikte kullanıldığı hibrit sistemlerin tercih edilmesi, çevresel etkisi en düşük kaynak ve kayıt yöntemlerinin seçilmesi, bataklık ve yumuşak zemin koşullarına uygun özel taşıma

sistemlerinin geliştirilmesi ve arazi koşullarına uyum sağlayabilen esnek ekipmanların kullanılması yer almaktadır. Böylece geçiş zonlarında veri sürekliliği sağlanmakta ve yüksek kaliteli sismik veri elde edilebilmektedir.

Geçiş zonlu çalışmaları; kara jeofonları, hidrofon sistemleri, deniz tabanı kabloları, sığ su kayıt sistemleri, hava tabancaları (airgun) ve özel tasarlanmış geçiş zonlu ekipmanları birlikte kullanılabilir. Kara ve deniz sistemlerinin entegre biçimde çalıştırılması sayesinde, kıyıdan denize doğru yapısal ve stratigrafik devamlılık güvenilir şekilde görüntülenebilmekte; rezervuar karakterizasyonu, yapısal yorum ve jeolojik modelleme çalışmalarının doğruluğu artırılmaktadır. Bu nedenle geçiş zonlu sismik operasyonları, kara ve deniz sismik yöntemlerinin entegre edildiği ileri düzey veri toplama uygulamaları olarak değerlendirilmektedir (Şekil 7).

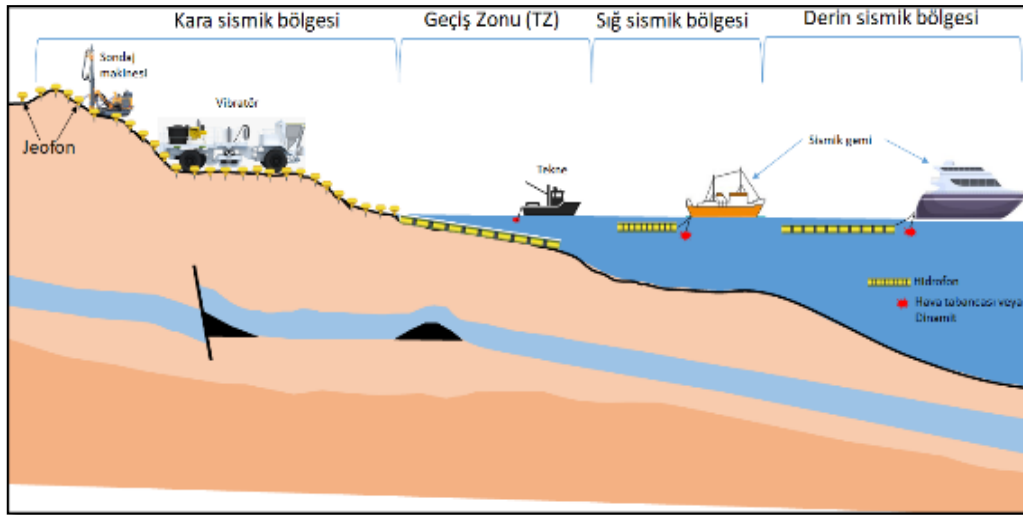
Geçiş zonlu alanlarında sismik veri toplama çalışmaları sırasında çeşitli operasyonel ve çevresel zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorlukların başında; düşük ve değişken su derinlikleri, çamurlu veya bataklık zemin koşulları ile ulaşım ve ekipman hareketliliğini kısıtlayan karmaşık yüzey şartları gelmektedir. Ayrıca bu bölgeler çoğu zaman ekolojik açıdan hassas alanlar olduğundan, sulak alanlar ve biyolojik çeşitlilik bakımından önemli habitatların korunmasına yönelik çevresel tedbirlerin alınması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle geçiş zonlu operasyonlarında hem teknik uygulanabilirlik hem de çevresel sürdürülebilirlik birlikte değerlendirilmelidir.

Geçiş zonlu bölgesinde veri toplama planlaması

Geçiş zonunda yapılan sismik veri toplama çalışmalarında, yüzey ve çevre koşulları dikkate alınarak kapsamlı bir planlama yapılır.

Ekipman seçimi bütünüyle bu planlamaya göre şekillenir. Geçiş zonunda deniz veya göl alanlarında su derinliği kritik bir faktördür; Bu doğrultuda uygun tasarıma sahip tekne veya kayık seçimi yapılır. Lojistik hazırlıkların ardından alıcılar (jeofon/hidrofon) ve enerji kaynağı seçimine geçilir. Denizde veya göldeki veri toplama çalışmalarında hava tabancası,

deniz vibratörü veya dinamit kullanılır. Kara ortamında ise topoğrafik yapıya bağlı olarak dinamit ya da vibratör kaynağı tercih edilir. Geçiş zonu bölgesinde kesintisiz ve yüksek kaliteli veri toplayabilmek için hem kara hem deniz operasyonlarına uyum sağlayabilen hibrit ekipmanların ve özel tekniklerin kullanılması zorunludur (Şekil 8).



Şekil 7. Su derinliği ile sismik yöntem ilişkisi (SAExploration, 2025'dan revize edildi).

Figure 7. Relationship between water depth and seismic methods (revised from SAExploration, 2025).

Kıyı çizgisine yakın geçiş zonlarında, veri sürekliliğini sağlamak amacıyla hem karasal hem de deniz alıcıları bir arada kullanılır. Bu kritik bölgelerde gerçekleştirilen veri toplama operasyonlarında, sismik sinyallerin yansıma ve kırılmalarını aynı anda kayıt edebilen hibrit cihazlarla kullanılır. Veri işlem öncesi sismik verinin genliklerinin dengelenmesinde bu kayıtlar kullanılır. Karada kara kaynakları kullanılarak enerji üretilir. Bu kaynak dinamit veya vibratör olabilir.

Karada kaynaktan çıkan sismik dalgalar, karadaki kara alıcıları (jeofonlar), geçiş zonunda geçiş zonu alıcıları (hidrofon veya jeofonlar) ve denizde ise deniz içinde bulunan deniz alıcıları (Streamer: alıcı kabloları içindeki hidrofon) tarafından kayıt edilir. İkinci aşamada geçiş zonunda bulunan geçiş zonu kaynağı (hava tabancası, dinamit, deniz vibratörü) kullanılarak enerji üretilir. Geçiş zonunda kullanılan kaynaktan çıkan dalgalar; karadaki, geçiş zonundaki ve denizdeki ilgili alıcılar



Şekil 8. Geçiş zonu kaynak ve alıcı ekipmanları; a) Bataklık jeofonları, b) Su altı jeofonları, c) Hava tabancası grubu, d) Su yüzeyi alıcı grubu, (GSI, 2025; Sercel, 2025; Smartsolo, 2025, Synterra Technologies, 2025; Offshore Energy, 2025)

Figure 8. Transition zone source and receiver equipment; a) Marsh geophones, b) Underwater geophones, c) Air gun group, d) Surface receiver group, (GSI, 2025; Sercel, 2025; Smartsolo, 2025, Synterra Technologies, 2025; Offshore Energy, 2025).

tarafından eş zamanlı olarak kayıt edilir. Son aşamada ise denizde hava tabancası, dinamit veya deniz vibratörü kullanılarak enerji üretilir. Denizde kaynaktan çıkan dalgalar; yine tüm karadaki jeofonlar, geçiş zonundaki hidrofon/jeofon sistemleri ve denizde bulunan alıcı kablosu içindeki hidrofonlar tarafından kayıtlar alınır.

Deniz vibratörleri, diğer deniz sismik kaynaklarına kıyasla birçok avantaja sahiptir. Bunların en önemlisi, deniz vibratörleri tarafından üretilen sinyallerin kontrolü ve belirli bir zamanda aralığında üretilmesidir. Bu durum hem çevresel etkilerin azaltılmasını sağlar hem de çıkış sinyali üzerinde yüksek derecede kontrol imkanı sunar. Buna karşılık, geleneksel hava tabancaları sinyali ani bir patlama şeklinde üretir. Bu durum çevresel açıdan olumsuz etkilere neden olabilmekte ve özellikle su içerisindeki canlı yaşamını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Deniz vibratörleri ise daha kontrollü, sürekli ve çevreye duyarlı sinyal üretimi sayesinde, denizel sismik çalışmalarda çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

Deniz vibratörlerinin bu özelliği birçok avantajı sağlamaktadır. Bunlar; (1) çevresel etkilerin azaltılması ve su içerisindeki canlı yaşamının korunması, (2) su içerisinde yayılan dalgaların genlik ve frekans band genişliğinin kontrol edilebilmesi, (3) yeni ve esnek kaynak geometrilerinin uygulanabilmesi ve (4) dalga formunun elde edilebilmesi amacıyla ultra düşük frekanslı (1–6 Hz) sinyaller üretebilmesi olarak sıralanabilir (Rietsch, 1977; Dellinger vd., 2016; Brenders vd., 2018, Orji vd.,2020).

Şekil 8’de, geçiş zonu ekipmanları (kaynak ve alıcı sistemleri) gösterilmektedir. Geçiş zonları genellikle sığ alanlardan oluştuğu için bu bölgelerde rahat hareket edebilecek uygun tekne veya gemiler tercih edilmektedir. Su

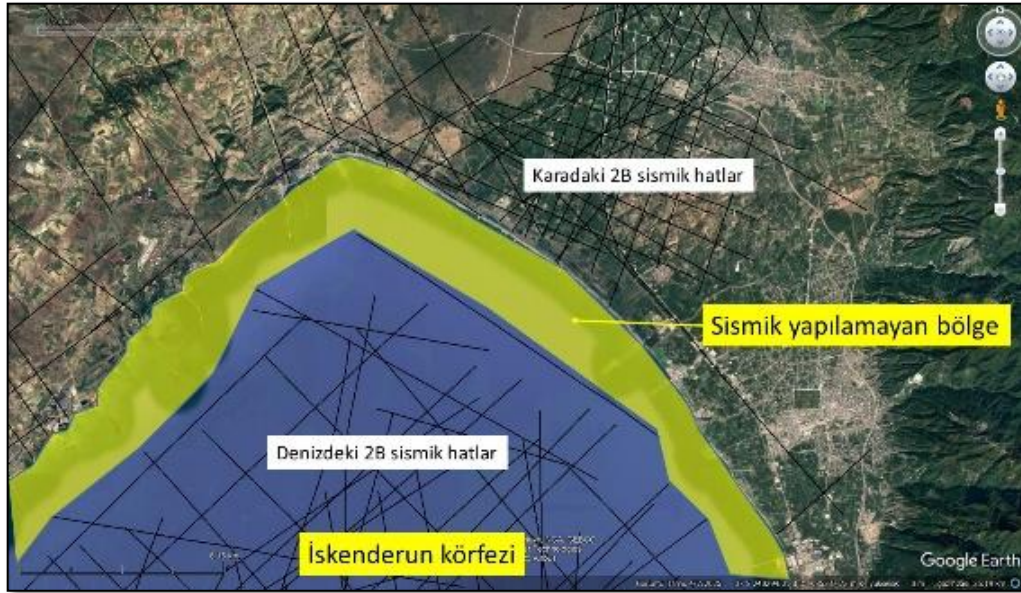
derinliğinin çok sığ olduğu ya da bataklık alanlarda ise ortama uygun jeofon veya hidrofonların kullanılmalısı gerekmektedir (Şekil 8). Uygun ekipman kullanılması durumunda jeofonlar su yüzeyine de serilebilmektedir. Bu amaçla, jeofonlar batmayan duba tipi ekipmanlar üzerine sabitlenerek su yüzeyinde konumlandırılabilir. Böylece geçiş zonlarında etkin veri kaydı alınabilmektedir (Şekil 8).

Geçiş zonu bölgesinde veri işlemin planlaması

Sahada veri toplama işlemlerinin tamamlanmasının ardından ikinci aşama olan veri işlem aşamasına geçilir. Bu aşamada; karada, denizde ve geçiş zonunda farklı kaynak ve alıcı tipleriyle kaydedilen sismik verilerin genlik dengelemesi yapılır ve fazlarının aynı faz karakterine getirilmesi sağlanır. Verilerin aynı faz ve genlik seviyesine getirilmesinin ardından proses işlemleri uygulanabilir hale gelir. Genlik dengeleme ve fazı eşitleme işlemleri başlangıçta ayrı ayrı gerçekleştirilir, daha sonra tüm veri setleri birleştirilir. Böylece kara, geçiş zonu ve deniz verileri arasında uyum sağlanarak birleştirilir ve sismik veri seti elde edilir. Geçiş zonlarının karmaşık jeolojik yapıları dikkate alınarak detaylı hız ve derinlik modelleri oluşturulur. Bu modeller, veri kalitesinin artırılması ve doğru sismik görüntüleme elde edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

2B KARA-DENİZ GEÇİŞ ZONU HİBRİD SİSMİK VERİ UYGULAMASI: İSKENDERUN KÖRFEZİ ÖRNEĞİ

Geçmiş yıllarda yapılan sismik çalışmalarda, sismik hatlar çoğunlukla denize dik şekilde planlanarak veri toplanmıştır. Bu nedenle katlama sayısı denize doğru gidildikçe azalmakta, bu şekilde toplanan verinin kalitesi



Şekil 9. Iskenderun körfezinin kara ve deniz kısmındaki yapılmış eski 2B sismik hatların görünüşü (MAPEG, 2025).

Figure 9. A view of the old 2D seismic lines in the land and marine parts of Iskenderun Bay (MAPEG, 2025).

de doğal olarak düşmektedir. Kıyıya paralel sismik hatlar atıldığında ise daha yüksek katlama sayısına sahip veriler elde edilebilmektedir. Benzer sorunlar deniz sismiğinde de görülmektedir. Geminin manevrası, kabiliyeti, alıcı kablo uzunluğu ve özellikle su derinliği, geminin kıyıya yeterince yaklaşmasını engellemektedir. Şekil 9'da görüldüğü gibi kıyıya yakın belirli bir bölgede sismik veri toplanamayan alanlar oluşmaktadır. Karada ve denizde kıyıya paralel sismik hatlar atılabilesine rağmen, bu hatların başka bir sismik hat ile güvenilir bir şekilde bağlanması her zaman mümkün olmamaktadır. Denizde kıyıya paralel atılan sismik hatların uygulanabilirliği büyük ölçüde su derinliğine bağlıdır. Su derinliğinin çok sığ olduğu bölgelerde gemi kıyıya yaklaşamadığından veride boşluklar oluşmaktadır. Kesişme

noktalarında ise önemli bir problem ortaya çıkmaktadır. Kıyıya yakın bölgelerde bir hat yüksek katlama sayılı veri elde edilirken, diğer hatta ise çok düşük katlamalı veri oluşabilmektedir. Bu durumda, kesişme noktasında düşük kaliteli veri ve yüksek kaliteli veri karşılaştırılmış olur. Her bir hattın da yüksek katlama sayısına sahip olması isteniyorsa, hattın deniz içine doğru uzatılarak veri toplanması gerekir. Bu bağlantının sağlanabilmesi ancak geçiş zonu uygulamaları ile mümkündür. Kara ile deniz arasında kalan ve klasik kara veya deniz ekipmanlarının tek başına olmadığı bu alanlar, geçiş zonu yöntemleri sayesinde kesintisiz biçimde bağlanabilmektedir.

Hatay-İskenderun körfezinde test amaçlı 2B bir hibrid sismik test hattı yapılmıştır. Sismik veri toplama çalışmalarına başlamadan önce,



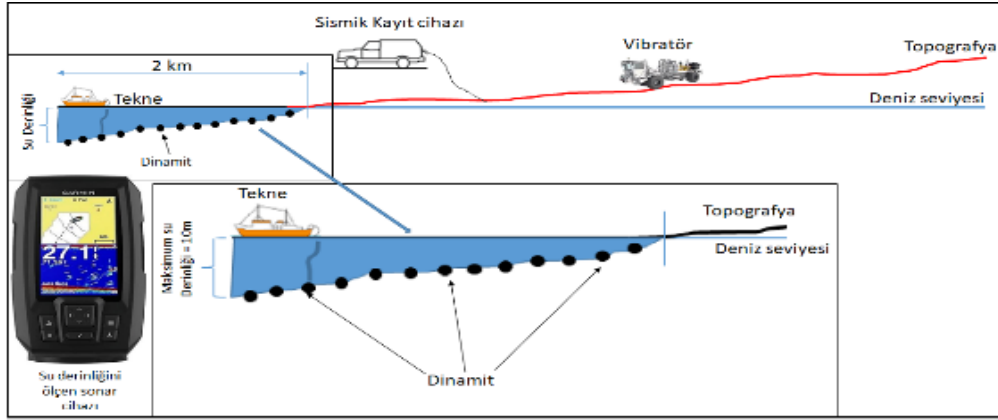
Şekil 10. Geçiş zonu hattının Google Earth’de görünüşü.

Figure 10. The view of the transition zone line in Google Earth.

kıyıya dik olacak şekilde kıyıdan denizin içine doğru uzanan hat boyunca deniz tabanı topografyası çıkarılmıştır. Yapılması planlanan test hattının, karada 5 km deniz de ise 2 km uzunluğunda olması kararlaştırılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, denizdeki 2 km’lik bölümde maksimum su derinliğinin 15m olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada veri toplama amacıyla, karada vibratör kaynakları yüzeyde kullanılmış; denizde ise patlayıcı kaynaklar deniz tabanına yerleştirilmiş ve atışların deniz tabanında gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Şekil 10’da, 2B hibrid sismik hattın kara ve deniz üzerindeki bölümleri görülmektedir. Aynışekilin altında ise, kara ve deniz alanlarının deniz seviyesine göre topoğrafyası görülmektedir. Deniz tabanının topoğrafyasının belirlenmesinde, balıkçılar tarafından kullanılan sonar cihazından yararlanılmıştır (Şekil 11).

Topograflar tarafından hattın kara kısmında, 20m aralıklarla hem alıcı noktaları hem de atış noktaları işaretlenmiştir. Atış noktaları, alıcı noktalarının orta noktalarına denk gelecek şekilde işaretlemesi yapılmıştır. İşaretleme işleminin tamamlanmasının ardından jeofon serim aşamasına geçilmiştir. Her bir alıcı noktasına 12 jeofon yerleştirilmiş ve toplam 250 noktaya jeofon serimi yapılmıştır. Çizelge 1’de ayrıntıları verilen veri toplama parametrelerine göre, hattın kara bölümünde (5 km’lik kısımda) vibro kaynak olarak kullanılarak 20m aralıklarla toplam 250 atış gerçekleştirilmiş ve tüm 250 alıcı noktalarından da kayıt alınmıştır. Denizde gerçekleştirilen tüm patlatmalarda da karadaki 250 canlı kanaldan kayıt alınmıştır, yani sabit serim yöntemi uygulanmıştır. Kara ve deniz ortamlarına ait tüm veri toplama parametreleri Çizelge 1’de sunulmuştur. Şekil 12a’da ise



Şekil 11. Geçiş zonu örnek çalışması.

Figure 11. The case study of Transition zone.

karadaki veri toplama çalışmalarında kullanılan vibratörler görülmektedir. Denizde sismik kaynak olarak dinamit kullanılmıştır. Şekil 12b ve Şekil 12c'de, hibrid hattın deniz kısmında gerçekleştirilen veri toplama çalışmalarında, farklı atış noktalarında yapılan patlatmalara ait örnekleri görülmektedir. Atış noktalarındaki su derinliklerinin belirlenmesinde, balıkçıların su derinliği ölçümünde kullandıkları sonar cihazından yararlanılmıştır. Hat boyunca yapılan ölçümlerde su derinliğinin maksimum 15 m olduğu belirlenmiştir.

Patlatma çalışmaları ilk olarak karada başlatılmış, ardından kıyıya dik doğrultuda deniz içerisine doğru ilerlenerek atış sırasına göre devam edilmiştir. Öncelikle, teknede bulunan bir adet topografya cihazı yardımıyla atış noktalarının koordinatları belirlenmiştir. Tekne atış noktasına ulaştığında durdurulmuş ve dinamit denizin tabanına indirilmiştir. Dinamitin hedeflenen atış noktasına dik olarak

yerleştirilebilmesi amacıyla, dinamitler kum çuvalı içerisine yerleştirilerek denize bırakılmıştır (Şekil 12b).

Dinamit deniz tabanına yerleştirildikten sonra, patlamanın etkilerinden korunmak amacıyla tekne atış noktasından yaklaşık 100-150m uzaklaştırılmıştır. Patlatma işlemleri, karada deniz kıyısında konumlandırılan sismik kayıt cihazı üzerinden gerçekleştirilmiş ve kayıtlar alınmıştır. Diğer tüm atışlarda da aynı yöntem uygulanmıştır.

Çevresel güvenliğin sağlanması amacıyla, çalışma öncesinde Sahil Güvenlik ekipleri tarafından deniz üzerinde gerekli emniyet önlemleri alınmıştır. Çalışmalar süresince deniz yüzeyinde herhangi bir olumsuzlukla karşılaşılmamış, ayrıca balıklar ve diğer canlılara da her hangi bir zarar verilmemiştir. Denizde gerçekleştirilen veri toplama çalışmaları, Çizelge 1'deki Geçiş zonu parametrelerine uygun şekilde yürütülmüştür.



Şekil 12. Geçiş zonu hattının kara ve deniz kısmındaki çalışmalar; a) karada kullanılan kaynak: Vibratörler, b) Dinamitin denize indirilişi, c) denizde yapılan patlatmalar.

Figure 12. The studies on the land and marine part of the transition zone; a) vibrators on land, b) layout of dynamite into the marine, and c) shooting at marine.

Çizelge 1. 2B kara ve geçiş zonu sismik veri toplama parametreleri.

Table 1. *Seismic data acquisition parameters for 2D land and transition zone.*

2B Sismik Veri Toplama Parametreleri		
	Kara	Geçiş Zonu
Saha	İskenderun-Hatay	İskenderun-Hatay
Toplam sismik hat uzunluğu (7 km)	5 km	2 km
Kaynak	Vibratör	Dinamit
Kaynak parametresi	4 vibratör, 4 sweep, 10-72 Hz, -3 dB/Oct., Taper lineer 450-450 ms.	Denizin tabanında 1-15m/2kg
Alıcı grup aralığı (RI)	20 m	20 m
Atış aralığı (SI)	20 m	20 m
CDP aralığı	10 m	10 m
Toplam atış sayısı	250	100
Toplam alıcı sayısı	250	250
Bir hattaki canlı kanal sayısı (KS)	250	250
Toplam 2B Katlama sayısı	250	250
Jeofon özelliği	10 Hz. nokta başına 12 adet jeofon	10 Hz. nokta başına 12 adet jeofon
Jeofon düzeni	1x12 inline	1x12 inline
Kayıt cihazı	Aram Aries I 24 bit Kablolu sistem	Aram Aries I 24 bit Kablolu sistem
Serim şekli	Sabit serim	Sabit serim
Yakın ofset	10 m	10 m
Uzak ofset	5000 m	7000 m
Kayıt uzunluğu	5 s	5 s
Örnekleme aralığı	2 ms	2 ms

Şekil 13'te, Çizelge 1'deki parametrelere göre yapılmış ve kayıt edilmiş kara ve deniz kayıtları görülmektedir.

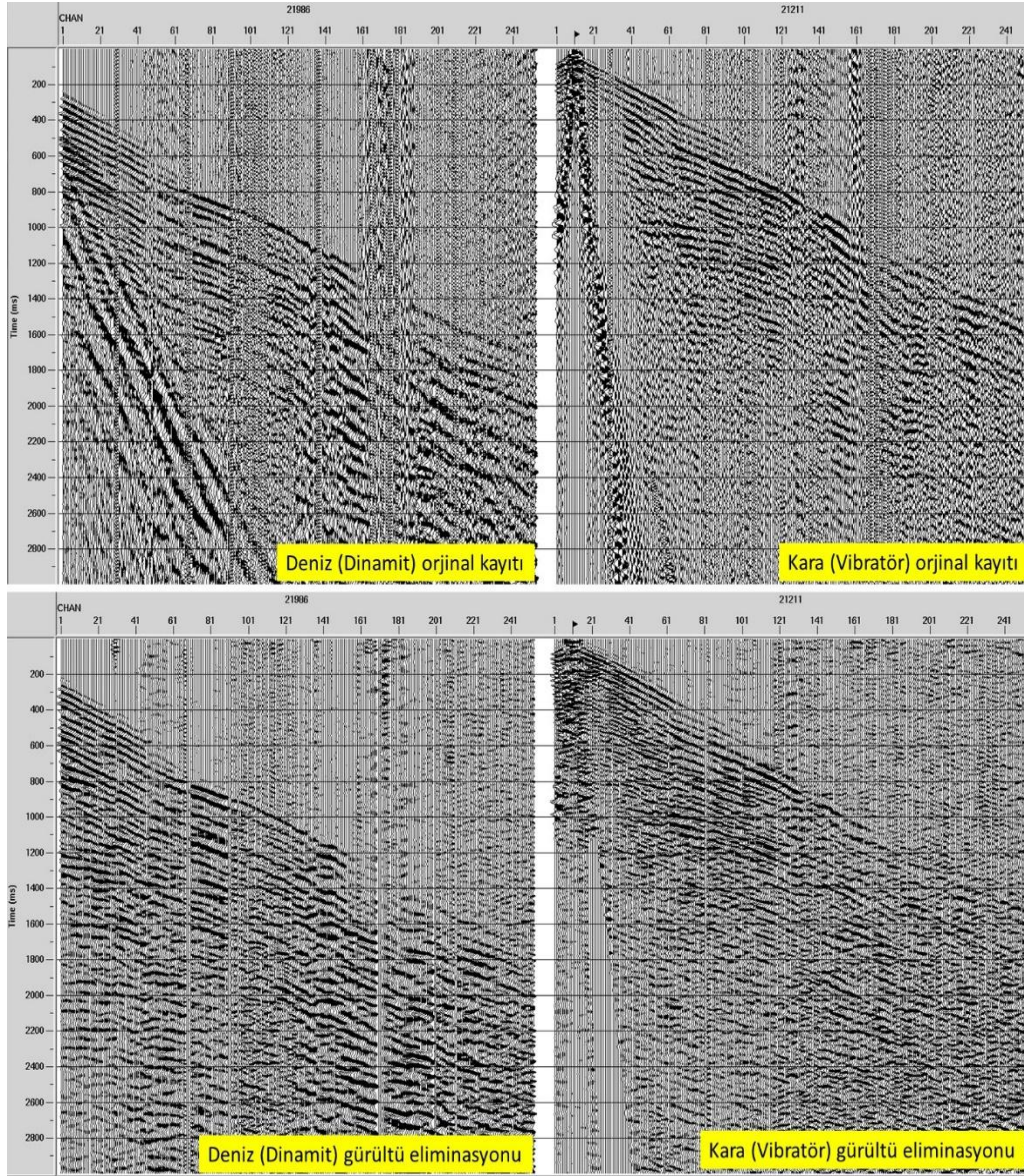
Karada ve denizde kayıt edilen veriler, Çizelge 2'de verilen iş akışına göre birlikte veri işlemi yapılmıştır. Veri işlem aşamasında ilk olarak hibrid hattının yalnızca karada vibratör kaynağı ile kayıt edilen kısmına ait veriler işlenmiştir. Daha sonra, denizde dinamit patlatmaları ile elde edilen veriler de sürece dahil edilerek tüm hat için yeniden veri işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2'de görüldüğü üzere, veri işlem akışının belirli aşamalarına kadar kara ve deniz ayrı ayrı işlenmiş, kaynak ve ortam farklılıklarından kaynaklanan genlik, frekans ve faz uyumsuzluklarının giderilmesinden sonra veriler birleştirilmiştir. Birleştirme işleminin ardından, tüm hibrid hat boyunca ortak veri işlem adımları uygulanarak nihai sismik kesit elde edilmiştir.

Çizelge 2'de, hibrid hattının veri işlem iş akışı gösterilmektedir. Kara ve deniz verilerine, birinci hız analizine kadar olan yığma öncesi veri işlem aşamaları ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu aşamada, kara ve deniz ortamlarının farklı veri karakteristiklerinden kaynaklanan genlik, frekans ve faz farklılıklarının giderilmesi amaçlanmıştır.

Ayrı ayrı veri işleminden geçirilen kara ve deniz verileri daha sonra birleştirilmiş ve ortak hız analizine geçilmiştir. Birleştirilen veri setine, Çizelge 2'de verilen veri işlem adımları uygulanarak sırasıyla "Final Stack" ve "Post Stack Migration" kesitleri elde edilmiştir. Bu işlemler sonucunda, hibrid hat boyunca yeraltı jeolojik yapıların daha süreklilik gösteren ve yüksek çözünürlüklü görüntülenmesi sağlanmıştır.

Şekil 14 ve Şekil 15'te, Çizelge 2'de verilen parametrelere göre gerçekleştirilen veri işlem sonuçları görülmektedir. Şekil 14'de "Final



Şekil 13. Karada (vibrolu) ve denizde (dinamitli) elde edilmiş kayıt örnekleri; üste ham kayıtlar, altta ise gürültüleri temizlenmiş kayıtların görünüşü.

Figure 13. Examples of shots obtained on land (vibrator) and at marine (dynamite); view of raw shots on top, noise eliminated shots below.

Çizelge 2. 2B kara ve geçiş zonu veri işlem iş akışı.

Table 2. The data processing workflow of 2D land and transition zone.

	Vibratör	Dinamit
Veri işlemin yapıldığı yer	Arar Petrol AŞ (Ankara-Türkiye)	Arar Petrol AŞ (Ankara-Türkiye)
SegY formatında veri okuma	+	+
Geometri	2B geometri	2B geometri
Edit işlemi	+	+
Genlik dengelemesi	Scaling	Scailing
Genlik düzeltmesi	TAR: 3 dB/sec	TAR: 3 dB/sec
F-K Filtresi	Arbitrary polygon	Arbitrary polygon
Minimum düzeltmesi	Evet	Hayır
Surface Consistent Predictive Dekonvolüsyon	OPLEN: 164ms GAP: 32ms	OPLEN: 164ms GAP: 32ms
Statik	2B tomografi	2B tomografi
Birleştirme (Geçiş zonu)		
Hız analizi -1	2B hız analizi	
Rezidüel statik-1	2B Rezidüel	
Hız analizi-2	2B hız analizi	
Rezidüel statik-2	2B Rezidüel	
Normal Move Out (NMO)	+	
Mute işlemi	Hand mute	
Genlik dengeleme (AGC)	500 ms	
Averaj statik uygulama ile final datuma çekme	Final Datum (0m)	
Prestack Kirchhoff Time Migration (PSTM) işlemi	2 boyutlu	
PSTM hız analizi	2B hız analizi	

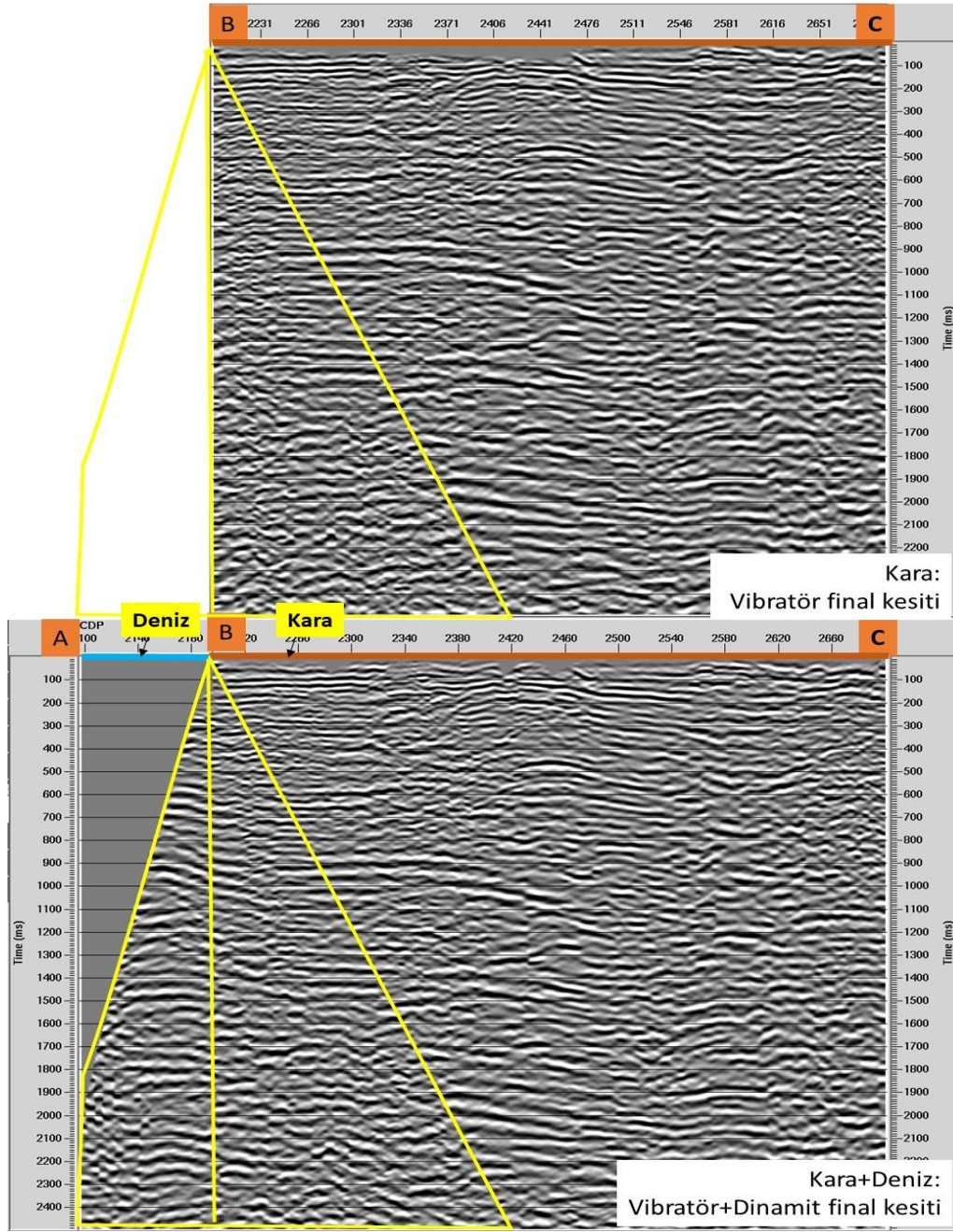
PSTM kesiti	2B yığma işlemi
Band Geçişli Süzgeç	8-12-48-56 Hz
FX Decon	8-52 Hz
F-K Süzgeci (Fan)	-6, 6, ms/iz, 8, 64 Hz
Trace mix	5
Genlik dengeleme (AGC)	500 ms
Çıktı verisi	SegY format

stack” veri işlem sonucu elde edilen kesit, Şekil 15’te ise migrasyon işlemi sonrası elde edilen kesit sunulmaktadır.

Kara ve deniz verilerinin birlikte proses edilmesi sayesinde hem hattın toplam uzunluğu artırılmış hem de hem de deniz kenarında yeterli sayıda iz kayıt edilerek katlama sayısının yükselmesi sağlanmıştır. Özellikle karadan denize doğru ilerledikçe katlama sayısı azalmasına bağlı olarak veri kalitesinde düşüş meydana gelmekteydi. Kara ve deniz verilerinin birleştirilmesi ile bu bölgelerde veri kalitesi artırılmıştır.

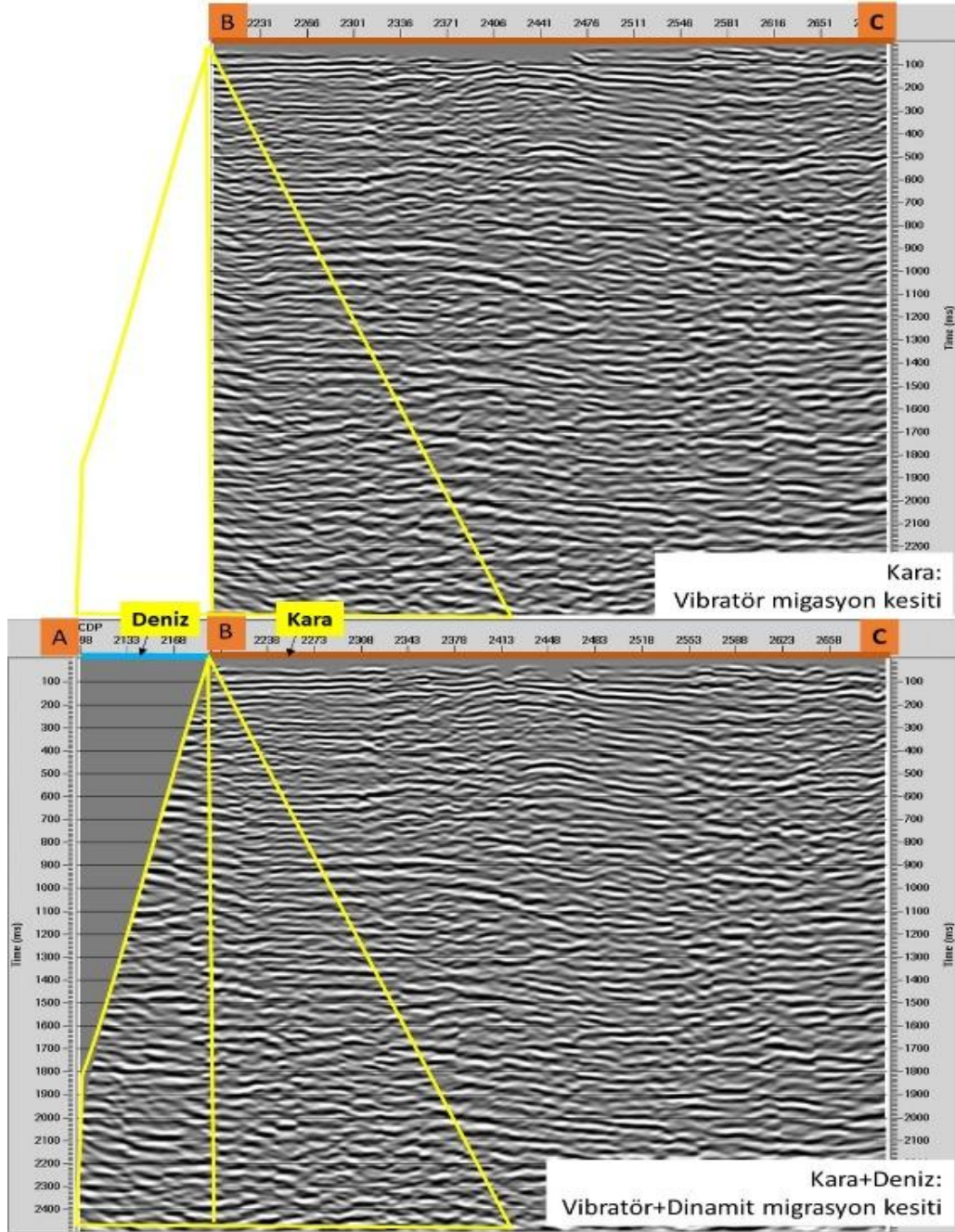
Şekil 14 ve Şekil 15’te, sadece kara verisi incelendiğinde (üstteki kesit), deniz kenarındaki seviyelerin zayıf kaliteli olduğu ve yeterli jeolojik yorum yapılmasının güç olduğu görülmektedir. Ancak aynı kesitlerde kara ve deniz verilerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, kıyı bölgesindeki reflektörlerin daha belirgin hale geldiği ve süreklilik kazandığı gözlenmiştir. Böylece söz konusu seviyelerin daha sağlıklı yorumlanabilmesi mümkün olmuştur.

Şekil 16’da, yalnızca karada gerçekleştirilen sismik çalışmaya ait katlama sayısı değişimi A bölgesi ile gösterilmektedir. Veri toplamada sabit serim geometrisi kullanıldığından, katlama sayısı dağılımı üçgen şeklinde gösterilmektedir. Kara hattının uç kısımlarına



Şekil 14. 2B hibrid hattının “Final Stack” kesiti.

Figure 14. “Final Stack” section of the 2D hybrid line.



Şekil 15. 2B hibrid hattının “Post Stack Migration” kesiti.

Figure 15. “Post Stack Migration” section of the 2D hybrid line.

doğru katlama sayısı azalmakta ve buna bağlı olarak veri kalitesi düşmektedir. Denizde gerçekleştirilen atışların kara verileri ile birleştirilmesi sonucunda ise, Şekil 16'da B ile gösterilen ilave katlama bölgesi oluşmuştur. Bu sayede özellikle kıyı kesiminde katlama sayısı artırılmış, böylece sismik verinin sinyal/gürültü oranı ve genel veri kalitesi iyileştirilmiştir.

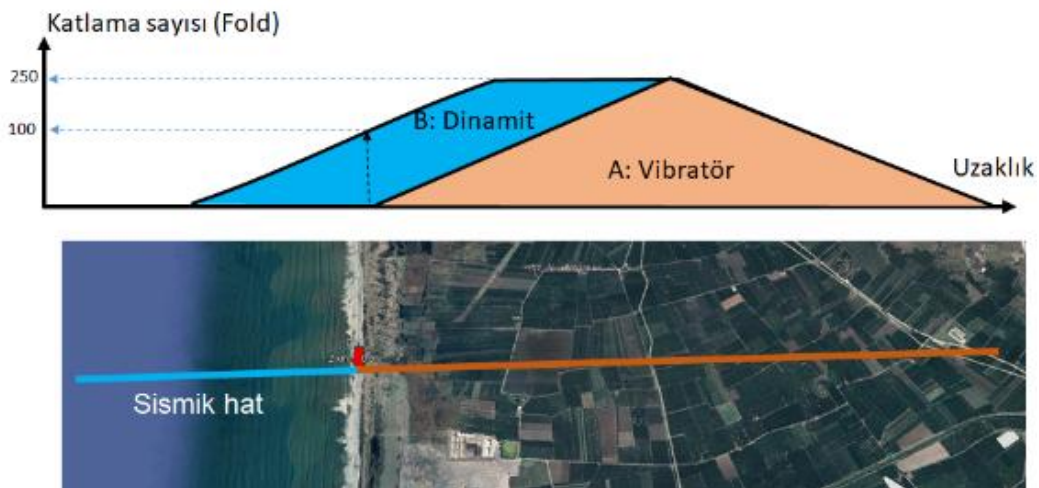
Sonuç olarak, toplam hibrid hattın katlama sayısı değişimi A+B şeklinde oluşmuş ve kara-deniz geçiş zonunda daha kaliteli sismik görüntü elde edilmiştir. Çizelge 3'te kara ve denizde yapılan hibrid sismik hattın istatistikleri verilmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Geçiş zonu sismik çalışmaları (Hibrid yöntemi) Türkiye'de ilk defa uygulanmıştır. Üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizde, hem karada hem de denizde uzun yıllardır sismik veri toplama çalışmaları yapılmasına rağmen, bugüne kadar kara ve deniz verilerinin birlikte değerlendirildiği birleşik bir 2B veya 3B sismik çalışma gerçekleştirilmemiştir. Bu nedenle kıyı çizgisi boyunca belirli bir alan, sismik veri

açısından boş kalmıştır. Bu çalışma, söz konusu veri boşluğunu gidermesi açısından önem taşımakta ve ileride yapılacak benzer çalışmalar için de örnek teşkil edecektir.

Geçiş zonu sismiyi; dünyanın birçok ülkesinde, özellikle sığ denizler, lagünler, göller, bataklık alanlar ve kıyı bölgeleri gibi zorlu sahalarda başarıyla uygulanmaktadır. Ancak yüksek maliyetli bir yöntem olması nedeniyle sınırlı sayıda projede tercih edilmektedir. Dünya genelinde yalnızca geçiş zonu sismik veri toplama konusunda uzmanlaşmış şirketler bulunmaktadır. Bugüne kadar Danimarka, Kanada, Alaska, Katar, Birleşik Arap Emirlikleri, Hazar Denizi (Kazakistan ve Azerbaycan), Suudi Arabistan, Meksika Körfezi (ABD ve Meksika), Brezilya, Endonezya, Malezya, Hindistan, Çin, Nijerya, Polonya ve Mısır gibi birçok ülkede bu yöntem kullanılarak başarılı veri toplama çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Sheriff vd., 1980; Olgemann ve Seitz, 2005; Hadidi vd., 2008; Wyman ve Ahmad, 2013; Ye vd., 2024; Clark vd., 2025; OGF, 2025; Geofizyka, 2026).



Şekil 16. Hibrid hat boyunca katlama sayısı değişimi.

Figure 16. Fold number variation along the hybrid line.

Çizelge 3. 2B kara ve geçiş zonu istatistiklerinin karşılaştırılması.

Table 3. Comparison of 2B land and transition zone statistics

	A: Vibratör	B: Dinamit	A+B
Atış sayısı	250	100	350
Canlı kanal sayısı	250	250	250
Serim şekli	Sabit serim	Sabit serim	Sabit serim
İz sayısı (veri işlem öncesi)	62.500 iz	25.000 iz	87.500 iz
İz sayısı (veri işlem sonrası)	500 iz	350 iz	600 iz
CDP no	2200-2700	2100-2450	2100-2700
Maksimum katlama sayısı	250	250	250

2B hibrid sismik yöntem; yalnızca petrol ve doğalgaz aramalarında değil, aynı zamanda jeotermal enerji araştırmaları, maden aramaları, doğalgaz ve karbondioksit depolama projeleri ile aktif fay araştırmaları gibi farklı amaçlarla da kullanılabilecek önemli bir yöntemdir.

Türkiye’de İskenderun körfezinde karada yapılan sismik veri yorumlarında yapının denize doğru değişmesi nedeniyle geçiş zonunda sismik veri toplama çalışması yapılmıştır. Bu bölgede denize dik olan hatlarda, denize doğru katlama sayısının düşük olması nedeniyle, katlama sayısını artırmak ve jeolojik yapıyı tariflemek için hibrid hattı yapılmıştır.

Türkiye’de deniz kıyısında ilk defa geçiş zonu çalışması 2020 yılında Arar Petrol AŞ (Türkiye) tarafından başarıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında denizde, 20m aralıklarla yerleştirilen 100 noktada toplam 200 kg dinamit ve 400 adet kapsül kullanılmıştır. Su derinliğinin fazla olmaması (maksimum 15m) nedeniyle, tüm atışlar deniz tabanında gerçekleştirilmiştir. Atışların deniz tabanında yapılması sayesinde, tekrarlı yansımaların (multiple) büyük ölçüde azaltılmış ve veri kalitesi artırılmıştır. Karada ise 20 m aralıklarla oluşturulan 250 atış noktasında vibratör kaynaklı kayıt alınmıştır. Veri toplama çalışmaları; 4 vibratör, 4 sweep, 10-72 Hz, -3 dB/Oct., lineer taper 450-450 ms kaynak parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler sayesinde hem düşük frekanslı derin yapılar hem de yüksek çözünürlüklü sığ yapılar etkin bir şekilde görüntülenebilmiştir.

Geçiş bölgesi ekipmanlarının geliştirilmesiyle birlikte; kıyı deniz alanları, koylar, sığ denizler, lagünler, ve bataklık gibi ulaşılması zor bölgelerde sismik veri toplama çalışmaları yapılabilir hale gelmiştir. Bu teknolojik gelişmeler sayesinde, kara ve deniz ortamı arasında kalan geçiş zonlarında daha yüksek kaliteli ve kesintisiz sismik veri elde edilmesi mümkün olmuştur.

Kara ve denizi sismik hatlarını birbirine bağlamak için geçiş zonu ekipmanlarının kullanılması yeterlidir. Ancak bu ekipmanlar özel tasarıma ve ileri teknolojiye sahip olmaları nedeniyle oldukça pahalıdır. Bu nedenle her bölgede bulunmaları ve kullanılmaları mümkün olmamaktadır. Ayrıca geçiş zonu ekipmanlarının hazırlanması, taşınması ve operasyon sırasında kullanılması, konvansiyonel deniz sismiği yöntemlerine göre daha fazla zaman gerektirmektedir. Bunun

sonucunda da bu tür çalışmaların maliyeti önemli ölçüde artmaktadır. Deniz vibratörünün geliştirilmesi ve kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, denizde, ve geçiş bölgelerinde sismik veri toplama çalışmaları daha kolay ve uygulanabilir hale gelmiştir. Geleneksel kaynakların (sismik vibratörler, patlayıcılar ve hava tabancaları) kullanılmasının mümkün olmadığı veya çevresel nedenlerle tercih edilmediği veya açık deniz alanlarında, çevreye daha az zarar vermesi nedeniyle deniz vibratörleri önemi bir alternatif oluşturmaktadır. Ayrıca hem karada hem de denizde vibratör kullanılması durumunda kaynak fazlarının benzer olması, veri işleme (proses) aşamasını kolaylaştırmaktadır.

Geçiş zonunda toplanan sismik verilerin işlenmesi de özel bazı işlemler gerektirmektedir. Kara ve deniz ortamlarında farklı kaynak tiplerinin kullanılması nedeniyle, kaynak dalgacıklarının fazlarının eşitlenmesi ve veri uyumunun sağlanması gerekmektedir. Bu işlemler, kara ve deniz verilerinin tek bir bütün halinde değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma da, kara ve deniz verileri başarılı bir şekilde birleştirilmiştir. Yalnızca karada elde edilen veriler ile kara+deniz verilerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda elde edilen kesitler karşılaştırıldığında, sonuçların önemli ölçüde farklı olduğu görülmüştür. Bu çalışma sayesinde hem jeolojik yapıların sürekliliği daha net ortaya konulmuş hem de sismik veri kalitesinde belirgin bir artış sağlanmıştır. Bu uygulama sonucunda özellikle deniz kıyısındaki katlama sayısı artırılmıştır. Katlama sayısının düşük olduğu bölgelerde sismik veri kalitesi de düşüktü olduğundan, uygulanan bu yöntem sayesinde kıyı ve yakın çevresinde katlama sayısının artmasına bağlı olarak sismik kalite önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Böylece sismik seviyeler daha yorumlanabilir

hale gelmiş, sismik kesitlerin değerlendirilmesi kolaylaşmış ve jeolojik yapıların denize doğru devamlılığı daha sağlıklı biçimde takip edilebilir olmuştur.

Şekil 14 ve Şekil 15'te verilen kesitler incelendiğinde, gerek final kesitte gerekse migrasyon uygulanmış kesitte hibrid hattın kalitesinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle hattın kıyıya yakın kara bölümünde de belirgin bir kalite artışı gözlenmiştir. Böylece bu yöntem sayesinde yalnızca deniz altından veri elde edilmemiş, aynı zamanda kara kısmındaki sismik veri kalitesinin de iyileştirilmesi sağlanmıştır. Kıyı bölgesinde katlama sayısının artırılması sonucunda (Şekil 16), sismik veri kalitesinde belirgin bir artış meydana geldiği gözlenmiştir. Artan katlama sayısı sayesinde sinyal/gürültü oranı iyileşmiş, jeolojik seviyeler daha net görüntülenmiş ve kesitlerin yorumlanabilirliği önemli ölçüde artmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu test çalışmasında kullanılan saha verisinin kullanılmasına izin verdiği için ARAR Petrol A.Ş.'ye (Türkiye) teşekkür ederim. Aynı zamanda, makaleyi değerlendirip eleştirileriyle katkı koyan hakemlere ve editöre de teşekkürü borç bilirim.

KAYNAKLAR

- Aouad, A., Taylor, R., Millar, N., 2012. Seismic on the edge – a 3D transition zone seismic survey from concept to final volume, ASEG Extended Abstracts:1, 1-5,
- Atlı, A., 2010. Yer altı suyu (YAS) kirlenme potansiyelinin, CBS tabanlı drastic modeli kullanılarak belirlenmesi ve Erzin ovası YAS hassasiyet haritalarının geliştirilmesi, CU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 189 sayfa.

- BGP (Bureau of Geophysical Prospecting, Çin), 2025. <https://www.bgp.com.cn/bgpen/News/202005/eef997a813fb403c981f09ee7a27af57.shtml> 12 June 2025
- Brenders, A., J. Dellinger, C. Kanu, Q. Li, and S. Michell, 2018. The Wolfspär field trial: results from a low-frequency seismic survey designed for FWI: 88th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 1083–1087, <https://doi.org/10.1190/segam2018-2996201.1>.
- Carcione, J. M., Herman, G. C., & Ten Kroode, A.P.E., 2002. Seismic modelling. *Geophysics*, 67(4), 1304-1325.
- Clark, A., Trela, J., Potepa, P., Ziotkowski, S., Pavel, D., 2025. Developments in nodal acquisition in the transition zone and shallow water. *First Break*, Vol:43, 2-7.
- Dellinger, J., A. Ross, D. Meaux, A. Brenders, G. Gesoff, J. Etgen, J. Naranjo, G. Openshaw, M. Harper, 2016. Wolfspär, an “FWI-friendly” ultralow-frequency marine seismic source: 86th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 4891–4895, <https://doi.org/10.1190/segam2016-13762702.1>.
- DSİ, 1974. Dörtöl-Erzin ovası hidrojeolojik etüt raporu. DSİ Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve YAS Daire Başkanlığı, Ankara.
- Doyuran, V., 1982. Erzin ve Dörtöl ovalarının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, Ankara, C 25, 151-160.
- Fiore, V.D., Cuvuto, G., Punzo, M., Tarallo, D., Pelosi, N., Giordano, L., Alberico, I., Marsella, E., Mazzola, S., 2015. Joining up land and marine seismic data: Case study from Procida and Ventotene Islands (Tyrrhenian Sea, Italy), *Geophysics*, Vol. 80, No. 6; P. 153–166.
- GSI (Gelombang Seismic Indonesia), 2025. www.gelombangseismic.com, (Erişim Tarihi: 18.05.2025).
- Geofizyka Torun S.A. web sayfası, 2026, <https://www.geofizyka.pl/en/application-innovation-in-denmarks-coastal-transition-zone/> (Erişim Tarihi: 04.05.2026).
- Gürel, O., Kayıran, T., 2001. Denizde 2B_3B sismik veri toplama çalışmaları, Türkiye 14. Jeofizik Kurultayı ve Sergisi, Genişletilmiş Özetler Kitabı, 148-152.
- Gürel, O., 2024. 2.5 boyutlu sismik yansıma yöntemi kullanılarak 2 ve 3 boyutlu (2B ve 3B) veri toplama yaklaşımı: Hatay örnek çalışması, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, *Yerbilimleri*, 2024, 45 (2), 207-226, 1443632.
- Hadidi, M.T., Nehaid, H.A., Abousetta, A., Yahia, A., Soroka, W.L., 2008. Challenges of seismic processing of transition-zone data: comparison of three state-of-the-art approaches, Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference held in Abu Dhabi, UAE.
- Hammad, H.I., Franco, V.C., 2022. Imaging two-dimensional transition zone seismic data in geologically complex areas using a highly heterogeneous data acquisition configuration, SEG Technical Program Expanded, Second International Meeting for Applied Geoscience & Energy, pp:3374 – 3378.
- Hart Energy, 2025. <https://www.hartenergy.com/technology/seismic/> (Erişim Tarihi: 19.06.2025).

- Karslı, H., 2016. Mühendislik amaçlı problemlerin çözümünde sismik yansıma yöntemi: veri toplama- işleme-yorumlama, JFMO yayınları, 200 sayfa.
- Kozlu, H., 1997. Doğu Akdeniz Bölgesinde Yer Alan Neojen Basenlerinin (İskenderun, Misis-Andırın) Tektono-Stratigrafi Birimleri ve Bunların Tektonik Gelişimi.. ÇÜ Doktora Tezi, Adana.
- Krishna, C.V.G., Murthy, D.N., Ramesh, D., 2013. 3D seismic Survey in transition zone in Krishna-Godavari basin, 10th Biennial International Conference & Exposition, 1-6.
- Lauhoff, T.A., Sheriff, R.E., 1979. Transitional Zone Geophysical Surveys - Their Problems And Solutions, Offshore Technology Conference, Houston, Texas, <https://doi.org/10.4043/3622-MS>.
- Laws, R.M.; Halliday, D., Hopperstad, J.F., Gerez, D., Supawala, M., Özbek, A., Murray, T., Kragh, E., 2018. Marine vibrators: the new phase of seismic exploration, Geophysical Prospecting, Volume: 67, Issue: 6 , Pages 1443-1471 <https://doi.org/10.1111/1365-2478.12708>.
- Lecomte, I., Lavadera, P., Anell, I., Buckley, S., Schmid, D., & Heeremans, M., 2015. Ray-based seismic modelling of geologic models; understanding and analyzing seismic images efficiently. Interpretation (Tulsa), 3(4), SAC71-SAC89.
- Mahgoub, M., Hagiwara, H., Casson, G.A., Neves, F., Alkobaisi, A., Mesaabi, S., Bloushi, N., Khakimov, O., Frantisek, J., 2016. Transition zone 3D seismic surveys; Technical perceptions to overcome seismic processing challenges, Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, Abu Dhabi, UAE.
- MAPEG (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü), 2025. <https://mapeg.gov.tr/Uploads/PetrolHarita/4.07.01.2022%20Sismik%20Yoğunluk%20Haritası.pdf> (Erişim Tarihi:12.07.2025).
- MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Yerbilimleri Harita Görüntüleyici), 2024. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>, (Erişim Tarihi: 10.02.2024).
- Neill, E., Pessoa, M.E., Kean, A., 2002. Optimizing air gun arrays for shallow water and transition zone seismic acquisition, SEG Int'l Exposition and 72nd Annual Meeting, Salt Lake City, Utah.
- Offshore energy, 2025. www.offshore-energy.biz, (Erişim Tarihi: 18.05.2025).
- Ofoedu, K. C., 2022. Seismic data analysis of an onshore-offshore transition zone at Ramså Basin, Norway – a modelling study, University of Bergen, Department of Earth Science, Master Thesis in Earth Science, pages: 153.
- Olgemann, W., Seitz, R., 2005. 3D transition zone seismic in Egypt and Western Africa, 2nd Workshop "Seabed Acoustics", Rostock. 25-44.
- OGF (Ocean Geo-Frontier), 2025. <https://www.ocean-geo.com/business/dataacquisition>, (Erişim Tarihi 12.06.2025).
- Orji, O. C., Nagel, M. O., Söllner, W., Asgedom, E. G., Trætten, Q., Voldsbekk, R., 2020. The music of marine seismic: A marine vibrator system based on folded surfaces, The Leading Edge, Volume 39, Issue 4, 254-263. <https://doi.org/10.1190/tle39040254.1>.
- Rietsch, E., 1977. Computerized analysis of vibroseis signal similarity: Geophysical

- Prospecting, 25, no. 3, 541–552, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1977.tb01186.x>.
- Roberts, S., FitzPatrick, J.P., 2016. Planning and operating a transition zone 2D seismic survey on lake Tanganyika, AAPG/SEG International Conference & Exhibition, Melbourne, Australia,
- SAExploration, 2025. <https://saexploration.com/marinetransition-zone/#bwg9/90>, (Erişim Tarihi: 12.07.2025).
- Sakallıoğlu, Y., Gürel, O., Başar, H. S., 2012. Vibrosismik kitabı. Altan Özyurt Matbaacılık Ltd.Şti. Ankara, 396 sayfa.
- Sercel web sayfası, 2025. www.sercel.com, (Erişim Tarihi :18.05.2025).
- Sheriff, R.E., Palmer, L., Reaves, H., 1980. Transition-zone seismic surveys in Southeast Asia. 9th Annual Convention Proceedings, Indonesian Petroleum Association.
- Smartsolo, 2025. www.smartsolosci.com, (Erişim Tarihi :18.05.2025).
- Synterra Technologies, 2025. <https://www.synterratech.com>, (Erişim Tarihi:18.05.2025).
- Teledyne Marine, 2025. <https://www.video.teledynemarine.com/video/19187724/marine-seismic-vibrator>, (Erişim Tarihi: 19.06.2025).
- TPAO (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı), 2025. www.tpao.gov.tr, (Erişim Tarihi: 18.05.2025).
- Wyman, L., Ahmad, K., 2013. Transition Zone Seismic Acquisition on the Alaska North Slope, Simpson Lagoon. SPE Arctic and Extreme Environments Technical Conference and Exhibition, Moscow, Russia.
- Ye, Z., Chen, Y., Chen, S., Hu, J., Li, Y., Cambios, G., Mahgoub, M., Massip, T., 2024. A case study of transition-zone 3D seismic processing in Abu Dhabi UAE, Fourth EAGE Association of Geoscientists & Engineers,1-3.
- Yi, L., Haolin, C., Xiaodong, L., Hongjun, Z., Xiangdong, Z., 2016. Seismic acquisition method in complex urban and TZ - A case study, SPG/SEG Beijing 2016 International Geophysical Conference, 291-296.
- Yüce, G., 2001, Hatay- Erzin (Yeşilkent) ovası ve Burnaz kaynağının hidrojeolojik özellikleri, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 25 (2), 21-46.
- Zappalá, S., Malehmir, A., Papadopoulou, M., Gregersen, U., Funck, T., Clausen, O.R., Nørmark, E., 2024. Combined onshore and offshore wide-scale seismic data acquisition and imaging for carbon capture and storage exploration in Havnsø, Denmark, Case History, Geophysics, Vol. 89, No. 4; P. B257–B272, DOI:10.1190/geo2023-0503.1