

GRAVİTE VERİLERİNE GÜÇ SPEKTRUMU YÖNTEMİNİN KAYAN PENCERELİ UYGULAMASI

Moving Window Application of the Power Spectrum Method to the Gravity Data

Zafer AKÇİĞ* ve Rahmi PINAR*

ÖZET

Bu çalışmada, gravite model verilerinde güç spektrumunun periodogram yöntemi ile elde edilmesi ve kayan pencere uygulaması ile yeraltı yapılarının topoğrafyasının belirlenmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yöntem, Batı Karadeniz Bölgesi gravite haritasından alınan üç adet profile uygulanmıştır. Elde edilen derinlikler, aynı gravite profillerine Hilbert dönüşüm yönteminin uygulanmasından bulunan derinliklerle karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar bir-biri ile oldukça yakınlık göstermiştir. Söz konusu alanda, anomalie neden olan, uzun dalgaboylu değişime ait kütlelerin derinlikleri ortalama 12.6 - 15.3 km civarında bulunmuştur.

ABSTRACT

In this study, power spectrum of model gravity data was obtained from periodograms and the topography of buried bodies were determined using moving window method. Additionally, this method was applied to the three profiles taken from the gravity maps of the Western Black Sea. The estimated depth values were compared with the depths obtained by applying the Hilbert transforms to the same gravity profiles. The both method have given comparable results. The long wavelength body which causes the anomaly in the area is estimated to be at 12.6 - 15.3 km depth.

GİRİŞ

Potansiyel alan verilerinde modelleme ve ters çözüm yöntemleri yardımıyla belirtiyen neden olan yapıların çeşitli parametreleri (derinlik, kalınlık, kütle, vb.) saptanabilir. Örneğin modelleme yöntemiyle gravitede, jeolojik yapıların özellikleri gözönünde bulundurularak, yoğunluklar atanabilir ve yineleme yardımıyla derinlikler saptanarak gerçek modele ulaşılmaya çalışılır. Ancak, potansiyel alan verilerinin çok çözümlü olma özellikleri gözönüne alındığında, belirtiyen neden olan parametrelerin saptanması bazı güçlükleri de beraberinde getirir. Bu güçlüklerin aşılmasında; istatistiksel bir yaklaşım olan güç spektrumundan yararlanılarak, yapıya ilişkin parametrelerin (derinlik, kalınlık ve genişlik) saptanması oldukça büyük katkılar sağlar. Bu tür ve benzeri katkılar ise dalgasayısı ortamı uygulamalarının, jeofizikte giderek artan oranda kullanılmasına neden olmaktadır.

Dean (1958) ile başlayan dalgasayısı ortamı uygulamaları, Bhattacharyya (1965 ve 1966), Spector ve Bhattacharyya (1966), Spector ve Grant (1970), Green (1972), Hahn ve diğ. (1976), Cianciara ve Marcak (1976) vd. çalışmalarıyla günümüze değin sürmektedir.

Bu çalışmada ise kayan pencere gücü spektrumu uygulaması yardımıyla yeraltı yapılarının topoğrafyası araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda yöntem, önce oluşturulan bir kuramsal model üzerinde sınanmış, daha sonra da Batı Karadeniz Bölgesi gravite verilerine uygulanarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

YÖNTEM

Bu bölümde, güç spektrumu kestiriminin, elde edilmesi ile ilgili temel tanım ve özelliklere kısaca değinilecektir.

Fourier Dönüşümü

Herhangi bir işlev, frekans ortamında gerçel ve sanal bileşenlerinin, toplamı olarak yazılabilir.

$$F(w) = P(w) + iQ(w) \quad (1)$$

(1) bağıntısından yararlanılarak genlik spektrumu

$$A(w) = |F(w)| = (P^2 + Q^2)^{1/2} \quad (2)$$

* D.E.Ü. Müh. Mim. Fak. Jeoloji Müh. Böl. Bornova-İZMİR

şeklinde verilir. Güç spektrumu $S(w)$ ve evre spektrumu $\phi(w)$ ise izleyen bağıntılar yardımıyla tanımlanır.

$$S(w) = |F(w)|^2 = P^2 + Q^2 \quad (3)$$

$$\phi(w) = \arctg(Q/P) \quad (4)$$

Ancak uygulamada genellikle sınırlı uzunlukta ve ayrık verilerle ilgilenildiğinden, Fourier dönüşüm çiftinin sınırlı boyulu olarak yeniden tanımlanması gerekir. Bu tanımlama işlemine girmeden önce de sınırlı uzunlukta veri kavramına kısaca değinmek yararlı olacaktır.

Gözlemsel veriler her zaman belirli bir aralıkta (zaman veya uzaklık) gözlenirler. Bu aralık dışında ise verinin sıfır veya aynı dönem ile yinlendiği varsayılır. Verinin, bu aralık dışında sıfır sayılması ise, sonsuz uzunluktaki $f(x)$ verisinin

$$w(x) = \begin{cases} 1, & |x| \leq T/2 \\ 0, & |x| > T/2 \end{cases} \quad (5)$$

penceresi ile çarpılması anlamındadır.

$$f_T(x) = f(x) \cdot w(x) \quad (6)$$

Evrişim kuramı yardımıyla $f_T(x)$ in Fourier dönüşümü ise,

$$F_T(w) = F(w) * W(w) \quad (7)$$

dır. Bu tanımlardan yararlanılarak da sınırlı uzunlukta veriler için Fourier dönüşüm bağıntısı,

$$F_T(w) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_T(x) \exp(-iwx) dx \quad (8)$$

şeklini alır.

(8) bağıntısında $w = 2\pi f$ olduğundan

$$F_T(w) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_T(x) \exp(-i2\pi fx) dx \quad (9)$$

elde edilir. Uygulamada (9) bağıntısı ile tanımlanan $F_T(f)$ ye Fourier spektrumu adı verilir. Ayrık veri durumunda ise (9) bağıntısı ile tanımlanan Fourier spektrumu

$$\hat{F}_T(f) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f_n \exp(-i2\pi fn\Delta t) \quad (10)$$

şeklini alır (Canitez ve diğ. 1987). Frekans örnekleme Δf olmak üzere sonuçta sınırlı uzunlukta ayrık veriler için Fourier spektrumu

$$\hat{F}_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f_n \exp(-i2\pi k\Delta f n\Delta t) \quad (11)$$

bağıntısı ile tanımlanır.

Güç Spektrumu

Günümüze değin güç spektrumunun, potansiyel alan verilerine uygulanmasına ait çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu araştırmaların sonucunda, değişik geometrik yapıya sahip yeraltı yapılarının dalgasayısı ortamı davranışları ve bunları denetleyen parametreler ortaya konmuştur. Bu parametreler (derinlik, kalınlık, genişlik, vd.) içinde en büyük etkinin

derinlikten kaynaklandığı ve bunun da spektrumunun eğimini denetlediği saptanmıştır (Bhattacharyya 1965 ve 1966, Spector ve Bhattacharyya 1966). Spector ve Grant (1970) bu bulgulardan yararlanarak anomaliye neden olan kütlelerin ortalama derinliklerinin bulunabileceğini göstermişlerdir.

Uygulamada güç spektrumu, periodogram yönteminden veya özilişki fonksiyonunun Fourier dönüşümünden elde edilir. Bu yöntemlere ilişkin ayrıntılı bilgiler, Blackman ve Tukey (1958), Jones (1965), Green (1972), Jenkins ve Watts (1968) de bulunmaktadır.

Gravite yönteminde güç spektrumu ile anomaliye neden olan yapının parametreleri arasındaki ilişki,

$$S(w) = f(w, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \exp(-2wh) \quad (12)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Burada $S(w)$, güç spektrumu; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, yapı parametreleri; h , derinlik ve $f(\dots)$ anomaliye neden olan yapıyı simgeleyen fonksiyondur.

Gelişigüzel süreçlerde (stochastic process) bu bağıntı en genel halde

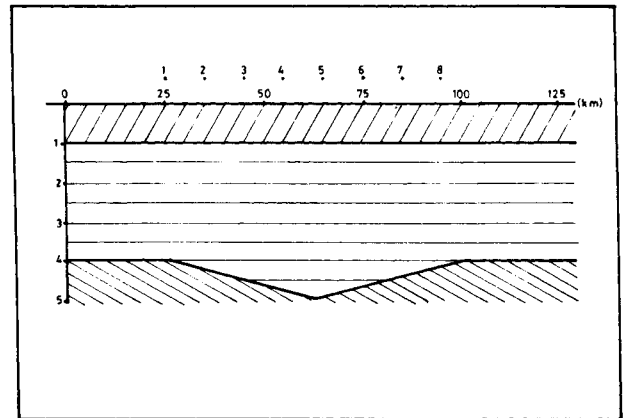
$$S(w) = \sum_{p=1}^P f^p(w, \alpha_1^p, \alpha_2^p, \dots, \alpha_n^p) \exp(-2wh) \quad (13)$$

olarak verilir.

İstatistiksel bir yaklaşım olan spektrum kestiriminin (estimation) sağlıklı olabilmesi ise ancak değişim (variance) ve ortalama karesel hatanın (mean square error) küçük olması ile olanaklıdır. Bu koşulu sağlayan istatistik yaklaşım ise, bir uzay (veya zaman) verisinin spektrumunun elde edilmesinde, verinin tümünün birarada kullanılması yerine, verinin bir pencere fonksiyonu yardımıyla eşit sayıda bölmeye ayrılarak kullanılması şeklindedir. Bu ayırma işlemi yapıldıktan sonra her bölmenin spektrumu ayrı ayrı bulunur ve aynı frekanslardaki değerler toplanıp aritmetik ortalaması alınarak düzgünleştirilmiş spektrum elde edilir. Bu işlem,

$$\bar{S}(w) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R S_r(w) \quad (14)$$

bağıntısı ile tanımlanır (Jenkins ve Watts, 1968). Burada $S_r(w)$, her bölme için güç spektrumu ve R , bölme sayısıdır. Bu yolla elde edilmiş bir spektruma ilişkin sonuçlar Şekil 1 (Cianciara ve Marcak 1976) ve Çizelge 1 de verilmektedir (Jenkins ve



Şekil 1. Spektrum ve düzgünleştirilmiş spektrum kestirimi (Cianciara ve Marcak 1976'dan)

Fig. 1. Estimation of spectrum and smoothed spectrum (after Cianciara and Marcak 1976)

Çizelge 1. Spektrum ve düzgünleştirilmiş spektrum kestirimine ait istatistik parametreler (Jenkins ve Watts 1968'den)

Table 1. Statistical parameters of the spectrum and smoothed spectrum estimates (after Jenkins and Watts 1968)

	Ortalama	Değişinti	Ortalama Karesel Hata
S (w)	0.95	0.826	0.828
S (w)	0.94	0.139	0.143

Watts 1968). Tablonun birinci satırı 400 adet veri kullanılarak elde edilen spektruma ait istatistik özellikleri, ikinci satır ise aynı verinin 50 şer adetlik 8 eşit bölmeye ayrılarak elde edilmiş spektrumuna ait istatistik özellikleri göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, yuvarlatılmış spektrum kestiriminin, değişinti ve ortalama karesel hatasının diğerine göre çok küçük olduğu görülmektedir. Bu sonuç, bizi yuvarlatılmış spektrum kestiriminin diğerine göre daha sağlıklı olduğu düşüncesine ulaştırmaktadır. (14) bağıntısı ile tanımlanan bu yaklaşım (13) bağıntısına uygulanırsa,

$$\bar{S}(w) = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \sum_{p=1}^P f_r^P(w, \alpha_1^{Pr}, \alpha_2^{Pr}, \dots, \alpha_n^{Pr}) \exp(-2wh) \quad (15)$$

elde edilir. (15) bağıntısında,

$$f_r^P(w, \alpha_1^{Pr}, \alpha_2^{Pr}, \dots, \alpha_n^{Pr}) = c^{Pr} = \text{sabit} \quad (16)$$

$$C = \sum_{r=1}^R \frac{1}{R} \sum_{p=1}^P c^{Pr} \quad (17)$$

dönüşümleri yapılırsa, (16) bağıntısı

$$S = C \cdot \exp(-2wh) \quad (18)$$

şeklini alır.

(18) bağıntısının her iki tarafının logaritması alınarak gerekli düzenlemeler yapılırsa, anomaliye neden olan yapılarla ilişkin ortalama derinlik

$$\bar{h}_i = \frac{\ln S(W_{i+1}) - \ln S(W_i)}{2(W_{i+1} - W_i)} \quad i = 1, 2, \dots \quad (19)$$

bağıntısından yararlanılarak bulunur.

Kayan Pencere Uygulaması

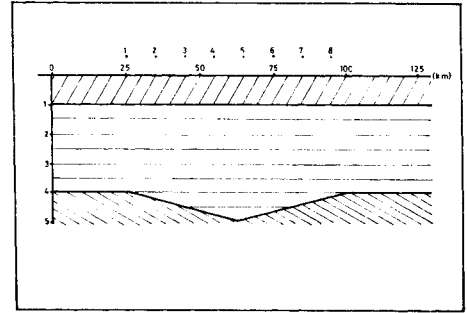
(15) bağıntısından elde edilen düzgünlenmiş spektrum kestiriminden yararlanılarak, (19) bağıntısından bulunan ortalama derinlik, spektrumun hesaplandığı verinin boyuyla doğrudan ilişkilidir. Bu bulgudan ve (14) bağıntısı ile tanımlanan spektrum kestiriminin düzgünleştirilmesi yaklaşımından yararlanılan Cianciara ve Marcak (1976) bir profil boyunca hesaplanmış gravite verisinin spektrumunu, kayan pencere yardımıyla elde etmişlerdir. Uygulamada, seçilen pencereyi her adımda, pencere boyunun yarısı kadar kaydırmışlar ve bulunan derinlikleri, pencerenin ortasına atamışlardır. Bu şekilde

bulunan derinliklerden yararlanarak da anomaliye neden olan yapının topoğrafyasını belirlemişlerdir. Uygulamada, sağlıklı bir kestirim için kullanılacak bilgi penceresinin boyunun, araştırma derinliğinin yaklaşık 10 katı olması gerektiği önerilmektedir (Cianciara ve Marcak 1976).

Bu çalışmada ise, birinci adımda belli bir topoğrafyaya sahip model yapının oluşturacağı gravite anomaliyi Talwani ve diğ. (1959) dan yararlanarak hesaplanmıştır. Elde edilen kuramsal verilere kayan dikdörtgen penceresi uygulanmıştır. Böylece periodogram yöntemiyle güç spektrumları bulunmuştur. Elde edilen güç spektrumundan yararlanarak da saptanan derinlikler, her pencerenin ortasına atanmış ve model yapıya ilişkin topoğrafya belirlenmeye çalışılmıştır. İkinci adımda ise yöntem Batı Karadeniz Bölgesi gravite verilerine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, aynı yörede Pınar (1983)'ün Hilbert dönüşümlerinden elde ettiği bulgularla karşılaştırılmıştır.

UYGULAMA

Uygulamanın ilk adımında Şekil 2'de görülen model yapının profil boyunca oluşturacağı gravite anomaliyi Talwani



Şekil 2. Kuramsal model yapı

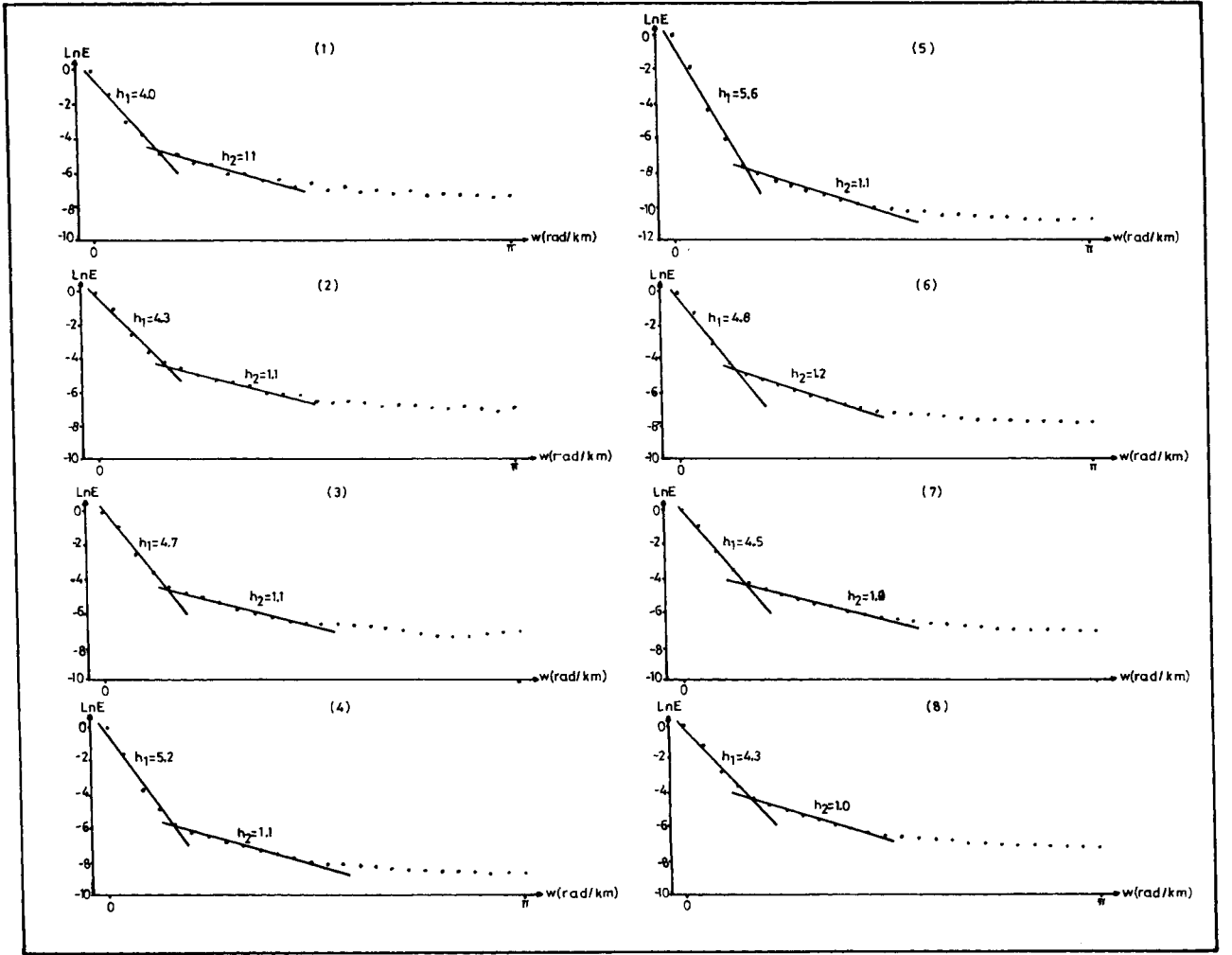
Fig. 2. Theoretical model structure

ve diğ. (1959)'den yararlanarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu verilerde, kullanılacak kayan pencere boyu 50 km ve kayma miktarı 10 km olarak seçilmiştir. Daha sonra her birim kayma için, seçilen bilgi penceresi içinde kalan verilerden yararlanarak elde edilen güç spektrumlarından ortalama derinlikler saptanmıştır (Şekil 3). Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, spektrum kestiriminden elde edilen derinliklerin model yapıya ilişkin derinliklerle uyumlu olduğu ve bu derinliklerin de model yapının topoğrafyasını iyi bir şekilde yansıttığı gözlenmiştir.

Önceki bölümde, seçilecek bilgi penceresinin boyunun, öngörülen araştırma derinliğinin yaklaşık 10 katı olması önerilmişti. Burada gerçekleştirilen model uygulamasında ise, modeldeki en derin kesimin 5 km olmasına karşın saptanan en büyük derinlik 5,6 km'dir. Benzer sonuçlara Cianciara ve Marcak (1976)'nın uygulamasında ve Batı Karadeniz Bölgesi gravite verilerinde de rastlanmıştır. Bu durum ise önerilen bilgi penceresi boyunun kesin bir kriter olmayıp, deneme-sınama sonucu saptanan bir yaklaşım olmasından kaynaklanmaktadır.

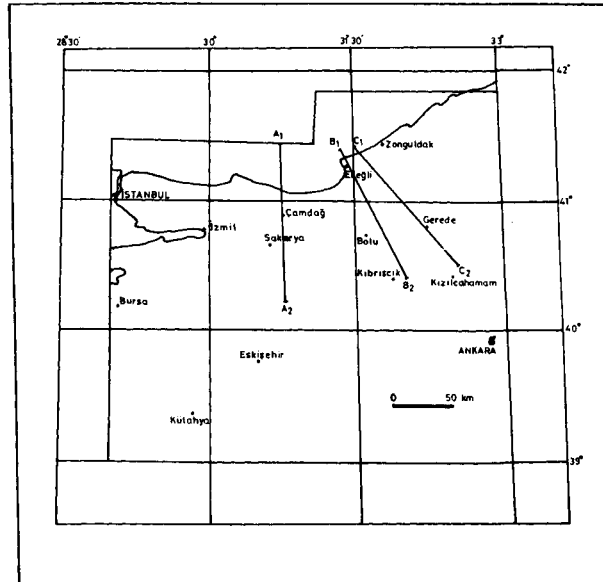
İkinci adımda ise yöntem Batı Karadeniz Bölgesi Bouguer gravite haritasından alınan üç profil üzerinde denenmiştir (Şekil 4). Uygulamada pencere boyu 127.5 km ve kayma miktarı da 25 km seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5, 6 ve 7'de verilmektedir.

Şekiller incelendiğinde bu profiller boyunca anomaliye neden olan üç değişik derinlik seviyesinin varlığı gözlenmektedir. Her profilden elde edilen derinlik seviyeleri de birbirleri ile uyum içindedir. Saptanan bu derinlikler incelendiğinde, en derin seviyeler için ortalama derinlikler Çizelge 2'de verilmektedir. Aynı profiller boyunca, Pınar (1983) tarafından gerçek-



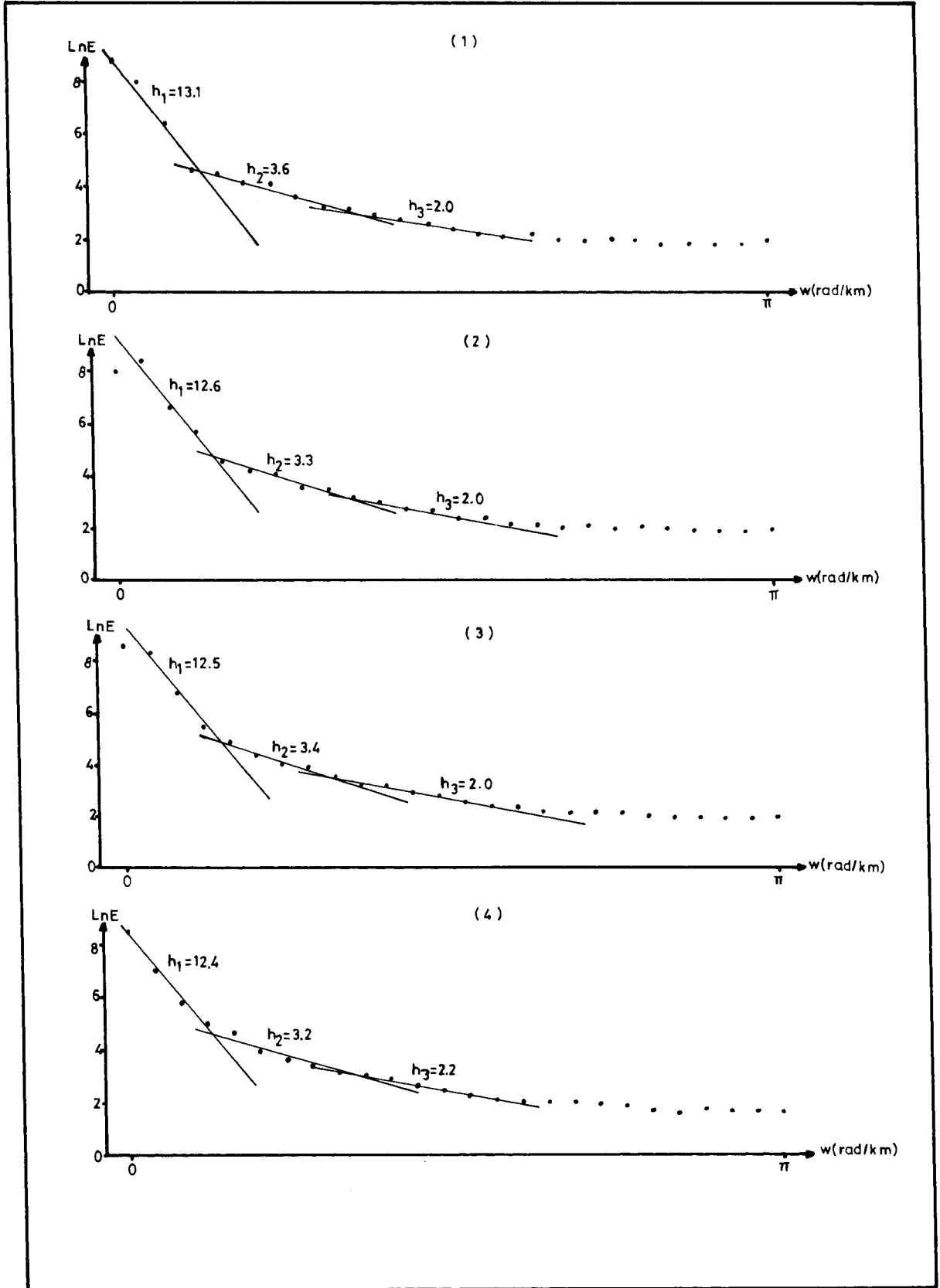
Şekil 3. Kayan pencereyi güç spektrumunun model yapıya uygulanması

Fig. 3. Application of moving windowed power spectra of the model structure



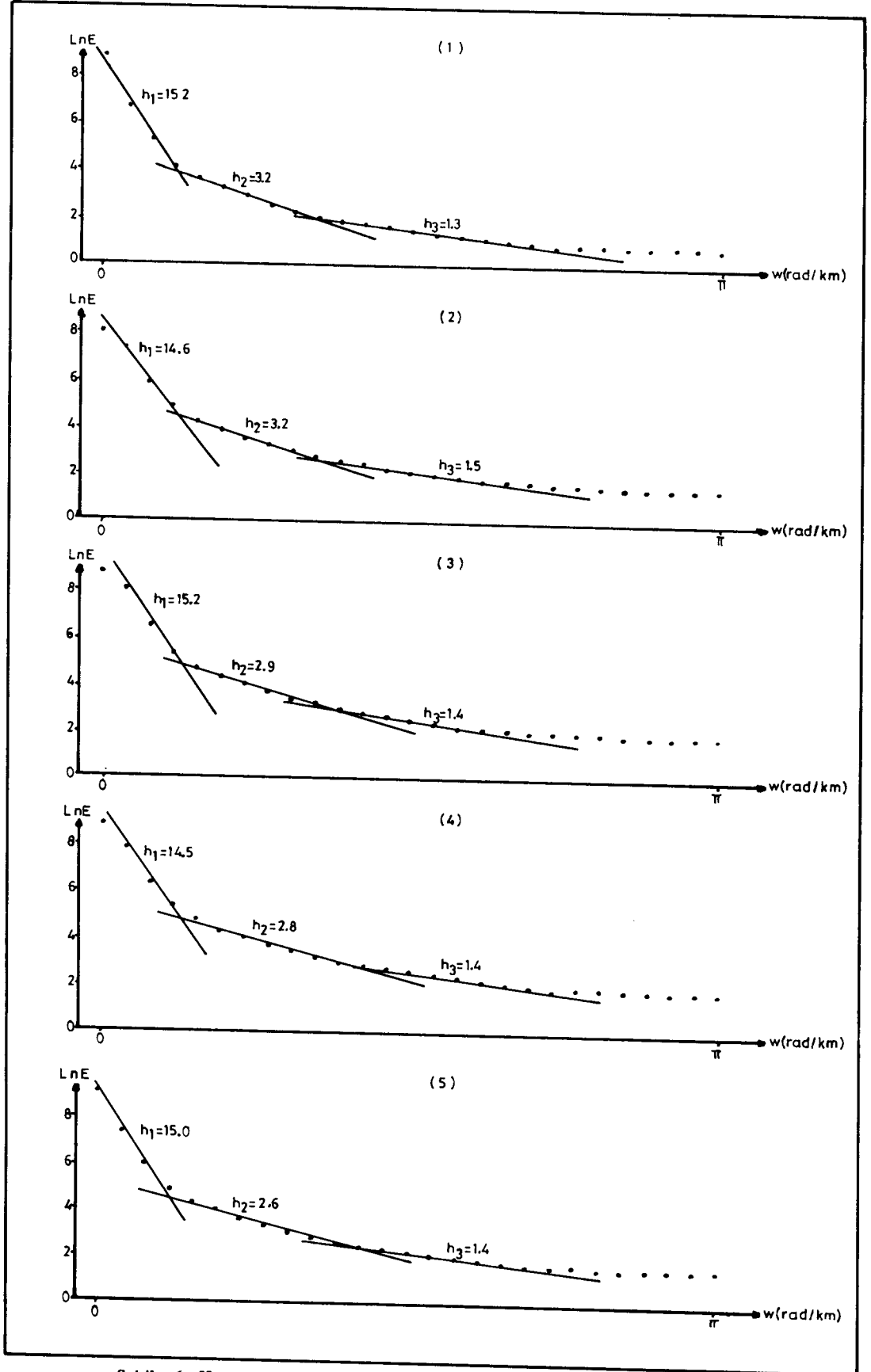
Şekil 4. Yerbulduru haritası

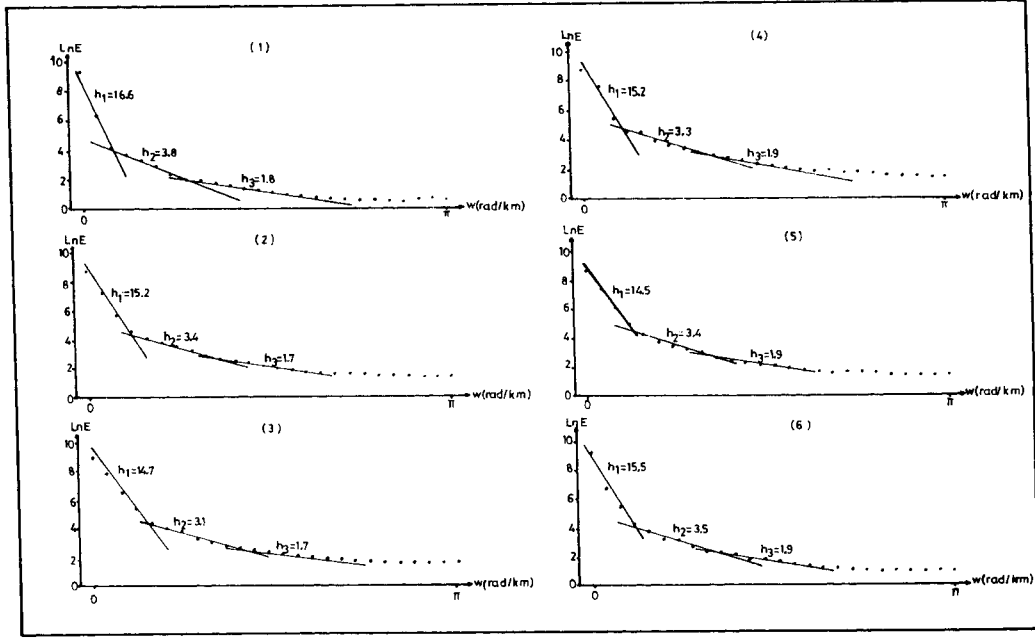
Fig. 4. Location map



Şekil 5. Kayan pencere li güç spektrumunun A_1 - A_2 kesidine uygulanması

Fig. 5. Application of moving windowed power spectrum to the profile A_1 - A_2

Şekil 6. Kayan pencereci güç spektrumunun B_1 - B_2 kesidine uygulanmasıFig. 6. Application of moving windowed power spectrum to the profile B_1 - B_2

Şekil 7. Kayan pencereci güç spektrumunun C_1-C_2 kesidine uygulanmasıFig. 7. Application of moving windowed power spectrum to the profile C_1-C_2 Çizelge 2. Ortalama derinlik değerleri
Table 2. The mean depth values

Kesitler	Derinlik (km)
A_1-A_2	12.6
B_1-B_2	14.9
C_1-C_2	15.3

Çizelge 3. Ortalama derinlik değerleri
(Pınar 1983'den)
Table 3. The mean depth values
(after Pınar 1983)

Kesitler	Derinlik (km)
A_1-A_2	12.15
B_1-B_2	15.6
C_1-C_2	15.34

leştirilen, Hilbert dönüşümleri kullanılarak yatay süreksizliklerin saptanmasına yönelik çalışma sonucu saptanan derinlikler Çizelge 3'de görülmektedir. Her iki tablo incelendiğinde kullanılan iki ayrı yöntemle aynı profiller üzerinde yapılan uygulamadan elde edilen derinlikler oldukça iyi bir uyum sunmakta ve Pınar (1983) tarafından öngörülen yoğun kütleli batıya doğru yüzeye yaklaşması savını da desteklemektedir.

SONUÇLAR

Yapılan değişik uygulamalar sonucu, kayan pencereci güç spektrumunun gerek model veriler üzerinde ve gerekse de arazi verilerinde başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Yöntem, özellikle yeraltı topoğrafyasının belirlenmesinin önem kazandığı çalışmalarda rahatlıkla uygulanabilir.

Batı Karadeniz Bölgesi gravite verilerine, Hilbert dönüşümü uygulanması sonucu, anomaliye neden olan yapının batıya doğru yüzeye yaklaştığı saptanmıştır. Aynı sav, bu çalışma sonucu elde edilen bulgularla da desteklenmiştir.

Modelleme ve ters çözüm gibi yineleme yoluyla yapı parametrelerinin saptanmasına yönelik yöntemler jeofizikte yaygın olarak kullanılır. Kayan pencereci güç spektrumu uygulaması, bu tür çalışmalarda ilk kestirim değerlerinin atanmasında büyük katkılar sağlayabilecek niteliktedir.

Uygulamada, bilgi penceresi boyunun seçimi ile ilgili öneri (10h), kesin bir kriter olmayıp, deneme sına sonucunda saptanmış bir yaklaşımdır. Bu nedenle uygulamada, öngörülenden daha büyük derinliklerinde saptanabileceği gözardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

- Bhattacharyya, B.K. 1965, Two dimensional harmonic analysis as a tool magnetic interpretation, *Geophysics* 30, 829-857.
- Bhattacharyya, B.K. 1966, Continuous spectrum of the total magnetic anomaly due to a rectangular prismatic body, *Geophysics* 31, 97-121.
- Blackman, R.B. and Tukey, C.W. 1958, *The Measurement of Power Spectra*, Dover Publications, New York.
- Cantez, N., Yaramancı, U. ve Özdemir, H. 1987, *Spektral Analiz ve Jeofizik Uygulamaları*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No: 1, Ankara.
- Cianciara, B. and Marcak, H. 1976, Interpretation of gravity anomalies by means of local power spectra, *Geophysical Prospecting* 24, 273-286.

- Dean, W.C. 1958, Frequency analysis for gravity and magnetic interpretation, *Geophysics* 23, 97-127.
- Green, A.G. 1972, Magnetic profile analysis, *Geophys. J.R. Astr. Soc.* 30, 393-403.
- Hahn, A., King, E.G. and Mishra, D.C. 1976, Depth estimation of magnetic sources by means of Fourier amplitude spectra, *Geophysical Prospecting* 24, 287-308.
- Jenkins, G.M. and Watts, D.G. 1968, *Spectral Analysis and Its Applications*, Holden-Day, San Fransisco.
- Jones, R.H. 1965, A reappraisal of the periodogram in Spectral Analysis, *Technometrics* 7, 531-542.
- Pınar, Ö.R. 1983, Doğrusal Dizge Kuramının Potansiyel Alanlara Uygulanması, Doktora tezi, DEÜ Fen Bil. Enst., İzmir.
- Spector, A. and Bhattacharyya B.K., 1966, Energy spectrum and autocorrelation functions of anomalies due to simple magnetic models, *Geophysical Prospecting* 14, 242-272.
- Spector, A. and Grant, F.S. 1970, Statistical models for interpreting aeromagnetic data, *Geophysics* 35, 293-302.
- Talwani, M., Worzel, L. and Landisman, M. 1959, Rapid gravity computation for two dimensional bodies with applications to the Mendocino Submarine fracture zone, *Jour. of Geophys. Res.* 64, 49-59.