21
79/5T
c.1

AKKUYU NÜKLEER SANTRALI
YANKILAŞIM ÇALIŞMASI

DENİZ ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ
ORTA DOĞU TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ

İÇEL

TEMMUZ 1980

ODTÜ-DBB KÜTÜPHANESİ
METU-DMS LIBRARY

İÇİNDEKİLER

Bölüm:	Sayfa:
İçindekiler	
Şekiller	
1. GİRİŞ	1
1.1 Genel	1
1.2 Literatür Özeti	1
1.2.1 Mekanik Sistemler	1
1.2.2 Yarı-Sonsuz Su Kütleleri ve Kıta Sahanlığı Yankılaşımı	1
1.2.3 Yarı-Sonsuz Su Kütleleri ve Liman Yankılaşımı	2
2. ÇÖZÜMLEME YÖNTEMLERİ	4
2.1 Amaç	4
2.2 Çözümleme Yaklaşımı	4
2.3 Sonlu Farklar Modeli	5
2.4 Doğu Akdeniz Baseni Modeli	5
2.5 Akkuyu Koyu Modeli	6
2.6 Sayısal Filtreleme	7
3. SONUÇLAR	8
3.1 Doğu Akdeniz Baseni	8
3.1.1 İki Boyutlu Yayılım Şekilleri	8
3.1.2 Zaman Serileri	10
3.1.3 Frekans Özellikleri	22
3.1.4 Nükleer Santral Yakınındaki Salınımlar	26
3.2 Akkuyu Koyu	28
4. İRDELEMELER	38

ŞEKİLLER

Şekil		Sayfa:
1.1	Kıyının yanındaki yarı-sonlu bir su kütlesinin tabii salınım modları	3
3.1	Doğu Akdeniz Baseni Modeli için model alanı ve analizlerin yapıldığı istasyonlar	9
3.2	R-1 Kaynağından Tsunami'nin başlamasından t = 4000 sn. sonraki dalga yayılım şekli.	11
3.3	R-1 Kaynağından Tsunami'nin başlamasından t = 60.000 sn. sonraki dalga yayılım şekli.	12
3.4	2-36 No:lu istasyonlarda su düzeyi zaman serileri	13
3.5	Şekil 3.4'deki zaman serilerinin genlik spektrumları	23
3.6	İstasyon 10'da bandlı filtreden geçirilmiş su düzeyi zaman serisi, F_L = 0.0650 cpm., F_U = 0.0750 cpm.,	29
3.7	Kilikya Baseninde yankılaşan salınımların kanal kesitindeki mod genlikleri	30
3.8	Diktörtgen kesitli kıta sahanlığı olan kapalı bir kanalda yankılaşan salınımların mod genlikleri	31
3.9	Akkuyu koyu modeli için alanı ve analizlerin yapıldığı istasyonlar	33
3.10	Akkuyu koyu modeli için sınır şartları ve büyüme oranları.	34

1.GİRİŞ

1.1 Genel

Bu çalışma daha önce Deniz Araştırma Enstitüsünün (DAE) Türkiye Elektrik Kurumu için (TEK) yaptığı, ve öngörülen Akkuyu Nükleer Santral yeri yakınında tsunami salınımlarının bulunması araştırmasının devamıdır.

"Akkuyu Nuclear Power Plant Tsunami Study" başlıklı rapor (TS1) Türkiye Elektrik Kurumu'na Mart 1979'da verilmiştir. Bu çalışmada değişik tsunami kaynak bölgeleri alınmış ve santral yerindeki en yüksek ve en düşük su düzeylerini saptamak üzere Akkuyu'da dalga hareketleri incelenmiştir. Kıta sahanlığının ve koyun özel geometrilerinin sebep olabileceği yankılaşım (rezonans) ihtimallerini değerlendirmek ve sonuç olarak tsunami dalgalarının büyüme oranlarını bulmak için bu çalışmanın devamı istenmiştir. TS1'de elde edilen önceki sonuçların yol göstermesi ile bu çalışmada ilgilenilen frekans aralığı 10-15 dakikadan büyük periyodlu dalgalara karşı gelecek şekilde seçilmiştir.

1.2 Literatür Özeti

1.2.1 Mekanik Sistemler:

Yankılaşım olayı mekanik sistemlerde olabildiği gibi akışkanlarda da görülmektedir. Bir su kütlesinin yankılaşımına en yakın analoji bir kütle-yay sisteminde bulunabilir. Bir yayın ucuna bağlanan kütlenin sadece bir serbestlik derecesi ve dolayısıyla sadece bir tek doğal frekansı vardır. Bu frekansta zorlanan salınımlar sınırsız büyümeye uğrar. Bu sisteme bir de sönümleyici eklenirse sürtünme enerji kayıpları sebebiyle hareket sönümlenir ve yankılaşan salınımlar sınırlı olur. Birden fazla eleman olan mekanik sistemlerde, örneğin yaylarla birbirine baglanan kütlelerde, sistemin doğal frekanslarının sayısı serbestlik derecesine orantılı olarak artar. Böylece bağımsız kütle-yay sistemlerinin birbirine bağlanması yeni etkiler yaratır. Bağımsız sistemlerin doğal frekansları diğer sistemlerin etkisiyle kaymalara uğrar. Bazı özel frekanslarda ise sistem içersindeki bir kütlenin salınımlarını sıfırlamak mümkün olmaktadır; bu durumda kütlenin enerjisi diğer elemanlara aktarılmaktadır.

Ayrıca, biribirine bağımlı iki sistem elemanının doğal frekansları birbirine yakınsa, sonuçta sistemin salınımları fark frekansında modülasyona uğrar. Böylelikle sistem başlangıç şartları olan bir salınıma zorlanırsa, sistemin bir bölümündeki enerji o bölüm ile sistemin diğer bölümleri arasında periyodik olarak gidip gelmeye başlar.

Bu genel özelliklerin özeti ve mekanik sistemlerin serbest, zorlanan, başlangıçlı ve bağımlı salınımların tartışması için okuyucu Morse ve Ingard (1968) ve Den Hartog (1956) adlı kitaplardan yararlanabilir.

1.2.2 Yarı-sonlu Su Kütleleri ve Kıta Sahanlığı Yankılaşımı:

Mekanik sistemlere analoji olarak akışkan sistemleri de yankılaşım özellikleri gösterebilirler. Akışkanlar devamlı sistemler olduğu için akışkan parçacıklarını temsil eden sonsuz sayıda birbirine bağlı kütleye analoji yapılabilir.

Sonuç olarak bu kütlelerin birbirine bağımlı hareketi dalga hareketini meydana getirir. Böylece serbestlik derecesinin ve doğal frekansların sayısının sonsuz olması beklenir. Sistemin geometrisi, yani su kütlesinin yatay ve dikey sınırları doğal salınımların saptanması açısından çok önemlidir.

Bir tarafı kıyı ile sınırlanmış yarı-sonsuz bir su kütlesinin doğal salınımları kıyının geometrisi ve kıyıya komşu olan kıta sahanlığının taban topografyası tarafından saptanır. Eğer kıyı düz kabul edilir ve taban topografyasında sadece kıyıya dik değişmelere olanak verilirse, doğal frekanslar sadece bu kıyıya dik değişmeler tarafından saptanır.

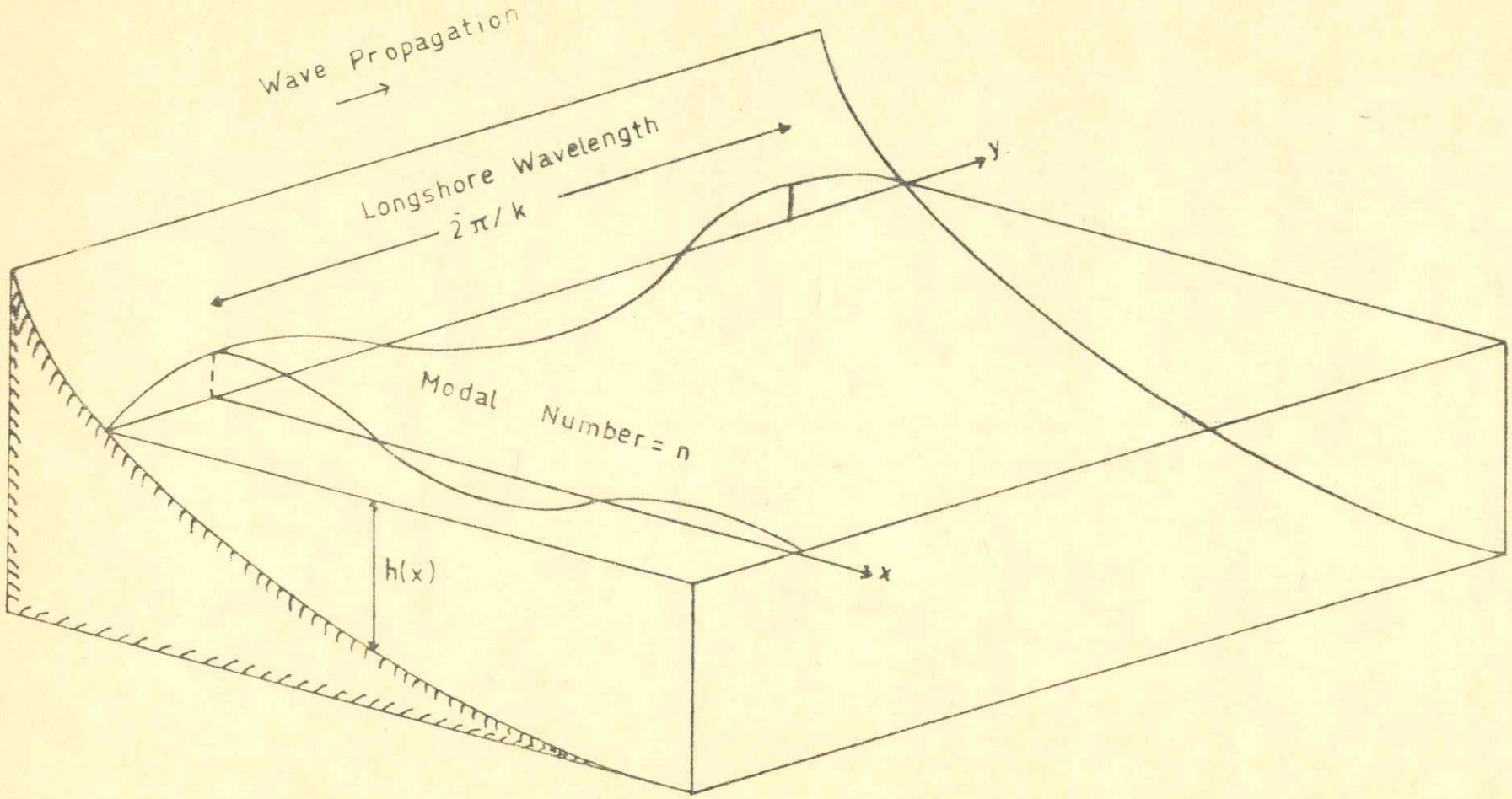
Kıyının düz olması halinde dalga hareketinin mod şekilleri Şek. 1.1'de gösterildiği gibi olacaktır. Hareket, genliği kıyıya dik yönde değişen dalgaların kıyıya paralel yayılımından oluşmaktadır. Hareketlerin yankılaşması için, enerjinin kıyıda yakalanmış olması ve böylece genliğin Şek.1.1'deki gibi kıyıya dik yönde azalması gerekmektedir. Kıyıya dik genlik değişmesinde bir salınım görülmekle birlikte açığa gittikçe bu salınım sönümlenmesi gerekir. Mod sayısı n genlikteki salınımların sayısını ve dolayısıyla sistemin n'inci doğal salınımlarını gösterir. Salınım frekansı ω, kıyıya paralel dalga sayısı k, ve mod sayısı n arasında bir yayılma (dispersion) ilişkisi bulunur ve bu ilişki belirli modu olan ve belirli dalga boyundaki salınımların frekansını saptar. Kıyıda yakalanmış dalgaların genel bir özeti yüksek frekanslı uç dalgalarını (edge waves) ve düşük frekanslı kıta sahanlığı dalgalarını da kapsamak üzere Le Blond ve Mysak (1976) ta bulunabilir.

Tsunami dalgalarının bir kıta sahanlığı bölgesine varması halinde, sahanlığın doğal frekanslarındaki salınımlar seçilerek büyürler. Tsunami sahanlık boyunca değişken değilse ve geliş yönü kıyıya dikse kıyı boyunca yayılım ihmal edilebilir. Bu varsayım dalga sayısını k=0 almakla aynıdır. Dalga boyunun sahanlığın genişliğine olan oranı kL, kıyıya paralel yayılımın önemini belirttiği için de bu yaklaşımı destekler. Kıta sahanlığı genişliği L genellikle tsunami dalga boyundan çok ufak olduğu için ($kL \ll 1$), kıyı boyunca yayılım ihmal edilebilir. Bu yaklaşımı kullanarak Hawaii Adaları ve Crescent City, California'da bulunan kıta sahanlığında yankılaşım analitik ve fiziksel modeller kullanılarak Keulegan (1969) ve Housley (1965) tarafından gösterilmiştir.

Kıta sahanlığına gelen bir tsunami dalgası sahanlık topografyası yüzünden yayılmaya uğrar. Enerjinin bir kısmı açık deniz kısmına doğru yayılır, bir kısmı ise sahanlık boyunca mod şekilleri Şek 1.1'de gösterilen dalgalar halinde ışınırlar. Dolayısıyla gelen enerji bir yerde depo edilmez ve yankılaşan dalgaların büyümesi "Işınma Sönümlenmesi" sebebiyle sonlu olur. Sadece kıta sahanlıklarıyla çevrili adalarda veya kapalı basenlerde sonsuz büyüme olanaklıdır. Bu hallerde bile sürtünme kayıpları ve doğrusal olmayan girişimler sonucu sonlu bir büyüme elde edilir.

1.2.3. Yarı-Kapalı Su Kütleleri ve Liman Yankılaşımı:

Yatayda sınırlanmış ve serbest yüzeyli bir akışkan kabının geometrisine bağımlı olarak sonsuz sayıda doğal modlara sahiptir. Ufak genlikli ideal bir akışkanda sönümlenme olmadığı için yankılaşım dorukları kuramsal olarak sonsuzdur. Akışkan, bir aralık yolu ile daha büyük bir akışkan kütlesi ile ilişkili ise (limanlarda olduğu gibi), aralığın geometrisi de önem kazanır. Büyüme ise sürtünme ve doğrusal olmayan kayıplar ihmal edildiği zamanda bile sonsuz değildir.



Şekil: 1.1 Kıyının yanındaki yarı-sonlu bir su kütlesinin tabii salınım modları

Yankılaşım büyümesinin sınırlanması enerjinin aralıktan daha büyük kütleli akışkanın bulunduğu bölgeye sızmasının sonucudur. Başka türlü açıklanırsa, dalgalar liman ağzından dışarı doğru ışınırlar ve ışınma sönümlenmesi dolayısıyla limandaki büyümeyi sınırlarlar.

Liman salınımları hakkındaki literatür üzerine genel ve detaylı bir araştırma için okuyucu Miles (1974) tarafından yazılan incelemeyi okumalıdır.

Literatürde liman yankılaşımı üzerine yapılmış çok sayıda çalışma vardır. Liman ağız genişliğinin azalması ile yankılaşımın artmasını ifade eden "Liman paradoksu" Miles ve Munk (1961), Ippen ve Goda (1963) ve Miles (1974) tarafından incelenmiştir. Birbiriyle ilişkili birden fazla basenin birbirine bağımlı salınımlarını Lee ve Raichlen (1972) ve Mei ve Ünlüata (1976) incelemişlerdir. Dar liman ağızlarında sürtünme kayıpları Ünlüata ve Mei (1975) tarafından göz önüne alınmıştır.

2. ÇÖZÜMLEME YÖNTEMLERİ

2.1 Amaç:

Daha önce TEK'e raporu verilen (Mart 1979) Doğu Akdeniz'de tsunami yayılımı çalışmasında olası deprem kaynaklarına göre ve öncelikle Akkuyu'da en büyük su düzeyi oynamalarını saptamaya çalışılmıştır. Bu çalışmanın sonucu olarak (TS1) Girit yanında bulunan M=8 büyüklüklü deprem alanı (R-1) en önemli kaynak bölgesi olarak saptanmıştır. Bu çalışmanın en dikkate değer sonuçlarından birisi kıta sahanlığı bölgelerinde yankılaşım olasılığının gösterilmesiydi. Şimdiki çalışmada ise Doğu Akdeniz'i çevreleyen kıta sahanlıklarının ve Akkuyu koyunun yankılaşım özelliklerin daha ileri şekilde araştırılacaktır.

Çözümlemelerin amacı Akkuyu Nükleer Santralına komşu olan kıta sahanlığının ve koy bölgesinin doğal frekanslarının ve yankılaşım sebeplerinin saptanmasıdır.

2.2 Çözümleme Yaklaşımı:

Bölüm 1"de bir su kütlesinin doğal frekanslarının basenin geometrik özelliklerince kesinlikle saptandığı belirtilmişti. Doğu Akdeniz'in ve özellikle de Kuzey-doğu köşesinin kıyı geometrisi ve taban topografyası Kıbrıs'ın varlığı ve taban özellikleri dolayısıyla aşırı derecede çapraşık olduğu için en verimli araştırma metodu sayısal modelleme olmaktadır.

Amaç Nükleer Santralda veya yakınında yankılaşan salınımların genliklerini bulmak olsa bile, Doğu Akdeniz gibi büyük bir basenin, santral yakınındaki dar alandaki salınımları incelemeye yeterli ayırımla modellenmesi çoğunlukla zor olmaktadır.

Ayırım sorununa olası bir çözüm Wang (1975) ve Chen and Mei (1974) tarafından kullanılan sonlu elemanlar metodu ile bulunmaktadır. Bu metodla eleman büyüklüğü ilgilenilen alanda istenen ayırım gücüne göre ayarlanabilmektedir. Elemanların daha fazla ayırım gücü istenen bölgeye doğru küçülerek model alanında değişken ayarım sağlanmakta, bununla bilgisayar zamanında kazanım sağlanması beklenebilir. Fakat bu yöntemde bile halihazırdaki modelin gerektirdiği ayırımdaki eşitsizliği sağlamak için denklemlerin sayısal integrasyonda da dengesizlik ve yaklaşım problemleri olacaktır.

Ayrıca, integrasyonda kullanılan en yüksek zaman adımı (Courant-Friedrichs-Lewy denge kriterine göre) en ufak eleman büyüklüğüne göre saptanacak (Bkz. Richtmyer and Morton, 1967), ve böylece istenen bilgisayar zamanı yine bahsedilen esnekliği bulunmayan sonlu farklar modellerine yaklaşık olacaktır.

Böyle bir yaklaşım herhangi bir sayısal modelin verimli olarak kullanımı üzerindeki kısıtlamalar nedeniyle seçilmiştir. Bu çalışmanın amacı doğal frekansların bulunması olduğuna göre ve sahanlık ve koy bölgelerinin doğal frekansları arasındaki bağımlılık eğer kuvvetli bir bağımlılık değilse bu yöntem başarılı olacaktır. Bu varsayım sonuçlardan önce yapılmasına karşın, daha sonra bu yaklaşımın doğru olduğu gösterilecektir.

2.3 Sonlu Farklar Modeli:

Bu çalışmada kullanılan sonlu farklar modeli kullandığı integrasyon şeması bakımından daha önce TS1'de kullanılan modelden farklıdır. Çözülen denklemlerin aynı olmasına karşın, bu model Leendertse (1976) tarafından geliştirilenden daha ileri ve daha arıtılmış olduğu için kullanılmıştır. Halihazır şema Dean ve Taylor (1971, 1972) tarafından geliştirilmiş ve tsunami modellemesi için doğru sınır ve başlangıç şartlarını içerecek şekilde değiştirilmiştir. Bu şema şartsız olarak dengelidir ve implisit ve eksplisit çözüm yöntemlerini değiştirerek 4- düzlemli bir parçalı adım yöntemi kullanır (Yanenko, 1971, Richtmyer ve Morton, 1976).Fark denklemleri hataların zaman ve uzay adımlarına göre (Δt ve Δx) ikincil önemde olması için zaman ve uzay eksenlerinde merkezlenmiştir. Tridiyagonal matris denklemleri için implisit çözümler Abbott (1971) ve Yanenko (1971) tarafından açıklanan çift tarama yöntemi ile elde edilmektedir.

2.4 Doğu Akdeniz Baseni Modeli:

Doğu Akdeniz Baseni sularının frekans özelliklerini araştırmak için örnek bir tsunami oluşturularak seçilmiş istasyonlardaki salınımlar detaylı olarak incelenmiştir. Genel dalga özelliklerinin konum, eğim ve genlik gibi kaynak parametrelerine bağlı olmasına karşın, en kritik ve olağan bir tsunami kaynağı seçilmiş ve bu kaynağa göre oluşan karşılık saptanmıştır. Çalışmanın amacı basenin her alanında doğal frekansları saptamak olduğu için, özel bir kaynak bölgesi seçilmiş fazla önemli görülmemiştir. Daha önce TB1'de herhangi bir sahanlık bölgesinin frekans seçiciliğinin kaynağın konumuna bağımsız olduğu gösterilmişti. Bu yaklaşım, ilerideki bölümde görüleceği gibi basen ortasındaki istasyonların frekans özellikleri tarafından da bir ölçüde doğrulanmaktadır.

Nükleer Santral için en kritik önemi olan R-1 kaynağı modellenmiştir. TS1'de belirtilen kaynak parametreleri için Girit yakınındaki kaynak geometrisinde ufak bir değişme dışında aynı değerler kullanılmıştır. Tabandaki deprem deformasyonu ve model alanının batısındaki ışınma sınır şartları TS1'de açıklanmıştır.

Zaman t=0'da kaynak alanındaki taban hareket ettirilmekte ve bunu takip eden hareketler modelin bütün noktalarında saptanmaktadır. Sistem içerisinde seçilmiş noktalarda, sonraki çözümlemelerde kullanılacak su düzeyi bilgileri her zaman adımı hesaplamalarında saklanmaktadır. Her noktada verilen N ayrı değeri olan $\eta(t)$ zaman serisidir.

Zaman serisinin frekans ayrışması aşağıdaki gibi verilir:

$$\eta_k = \sum_{n=0}^{N-1} a_n \; e^{2\pi \, ink/N} \quad , \qquad (2.1)$$

Burada Fourier katsayıları olan a_n

$$a_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \eta_k \; e^{-2\pi \, ink/N} \qquad (2.2)$$

ifadesinden hesaplanır ve her noktadaki salınımların frekanslara göre ayrışmasını temsil eder.

2.5 Akkuyu Koyu Modeli

Koy modeli, tsunaminin oluşturduğu salınımların koy sistemi içerisinde olası büyümelerini incelemek üzere geliştirilmiştir.

Büyük modelde hesaplanan su düzeyi salınımları prensipte ufak koy modeli içerisindeki salınımları hesaplamak için sınır şartları olarak kullanılabilir- Göreli olarak üstünlükleri ve genelliği dolayısıyla burada başka bir yaklaşım kullanılmıştır. Özel bir tsunamiye karşılık olan salınımları bulmak yerine, her bir iç koy sınırlarında belirtilen uyumlu salınımlara bağlıyan geçiş ilişkisi bulunmuştur.

Model doğrusal olduğu için herhangi bir iç noktadaki su düzeyi ile sınırlarda belirtilen her hangi bir η_B salınımı arasında

$$N(f) = T(f) \; . \; B(f) \qquad (2.3)$$

ilişkisi kurulabilir. Burada T(f) geçiş ilişkisini, B(f) η_B'nin Fourier dönüşümünü ifade etmektedir. Bileşik değerli geçiş ilişkisi genlik ve faz bilgilerini içermekte ve verilen f frekansında ve sistem içerisinde her noktada sistemin karşılığını belirlemektedir. Geçiş ilişkisinin genliği olan $A(f) = |T(f)|$ büyüme katsayısı olarak anılır ve sadece genliklerin ilişkisini verir.

Gerçek koy modelinde geçiş ilişkisi, sınırlarda herhangi bir zaman fonksiyonunu uygulayıp, sonuçtaki frekans karşılığını, bu ilişkinin Fourier dönüşümüne bölmekle elde edilir.Geçiş ilişkisinin geniş bir frekans aralığında bulunabilmesi için sınırlarda uygulanan fonksiyonun da geniş bir frekans aralığı olması gerekmektedir. Modelde uygulanan sınır şartı aşağıdaki gibi seçilmiştir:

$$\eta_B(t) = \begin{cases} e^{-\alpha|t - t_c|} \; , & |t - t_c| < T \\ 0 \; , & |t - t_c| > T \end{cases} \qquad (2.4)$$

Kullanılan değerler ise $\alpha = 0.002 \; sn^{-1}$ ve $t_c = T = 1000$ sn. olarak belirlenmiştir.

Bu fonksiyonun Fourier dönüşümü ise (t_c kadar kaydırıldığında) şöyledir:

$$B(f)= \frac{\alpha T - (\alpha T \cos 2\pi fT - 2fT \sin 2\pi fT)e^{-\pi\alpha T}}{\pi(\alpha^2 T^2 + 4 f^2 T^2)} \qquad (2.5)$$

Akkuyu Koyu modelinde sınırlarda uygulanan (2.4) denklemindeki zorlama fonksiyonu ve (2.5) teki Fourier dönüşümü Şek. 3.10 (a) ve 3.10 (b)'de gösterilmiştir. Bu fonksiyon geniş bir frekans bandını kapsamakta ve yaklaşık $f \simeq 0.005\ sn^{-1}$ değerinden sonra (veya 200 sn'den daha düşük periyodlu salınımlar için) azalmakta olduğu için ilgilenilen frekans aralığından iyi sonuç vermesi beklenilmektedir.

2.6 Sayısal Filtreleme:

Sayısal modelin ürettiği zaman serilerinin daha iyi incelenebilmesi için, bazı zaman serileri belirli frekans aralıklarında filtrelenmiştir. Bunun sonucu olan zaman serileri sadece bu frekans aralığındaki salınımları gösterdikleri için açıklamalara yardımcı olmak üzere kullanılmışlardır.

Kullanılan filtre fonksiyonları Butterworth tip filtrelere benzemektedir. Frekans karşılığı aşağıda verilen bir alçak geçişli filtre tasarımlanmıştır.

$$F_L(f) = \log \left\{ \frac{10 + (f/f_L)^{\gamma}}{1 + (f/f_L)^{\gamma}} \right\} \qquad (2.6)$$

Burada f frekans, f_L de alçak geçişli filtrenin geçirgenliğinin kesildiği frekanstır, γ parametresi de filtre geçisinin keskinliğini belirler. Genellikle iyi sonuçlar veren $\gamma = 20$ değeri kullanılmıştır. İşlevsel olarak denklem (2.6)'ya benzeyen yüksek geçişli bir filtre de şu şekilde verilebilir:

$$F_U(f) = \log \left\{ \frac{10 + (f_U/f)^{\gamma}}{1 + (f_U/f)^{\gamma}} \right\} \qquad (2.7)$$

Burada f filtrenin yüksek geçişinin kesildiği frekansdır. Band geçişli bir filtre (2.6) ve (2.7) denklemleri birleştirilerek ve f_L f_U kullanılarak elde edilebilir:

$$F_B(f) = F_L(f) . F_U(f) \qquad (2.8)$$

Yukarıdaki filtre fonksiyonları reel değerli oldukları için zaman serilerinde filtrelemeden doğan bir faz kayması görülmez.

Zaman bölgesinde filtreleme zaman serisini filtre fonksiyonunun Fourier dönüşümü ile aşağıdaki şekilde işleyerek elde edilir:

$$\eta_k^{(F)} = \sum_{m=-M}^{M} \eta_{m+k}\, g_m \,, \quad k = M, M+1, \ldots N-1-M \qquad (2.9)$$

Burada ^{F} filtrelenmiş zaman serisi, g herhangi bir F(f) filtre fonksiyonunun (denklem 2.1'deki gibi) ters Fourier dönüşümü alınarak elde edilmiş filtre ağırlıklarıdır. Filtrelenen zaman serisinin başından ve sonundan her biri M noktadan oluşan değerler kaybedilir. Band-geçişli filtrelemede (2.9) denklemindeki konvolusyon alçak ve yüksek geçişli olmak üzere iki ayrı seferde yapılır. Böylece (2.8)'deki dar bantlı geçiş dolayısıyla (2.9) denkleminin hesaplanmasında çok sayıda ağırlık kullanılması önlenerek bilgisayar kullanım zamanı kısaltılabilir.

3. SONUÇLAR

3.1 Doğu Akdeniz Baseni:

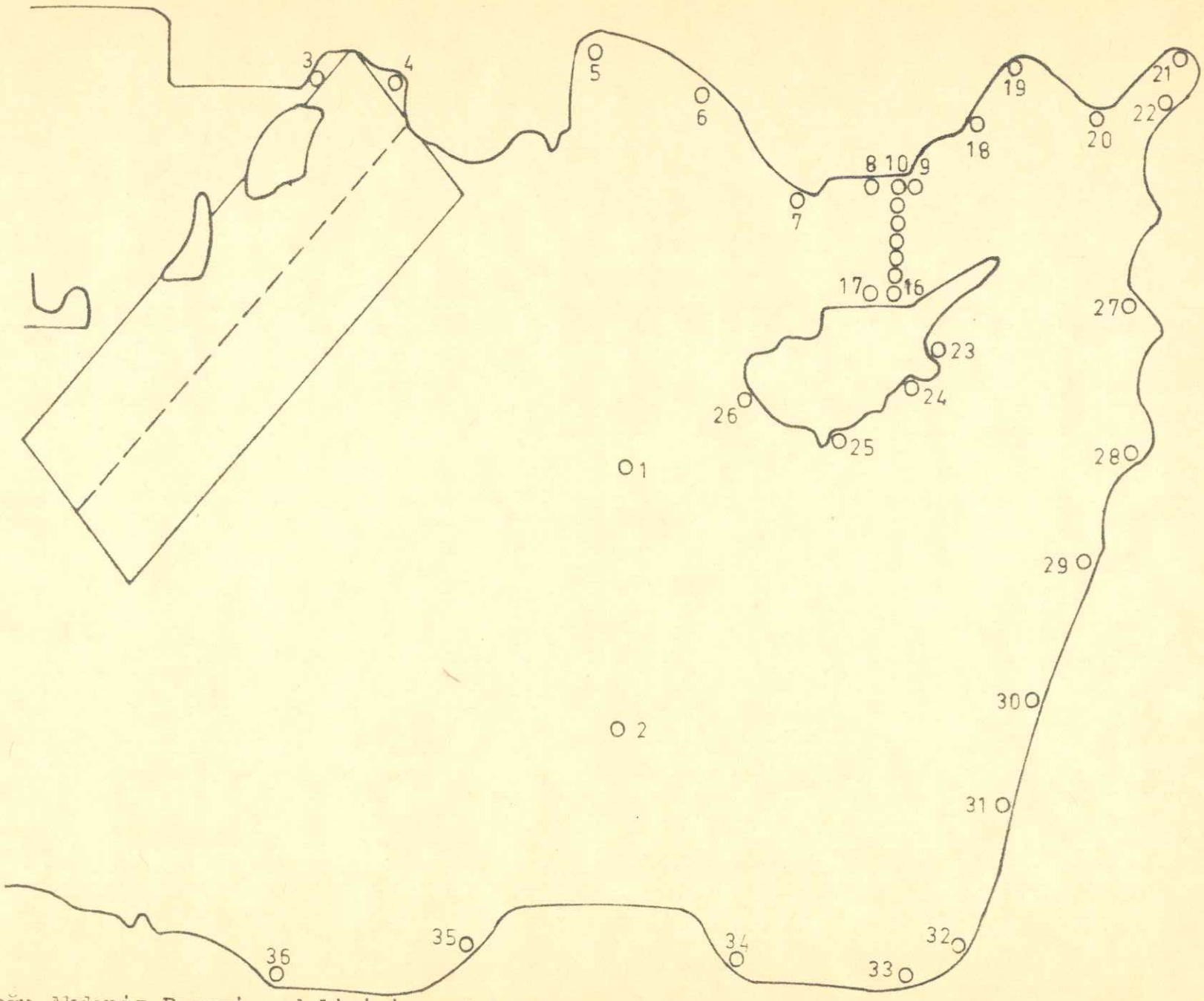
Basen ve kıta sahanlığı bölgelerinin tsunami dalgalarına karşılıkları, seçilmiş noktalardaki zaman serilerinin özellikleri, frekans analizleri ve basendeki dalga genliği dağılımları aracılığıyla incelenmiştir.

Doğu Akdeniz baseninin taban topografyasına ilişkin değerler 1:1.100.000 ölçekli bir hidrografik haritadan elde edilmiştir. Şekil 3.1'de R-1 kaynak bölgesi ve analizler için seçilen noktalar görülmektedir. Kaynak şekli TS1'de belirtilenden biraz farklı bulunmakla birlikte deprem şiddeti ve toplam alan olarak aynı değerlere sahiptir. Salınımların kaydedildiği noktalar baseni çevreleyen kıta sahanlıkları ve Kıbrıs kıyısı boyunca yerleştirilmiştir. Kıta sahanlığı ile basen ortasındaki salınımların karşılaştırılması için basen ortasında da iki istasyon alınmıştır.

Doğu Akdeniz baseni modelinde kullanılan model bölgesi şekil 3.1'de gösterilen 627 km'ye 924 km'lik bir alanı kapsamaktadır. Her elemanın boyu $\Delta x = 11$ km ve integrasyonda kullanılan zaman aralığı $\Delta t = 100$ sec. alınmıştır. Hesaplamalar, toplam 60.000 saniyelik bir zaman için yapılmıştır.

3.1.1 İki-Boyutlu Yayılım Şekilleri:

Başlayıştan 4.000 sn sonraki dalga yayılımı Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Dalga yayılımı, genliğin artıdan eksiye değiştiği çizgilerle belirtilmiştir. Bu yöntem su yüzeyindeki yayılımı göstermek için kullanılmıştır. Girit ada arkında meydana gelen taban yükselmesi artı genlikli bir öncü dalga çıkarmakta ve kaynak bölgesinden dışarı doğru yayılmaktadır. Dalga sisteminin ön cephesi kesik çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil:3.1 Doğu Akdeniz Baseni modeli için model alanı ve analizlerin yapıldığı istasyonlar

Bu cephenin doğusundaki su kütlesi hareketten etkilenmemiştir. Bundan sonra gelen çizgi öncü dalganın tepe noktalarını göstermektedir. Dalga sistemini izleyen kısmında ise düzgün salınımlar görülmektedir. Dalga enerjisinin büyük bir kısmı Nil Deltasına ve basenin doğusuna doğru yayımlanmaktadır. Bu yayımlanma bölgesinin ucu Girit'ten Nil Deltasına uzanan bir çizgi üzerinde bulunmaktadır. Bu alanın dışında, Ege Denizine doğru çok az bir enerji yayılımı söz konusu olmaktadır. Derinlikteki ani değişimler ve adaların oluşturduğu tıkama etkisi, yayımlanan enerjinin bütününün bu bölgeden yansımasına ve artmasına yol açmaktadır.

Kıta sahanlığı bölgelerinin etkiside Şekil 3.2'de görülmektedir. Dalga ön cephesi ve bunu izleyen öncü dalga Anadolu ve Afrika kıyılarında ve Kıbrıs'ta kıyıya doğru kıvrılmaktadır. Dalganın ($c = \sqrt{gh}$ olarak ifade edilen) yaklaşık yayılım hızı sahanlık bölgelerinde daha düşük olduğundan eşit faz çizgileri kıta sahanlığı bölgelerine doğru bir kıvrıma sahip olmaktadır.

Başlayıştan. 60.000 sn sonraki dalga hareketi Şekil 3.3'te gösterilmiştir. 4.000 sn'deki salınımlarla karşılaştırıldığında bu dalgaların daha kısa oldukları görülür. Bu da kıyıdan birden fazla yansıma dolayısıyla oluşmakta ve geometrik yayılma olarak adlandırılmaktadır. Uzun süre sonunda sıfır genlik çizgileri dalganın ölü noktaları olarak algılanabileceği için bu çizgiler duran dalgaları belirtirler. Bu şekilde duran dalgalar Şekil 3.3'te İskenderun Körfezinde ve Nil Deltasında görülmektedir.

3.1.2 Zaman Serileri:

Seçilmiş istasyonlar için su düzeyi zaman serileri Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Bu şekiller yerel geometrik özelliklere bağlı olan frekans seçiciliğini ve büyümeyi göstermektedir.

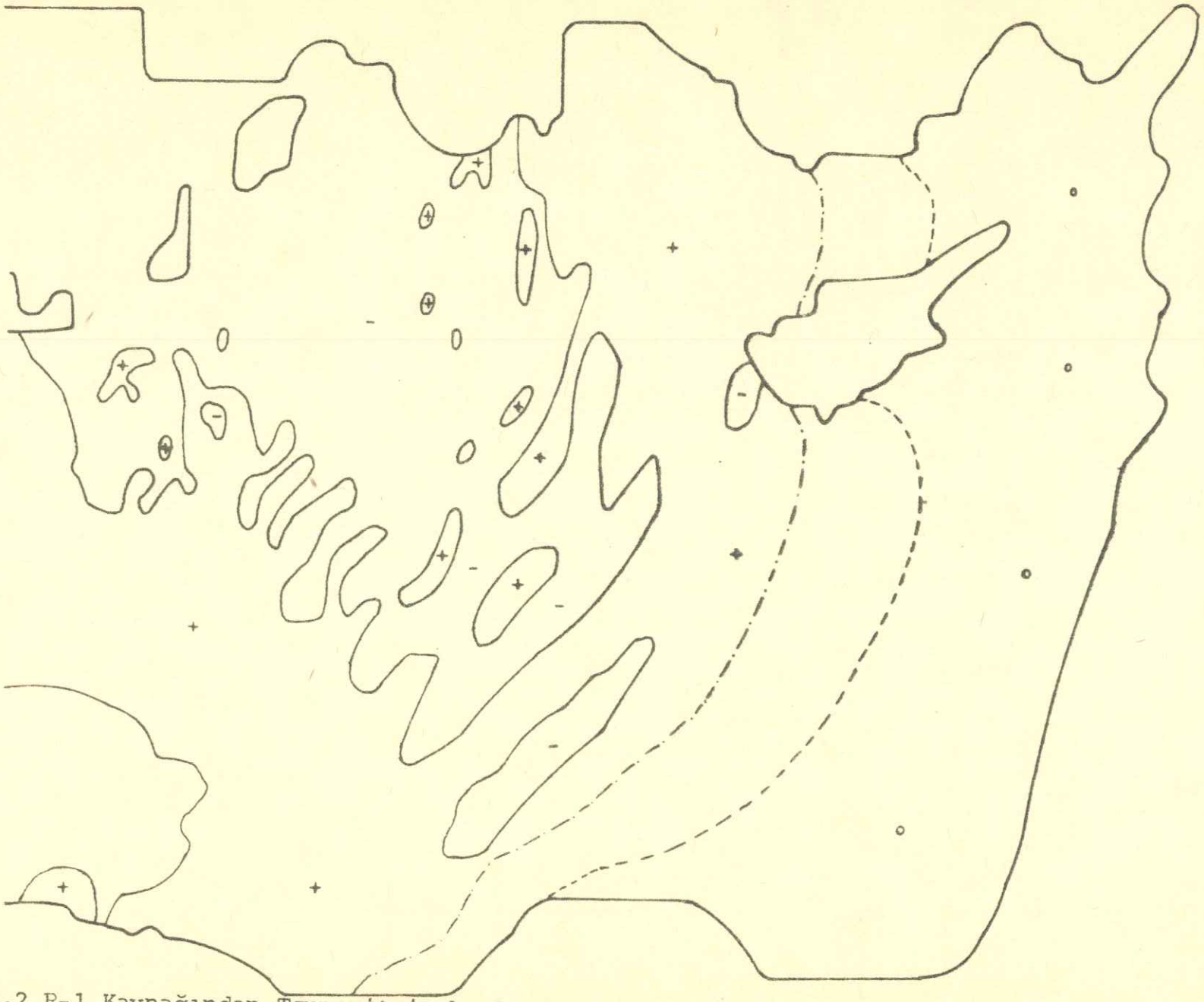
Basen ortasındaki (2) numaralı istasyonda 2 metre yükseklikli bir öncü dalga ve bunu izleyen salınımlar görülmektedir. İzleyen salınımların genlikleri genellikle düşüktür, ve zamanla çok düzensizleşmektedir.

Bütün diger kıyısal istasyonlarda ise değişik bir davranış gözlenmektedir. Öncü dalga yine gözlenmekle birlikte, mutlaka izleyen salınımlardan daha büyük olmaktadır (istasyonlar 6,7,26,35 ve 36 hariç).

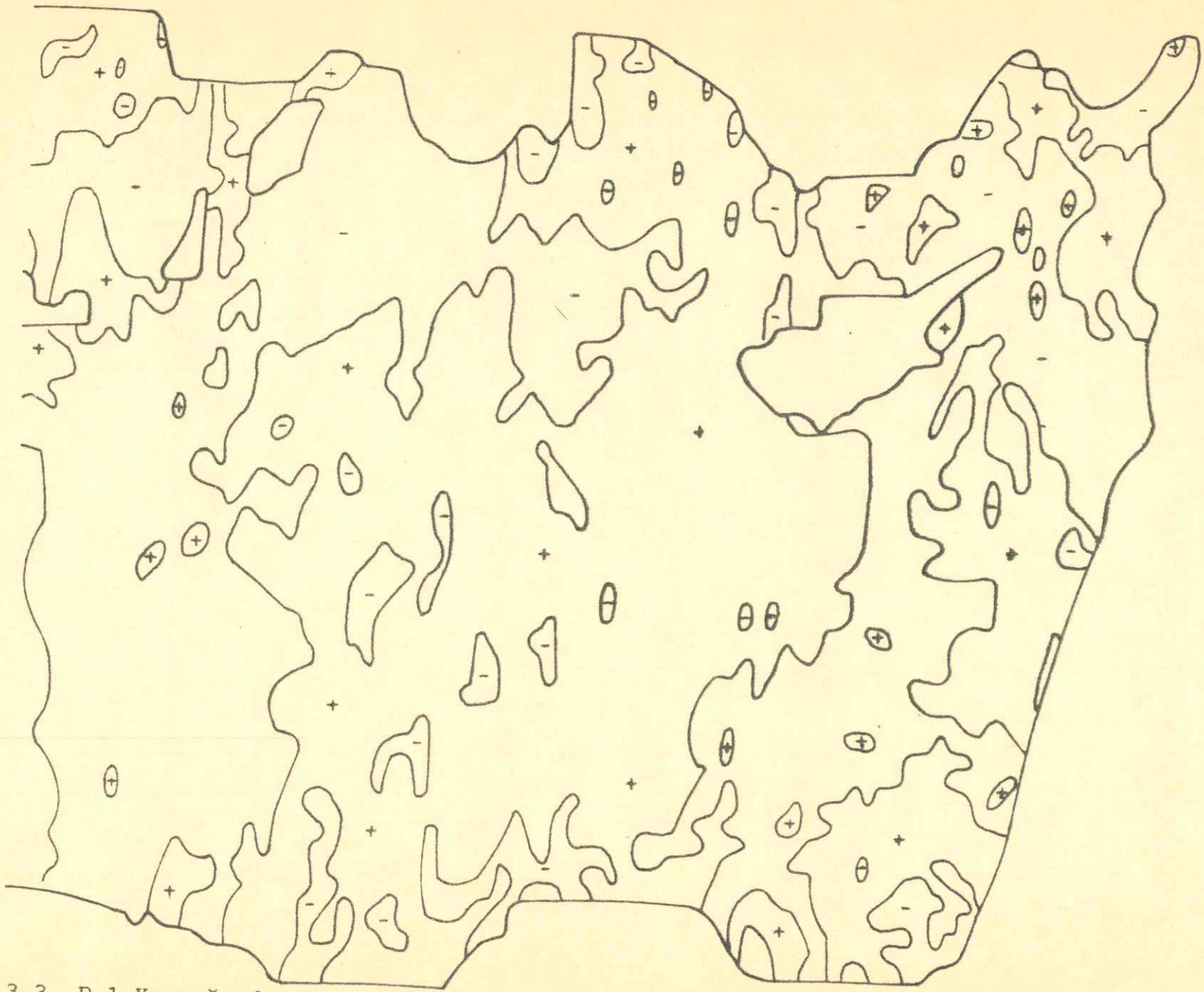
Kıyısal salınımlar belirli frekanslarda düzenli ve uzun süreli şekilde ortaya çıkmaktadırlar. Her bölge değişik frekanslar seçmekte ve bu frekanslardaki salınımlar öncü dalgalardan daha uzun süreli ve daha yüksek olabilmektedir. Bu genel özellikler, sistem içerisindeki her sahanlık, koy, ada ve kanal tipi geometrik bölgenin kendine uyan doğal frekansları seçtiğini ve basen ortasında eşit dağılmış olan frekans bileşkelerinin yankılaşım nedeni ile seçilerek büyüdüğünü göstermektedir.

En yüksek salınımlar, koy bölgesi ile bunun yanında bulunan Kilikya baseninin ortak yankılaşım nedeniyle İskenderun'da (21) oluşmaktadır. 6.000 sn periyodlu ve yüksek enerjili salınımlar Akdeniz'in Kuzeydoğu köşesinde Mersin (19), İskenderun (21) ve yakınındaki istasyonlardaki salınımların en belirgin özelliğini oluşturmaktadır.

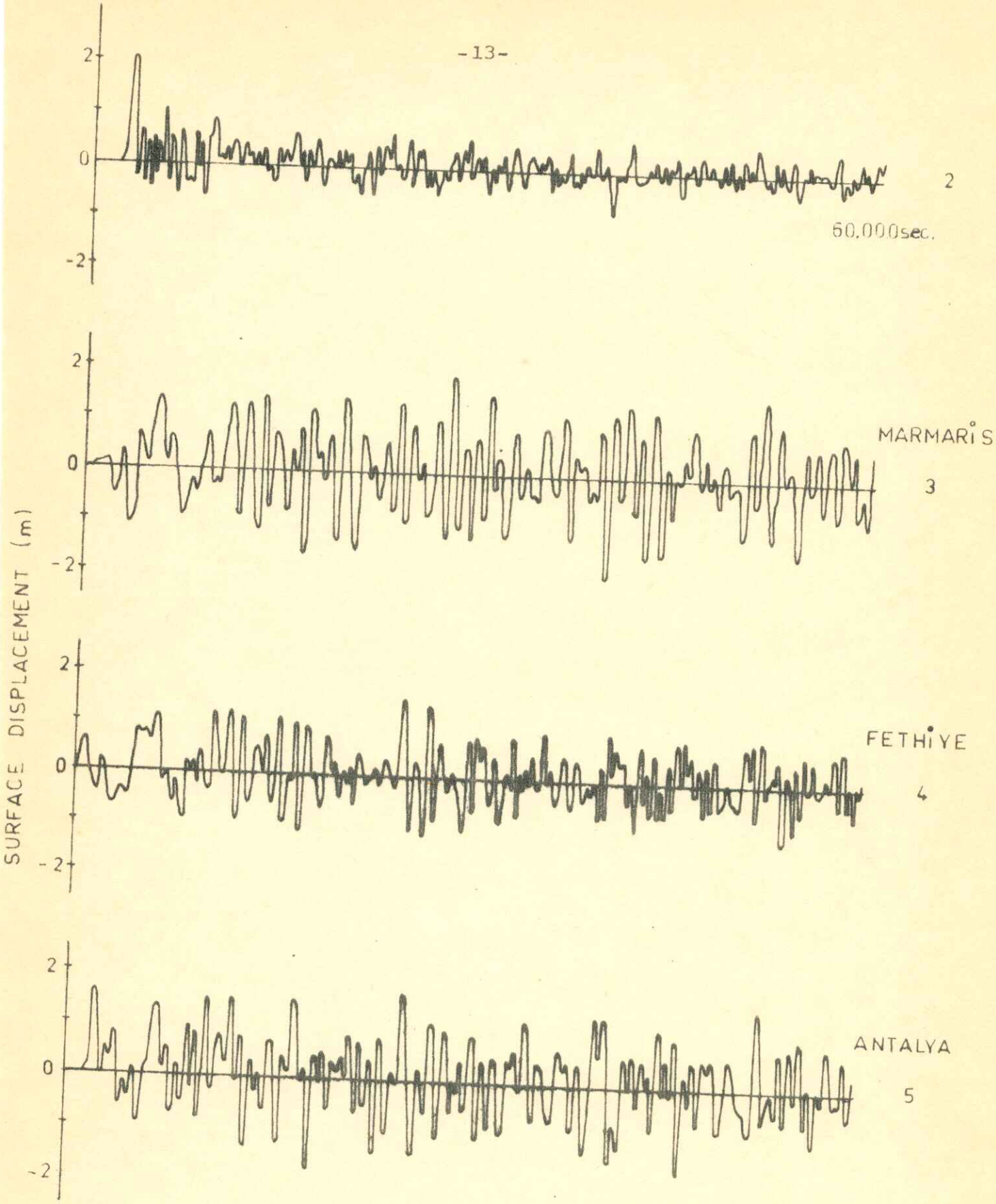
İskenderun'daki salınımların boyu (ilk düzeyden ölçülen +4 m ve -8m olmak üzere) toplam 12'm'ye ulaşmaktadır.



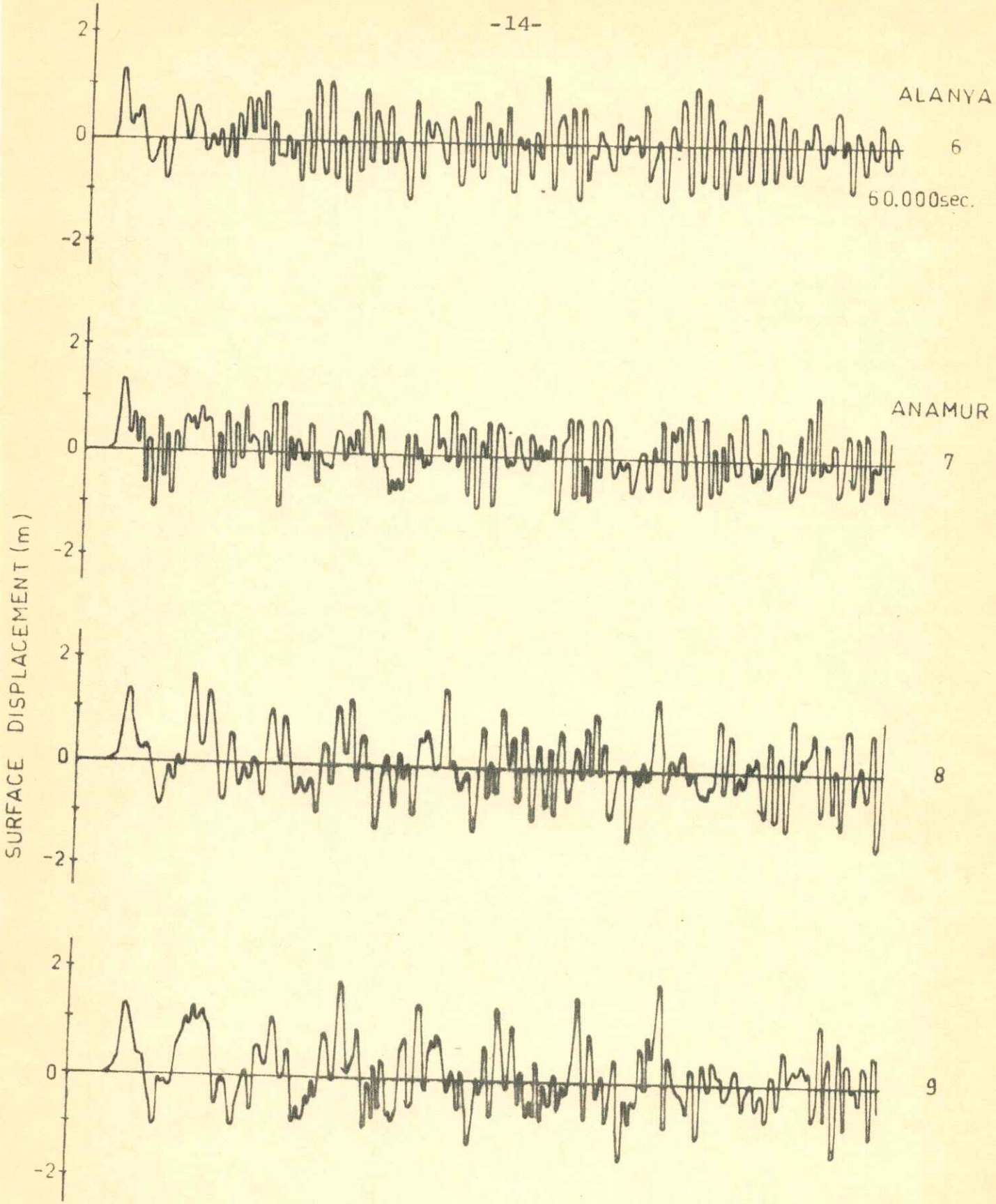
Şekil: 3.2 R-1 Kaynağından Tsunami'nin başlamasından t= 4000 sn.sonraki dalga yayılım şekli



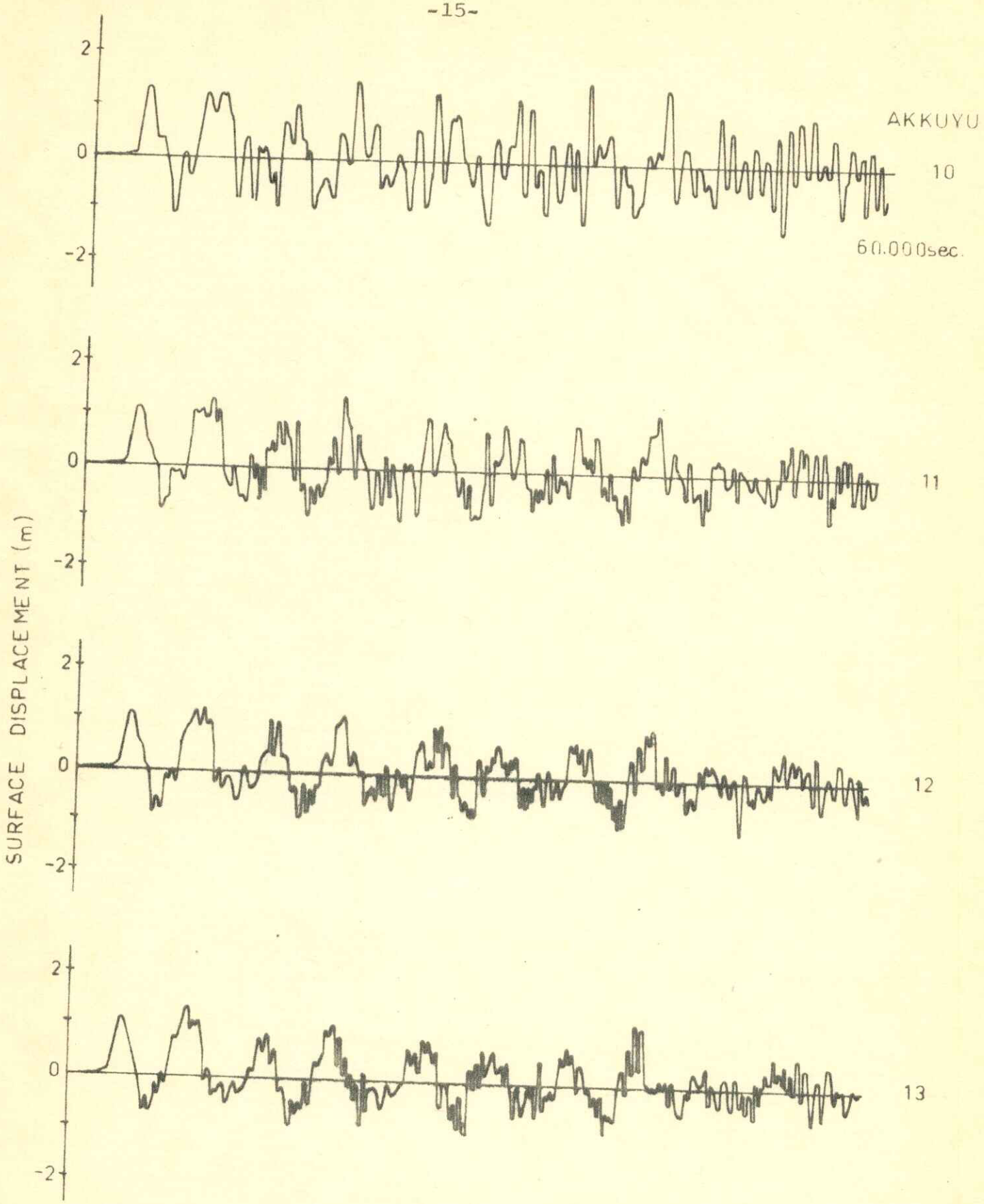
Şekil: 3.3 R-1 Kaynağından Tsunami'nin başlamasından t = 60000 sn. sonraki dalga yayılım şekil



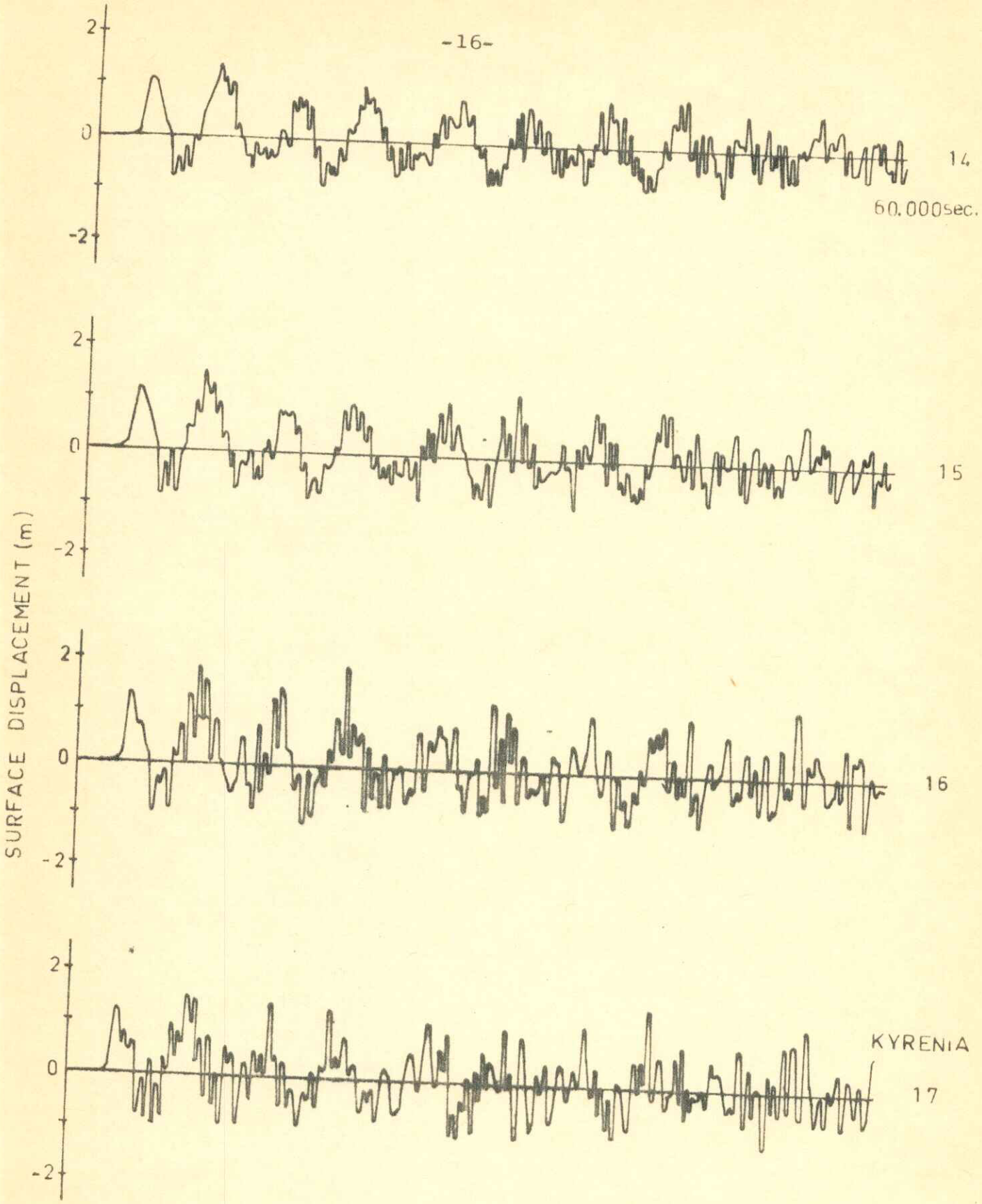
Şekil: 3.4 2-36 No:lu istasyonlarda su düzeyi zaman serileri



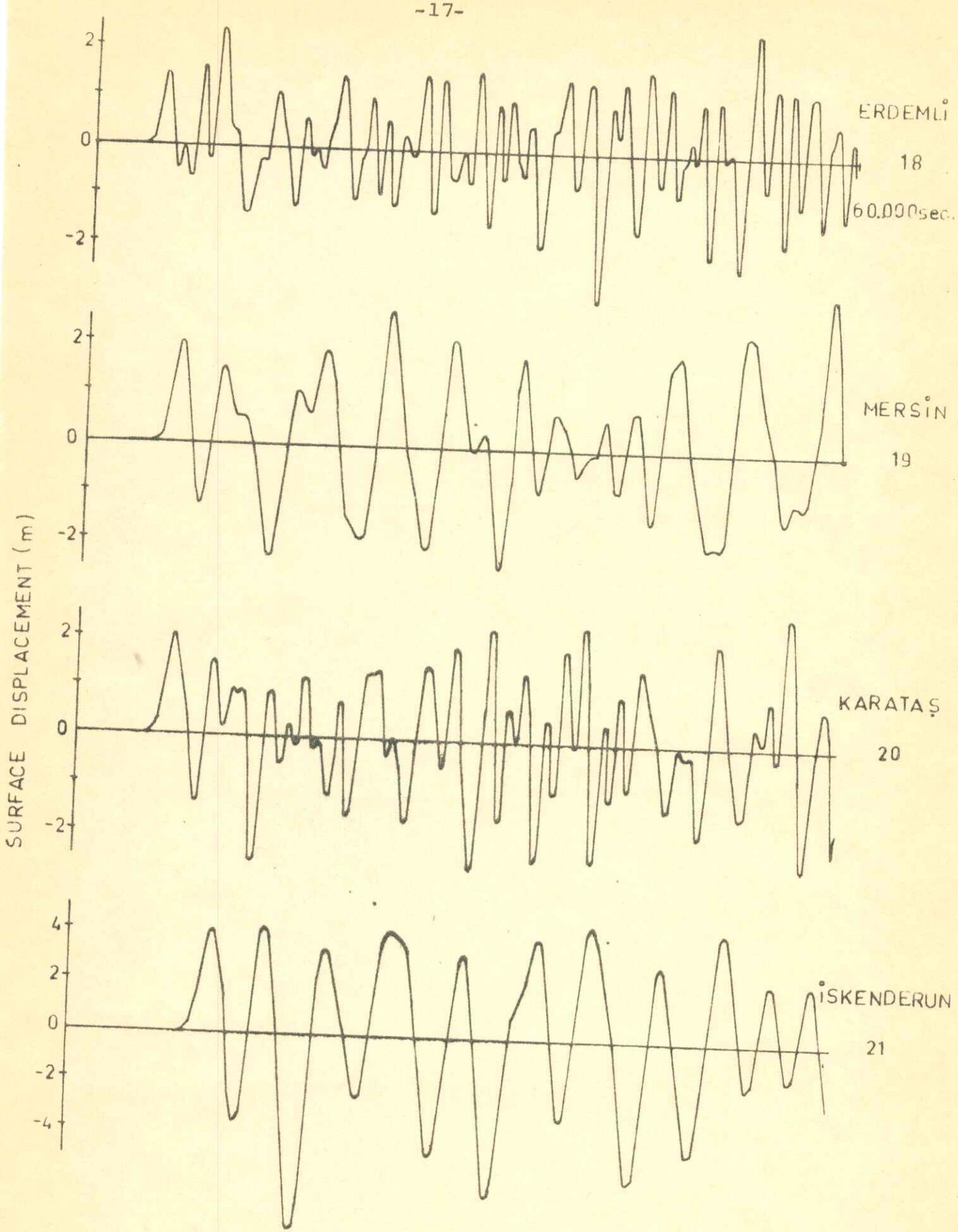
Şekil: 3.4 (Devam)



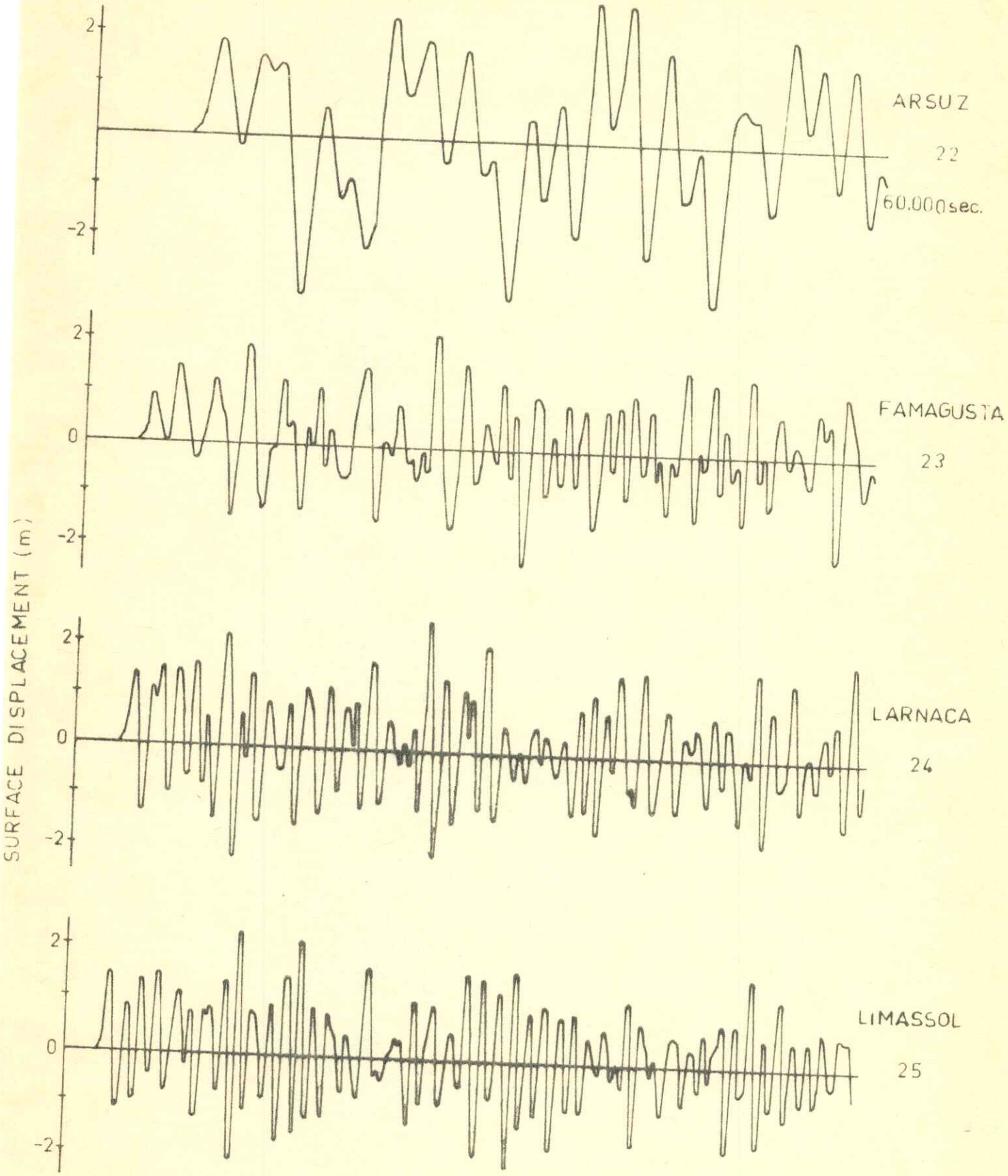
Şekil: 3.4 (Devam)



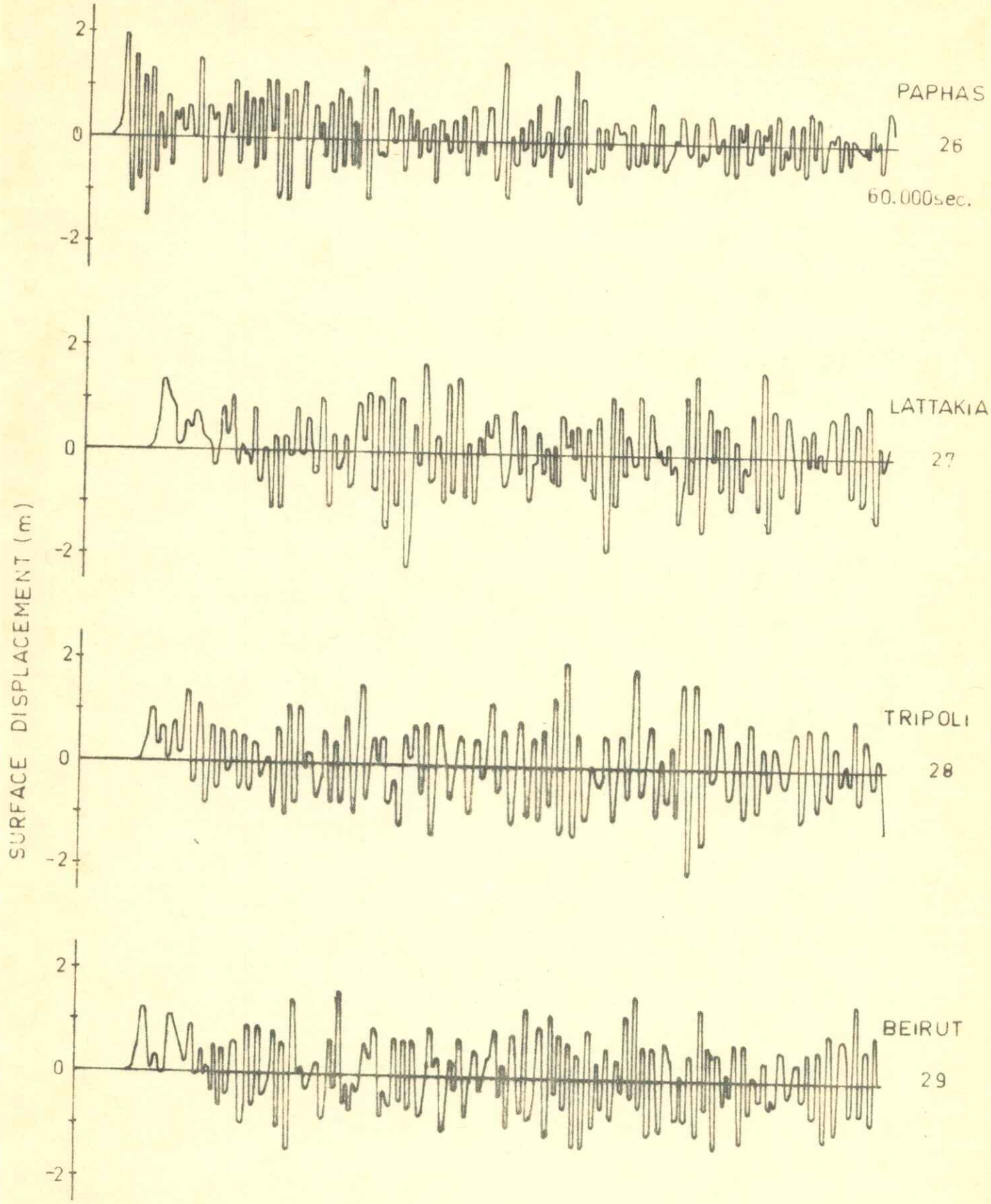
Şekil: 3.4 (Devam)



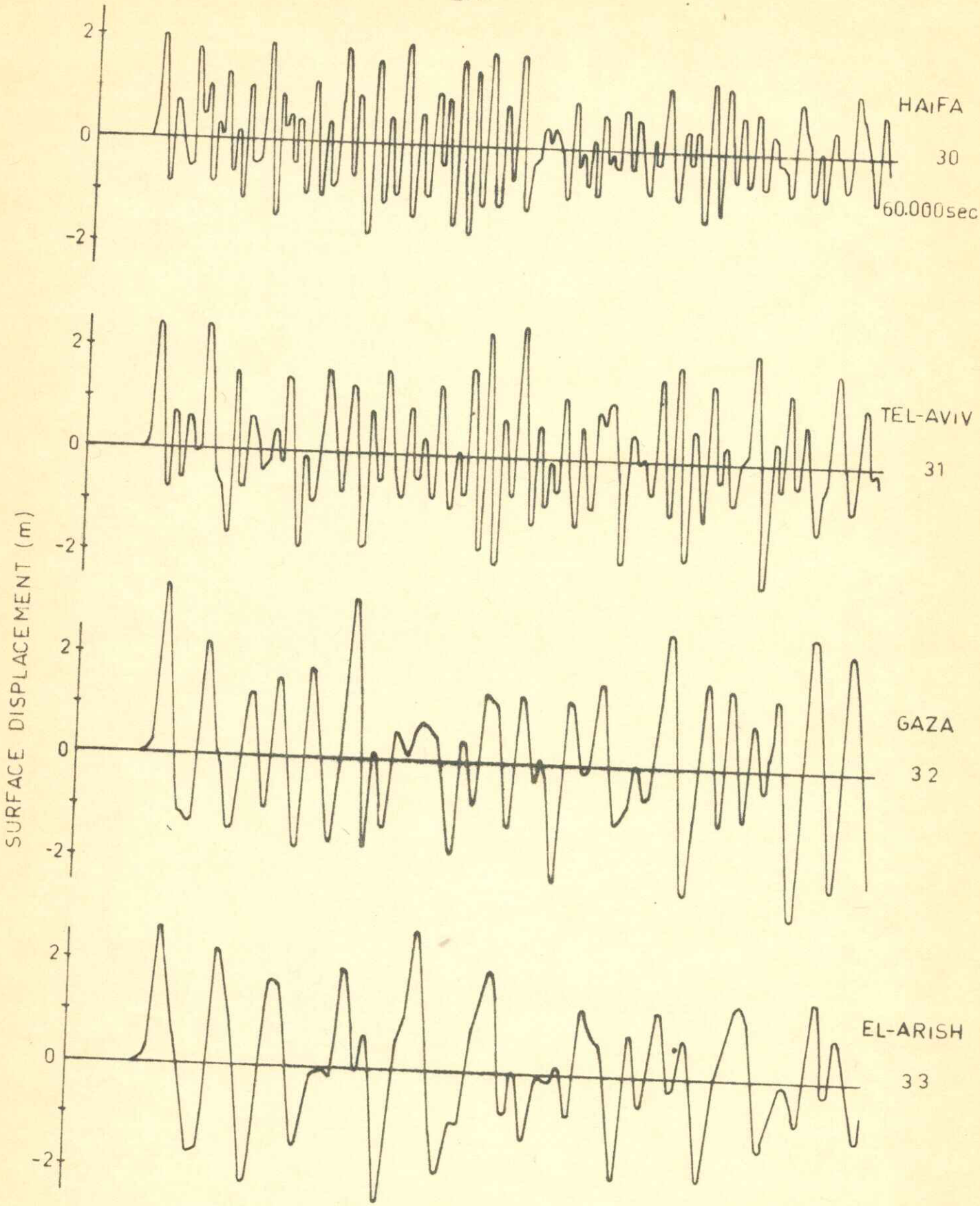
Şekil: 3.4 (Devam)



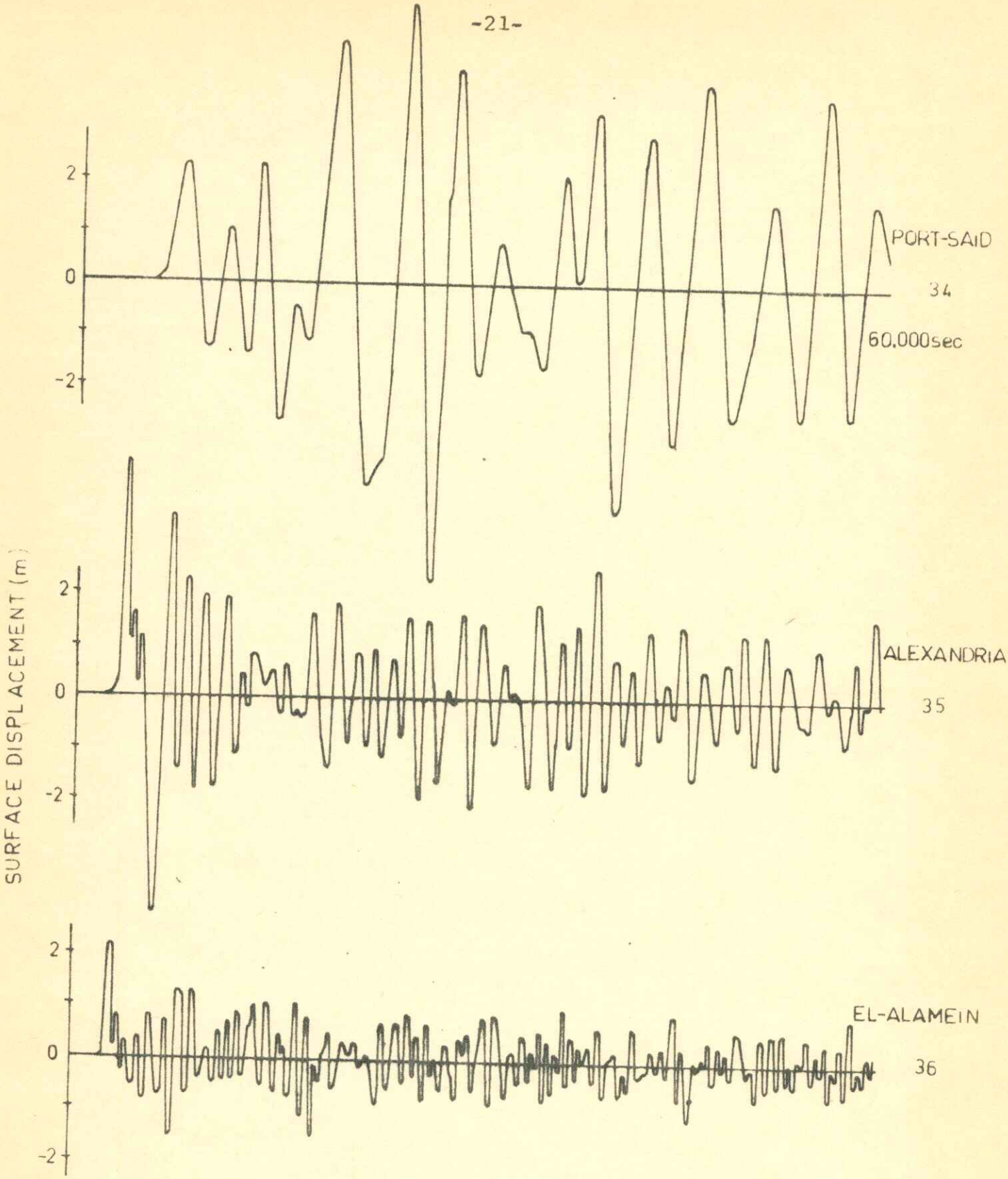
Şekil: 3.4 (Devam)



Şekil: 3.4 (Devam)



Şekil: 3.4 (Devam)



Şekil: 3.4 (Devam)

Doğu Akdeniz'in tsunami dalgasından yüksek derecede etkilenen bir diğer bölgesi de Doğuda Gaza'dan Batıda El-Alamein'a kadar uzanan Nil Deltası yakınındaki kıta sahanlığıdır.

3.1.3 Frekans Özellikleri:

Denklem 2.2'ye göre hesaplanan genlik spektrumları a_n şekli 3.4'te verilen zaman serilerinin her biri için Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Bu şekillerin detaylı olarak incelenmesi her istasyondaki frekans seçiciliği özelliklerini ortaya çıkarır. Periyodları 600 saniyeden (10 dak.) ufak salınımlar yeterince küçük olduklarından genlik spektrumları 6 cph'te (saat^{-1}) kesilmiştir.

Basen ortasındaki (1 ve2) istasyonlarda genlik spektrumlarında büyük doruklar bulunmamakta ve enerji geniş bir frekans bandında eşit olarak dağılmaktadır. Bu beklenen bir özelliktir, çünkü tsunami'yi oluşturan başlangıçtaki yer hareketi de dalga boylarının geniş bandını içermektedir (yer hareketi modeli TS1'de anlatılmıştır). Basen ortası istasyonlarında enerjinin düzgün dağılımı, ayrıca kıta sahanlıklarının frekans karşılığını incelemede kaynak yeri ve şeklinin özel bir önemi olmadığını göstermektedir.

Basen ortasındaki istasyonlara göre, kıyı istasyonlarının frekans karşılıkları ayrı ayrı salınım periyodlarında büyük doruklar sergilemektedir. Bu dorukların yerleri geometrik özellikler ve her bölgenin frekans seçiciliği ile açıklanabilir. Birbirine yakın istasyonlar benzer frekans karşılıklarına sahiptir. Karşılık özellikleri kıta sahanlığı topografyası ve kıyı geometrisi ile yakından ilişkilidir.

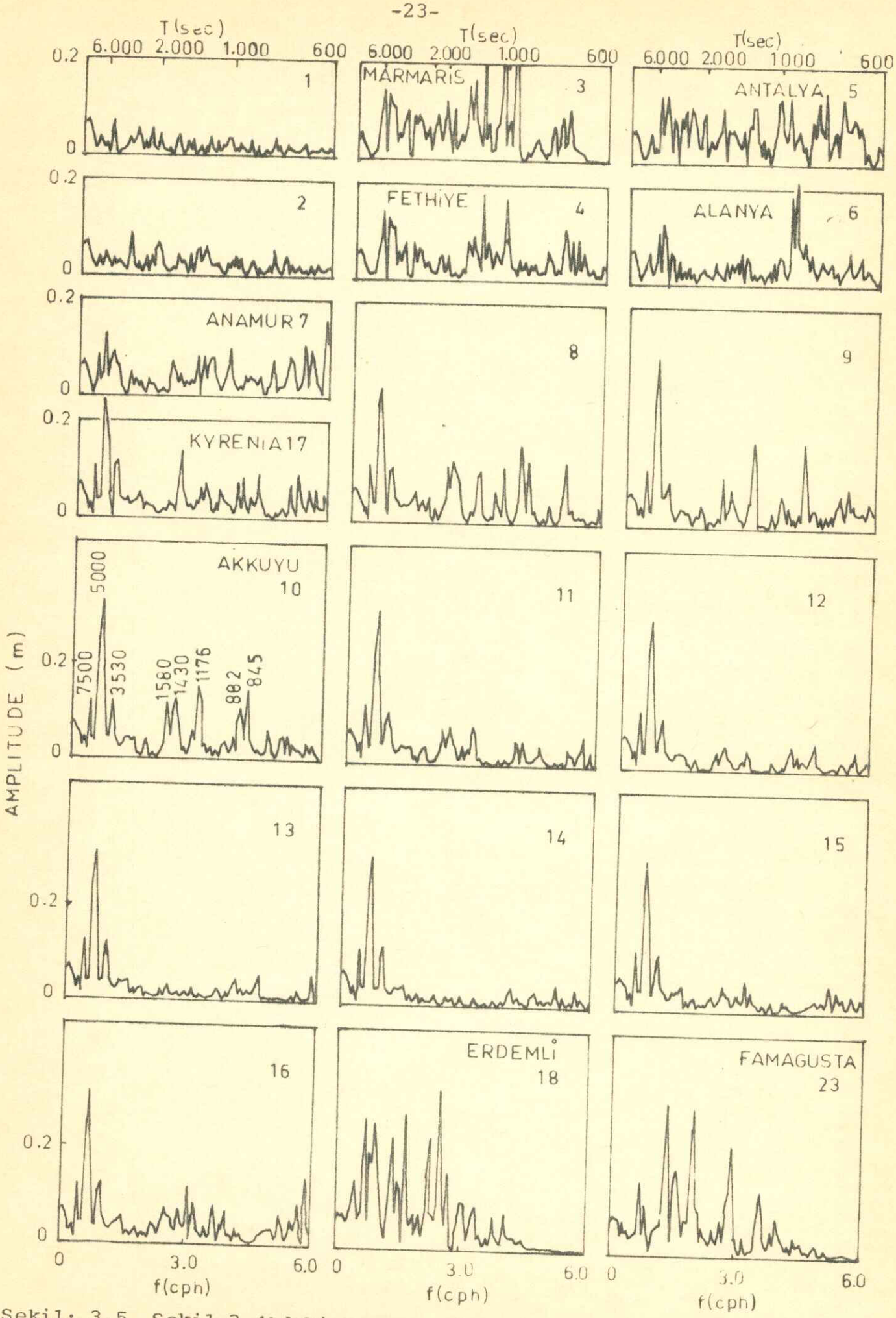
Türkiye sahilinde 3-7 numaralı istasyonlarda az sayıda yüksek doruk bulunmaktadır. Bu istasyonların hepsi Anamur'un Batısında bulunurlar. Bu istasyonlarla karşılaştırıldığında Anamur'un Doğusundaki 8-22 numaralı istasyonların frekans karşılıkları açıkça görüldüğü gibi daha seçicidir. İzleyen bölümde (3.1.4) salınım frekanslarının yaklaşık olarak Kilikya baseni-İskenderun Körfezi sisteminin doğal salınımlarına uyduğu gösterilecektir.

Kıbrıs'ın güney sahilleri ile Suriye, Lübnan, İsrail ve Mısır sahillerindeki istasyonlar kendi sahanlık geometrilerine uyan yankılaşım doruklarına sahiptir.

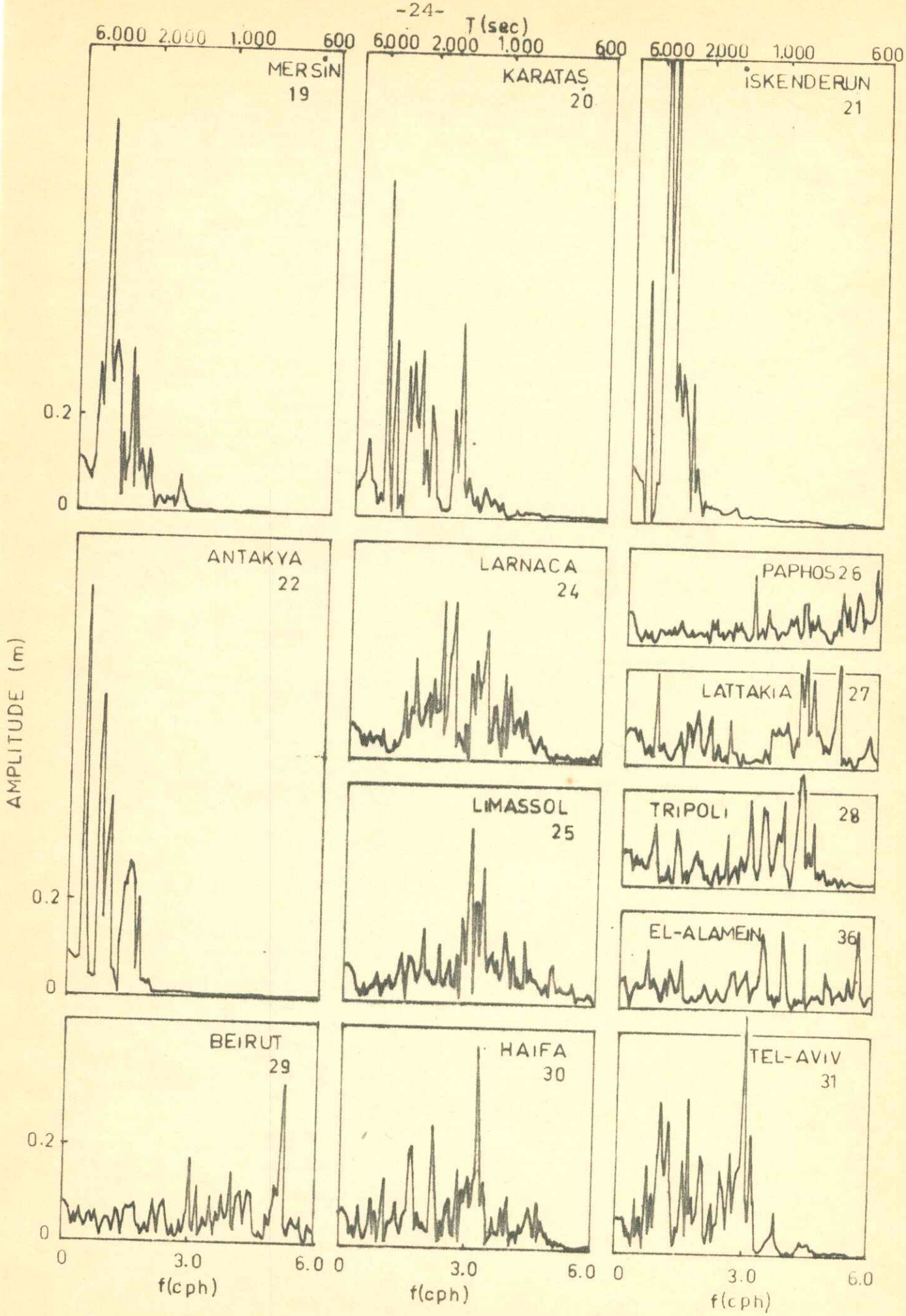
Doğrusal değişen topografyalı bir sahanlık için yankılaşım kriteri TS1'de verilmiştir. Yankılaşım periyodları için hesaplamalar aşağıdaki formül kullanılarak yapılabilir:

$$T_n = \frac{4\pi l_1}{j_n \sqrt{g h_1}} \qquad (3.1)$$

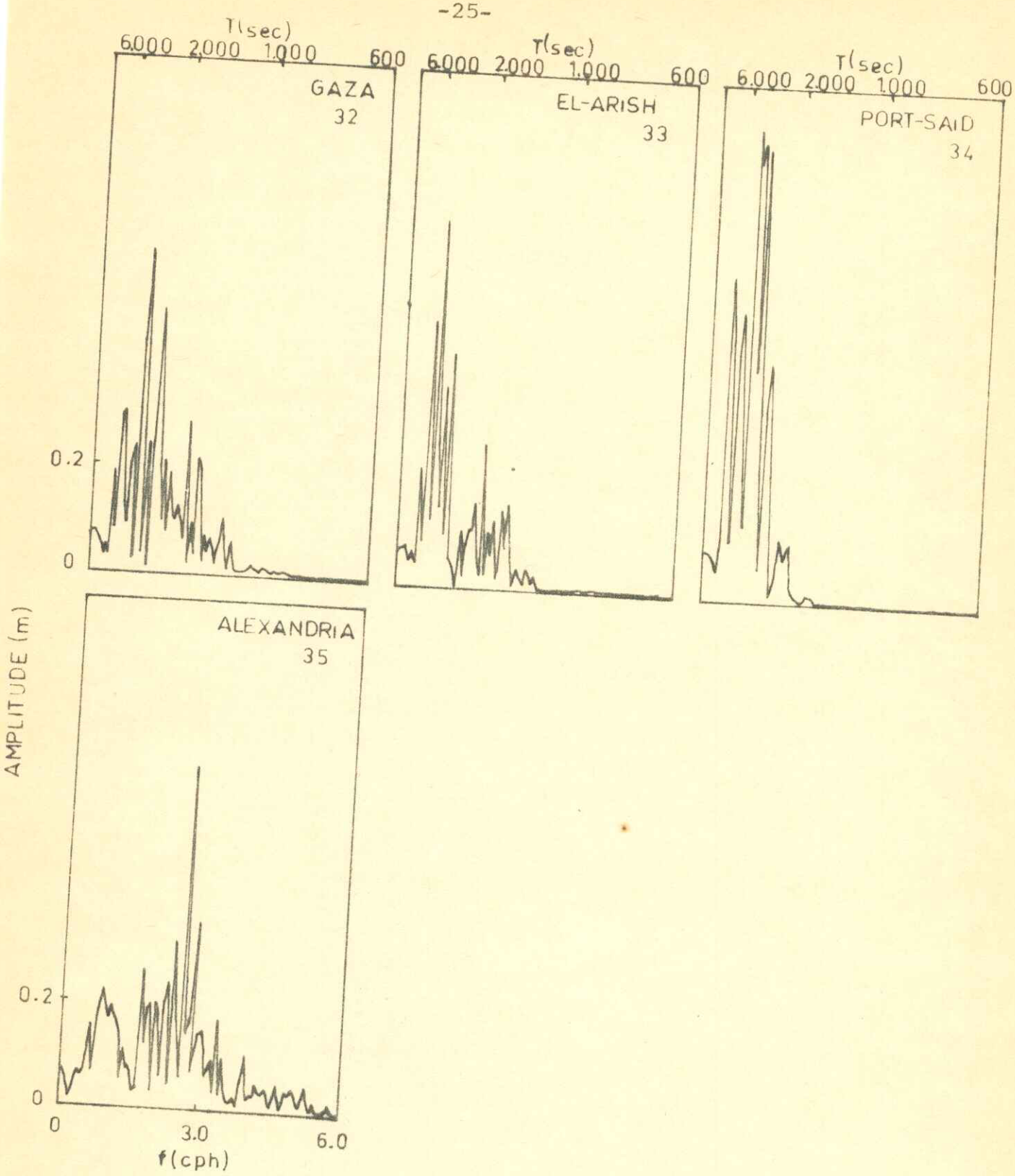
Burada n salınımların mod numarasını, jn - Jo Bessel Fonksiyonlarının sıfırlarını, ℓ_1 sahanlık bölgesinin genişliğini, ve h_1 sahanlık ucundaki derinliği göstermektedir. Denklem (3.1) kullanılarak hesaplanan ilk iki karakteristik periyod ($j_1 = 2.40$, $j_2 = 5.52$) seçilmiş istasyonlar için Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Geometrik boyutların tahminindeki belirsizlik ve yaklaşımlar gözönüne alındığında hesaplamalar yeterli olmaktadır.



Şekil: 3.5 Şekil 3.4'deki zaman serilerinin genlik spektrumları



Şekil: 3.5 (Devam)



Şekil: 3.5 (Devam)

Beyrut (29) ve Lazkiye (27) yakınındaki gibi dar kıta sahanlığı bölgeleri Nil Deltası yakınında olduğu gibi geniş ve sığ sahanlık bölgelerine oranla daha yüksek frekanslarda yankılaşmaktadırlar. Bu genel özellikler frekans karşılığı eğrilerinde de gözlenmektedir.

TABLO 3.1
KITA SAHANLIĞINDAKİ İSTASYONLAR İÇİN HESAPLANAN DOĞAL PERİYODLAR

İstasyon	l_1 (m)	h_1 (m)	T_1 (sn)	T_2 (sn)
Mersin	49500	200	5795	2519
Lazkiye	5500	200	644	280
Beyrut	5500	200	644	280
Tel-Aviv	19800	200	2318	1008
Gaza	22000	200	2576	1120
Port Said	60500	200	7083	3080
İskenderiye	22000	200	2576	1120

3.1.4 Nükleer Santral Yakınındaki Salınımlar:

Akkuyu Nükleer Santralı yakınındaki salınımlar ve yankılaşımlar Türkiye kıyıları ile Kıbrıs arasında kalan alanın geometrik özelliklerinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu salınımların detaylı olarak incelenebilmesi için her iki kıyıda ve Kilikya Baseni kesitindeki önemli noktalarda Şekil 3.1'de gösterilen istasyonlar konulmuştur. Bu istasyonlar için frekans karşılıkları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Bölgedeki çoğu istasyonlarda periyodları 3000 sn'den büyük düşük frekanslı üç veya daha fazla doruk düzgün olarak izlenmektedir. Özellikle 3520 sn., 5000 sn ve 7500 sn'de Akkuyu'da (istasyon 10) gözlenen doruklar diğer istasyonlarda da gözlenmektedir. Bu doruklar Mersin (19) ve özellikle İskenderun'da (21) daha da büyümektedir.

Yankılaşım periyodlarının yaklaşık olarak tahmini için Kilikya Baseni tek ucu açık olan dikdörtgen bir kanal olarak modellenebilir. Kıbrıs'taki Aandreas Burnundan İskenderun Körfezine doğru uzanan bir denizaltı eşiği bulunduğu için bu yaklaşım gerçekten çok uzak değildir, ve kanalın bu kısmı kapalı olarak alınabilir.

ODTÜ-DBB KÜTÜPHANESİ
METU-DMS LIBRARY

Kilikya Baseni kesit topografyası ise dikdörtgen bir şekle çok yakındır. Açık ucunda su düzeyi verilen bir dikdörtgen basenin doğal periyodları yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$T_{mn} = \frac{1}{\sqrt{g\,h}} \quad \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{m}{2w}\right)^2 + \left(\frac{2n-1}{4L}\right)^2}} \qquad (3.2)$$

Burada h derinliği, g yerçekimini, w kanalın genişliğini ve L uzunluğu göstermektedir. m ve n ise sırasıyla kanalın enine ve uzanlamasına mod sayılarıdır. Kilikya kanalının uzunluk, genişlik ve derinliği sırasıyla L = 150 km W= 90 km ve h =1000m olarak alınırsa kanalın boyuna olan ilk modu için salınım periyodu T_{01}= 6000 sn olarak bulunur, ve bu da frekans karşılıklarındaki düşük frekanslı dorukların yerleri ile uyuşmaktadır.

İskenderun koyunun geometrisi de tek yanı açık dikdörtgen bir basen modeline çok uygun olduğu için bu koyun doğal periyodları da (3.2) denkleminden hesaplanabilir. h = 70 m , L = 50 km ve W = 40 km alındığında koyun boyuna ilk model periyodu T_{01} = 7560 sn olarak bulunur.

İskenderun Körfezine komşu olan kıta sahanlığı Türkiye'nin güneyindeki diğer kıta sahanlığı bölgelerine göre daha geniştir. Doğrusal değişken topografya için bu bölgenin yaklaşık doğal periyodları da (3.1) denkleminden hesaplanabilir. ℓ_1 = 49.5 km H_1 = 200 km değerleri kullanılarak İskenderun açığındaki sahanlığın ilk doğal frekansı da T_1 = 5800 sn olarak bulunur.

Kilikya Baseni, İskenderun Körfezi ve körfez açığındaki kıta sahanlığı için hesaplanan ilk doğal frekanslar, kullanılan yöntemlerin basitliğine rağmen genlik spektrumlarında gözlenen düşük frekanslı doruklarla uygunluk göstermektedir. Uzun periyodlu (3000 sn'den daha büyük) salınımlara karşılık gelen üçlü dorukların birbirine yakınlığı Kilikya Baseni-İskenderun Körfezi kıta sahanlığı sisteminin bağımlı salınımlarının önemini göstermektedir. Bu sistemler arasında bir bağımlılık bulunduğu ve bu bağımlılık sürekli bir değişim sonucu olduğu için yukarıdaki hesaplamalar yaklaşık doğal periyodlar için sadece bir gösterge olmakta ve genelde uygunluk görülmektedir. Yalnız gerçek doğal periyodlar sayısal modelleme sonucunda daha güvenilir şekilde bulunmuştur.

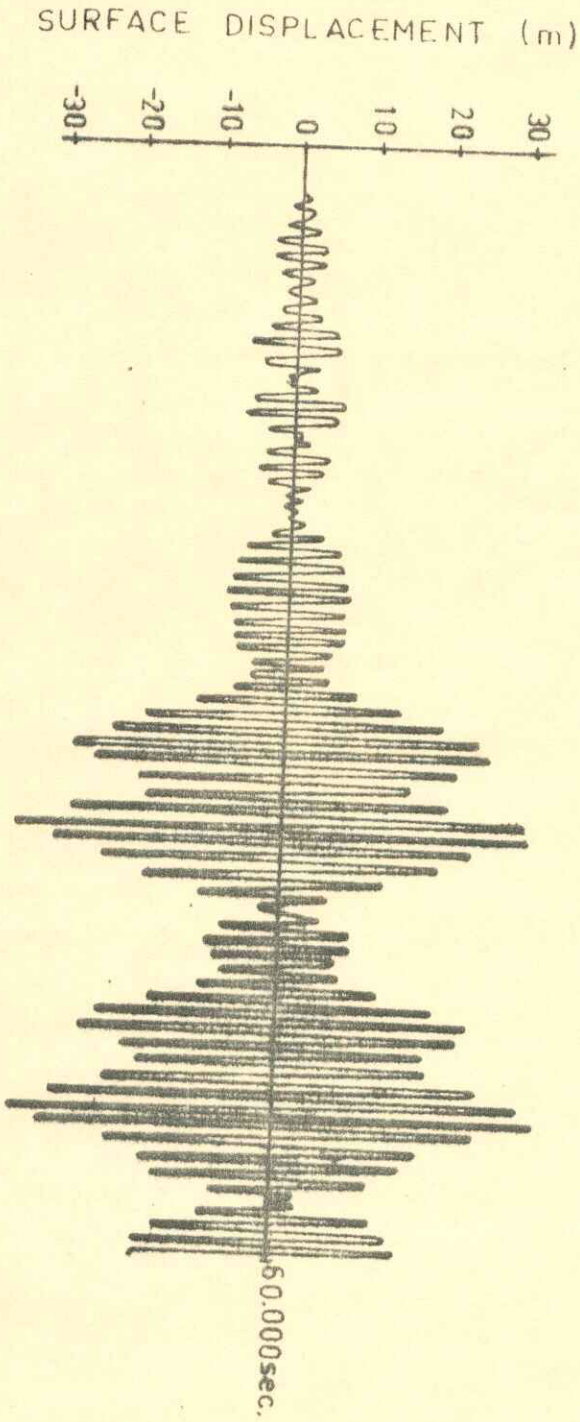
Düşük frekanslı modlara ek olarak, Akkuyu'daki salınımların genlik spektrumu 1500 sn., 1200 sn ve 850 sn yakınlarında da bazı enerji dorukları sergilemektedir. Bunlar Kilikya Baseni sisteminin daha yüksek modları olup, Türkiye kıyısındaki kıta sahanlığı bölgesi ile Kilikya Baseninin daha derin kısımlarının bağımlı salınımlarına karşılık gelmektedirler. Genlik spektrumunun başka bir özelliği ise 1500 sn ve 850 sn'ye karşılık gelen frekanslarda çifte dorukların görülmesidir. Bu davranış mekanik sistemlerin bağımlı yankılaşımlarındaki doğal frekansların ikiye bölünmesini hatırlatmaktadır. Örneğin, iki serbestlik dereceli bir sistemde, kütlelerden birinin diğerine oranla çok ufak olması halinde, böylesine çift doruklar izlenmekte (örneğin bkz. Den Hartog, 1956), ve bazı hallerde ufak kütle büyük kütlenin salınımlarını etkisiz hale getiren bir titreşim soğurucusu olarak kullanılmaktadır. Akkuyu'ya (istasyon 10) komşu olan sahanlık bölgesindeki bahsedilen frekanslardaki salınımların enerjetik olması, genliğin Kilikya Baseni kesitinde yerleştirilmiş 11-16 numaralı istasyonlarda azalması nedeniyle benzer bir davranışın eldeki sistemde de gözlendiği söylenebilir.

Kıta sahanlığında yankılaşımı göstermek için, Akkuyu'daki (istasyon 10) yüzey salınımlarının zaman serisi 850 sn periyodlu salınımlar çıkarılmak üzere filtrelenmiştir. Alçak ve yüksek kesim frekansları sırasıyla f_L= 0.0650 cpm ve f_U= 0.0750 cpm olan band geçişli bir filtre kullanılmıştır. Bu frekanslara karşılık gelen periyodlar sırasıyla T_L = 923 sn ve T_U =800 sn dir. Zaman serisi üzerinde denklem (2.9) da ifade edilen filtreleme işlemini yapmak için γ = 20 olmak üzere bölüm 2.6'da belirtilen (denklem 2.8) filtre fonksiyonu kullanılmıştır. Band geçişli filtreden çıkan zaman dizisi Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Başlangıçtan sonra t = 20000 sn'de yankılaşımın büyümeye başladığı ve bunu izleyen düzgün Modülasyonlu "beat" salınımlarının kendilerini tekrarladıkları gözlenmektedir. Modülasyon periyodu T_B= 16000 sn olarak gözlenmekte, genlik spektrumlarındaki dorukların ayırımından hesaplanan periyod ise T_B= 1/ Δf = 20.000 sn olarak bulunmaktadır. Bu modülasyon, bağımlı sistemin değişik s kısımları arasında enerjinin gidip gelmesi sonucudur ve frekans alanında birbirine yakın doruklarla gösterilmektedir.

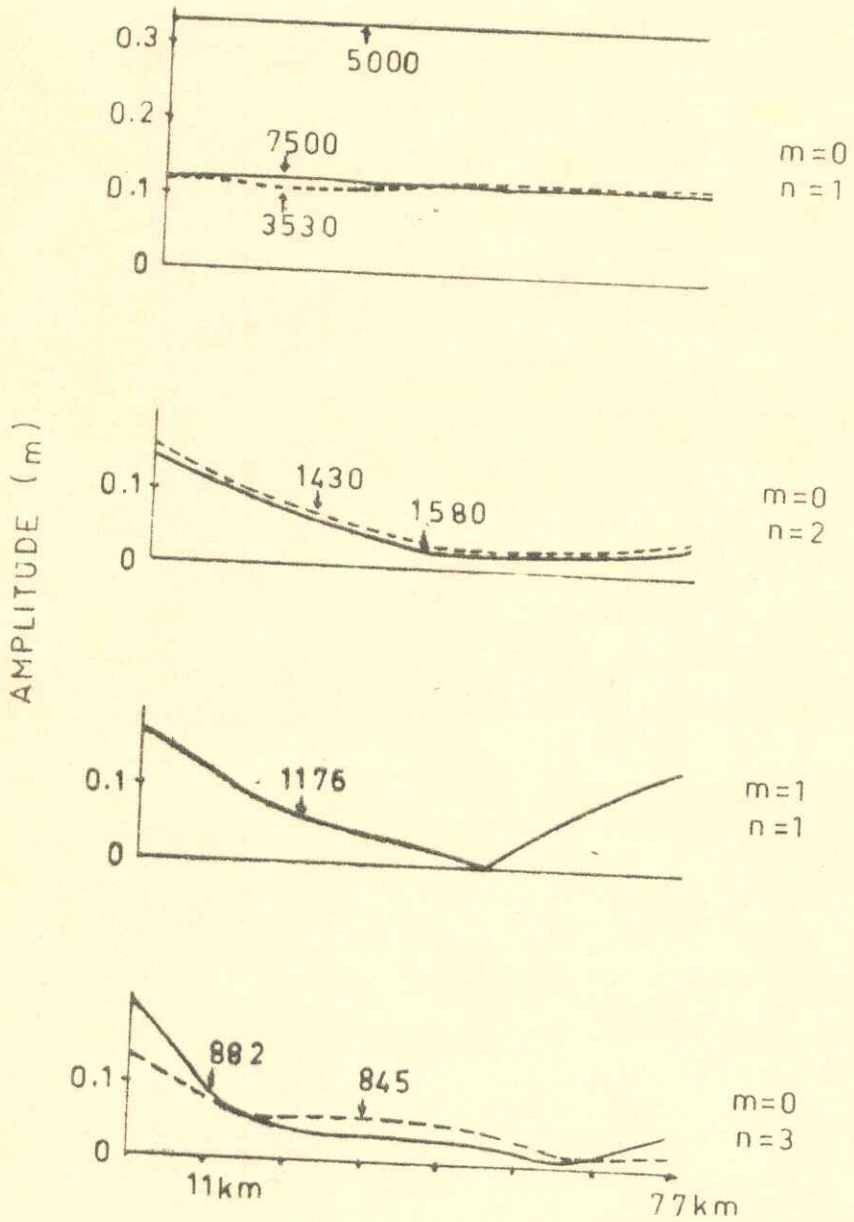
Düşük frekanslı dorukların Kilikya Baseni kesitinde değişken olmayan genlikler gösterdikleri için birinci boyuna salınımlarla ilgili oldukları belirtilmişti. Akkuyu'da gözlenen dorukların mod özelliklerini göstermek için Kilikya Basenindeki genlik değişimleri Şekil 3.7'de çizilmiştir. Düşük frekanslı salınımların genlikleri denklem (3.2)'de belirtilen T_{01} moduna karşılık geldikleri için kanalın enine yönde değişken değillerdir. Daha önce belirtilen Kilikya Baseni-İskenderun Körfezi sisteminin bağımlı salınımları sonucu üç ayrı doruk gözlenmektedir. 1500 sn ve 856 sn'lik salınımların genlikleri, kıta sahanlığında en yüksek olmakta ve Kıbrıs'a doğru yavaş bir düşüş göstermektedir. Bu eğrilerde 1200 sn'lik eğrinin aksine ölü noktalar (node) yoktur. Böylece, 1200 sn periyodun Kilikya Baseninin birinci enine modu olduğu, buna karşılık 1500 sn ve 850 sn'lik periyodların boyuna salınımlara karşılık geldiği söylenebilir. Tahmin edilen m ve n mod sayıları Şekil 3.7'de belirtilmiştir. Mod sayılarının bulunması ve kullanılan metodlar basit bir geometri için yapılan sayısal deneyimlerle yönlendirilmiştir. Bir kıyısında basamak şeklinde bir kıta sahanlığı bulunan dikdörtgen şekilli kapalı bir kanalda hareketler başlangıçtaki bir yer hareketi ile yaratılmıştır. Sahanlık ve basen bölgelerinde derinlik sırasıyla h_1 = 250 m ve h_2 = 1000 m alınmıştır. Basenin boyu ve eni sırasıyla L = 192 km, W = 80 km 'dir ve eni W_1 = 16 km olan alan sahanlık tarafından kaplanmaktadır. Zaman ve uzaydaki sonlu farklar sırasıylaΔx = 8 km, Δt = 100 sn alınmıştır. Sonuç olarak çıkan salınımlar için frekans doruklarını bulmak üzere basenin enine ve boyuna kesitleri üzerinde harmonik analiz uygulanmıştır. Önemli dorukların boyuna ve enine değişimleri çizilmiştir. Bu kesitler boyunca genlik değişimleri Şekil 3.8'de görüldüğü gibi mod şekillerini açıklamışlardır. Her yönde görülen ölü noktaların sayısına göre mod sayıları bulunmuştur. m =1 , n = 1 modunun boyuna değişimi, bu kesit kanalın ortasında (enine salınımları için ölü nokta olan kesitte) elde edildiği için aldatıcı görünmektedir. Bunun dışında diğer sonuçlar modlar hakkında geniş bilgi vermektedir. Burada bulunan frekanslar Kilikya Baseni için bulunanlarla karşılaştırılmamalıdır, çünkü burada kapalı bir kanal için deney yapılmıştır. Gerçek basenin mod yapısı bir yanı açık, diğer yanı yarı-kapalı bir kanalınkine daha yakın olmalıdır, ancak sonuçlar gerçek sistemin mod sıralamasında öncü olmak için kullanılmışlardır.

3.2 Akkuyu Koyu:

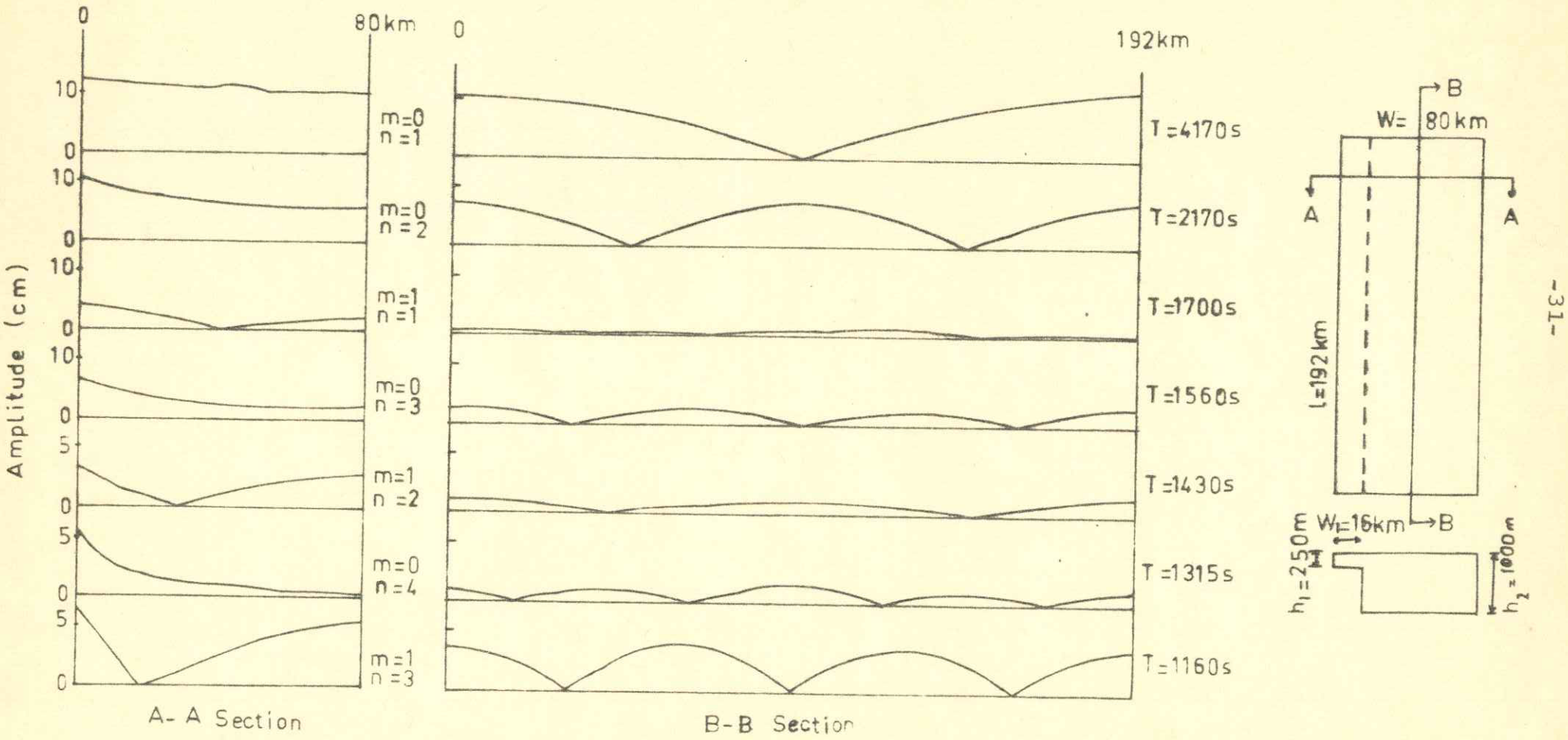
Akkuyu koyunun yankılaşım özellikleri koy modelinin sınırlarından geniş bandlı bir zorlama yaratılarak çalışılmıştır. Koy içerisinde oluşan salınımların Fourier dönüşümleri bulunarak 2.5'te anlatıldığı gibi Fourier dönüşümlerine göre normalize edilmiştir.



Şekil: 3.6 İstasyon 10'da bandlı filtreden geçirilmiş su düzeyi zaman serisi ,
F_L - 0.0650 cpm., F_U - 0.0750 cpm.



Şekil: 3.7 Kilikya Baseninde yankılaşan salınımların kanal kesitindeki mod genlikleri



Şekil: 3.8 Dikdörtgen kesitli kıta sahanlığı olan kapalı bir kanalda yankılaşan salınımların mod genlikleri

Akkuyu koy modeli için 2.25 km x 2.25 km boyutlarında bir alan alınmıştır. Derinlik değerleri TEK'e verilen (1977) Jeoloji raporundaki 1:5000 ölçekli batimetrik haritalardan üretilmiştir. İntegrasyonda yer ve zaman aralıkları sırasıyla Δx = 75m ve Δt = 40sn olarak seçilmiştir. Sınırlardaki 2000 sn uzunluğundaki zorlamadan sonra, koy içerisindeki salınımlar toplam 20.000sn'lik bir zaman için hesaplanmıştır. Analizler için seçilen istasyonlar ve Akkuyu Koy modelinin kapsadığı alan Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

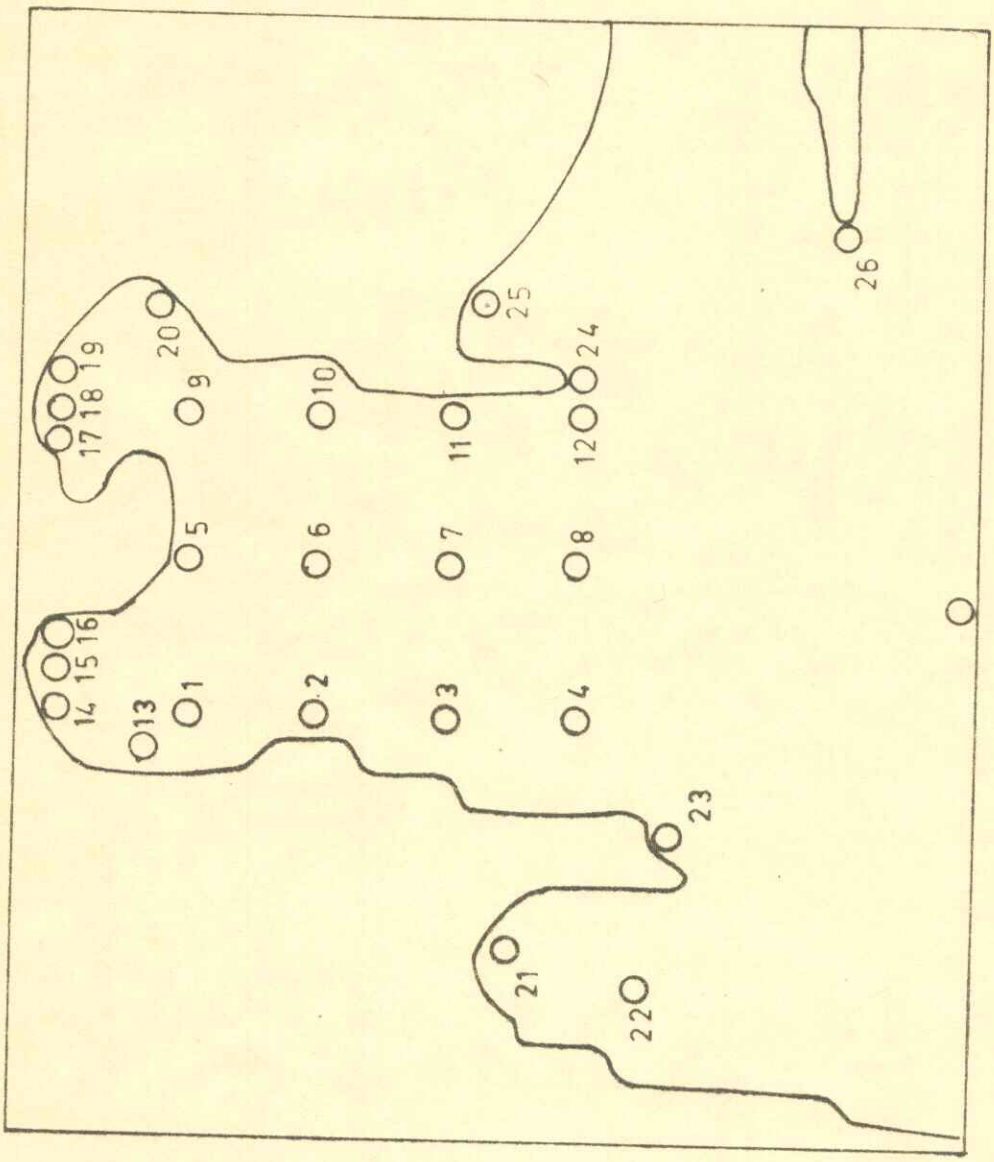
Model sınır şartları olarak verilen zorlama fonksiyonu ve Fourier dönüşümü sırasıyla Şekil 3.10 (a) ve 3.10 (b)'de gösterilmiştir. İç noktalarda olduğu gibi, sınır şartlarının Fourier dönüşümlerinde de 20.000 sn uzunluğundaki bilgiler kullanılmıştır. Zorlama fonksiyonunun sayısal olarak hesaplanan Fourier dönüşümü denklem (2.5) ile uyum göstermektedir. Her istasyon için $A(f) = T(f) = |N(f)/B(f)|$ büyüme faktörleri bölüm 2.5'te anlatıldığı gibi elde edilmiş ve 3.10 (c)-(0) numaralı şekillerde gösterilmiştir.

Şekil 3.10'da verilen büyüme faktörleri, çizilen frekans aralığında ilginç özellikler göstermektedir. Sınır şartları olarak su düzeyi verildiği için koydan dışarı dalga radyasyonunun ancak belirli bir oranda gözönüne alınmış olması sonucu olarak yankılaşım dorukları sınırlı olmakla birlikte oldukça büyük değerlere ulaşmaktadır. En düşük frekanslı yankılaşım doruğu f = 0.002 cps veya t =500 sn yakınında bulunmaktadır. 250 sn., 200 sn., 167 sn., 150 sn gibi diğer periyodlarda da başka doruklar bulunmaktadır. 150 sn daha ufak periyodlar için büyüme faktörleri çizilmiştir. Çünkü eldeki modelde Nyquist periyodunun $T_N = 2\Delta t = 80$ sn olması sonucu daha yüksek frekanslı sinyallerde gürültü oranı yüksek ve güvenirlilik azdır.

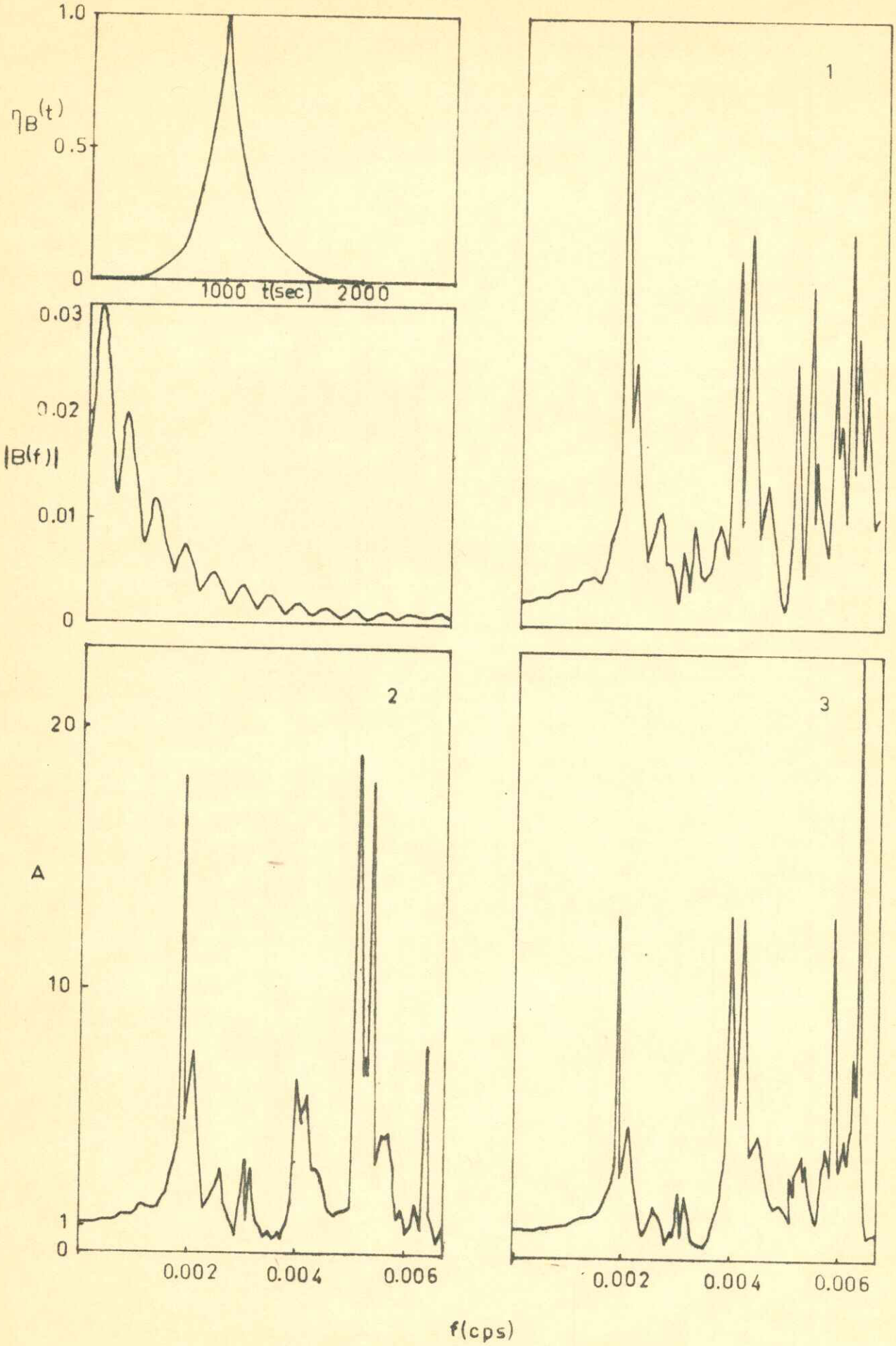
Akkuyu koyundaki istasyonlar için yankılaşım periyodları 500 sn'den büyük periyodlar için yaklaşık olarak A = 1 gibi bir büyüme yok denecek kadar azdır. Doğu Akdeniz modeli hesaplamaları ise enerjinin 500 sn'den büyük periyodlarda 6000 sn., 1500 sn., 1200 sn ve 850 sn yakınındaki salınımlarda yoğunlaştığını göstermiştir. Sonuç olarak tsunami dalgalarının kıta sahanlığı- Kilikya Baseni sisteminin orta ölçekli geometrik özellikleri nedeniyle büyüdüğü ve bu büyümenin Akkuyu koyunda daha fazla artmadığı söylenebilir. Akkuyu koyunda büyüyen dalgaların frekanslarında ise gelen tsunami dalgalarının belişkeleri bulunmadığı için koy içerisinde bu frekansların büyüme olanağı yoktur.

Yukarıdaki sonuçlar Akkuyu Nükleer Santralı yakınında yankılaşımı etkileyen en önemli mekanizmanın Türkeyi kıyılarındaki kıta sahanlığını da içeren Kilikya Baseni sisteminin yankılaşımı olduğunu göstermiştir. Bu geniş sistemin seçilerek büyüyen salınımları Akkuyu koyunda daha fazla büyümeye uğramamaktadır. Daha önce (TB1 de) hesaplanan en yüksek dalga genliği sınırları tasarım amaçları için güvenle kullanılabilir. Büyük sistem ile koyun farklı yankılaşım periyodları başta (bölüm 2.2'de) iki sistemi bağımsız olarak alan yaklaşımı sonuçtaş desteklemektedir. Ayrıca, bu sonuç inanılır bir sonuçtur, çünkü Akkuyu koyunda yankılaşan dalgaların dalga boylarının koyun yatay ölçeklerine uygun olması nedeniyle daha büyük ölçekli salınımların dalga boylarına uymamaktadır.

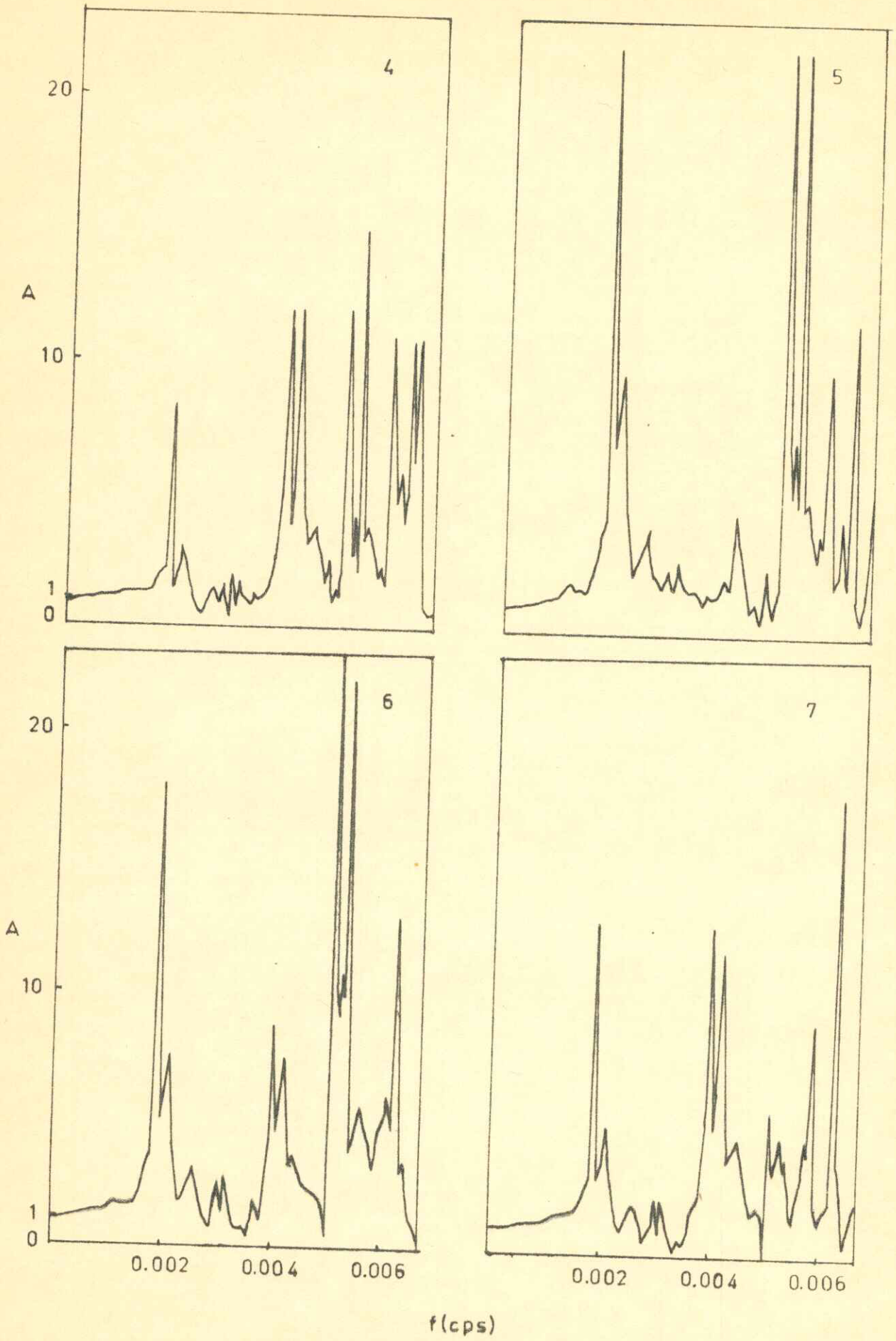
Akkuyu koyunun taban topografyası oldukça karmaşıktır. Ancak bu geometrinin en seçkin özelliği koy gerisinde kıyıdan açığa doğru derinliğin yaklaşık doğrusal olarak ve oldukça dik olarak değişmesidir. Bu da koy kesitine kama şeklinde bir yapı vermektedir. Yatay ℓ_1 = 2.25 km uzaklığında derinliğin h_1 = 50 m kadar arttığı düşünülürse boyuna modlar denklem (3.1)den hesaplanabilir. İlk doğal periyod bu değerler kullanılarak T_1 = 527 sn olarak hesaplanmıştır.



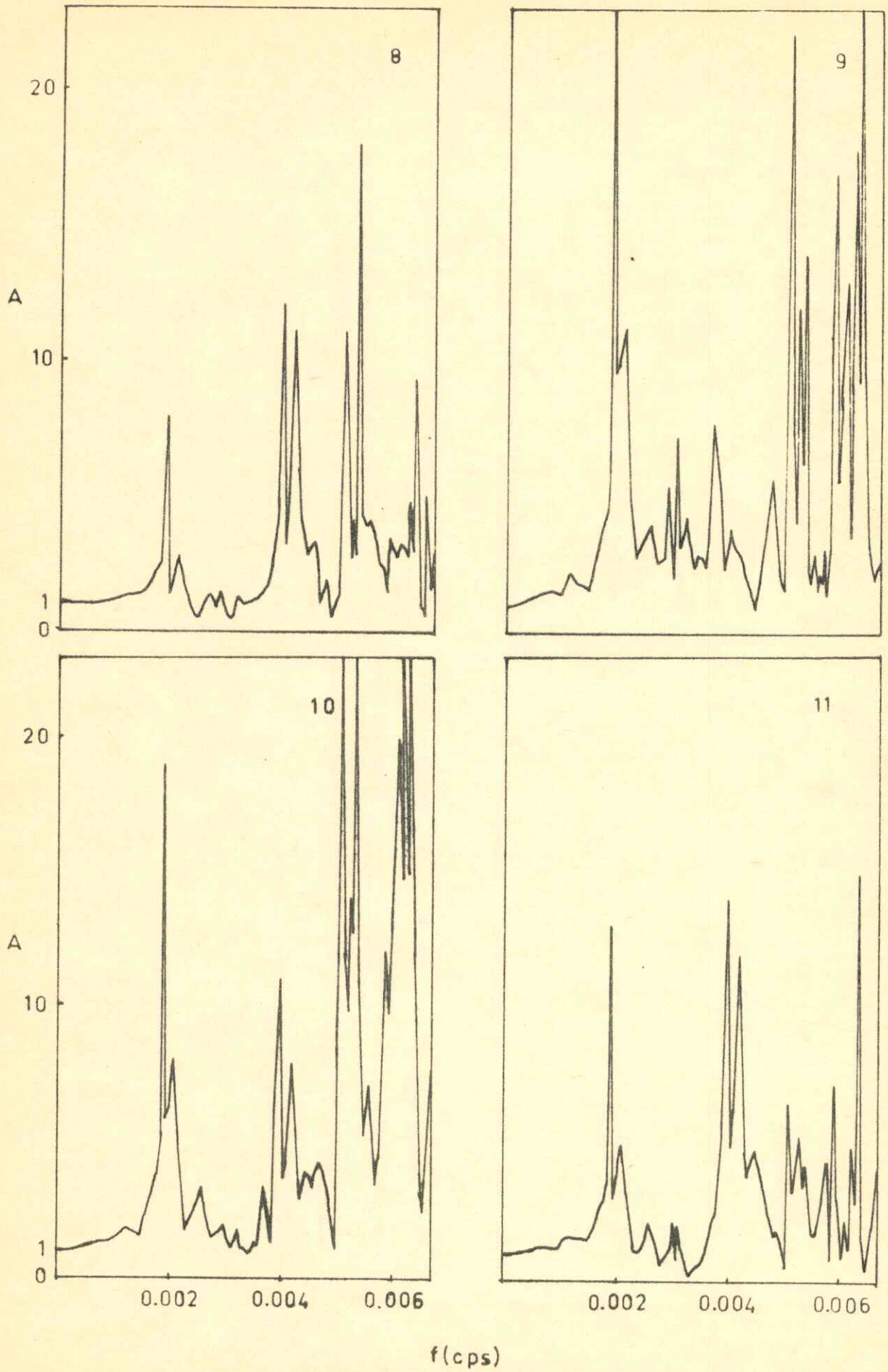
Şekil: 3.9 Akkuyu koyu modeli için model alanı ve analizlerin yapıldığı istasyonlar



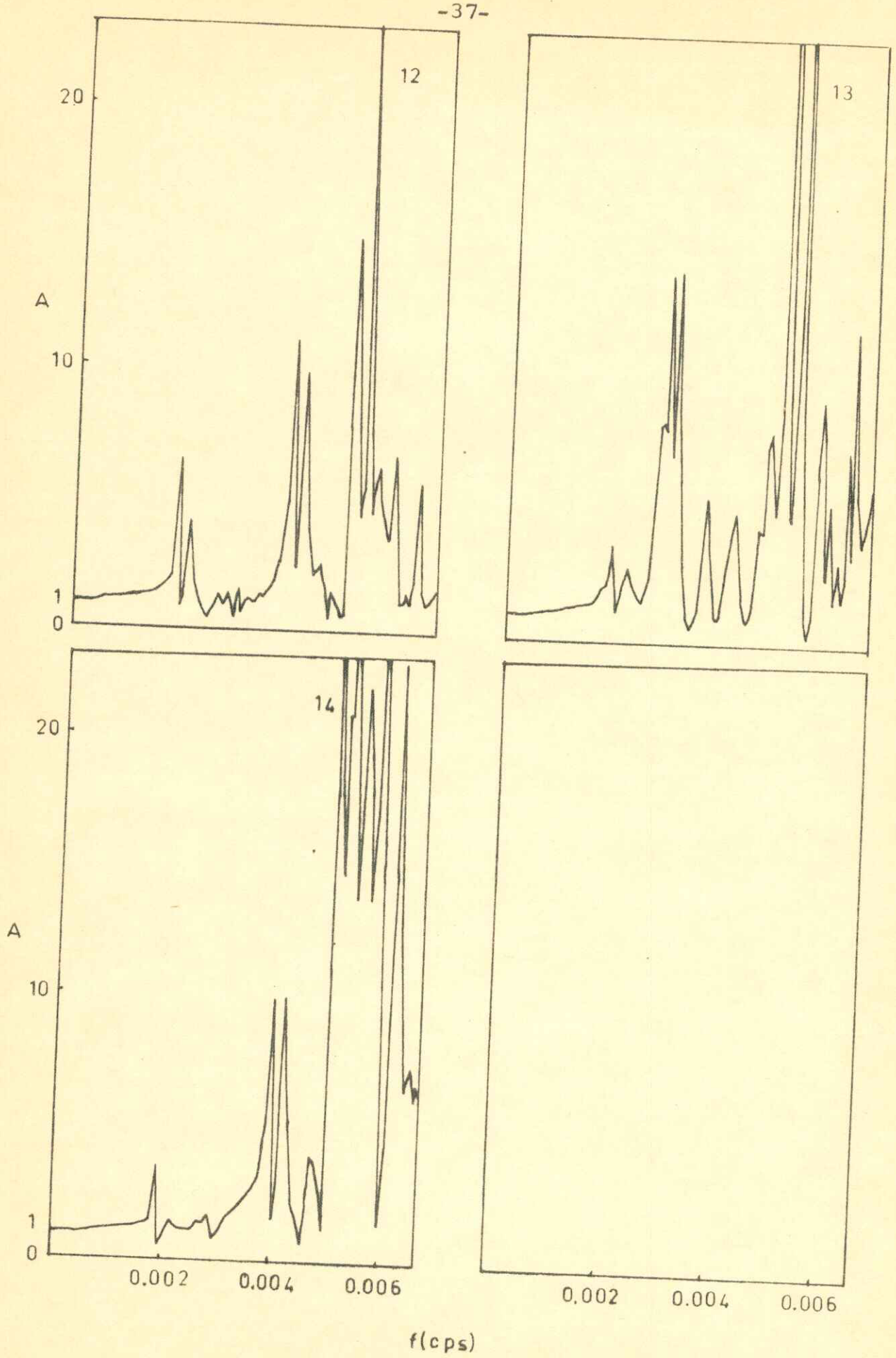
Şekil: 3.10 Akkuyu koyu modeli için sınır şartları ve büyüme oranları



Şekil: 3.10 (Devam)



Şekil: 3.10 (Devam)



Şekil: 3.10 (Devam)

Sayısal modelleme sonucu olarak büyüme faktörlerinden bulunan ilk doruk ise T =526 sn (f = 0.0019 cps) yakınında bulunmaktadır. Bu sonuç bir defa daha kıta sahanlığı geometrisinden kaynaklanan yankılaşımın, koyun yatay sınırlamaları sonucu oluşan yankılaşımdan daha önemli olduğunu göstermektedir. Gerçekte de koy bölgesi ve kıta sahanlığı bölgesini ayırmak mümkün olmaktadır, çünkü sahanlıktaki doğrusal eğim, koyun içerisine kadar uzanmakta ve yankılaşımı diger faktörlerden daha fazla etkilemektedir.

Yukarıdaki tartışmadan Akkuyu koyunda yapılacak mendireklerin düşük frekanslı dalgaların büyümesini fazla etkilemiyeceği anlaşılabilir. Böyle bir değişiklik koyu daha küçük bölgelere böleceği için, yankılaşan dalga boylarının (ve dolayısıyla frekansların) sadece yüksek frekanslarda (T < 500 sn) etkileneceği beklenebilir. Bundan dolayı mendireklerin bulunduğu haller için model çalışmaları yapılmamıştır. Sonlu elemanların kapladığı alan sekiz sıra eleman daha içerecek şekilde açığa doğru uzatılmış ve böylece 600 m'lik bir ilave alan model alanına eklenmiştir frekans analizleri ve bulunan büyüme faktörlerinde önemli bir değişme bulunamamıştır. Şekil 3.10'da gösterilen dorukların frekans ekseni üzerindeki yerleri oldukça güvenilir bir derecede saptanmış sayılmalıdır.

4. İRDELEMELER

Bu çalışmada kullanılan modelleme yöntemi bölüm 2.2'de açıklanmıştır. Akkuyu koyunun Doğu Akdeniz Baseni modelinden ayrı düşünülmesi için getirilen yaklaşımın yeterli olduğu elde edilen sonuçların incelenmesinden anlaşılmıştır.

Akkuyu Nükleer Santralını etkileyen en önemli yankılaşım olayının Kilikya Baseni, İskenderun Körfezi ve Türkiye kıta sahanlığı bölgelerinin bağımlı vankılaşımı olduğu saptanmıştır. Bu bağımlılığın fiziksel nedenleri tipik doğal frekansların basit hesaplamalarıyla açıklanmıştır. Girit yayı bölgesinden enerji dağılımı ve Levant Denizinde (Doğu Akdeniz) yayılim özellikleri detaylı bir şekilde saptanmıştır.

Akkuyu koyu bölgesine gelen dalgaların koydaki büyümeleri detaylı olarak incelenmiş ve gelen tsunami dalgalarının düşük frekanslı içerikleri için herhangi bir büyümenin olmayacağı gösterilmiştir.

REFERANSLAR

Abbott, M.B., Numerical Methods, Course Notes, Delft, Netherlands, 1971

Chen, H.S., ve Mei, C.C., Oscillations and Wave Forces in an Off-Shore Harbour (Applications of the Hybrid Finite Element Method to Water-Wave Scattering). Report No. 190, Ralph M.Parsons Laboratory for Water Resoucces and Hydrodynamics, Mass. Inst. of Tech., 1974.

Dean, R.G., ve Taylor, R.B., Numerical Modeling of Hydromechanics of Biscayne Bay, Card Sound System. Part I, Non-Dispersive Characteristics, Dept. of Coastal and Oceanographic Engineering, Uni. of Florida, 1971.

Dean, R.G., ve Taylor, R.B., Numerical Modeling of Constituent Transport in Bay Systems, Proc. 13th. Coastal Engineering Conference, pp. 2227-2249. 1972.

Den Hartog, J.P., Mechanical Vibrations, McGraw-Hill, 1956.

Housley, J.G., Pilot Model Study for the Design of Hilo Harbour Tsunami Model, Research Report No. 2-3, U.S. Army Engineer éWaterways Experiment Sta. Corps of Engineers, 1965.

Ippen, A.T., ve Goda, Y., Wave Induced Oscillations in Harbours: The Solution for a Rectangular Harbour Connected to the Open Sea, Report No. 59, Ralph M.Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, Mass Inst. of Tech. 1963.

Keulegan, G.H., Harrison, J., Mathews, M.J., Theoretics in Design of the Proposed Crescent City Horbour Tsunami Model, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, 1969.

LeBlond, P.H., ve Mysak, L.A., Trapped Coastal Waves and Their Role in Shelf Dynamics, Vol.6, The Sea, Pergamon Press, 1976.

Lee, J.J ve Raichlen, F., Wave Induced Oscillations in Harbours with Connected Basins, Report KH-R-26, W.M.Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, 1971.

Leendertse, J.J., Aspects of a Computational Model for Long-Periods Water Wave Propagation, The Rand Corporation, 1967.

Mei,C.C., ve Ünlüata,Ü., Resonant Scattering by a Harbour with Two Coupled Basins, J.Eng.Math., Vol. 10, No.4, pp. 333-353, 1976.

Miles,J.W., Harbour Seiching, Annual Rev.Fluid.Mech., Vol.6, 1974.

Miles, J.W., ve Munk, W., Harbour Paradox, J.of the Waterways and Harbours Div., ASCE, Vol. 87, no. WW3, pp. 111-130-, 1-61.

Morse, P.M., ve Ingard, K.U., Theoretical Acoustics, McGraw-Hill, 1968.

Richtmyer, R.D., ve Morton, K.W., Difference Methods for Initial-Value Problems, Interscience, 1967.

Ünlüata, Ü., ve Mei, C.C., Effects of Entrance Loss on Harbour Oscillations, J.Waterways Harbours and Coastal Engineering Div., ASCE, Vol.101, no. WW2, pp. 161-180, 1975.

Wang, J.D., ve Connor, J.J., Mathematical Modeling of Near Coastal Circulation, Report No. 200, Ralph M.Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, Mass, Inst. of Tech. 1975.

Yanenko, N.N., The Method of Fractional Steps, Springer-Verlag, 1971.

G1. TEK-METU-Akkuyu Marine Geology, Progress Report J-2, Middle East Technical University, Institute of Marine Research, 1977.

TS1. Akkuyu Nuclear Power Plant Tsunami Study, Middle East Technical University, Institute of Marine Research, 1979.