

UYGULAMALI YERBİLİMLERİ DERGİSİ

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ YAYIN ORGANIDIR

CİLT: 17, SAYI: 2 ARALIK 2018

VOL17, NO: 2 DECEMBER 2018

Sanayileşen Alanlarda Tarım Topraklarını Koruma Güçlüğü: Trakya Bölge Planlama Deneyimi (Araştırma Makalesi)

Difficulties for Protection of Agricultural Lands in Industrially Developing Areas: A Planning Experience in Thrace Region (Research Article)

Özdemir SÖNMEZ

101

Jeofizik Yöntemlerle Heyelan Araştırmaları (Araştırma Makalesi)

Geophysical Methods for the Investigation of Landslides (Research Article)

Kenan GELİŞLİ

115

Batı Karadeniz Tuna Bölgesinde Denizde Toplanan 2b Sismik Hattın Veri İşlem Aşamasında De-Ghost Uygulamasının Migrasyona Etkisi (Araştırma Makalesi)

The Effect of De-Ghost Application on The Migration in the Process Stage of 2D Seismic Line at the Sea in Tuna Region of West Blacksea (Research Article)

Kutluay SELÇUK

127

Deniz Sismiğinde Hayalet Yansımaların Giderilmesinin Sismik İmaja Etkisi (Araştırma Makalesi)

The Effect of Removal of Ghost Reflections on Seismic Data in Marine Seismic (Research Article)

Mustafa Kemal ÇANAKÇI

155

Diyarbakır Sahasında Hidrokarbon Araştırmasında Üç Boyutlu Vibrosismik Yöntemi ile Veri Toplama ve Kaynak Parametresinin Seçimi (Araştırma Makalesi)

Selection of Data Acquisition and Source Parameters in Diyarbakır Area for Hydrocarbon Exploration by Using Three Dimensional Vibroseismic Method (Research Article)

Ahmet Yavuz TOKSOY

173

Marmara Bölgesi Depremleri İçin Mw-Ml Dönüşüm Bağlantısı (Araştırma Makalesi)

The Relationship of MW-ML Conversion for the Earthquakes of the Marmara Region (Research Article)

Yunus Emre ŞAHİN, T. Serkan IRMAK, Hamdullah LİVAOĞLU, Evrim YAVUZ

193

Zemin Hakim Periyodu ve Bina Yüksekliği Rezonans İlişkisi (Araştırma Makalesi)

Soil Dominant Period and Resonance Relation of Building Height (Research Article)

Ali KEÇELİ, Mustafa CEVHER

203



KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ





UYGULAMALI YERBİLİMLERİ DERGİSİ

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ YAYIN ORGANIDIR

SAHİBİ Kocaeli Üniversitesi Adına Rektör Prof. Dr. Sadettin HÜLAGÜ YAYIN KURULU Cengiz KURTULUŞ Fadime SERTÇELİK İbrahim SERTÇELİK Ahmet KARAKAŞ Serpil GERDAN DANIŞMA KURULU Aysan GÜRER Emin CANDANSAYAR Erkan TOPAL Feyzi GÜRER Günay BEYHAN Ivan GİNOV İbrahim KARA Murat UTKUCU Nilgün SAYIL Nuri DOLMAZ Sefer ÖLÇEN U. Emin ULUGERGERLİ EDITÖR Cengiz KURTULUŞ İLETİŞİM ADRESİ Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi Müh. Fak. Jeofizik Müh. Bölümü 41380 İZMİT / KOCAELİ Tel: 0.262 303 31 04 Tel: 0.542 217 19 69 e-mail: cengizk@kocaeli.edu.tr YILDA İKİ KEZ YAYIMLANIR Published two issues a year	CİLT: 17, SAYI: 2 ARALIK 2018 VOL17, NO: 2 DECEMBER 2018 Sanayileşen Alanlarda Tarım Topraklarını Koruma Güçlüğü: Trakya Bölge Planlama Deneyimi (Araştırma Makalesi) Difficulties for Protection of Agricultural Lands in Industrially Developing Areas: A Planning Experience in Thrace Region (Research Article) Özdemir SÖNMEZ 101 <hr/> Jeofizik Yöntemlerle Heyelan Araştırmaları (Araştırma Makalesi) Geophysical Methods for the Investigation of Landslides (Research Article) Kenan GELİŞLİ 115 <hr/> Batı Karadeniz Tuna Bölgesinde Denizde Toplanan 2b Sismik Hattın Veri İşlem Aşamasında De-Ghost Uygulamasının Migrasyona Etkisi (Araştırma Makalesi) The Effect of De-Ghost Application on The Migration in the Process Stage of 2D Seismic Line at the Sea in Tuna Region of West Blacksea (Research Article) Kutluay SELÇUK 127 <hr/> Deniz Sismiğinde Hayalet Yansımaların Giderilmesinin Sismik İmajı Etkisi (Araştırma Makalesi) The Effect of Removal of Ghost Reflections on Seismic Data in Marine Seismic (Research Article) Mustafa Kemal ÇANAKÇI 155 <hr/> Diyarbakır Sahasında Hidrokarbon Araştırmasında Üç Boyutlu Vibrosismik Yöntemi ile Veri Toplama ve Kaynak Parametresinin Seçimi (Araştırma Makalesi) Selection of Data Acquisition and Source Parameters in Diyarbakır Area for Hydrocarbon Exploration by Using Three Dimensional Vibroseismic Method (Research Article) Ahmet Yavuz TOKSOY 173 <hr/> Marmara Bölgesi Depremleri İçin Mw-Ml Dönüşüm Bağlantısı (Araştırma Makalesi) The Relationship of MW-ML Conversion for the Earthquakes of the Marmara Region (Research Article) Yunus Emre ŞAHİN, T. Serkan IRMAK, Hamdullah LİVAOĞLU, Evrim YAVUZ 193 <hr/> Zemin Hakim Periyodu ve Bina Yüksekliği Rezonans İlişkisi (Araştırma Makalesi) Soil Dominant Period and Resonance Relation of Building Height (Research Article) Ali KEÇELİ, Mustafa CEVHER 203
---	---

Araştırma Makalesi

**SANAYİLEŞEN ALANLARDA TARIM TOPRAKLARINI KORUMA GÜÇLÜĞÜ:
TRAKYA BÖLGE PLANLAMA DENEYİMİ**

**Difficulties for Protection of Agricultural Lands in Industrially Developing Areas: A
Planning Experience in Thrace Region**

Özdemir SÖNMEZ*¹

ÖZ

Geçtiğimiz yarım yüzyılda Türkiye’de kırsal nüfus hızla düşerken kentsel nüfus artmıştır. Bu süreçte, doğal kaynak olan tarımsal alanların önemli bir bölümü niteliğini kaybetmiş, kişi başına düşen tarım toprağı yaklaşık 7500 m² iken, yarı yarıya azalarak 3400 m²/kişi düzeyine gerilemiştir. Diğer yandan, birçok çevre düzeni planında “tarım alanlarının korunması” temel ilke olarak benimsenmiş olmasına rağmen pek başarılı olunamamıştır. Bu planlardan biri de, Trakya Bölgesi için, Çevre Bakanlığı, Trakya Kalkınma Birliği (TRAKAB) ve İstanbul Metropolitan Planlama Merkezi (İMP) işbirliği ile yapılan “Trakya Alt Bölgesi Çevre Düzeni Planı”dır. Önemli tarım topraklarına sahip olan bölgede, sanayinin ve kentsel yapılaşmanın tarım toprakları aleyhine yayılmasının engellenmesini amaçlayan bu plan, 2009 yılında onaylanmıştır. Buna rağmen, mutlak tarım topraklarının yoğunlukta olduğu birçok bölgede olduğu gibi burada da tarım topraklarının yapılaşmalara açılması önlenememiştir.

Bu çalışmada, yukarıda sözü edilen plan çerçevesinde, Trakya bölgesinde tarımsal alanlarda yaşanan değişim süreci irdelenerek, kuramsal arka planı ile birlikte değerlendirilmekte, söz konusu plan kapsamında, sanayi kaynaklı kirliliğin önlenmesi ve tarımsal potansiyelin korunarak geliştirilmesine dönük geliştirilen/belirlenen yöntem ve stratejiler tartışılmaktadır. Ayrıca birçok plan çalışmasında tarımsal alanların korunması ve geliştirilmesine dönük kararların uygulanamama nedenleri analiz edilerek nedenleri saptanmaya çalışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Planlama, Sanayi gelişimi, Serbest pazar, Tarımsal toprakların korunması

ABSTRACT

Agricultural land in Turkey has been diminishing more and more under the pressure of rapid urbanisation since 1950. The most important reason for it is migration of labour force from rural areas to cities where manufacturing and service industries densely clustered, followed by the rapid building induced by industrialization and tourism in regions where agricultural land supply is abundant, such as Thrace, Aegean and Mediterranean regions. Given that the same incident has been experienced by many developing or less developed countries besides Turkey, the fact that the agricultural land has been rapidly diminishing across the world will inevitably too much greater multi-dimensional problems in the future.

Despite the decisions formulated under many regional/local plans in accordance with the requirements provided in the Land Protection Law (Law No. 5402) in order to protect the agricultural lands since 2004, no success could have been achieved. Especially in the areas where industrial, residential and tourism functions have been developing rapidly, it is ever becoming impossible to protect, and ensure the agricultural use of, agricultural land despite the law and the plan decisions.

One of the regions in Turkey where significant part of the land is agricultural land that experiences this problem is Thrace. This paper analyses the change in the agricultural lands in the Thrace region, defines it along with the theoretical background, and discusses such strategies aiming prevention of pollution induced by industrialisation and development of the agricultural potential in the region. Meanwhile, questioning the issue that while in some societies, where free market economics is valid, the use of land can be regulated on the basis of public interest, in some societies this cannot be achieved.

Keywords: Planning, Industrial development, Free market, Protection of Agricultural land

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Küçükyalı, MALTEPE-İSTANBUL

*İlgili yazar / Corresponding author: ozd.sonmez@gmail.com

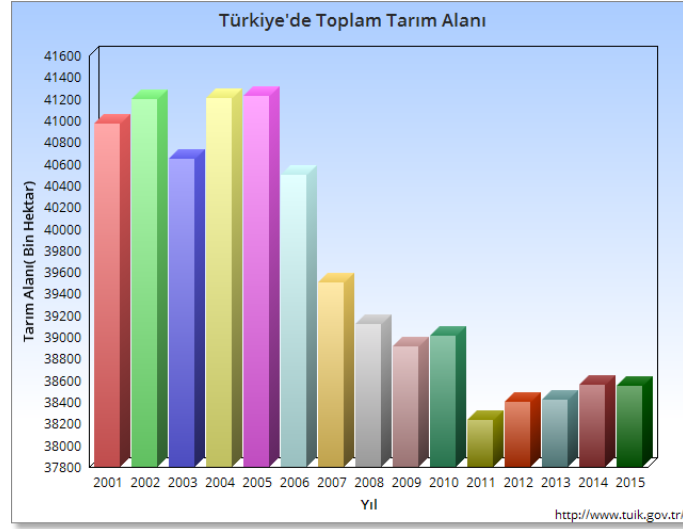
Gönderim Tarihi: 14.08.2018

Kabul Tarihi: 11.09.2018

GİRİŞ

Türkiye tarım toprakları kıt kaynak olmasına rağmen 1950 yılından bu yana hızlı kentleşmenin baskısı altında azalmaktadır. O yıllarda Türkiye’de kişi başına düşen tarım toprağı alanı yaklaşık 7500 m² iken bugün yarıya yarı azalarak 3400 m²/kişi düzeyine gerilemiştir (<http://www.arkitera.com/>). TÜİK verilerine göre de tarım toprakları son 15 yılda % 10 oranında azalmıştır (Şekil 1). Akcı (vd.)’ya göre 1989-2010 yılları arasında toplam 827 bin hektar tarım arazisi başta sanayi olmak üzere, konut, ticaret, turizm, ulaşım vb. kentsel kullanım amaçlı tarım dışı faaliyet alanlarında kullanımına izin verilmiştir (Akcı, ve diğ, 2016). Tarım sektörünün Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) içindeki payı da önemli oranda düşmektedir. Bu pay 1980 yılında % 24,4 iken, 1990 yılında % 16,4’e, 2000 yılında % 12,2’ye, 2010 yılında % 9,4’e ve 2015 yılında % 9’a gerilemiştir. Sektörde çalışan işgücü açısından da benzer şekilde düşüşler mevcuttur. Ülke bütününde iş gücünün sektörel dağılımına göre 2010 yılında tarımın payı % 25,2 düzeyinden, 2012 yılında yüzde 24,6’ya, 2015 yılında ise 20,6’ya düşmüştür (<http://www.uis.gov.tr>).

Türkiye’de tarım toprakları ve çalışan sayısındaki azalmanın en önemli nedenlerinden biri, işgücünün kırsal alanlardan sanayi ve hizmet sektörlerinin yoğun olduğu kentlere göç etmesidir. Diğer önemli bir nedeni ise Trakya, Ege, Akdeniz gibi mutlak tarım topraklarının yüksek oranda bulunduğu bölgelerde, sanayileşme ve turizme bağlı olarak yaşanan hızlı yapılaşma olgusudur. Bu olgunun Türkiye ile beraber bir çok gelişmekte olan ya da az gelişmiş ülkelerde de yaşandığı göz önüne alındığında, tarım topraklarının dünya genelinde hızla azalmaya devam ettiği gerçeği, gelecekte çok daha büyük boyutlu sorunlara yol açacaktır.



Şekil 1. Türkiye’de Tarım Alanları, 2001-2015 (tuik.gov.tr)

Figure 1. Agricultural Lands in Turkey, 2001-2015 (tuik.gov.tr)

Ülkemizde 2004 yılından buyana 5403 sayılı toprak koruma kanununun da koşul kabulleri çerçevesinde bölgesel/yerel ölçekte yapılan birçok planda tarım alanlarının korunması yönünde kararlar üretilmesine rağmen başarılı olunamamaktadır. Özellikle sanayi, konut, turizm gibi işlevlerin hızlı gelişim gösterdiği alanlarda, yasaya ve plan kararlarına rağmen, tarım topraklarının korunarak tarımsal amaçlı kullanımını sağlamak olanaksız hale gelmektedir. Bu koşullar altında, yapılaşmaya konu olan tarımsal toprakların azalış sürecinin devam edeceği gerçeği, giderek artan bir risk olma özelliğini koruyacaktır. Bu nedenle planlamada, özellikle bölgesel ölçekli planlamalarda, tarım topraklarının korunması ile birlikte, tarımsal üretimin özendirilerek üretici için ekonomik açıdan kazançlı hale getirilme yöntemlerinin geliştirilmesi, sürdürülebilir planlamanın vazgeçilmez bir bileşeni olacaktır.

Türkiye’de bu sorunu yaşayan ve önemli bir bölümü mutlak tarım topraklarından oluşan bölgelerden biri Trakya’dır. Yaklaşık 2 milyon hektarlık bir alana sahip bulunan Trakya bölgesinin % 64’ü tarım topraklarından oluşmaktadır (ÇŞB, 2009a). Bölgenin, doğusunda İstanbul’a komşu olması, İstanbul sanayinin etkin yayılma potansiyeli için bir hedef haline gelmesine, böylece Çorlu-Çerkezköy-Lüleburgaz aksında yayılmasına neden olmuştur. Bu paralelde gelişen sanayi fonksiyonu ve nüfusun yapılaşma amacıyla talep ettiği toprak fiyatları artmış, beraberinde tarım topraklarının hızla yapılaşmaya açılması sonucunu doğurmuştur. Böylece bölgenin doğusu sanayi eksenli olarak hızla kentleşirken, batı yönündeki (kırsal) nüfus, sanayi bölgesine yakın yerleşmelere göç etmiş ve bölge içinde önemli nüfus ve gelir dağılımı farklılıkları yaratmıştır. Diğer yandan, bölgede tarım sektöründeki iş gücü sayısı ve oranı da azalma eğilimindedir.

Bu doğrultuda, Çevre Bakanlığı, Trakya Kalkınma Birliği (TRAKAB) ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) işbirliği ile Trakya alt bölgesi için çevre düzeni planı yapılmış ve 2009 yılında onaylanmıştır. Planda, “sanayinin ve kentsel yapılaşmanın tarım toprakları aleyhine yayılmasının engellenmesi, temel amaçlardan biri olarak belirlenmiştir.

Ülkenin birçok (2.düzye) bölgesinde yukarıda belirtilen plan benzeri planlar yapılmış yada yapılmaya devam etmektedir. Bu çerçevede iki soru karşımıza çıkmaktadır. Birincisi, tüm bu planlara rağmen tarımsal alanlar korunabilmekte midir? İkincisi, eğer korunamıyorsa “neden korunamıyor” sorusudur.

Bu çalışmada, Trakya çevre düzeni planlaması deneyiminden yola çıkarak elde edilen tespitler, tarım topraklarının korunmasına dönük kararlar ve stratejiler analiz edilmekte ve söz konusu soruların yanıtı aranmaktadır. Ayrıca planlama yaklaşımı ile sürecin neden-sonuç bağlamında aktarılması, gelecekte bu tür çalışmalara katkı sağlaması açısından yararlı olacaktır.

KURAMSAL ÇERÇEVE

Sorunun ortaya çıkış eksenini olan sanayileşme döneminden buyana, konuya ilişkin birçok kuramsal çalışma yapılmıştır. Bunlardan Biggs (1977), kırsal/tarımsal alanlardaki değişimleri genel sistem kuramı temelinde açıklamaya çalışırken, Epstein (1962), kırsal alanlarda yaşanan değişimle, ekonomik ve toplumsal değişim arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Diğer yandan, Marksist düşünürler, kapitalizmin tarımsal üretim biçimlerini bünyesinde erittiği savını ileri sürerken, bazı neo Marksist düşünürler ise bunun her zaman geçerli olmadığını, tersine, kapitalizmin farklı üretim biçimlerinin kendisine eklenmesine olanak sağladığını savunmuşlardır (Epstein, 1962). Her iki yaklaşımda da toprak “rant” a konu olan bir üretim faktörüdür ve rant toprağın fiyatını belirlemektedir.

Klasik yaklaşımda rant, toprağın verimliliğine dayandırılmaktadır. Bu yaklaşımın öncülerinden David Ricardo’ya (1997) göre bir toprağın getiri miktarını o toprağın verimlilik düzeyi belirlerken, toprakların birbirinden farklı özelliklere sahip olması ve verim farklılıkları da rantı yaratır (Akın, 2007:13-15).

Smith, Ricardo ve Marx gibi düşünürlere göre, toprak rantı tarımdaki kapitalist ilişkilerin bir yansıması olarak ortaya çıkmıştır. Rant, genellikle **mutlak rant** ve **farklılık rantı** olarak iki farklı türde ele alınarak incelenmektedir. Toprağın sınırlı/kıt olması nedeniyle ortaya çıkan rant “**mutlak rant**” veya “**kıtlık rantı**”, toprağın verimliliği yada konumundan kaynaklanan rant **farklılık rantı** kapsamında açıklanmaktadır (Aktan (2003:16) Marx bu rantı, verimli topraklarda üretilen ürünün miktarı, pazar fiyatı ve toprağı işleme tekelinden kaynaklanan fazla rant olarak açıklamaktadır (<https://vergidosyasi.com>).

Kapitalist yaklaşımlara göre, kıt kaynak olan toprağın kullanım biçimini ve değerini belirleyen temel faktör “**serbest piyasa**”dır. Serbest piyasa, “kişinin sahip olduğu mülkiyetini uygun gördüğü şartlarda başkasına devredebilmesi, kiralayabilmesi onu bir diğer mülkiyetle veya parayla değiştirebilmesi veya onu daha fazla üretim ve kar için elde tutabilmesi veya kullanabilmesi özgürlüğünü ifade eder” (<http://akademikmakale.blogspot.com.tr/>). Serbest piyasalarda bir mal veya hizmetin fiyatı arz ve talep koşullarına göre belirlenir. Marks’a göre, toprak için fiyatın oluşması aynı

zamanda “toprağın, toprak sahibine bir artı değer getirecek biçimde kullanma koşulları oluşuncaya kadar kullanım dışında tutulması” ile gerçekleşir. Bu **mutlak rant** ve mutlak rant toprağın veriminden bağımsız gelişir (Marx, 1978). Yapılaşmaya konu olan toprağın rantı verimlilik düzeyinden bağımsızlaşırken, yapılaşmaya konu işlev ve yapı yoğunluğu temel belirleyiciye dönüşür. Buna bağlı olarak kent çevresindeki tarımsal arazilerin değeri kent büyümesi ile devamlı olarak artar. Önce tarımsal kullanım değerine sahip olan arazide kentin yaklaşması ile oluşan beklenti, daha sonra bu alanın imar sınırları içine alınışı, yükselişe neden olan temel etmenleri oluşturur. Böylece toprağı tarım amaçlı elde tutmak değersizleşirken, mutlak rant amaçlı tutmak yada alıp satmak öz gerekçeye dönüşür.

Metodoloji

2009 yılında onaylanan “İstanbul Çevre Düzeni Planı” sonrası, coğrafi bütünlük, ulaşım aksları sürekliliği, yoğun ekonomik ilişkiler vb. nedenlerle, uyumlaştırma amaçlı olarak Trakya bölgesi için plan revizyonu gündeme gelmiş ve bu doğrultuda, Çevre Bakanlığı, Trakya Kalkınma Birliği (TRAKAB) ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi arasında bir protokol imzalanmıştır. Protokole göre bölge için bir çevre düzeni planı yapılmış ve 2011 yılında onaylanmıştır. Planın yapım sürecinde katılımın sağlanabilmesi açısından öncelikle İl belediyeleri, İl Özel İdareleri ve TRAKAB ile birlikte Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ’da plan yapımı ve gerekçeleri konusunda bilgilendirici toplantılar düzenlenmiştir. Böylece konuya ilgi gösteren tüm paydaşlara gerek süreç ve gerekse plan politikaları konusunda farkındalık yaratarak toplantı duyurularından haberdar olma dikkati/seçiciliği kazandırılmış ve böylece planlama çalışmalarına aktif katılımları sağlanabilmiştir. Paydaşların ilgi alanları çerçevesinde tanımladığı sorunlara ek olarak, bölge bütününe ilişkin sorunlar rakamlarla ve bütünsel olarak açıklanmış, buna ilişkin çözüm önerileri tartışmaya açılmıştır. Tüm bu toplantı ve çalıştaylarda paydaşların hemfikir olduğu en önemli konulardan biri “sanayinin ve kentsel yapılaşmanın tarım toprakları aleyhine yayılmasının engellenmesi, bölge genelinde ortaya çıkan sosyo-ekonomik gelişmişlik farklılıklarının giderilmesi” konusu olmuştur. Bu paralelde planda, yeni sanayi alanları ve tarım topraklarının yapılaşmaya açılmaması, çok odaklı (dengeli) gelişmenin sağlanması, nüfus kaybı yaşanan bölgelerde tarımsal gelişim potansiyelini destekleyen stratejiler geliştirilmesi, bu amaçla fiziksel ve ekonomik altyapının iyileştirilmesi gibi kararlar geliştirilmiştir. Özellikle Edirne ve Kırklareli bölgesindeki toplantılarda, tarımsal üretim ekonomisini geliştirerek toprakların korunmasına yönelik stratejiler oluşturulması ve sanayinin yarattığı kirliliğinin önüne geçilmesi odaklı konular öne çıkmıştır. Bu süreçte, köyleri de kapsayan geniş bir alanda iletişim ve erişim kabiliyetine sahip ilçe ve belde belediyeleri, gerek yereldeki sorunların ve gerekse çözüme dönük önerilerin aktarılması yönünde etkin rol üstlenmişlerdir.

TRAKYA BÖLGESİNDE YAPILAŞMA SÜRECİ VE SORUNUN TANIMI

Trakya Bölgesi, ülkenin kuzey batı ucunda, Avrupa kıtası içinde ve geniş tarım topraklarından oluşan bir alandır. Tablo 1’ de görüldüğü üzere 1.88 milyon hektarlık bu alanın % 63’ü tarım topraklarından oluşur. Toplam 1,18 milyon hektar olan tarım topraklarının % 37’ si Edirne, %37’si Tekirdağ ve % 26’sı Kırklareli il sınırları içinde bulunmaktadır.

Çizelge 1. Trakya Alt Bölgesi Tarım Alanları (ÇŞB (2009a)

Table 1. Agricultural Land in Trace Region (ÇŞB (2009a)

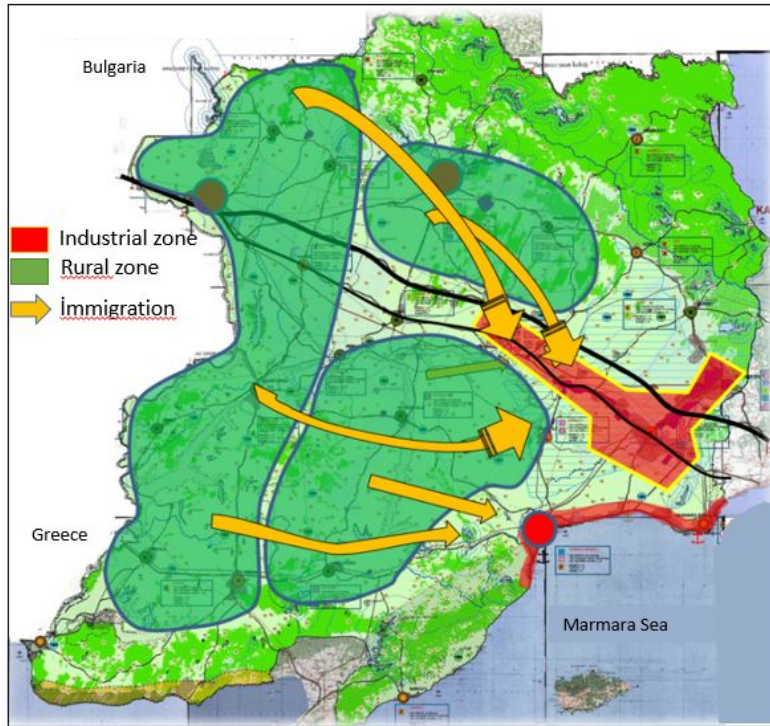
Tarım Alanları Toplamı (ha)	Tarım Dışı Alanlar Toplamı (ha)	Trakya Alt Bölgesi Toplamı (ha)
1.185.099 (% 63)	695.893 (% 37)	1.880.992 (% 100)

Trakya Bölgesi doğusunda hızlı büyüme ve yapılaşma, Çerkezköy’ün kalkınmada öncelikli yöreler kapsamına alınarak 1972 yılında uygulanan Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi (ÇOSB) kararı ile başlamıştır. Bu kararın ardından bölge, İstanbul Metropolü’ne yakınlığı, ulaşım olanakları, ucuz arsa temini gibi faktörlerin de etkisiyle sanayiler için oldukça çekici bir hale gelmiş ve Çerkezköy-Çorlu-Babaeski aksları boyunca hızla yayılmıştır. Böylece, bölgedeki mekânsal değişim süreci artarak

günümüze kadar devam etmiştir. 1980’li yıllardan buyana hızlanarak devam eden bu süreç, bir yandan idari yapılanmayı değiştirerek birçok yeni belediye birimleri kurulmasına yol açarken, oluşan yeni belediyeler, yaptıkları planlarla tarım toprakları üstünde yapılaşan sanayi ve konut alanlarının artmasına neden olmuştur.

Nüfus ve yapılaşma, öncelikle bölgenin doğusunda bulunan Çerkezköy-Çorlu-Lüleburgaz üçgeninde (Şekil 2) yaşanırken, kırsal yaşamın ve tarımsal işgücünün ağırlıklı olduğu kuzey ve batısındaki yerleşmeler nüfus kaybetmeye, önemli bir kısmı tarım sektöründe çalışan nüfus olmak üzere, sanayinin yoğunlaştığı alana göç etmeye başlamıştır.

Bölgede gerek sanayinin ve gerekse nüfusun yarattığı arsa talebine paralel oluşan “toprak rantı” birçok tarım toprağının planlı/plansız yapılaşmaya açılmasını önleyememiştir. Böylece Çorlu-Çerkezköy-Lüleburgaz aksı (şekil 2’de kırmızı renk ile belirtilen alanlar) sanayi ve konut fonksiyonu ağırlıklı yapılaşırken, aynı süreçte çoğunluğu İstanbul metropolü nüfusu kaynaklı ikinci konut (yazlık) talebiyle kıyı alanları yapılaşma sürecine girmiştir (Sönmez, 2015). Sorunu çözmeye dönük 2000-2004 yılları arasında tüm bölgeyi kapsayan bir plan yapılmış, fakat tarımsal alanlarda devam etmekte olan yapılaşmayı önleyememiştir.



Şekil 2.-Trakya alt bölgesi yapılaşmanın yoğunlaştığı alanlar (ÇŞB, 2009a)

Figure 2. Areas where building development concentrated in the sub-region of Thrace (ÇŞB, 2009a)

Tarım Topraklarının Korunmasına Yönelik Hukuksal Yapı

Ülkemizde 2005 yılına kadar tarım topraklarının korunması yönünde etkili ve kapsamlı bir kanun yapılmamıştır. 1985 yılında yapılan 3202 Sayılı kanunda, Köy Hizmetleri Kurumu'nun görevlerini tanımlayan maddeler içinde “Tarım alanlarının gayesine uygun bir şekilde kullanılmasını sağlamak, denetlemek ve bu konu ile ilgili diğer kuruluşlarla işbirliği yapmak” (T.C. Resmi Gazete, 1985) şeklinde bir hüküm olmakla birlikte, bunun nasıl yapılacağı, tarım alanlarını korumak üzere ne tür

önlemler olduğu hakkında hiçbir açıklama getirilmemiştir. Tarım topraklarının korunmasına dönük önemli olabilecek ilk yasal düzenleme dönemin Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı tarafından yapılan 11.03.1989 tarih, 20105 sayılı resmi gazetede yayınlanan ‘*Tarım Alanlarının Tarım Dışı Gaye İle Kullanılmasına Dair Yönetmelik*’tir (Sezgin ve Varol, 2012). Bu yönetmelik ilk olarak imar planlarına atıfta bulunarak, tarım alanlarının farklı amaçlar için planlanması durumunda, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü’nden izin alınması şartını getirmiştir.² Diğer yandan, bu yönetmeliğin 8.maddesinde konut, eğitim, sağlık, sanayi, akaryakıt istasyonları, alışveriş merkezi, turizm amaçlı tesisler gibi nerdeyse tüm kentsel kullanımlar için izin verilebileceği belirtildiğinden, tarım topraklarının farklı amaçlarla kullanımında pek fazla önleyici olamamıştır. Bu konuda en etkin yasal düzenleme 03.07.2005 tarihinde yürürlüğe giren “5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu”dur. Bu Kanun’un 1. ve 2. Maddesinde şöyledir:

Madde 1- Amaç; “Toprağın doğal veya yapay yollarla kaybını ve niteliklerini yitirmesini engelleyerek korunmasını, geliştirilmesini ve çevre öncelikli ‘sürdürülebilir kalkınma’ ilkesine uygun olarak, plânlı arazi kullanımını sağlayacak usul ve esasları belirlemektir”.

Madde 2- Kapsam; “Bu Kanun; arazi ve toprak kaynaklarının bilimsel esaslara uygun olarak belirlenmesi, sınıflandırılması, arazi kullanım planlarının hazırlanması, koruma ve geliştirme sürecinde toplumsal, ekonomik ve çevresel boyutlarının katılımcı yöntemlerle değerlendirilmesi, amaç dışı ve yanlış kullanımların önlenmesi, korumayı sağlayacak yöntemlerin oluşturulmasına ilişkin sorumluluk, görev ve yetkilerin tanımlanması ile ilgili usul ve esasları kapsar” (T.C. Resmi Gazete, 2005).

Ayrıca 3402 sayılı Kadastro Kanunu’nun 14. Maddesi’nin ikinci fıkrasında; “*sulu veya kuru arazi ayrımı, Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu hükümlerine göre yapılır*” hükmü mevcuttur. Buna ek olarak, 3194 sayılı İmar Kanunu’nun 8. Maddesi’nin birinci fıkrasına; “*(c) Tarım arazileri; Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu’nda belirtilen izinler alınmadan tarımsal amaç dışında kullanılmak üzere planlanamaz*” hükmü eklenmiştir.

Diğer yandan, 5403 sayılı Toprak koruma kanunu 13.maddesinde “*Bakanlıklarca kamu yararı kararı alınmış plân ve yatırımlar*”, ifadesi eklenerek, birçok bakanlığın tarım alanları üzerinde yapmak istediği yeni işlevlerin yapılaşmasına olanak sağlanmaktadır. Buna ek olarak aynı kanuna, “*11/10/2004 tarihinden önce, gerekli izinler alınmadan tarım dışı amaçlı kullanıma açılmış bulunan arazilerin tarımsal bütünlüğü bozmuyor ise istenilen amaçla kullanımı için, bu Kanunun yayımı tarihinden itibaren bir yıl içerisinde Bakanlığa başvurulması, hazırlanacak toprak koruma projesine uyulması ve tarım dışı kullanılan tarım arazilerinin her metre karesi için beş Yeni Türk Lirası ödenmesi şartıyla izin verilir. Tarım arazisi vasfından çıkarılan araziler, ilgili kuruluşlarca başvuru sahibinin isteği doğrultusunda vasfını değiştirir*” şeklinde geçici bir madde eklenerek birçok tarım alanı üzerinde izinsiz yapılan sanayi alanlarının yasallaştırılmasına olanak sağlanmıştır (Sönmez, 2015).

Bölgede Planlama Eylemleri

Tüm bu gelişmeler karşısında bölgesel ölçekli gelişme süreçlerini kontrol etmek ve doğal değerleri koruyabilmek amaçlı ilk bölgesel ölçekli plan 2000-2004 yılları arasında dönemin Bayındırlık Bakanlığı tarafından Trakya Üniversitesi’ne hazırlanmış ve 2004’de onaylanmıştır.

Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ’ı kapsayan 1/100.000 bu plan aynı zamanda 8 adet alt bölge tanımlamış ve bu alt bölgeler temelinde 1/25.000 ölçekli planların yapılmasını öngörmüştür. Alt bölgelerin içinde,

² Madde 4 — Şehir imar planları, mevzii imar planları ve bunların eki imar planları ve yerleşme alanları ile özel kanunlar kapsamı dışında kalan alanlardaki her türlü arazinin tarım dışı maksatlı faaliyetlere tahsisi Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğünün iznine tabidir. Bu Yönetmeliğin yürürlük tarihinden önce tasdik edilmiş olan Çevre Düzeni Planları, Bölge Planları ve Nazım İmar Planlarında "Tarım Alanları" olarak gösterilen alanların başka maksatlarla kullanılması için yapılacak plan değişikliklerinde de Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğünün muvafakati alınır.

sanayi yapılaşması nedeniyle öncelikli olanlardan, **Çorlu-Çerkezköy-Muratlı-Lüleburgaz Planlama Bölgesi** için bakanlık tarafından 1/25.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı yapılmıştır. Bu plan Çorlu-Çerkezköy-Büyükkarıştıran hattı boyunca planlı yada plansız gelişen sanayi ve konut alanlarını yasallaştırarak kontrol altına almayı hedeflemiştir.

Buna karşın, 2006 yılına kadar sanayi yapılaşması etki alanı içinde bulunan yerel yönetimler üst ölçek planlardan bağımsız imar planları ve revizyonlar yapmaya devam etmiş, özellikle Tekirdağ ili, ilçe ve beldelerinde yapılan imar planları ile yaklaşık 80.000 ha alan ve 4 milyon nüfus öngörülmüştür (ÇŞB, 2009a: s.4). Bu gelişmeler karşısında Çevre Düzeni Planını yeniden yapmak ve bölgede yapılaşmayı kontrol etmek üzere TRAKAB, Çevre Bakanlığı ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi arasında düzenlenen yeni bir protokol ile İstanbul Metropolitan Planlama Merkezi (İMP) görevlendirilmiştir.

Trakya Alt Bölgesi 1/100.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı

Plan çalışmasına başlarken, tarımsal üretimin temel yapıtaşlarını oluşturan yerel halkın ve üreticilerin katılımının sağlanması temel öncelik olarak belirlenmiştir. Bu amaçla, öncelikle duyurular ve bilgilendirme toplantıları yapılmış, ardından planın her kademesi çeşitli platformlarda tartışılarak geniş bir katılım mekanizması oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla Tekirdağ, Kırklareli, Edirne ve 18 ilçe merkezinde 95 halk toplantısı, Tekirdağ, Edirne, Kırklareli il genel meclisi üyeleri ve 3 il özel idaresi teknik elamanları ile 34 çalışma toplantısı, bölgedeki 46 ilçe ve belde belediye meclis üyeleri ve teknik elemanları ile 185 olmak üzere toplam 314 toplantı gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte bölgesel ve yerel sorunlar tartışılarak öncelikler belirlenmeye çalışılmış, çözüme dönük seçenekler ve kararlar bu çerçevede oluşturulmuştur.

Yaklaşık dört yıl süren bu çalışmada, arazi kullanım, tarım alanları, orman alanları, sit alanları vb. tüm alanlar yeniden tespit edilerek sayısal ortamda haritalanmıştır. Ayrıca yürürlükte olan tüm planlar incelenmiş, mevzuata aykırı yapılan, tarım alanlarını izinsiz imara açan yada projeksiyon nüfusunun üstünde nüfus belirleyen planlar belirlenmiş ve yaklaşık 12 bin hektar alanın tarımsal niteliğinin korunabilmesi yönünde yeniden düzenlenmesi önerilmiştir.

Planın **genel İlkeleri** şu şekilde belirlenmiştir; (ÇŞB, 2009a: s.2)

- **Sürdürülebilirlik**; bölge açısından önerilen tüm fonksiyonların işlevsel bütünlük ve çevresel değerlerle uyum içerisinde geliştirilmesi, ekolojik değerler ile kentleşmenin getirdiği fonksiyonel çeşitlenme arasında koruma kullanma dengesinin sağlanması.
- **Kırsal kalkınma ve nüfus kaybının önlenmesi**, özellikle nüfus kaybı yaşanan bölgelerde gelişim potansiyellerini destekleyecek fiziksel ve ekonomik altyapının oluşturulması ve çok odaklı gelişmeyi sağlayarak bölge genelinde sosyo-ekonomik gelişmişlik farklılıklarının giderilmesi, tarım odaklı kırsal ürün ve üretime dayalı mekanizmalar geliştirilerek toprağın tarımsal amaçlı kullanılmasının özendirilmesi ve nüfus kaybının önlenmesi,
- Sanayi gelişiminin sınırlandırılması, yeni alanlar önerilmemesi, mevcut alanlarının kısıtlanması ve rehabilitasyonu ile çevreye duyarlı hale getirilmesi.
- Entegre ulaşım sistemleri ile desteklenen işlevsel bağlantıların kurulması; tarımsal ürünlerin pazara ulaşım olanaklarının artırılması, demiryolu ve denizyolu ağırlıklı alternatif sistemlerin geliştirilmesi

Tüm baskılara rağmen, yukarıda özetlenen ilkeler ışığında, planda yeni sanayi alanı açılmamış, mevcut sanayi alanları içinde yer alabilecek sanayi türleri de sınırlandırılarak su, hava ve toprak kirliliğine neden olabilecek sanayi türlerinin yer almaması yönünde kısıtlamalar getirilmiştir. Plan hükümlerinde bölgede yer alması kısıtlanan türler; “metal sertleştirme, metal kaplama, asitli yüzey temizleme, tekstil boyama-yıkama ve emprime baskı, madenin işlenmesine yönelik ağır sanayiler, hurda plastik yıkama, lifli yıkama-yağlamacılar, kâğıt işleme, ham deri işleme, asit imal ve dolum yerleri, pil, batarya-akü imal yerleri, kömüre dayalı termik santral, gres yağ fabrikaları, ilaç sentez fabrikaları, ağır metal tuzu üretimi, demir-çelik üretimi, petrokimya, klor-alkali, rafineri vb.” olarak belirtilmiştir (ÇŞB, 2009b).

Ayrıca son 30 yıldır kontrolsüz ve dağınık olarak yer alan ve Ergene Nehri'ni kirleten sanayileri kontrol altına almak amacıyla, yeni bir örgütlenme (İslah Organize Sanayi Bölgesi) modeli önerilmiştir. 4562 sayılı OSB Kanununda da daha sonra bu modele dönük düzenlemeler yapılmış ve 12.04.2011 tarih ve 27903 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (Masatlı, 2012).

Buna ek olarak, bölgede yürürlükte olan tüm imar planları gözden geçirilmiş, tarım topraklarını yapılaşmaya açan ve nüfus projeksiyonlarının üstünde yapılaşma alanı oluşturan planlar saptanmış ve raporlanmıştır (ÇŞB, 2009b).

TARIMSAL EKONOMİYİ ARTIRMA STRATEJİLERİ

Planın temel amaçlarından biri olan “tarımsal potansiyeli değerlendirerek ekonomik açıdan verimli hale getirmek” üzere “**Tarımsal Organize Bölge**” (TOB) ve “**Tarımsal Alt Bölge**” (TAB) alanları önerilmiştir. Tarımsal ürün geliştirme ve katma değer yaratma amaçlı önerilen bu alanların yer seçimleri, yerleşmelerin ve ürün/toprak türlerinin mekandaki konumlarına göre belirlenmiştir (Şekil 3). Aşağıda açıklandığı şekilde, bu yolla tarım alanlarının ürün ve katma değer düzeylerinin artırılması hedeflenmektedir.



Şekil 3. Planda önerilen TOB ve TAB alanları (ÇŞB, 2009a).

Figure 3. TOB and TAB areas proposed in the plan (ÇŞB, 2009a).

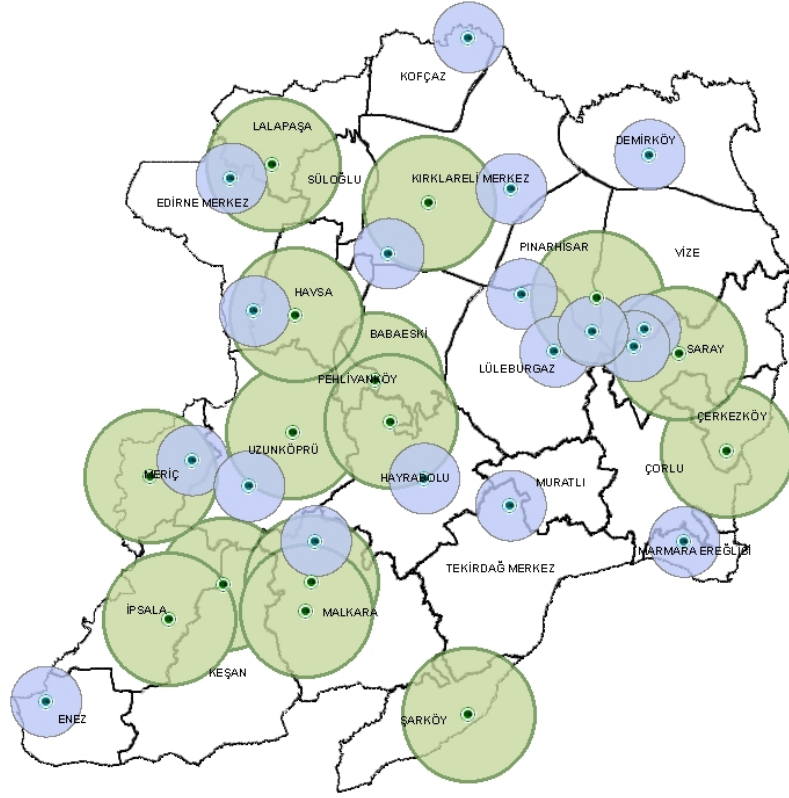
Tarımsal Organize Bölgeleri (TOB) ; Bu alanların içeriği “besicilik, süt sığırcılığı, meyvecilik, sebzeçilik, seracılık, çiçekçilik vb. tarımsal üretim ve ürün işleme faaliyetlerinin bir arada yapıldığı, tarımsal ürünlerin gıdaya dönüştürüldüğü, disipline edildiği, tek elden sevk ve idare edildiği, desteklendiği ve üretici-sanayici-pazarlayıcı entegrasyonunun gerçekleştirildiği alanlar” şeklinde tanımlanmıştır. Bu bölgelerde, “tarımsal üretimin ve toprak kullanımının veriminin artırılarak sürekliliğinin sağlanması, tarım nüfusunun yerinde istihdam edilmesi ve gelir kaynaklarının artırılması ya da yeni kaynaklar oluşturulması, tarımsal tesislerin bir plan çerçevesinde bir araya getirilmesi, başta çevre koruma ve gıda maddesi hijyenik koşulları olmak üzere kontrol edilme kolaylığının sağlanması” temel esaslar olarak vurgulanmıştır (ÇŞB, 2009b).

TOB’lar, “tarımsal üretim için mutlak tarım arazilerini (Tarımsal Niteliği I. Öncelikli Korunacak Alanlar) ve ürün işleme tesisleri için marjinal tarım arazilerini (Tarımsal Niteliği II. Öncelikli Korunacak Alanlar ve Tarımsal Niteliği Sınırlı Alanlar) içerir. TOB’lar içerisinde; hububat, meyve ve sebze üretimi için uygun tarım alanları, sebze ve çiçek yetiştiriciliği için seralar, mantarcılık, hayvancılık ve et entegre tesisleri, otlaklar, tarımsal işletmeler, tarımsal ürün paketleme tesisleri, meyve işleme tesisleri, soğuk hava depoları, yem depoları, TOB işletmelerinin ön arıtma yada toplu arıtma tesisleri, organik atıkların geri dönüşüm tesisleri, hayvan klinikleri, kireçli ölü hayvan gömü çukurları, tarımsal araç-gereç parkları, tarımsal ürün pazarlama hizmetleri, ürün borsası, tarımsal eğitim merkezleri, tarımsal Ar-Ge ve laboratuvar alanları gibi bölge stratejisine uygun tesisler Tarım ve Köyişleri Bakanlığınca olumlu görüş alındıktan sonra yer alabilecektir.”

Bu alanlar içerisinde tarım ve hayvancılığa dayalı sanayi alanlarından oluşacak “Tarımsal İhtisas OSB” alanları toplam TOB alanının %10’unu aşamayacak ve TOB alanı içerisindeki “Tarımsal Niteliği II. Öncelikli Korunacak Alanlar” ve “Tarımsal Niteliği Sınırlı Alanlar” üzerinde yer alabileceklerdir. Gıda maddeleri üretimi ve mamul hale getirilmesi amaçlanan bu bölge içerisinde, ham madde olarak tarımsal ürünler ile doğrudan ilişkili olmayan, hava, su ve toprakta kirlilik yaratabilecek metal, plastik, tekstil, deri, boya vb kimyasal ham maddenin ağırlıklı olarak kullanıldığı tesisler yer alamayacaktır.

Tarımsal Alt Bölgeler (TAB): Bu alanlar planda, “Sanayi sınıfına girebilecek fonksiyonların kesinlikle yer almayacağı, tarım ve hayvan yetiştiriciliğini destekleyen, hububat, meyve, sebze üretimi için uygun tarım alanları, meralar, mantarcılık, orman ürünleri, sebze ve çiçek yetiştiriciliği için seralar, depo veya soğuk hava deposu, mandıra vb, sadece 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanım Kanunu’nun 3. maddesinde tanımlanan “tarımsal amaçlı yapılar”ın yer alabileceği alanlar” şeklinde tanımlanmıştır (ÇŞB, 2009b).

TOB ve TAB merkezlerinin yer seçimleri, şekil 4’de görüldüğü gibi tarımsal potansiyeller temelinde bölge içinde dengeli bir dağılım sağlamak üzere belirlenmiştir. Belirlenen yerler için aynı zamanda, “köylere yakınlık, ulaşım olanakları, hakim rüzgar yönü-yerleşim alan ilişkisi, doğal koruma alanlarına yakın olmaması, mera ve sulu-kuru tarım arazilerine yakın olması, marjinal tarım arazilerinin bulunması, dere yataklarına yakın olmaması, çevresindeki yerleşim alanlarına en az 1 km mesafede olması” gibi bazı kriterler belirlenmiştir.



Şekil 4. Önerilen TAB ve TOB alanlarının bölgesel dağılımı ÇŞB (2009A)
Figure 4. Distribution of AOS and ASR areas (ÇŞB, 2009a).

Katılımcı değerlendirmeleri

Yukarıda belirtilen, tarımsal alanların korunması amaçlı TOB ve TAB kararları planlama sürecinde en çok tartışılan konu olmuştur. Tartışma üç farklı yönde ve tonda gerçekleşmiştir (Bimtaş, 2008).

Birinci grupta, genellikle tarımla uğraşmayan ve kentte yaşayan “çevreci”ler ile meslek odaları mensupları yer almıştır. Toplantı süreci boyunca en çok söz alan ve fikirlerini daha yüksek tonda ifade eden bu grubun temel itiraz konusu; tarımsal potansiyelin değerlendirilerek ekonomik açıdan verimli hale getirilebilmesi amacı ile önerilen ve ürün işleme, paketlenme vb. organizasyon ve tesisleri içerebilecek olan “TOB ve TAB alanlarının gelecekte sanayi alanlarına dönüştürüleceği” iddiası olmuştur (Bimtaş, 2008). Bu gruba göre söz konusu alanlar, gelecekte plan değişiklikleri ile kolayca sanayi alanlarına dönüştürülecek ve tarımsal alanlar hızla kaybedilecektir.

Bunun önlenmesi için strateji geliştirme amaçlı tartışmalarda “yasak ve kontrollerin artırılması” en önemli öneri olarak sunulmuştur.

İkinci grupta, bölgede tarımla ve ticaretle uğraşan yerel halk ve onlardan oluşan ziraat, ticaret, esnaf odaları gibi yerel örgütler yer almıştır. Farklı uğraş yada mesleki alanları nedenleri ile genellikle, konuşma ve tartışmaları izleyerek planı değerlendirmişlerdir. Bu doğrultuda bir bölümü TAB ve TOB kararlarını olumlu karşılayarak desteklerken, diğer bir bölümü “TOB ve TAB alanlarının gelecekte sanayi alanlarına dönüştürüleceği” iddiasına katılarak TOB, TAB kararlarına karşı çıkmıştır. Diğer yandan aynı grup, tarla ve bahçelerinde depolama, işleme, paketlenme vb. gereksinim duyulan tesislere

izin verilmediği konusunu sorun olarak belirtmişler ve bu konuda olanak sağlanmasını talep etmişlerdir (Bimtaş, 2008).

Üçüncü grupta ise, ağırlıklı olarak gayrimenkul ticaretiyle uğraşanlar ve kente yakın alanlarda tarlası olan yerel malikler yer almıştır. Toplantıda ağırlıklı olarak ve yüksek sesle “yapılaşma karşıtı” bir görüş hakim olduğundan, bu grup genellikle sessiz kalmış ve “*bütün bu insanların en çok gelir getirebilecek şey olan imarlaşmaya neden karşı*” (Bimtaş, 2008) olduğunu anlamaya çalışmışlardır. Çünkü onlara göre “*arazilerin yapılaşmaya açılması ile hem toprak sahipleri, hem araçılar, hem inşaatçılar kazanacaktır*” (Bimtaş, 2008).

İl genel meclisi ve belediye meclisi üyelerinin bir kısmı birinci ve ikinci grupta yer alırken, önemli bir bölümü de üçüncü grup ile birlikte sessiz kalmayı seçmişlerdir. Bu grubun görüş ve talepleri önemli oranda, meclis üyeleri ve teknik grup içinde yapılan toplantılarda dile getirilmiştir. Buna göre “*Bölgenin gelişimi ve zenginleşmesi sanayileşme ve yapılaşma ile mümkündür. Tarımla zenginleşmek mümkün değildir. Bu nedenle İnsanlar tarıma mahkum edilmemelidir*” (Bimtaş, 2008).

Yukarıda belirtilen eksen ve üç farklı görüş çerçevesinde oluşan tartışma sonucunda, 1/25.000 ölçekli Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ İl Çevre Düzeni Planları 5302 sayılı yasa çerçevesinde Belediye ve İl genel meclisinde görüşülmüş, TOB ve TAB kararı hariç tutularak kabul edilmiştir.

DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

2009 yılı onaylı planın yapım sürecinde elde edilen verilere göre, 1980’li yıllardan buyana geçen 30 yıllık süreçte, planlı/plansız yaklaşık (10.000 hektarı sanayi olmak üzere) 185.000 ha tarımsal alan yapılaşmıştır (ÇŞB, 2009a).

Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli İl, ilçe ve belde merkezlerinde 2009 planı çerçevesinde, plan yaklaşımı ve ilkelerine dönük yapılan toplantılarda planın en önemli konularından biri olan “*tarım topraklarının korunması*”, tartışmalarda öne çıkan konu olmuş ve genellikle “*planda yapılaşmaya izin verilmemesi*” konusunun altı çizilmiştir. Buna rağmen, tarımsal verimliliği artırma yönünde önerilen bazı kararlar kabul edilmemiş, üstelik geçen süre içinde, planda, tarım topraklarının yok oluşuna neden olacak bazı önemli değişiklikler gerçekleşmiştir.

Tüm bu planlara ve yasalara rağmen tarımsal topraklarda devam etmekte olan yapılaşmayı, kıt kaynak olan toprağın değerini ve kullanım biçimini belirleyen serbest piyasa içinde açıklamak mümkündür. Diğer bir deyişle, yapılaşma amaçlı talep gören toprak için oluşan piyasa değerinin, tarımsal kullanımın sağladığı gelirden/değerden çok daha yüksek olması ve ayrıca, hiçbir çaba harcamadan ortaya çıkan değer vergilendirilmemesi/ kontrol altına alınamamasıdır. Açıklanması gereken diğer bir önemli konu, serbest piyasa ekonomisinin geçerli olduğu bazı toplumlarda toprağın kullanım biçimi, kamusal yarar temelinde düzenlenebilirken, bazı toplumlarda başarılabilmesidir. Bu noktada Epstein’in (1962) vurguladığı gibi, serbest piyasa içinde, ekonomik ve toplumsal değişim arasındaki ilişki ve buna bağlı oluşan “toplumsal kurallar” belirleyici olmaktadır. Çünkü hukuksal kurallar, toplumsal kurallara göre, kişiye ve duruma bağlı olarak görmezden gelinmekte ya da esnetilebilmektedir. Böylece yapılaşmaması gereken yerin imara açılması yada ayrıcalıklı yapılaşma hakkı elde etme gibi hukuki olmayan bir davranış, etik dışı olmaktan çıkartılarak bireysel ya da toplumsal açıdan içselleştirilmekte, zaman zaman ahlaki olması durumu kişi ve gruplara göre farklı anlamlandırılabilir. Sonuç olarak popülist siyaset yapma biçiminin hakim olduğu ülkelerde tarım topraklarının arsaya dönüştürülmesi (Tekeli, 2001) gibi politik ve/veya kişisel çıkar edinme amaçlı eylemler olağan davranışlar haline dönüşmektedir. Böylece mutlak tarım topraklarının bile yapılaşmaya açılması mümkün kılınmakta, imara açılan alanlar büyüdükçe yaratılan rant miktarı da büyümekte, giderek siyaset ilişkilerinin uğraş alanı olmaktadır. Ayrıca, bu yolla oluşturulan güç, yerel yönetimlerce bizzat yaratılması nedeniyle meşru görülmekte ve çok daha rahat kullanılabilir (Tekeli, 2001).

Ülkenin birçok bölgesinde yapılan çevre düzeni planlarına ve tarımsal alanların yapılaşmaya açılması yönündeki yasaklara rağmen, tarım topraklarındaki yapılaşmanın devam ediyor olması, farklı çözüm yolları üretmemiz gerektiğini göstermektedir. Bu doğrultuda, tarımsal toprakların korunmasındaki en önemli araçlardan biri yasal önlemler iken, diğer bir araç olarak tarımsal üretimin artırılması ve katma değerini artırıcı stratejilerin geliştirilmesi olmalıdır.

Bu durumda, tarım topraklarının yalnızca yasaklarla korunmasının pek mümkün olmayacağı gerçeğinden hareketle, toprak sahibi açısından, serbest piyasa koşulları içinde tarımsal amaçlı kullanımın ekonomik getirisinin artırılması yönünde alternatifler geliştirilmeli ve desteklenmelidir. Ürünün işlenerek paketlenmesi ve pazara ulaştırılabilmesinin üreticilerin içinde bulunduğu organizasyonlar tarafından yapılabilmesi olanaklarının yaratılması önemli bir adım olacak, böylece ürünün artan katma değeri üreticiye yansıtılabilecektir. Tarımsal üretim ile elde edilen kazanç artışı topraklarının korunması yönünde destekleyici teşvik edici olacaktır.

KAYNAKLAR

- AKIN E., 2007. *Kentsel Gelişme ve Kentsel Rantlar: Ankara Örneği*. Ankara: Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi ve Siyaset Bilimi (Kent ve Çevre Bilimleri) Anabilim Dalı.
- AKTAN C. C., 2003. Görünmez Ayak ve Milletlerin İsrافی: Rant Kollama. C. C. Aktan içinde, *Yasal Soygun Çıkar Grupları ve Rant Kollama* (s. 15-34). İstanbul: Zaman Kitap.
- BİMTAŞ, 2008. Trakya Alt Bölgesi 1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı Toplantı Tutanakları (Basılmamış),
- ÇŞB, 2009a. Trakya Alt Bölgesi 1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı Raporu (Basılmamış), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- ÇŞB, 2009b. Trakya Alt Bölgesi 1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı Hükümleri (Basılmamış), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- RİCARDO D., 1997. Ekonomi Politigin ve Vergilendirmenin İlkeleri. (T. Ertan, Çev.) İstanbul: Belge Yayınları.
- SEZGİN D., ve VAROL Ç., 2012. “Ankara’daki Kentsel Büyüme Ve Saçaklanmanın Verimli Tarım Topraklarının Amaç Dışı Kullanımına Etkisi”, JFA, 29(1): 273-288
- SÖNMEZ Ö., 2016. İstanbul merkezli sanayi yayılımının alt kentlerde mekansal etkileri: Tekirdağ örneği, Megaron, 2016, Vol.11 / 1, s.137-149
- SÖNMEZ Ö., 2015. Türkiye’de 1980 Sonrası Planlamanın Kurumsal Değişim Süreci ve Mekânsal Etkileri: Trakya Bölgesi Örneği, YTÜ, Basılmamış Doktora Tezi
- TEKELİ İ., 2001. Popülist Politikalar, Kentsel Rant Ekonomisi ve Vatandaş Oluşturmayan Kentleşme Deneği, Modernite Aşılırken Kent Planlaması, İmge Yayınevi, Ankara

İnternet Kaynakları

- AKCI A., DEMİREL M.K. ve BECU, H.Ş., 2016. Tarım Arazilerindeki Yapılaşma Baskısının Azaltılmasında Köy Gelişme Alanı ve İmar Uygulamaları: İç Anadolu Bölgesi Örneği, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi TARGİD Özel Sayı 372-384 2016: <http://dx.doi.org/10.17100/nevbitlek.65191> (Erişim 03.03.2018)
- <http://www.arkitera.com/haber/25879/turkiyede-kisi-basinda-dusen-tarim-alani-son-50-yilda-yari-yariya-azaldi>. (Erişim 03.04.2017)
- <https://vergidosyasi.com/2017/04/03/rant-kavrami-ve-ranta-iliskin-yaklasimlar-ve-rant-turleri/> (Erişim 03.04.2017)
- MASATLI M., 2012 Neden İslah Organize Sanayi Bölgeleri, <http://anahtar.sanayi.gov.tr/tr/news/neden-islah-organize-sanayi-bolgeleri/64> (Erişim 22.07.2017)
- <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> (Erişim 29.09.2017)
- http://www.uis.gov.tr/media/1316/tarim_sektoru_ikinci_idk.pdf (Erişim 07.03.2018)
- <http://akademikmakale.blogspot.com.tr/2013/01/serbest-piyasa-ekonomisi.html> (07.03.2018)

T.C. Resmi Gazete, 1985. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Teşkilat Ve Görevleri Hakkında Kanun, 22.5.1985, Sayı:18761, https://www.tbmm.gov.tr/tutanaklar/KANUNLAR_KARARLAR/kanuntbmmc068/kanuntbmmc068/kanuntbmmc06803202.pdf (Erişim 03.07.2017)

T.C. Resmi Gazete, 2005. Toprak Koruma Ve Arazi Kullanımı Kanunu, 19/7/2005, Sayı: 25880, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/07/20050719-2.htm>, (Erişim 07.03.2018)

MARX K., 1978. Kapital, C.III, 1. Basım, Çeviren: Alaattin Bilgi, Sol Yayınları, Ankara, <https://antikapitalist.net/kutuphane/acik-kitaplik/marxengels/kapital3.pdf> (Erişim 22.07.2017)

EPSTEİN, T. S., 1962. Economic Development and Social Change in South India. Manchester University Press, Manchester. <https://books.google.com.tr/books?id=ekG8AAAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=tr#v=onepage&q&f=false> (Erişim 03.07.2017)

ÖZTÜRK, Ş., 2009. Kırsal Kalkınma Yaklaşımları Ve Küçük Meta Üretimi Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi Anadolu University Journal Of Social Sciences Cilt/Vol.: 9 - Sayı/No: 2 : 173-188 (2009) <http://sbd.dergi.anadolu.edu.tr/yonetim/icerik/makaleler/1140-published.pdf> (Erişim 08.08.2017)

BİGGS S.D., YUAN C. K. ve MAX L. R., 1977. "Agricultural Sector Analysis". ADC Teaching and Research Forum. no. 11, September, Agricultural Development Council Inc., New York and Singapore, (Şinasi Öztürk (2009) Kırsal Kalkınma Yaklaşımları Ve Küçük Meta Üretimi Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi Anadolu University Journal Of Social Sciences Cilt/Vol.: 9 - Sayı/No: 2 : 173-188 (2009) içinde), <http://sbd.dergi.anadolu.edu.tr/yonetim/icerik/makaleler/1140-published.pdf> (Erişim 08.08.2017)

Araştırma Makalesi

JEOFİZİK YÖNTEMLERLE HEYELAN ARAŞTIRMALARI

Geophysical Methods for the Investigation of Landslides

Kenan GELİŞLİ*¹

ÖZ

En önemli doğal afetlerden birisi olan heyelanlar, can ve mal kayıplarına neden olan çok yaygın bir kütle hareketi çeşididir. Heyelanlar karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle heyelan problemlerinin çözümü kolay değildir. Bir yamacın heyelan tehlikesinin belirlenebilmesi için detaylı araştırmalara ihtiyaç vardır. Bunun için birçok teknikten oluşan çok disiplinli, bütünlük bir çalışma gereklidir. Bu makalede son yıllarda heyelan araştırmalarında kullanımı giderek artan jeofizik yöntemlerin genel olarak heyelan araştırmalarında nasıl kullanılacağı açıklanarak bazı heyelanlarda gerçekleştirilmiş jeofizik uygulama örnekleri verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, jeofizik yöntemler

ABSTRACT

Landslides, one of the most important natural disasters, are a very common type of mass movement that causes loss of life and property. Landslides have a complex structure. For this reason, it is not easy to solve landslide problems. Detailed research is needed to determine the hazard of landslide on a slope. This requires an integrated and multidisciplinary investigation. Geophysical applications provide a lot of data about landslides. In this article, the use of geophysical methods, which are increasingly used in landslide investigations in recent years, has been explained by giving examples of geophysical applications realized in some landslides.

Keywords: Landslides, geophysical methods

GİRİŞ

Doğal afetler açısından dünyanın en riskli bölgelerinden biri olan ülkemizde, jeolojik özellikleri, topoğrafik yapısı ve iklim özellikleri gibi nedenlerden dolayı yoğun heyelanlar oluşmakta ve heyelanlar önemli oranlarda can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Heyelanlar depremden sonra ülkemiz için en önemli doğal olaylardan birisidir. Heyelanlar farklı yerlerde, değişik zamanlarda meydana geldiği için kamuoyunun dikkatini depremler kadar çekmemektedir. Heyelanlar nedeniyle yerleşim yerlerinde, kara yollarında, tarım ve orman alanlarında her yıl oluşan zararın parasal değeri yüz milyonlarca dolar boyutundadır.

Topraktaki çok yavaş kaymadan kaya çıkına kadar geniş bir yelpazedeki kütle hareketleri, Türkçe’ de yaygın olarak heyelan terimi ile ifade edilmektedir. Heyelanlar, düşmeler, devrilmeler, kaymalar, yanıl yayılmalar ve akmalar olmak üzere değişik şekilde meydana gelebilmekte olup, bunlar arasında en önemlileri ve tehlikeye neden olanları; kaymalar, moloz akmaları, moloz çıkı gibi hızlı hareket eden heyelan türleridir (Cruden ve Varnes, 1996; Sidle ve Ochiai, 2006). Heyelanlar, “durgun”, “etkin” ve “gelişmekte olan” kayan yerler olarak ayrılır. Durgun alanlar bir hareket başlamış, gelişmiş, kaymış ve etkinliğini yitirmiş alanlar olup, bu yöreler yüzeyde kayma aynaları ile tanınırlar. Genellikle yerleşim ve tarım için tercih edilen bu alanlarda stabilite açısından bir denge söz konusudur. Etkin heyelan alanları günümüzde hareketin sürdüğü yerlerdir. Gelişmekte olan heyelan alanları ise henüz kaymamış, ancak kaymaya aday olan yerler olarak ifade edilebilir. Günümüzde heyelan tehlikesi olabilecek bölgeler; mevcut ve eski heyelanlı kütleler, yamaçların zirve ve alt kesimleri, ana drenaj

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon-TÜRKİYE

*İlgili yazar / Corresponding author: gelisli@ktu.edu.tr

Gönderim Tarihi: 07.09.2018

Kabul Tarihi: 05.12.2018

ağları ve yakınları, eski dolgu şevlerin üst veya taban kısımları, kil oranı yüksek formasyonun bulunduğu kısımlar, dik eğimli yamaçların alt ve üst kesimleri sayılabilir. Heyelana karşı güvenli bölgeler olarak ise, geçmişte herhangi bir harekete maruz kalmamış sert, çatlaksız ana kaya kütleleri, topoğrafik olarak nispeten düz bölgeler, sırtların üst ve düz uzanımlı kesimleri söylenebilir.

Yamaçlarda denge bozukluğunun habercisi belirtiler, başka bir ifade ile sahada önlem alınması gerektiğini ortaya koyan uyarı işaretleri olarak; eğilmiş direkler, ağaçlar, istinat duvarları ve bahçe çitlerinde hareket yönünde meydana gelen eğilmeler, bükülme, eğimde ani değişiklikler, yer yer kabarmış yamaç formları, ondüleli bir yüzey görüntüsü, yamaçta yer yer su sızıntıları, daha önce gözlemlenmemiş su kaynakları ve suya doymuş zeminler, zemin, kaldırım ve yollarda daha önce gözlemlenmiş yeni yarıklar, çatlak oluşumları ve kabarmalar, çökmeler, su/gaz boruları gibi yer altı yapılarının kırılması ya da patlaması, yarlar, şev topukları, binalarda sıva, alçı yarılmaları, hasarlı bacalar, kapı ve pencerelerin çerçevelerinde oluşan deformasyonlar, temellerde ve taşıyıcı sistemlerde meydana gelen çatlaklar sayılabilir.

Genel olarak heyelanların nedenleri; yüksek eğim, aşırı yağış, çeşitli mühendislik yapıları (baraj, kanal, yol ve köprü gibi) ile doğaya müdahale, topuktan malzeme kaybı, ayrışma, zayıf zeminler, uygun olmayan bitki örtüsü, doğal ve yapay sarsıntılar olarak ifade edilebilir. Heyelanların ıslahı ve heyelan tehlikesinin bertaraf edilmesi, özel inşaa çalışmaları gerektirir. Özet olarak; heyelanların önlenmesi için yapılması gerekenler ise; yükü kayma alanı dışındaki sağlam zemine aktaran yapılar vasıtasıyla direnen kuvvetlerin artırılması, heyelan sahasındaki yüzey ve yeraltı suları uzaklaştırılarak yerin kurutulması, taç kısmındaki yükler kaldırılarak göçmeye neden olan yüklerin azaltılması ve topuk dolgusu sayılabilir (Turnbull ve Hvorslev, 1967).

Heyelanları incelemek, izlemek ve yamaç duraylılığını belirlemek için jeoloji, jeofizik, jeoteknik, kuyu logu ve jeodezik uygulamalara ihtiyaç vardır. Bu uygulamalarda, jeomorfolojik, jeolojik, hidrolojik, mühendislik jeolojisi ve jeofizik haritalamalar, yerinde ölçüm ve izleme (monitoring), laboratuvar analizleri, uzaktan algılama ölçüleri, jeodezik gözlemler, heyelanların matematiksel-fiziksel-jeolojik modellenmesi, jeodinamik işlemleri ve deformasyon süreçlerini saptamak için toplanan bilgilerin istatistiksel analizi çalışmaları yürütülmektedir.

Heyelan duraylılığının hesabı için birçok bilgiye ihtiyaç vardır. Bu bilgilerin bir kısmı, sadece sondaj gibi klasik prospeksiyon yollarının yanında son yıllarda büyük gelişmeler gösteren jeofizik yöntemler kullanılarak elde edilebilir. Jeofizik; yerin yüzeyinde ve açılmış kuyularda yapılan fiziksel ölçümleri kullanarak, yer içinin incelenmesini kapsar. Heyelan nedeniyle yamaçtaki jeofizik parametrelerde oluşan değişim yamacın yapısını belirlemede ve yamaç hareketini izlemede kullanılmaktadır. Bazı dik yamaçlarda kuyu açmanın zorluğu sondaja ihtiyaç duyan jeoteknik uygulamaları sınırlar. Son yıllarda yeraltının iki ve üç boyutlu görüntülenmesinde kullanılan jeofizik tekniklerde büyük gelişmeler meydana gelmiştir (Craig ve diğ., 2006; Mudge ve Dentith, 2014). Aletsel ve veri işleme tekniklerindeki gelişmelere paralel olarak, jeofizik yöntemler heyelanları incelemek ve izlemek için ana araç olmuştur. Bunların yanında jeofizik uygulamaların maliyetinin sondaja göre çok daha az olmasına rağmen, jeofizik tekniklerin uygulanmasında hala bir isteksizlik mevcuttur. Jeofizik mühendislerinin gerçekleştirdiği işin fiyatı, diğer profesyonel arazi hizmetleri gibidir. Jeofizik ölçümler ve yorum sondaj sayısından önemli tasarruf sağlar. Böylece saha incelemesinin fiyatı gereksiz sondaj fiyatı düşüldüğünde azalır. Jeofiziğin en önemli avantajı sondajla direk örnekleme göre yıkıcı olmaması, daha ucuz ve tehlikesiz olmasıdır.

Heyelanların jeofizik özellikleri; Elektrik Özdirenç, Doğal Potansiyel, Elektromanyetik, Sismik Kırılma, Sismik Yansıma, Yüzey Dalgalarının Analizi, Mikrotremor ölçümleri ile belirlenebilir. Bu ölçümlerle heyelanın sınırları, kayan kütle kalınlığı, heyelan bölgesindeki değişik malzemelerin dağılım düzeni ve suyun varlığı ve dağılımı araştırılır. Ayrıca, heyelanlarda sismik gürültü kaydı ve ivme ölçümleri ile izleme yapılmaktadır.

Heyelanlarda Bogoslovsky ve Ogilvy (1977)'nin öncü çalışmalarından bu yana jeofizik tekniklerin kullanımı giderek artmıştır. Heyelan araştırmalarında jeofizik yöntemlerin uygulanması ile ilgili olarak, farklı heyelan çalışmalarını içeren ilk çalışmalardan birisi Mc Cann ve Forster (1990) tarafından sunulmuştur. Hack (2000)'in ve Jongman ve Garambois (2007)'in çalışmalarında yamaç duraylılık analizleri için değişik jeofizik tekniklerin kullanımı yer almaktadır. Şimdiye kadar bu konu ile ilgili bir çok makale yayınlanmıştır (Bogoslovski ve Ogilvy, 1977; Mc Cann ve Forster, 1990; Cummings ve Clark, 1998; Frasher ve diğ., 1999; Bruno ve Marillier, 2000; Gallipoli ve diğ., 2000; Hack, 2000; Jongmans ve diğ., 2000; Mauritsch ve diğ., 2000; Lapenna ve diğ., 2003; Israil ve Pachauri, 2003; Bichler ve diğ., 2004; Glade ve diğ., 2005; Lapenna ve diğ., 2005; Meric ve diğ., 2005; Godio ve diğ., 2006; Friedel ve diğ., 2006; Denis ve diğ., 2007; Jomard ve diğ., 2007; Jongmans ve Garambois, 2007; Marescot ve diğ., 2008; Sass ve diğ., 2008; Chambers ve diğ., 2011; Grandjean ve diğ., 2011; Bievre ve diğ., 2012; Epada ve diğ., 2012; Malehmir ve diğ., 2013; Perrone ve diğ., 2014; Gelişli ve Ersoy, 2017; Marinescu ve diğ., 2017; Magdalena ve diğ., 2018). Heyelan araştırmalarında uygulanan jeofizik yöntemlerin prensipleri temel jeofizik kitaplarında bulunabilir (Telford ve diğ., 1990; Reynolds, 1997; Sharma, 1997; Kearey ve diğ., 2002).

JEOFİZİK YÖNTEMLER VE HEYELANLARDA JEOFİZİK UYGULAMALAR

Bir heyelanın stabilitesinin belirlenebilmesi için heyelanın yapısı, hidrolojik rejimi ve jeoteknik özellikleri çalışılmalıdır. Jeofizik yöntemler daha çok heyelan araştırmalarında bu amaçlar için kullanılmaktadır. Jeofizik uygulamaların genel olarak üç ana hedefi vardır: heyelanın kayma yüzeyinin, düşey ve yanal sınırlarının belirlenmesi, heyelanın iç yapısının haritalanması ve kayan kütle içerisindeki suyun bulunmasıdır. Son yıllarda jeofizik alet teknolojisi ve yazılımlardaki gelişmelere bağlı olarak, bir heyelanın bu özellikleri jeofizik uygulamalarla başarılı bir şekilde belirlenebilmektedir. Jeofizik yöntemler heyelan araştırmalarında göreceli olarak hızlıdır, doğaya zarar vermezler, yamaçlarda uygulanabilir, zeminin veya kayanın iç yapısı hakkında bilgi ve geniş hacimli araştırmalara izin verirler. Herhangi bir arazi uygulamasından önce jeofizik araştırma iyi tasarlanmalıdır. Uygulanan yöntemin yeterliliği ve problemin çözümü bazı faktörlere bağlıdır. Öncelikle çalışılan alanın yeraltı koşullarında belirgin bir fiziksel farklılık olmalıdır. Herhangi bir farklılık olmadığında, hedef jeofiziksel olarak belirlenemez. Jeolojik, hidrolojik veya mekanik bir sınırın varlığı (heyelan kütesinin sınırı) jeofizik özellikler açısından bir değişim göstermeyebilir. Ayrıca, Jeofizik uygulamalarda ayrımlılık ve penetrasyon arasında ilişki vardır. Yüksek penetrasyon kötü ayrımlılık verir. Uygulanan yöntem hangi derinliklere kadar duyarlı olabilir? Tüm bu sınırlamalar jeofizik araştırmalarda dikkate alınmalıdır.

Şimdiye kadar jeofizik yöntemler; birkaç dereceden (yer kayması) düşeye (kaya düşmesi) kadar değişen açılı yamaçlar için farklı heyelan tiplerine uygulanmıştır. Yapılmış uygulamalarda penetrasyon derinlik aralığı, 3 metre 'den 400 metreye kadar değişir. Hangi yöntemin hangi tür heyelanın özelliklerini belirlemede daha etkin olduğu, hangi heyelan parametresinin hangi jeofizik yöntemle elde edilebileceğine dair çalışmalar vardır. Farklı heyelan tipleri ve heyelan ile ilgili özellikler için değişik jeofizik yöntemlerin uygunluğu Hack (2000) ve Bouillon (2005) tarafından incelenmiştir.

Heyelan alanında sürekli ölçümler yaparak, zaman içinde incelenen fiziksel özelliğin değişimi izlenir. Zaman içinde, suya doygunluğun artması, elektrik iletkenliği, kütlelerin ağırlığını artırır, manyetik duyarlılığı düşürür, sismik dalga geçiş hızını yavaşlatır, doğal potansiyel oluşturur, kopma ve kayma başlangıcında titreşimler oluşur, hacim artışı, kabarma ve kayma meydana gelir. Heyelan araştırmalarında, heyelan kütleleri farklı yerlerden koparak bir araya gelmiş malzemelerden oluştuğu için kısa mesafelerde farklı jeofizik özellikler ölçülmüş olabilir. Karmaşık jeolojik yapısı nedeniyle heyelanın yapısının anlaşılabilmesi için ayrıntılı çalışılması gerekir. Ölçümler birbirine paralel hatlar boyunca ve sık aralıklı alınmalıdır. Topografik bilgi yoksa ölçümler topografyadan en az etkilenecek şekilde eğime dik yönde alınmalıdır. Profiller heyelan sınırları dışından başlatılmalıdır. Heyelan

malzemesi son derece heterojen olduğundan elektrik akımını vermek zor ve sismik dalga sönümü yüksek olabilir.

Heyelanlarda su doygunluğunun fazlalığından dolayı mevsimsel ölçüler dikkate alınmalıdır. Özdirenç, doğal potansiyel gibi bazı parametreler nemlilik oranının ve sıcaklığın değişiminden etkilenir. Bu gerçekler, kayan malzemenin fiziksel özelliklerinin değişiminin yılın farklı dönemlerinde incelenmesini gerektirir. Tamamıyla ya da kısmen ağır kil içeren bir heyelan bölgesinde, ayrı bir yer altı suyu tablası olmaz. Bu gibi yerlerde heyelandaki malzemelerin nemliliğinin farklı derecede olmasından söz edilir. Pek çok heyelanda killi tabakaların bulunması, elektrik yöntemlerle yer altı suyunun belirlenmesi çalışmalarını olumsuz etkiler.

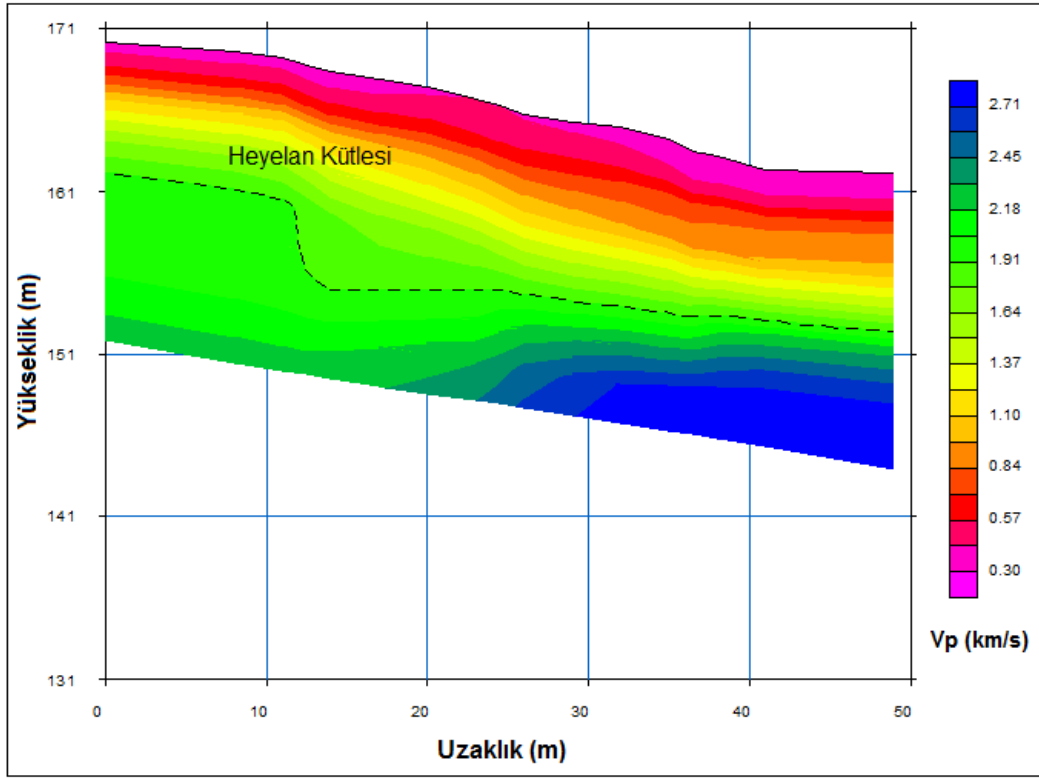
Jeofizik tekniğin performansı Sinyal/Gürültü (S/G) oranına çok fazla bağlıdır. Jeofizik yöntemler toplanan veriler işlendikten sonra, ölçülen fiziksel parametrenin 1-boyutlu (1B), 2-boyutlu (2B) veya 3-boyutlu (3B) değişimini sağlarlar. 1B bilgi bir profile karşılık gelirken, 2B ve 3B bilgi genellikle bir ters çözüm işlemi ile elde edilen bir jeofiziksel görüntüdür. Son yıllarda gelişen jeofizik görüntüleme yöntemi, incelenen alanın sürekli bilgisini sağlama gibi büyük bir avantaja sahiptir. Jeofizik kesitlerin jeolojik veya jeoteknik yorumu sahada tüm veriler göz önüne alınarak yapılmalıdır. Modelleme ve ters çözüm çalışmaları yapılmalıdır. Güvenilir bir yorum elde edebilmek için, jeofizik verilerin jeolojik veya jeoteknik veri ile kalibre edilmeleri gerekir.

Sismik yansıma yönteminde yeryüzünde bir kaynaktan ses dalgası üretilerek yer içerisine gönderilir. Oluşan dalgacık yer içine doğru seyahat ederken farklı elastik özelliklere sahip tabakaları ayıran arayüzeylerden geri yansır. Gelen dalgalar sismik alıcılar tarafından kaydedilir. Bir heyelanda kayan malzeme ile temel kaya arasındaki sınır, iki ortamın elastik dalga hızlarının farklı olması nedeniyle sismik yöntemlerle belirlenebilir. Genel olarak, kayan malzemenin boyuna (P) ve enine (S) dalga hızları temel kayanın hızından daha düşüktür. Yamaçta boyuna ve enine dalga hızları saptanır ve bu hızlar kullanılarak elastik parametreler hesaplanır. Heyelanlarda üstteki yumuşak malzeme sismik dalgaları önemli oranda soğurduğu için, bu malzemelerin altına enerjiyi gönderebilecek uygun kaynaklar kullanılmalıdır. Boyuna dalga enerji kaynağı olarak çekiç, ağırlık düşürme veya heyelanda tetiklemeye sebep olmayacak oranda patlayıcı, enine dalga için ise daha çok kalas kullanılır. Sismik yansıma yönteminde kaydedilen veri; işlendikten sonra elde edilen sonuçlar bir sismik kesittir ve elde edilen yansıma kesitlerinden stratigrafik yapı yorumlanabilir. Sismik yansıma yöntemi ile daha çok tabaka içi yapılar veya kayma yüzeyleri gibi heyelan yapısının geometrisi görüntülenebilmektedir (Ferrucci ve diğ., 2000; Bichler ve diğ., 2004). Eğer hız yapısı bilinirse derinlik kesiti elde edilebilir. Elde edilen hız-derinlik kesiti yeraltı yapısının bir resmini gösterir. Diğer jeofizik teknikler ile karşılaştırıldığında, sismik yansıma yöntemi özellikle engebeli topoğrafya koşullarında jeofon düzeninin tesis edilmesinin zorluğu, zaman alıcı ve masraflı olması gibi nedenlerle daha az kullanılmıştır. Ayrıca, sığ sismik yansımanın başarısı iyi S/G oranı gerektirir ve istenilen çözüme ulaşmak için yüksek frekanslı dalgaların kaydına ihtiyaç vardır. Bu koşulların son derece engebeli ve heterojen olan, jeofon yer temasının zor olduğu, dalgaların sönümünün çok olduğu, saçılmanın olduğu yerlerde sağlanması zor olabilir.

Sismik kırılma yöntemi, kayıt edilen sinyallerin ilk varış zamanlarının okunup değerlendirilerek yorumuna dayanır ve hızın derinlikle arttığını varsayar (Kearey ve diğ., 2002). Heyelan kütlelerinin duraylı yere göre, boyuna ve enine dalgası hızları daha küçük olduğu için yöntemin heyelan incelemelerinde uygulanabilir olduğu kanıtlanmıştır. Yöntem, daha çok heyelan kütlelerinin iç yapısının ve ana kaya yüzeyinin topoğrafyasının belirlenmesinde kullanılmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, seyahat zamanı verileri gecikme zamanı yöntemleri kullanılarak yorumlanmıştır. Heyelanlarda ondüveli kayma yüzeyini haritalamayı mümkün kılan artı-eksi tekniği veya genelleştirilmiş karşılıklı yöntem (GRM) gibi uygulamalar geliştirilmiştir (Kearey ve diğ., 2002). Sismik tomografi tekniği, yeraltının P-dalgası hız dağılımı görüntüsünü elde etmek için ilk varış zamanlarının ters çözümünün yapılmasından ibarettir. Bu uygulama, klasik sismik kırılma ile karşılaştırıldığında, çok daha fazla seyahat-zamanı verisi ve arazi çalışması gerektirir. Ancak, yanal ve

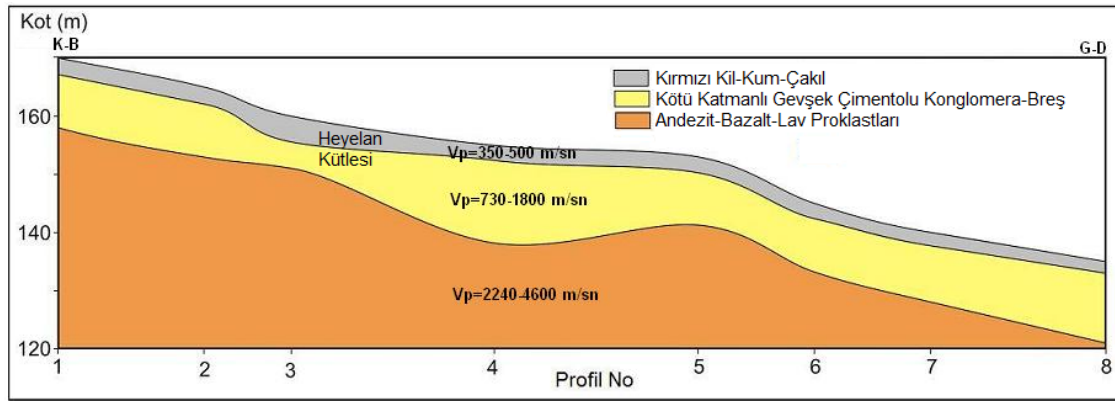
düşey olarak sismik hız değişimlerinin tespit edilmesini sağlar. Sismik hızların derinlikle değişimi belirlendikten sonra, çeşitli derinlikler için hız haritaları oluşturulur. Bu haritalardan duraylı, duraysız, boşluklu, çatlaklı ve kırıklı bölgeler, yer altı su seviyesi ve malzemenin su doygunluğundaki değişim belirlenebilir. Ayrıca, elastik parametrelerin de her tabaka için haritaları oluşturularak benzer çalışmalar yapılabilir (Mc Cann ve Forster, 1990; Caris ve Van Asch, 1991; Glade ve diğ., 2005).

Trabzon Araklı-Yiğitözü mahallesinde 2006 yılında 130x240 m² bir alanda, bir evin yıkılmasına neden olan bir heyelan meydana gelmiştir. Heyelan alanında; ince taneli, kumlu, siltli ve konglomeratik seviyeler yer almaktadır. Bölgede meydana gelen heyelanların genel olarak kayma dairesinin derin olmadığı, sıg, yüzeysel kayma ve akmalar şeklinde olduğu anlaşılmaktadır. Heyelan alanında bir profil boyunca alınan sismik kırılma ölçülerinin ters çözümü ile elde edilen yeraltı hız dağılımı Şekil 1’de görülmektedir. Sismik hız değişimlerinden heyelanın kütlesi ve kayma düzlemi açık olarak izlenmektedir. Sahada sekiz farklı profilden elde edilen yeraltı yapısı kesitlerinden hız-derinlik bilgileri birleştirilerek oluşturulan heyelan dikme kesiti Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 1. Araklı-Yiğitözü Heyelan alanında bir profilden alınan sismik kırılma verilerinden elde edilen yeraltı hız dağılımı

Figure 1. Underground velocity distribution obtained from seismic refraction data taken from a profile in Araklı-Yiğitözü landslide area



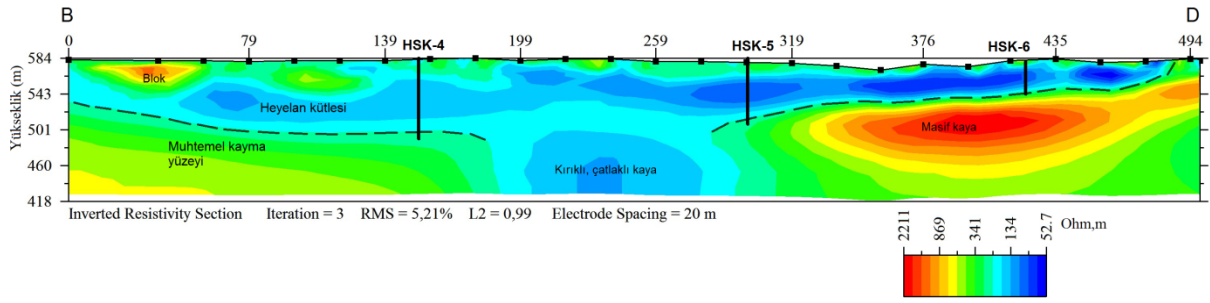
Şekil 2. Sismik kırılma yöntemi ile elde edilen Araklı-Yığıtözü heyelanı yeraltı yapı kesiti

Figure 2. Underground structure of the Araklı-Yığıtözü landslide obtained by seismic refraction method

Mikrotremor Yöntemi ile, heyelan araştırmalarında H/V eğrilerinden temel frekans belirlenerek kayma yüzeyi derinliği hesaplanmaktadır (Gallipoli ve diğ., 2000; Lapenna ve diğ., 2003; Meric ve diğ., 2007). Elde edilen sonuçlar genellikle elektrik özdirenç, jeoteknik sondaj veya kuyu ölçümleri ile karşılaştırılmaktadır. Yöntem, sismik gürültü ölçümlerinden; örtü tabakasının geometrisi ve enine dalga hızlarının tespit edilmesini sağladığı için, mühendislik jeofizikinde kullanımı giderek artmaktadır. Kayma yüzeyleri; kayma dalgası hız kontrastları oluşturur ve yöntem teorik olarak doğrudan bu yüzeyleri algılayabilir.

Heyelan araştırmalarında en çok kullanılan elektrik özdirenç yönteminin uygulanmasının ana amacı; kayma yüzeyinin ve yeraltı su durumunun belirlenmesidir (Havenith ve diğ., 2000; Batayneh ve Al Diabat, 2002; Demoulin ve diğ., 2003; Wisen ve diğ., 2005; Lebourg ve diğ., 2005). Özdirenç yönteminde, yere bir çift elektrot ile direkt doğru akım verilir ve diğer bir elektrot çifti arasındaki elektrik potansiyel ölçülür. Yöntem; Düşey Elektrik Sondajı (DES), elektrik özdirenç profili ve özdirenç tomografi olmak üzere üç şekilde kullanılabilir. DES uygulaması ve yorumu hızlı ve kolaydır. Ancak, DES'in derinden bilgi alması için ölçümlerin büyük açılımlarla yapılması, özdirençin düşey değişimlerinin 1B olarak göz önüne alınması ve çok çözümlülük gibi bazı sorunları da vardır. Heyelanlar genellikle heterojen malzeme içerdiklerinden fiziksel parametreleri yanal değişim sergiler ve DES verilerinin yorumlanması zor hale gelir. Elektrik özdirenç tomografi (ERT), yeraltının 2B görüntüsünü sağladığı için son yıllarda standart bir jeofizik görüntüleme tekniği olarak ortaya çıkmıştır. Özdirenç; malzemenin doğasına (özellikle kil yüzdesi), su içeriğine, ayrışma, parçalanma gibi faktörlere duyarlıdır. Elektrik özdirenç değerleri geniş bir aralıkta değişim gösterir. Özdirenç yönteminde başarı için veri toplama parametrelerinin seçimine dikkat edilmelidir. Ayrıca, elde edilen görüntüler karmaşık olabilir ve yorum bazen sayısal modelleme kullanılarak kontrol edilmelidir.

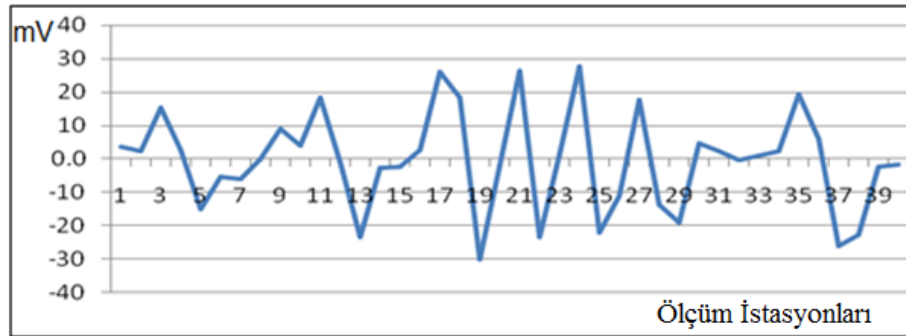
Artvin Barajı ve Hidroelektrik Santrali rezervuar alanı içerisinde kalan Havuzlu köyünde yer alan Havuzlu Heyelanı, eğimli bir yamaçta yer almakta olup, yüzey ve yeraltı suları içeren karmaşık bir yapıya sahip bir paleo heyelandır. Havuzlu Heyelanını oluşturan malzeme çoğunlukla metakumtaşı, metasilttaşı ve fillattan, daha az oranda ise gabro ve bazik volkanik kayalardan oluşmaktadır. Şekil 2'de Havuzlu (Artvin) Heyelanında bir profil boyunca alınan 2B verilerin ters çözümünden elde edilen yeraltı elektrik özdirenç dağılımı görülmektedir. Şekil 3'de yamaçtaki düşük özdirenç değerine sahip zayıf, su içeriği yüksek zonlar ve yüksek özdirençli masif blokların varlığı açıkça görülmektedir.



Şekil 3. Havuzlu (Artvin) Heyelanında bir profile ait 2B yorumlanmış yeraltı öz direnç kesiti. HSK-4, HSK-5 ve HSK-6 sahada açılmış mekanik sondajları göstermektedir. Muhtemel kayma yüzeyi kesikli çizgi ile işaretlenmiştir (Gelişli ve Ersoy, 2017).

Figure 3. A two-dimensional interpreted underground resistivity section of a profile on the Havuzlu (Artvin) slope. HSK-4, HSK-5 and HSK-6 show mechanical drilling on site. The slip surface is marked by a dashed line (Gelişli and Ersoy, 2017).

Doğal potansiyel (SP) yönteminde, yapay akım kullanılmadan, yerin kendi doğal potansiyelleri ölçülmektedir. Heyelanlar genellikle içerisinde filtrasyon akımının gerçekleştiği büyük bir drenaj oluştururlar. Bu tür bir akımın yapısı ve gelişmesi, SP araştırmalarıyla gözlemlenebilir. SP anomalisi ve dağılımları kayaç litolojisi ile önemli ölçüde ilişkilidir. Yüksek oranda kil içeren kayaçlar, pozitif anomali verirler. Heyelan kütlelerinde bulunan yeraltı suyu ve ilgili akışlar, şev stabilitesinde önemli bir rol oynar. Yapılan araştırmalar yeraltındaki bir su hareketinin doğal bir voltaj meydana getirdiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle SP yöntemi heyelanlarda yeraltı suyu hareketinin varlığını belirleme araştırmalarında kullanılmaktadır (Patella, 1997; Revil ve diğ., 1999). SP grafiklerinde -20 mV değerinden büyük anomaliler genellikle su akışının olduğu yerlere işaret etmektedir. Homojen kayaçların olduğu yerlerde SP eş potansiyel haritaları; filtrasyon akımının şekli, yönü ve şiddeti hakkında yararlı bilgiler verir. Şekil 4’de heyelan kütlesi içerisinde sondajlarla belirlenmiş su akıntılarının olduğu kesimler üzerinde ölçülen SP anomalisi görülmektedir (Havuzlu Heyelanı-Artvin).



Şekil 4. Havuzlu heyelanında bir profile ait SP grafiği (Gelişli ve Ersoy, 2017).

Figure 4. SP graph of a profile in Havuzlu (Artvin) landslide (Gelişli and Ersoy, 2017).

Elektromanyetik (EM) yöntemler; bir kaynaktan yayılan değişken elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin oluşturduğu EM dalgalarına yer tabakalarının verdiği tepkiyi ölçmeye dayanır. EM ölçümler iki yatay halka ile zaman ve frekans ortamında gerçekleştirilir. Tek bir görünür elektrik öz direnç değeri veren yöntem, hızlı profillemeye veya haritalamaya imkân verir. Yöntemin penetrasyon derinliği bobin ara uzaklığına bağlıdır ve birkaç metreden onlarca metreye kadar değişir. EM

yöntemler; son zamanlarda heyelan araştırmalarında özellikle duraysız kütlenin geometrik sınırlarını belirlemek ve suyun varlığı ve dağılımını haritalamak için birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Pek çok araştırmacı heyelan incelemelerinde EM yöntemlerin diğer jeofizik teknikleri ile kombine edilmesinin daha uygun olduğunu vurgulamışlardır (Bruno ve Marillier, 2000; Mauritsch ve diğer., 2000). EM yöntemlerden birisi olan yer radarı (Ground Penetrating Radar, GPR) yönteminde, verici antenin ürettiği yüksek frekanslı bir EM enerji, kısa zaman dilimleriyle yer içerisine gönderilir. Uygulanan alanın frekansı 10 MHz-Birkaç GHz arasındadır ve bu frekansın yayılımı, yerin elektrik özelliklerine bağlıdır. Jeolojik birimlerin su içerikleri, kayacın kırık, çatlak yapısı elektrik özelliğini değiştirdiğinden yere gönderilen sinyalin bir kısmı saçılır ve geri yansır. Ölçüm almanın kolay olması, yüksek ayrımlılık sağlaması yönetime duyulan ilginin nedenlerindedir. GPR sinyalinin çok iletken formasyonlarda çabuk sönümlenmesi, kırıklar, blok malzemeler gibi heterojenitelerin saçılma yaratması ile penetrasyon derinliğinin azalması gibi nedenler, GPR yönteminin heyelan incelemelerinde kullanımında sınırlamalar yaratır. GPR yöntemi özellikle kayma düzleminin belirlenmesinde başarı ile uygulanmaktadır (Barnhardt ve Kayen, 2000; Jeannin ve diğer., 2006).

Duraysız bölgede kayma mukavemetinin azalması nedeniyle enine dalgası hızında (V_s) düşüş oluşabilir. Derinlikle V_s hızı değişimini birkaç yöntem ile belirlemek mümkündür. Son yıllarda yeraltı incelemelerinde derinliğe karşı enine dalga hız değişimini elde etmek için mikrotremor ve SH kırılma veya yansıma yöntemleri yanında, yüzey dalgalarının analizi (SW) yöntemi giderek artan bir kullanıma sahiptir (Socco ve Jongmans, 2004; Meric ve diğer., 2007). SW yönteminin avantajı, veri toplama aşamasında yeterli kayıt uzunluğu seçilirse, P-dalgası kırılma veya yansıma verileriyle birlikte kaydedilebilir olmasıdır.

Yerleşim yerleri yakınında meydana gelen hareketler, jeofizik ölçüler kullanılarak izlenebilir. Kayaçlar gerilmeye maruz kaldıklarında geçici, ses dalgası frekanslı sonik titreşimler yayarlar. Bu gürültüler mikrosismik aletlerle algılanarak gürültü kontrolü heyelan olasılığını kestirmede kullanılabilir (Gelişli ve Çınar, 1991; Supper ve Römer, 2003; Roch ve diğer., 2006). Ayrıca, yapılan ölçüler jeodezik ölçümlerle desteklenebilir.

SONUÇLAR

Bu makalede, heyelan incelemelerinde gittikçe kullanımı artan jeofizik yöntemlerin potansiyelleri ve sınırlamaları irdelenmiştir. Heyelanlar gibi heterojen yapıların incelenmesi, sığ araştırma jeofiziği için en zorlu temalardan biridir. 2B ve 3B jeofizik görüntüleme tekniklerinin gelişimi; heyelan alanlarının karmaşık yapısını araştırmak, heyelan malzemesinin fiziksel özelliklerini ve heyelan kütlesi içerisindeki yeraltı suyu akışlarını belirlemek, heyelan hacmini değerlendirmek için giderek artan bir ilgi uyandırmaktadır.

Heyelan incelemelerinde bir jeofizik araştırmanın tasarımı için hala tartışılan birçok soru vardır ve tek bir strateji yoktur. Bu gibi yapıların araştırılmasında güvenilir sonuçlar elde etmek için, farklı jeofizik teknikler birlikte kullanılmalı ve tekniklerin seçimi açıkça fiziksel parametrelerin beklenen kontrastı tarafından yönlendirilmelidir.

Heyelanlar araştırmalarında belki de jeofizik tekniklerin uygulanmasındaki en büyük zorluk; ölçülen jeofizik parametrelerle istenen jeoteknik ve hidrojeolojik özellikler arasındaki karmaşık ilişkidir. Bu durum mühendislik özelliklerinin direk yorumunu zorlaştırmaktadır.

Jeofizik yöntemlerle elde edilen sonuçlar; jeolojik ve jeoteknik verilerle ilişkilendirilmelidir. Heyelanlar tarafından etkilenen alanların genellikle litolojik ve hidrojeolojik koşulları, mekânsal ve zamansal değişiklikler gösterirler.

Diğer bir konu da jeofizik alıcılar yerleştirilerek heyelanların sürekli izlenmesidir. Bu tür izleme araştırmaları son zamanlarda bazı heyelanlarda gerçekeştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Barnhardt W.A. and Kayen R.E., 2000. Radar structure of earthquake induced coastal landslides in Anchorage, Alaska. *Env. Geos.*, 7, 38-45.
- Batayneh A.T. and Al Diabat A.A., 2002. Application of a 2-D electrical tomography technique for investigating landslides along the Amman-Dead Sera Highway, Jordan. *Env. Geology*. 42, 399-403.
- Bichler A., Bobrowsky P., Best M., Douma M., Hunter J., Calvert T. and Burns R., 2004. Three-dimensional mapping of a landslide using a multi-geophysical approach: the Quesnel Forks landslide. *Landslides* 1, 29-40.
- Bièvre G., Jongmans D., Winiarski T., et al., 2012. Application of geophysical measurements for assessing the role of fissures in water infiltration within a clay landslide (Trieves area, French Alps), *Hydrol. Process*, 26, 2128–2142.
- Bogoslovsky V.A. and Ogilvy A.A., 1977. Geophysical methods for the investigation of landslides. *Geophysics* 42, 562-571.
- Bruno F. and Marillier F., 2000. Test of high-resolution seismic reflection and other geophysical techniques on the Boup landslide in the Swiss Alps. *Survey in Geophysics* 21, 333-348.
- Bouillon A.L., 2005. Geophysics for geohazards on land: state-of-the-art, case studies and education. ICG Report No. 2005-T1-1; NGI Report No. 20051108- 1, International Centre for Geohazards, Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- Caris J.P.T. and Van Asch W.J., 1991. Geophysical, geotechnical and hydrological investigations of a small landslide in the French Alps. *Eng. Geology* 31, 249-276.
- Chambers J.E., Wilkinson P.B., Kuras O., Ford J.R., Gunn D.A., Meldrum P., Pennington C.V.L., Weller A.L., Hobbs P.R.N., Ogilvy, R.D., 2011. Three-dimensional geophysical anatomy of an active landslide in Lias Group mudrocks, Cleveland Basin, UK. *Geomorphology* 125: 472-484.
- Cruden D.M. and Varnes D.J., 1996. Landslide types and processes. In: *Landslides investigation and mitigation*, Transportation Research Board, Special Report 247. National Academy of Sciences, Washington DC., USA, 36-75.
- Cummings D., Clark BR., 1998. Use of seismic refraction and electrical resistivity surveys in landslide investigations, *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 25(4), 459-464.
- Demoilin A., Pissart A. and Schroeder C., 2003. On the origin of late Quaternary palaeolandslides in the Liège (E Belgium) area. *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)*, 92, 795-805.
- Epada P.D., Sylvestre G., Tabod, T.C., 2012. Geophysical and geotechnical investigations of a landslide in Kekem area, western Cameroon. *Int. J. Geosci.* 3, 780–789.
- Jongmans D. and Garambois S., 2007. Geophysical investigation of landslides: a review, *Bull. Soc. géol. Fr.*, 2007, t. 178, no 2, pp. 101-112.
- Ferrucci F., Amelio M., Sorriso V. and Tansi C., 2000. Seismic prospecting of a slope affected by deep-seated gravitational slope deformation: the Lago Sackung, Calabria, Italy. *Engineering Geology* 57, 53-64.

Frashëri, A., Liço, R., and Kapedani, N., 1999. An outlook on the influence of geological structures in geothermal regime in Albania: Albanian Journal of Natural and Technical Sciences, Acad. Sci. of Albania, 1, 129-139.

Friedel S., Thielen A., Springman S.M., 2006. Investigation of a slope endangered by rainfall-induced landslides using 3D resistivity tomography and geotechnical testing. Journal of Applied Geophysics 60: 100-114.

Gallipoli M., Lapenna V., Lorenzo P., Muccarelli M., Perrone A., Piscitelli S. and Sdao F., 2000. Comparison of geological and geophysical prospecting techniques in the study of a landslide in southern Italy. European Journal of Environmental and Engineering Geophysics 4, 117-128.

Gelişli K., Çınar H., 1991. Heyelan araştırmalarında jeofizik yöntemlerin kullanımı. Türkiye 1. Ulusal heyelan sempozyumu, Trabzon-Türkiye, 27-29 Kasım 1991, 356-365.

Gelişli K. and Ersoy H., 2017. Landslide investigation with the use of geophysical methods: a case study in northeastern Turkey. Advances in Biology & Earth Sciences Vol.2, No.1, pp.52-64.

Glade T., Stark P. and Dikau R., 2005. Determination of potential landslide shear plane depth using seismic refraction. A case study in rheinhessen, Germany. Bull. Eng. Geology Env. 64, 151-158.

Godio A., Strobbia C., De Bacco G., 2006. Geophysical characterization of a rockslide in an alpine region, Engineering Geology, 83, 273-286.

Grandjean G., Gourry J.C., Sanchez O., Bitri A., Garambois S., 2011. Structural study of the Ballandaz landslide (French Alps) using geophysical imagery. Journal of Applied Geophysics 75: 531-542.

Hack R., 2000. Geophysics for slope stability. Survey in Geophysics 21, 423-448.

Havenith H.B., Jongmans D., Abdurakmatov K., Trefois P., Delvaux D. and Torgoev A., 2000. Geophysical investigations on seismically induced surface effects, case study of a landslide in the Suusamyr valley, Kyrgyzstan. Survey in Geophysics 21, 349-369.

Israil M., Pachauri A.K., 2003. Geophysical characterization of a landslide site in the Himalayan foothill region, Journal of Asian Earth Sciences, 22, 253-263.

Jeanin M., Garambois S., Gregorie S. and Jongmans D., 2006. Multi-configuration GPR measurements for geometrical fracture characterization in limestone cliffs (Alps). Geophysics, 71, 885-892.

Jomard H., Lebourg T., Tric E., 2007. Identification of the gravitational boundary in weathered gneiss by geophysical survey: La Clapière landslide (France). Journal of Applied Geophysics 62: 47-57.

Jongmans D., Hemroulle P., Demanet D., Renardy F. and Vanbrabant Y., 2000. Application of 2D electrical and seismic tomography techniques for investigating landslides. European Jou. Env. Eng. Geophysics 5, 75-89.

Jongmans D. and Garambois S., 2007. Geophysical investigation of landslides: a review. Bulletin De La Societe Geologique De France 178, no 2, 101-112

Kearey P., Brooks M. and Hill I., 2002. An introduction to geophysical exploration, 3rd Edition. Blackwell, Oxford, 262 p.

Lapenna V., Lorenzo P., Perrone A., Piscitelli S., Rizzo E. and Sdao F., 2003. High-resolution geoelectrical tomographies in the study of the Giarrossa landslide (Potenza, Basilicata). *Bull. Eng. Geol. Env.*, 62, 259-68.

Lapenna V., Lorenzo P., Perrone A., Piscitelli S., Rizzo E. and Sdao F., 2005. 2D electrical resistivity imaging of some complex landslides in Lucanian Apennine chain, southern Italy. *Geophysics*, 70, B11-B18.

Lebourg T., Binet S., Tric E., Jomard H. and El Bedoui S., 2005. Geophysical survey to estimate the 3D sliding surface and the 4D evolution of the water pressure on part of a deep-seated landslide. *Terra Nova* 17, 399-406.

Mita M., Glazer M., Kaczmarzyk R., Dąbrowski M., Mita K., 2018. Case study of electrical resistivity tomography measurements used in landslides investigation, Southern Poland, *Contemp. Trends.Geosci.*, 7(1),110-126.

Malehmir A., Saleem M.U., Bastani M., 2013. High-resolution reflection seismic investigations of quick-clay and associated formations at a landslide scar in southwest Sweden. *Journal of Applied Geophysics* 92: 84-102.

Marescot L., Monnet R., Chapellier D., 2008. Resistivity and induced polarization surveys for slope instability studies in the Swiss Alps. *Engineering Geology* 98: 18- 28.

Marinescu M., Cristea P., Maruntenau C., Mezincescu M., 2017. MASW Seismic Method in Brebu Landslide Area, Romania. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 95 032035.

Mauritsch H.J., Seiberl W., Arndt R., Romer A., Sneiderbauer K. and Sendlhofer G.P., 2000. Geophysical investigations of large landslides in the Carnic region of southern Austria. *Eng. Geology* 56, 373–388.

Mc Cann D.M. and Forster A., 1990. Reconnaissance geophysical methods in landslide investigations. *Engin. Geol.* 29, 59–78.

Meric O., Garambois S., Jongmans D., Wathelet M., Chatelain J.L. and Vengeon J.M., 2005. Application of geophysical methods for the investigation of the large gravitational mass movement of Séchilienne, France. *Canadian Geotechnical Journal* 42, 1105-1115.

Meric O., Garambois S., Malet J.P, Cadet H., Gueguen P. and Jongmans D., 2007. Seismic noise-based methods for soft-rock landslide characterization. *Bulletion De La Societe Geologique De France* 178, 2, 137-148.

Patella D., 1997. Introduction to ground surface self-potential tomography. *Geophys. Prospect.*, 45, 653–681.

Perrone A., Lapenna, V., Piscitelli S., 2014. Electrical resistivity tomography technique for landslide investigation: A review, *Earth-Science Reviews* 135 (2014) 65–82 *Earth-Science Reviews* 135, 65–82.

Revil A., Pezard P. and Glover E.W.J., 1999. Streaming potential in porous media. 1, Theory of the zeta potential. *J. Geophys. Res.*, 104, 20,021-20,031.

Reynolds J.M., 1997. An introduction to applied and environmental geophysics. Wiley & Sons, Chichester, 806 p.

Roch K.H., Schwatal, B. and Bruckl E., 2006. Potentials of monitoring rock fall hazards by GPR: considering as example the results of Salzburg. *Landslides*, 3, 87-94.

Sass O., Bell R., Glade T., 2008. Comparison of GPR, 2D-resistivity and traditional techniques for the subsurface exploration of the Öschingen landslide, Swabian Alb (Germany). *Geomorphology* 93: 89-103.

Sharma P.V., 1997. Environmental and engineering geophysics. Cambridge Univ. Press, New York, 475 p.

Sidele, R.C. and Ochiai, H., 2006. Landslides: Processes, Prediction, and Land Use. Water Resources Monograph Series, volume 18. Washington, D.C.: American Geophysical Union.

Socco V. and Jongmans D., 2004. Special issue on seismic surface waves. *Near Surf. Geophys.*, 2, 163-258.

Supper R. and Römer A., 2003. New achievements in developing a high-speed geoelectrical monitoring system for landslide monitoring. In: Proc. 9th Meeting Env. Eng. Geophys., Prague, Czech Republic. – EAGE Publications, EEGS, Houten, Paper O-004, 6 p.

Telford W.M., Geldart L.P., Sherif R.E. and Keys D.A., 1990. Applied geophysics. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 770 p.

Turnbull, W.J. and Hvorslev, M.J., 1967. Special problems in slope stability. Proceedings of the ASCE 93, (SM4), 499-528.

Wisén R., Auken E. and Dahlin T., 2005. Combination of 1D laterally constrained inversion and 2D smooth inversion of resistivity data with a priori data from boreholes. *Near Surf. Geophys.*, 3, 71-79.

Mudge S.T. and Dentith M., 2014. Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist, Cambridge University Press, 454 pages.

Craig H.J., Sheehan A.F., Burger H.R., 2006. Introduction to Applied Geophysics : Exploring the Shallow Subsurface, WW Norton & Co New York, United States, 624 pages

Araştırma Makalesi

**BATI KARADENİZ TUNA BÖLGESİNDE DENİZDE TOPLANAN 2B SİSMİK
HATTIN VERİ İŞLEM AŞAMASINDA DE-GHOST UYGULAMASININ
MİGRASYONA ETKİSİ**

**The Effect of De-Ghost Application on The Migration in the Process Stage of 2D Seismic Line at the Sea
in Tuna Region of West Blacksea**

Kutluay SELÇUK¹

ÖZ

Sismik veri işlem yapılırken verinin karakteristik özelliklerini bilinmelidir. Verinin karakteristik özelliklerini veri üzerinde gözlenen ilişkili ve ilişkisiz olaylar belirlemektedir. En uygun veri işlem adımlarının ve veri işlem parametrelerinin seçilebilmesi için, veri üzerinde görünen bu olayların kaynağı bilinmelidir. Birçok durumda yok edilmeye çalışılan gürültü, veri toplama işleminin doğasından meydana gelen bir takım olaylar sonucu ortaya çıkar. Örneğin tekrarlı yansılardan kaynaklanan gürültüler, hayalet yansımaları, reverberasyonlar olarak gözükebilir. Bu çalışma göstermektedir ki, De-Ghost uygulaması sonucu gelişmiş çözünürlük ve bant genişliği ile birlikte, sismik olayların daha güçlü bir şekilde ayrımcılığa uğramasının yanı sıra, esas olarak artan düşük frekanslı içerikten kaynaklanan daha derin hedeflerin daha net görüntülenmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deniz Sismiği, Deniz Sismiğinde Hayalet Yansıma, Deniz Sismik Veri İşlem

ABSTRACT

The characteristics of the data should be known during the process of seismic data processing. The characteristics of the data determine the associated and unrelated events observed on the data. In order for the most appropriate data processing steps and data processing parameters to be selected, the origin of these events appearing on the data must be known. In many cases, the noise that is attempted to be destroyed is the result of a number of events that occur in the nature of data collection. For example, noise from repetitive reflections, Ghost reflections, reverberations have been shown. This study demonstrates that, as a result of the De-Ghost implementation, with improved resolution and bandwidth, a stronger discrimination of seismic events has been achieved, as well as a more precise view of deeper targets originating mainly from increased low-frequency content.

Keywords: Marine Acquisition, De-Ghost on Marine Seismic, Marine Seismic Process

GİRİŞ

Sismik veri işleminde temel hedef sayısal olarak kaydedilen verilerin kalitesinin artırılmasıdır. Bu da sismik verilerdeki sinyal seviyesinin yükseltilmesi, gürültü seviyesinin azaltılması yani Sinyal/Gürültü (S/G) oranının artırılması ile sağlanır. Sismik verilerdeki gürültüler sahip olduğu frekans, yayılım hızı, yayılım yönü gibi herhangi bir özelliği ile sinyalden ayrılıyorsa, bu özellik kullanılarak gürültüyü veriden neredeyse tamamen atmak olanaklıdır. Fakat rastgele olan ve belirleyici bir özellik taşımayan gürültülerin etkisini ortadan kaldırmak zor veya neredeyse olanaksız olarak düşünülmelidir. Bu tür gürültüler elemine edilmeye çalışıldığı sırada gerçek sinyal de yok edilebileceğinden çok dikkatli olmak gerekir. Başarılı bir sismik veri işlem, yalnızca her bir aşamada seçilen parametrelerin uygun olmasıyla sağlanamaz, her bir aşamanın etkinlik derecesinde tüm sismik veri işleminin sonuç çıktısı üzerinde oldukça etkilidir. (Dondurur, 2009)

Son yıllarda, keşif odağı özellikle sınırlar ve az araştırılmış alanlarda stratigrafik ve daha derin katmanlara kaymış ve geniş bant sismik verilere olan talep de buna göre artmıştır. Geleneksel denizde

¹ Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Arama Daire Başkanlığı, Veri İşlem Müdürlüğü, Ankara.

*İlgili yazar / Corresponding author: kselcuk@tpao.gov.tr

Gönderim Tarihi: 20.11.2018

Kabul Tarihi: 22.12.2018

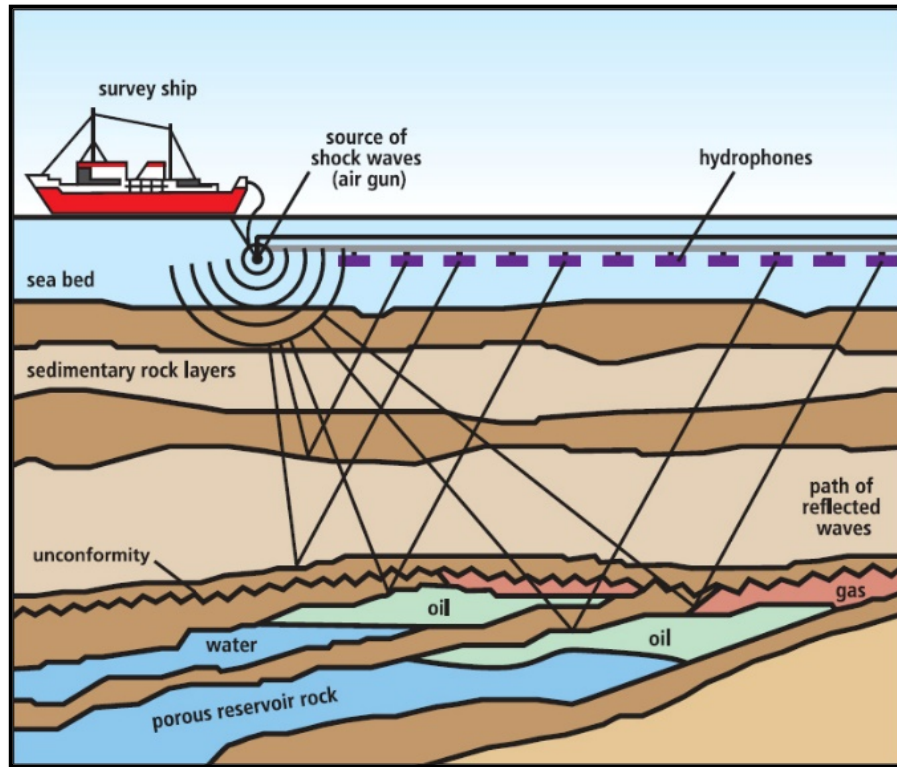
veri toplama, deniz yüzeyinden gelen yansımalar, hem kaynak hem de alıcı kablo derinlikleriyle doğrudan ilişkili olduğundan kaydedilen verinin sismik frekanslarını ve bant genişliğini güçlü bir şekilde etkileyebilir.

Bu çalışmada sismik verimizin içindeki hayalet yansımalar ortadan kaldırılarak yoruma yönelik tekrarlı yansımaların aldatıcı etkisi giderilmiş ve frekans bandı genişlettilererek sismik ayrımlılık artırılması hedeflenmiştir.

DENİZ SİSMİĞİ

Deniz Jeofiziği araştırmaları yaygınlaşmadan önce büyük petrol şirketleri denizde petrol arama görüşünden çekinirlerdi. Oşinografların da desteklediği denizde Jeofizik yöntemlerin uygulanabilirliği, zamanla kabul görmüş ve geniş uygulanma alanı bulmuştur. Bugün hidrokarbonlar, su derinliğinin 1.5 km'ye ulaştığı sahalardan çıkarılabilmekte ve 3 km'den daha derin sahalarda üç boyutlu çok kanallı sismik yansıma çalışmaları standart olarak uygulanabilmektedir. Bununla birlikte, tektonik yapıların araştırılmasına yönelik sığ ve derin sismik araştırmalar, yaygın olarak kullanılmaktadır.

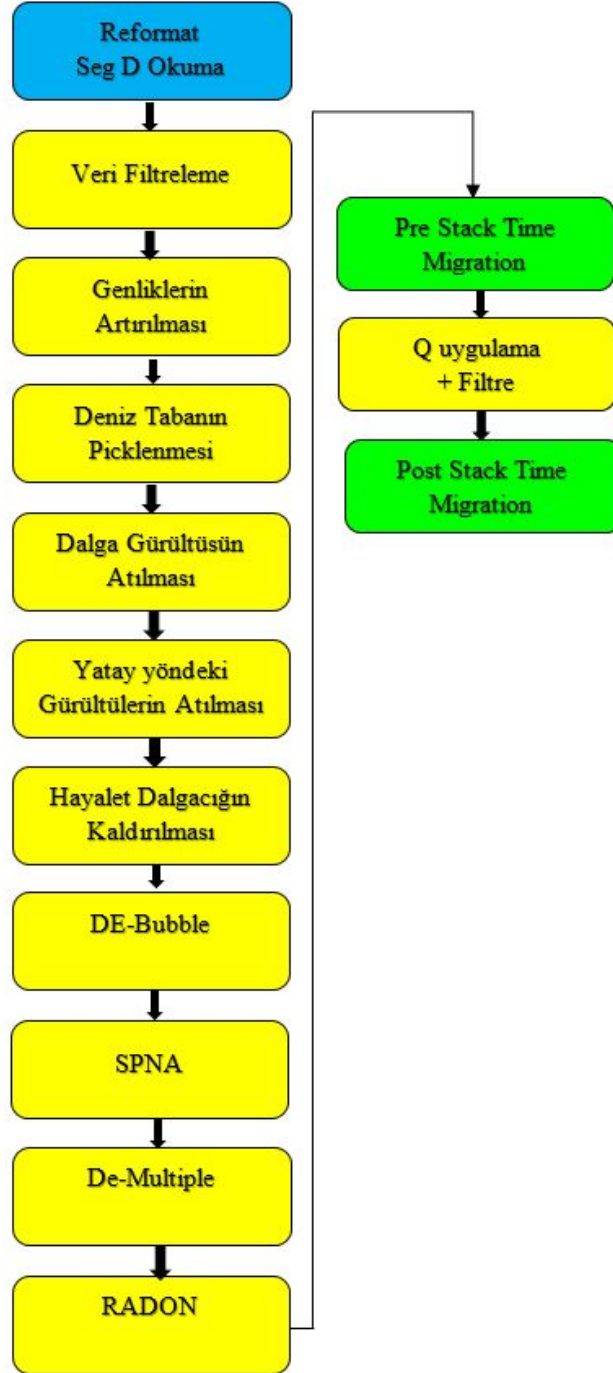
Deniz sismiği araştırmaları tekrarlamalı bir enerji kaynağı ile oluşan sinyalleri kaydedecek alıcıların bulunduğu bir kaynak–alıcı düzeneğinin oluşturulması yardımıyla yapılır (Şekil 1). Kaynak – alıcı düzeneği araştırmanın amacına göre sığ veya derin tabaka bilgilerinin hedeflenmesi gibi farklılıklar gösterebilir. Örneğin sığ sismik araştırmalarda kaynağın ürettiği dalgacıklar sıfır açılım (offset) birkaç hidrofona kaydedilirken, derin sismik çalışmalarında ise daha güçlü enerji kaynakları ile üretilen sinyaller geminin arka tarafına konumlandırılmış ve üzerinde bir çok hidrofona bulunduğu 2–3 km.'lik alıcı kablosunun (streamer) çekilmesi ve sinyallerin açılımlı kaydedilmesiyle elde edilir.



Şekil 1. Denizde Sismik veri toplama
Figure 1. Seismic Acquisition on Marine

VERİ İŞLEM AŞAMALARI

Sismik veri işlem aşamaları için uygun parametrelerin seçimi amacıyla sismik veriye bazı testler uygulanmaktadır. Gerekli parametrelerin seçilmesinin ardından tüm veri işlem akışı, seçilen parametrelerle tüm veri için çalıştırılır. Şekil 2’de gösterilen 2B deniz sismiği verilerinin işlenmesinde kullanılan genel bir sismik veri işlem akış şeması verilmiştir. Ancak veri toplama sırasında ortaya çıkabilecek özel gürültüler bu akış şemasında farklılıklar oluşmasını gerektirebilir.

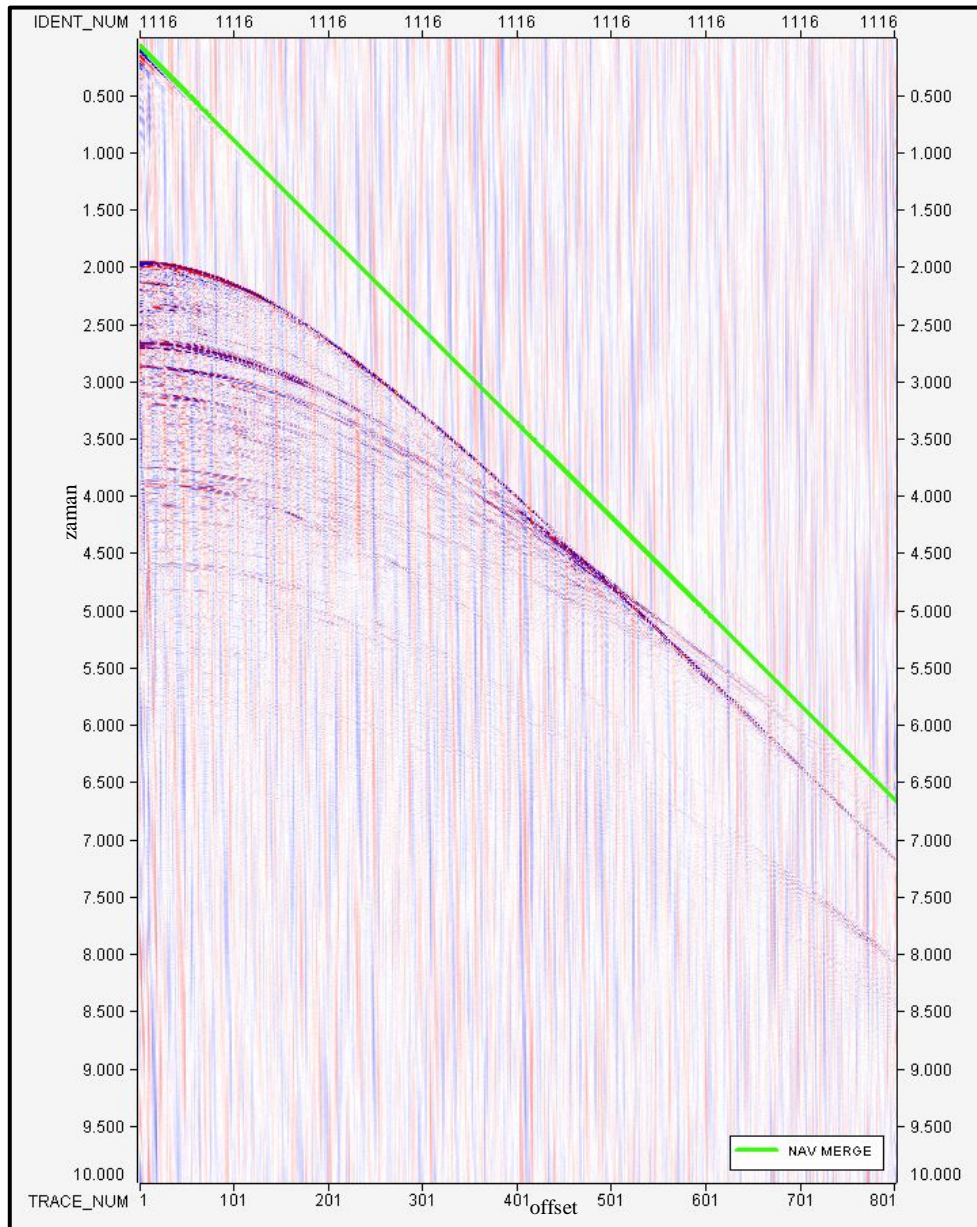


Şekil 2. Deniz Sismiği Veri İşlem Akışı
Figure 2. Process flow on Marine Seismic

VERİ OKUTMA

Araziden toplanmış olan ham sismik veriyi, sismik veri işlem sistemine yükleme işlemine veri yükleme adı verilir. Veri yükleme işlemi sırasında sismik verinin kaydedildiği dosya formatı sismik veri işlem programı tarafından okunarak veri işleme hazır hale getirilir. Sismik veri, atış numarası (FFID), örnekleme aralığı, kanal sayısı gibi sismik veriyle ilgili bilgileri içeren ve SEG (Society of Exploration Geophysicists) derneğinin tanımlamış olduğu özel veri formatlarında kaydedilir. Genlik değerlerinin dışındaki bilgilerin kaydedildiği kısma “başlık (header)” adı verilmektedir.

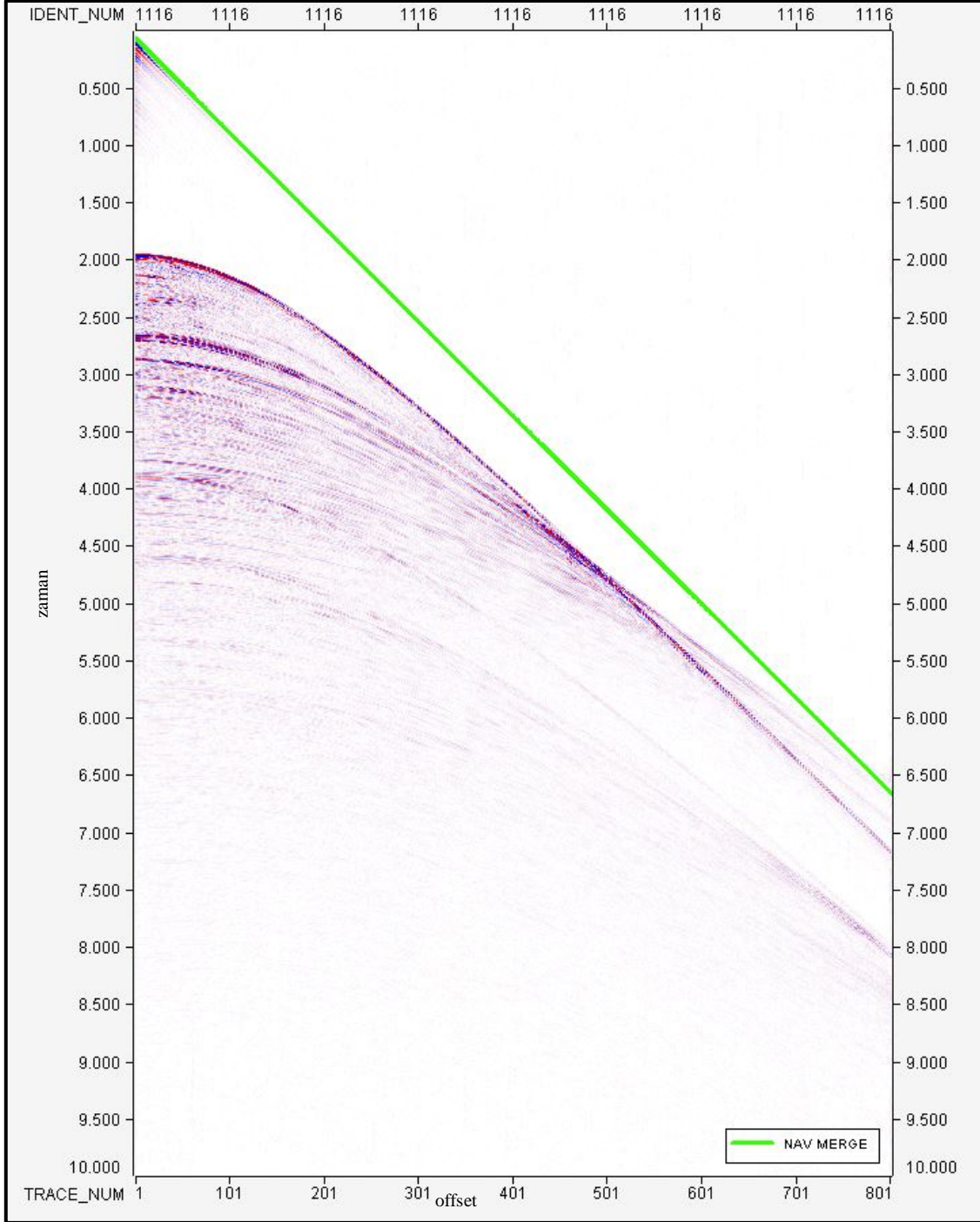
Sismik çalışma yapılan alanda toplanan veri SEG formatındadır. Toplanan veri navigasyon bilgileri ile birleştirilerek SEG formatına çevrilir (Şekil 3).



Şekil 3.Ham veri
Figure 3.Raw data

FİLTRELEME

Veri toplanırken denizin, geminin, alıcı kablunun oluşturduğu olağan düşük frekanslı gürültüler verimizin içine girer. İlk aşamada bu gürültüleri alçak geçişli filtre (low cut) yaparak atarız. Denizin kendi içindeki dominant gürültüsü ortalama olarak 3 Hz in altında kalmaktadır. Burada 3 Hz altında kalan gürültüler bastırılmıştır (Şekil 4).

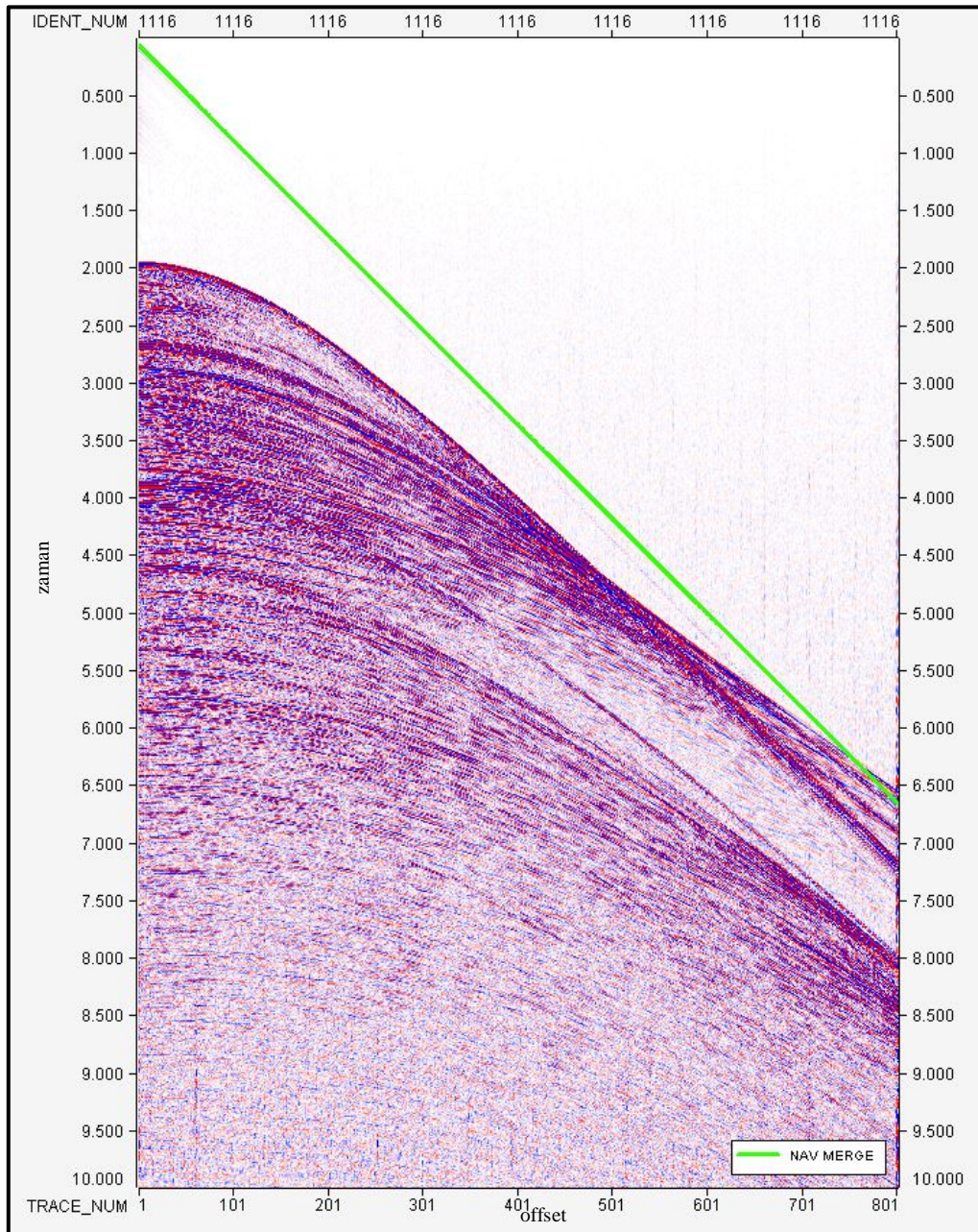


Şekil 4. Filtrelenmiş veri
Figure 4. Filtered data

GENLİKLERİN ARTIRILMASI

Kazanç uygulaması, sismik izinin zamanla değişecek şekilde örneklenmesi işlemidir. Bu amaçla uygulanan ve “gerçek genlik kurtarımı (true amplitude recovery-TAR)” adı verilen yöntemlerde kazanç fonksiyonu belirli zaman pencereleri için tanımlanır ve bu pencere içerisinde sismik iz genlikleri ile çarpılır. Kazanç uygulaması sonrasında sığ kısımlardaki yüksek genlikli enerjinin genliği azaltılır ve derin kısımlardaki çok düşük genlikli olayların genlikleri yükseltilir ve çok düşük genliğe sahip geç varışlar görülebilir hale getirilir. Ancak kazanç işlemi, görülemeyen düşük genlikli olayların genliklerini yükseltirken bu kısımlardaki gürültünün de genliğini yükseltir.

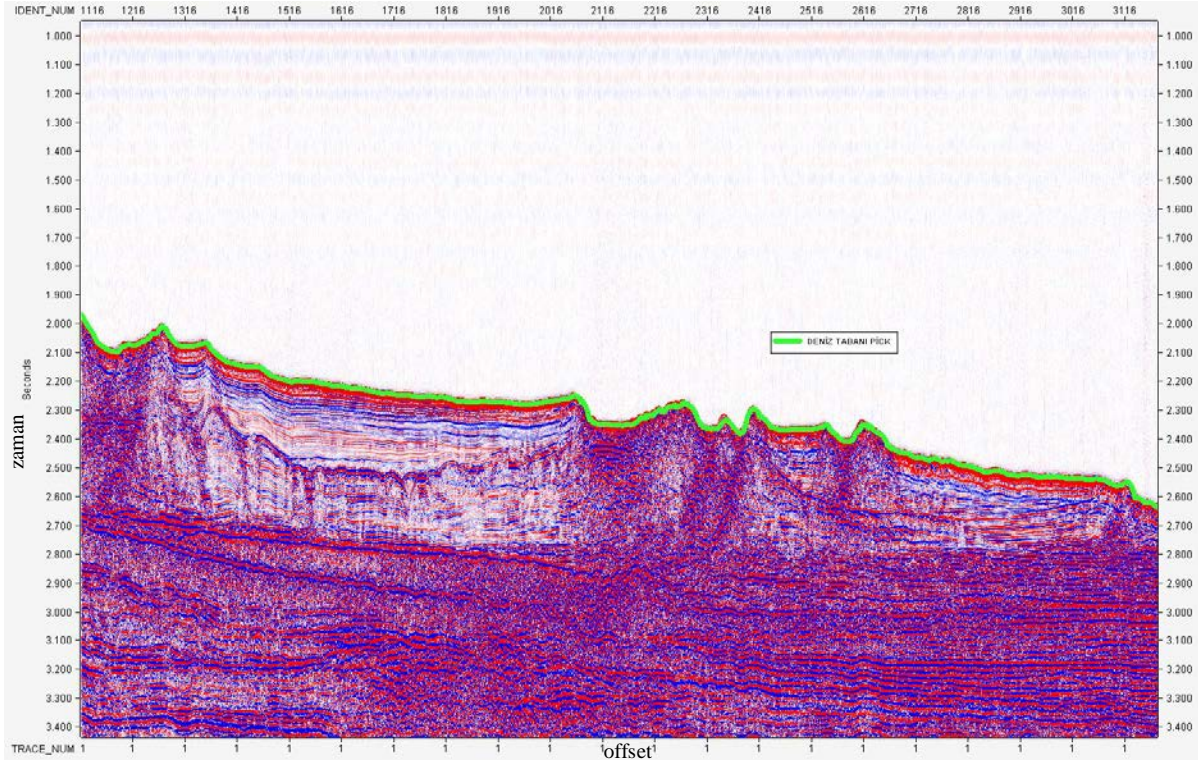
Şekil 5’de verideki attribütlerin (öznitelikler) genliğini artırırız. Genlik değerimiz $T^{1.5}$ ‘dir.



Şekil 5. Genliklerin artırılması
Figure 5. Gain application

DENİZ TABANINI BELİRLEME

Bu kısımda deniz tabanını belirleme işlemi yapılır, bunun için kaynaktan çıkan sinyalin tüm atışlar boyunca ilk kanaldan gelen bilgiler yığılma (stack) edilir (Şekil 6). Buradaki amacımız deniz tabanı ile su kolonunu kalınlığını hesaplayarak sayısal bilgileri atışların üzerine yazdırarak ileride yapılacak gürültü giderilmesi, mute, radon gibi işlemlerde kullanmaktır.



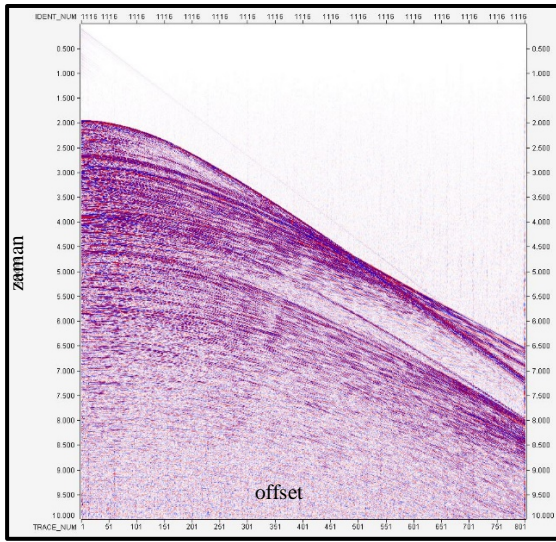
Şekil 6. Deniz Tabanını Belirleme

Figure 6. Water Bottom Picking

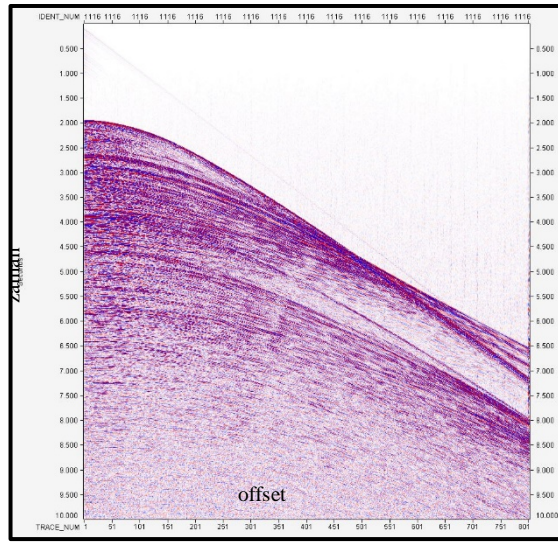
DALGA GÜRÜLTÜSÜNÜN ATILMASI

Deniz dalgası gürültüsü, ham sismik atış gruplarında gözlenen en baskın gürültü şekli olup, deniz yüzeyindeki deniz dalgalarından meydana gelir. Alıcı kablo yüzeye yakın çekildiğinde ve dalgalı havalarda daha da bu gürültüler belirginleşirler ve genlikleri yansıma genliklerine oranla çok daha yüksek olması nedeniyle ham atış gruplarında birincil yansımaları neredeyse tamamen maskelerler.

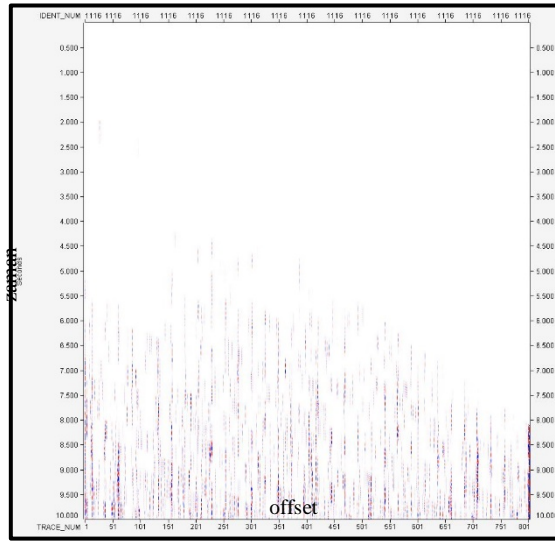
Bu aşamada veri toplanma esnasında dalgaların oluşturduğu olağan gürültüler (Şekil 7) ve temizlendikten sonraki (Şekil 8) ve yapılan işlem sonucundaki fark (Şekil 9) gösterilmiştir.



Şekil 7. Giriş verisi
Figure 7. Input data



Şekil 8. Çıkış verisi
Figure 8. Output data

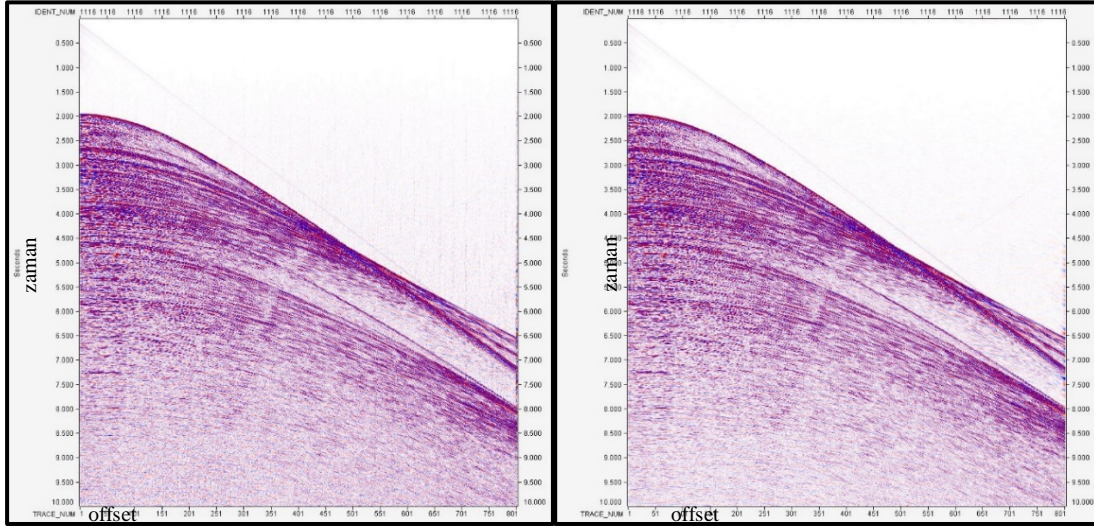


Şekil 9. Giriş-Çıkış Arasındaki fark
Figure 9. Input-Output difference

YATAY GÜRÜLTÜLERİN ATILMASI

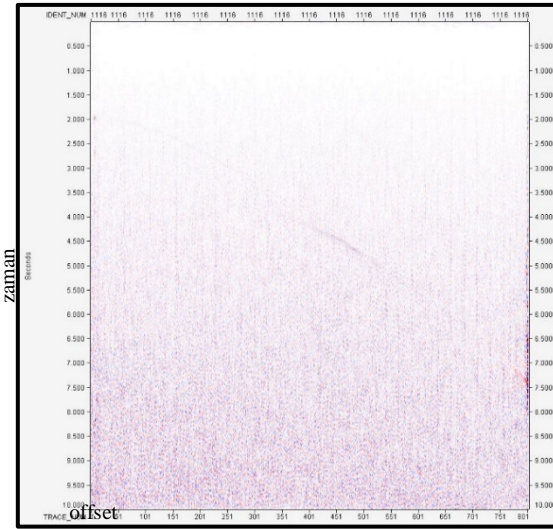
Kaynaktan çıkarak su kolonundan yayılan ve doğrudan alıcılara ulaşan dalgalardır ve doğrudan gelen dalgalar (direct waves), deniz tabanından kırılarak gelen baş dalgaları (head waves), dispersif yönlendirilmiş dalgalar (guided waves) olarak sıralanırlar. Bu tür gürültüler her zaman yakın offsetten uzak ofsete doğrudur. Doğrudan gelen dalgalar, kaynaktan çıkarak su yüzeyi boyunca yatay yayılan ve alıcılara ulaşan dalgalardır ve su kolonunda yayılmaları nedeniyle hızları her zaman su içerisindeki P dalgası hızına eşittir ve genlikleri ofsetle ters orantılıdır. Bu işlemde lineer yöndeki tüm gürültüleri temizlenir.

Bu aşamada veri toplama esnasında dalgaların oluşturduğu yatay yöndeki gürültüler (Şekil 10) ve temizlendikten sonraki (Şekil 11) ve yapılan işlem sonucundaki fark (Şekil 12) gösterilmiştir.



Şekil 10. Giriş verisi
Figure 10. Input data

Şekil 11. Çıkış verisi
Figure 11. Output data



Şekil 12. Giriş-Çıkış Arasındaki Fark
Figure 12. Input-Output Difference

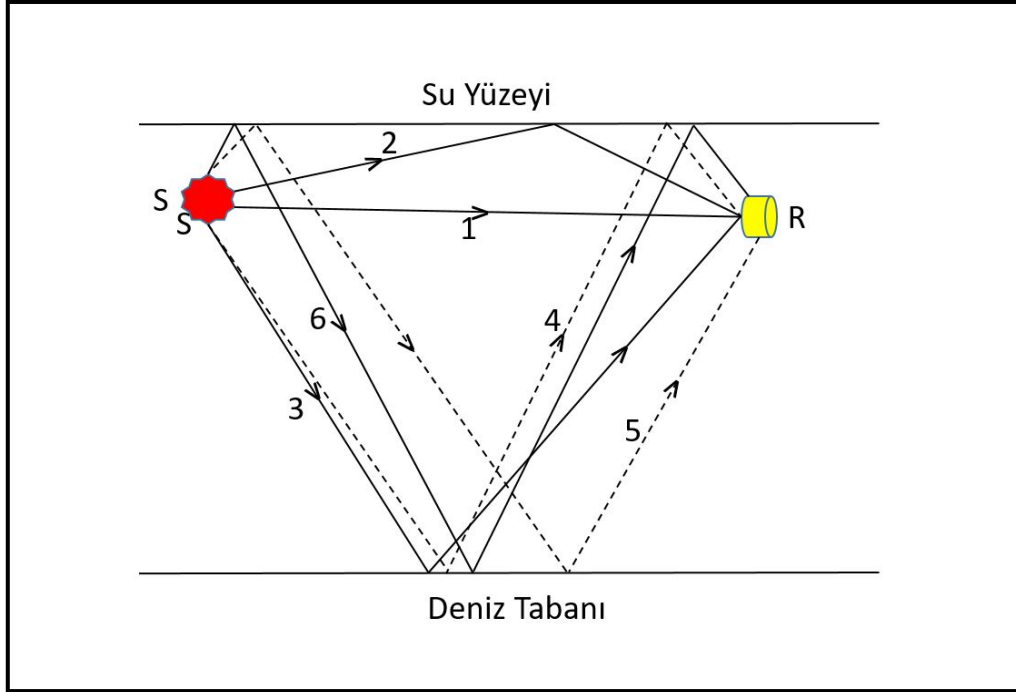
HAYALET DALGACIĞIN KALDIRILMASI

Hayalet Tekrarlı Yansıması

Sparker elektrod çifti bir nokta kaynak olarak kabul edilirse, bu noktadan çıkan basınç dalgaları her yöne ilerleyeceklerdir. Sparker su yüzeyinden çekilirse, sismik enerjinin atmosfer içerisine kaçan bölümü bizi ilgilendirmeyecektir. Fakat bu durumda, su üzerine çıkan elektrotlar arasında iletkenlik görevi yapan tuzlu deniz suyunda zaman zaman kesintiler oluşacak ve arzu edilmeyen kör atışlarla karşılaşacaktır. Söz konusu teknik kısıtlama sparkerın bir miktar su yüzeyinin altından çekilmesini gerektirmektedir. Diğer yandan, sparker türü sismik kaynaklara ait frekanslar f_e 500 Hz ile birkaç kHz aralığına düşmektedirler. Sismik dalgaların deniz suyu içindeki yayılım hızları yaklaşık $V_{su} = 1500$ m/s alındığında oluşan λ dalga boyları en çok 3 metre gibi çok kısa uzunluklara sahip olacaklardır;

$$\lambda = \frac{V_{sU}}{f_e} = \frac{1500m/s}{500Hz} = 3m \quad (1)$$

Bu durumda gerek kaynağın, gerekse alıcının su yüzeyinde olan derinlikleri, Birincil ve onu hemen arkasından izleyen Hayalet Tekrarlı Yansımaların oluşturduğu Birleşik Dalgacık biçimini önemli ölçüde etkileyeceklerdir. Söz konusu sismik olayları ayrıntılı olarak şekil 13’de inceleyelim



Şekil 13. Kaynaktan çıkan dalgacığın gidiş yolu
Figure 13. Way trace out of the source

Şekil 13’de toplam 6 adet sismik olayla ilgili ışınlar görülmektedir. Bunlarda(1) ve (2) numaralı sismik olaylar tamamen su yüzeyine yakın oluşmakta ve derinlerden gelen sismik sinyalleri hiçbir şekilde etkilememektedirler. (1) inci sismik olay kaynak(S) ile alıcı (R) arasındaki doğrudan varışı göstermektedir. (2) inci sismik olay ise kaynaktan yola çıkıp su yüzeyinin altından yansırarak polarite terslenmesi ile alıcıya ulaşan yansımayı göstermektedir. (3) üncü sismik olay bizim için asıl önem taşıyan deniz tabanından gelen birincil yansımayı göstermektedir. (4) üncü sismik olay alıcı tarafı Hayalet Tekrarlı yansımasını göstermektedir. Sismik dalgacık alıcıya ulaşmadan hemen önce su yüzeyinin altından hemen yansırarak polarite terslenmesine uğramaktadır. (5) inci sismik olay Kaynak tarafı Hayalet Tekrarlı yansımanın göstermektedir. Sismik dalgacık kaynaktan çıktıktan hemen sonra su yüzeyinin altından yansırarak polarite terslenmesine uğramaktadır. En nihayetinde (6) inci sismik olayda Kaynak ve Alıcı tarafı Hayalet Tekrarlı yansıması görülmektedir. (S) kaynağından yola çıkan sismik dalgacık su yüzeyinin altından yansırarak ikinci kez polarite terslenmesine uğramakta dolayısıyla ilk orijinal polaritesine kavuşarak (R) alıcısına ulaşmaktadır.

Hayalet Yansıma Operatörü

1993 yılında, (Amundsen, 1993). yatay alıcı kablo için hayalet fonksiyonunu tanımladı. Frekans-yatay dalga-sayısı ortamında hayalet fonksiyonunun dalga denklemi revizyon edildiğinde,

$$G(k_x, k_y, z) = 1 + r_0 \exp(2ik_z z) \quad (2)$$

Burada $k_z = (k^2 - k_x^2 - k_y^2)^{1/2}$ dikey yöndeki dalga sayısı, $k = \omega / c_0$ dalga sayısı, ω dairesel frekans, z kayıt derinliği, c_0 yayılma hızı, ve $r_0 = -1$ akışkan ara yüzü belirtmektedir. Daha sonra, hayalet işlevinin tersi olarak tanımlanan De-Ghosted işlevi.

$$D(k_x, k_y) = 1 / \left(G(k_x, k_y, z) \right) = 1 / (1 + r_0 \exp(2ik_z z)) \quad (3)$$

Amundsen L. Et al. 2013, Taylor serisi olarak De-Ghosting fonksiyonunu genişleterek

$$D(k_x, k_y) = \sum_{n=0}^{\infty} (-r_0)^n \exp(2ik_z z) \quad (4)$$

Yansımaya katsayısı sayılabilir, deniz yüzeyi mükemmel düzlükte bir yüzey değildir.

Gerçek Veriye Uygulama

De-Ghost işlemindeki ana fikir uygun De-Ghost operatörlerini uygulayarak kaynak ve alıcının sebep olduğu Ghost etkisini kaldırmaktır.

Farklı saha / alıcı kablo konfigürasyonları ve jeolojik ortama bağlı olarak, De-Ghosting çözümü farklı alanlardaki verilerden türetilir. Bu, FK, Tau-P ve XT- alanları olabilir ya da çok değişken streamer derinliği için, yerel Dip-Xt ortamında çalışan özel bir algoritma kullanılabilir.

Başarılı bir sismik kesit sonucu elde edebilmek için Ghost gecikmesi ve yansımaya katsayıları hesaplanması kayan bir pencere sistemi ile yapılmalıdır. Ortaya çıkabilecek De-Ghost edilmiş bir verinin yanlış veya hatalı bir sonuçlanmasından kaçınmak için kusursuz, temiz bir De-Ghost sinyali olmalıdır. Hesaplamalar en küçük kareler ters çözümü yöntemi ile yapılmalı, optimum De-Ghost hesaplanmalı ve alıcıya gelen statik düzeltmelerden gecikme zamanından yararlanılmalıdır.

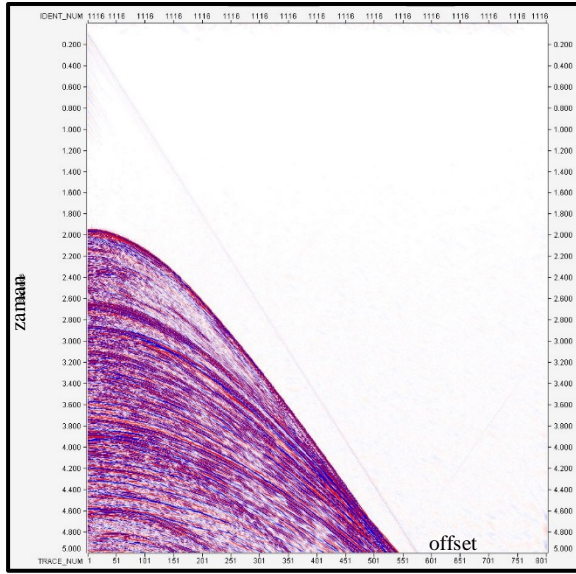
De-Ghost aşaması veri işlemin herhangi bir fazında uygulanabilir, fakat daha çok gürültü eliminasyonundan sonra tercih edilmelidir. Alıcı derinliklerinde küçük değişikliklere sahip veriler için, migrasyon sonrası De-Ghostuda başarılı bir şekilde elde edilebilir. Bu gibi durumlarda, sonuçlar genellikle uygun bir yığma öncesi veya migrasyon öncesi sonuçları ile karşılaştırılabilir.

Bu aşamada veri işlem esnasında Ghost bulundaki veri (Şekil 14) ve De-Ghost uygulanan veri (Şekil 15) gösterilmiştir.

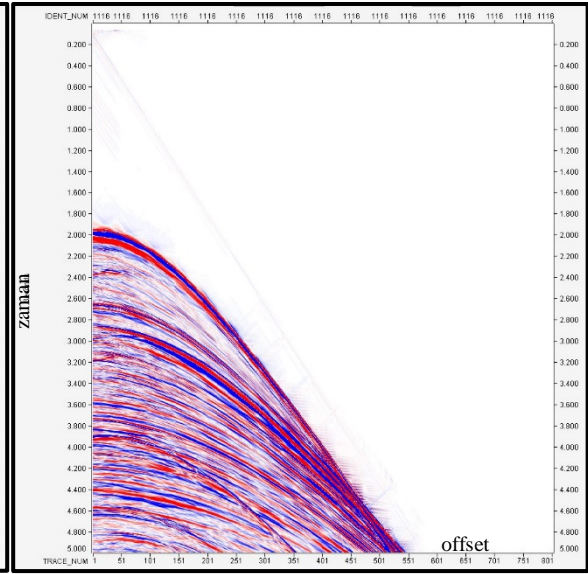
De-Ghosting işlemi zaman ortamında sadece hidrofona için kaynak ya da alıcı kaynaklı Ghostların temizlenmesine katkı sağlar ki bu da spektrumun genişlemesine sebep olur (Şekil 16).

De-Ghost Parametreleri

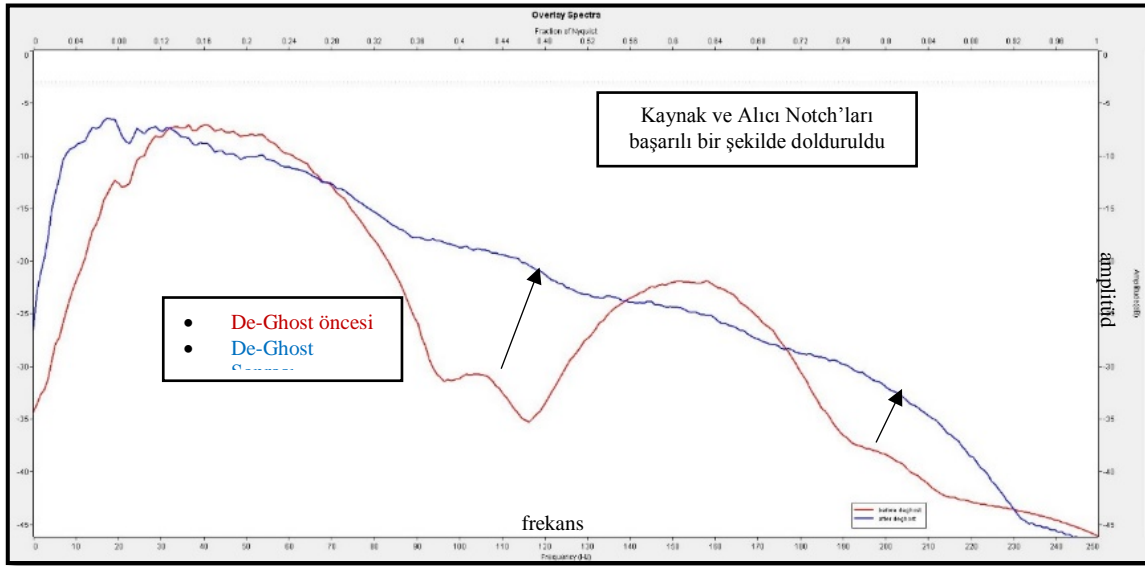
Tau yumuşatma filtresi uzunluğu	:1.0
P yumuşatma filtresi uzunluğu	:10.0
Kabul edilebilir streamer derinlik hatası	:± 2.5 m
Adaptive Ghost modeli iterasyon sayısı	:10
Enerji kaynağı su derinliği	:6 m
Streamer su derinliği	:7 m



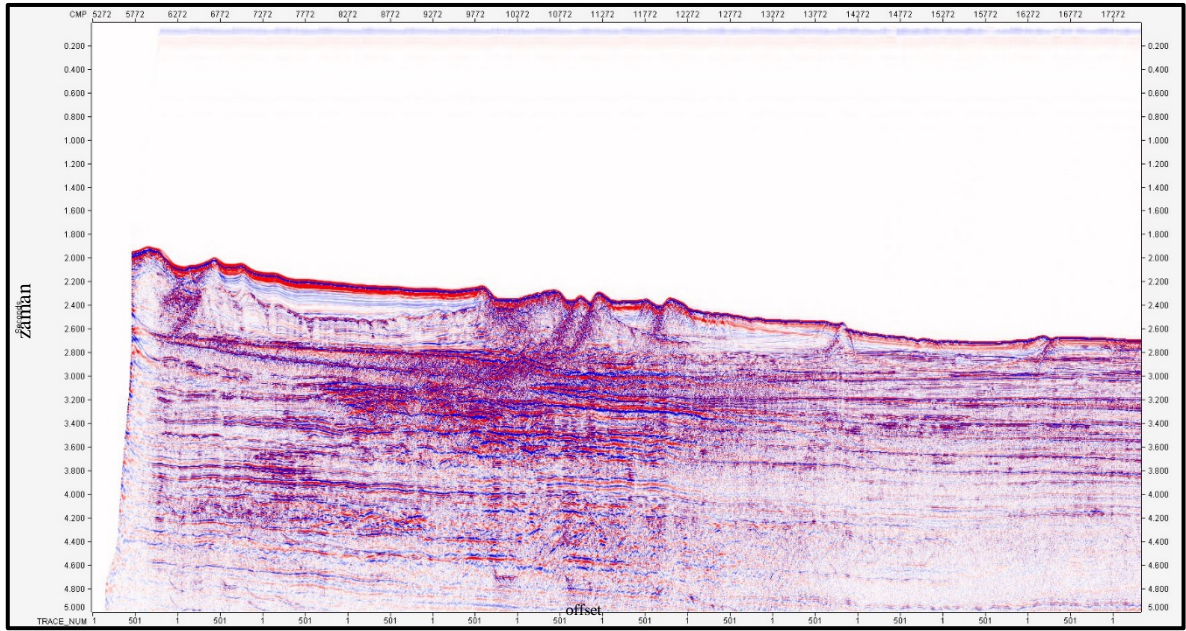
Şekil 14. De-Ghost giriş verisi
Figure 14. De-Ghost input data



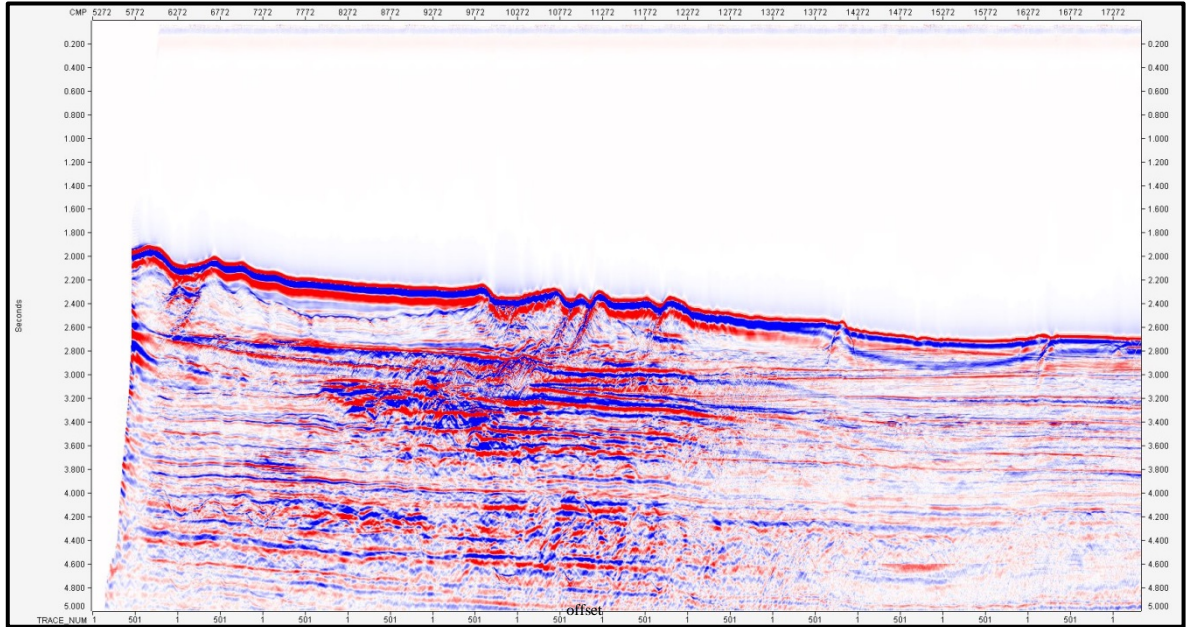
Şekil 15. De-Ghost çıkış verisi
Figure 15. De-Ghost output data



Şekil 16. De-Ghost uygulaması sonucu frekans spektrum değişimi
Figure 16. De-Ghost application results in frequency spectrum change



Şekil 17. De-Ghost öncesi yığıma kesit
Figure 17. Pre-stacking section



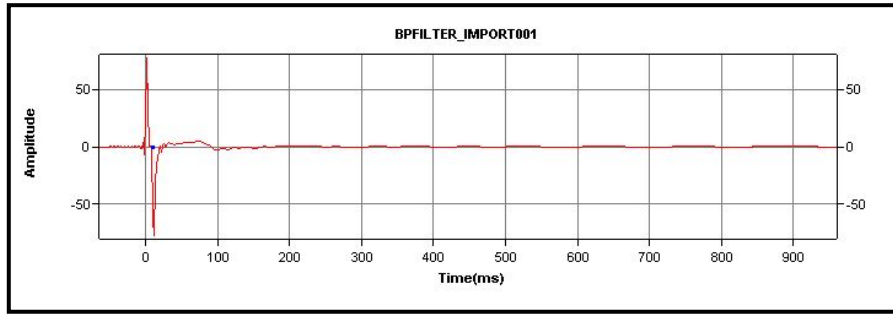
Şekil 18. De-Ghost sonrası yığıma kesit
Figure 18. De-Ghost after stack section

KAYNAĞIN İKİNCİL ENERJİSİNİN ATILMASI (DEBUBBLE)

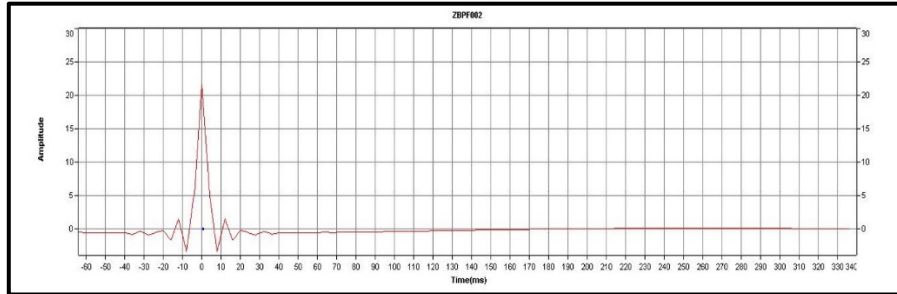
Sismik kayıt yapılırken, tek bir hava tabancası kullanılırsa, hava tabancasının oluşturduğu kabarcık etkisi önemli sorunlara neden olabilir. Atış yapıldığında hava tabancası patlatılır ve içerisinde topladığı yüksek basınçlı hava aniden su içerisine boşaltılır. Bu büyük hava kabarcığının hava basıncı, ilk durumda etrafındaki suyun basıncından büyük olması sebebiyle kabarcık genişlemeye başlar. Bu genişleme sonucu kabarcık en büyük hacmine ulaştığında, kabarcığın içerisindeki hava basıncı çevredeki suyun basıncından daha düşük hale gelir ve çevresindeki yüksek basınç nedeniyle kabarcık

aniden küçülür. Bu küçülme hareketi, su içerisine ikinci bir akustik kaynak gibi sinyal yayar. Ancak bu ikinci sinyal, kabarcığın küçülmesi sırasında oluştuğundan, ilk sinyale göre ters polaritelidir. Daha sonra kabarcık hacminin küçülmesi nedeniyle artan iç basınç sonucu kabarcık tekrar büyümeye başlar ve su içerisinde bir sinyal daha oluşturur. Kabarcığın su içerisindeki bu hareketleri, su yüzeyine çıkana kadar tekrarlar ve her bir genişleme-büzülme yeni bir kaynak gibi davranır. Bu sinyallerden her biri diğerine göre ters polariteli olup genlikleri de gittikçe azalır. Kabarcık etkisi, sismik veride kendisini tekrarlayan birbirine göre ters polariteli sinyaller şeklinde gözlenir. Genliği en büyük olan ilk kabarcığın etkisi final yığma kesitlerinde gözlenebilir. Bazı durumlarda kabarcık etkisi, tekrarlı yansımaları görülecek kadar güçlüdür ve genellikle deniz tabanından bir süre sonra ortaya çıkan ve deniz tabanını taklit eden yalancı yansımalarıdır ve asıl yansımaları keserler. Bunların elimine edilmesi için kestirim dekonvolüsyon kullanılmaktadır ancak kabarcık etkisini veri işlem yöntemleriyle giderebilmek çok zor olması nedeniyle veri toplanması sırasında farklı hacimlerde birden fazla hava tabancası kabarcıklarının ortaya çıkış zamanlarının farklarına dayanan bir sistem kullanılarak kabarcığın sönümlenmesi sağlanır.

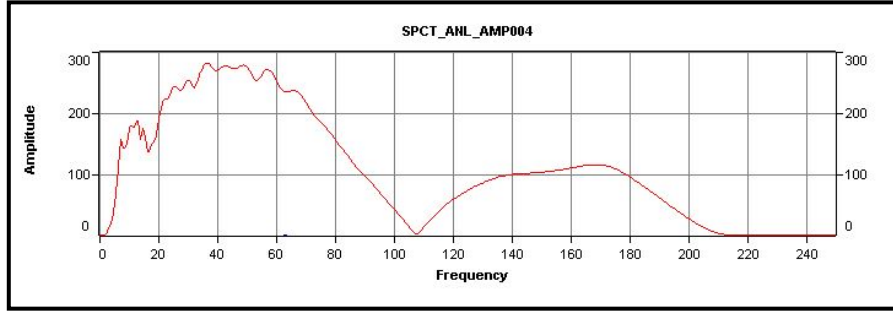
Bu işlem için elimizde bulunan “far field signature” kullanılmıştır. Dalgacıkta bulunan source Ghost silinerek örnekleme aralığı 4 ms yapılmıştır. Sonrasında sıfır faz dalgacığını elde etmek adına dalgacığa ait spike(iğnecik) elde edilmiş ve bunun üzerinde omega yazılımında dönüşüm yaparak dalgacığın sıfır faz eşleniği bulunup veriye uygulanmıştır.



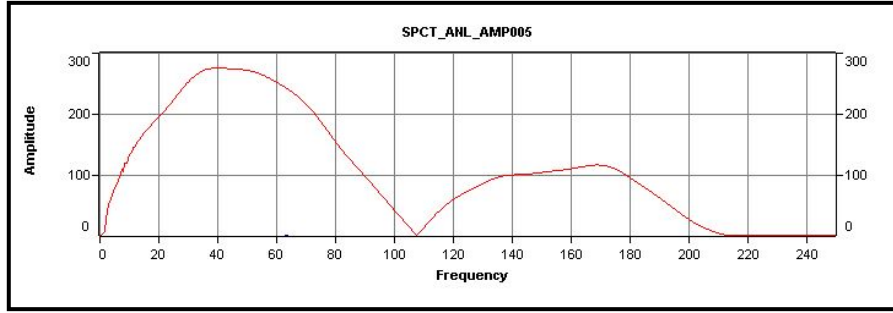
Şekil 19. Kaynak Far Field Signature
Figure 19. Source Far Field Signature



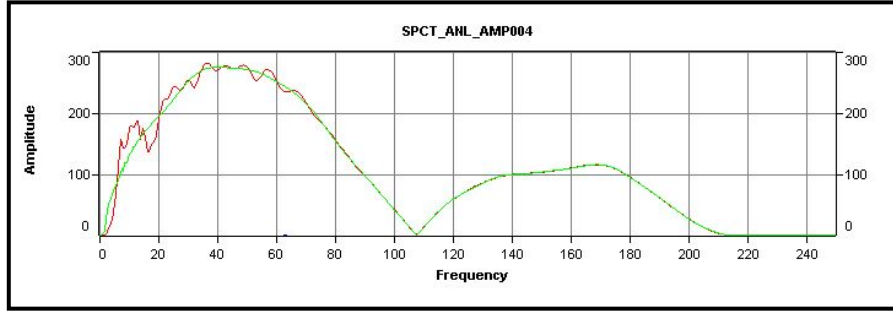
Şekil 20. Düzenlenmiş Kaynak Far Field Signature
Figure 20. Regularized Source Far Field Signature



Şekil 21. Far Field Signature Spektrum
Figure 21. Far Field Signature Spectrum



Şekil 22. Düzenlenmiş Far Field Signature Spektrum
Figure 22. Regularized Far Field Signature Spectrum



Şekil 23. Far Field Signature Üst Üste Çizdirilmiş Hâli
Figure 23. Far Field Signature Overlayed Display

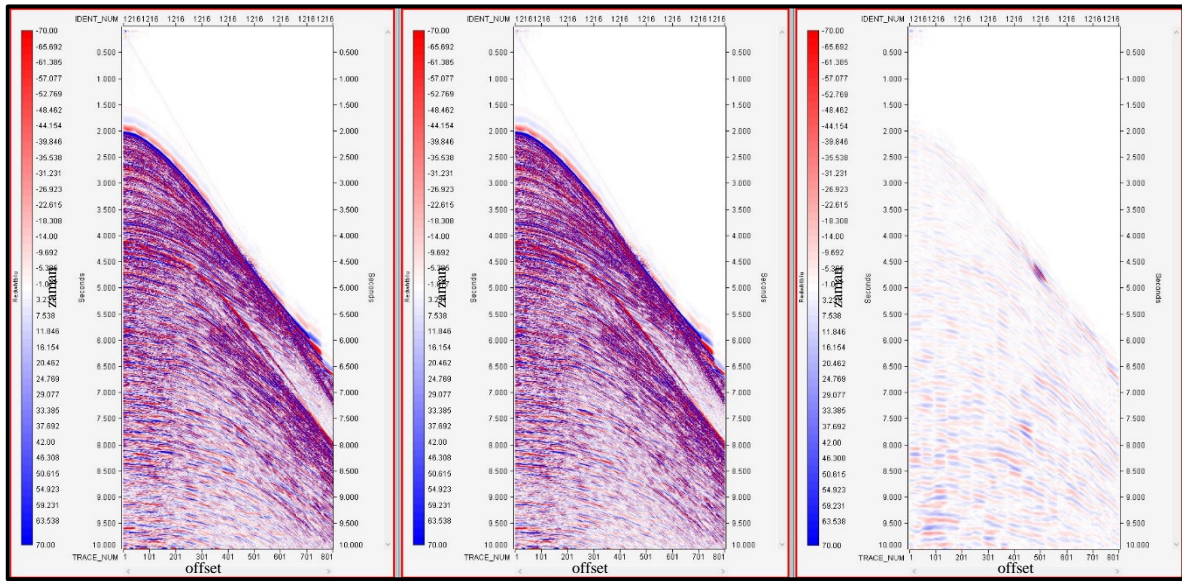
Bu uygulama sonucunda veride kalmış olan bubble etkisinin efektif bir şekilde giderildiği gözlenmiştir.

SİNYAL KORUMALI GÜRÜLTÜ AZALTMA

Denizde sismik veri toplama esnasında gemi streamer kablosunun çekerken kayıtlarımızın içine çekmeden kaynaklı gürültüler girebilir. Çekilen streamer etrafından akan su nedeniyle titreşime maruz kalır. Bir veya daha fazla sensörleri olan bu kablo titreşimlere her zaman hassastır. En güçlü gürültüler 20 Hz nin altında enine boyuna ve burulma titreşimleridir. Bu gürültüler De-Ghost işlemi sonrası daha belirgin hale gelir.

Bu aşamada Enerji kaynağımızı frekans bandını koruyarak gürültüleri azaltma işlemi yapılmaktadır. Çok fazla dalga gürültüsüne sahip verilerde dalga gürültüsünün atılması işleminin tamamı ile gideremediği gürültünün De-Ghost & Demultiple uygulamasından sonra düşük frekans olarak veride

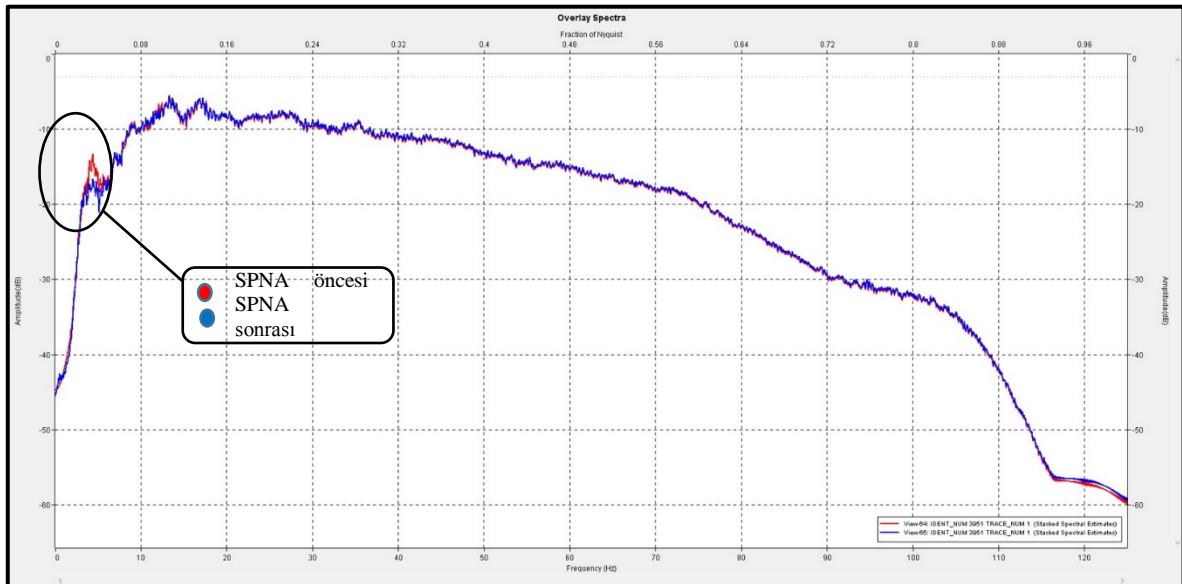
görüldüğü tespit edilmiş (Şekil 24), bu uygulama sonucu gürültünün veriden başarılı bir şekilde temizlendiği görülmüştür (Şekil 25). İşlem öncesi ve sonrası arasındaki fark Şekil 26’da gösterilmiştir.



Şekil 24. SPNA giriş verisi
Figure 24. SPNA input data

Şekil 25. SPNA çıkış verisi
Figure 25. SPNA output data

Şekil 26. SPNA giriş-çıkış farkı
Figure 26. SPNA input-output difference



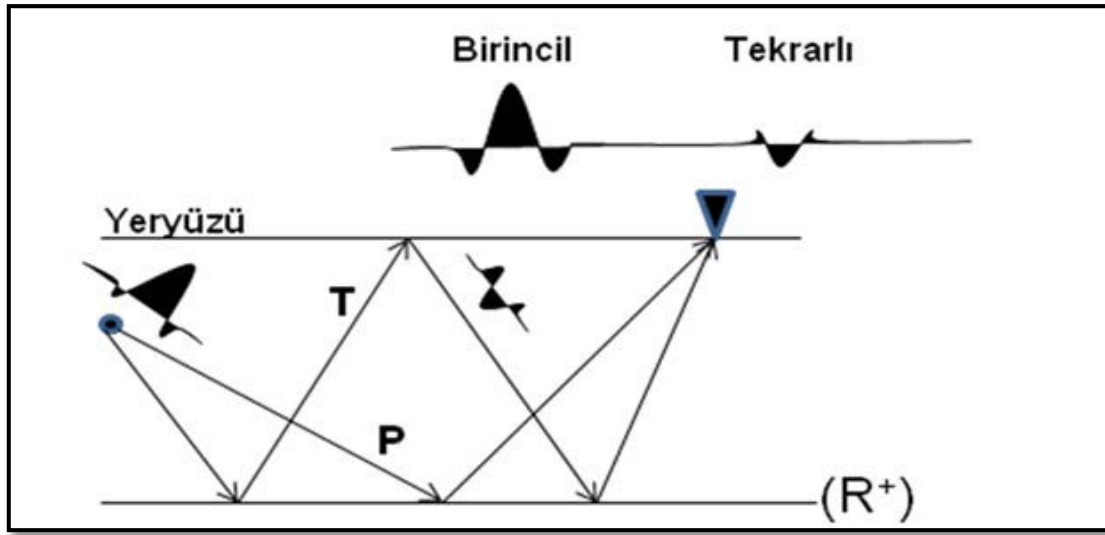
Şekil 27. SPNA öncesi ve sonrası frekans spektrum değişimi
Figure 27. SPNA before and after spectral analysis

TEKRARLI YANSIMALAR(REVERBERASYON)

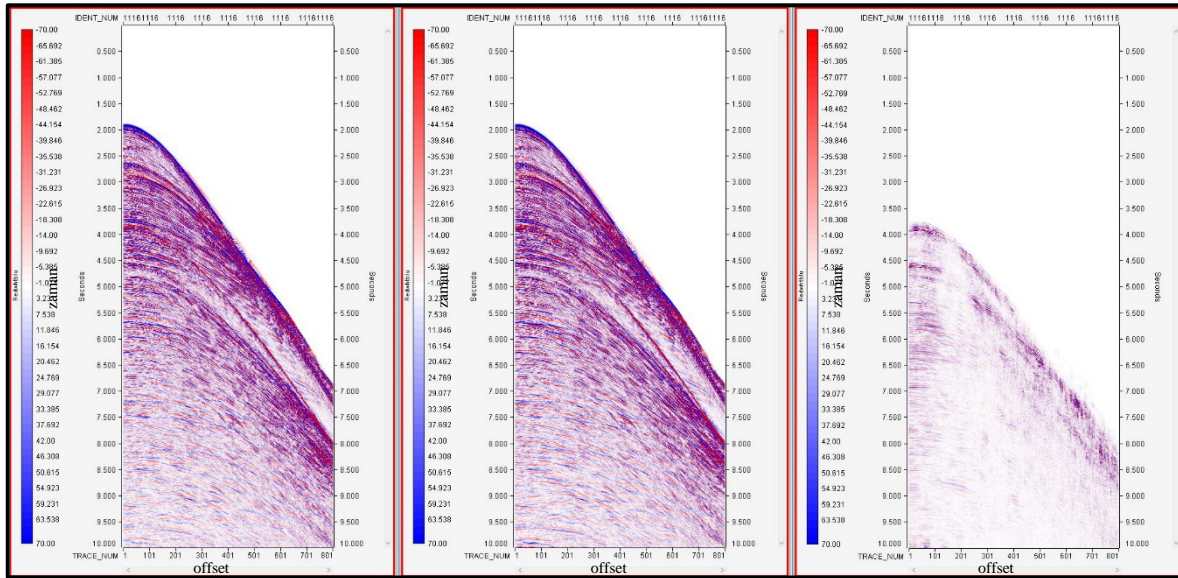
Sismik dalganın aynı yolu birden fazla giderek meydana getirdiği yansımaları “tekrarlı yansıma” denir. Buna göre, bir ara yüzeyden bir defa yansımaya ise “birincil yansıma” denir. Tekrarlı yansımalar hız kontrastının yüksek olduğu ara yüzeyler arasında oluşurlar. Mesela genellikle, deniz yüzeyi ve tabanı arasında oldukça yüksek bir hız kontrastı vardır ve dolayısıyla denizlerde sismik

Uzun yollu tekrarlılar sismik iz kayıtlarında bir ara yüzeyden birincil yansıma olarak görülürler (Şekil 30). Bazen bunları tanımlamak oldukça zordur. Ancak veri işlem aşamasında sismik izlerin öz ilişkilerinde tekrarlılar periyodik olarak tekrarlamalarından tanınabilirler ve birincil yansıma ait öz ilişki gecikmesinden tekrarlıya olan arasındaki zaman uzaklığı belirlenerek düzenlenecek olan ön kestirimli dekonvolüsyon işlemi sayesinde veriden indirgenirler.

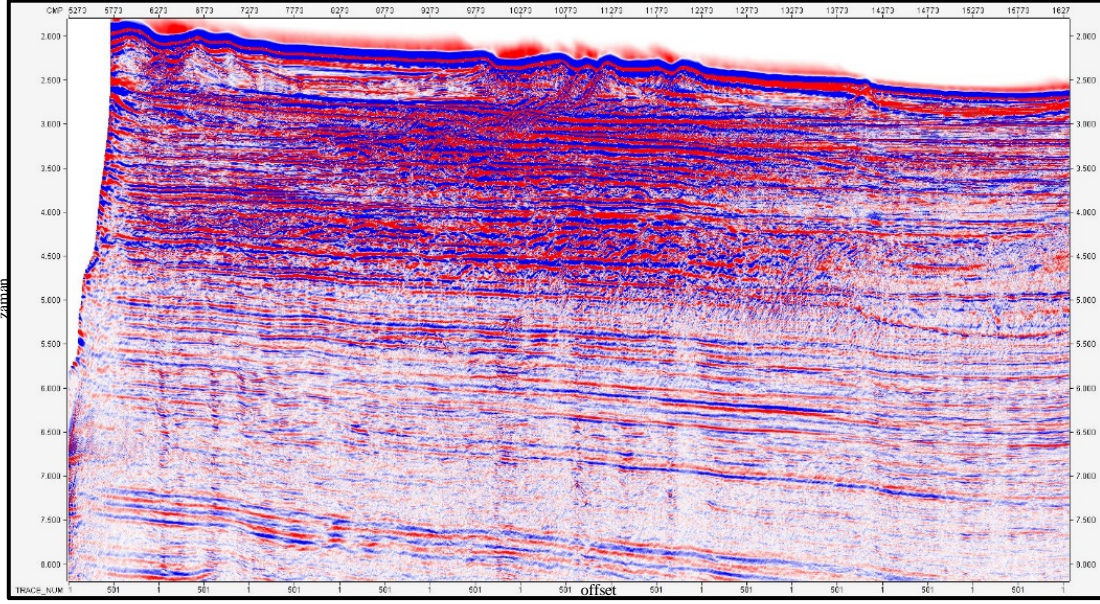
Bu aşamada veri toplanma oluşan tekrarlı yansımalar (Şekil 31) ve temizlendikten sonraki (Şekil 32) ve yapılan işlem sonucundaki fark (Şekil 33) gösterilmiştir.



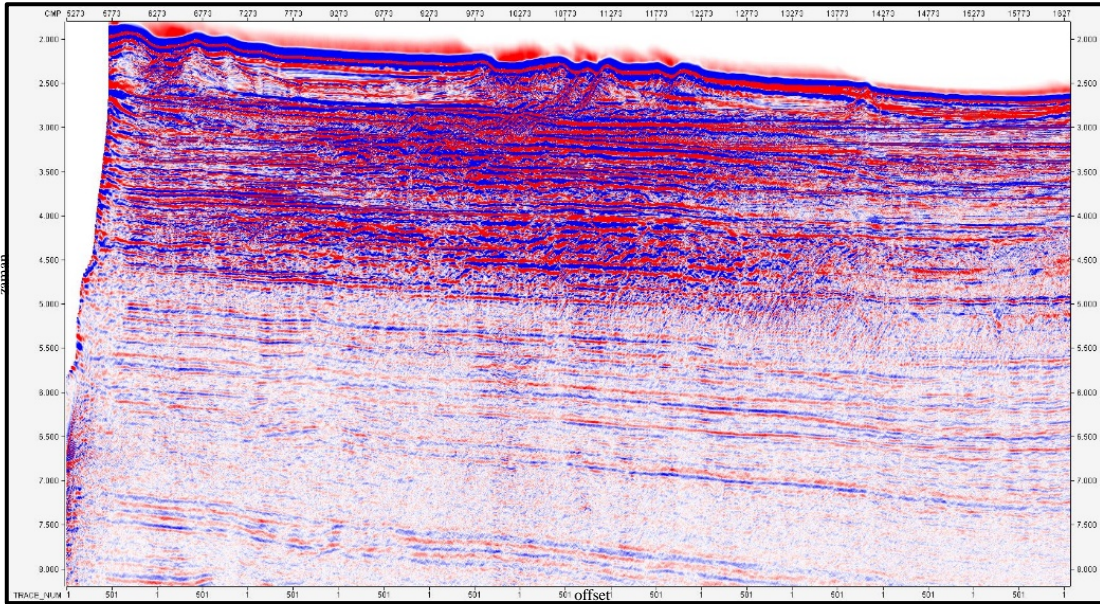
Şekil 30. Birincil yansımalar üzerine uzun yollu tekrarlı yansımalar
Figure 30. Long multiples on primary waves



Şekil 31. Demultiple giriş verisi Şekil 32. Demultiple çıkış verisi Şekil 33. Demultiple giriş-çıkış
Figure 31. Demultiple input Figure 32. Demultiple output Figure 33. Demultiple input-output



Şekil 34. Demultiple öncesi yığıma kesit
Figure 34. Stack before demultiple



Şekil 35. Demultiple sonrası yığıma kesit
Figure 35. Stack after demultiple

RADON DÖNÜŞÜMÜ

Radon dönüşümü uygulamalarında, normalde küresel yayılım gösteren dalga alanından oluşan atış grubu, kendisini oluşturan düzlem dalga bileşenlerine ayrılır. Bu işlem, ofset eksenini, ışın parametresi (p) eksenine dönüştürür ve bu işlem sonucunda birçok farklı p değeri için elde edilen izlerin

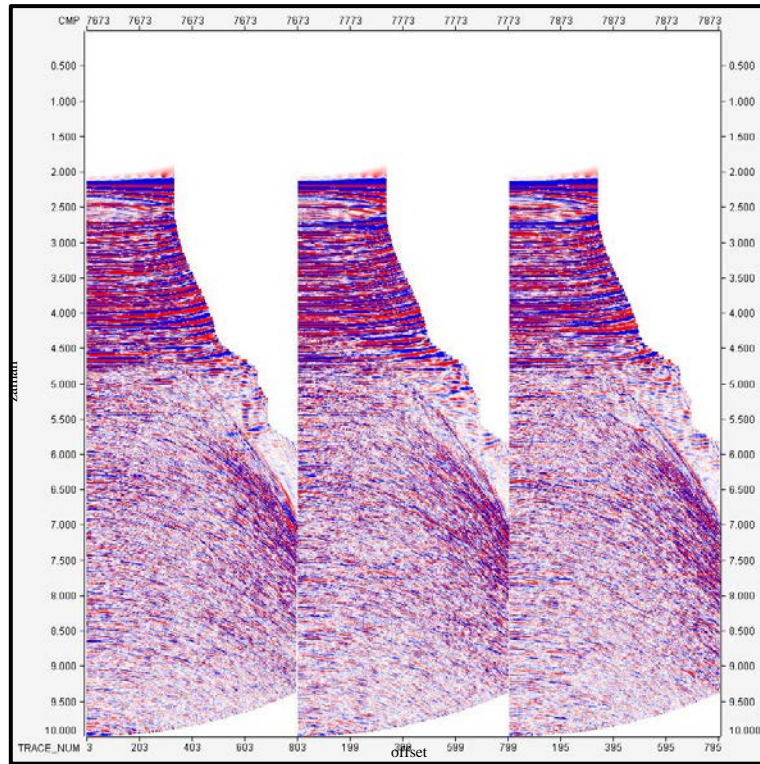
oluşturduğu grup “ τ -p grubu (τ -p gather)” olarak adlandırılır. Bu gruptaki her bir iz, düşeyden belirli bir açıyla yayınan bir düzlem dalgaya karşılık gelir. p değişkeni “ışın parametresi (ray parameter)” olmak üzere, Snell yasasına göre

$$\frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2} = \frac{\sin \theta_3}{v_3} = \dots = p \quad (5)$$

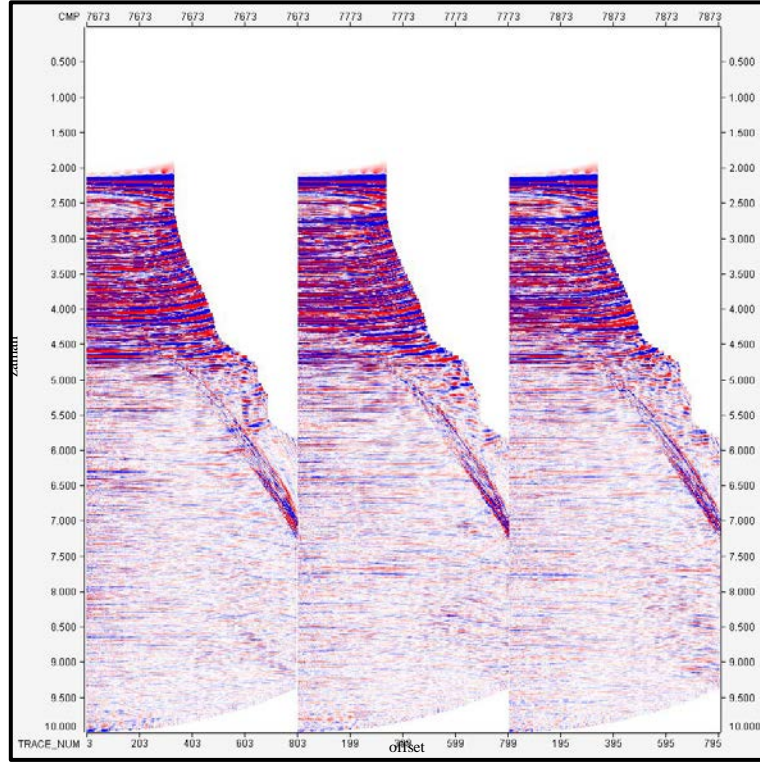
Olup, $(\sin \theta_1)/v$ parametresi tabakalı ortamlardaki ışın yolu boyunca sabittir. Her ardışık kaynak noktası arasındaki mesafe Δx , düşeyden olan yayınım açısı Θ ve ortamın hızı V olmak üzere, düzlem dalganın oluşturulmasında ardışık atışlar arasındaki zaman farkı

$$\Delta t = \Delta x \left(\frac{\sin \theta}{v} \right) = p \Delta x \quad (6)$$

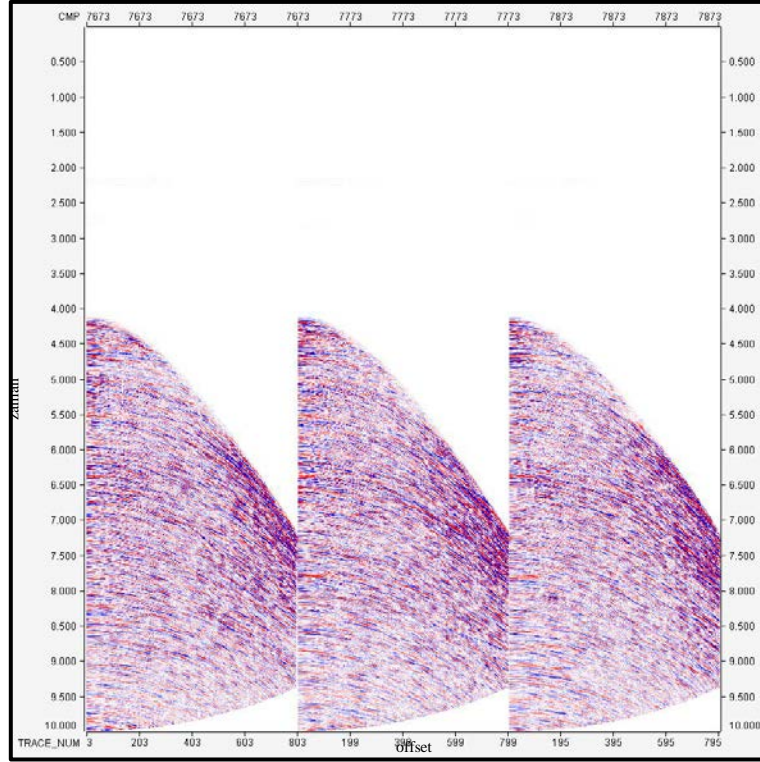
ile verilir. Düzlem dalganın yayınım açısı p değeri tarafından kontrol edilir. $p=0$ düşey yayınan bir düzlem dalgaya karşılık gelmektedir. Verilen bir hız modeli ve p değeri için bir ışın yolu demeti çizilebilir. Böyle bir tabakalı ortamda yayınan düzlem dalgaya “Snell dalgası” adı verilir. (Dondurur, 2009)



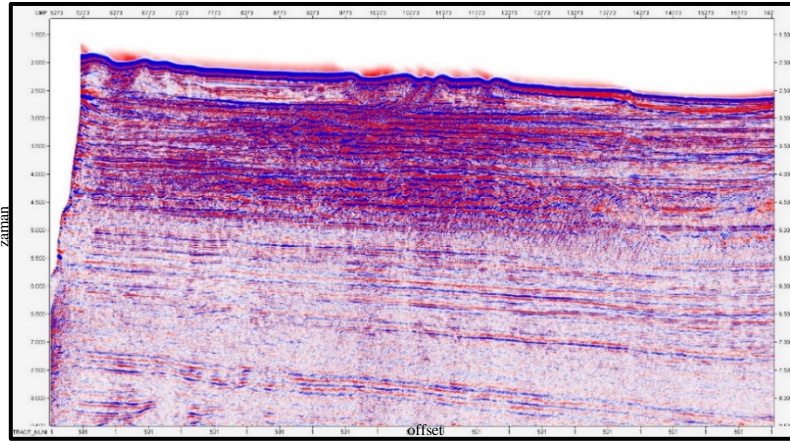
Şekil 36. Radon öncesi CMP verisi
Figure 36. CMP gather before radon



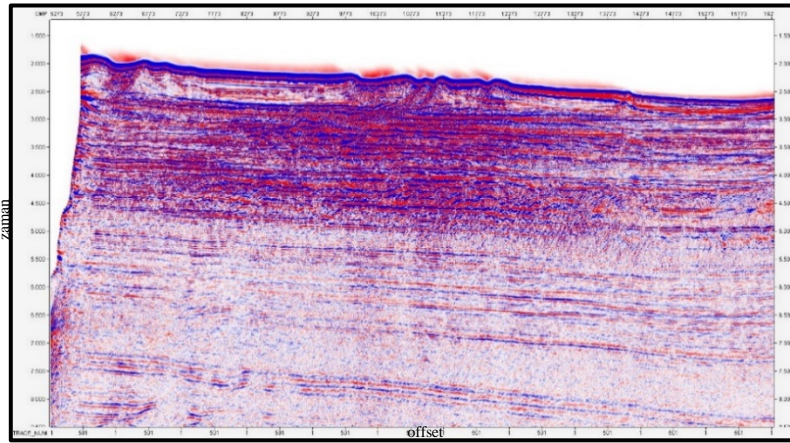
Şekil 37. Radon sonrası CMP verisi
Figure 37. CMP gather after radon



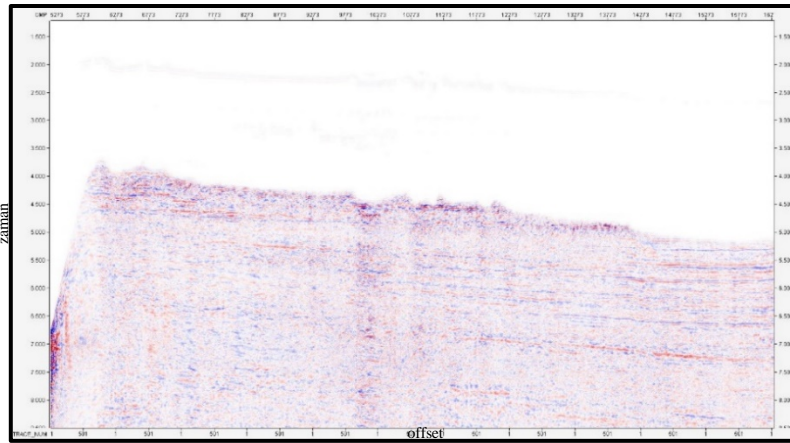
Şekil 38. Radon sonrası giriş-çıkış farkı
Figure 38. CMP gather input-output difference



Şekil 39. Radon öncesi yığma kesit
Figure 39. Stack before radon application



Şekil 40. Radon sonrası yığma kesit
Figure 40. Stack after radon application



Şekil 41. Radon sonrası yığma giriş çıkış farkı
Figure 41. Stack after radon application input output difference

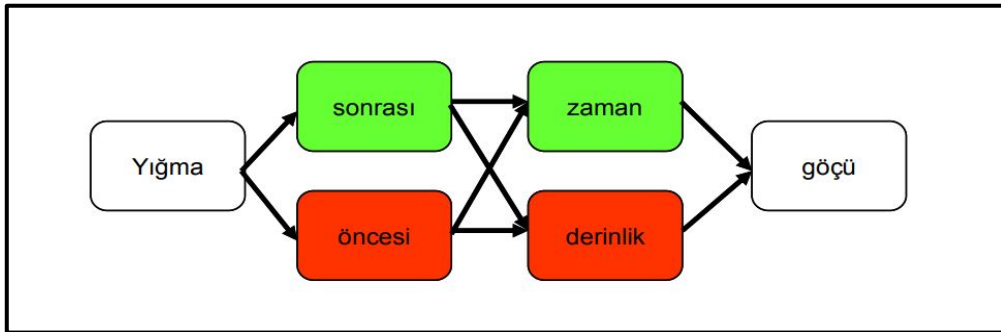
MİGRASYON

Yer içinde bir noktadan yansıyan ve kayıt edilen sinyalin gerçek yansıdığı noktaya taşıma işlemine “Göç İşlemi(migrasyon)” denir.

Yığma sonrası göç işlemi temelde iki değişik şekilde yapılmaktadır. Birinci yol yerin içinde yarım daire şeklinde bir tabaka olduğu kabul edilir. Yani sıfır açılımda kayıt edilen bütün sinyaller, yerin içindeki yarım daire şeklinde bulunan tabakadan yansıyarak kayıt edildiği düşünülür. Diğer bir deyişle, sıfır açılımda kayıt edilen sinyaller yer içindeki yarım dairenin yüzeyinin herhangi bir noktasından yansıyabilir. Dolayısıyla elde edilen sıfır açılımlı sismik kesitlere göç işlemi uygulanarak, gerçek yansıdığı noktaya taşınacaktır. Fakat yarım dairenin hangi noktasından yansıdığı bilinmediği için veri tüm yarım daire yüzeyine taşınır. İkincisi ise, yeraltındaki tabakaların birden çok noktaların birleşmesinden meydana geldiği düşünülmektedir. Örneğin yerin içinde nokta şeklinde bir yansıtıcı yüzey olsun, böyle bir durumda sıfır açılımlı sismik kesitte bu yüzey bir saçılma hiperbolü şeklinde görülecektir. Bu hiperbolün tepe noktası, nokta şeklindeki yansıtıcın tam üzeri olacaktır. Dolayısıyla göç işleminde bu hiperbol boyunca genlikler toplanarak hiperbolün tepe noktasına taşınmaktadır.

Göç işleminin amacı:

- Saçılmaların ortadan kaldırılması,
- Eğimli tabakanın gerçek eğimini ve yerinin bulunması,
- Ayrımlılığın artırılması,
- Tabakanın yeraltındaki gerçek görüntüsünün elde edilmesidir.

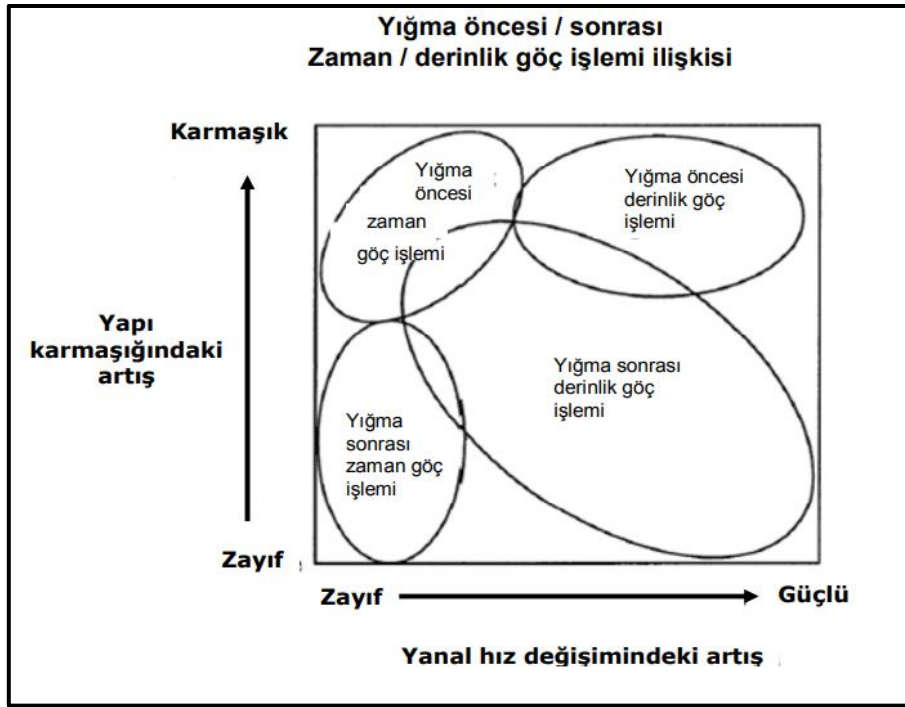


Şekil 42. Yığma kesit sonrası migrasyon tipleri

Figure 42. Migration type after stack

Göç işlemlerinin dört değişik tipi vardır. Bunlar Şekil 42’de gösterilmiştir

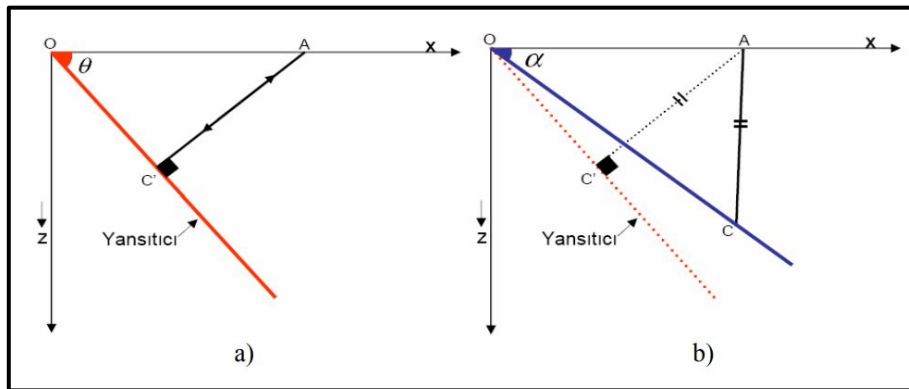
- a) Yığma sonrası zaman göç işlemi,
- b) Yığma sonrası derinlik göç işlemi,
- c) Yığma öncesi zaman göç işlemi,
- d) Yığma öncesi derinlik göç işlemidir.



Şekil 43. Göç işlemleri tiplerinin karşılaştırılması
Figure 43. Comparison of migration types

Şekil 43’de ise göç işlemi tiplerinin karşılaştırılması görülmektedir. Şekil incelendiğinde yapı karmaşığındaki artışa ve yanal hız değişimine göre bu göç işlemlerinden biri seçilmelidir. Yanal hız değişimi ve yapı karmaşıklığı zayıf ise yığma sonrası zaman göç işlemi tercih edilebilir. Çünkü en ucuz yöntemdir. Diğer taraftan yanal hız değişimi fazla ve yapı karmaşıklığı da fazla ise yığma öncesi derinlik göç işlemi tercih edilmelidir. Bu yöntem ise en pahalı yöntemdir.

Göç işlemi anlatılabilmek için, gerçek yerici modeli ile sismik kesitteki görünüşleri incelenmelidir (Şekil 44).



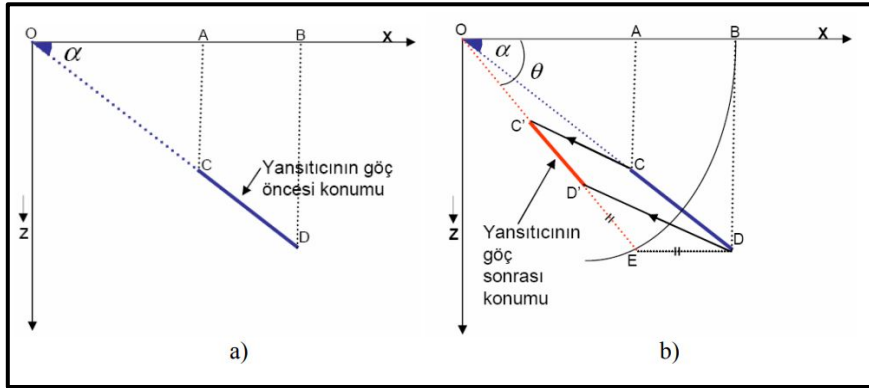
Şekil 44. a) Eğimli bir ortamda sıfır açılım için ışın yolu, b) Eğimli tabakalı bir ortamda yansıyan ışının sıfır açılımlı görünüşü

Figure 44. a) Zero offset wave path in slope domain b) Zero offset reflected wave path in slope layer domain

Şekil 44 a,b’ de model ve sismik kesit sunulmuştur. A noktasındaki kaynak-alıcı C’ noktasından gelen sinyali kayıt eder. Sismik kesitte ise A noktasında kayıtlı edilen sinyal, C noktasında görülecektir. Göç

işlemi C noktasındaki sinyali C' noktasına taşıyacaktır. Şekilden de kolayca görülebileceği gibi, yer modelindeki tabaka açısının sinüsü, sismik kesitteki gözlenen tabaka açısının tanjantına eşittir.

Bu bilgilerin ışığı altında, eğimli bir yansıtıcı parçasının göç işlemi için, grafiksel bir yöntemle nasıl yapılacağı Şekil 45 ile anlatılmıştır.



Şekil 45. a) Eğimli tabakanın göç öncesi görünüşü, b) Eğimli tabakanın göç sonrası görünüşü
Figure 45. a) Slope layer before migration , b) Slope layer after migration

Bu şekilde CD doğrusu uzatılarak önce O noktası bulunur. Daha sonra O merkez, OB yarıçap olacak şekilde bir çember çizilir. D noktasından geçen ve OB 'ye paralel bir doğrunun çember yayını kestiği E noktası belirlenir. O ve E noktalarından geçen doğru göç işlemi sonrası açığı belirler. C parçası D göç işlemi sonucunda bu doğru üzerinde yer alacaktır. DE ye eşit olacak şekilde $E D'$ belirlenir. Aynı işlem C noktası için de tekrarlanarak C' bulunur. C do D doğru parçası böylece $C' D'$ 'ne taşınmış (göç) olur. (Gürel, 2007)

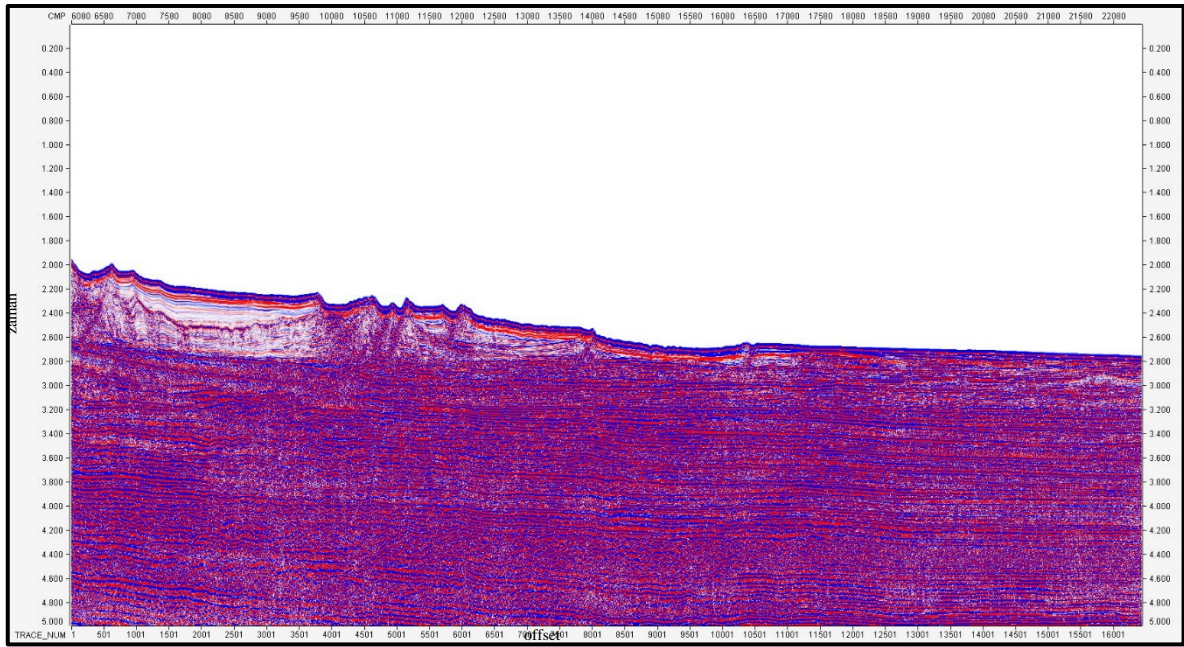
Migrasyon uygulaması

Bu çalışmamızda veri işlem uygulamaları sonunda son aşama olan migrasyonda Yığma öncesi Kirchhoff Zaman Migrasyon yöntemi kullanılmıştır.

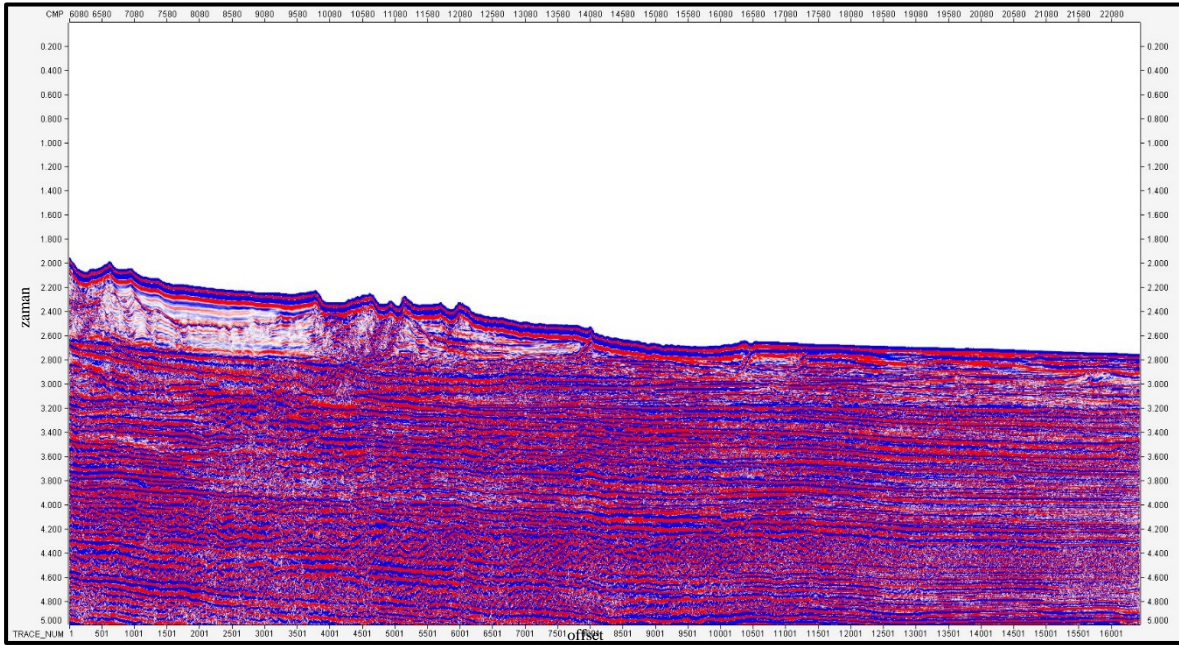
Uygulamada kullanılan Migrasyon parametreleri;

- Migrasyon algoritması :Kirchhoff Pre Stack Time Migration
- Yakın offset :100m
- Uzak offset :10050m
- Q soğurma değeri :210
- Uzak açılım(aperture radius) :5000 m
- Dip filtre :65 derece
- Örnekleme aralığı :4 ms

Aşağıda migrasyon sonucunda elimizde bulunun sismik kesitlerden birisinde De-Ghost uygulanmış (Şekil 47) diğesinde De-Ghost uygulanmamıştır (Şekil 46).



Şekil 46. De-Ghost uygulanmamış migrasyon sonucu
Figure 46. Non-De-Ghost applied migration result



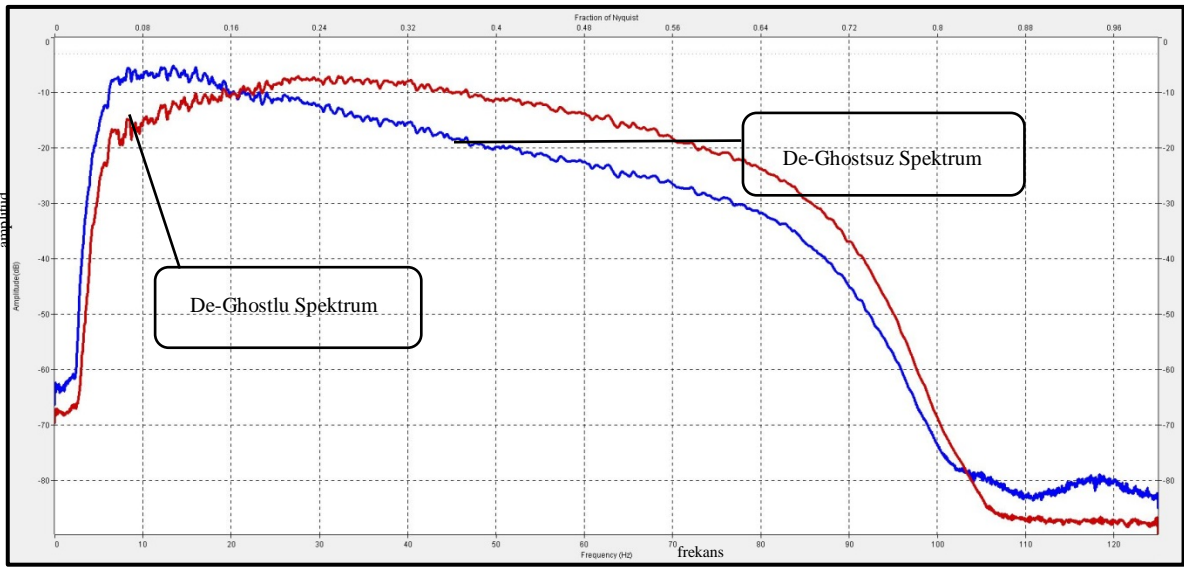
Şekil 47. De-Ghost uygulanmış migrasyon sonucu
Figure 47. De-Ghost applied migration result

SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda, keşif odağı özellikle sınırlar ve az araştırılmış alanlarda stratigrafik ve daha derin katmanlara kaymış ve geniş bant sismik verilere olan talep de buna göre artmıştır. Geleneksel denizde veri toplama, deniz yüzeyinden gelen yansımalar, hem kaynak hem de alıcı kablo derinlikleriyle doğrudan ilişkili olduğundan kaydedilen verinin sismik frekanslarını ve bant genişliğini güçlü bir şekilde etkileyebilir.

Geleneksel process yöntemleri sadece ilk hayalet çentiğinin altındaki frekanslarda iyi çalışır. De-Ghost işleminin ardından migrasyon aşamasında uygun ters-Q filtrelemenin ön-istif uygulaması, bu sınırlamayı kaldırabilir ve daha geniş ve dengeli bir spektrum oluşturmak için kayıp bant genişliğini geri getirebilir, böylece sismik bölümün çözünürlüğünü ve yorumlanabilirliğini geliştirir.

Şekil 48’ de spektral analiz grafiğinde De-Ghost uygulanmış ve uygulanmamış verinin amplitüd-frekans grafiği görünmektedir. Bu grafiğe göre De-Ghost sonucunda düşük frekanslı verilerin ayrımlılığı artırılmış ve yüksek frekanslı yorumda bizi yanıltabilecek verinin baskısı azaltılmıştır.



Şekil 48. De-Ghostlu ve Deghostsuz migrasyon sonucu 2 verinin frekans spektrumunun üst üste çizdirilmiş hâli

Figure 48. Degost and non-De-Ghost applied migration result frequency spektrum overlaid

Geniş bant veri işleme, son birkaç yıldır gündemin en üst sıralarında bir konu olmuştur. Bu çalışma göstermektedir ki, gelişmiş çözünürlük ve bant genişliği ile birlikte, sismik olayların daha güçlü bir şekilde ayrımcılığa uğramasının yanı sıra, esas olarak artan düşük frekanslı içerikten kaynaklanan daha derin hedeflerin daha net görüntülenmesi sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

Amundsen, L. (1993). Geophysics. Society of Exploration Geophysicists.

Dondurur, D. (2009). Deniz Sismiğinde Veri İşlem. TMMOB JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI.

Gürel, O. (2007). İntegral(Kirchoff) Göçünde Doğru Genlikli İşlecin Belirlenmesi. Ankara: Ankara üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü.

Willis, A., Poche, S., Degel, T., & Clarke, R. (2015, 04 11). Processing-based broadband enhances image quality in frontier areas. www.offshore-mag.com: <https://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-75/issue-11/geology-geophysics/processing-based-broadband-enhances-image-quality-in-frontier-areas.html> adresinden alınmıştır

Araştırma Makalesi

DENİZ SİSMİĞİNDE HAYALET YANSIMALARIN GİDERİLMESİNİN SİSMİK İMAJA ETKİSİ

The Effect of Removal of Ghost Reflections on Seismic Data in Marine Seismic

Mustafa Kemal ÇANAKÇI¹

ÖZ

Hayalet yansımalar her deniz sismik veri setinde bulunmaktadır. Yaptığımız veri işlem aşamasında amacımız, deniz yüzeyinden -1 yansıma katsayısı ile aşağıya geri yansıması sonucu kaynak (airgun) ve alıcı (streamer) pozisyonları boyunca hayalet yansımaların etkisinin giderilmesi işlemidir. Hayalet yansımalar kaynak (airgun) ve alıcı (streamer) derinliklerine bağlı olarak, farklı frekanslarda sismik veride bulunabilmektedir. Bu durum sismik veride yorumu etkileyeceğinden dolayı hayalet yansımaların giderilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada amacımız Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığının toplamış olduğu deniz sismiği verisinde tüm veri işlem aşamaları tamamlanmış olup aynı sismik veri setinde hayalet yansımalar giderilip migrasyon uygulanmıştır. Aynı veri seti daha sonra hayalet yansımalar sismik veriden giderilmeden tekrar migrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak hayalet yansımalar giderildikten sonra migrasyon işlemine tabi tutulan sismik veri ile hayalet yansımalar giderilmeyen sismik verinin migrasyon sonuçları karşılaştırılmış olup veri üzerindeki imaja ve sismik yorumu olan etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deniz Sismiği, Deniz Sismiğinde Hayalet Yansıma, Deniz Sismik Veri İşlem

ABSTRACT

Ghost reflections can be seen in every marine seismic data set. In the data processing stage, our aim is removing Ghost reflections along both source (airgun) and receiver (streamer) positions as a result of almost total back reflections of seismic waves from the sea surface with a reflection coefficient of minus one (-1). Also, Ghost reflections are encountered in seismic data set at different frequencies depending on the depth of both source (airgun) and receiver (streamer). Since this situation may affect interpretation of seismic data in a negative way, Ghost reflections should be eliminated from seismic data set. More specifically, in this thesis, seismic data set, which is collected by Turkish Petroleum Company, have been analyzed in all processing stages, also in the same seismic data set, all Ghost reflections were discarded, and migration has been carried out. Furthermore, all the processing steps were done for the same seismic data set without removing Ghost reflections. As a consequence, the seismic data, in which migration processes were performed after removal of Ghost reflections as described above, were compared in all aspects with the one, in which no elimination processes of Ghost reflections were applied. In the light of this comparison, the effects of these undesirable Ghost reflections on both image and interpretation of seismic data set have been investigated.

Keywords: Marine Acquisition, De-Ghost on Marine Seismic, Marine Seismic Process

GİRİŞ

Deniz sismik yansıma çalışmaları veri hakkında yorum yapılabilmesi için temel olan 2 aşamadan oluşur. İlk aşama, çalışma sahasında verilerin sahada yapılan testler neticesinde belirlenen parametreler ile ilgilenilen yapıya uygun olarak toplandığı veri toplama aşamasıdır. İkinci aşama ise toplanan sismik verilerin yer altındaki model ile uyumlu bir hale dönüştürülebilmesi için birçok veri işlem basamaklarından geçtiği aşamadır. Veri setine uygun bir veri işlem aşamalarından geçirilen ve çok sayıda matematiksel işlem barındıran, birçok yazılım programları tarafından istenilen matematiksel işlemlerin bütünüünün uygulandığı ikinci aşama ise “sismik veri işlem” olarak

¹ Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Arama Daire Başkanlığı, Veri İşlem Müdürlüğü, Ankara.

*İlgili yazar / Corresponding author: mcanakci@tp.gov.tr

Gönderim Tarihi: 20.11.2018

Kabul Tarihi: 22.12.2018

adlandırılır.

Sismik veri işleminde temel hedef sayısal olarak kaydedilen verilerin kalitesinin artırılmasıdır. Bu da sismik verilerdeki sinyal seviyesinin yükseltilmesi, gürültü seviyesinin azaltılması yani Sinyal/Gürültü (S/G) oranının artırılması ile sağlanır. Sismik verilerdeki gürültüler sahip olduğu frekans, yayılım hızı, yayılım yönü gibi herhangi bir özelliği ile sinyalden ayrılıyorsa, bu özellik kullanılarak gürültüyü veriden neredeyse tamamen atmak olanaklıdır. Fakat rastgele olan ve belirleyici bir özellik taşımayan gürültülerin etkisini ortadan kaldırmak zor veya neredeyse olanaksız olarak düşünülmelidir. Bu tür gürültüler elemine edilmeye çalışıldığı sırada gerçek sinyal de yok edilebileceğinden çok dikkatli olmak gerekir. Başarılı bir sismik veri işlem, yalnızca her bir aşamada seçilen parametrelerin uygun olmasıyla sağlanamaz, her bir aşamanın etkinlik derecesinde tüm sismik veri işleminin sonuç çıktısı üzerinde oldukça etkilidir. (Dondurur, 2009)

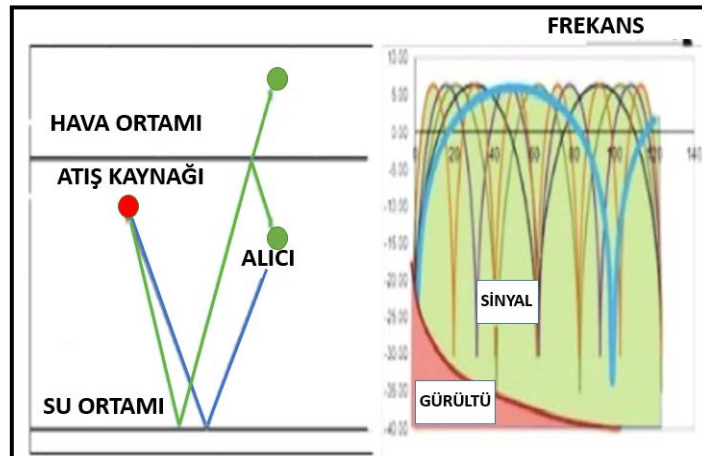
Sismik veri işlem yapılmadan önce toplanan verinin ne tür karaktere sahip olduğunu bilmek gerekmektedir. Özellikle verinin tüm özelliklerini incelemek yani veri üzerinde gözlenen bütün sinyal ve gürültülerin belirlenmesi uygun bir veri işlem adımlarının ve veri işlem parametrelerinin seçilebilmesi için oldukça önemlidir. Genellikle birçok durumda yok edilmeye çalışılan gürültüler, veri toplama işleminin doğasından meydana gelen birtakım olaylar sonucu ortaya çıkar. Örneğin tekrarlı yansımalarından kaynaklanan gürültüler, hayalet yansımaları (Ghost reflections).

Bu tez çalışmasında kullanılan veriler üzerinde gerçekleştirilen veri işlem adımları verilere en uygun olabilecek kriterler göz önünde bulundurularak belirlenmiş ve uygulanmıştır. Veri işlem adımları sırasında parametreler, veri toplama aşamasındaki parametrelere ve verilerin özelliklerine uygun olarak seçilmiştir. Bu anlamda veri işlem aşamaları başarıyla verilere uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle Karadeniz bölgesinde Türkiye Petrolleri A.O. tarafından toplanan çok kanallı deniz sismiği yansıma verilerinin, hayalet yansımalarından (Ghost reflections) arındırılması ve migrasyon sonuçlarının yorumlanması gerçekleştirilmiştir.

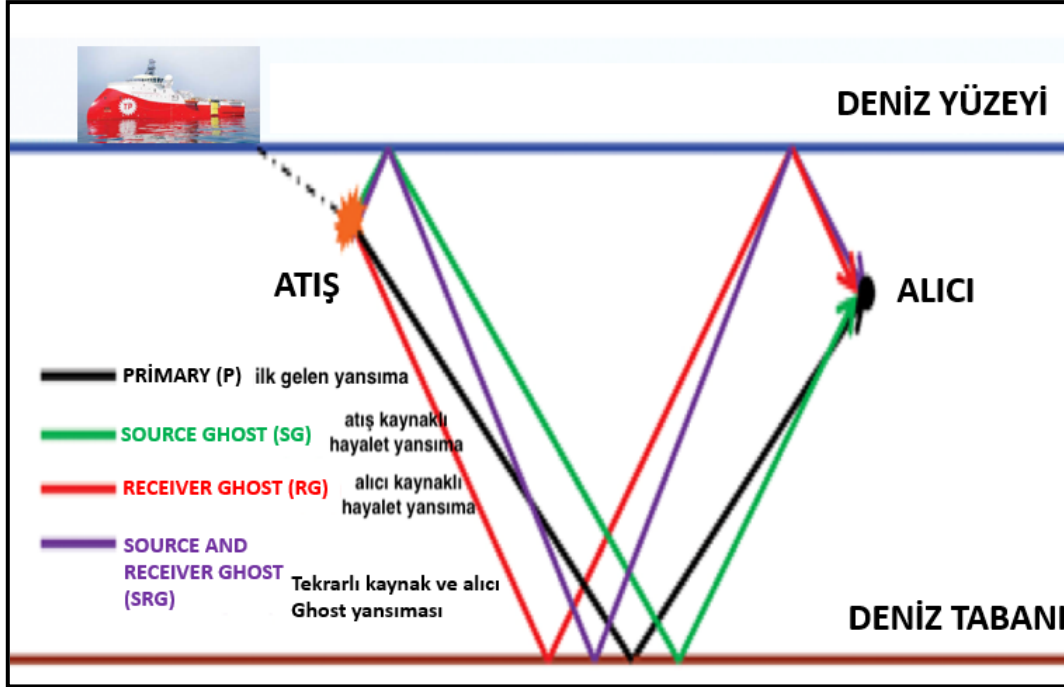
DENİZ SİSMİĞİNDE HAYALET YANSIMALAR VE TEORİSİ

Deniz sismiğinde her veri setinde hayalet yansımalar (Ghost reflections) bulunmaktadır. Bu hayalet yansımalar (Ghost reflections) sismik verinin yorumuna direk etki eden yıkıcı girişimlerdir. Sürekli olarak duyduğumuz bu hayalet yansımalar sismik verinin frekans spektrumu ile doğrudan ilişkilidir. Yukarı ve aşağı yönlü hayalet yansımaların (Ghost reflections) enerjilerinin girişimi sismik verinin frekans spektrumunda hayalet çentiklerine (Ghost iğneciklerine) sebep olur. (Şekil 1)



Şekil 1. Hayalet yansıma enerji dalgaları ve frekans spektrumu
Figure 1. Ghost reflections waves and frequency spectrum

Deniz yüzeyindeki yansımalar sonucunda oluşan, gecikmiş ve görünümü net olmayan olaylara hayalet yansımalar denir. Bu hayalet yansımalar deniz sismik verilerinde sıkça rastlanan bir durumdur. Kaynak hayaletleri (source Ghosting) kaynaktan yukarı giden sismik enerji dalgalarının ilk olarak deniz yüzeyinden yansıyor daha sonra deniz tabanından yansıyor alıcıya (receiver) gelmesi sonucu oluşmaktadır. Bir diğer hayalet yansıması olan alıcı hayalet yansımaları (receiver Ghosting) deniz tabanından yukarı gelen sismik enerji dalgalarının deniz yüzeyinde aşağı yönlü yansıması sonucu oluşmaktadır. (Şekil 2)



Şekil 2. Deniz altı hayalet dalga (Ghost reflections) yansıma görüntüleri
Figure 2. Ghost reflections in marine seismic

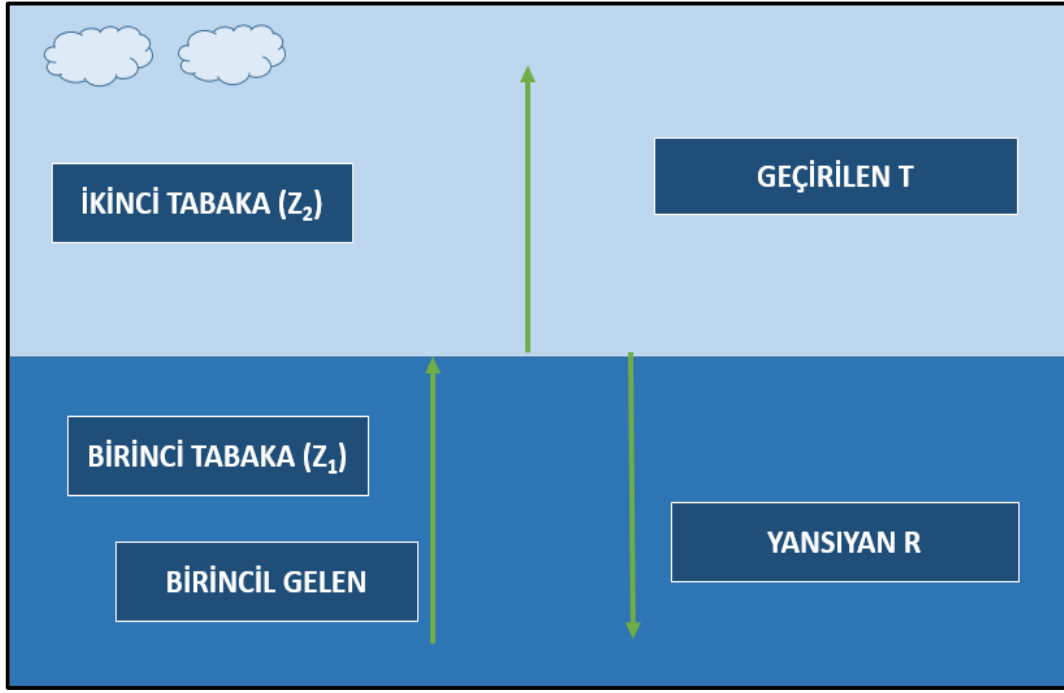
Temel basınç-dalga teorisi hayalet yansımalarının (Ghost reflections) giderilmesinde kullanılan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda herhangi bir ortamda hareket eden bir dalganın empedansı (Z) hareket edilen ortamın yoğunluğu (ρ) ile dalganın o ortamdaki hızının (V) çarpımıdır.

$$Z_i = \rho_i \times V_i = (\text{yoğunluk}) \times (\text{dalga hızı}) \quad (1)$$

Dalgaların taşımış oldukları enerjinin bir kısmı yayılma gösterdikleri ortamlar değişim gösterdiğinde yeni akustik ortama geçiş yapamayarak geri yansır. Bu durum dalgaların karada ve deniz ortamında farklı davranışlar sergilenmesine neden olmaktadır. Bu durumu temel basınç teorisi ile açıklayacak olursak durumu şu şekilde özetleyebiliriz; kara ortamında, kayaç değişimin gerçekleştiği bölgelerde geri yansımaları aşağıdaki formül yoluyla hesaplanmaktadır.

$$\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (2)$$

Burada R: Geri yansımaları oranı (Reflected Wave Amplitude Coefficient), Z_2 ve Z_1 : Bölgelerin empedans değerini temsil etmektedir.



Şekil 3. Deniz ortamında sismik dalganın davranışı

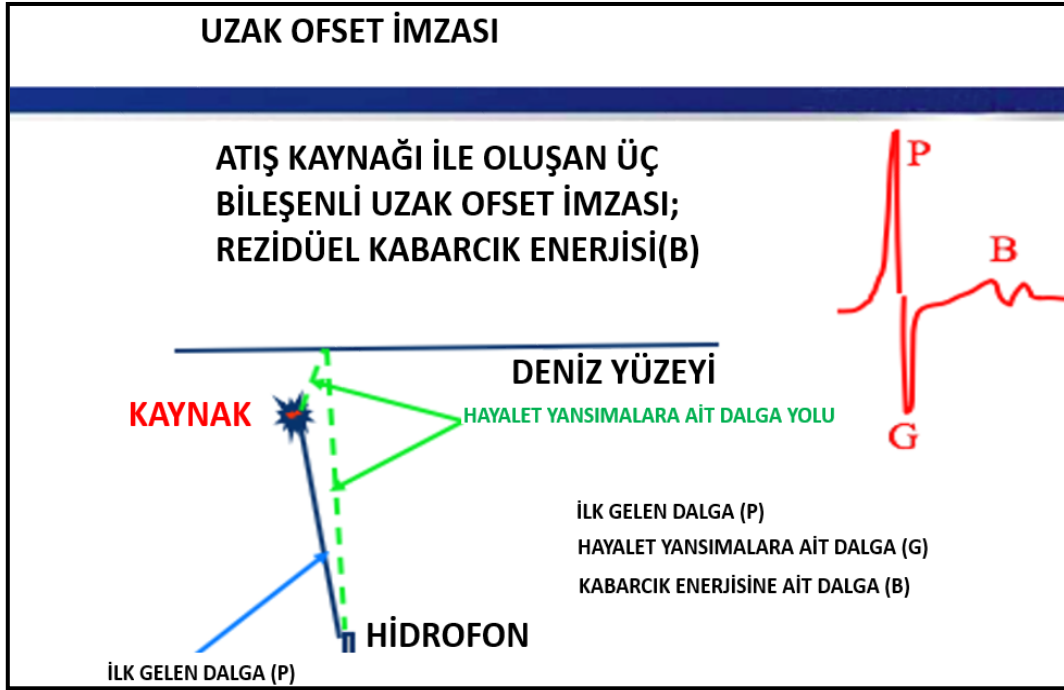
Figure 3. Behavior of seismic waves in marine conditions

Havaya ve suya ait tipik yoğunluk ve dalgaya ait hız değerleri düşünüldüğünde, dalga yansıma oranı elde edilmektedir. (Şekil 3)

- Su yoğunluğu (ρ_w) = 1000 kg/m³
- P dalgasının sudaki yayılma hızı (V_p) = 1500 m/s
- Su ortamına ait empedans değeri (Z_w) = $1,5 \times 10^6$ kg/(m² × s)
- Hava yoğunluğu (ρ_w) = 1,293 kg/m³
- P dalgasının havadaki yayılma hızı = 340 m/s
- Hava ortamına ait empedans değeri (Z_A) = 439,62 kg/(m² × s)

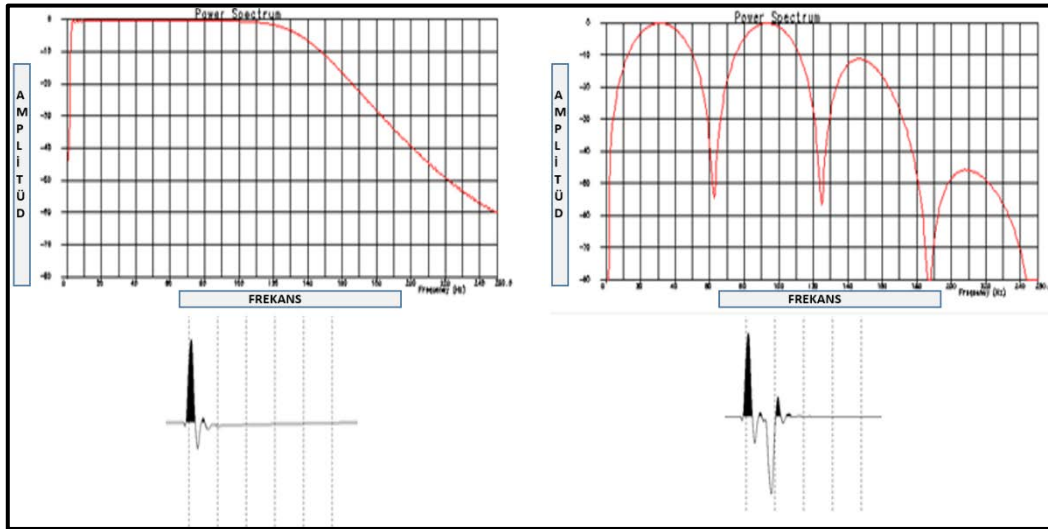
$$\zeta = \frac{Z_A - Z_w}{Z_A + Z_w} = \frac{439,62 - 1,5 \times 10^6}{439,62 + 1,5 \times 10^6} \cong -1 \quad (3)$$

Yukardaki formül sonucu elde edilen sonuç negatif polar değerine sahip tam bir yansımayı göstermektedir. Bundan dolayı, deniz sismik dalgalarında hayalet yansımaları oluşmakta olup, bu oluşumlar sismik verilerin yorumlanmasında birtakım sorunlara yol açmaktadırlar. Hava tabancası (airgun) deniz altında patlatıldığında içerisinde üç farklı enerjiye sahip bir dalgacık (far field signature) oluşturur.



Şekil 4. Hava tabancası patlaması sonucu oluşan 3 elementli dalgacık
Figure 4. Far field signature

Şekil 4’de görüldüğü gibi birincisi direk olarak hidrofonta gelen birincil dalgacık (primary arrival), ikincisi deniz yüzeyinden yansıyan ve daha sonra hidrofonta gelen hayalet dalgacık (Ghost arrival) ve sonuncusu olan hava tabancasının patlaması sonucu oluşan hava kabarcıklarının (bubble pulse) oluşturduğu titreşimlerdir. Ters polariteyle yansıyan hayalet dalgaları (Ghost reflections) frekans spektrumunda yıkıcı bir gösterime ve bazı frekanslardaki dalgaların kaybına sebep olur. Bu kayıplar spektrumda çentik (notch) oluşumu ile sonuçlanır. (PARADIGM, 2016) (Şekil 5)



Şekil 5. Sinyal ve sinyale ait spektrum ile Ghost ekli sinyal ve ona ait spektrum
Figure 5. Signal, spectrum of signal and Ghost added signal, spectrum of Ghost added signal

Dalga boyunun kaynak derinliğinin 2 katına eşit olduğu durumlarda frekans değerleri yapıcı bir şekilde iletilebilir. Bu durumu aşağıdaki formülle özetleyebiliriz;

$$v = f \times \lambda \quad (4)$$

Burada f : frekans (Hz), λ : dalga boyu (m) ve v : hız (m/s) olarak gösterilmektedir.

$$(5)$$

Bu bağıntıda $v = 1500$ m/s olduğunda,

$$f = 1500 / (2 \times D) \quad (6)$$

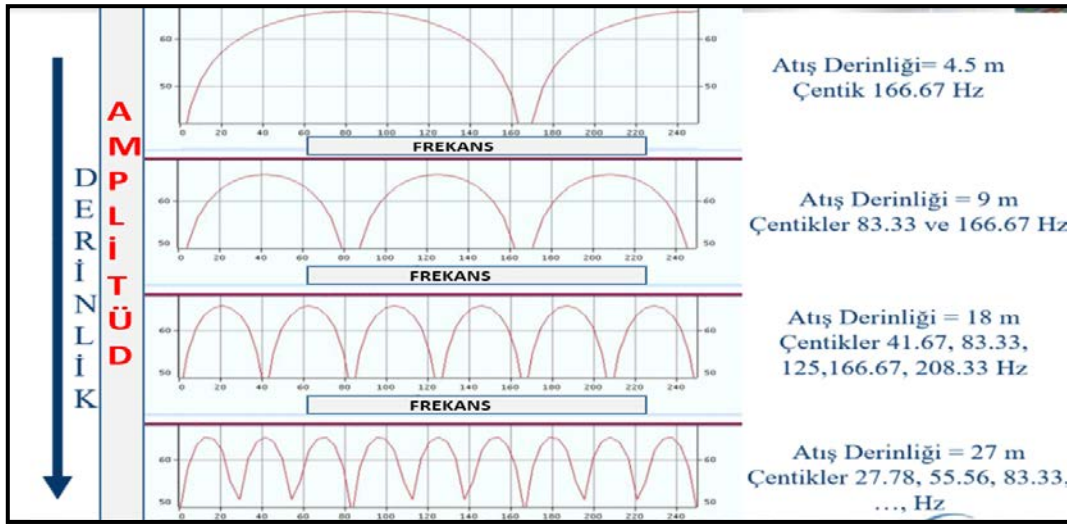
olarak ifade edilir. Burada D kaynak derinliğini ifade etmektedir.

Örnek olarak; $D = 5$ m, $F = 1500 / (2 \times 5) = 150$ Hz

$$D = 10$$
 m, $F = 1500 / (2 \times 10) = 75$ Hz

$$D = 20$$
 m, $F = 1500 / (2 \times 20) = 37,5$ Hz

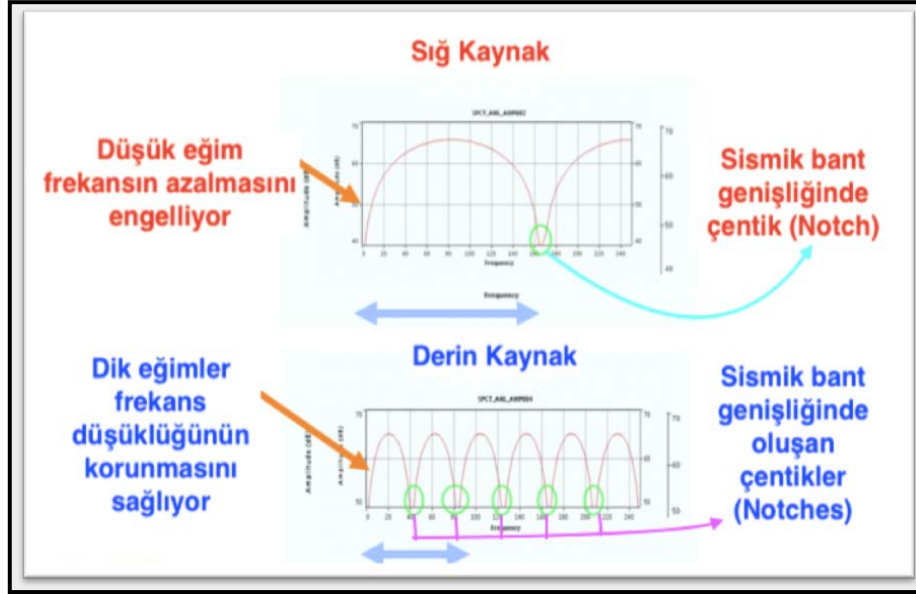
Yukardaki hesaplamalardan anlaşılacağı üzere kaynak derinliği (D) arttıkça, frekans değeri küçülerek sismik verinin hâkim frekanslarına zarar vermektedir. Özet olarak, sismik verinin baskın frekanslarına yıkıcı etki etmektedir. (Şekil 6)



Şekil 6. Kaynak derinliğine bağlı oluşan çentikler (Notches)

Figure 6. Notches formed due to depth of the source

Şekil 7’den de anlaşılacağı üzere kaynak derinliği arttıkça frekansta oluşan düşüş, geniş bant spektrumunda çentik oluşumuna (notch) sebep olmaktadır.



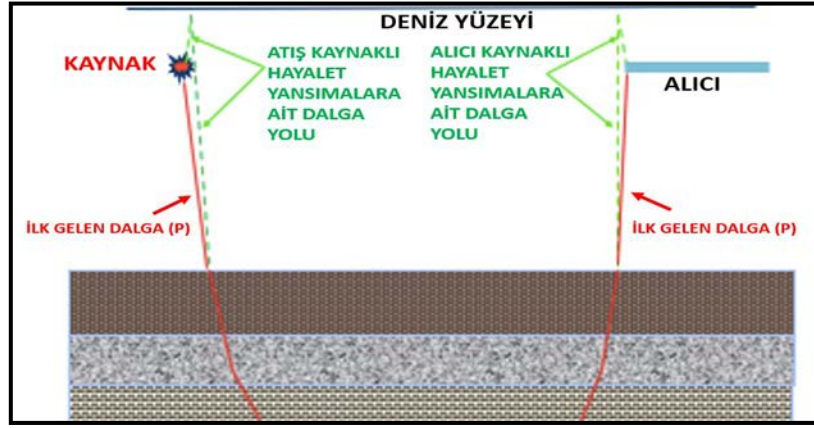
Şekil 7. Kaynak derinliği ile oluşan çentiklerin karşılaştırılması (Notches)
Figure 7. Comparison of Notches which are formed due depth of the source

Şekil 7’den yola çıkılarak aşağıdaki yorumlar yapılabilir;

Sığ kaynak yerleşimi bant aralığı dışında çentik (notch) oluşturabilir, bu durumu sismik veri setinin hâkim olduğu yerlerin dışında çentik oluşumu olarak adlandırabiliriz, fakat sığ kaynak (source) yerleşimi frekans düşüklüğünü azalttığı için veri setinin grafikteki çözünürlüğü azalmaya başlar ve bu durum sismik veri setinin okunmasında zorluklar çıkarmaktadır.

Bir diğer taraftan kaynak (source) eğer derinlerde ateşleme yapıyorsa, sismik veri seti frekans düşüklüğü açısından zengin, fakat bir yandan da çentik (notch) oluşumu açısından fazlalık gösterir. Frekans düşüklüğü çözünürlük için olumlu etki yaparken, çentik (notch) sismik veri setinin çözünürlüğünü düşürerek olumsuz etki yapmaktadır.

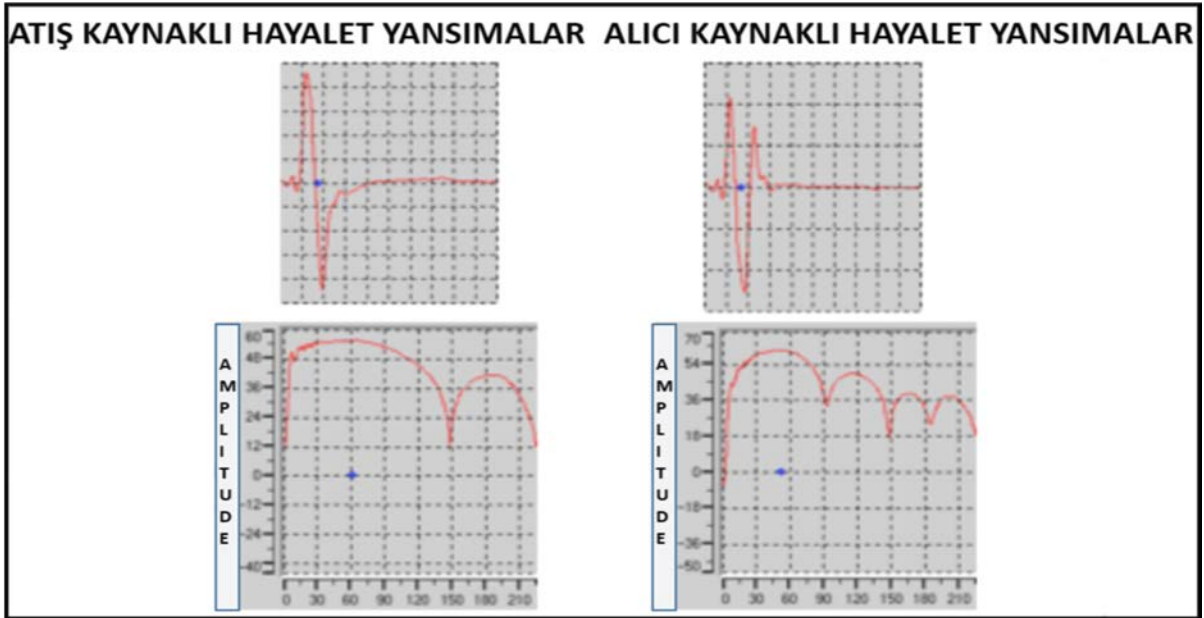
Hayalet yansımalar (Ghost reflections) aynı zamanda alıcı (streamer) içinde gerçekleşmektedir. (Şekil 8)



Şekil 8. Alıcı kaynaklı oluşan hayalet yansımalar (Receiver Ghost)

Figure 8. Receiver Ghost due to streamer

Sonuç olarak Şekil 9 incelendiğinde sismik dalgacığın frekans spektrumuna baktığımızda, aşağıdaki şekilde spektruma etki eden kaynak ve alıcı hayalet yansımalarının (source and receiver Ghost) etkilerini göreceğiz.



Şekil 9. Hayalet yansımaların frekans spektrumuna etkileri

Figure 9. Effects of Ghost reflections on frequency spectrum

Deniz sismiğinde karşılaşılan hayalet yansımalarla (Ghost reflections) ilgili özet olarak söylenmesi gereken maddeler aşağıdaki gibidir;

- Deniz tabanından yansıyan dalga enerjisinin yukarı hareketi deniz yüzeyinden tamamen ters polarite ile geriye yansıması ile sonuçlanır.
- Bu ters polarite ile geriye yansıma olayı hem kaynak (source) hem de alıcı (receiver) hayalet yansımalarının oluşmasında etkin rol oynamaktadır.
- Bu hayalet yansımalar (Ghost reflections) frekans spektrumunda çentiklere (notches) sebep

olmaktadır.

- Kaynak ve alıcı derinliği, çentiklerin (notches) oluştuğu frekans değerlerini belirlemektedir.
- Kaynağın derinde olması fazla miktarda çentik (notch) oluşmasına sebep olurken, frekans düşüklüğü açısından zengin cevaplar vermektedir.
- En önemlisi hayalet yansıma sismik verinin yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. (SCHLUMBERGER, 2018)

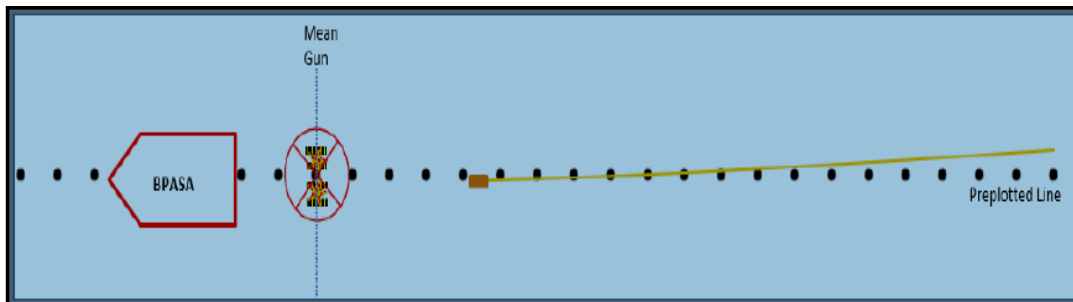
SİSMİK VERİ İŞLEM

Karadeniz sularında Türkiye Petrolleri A.O ya ait olan Barbaros Hayrettin Paşa gemisi ile Çizelge 1 ve Şekil 10'da verilen parametreler ile toplanmış olan iki boyutlu sismik veriye bütün veri işlem aşamaları başarıyla uygulanmıştır. (POLARCUS, 2014)

Çizelge 1. Sismik kayıt parametreleri

Table 1. Seismic records parameters

Genel Kayıt Parametreleri	
Kayıt uzunluğu	10050 ms
Örnekleme aralığı	2 ms
Katlama sayısı (Fold)	201
Atış aralığı	25 m
Kablo sayısı	1 adet
Kanal sayısı	804
Grup aralığı	12,5 m
Kablo derinliği	8 m
Kaynak sayısı	1
Kaynak derinliği	7 m



Şekil 10. Kullanılan sismik verinin atış ve alıcı düzeni

Figure 10. Shot and receiver array of seismic data acquisition

Uygulanan veri işlem aşamaları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Sismik veri işlem aşamaları
Table 2. Seismic data processing steps

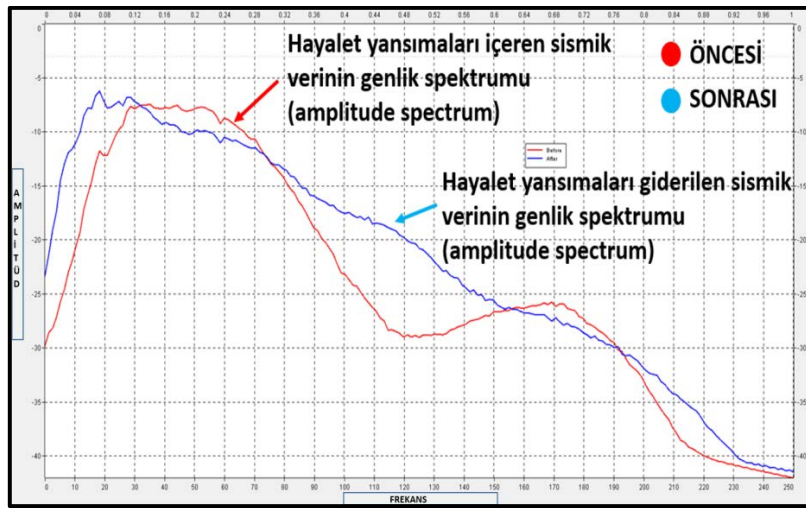


Sismik Veri İşlem İle Hayalet Yansımaların Giderilmesi

Bu aşamada amaç enerjinin deniz yüzeyinden -1'e yakın yansıma katsayısı ile aşağıya geri yansıması sonucu kaynak ve alıcı pozisyonları boyunca oluşan hayalet yansımalarının (Ghost reflections) etkisinin giderilmesidir. Hayalet yansımaların (Ghost reflections) yukarı ve aşağı yönlü enerjilerin girişimi spektrumda çentik (Ghost notch'larına) sebep olur.

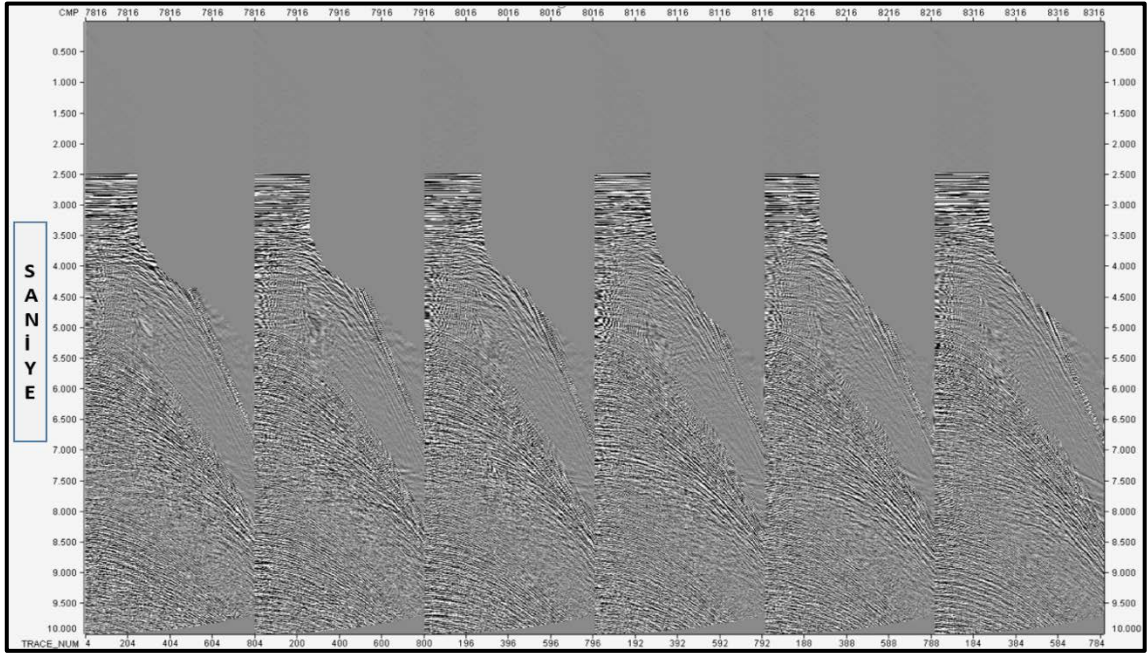
Ortak derinlik noktalarındaki izler (CDP gather) (Şekil 12-13), yakın izler (near trace) (Şekil 14-15), ham sismik veri (shot gather) (Şekil 16-17) ve yığıma kesiti (stack) (Şekil 18-19) incelendiğinde sismik verideki hayalet yansımaların etkisi (Ghost reflections) başarıyla giderilmiştir.

Şekil 11'de de görüldüğü üzere hayalet yansıma giderilmesi (deghosting) işlemi zaman ortamında sadece hidrofon için kaynak ya da alıcı kaynaklı hayalet yansımaların (Ghost reflections) temizlenmesine katkı sağlar ki bu da genlik spektrumunun (amplitude spectrum) genişlemesine sebep olur.



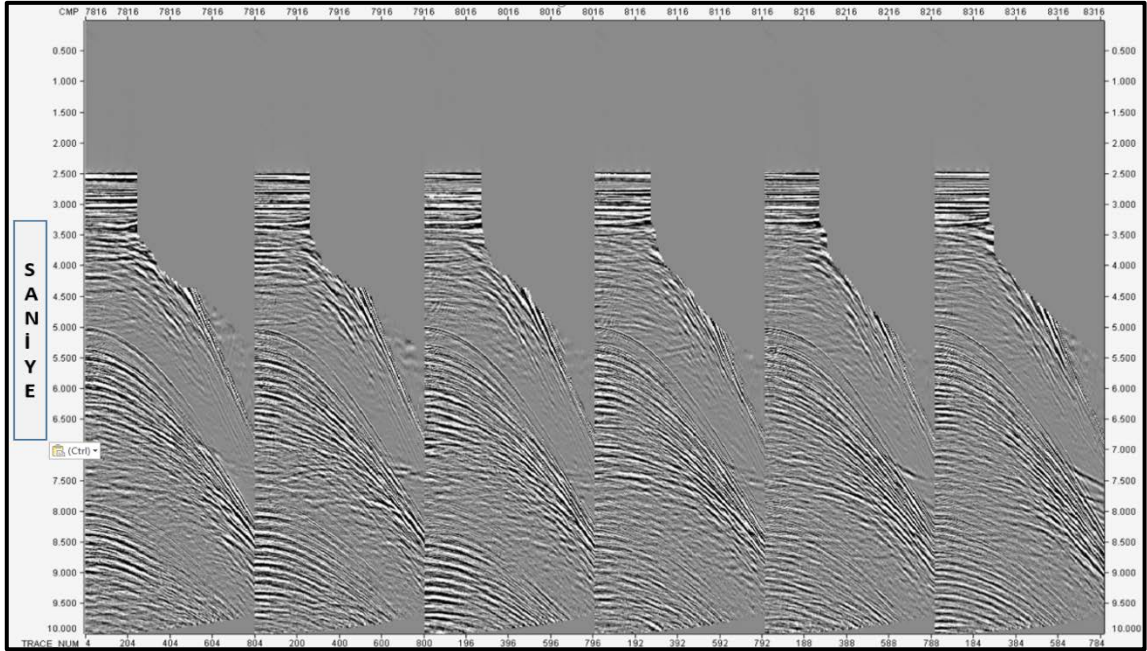
Şekil 11. Hayalet yansımaların giderilmesi öncesi ve sonrası oluşan genlik spektrumlarının (amplitude spectrum) karşılaştırılması

Figure 11. Comparison of amplitude spectrum before and after removal of Ghosting reflections



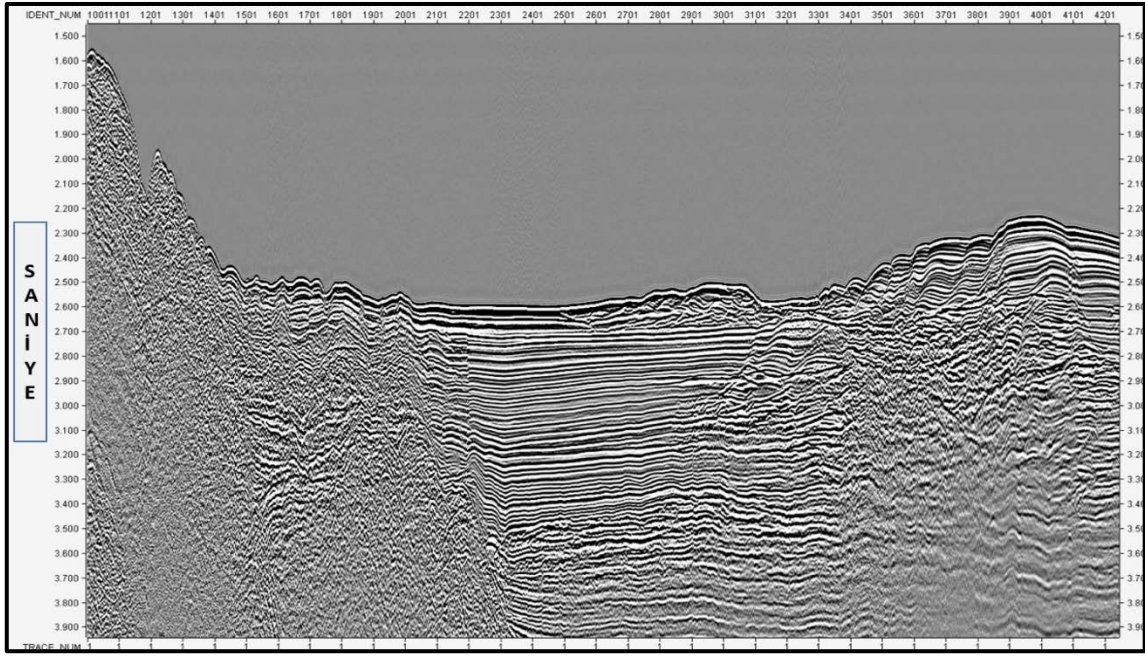
Şekil 12. Sismik verinin hayalet yansımalar giderilmeden önce ortak derinlik noktasındaki (CDP) görüntüsü

Figure 12. Image of seismic data at common depth point (CDP) before Ghosting reflections removed

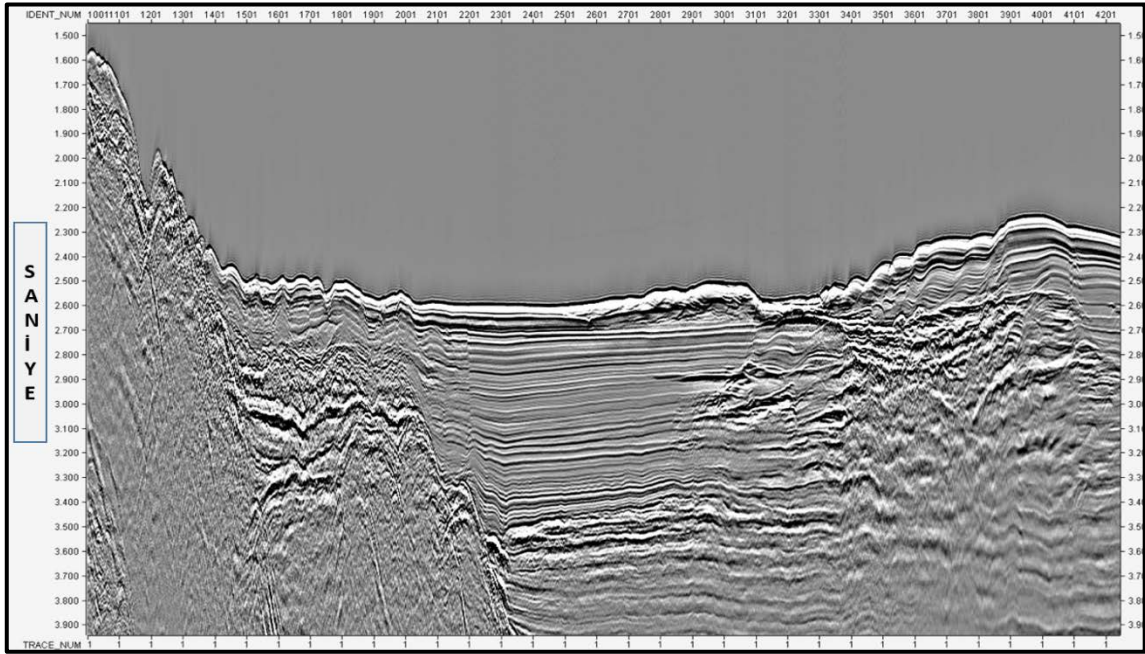


Şekil 13. Sismik verinin hayalet yansımalar giderildikten sonra ortak derinlik noktasındaki (CDP) görüntüsü

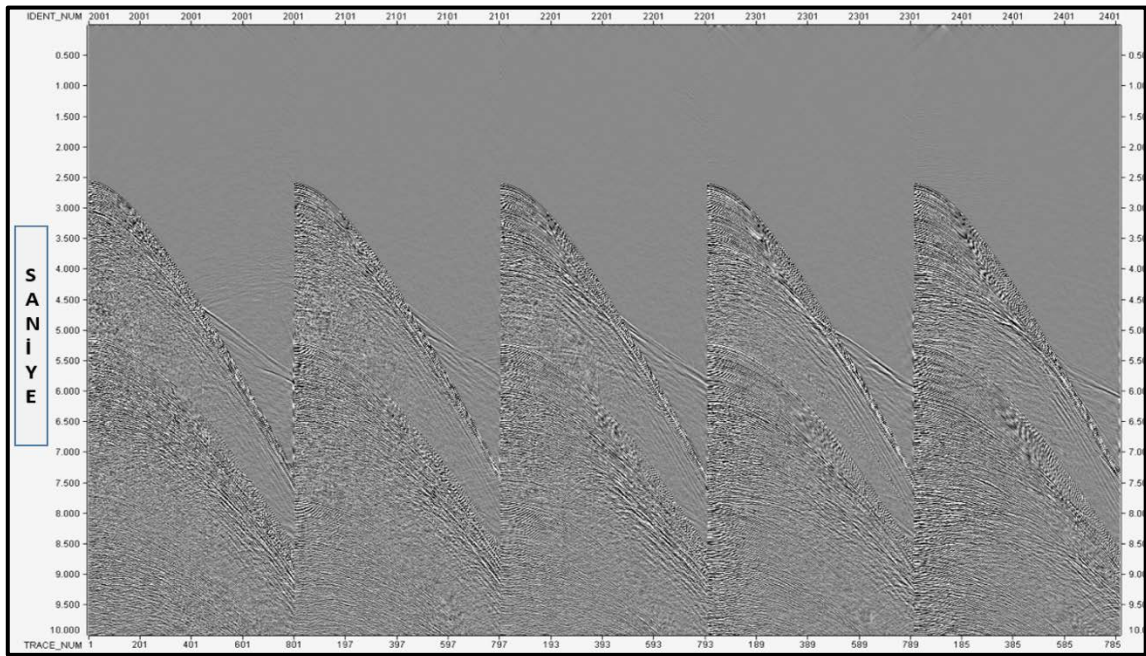
Figure 13. Image of seismic data at common depth point (CDP) after Ghosting reflections removed



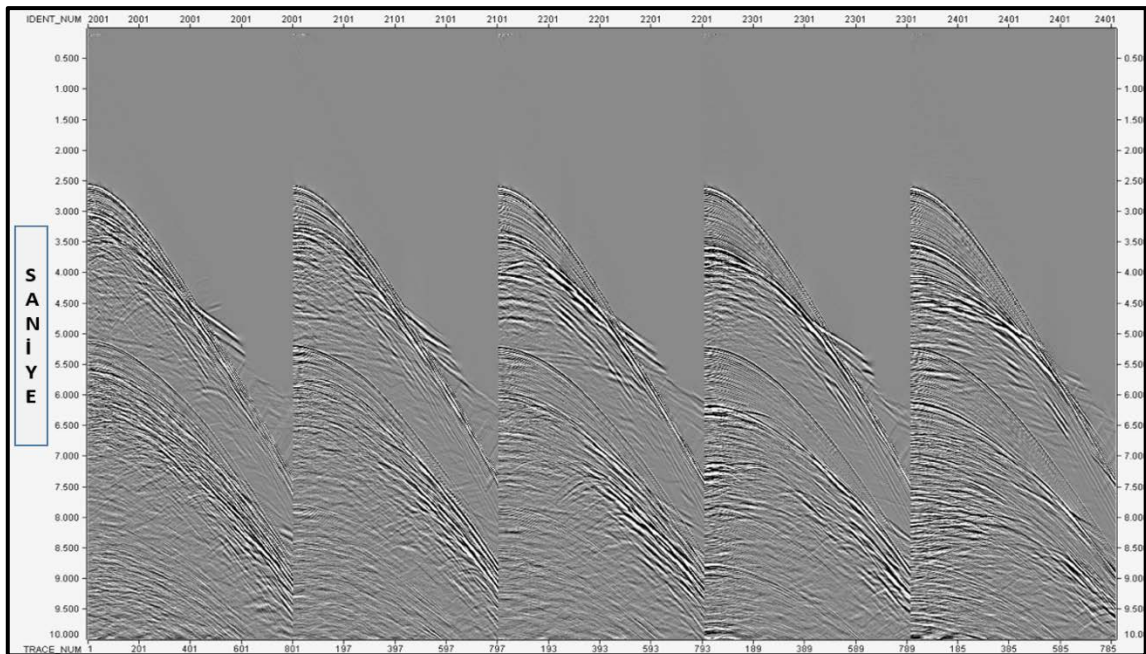
Şekil 14. Sismik verinin hayalet yansimalar giderilmeden önce yakın izlerdeki görüntüsü
Figure 14. Image of seismic data at near trace before Ghosting reflections removed



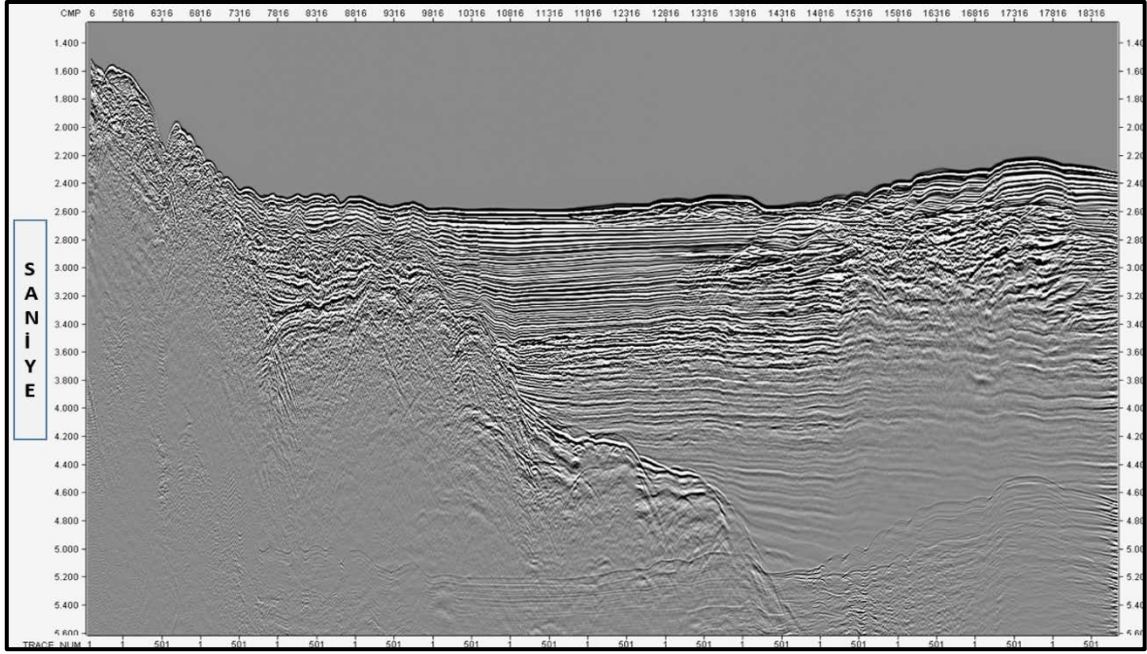
Şekil 15. Sismik verinin hayalet yansimalar giderildikten sonra yakın izlerdeki görüntüsü
Figure 15. Image of seismic data at near trace after Ghosting reflections removed



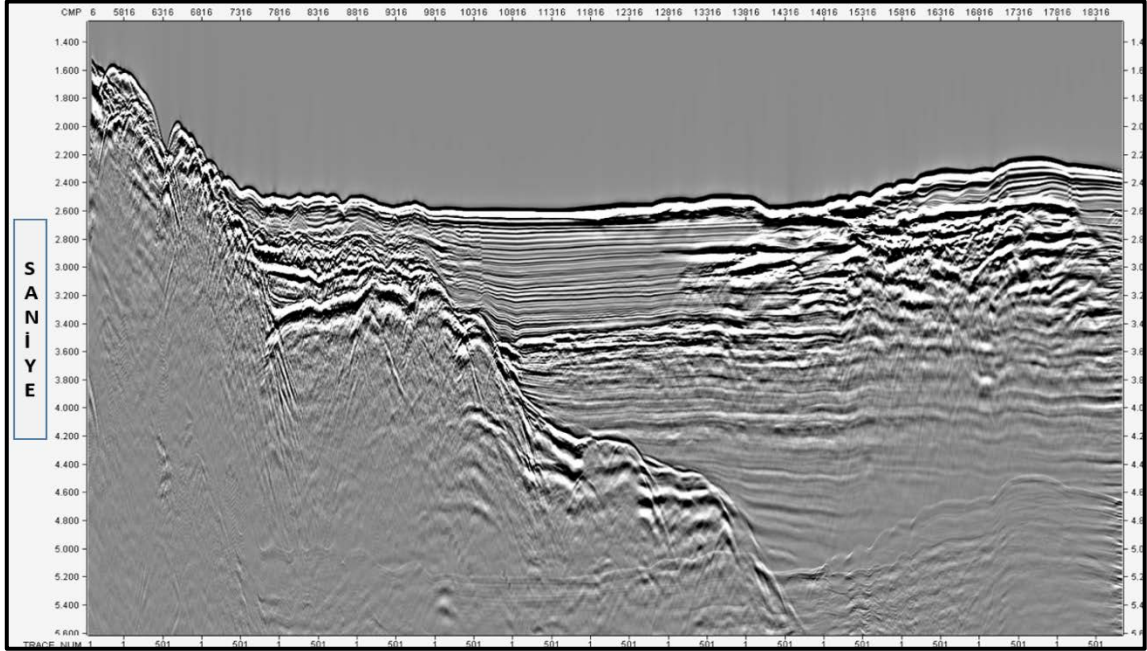
Şekil 16. Sismik verinin hayalet yansımalar giderilmeden önceki ham atış görüntüsü
Figure 16. Image of raw seismic data before removal Ghosting reflections



Şekil 17. Sismik verinin hayalet yansımalar giderildikten sonraki ham atış görüntüsü
Figure 17. Image of raw seismic data after removal Ghosting reflections



Şekil 18. Sismik verinin hayalet yansımalar giderilmeden önceki yığıma (stack) görüntüsü
Figure 18. Stack image of seismic data before removal of Ghosting reflections



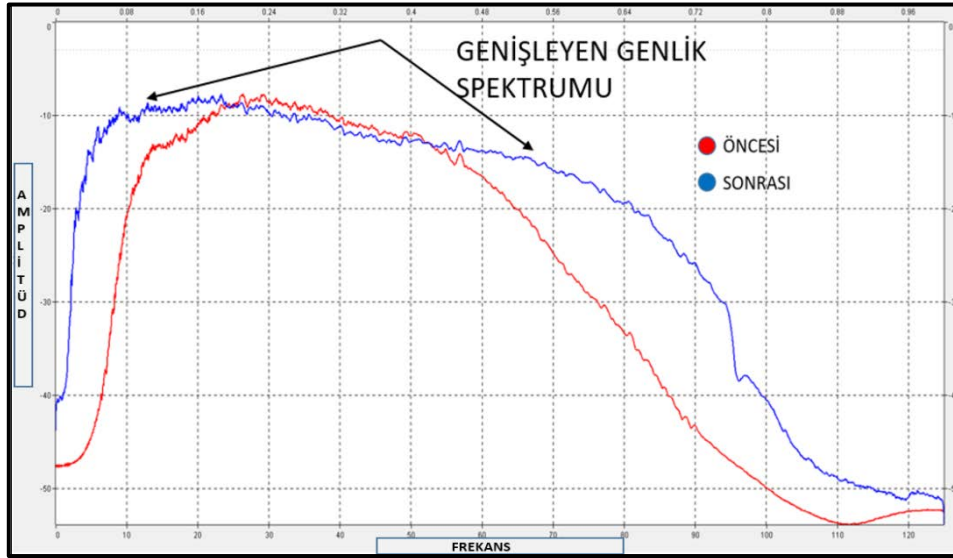
Şekil 19. Sismik verinin hayalet yansımalar giderildikten sonraki yığıma (stack) görüntüsü
Figure 19. Stack image of seismic data after removal of Ghosting reflections

SONUÇLAR

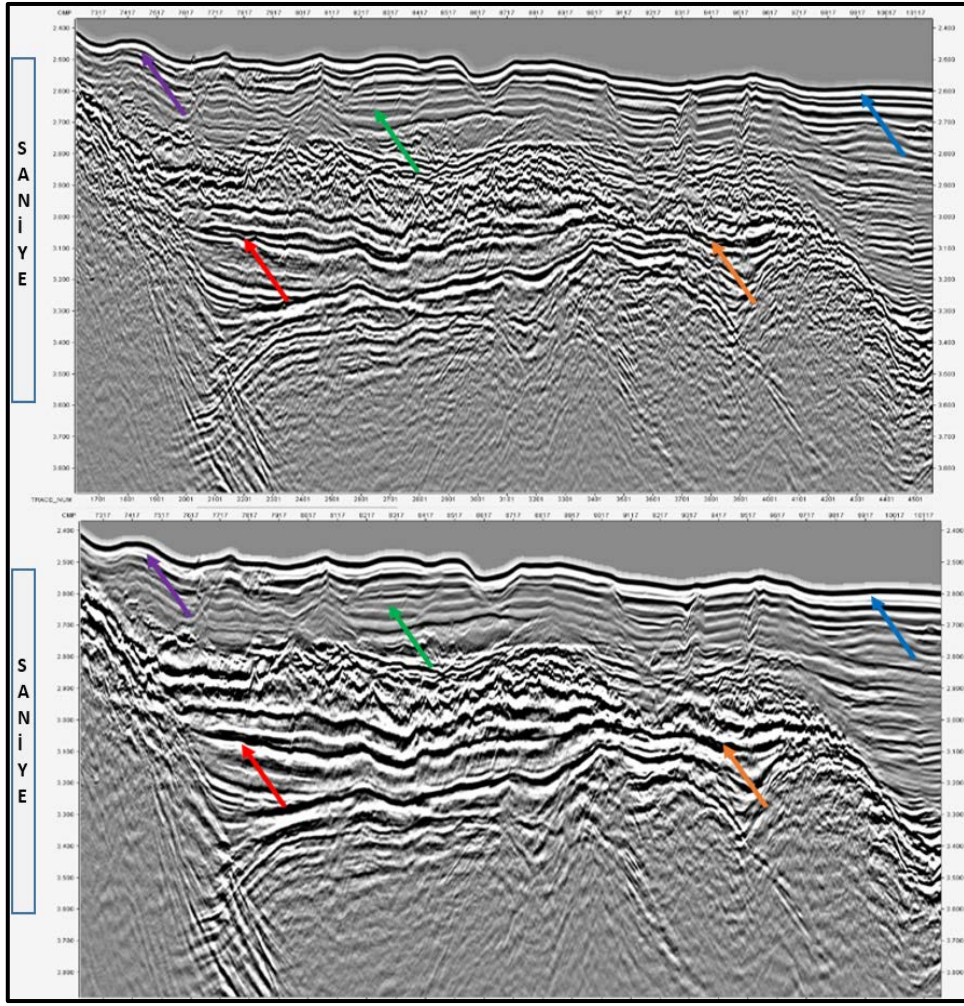
Bu çalışmada ilk önemli sonuç Türkiye Petrolleri A.O. dan alınan sismik yansıma verilerine her aşamada uygun parametreler seçilerek gerekli tüm veri işlem aşamalarının başarı ile uygulanmış olmasıdır. Özellikle verinin tüm özellikleri incelenerek bütün sinyal ve gürültüler belirlenmiş olup uygun bir veri işlem adımları ve veri işlem parametreleri seçilmiştir.

Deniz sismiğinde her veri setinde hayalet yansımalar (Ghost reflections) bulunmaktadır. Bu hayalet yansımalar (Ghost reflections) sismik verinin yorumuna direk etki eden yıkıcı girişimlerdir. Sürekli olarak duyduğumuz bu hayalet yansımalar sismik verinin frekans spektrumu ile doğrudan ilişkilidir. Yukarı ve aşağı yönlü hayalet yansımaların (Ghost reflections) enerjilerinin girişimi sismik verinin frekans spektrumunda hayalet çentiklerine (Ghost notch'larına) sebep olur.

Bu çalışmada hayalet yansıma giderilmesi (deghosting) ve diğer veri işlem uygulamalarından sonra genlik spektrumunda (amplitude spectrum) Şekil 20'de de görüleceği üzere sismik verinin baskın frekanslarına zarar veren çentiklerin (notches) giderildiği ve sismik verinin daha geniş bir frekans içeriğine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 20. Yapılan veri işlem sonrası genlik spektrumlarının (amplitude spectrum) karşılaştırılması
Figure 20. Comparison of amplitude spectrum after data processing stage



Şekil 21. Hayalet yansıma giderilmesi uygulanmamış ve uygulanmış migrasyon yığıma kesiti (stack) üzerindeki farklar

Figure 21. Differences between Ghost reflections elimination applied migration stack and Ghost reflections elimination not applied migration stack

Sonuç olarak Şekil 21’de verilen hayalet yansımalar giderilmiş ve giderilmemiş sismik migrasyon yığıma (stack) kesitlerini incelediğimizde renkli oklar ile gösterilen bölgelerde öncesi ve sonrası farklılıklar göze çarpmaktadır. Sismik yoruma doğrudan etki edecek olan bu hayalet yansımaların veri üzerinden atılması gerekmektedir. Bu çalışma sonucunda; yapılan sismik veri işlem ile sismik imajın yorumunu etkileyecek olan bu hayalet yansımalar yorum öncesi sismik veriden giderilmiştir.

KAYNAKLAR

DONDURUR, D., 2009. Deniz Sismiğinde Veri İşlem, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara.

PARADIGM, 2016. Source and/or Receiver Ghost Removal from Conventional Towed Streamer Seismic Data.

POLARCUS, 2014. TPAO Ordu Acquisition Plan, Ankara.

SCHLUMBERGER, 2018. Marine Seismic Acquisition - Infield Geophysics.

Araştırma Makalesi

**DİYARBAKIR SAHASINDA HİDROKARBON ARAŞTIRMASINDA ÜÇ BOYUTLU
VİBROSİSMİK YÖNTEMİ İLE VERİ TOPLAMA VE KAYNAK
PARAMETRESİNİN SEÇİMİ**

**Selection of Data Acquisition and Source Parameters in Diyarbakır Area for
Hydrocarbon Exploration by Using Three Dimensional Vibroseismic Method.**

Ahmet Yavuz TOKSOY^{1*}

ÖZ

Hidrokarbon aramalarında en çok kullanılan yöntem olan sismik yansıma yönteminde kaynak seçimi oldukça önemlidir. Dünyada sismik ekiplerin %75'i kaynak olarak vibratörü tercih etmektedirler. Vibrosismik yöntemin enerji kaynağı olarak kullandığı vibratör; yerin sismik parametrelerine bağlı olarak uygulanabilen, kontrollü bir sismik kaynaktır ve patlatmalı kaynaklara göre daha avantajlı olduğu için hidrokarbon aramalarında daha çok kullanılır. Vibratörün yere gönderdiği sinyal tarama (sweep) sinyal olarak adlandırılır ve hidrokarbon aramalarının çoğunluğunda doğrusal tarama sinyali uygulanır. Vibrosismik yöntemde tarama sinyaline ait parametrelerin seçimi veri toplamaya başlamadan önce yapılır. Çalışma sahasına en uygun ve ekonomik kayıt parametrelerini belirlemek için her sahada tarama sinyali parametreleri test çalışmaları yapılmalıdır. Bu çalışmada amacımız Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı tarafından Diyarbakır sahasında hidrokarbon araştırmasında üç boyutlu vibrosismik yöntemi ile veri toplama ve kaynak parametrelerinin test edilmesidir. Çalışma sahasına en uygun parametreler testler yapılarak belirlenmiş ve kayıt işlemine bu parametrelerle devam edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Üç Boyutlu Vibrosismik , Hidrokarbon Aramaları , Kaynak Parametre Testi , Tarama (sweep) Sinyali

ABSTRACT

Source parameter is crucial for seismic reflection method which is the most used in hydrocarbon exploration. 75% of the seismic crews in the world prefer the vibrator as a source. The vibrator that used by vibroseismic method as energy source, is a controlled seismic source which can be applied depending on the seismic parameters of the subsurface and it is more widely used in hydrocarbon exploration because of having more advantageous than exploding sources. The signal that the vibrator sends to the ground is called the sweep signal, and a linear sweep signal is mostly applied for hydrocarbon explorations. In the vibroseismic method, the selection of the parameters of the sweep signal should be applied before the data acquisition starts. Sweep signal parameters should be tested in order to determine the most suitable and economical source parameters for the study area. In this study, our aim is to test the data acquisition and source parameters for hydrocarbon research in Diyarbakır area by collecting three dimensional vibroseismic data from Turkish Petroleum. The most appropriate parameters for the study area were determined after several tests and records were continued with these parameters.

Keywords: Hydrocarbon Research, Source Parameter Testing, Sweep Signal, Three-Dimensional Vibroseismic Method

GİRİŞ

Vibrosismik; çeşitli frekanslar içeren sürekli sinüzoidal titreşimleri kontrollü olarak yaratan ve uygulayan vibratörün enerji kaynağı olarak kullanıldığı bir sismik yöntemdir (Sheriff 1990). Vibrosismik Conoco firması araştırmacıları tarafından geliştirilmesinden bu yana kara sismik çalışmalarında özellikle hidrokarbon aramalarında dünya çapında tercih edilen bir enerji kaynağı olmuştur. Vibratör enerji kaynağı, kontrol edilebilir frekans bandına sahip olması, ideal sıfır fazlı sinyal üretebilmesi ve yıkıcı olmayan bir kaynak olması nedenleriyle sismik veri toplamada geniş çaplı bir kullanım alanı bulmuştur (Başar,2007). Dinamit kaynağının kullanılmasına izin verilmeyen kentlerde vibratör kaynağı kullanılabilir. Dinamit kaynağı için kazılan kuyulara ihtiyaç kalmaması ile

¹ Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Arama Daire Başkanlığı Diyarbakır Bölge Sorumluluğu - Diyarbakır

*İlgili yazar / Corresponding author: atoksoy@tpao.gov.tr

Gönderim Tarihi: 21.11.2018

Kabul Tarihi: 22.12.2018

birlikte gelen maliyet azalması vibratör enerji kaynağının en önemli avantajlarından olmuştur ve dünyadaki sismik ekiplerin % 75'inde kullanılması vibrosismiğin önemini daha iyi vurgulanmıştır (Sakallıoğlu vd., 2012).

Sismik Veri Toplama programını tasarlamak, hidrokarbon arama amaçlı yapılan sismik veri toplama yöntemlerinde ilk adım olarak bilinmektedir. Bu tasarımın hedefi yeraltının zaman ve mesafe olarak örneklenmesidir. Veri toplama zamanını ve maliyetini en aza indirmek ve verilerin en iyi biçimde elde edilmesini sağlamak için amaca uygun ve iyi tasarlanmış bir sismik veri toplama programı yapılmalıdır. Sismik programın saha kayıt parametrelerini seçmek veri toplamadaki ikinci adımdır. Sismik verilerin veri işlem ve yorum kısmı dikkate alındığında sismik program tasarımı ve parametre seçiminin önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalar bunu kanıtlamıştır.

Vibrosismik verisinde kaydedilen iz iyi tarama sinyalidir. Tabakalardan gelen yansımaların belirlenebilmesi için tarama sinyalinin kaydedilen sinyalin içinden çapraz ilişki ile çıkarılır. Böylelikle kaydedilen izler referans tarama sinyali ile çapraz ilişki (Cross correlation) işlemine sokulur. Taramanın çapraz ilişki işlemi, lineer tarama sinyalinin öz ilişkisi ile tanımlanan Klauder sinyalini yaratır (Sheriff 1990). Bu tanımlama birçok doğrusal tarama ile karakterize edilen doğrusal olmayan tarama sinyalini de kapsar. Sinyalin yer yuvarı içinde seyahati sırasında yer süzgecinin etkisi nedeniyle olduğu gibi, vibratör sisteminden kaynaklı doğrusal ve doğrusal olmayan süzgeç etkileri nedenleriyle de sinyalin genliği ve fazında değişiklikler olur.

Bu tez çalışmasında Diyarbakır çalışma sahasında vibrosismik yöntem uygulanarak tarama sinyalinin parametrelerinin test edilmesi amaçlanmış ve sonuçları tartışılmıştır. Sismik veri toplama çalışmalarında, istenilen veriye uygun olarak veri toplama için bazı faktörler dikkate alınmalıdır. Kayıt parametrelerini seçmeden önce bu faktörler hakkında detaylı çalışmalar yapılmalı ve parametreler üzerinde etkileri tartışılmalıdır. Saha kayıt parametreleri ve vibrosismik parametreler program başlamadan önce sahada yapılan testlerle belirlenir. Tarama parametreleri için detaylı test çalışmalarının yapılması elde edilecek sonuçlara sahaya en uygun , en yüksek Sinyal/Gürültü (S/G) oranına sahip, en ekonomik ve hedef seviyelerinden en iyi yansımaların kaydedilmesini sağlayan test aşamalarını içermelidir. Bu çalışmada ham veri üzerinde sonuçlar karşılaştırılarak en iyi kaynak parametreleri seçilmiştir ve yeraltında istenilen yapının özelliklerine göre en iyi sonucu veren verinin toplanması hedeflenmiştir.

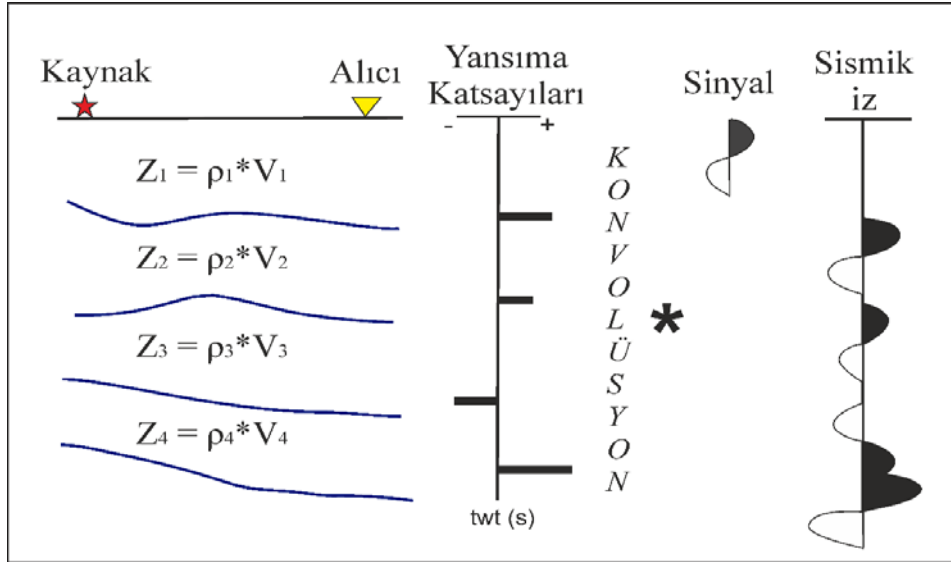
SİSMİK YANSIMA YÖNTEMİ

Yeraltı yapısı hakkında en ayrıntılı ve sağlıklı bilgi veren sismik yansımaya yöntemi jeofizik yöntemler arasında en çok kullanılan yöntemdir. Sismik yansımaya yönteminin en önemli avantajlarından birisi tek çözümlü olmasıdır. Sismik yansımaya yöntemi, özellikle petrol ve doğalgaz araştırmalarında geniş ölçüde kullanılan, yeraltı tabakalarının sınırlarını ve yapısal unsurları yansımaya kesitleri şeklinde sunan en etkili yöntemlerden birisidir ve çok maliyetli olmasına rağmen petrol aramacılığında sıkça kullanılan bir yöntemdir.

Yeraltına gönderilen sinyaller elastik dalga yayılımı teorisine göre, arayüzeylerden yansyarak yeryüzündeki alıcılara ulaşırlar ve kayıtçılarda kaydedilirler. Yeryüzünde bu arayüzeyleri fark etmemizi sağlayan en önemli parametre, tabakalar arası akustik empedans farkıdır. Bir tabakanın akustik empedansı, matematiksel olarak hız ve yoğunluğun çarpımı şeklinde ifade edilir.

$$Z = V\rho \quad (1)$$

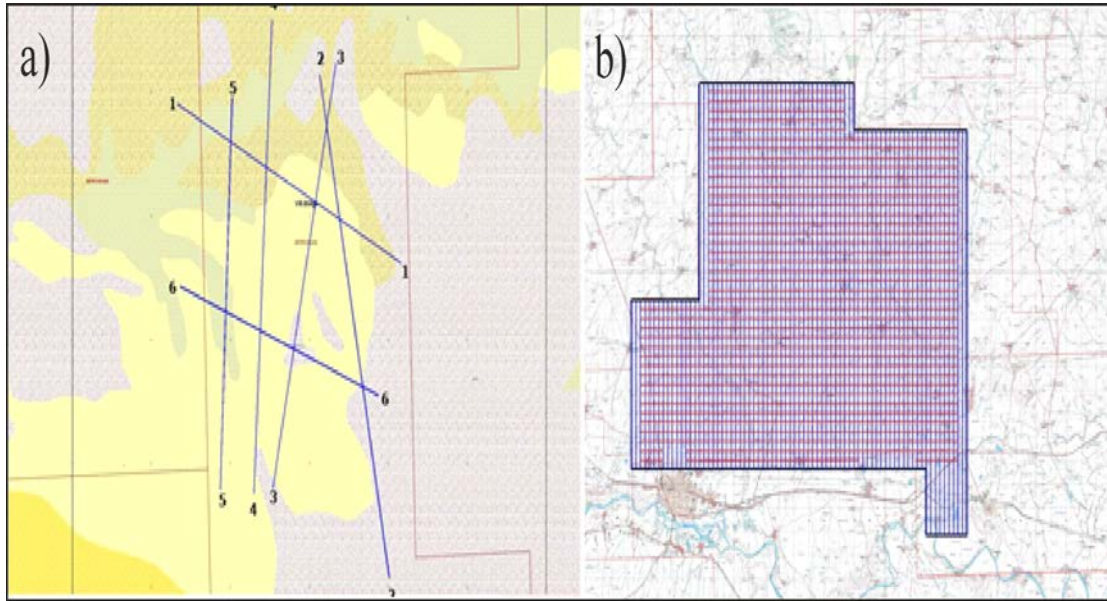
Burada; "V", Sismik hızı ve "ρ", Kayaç yoğunluğunu temsil etmektedir.



Şekil 1. Dört tabakalı yeraltı modeli için yansımaya katsayılar serilerinin gösterimi ve sismik izin elde edilmesi (AAPG Sismik yansımaya eğitimi uyarlanmıştır).

Figure 1. Demonstration of reflection coefficients series and determination of seismic signal for four layer underground model (Adapted from AAPG seismic reflection training).

Sismik yansımaya yöntemi denildiğinde, P dalgasının düşey bileşeninin kullanıldığı iki boyutlu (2B) veya üç boyutlu (3B) yansımaya sismikliği ile veri toplanması aklı gelmektedir. Yansımaya çalışmalarında toplanan ham veriler, sismik veri işlem adımlarının uygulanması ile yorumlama için gerekli olan sismik kesitler elde edilir. Yansıyan dalgaların frekansları yaklaşık 20-80 Hz civarındadır. Karada yapılan sismik uygulamada haritada önceden belirlenen hatlara ait atış ve kayıt noktaları arazide belirlenir. Bu noktaların iki boyutlu (2B) olması durumunda bir hat boyunca, uygulamanın üç boyutlu (3B) olması durumunda ise harita düzleminde her iki boyutta eşit aralıklı olarak belirlenir ve alıcı-atış noktaları dik olacak şekilde alansal olarak veri toplanır (Şekil 2). Bu iki farklı boyutlarda kayıtlar arasındaki fark Tablo 1’de sıralanmıştır.



Şekil 2. a) İki Boyutlu (2B) b) Üç Boyutlu (3B) sismik yansımaya çalışmalarına bir örnek.

Figure 2. a) Two dimensional (2B) b) Three dimensional (3B) an example of seismic reflection studies.

Tablo 1. İki boyutlu ve Üç boyutlu sismik yansıma çalışmaları arasındaki belirgin farklılıklar
Table 1. Significant differences between two dimensional and three dimensional seismic reflection studies.

2B Sismik	3B Sismik
Doğrusal Sismik Profil	Alansal Profil
Kaynak Ve Alıcı Aynı Profil Üzerinde	Kaynak Hattı Alıcı Hattına Dik
Jeofon Serimi Doğrusal	Jeofon Serimi Alansal
Yeraltı Bilgisi Noktasal (Cdp)	Yeraltı Bilgisi Alansal (Bın Sıze)
İzler Aynı Açılı İle Geliyor	İzler Farklı Açılardan Geliyor (Azimuth)
Sadece Profil Boyunca Hız Analizi	Hem Profil Boyunca Hem De Profile Dik Yönde Hız Analizleri
Sadece Profil Boyunca Görünleme	In-Line , Cross-Line Ve Time-Slice Boyunca Görünleme
Doğrusal Sismik Profil	Alansal Profil

VİBROSİSMİK YÖNTEMİ

Vibrosismik; Vibratör'ün enerji kaynağı olarak kullanıldığı çeşitli frekanslar içeren sürekli sinuzoidal titreşimleri kontrollü olarak üreterek uygulayan bir sismik yöntemdir (Sheriff 1990). Özellikle hidrokarbon aramalarında çok yaygın olarak kullanılan bir yöntem olup, kara sismik çalışmalarında dünya çapında tercih edilmektedir. Vibratör enerji kaynağı da kontrollü bir kaynak olması nedeniyle günümüzde daha çok tercih edilmektedir. Vibratör sistemi ilk defa, 1952 yılında Continental Oil Company (CONOCO) tarafından geliştirilmiştir. Vibratörün yeri titreştirmesi ile gönderilen tarama sinyalinin istenilen güç ve frekansla tasarlanması, diğer sismik kaynaklara göre daha verimli, ekonomik ve çevreye dinamit kaynağından daha zararsız olması nedeniyle daha çok tercih edilen bir sismik kaynaktır.

Vibrosismik yönteminin avantajları;

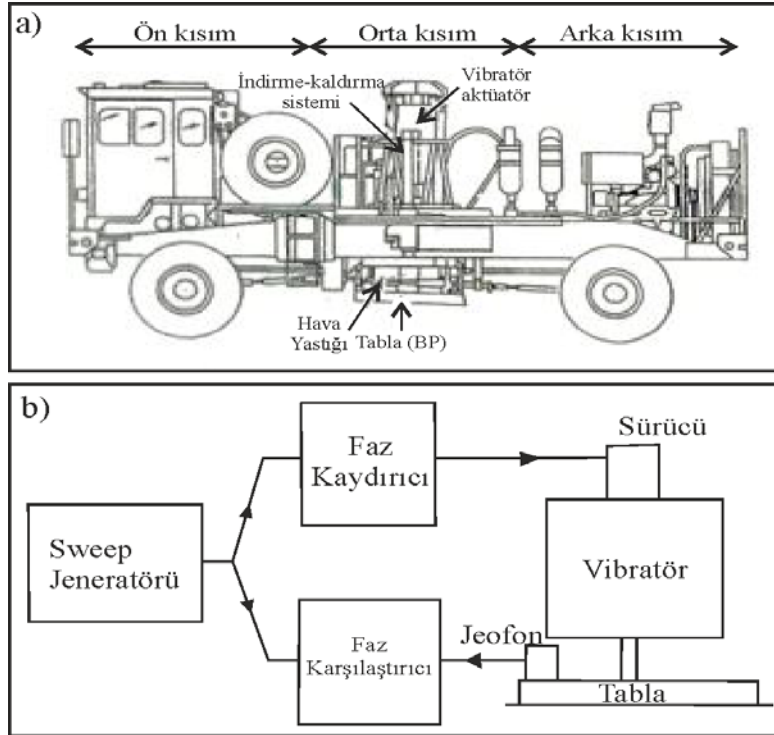
- Frekans içeriği kontrol edilebilir, kontrollü bir enerji kaynağı olması
- Maliyeti düşük ve verimliliği yüksek bir kaynak olması
- Atış noktasında fazla atış yaparak sinyal/gürültü oranı artırılması
- Herhangi bir atış probleminde tekrarlanabilmesi
- Özel koşullarda şiddeti düşürülerek sorunsuz uygulanabilmesi.
- Sahanın sinyal karakterine uygun frekanslar belirlenebilmesi
- Yerleşim yerlerine yakın bölgelerde zarar vermeden çalışılabilmesi.
- Yeraltında aranan jeolojik yapıların özelliklerine göre kaynak dalgacığı kontrol edilebilmesidir.

Vibrosismik yönteminin dezavantajları ise;

- Sismik kayıtlar üzerinde yüzey ve hava dalgalarının etkili olması
- Kaynağın yüzeyde olması nedeniyle , statik düzeltmeler için düşük hız tabakası ve altındaki tabakanın hızları hakkında doğru bilgiler elde edilememesi sonucu ayrıca kuyu atışları ve rekreasyon çalışmalarına da gerek duyulması.
- Korelasyon işlemi sonucu gürültülerin etkin olması
- Engebeli arazilerde çalışmanın zorlukları olarak sıralanabilir.



Şekil 3. Vibratör sistemi ve tablası
Figure 3. Vibrator system and its table



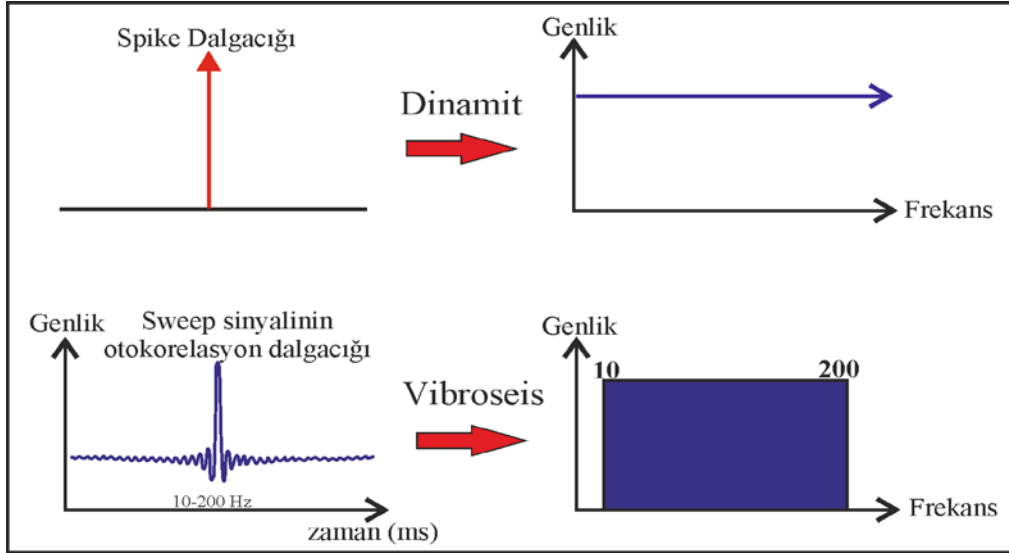
Şekil 4. a) Vibratör aracının genel görünüşü b) bazı önemli aksamaları (TPAO).

Figure 4. a) General view of the vibrator tool b) some important components (TPAO).

Tarama (Sweep) Sinyalinin Özellikleri

Dinamit kaynağı ile vibro kaynağı sinyalinin frekans bandındaki fark Şekil 8’de gösterilmiştir. Dinamit kontrollü bir kaynak olmadığından, kaynak dalgacığı bir spike fonksiyonu olduğundan, genlik spektrumu tüm frekansları içermektedir. Vibratör kaynağı ile üretilen enerjinin frekans kaynağı,

çalışma alanına uygun frekansları üretecek şekilde tasarlanabilir. Örneğin, 10-200 Hz aralığında veri toplamaya uygun frekans bandı seçilsin. Spike yerine, 10-200 Hz arasında sıfır fazlı bir dalga formu oluşturulur. Genlik spektrumu tüm frekanslar yerine, çalışmanın amacına en uygun frekansları üretebilecek kaynak parametreleri seçilebilir ve bunlar test çalışmaları ile belirlenir (Şekil 5).



Şekil 5. Frekans-zaman ortamında dinamit ve vibratör kaynak dalgacıkları ve genlik spektrumlarının karşılaştırılması (Sakallıoğlu vd ., 2012'den uyarlanmıştır.)

Figure 5. Comparison of dynamite and vibratör source wavelets and amplitude spectra in frequency-time environment (adapted from Sakallıoğlu et al ., 2012)

Doğrusal (Linear) ve Doğrusal Olmayan(Non-Linear) Tarama Sinyali

Doğrusal tarana sinyalinde frekanslar zamanla doğrusal olarak artar ve frekansların zamanla değişimi de sabit olur (Goupillaud, 1976). Şekil 9'da Doğrusal tarama örneği görülmektedir. 10 saniyelik örnekte frekans zamanla doğrusal olarak artarak 10 sn'de 10 Hz'den 200 Hz' ulaştığı yorumu yapılabilir.

Vibrosismiğin bir diğer önemli avantajı da doğrusal olmayan tarama üretebilmesidir. Hedef seviyelere uygun, yüksek ayrımlı verilerin toplanması için doğrusal olmayan tarama sinyalleri oluşturulabilir. Doğrusal olmayan tarama çeşitlerinde, vibratör tarafından gönderilen frekanslar kontrol edilip, güçleri artırılarak verideki düşey ayrımlılık geliştirilebilir.

ÜÇ BOYUTLU (3B) SİSMİK VERİ TOPLAMA VE SAHA PARAMETRELERİNİN TANIMI

Sismik verilerin toplanmasında çalışma alanının jeolojisine ve hedef derinliğine göre en ekonomik ve en uygun saha parametreleri ile toplanabilmesi için sahaya gitmeden önce, saha programını tasarlamak ve tüm bilgiler eşliğinde en uygun saha kayıt parametrelerini belirlemek gerekmektedir.

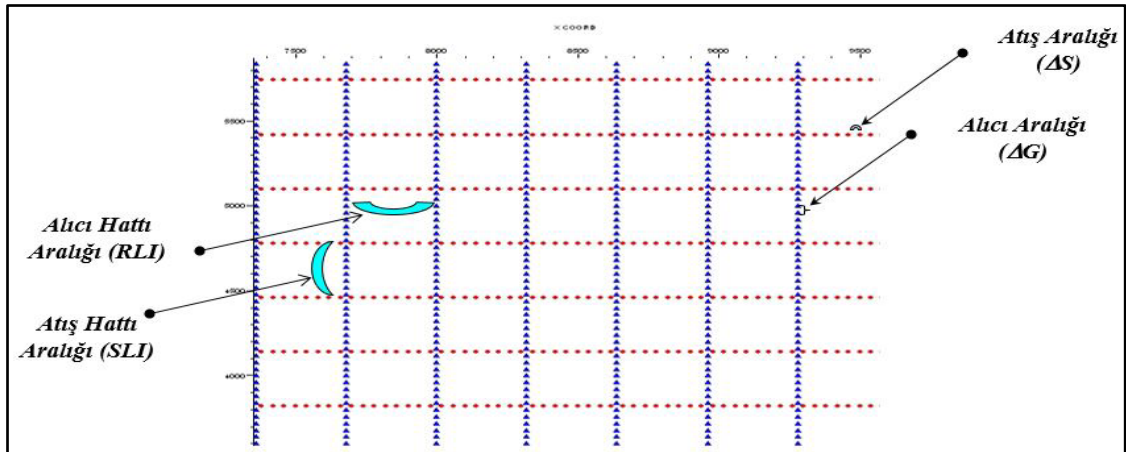
Hidrokarbon aramalarında ilgilenilen yeraltı yapısının doğası üç boyutludur (Örn.: Tuz domları, ters fay kuşakları, resifler, deltayık kumtaşları ve düzensiz tabakalı stratigrafik yapılar). 2B sismik çalışmalarda yeraltı hız alanının sadece sismik profil boyunca dağılımı elde edilirken, 3B sismik çalışmalarda profil yönüne dik yönde hız dağılımı sağlanarak 3B göç işlemi karmaşık yeraltı yapısını daha gerçekçi ortaya koymaktadır (Küçük, 2006).

Kayıt Parametreleri ve Geometrisi

Sismik veri toplama çalışmalarında kayıt uzunluğu, yansıtıcı ve saçıcı yüzeylerin migrasyon işleminden sonra sismik kesitte görünebilir şekilde kaydedilmesini sağlayacak kadar uzun seçilmelidir. Örneğin aranan hedef derinliğinin 1.5 saniyede, daha derinlerdeki temel seviyenin 2.5 saniyede olması durumunda, difraksiyon için geçen süre 500 ms, statik zamanı 100 ms ve kayıt sistemi için ilave zaman 150 ms olarak alınırsa, yeterli kayıt uzunluğu için en az 5 saniye seçilmelidir (Sakallıoğlu vd., 2012). Uzun kayıt sürelerinin vibrosismik çalışmalarda veri toplama zamanı ve maliyeti arttıracığı dikkate alınmalıdır. Günümüzde ilerleyen teknolojilerle birlikte veriler artık manyetik teyplere değil hafızası çok geniş olan hard disklere kaydedilmektedir.

3B sismik veri toplamada kaynak hatları alıcı hatlarına dik olacak şekilde alınır ve bu düzene ortogonal 3B dizaynı adı verilir. Kayıt geometrisinde kullanılan bazı terimlerin açıklaması aşağıdaki gibidir;

Alıcı Aralığı (Group Interval; GI), iki alıcı grubu arasındaki mesafe; Atış Aralığı (Shot Interval; SI), iki kaynak grubu arasındaki mesafe; Alıcı hatları aralığı (Receiver Line Interval; RLI), iki alıcı hattı arasındaki mesafe; Atış hatları aralığı (Shot Line Interval; SLI) ise iki kaynak hattı arasındaki mesafedir (Şekil 6). 3D sismikte alıcı hatlarının yönüne “In-line”, kaynak hatlarının yönüne “Cross-line” denilir. 3B sismik verisi yorumculara hem in-line ve cross-line yönlerinde düşey kesitler sağlar hem de yatayda zaman dilimleri (time slices) şeklinde kesitler sunmaktadır. Bu yatay kesitler yorumlanmış seviyeler için kontur haritalarının elde edilmesinde kullanılır.

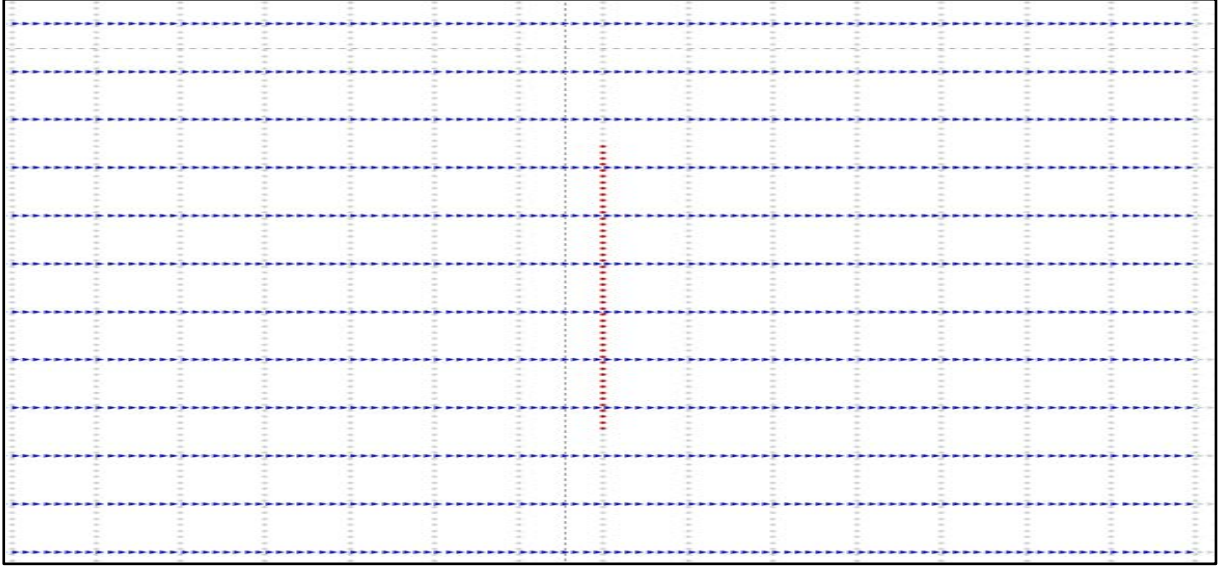


Şekil 6. Kayıt parametrelerinin 3B veri toplama düzenindeki şekli (TPAO).

Figure 6. Shape of recording parameters in 3D data collection mechanism (TPAO).

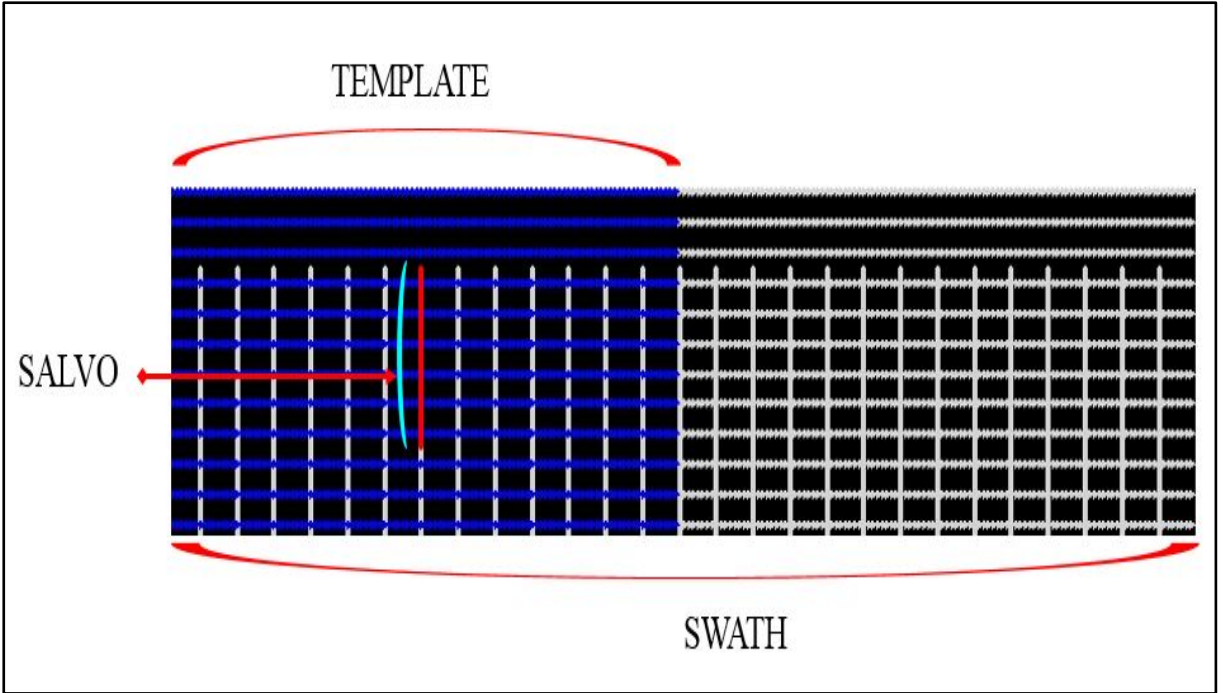
Diğer önemli terimlerden patch, 3B kayıt almaya hazır aktif kayıt kanallarının alanı olarak tanımlanır. Patch şekli genellikle birbirine paralel alıcı hatlarının oluşturduğu dikdörtgendir (Şekil 7). Patch içerisinde kaydedilmiş kaynak gruplarının oluşturduğu alan “template” olarak adlandırılır.

Kaynak ve alıcı hatlarının birbirlerine dik yerleştirilmesi sonucunda kayıt esnasında “template”in ilerleyişi dikkate alınarak hareket eden alıcı hatları grubu “swath”; aktif alıcı hatlarının merkezindeki kaynakların oluşturduğu kaynak hattına ise “salvo” denilir (Şekil 8).



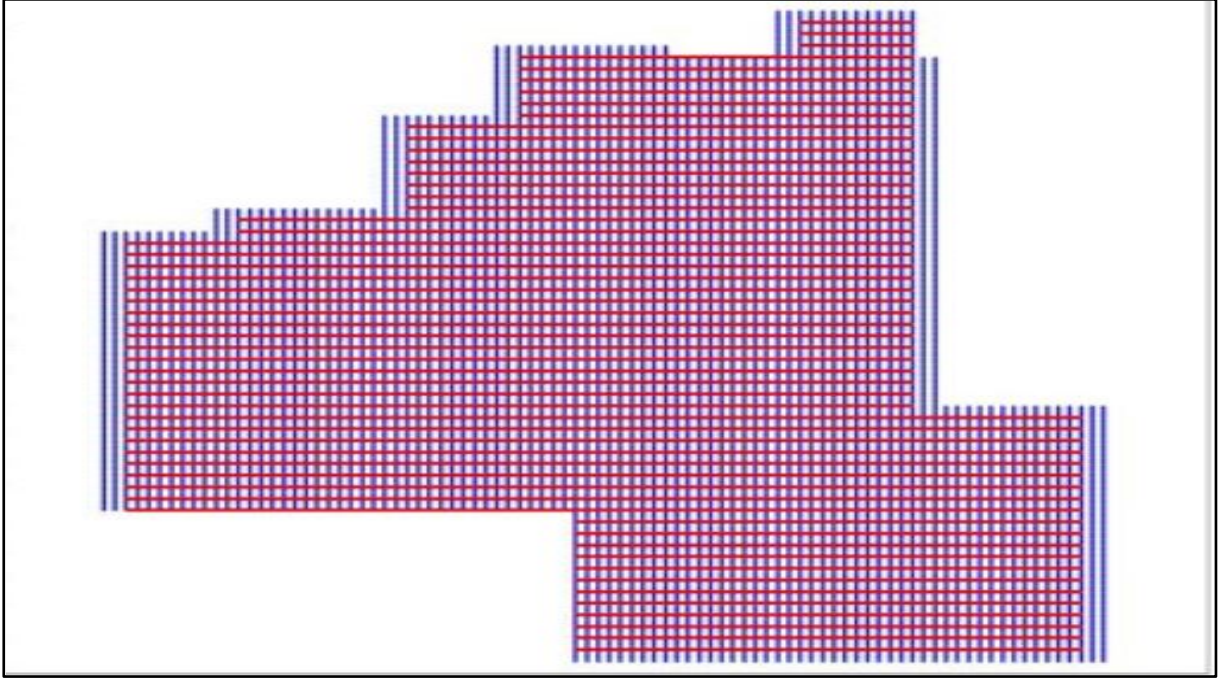
Şekil 7. Patch ve Template'in yeraltı kaplaması görüntüsü (TPAO).

Figure 7. Image of patch and template's underground coating (TPAO).



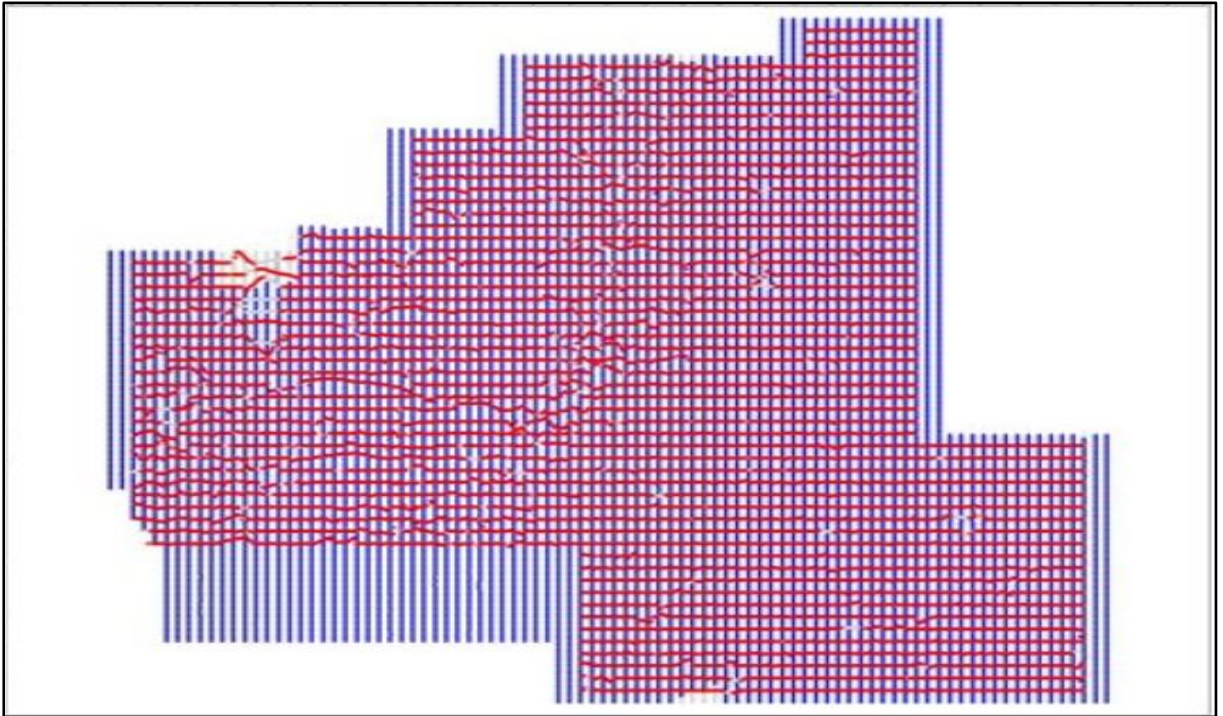
Şekil 8. Swath, template ve salvo şematik görüntüsü (TPAO).

Figure 8. Schematic image of swath , template and salvo (TPAO).



Şekil 9. 3B çalışma sahasında planlanan atış ve alıcı hatları.

Figure 9. Shot and receiver lines planned in 3D working area.



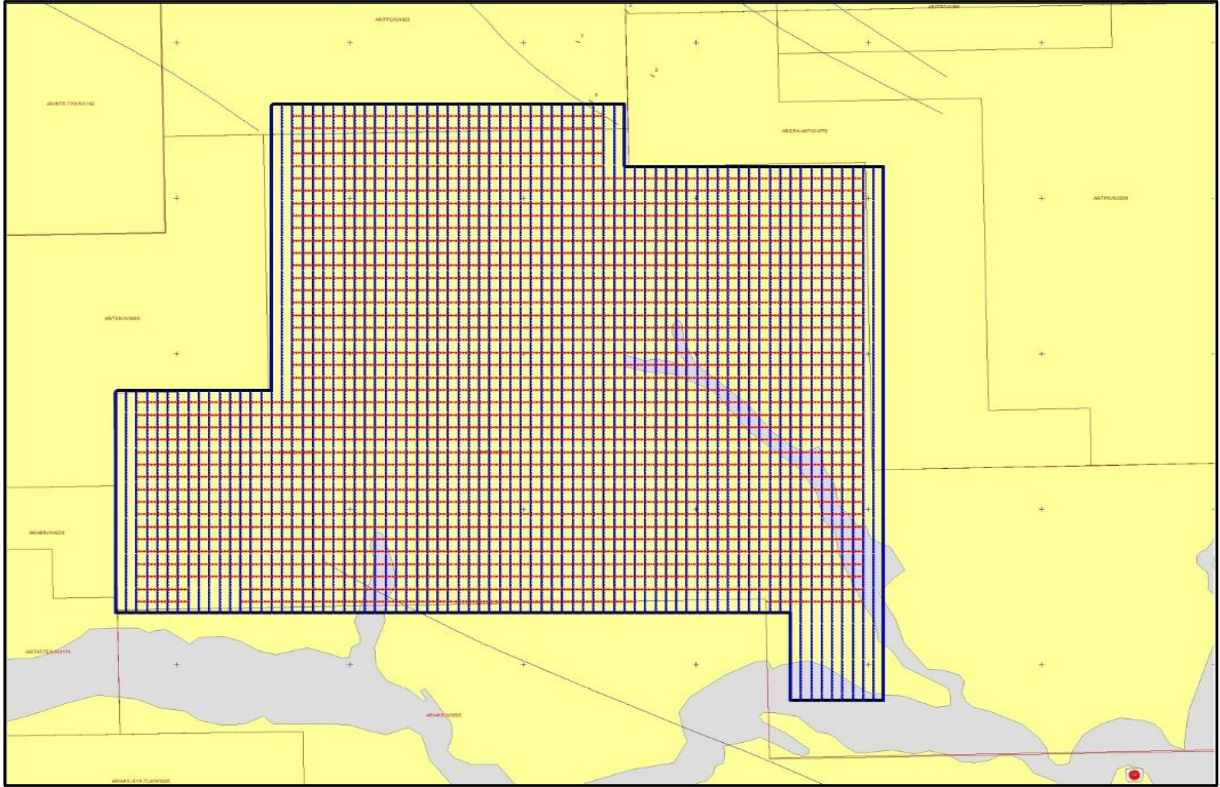
Şekil 10. 3B çalışma sahasında gerçekleşen atış ve alıcı hatları.

Figure 10. Shot and receiver lines actual in 3D working area.

ARAZİDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Sahanın Tanıtımı

3B sismik veri toplayacağımız alanın geneli kil , çakıl ve kum karışımından oluşan çok sert olmayan bir jeolojiye sahiptir (Şekil 11). Bu jeolojiye sahip alanlarda sinyalin yere iletimi daha iyi olmaktadır. Çalışmalar esnasında; kaynak olarak Türkiye Petrolleri A.O.'ya ait Sercel Marka NOMAD 65 Vibratör araçlar, Kayıt Aracında Sercel Marka 428 XL model kayıt cihazları kullanılmıştır. Çalışma sahası Diyarbakır Bölgesi'nde yer almaktadır ve tarım alanlarının çok geniş olması veri toplama çalışmaları performansını olumsuz yönde etkilemiştir. Özellikle buğday, mısır ve pamuk gibi ekili alanların varlığı önemli bir faktördür. Sulama kanallarının fazla olması ve yüksek gerilim hattının proje içerisinde geçmesi zaman zaman veri kalitemizi etkilemiştir. Yerleşim alanlarının çok olması da gürültü oluşturarak veri kalitesinde düşüşlere neden olmuştur.

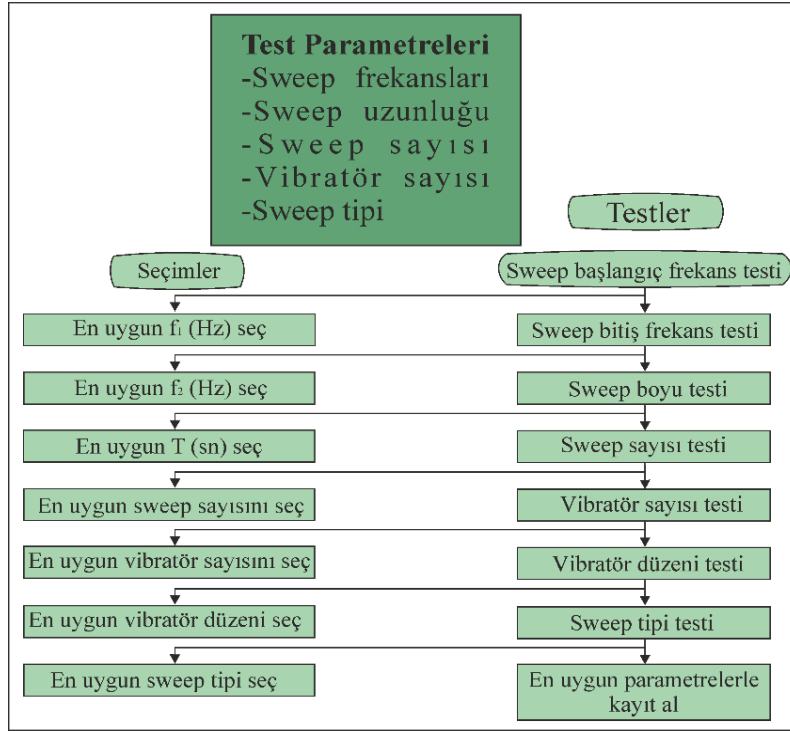


Şekil 11. Çalışma sahası.

Figure 11. Working area.

Saha Test Çalışmalarında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Vibrosismik çalışmalarında öncelik test atışları yaparak en uygun tarama sinyali parametrelerini seçmektir. Bu parametreler tarama frekansıdır. Çalışma alanlarının jeolojik özelliklerine bağlı olarak tarama sinyalinin yayını ve frekanslarının derinlikle sönümlenmesi bölgeden bölgeye değişecektir. Bu nedenle çalışma sahasına en uygun ve en maliyetsiz kayıt parametrelerini belirlemek amacıyla mutlaka her sahada tarama sinyali parametreleri saha test çalışmalarının yapılması oldukça önemlidir. Testin temel amaçları, en kısa sürede en uygun Sinyal / Gürültü oranını ve hedef seviyelerden gerekli yansımaları elde edebilecek referans sinyal parametrelerini belirlemektir. Test çalışmasının temel amacı; en iyi Sinyal/Gürültü oranını veren, hedef seviyelerinden en iyi yansımaların kaydedilmesini sağlayan ve en ekonomik kayıt parametrelerinin çalışma sahası için belirlenmesidir (Başar, 2007).



Şekil 12. Tarama parametrelerinin seçimi için test programı akış şeması (Sakallıoğlu vd.2012'den uyarlanmıştır).

Figure 12. Test schedule flow chart for selection of sweep parameters (adapted from Sakallıoğlu et al. 2012).

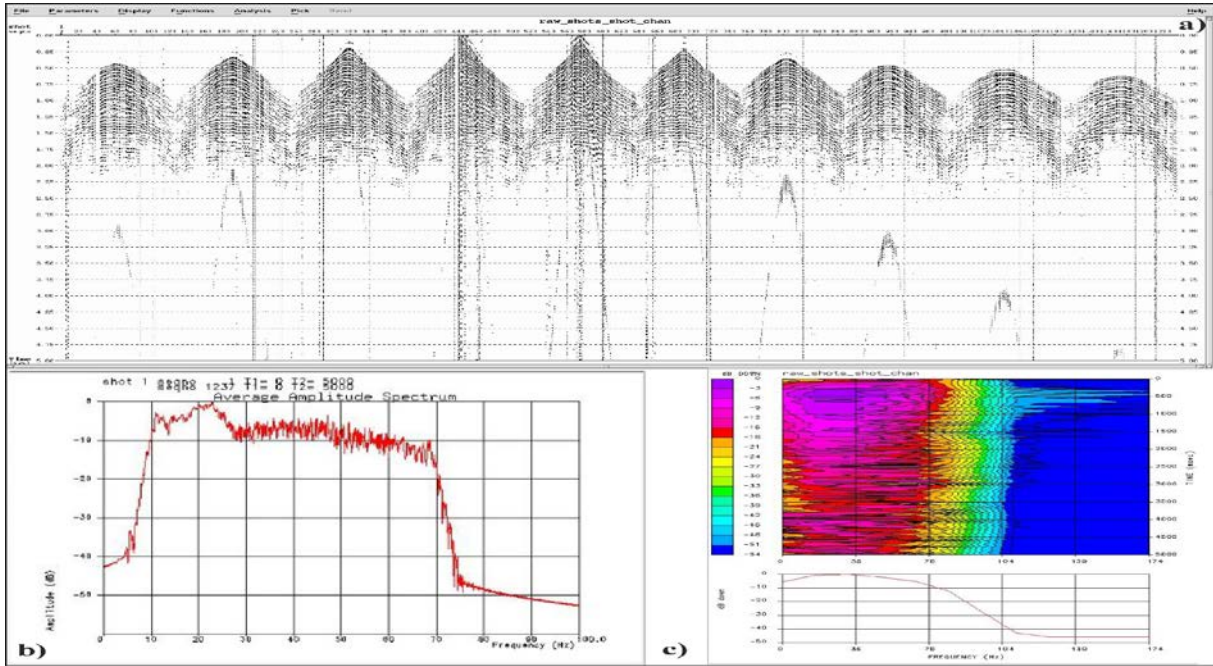
Sahada Tarama Parametreleri Seçimi İçin Test Programı

Bu tez çalışmasında veri toplama parametrelerinden alıcı aralığı 50 m, atış aralığı 50 m'dir. Alıcı hattı aralığı 300 m ve atış hattı aralığı 400 m'dir. Kayıt uzunluğu 5 sn , örnekleme aralığı da 2 msn olarak belirlenmiştir. Test çalışmaları yapılırken genellikle 4 vibratör sayısı kullanılmış, karşılaştırma için iki adet 2 vibratör sayılı sonuçlarda eklenmiştir.

Tarama başlangıç frekansı , tarama bitiş frekansı , tarama uzunluğu , tarama sayısı , vibratör sayısı ve tarama tipi gibi parametrelerin belirlenmesi için gerekli testler yapılmıştır. Çalışma sahamız için en uygun parametreler belirlenmiştir.

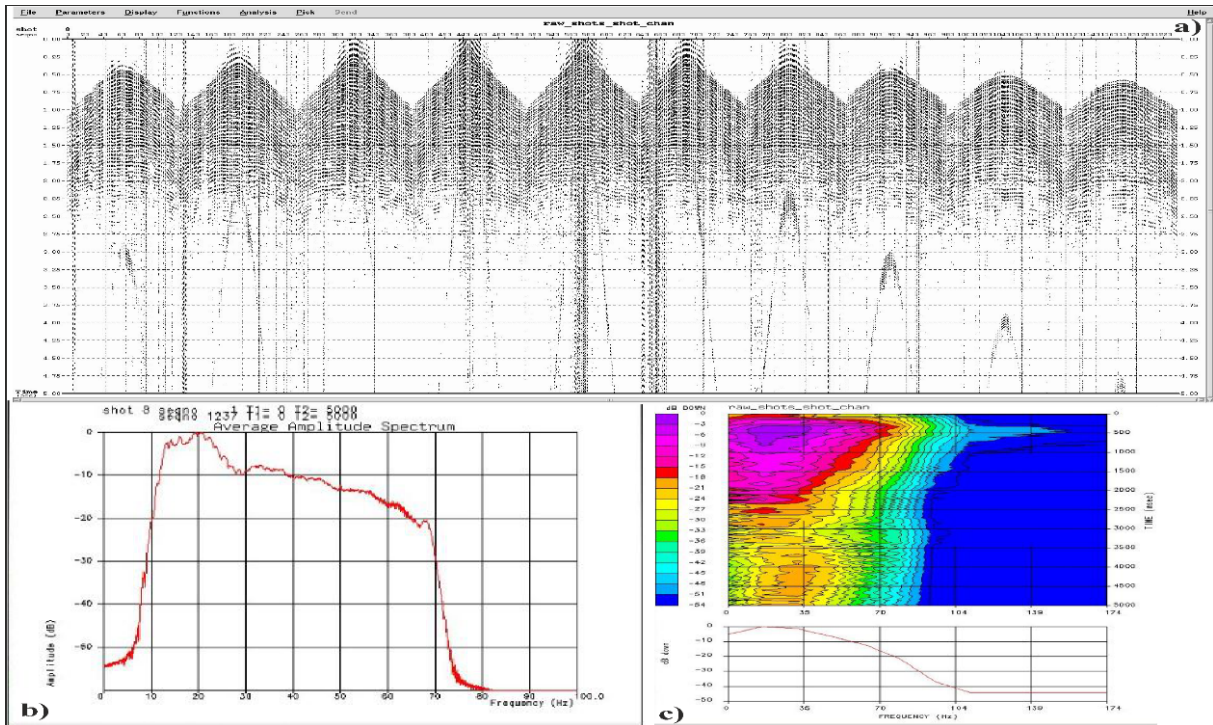
Tarama Başlangıç Frekansı Testi

Tarama başlangıç frekansı testi 8 Hz (Şekil 13) ve 10 Hz (Şekil 14) frekansları için test edilmiştir. Tarama sinyalinin bitiş frekansı 72 Hz olarak sabit tutulmuştur. 10 Hz kaydında düşük frekanslı yüzey dalgalarının genliklerinin daha az olduğu görülmüştür. 8 Hz frekansında genlik bozulması görülürken, 10 Hz frekansında derinlere daha fazla enerji yaydığı ve daha doğru bilgiler sağlayacağı düşünüldükçe tercih edilmiştir.



Şekil 13. Doğrusal tarama 8-72 Hz tarama uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 tarama a) Ham veri
b) Amplitüt-Frekans grafiği (Frekans spektrumu) c) Zaman-Frekans grafiği.

Figure 13. Linear sweep 8-72 Hz sweep length 8 seconds , 4 vibro and 4 sweep a) Raw data b) Amplitude-Frequency graph (Frequency spectrum) c) Time-frequency graph

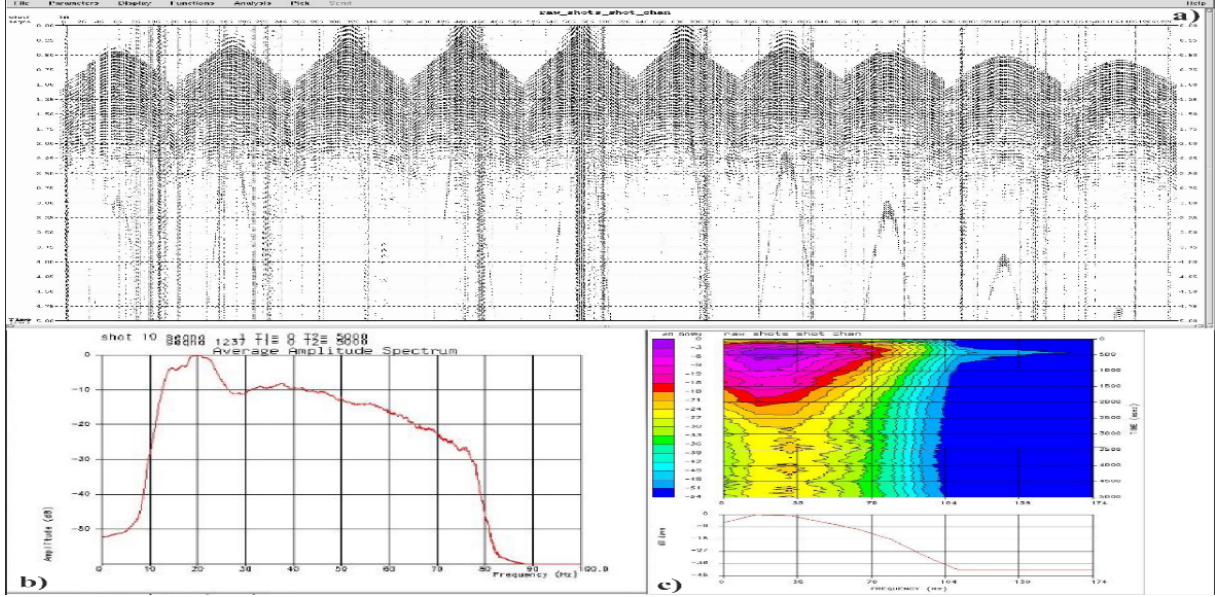


Şekil 14. Doğrusal tarama 10-72 Hz tarama uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 tarama a) Ham veri
b) Amplitüt-Frekans Grafiği (Frekans Spektrumu) c) Zaman-Frekans Grafiği.

Figure 14. Linear sweep 10-72 Hz sweep length 8 seconds , 4 vibro and 4 sweep a) Raw data b)Amplitude-Frequency graph(Frequency spectrum) c) Time-frequency graph

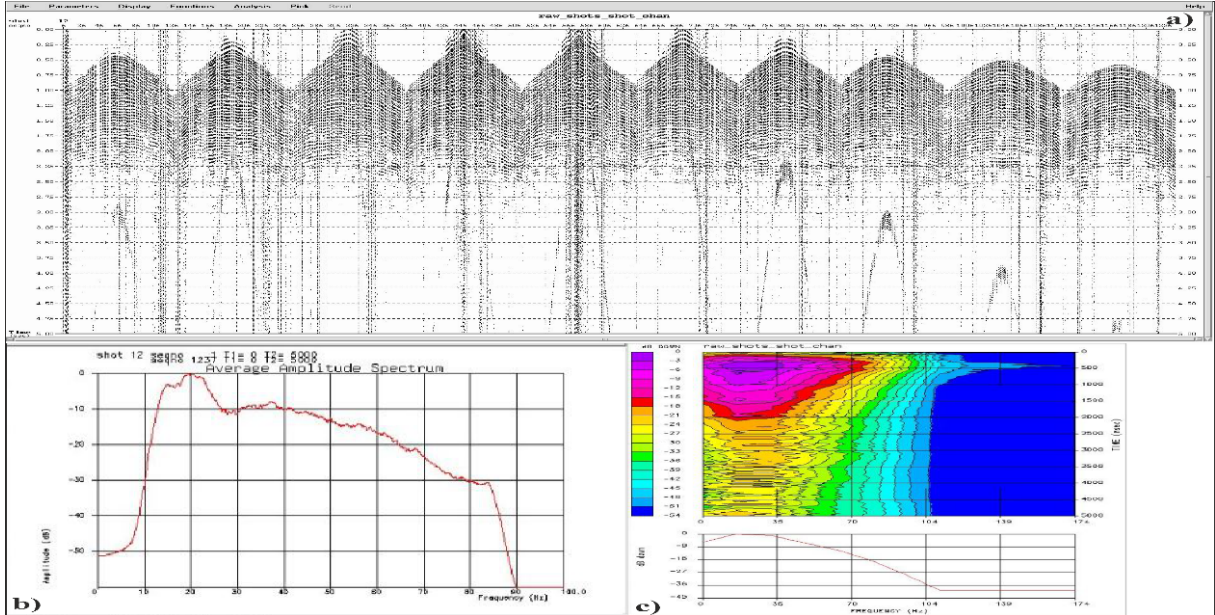
Tarama Bitiş Frekansı Testi

Tarama bitiş frekansı testi 72, 80, 88 ve 96 Hz değerleri için yapılmıştır. En uygun sonucun Şekil 14'de gösterilen 72 Hz olduğuna karar verilmiştir. 80 Hz sonucu Şekil 15'de, 88 Hz Şekil 16'da verilmiştir. Şekillerde ham saha kayıtları, frekans spektrumları ve frekans-dB spektrumları eklenmiştir.



Şekil 15. Doğrusal tarama 10-80 Hz tarama uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 tarama a) Ham Veri b) Amplitüt-Frekans Grafiği (Frekans Spektrumu) c) Zaman-Frekans Grafiği.

Figure 15. Linear sweep 10-80 Hz sweep length 8 seconds , 4 vibro and 4 sweep a) Raw data b)Amplitude-Frequency graph(Frequency spectrum) c) Time-frequency graph

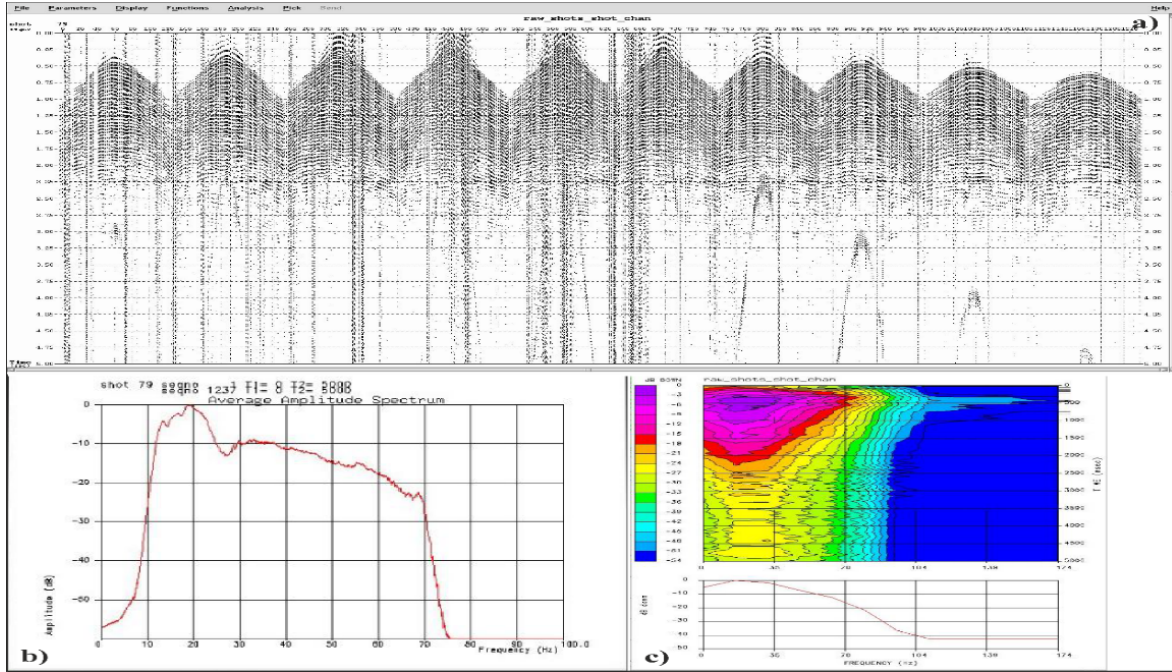


Şekil 16. Doğrusal tarama 10-88 Hz tarama uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 tarama a) Ham Veri b) Amplitüt-Frekans Grafiği (Frekans Spektrumu) c) Zaman-Frekans Grafiği.

Figure 16. Linear sweep 10-88 Hz sweep length 8 seconds , 4 vibro and 4 sweep a) Raw data b)Amplitude-Frequency graph(Frequency spectrum) c) Time-frequency graph

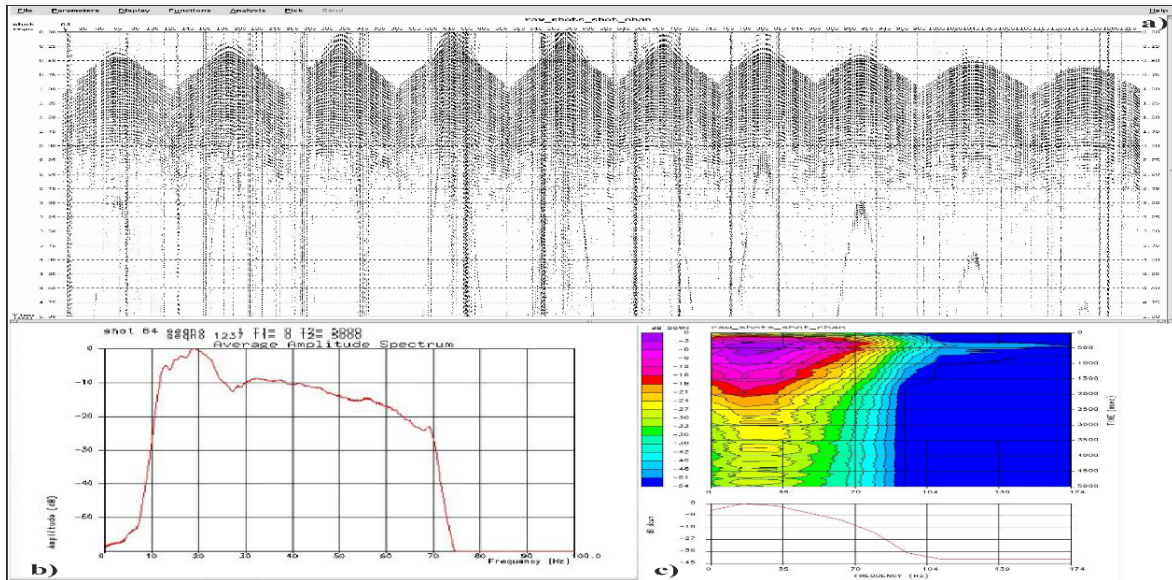
Tarama Uzunluğu Testi

Tarama uzunluğu testi 8, 10, 12 ve 16 saniyeler için yapılmıştır. En uygun tarama uzunluğu çalışma sahası için 8 saniye olarak belirlenmiştir. 8 saniye tarama uzunluğu Şekil 14’de gösterilmiştir. Şekil 17’de 10 saniye, Şekil 18’de 12 saniye ve Şekil 19’de 16 saniye tarama uzunlukları için sonuçlar verilmiştir.



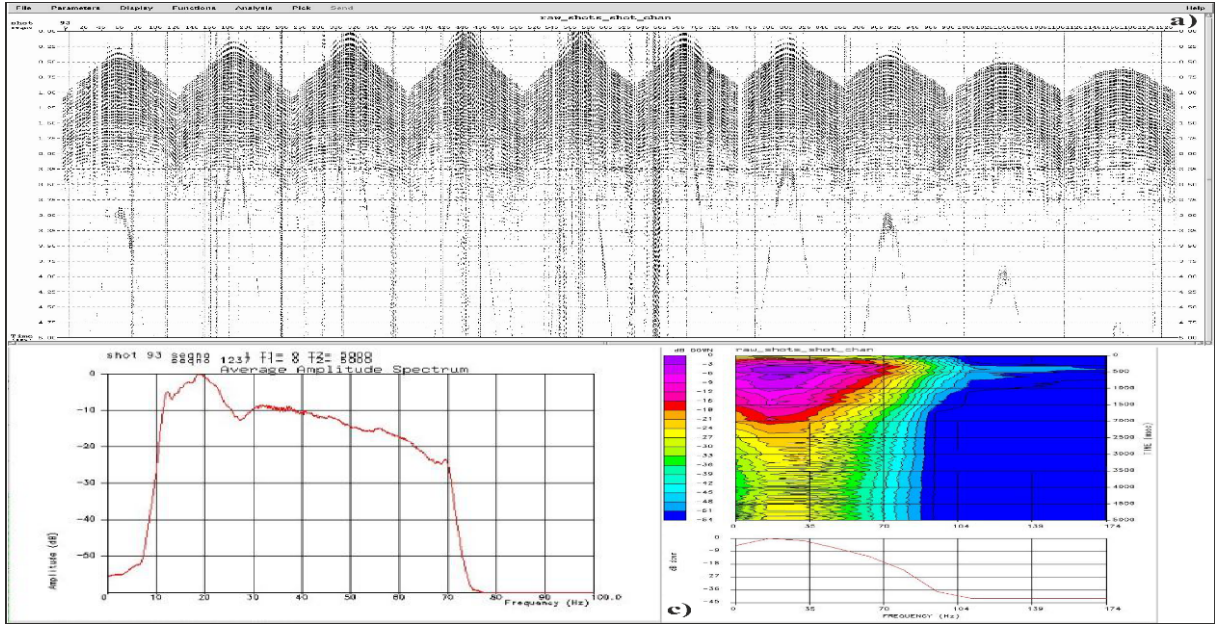
Şekil 17. Doğrusal tarama 10-72 Hz tarama uzunluğu 10 saniye, 4 vibro ve 4 tarama a)Ham Veri b) Amplitüt-Frekans Grafiği (Frekans Spektrumu) c) Zaman-Frekans Grafiği.

Figure 17. Linear sweep 10-72 Hz sweep length 10 seconds , 4 vibro and 4 sweep a) Raw data b)Amplitude-Frequency graph(Frequency spectrum) c) Time-frequency graph



Şekil 18. Doğrusal tarama 10-72 Hz tarama uzunluğu 12 saniye, 4 vibro ve 4 tarama a) Ham Veri b) Amplitüt-Frekans Grafiği (Frekans Spektrumu) c) Zaman-Frekans Grafiği.

Figure 18. Linear sweep 10-72 Hz sweep length 12 seconds , 4 vibro and 4 sweep a) Raw data b)Amplitude-Frequency graph(Frequency spectrum) c) Time-frequency graph

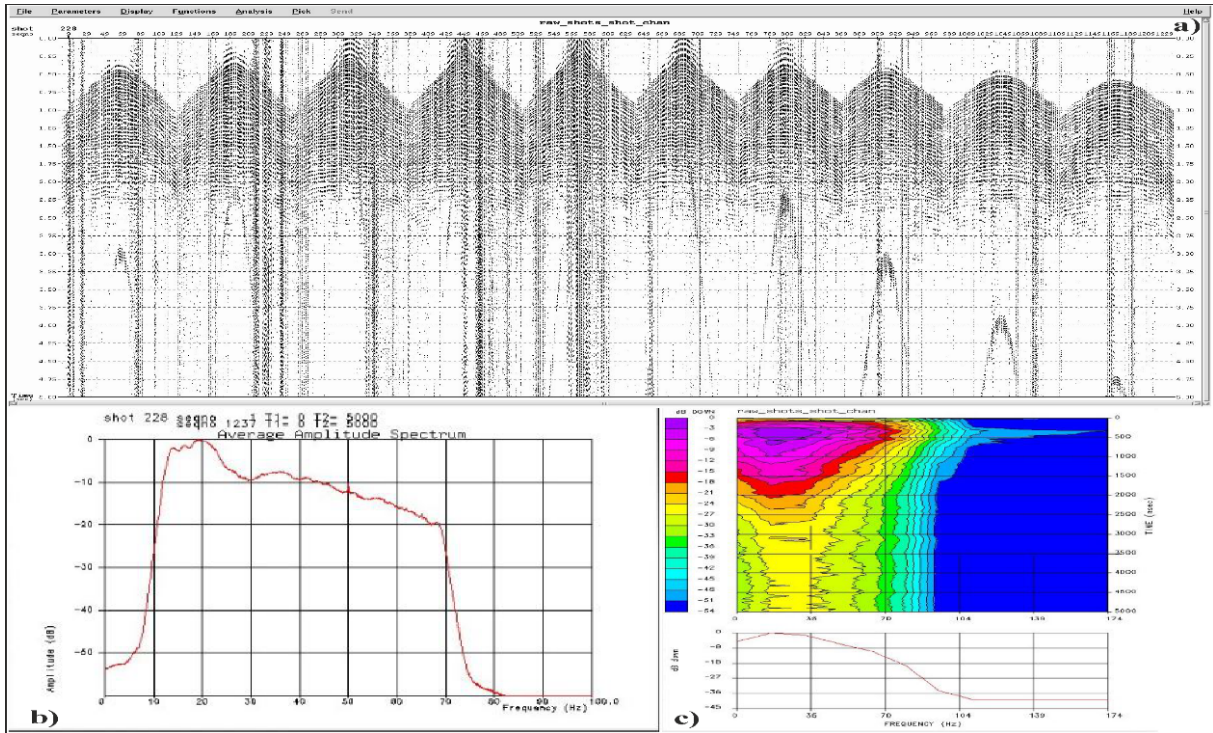


Şekil 19. Doğrusal tarama 10-72 Hz tarama uzunluğu 16 saniye, 4 vibro ve 4 tarama a) Ham Veri b) Amplitüt-Frekans Grafiği (Frekans Spektrumu) c) Zaman-Frekans Grafiği.

Figure 19. Linear sweep 10-72 Hz sweep length 16 seconds , 4 vibro and 4 sweep a) Raw data b)Amplitude-Frequency graph(Frequency spectrum) c) Time-frequency graph

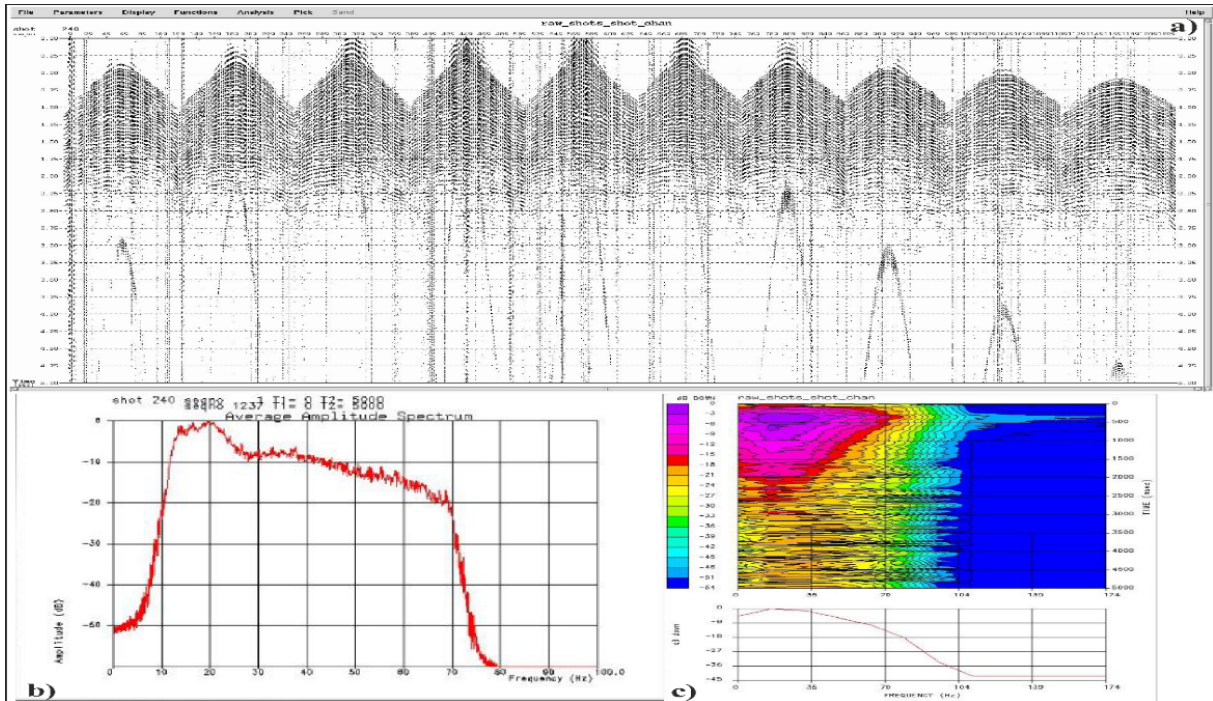
Tarama Sayısı Testi

Tarama sayısı 2, 4, 6 ve 8 tarama için test edilmiştir. Şekil 14’de gösterilen 4 tarama sayılı kayıt en uygun test sonucu olarak seçilmiştir. Şekil 20’da 2 tarama, Şekil 14’de 4 tarama, Şekil 21’de 6 tarama ve Şekil 22’de 8 tarama sayısı sonuçları da gösterilmiştir. Tarama sayısı arttıkça yüksek frekanslardaki sönümlenme de artmıştır. Bu yüzden Sinyal / Gürültü oranı yüksek olan sahalarda bir kaynak noktası için birden fazla tarama uygulamak hem ekonomik olmayacak hem de önemli bir katkı sağlamayacaktır. Bu nedenle en uygun olan 4 tarama değerinden daha fazla sayıda tarama kullanılması tercih edilmemiştir.



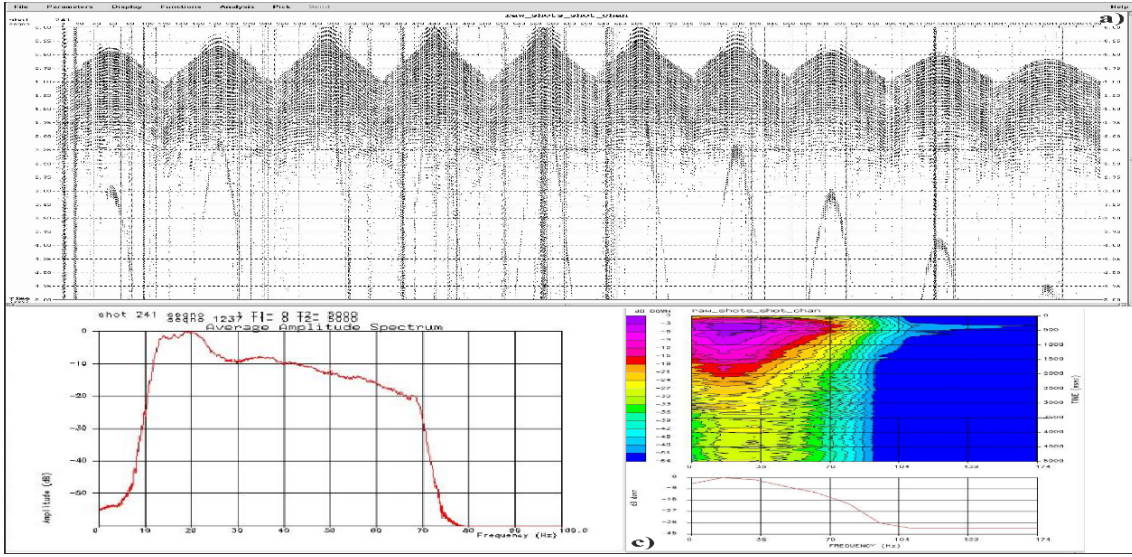
Şekil 20. Doğrusal tarama 10-72 Hz tarama uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 2 tarama a) Ham Veri b) Amplitüt-Frekans Grafiği (Frekans Spektrumu) c) Zaman-Frekans Grafiği.

Figure 20. Linear sweep 10-72 Hz sweep length 8 seconds , 4 vibro and 2 sweep a) Raw data b)Amplitude-Frequency graph(Frequency spectrum) c) Time-frequency graph



Şekil 31. Doğrusal tarama 10-72 Hz tarama uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 6 tarama a) Ham Veri b)Amplitüt-Frekans Grafiği (Frekans Spektrumu) c) Zaman-Frekans Grafiği.

Figure 20. Linear sweep 10-72 Hz sweep length 8 seconds , 4 vibro and 6 sweep a) Raw data b)Amplitude-Frequency graph(Frequency spectrum) c) Time-frequency graph

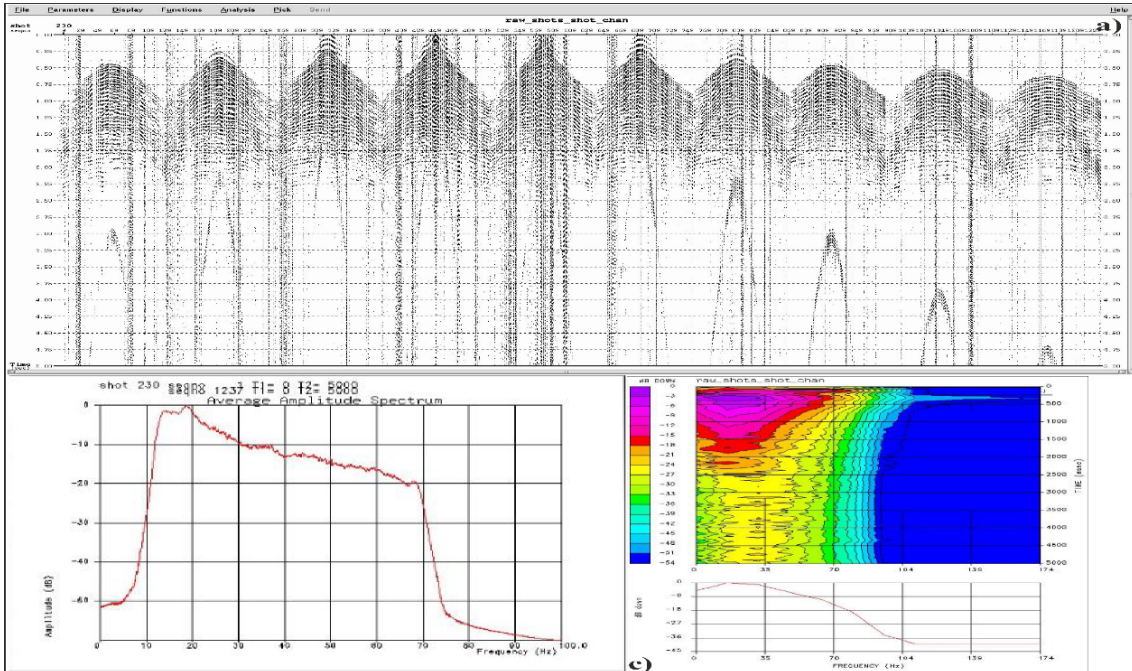


Şekil 22. Doğrusal tarama 10-72 Hz tarama uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 8 tarama a) Ham Veri b) Amplitüt-Frekans Grafiği (Frekans Spektrumu) c) Zaman-Frekans Grafiği.

Figure 22. Linear sweep 10-72 Hz sweep length 8 seconds , 4 vibro and 8 sweep a) Raw data b)Amplitude-Frequency graph(Frequency spectrum) c) Time-frequency graph

Vibratör Sayısı Testi

Vibratör sayısı 2 ve 4 vibro olacak şekilde test edilmiştir. 2 vibro sayılı test sonucu Şekil 23'de verilmiştir. En uygun parametre ise yine Şekil 14'de gösterilen 4 vibro sayılı olan seçilmiştir.

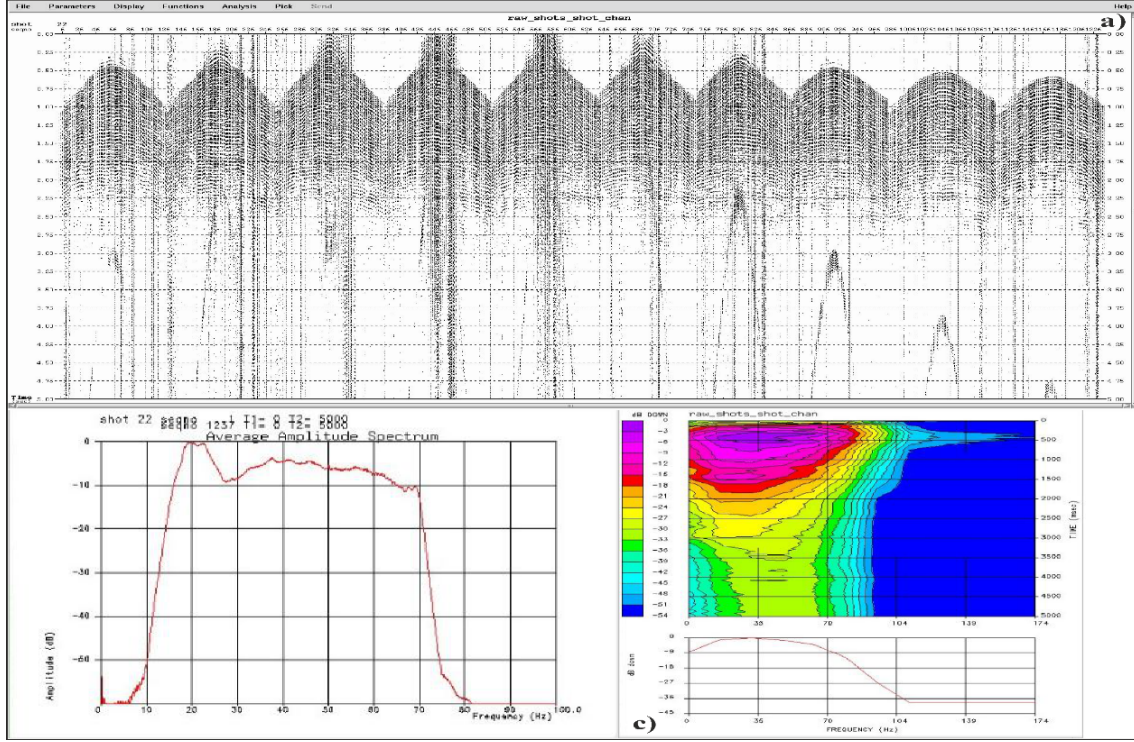


Şekil 23. Doğrusal tarama 10-72 Hz tarama uzunluğu 8 saniye, 2 vibro ve 4 tarama a) Ham Veri b) Amplitüt-Frekans Grafiği (Frekans Spektrumu) c) Zaman-Frekans Grafiği.

Figure 23. Linear sweep 10-72 Hz sweep length 8 seconds , 2 vibro and 4 sweep a) Raw data b)Amplitude-Frequency graph(Frequency spectrum) c) Time-frequency graph

4.4.6 Tarama Tipi Testi

Tarama tipi testi doğrusal ve doğrusal olmayan çeşitlerine uygulanmıştır. Doğrusal olmayan tarama tipi sonucu Şekil 24'de gösterilmiştir.



Şekil 24. Doğrusal olmayan tarama 10-72 Hz tarama uzunluğu 8 saniye, 4 vibro ve 4 tarama a) Ham Veri b) Amplitüt-Frekans Grafiği (Frekans Spektrumu) c) Zaman-Frekans Grafiği.

Figure 24. Non-Linear sweep 10-72 Hz sweep length 8 seconds , 4 vibro and 4 sweep a) Raw data b)Amplitude-Frequency graph(Frequency spectrum) c) Time-frequency graph

SONUÇLAR

Tarama parametreleri test kayıtlarının analizinde ham saha verileri karşılaştırılmıştır. Sonrasında kayıtların genlik-frekans spektrum analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada daha çok hedef seviyeler dikkate alınarak, vibratör enerjisinin hedef seviyelerde yayılımı, gerekli frekansların korunumu, yüksek S/G oranının elde edilmesi dikkate alınmıştır. Her ne kadar bu parametreler sahadan sahaya farklılıklar gösterse de, vibrosismiğin kuralları gereği kabul görmüş pratik yaklaşımlar ve sorun giderme yöntemleri aynı olmaktadır. Vibrosismik yöntemi kullanılarak toplanan veriler üzerinde kaynak parametrelerinin seçimi frekans bandı, tarama sayısı, tarama türü ve tarama uzunluğu gibi faktörler göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Aktif kanal sayımızın en yüksek olduğu bir bölgede aynı nokta üzerinde farklı test parametreleri ile atış yapılmıştır. Hedef derinliğimize uygun olacak frekans band aralıklarını belirleyerek çalışmalara başlanmıştır. Bu frekans band aralıklarına göre diğer parametreler belirlenmiştir. Örneğin , tarama uzunluğuna karar verebilmek adına, diğer parametreler sabit kalması koşuluyla 8-10-12-16 saniye tarama uzunluğuyla testler yapılmıştır.

Bu çalışmada, hedef derinliğimize uygun olacak 12 adet parametre test atışı yapılmıştır. Her bir atıştan elde edilen veriye ait ham veri kayıtları, frekans spektrumları incelenmiştir. Tarama sinyalinin bitiş frekansı daha önce bölgede yapılan çalışmalar da incelenerek 72 Hz olarak belirlenip, 8 ve 10 Hz başlangıç frekansları test edilmiştir. 10 Hz frekansının sonucu en uygun frekans olarak seçilmiştir. 10 Hz değeri sabit tutularak 72, 80 ve 88 Hz bitiş frekanslarının testi yapılmıştır. 72 Hz'den yüksek bitiş frekanslarının önemli bir katkısı gözlenmediği için en uygun bitiş frekansı 72 Hz olarak alınmıştır. Saha kayıtları ve spektrum analizlerinden 10-72 Hz sinyal bandında en faydalı bilgilerin elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Çalışma sahası için için 8,10,12 ve 16 saniye uzunlukları test edilmiştir. Tarama uzunluğu 8 saniye veya 16 saniyede Sinyal/Gürültü oranı daha yüksek gözlemlenmiştir. 8 saniye tarama boyu daha ekonomik olacağı için bu tarama boyu çalışmada tercih edilmiştir.

Tarama sinyali frekansı 10-72 Hz, uzunluğu 8 saniye seçilmiş ve bir atış noktası için 2,4,6 ve 8 tarama sayıları test edilmiştir. Saha kayıtları arasında 4 tarama sayısından sonra çok az farklılıklar gözlenmiştir. Tarama sayısı 4 veya 8 olduğunda Sinyal/Gürültü oranının iyi sonuç verdiği ve 4 tarama kaydının yeterli ve ekonomik olacağı sonucuna varılmıştır. Çalışma sahası için vibratör sayısı testinde 4 vibro sonuçları uygun bulunmuştur. Dizin testinde çalışma sahasında daha önce yapılan en uygun dizilim düzeninin kullanılması tercih edilmiş, 1x4 doğrusal vibro düzeni uygulanmıştır.

KAYNAKLAR

BAŞAR H.S., 2007. Vibrosismik Yöntem ve Yüksek Güvenilirlikli, Ayrımlılıkli Vibrosismik Veri Toplama, Sayfa:1

GOUPILLAND P.L., 1976. Signal design in the vibroseis technique geophysics, Society of Exploration Geophysicists, 49, 06, 1291-1304.

KÜÇÜK Z., 2006. İki Boyutlu ve Üç Boyutlu Sismik Veri Toplama ve Test Atışlarının Önemi, Sayfa:29

SAKALLIOĞLU Y., GÜRELİ O., BAŞAR H.S., 2012. Vibrosismik, ,Sayfa:30-38.

SHERIFF R.E., 1990. Encyclopedic dictionary of exploration geophysics, Society of Exploration Geophysicists.

T.P.A.O., 2010. Üç Boyutlu Sismik Yöntem Sunumu

T.P.A.O., 2012. Vibrosismik Yöntem Saha Uygulamaları Sunumu

http://archives.aapg.org/slide_resources/schroeder/6/index.cfm

Araştırma Makalesi

MARMARA BÖLGESİ DEPREMLERİ İÇİN M_W - M_L DÖNÜŞÜM BAĞINTISI

The Relationship of M_W - M_L Conversion for the Earthquakes of the Marmara Region

**Yunus Emre ŞAHİN¹, T. Serkan IRMAK^{1*},
Hamdullah LİVAOĞLU¹, Evrim YAVUZ¹**

ÖZ

Deprem büyüklüğü, bir depremi karakterize eden ve enerji ile doğrudan ilişkili olan en önemli parametrelerden biridir. Bir deprem büyüklüğünü tanımlamak için çeşitli büyüklük ölçekleri (yerel büyüklük, (M_L), cisim dalga büyüklüğü, (m_b), yüzey dalgası büyüklüğü, (M_S), moment büyüklüğü (M_w)) kullanılmıştır. M_L , m_b ve M_S belirli frekans aralıklarındaki belirli sismik dalgaların genlik ölçümlerine dayandığı için bu büyüklükler birbirlerinden önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedirler. Bununla birlikte M_w , sismik momenti temel aldığı için gerek büyük, gerekse de küçük depremlerde daha doğru ve tutarlı bir değer vermektedir. Bu çalışmada, Marmara Bölgesinde meydana gelen 70 deprem için ($3.4 < M < 5.4$), P dalgası genlik spektrumu kullanılarak sismik moment değerleri ve M_w büyüklükleri hesaplanmıştır. Daha sonra Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) kataloglarından alınan M_L değerleri ile regresyon analizini yapılarak, Marmara Bölgesi için $M_w = 0.7018M_L + 1.1715$ deneysel bağıntısı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lokal magnitüd, Marmara Bölgesi, Moment magnitüdü, P-dalgası spektrumu

ABSTRACT

Earthquake magnitude is one of the most important parameters which is a measure directly related to the energy released characterizing an earthquake. Several magnitude scales (local magnitude, (M_L), body-wave magnitude, (m_b), surface-wave magnitude, (M_S), moment magnitude, (M_w)) are used for defining the size of an earthquake. M_L , m_b and M_S being based on amplitude measurements of specific types of seismic waves, in specified frequency ranges, sometimes recorded with a specific instrument. Because of different waves have been using to estimate the earthquake's magnitude at different distances, they may significantly differ between each other. However, M_w is based on seismic moment, which is a physical quantity proportional to the energy released by the seismic source, hence it does not saturate even for very large earthquakes, so it has better representation for earthquake magnitude. In this study, we calculated seismic moment values and M_w magnitudes for 70 earthquakes ($3.4 < M < 5.4$) by using P-wave spectrum. M_L magnitudes were taken from Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) catalogues. Then we obtained an empirical relationship as $M_w = 0.7018M_L + 1.1715$ by using regression analysis between M_w and M_L .

Keywords: Local magnitude, Marmara Region, Moment magnitude, P-wave spectra.

1. GİRİŞ

Son yıllarda meydana gelen büyük depremlere ait ilk magnitüd hesaplamalarında, genellikle depremler için, daha sonra anons edilen magnitüdünden 1 birim daha küçük değerler duyurulmaktadır. Örneğin, $M_w=7.4$ olan 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin (Irmak, 2000) TC Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERI) tarafından ilk rapor edilen magnitüd değeri $M_d=6.7$ olarak verilmiştir. Benzer şekilde, 26 Ocak 2001 Kachchh-Hindistan Depreminin ($M_w=8.0$) (Gupta ve diğ., 2001), Hindistan Meteoroloji Dairesi tarafından ilk rapor edilen magnitüdü $M_L=6.9$ olarak verilmiştir. $M_w=7.7$ olan 13 Ocak 2001 El Salvador depreminin (Lomnitz ve Eliarraras, 2001) Central American Seismic Center tarafından anons edilen ilk magnitüdüleri $M_d=6.0$ ve $M_L=6.8$ şeklindedir. Yüzey dalgası magnitüdü (M_s) hesaplamaları için episantr uzaklığının fazla olması gerekmektedir ve genellikle lokal sismoloji merkezlerinin istasyonları bu uzaklığın daha altındaki uzaklıklara sahiptir. Ayrıca süreye bağlı magnitüdü (M_d) belirli uzaklık ve büyüklükten sonra doyuma ulaşarak bu değerler aşıldığında ise büyüklükleri yanlış verdiği önerilmektedir (Yavuz ve diğ.,

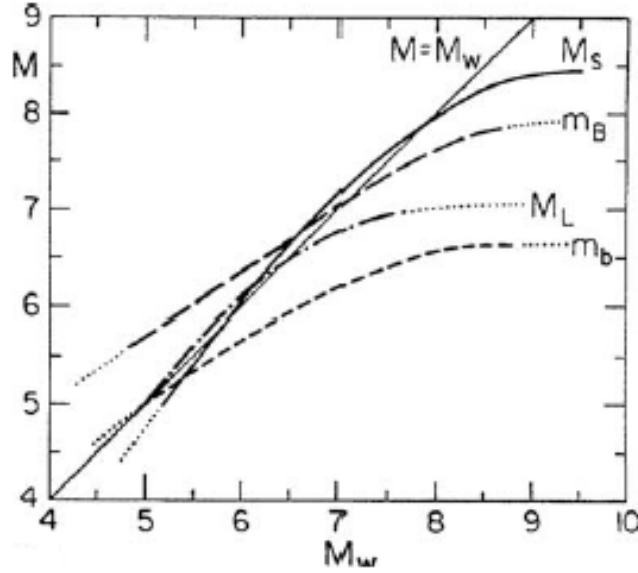
¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü, İzmit-KOCAELİ

* İlgili Yazar/Corresponding Author: irmaks@kocaeli.edu.tr

Gönderim Tarihi: 06.12.2017

Kabul Tarihi: 22.12.2018

2013). Bu örnekler, farklı magnitüdlerin saturasyon özelliğinden dolayı (Şekil 1), özellikle büyük depremlerde, yerel sismoloji merkezleri tarafından anons edilen magnitüd değerlerinin, olması gerekenden daha küçük magnitüde olduğunu göstermektedir. Her ne kadar olduğundan daha küçük anons edilen magnitüde, magnitüd ile hasar arasında doğrudan bir ilişki olmadığı için, özellikle depremin hemen sonrasında yapılması gereken arama-kurtarma çalışmalarını nasıl etkilediği tam olarak bilinmese de, bu durumun arama-kurtarma ekiplerinin daha yavaş hareket edebileceğine yol açabileceği konusunda şüpheler vardır.



Şekil 1. Farklı magnitüde karşılaştırılması (M_s : yüzey dalgası magnitüde, M_L : lokal magnitüde, m_b : cisim dalgası magnitüde, m_B : Broad-band cisim dalgası magnitüde) (Kanamori, 1983)

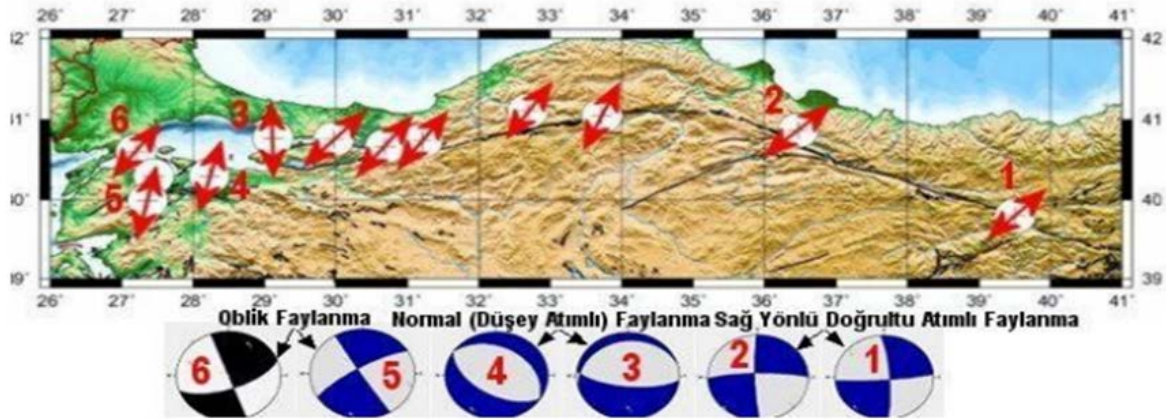
Figure 1. Comparison of different magnitudes (M_s : surface wave magnitude, M_L : local magnitude, m_b : body wave magnitude, m_B : Broad-band body wave magnitude) (Kanamori, 1983)

Şekil 1'den de görüldüğü gibi depremin büyüklüğü 6.5 ve üzerine çıktığında bu büyüklüğü tanımlayan bazı magnitüd değerleri doyuma ulaşırken bazıları ise güvenilir sonuçlar vermektedir.

Deprem kayıtları spektrumlarını incelemek, deprem kaynağı ile ilgili bilgi elde edebilmek için geleneksel bir yöntemdir. Kasahara (1957); Haskell (1964); Aki (1967); Brune (1970, 1971) spektrumları incelendiğinde depremin özelliğine göre spektral düzey, köşe frekansı ve en yüksek frekans (f_{max}) gibi parametrelerin değiştiği gözlenmiştir. Haskell (1964) ve Aki (1967) spektral ortamda deprem kaynağını ilk olarak inceleyen bilim adamlarıdır. Aki (1967), Haskell (1964) Kaynak Modeli'ne dayanarak deprem kaynak spektrumunu fay düzlemi üzerindeki kayma öz ilişkisi türünden açıklamıştır. Brune (1970, 1971) S dalgası yer değiştirme spektrumlarını kullanarak kaynak dinamik parametreleri olan gerilme düşümü, sismik moment ve kaynak yarıçapı hesaplanabileceği bir bağıntıyı ortaya koymuştur. Bu bağıntıda köşe frekansı, düşük frekans seviyesi ve bir depreme ait cisim dalgası yer değiştirme spektrumlarından elde edilen spektral parametreler ile kaynağa ait parametreler elde edilebilmektedir. Ayrıca fayın yırtılma hızının ve faylanma boyunun cisim dalgalarının spektrumları kullanılarak bulunabileceğini de ortaya çıkarmıştır.

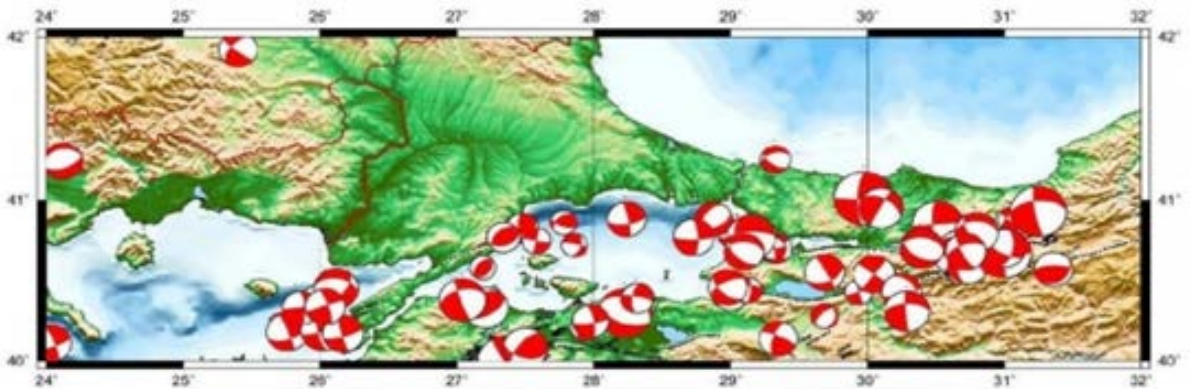
Bu çalışmada, Marmara Bölgesi için M_L tanımlaması yapılan depremler için hızlı bir şekilde M_w değerine geçebilmek amacıyla, Aralık 2007 – Temmuz 2016 tarihleri arasında meydana gelen ve $3.4 < M < 5.3$ olan 70 tane depremin P dalgası spektrumları kullanılarak, bu depremlerin sismik moment ve M_w değerleri hesaplanmış ve KOERI tarafından verilen lokal magnitüd değerleri kullanılarak, deneysel $M_w - M_L$ ilişkisi elde edilmiştir.

Sağ yanal doğrultu atımlı faylanma özelliğine sahip KAFS'da blokların birbirine göre hareket şekli yanal olarak hareket etmektedir. Genel anlamda KAFS üzerinde meydana gelen büyük depremlerin gerilme dağılımları ve karakteristikleri değişmemektedir (Irmak ve diğ., 2005). Şekil 3'de gösterilmiş olan 1 numaralı depremde maksimum gerilme (T açılma) ekseninin hakim yönü KD-GB olup, tüm KAFZ boyunca bu yönde meydana gelen büyük depremlerde de aynı özelliği taşımaktadır. Sağ yanal doğrultu atımlı karakter özelliğini, analiz edilmiş faylanma mekanizma çözümleri de göstermektedir. Fakat Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin batıya uzantısı Bolu'ya kadar net olarak gözlenmesine rağmen bu fay sistemi Marmara Bölgesi'nin doğusundan itibaren 2 ana kola ayrılmaktadır. Batı yönüne doğru hareket ettikçe ve deniz içerisinde güneye doğru inildikçe faylanma özelliğinin değişmekte olduğu bilinmektedir. Meydana gelmiş olan depremlerin düşey atımlı normal faylanma özelliği taşıdığı da görülmektedir. Hakim olan gerilme eksenlerinin konumu da bununla birlikte değişmekte ve maksimum gerilme ekseninin hakim yönü çoğunlukla K-G olarak belirlenmektedir. Şekil 3'te doğudan batıya doğru ilerledikçe maksimum gerilme yönlerinin değiştiği gözlemlenmektedir. Örnek olarak 5 ve 6 numaralı depremler gerek faylanma özelliği (oblik), gerekse maksimum gerilme yönleri (KKD – GGB) tekrar değişmektedir. Böylece, KAFS'ın batıya doğru ilerlediğinde özellikle Marmara Denizi içerisinde Batı Anadolu'nun açılma rejiminin de etkisi olduğunu, Marmara Denizi ve yakın çevresinde iki büyük tektonik rejimin bir araya geldiğini ve birbirlerini etkilediği sonucuna varılmaktadır. Son yüzyıl içerisinde bölge içerisinde meydana gelmiş son deprem, oblik faylanma mekanizmasına sahip 1912 Mürefte – Şarköy Depremi ise bu tektonizmaya bir örnek olarak gösterilebilir. Bölgedeki depremlerin faylanma mekanizmaları da bu görüşü desteklemektedir (Kalafat, 2011) (Şekil 4).



Şekil 3. KAFS boyunca maksimum gerilme eksenlerinin (T) dağılımı, doğrultuları ve faylanma mekanizmaları (Kalafat, 2011)

Figure 3. The distribution of the maximum stress axes (T) along the NAFS, their strikes and the fault mechanisms (Kalafat, 2011)

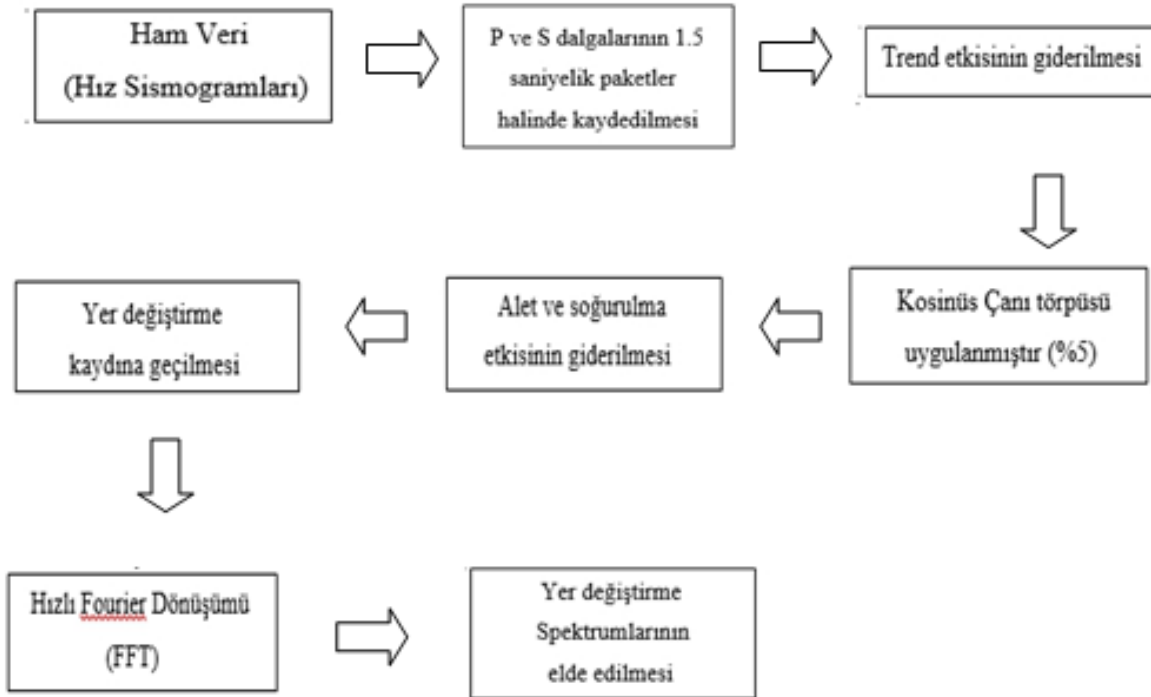


Şekil 4. Marmara Bölgesi'ndeki faylanma mekanizmaları (Kalafat, 2011)

Figure 4. The fault mechanisms of Marmara Region (Kalafat, 2011)

3. VERİ VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan sayısal deprem verisi TC Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından işletilmekte olan deprem kayıt istasyonlarından elde edilmiştir. En az 4 istasyon tarafından kaydedilmiş ve yüksek sinyal-gürültü oranına sahip veriler seçilmiştir. Depremlerin veri işlem aşamalarında Seismic Analysis Code (SAC), spektrum hesaplamalarında ise MATLAB R2011a programları kullanılmıştır. Depremlere ait düşey bileşenden okunan P dalgası, başlangıcından itibaren 0.5 sn öncesi ve 1.0 sn sonrası olmak üzere toplam 1.5 sn uzunluğunda pencerelenmiştir. Trend etkisinin giderilmesinden sonra %5'lik kosinüs çanı ile törpüleme yapılmış, soğurulma ve alet etkileri giderilmiş, hız kaydı yer değiştirme kaydına dönüştürülmüş ve Hızlı Fourier Dönüşümü ile spektrum hesabı yapılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Veri-işlem aşamalarının şematik gösterimi
Figure 5. The schematic view of data processing steps

Sismik Moment

Sismik moment, deprem anında deprem kaynağına tesir eden kuvvet sistemi içerisinde tanımlanan eşdeğer kuvvet çiftinin fiziksel momenti olarak bilinmektedir. Arazi gözlemlerine dayanan Aki (1966) sismik momenti yapmış olduğu bir çalışma sonrasında şu şekilde tanımlamıştır:

$$M_0 = \mu \cdot \bar{U} \cdot S \quad (1)$$

Burada;

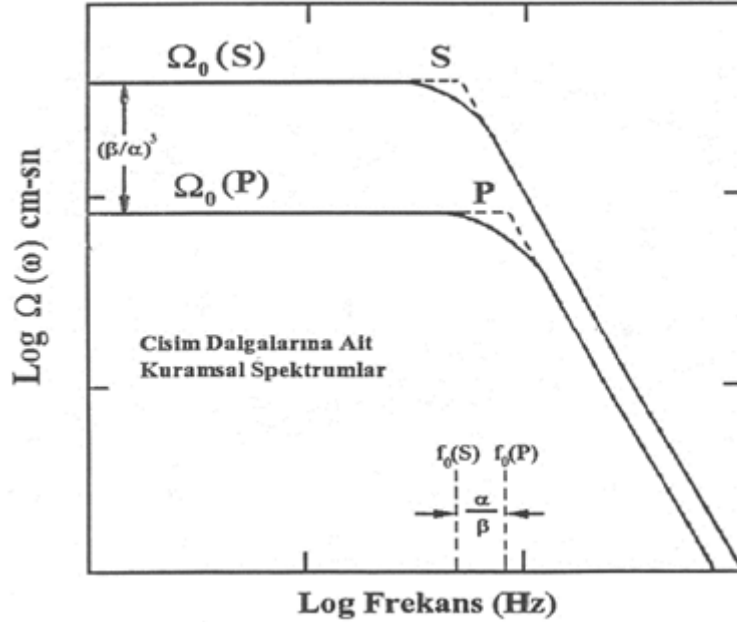
- μ : Katılık sabiti (dyn/cm²)
- \bar{U} : Fay düzlemindeki ortalama yer değiştirme (cm)
- S : Faylanma yüzeyinin alanı (cm²)'dir.

Bu bağıntıya göre, faylanma yüzeyi alanının, faylanma düzleminin genişliği (W) ve boyu (L)'nun çarpımına eşit olduğu bilinmektedir ve faylanmanın boyutlu olduğu düşünülmektedir. Spektral parametrelerden yararlanılarak sismik moment için Keilis-Borok (1960)'ın önerdiği bağıntı;

$$M_0(V_{P,S}) = 4. \pi \rho. R V_{P,S}^3 \frac{\Omega_0(P,S)}{k. R_{\theta\phi}(P,S)} \quad (2)$$

şeklinde dir. Burada;

- $M_0(V_{P,S})$: Sismik Moment (dyn.cm)
 R : Episantr – istasyon arası uzaklık (cm)
 ρ : Ortamın yoğunluğu (gr/cm^3)
 $R_{\theta\phi}(P,S)$: Sismik dalganın yayınım örüntüsü katsayısı
 Ω_0 : Düşük frekans seviyesi (cm.s)
 k : Serbest yüzey düzeltmesi
 $V_{P,S}$: P ve S dalgası için dalga hızı (cm/s)'dir.



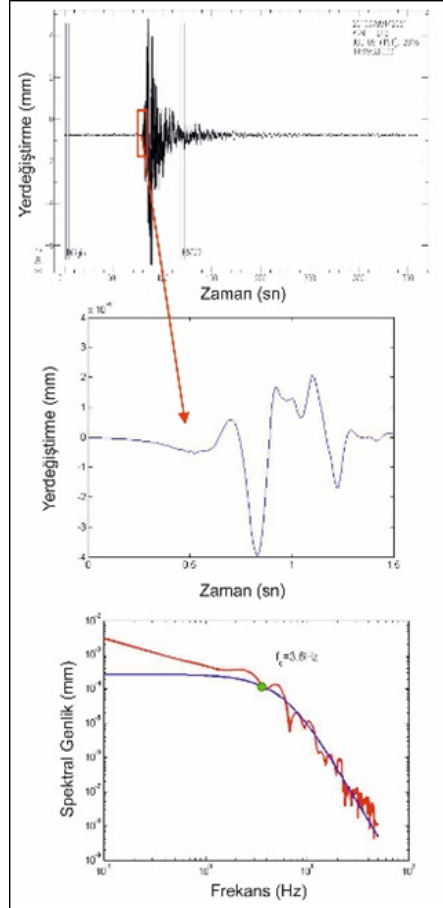
Şekil 6. P ve S dalgasının yayınım etkisi giderildikten sonra Brune (1970) kaynak modeline göre hesaplanan kuramsal spektrumlar

Figure 6. The calculated theoretical spectra according to Brune (1970) source model after eliminating the effect of P and S wave propagation

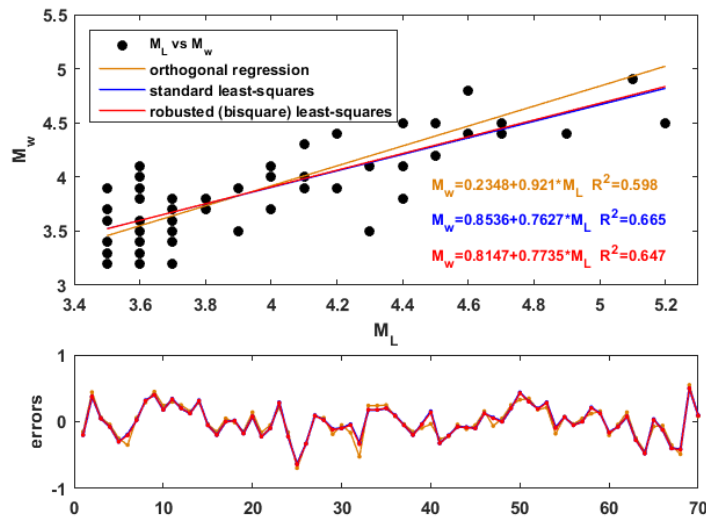
4. SONUÇLAR

P dalgası spektrumu elde edildikten sonra (1) denklemi ile Brune (1970) kullanılarak depremin sismik moment, (2) denkleminde Hanks ve Kanamori (1979) ile de M_w değeri hesaplanmıştır.

$$M_w = \left(\frac{2}{3} * \log_{10}(M_o)\right) - 10.7 \quad (3)$$



Şekil 7. Veri-işlem aşamaları ve spektrum
Figure 7. The data processing steps and the spectrum



Şekil 8. M_w - M_L ilişkisi

Figure 8. The relationship of M_w - M_L

KRDAE kataloglarından alınan M_L değerleri ile regresyon analizi yapılarak, Marmara Bölgesi için $M_w = 0.8536M_L + 0.7627$ deneysel bağıntısı elde edilmiştir (Şekil 7, 8).

Küçük magnitüdü depremlerde $M_w - M_L$ saçılımının büyük olmasının muhtemel sebepleri

- Standart Wood-Anderson tipi sismografin öz periyodu 1.25 Hz dir. Küçük depremlerde baskın frekans aralığı 1.25 Hz den daha büyük frekans aralığına kaymaktadır. WA tipi sismografların büyütmesi 2800 olarak tanımlanmıştır (Anderson ve Wood, 1925), ancak bunun yerine 2080 değerinin kullanılmasının daha doğru olacağı Uhrhammer ve Collins, (1990) tarafından önerilmiştir.
- Yayınım yolu ve zemin etkilerinin göz ardı edilmesi
- $M > 4$ olan depremler için karmaşık yırtılma ve fay geometrisinin dikkate alınmaması
- Eğer dalga genliğini etkileyen, yayınım örüntüsü, yol etkisi ve zemin etkileri işlemlere katılırsa, M_L M_w 'ye eşit olacaktır. Ancak pratikte durum böyle değildir. Küçük magnitüde görülen saçılmalar M_L hesabı yapılırken, deprem kaynağının fiziksel özelliklerinin ve dalga yayılımı modelinde yetersizlikler olduğunu göstermektedir.
- Bu çalışmada elde edilen sonuca göre, küçük depremlerdeki saçılmalar daha büyüktür. Literatürde de benzer sonuçlara rastlanılmıştır.

Ancak, gerek bu çalışma, gerek literatürde bulunan diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlar $M_w - M_L$ ilişkilerinin kullanımını tavsiye etmemektedir (Braunmiller ve diğ., 2005; Atkinson ve McCartney, 2005; Deichmann, 2006, vd).

KAYNAKLAR

AKI K., 1966. Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964: Part 2, Bull. Earthq. Res. Inst. Tokyo Univ., 44, 73-88.

AKI K., 1967. Scaling law of seismic spectrum, Journal of Geophysical Research, 72.4, 1217-1231.

BRUNE J. N., 1970. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, Journal of Geophysical Research, 75.26, 4997-5009.

BRUNE J. N., 1971. Correction (to Brune, 1970), Journal of Geophysical Research, 76, 5002.

GUPTA H. K., RAO N. P., RASTOGI B. K., SARKAR D., 2001. The deadliest intraplate earthquake, Science, 291, 2101-2102.

HANKS T. C., KANAMORI H., 1979. A moment magnitude scale, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 84.B5, 2348-2350.

HASKELL N. A., 1964. Total energy and energy spectral density of elastic wave radiation from propagating faults. Bulletin of the Seismological Society of America, 54.6A, 1811-184.

IRMAK T. S., 2000. The source-rupture processes of recent large Turkey earthquakes, Individual studies by participants to the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, 36, 131-143.

IRMAK T. S., ÖZER M. F., KENAR Ö., 2001. 12 Kasım 1999 Düzce depremi kaynak ve yırtılma mekanizması, Aktif Tektonik Araştırma Grubu 4. Toplantısı Makaleler Kitabı, 39-48.

IRMAK T. S., GUVEN T., TUNÇ B., ULUTAŞ E., ÇETİNOL T., ÇAKA D., ALPARSLAN N., ÖZER M. F., BARIŞ Ş., AŞCI M., TUNÇ S., 2005. Kocaeli ve çevresinin deprem aktivitesi, Kocaeli Mimarlar Odası Özel Sayısı, 100-103.

KALAFAT D., 2011. Marmara Bölgesi'nin Depremselliği ve Deprem Ağının Önemi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara, Türkiye.

KANAMORI H., 1983. Magnitude scale and quantification of earthquakes, *Tectonophysics* 93, 185–199.

KASAHARA K., 1957. 2. The Nature of Seismic Origins as Inferred from Seismological and Geodetic Observations (2).

KEILIS-BOROK V. I., 1960. Investigation of the mechanism of earthquakes, *Sots. Res. Geophys.* (English transl.) 4, 29.

KINSCHER J., KRUGER F., WOITH H., LÜHR B. G., HINTESBERGER E., IRMAK T. S., BARIS S., 2013. Seismotectonics of the Armutlu peninsula (Marmara Sea, NW Turkey) from geological field observation and regional moment tensor inversion, *Tectonophysics*, 608, 980-995.

KOÇYİĞİT A., 2006. Marmara Bölgesinin Depremselliği ve Deprem Kaynakları (Faylar), Türkiye Jeoloji Kurultayı, 20-24.03.

LOMNITZ C., ELIARRARAS S. R., 2001. El Salvador 2001: earthquake disaster and disaster prevention preparedness in a tropical volcanic environment, *Seism. Res. Lett.*, 72, 346-351.

MATLAB Release 2011a, The Mathworks, Inc, Natick, Massachusetts, United States.

SÜLE B., WEBER Z., 2013. Earthquake source parameters and scaling relationships in Hungary (central Pannonian basin), *Journal of Seismology*, 17.2, 507-521.

TUNÇ B., IRMAK T. S., WOITH H., TUNÇ S., BARIŞ Ş., ÖZER M. F., LÜHR B. G., GUNTHER E., GROSSER H., ZSCHAU J., 2011. The Armutlu Network: an investigation into the seismotectonic setting of Armutlu–Yalova–Gemlik and the surrounding regions, *Annals of Geophysics*, 54.1, 35-45.

YAVUZ E., ALTUN G., HORASAN G., 2013. Sakarya Üniversitesi Deprem Kayıt İstasyonuna ait Süreye Bağlı Büyüklük Hesabı, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay, Türkiye.

YAVUZ E., ÇAKA D., TUNÇ B., IRMAK T. S., WOITH H., CESCA S., LÜHR B. G., BARIŞ Ş., 2015. Earthquake Swarm in Armutlu Peninsula, Eastern Marmara Region, Turkey, European Geosciences Union General Assembly 2015, 5099, Vienna, Austria.

Araştırma Makalesi

Zemin Hakim Periyodu ve Bina Yüksekliği Rezonans İlişkisi

Soil Dominant Period and Resonance Relation of Building Height

Ali KEÇELİ¹, Mustafa CEVHER²

Öz

Bu çalışmada binaların rezonans periyot aralıklarını saptamak için zemin yapı arasındaki hakim periyot ilişkisi incelenmiştir. (0.2 ile 2) saniye arasındaki bina, T ve zemin hakim periyotlarının, T_z , oluşturdukları rezonans bölgelerini saptamak için sinyal analizi uygulanmıştır. Zemin sınıflaması için deprem rezonans bölgesi etkinlik eğrileri elde edilmiştir. Deprem rezonans bölgesi etkinlik eğrilerinin dönüm noktaları karakteristik periyot olarak tanımlanmıştır. Sinyal analizine göre, $T = (0.5-1.5)T_z$ saniyeler arasındaki zemin periyodu aralığı bina kat adedi rezonans risk bölgesi olmaktadır. Bina doğal periyodu ve kat adedi veya bina yüksekliği arasındaki ilişkiler kullanarak zemin hakim periyodu ile değişen rezonans bölgesi kat adetleri eğrileri elde edilmiştir. Aynı özellikleri kullanarak bina rijitlik özellikleri ile değişen rezonans bölgesi kat adetleri eğrileri de elde edilmiştir. Bina kat adedi rezonans risk bölgesi saptamasında; 1-Rijitlik kot değerine göre uygulama, 2- Bina kot yüksekliği ve farklı rijitlik değerlerine göre uygulama, 3-Eski binaların zemin-bina rezonans ilişkilerinin denetimleri için uygulama örnekleri verilmiştir. Sonuç olarak, zemin hakim periyodu bilindiğinde, tasarlanan bina yüksekliği kat adedi rezonans bölgesi eğrilerinden pratik olarak saptanabilmektedir. Bu uygulama depremlerde zemin yapı etkileşimini tahmin etmek için basitleştirilmiş yararlı bir yöntem olmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada deprem zemin hakim periyodu hesabında farklı katman kalınlığı kullanımları ve bina deprem rezonansı ilişkisi üzerine farklı yaklaşımlar tartışılmıştır. Bu bağlamda, zemin hakim periyodu hesaplanması için, zemin toplam derinliğinin yönetmelik düzenlemeleri ve yüzey dalgası aktif derinliğine göre 50 metre kullanılması gerektiği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin hakim periyodu, Rezonans, Building height

ABSTRACT

In this study, the relationship of dominant period between soil-structure interactions was investigated to determine the resonance period intervals of buildings. The signal analysis were applied to determine the resonance regions between building periods, T, and soil periods, T_z with (0 and 2) seconds. Earthquake resonance effectivity curves were obtained for soil classification. Turning points of earthquake resonance effectivity curves were defined characteristic periodes ($T_A - T_B$). According to this signal analysis, soil interval period between $T = (0.5-1.5) T_z$ seconds becomes the building store number resonance risk region. Building store number curves of resonance region which changes as the function of the soil dominant period were obtained by using the relation between the building natural period and the store number or building height. Building store number curves of resonance region which changes as the function of the building rigidity were also obtained by using the same properties. In determination of resonance risk region; 1- application according to rigidity code values, 2- application according to different rigidity code values and building height, 3- Application for the control of soil-building resonance relationship of old buildings were given. In conclusion, if the dominant periods of soils are known, store number and the height of the building designed could be determined as practical from the resonance region curves. This application is useful simple method for the estimation of the soil-structure interaction during the earthquake. Also, in this study, different approaches in the calculations of soils dominant period for different layer thicknesses and the earthquake resonance relationships of buildings were discussed. In this context, for calculation of dominant period, it is shown that total depth of the layer should be used 50 meters according to the disaster regulations and surface wave active depth.

Keywords: Soil Dominant Period, Resonance, Bina yüksekliği

GİRİŞ

Deprem dalgaları zemin ortamında yayılırken zeminler sahip oldukları özelliklere bağlı olarak farklı frekans ve genlikleri içerir ve farklı davranışlar gösterirler. Bu davranışlara bağlı olarak çeşitli hasar türleri oluştururlar. Zeminlerin farklı özellikleri önceden tespit edilerek zeminlerin deprem esnasında nasıl davranabilecekleri belirlenebilmektedir. Deprem dalgaları zeminde yayılırken birçok titreşim frekansları içerirler. Zeminlerin davranışlarını saptamada en önemli faktörlerden biri zeminin deprem sarsıntısında hakim titreşim frekansı veya hakim periyodudur. Deprem hasar türlerinden önemli biri olan rezonans hasar türü zemin hakim periyodu ile bina yükseklik veya kat adetleri arasında oluşan

¹ Salacak Mahallesi, Bestekar Selahattin Pınar Sokak, Deniz Apartmanı, No:130/8, ÜSKÜDAR-İSTANBUL

² Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Zemin Deprem İnceleme Müdürlüğü, İZMİT-KOCAELİ

* İlgili Yazar/Corresponding Author: mcevher_@hotmail.com

Gönderim Tarihi: 26.09.2018

Kabul Tarihi: 25.12.2018

rezonans ilişkisi bilinen bir gerçektir. Zemin hakim periyodu değiştirilemez, fakat bina yüksekliği veya kat adedi ve diğer özellikleri değiştirilebilir. Bu bakımdan, yapılacak bir binanın tüm özellikleri inşaat mühendisleri tarafından saptanır. İnşaat proje tasarımında deprem zemin hakim periyoduna bağlı bina kat adedinin veya bina yüksekliğinin önceden belirlenmesi rezonans hasarlarının en aza indirgenmesi bakımından hem hayati, hem ekonomik önem arz etmektedir. Binaların rezonans olayı inşaat mühendisliği ve jeofizik mühendisliği bilim alanlarında incelenmiş fakat bu iki farklı bilim alanını birlikte değerlendiren literatürde açık bir yayın bulunmamaktadır. Aytun (2001) bildirisinde bina kat adedi ve zemin etkin periyodu ilişkisini irdelemiş ancak, zemin etkin periyodunu 100 metrelere varan derinlikler için saptanması örneğini vermiştir. Aytun tarafından verilen örnek hakim periyot saptanması, aşağıda açıklandığı üzere, kabul edilemeyecek bir uygulamadır. Pratikte 30 ve 50 metre katman derinliği gibi daha farklı uygulamalar yapılmaktadır. Bu çalışma, (Keçeli ve Cevher 2015) deki yayının genişletilmiş olup zemin hakim periyodunun sağlıklı saptanmasını sağlamak ve zeminlerin hakim periyotları ile bina yükseklikleri arasındaki genel ilişkinin sinyal analizi yöntemiyle inceleyerek imar planlamalarına esas teşkil edecek depremde rezonansa girmeyecek bina yükseklik veya kat adetlerinin önceden belirlenebilmesini ve dolayısıyla depremde rezonans hasar türünü asgariye indirmeyi amaçlamaktadır.

ZEMİN İLE BİNA REZONANS İLİŞKİSİ SINYAL ANALİZİ

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) rezonans etkisini spektral ivme katsayısı, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyoduna bağlı olarak saptanan spektrum katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı hesaplamalarıyla azaltabilmektedir. (Arnold, 2013) Bu durumu sağlamanın her zaman mümkün olmayabileceğini ifade etmektedir. Bununla beraber, Arnold, yapımı tamamlanmış veya tasarımdaki yapının yükseklik, kütle, rijitlik ve diğer çeşitli özellikleri değiştirilerek bina rezonans uzaklaştırılabileceğini belirtmektedir. Bu boşluğu doldurmak ve korelasyon sağlamak amacıyla, bina ön tasarım aşamasında kullanılacak alternatif bir yöntem olarak, basit fakat daha gerçekçi ve hızlı bir ön tasarım yöntemi aşağıdaki gibi geliştirilebilir.

Depremlerde zemin-bina etkileşimi ile oluşan bina titreşim genliğinin büyümesi olayı bina rezonansa girmesi olarak adlandırılır. Zemin titreşim frekansı ile bina öz frekansının aynı olması durumunda binayı titreştiren kuvvet aynı doğrultuda olacağından, aynı doğrultudaki iki kuvvetin toplamı büyüyeceğinden bina titreşiminin genliği de büyür, daha büyük salınım yapar, dolayısıyla ivmesi büyür. Deprem esnasında herhangi bir bina rezonansa girerse binanın titreşim genliği büyümesi oranında hasar derecesi de ona göre artar. Örneğin; Şekil 1. 1999 depreminde benzer yapı özelliğine sahip yapılarda farklı hasar meydana gelmiş tipik bir zemin-bina rezonans ilişkisini göstermektedir. Fakat Şekil 2. de minare devrilmiş ve kırılmış ve cami yan yatarak yıkılmış, farklı yükseklikteki yapıda Şekil 1. deki gibi farklı hasar olmadığından deprem hasarı zemin deformasyonu hasarından dolayı meydana geldiği anlaşılmaktadır. Şekil 3. Kocaeli üniversitesi Aslanbey Kampüsü İdari Bilimler Fakültesi Binası 1999 deprem hasarı çeşitli yönlerini göstermektedir. Deprem sarsıntısında 5 katlı binanın yıkılmadığı, fakat çıkmalı ve zayıf kısımların hasara uğradığı fakat bitişik tek ve iki katlı binada hiçbir hasar olmadığı Şekil 3. (b) de görülmektedir.

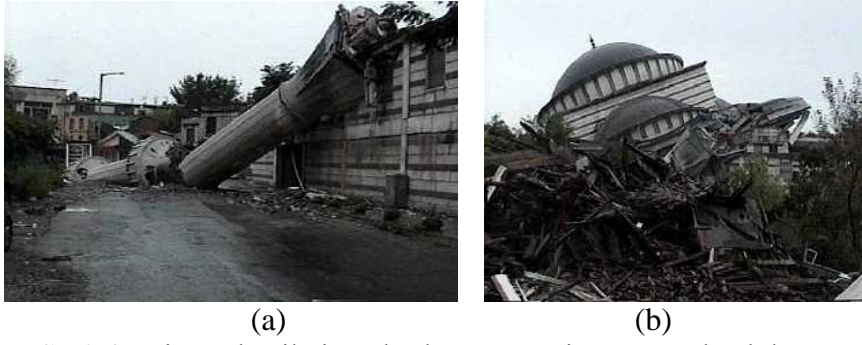


(a)

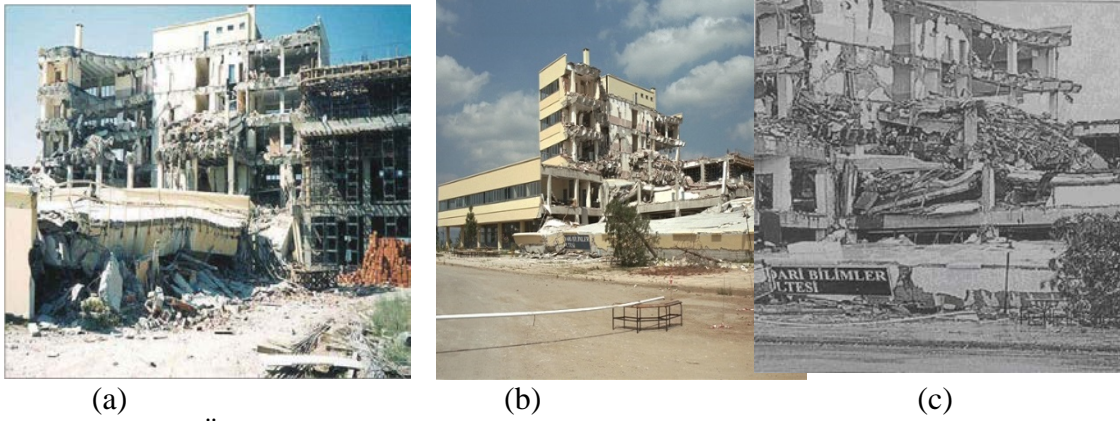


(b)

Şekil 1. Deprem rezonans hasar örnekleri(URL-3).
Figure 1. Examples of earthquake resonance damage (URL-3).

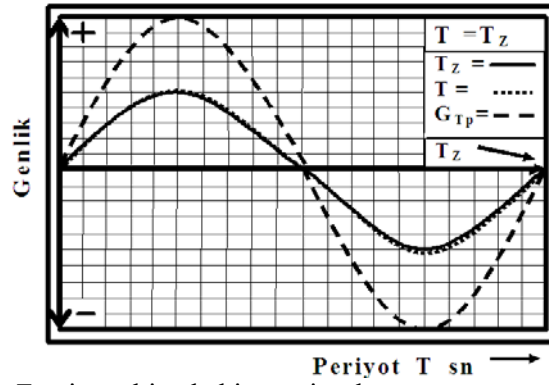


Şekil 2. Minare devrilmiş ve kırılmış ve cami yan yatarak yıkılmış.
Figure 2. The minaret is overturned and broken and the mosque is lying down on its side



Şekil 3. Kocaeli Üniversitesi Aslanbey kampüsü idari bilimler fakültesi binası 1999 deprem hasarı.
Figure 3. Kocaeli University Aslanbey campus administrative sciences faculty building 1999 earthquake damage

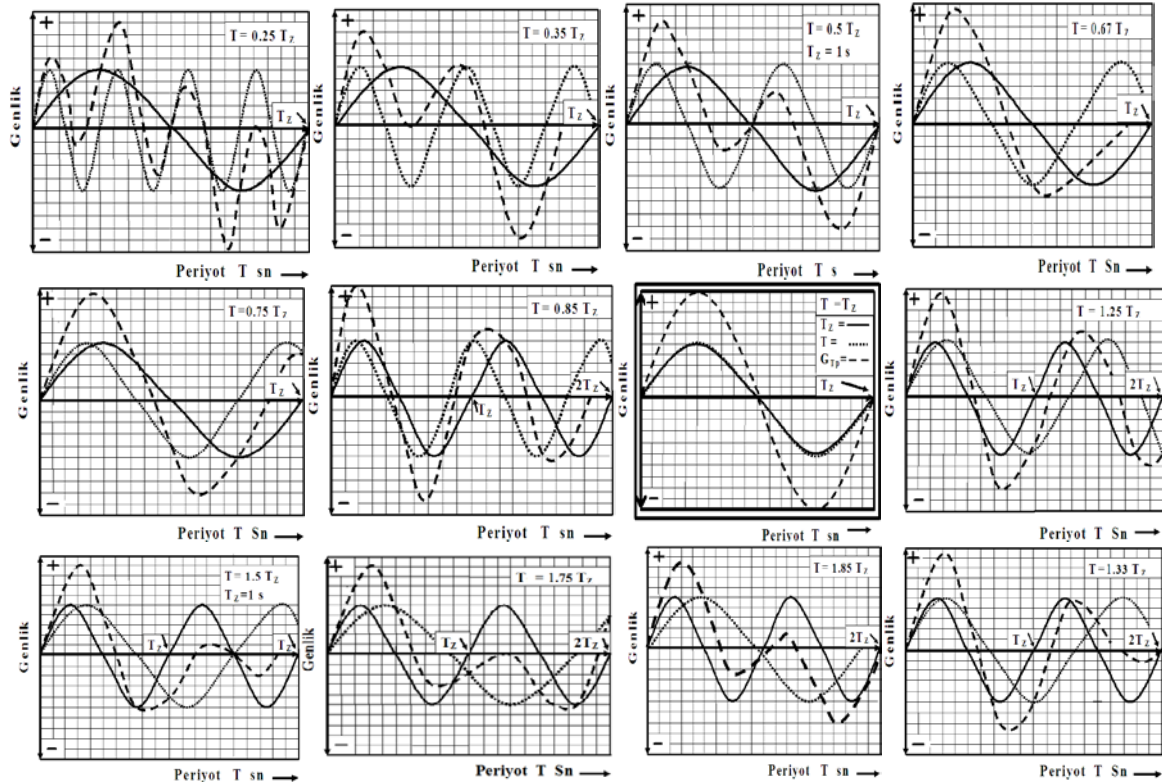
Şekil 1. ve 2. de farklı yükseklikte yapılar farklı hakim periyotlu zemin üzerine inşa edilmiş farklı hasar oluşmuş, şekil 3. de ise; farklı yükseklikte yapılar aynı hakim periyotlu zemin üzerine inşa edilmiş farklı hasar oluştuğu görülmektedir. Doğal periyot farklarının çok büyük olduğu bitişik binalarda en büyük hasar nedeni rezonans olması doğaldır. Bu nedenle, deprem rezonans hasarlarının iç yüzünü anlamada ve binayı rezonanstan uzaklaştırmada yararlı olacağından rezonans olayını sinyal analizi basitleştirilmiş örnekleriyle açıklanabilir. Bunun için, zemin periyodu ile bina periyodu arasında etkileşim konusunu basite indirgenerek aşağıdaki sinyal dalga boyu prensibi izlenmesi tercih edilmiştir. Titreşen herhangi bir cisim veya yapıdal.mod en büyük genlik ve periyoda sahip olması sinyal analizinin temel ilkesidir. Zemin ve bina titreşimlerinin en büyük periyodu olan fundamental veya 1. modları ele alınarak zemin ve bina titreşimlerinin etkileşimi basit olarak aşağıdaki gibi değerlendirilebilir: Gerçekte, zemin periyodu (T_z) genliği bina periyodu (T) genliğinden (G) çok büyük olmakla beraber rezonans analizi temsili bir gösterimi için 1. mod genliklerinin $G = G_z$ eşit olma durumunda sinyal analizi yapılması uygun olmaktadır. T_z titreşim sinyal genliği G_z ile T bina titreşim genliğinin G absis üzerindeki Şekil 4. de $T = T_z$ olduğunda toplam genlik $G_{\text{Toplam genlik}} = G_z + G$ olarak büyümüş olmaktadır.



Şekil 4. Zemin ve bina hakim periyotları ve rezonans oluşumu.

Figure 4. Soil and building dominant periods and resonance formation.

Zeminin hakim periyodu T_z ile orantılı değişebilecek şekilde bina doğal periyodu T , şekil 5. deki gibi, $T = XT_z = (0.25, 0.35, 0.5, 0.67, 0.75, 0.85)T_z$, ve $T = (1.25, 1.33, 1.5, 1.75, 1.85)T_z$ olarak zemin ve bina titreşimlerinin birinci modlarının ortak davranışları için rezonans durumu analizi sinyal analiz yöntemiyle aşağıdaki gibi uygulama yapılabilir. Burada $T = XT_z$ eşitliğindeki (X) T ve T_z arasında herhangi bir periyot oranı değeridir.



Şekil 5. Depremde zemin ve binaların fundamental periyotlarının sinyal analizi uygulaması.

Figure 5. Signal analysis application to the fundamental periods of the soil and building in earthquake.

Deprem rezonans olayında genliği ve periyodu büyük olan titreşimler daha büyük hasarlara sebep oldukları temel ilkedir. Şekil 5. de, bina T hakim titreşim ve zemin hakim titreşim T_z sinyallerin sırasıyla $G_{\text{Toplam genlik}} = G + G_z$ genlik değişimleri bu temel ilkeye göre incelendiğinde;

1- $T = (0.25, 0.35, 0.5)T_z$ periyot değerlerindeki sinyal genliklerinin toplam genliği ($G_T = G + G_z$) zeminin veya deprem periyodundan daha küçük periyotlu genlikler olduğu görülmektedir. G_T değişimi bina zemin periyodu ile birlikte salınmadığını dolayısıyla rezonans etkisinin zayıf olduğunu ifade etmektedir. Sonuç olarak, $T_B < 0.5T_z$ ilişkisinde bina rezonansa girmeyeceğini ifade etmektedir.

2- $T = (1.5, 1.75, 1.85)T_Z$ periyot değerlerindeki sinyal genliklerinin toplam genliği zeminin veya deprem periyodundan büyük periyotlu genlikler göstermektedir. G_T toplam genlik ilk yarım periyotta büyürken diğer ikinci yarım periyotta toplam genlik oldukça küçülmüş olarak aynı değerlerde kalmaktadır. Sonuç olarak, $T > 1.5T_Z$ ilişkisinde bina zemin periyodu ile birlikte salınmadığını, rezonansa girmeyeceğini ifade etmektedir.

3- $T = XT_Z = (0.5, 0.67, 0.75, 0.85, 1, 1.25, 1.33, 1.5)T_Z$ periyot değerlerindeki sinyal genliklerinin toplam genliği $G_{\text{Toplam genlik}} = G_Z + G_B$ grafiğinin değişimine göre; bina zemin periyodu ile birlikte veya ona yakın bir periyot ile büyük genliklerde salınabildiğini göstermektedir. Sonuç olarak, $T = (0.5-1.5)T_Z$ periyot aralığında bina rezonansa gireceğini göstermektedir.

4- $T < 0.5T_Z$, $T > 1.5T_Z$ periyot değerlerindeki sinyal genliklerinin toplam genliği G_T zeminin periyodundan daha küçük periyotlu genlikler $G_T < G_Z$ olduğu görülmektedir. G_T değişimi bina zemin periyodu ile birlikte salınmadığını dolayısıyla rezonans etkisinin zayıf olduğunu veya hiç olmadığını ifade etmektedir.

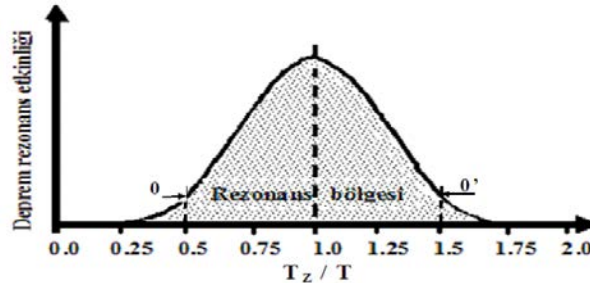
Şekil 4. ve 5. deki $T = XT_Z$ eşitliğinde T bina periyot değeri T_Z zemin periyodunun her hangi bir değerinin katları şeklinde alınmıştır.

$$T_A = (1-0.5)T = 0.5T_Z \quad \text{ve} \quad T_B = (1+0.5)T = (1.5)T_Z$$

olması durumlarında Şekil 5. deki sinyallerin periyot ve genlik değişimleri, seçilen birinci mod sinüs eğrisinin kural gereği simetrik olma zorunluluğu nedeniyle, yukarıdaki 1.,2. ve 3. şıklardaki durumun $T_Z = XT$ durumunda da aynı olmaktadır. Bu nedenle, T , T_Z periyodu ve genliği ne olursa olsun

$$T = (0.5-1.5)T_Z = (T_A - T_B) \quad (1)$$

değerleri arası rezonans bölgesi karakteristik periyot aralığı değerleri olmaktadır. İki sinüzoidal sinyalin şekil 4. deki gibi, birinin artı ve eksi yönde eşit kaydırılması durumunda elde edilecek toplam sinyal şekli simetrik olur. Zemin ve bina titreşim sinyallerinin rezonans etkinliği $(T_Z/T) = 1$ oranına göre de simetrik olmak zorundadır. Zemin ve bina rezonans etkinliğinin T_Z / T periyot oranına göre değişimi şekil 6. da kabaca değişim şekli ile temsil edilebilir. Şekil 6. $T = T_Z$ olduğunda maksimum rezonans, eşitlikten uzaklaştıkça rezonans etkisinin azalarak devam ettiğini göstermektedir.

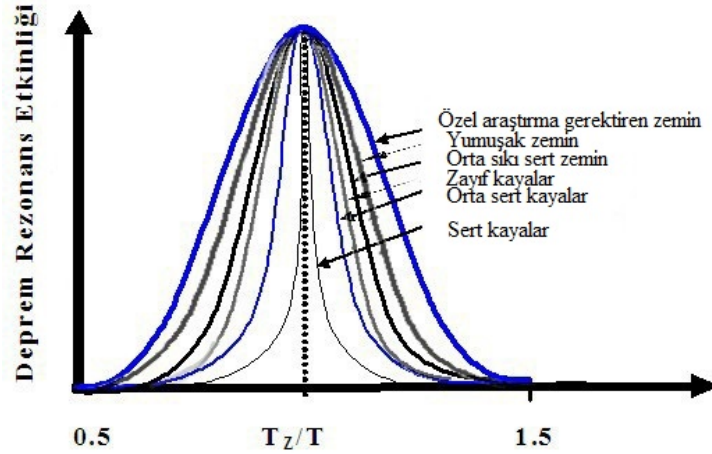


Şekil 6. Zemin ve bina titreşim sinyallerinin rezonans bölgesi değişimi.
Figure 6. Resonance zone change of ground and building vibration signals

Şekil 6. da ki rezonans bölgesi eğrisinde yavaş değişimden hız artışa geçiş noktaları olan 0 ve 0' dönüm noktaları binanın zemin periyoduna bağlı (2) deki T_A ve T_B rezonans karakteristik periyotlarını ifade etmektedir. (1) deki $T = (0.5-1.5)T_Z$ bağıntısı binanın zemin periyoduna bağlı T_A ve T_B rezonans karakteristik periyotlarını ifade etmektedir. Aşağıda Tablo 1. de gösterildiği gibi TBDY, 2018 ' zemin sınıflarına göre spektrum karakteristik periyot değerleri $(T_A - T_B)$ katman kalınlığına ve zemin türüne

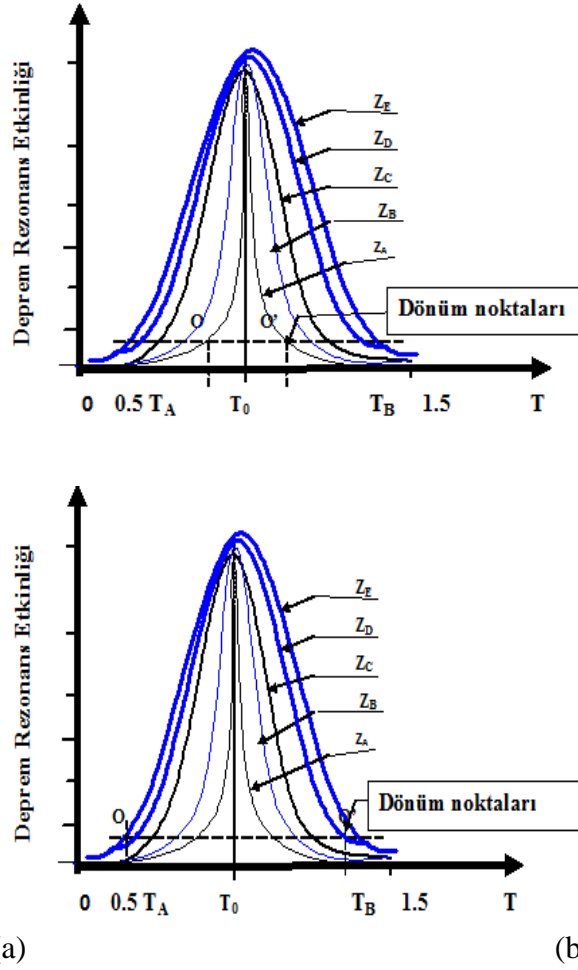
göre tahminsel olarak tanımlanmıştır. Bu bağlamda, sismik yöntemlerle yerinde ölçülerek elde edilen zemin hakim periyodu ile T_A ve T_B rezonans karakteristik periyotları arasında benzer bir ilişki ve tablo aşağıdaki gibi kurulabilir.

Şekil 7. da rezonans bölgesi sınır değerleri içinde $T=(0.5-1.5)T_Z$ zemin özelliklerine göre rezonans bölgesinin değişim şekilleri görülmektedir. Şekil 7. da Z_A türü kaya zeminlerin diğer zemin türlerine göre oldukça dar rezonans bölgesi göstermesi ve gevşek zemin türüne doğru rezonans bölgesinin genişlemesi normal bir sonuçtur. Şekil 8. deki zemin türlerine göre rezonans bölgesi deprem rezonans etki şeklini gösteren eğrilerin dönüm noktaları arasında hızlı bir artış olması ve pik yapması yine doğal bir sonuç olmaktadır. Söz konusu pik değer ait olduğu zeminin hakim periyodu olmaktadır. Dolayısıyla her bir eğrinin dönüm noktaları T_A ve T_B karakteristik periyot değerleri olmaktadır. T_A ve T_B karakteristik periyot değerleri TBDY de verilen Tablo 1. deki zemin sınıflarına göre aşağıdaki gibi elde edilebilir.

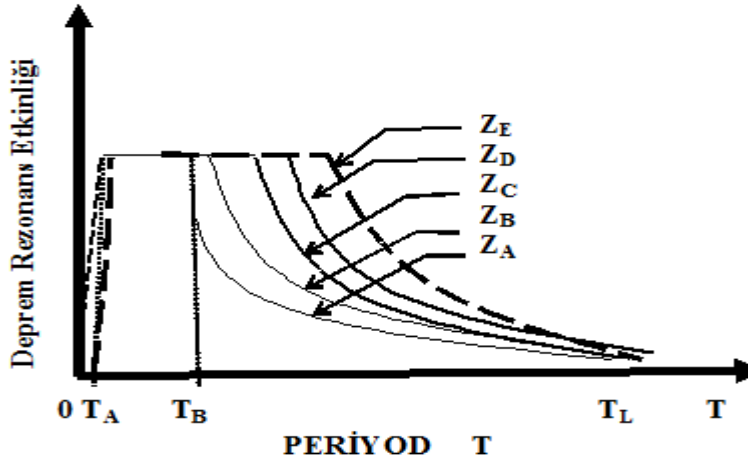


Şekil 7. Zemin guruplarına göre rezonans bölgesi periyot değişimleri.
Figure 7. Period changes of resonance zone according to soil groups.

Pratikte genelde saptanan Z_A türü kaya zeminlerde en büyük periyot değerleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) de Z_A Zemin sınıfında Zemin Hakim Periyodu 1500 m/sn için 0.1 sn olur. Bu değere göre rezonans bölgesi (0.5-1.5) sınır değerlerinden T_A - T_B aşağıdaki tablo 1 deki gibi elde edilebilir. Arazide ölçülecek V_s kayma dalgası hızına göre saptanacak T_A - T_B değerleri inşaat mühendisinin proje tasarımında önemli bir faktör olacaktır. Zemin türleri için rezonans bölgesi eğrileri şekil 8 deki gibi olmak durumundadır. O-O' rezonans bölgesi eğrilerinin dönüm noktasını göstermektedir.



Şekil 8. Rezonans bölgesi dönüm noktaları ve karakteristik periyotları (T_A - T_B).
Figure 8. Resonance region turning points and characteristic periods (T_A - T_B).



Şekil 9. Spektrum katsayısı eğrisi.
Figure 9. Spectrum coefficient curve

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY), de şekil 9. da Şekil 8. deki (T_A OO'1.5) arasındaki ZA eğri gurubunu bir başlangıç noktasından itibaren Tablo 1. deki sismik yöntemler kısmındaki T_A –

T_B değerlerine göre çizilecek olursa Şekil 9. daki spektrum katsayısı eğrisine benzer eğri şekli elde edilir. Benzer işlem diğer zemin guruplarına da uygulandığında Şekil 9. daki $T_A - T_B$ eğri gurubu elde edilir.

Düzenleştirilmiş ivme spektrum eğrisinde görüldüğü gibi, rezonans etkisini spektral ivme katsayısı, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyoduna bağlı olarak saptanan spektrum katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı tasarım hesaplamalarıyla azaltabilmektedir (TBDY, 2018). (Arnold, 2013) bu durumu sağlamanın her zaman mümkün olmayabileceğini ifade etmektedir. Bununla beraber, Arnold, yapımı tamamlanmış veya tasarımdaki yapının yükseklik, kütle, rijitlik ve diğer çeşitli özellikleri değiştirilerek bina rezonansdan uzaklaştırılabileceğini belirtmektedir.

ABD ve AB sınıflamasına göre kayma dalgası hızı $V_S < 100$ (m/s) olan ortamlarda zemin hakim periyodu 2 saniye civarında büyük elde edilebilmektedir (Arnold, 2013). Nitekim, (Salinas ve diğ., 2012) mikrotremör ölçüleriyle gevşek zeminin hakim periyodunu 1.93 saniye mertebesinde elde etmişlerdir. (Alfaro ve diğ., 2001) mikrotremör ölçüleriyle jeolojik özelliklere bağlı olarak zeminlerin hakim periyotlarının 2.1 saniye elde edilebildiğini ifade etmişlerdir.

Tablo 1. Sismik yöntemlere göre yerel karakteristik periyot değerleri.

Table 1. Site soil characteristic period values according to seismic methods.

Zemin sınıfı	Zemin cinsi	T=4h/V _S ve Mikrotremör		T _A - T _B
		V _S (m/s)	T=T _Z x(0.5-1.5)	
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	0,1x(0.5-1.5)	(0.01-0.2)
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760-1500	0.2x(0.5-1.5)	(0.1-0.3)
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	0.3x(0.5-1.5)	(0.2-0.5)
ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	0.5x(0.5-1.5)	(0.2-0.8)
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası () içeren profiller u 25 kPa c □ .	≤180	0.8X(0.5-1.5)	(0.4-1.2)
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.		1.2x(0.5-1.5)	(0.6-1,8)

Şekil 8. zemin ve bina titreşim sinyallerinin rezonans bölgesi $T=(0.5-1.5)T_Z$ değişimi Şekil 9. spektrum katsayısı eğrisindeki ve Tablo 1.deki spektrum karakteristik periyotları ($T_A - T_B$) aralığında eşdeğer periyot değerlerini temsil etmektedir. $T=(0.5-1.5)T_Z$ değerleri rezonans reel değerleri, TBDY de tasarım spektrumunda rezonans etkisi ($T_A - T_B$) köşe periyotları ,spektrum katsayısı $S(T)$ değerleri tasarım ve kabul değerlerdir. Bu bağlamda, binayı rezonans etkisinden uzaklaştırmak amacıyla, Rezonans Bölgesi Yöntemi alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir daha realistik ve hızlı bir Tasarım Yöntemi aşağıdaki gibi geliştirilebilir.

Bina Periyodu ile Yükseklikleri Arasındaki İlişki

Yukarıda sinyal analizinde bahsedilen zemin periyoduna, T_z , bağlı binaların rezonans bölgesi saptanabilirse deprem rezonans hasarlarını azaltmak mümkün olabilir. Binaların titreşim veya salınım periyotları esas olarak binanın kütlesine, sıklığına, sertliğine, mukavemetine ve boyutlarına (yüksekliğine, enine, boyuna) bağlı olup aşağıdaki deneysel bağıntılarla tanımlanmaktadır (Chun ve diğ., 2000), (Chiauszi ve diğ., 2012) ve (Anastasia ve diğ., 2013).

$$T = \frac{0.09H}{\sqrt{D}} \quad T = \frac{C_1 H}{\sqrt{D}} \quad (2)$$

Burada: H, bina yüksekliği, D, yatay kuvvete paralel doğrultuda bina boyutudur. Binaların titreşim veya salınım periyotları ve kat adetleri arasındaki ilişki (3) bağıntısı ile verilir

$$T = CN \quad (3)$$

Burada N, bina kat adedi, C, orantı kat sayısı veya bina rijitlik değeri olarak adlandırılmaktadır.

Binaların rezonans bölgesini saptamak için zemin periyoduna, T_z , bağlı bina periyot değerleri (1) ifadesinden

$$T = (0.5-1.5)T_z \quad (4)$$

Yazılabilir. (1) ifadesi (3) deki $T_B = CN$ ifadesi ile eşitlenirse, başka bir deyişle bina periyodu T, zemin periyodu T_z cinsinden ifade edilirse

$$T_z (0.5-1.5) = CN \quad (5)$$

arası rezonans alt ve üst sınır periyot değerleri olarak T_1 ve T_2

$$T_1 = 0.5T_z \text{ ve } T_2 = 1.5T_z \quad (6)$$

ayrı ayrı tanımlanabilir. Binaların bina rijitlik durumuna göre (6) bağıntısından rezonans bölgesi alt ve üst periyot değerleri için bina yüksekliği H_1 , H_2 veya kat adetleri, sırasıyla, N_1 ve N_2 hesaplanarak hangi zemin periyodunda hangi yükseklikte veya hangi kat adedine sahip bina rezonansa gireceği aşağıdaki gibi önceden tahmin edilebilir. Betonarme binalarda bir katın ortalama yüksekliği 3 metre kabul edilirse $H=3 \times N$ olması gerekir. T_B , T_z cinsinden ifade edilirse,

$$N_1 = \frac{T_1}{C} = \frac{0.5T_z}{C} \quad H_1 \cong 3N_1 \quad , \quad N_2 = \frac{T_2}{C} = \frac{1.5T_z}{C} \quad H_2 \cong 3N_2 \quad (7)$$

elde edilir. Rezonans alt ve üst sınır periyot değerleri olarak T_1 ve T_2 saptanmasında bina aynı bina olduğu için bina rijitlik C değeri de aynı olur. Betonarme binaların zemin hakim periyodu değişimine göre bina rijitlik değerleri için $T = (0.5-1.5)T_z$ rezonans bölgesi periyot değerleri arası kat adedi rezonans bölgesi değişim grafikleri şekil (7 -11) de verilmiştir. Şekillerdeki grafiklerde zemin hakim periyotlarına, T_z , bağlı bina kat adedi elde edilmesine ait hesaplama örnekleri aşağıda açıklanmıştır:

Bina temelindeki zemin periyodu zemin iyileştirmeleri dışında sabittir. Bina periyodu ve rijidliği yapım özelliklerine bağlı olup değişkendir. Bu bağlamda, (Safina, 1996) (3) ifadesinde verilen $T = CN$ rijitlik, sertlik- periyot ilişkisini (betonarme binaların yapı sönüm oranının %5 olduğu bir durumda aşağıdaki gibi üç grupta toplamıştır.

$$\begin{array}{ll} \text{Esnek (flexible) binalar} & T_1 = 0.1N \\ \text{Orta (intermediate) sert binalar} & T_2 = (T_1 + T_3)/2 \\ \text{Rijit (rigid) binalar} & T_3 = 0.061h^{3/4} \end{array} \quad (8)$$

Esnek betonarme binalarda alternatif olarak $T=CN=0.1N$ ifadesindeki $C=0.1$ eski kot değerinin ancak $N \leq 12$ kat adedine kadar kullanılabilceğini belirtilmektedirler (Wasti, 2015).

(Goel ve diğ. 1997), (Chun ve diğ. 2000), (Chiauzzi ve diğ., 2012) (9), (Anastasia ve diğ. 2013) ve (Magdy, 2014) sırasıyla betonarme yapı yüksekliği H ve periyodu T_B arasında C_t yapı rijiditesine bağlı aşağıdaki European Code Ec:8 kot değerleri içeren

$$T=C_t H^Q=0.075H^{0.75} \quad (9)$$

bağıntıyı vermişlerdir. Burada C_t ve Q Yapı türüne ve ülke kot değerine göre değişen katsayılardır. (Chung ve diğ., 2000), ve (Chiauzzi ve diğ., 2012) yapımı tamamlanmış bina periyodunun binanın boyuna ve enine boyutuna göre ölçülmesi gerektiğini tahminsel değerlendirmelerden farklı elde edildiğini belirtmektedirler. Binaların boyuna periyodu enine ölçülenden bir miktar daha büyük olmaktadır. Bu bakımdan, ölçülen ile bağıntılardan saptanan periyot değerleri farklı görünür değerler olmaktadır. Esasen, sağlıklı rezonans çekincesi elde etmek için binanın deprem doğrultusundaki hakim doğal periyodu tahmin ederek tamamlanmış veya tasarımdaki bina periyodunu saptamak en güvenli yol olmaktadır

Zemin Periyodu ile Bina Yükseklikleri Arasında Rezonans Bölgesi İlişkisi

Binaların maksimum rezonans durumları $T_Z=T=CN$ olduğunda meydana geldiğinden maksimum rezonans kat adedi

$$N_{MAK.REZ.KAT.AD.} = \frac{T_Z}{C} = \frac{T_B}{C} \quad (10)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir. (8) ve (9) ifadelerindeki bina türüne göre bina katlarının T_B si farklı olduğundan dolayısıyla rijitlik C değeri farklı olup aynı zemin periyodunda farklı $N_{MAK.REZ.AD.}$ olur. Ancak, bu pratik ifade, şekil 6-7. deki zemin ve bina titreşim sinyallerinin rezonans bölgesi değişimine göre söz konusu maksimum kat adedi civarındaki katlarda rezonans hasar etkisi olmayacak anlamına gelmez. Şekil 1,2 ve 3. de görüldüğü gibi, patikte karşılaşılan sonuçlarda bu durumu teyit etmektedir. Bu nedenle deprem-zemin-bina ilişkisinde rezonans bölgesinin saptanması gerekmektedir. Yukarıda açıklanan rezonans bölgesi (8) ve (9) de verilen bina periyodu ile yükseklikleri arasındaki ilişkilere örnek olarak zemin periyodu $T_Z= 1$ saniye olan bir mevkide rezonans bölgesi kat adedi hesaplama örnek olarak aşağıdaki gibi yapılabilir.

1- (8) deki esnek (flexible) binalar $T=0.1N$ bağıntısına göre, (7) bağıntısından $T_Z= 1$ s olan bir mevkide

$$N_1 = \frac{T_1}{C} = \frac{0.5T_Z}{C} = \frac{0.5 * 1}{0.1} = \frac{0.5}{0.1} = 5 \quad N_2 = \frac{T_2}{C} = \frac{1.5T_Z}{C} = \frac{1.5 * 1}{0.1} = \frac{1.5}{0.1} = 15 \quad (11)$$

$T=0.1N$ için $T_Z= 1$ s olan bir mevkide maksimum rezonansı (10) ifadesine göre $N_{MAK.REZ.AD.}=10$ olan binanın rezonans bölgesi kat adetleri $N_{1,2}=(5-15)$ olmaktadır.

2- (8) deki orta sert binalar Eu. Code:8 $T=0.075H^{0.75}$ bağıntısına göre, (9) bağıntısından

$$H^{0.75} = [3 * N]^{0.75} = \frac{T}{C_t} \quad (12)$$

elde edilen (8) bağıntısından

$$H_1^{0.75} = [3 * N_1]^{0.75} = \frac{T_1}{C_t} = \frac{0.5T_Z}{C_t} = \frac{0.5 * 1}{0.075} = \frac{0.5}{0.075} = 7 \quad (13)$$

elde edilir. $H_1^{0.75}=7$ den $H_1=(7)^{1/0.75}= 12.5$ m. Buradan kat adedi $H_1=(3*N_1)$ den $N_1=4$ olarak elde edilir.

$$H_2^{0.75} = [3 * N_2]^{0.75} = \frac{T_2}{C_t} = \frac{1.5T_z}{C_t} = \frac{1.5 * 1}{0.075} = \frac{1.5}{0.075} = 20 \quad (14)$$

elde edilir. $H_2^{0.75}=20$ den $H_2=(20)^{1/0.75}= 54.3$ m. Buradan kat adedi $H_2=(3*N_2)$ den $N_2=18$ olarak elde edilir.

$T=0.075H^{0.75}$ için $T_z= 1$ s olan bir mevkide maksimum rezonansı (10) ifadesine göre $N_{MAK.REZ.AD.}=13$ olan binanın rezonans bölgesi kat adetleri $N_{1,2}=(4-18)$ olmaktadır.

3- (8) deki Rijit (rigid) binalar $T=0.061h^{3/4}$ bağıntısına göre, (9) bağıntısından

$$H_1^{0.75} = [3 * N_1]^{0.75} = \frac{T_1}{C_t} = \frac{0.5T_z}{C_t} = \frac{0.5 * 1}{0.061} = \frac{0.5}{0.061} = 8 \quad (15)$$

$$H_2^{0.75} = [3 * N_2]^{0.75} = \frac{T_2}{C_t} = \frac{1.5T_z}{C_t} = \frac{1.5 * 1}{0.061} = \frac{1.5}{0.061} = 25 \quad (16)$$

$T = 0.061 H^{0.75}$ göre $T_z= 1$ s olan bir mevkide maksimum rezonansı $N_{MAK.REZ.AD.}=16$ da olan binanın rezonans bölgesi kat adetleri $N=(5-24)$ olmaktadır.

Yukarıdaki üç farklı uygulamada zemin hakim periyodu $T_z=1$ saniye aynı olduğu halde C ve C_t değerlerinin değişmesiyle binaların maksimum rezonans değerlerinin değiştiği keza T_z nin değişmesiyle de değişeceği aşikardır. Söz konusu değişimin parametrelere fonksiyonel bağlı olarak nasıl değişebileceği aşağıdaki genişletilmiş uygulamalarla ortaya konabilir.

UYGULAMA

Bu bağlamda zemin-bina rezonans ilişkisinde yeni ve eski yapı olmak üzere aşağıdaki gibi iki farklı uygulama yapılabilir.

1-Yeni yapılacak yapı uygulaması:

- a- Ülke bina rijitlik kot değerine göre uygulama
- b- Plan dışı isteğe bağlı bina kot yüksekliği ve farklı rijitlik değerlerine göre uygulama

2-Eski yapı uygulaması: Eski yapıların zemin-bina rezonans ilişkilerinin denetimleri için uygulama

1- Yeni yapılacak yapı uygulaması:

a) Zemin periyodu T_z bilinen mevkide imar planında bina kot yüksekliği sınırlandırılmamış ise;

$T_z= 0.25$ saniye için rezonans bölgesi bina kat adedi sayısal hesaplama örneği:

Rezonans periyot aralığı (T_1, T_2) $= (0.5-1.5)$ saniyeleri arası olduğundan $T_z=1$ saniye olan bir zeminde rezonansa girmeyecek yapılabilecek bina kat adedi ön görülen projede tasarlanacak bina rijidite (C) değerine bağlı olarak (8) bağıntılarından saptanabilir.

Bu örnekte zeminin periyodu $T_z= 0.25$ saniyedir. Rezonans bölgesi periyot değerleri $T_1 = 0.5T_z = 0.5 \times 0.25 = 0.125$ orantısı nedeniyle alt sınır olarak binanın doğal titreşim periyodu $T_{B1} = 0.125$ saniye olmaktadır. Benzer şekilde üst sınır olarak binanın doğal titreşim periyodu $T_2 = 1.5T_z = 1.5 \times 0.25 = 0.375$ saniye olmaktadır. $T_z= 0.25$ saniyede $T_1 - T_2 = (0.125 - 0.375)$ saniyeye karşılık gelen kat adetlerini saptamak için betonarme binaya ait rijitlik değeri (1) ifadesinden $E_c:8$ rijitlik kot değeri $C=0.075$ olarak alındığında bina rezonans alt ve üst kat adetleri N aşağıdaki gibi elde edilir.

$$N_1 = \frac{T_1}{C} = \frac{0.5T_z}{C} = \frac{0.5 * 0.25}{0.075} = \frac{0.25}{0.075} = 2 \quad N_2 = \frac{T_2}{C} = \frac{1.5T_z}{C} = \frac{1.5 * 0.25}{0.075} = \frac{0.375}{0.075} = 5 \quad (17)$$

ve bina rezonans alt ve üst yükseklikleri $H_1=3N_1=3*2=6$ m ve $H_2=3N_2=3*5=15$ m elde edilir. $T_Z=0.25$ saniye ve $C=0.075$ olması durumunda $N=(2-5)$ arasındaki katlar rezonans risk bölgesi içine girdiğinden yapılacak binanın rezonansa girmemesi için $N=(2-5)$ katlar dışında seçilmesi gerekmektedir.

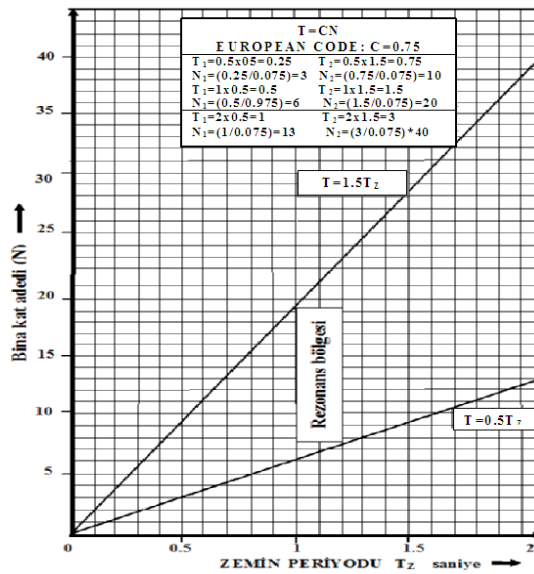
$T_Z=0.5$ saniye için rezonans bölgesi bina kat adedi sayısal hesaplama örneği:

T=CN		C=0.075		$T_Z=0.5$	
$T_1=0.5T_Z$				$T_2=1.5T_Z$	
$T_1=0.5*0.5=0.25$				$T_2=1.5*0.5=0.75$	
$N_1=(T_1/C)$				$N_2=(T_2/C)$	
$N_1=(0.25/0.075)=3$				$N_2=(0.75/0.075)=10$	
$H_1=3*N=9$				$H_2=3*N=30$	
(N ₁ -N ₂)=(3-10), (H ₁ -H ₂)=(9-30) m arası rezonans bölgesidir					

Zeminin periyodu $T_Z=1$ saniye rezonans bölgesi bina kat adedi sayısal hesaplama örneği:

Yukarıda hesaplandığı gibi, $T_Z=1$ saniye ve $C=0.075$ olması durumunda $N=(7-20)$ arasındaki katlar rezonans risk bölgesi içine girdiğinden yapılacak binanın rezonansa girmemesi için $N=(7-20)$ katlar dışında seçilmesi gerekmektedir.

Şekil 10. daki $N=Cf(T_Z)$ grafiğinin elde edilmesi: İnşaat zemin periyodu $T_Z=1$ saniye ise absisteki $T_Z=1$ saniyeden çıkılan doğru üzerinde $T_Z=1$ için elde edilen ordinat $N_1=7$ ve $N_2=20$ noktaları değerlerinin oluşturduğu ortak koordinat üzerinde koordinat noktaları saptanır. Benzer şekilde absis üzerinde $T_Z=0.5$ ve $T_Z=0.25$ saniye periyotlar için de koordinat noktaları saptanır. Saptanan koordinat noktalarının birleştirilmesiyle Şekil 10. $N=Cf(T_Z)$ grafiği, veya N, T_Z nin fonksiyonu olarak elde edilir. Şekil 10. Grafiğinin kullanımı: grafiğin absis deki herhangi bir T_Z değerinden dik çıkılan doğrunun rezonans bölgesi alt ve üst kesişme noktalarının ordinattaki alt ve üst kat adetleri anılan mevki için rezonans bölgesi sınırı olur. Örneğin; zemin periyodu $T_Z=0.5$ saniye olan bir mevkiye EC:8 uyarınca yapılacak bina için absis üzerinde $T_Z=0.7$ saniyeden çıkılan doğru kesim noktaları ordinat üzerinde $N_1=4$, $N_2=13$ bina kat adetlerini göstermektedir. $N=4-13$ arasında olursa rezonansa girer, dışında rezonansa girmeyecektir. $T_Z=1.5$ saniye için $N=9-29$ arasında olursa rezonansa girer, dışında rezonansa girmeyeceği görülmektedir.

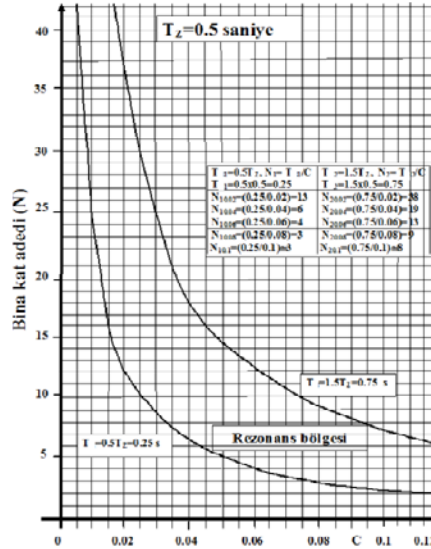


Şekil 10. European Code Ec:8 bina rijitlik kot değerine göre kat adedi saptanması.
Figure 10. Determination of building store number with respect to the rigidity value of EC:8.

b) Zemin periyodu T_Z bilinen herhangi bir mevkide imar planında kot yüksekliği sınırlandırılmış ise;

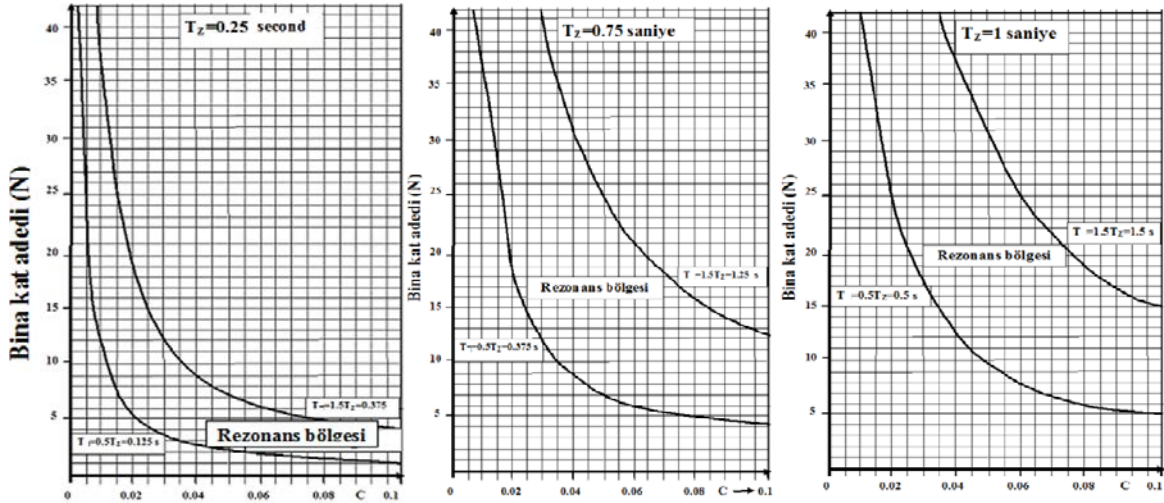
Bilindiği gibi inşaat yapılacak mevkide zemin doğal periyodu T_Z değiştirilemez ve bina kat adedi N değiştirilmek istenmeyebilir. Bu durumda, kat adedi N de sabit olduğuna göre zemin doğal periyodu T_Z binanın yapılacağı farklı zeminlerde farklı olacağından farklı zeminlerde yapılacak binaların rezonansa girmemesi için rijiditelerinin zemin periyoduna göre değiştirilmesi gerekmektedir. Şekil 9. deki grafikler $N=T_Z f(C)$ fonksiyon ifadesine göre farklı zemin hakim periyotları için çizilen rezonans bölgesi kat adedi değişimlerini göstermektedir.

Şekil 10-13. deki grafiklerin kullanımı: imar planı gereği bir mevkide bina yüksekliği dolayısıyla kat adedi sınırlandırılmış ise o mevkide T_Z değerine göre çizilmiş grafikte kaç kat adedi N yapılacaksa ordinattan N değeri seçilir. N değerinin hizasına gelen rezonans bölgesi sınırlarının absis üzerindeki bina rijidite değerleri olmaktadır. Zemin periyodu $T_Z=0.5$ saniye ve imar planında zeminden Bina Kot Yüksekliği $H=18$ metre olduğundan $N=(H/3)=(18/3)=6$ katlı bina yapılması gerekiyor ise; Bu durumda $T_Z=0.5$ saniye olduğundan maksimum rezonans $T=0.5$ saniye olan 5 katlı binada olur. Bina kot yüksekliği $H=18$ m de $N=6$ yapılmak istendiğinde $N=6$ nın rezonans bölgesi dışında kalması için $T_Z=0.5$ zeminde $T_1=0.5T_Z=0.5*0.5=0.25$, $C_1=(T_1/N)=(0.25/6)=0.04$ elde edilir. Bu durumda rijit bir bina yapılması isteniyorsa bina rezonans bölgesi dışında kalması için rijitlik değeri değişmesi gerekmektedir. Alt sınır olarak $C_1 \leq 0.04$ seçilmesi gerekir. Şekil 11. de $T_Z=0.5$ grafiğinin absisi üzerinde seçilen $C_1=0.04$ den çıkılacak dik doğrunun $T_1=0.5T_Z=0.25$ ve $T_2=1.5T_Z=0.75$ eğrilerini kestiği noktalar ordinat üzerinde $N_1=7$ ve $N_2=18$ kat adetlerini belirler. Rezonansa girmemesi için $T_Z=0.5$ saniye olan zeminde yapılacak 6 katlı binanın rijitlik değeri $C_1=0.04$ seçildiğinde kat adedinin $N_1=7$ ve $N_2=18$ rezonans bölgesinin dışındaki katlar seçilmelidir. Veya $T_2=1.5T_Z=0.75$, $C_2=(T_2/N)=(0.75/6)=0.12$ elde edilir. Bu durumda, esnek bir bina yapılması isteniyorsa bina rezonans bölgesi dışında kalması için rijitlik değeri (Safina,1996) göre (8) ifadesinden $N=6$ kat adedi ve T_Z sabit olduğundan üst sınır olarak $C_2 \geq 0.1$ seçilmesi gerekir. Şekil 10. de $T_Z=0.5$ grafiğinin absisi üzerinde seçilen $C_2=0.1$ den çıkılacak dik doğrunun $T_1=0.5T_Z=0.25$ ve $T_2=1.5T_Z=0.75$ eğrilerini kestiği noktalar ordinat üzerinde $N_1=2$ ve $N_2=8$ kat adetlerini belirler. Rezonansa girmemesi için $T_Z=0.5$ saniye olan zeminde yapılacak 6 katlı binanın rijitlik değeri $C_2=0.1$ seçildiğinde kat adedinin $N_1=2$ ve $N_2=8$ rezonans bölgesinin dışındaki katlar seçilmelidir. Rezonansa girmemesi için $T_Z=0.5$ saniye olan zeminde yapılacak 6 katlı binanın rijitlik değeri $C_2=0.12$ seçildiğinde kat adedinin $N_1=2$ ve $N_2=6$ rezonans bölgesinin dışındaki katlar seçilmelidir.

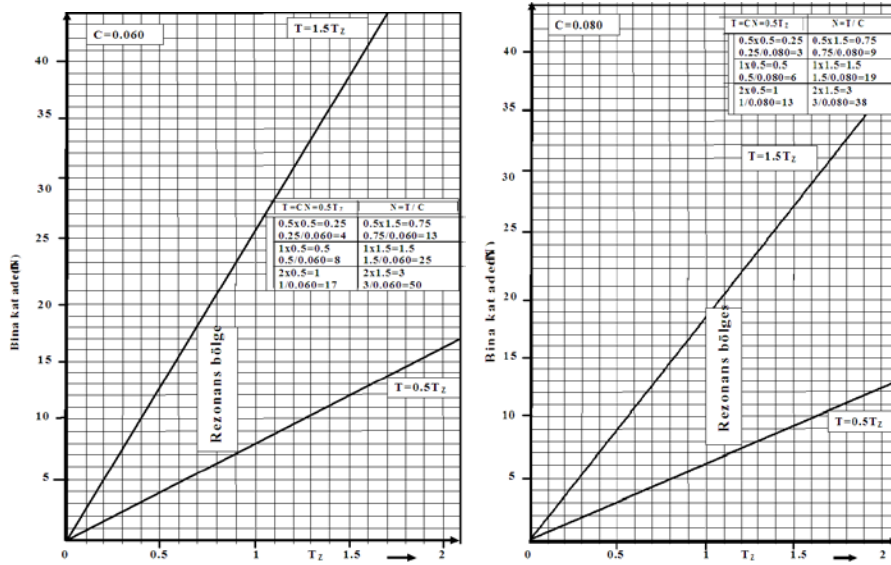


Şekil 11. Rijitlik (C) değerlerine göre zemin hakim periyodu $T_Z=0.5$ saniye için rezonans bölgesi kat adedi.

Figure 11. Resonance region store numbers according to rigidity (C) values for $T_Z=0.5$ $T_Z=0.5$ second.



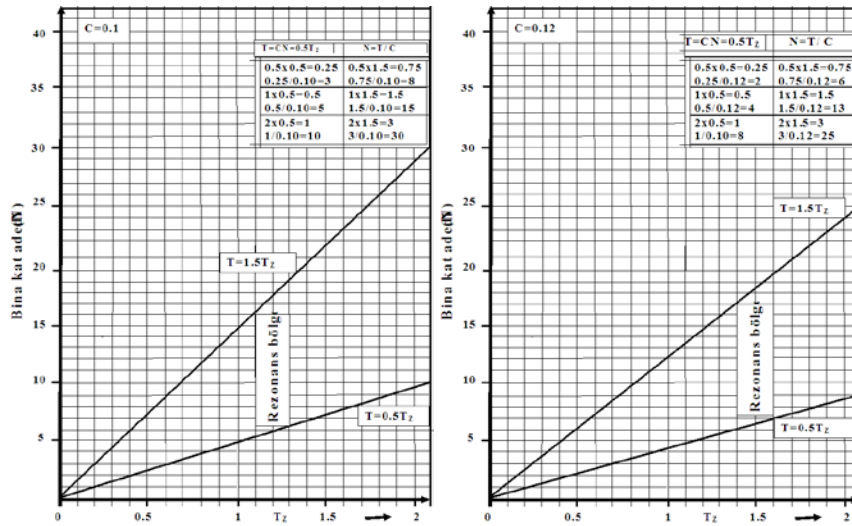
Şekil 12. Farklı zemin hakim periyotları için rijitlik (C) değerlerine göre rezonans bölgesi kat adedi.
Figure 12. Resonance region store numbers according to rigidity (C) values for the different soil periods.



Şekil 13. Farklı rijitlik (C) değerleri için zemin periyotlarına göre rezonans bölgesi kat adedi değişimi.
Figure 13. Resonance region store numbers according to the different soil periods for rigidity (C) values.

2- Eski binaların zemin-bina rezonans ilişkilerinin denetimleri için uygulama:

Yapımı tamamlanmış eski binaların zemin periyotları ve bina kat adetleri sabit değerlerdir. Ancak eski yapılar Safına, 1996 ya göre (8) ifadesiyle verilen esnek yapı sınıfı olarak kabul edilebilir. Bu sebepten rijitlik değerleri $C \geq 0.8$ $C=0.1$ veya $C=0.12$ olarak alınabilir. Şekil 14. Farklı bina rijitlik (C) zemin hakim periyotları değerlerine göre rezonans bölgesi kat adedi değişimini göstermektedir. Yukarıda verilen uygulama örneklerine benzer işlemler yapıldığında, aşağıda örnek uygulamada da gösterildiği gibi, eski binanın kat adedi rijitlik değeri $C=0.1$ ve T_z zemin periyoduna göre rezonans bölgesi içine düşüyorsa olası bir depremde rezonansa girmesi kaçınılmaz olacaktır.



Şekil 14. Farklı rijitlik (C) değerleri için zemin hakim periyoduna göre rezonans bölgesi kat adedi değişimi.

Figure 14. Resonance region store numbers according to the soil periods for different rigidity (C) values.

Şekil 9-14. deki grafikler inşaat projesi tasarımcılarının kolayca yararlanabileceği şekilde çeşitli zemin hakim periyotları, kat adedi ve rijit değerleri için çoğaltılabilir.

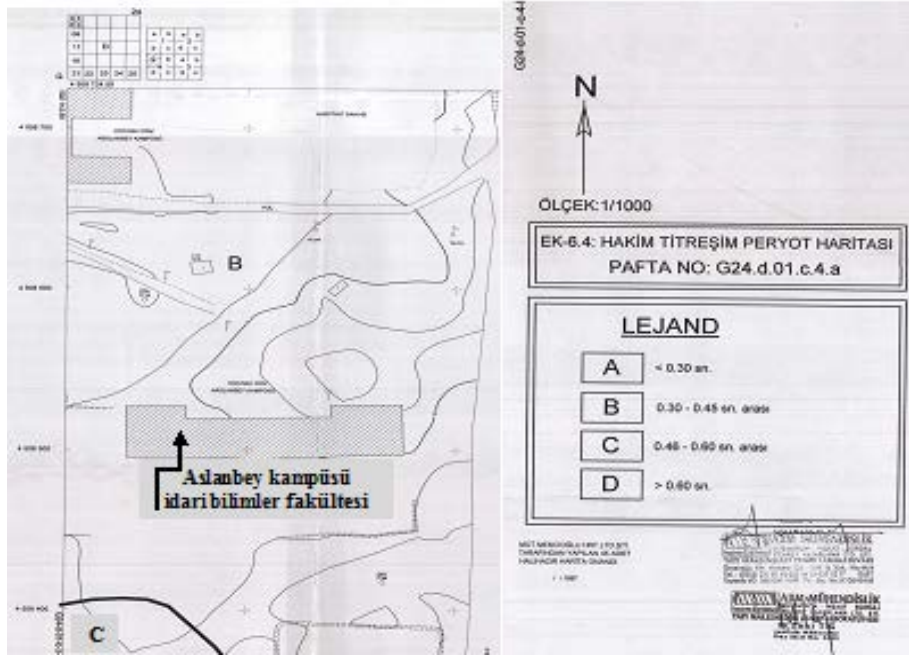
Deprem Rezonans Hasarına Uygulama Örnekleri:

Mexico City 1985 Depremine Uygulama:

Eski bir kurutulmuş göl bataklığı üzerine kurulmuş olan Mexico City’de zeminin hakim periyodunun $T_z=1.5$ saniye olduğu mevkideki 1985 depreminde 6-20 katlı binalarda çok ağır rezonans hasarı oluşmuş bu katların dışındaki daha yüksek katlı binalarda çok az hasar oluşmuştur (Arnold, 2013). Rezonans bölgesi yöntemine göre; Mexico City’deki yapılar yaşlı ve esnek yapılar olduğundan, (Safina, 1996)’ya göre, $C=0.1$ olabileceği kabul edilirse rezonans bölgesi alt sınır kat adedi $N_1=(T_z/C)=((1.5x0.5)/0.1)=7$ ve üst sınır kat adedi $N_2=((T_z/C)=((1.5x1.5)/0.1)=22$ olarak elde edilir ki, bu elde edilen benzer sonuç rezonans bölgesi yönteminin sağlıklı bir yöntem olduğunu açıkça göstermektedir.

Kocaeli 1999 Depremi Uygulaması:

Şekil 3. de Kocaeli Üniversitesi Aslanbey Kampüsü İdari Bilimler Fakültesi binası 1999 deprem hasarı uygulama aşağıdaki gibi yapılabilir. Deprem sarsıntısında 5 katlı binanın yıkılmadığı, fakat çıkmalı ve zayıf kısımların hasara uğradığı fakat bitişik iki katlı binada hiçbir hasar olmadığı şekil 3. (b) de görülmektedir. Aslanbey Belediyesi tarafından ABM firmasına yaptırılan jeolojik ve jeoteknik etüt raporuna göre; Aslanbey kampüs alanında yüzeyde alüvyon ve altında Aslanbey Formasyonu bulunmaktadır. Aslanbey Formasyonu genellikle kumtaşı, kötü tabakalanmalı konglomera, çamurtaşı ve marn ardalılarından oluşan istif içinde bazı düzeylerde beyaz renkli tuf ve yer yer marn, kil, kum, çakıl düzeyleri içeren bir formasyondur. Şekil 15. de görüldüğü gibi, söz konusu hasarlı bina mevkisi zemin hakim periyodu $T_z=0.3-0.45$ içinde ve yerleşime uygunluk haritasında önlemler alanlar içinde yer almaktadır.



Şekil 15. İdari Bilimler Fakültesi mevkiisi zemin hakim periyot haritası.
Figure 15. Soil dominant period map for the administrative sciences faculty site.

Bununla beraber zemin hakim periyodu haritasına göre hasarlı bina $T_z=0.3-0.45$ bölgesi içinde yer almakla beraber hasarlı binaya en yakın T_z kontur eğrisi $T_z=0.5$ saniye eğrisi olmaktadır. Bu nedenle, hasarlı bina zemini için $T_z=0.45-0.5$ saniye alınabilir. Zemin hakim periyodu $T_z=0.45$ saniye alınabilir. Söz konusu bina eski esnek bina olduğundan rijitlik değeri $C=0.1$ veya $C=0.12$ (Wasti, 2015) alınabilir. Bu değerlere göre;

$$T_1=0.5*0.45=0.225 \quad \text{ve} \quad T_2=1.5*0.45=0.675 \quad (18)$$
$$N_1=(0.225/0.10)=2.3 \quad \text{ve} \quad N_2=(0.675/0.10)=7$$

Şekil 3. (b) de deprem sarsıntısında 5 ve 3 katlı binaların yıkılmadığı, fakat çıkmalı ve zayıf kısımların hasara uğradığı fakat bitişik 2 ve tek katlı binalarda hiçbir hasar olmadığı görülmektedir. Bu nedenle Kocaeli Üniversitesi Aslanbey İdari Bilimler Fakültesi binasının 1999 depreminde rezonans hasarı meydana gelmiştir demek isabetli bir değerlendirmedir. Söz konusu fakülte binaları $T_z=0.45$ saniye hakim periyotlu zemin üzerine farklı kat adetlerinde yapılmış olduklarından $N_1=2.3$, $N_2=7$ kat adetleri arasında rezonans bölgesinde yer alan $N=5, 3$, katlı olanlarda rezonans hasarı, $N=2$ katlı olanda rezonans bölgesi dışında yer aldığı için hasar oluşmamıştır.

ZEMİN HAKİM PERİYODU SAPTANMASI

Deprem-zemin-bina üçlü ilişkisinde rezonans hasarının azaltılabilmesi için ilgili uygulamaların sağlıklı olmasında zemin hakim periyodunun öncelikle sağlıklı saptanması gerekmektedir.

Maksimum değere tekabül eden zemin titreşim periyodu olan zemin hakim periyodu (T_z) veya zemin hakim frekansı,

- 1- İvme kaydı fourier genlik spektrumundan,
- 2- Bağlantı olarak sismik kayma dalgası hızı dalga denkleminin çözümünden,
- 3- Çeyrek dalga boyu prensibinden de elde edilebilmektedir.
- 4- Mikrotremör

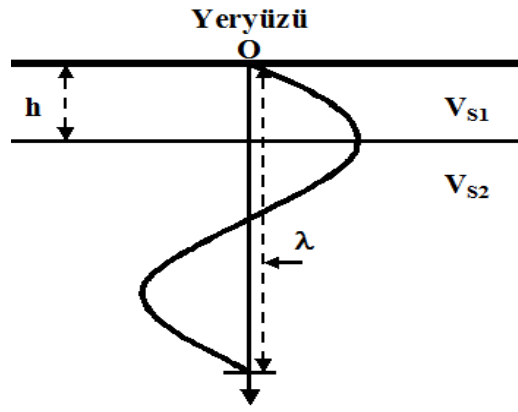
ivme kayıtlarından saptanabilmektedir. Maksimum değere tekabül eden değişimin periyodu olan

zemin hakim periyodu (T_Z) veya hakim frekans Fourier genlik spektrumundan, bağıntı olarak sismik kayma dalgası hızı dalga denkleminin çözümünden veya çeyrek dalga boyu prensibinden de elde edilebilmektedir. Zemin hakim periyodunun kolay elde edilebilmesinin yolu çeyrek dalga boyu prensibidir. İvme spektrumunun en büyük periyoda sahip (temel veya birinci mod) sinüs dalgasının iki katmanlı bir ortamda yayılmasında dalga boyu, λ , birinci katman kalınlığı, h , kayma dalgası hızı, V_{S1} ve T_Z periyodu arasındaki ilişki Şekil 16. den basitçe kurulabilir.

$$\lambda = 4h = V_{S1} T_Z \quad (19)$$

$$T_Z = \frac{4h}{V_{S1}} \quad (20)$$

Zemin hakim periyodu elde edilebilir (Keçeli, 2012)



Şekil 16. Çeyrek dalga boyu ile zemin hakim periyodu saptanması.

Figure 16. Determination of floor dominating period with quarter wavelength.

Bu basit bağıntıdan anlaşılacağı üzere, katman kalınlığı arttıkça veya katmanın kayma dalga hızı küçüldükçe zemin hakim, etkin veya baskın periyodu, yerel ölçümlerde de benzer şekilde saptandığı gibi, büyür. Çok katmanlı ortamlar için zemin hakim periyodu, T_Z ,

$$T_Z = \sum_{i=1}^n \frac{4h_i}{V_{S_i}} \quad (21)$$

Ana kaya üzerinde farklı zemin katmalarının bulunması halinde, her biri için periyotlar ayrı ayrı bulunup $T_0 = T_{01} + T_{02} + T_{03} + \dots$ şeklinde toplama işlemi yapılır. Aytun (2001) ($h_1 + h_2 + h_3 = 120$ metre derinlik için sayısal örnek vererek T_Z saptaması yapmıştır. (20) ifadesindeki h derinliği için herhangi bir sınırlama belirtmemiştir. Deprem ivme kayıtlarından saptanan en büyük zemin etkin periyodu genel olarak alüvyon zeminlerde 1 saniye veya daha küçük, çok nadiren oldukça gevşek suya doymuş zeminlerde 1-2 saniye civarındadır. Aytun'un periyot hesaplaması sismik temel ilkelerine ve pratikte elde edilen değerlerle uyuşmamaktadır.

Keza, bazı uygulayıcılar, sismik kayma dalgası hızlarının 30 metre derinliğe kadar ölçülmesi zorunluluğuna dayanarak ($h_1 + h_2 + h_3 = 30$ metre derinlik için T_Z hesaplaması yapmaktadır. h derinliğinin olması gereken değeri aşağıdaki özelliklere göre saptanabilir:

1. Rayleigh dalgası özelliği,
2. Afet Yönetmeliği,
3. Strong motion kayıtları,
4. Zemin bina periyotları uyumu,
5. Farklı h (kalınlık) periyot değerleri karşılaştırması.

Bilindiği gibi, hasar yaratan deprem sismik dalga türleri enerji yoğunluklarına bağlı olarak Rayleigh Dalgası (yüzeysel dalga) ve kayma dalgası türüdür. Daha büyük genlikli ve daha büyük periyotlu olan yüzeysel dalga etkin genliği yeryüzünden itibaren 40-50 metre civarındaki derinliğe kadar azalarak devam etmektedir. Daha kolay saptanması ve yüzeysel dalga hızı V_R ile kayma dalgası hızı V_S arasında $V_R = 0.92 V_S$ ilişkisinin olması nedeniyle yüzeysel dalga hızı için de kayma dalgası hızının ölçümü yapılmaktadır. Bu bağlamda her iki dalga türünün de etkin periyotları için benzer ilişkinin mevcudiyetinden bahsedilebilir.

Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte verilen Tablo 1. de yerel zemin sınıflamasına göre Z_3 ve Z_4 zemin sınıflarına ait ivme spektrum karakteristik periyot T_A ve T_B değerleri C ve D zemin grupları için katman derinliği 50 metre itibarı ile dikkate alınmaktadır.

Zemin Hakim Periyodu Saptanmasında (h) Derinliğinin Belirlenmesi

Sağlıklı hakim periyot saptanmasında, T_Z 'nin Jeofizik mühendisleri tarafından, T ve C 'nin inşaat mühendisleri tarafından saptanması gerektiğini belirtmekte yarar var. Binaların titreşim veya salınım periyotları esas olarak binanın kütleline, sıklığına, sertliğine, mukavemetine ve boyutlarına (yüksekliğine, enine, boyuna) bağlı olup aşağıdaki deneysel bağıntılarla tanımlanmaktadır. (Chun ve diğ., 2000) 15 katlı ve 40 metre yükseklikli betonarme binanın toplam doğal periyotlarını, $T_{BTOPLAM}$, sırasıyla binanın boyuna 1.92 ve 2.05 saniye ve enine 0.71 ve 0.91 saniye mertebelerinde ölçmüşlerdir. Bu ölçü değerlerine göre bir katın doğal periyodu T_{BRKAT}

$$T_{BRKAT} = \frac{T_{TOPLAM}}{N} = \frac{1.92}{15} = 0.128 \quad T_{BRKAT} = \frac{T_{TOPLAM}}{N} = \frac{2.05}{15} = 0.137 \quad (22)$$

$$T_{BRKAT} = \frac{T_{TOPLAM}}{N} = \frac{0.71}{15} = 0.05 \quad T_{BRKAT} = \frac{T_{TOPLAM}}{N} = \frac{0.91}{15} = 0.06$$

olur. (Goel ve diğ., 2000) bir katın en küçük hakim doğal periyodunu $T=0.035$ saniye ölçmüştür.

(Mario Paz, 1994), 50 metrelik katman kalınlığını dikkate alarak zemin hakim periyodu saptamıştır. Zaho (2011), strong motion ivme sismografi kayıtlarından ve 30 metre derinlik için V_{S30} kayma dalgası hız ölçümünden saptanan zemin hakim periyotlarının karşılaştırmasında $T_Z=0.4$ saniyeden küçük periyotların çok uyumlu olduğunu belirtmiştir.

Yukarıda verilen betonarme binaların ve zeminlerin periyot değişim özelliklerine dayanarak (20) ifadesindeki zemin hakim periyodu (h) derinliği ile bina yüksekliğine bağlı doğal periyodu arasında belirlenmesi için kuramsal bir ilişki aşağıdaki gibi kurulabilir.

Belirliliği hemen hemen kesin doğru olarak bilinen ölçü değerleri sağlıklı ilişkiler elde etmede referans değerler olarak genel bir kullanım tarzıdır. Söz konusu referans değerler burada; ölçülebilen zemin hakim periyodu literatürde verilen en büyük ve en küçük değerler olarak $T_Z = (0.1-2)$ saniyedir, bina doğal periyodu için referans değerler en büyük ve en küçük değerler olarak yukarıda anılan yazarlar tarafından bir kat için verilen $T \cong (0.05 - 0.12)$ saniyedir.

$$T = CN(N=1) = C \quad (23)$$

olacağından bina rijitlik katsayısı $N=1$ için bir katlı bina periyodunu ifade etmektedir. Betonarme binalarda rijitite için $C \cong (0.05-0.12)$ değerleri kullanıldığından

$$T_N = C \{ (3N=H)/3 \} \quad (24)$$

$H=30$ metre yükseklikteki bina için olması gereken en küçük ve en büyük toplam doğal periyodu

$$T_N = 0.05 \times \{ (10=(30/3)) \} = 0.5 \quad (25)$$

$$T_N = 0.12 \times \{ (10=(30/3)) \} = 1.2 \quad (26)$$

Saniye olarak elde edilir. $H=45$ metre yükseklikteki bina için olması gereken en küçük ve en büyük

toplam doğal periyodu

$$T_N = 0.05x \{ (15=(45/3)) \} = 0.75 \quad (27)$$

$$T_N = 0.12x \{ (15=(45/3)) \} = 1.8 \quad (28)$$

saniye elde edilir. Zemin hakim periyodu referans değerleri:

$$V_S > 2000 \text{ m/s için en küçük : } T_Z = 0.1 \quad (29)$$

$$V_S < 100 \text{ m/s için en büyük : } T_Z = 2 \quad (30)$$

Saniye olarak alınabilir. (25) deki 30 metre yükseklikli bina hakim doğal periyodu $T_N = 0.5$, (28) deki $T_{BN} = 0.75$ saniyeye göre (30) deki zemin hakim periyodu $T_Z = 0.1$ saniyeye daha yakın bir değer göstermektedir. (28) daki 45 metre yükseklikli bina hakim doğal periyodu $T_{BN} = 1.8$, (27) daki $T_N = 1.2$ saniyeye göre (29) deki zemin hakim periyodu $T_Z = 2$ saniyeye daha yakın bir değer göstermektedir. Buna göre; rijit, sert zeminlerde $h=30$ m, gevşek, yumuşak zeminlerde $h=50$ m kullanılması daha uygun olduğu sonucu çıkmaktadır. Yukarıda bahsedildiği gibi, Zaho (2011)' nun $T_Z = 0.4$ saniyeden küçük periyoda veya $V_S \geq 500$ m/s den sahip zeminlerin 30 metre derinlik için V_{S30} kayma dalgası hız ölçümünden hesaplanan zemin hakim periyotlarının uyumlu olduğunu belirttiği gibi, burada $T_Z = 0.4$ saniyeden büyük periyoda veya $V_S \leq 500$ m/s den sahip zeminlerin 50 metre derinlik için V_{S50} kayma dalgası hız ölçümünden hesaplanan zemin hakim periyotlarının daha uygun olduğunu belirtmek sağlıklı bir sonuç olmaktadır. Daha açık ifade ile; zemin hakim periyodu hesaplamalarında $V_S > 500$ m/s hızlarına sahip sıkı, sert veya kaya zeminlerde katman derinliği $h=30$ metre alınması, $V_S < 500$ m/s hızlarına sahip gevşek, yumuşak veya çok gevşek zeminlerde katman derinliği $h=50$ metre alınması daha uygun olduğu anlaşılmaktadır. $V_S > 500$ m/s hızlarına sahip sıkı, sert veya kaya zeminlerde katman derinliği $h=30$ metre alınması ile 50 metre alınması halinde elde edilen hakim periyot değerleri arasında önemli bir fark olmamaktadır. Şöyle ki; Tablo 2. de gösterildiği gibi, $V_S = 1000$ m/s lik bir ortamda, (20) bağıntısına göre, $T_{Z30} = 0.12$ saniye, $T_{Z50} = 0.2$ saniye olur. $(T_{Z50} - T_{Z30}) = (0.2 - 0.12) = 0.08$ saniye. $V_S = 200$ m/s lik bir ortamda $T_{Z30} = 0.6$ saniye, $T_{Z50} = 1$ saniye olur. 20 metrelik derinlik farkı sıkı ve sert zeminlerde önemli bir periyot değişikliği yaratmazken, gevşek zeminlerde 20 metrelik derinlik farkı $(T_{Z50} - T_{Z30}) = (0.1 - 0.6) = 0.4$ saniyelik bir periyot farkı oluşturmaktadır ki, bu eksik fark depremlerde çok önemli rezonans hasarları oluşturabilir. Bu bağlamda, 45 metre yüksekliğindeki rijitliği zayıf bir binanın doğal periyodu ile 45 metre derinliğe sahip gevşek zeminin hakim periyodunun hemen hemen aynı değerlere sahip olması nedeniyle, deprem rezonans hasarlarında gevşek zeminlerin hakim periyotlarının sağlıklı saptanması öne çıktığı için h katman derinliğinin toplam 50 metre olarak kullanılması gerekmektedir.

Zemin hakim periyodunun sağlıklı saptanması, yukarıda açıklanan rezonans bölgesi değerlendirmesine göre, yapı kat adedinin veya yüksekliğinin belirlenmesinde çok önemli olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Bununla beraber, Tablo 2. ye göre $h=50$ metre derinlik değerinin kullanılması $h=30$ metre kullanılmasından daha güvenli olacağı anlaşılmaktadır.

Tablo 2. Zemin derinliklerine göre zemin hakim periyotları.
Table 2. Soil dominant periods according to the soil depths.

V_S	T_{30}	T_{50}	$T_{50}-T_{30}$	T_{50}, T_{30}	T_{50}
100	1.2	2	0.8	50	≥ 50
200	0.6	1	0.4		
300	0.4	0.66	0.26		
400	0.3	0.5	0.2		
500	0.24	0.4	0.16		
700	0.17	0.29	0.12	30	
1000	0.12	0.2	0.08		
1300	0.092	0.15	0.06		
1600	0.075	0.13	0.05		
2000	0.06	0.1	0.04		

Sonuç olarak, Tablo 2. ye göre zemin dinamik davranışında 50 metre derinlik etkin olduğu göz önüne alınırsa (3) bağıntısında zemin hakim periyodunun 50 metre derinliğe göre saptanması gerekmektedir. (31) den üç katman için: T_Z zemin etkin periyodu taban formasyonu üzerinde yer alan zemin tabakası farklı kalınlıkları, h_1 , veya h_2 , h_3 olan tabakaların kalınlıklarının toplamı yüzey dalgası 50 metre etkin derinliğine göre sismik kayma dalgası hızından aşağıdaki gibi saptanır.

$$T_Z = \frac{4h_1}{V_{S1}} + \frac{4h_2}{V_{S2}} + \frac{4(50 - (h_1 + h_2))}{V_{S3}} \quad (31)$$

SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar:

1. Deprem-zemin-bina periyot ilişkisinin rezonans oluşturması sinyal analiz yöntemiyle $T_A - T_B$ karakteristik periyot değerleri daha kolay elde edilmektedir.
2. Zemin hakim periyoduna bağlı olarak binaların doğal periyotlarının, kat adetlerinin ve bina rijitlik katsayı değerlerinin değişimine göre rezonans bölgesi dışında kat adedi seçildiğinde binalar rezonans durumundan kolaylıkla uzaklaşabilmektedir.
3. Rezonans Bölgesi Yöntemi arazi ölçü verilerinin sayısal değerlendirmesine bağlı bir yöntemdir. Rezonans bölgesi uygulaması bina tasarım aşamasında kullanılacak alternatif bir yöntem olarak daha realistik bir tasarım yöntemi olmaktadır.
4. Zemin hakim periyodu saptamasında $T_Z < 0.4$ saniyeler veya $V_s \geq 500$ m/s için katman kalınlığı 30 metre ve $T > 0.4$ saniyeler veya $V_s \leq 500$ m/s için katman kalınlığı 50 metre kullanılması gerekmekte olmakla beraber deprem zemin etkin periyodunun hesaplanmasında zemin derinliği 50 metre olarak kullanılması hem bilimsel ve hem de uygulamalarda uyum sağlaması bakımından gerekli olmaktadır.
5. Belediyelerce revize veya imar planlarına esas yaptırılan jeolojik-jeoteknik-jeofizik raporlarında şehir planlama çalışmalarında kullanılmak üzere zemin hakim periyot haritaları hazırlanmalı, Bina Rezonans tahkikleri yapılarak bina yüksekliklerine yönelik bina rijitlik gruplarına göre öneriler getirilmelidir.
6. Şehir imar planlama çalışmalarında bölgelere bina yükseklikleri verilirken mevcut kriterlerine deprem rezonans etkisini de ekleyerek değerlendirme yapımaları rezonans kaynaklı deprem hasarlarını en aza indireyecektir.
7. Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca, deprem hasarlarını azaltmak amacıyla çıkarılan Afet Riski altındaki alanların dönüştürülmesi hakkında kanun gereği riskli yapıların tespit edilmesinde incelenen her bir yapı için rezonans tahkikleri yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

ABM Müh. Müş. Ltd. Şti., Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Aslanbey Belediyesi Revize Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu, Kocaeli, 2005.

ALFARO, PUJADES L. G., GOULA X., SUSAGNA T., NAVARRO M., SANCHEZ J., CANAS J. A., Preliminary Map of Soil's Predominant Periods in Barcelona Using Microtremors: Pure and Applied Geophysics, 158, 2499-2511, 2001.

ANASTASIA K. E., ATHANASIOS I. K., Correlation of Structural Seismic Damage with Fundamental Period of RC Buildings Open Journal of Civil Engineering, 3, 45-67, 2013.

ARNOLD C., Earthquake Effects on Buildings. Chapter 4, Federal Emergency Management Agency, USA. www.fema.gov/.../fema454_ch...2013.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik: T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.

AYTUN A., (2001), Olası Deprem Hasarını En Aza İndirmek Amacıyla Yapıların Doğal Salınım Periyotlarının Yerin Baskın Periyodundan Uzak Kılınması: Uşak İli ve Dolayı (Frigya) Depremleri Jeofizik Toplantısı, (73-82), 2001.

BASHAR A., Shon, Study on the Fundamental Period of Vibration for Buildings with Different Configurations, 2015.

A Thesis Submitted To The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Atilim University In The Department of Civil Engineering.

CHIAUZZI L., MASÌ A. & MUCCIARELLI M., CASSIDY J. F., KUTYN K., TRABER J., VENTURA C. & YAO F., Estimate of Fundamental Period of Reinforced Concretebuildings: Code Provisions vs. Experimental Measures inVictoria and Vancouver (BC, Canada), 15WCEE, 2012.

CHUN Y.S, YANG J.S., CHANG K.K. and LEE L.H., 200, Approximate Estimations of Natural Periods for Apartmentbuildings with Shear-Wall Dominant Systems:12WCEE.

Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, European Standard EN 1998-1:2004, Comité Européen de Normalisation, Brussels, 2004.

GOEL R. K., and CHOPRA A. K., 1997, Period Formulas for Mo- ment—Resisting Frame Buildings, Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No. 11, pp. 1454-1461.

GOEL R.K., Chopra A. K., Improvements in Code Analysis of Buildings Using Motions Recorded, During Earthquakes, Civil and Environmental Engineering , College of Engineering, Berkeley.

HWEI P. H., Fourier Analysis. Simon and Shuster, NewYork, 1970.

KEÇELİ A. D., Uygulamalı Jeofizik JFMO Eğitim Yayınları NO:9, 2012.

KEÇELİ A. D., Neden Jeofizik Mühendisliği Zemin Etütlerinde Zorunlu Olmalı: Jeofizik, 18, 15-28, 2013.

KEÇELİ A.D., CEVHER M., Soil dominant Period and Resonance Relation of Building Height, JEOFİZİK: Vol. 17 No 1-2, 2015.

LAW K.T. and WANG J.G.Z.Q., Siting in Earthquake Zones: Amazon.co.UK, 1994.

MAGDY I. S., Estimation of Period of Vibration for Concrete Moment-Resisting Frame Buildings, Housing and Building National Research Center HBRC Journal, 2014.

MARİO J. R., Seismic Response of Soil – Structure Systems in the Valley of Mexico: Instituto Mexicano del Petroleo.

SAFİNA S., Relationship Soil-Structure Upon Fundamental Dynamics Properties of Ordinary Buildings. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, 1996.

SALİNAS V., SANTOS –ASSUNCAO S., CASELLES O., PEREZ-GRACİA V., PUJADES LI. G., CLAPES J., Effects on the Predominant Periods due to abrupt Lateral Soil Heterogeneities: 15 WCEE LISBOA,2012.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 2018.

WASTİ TANVİR S., UBC Hesap Esasları ve Yeni Türkiye Deprem Yönetmeliği.

ZHAO J. X, Comparison between VS30 and Site Period as Site Parameters in Ground-Motion Prediction Equations for Response Spectra,4th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, August 23–26, · University of California Santa Barbara, 2011.

<http://ees.elsevier.com/hbrcj> Mario Paz, International Handbook of Earthquake Engineering: Codes, Programs, and Examples: PP.: 545 Springer, 1994.

<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12022.pdf>