



SİSMİK ARAZI VERİLERİ ÜZERİNDE SPEKTRUM ÇALIŞMALARI VE  
LİTOLOJİK YAKLAŞIMLAR

(SPECTRAL STUDIES AND LITHOLOGICAL APPROACHES ON  
SEISMIC FIELD DATA)

Yasemin DUMAN\*, Züheyr KAMACI\*

ÖZET/ABSTRACT

Bir sismik sinyalin Fourier Dönüşümü ile frekansa bağlı genlik ve faz spektrumu elde edilir. Genlik spektrumu sinyalin frekans içeriğini oluşturur. Faz spektrumu ise sinyali oluşturan farklı frekanslardaki dalgaların başlangıç durumlarını saptar. Bazı sinyaller vardır ki, bunların genlik spektrumları aynı olduğu halde faz spektrumları farklı olabilmektedir. Bu yüzden bir sismik sinyali tanımlamak için sadece genlik spektrumuna bakmak yeterli değildir. Aynı zamanda faz spektrumu da incelenmelidir. Genlik ve faz veya benzer anlamda spektrumun gerçel ve özellikle sanal bileşenleri arasında bir ilişki kurmak yararlı ve ilginç sonuçlar doğurabilmektedir.

Bu çalışmada, arazide sismik çalışmalar sırasında süreksizlik yüzeylerinden kırılarak gelen sismik sinyallerin Argand diyagramları incelenerek, çeşitli tabakaların litolojik yorumlarına gidilmiştir. Bu çalışmada, yeraltında yayılan cisim dalgalarının Argand diyagramları ile kalitatif olarak ayırt edilebileceği ve farklı litolojilerde farklı Argand diyagramlarının elde edilebileceği ortaya konmuştur. Sismik kırılma kaydı sinyallerinin Argand diyagramları ile yorumu ilk nitelik olması açısından önemlidir.

*The amplitude and phase spectrum of a seismic signal are found by its Fourier Transform as a function of frequency. The amplitude spectrum of the signal reflects the frequency content. On the other hand, its phase spectrum demonstrates the initial starting conditions of the signal at different frequencies. There are some signals with similar amplitude spectrum but different phase spectrum.*

*So, it is not sufficient to define a seismic signal just only by looking at its amplitude spectrum. Therefore, its phase spectrum has to be identified as well. To set up a relation between the amplitude and phase spectrum with their real and imaginary components is useful and can provide interesting results.*

*In this study, the Argand diagrams of seismic refractions were investigated and subsurface lithology was interpreted by using these diagrams. As a result of this study, it was shown that pressure waves could be separated and their Argand diagrams could turn out different for different lithologies.*

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Argand diyagramı, Sismik kırılma, Spektrum  
*Argand diagrams, Seismic refraction, Spectrum*

## 1.GİRİŞ

Sismik veriler üzerinde değerlendirmeler yapılırken, kayıt edilen verinin jeolojik yapıyı olabildiğince yansıtması istenmektedir. Bu nedenle, sismik izi oluşturan sinyalin frekans ortamı enerji dağılımı yani spektrumunun incelenmesi gerekir.

Sismik dalgalar kaynaktan çıkıp kayıtçıya ulaşınca kadar birçok değişikliğe uğrarlar. Bu değişiklikler yayılma ortamı ile kayıtçıya bağlıdır. Uyarıcı noktasından enerji açığa çıktıktan hemen sonra, ortama bağlı olarak değişim başladığından sismik veriler bu  $t=0$  anından itibaren incelenmeye başlanır. Genellikle söz konusu sismik veriler, kayıtçı çıkışlarındaki genliklerin zamana göre değişimleri  $A=f(t)$  olarak düşünülür. Bu noktadan hareket edildiğinde “zaman ortamı” kavramı ortaya çıkar yani sismik veriler zaman bağımlı bir değişkendir.

Zaman ortamında kayıt edilen bir sismik sinyalde bilinmeyen bir çok olay gizlidir. Bu nedenle sinyal, zaman ortamında tek başına yeterli değildir. Analiz için frekans ortamına geçmek gerekir. Zaman ortamında kayıt edilen bir sinyalin Fourier Dönüşümü alınması ile frekans ortamında gerçel ve sanal bileşen değerleri elde edilir. Fourier Dönüşümü ile frekansa bağlı genlik ve faz spektrumları elde edilir. Genlik spektrumu bir sismik sinyalin frekans içeriğini gösterir. Faz spektrumu ise sismik sinyali oluşturan farklı frekanstaki dalgaların başlangıç durumlarını saptar. Genlik spektrumları aynı olduğu halde faz spektrumları farklı olan sismik sinyaller vardır. Bu yüzden bir sismik sinyalin genlik spektrumuna bakmak her zaman yeterli değildir. Aynı zamanda faz spektrumunun da incelenmesi gerekir. Buradan hareketle sismik sinyal spektrumunun, gerçel bileşeni apsis ve sanal bileşeni ordinat olmak üzere çizilen “Argand diyagramları” arasında bir ilişki bulmak, sismik sinyalin kaydedildiği ortamın litolojisinin tanımlaması açısından önemlidir.

Argand diyagramları; jeofiziğin bir çok dalında özellikle Karmaşık Özdirenç ve Karmaşık IP çalışmalarında yön gösterici öge olmuştur. Zonge ve Wynn, Karmaşık Özdirenç çalışmalarıyla, belli frekans aralıklarında Argand diyagramında meydana gelen yanıtı göre saçılmış sülfid ortamı, alterasyon ortamı, tortul ortam gibi litoloji ayrımına gitmişlerdir (Zonge ve Wynn, 1975). Benzer şekilde Snyder ve Kolvoord, saçılmış sülfid içeren yarı-sonsuz tek düze bir yer ortamında, karmaşık özdirenç değişiminin Argand diyagramlarındaki incelemeleri sonucunda, düşük frekanslarda özdirençin sanal bileşeninde değişimin küçük olduğunu gözlemlemişlerdir (Snyder ve Kolvoord, 1980). Kamacı, laboratuvarında çeşitli kayaç numuneleri üzerinde yaptığı araştırmalar sonucunda, gerçel, sanal, genlik ve faz değerlerini her bir kayaç için ayrı ayrı Argand diyagramları ile çizdirmiş ve kalitatif açıdan yorumlamaya çalışmıştır (Kamacı, 1997).

Bu çalışmada, arazide sismik çalışmalar sırasında ara yüzeylerden kırılarak gelen sismik sinyallerin gerek genlik ve faz spektrumları, gerekse gerçel ve sanal bileşenleriyle ilişkili olarak elde edilmiş olan Argand diyagramları incelenmiş ve litoloji yorumlarında, sondaj yapılmadan jeolojik yapı hakkında çok daha doğru yaklaşımlarda bulunulabileceği saptanmıştır. Arı çalışmasından alınan sismik kayıtlardan, tabakaları temsil eden sismik sinyallerin spektrumları incelenmiş ve gerçel ile sanal bileşenler arasında ilişki bulunmaya çalışılmıştır (Arı, 1992). Aynı hız değerine sahip tabakalardan seçilen sismik sinyallerin sanal bileşenlerindeki değişimlerin Argand diyagramlarında farklılığa yol açtığı görülmüştür

## 2. ARGAND DİAGRAMLARI VE LİTOLOJİ TAHMİNİNDE KULLANILMASI

Çeşitli kayaçlar üzerinde alınan sismik hız kayıtlarının faz özelliklerini en iyi şekilde yansıtan ve litolojiye kalitatif açıdan değerlendirme olanağı veren Argand diyagramları, jeofiziğin bir çok dalında yön gösterici öge olmuştur. Ancak, bu çalışmada seçilen sismik

kırılma kayıtları üzerindeki spektrum çalışmaları ve bunlarla ilgili olarak oluşturulan Argand diyagramlarının litolojik yorumu ilk nitelik olması açısından önemlidir. Gerçel bileşen apsis ve sanal bileşen ordinat olarak çizilen Argand diyagramlarını yorumlamak için dalgacıkların faz özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Bilindiği gibi, dalgacıkların faz özelliklerine bakmak için onların Z-Dönüşümlerinin köklerinin tespit edilmesi gerekir. Eğer Z Dönüşümlerinin oluşturduğu polinom köklerinin hepsi birim çemberin dışında ise ilgilenilen dalgacık; “minimum fazlıdır” veya “minimum gecikmeli” bir dalgacıktır. Eğer köklerin hepsi birim çemberin içinde ise o zaman dalgacık “maksimum fazlı” veya “maksimum gecikmeli” olur. Ancak köklerden en az bir tanesi birim çember içinde veya dışında ise o zaman “karışık gecikmeli” veya “karışık fazlı” dalgacık adını alır. Buna göre “n” noktadan oluşmuş bir dalgacığın faz özelliğini inceleyelim.

$$x(t) \rightarrow x(w) \xrightarrow{z = e^{-i w \Delta t}} x(z) \quad (1)$$

$x(t)$ : Dalgacık

$x(w)$ : Dalgacığın Fourier Dönüşümü

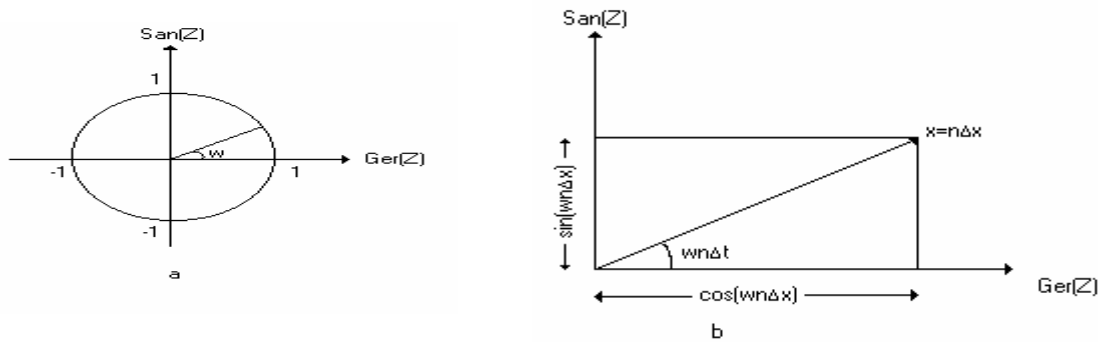
$x(z)$ : Z-Dönüşümü

$$x(w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n \delta(t - n\Delta t) e^{-i w t} dt = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n e^{-i w n \Delta t} \quad (2)$$

$$x(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n z^{-n} \quad (3)$$

bulunur.

Buna göre  $x(t)$  dalgacığının Fourier Dönüşümü Eşitlik 2’de verildiği gibi olacaktır. Bu bağıntıda,  $z = e^{-i w \Delta t}$  olarak alındığında Z-Dönüşümü Eşitlik 3’te verilen hale dönüşecektir. Tüm “w” açısal frekanslar için  $|z|=1$ ’dir. Şekil 1’ de görüldüğü gibi, açısal frekans ‘w’  $-\infty$  dan  $+\infty$  a kadar değiştiğinde z karmaşık değişkeni, z düzleminde yarıçapı  $|z|=1$  birim olan çember üzerinde değer alacaktır. Anlaşılacağı gibi ‘w’ açısı değiştiğinde z düzleminde dönmeli yinlemeler olacaktır. w’nin sıfırdan  $2\pi$ ’ ye kadar değişmesi, z’nin birim çember üzerinde  $2\pi$  ile çakışması anlamındadır. z düzleminde periyodik tekrarlanmalar olur. w sıfırdan  $2\pi/\Delta t$ ’ ye gidince  $z = e^{i w \Delta t} = \cos(w \Delta t) + i \sin(w \Delta t)$  birim çember çevresinde yer değiştirir. Bu yer değiştirme saat akrebinin dönüş yönüne terstir.  $n\Delta t$  zamanındaki vektör  $e^{i w n \Delta t}$  olur. Üstel  $e^{i w n \Delta t}$  fonksiyonu sabit açısal frekans w ile dönen bir birim vektörü göstermektedir.



Şekil 1. (a) Z düzleminde birim çember, (b) Birim vektör ve bileşenleri (Canitez vd., 1987)

$x(z)$ , herhangi bir  $x(t)$  dalgacığının  $z$  dönüşümü olsun;

$x(t)=a,b,c,d$  değerlerinden oluşmuş 4 noktalı bir dalgacık için,

$x(z)=a+bz+cz^2+dz^3$  olur

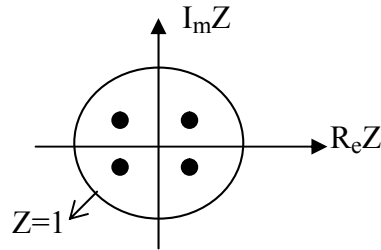
$z=e^{-i\phi}=\cos\phi-i\sin\phi$ ,  $z^2=e^{-2i\phi}$ ,  $z^3=e^{-3i\phi}$ ,  $\phi=wt$  olarak ele alındığında,

$x(\phi)\equiv x(w)=a+b\cos\phi+c\cos2\phi+d\cos3\phi-i(b\sin\phi+c\sin2\phi+d\sin3\phi)$

$\text{Re}X=a+b\cos\phi+c\cos2\phi+d\cos3\phi$

$\text{Im}X=b\sin\phi+c\sin2\phi+d\sin3\phi$  olarak gerçel ve sanal bileşenler elde edilir.

Bu 4 noktalı dalgacığın,  $z$ -düzlemindeki görünümü Şekil 2'deki gibi olduğunu kabul edersek, köklerin hepsi birim çember içinde olduğundan bu dalgacık maksimum fazlıdır veya en büyük gecikmeli dalgacıktır.

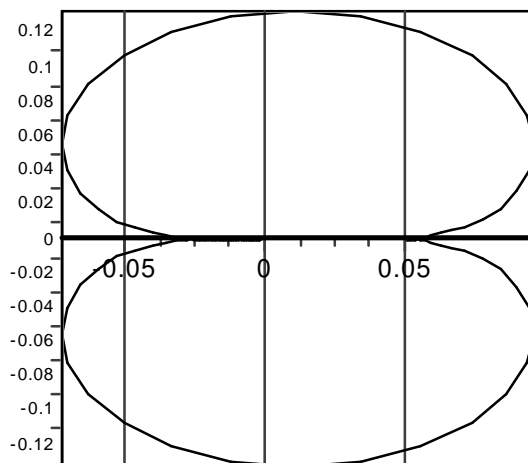


Şekil 2. 4 nokta uzunluklu dalgacığın  $z$ -düzlemindeki görünümü

Görüldüğü gibi dalgacığın uzunluğu az ise köklerinin bulunması sorun olmayabilir. Ancak dalgacık uzun ve köklerin sayısı 50-60 veya daha çok olursa, kökleri tek tek hesaplayıp bunların birim çember içinde veya dışında olduğunu anlamak için dalgacığın Fourier Dönüşümünün  $w$  düzleminde incelenmesi gerekir (Uluğ, 1989). Buna göre  $\phi$  faz açısına  $0^\circ$ - $360^\circ$  arasında değerler vererek  $\text{Re}X$  ve  $\text{Im}X$ ' in aldığı değerler hesaplanmakta ve bunlar grafik olarak çizilmektedir. Reel bileşenin İmajiner bileşene oranı olarak elde edilen grafik "Argand diyagramı"dır.

Çizilen grafiğin orijini  $(0,0)$  etrafında kapalı bir eğri haline dönüp dönmemesi üzerine, dalgacığın faz özelliği belirlenmiştir. Orijin  $(0,0)$  etrafında herhangi bir kapalı döngü yoksa dalgacık minimum gecikmelidir. Fakat kapalı döngü orijin etrafında dolaşıyor ise bu dalgacık artık minimum fazlı değildir.

Argand Diyagramı



Şekil 3. 59 noktadan oluşan en küçük gecikmeli bir dalgacığın Argand diyagramı

Şekil 3'te verilen 59 nokta uzunluklu minimum fazlı bir dalgacığın Argand diyagramına baktığımızda; orijin (0,0) noktası etrafında kapalı bir döngü dolaşmadığı için minimum gecikmeli bir dalgacık olduğunu anlarız. Dalgacığın faz özellikleri Argand diyagramları ile bu şekilde yorumlanabilmektedir.

Arazi verisine ait sismik dalgacığın faz özellikleri ise litolojiye ve katman hızına bağlı olarak değişir. Bu değişimler bize Argand diyagramlarının litoloji tahmininde kullanılabileceği gerçeğini gösterir.

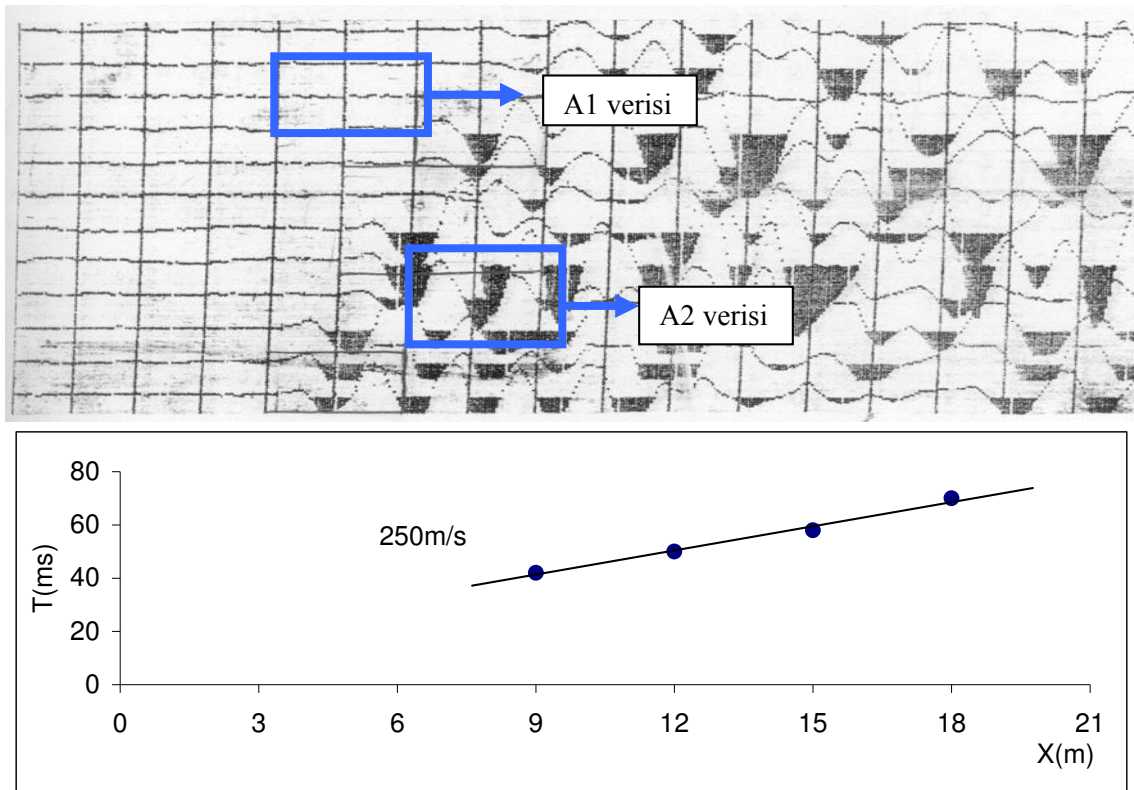
### 3. UYGULAMALAR

Arı çalışmasından alınan sismik kayıtların sırasıyla; zaman-uzaklık grafikleri çizilmiş ve bu grafiklerden yararlanılarak jeolojik birimlere ait olan sismik hız değerleri bulunmuş, tabaka durumları tespit edilmiş ve bu tabakaların litolojileri hakkında yaklaşımlarda bulunmak için sismik kırılma kayıtlarının spektrumlarına bakılmıştır (Arı, 1992).

Buradaki spektrum olayı tamamen sismik dalgacığın faz özelliğini vermektedir. Ancak; gerçel ve sanal bileşenlerin toplamından meydana gelen faz değerlerini en fazla değişikliğe iten sebebin, sanal bileşenlerden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

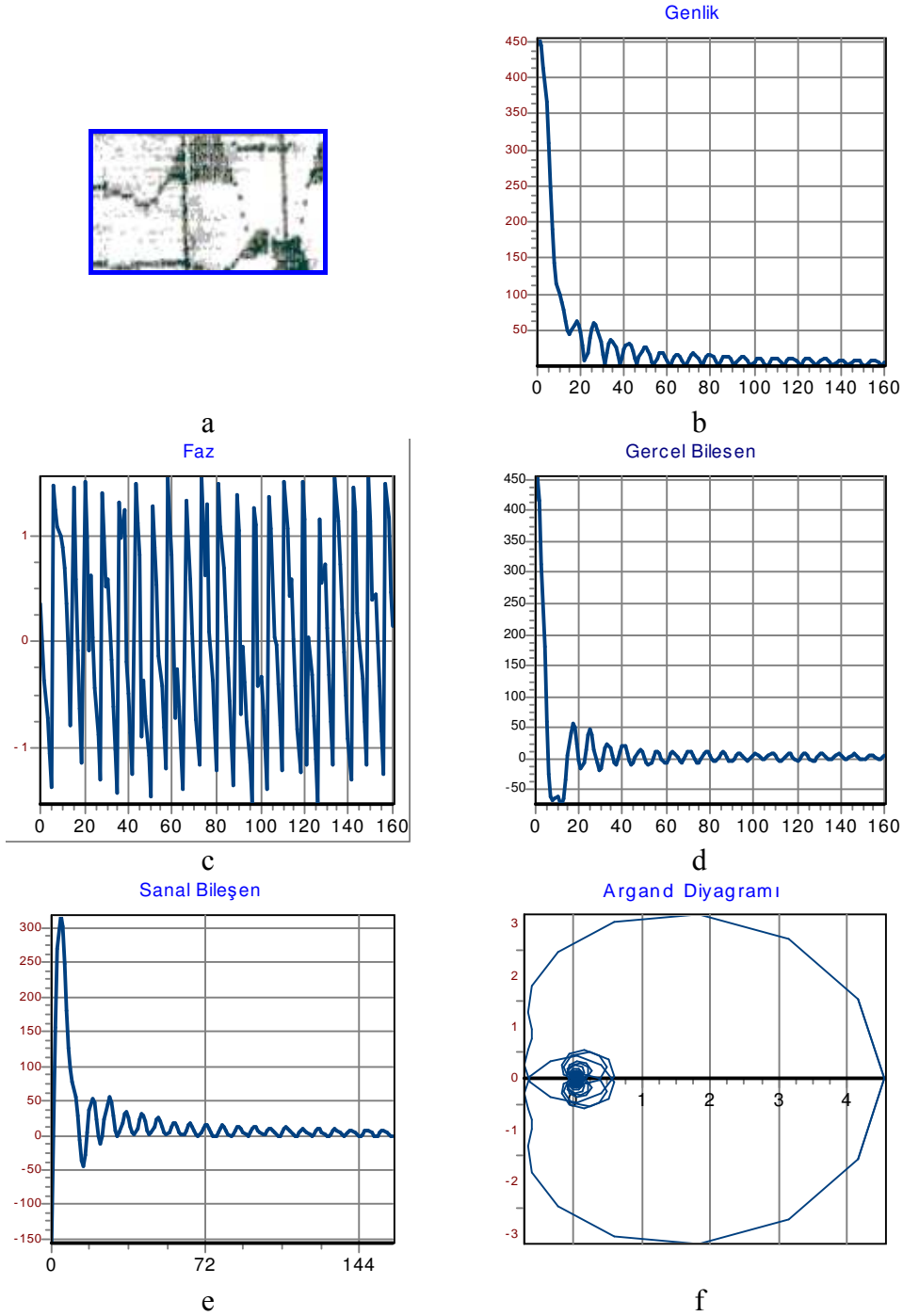
Bu çalışmada kullanılan sismik kırılma kayıtları sinyallerinin, Argand diyagramlarına bakılarak jeoloji açısından çok daha doğru yaklaşımlarda bulunabileceği gerçeği ortaya konmuştur. Ayrıca, bu Argand diyagramlarından yola çıkılarak hangi jeofonların sismik izlerinin, yer altı yayınına açısından hangi tür sismik dalgaya karşılık geldiğini ayırt etme olanağını sağlamıştır.

Bununla birlikte, sismik dalgalar üzerinde varolan sismik gürültülerin düzenli veya düzensiz olduğu durumları bize yansıtma olanağını yine Argand diyagramları vermektedir.



Şekil 4. Süleyman Demirel Üniversitesi kampüs alanı içinde pomza üzerinde alınmış olan boyuna sismik kırılma kaydı ve zaman-uzaklık grafiği (Offset:9m, Jeofon aralığı:3m, Kayıt uzunluğu: 200ms)

Alınmış olan sismik kayıtların kazanç, iz büyüklüğü ve frekans ayarlarının 12 kanal içinde aynı tutulması, boyuna sismik dalga kayıtlarının gerçeği daha net yansıtması açısından önemli bir sonuç sağlamıştır. Varolan jeolojik bilginin, kayıtlardan elde edilen hız ve seçilen dalgacık pencerelerinin spektrumlarıyla kıyaslanmasıyla yorum daha da kolaylaşmıştır.



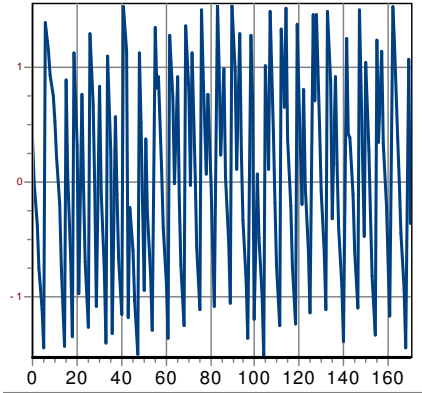
Şekil 5. Seçilen A1 verisi ve spektrumu (Duman, 2000)  
 (a) Sismik Sinyal, (b) Genlik, (c) Faz, (d) Gerçek Bileşen,  
 (e) Sanal Bileşen, (f) Argand Diyagramı]

Süleyman Demirel Üniversitesi kampüs alanı içinde pomza üzerinde alınmış olan boyuna sismik kırılma kaydı değerlendirilerek 250m/s'lik bir hıza sahip olduğu bulunmuş ve 20,40,100Hz'lik jeofon gruplarından 100Hz'lik sinyali temsil eden A1 ve A2 verilerinin spektrumları bulunarak Argand diyagramlarına bakılmış, aynı hız değerine sahip ve aynı tabakayı temsil eden Argand diyagramlarının aynı olduğu görülmüştür.



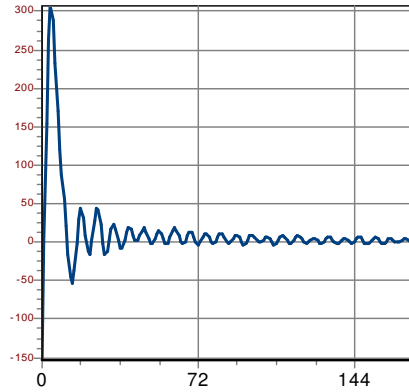
a

Faz



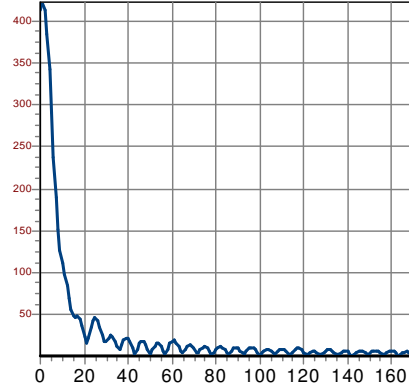
c

Sanal Bileşen



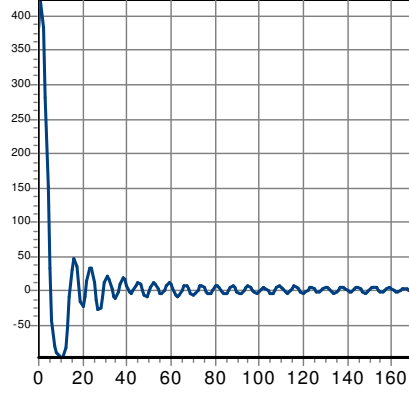
e

Genlik



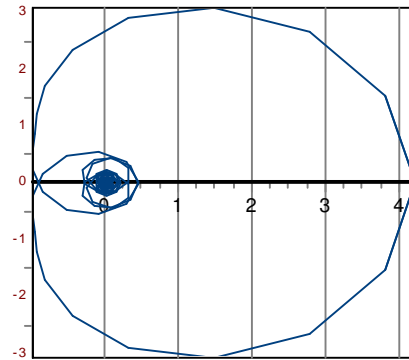
b

Gerçel Bileşen



d

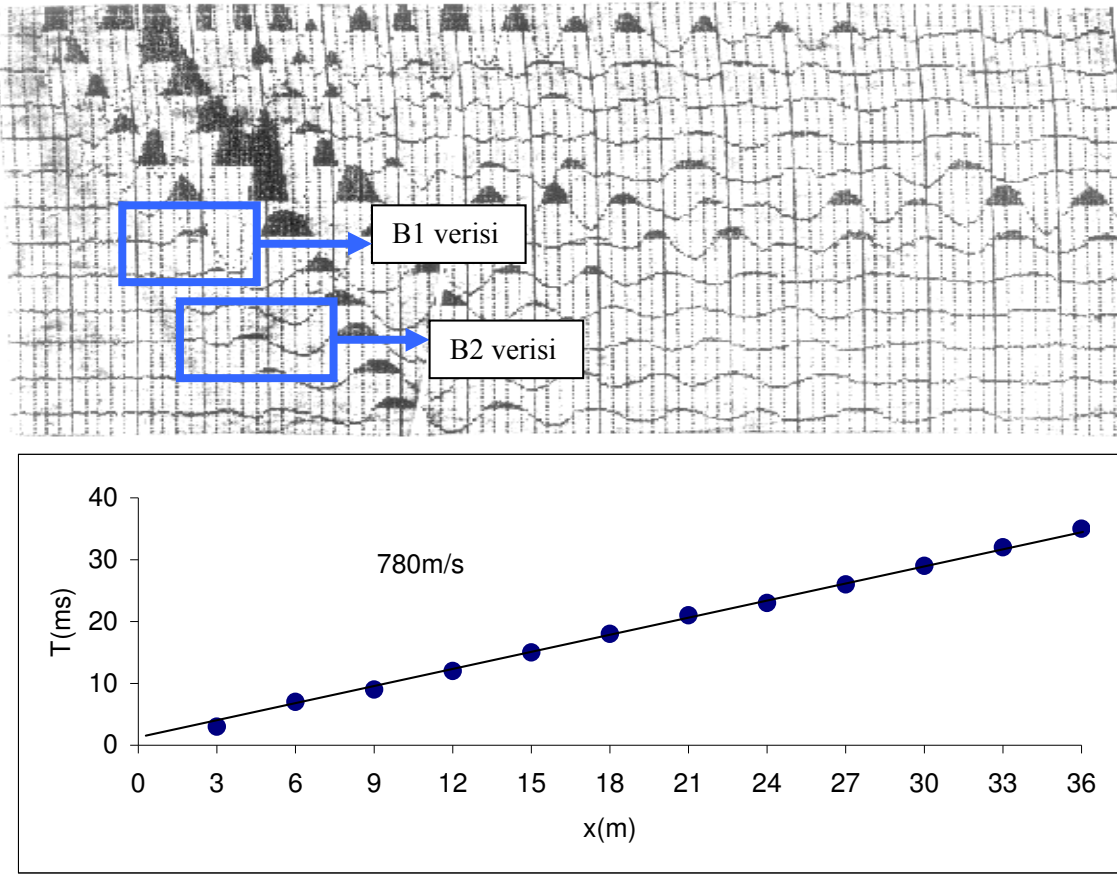
Argand Diyagramı



f

Şekil 6. Seçilen A2 verisi ve spektrumu (Duman, 2000)  
(a) Sismik Sinyal, (b) Genlik, (c) Faz, (d) Gerçel Bileşen,  
(e) Sanal Bileşen, (f) Argand Diyagramı

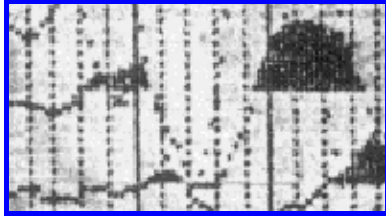
Yine Süleyman Demirel Üniversitesi kampüs alanı içinde Çünür andezit tepesi üzerinde alınmış olan boyuna sismik kırılma kaydı değerlendirilerek 780 m/s'lik bir hıza sahip olduğu bulunmuştur. Bu değerden yola çıkılarak, ileri derecede bozuşmuş çok kırıklı bir geçiş zonu şeklinde bir andezitik yapıdan oluştuğu saptanmıştır. Zaman-uzaklık grafiği değerlendirmesi sonucunda yer altı modelinin tek bir katmandan oluştuğu görülmüştür. Yer altı tek bir katmandan oluştuğuna ve katman hızıda 780 m/s olarak bulunduğuna göre sismik kayıt üzerinde seçilen sinyallerin aynı Argand diyagramlarını vereceği düşünülmektedir. Fakat sismik kayıt üzerinde seçilen B1 ve B2 dalgacık pencerelerinin, sanal bileşenleri arasındaki farklılığın Argand diyagramlarında değişikliğe yol açtığı görülmüştür. Argand diyagramlarındaki bu farklılığın çok kırıklı bir yapıdan ileri geldiği düşünülebilir. Bu iki Argand diyagramları arasındaki benzerlik ise bize yeraltında yayılan sismik dalganın sadece doğrudan geldiğini bir kırılma arz etmediğini göstermektedir.



Şekil 7. Çünür Andezit tepesi üzerinde alınmış olan boyuna sismik kırılma kaydı ve zaman-uzaklık grafiği (Offset:3m, Jeofon aralığı:3m ve Kayıt uzunluğu 200ms)

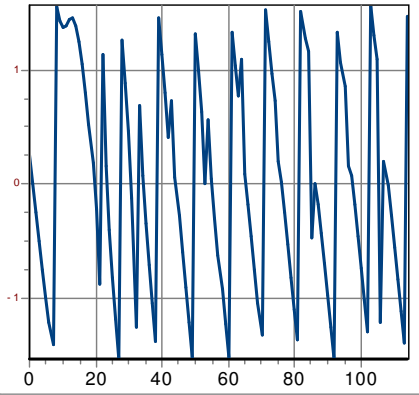
Ayrıca Sismik kayıt üzerinde seçilen dalgacıkların, sayısallaştırılması sırasında örnekleme aralığı seçiminin önemli olduğu bir kez daha görülmüştür. Gelişigüzel örneklenen sismik sinyallerin, Argand diyagramlarında belirgin farklılıklar olduğu saptanmıştır.





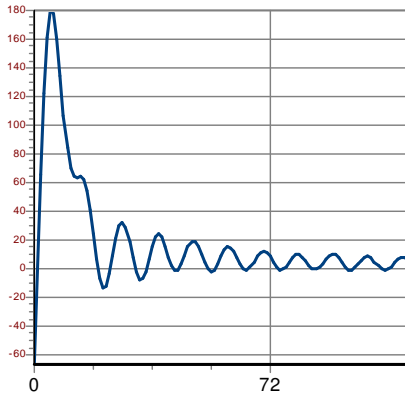
a

Faz



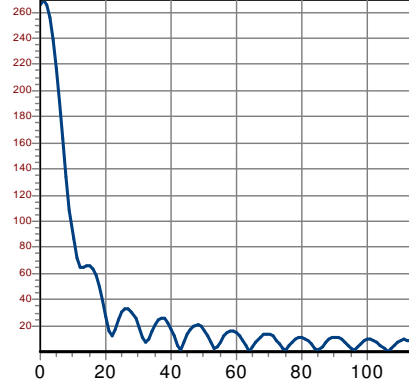
c

Sanal Bileşen



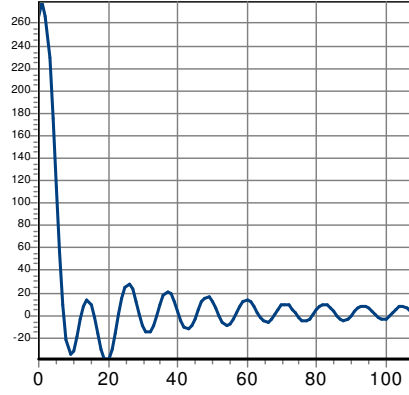
e

Genlik



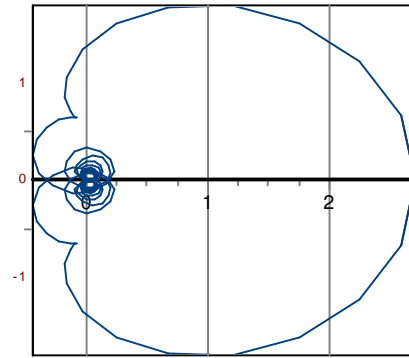
b

Gerçek Bileşen



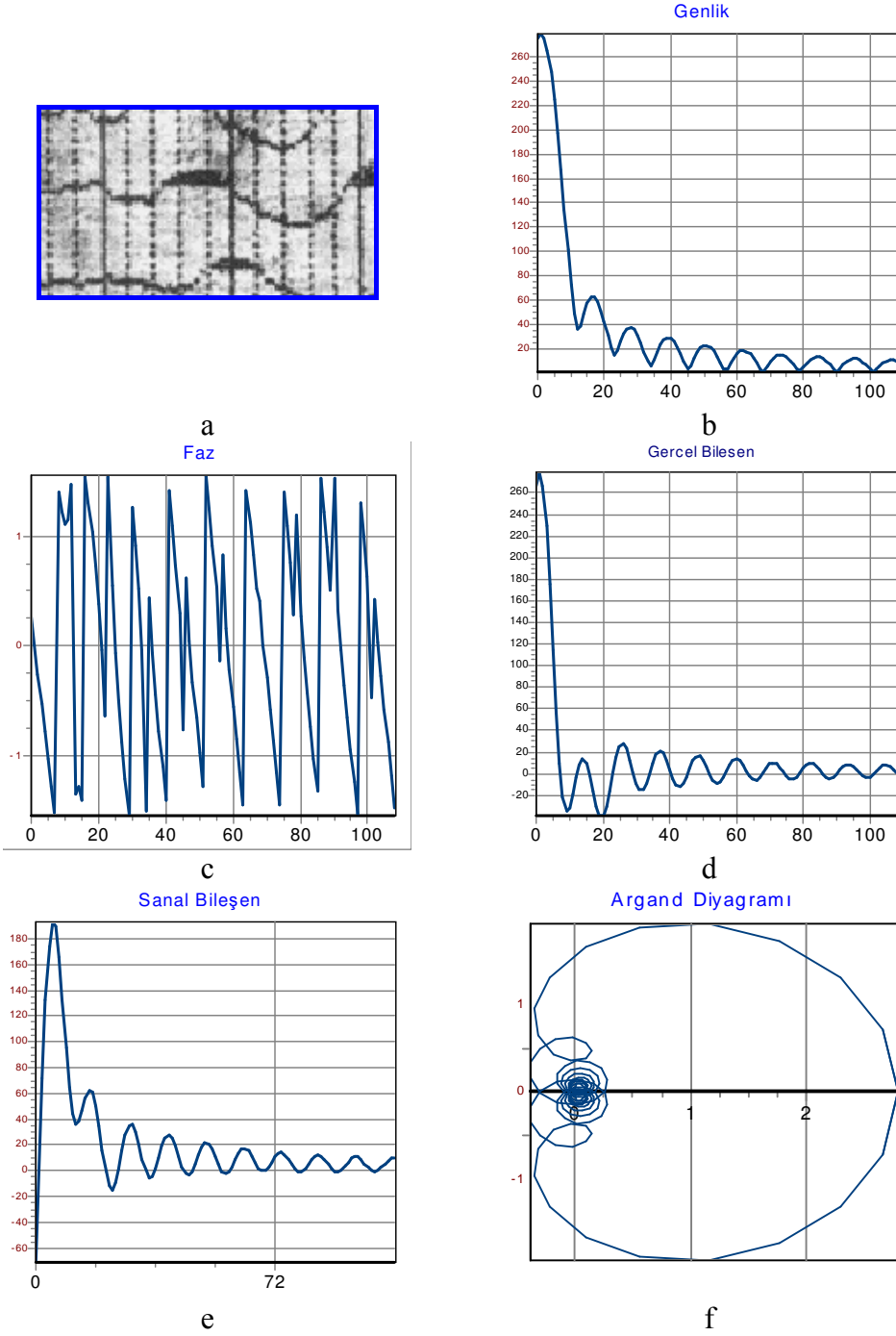
d

Argand Diyagramı



f

Şekil 8. Seçilen B1 verisi ve spektrumu (Duman, 2000)  
(a) Sismik sinyal, (b) Genlik, (c) Faz, (d) Gerçek Bileşen,  
(e) Sanal Bileşen, (f) Argand Diyagramı



Şekil 9. Seçilen B2 verisi spektrumu (Duman, 2000)  
 (a) Sismik sinyal, (b) Genlik, (c) Faz, (d) Gerçel Bileşen,  
 (e) Sanal Bileşen, (f) Argand Diyagramı

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, sismik kırılma kayıtlarından seçilen sismik sinyallerin, Argand diyagramları incelenmiş ve jeoloji açısından somut litoloji yorumlamalarında yaklaşımlarda bulunulabileceği gerçeği ortaya konulmuştur. Özellikle çalışmanın esasını teşkil eden gerçel ve sanal bileşenlerden çeşitli arazi verilerine ait Argand diyagramları çizilerek kalitatif açıdan çeşitli litolojik yaklaşımlarla ilginç sonuçlar elde edilmiştir.

Uygulamada, örnekleme aralığı seçiminin önemi bir kez daha ortaya çıkmış ve gelişigüzel örneklemenin Argand diyagramlarında önemli derecede değişikliklere yol açtığı görülmüştür. Seçilen verilerin spektrumları ise tamamen arazi verisine ait olan dalgacığın faz özelliğini vermektedir. Ancak gerçel ve sanal bileşenlerin toplamından meydana gelen faz değerlerini en fazla değişikliğe uğratan sebebin sanal bileşenden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Aynı litolojik birimlerde alınan ve aynı hız değerine sahip tabakaların vereceği Argand diyagramlarının birbirine benzer olduğu dikkati çekerken, farklı litolojilere sahip verilerde farklı yapı izlenmiştir. Bu benzerlik ve farklılıklar litoloji tahmininde bir parametre olarak kullanılabilir.

Sismik yansıma verilerinde Argand diyagramlarını kullanarak sismik gürültüyü sınıflandırmak ve tanımlamak imkanını verebileceği gerçeği göz ardı edilmemelidir. Bu yüzden böyle bir çalışmanın yapılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Ayrıca bu Argand diyagramlarının sismolojik veriler üzerinde uygulanması halinde kabuk yapısı hakkında etkili sonuçlar elde edilebileceği unutulmamalıdır.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yayına hazırlanması aşamasında görüş ve önerileri ile katkıda bulunan Doç.Dr. Coşkun SARI ve Öğr.Gör.Dr. Zafer Yücel ÖNER'e teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR

- Arı, Ş. (1992): "Sismik Yöntemlerde Zeminlerin Kalite Faktörü Üzerine İncelemeler", AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Y. Lisans Tezi (Yayınlanmamış), 124 s, Isparta.
- Canitez N., Yaramancı O., Özdemir H. (1987) : "Spektral Analiz ve Jeofizik Uygulamaları", TMMOB Jeofizik Müh. Odası Eğitim Yayınları No: 1, 548s.Ankara.
- Duman Y. (2000): "Sismik Arazi Verileri Üzerinde Spektrum Çalışmaları ve Litolojik Yaklaşımlar", SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış) 150s, Isparta.
- Kamacı Z. (1997): "Çeşitli Kayaçlar Üzerinde Spektrum Çalışmaları ile ilgili Litolojik Yaklaşımlar" (Yayınlanmamış). Isparta.
- Snyder D.D., Kolvoord R.W. (1980): "Evaluation of Electrical Techniques for Direct Detection of Hydrocarbons", Exploration Data Consultants (EDCON) and Diversified Exploration Services. Inc, Denver
- Uluğ A., Şalk M. (1989): "Biçim Süzgeçleri Kullanılarak Sismogramlarda Yüksek Ayrımlılığın Sağlanması", 7(1), 155-165, İstanbul.
- Zonge K.L., Wynn J.C. (1975) : "Recent Advances and Applications in Complex Resistivity Measurements", Geophysics, V.40, p. 851-864.